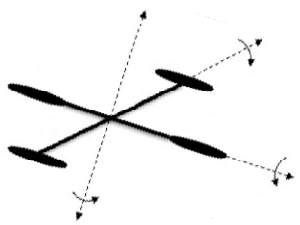

회로이론

10 장. RC 회로



10-1 RC 회로의 정현파 응답

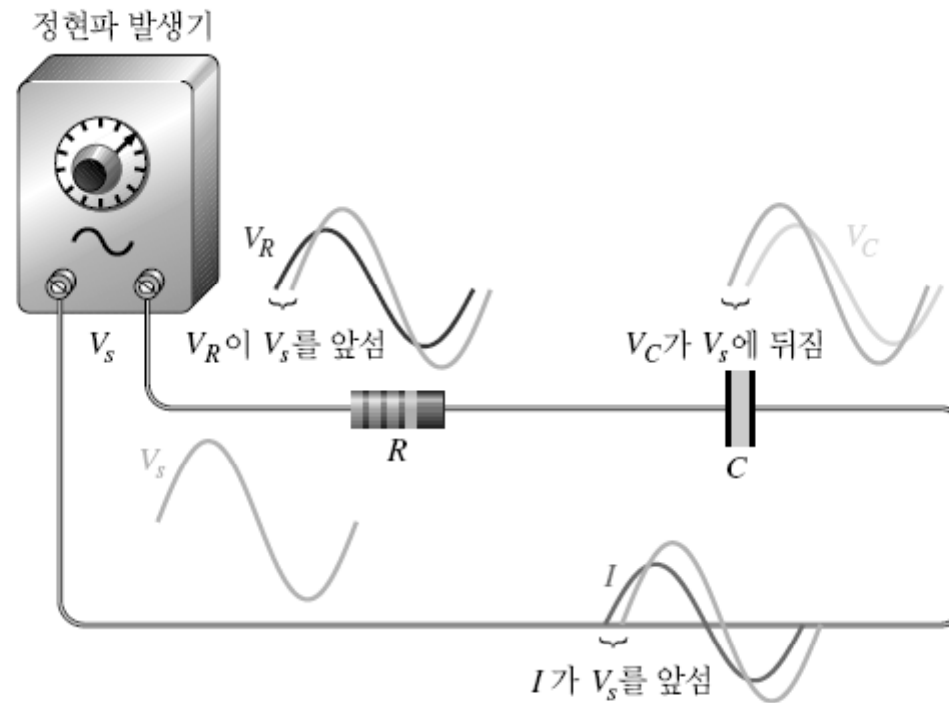
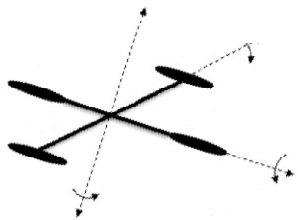


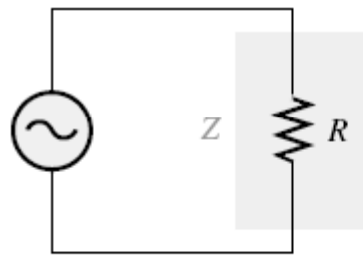
그림 10-1

전원전압 V_s 에 대하여 V_R , V_C , I 의 정현파 응답에서 일반적인 위상관계. V_R 과 I 는 동상이고 V_R 과 V_C 는 90° 위상차를 갖는다

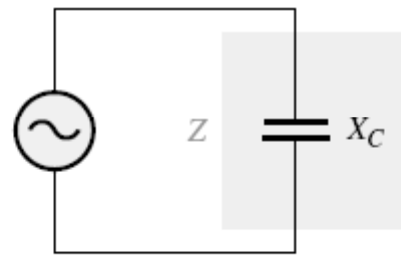


10-2 직렬 RC 회로의 임피던스와 위상각

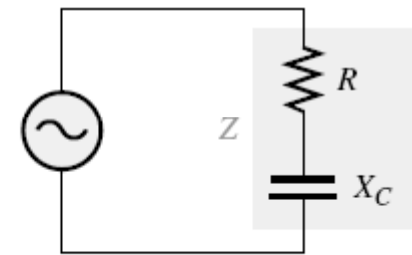
직렬 RC 회로의 **임피던스(impedance)**는 저항과 용량성 리액턴스로 구성되며 정현파 전류의 흐름을 방해하는 전체적인 성질의 정도를 표시하는 양으로서 단위는 옴(Ω)이다. **위상각(phase angle)**은 전체 전류와 전원전압 사이의 위상차를 말한다.



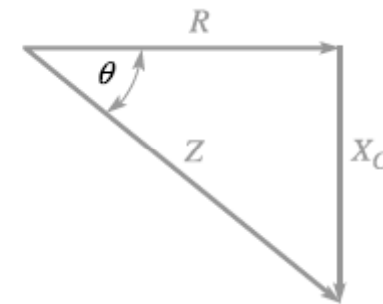
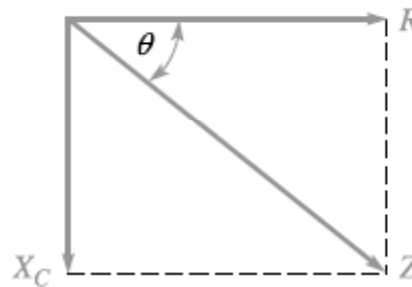
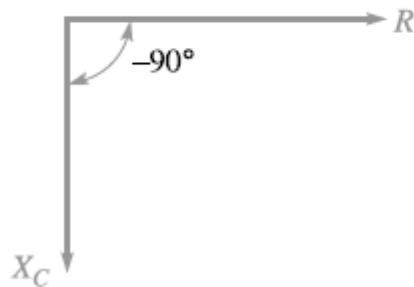
(a) $Z = R$



(b) $Z = X_C$

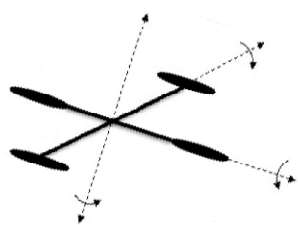


(c) Z는 R과 X_C 를 포함한다.

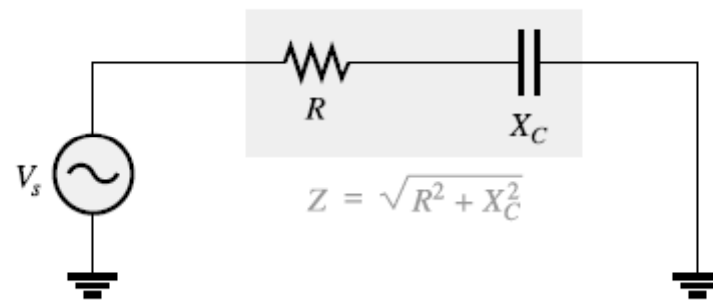


$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

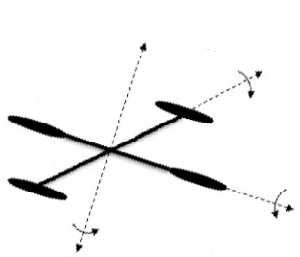
$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{X_C}{R}\right)$$



| RC 회로에 나타난 바와 같이 임피던스의 크기(Z)는 옴(Ω)으로 나타낸다.

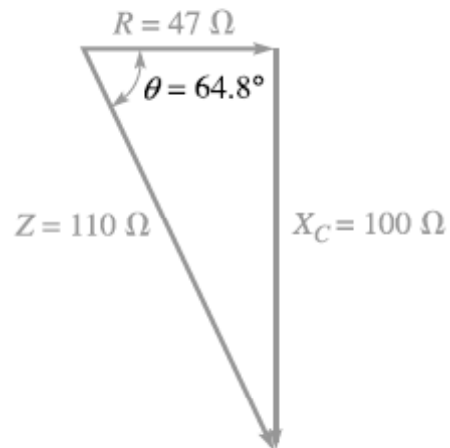
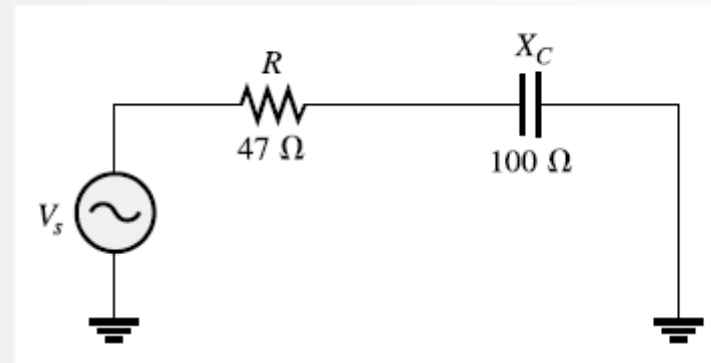


$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{X_C}{R}\right)$$



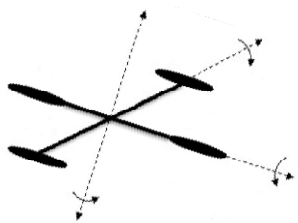
예제 10-1

그림 10-5의 RC 회로에서 임피던스와 위상각을 구하고 임피던스 삼각도를 그리시오.



$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{(47 \Omega)^2 + (100 \Omega)^2} = 110 \Omega$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{X_C}{R}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{100 \Omega}{47 \Omega}\right) = \tan^{-1}(2.13) = 64.8^\circ$$



10-3 직렬 RC 회로의 해석

옴의 법칙

$$V = IZ$$

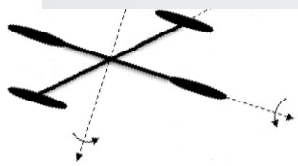
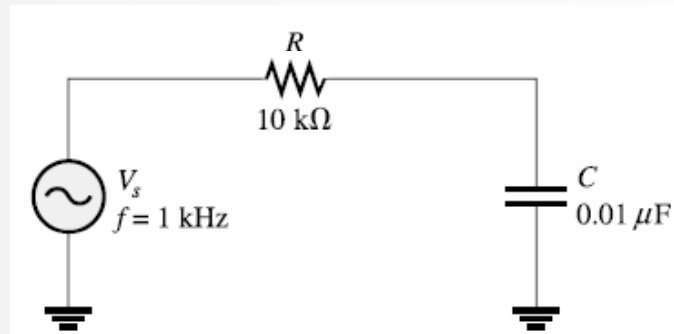
$$I = \frac{V}{Z}$$

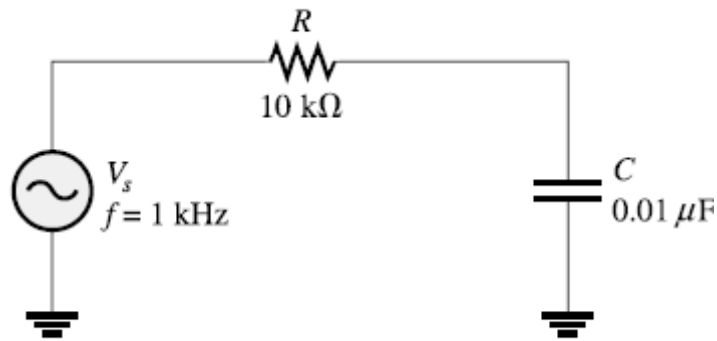
$$Z = \frac{V}{I}$$

예제 10-2

그림 10-7에서 전류가 0.2 mA일 때 전원전압과 위상각을 구하고 임피던스 삼각도를 그리시오.

그림 10-7



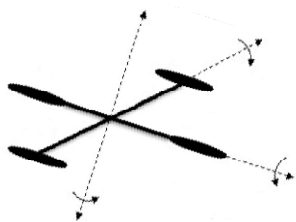
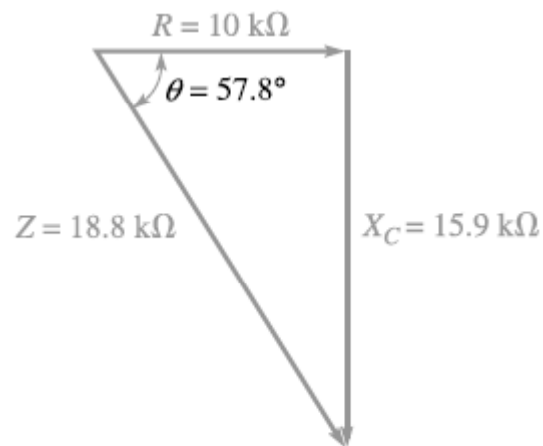


$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2\pi(1000 \text{ Hz})(0.01 \mu\text{F})} = 15.9 \text{ k}\Omega$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{(10 \text{ k}\Omega)^2 + (15.9 \text{ k}\Omega)^2} = 18.8 \text{ k}\Omega$$

$$V_s = IZ = (0.2 \text{ mA})(18.8 \text{ k}\Omega) = \mathbf{3.76 \text{ V}}$$

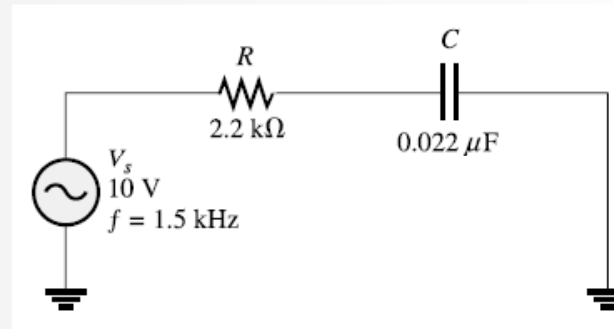
$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{X_C}{R}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{15.9 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega}\right) = \mathbf{57.8^\circ}$$



예제 10-3

그림 10-9의 RC 회로에서 전류를 구하시오.

