

전기회로설계및실험 II

한경대학교

한경대학교 전기전자제어공학과
유동상 교수

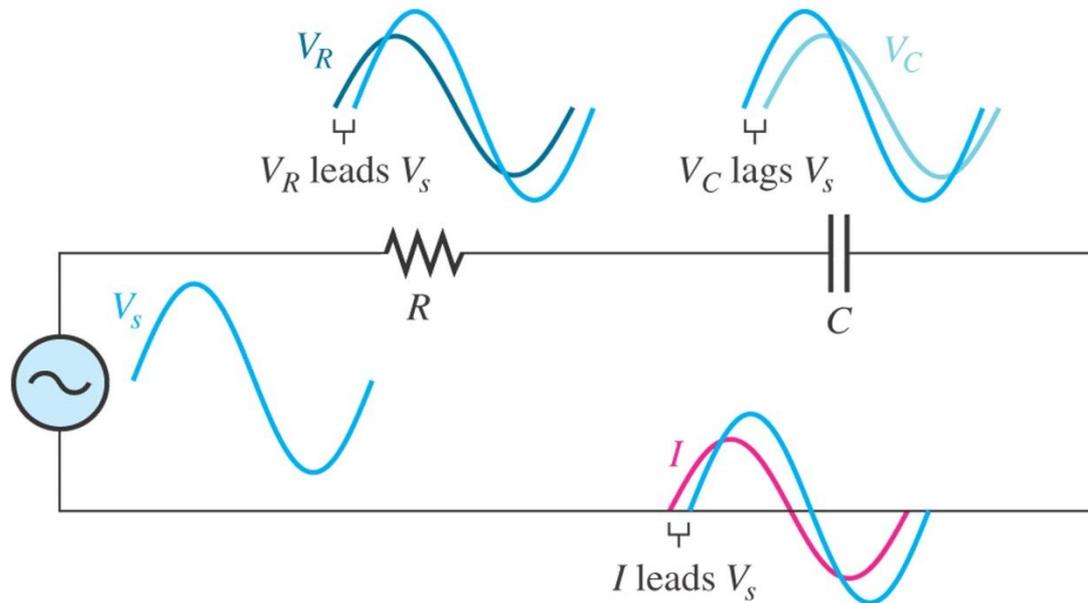
RC 회로

실험 개요

- 실험 목적
 - RC 직·병렬 회로의 교류특성 이해 및 임피던스 계산
- 강의 내용
 - RC 직렬회로
 - RC 병렬회로
- 오늘의 실험
 - Multisim을 이용한 시뮬레이션
 - 브레드보드에 회로 구성을 통한 실험 및 계측

