

# 최대전력 전달 & 휘스톤 브릿지

기초전자 설계 및 실험

전자 IT 미디어공학과

최의민

# Contents

- 이론

- 최대전력 전달조건
- 휘스톤 브릿지

- 실험

- 최대전력 전달조건
- 휘스톤 브릿지

# 최대전력 전달조건

## ➤ 전력 (Electric Power)

- 단위시간 동안 전기장치 (부하)에 공급되는 전기에너지.
- $P$ 로 표시하며 단위는 와트(w)
- 옴의 법칙에 따라 다음과 같이 표현됨.

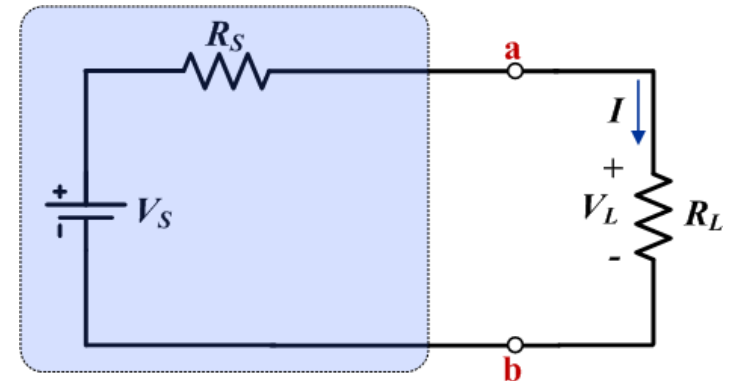
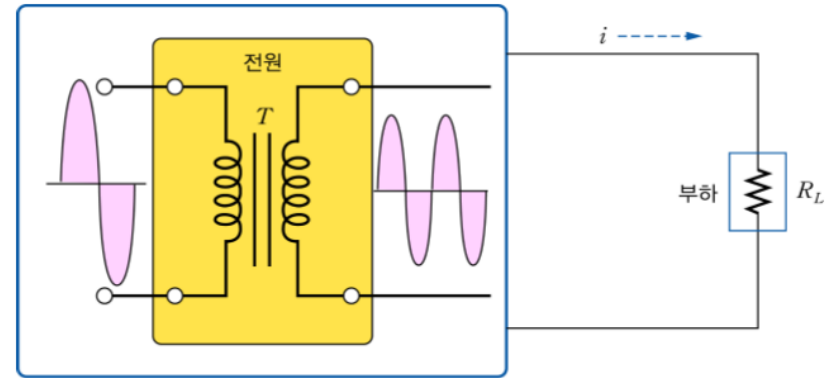
$$P = VI = I^2 R = \frac{V^2}{R}$$

## ➤ 많은 회로의 응용분야에서 부하저항

$R_L$ 에 최대의 전력을 전달하는 것이 요구된다.

