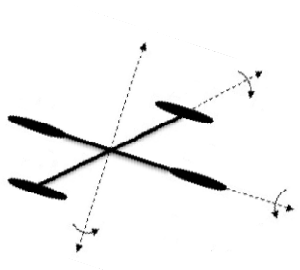
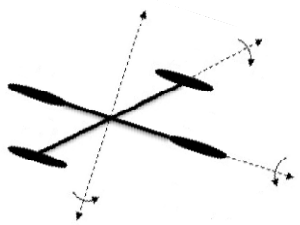
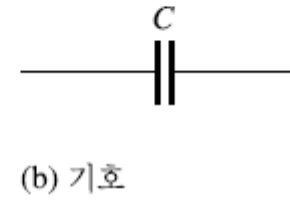
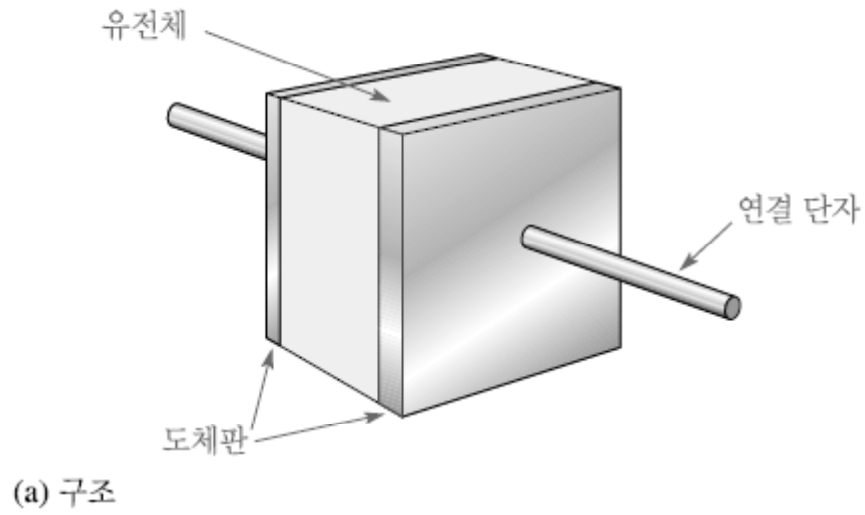
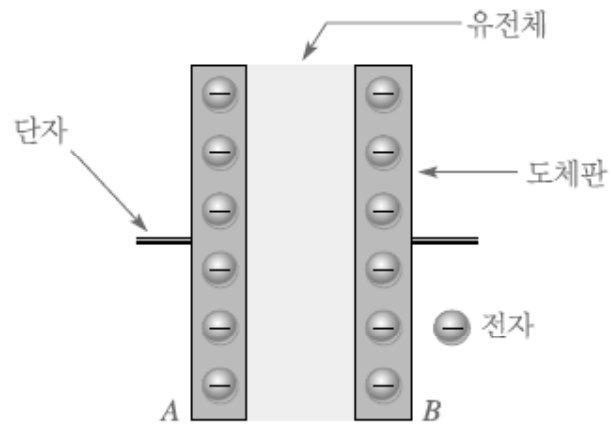
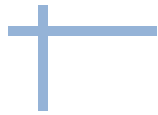

회로이론

9 장. 캐패시터

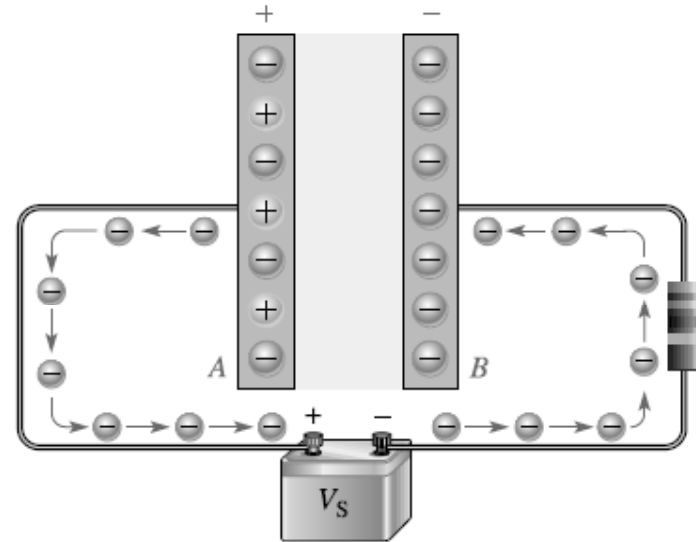


9-1 캐패시터 기초

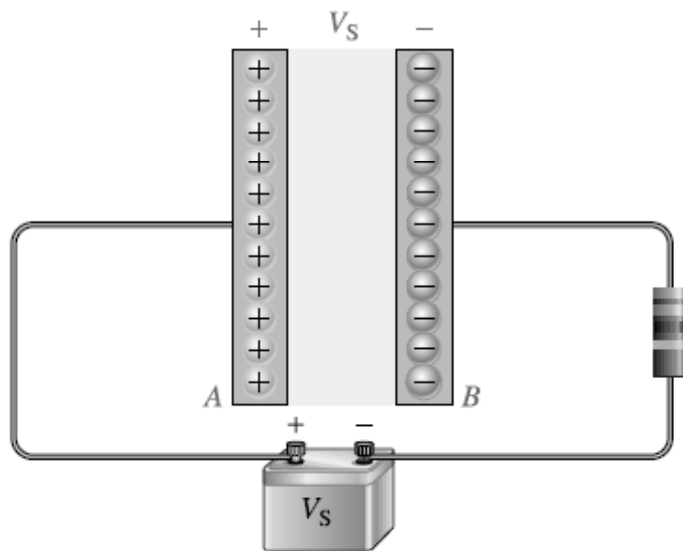




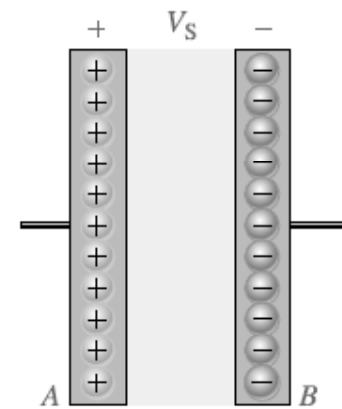
(a) 중성(대전되지 않은) 캐패시터(양 도체판에 동일한 전하를 가진다)



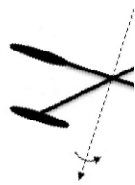
(b) 전압원에 연결되면 캐패시터가 충전되면서 전자가 도체판 A에서 도체판 B로 흘러간다.



(c) 캐패시터가 V_S 만큼 충전되면 전자가 더 이상 흐르지 않는다.



(d) 이상적인 경우 캐패시터는 전압원에서 분리되어도 전하를 유지한다.