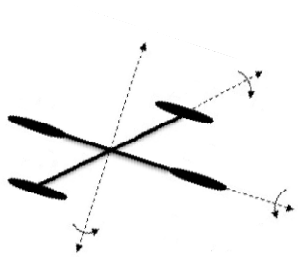
그림 10-9



$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2\pi(1.5 \text{ kHz})(0.022 \mu\text{F})} = 4.82 \text{ k}\Omega$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{(2.2 \text{ k}\Omega)^2 + (4.82 \text{ k}\Omega)^2} = 5.30 \text{ k}\Omega$$

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{10 \text{ V}}{5.30 \text{ k}\Omega} = 1.89 \text{ mA}$$



전류와 전압의 위상관계

저항 양단 전압 V_R 과 캐패시터 양단 전압 V_C

$$V_s = \sqrt{V_R^2 + V_C^2}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{V_C}{V_R}\right)$$

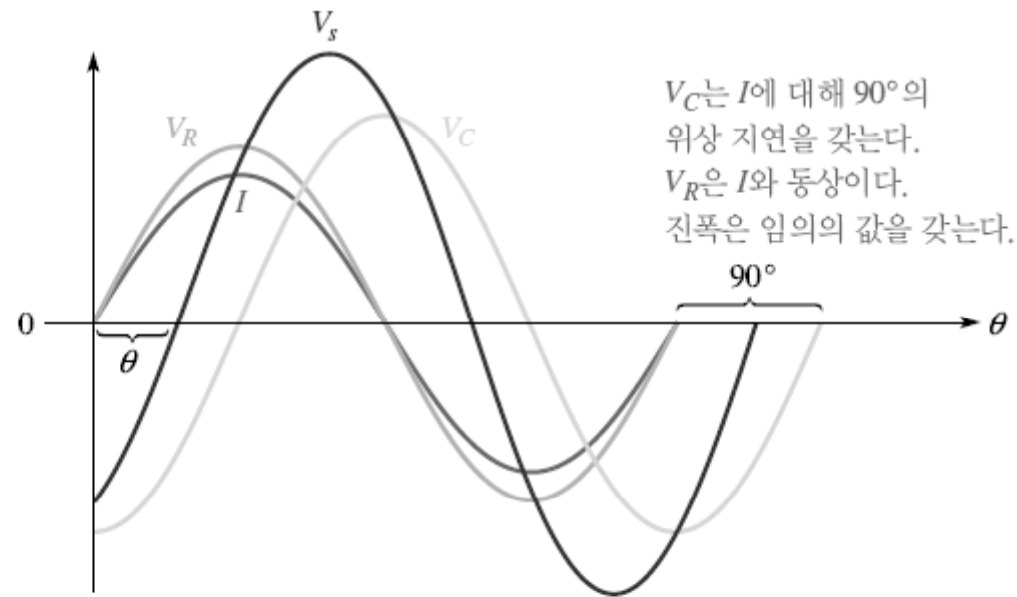
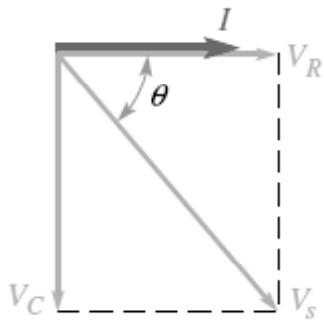
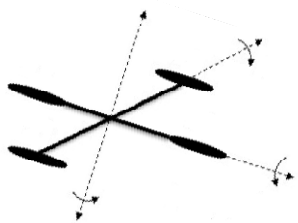


그림 10-10

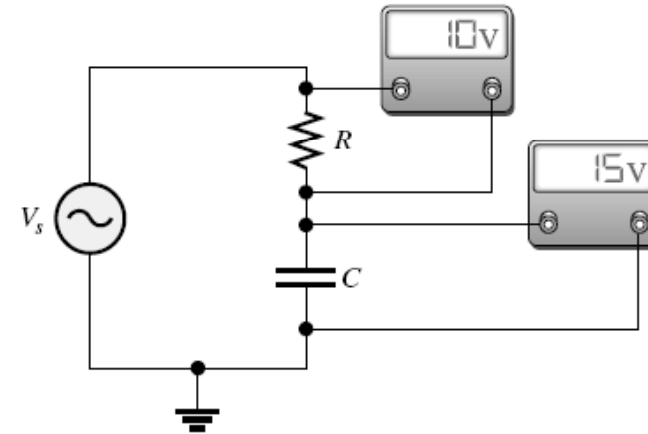
직렬 RC 회로에서 전압과 전류의 위상관계



예제 10-4

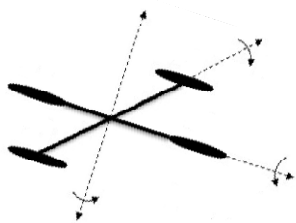
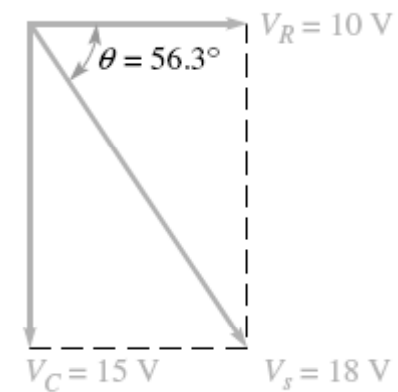
그림 10-13에서 전원전압과 위상각을 구하고 전압 페이저도를 그리시오.

그림 10-13

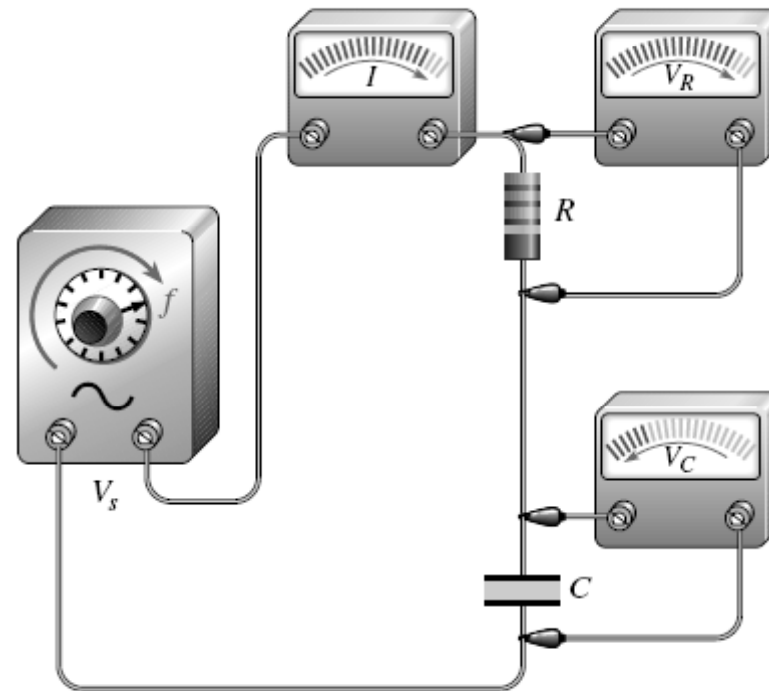


$$V_s = \sqrt{V_R^2 + V_C^2} = \sqrt{(10 \text{ V})^2 + (15 \text{ V})^2} = 18 \text{ V}$$

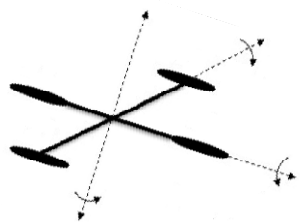
$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{V_C}{V_R} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{15 \text{ V}}{10 \text{ V}} \right) = 56.3^\circ$$

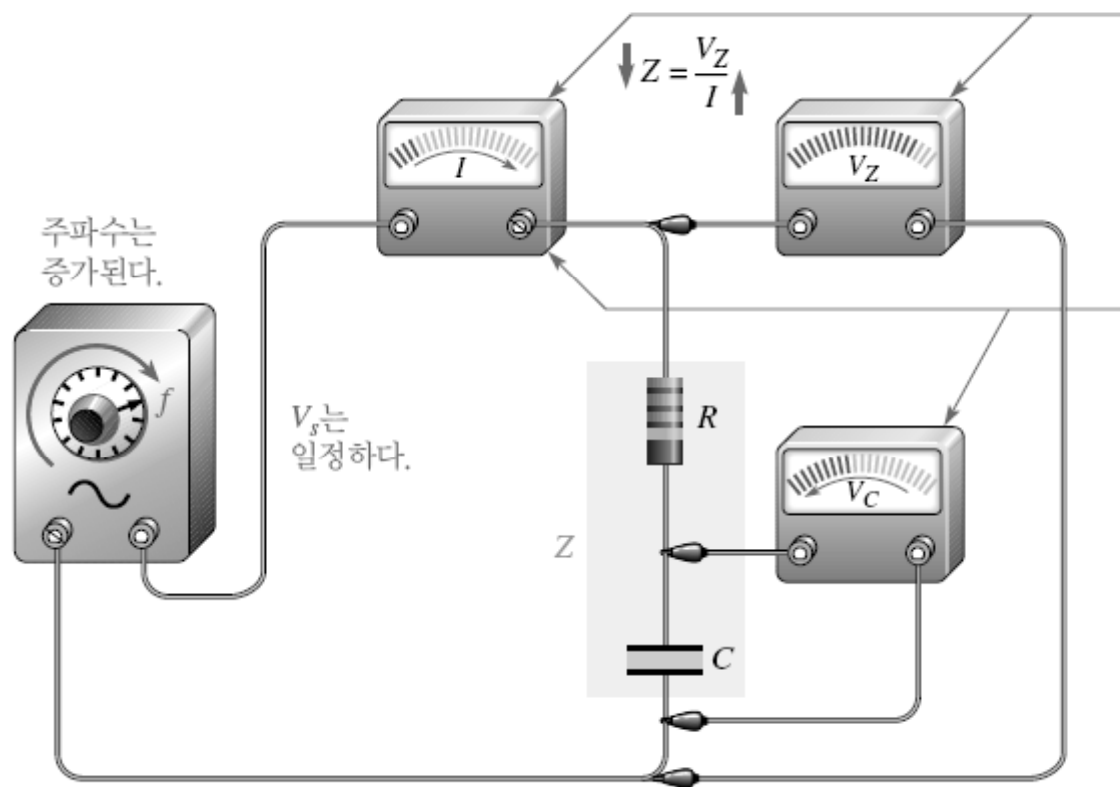


주파수값에 따른 임피던스의 변화



(a) 주파수가 증가하게 되면 X_C 가 감소함에 따라 Z 도 감소하고 따라서 I 와 V_R 은 증가하고 V_C 는 감소한다.





이 2개의 전류/전압계를 관찰함으로써 Z 의 변화를 알 수 있다. I 가 증가하고 V_Z 가 일정하면 Z 는 감소한다.

이 2개의 전류/전압계를 관찰함으로써 X_C 의 변화를 알 수 있다. I 가 증가하고 V_C 가 감소하면 X_C 가 감소한다.

그림 10-16

주파수에 따른 Z 와 X_C 의 변화를 보여주는 예

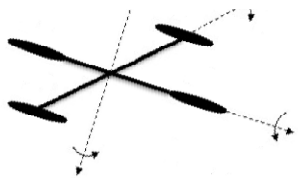
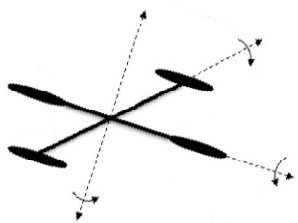
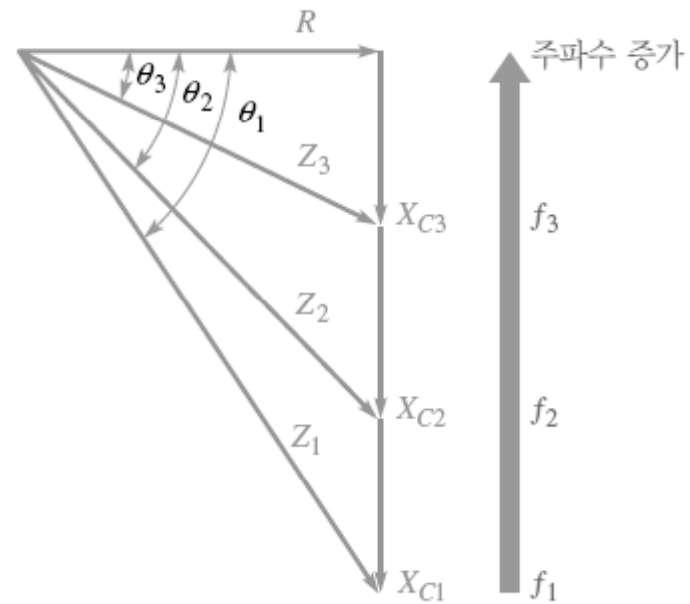


그림 10-17

주파수가 증가하면 X_C 가 감소하고 Z 가 감소하고 θ 가 감소한다. 각 주파수값은 다른 임피던스 삼각도를 통해 가시화할 수 있다

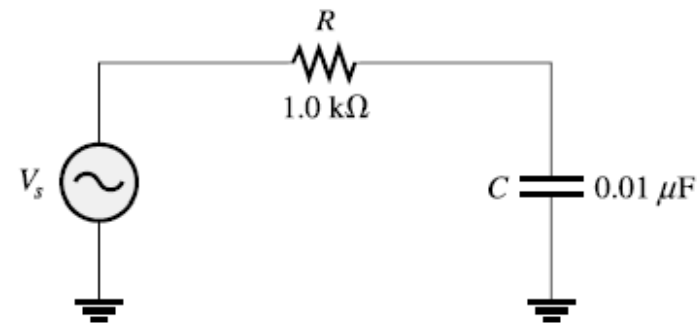


예제 10-5

그림 10-18의 직렬 RC 회로에서 다음 각 주파수에 대하여 임피던스와 위상각을 구하시오.

(a) 10 kHz (b) 20 kHz (c) 30 kHz

그림 10-18

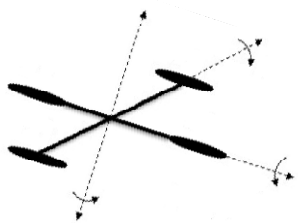


(a) $f = 10$ kHz일 때 임피던스와 위상각은 다음과 같다.