## ➤ 임의의 회로는 그림과 같은 테브난의 등가회로로 변환될 수 있다.

- $V_S$ : 직류전압원,  $R_S$ : 전원의 내부저항



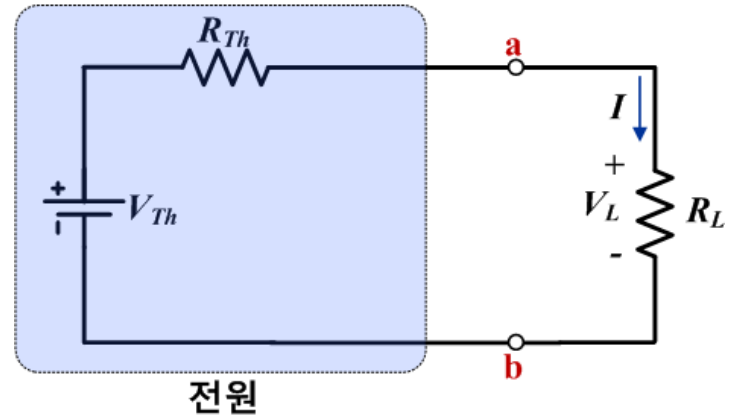
테브난 등가회로

# 최대전력 전달조건

➤ 부하  $R_L$ 에 전달되는 전력

$$p = I^2 \times R_L, \text{ where } I = \frac{V_S}{R_S + R_L}$$

$$p = \left( \frac{V_S}{R_S + R_L} \right)^2 \times R_L$$



➤ 전력이 최대로 전달되는 부하  $R_L$ 의 값을 구하기 위해 전력  $p$ 를  $R_L$ 에 대해서 미분

$$\frac{dp}{dR_L} = \frac{(R_S + R_L)^2 - 2(R_S + R_L)R_L}{(R_S + R_L)^4} = 0$$

➤ 미분값이 0이 되려면

$$(R_S + R_L)^2 - 2(R_S + R_L)R_L = 0 \quad \therefore R_L = R_S$$

# 최대전력 전달조건

## ➤ 최대 전력

$$p = \left( \frac{V_S}{R_S + R_L} \right)^2 \times R_S = \frac{V_S^2}{4R_S}, \text{ since } R_L = R_S$$

## ➤ 최대 전력 전달 효율

- $p_i$ : 공급전력,  $p_o$ : 부하에 전달되는 전력

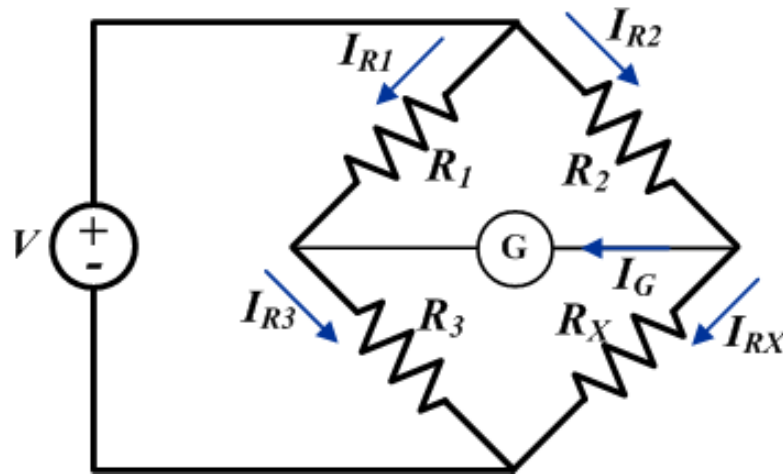
$$p_o = P_{max} = \frac{V_S^2}{4R_S} \quad p_i = V_S \times I = V_S \left( \frac{V_S}{R_S + R_L} \right) = \frac{V_S^2}{2R_S}$$