캐패시턴스

캐패시터가 도체판 양단에 저장할 수 있는 단위 전압당 전하의 양을 **캐패시턴스**

$$C = \frac{Q}{V}$$

C = 캐패시턴스

Q = 전하

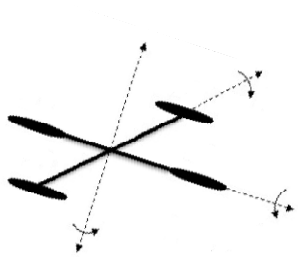
V = 전압

$$Q = CV$$

$$V = \frac{Q}{C}$$

패럿(farad : F)

1 F은 1 C의 전하가 1 V의 전압으로 도체판 양단에 저장되는 캐패시턴스의 크기이다.



정격전압

모든 캐패시터는 도체판 사이에서 견딜 수 있는 전압에 한계

유전강도 캐패시터의 파괴전압은 사용되는 유전체의 **유전강도(dielectric strength)**

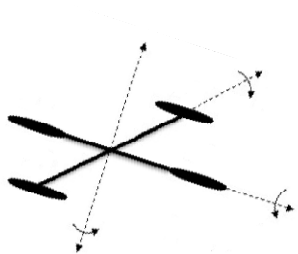
온도계수(temperature coefficient)는 온도에 따라 캐패시턴스가 변화하는 정도와 방향

캐패시터의 물리적인 특성

도체판의 면적 캐패시턴스는 도체판의 면적으로 결정되는 도체판의 크기에 비례

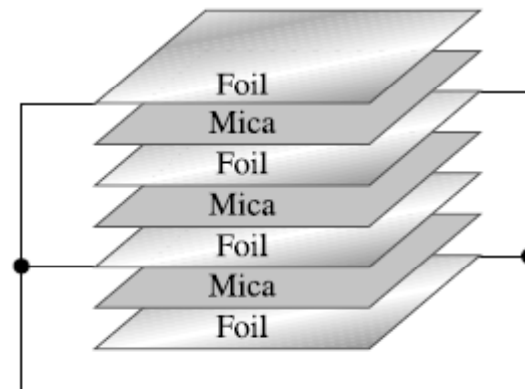
판간 거리 캐패시턴스는 판간 거리에 반비례

유전상수 전계를 형성하는 정도를 나타내는 재료의 성질

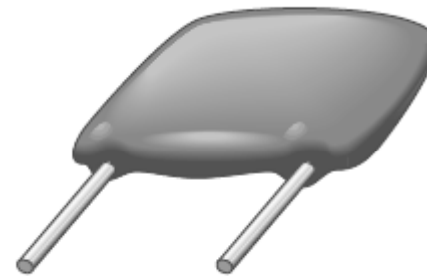


9-2 캐패시터의 종류

운모 캐패시터

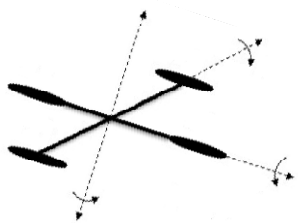


(a) 겹겹으로 쌓인 층의 배열



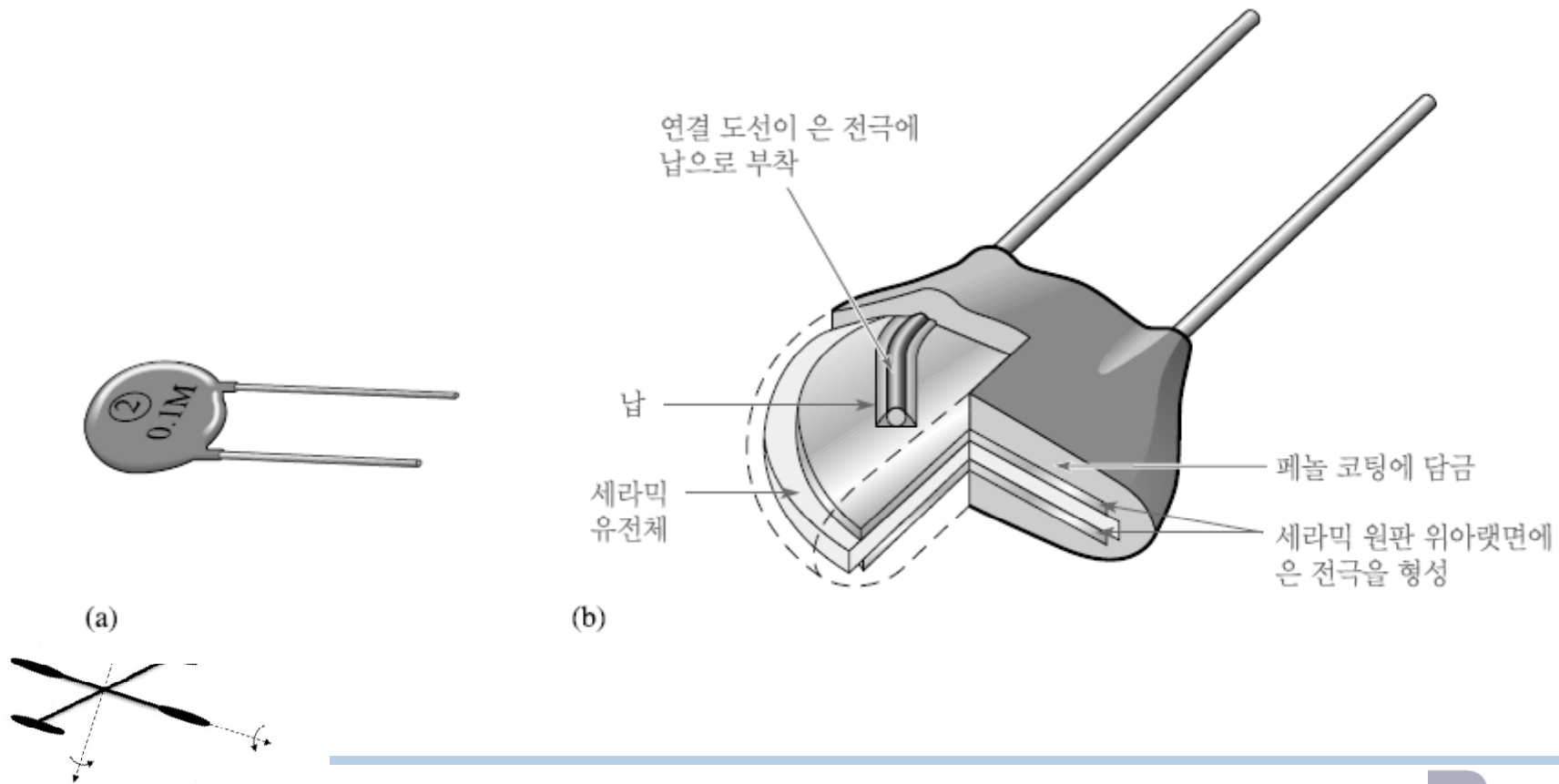
(b) 층들은 함께 압착되어 캡슐화한다.