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2\pi(10 \text{ kHz})(0.01 \mu\text{F})} = 1.59 \text{ k}\Omega$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{(1.0 \text{ k}\Omega)^2 + (1.59 \text{ k}\Omega)^2} = 1.88 \text{ k}\Omega$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{X_C}{R}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{1.59 \text{ k}\Omega}{1.0 \text{ k}\Omega}\right) = 57.8^\circ$$

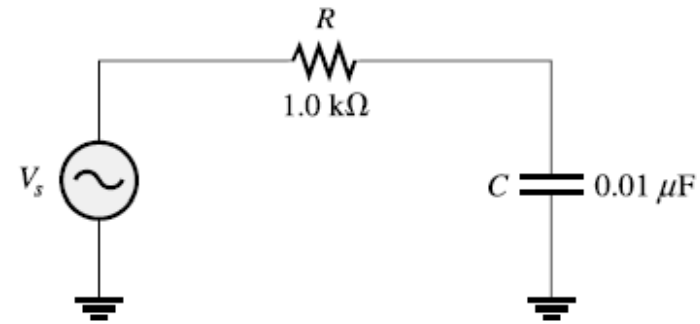


예제 10-5

그림 10-18의 직렬 RC 회로에서 다음 각 주파수에 대하여 임피던스와 위상각을 구하시오.

(a) 10 kHz (b) 20 kHz (c) 30 kHz

그림 10-18

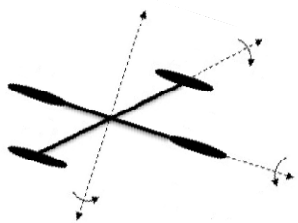


(b) $f = 20$ kHz일 때 임피던스와 위상각은 다음과 같다.

$$X_C = \frac{1}{2\pi(20 \text{ kHz})(0.01 \mu\text{F})} = 796 \Omega$$

$$Z = \sqrt{(1.0 \text{ k}\Omega)^2 + (796 \Omega)^2} = 1.28 \text{ k}\Omega$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{796 \Omega}{1.0 \text{ k}\Omega}\right) = 38.5^\circ$$

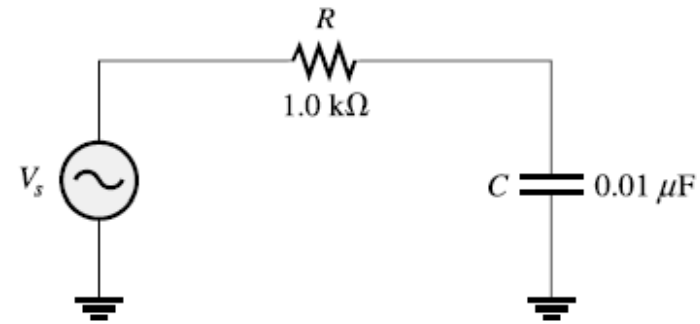


예제 10-5

그림 10-18의 직렬 RC 회로에서 다음 각 주파수에 대하여 임피던스와 위상각을 구하시오.

(a) 10 kHz (b) 20 kHz (c) 30 kHz

그림 10-18



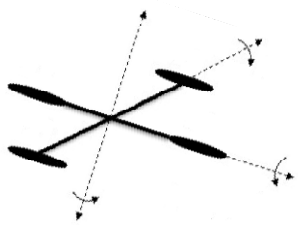
(c) $f = 30 \text{ kHz}$ 일 때 임피던스와 위상각은 다음과 같다.

$$X_C = \frac{1}{2\pi(30 \text{ kHz})(0.01 \mu\text{F})} = 531 \Omega$$

$$Z = \sqrt{(1.0 \text{ k}\Omega)^2 + (531 \Omega)^2} = 1.13 \text{ k}\Omega$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{531 \Omega}{1.0 \text{ k}\Omega}\right) = 28.0^\circ$$

주파수가 증가할수록 X_C 와 Z 는 증가하고 θ 는 감소한다.



RC 지상회로

RC 지상회로(RC lag circuit)는 출력전압이 입력전압에 대해 일정한 각도 ϕ 만큼 뒤지는 위상을 갖는 위상 천이 회로이다. 위상 천이 회로는 전자통신 시스템과 다른 응용 분야에 널리 사용된다.

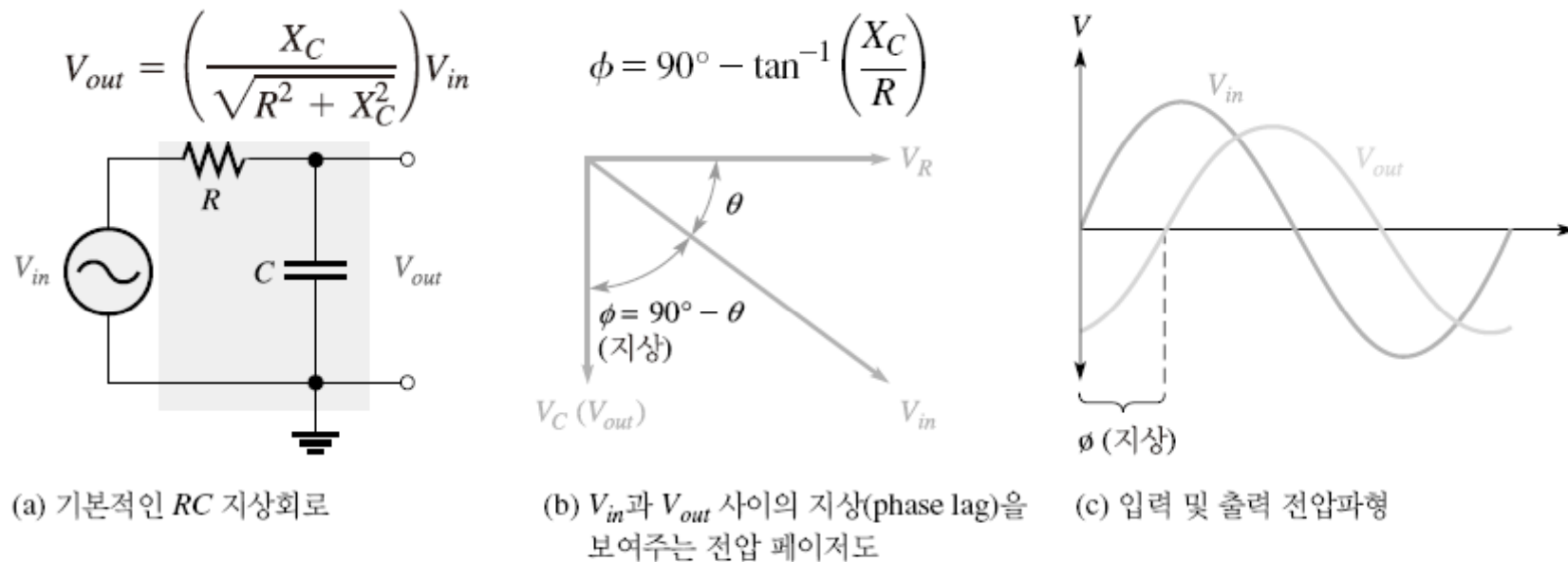


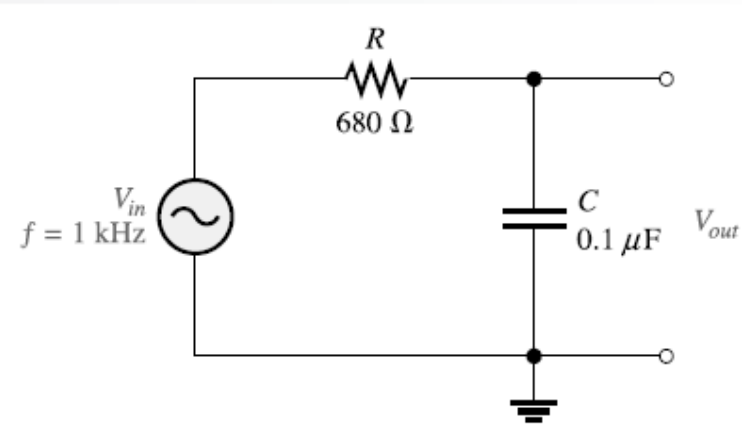
그림 10-19

RC 지상회로($V_{out} = V_C$)

예제 10-6

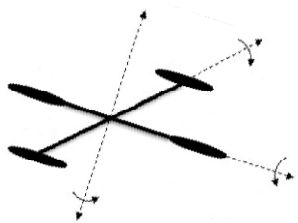
그림 10-20의 지상회로에서 입력전압과 출력전압 사이의 지상(phase lag)값을 구하시오.

그림 10-20



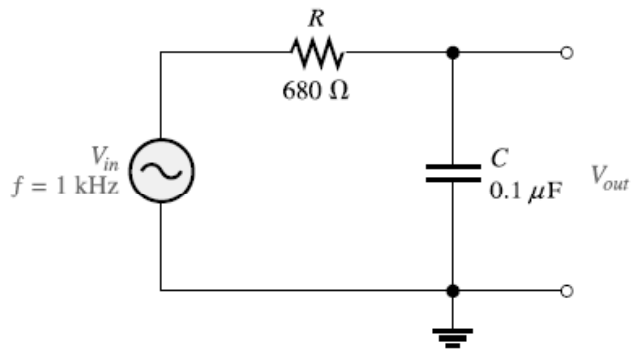
$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2\pi(1 \text{ kHz})(0.1 \mu\text{F})} = 1.59 \text{ k}\Omega$$

$$\phi = 90^\circ - \tan^{-1}\left(\frac{X_C}{R}\right) = 90^\circ - \tan^{-1}\left(\frac{1.59 \text{ k}\Omega}{680 \Omega}\right) = 23.2^\circ$$

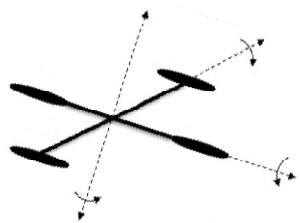
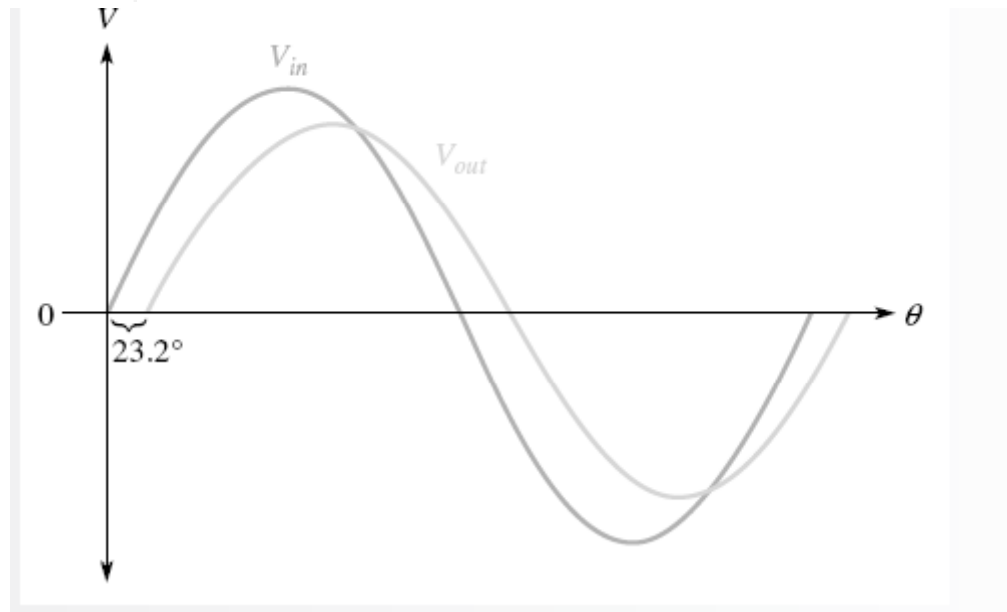


예제 10-7

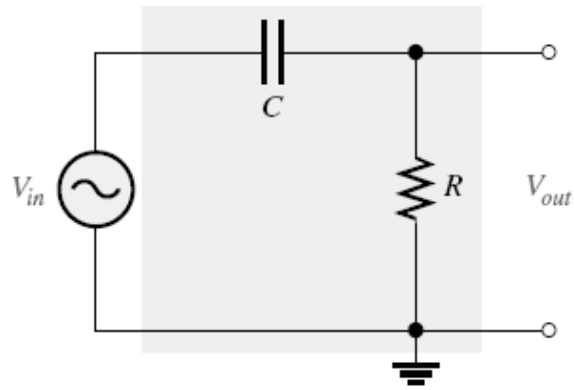
예제 10-6에 나온 그림 10-20의 지상회로에서 입력전압의 실효값이 10 V일 때 출력전압의 크기를 구하시오. 진폭과 위상관계를 보여주는 입출력 파형을 그리시오. 예제 10-6에서 X_C 값은 $1.59 \text{ k}\Omega$, ϕ 값은 23.2° 였다.