RC 직렬회로

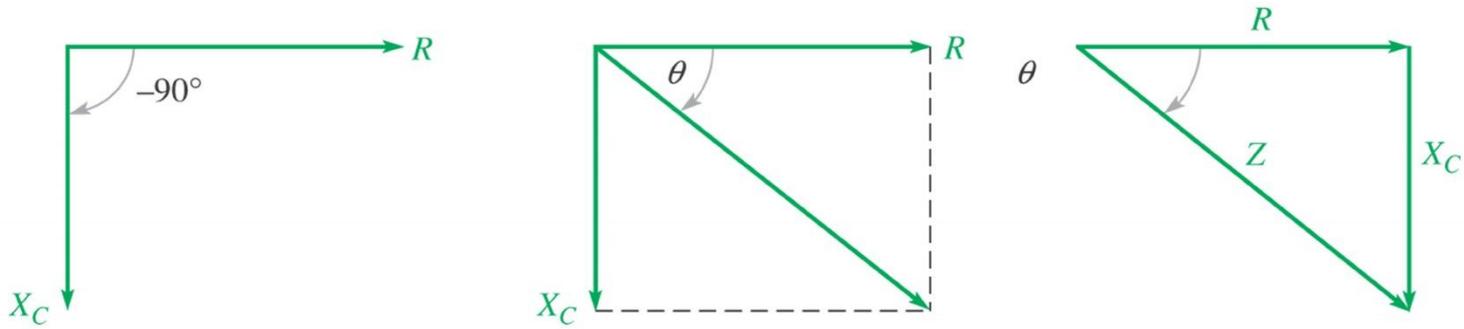
- RC 직렬회로에서의 정현파 응답



- 저항과 커패시터가 직렬로 연결된 경우 전원 전압과 전원 전류 사이의 위상각은 0에서 90도 사이에 있으며, 저항값과 리액턴스 값에 따라 변함

RC 직렬회로

- RC 직렬회로에서의 임피던스



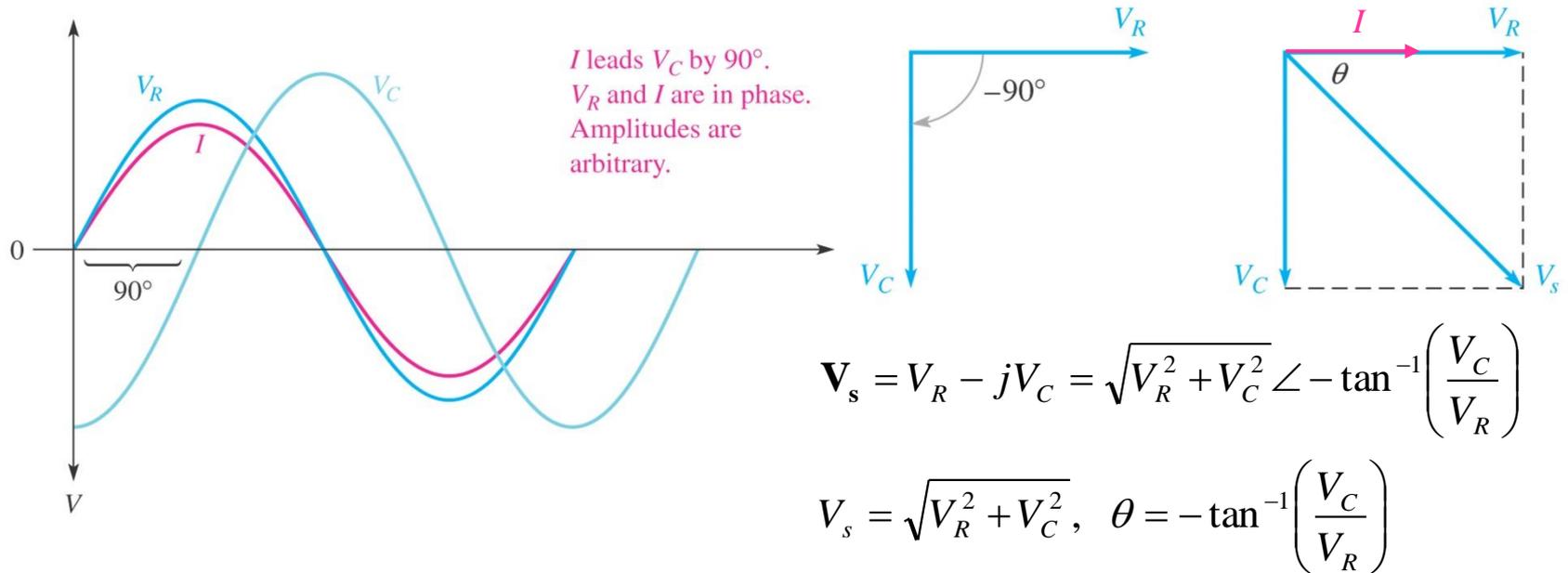
$$\mathbf{Z} = R - jX_C$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}, \quad \theta = -\tan^{-1}\left(\frac{X_C}{R}\right)$$

$$\mathbf{Z} = \sqrt{R^2 + X_C^2} \angle -\tan^{-1}\left(\frac{X_C}{R}\right)$$

RC 직렬회로

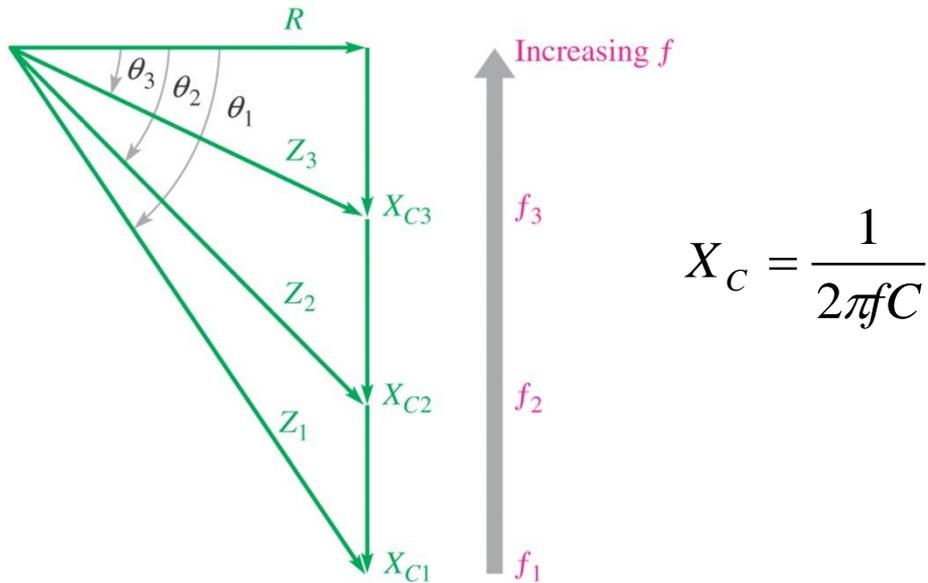
- RC 직렬회로에서의 전압과 전류의 위상 관계



- 저항 전압은 전류와 동상 (in phase)을 이루고, 커패시터 전압은 전류보다 위상이 90도 지연되므로, 저항 전압과 커패시터 전압은 90도의 위상차가 있음
- 전원 전압은 저항 전압과 커패시터 전압의 합 벡터로 구성되며 따라서 전원 전압은 저항 전압보다 θ 만큼 위상이 지연됨
- 위상각 θ 는 임피던스에서 위상각과 동일

RC 직렬회로

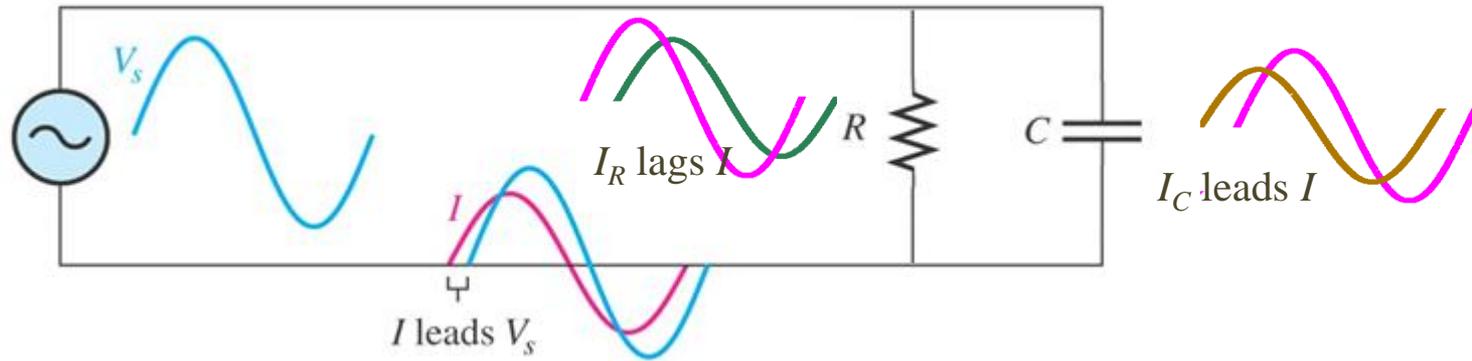
- 주파수 변화에 따른 리액턴스 및 임피던스 변화



- 용량성 리액턴스 X_C 은 주파수에 반비례하므로, 주파수가 증가함에 따라 리액턴스가 작아지고 따라서 임피던스도 작아짐
- 또한 리액턴스가 작아짐에 따라 위상각도 작아짐