운모 캐패시터는 1 pF에서 0.1 μ F의 캐패시턴스값과 100 V에서 2500 V의 정격전압

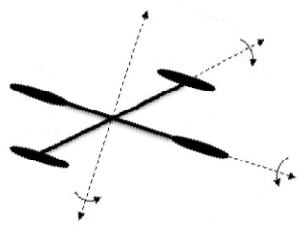
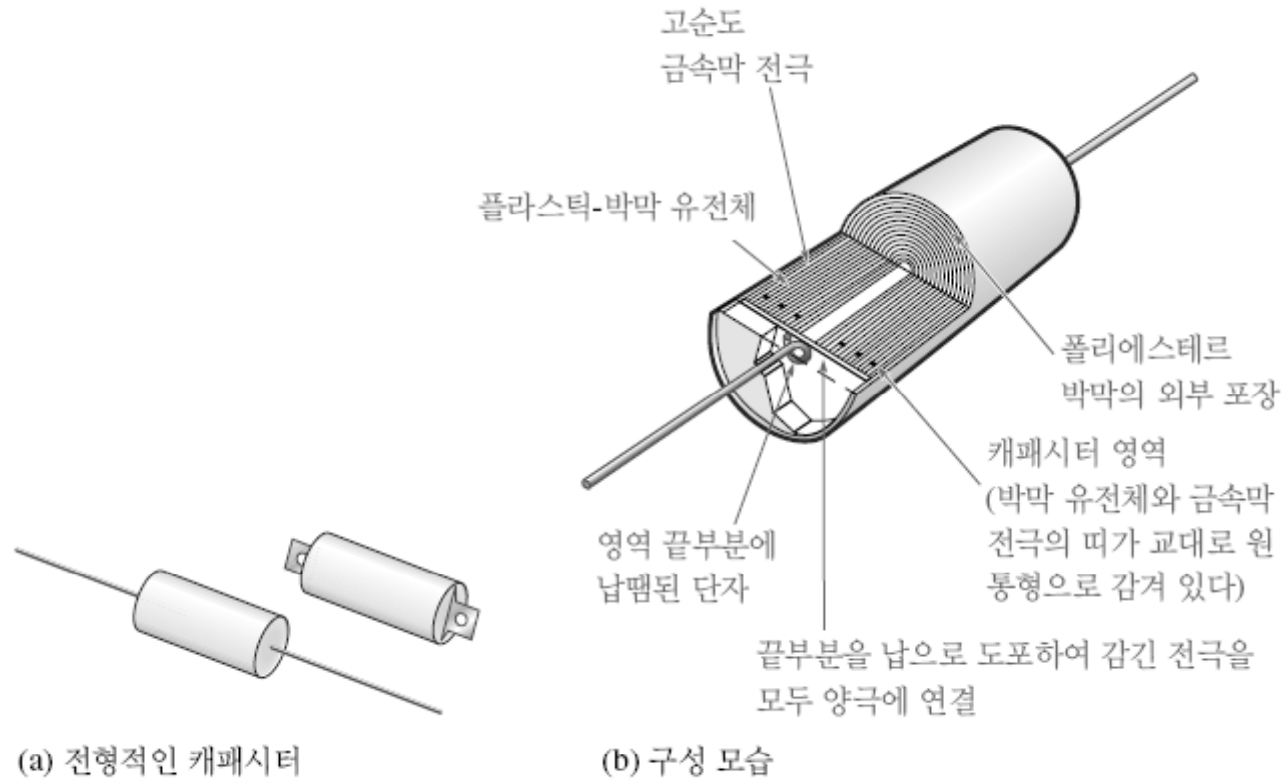


세라믹 캐패시터

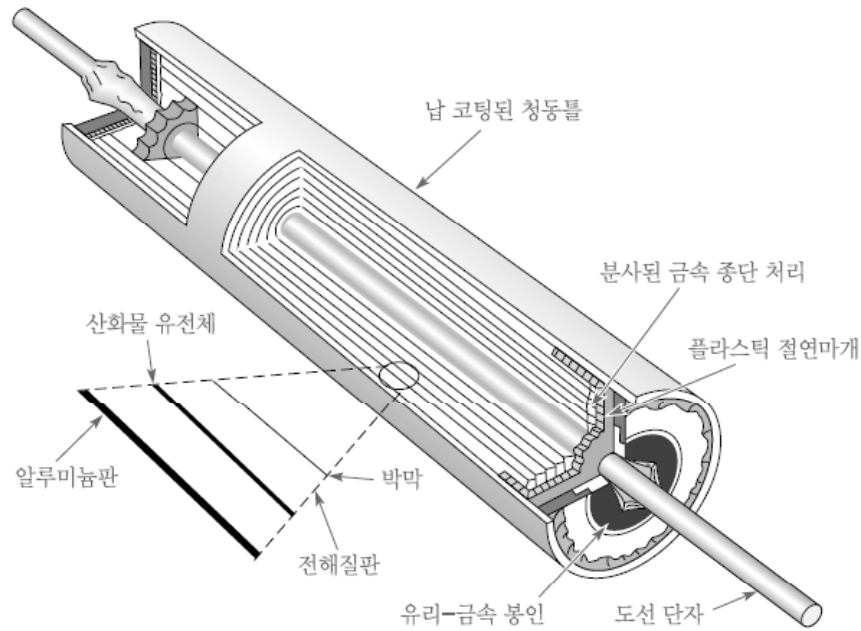
6 kV 이상의 정격전압을 가진 1 pF에서 2.2 μ F



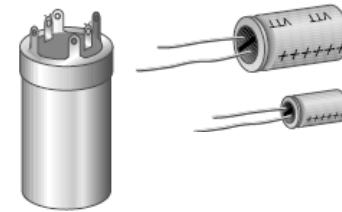
플라스틱-박막 캐패시터



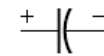
전해 캐패시터



(a) 축방향 도선을 갖는 전해 캐패시터의 구성 모습



(b) 방사형 도선을 갖는 전형적인 전해 캐패시터



(c) 전해 캐패시터의 기호

그림 9-14

전해 캐패시터의 예

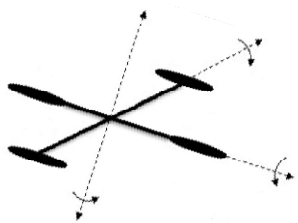
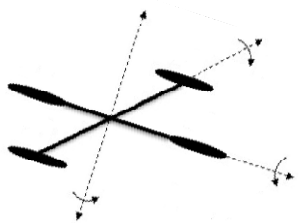
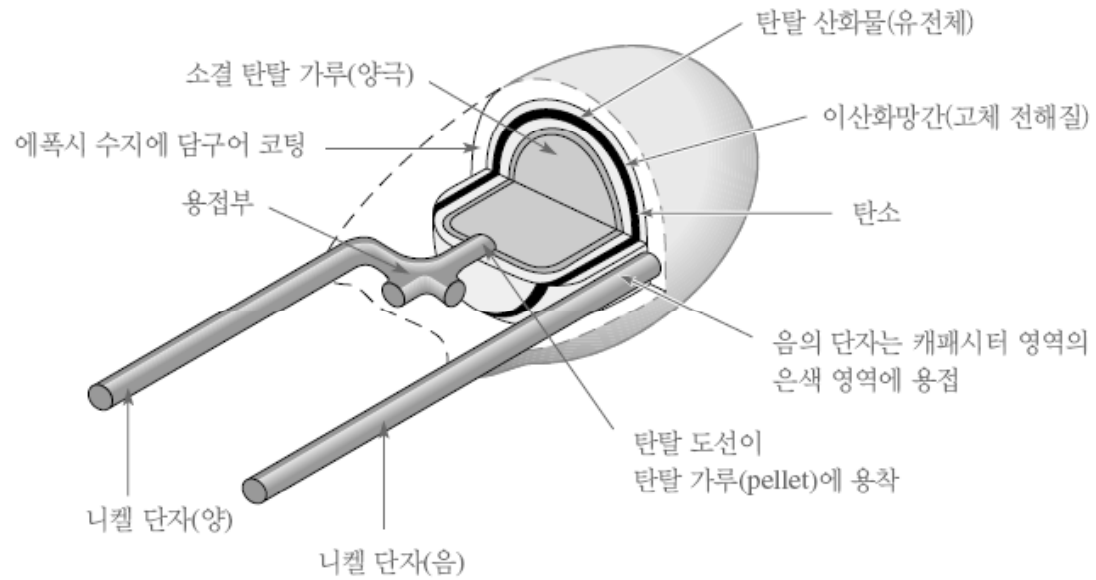
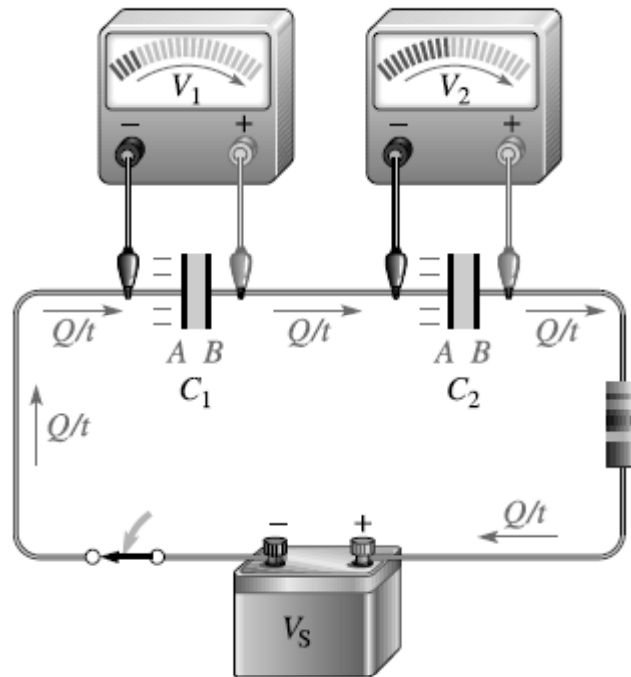