$$\eta = \frac{p_o}{p_i} = \frac{1}{2} = 50\%$$

## ➤ 최대 전력 전달 효율은 단지 50%

- 부하저항  $R_L$  값이 클수록 전력전송 효율은 증가하지만  $R_L > R_S$  이면 전력전달은 반대로 적어짐

# 휘스톤 브릿지



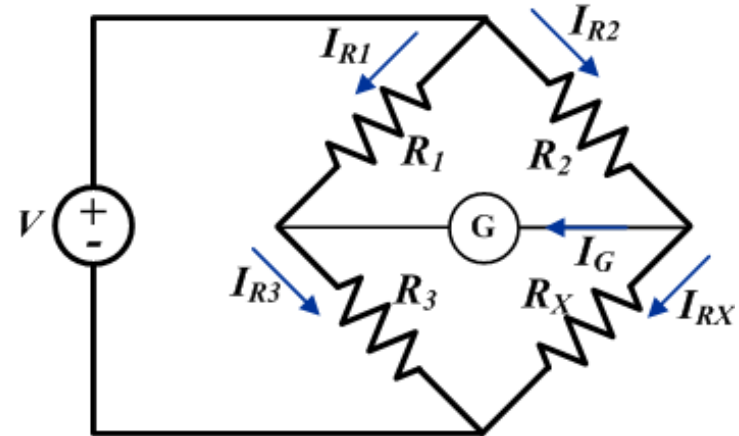
휘스톤 브릿지

- 임의의 저항 값을 측정하기 위한 회로
  - $R_1, R_2$ : 고정저항 (알고있는 값)
  - $R_3$ : 가변저항 (알고있는 값)
  - $R_X$ : 측정하고자 하는 저항
- $R_3$ 의 값을 조절하면 검류계로 흐르는 전류  $I_G$ 의 값이 0이 됨
- 이를 휘스톤 브릿지의 평형 상태라고 함

# 휘스톤 브릿지 - 저항

## ➤ 휘스톤 브릿지의 평형상태

- $I_{R1} = I_{R3}, I_{R2} = I_{RX}$
- $V_{R1} = V_{R2}, V_{R3} = V_{RX}$



휘스톤 브릿지

## ➤ 평형 상태에서 $R_X$ 의 값

$$\frac{V_{R1}}{V_{R3}} = \frac{V_{R2}}{V_{RX}} \quad \Rightarrow \quad \frac{I_{R1} \cdot R_1}{I_{R3} \cdot R_3} = \frac{I_{R2} \cdot R_2}{I_{RX} \cdot R_X}$$

$$\frac{I_{R1} \cdot R_1}{I_{R3} \cdot R_3} = \frac{I_{R2} \cdot R_2}{I_{RX} \cdot R_X} \quad \Rightarrow \quad \frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_X} \quad \text{since } I_{R1} = I_{R3}, I_{R2} = I_{RX}$$

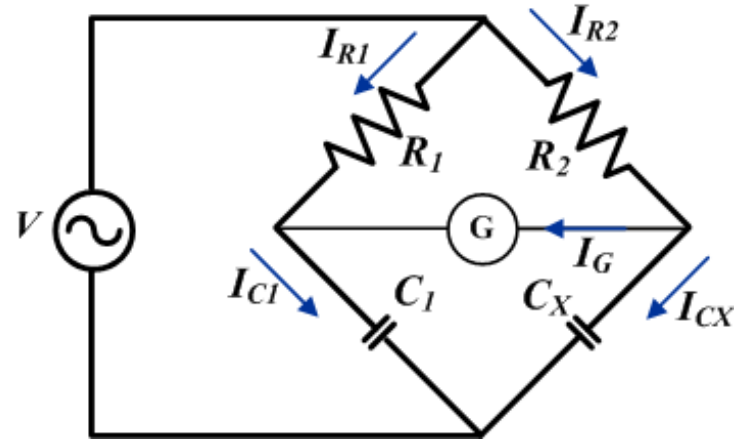
$$\therefore R_X = \left[ \frac{R_2}{R_1} \right] R_3$$

# 휘스톤 브릿지 - 커패시턴스

➤  $R_2$ 의 값을 조절하면 검류계로 흐르는 전류  $I_G$ 의 값이 0이 됨

- $I_{R1} = I_{C1}, I_{R2} = I_{CX}$
- $V_{R1} = V_{R2}, V_{C1} = V_{CX}$

➤ 평형 상태에서  $C_X$ 의 값



휘스톤 브릿지

$$\frac{V_{R1}}{V_{C1}} = \frac{V_{R2}}{V_{CX}} \quad \Rightarrow \quad \frac{I_{R1} \cdot R_1}{I_{C1} \cdot \frac{1}{2\pi f C_1}} = \frac{I_{R2} \cdot R_2}{I_{CX} \cdot \frac{1}{2\pi f C_X}} \quad \text{since } X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