RC 병렬회로

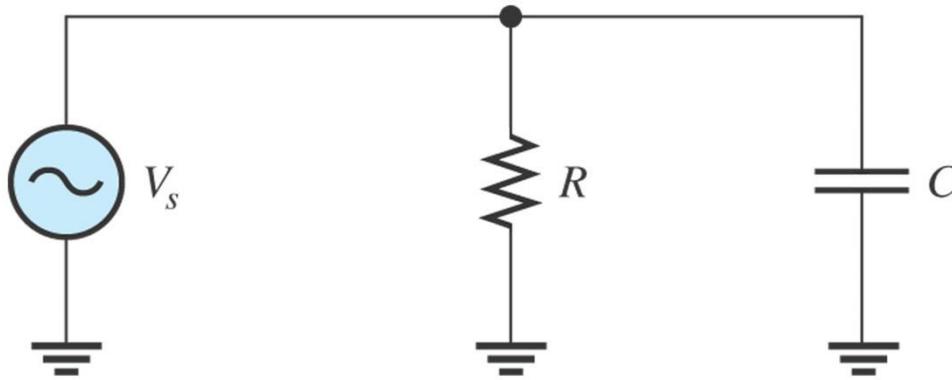
- RC 병렬회로에서의 정현파 응답



- 저항과 커패시터가 병렬로 연결된 경우 전원 전압과 전원 전류 사이의 위상각은 0에서 90도 사이에 있으며, 저항값과 리액턴스 값에 따라 변함

RC 병렬회로

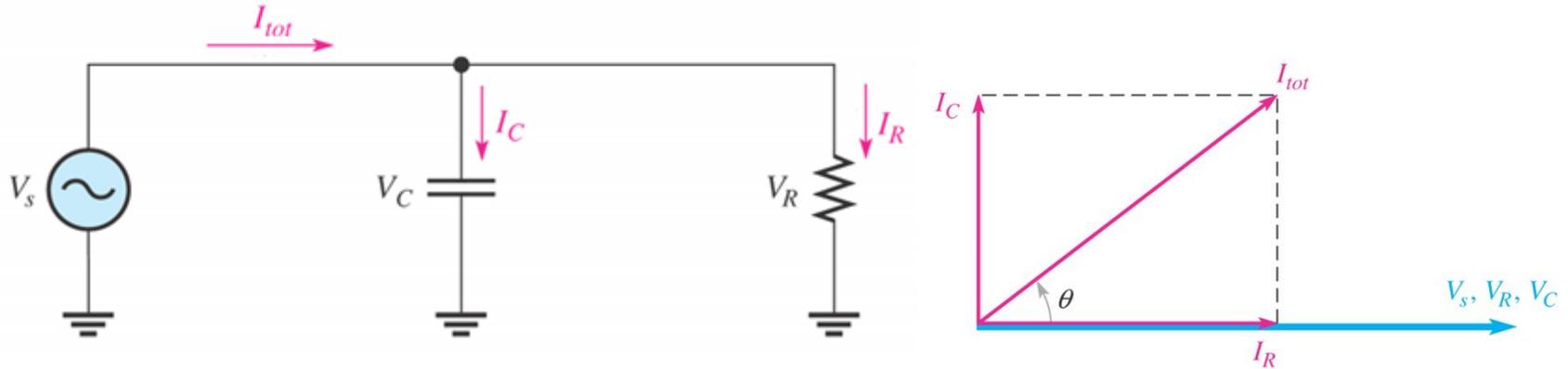
- RC 병렬회로에서의 임피던스



$$\begin{aligned} \mathbf{Z} &= \frac{R(-jX_C)}{R - jX_C} = \frac{RX_C \angle -90^\circ}{\sqrt{R^2 + X_C^2} \angle -\tan^{-1}\left(\frac{X_C}{R}\right)} \\ &= \frac{RX_C}{\sqrt{R^2 + X_C^2}} \angle \left(-90^\circ + \tan^{-1}\left(\frac{X_C}{R}\right)\right) = \frac{RX_C}{\sqrt{R^2 + X_C^2}} \angle \left(-\tan^{-1}\left(\frac{R}{X_C}\right)\right) \end{aligned}$$