그림 9-15

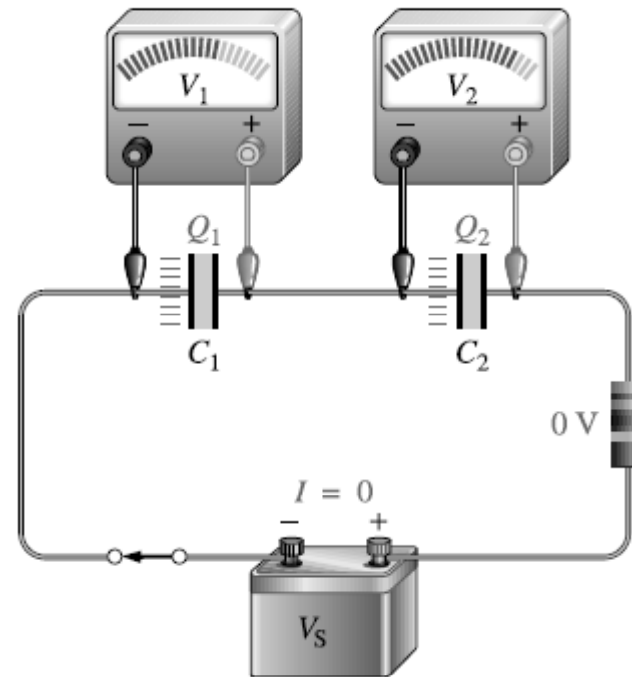
전형적인 물방울형 탄탈 전해 캐패시터의 구성 모습



9-3 직렬 캐패시터

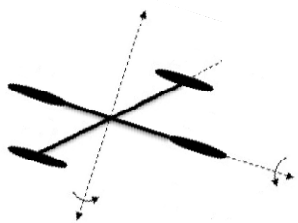


(a) 충전되는 동안 $I = Q/t$ 는 모든 점에서 동일하다. 캐패시터 전압은 증가한다.



(b) 각 캐패시터는 동일한 양의 전하를 저장한다 ($Q_T = Q_1 = Q_2$).

$$Q_T = Q_1 = Q_2$$



$$Q_T = Q_1 = Q_2$$

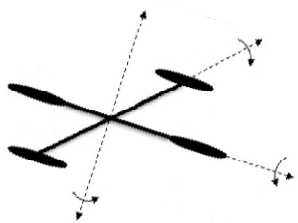
$$V_S = V_1 + V_2 \quad \leftarrow \quad V = Q/C$$

$$\frac{Q}{C_T} = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2}$$

$$\frac{1}{C_T} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

$$C_T = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}}$$
$$C_T = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$$

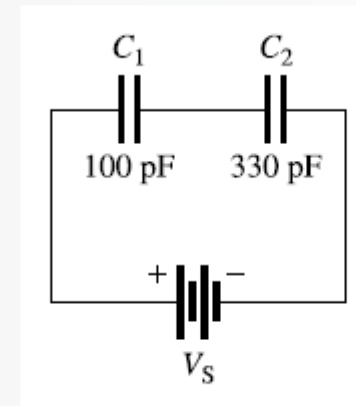
$$C_T = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots + \frac{1}{C_n}}$$



예제 9-5

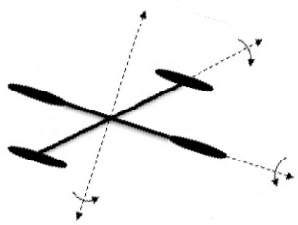
그림 9-20에서 전체 캐패시턴스 C_T 를 구하시오.

그림 9-20



해

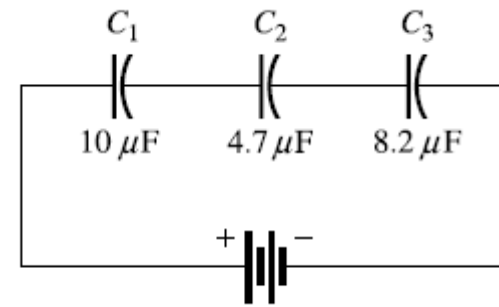
$$C_T = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = \frac{(100 \text{ pF})(330 \text{ pF})}{100 \text{ pF} + 330 \text{ pF}} = 76.7 \text{ pF}$$



예제 9-6

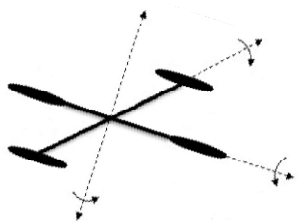
그림 9-22에서 전체 캐패시턴스를 구하시오.

그림 9-22



해

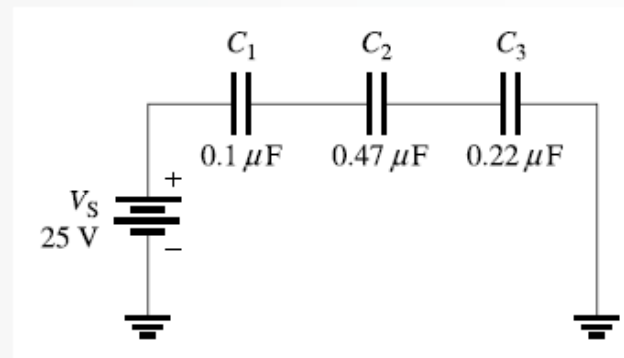
$$C_T = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}} = \frac{1}{\frac{1}{10 \mu\text{F}} + \frac{1}{4.7 \mu\text{F}} + \frac{1}{8.2 \mu\text{F}}} = 2.30 \mu\text{F}$$



예제 9-7

그림 9-23에서 각 캐패시터에 걸린 전압을 구하시오.

그림 9-23



해 전체 캐패시턴스를 구하면 다음과 같다.

$$C_T = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}} = \frac{1}{\frac{1}{0.1 \mu\text{F}} + \frac{1}{0.47 \mu\text{F}} + \frac{1}{0.22 \mu\text{F}}} = 0.06 \mu\text{F}$$

각 캐패시터에 걸린 전압은 다음과 같다.

$$V_1 = \left(\frac{C_T}{C_1}\right)V_S = \left(\frac{0.06 \mu\text{F}}{0.1 \mu\text{F}}\right) 25 \text{ V} = 15.0 \text{ V}$$

$$V_2 = \left(\frac{C_T}{C_2}\right)V_S = \left(\frac{0.06 \mu\text{F}}{0.47 \mu\text{F}}\right) 25 \text{ V} = 3.19 \text{ V}$$

$$V_3 = \left(\frac{C_T}{C_3}\right)V_S = \left(\frac{0.06 \mu\text{F}}{0.22 \mu\text{F}}\right) 25 \text{ V} = 6.82 \text{ V}$$

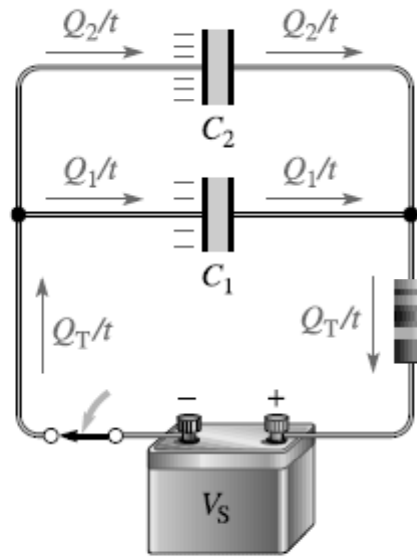
$$V_x = \left(\frac{C_T}{C_x}\right)V_S$$

직렬로 연결된 경우, 가장 큰 값의 캐패시터에는 가장 작은 전압이 걸리고, 가장 작은 값의 캐패시터에는 가장 큰 전압이 걸린다.