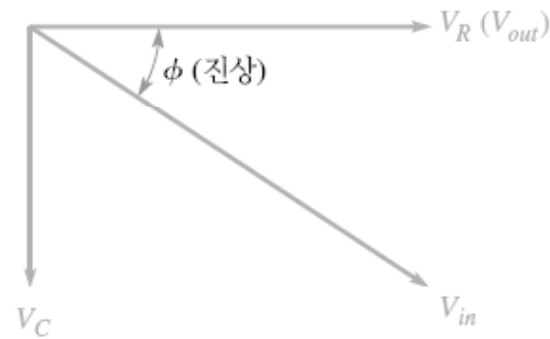
$$V_{out} = \left(\frac{X_C}{\sqrt{R^2 + X_C^2}} \right) V_{in} = \left(\frac{1.59 \text{ k}\Omega}{\sqrt{(680 \Omega)^2 + (1.59 \text{ k}\Omega)^2}} \right) 10 \text{ V} = 9.2 \text{ V rms}$$



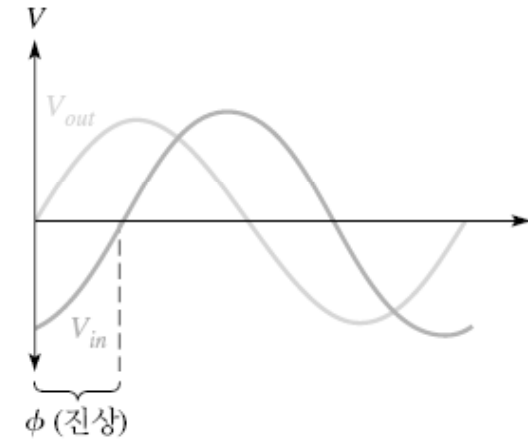
RC 진상회로



(a) 기본적인 RC 진상회로



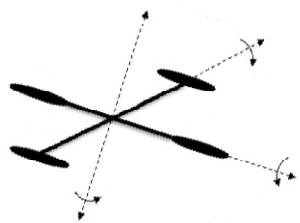
(b) V_{in} 과 V_{out} 사이의 진상을 보여주는 전압 페이저도



(c) 입출력 전압파형

$$V_{out} = \left(\frac{R}{\sqrt{R^2 + X_C^2}} \right) V_{in}$$

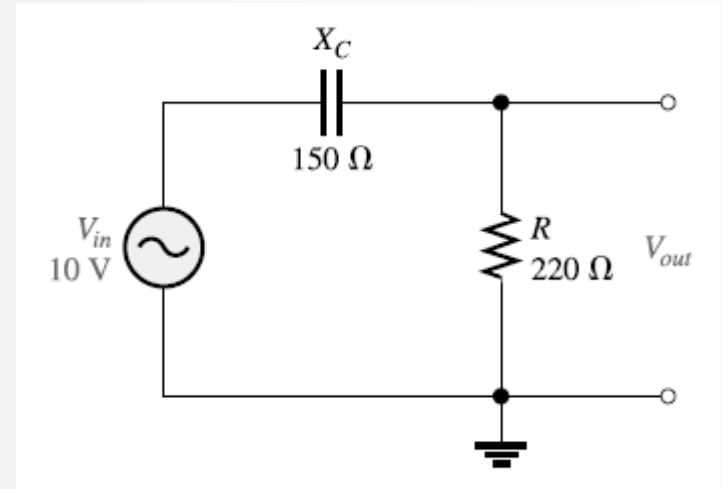
$$\phi = \tan^{-1} \left(\frac{X_C}{R} \right)$$



예제 10-8

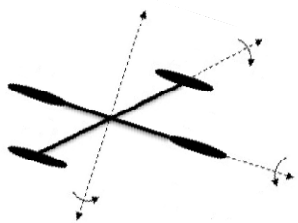
그림 10-24의 회로의 출력전압과 진상값을 구하시오.

그림 10-24



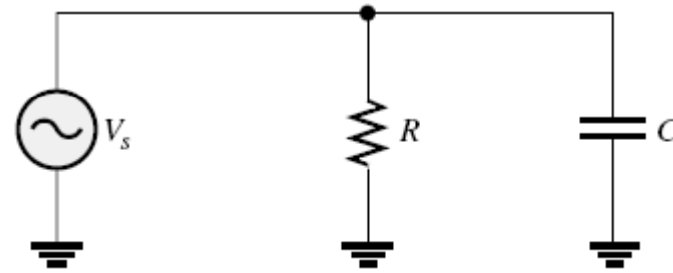
$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{X_C}{R}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{150 \Omega}{220 \Omega}\right) = 34.3^\circ$$

$$V_{out} = \left(\frac{R}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}\right)V_{in} = \left(\frac{220 \Omega}{\sqrt{(220 \Omega)^2 + (150 \Omega)^2}}\right)10 \text{ V} = 8.26 \text{ V}$$



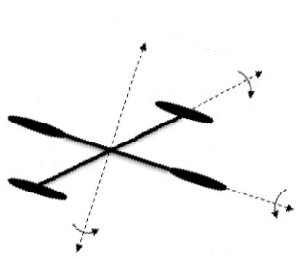
10-4 병렬 RC 회로의 임피던스와 위상각

그림 10-26
병렬 RC 회로



$$Z = \frac{RX_C}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$$

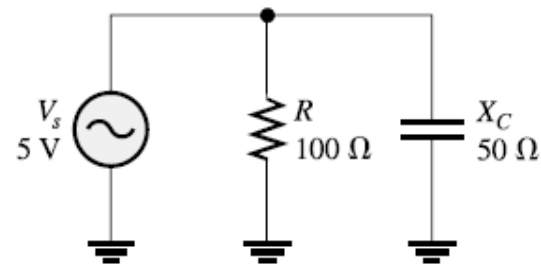
$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{R}{X_C}\right)$$



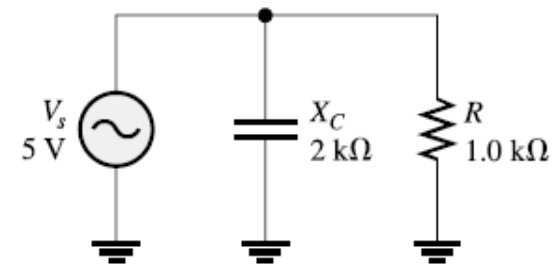
예제 10-9

그림 10-27

그림 10-27의 각 회로에서 임피던스와 위상각을 구하시오.



(a)



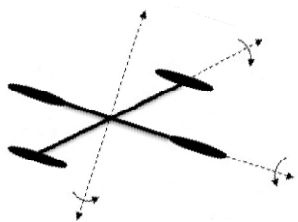
(b)

$$Z = \frac{RX_C}{\sqrt{R^2 + X_C^2}} = \frac{(100 \Omega)(50 \Omega)}{\sqrt{(100 \Omega)^2 + (50 \Omega)^2}} = 44.7 \Omega$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{R}{X_C}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{100 \Omega}{50 \Omega}\right) = 63.4^\circ$$

$$Z = \frac{(1.0 \text{ k}\Omega)(2 \text{ k}\Omega)}{\sqrt{(1.0 \text{ k}\Omega)^2 + (2 \text{ k}\Omega)^2}} = 894 \Omega$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{1.0 \text{ k}\Omega}{2 \text{ k}\Omega}\right) = 26.6^\circ$$



컨덕턴스, 용량성 서셉턴스, 어드미턴스

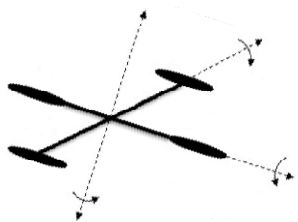
컨덕턴스(**conductance : G**)는 저항의 역수로서 다음과 같이 표시되었다.

$$G = \frac{1}{R}$$

용량성 서셉턴스(**capacitive susceptance : B_C**) $B_C = \frac{1}{X_C}$

어드미턴스(**admittance : Y**) $Y = \frac{1}{Z}$

G, B_C, Y 의 단위는 옴(Ω)의 역수인 지멘스(S)가 된다.



전류와 전압의 위상관계

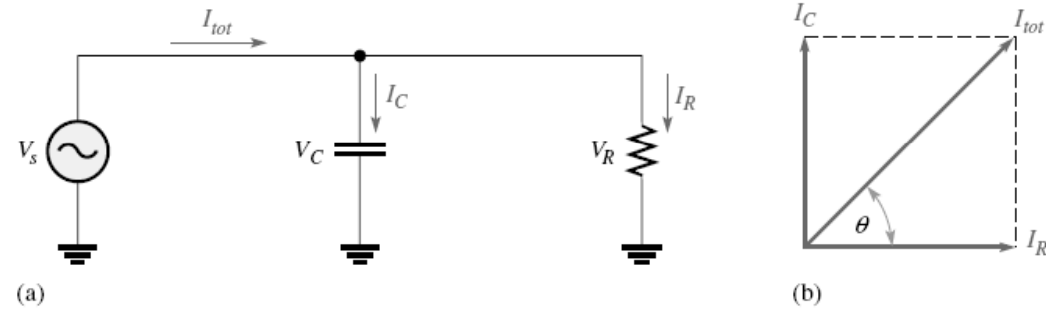


그림 10-31

병렬 RC 회로의 전류와 전압. (a)에 나타난 전류의 방향은 순시값으로 전원전압이 바뀌면 반대 방향이 된다. (b)의 전류 페이저는 매 사이클마다 1회전한다

$$I_{tot} = \sqrt{I_R^2 + I_C^2}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{I_C}{I_R}\right)$$

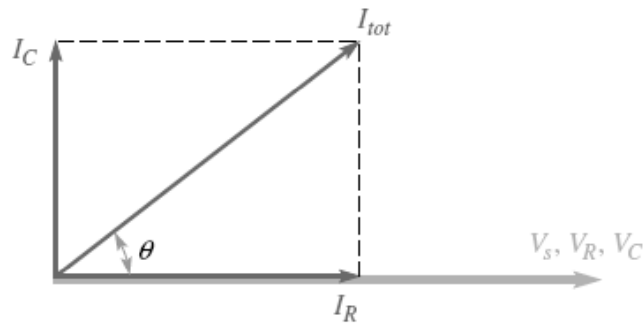
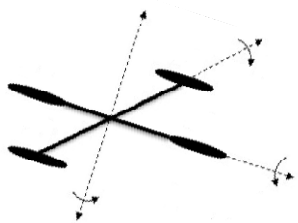


그림 10-32

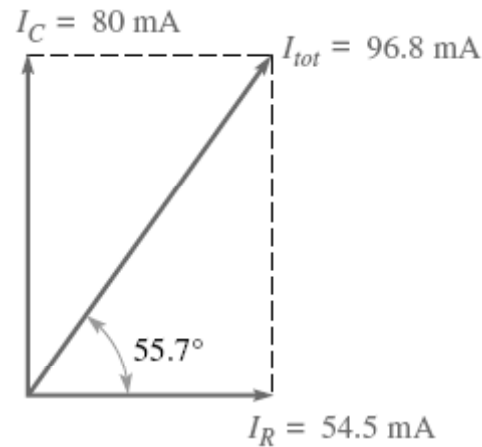
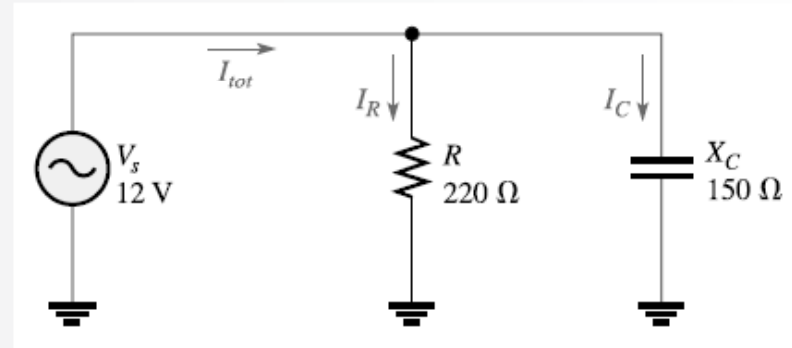
병렬 RC 회로의 전류/전압 페이저도(진폭은 임의의 값임)



예제 10-12

그림 10-33에서 각 전류의 값을 구하고 전원전압에 대한 위상관계를 논하시오. 전류 페이저도를 그리시오.

그림 10-33

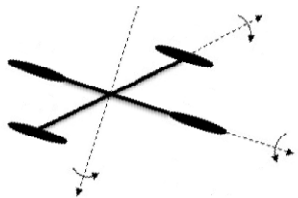


$$I_R = \frac{V_s}{R} = \frac{12 \text{ V}}{220 \Omega} = 54.5 \text{ mA}$$

$$I_C = \frac{V_s}{X_C} = \frac{12 \text{ V}}{150 \Omega} = 80 \text{ mA}$$

$$I_{tot} = \sqrt{I_R^2 + I_C^2} = \sqrt{(54.5 \text{ mA})^2 + (80 \text{ mA})^2} = 96.8 \text{ mA}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{I_C}{I_R}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{80 \text{ mA}}{54.5 \text{ mA}}\right) = 55.7^\circ$$

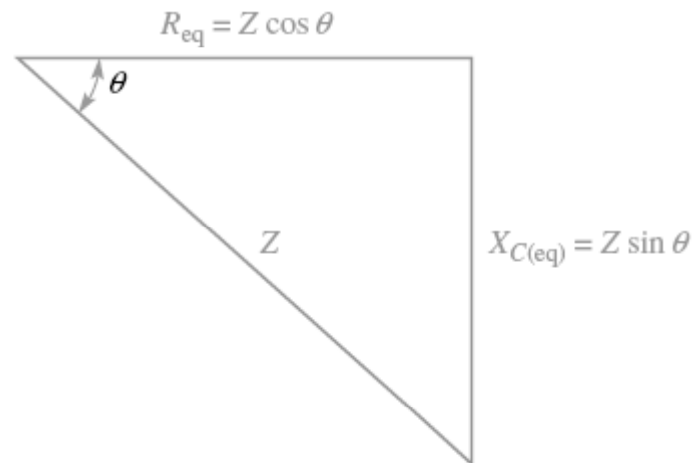


병렬 회로의 직렬 변환

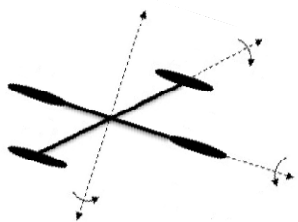
모든 병렬 RC 회로는 자신과 등가가 되는 직렬 RC 회로로 변환될 수 있다. 단자에서의 임피던스의 크기와 위상이 동일한 두 회로는 서로의 등가회로(equivalent circuit)가 된다.

그림 10-35

병렬 RC 회로의 등가 직렬 회로에 대한 임피던스 삼각도. Z 와 θ 는 병렬 회로에서 알려진 값이고 R_{eq} 와 $X_{C(eq)}$ 는 등가 직렬 회로의 값이다



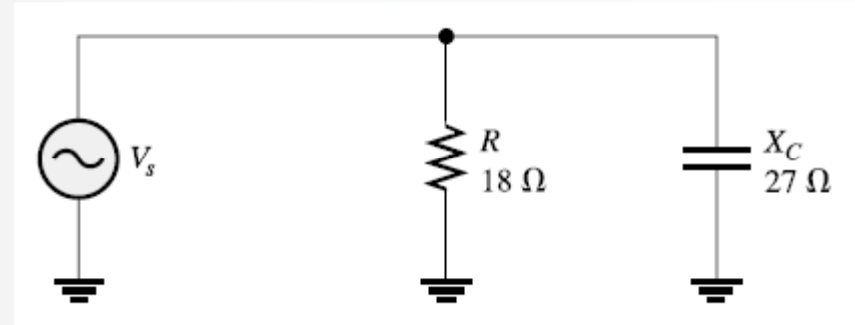
$$R_{eq} = Z \cos \theta$$
$$X_{C(eq)} = Z \sin \theta$$



예제 10-13

그림 10-36의 병렬 회로를 등가 직렬 회로로 변환하시오.