RC 병렬회로

- RC 병렬회로에서의 전압과 전류의 위상 관계

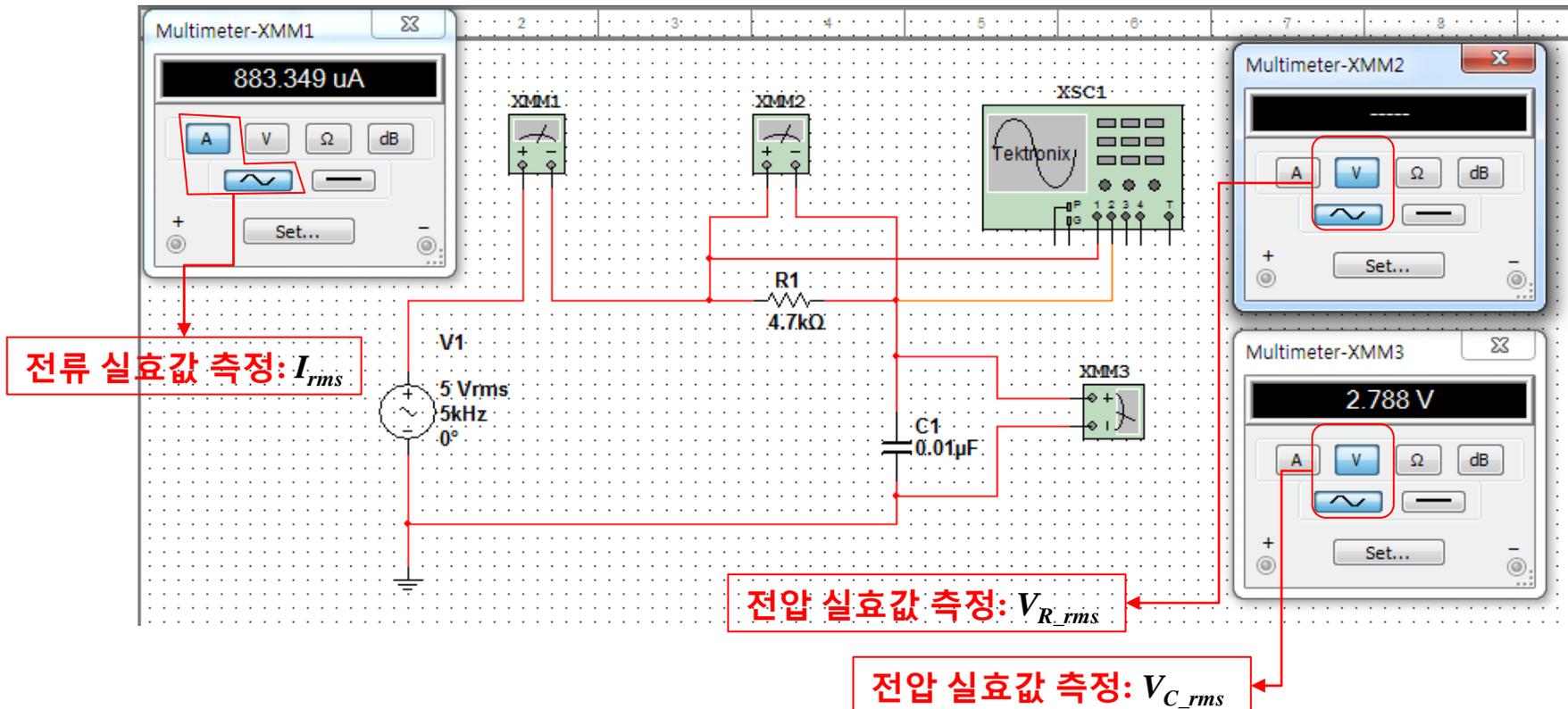


$$\mathbf{I}_{total} = I_R + jI_C = \sqrt{I_R^2 + I_C^2} \angle \tan^{-1}\left(\frac{I_C}{I_R}\right), \quad I_{total} = \sqrt{I_R^2 + I_C^2}, \quad \theta = \tan^{-1}\left(\frac{I_C}{I_R}\right)$$

- 저항 전류는 전원전압과 동상 (in phase)을 이루고, 커패시터 전류는 전원전압보다 위상이 90도 앞서게 되므로, 저항 전류와 커패시터 전류는 90도의 위상차가 있음
- 전원 전류는 저항 전류와 커패시터 전류의 합 벡터로 구성되며 따라서 전원 전류는 저항 전류보다 θ 만큼 위상이 앞섬
- 이때 위상각 θ 는 임피던스에서 위상각과 크기가 동일하며 부호는 반대

RC 직렬 회로 시뮬레이션

- 교류전원 모델
 - AC Power를 이용하여 5Vrms와 5kHz로 설정
 - 전류 실효값 측정을 위해 멀티미터를 직렬 연결한 후 교류 전류 측정 모드로 설정
 - 전압 실효값 측정을 위해서는 교류 전압 측정 모드로 설정



RC 직렬 회로 시뮬레이션

- 시뮬레이션 수행

- 측정값 전류값과 전압값을 이용하여 저항의 저항값, 커패시터의 리액턴스, 직렬회로의 전체 임피던스 크기와 위상 계산 (교재에 나온 수식은 틀린 수식이므로 무시)

- 저항
$$R = \frac{V_{R_rms}}{I_{rms}}$$

- 리액턴스
$$X_C = \frac{V_{C_rms}}{I_{rms}} = \frac{1}{2\pi fC}$$

- 임피던스 크기
$$Z = \frac{V_1}{I_{rms}} = \sqrt{R^2 + X_C^2} \quad (V_1 : \text{전원전압 실효값})$$

- 임피던스 위상
$$\theta = -\tan^{-1} \frac{X_C}{R} = -\tan^{-1} \frac{V_{C_rms}}{V_{R_rms}} = -\tan^{-1} \frac{1}{2\pi fCR}$$