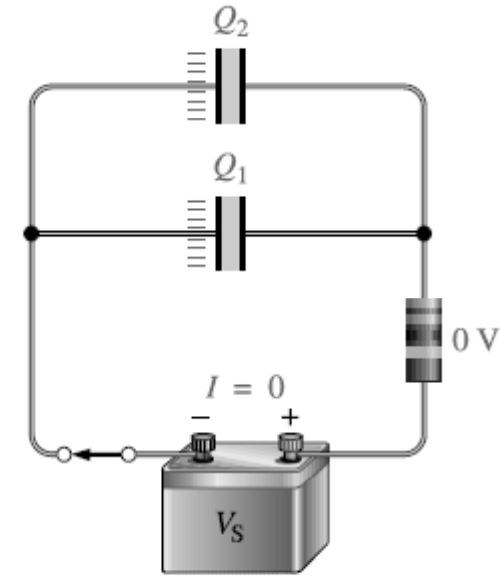
9-4 병렬 캐패시터

그림 9-24

병렬 연결된 캐패시터에 의해 만들어지는 전체 캐패시턴스는 각 캐패시턴스의 합과 같다



(a) 각 캐패시터의 전하량은 캐패시턴스값에 직접 비례한다.

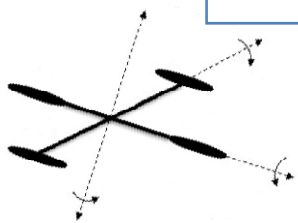


(b) $Q_T = Q_1 + Q_2$

$$Q_T = Q_1 + Q_2$$

$$C_T V_S = C_1 V_S + C_2 V_S$$

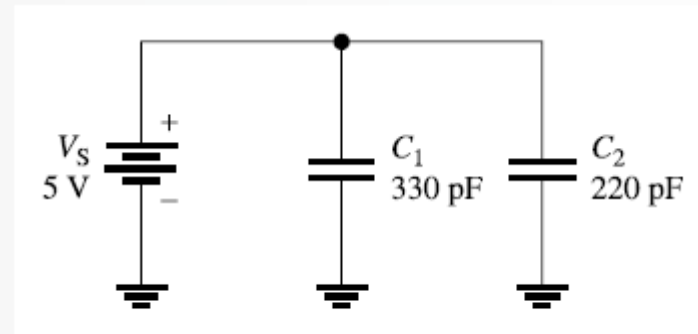
$$C_T = C_1 + C_2$$



예제 9-8

그림 9-25에서 전체 캐패시턴스는 얼마인가? 각 캐패시터 양단의 전압은 얼마인가?

그림 9-25

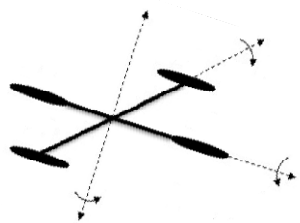


해 전체 캐패시턴스는 다음과 같다.

$$C_T = C_1 + C_2 = 330 \text{ pF} + 220 \text{ pF} = \mathbf{550 \text{ pF}}$$

병렬 연결된 캐패시터 양단의 전압은 전원전압과 같으므로 다음과 같이 나타난다.

$$V_S = V_1 = V_2 = \mathbf{5 \text{ V}}$$



예제 9-9

그림 9-27에서 C_T 를 구하시오.

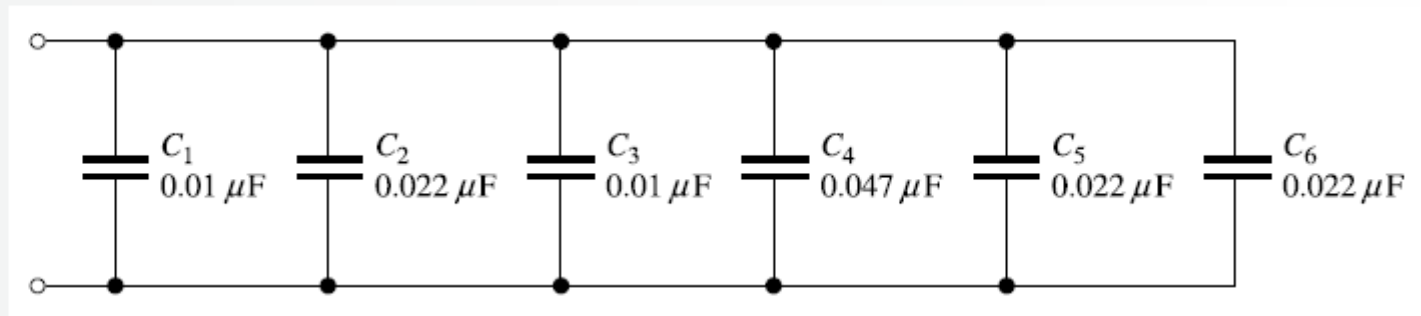
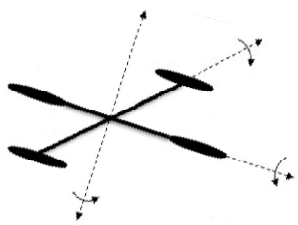


그림 9-27

해 $C_T = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5 + C_6$
 $= 0.01 \mu\text{F} + 0.022 \mu\text{F} + 0.01 \mu\text{F} + 0.047 \mu\text{F} + 0.022 \mu\text{F} + 0.022 \mu\text{F}$
 $= \mathbf{0.133 \mu\text{F}}$



9-5 직류 회로에서의 캐패시터

캐패시터의 충전

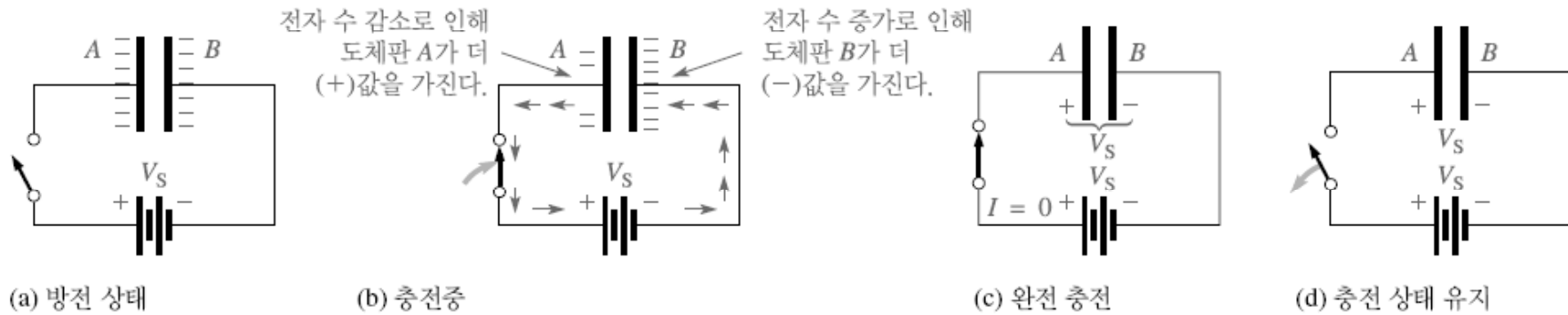
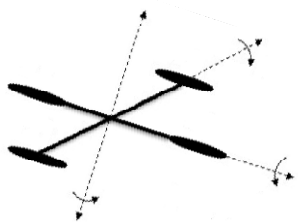


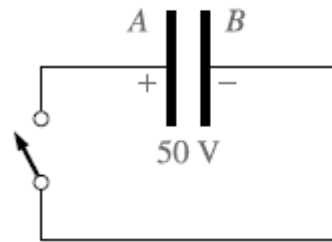
그림 9-28

캐패시터의 충전

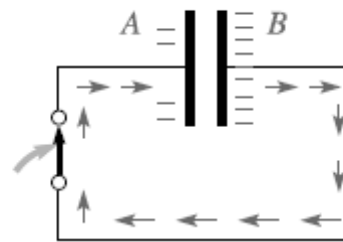
캐패시터는 일정한 DC를 차단한다.