그림 10-36



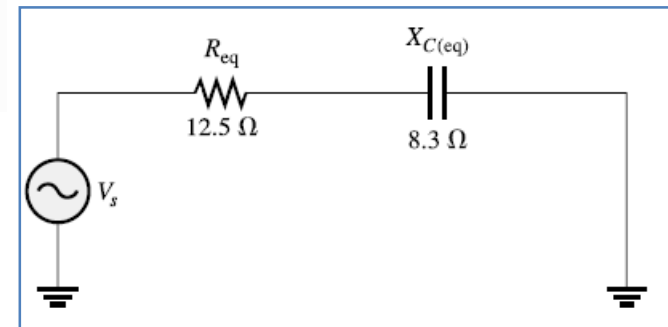
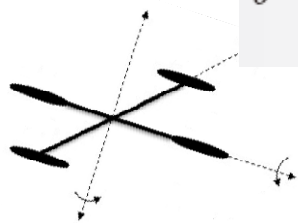
$$G = \frac{1}{R} = \frac{1}{18 \Omega} = 55.6 \text{ mS}$$

$$B_C = \frac{1}{X_C} = \frac{1}{27 \Omega} = 37.0 \text{ mS}$$

$$Y_{tot} = \sqrt{G^2 + B_C^2} = \sqrt{(55.6 \text{ mS})^2 + (37.0 \text{ mS})^2} = 66.8 \text{ mS}$$

$$Z_{tot} = \frac{1}{Y_{tot}} = \frac{1}{66.8 \text{ mS}} = 15.0 \Omega$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{R}{X_C}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{18 \Omega}{27 \Omega}\right) = 33.6^\circ$$



$$R_{eq} = Z \cos \theta = (15 \Omega) \cos(33.6^\circ) = 12.5 \Omega$$

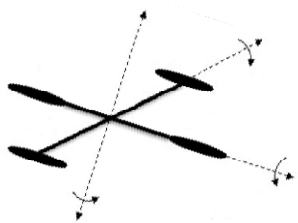
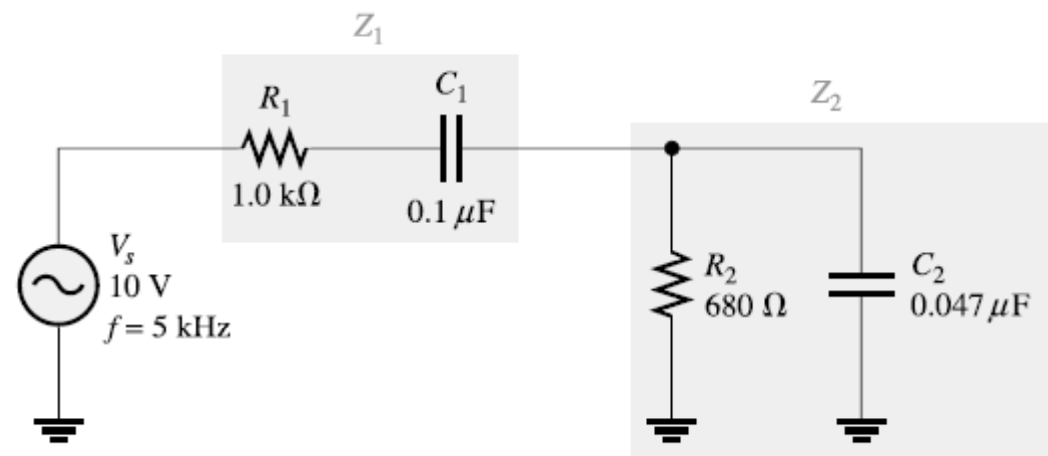
$$X_{C(eq)} = Z \sin \theta = (15 \Omega) \sin(33.6^\circ) = 8.3 \Omega$$

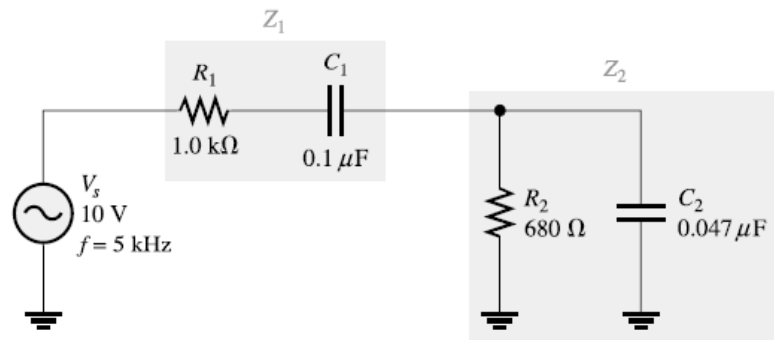
10-6 직병렬 RC 회로의 해석

예제 10-14

그림 10-38의 직병렬 RC 회로에서 다음 값을 구하시오.

(a) 총 임피던스 (b) 총 전류 (c) I_{tot} 와 V_s 사이의 위상각





(a) 총 임피던스

$$X_{C1} = \frac{1}{2\pi(5 \text{ kHz})(0.1 \mu\text{F})} = 318 \Omega$$

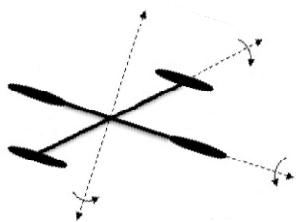
$$X_{C2} = \frac{1}{2\pi(5 \text{ kHz})(0.047 \mu\text{F})} = 677 \Omega$$

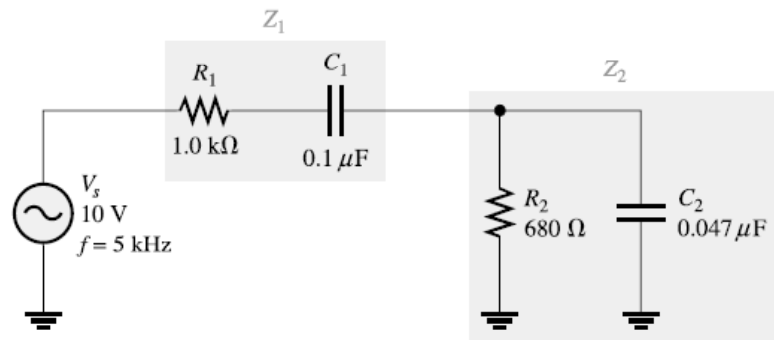
$$G_2 = \frac{1}{R_2} = \frac{1}{680 \Omega} = 1.47 \text{ mS}$$

$$B_{C2} = \frac{1}{X_{C2}} = \frac{1}{677 \Omega} = 1.48 \text{ mS}$$

$$Y_2 = \sqrt{G_2^2 + B_{C2}^2} = \sqrt{(1.47 \text{ mS})^2 + (1.48 \text{ mS})^2} = 2.09 \text{ mS}$$

$$Z_2 = \frac{1}{Y_2} = \frac{1}{2.09 \text{ mS}} = 478 \Omega$$





$$\theta_p = \tan^{-1}\left(\frac{R_2}{X_{C2}}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{680 \Omega}{677 \Omega}\right) = 45.1^\circ$$

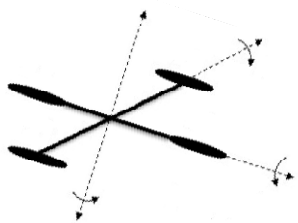
$$R_{eq} = Z_2 \cos \theta_p = (478 \Omega) \cos(45.1^\circ) = 337 \Omega$$

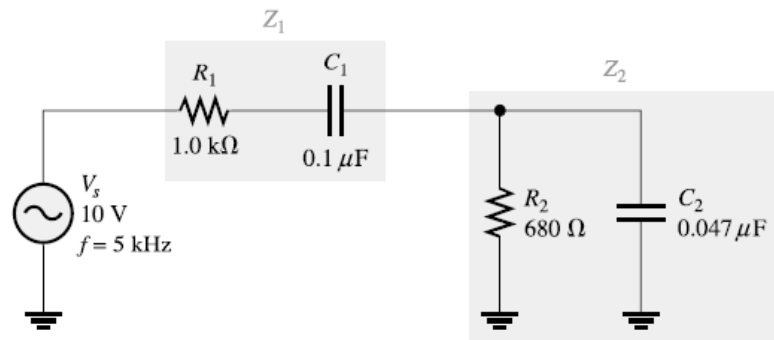
$$X_{C(eq)} = Z_2 \sin \theta_p = (478 \Omega) \sin(45.1^\circ) = 339 \Omega$$

$$R_{tot} = R_1 + R_{eq} = 1000 \Omega + 337 \Omega = 1.34 \text{ k}\Omega$$

$$X_{C(tot)} = X_{C1} + X_{C(eq)} = 318 \Omega + 339 \Omega = 657 \Omega$$

$$Z_{tot} = \sqrt{R_{tot}^2 + X_{C(tot)}^2} = \sqrt{(1.34 \text{ k}\Omega)^2 + (657 \Omega)^2} = 1.49 \text{ k}\Omega$$



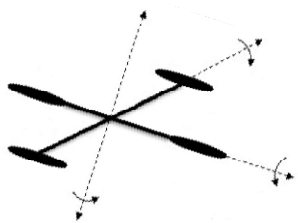


(b) 옴의 법칙을 사용하여 총 전류를 구한다.

$$I_{tot} = \frac{V_s}{Z_{tot}} = \frac{10 \text{ V}}{1.49 \text{ k}\Omega} = \mathbf{6.71 \text{ mA}}$$

(c) 위상각을 구하기 위해 회로를 R_{tot} 와 $X_{C(tot)}$ 의 직렬 조합으로 보면 I_{tot} 와 V_s 의 위상각은 다음과 같다.

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{X_{C(tot)}}{R_{tot}}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{657 \Omega}{1.34 \text{ k}\Omega}\right) = \mathbf{26.1^\circ}$$



회로의 측정

Z_{tot} 측정

- 1단계 : 정현파 신호 발생기에서 발생하는 신호원의 전압을 일정한 값(여기서는 10 V)으로 맞추고, 신호원의 주파수도 5 kHz가 되도록 조정한다. 이 때 정현파 신호 발생기의 주파수, 진폭 조절 손잡이의 눈금을 위의 값(10 V와 5 kHz)에 맞추는 것만으로 끝내지 말고, 교류 전압계와 주파수 카운터를 사용하여 신호 발생기에서 출력되는 신호가 실제 위에서 정한 값을 갖는지 확인하여야 한다.
- 2단계 : 그림 10-39와 같이 회로에 교류 전류계를 연결하여 전체 전류를 측정한다. 혹은 R_1 에 걸린 전압을 측정하여 전류를 계산할 수도 있다.
- 3단계 : 옴의 법칙을 사용하여 총 임피던스를 계산한다.

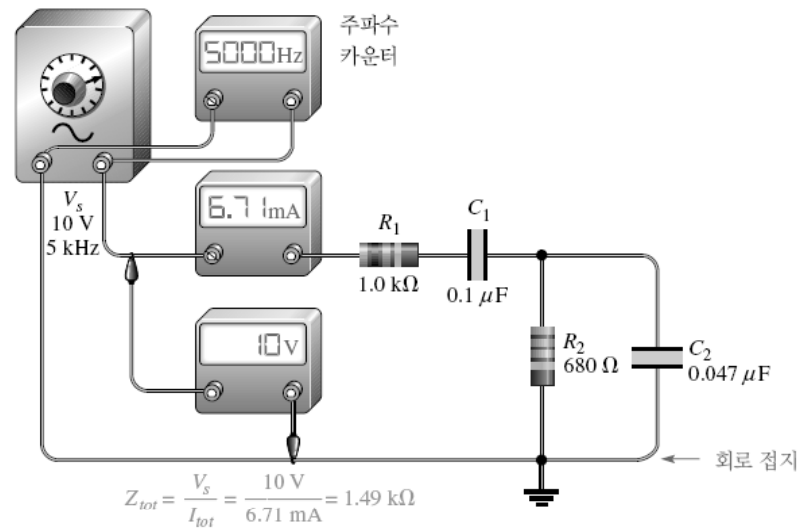
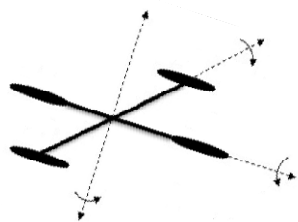
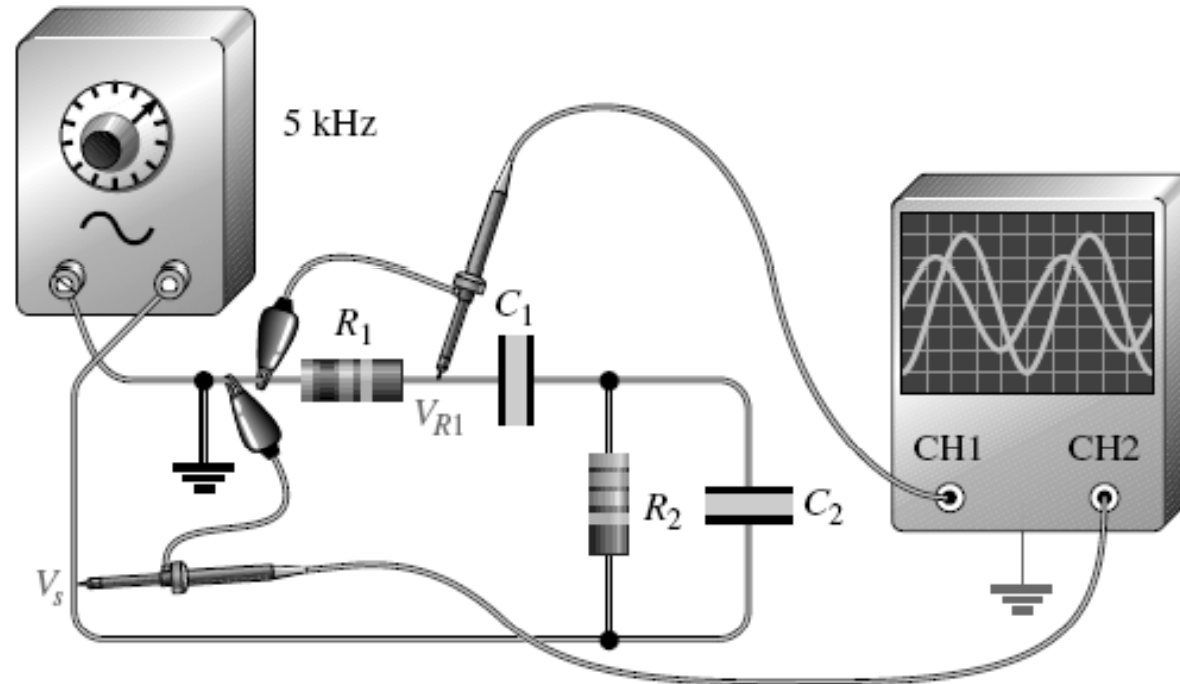


그림 10-39

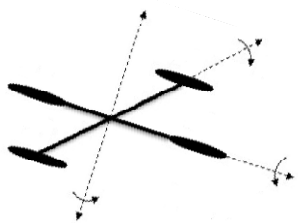
V_s 와 I_{tot} 를 측정함으로써 Z_{tot} 를 구하는 방법



θ 측정



(b) 스펙트는 V_{R1} 과 V_s 를 표시한다. V_{R1} 은 전체 전류의 위상을 나타낸다.