$$R_1 \cdot 2\pi f C_1 = R_2 \cdot 2\pi f C_X$$

$$\therefore C_X = \left[ \frac{R_1}{R_2} \right] C_1$$

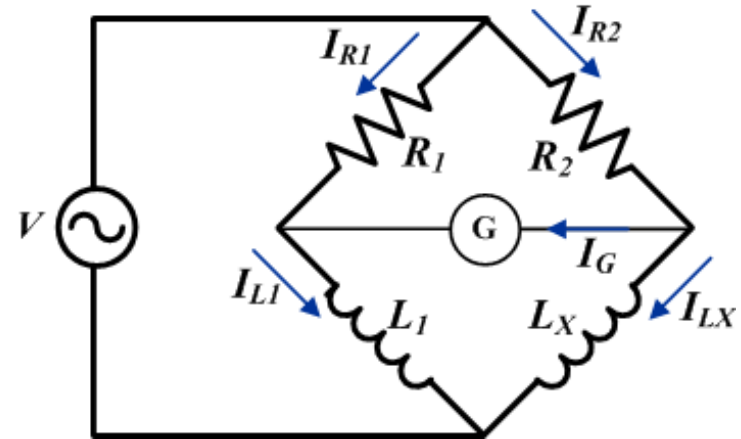


# 휘스톤 브릿지 - 인덕턴스

➤  $R_2$ 의 값을 조절하면 검류계로 흐르는 전류  $I_G$ 의 값이 0이 됨

- $I_{R1} = I_{L1}, I_{R2} = I_{LX}$
- $V_{R1} = V_{R2}, V_{L1} = V_{LX}$

➤ 평형 상태에서  $L_X$ 의 값



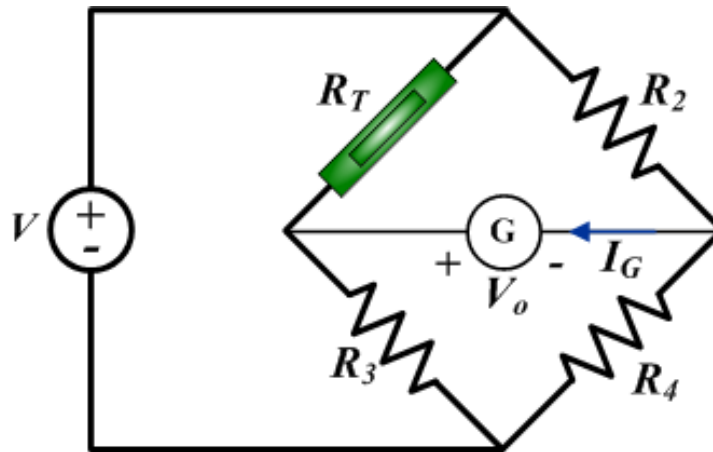
휘스톤 브릿지

$$\frac{V_{R1}}{V_{L1}} = \frac{V_{R2}}{V_{LX}} \quad \Rightarrow \quad \frac{I_{R1} \cdot R_1}{I_{L1} \cdot 2\pi f L_1} = \frac{I_{R2} \cdot R_2}{I_{LX} \cdot 2\pi f L_X} \quad \text{since } X_L = 2\pi f L$$

$$\frac{R_1}{L_1} = \frac{R_2}{L_X}$$

$$\therefore L_X = \left[ \frac{R_2}{R_1} \right] L_1$$

# 휘스톤 브릿지- 응용



휘스톤 브릿지의 응용 - 온도센서

- 물리량을 측정하는 센서로 활용가능 (온도, 압력, 스트레인)
- EX) 온도 센서
  - $R_T$ : 트랜스듀서 - 온도에 따라 저항값이 변함 (ex. 1 k $\Omega$  at 25°C)
  - $R_2, R_3, R_4$ : 상온에서의  $R_T$ 값과 같은 값 (1 k $\Omega$ )
  - 상온에서 휘스톤 브릿지는 평형상태가 되어  $I_G$ 의 값은 0 ( $V_o = 0$ )
  - 온도가 변함에 따라  $R_T$ 가 변하므로 휘스톤 브릿지는 불평형 상태가 됨
  - 온도 변화에 비례하여  $I_G$ 가 변화 -  $I_G$  측정 값을 온도로 변환 ( $V_o$  측정 가능)