- 임피던스
$$\mathbf{Z} = R - jX_C = R - j\frac{1}{\omega C} = Z \angle \theta$$

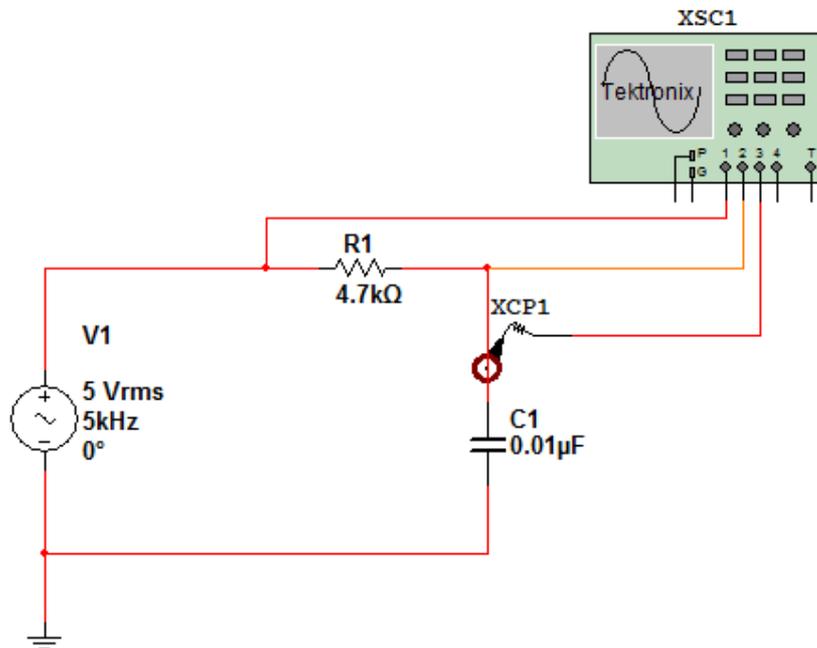
RC 직렬 회로 시뮬레이션

- 시뮬레이션 결과 기록

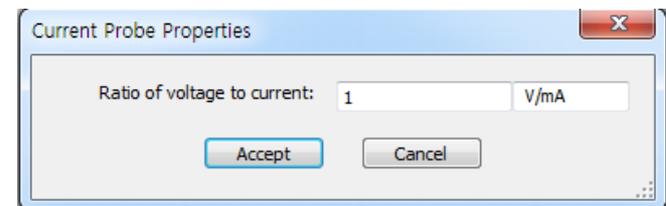
C [μF]	주파수 [kHz]	I_{rms} [mA]	$V_{R_{rms}}$ [V]	$V_{C_{rms}}$ [V]	R [Ω]	X_C [Ω]	Z [Ω]	θ [degree]
0.01	5							
	8							
	10							
0.02	5							
	8							
	10							
0.03	5							
	8							
	10							

RC 직렬 회로 시뮬레이션

- 오실로스코프를 이용한 파형 관찰
 - CH1은 전원전압 파형 측정
 - CH2는 커패시터 전압 파형 측정
 - CH3는 Current Probe를 이용하여 전류 파형 측정
 - 오실로스코프의 Math Menu 버튼을 누른 후 Operation 버튼을 눌러 “-” 선택하고 CH1-CH2으로 설정 (전원 전압에서 커패시터 전압을 빼므로 저항 전압을 연산에 의해 파형 측정 가능)

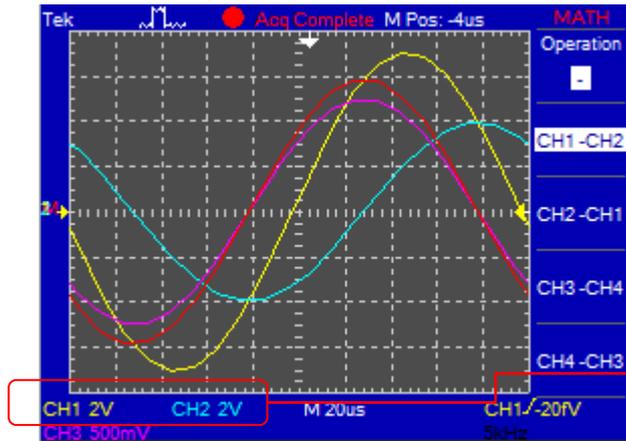


Current Probe를 더블클릭하여 전압/전류 비 설정



RC 직렬 회로 시뮬레이션

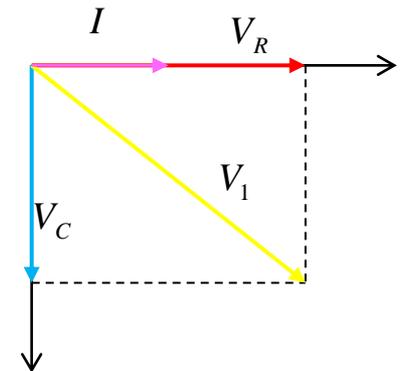
- 오실로스코프를 이용한 위상 관찰



- 노란색 파형 (CH1) : 전원 전압 v_1
- 하늘색 파형 (CH2) : 커패시터 전압 v_C
- 빨간색 파형 (CH1-CH2) : 저항 전압 v_R
- 분홍색 파형 (CH3) : 전원 전류 i

