

일반물리학및실험2 실험실습용 / 무단 전재 및 재배포 금지

9. RLC 교류 회로



일반물리학및실험2 실험실습용 / 무단 전재 및 재배포 금지

실험 목표

- RLC 교류 회로를 구성하는 각 소자의 특성을 이해한다.
- 교류 회로에서의 전압과 전류 사이의 위상에 대한 개념을 이해하고, 임피던스를 계산한다.

기본 이론

(1) 교류 회로 (Alternating-Current Circuits)

교류 회로는 회로 요소와 시간에 따라 사인형으로 변하는 교류 전압 Δv 으로 이루어진다.

$$\Delta v = \Delta V_{\max} \sin \omega t \quad (\Delta V_{\max} : \text{전압 진폭}, \omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} : \text{각진동수}, t : \text{시간})$$

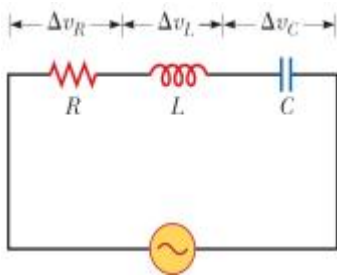
(2) RLC 직렬 회로 (RLC series circuit)

RLC 직렬 회로는 교류 전원과 함께 저항기, 인덕터, 그리고 축전기가 직렬 연결되어 있는 회로를 말한다. (직렬과 직류, 병렬과 교류는 완전히 다른 개념을 나타내는 용어임에 주의하자!)

인가 전압이 사인형으로 변해서 $\Delta v = \Delta V_{\max} \sin \omega t$ 라고 하자. 저항기 외에 인덕터와 축전기가 포함된 RLC 회로에서의 전류는 전압과 같은 위상에 있지 않을 것이라고 예상되므로

$$i = I_{\max} \sin(\omega t - \phi)$$

라 하자. 이 때 ϕ 는 전류와 전압 사이의 위상각(phase angle)이다.



개별 회로 요소 양단에서의 순간 전압을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta v_R = I_{\max} R \sin \omega t = \Delta V_R \sin \omega t$$

$$\Delta v_L = I_{\max} X_L \sin \left(\omega t + \frac{\pi}{2} \right) = \Delta V_L \cos \omega t$$

$$\Delta v_C = I_{\max} X_C \sin \left(\omega t - \frac{\pi}{2} \right) = -\Delta V_C \cos \omega t$$

이들 세 전압의 합은 교류 전원에서 공급하는 순간 전압 Δv 와 같아야 한다. 그러나 세 전압은 전류에 대하여 각각 다른 위상 관계를 가지기 때문에 간단한 대수합 $\Delta v = \Delta v_R + \Delta v_L + \Delta v_C$ 로 계산할 수 없다. 따라서 회전하는 벡터인 위상자를 이용하는데, 각 전압 위상자간 벡터합을 이용해 세 전압의 합을 구한다.

$$\begin{aligned} \Delta V_{\max} &= \sqrt{\Delta V_R^2 + (\Delta V_L - \Delta V_C)^2} = \sqrt{(I_{\max} R)^2 + (I_{\max} X_L - I_{\max} X_C)^2} \\ &= I_{\max} \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \end{aligned}$$

일반물리학및실험2 실험실습용 / 무단 전재 및 재배포 금지

그러므로 최대 전류 I_{\max} 를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$I_{\max} = \frac{\Delta V_{\max}}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}$$

이 식에서 분모는 **저항과 같은 역할을** 하므로 회로의 **임피던스(impedance)** Z 라 하며 저항과 같이 단위는 옴(ohm)이다.

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad [\text{임피던스 관계식}], \quad I_{\max} = \frac{\Delta V_{\max}}{Z}$$

임피던스와 전류는 저항, 유도 계수, 전기용량과 진동수에 의존한다.

위상각 ϕ 는 직각삼각형에 의해 $\phi = \tan^{-1}\left(\frac{\Delta V_L - \Delta V_C}{\Delta V_R}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{I_{\max}X_L - I_{\max}X_C}{I_{\max}R}\right)$ **이므로**

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{X_L - X_C}{R}\right) \quad [\text{위상각 관계식}]$$

(3) RMS 전류, RMS 전압

교류 회로에서 중요한 개념 중 하나는 **rms 전류(rms current)**이다. rms는 root-mean-square 즉 제곱-평균-제곱근을 나타낸다. 즉 rms 전류는 전류의 제곱-평균-제곱근을 말한다. 교류 회로에서는 직류와 달리 한 주기 동안 어느 한 순간에서만 전류가 최댓값 I_{\max} 를 가진다. 따라서 rms 전류를 이용하여 전류의 시간에 대한 평균값을 이용하면 교류 회로의 여러 상황에서 보다 실용적이다.