# 최대전력 전달조건

## ➤ 목적

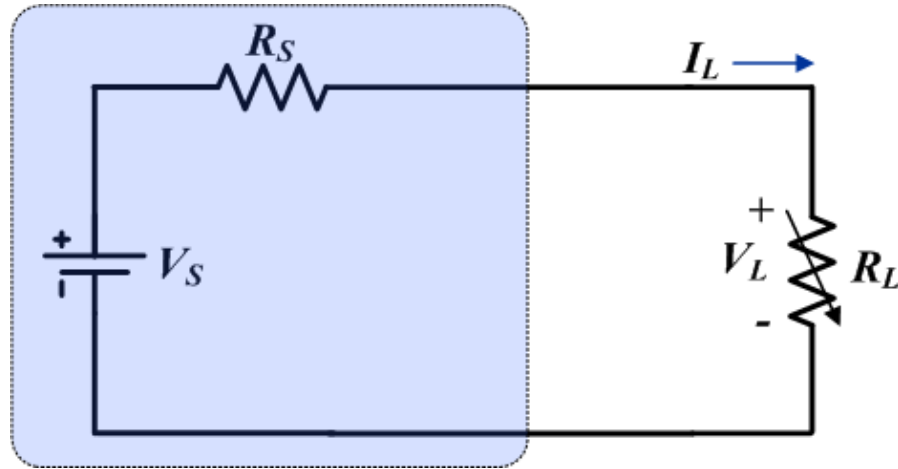
- 최대전력 전달조건을 실험으로 확인한다.
- 부하 저항에 따른 전력전달 효율의 변화를 실험한다.

## ➤ 실험기자재 및 부품

- DC Power Supply (직류전원장치), 오실로스코프
- 멀티미터, 브레드보드
- 저항 :  $1\text{ k}\Omega$  2개, 가변저항  $1\text{ k}\Omega$

# 최대전력 전달조건

## ➤ 실험 1



최대전력 전달조건 실험 회로

- (1) 위의 그림과 같이 회로도를 구성하라.  $R_S = 500\ \Omega$ ,  $R_L = 1\ \text{k}\Omega$  (가변저항)
- (2) 부하저항  $R_L$ 의 값을  $100\ \Omega$ 으로 조절한 후 직류전원  $V_S = 5\ \text{V}$ 를 인가한다.
- (3) 부하에 흐르는 전류  $I_L$ 과 전압  $V_L$ 을 멀티미터로 측정하여 기록한다.
- (4) 부하에서 소비되는 전력  $P_L = I_L \cdot V_L$ 을 계산하여 기록한다.
- (5) 부하  $R_L$ 의 값을 바꾸면서 실험과정 (1) ~ (4)를 반복하고 결과 값을 기록한다.