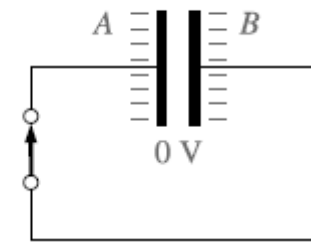
캐패시터의 방전



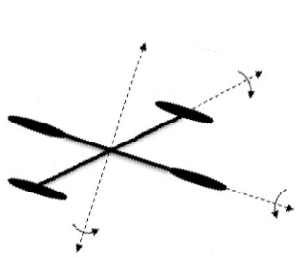
(a) 충전 상태 유지



(b) 방전중



(c) 완전 방전



충전 및 방전시 전류와 전압

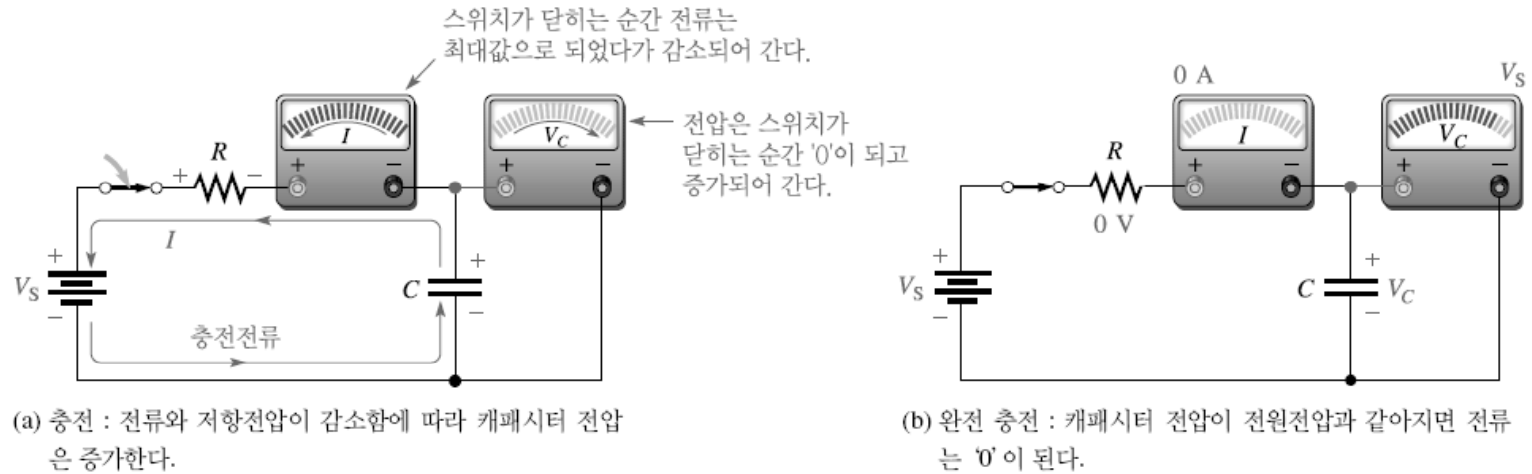
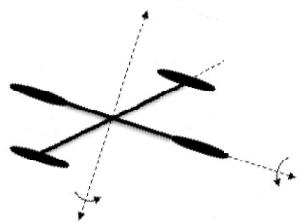


그림 9-30

캐패시터 충전과 방전시의 전류와 전압



RC 시정수

직렬 RC 회로의 RC 시정수(RC time constant)는 저항과 캐패시턴스의 곱과 같은 시간 간격이다.

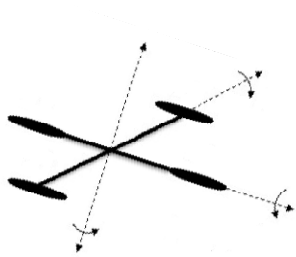
$$\tau = RC$$

예제 9-10

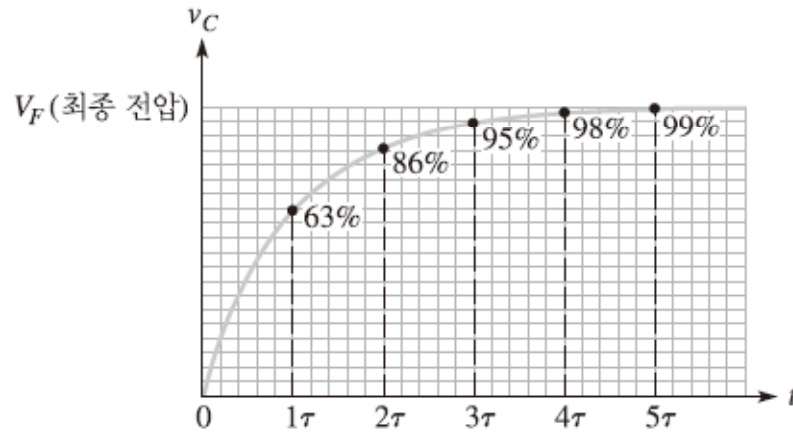
1.0 M Ω 저항과 4.7 μ F 캐패시터가 직렬 연결된 RC 회로의 시정수를 구하시오.

해

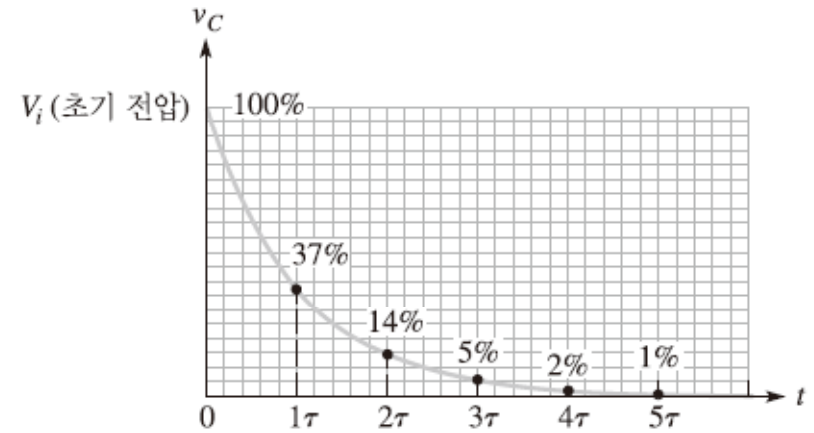
$$\tau = RC = (1.0 \times 10^6 \Omega)(4.7 \times 10^{-6} \text{ F}) = 4.7 \text{ s}$$



충전 및 방전 곡선



(a) 최종 전압에 대한 백분율로 나타낸 충전곡선



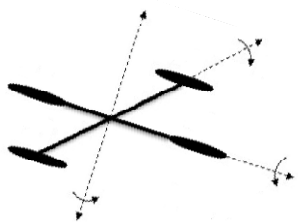
(b) 초기 전압의 백분율로 나타낸 방전곡선

$$v = V_F + (V_i - V_F)e^{-t/\tau}$$

$$i = I_F + (I_i - I_F)e^{-t/\tau}$$

'0' 으로부터 충전

$$v = V_F + (V_i - V_F)e^{-t/\tau} = V_F + (0 - V_F)e^{-t/RC} = V_F - V_F e^{-t/RC}$$