정의에 의해 $I_{rms} = \sqrt{(i)_{avg}^2} = \sqrt{(I_{\max}^2)_{avg}(\sin^2\omega t)_{avg}}$ 이고, $\sin^2\omega t$ 의 시간에 대한 평균값은 $\frac{1}{2}$ 이므로(반각공식), i^2 의 시간에 대한 평균값은 $\frac{1}{2}I_{\max}^2$ 이 된다. 즉 rms 전류에 대하여 정리하면

$$I_{rms} = \frac{I_{\max}}{\sqrt{2}} \quad [\text{rms 전류식}]$$

마찬가지로 교류 전압도 같은 형태로 표현된다.

$$\Delta V_{rms} = \frac{\Delta V_{\max}}{\sqrt{2}} \quad [\text{rms 전압식}]$$

이제 rms 전류와 rms 전압을 평균전력 식에 대입하면,

$$P_{avg} = \frac{1}{2}(\sqrt{2}I_{rms})(\sqrt{2}\Delta V_{rms})\cos\phi = I_{rms}\Delta V_{rms}\cos\phi$$

전력 인자 $\cos\phi = I_{\max}\frac{R}{\Delta V_{\max}} = \frac{R}{Z}$ 이고, $\Delta V_{rms} = I_{rms}Z$ 이므로

$$P_{avg} = I_{rms}^2 R = \frac{\Delta V_{rms}^2}{R} \quad [\text{평균전력 식}]$$

$\phi = 0$ 인 경우 $\cos\phi = 1$, 즉 부하가 순수한 저항성일 때 $P_{avg} = I_s \Delta V_{rms}$ 이다.

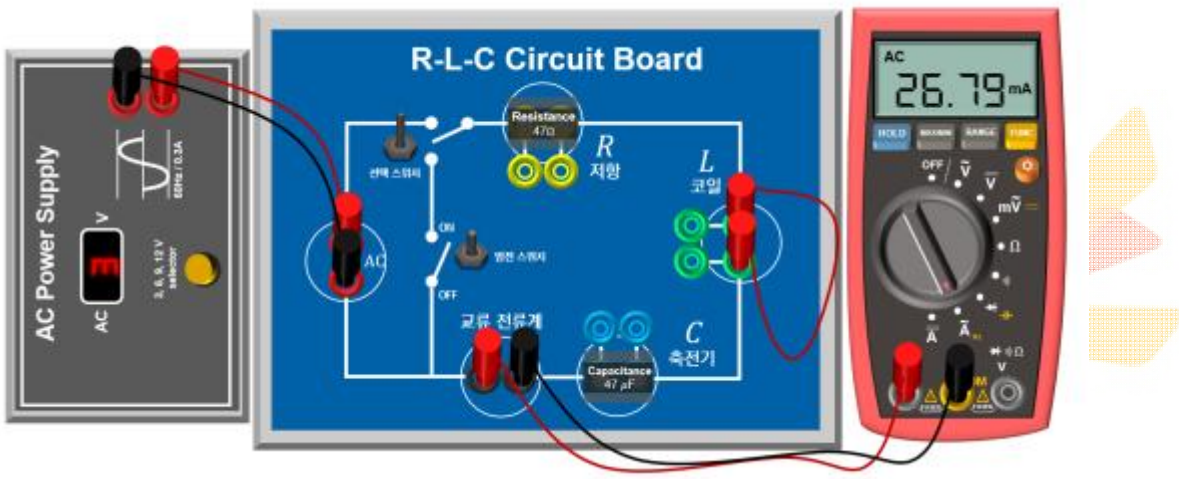
rms값을 사용하는 이유 중에 하나는, **교류 전류계와 전압계의 눈금은 rms 값을 읽도록 만들어졌기 때문**이다. 대부분의 멀티미터 또한 특별한 설정을 하지 않는 한 교류 전류 또는 전압의 rms값을 읽는다. **※ 이 실험에서 측정된 값들도 모두 rms값이기 때문에 각각 최댓값을 논하려면 $\sqrt{2}$ 를 곱한 값을 사용해야 한다.**