# 최대전력 전달조건

## ➤ 실험 1

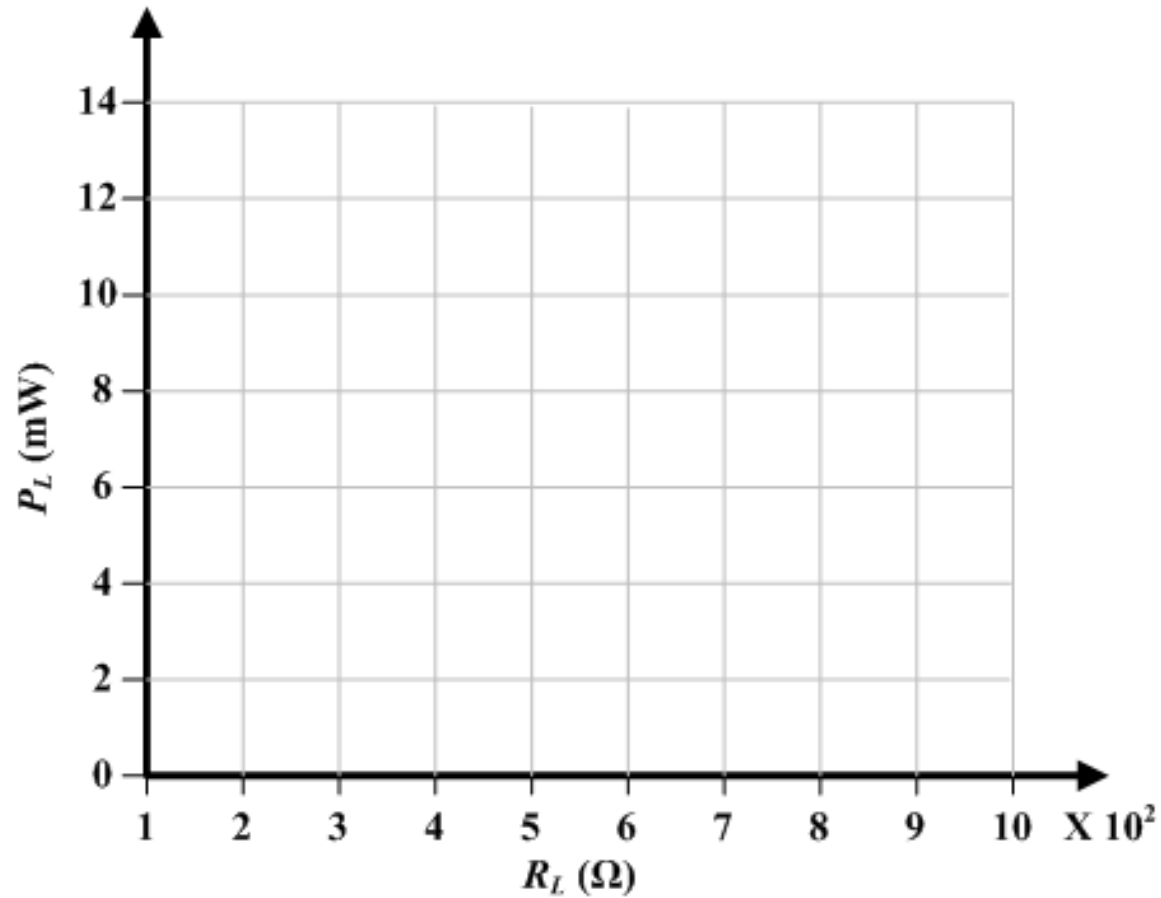
- (5) 실험 결과를 이용하여 부하에 따른 전력 곡선을 그려라.
- (6) 부하저항이 얼마일 때 최대 전력이 되는가?
- (7) 최대전력 전달조건을 이론적으로 구하고 최대전력을 계산하여라.
- (8) 이론값을 실험값과 비교하여라.

표1. 최대전력 전달조건

$V_S = 5\text{ V}, R_S = 500\ \Omega$										
$R_L\ (\Omega)$	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1 k
$I_L\ (\text{mA})$										
$V_L\ (\text{V})$										
$P_L\ (\text{mW})$										

# 최대전력 전달조건

## ➤ 실험 1



부하에 크기에 따른 전력의 변화

# 휘스톤 브릿지

## ➤ 목적

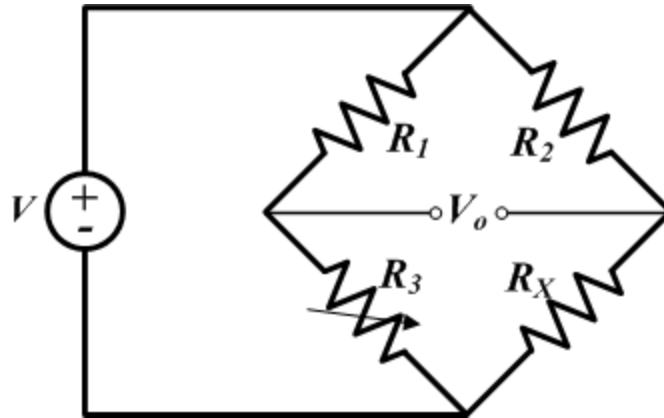
- 휘스톤 브릿지를 이용하여 임의의 저항을 측정하는 원리를 실험한다.
- 휘스톤 브릿지를 이용하여 임의의 커패시턴스를 측정하는 원리를 실험한다.
- 휘스톤 브릿지를 센서에 활용하는 원리를 실험을 통하여 이해한다.