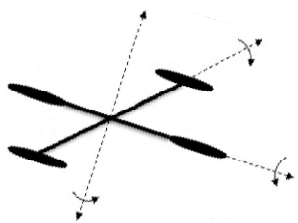


10-7 RC 회로의 전력

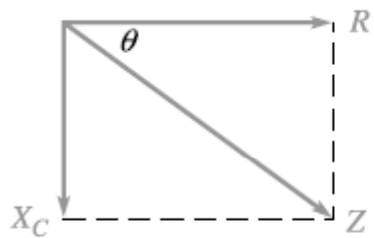
저항에서 소모되는 전력을 유효전력(true power : P_{true})이라고 하며, 캐패시터에 저장되는 전력을 무효전력(reactive power : P_r)이라고 한다는 것은 앞에서 이미 설명하였는데 이들의 식은 다음과 같다. 유효전력의 단위는 와트(W)이고, 무효전력의 단위는 바알(volt-ampere reactive : VAR)이다.

$$P_{\text{true}} = I_{\text{tot}}^2 R \quad (10-26)$$

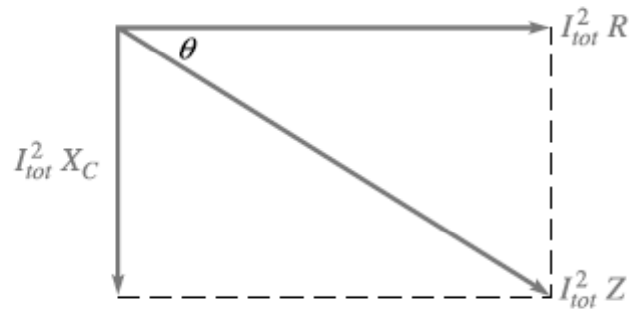
$$P_r = I_{\text{tot}}^2 X_C \quad (10-27)$$



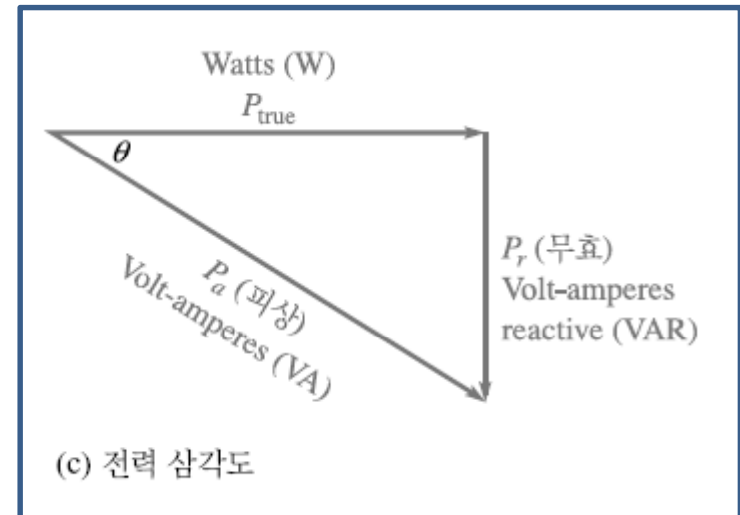
RC 회로의 전력 삼각도



(a) 임피던스 페이저



(b) 임피던스 페이저에 I_{tot}^2 을 곱하여 얻은 전력

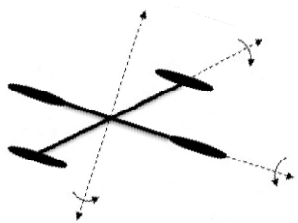


(c) 전력 삼각도

그림 10-43

직렬 RC 회로에서 전력 삼각도 유도

피상전력(apparent power : P_a)



피상전력(apparent power : P_a) $P_a = I_{tot}^2 Z$ 단위는 볼트-암페어(VA)

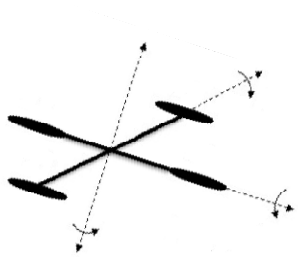
$$P_{true} = P_a \cos \theta$$

$$P_{true} = V_s I_{tot} \cos \theta$$

여기서 V_s = 인가 전압

I_{tot} = 총 전류

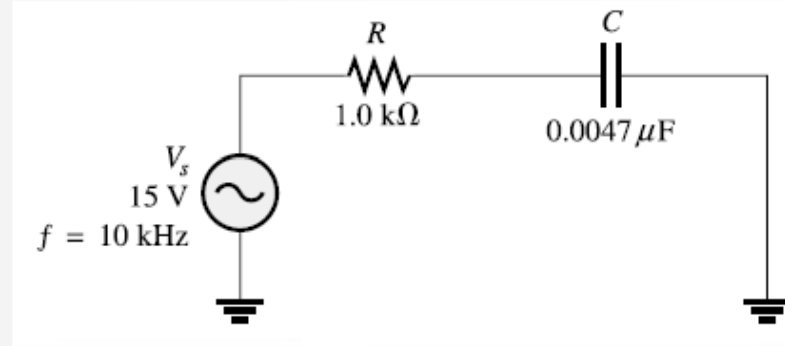
역률(power factor : PF) $PF = \cos \theta$



예제 10-15

그림 10-44의 RC 회로에서 유효전력과 역률을 구하시오.

그림 10-44



해 용량성 리액턴스와 위상각을 구한다.

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\pi(10 \text{ kHz})(0.0047 \mu\text{F})} = 3.39 \text{ k}\Omega$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{X_C}{R}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{3.39 \text{ k}\Omega}{1.0 \text{ k}\Omega}\right) = 73.6^\circ$$

역률을 구한다.

$$PF = \cos \theta = \cos(73.6^\circ) = \mathbf{0.282}$$

임피던스를 구한다.

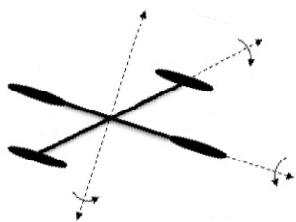
$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{(1.0 \text{ k}\Omega)^2 + (3.39 \text{ k}\Omega)^2} = 3.53 \text{ k}\Omega$$

따라서 전류는 다음과 같다.

$$I = \frac{V_s}{Z} = \frac{15 \text{ V}}{3.53 \text{ k}\Omega} = 4.25 \text{ mA}$$

유효전력을 구한다.

$$P_{\text{true}} = V_s I \cos \theta = (15 \text{ V})(4.25 \text{ mA})(0.282) = \mathbf{18.0 \text{ mW}}$$

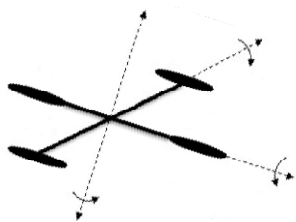


피상전력의 중요성

이미 앞에서 언급했듯이, 피상전력은 신호원과 부하 사이에 전달되는 것처럼 보이는 전력으로 두 개의 성분, 즉 유효전력과 무효전력으로 구성되어 있다.

모든 전기 전자 시스템에서, 실제로 일을 하는 데 사용되는 전력은 유효전력뿐이다. 무효전력은 단지 신호원과 부하 사이를 왔다 갔다 할 따름이다. 모든 전력이 유용한 일을 위해서만 사용되는 이상적인 경우를 생각하면, 부하로 공급되는 전력의 전체가 유효전력이 되어야 한다(즉, 무효전력이 하나도 없어야 한다). 그러나 실제로는 부하가 리액턴스 성분을 갖고 있으므로, 유효전력뿐만 아니라 무효전력도 반드시 고려하여야 한다.

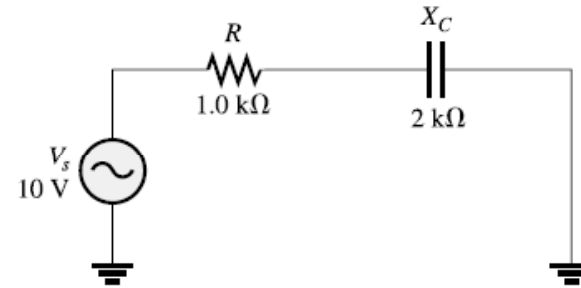
리액턴스 성분이 있는 부하에 흐르는 전체 전류는 두 성분, 즉 저항성 전류와 리액턴스성 전류로 나뉘어진다. 부하의 전력 중에서 유효전력(단위는 W)을 구할 때에는, 신호원에서 부하로 흐르는 전체 전류 중 저항성 전류만을 고려하면 된다. 부하에 실제로 흐르는 전류를 정확하게 알기 위해서는 반드시 피상전력(단위는 VA)을 고려하여야 한다.



예제 10-16

그림 10-46의 회로에서 X_C 가 $2\text{ k}\Omega$ 인 경우 유효전력, 무효전력, 피상전력을 구하시오.

그림 10-46



$$Z_{tot} = \sqrt{R^2 + X_C^2} = \sqrt{(1.0\text{ k}\Omega)^2 + (2\text{ k}\Omega)^2} = 2.24\text{ k}\Omega$$

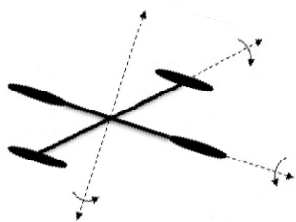
$$I = \frac{V_s}{Z} = \frac{10\text{ V}}{2.24\text{ k}\Omega} = 4.46\text{ mA}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{X_C}{R}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{2\text{ k}\Omega}{1.0\text{ k}\Omega}\right) = 63.4^\circ$$

$$P_{true} = V_s I \cos \theta = (10\text{ V})(4.46\text{ mA}) \cos(63.4^\circ) = \mathbf{20\text{ mW}}$$

$$P_r = I^2 X_C = (4.46\text{ mA})^2 (2\text{ k}\Omega) = \mathbf{39.8\text{ mVAR}}$$

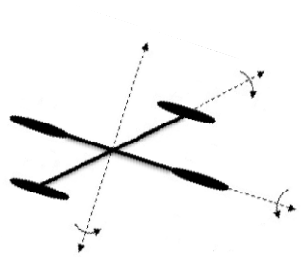
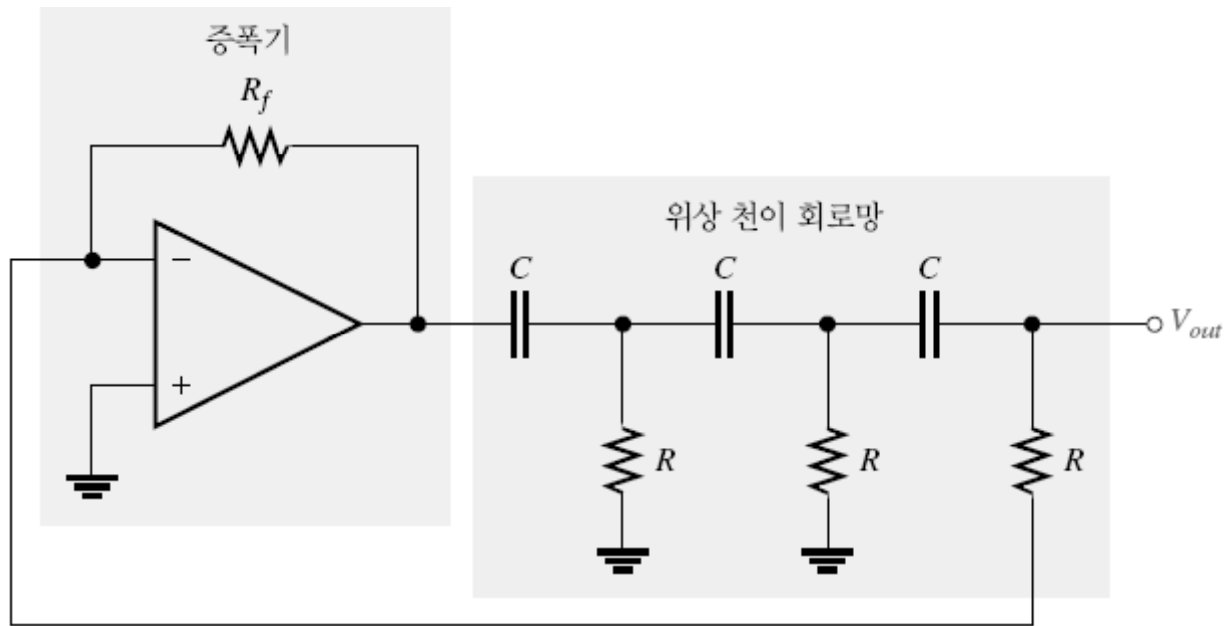
$$P_a = I^2 Z = (4.46\text{ mA})^2 (2.24\text{ k}\Omega) = \mathbf{44.6\text{ mVA}}$$