실험 방법

[실험1] R-C회로

일반물리학및실험2 실험실습용 / 무단 전재 및 재배포 금지

- (1) 회로를 다음과 같이 구성한 후 AC전원 공급장치의 전원을 3V에 맞춘다.
- (2) 멀티미터를 전압 측정에 맞추고 리드선을 저항 양단에 꽂고 저항에 걸리는 전압 $\Delta V_{R,rms}$ 을 기록한다. 다시 축전기 양단에 꽂고 축전기에 걸리는 전압 $\Delta V_{C,rms}$ 을 기록한다.
- (3) 멀티미터를 전류 측정에 맞추고 리드선을 옮겨 꽂아 회로에 흐르는 전류 I_{rms} 를 측정한다.
- (4) 이론값을 이용해 위상차 도표를 그린다.
- (5) 실험값과 이론값에 의한 위상각 ϕ 을 비교한다.
전원 $\Delta V_{max} = 3V$, 진동수 $f = 60Hz$



실험값 (멀티미터 측정값 및 측정값에 기반한 계산값)

$\Delta V_{R,rms}$ (V)	$\Delta V_{C,rms}$ (V)	I_{rms} (mA)	ΔV_R (V)	ΔV_C (V)	ΔV_{max} (V)	I (mA)	Z (Ω)	ϕ ($^\circ$)

이론값

X_C (Ω)	ΔV_R (V)	ΔV_C (V)	I (mA)	Z (Ω)	ϕ ($^\circ$)	위상각 ϕ 간 오차율 (%)

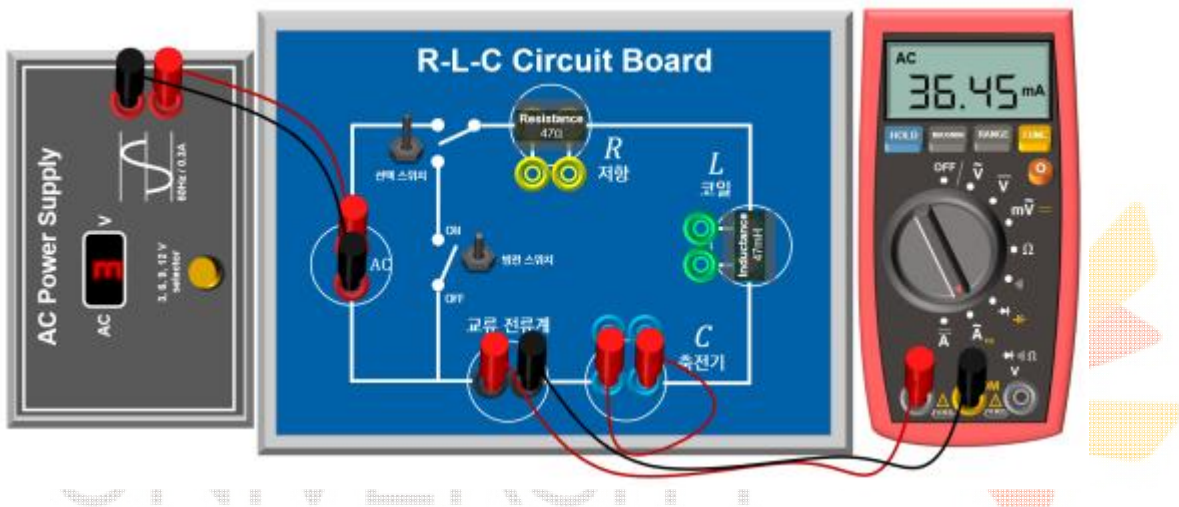
$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{X_L - X_C}{R} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{-X_C}{R} \right)$$

※ 위상각이 음수일 경우, 오차를 구할 때 각각의 절댓값으로 비교한다.

일반물리학및실험2 실험실습용 / 무단 전재 및 재배포 금지

[실험2] R-L회로

- (1) 회로를 다음과 같이 구성한 후 AC전원 공급장치의 전원을 3V에 맞춘다.
 - (2) 멀티미터를 전압 측정에 맞추고 리드선을 저항 양단에 꽂고 저항에 걸리는 전압 $\Delta V_{R,rms}$ 을 기록한다. 다시 코일 양단에 꽂고 코일에 걸리는 전압 $\Delta V_{L,rms}$ 을 기록한다.
 - (3) 멀티미터를 전류 측정에 맞추고 리드선을 옮겨 꽃아 회로에 흐르는 전류 I_{rms} 를 측정한다.
 - (4) 이론값을 이용해 위상차 도표를 그린다.
 - (5) 실험값과 이론값에 의한 위상각 ϕ 을 비교한다.
- 전원 $\Delta V_{max} = 3V$, 진동수 $f = 60Hz$