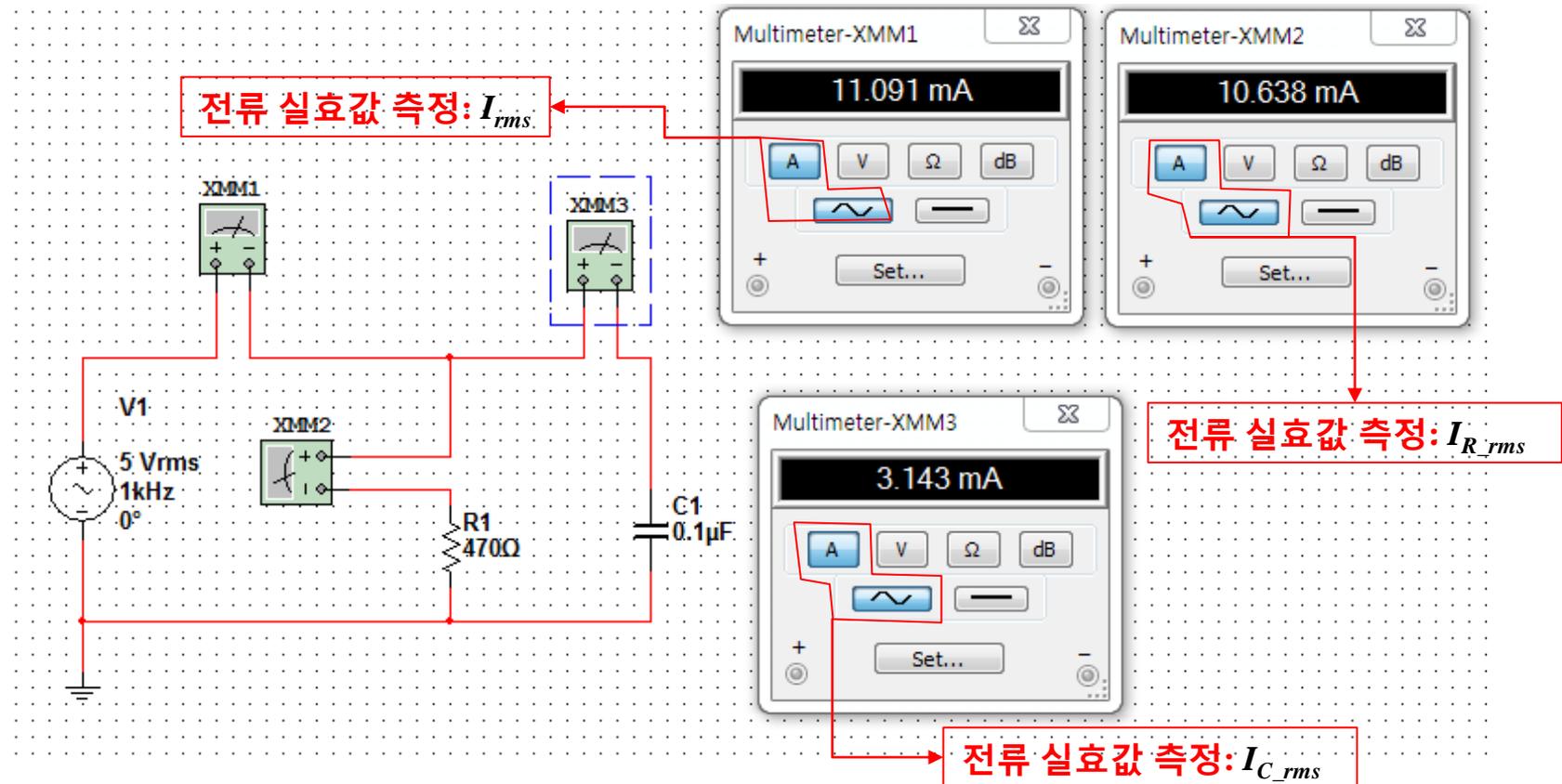
CH1과 CH2의 수직 눈금을 같게 설정해야 CH1-CH2 연산의 의미가 있음

- 커패시터 전압은 전원 전류 (= 커패시터 전류 = 저항 전류) 보다 위상이 90도 (1/4 주기) 뒤져 있음
- 저항 전압은 전원 전류와 위상이 같음
- 저항 전압은 전원 전압보다 위상이 앞서 있음
- 커패시터 전압은 전원 전압보다 위상이 뒤져 있음
- 전원 전압은 전원 전류보다 위상 뒤져 있음



RC 병렬 회로 시뮬레이션

- 교류전원 모델
 - AC Power를 이용하여 5Vrms와 1kHz로 설정
 - 전류 실효값 측정을 위해 멀티미터를 직렬 연결한 후 교류 전류



RC 병렬 회로 시뮬레이션

- 시뮬레이션 수행

- 측정값 전류값과 전압값을 이용하여 저항의 저항값, 커패시터의 리액턴스, 직렬회로의 전체 임피던스 크기와 위상 계산 (교재에 나온 수식은 틀린 수식이므로 무시)

- 저항 $R = \frac{V_1}{I_{R_rms}}$ (V1: 전원전압 실효값)

- 리액턴스 $X_C = \frac{V_1}{I_{C_rms}} = \frac{1}{2\pi fC}$

- 임피던스 크기 $Z = \frac{V_1}{I_{rms}} = \frac{RX_C}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$

- 임피던스 위상 $\theta = -\tan^{-1} \frac{R}{X_C} = -\tan^{-1} \frac{I_{C_rms}}{I_{R_rms}} = -\tan^{-1} 2\pi fCR$