$$P_a = \sqrt{P_{true}^2 + P_r^2} = 44.6\text{ mVA}$$

10-8 기본 응용

위상 천이 발진기

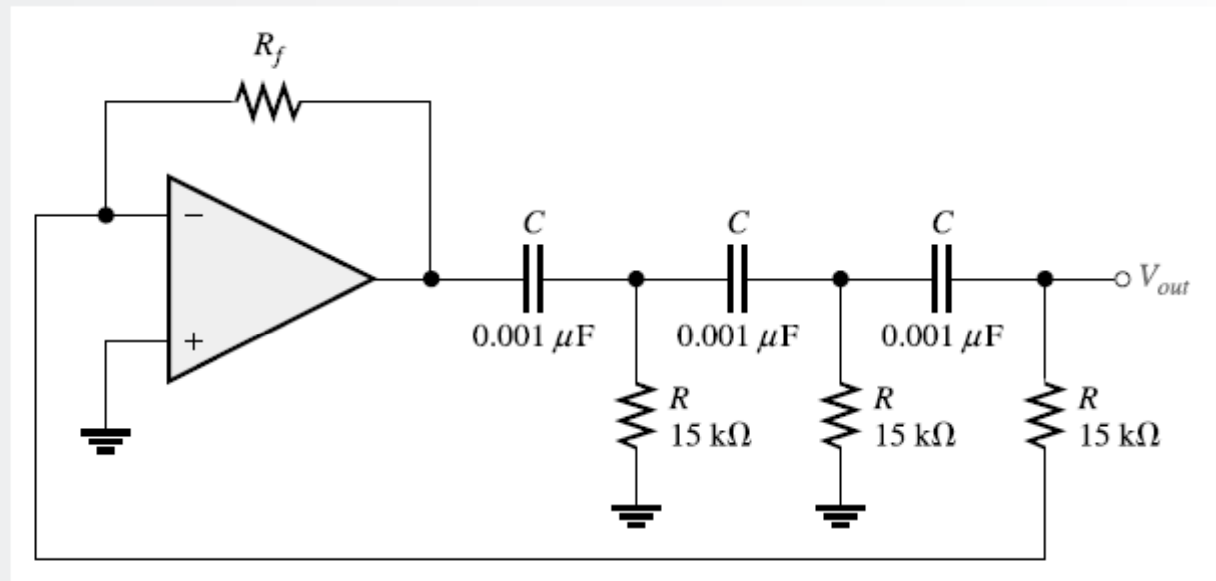


$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{6}RC}$$

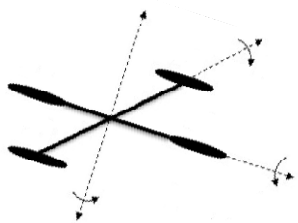
예제 10-17

그림 10-48에서 출력 주파수를 구하십시오.

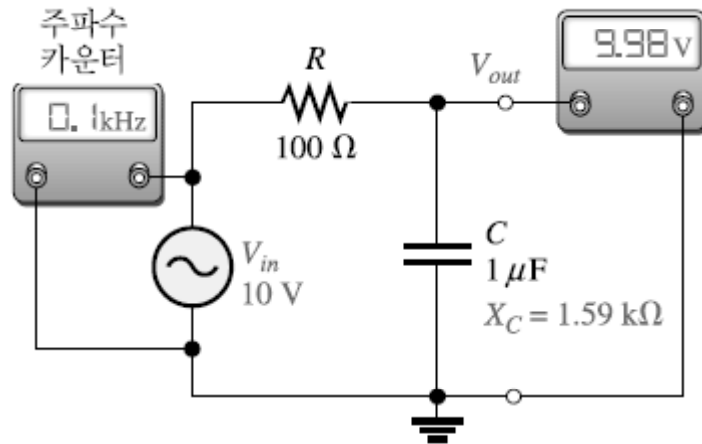
그림 10-48



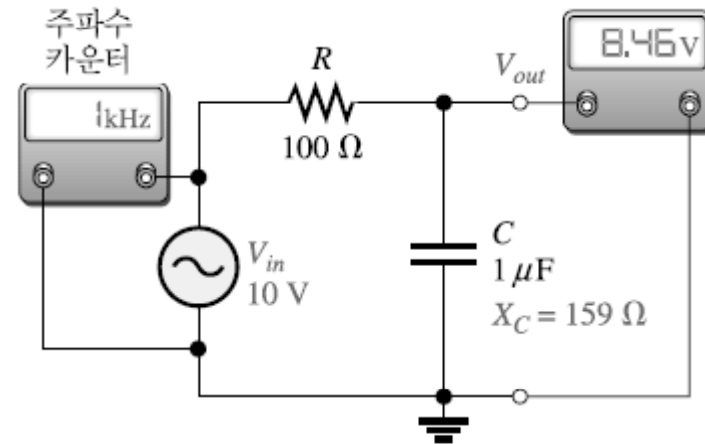
해
$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{6}RC} = \frac{1}{2\pi\sqrt{6}(15\text{ k}\Omega)(0.001\text{ }\mu\text{F})} = 4.33\text{ kHz}$$



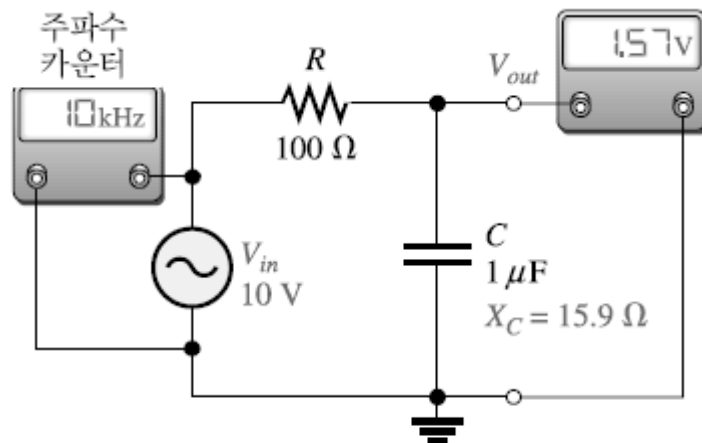
저역통과 필터 특성



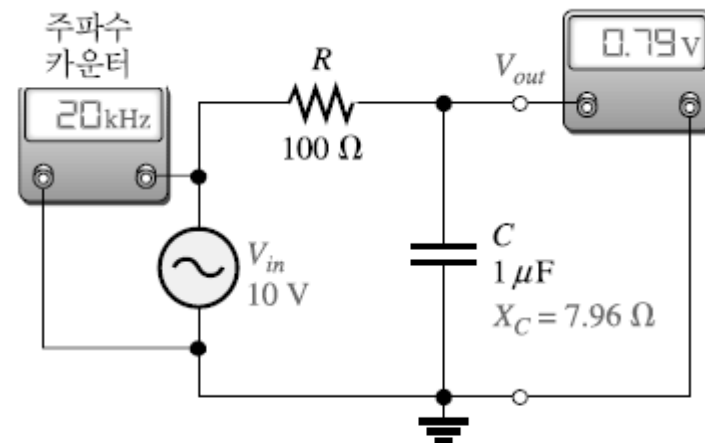
(a) $f = 0.1 \text{ kHz}$, $X_C = 1.59 \text{ k}\Omega$, $V_{out} = 9.98 \text{ V}$



(b) $f = 1 \text{ kHz}$, $X_C = 159 \Omega$, $V_{out} = 8.46 \text{ V}$



(c) $f = 10 \text{ kHz}$, $X_C = 15.9 \Omega$, $V_{out} = 1.57 \text{ V}$



(d) $f = 20 \text{ kHz}$, $X_C = 7.96 \Omega$, $V_{out} = 0.79 \text{ V}$



그림 10-49

저역통과 필터 동작의 예. 주파수가 증가하면 출력전압은 감소한다.

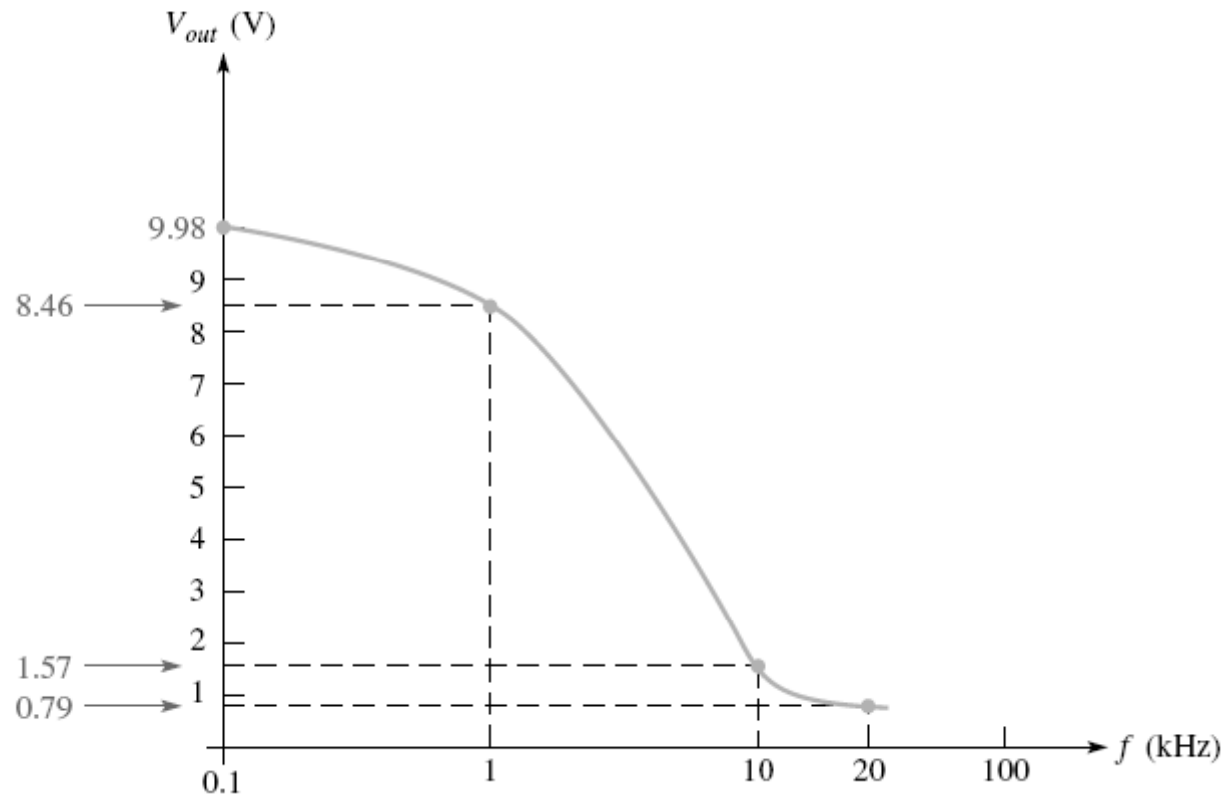
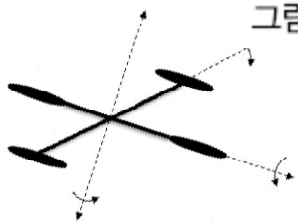
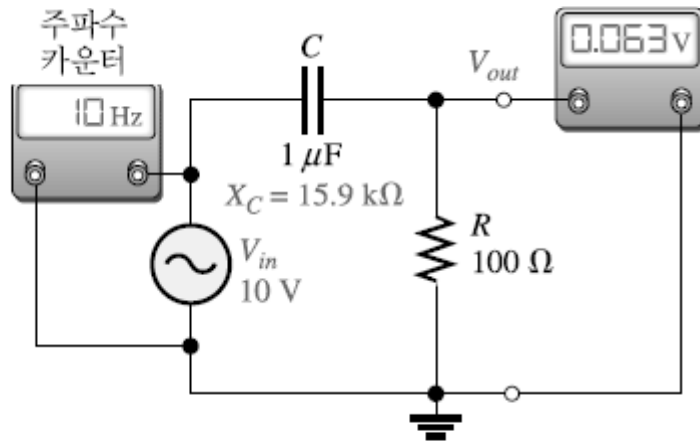


그림 10-50

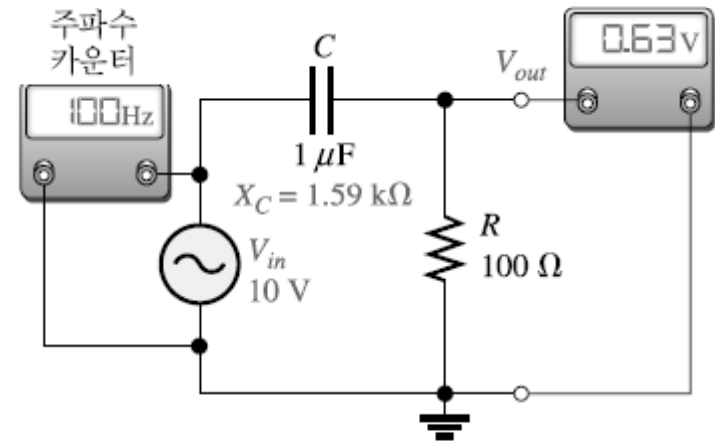
그림 10-49의 저역통과 RC 회로의 주파수 응답곡선



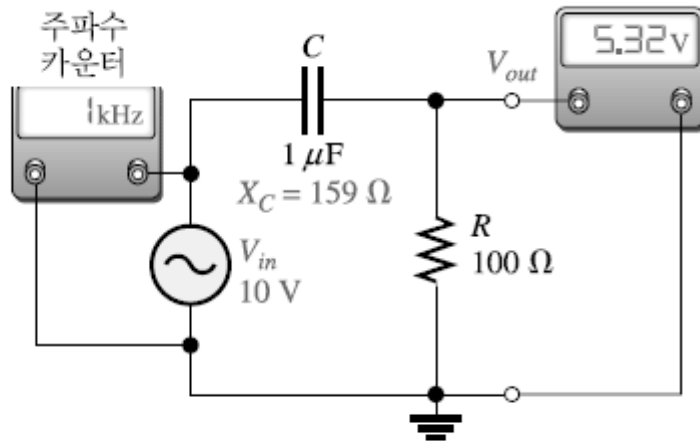
고역통과 필터 특성



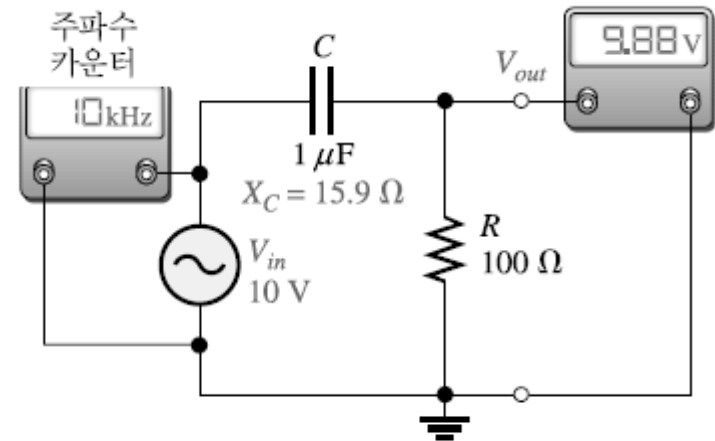
(a) $f = 10 \text{ Hz}$, $X_C = 15.9 \text{ k}\Omega$, $V_{out} = 0.063 \text{ V}$