## ➤ 실험기자재 및 부품

- DC Power Supply (직류전원장치), 오실로스코프
- 멀티미터, 브레드보드
- 저항 : 1 k $\Omega$  4개, 1 k $\Omega$  (가변저항) 1개  
300  $\Omega$ , 470  $\Omega$ , 1 k $\Omega$ , 1.2 k $\Omega$ , 1.5 k $\Omega$ , 2 k $\Omega$ , 620  $\Omega$ , 62  $\Omega$  각 1개
- 커패시터: 0.1  $\mu$ F, 0.22  $\mu$ F, 0.47  $\mu$ F, 1  $\mu$ F 각 1개

# 휘스톤 브릿지

## ➤ 실험 2-1 – 임의의 저항측정



휘스톤 브릿지 실험회로 - 저항측정

- (1) 위의 그림과 같이 회로도를 구성하라.
- (2) 저항  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 2 \text{ k}\Omega$ ,  $R_3 = 1 \text{ k}\Omega$  (가변 저항)을 연결하라.
- (3)  $R_X$ 에  $300 \Omega$ 을 연결하라.
- (4) 직류전원  $V_I = 10 \text{ V}$ 를 인가한다.
- (5)  $V_o$ 가  $0 \text{ V}$ 가 되도록  $R_3$ 을 조절한다.



# 휘스톤 브릿지

## ➤ 실험 2-1 – 임의의 저항 측정

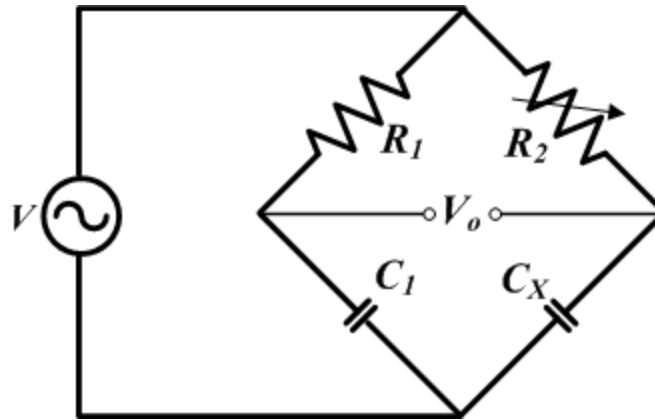
- (5)  $R_3$ 을 측정하여 기록한다.
- (6)  $R_x$ 를 다른 세 개의 저항으로부터 계산하여 기록한다.
- (7)  $R_x$ 를 표에 주어진 다른 저항으로 바꾸어 실험을 반복한다.
- (8) 주어진  $R_x$  값과  $R_x$ 의 계산값이 같은지 확인해 보라.

표2. 임의의 저항 측정

$R_x$	300 [ $\Omega$ ]	470 [ $\Omega$ ]	1 [k $\Omega$ ]	1.2 [k $\Omega$ ]
$R_3$				
$R_x$ (계산값)				

# 휘스톤 브릿지

## ➤ 실험 2-2 – 임의의 커패시턴스 측정



휘스톤 브릿지 실험회로 - 커패시턴스 측정

- (1) 위의 그림과 같이 회로도를 구성하라.
- (2) 저항  $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ ,  $R_2 = 1 \text{ k}\Omega$  (가변 저항), 커패시터  $C_1 = 0.1 \text{ }\mu\text{F}$ 을 연결하라.
- (3)  $C_X$ 에  $0.22 \text{ }\mu\text{F}$ 을 연결하라.
- (4) 교류전원  $V = 15 \text{ V}_{\text{pp}}$  ( $1 \text{ kHz}$ )를 인가한다.
- (5)  $V_o$ 가  $0 \text{ V}$ 가 되도록  $R_2$ 를 조절한다.