- 임피던스 $\mathbf{Z} = Z \angle \theta = Z \cos \theta + jZ \sin \theta$

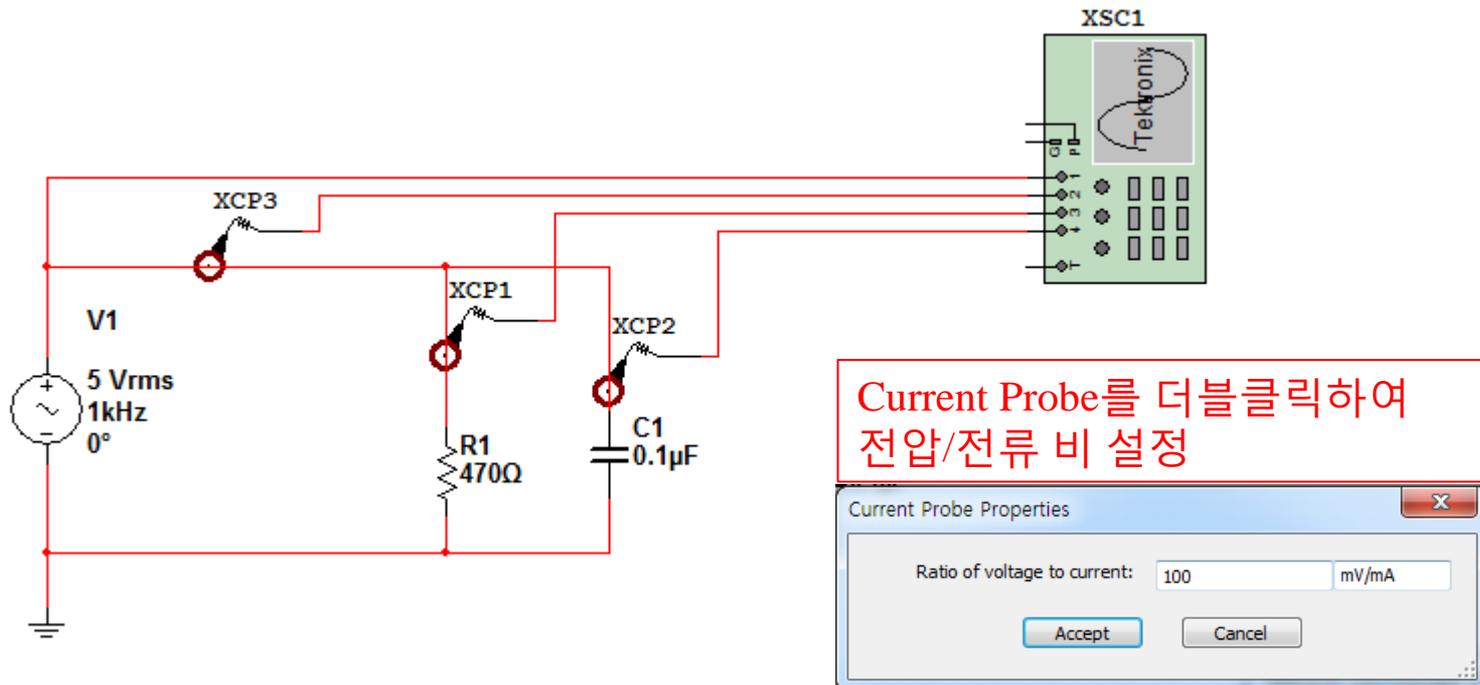
RC 병렬 회로 시뮬레이션

- 시뮬레이션 결과 기록

C [μF]	주파수 [kHz]	I_{rms} [mA]	$I_{R,rms}$ [mA]	$I_{C,rms}$ [mA]	Re(Z) [Ω]	Im(Z) [Ω]	Z [Ω]	θ [degree]
0.1	1							
	2							
	3							
0.2	1							
	2							
	3							
0.3	1							
	2							
	3							

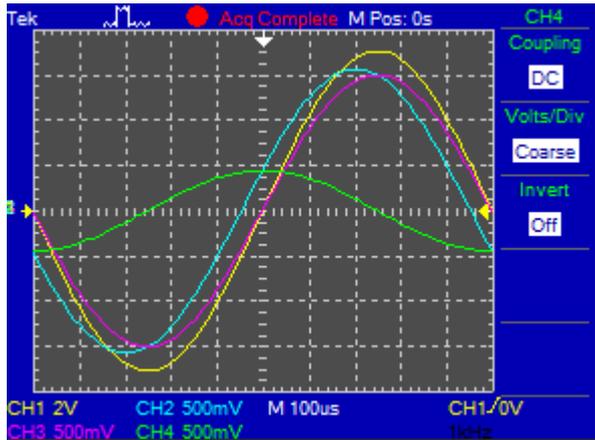
RC 병렬 회로 시뮬레이션

- 오실로스코프를 이용한 파형 관찰
 - CH1은 전원전압 파형 측정
 - CH2는 Current Probe를 이용하여 전원 전류 파형 측정
 - CH3는 Current Probe를 이용하여 저항 전류 파형 측정
 - CH4는 Current Probe를 이용하여 커패시터 전류 파형 측정



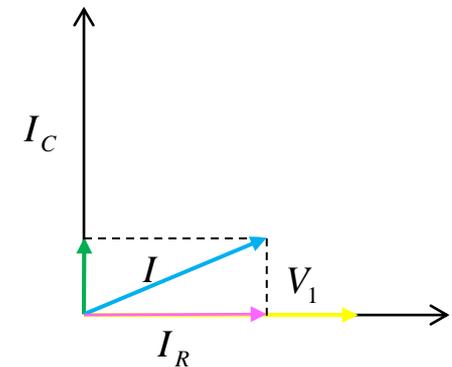
RC 직렬 회로 시뮬레이션

- 오실로스코프를 이용한 위상 관찰



- 노란색 파형 (CH1) : 전원 전압 v_1
- 하늘색 파형 (CH2) : 전원 전류 i
- 분홍색 파형 (CH3) : 저항 전류 i_R
- 초록색 파형 (CH4) : 커패시터 전류 i_C

- 전원 전압(=커패시터 전압=저항 전압)은 커패시터 전류 보다 위상이 90도 (1/4 주기) 뒤져 있음
- 커패시터 전류는 전원 전류보다 위상이 앞서 있음
- 저항 전류는 전원 전류보다 위상이 뒤져 있음
- 저항 전류는 전원 전압과 위상이 같음
- 전원 전류는 전원 전압보다 위상이 앞서 있음