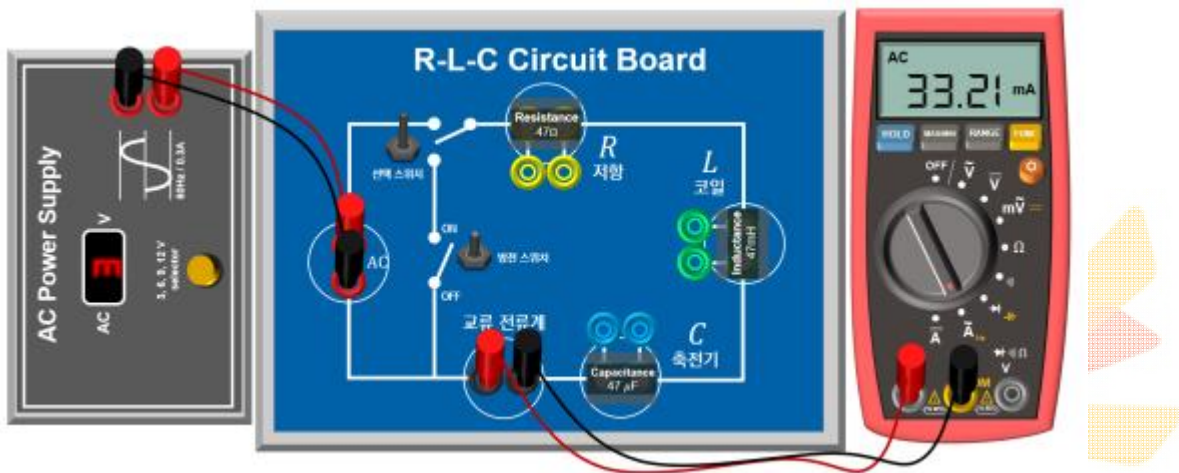
실험값 (멀티미터 측정값 및 측정값에 기반한 계산값)								
$\Delta V_{R,rms}$ (V)	$\Delta V_{L,rms}$ (V)	I_{rms} (mA)	ΔV_R (V)	ΔV_L (V)	ΔV_{max} (V)	I (mA)	Z (Ω)	ϕ ($^\circ$)

이론값						위상각 ϕ 간 오차율 (%)
X_L (Ω)	ΔV_R (V)	ΔV_L (V)	I (mA)	Z (Ω)	ϕ ($^\circ$)	

$$\ast \phi = \tan^{-1} \left(\frac{X_L - X_C}{R} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{X_L}{R} \right)$$

[실험3] R-L-C회로

- (1) 회로를 다음과 같이 구성한 후 AC전원 공급장치의 전원을 3V에 맞춘다.
 - (2) 멀티미터를 전압 측정에 맞추고 리드선을 저항 양단에 꽂고 저항에 걸리는 전압 $\Delta V_{R,rms}$ 을 기록한다. 코일과 축전기 양단에 걸리는 전압 $\Delta V_{L,rms}$, $\Delta V_{C,rms}$ 을 각각 기록한다.
 - (3) 멀티미터를 전류 측정에 맞추고 리드선을 옮겨 꽂아 회로에 흐르는 전류 I_{rms} 를 측정한다.
 - (4) 이론값을 이용해 위상차 도표를 그린다.
 - (5) 실험값과 이론값에 의한 위상각 ϕ 을 비교한다.
- 전원 $\Delta V_{max} = 3V$, 진동수 $f = 60Hz$



실험값 (멀티미터 측정값 및 측정값에 기반한 계산값)										
$\Delta V_{R,rms}$ (V)	$\Delta V_{L,rms}$ (V)	$\Delta V_{C,rms}$ (V)	I_{rms} (mA)	ΔV_R (V)	ΔV_L (V)	ΔV_C (V)	ΔV_{max} (V)	I (mA)	Z (Ω)	ϕ ($^\circ$)

이론값								위상각 ϕ 간 오차율 (%)
X_L (Ω)	X_C (Ω)	ΔV_R (V)	ΔV_L (V)	ΔV_C (V)	I (mA)	Z (Ω)	ϕ ($^\circ$)	

주의사항

1. 회로에 고전압을 인가하여 과전류가 흐르지 않도록 한다.
2. 전류계(멀티미터) 사용 시 적절한 범위를 설정하여 사용하도록 한다.