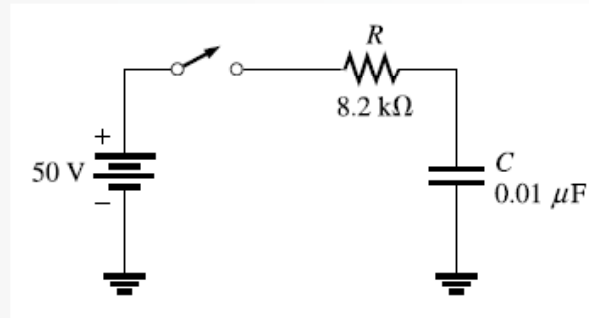


$$v = V_F(1 - e^{-t/RC})$$

예제 9-11

그림 9-32에서 캐패시터가 초기에 완전히 방전되어 있을 때 스위치를 닫고 $50 \mu s$ 지난 후 캐패시터 전압을 구하시오. 충전곡선을 그리시오.

그림 9-32

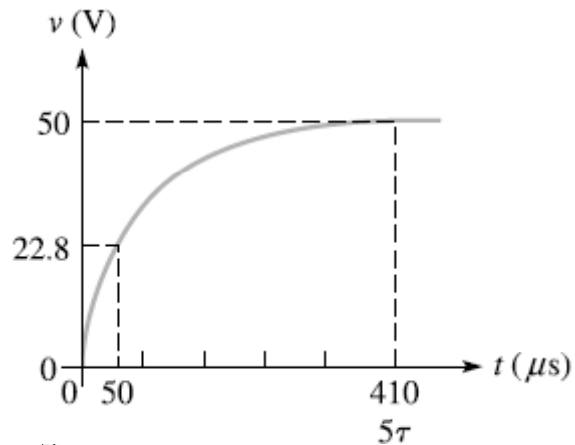


해 시정수는 다음과 같다.

$$\tau = RC = (8.2 \text{ k}\Omega)(0.01 \mu\text{F}) = 82 \mu\text{s}$$

캐패시터가 완전히 충전될 때 전압은 50 V(이 값이 V_F 이다)이고 초기 전압은 0이다. $50 \mu s$ 가 시정수보다 작은 값을 유념하면 캐패시터는 V_F 의 63%보다 작음을 알 수 있다.

$$v = V_F (1 - e^{-t/RC}) = (50 \text{ V})(1 - e^{-50\mu s/82\mu s}) = 22.8 \text{ V}$$



'0' 으로 방전

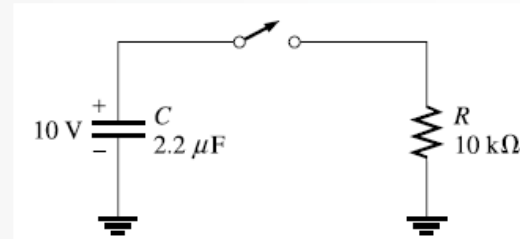
$$v = V_F + (V_i - V_F)e^{-t/\tau} = 0 + (V_i - 0)e^{-t/RC}$$

$$v = V_i e^{-t/RC}$$

예제 9-12

그림 9-34에서 스위치가 닫힌 후 6 ms 시점에서 캐패시터 전압을 구하시오. 방전곡선도 그리시오.

그림 9-34

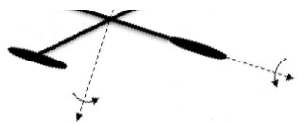
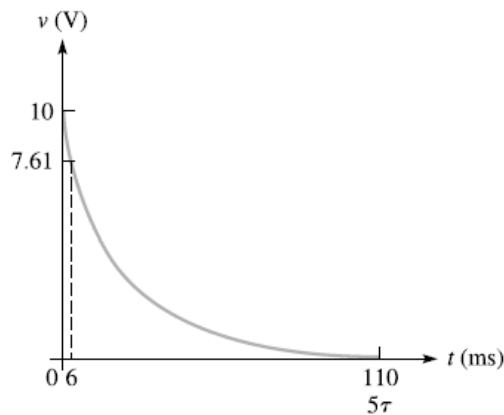


해 방전 시정수는 다음과 같다.

$$\tau = RC = (10 \text{ k}\Omega)(2.2 \text{ }\mu\text{F}) = 22 \text{ ms}$$

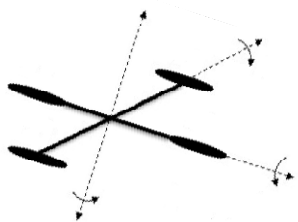
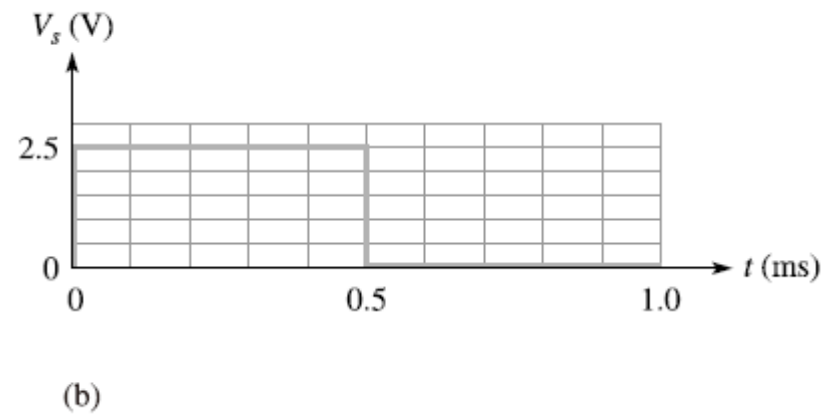
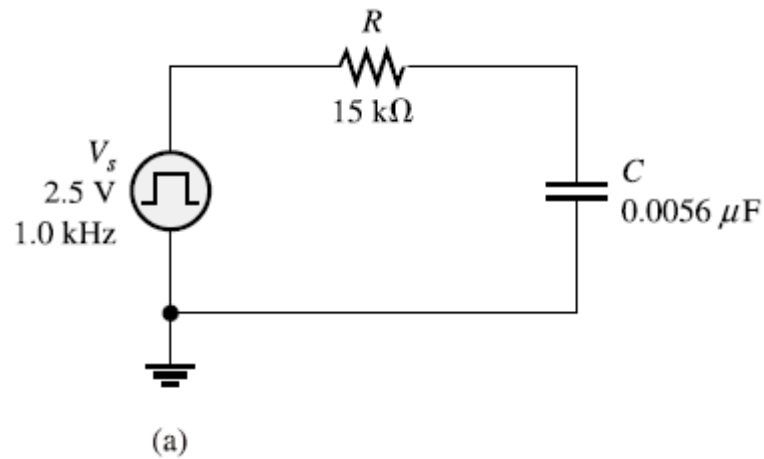
초기 캐패시터 전압은 10 V이다. 6 ms가 시정수보다 작음을 유념하면 캐패시터는 63%보다 적게 방전할 것임을 알 수 있다. 따라서 6 ms일 때 전압은 초기 전압의 37%보다 크게 된다.