# 휘스톤 브릿지

## ➤ 실험 2-2 – 임의의 커패시턴스 측정

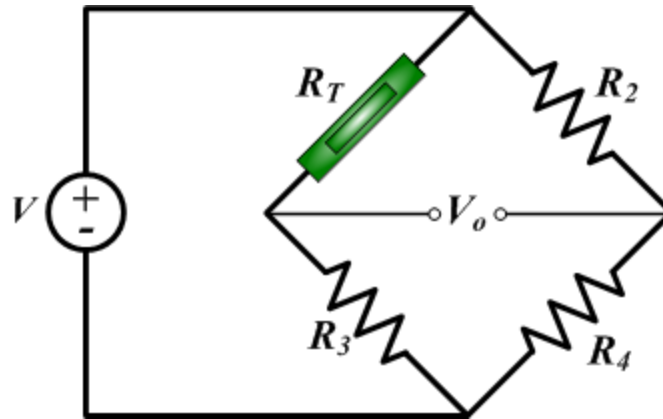
- (5)  $R_2$ 를 측정하여 기록한다.
- (6)  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $C_1$ 으로부터  $C_X$ 를 계산하여 기록한다.
- (7)  $C_X$ 를 표에 주어진 다른 저항으로 바꾸어 실험을 반복한다.
- (8) 주어진  $C_X$  값과  $C_X$ 의 계산값이 같은지 확인하라.

표3. 임의의 커패시턴스 측정

$C_X$	0.22 [uF]	0.47 [ $\Omega$ ]	1 [uF]
$R_2$			
$C_X$ (계산값)			

# 휘스톤 브릿지

## ➤ 실험 2-3 - 휘스톤 브릿지의 응용 (온도센서)



휘스톤 브릿지 응용 - 온도센서

- (1) 위의 그림과 같이 회로도를 구성하라.
- (2) 저항  $R_2 = 1\text{ k}\Omega$ ,  $R_3 = 1\text{ k}\Omega$ ,  $R_4 = 1\text{ k}\Omega$ 을 연결하라.
- (3) 직류전원  $V_I = 10\text{ V}$ 를 인가한다.
- (4) 실험 회로의  $R_T$ 는 온도에 따라 저항값이 변하는 서미스터 (Thermistor) 로 가정한다. - 표 4는 서미스터의 테이터 시트의 예이다.

# 휘스톤 브릿지

## ➤ 실험 2-3 – 휘스톤 브릿지의 응용 (온도센서)

- (6)  $R_T$ 에 1 k $\Omega$ 을 연결하고  $V_o$ 를 측정하여 기록하라.
- (7)  $R_T$ 를 표에 주어진 다른 저항으로 바꾸어  $V_o$ 를 측정하고 기록하라.
- (8)  $R_T$ 에 따라  $V_o$ 가 변하는지 확인하라. 만일 변한다면, 휘스톤 브릿지를 어떻게 센서에 활용할 수 있는지 설명하라.

표4. 서미스터의 테이터 시트

온도	15 [°C]	20 [°C]	25 [°C]	30 [°C]	35 [°C]
$R_T$	1.5 [k $\Omega$ ]	1.2 [k $\Omega$ ]	1 [k $\Omega$ ]	680 [ $\Omega$ ]	470 [ $\Omega$ ]

표5. 휘스톤 브릿지의 응용 - 온도센서

$R_T$	1 [k $\Omega$ ]	470 [ $\Omega$ ]	680 [ $\Omega$ ]	1.2 [k $\Omega$ ]	1.5 [k $\Omega$ ]