(b) $f = 100 \text{ Hz}$, $X_C = 1.59 \text{ k}\Omega$, $V_{out} = 0.63 \text{ V}$



(c) $f = 1 \text{ kHz}$, $X_C = 159 \Omega$, $V_{out} = 5.32 \text{ V}$



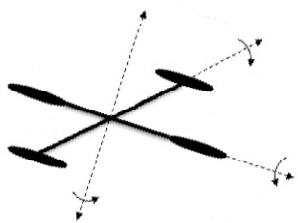
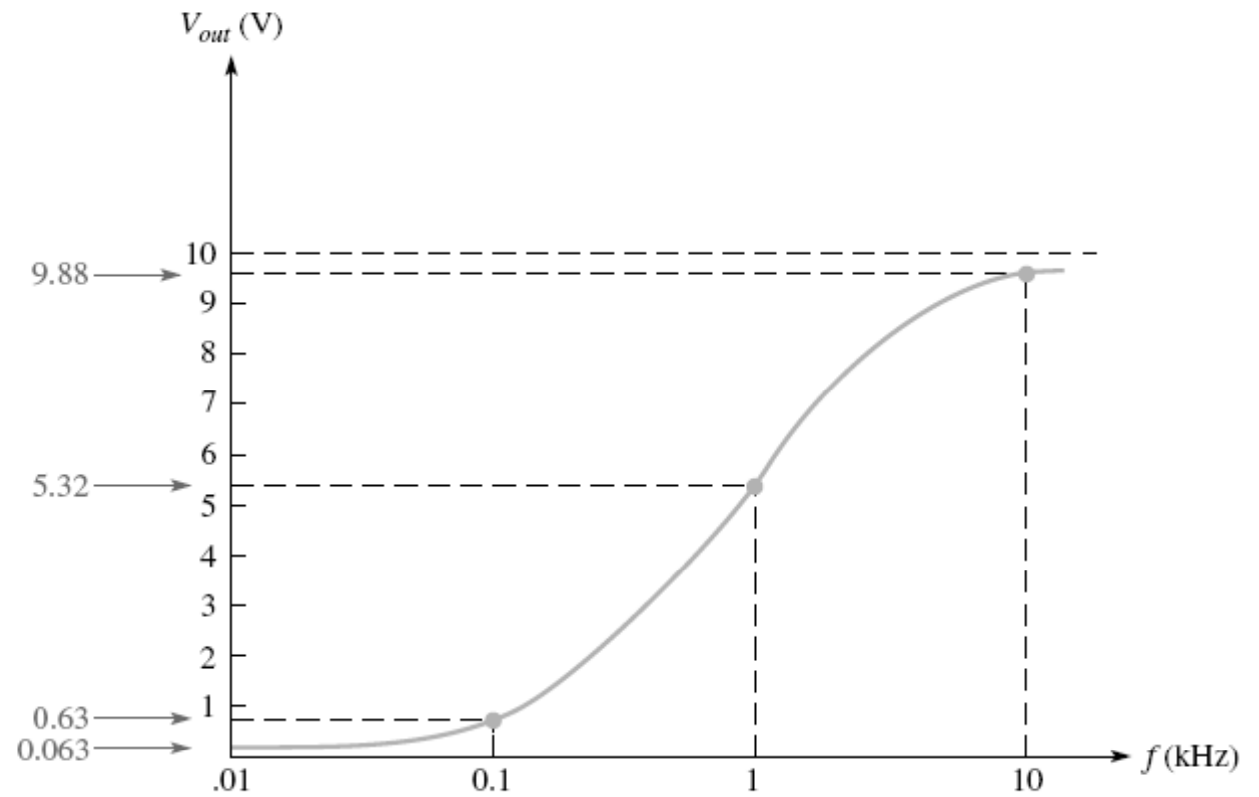
(d) $f = 10 \text{ kHz}$, $X_C = 15.9 \Omega$, $V_{out} = 9.88 \text{ V}$

그림 10-51

고역통과 필터 동작의 예. 주파수가 증가하면 출력전압은 증가한다

그림 10-52

그림 10-51의 고역통과 RC 회로의
주파수 응답곡선



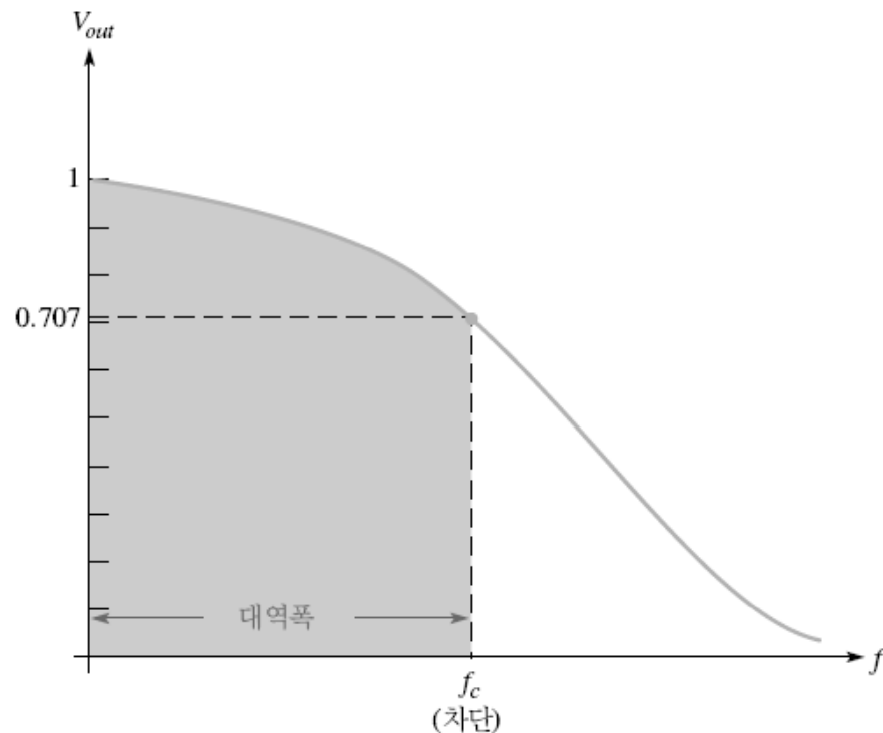
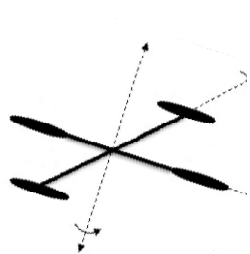
RC 회로의 차단 주파수와 대역폭 저역통과 또는 고역통과 필터 회로에서 저항값과 리액턴스값이 같아지는 주파수를 **차단 주파수(cutoff frequency)**라고 하며 f_c 로 표시한다. 즉, 차단 주파수 f_c 는 $1/(2\pi f_c C) = R$ 의 조건에서 다음 식과 같이 표현된다.

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (10-31)$$

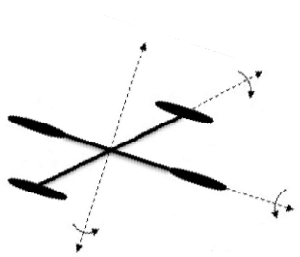
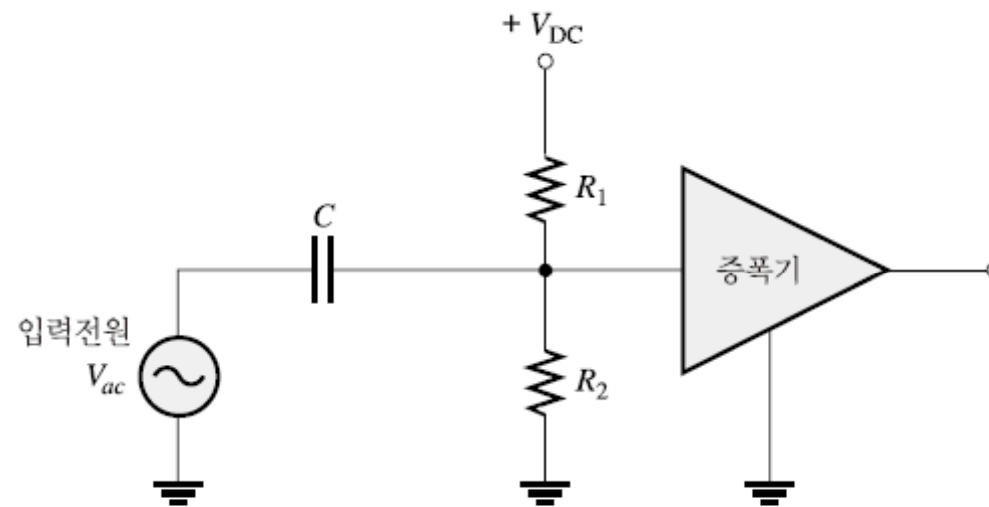
회로에 의해 입력에서 출력으로 통과되는 주파수의 범위를 **대역폭(BW : bandwidth)**이라고 한다. 그림 10-53에 저역통과 필터의 대역폭과 차단 주파수를 나타내었다.

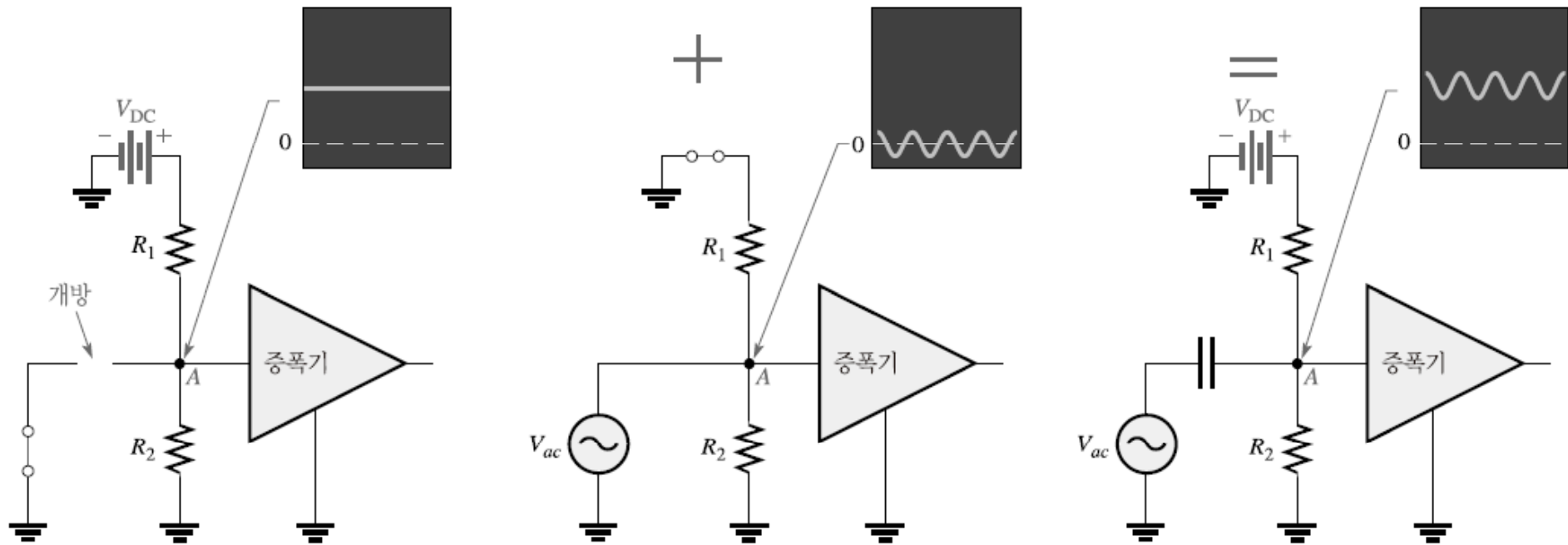
그림 10-53

차단 주파수와 대역폭을 보여주는 저역통과 필터 회로의 정규화된 일반 응답곡선



교류 신호를 직류 바이어스 회로에 결합시켜 주는 방법





(a) 직류 등가회로 : 교류 전압은 단락으로 바뀐다.
 C 는 직류에 개방되어 있고 R_1 과 R_2 는 직류 전압 분배기로 동작한다.

(b) 교류 등가회로 : 직류 전압은 단락으로 바뀐다.
 C 는 교류에 단락되어 있고 모든 V_{ac} 는 점 A 에 결합된다.

(c) 직류 + 교류 : 전압은 점 A 에서 중첩된다.

그림 10-55

RC 바이어스 및 결합회로에서 직류와 교류 전압의 중첩