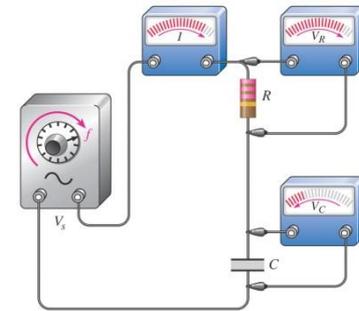
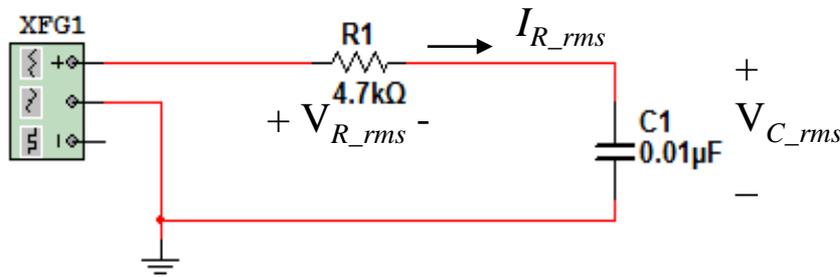
RC 직렬 회로 측정 실험

1. 함수발생기 설정

- 멀티미터의 ACV 버튼을 누르고, 다시 Shift 버튼을 누른 후 AC+Hz 버튼을 누른 다음에 함수발생기와 연결하여 멀티미터에 5kHz와 $5V_{rms}$ 가 표시되도록 함수발생기를 조정

2. 실험 회로 구성

- 함수발생기, 저항 및 커패시터를 그림과 같이 직렬 연결



3. 전압 및 전류의 실효값 측정

- 멀티미터의 ACA 버튼을 누른 후 프로브를 저항과 직렬 연결하여 저항에 흐르는 전류의 실효값을 측정 $\rightarrow I_{R_{rms}}$
- 멀티미터의 ACV 버튼을 누른 후 프로브를 커패시터와 저항 양단에 걸리는 전압의 실효값을 각각 측정 $\rightarrow V_{C_{rms}}, V_{R_{rms}}$

RC 직렬 회로 측정 실험

4. 임피던스 및 위상각 계산

- 저항 $R = \frac{V_{R_rms}}{I_{rms}}$
- 리액턴스 $X_C = \frac{V_{C_rms}}{I_{rms}} = \frac{1}{2\pi f C}$
- 임피던스 크기 $Z = \frac{V_1}{I_{rms}} = \sqrt{R^2 + X_C^2}$ (V1 : 전원전압 실효값)
- 임피던스 위상 $\theta = -\tan^{-1} \frac{X_C}{R} = -\tan^{-1} \frac{V_{C_rms}}{V_{R_rms}} = -\tan^{-1} \frac{1}{2\pi f C R}$

5. 실험 결과 기록

C [μF]	주파수 [kHz]	I_{rms} [mA]	V_{R_rms} [V]	V_{C_rms} [V]	R [Ω]	X_C [Ω]	Z [Ω]	θ [degree]
0.01	5							
	10							
0.02	5							
	10							

- 다른 주파수 및 커패시터에 대해 Step 1부터 Step 5까지 반복 수행

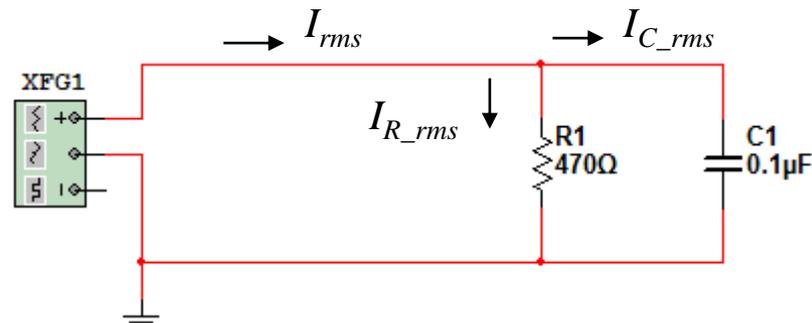
RC 병렬 회로 측정 실험

1. 함수발생기 설정

- 멀티미터의 ACV 버튼을 누르고, 다시 Shift 버튼을 누른 후 AC+Hz 버튼을 누른 다음에 함수발생기와 연결하여 멀티미터에 1kHz와 $5V_{rms}$ 가 표시되도록 함수발생기를 조정

2. 실험 회로 구성

- 함수발생기, 저항 및 커패시터를 그림과 같이 병렬 연결



3. 전압 및 전류의 실효값 측정

- 멀티미터의 ACA 버튼을 누른 후 프로브를 전원과 직렬 연결하여 전원 전류의 실효값을 측정 $\rightarrow I_{rms}$
- 같은 방법으로 저항과 커패시터에 흐르는 전류의 실효값을 측정 $\rightarrow I_{R_rms}, I_{C_rms}$

RC 병렬 회로 측정 실험

4. 임피던스 및 위상각 계산

- 저항 $R = \frac{V_1}{I_{R_rms}}$ (V1 : 전원전압 실효값)
- 리액턴스 $X_C = \frac{V_1}{I_{C_rms}} = \frac{1}{2\pi fC}$
- 임피던스 크기 $Z = \frac{V_1}{I_{rms}} = \frac{RX_C}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$
- 임피던스 위상 $\theta = -\tan^{-1} \frac{I_{C_rms}}{I_{R_rms}} = -\tan^{-1} \frac{R}{X_C} = -\tan^{-1} 2\pi fCR$

5. 실험 결과 기록

C [μF]	주파수 [kHz]	I_{rms} [mA]	I_{R_rms} [mA]	I_{C_rms} [mA]	R [Ω]	X_C [Ω]	Z [Ω]	θ [degree]
0.1	1							
	3							
0.2	1							
	3							

- 다른 주파수 및 커패시터에 대해 Step 1부터 Step 5까지 반복 수행