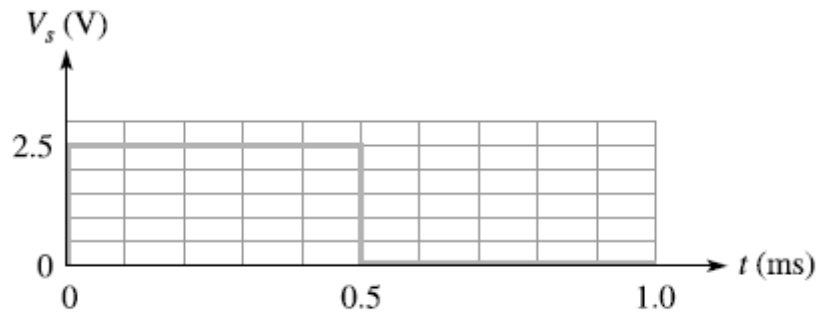
$$v = V_i e^{-t/RC} = (10 \text{ V})e^{-6\text{ms}/22\text{ms}} = 7.61 \text{ V}$$



구형파에 대한 응답

그림 9-39(a)의 회로에 그림 9-39(b)와 같은 입력파형이 인가될 때, 한 주기 동안에 대해 매 0.1 ms마다 캐패시터 양단 전압을 구하고, 캐패시터의 전압파형을 대략적으로 그리시오. 이 때 구형파 발생기의 내부 저항은 무시된다.





$$\tau = RC = (15 \text{ k}\Omega)(0.0056 \text{ }\mu\text{F}) = 0.084 \text{ ms}$$

$$v = V_F (1 - e^{-t/RC})$$

$$0.1 \text{ ms에서 } v = 2.5 \text{ V}(1 - e^{-0.1\text{ms}/0.084 \text{ ms}}) = 1.74 \text{ V}$$

$$0.2 \text{ ms에서 } v = 2.5 \text{ V}(1 - e^{-0.2\text{ms}/0.084\text{ms}}) = 2.27 \text{ V}$$

$$0.3 \text{ ms에서 } v = 2.5 \text{ V}(1 - e^{-0.3\text{ms}/0.084\text{ms}}) = 2.43 \text{ V}$$

$$0.4 \text{ ms에서 } v = 2.5 \text{ V}(1 - e^{-0.4\text{ms}/0.084\text{ms}}) = 2.48 \text{ V}$$

$$0.5 \text{ ms에서 } v = 2.5 \text{ V}(1 - e^{-0.5\text{ms}/0.084\text{ms}}) = 2.49 \text{ V}$$

$$v = V_i e^{-t/RC}$$

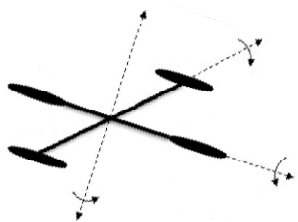
$$0.6 \text{ ms에서 } v = 2.5 \text{ V}(e^{-0.1\text{ms}/0.084\text{ms}}) = 0.76 \text{ V}$$

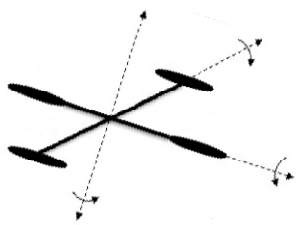
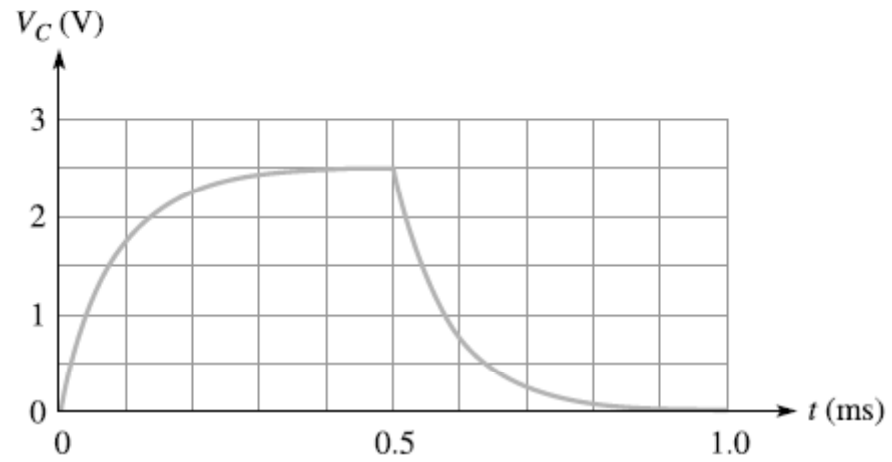
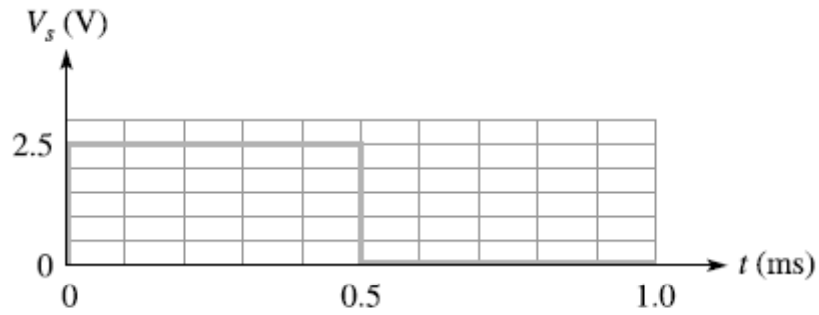
$$0.7 \text{ ms에서 } v = 2.5 \text{ V}(e^{-0.2\text{ms}/0.084\text{ms}}) = 0.23 \text{ V}$$

$$0.8 \text{ ms에서 } v = 2.5 \text{ V}(e^{-0.3\text{ms}/0.084\text{ms}}) = 0.07 \text{ V}$$

$$0.9 \text{ ms에서 } v = 2.5 \text{ V}(e^{-0.4\text{ms}/0.084\text{ms}}) = 0.02 \text{ V}$$

$$1.0 \text{ ms에서 } v = 2.5 \text{ V}(e^{-0.5\text{ms}/0.084\text{ms}}) = 0.01 \text{ V}$$





9-6 교류 회로에서의 캐패시터

캐패시터에서 정현파 전류의 흐름을 저해하는 성질을 용량성 리액턴스라고 부른다.

기호는 X_C 이며 단위는 옴(Ω)

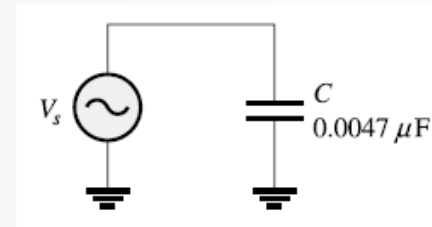
X_C 는 $\frac{1}{fC}$ 에 비례한다.

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC}$$

예제 9-15

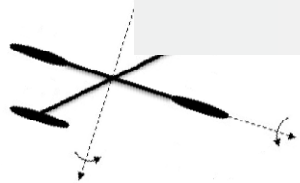
그림 9-44와 같이 정현파 전류가 캐패시터에 인가되었다. 정현파 주파수가 1 kHz일 때 용량성 리액턴스를 구하시오.

그림 9-44



해

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\pi(1 \times 10^3 \text{ Hz})(0.0047 \times 10^{-6} \text{ F})} = 33.9 \text{ k}\Omega$$



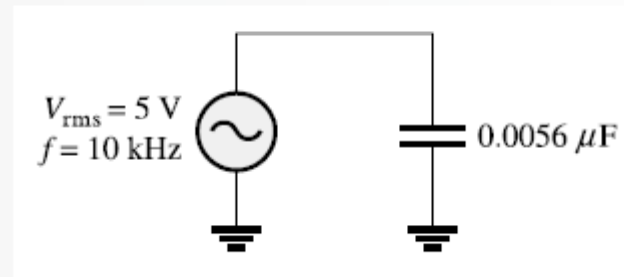
옴의 법칙 캐패시터의 리액턴스는 저항의 저항값과 유사하다.

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

예제 9-16

그림 9-45에서 실효 전류를 구하시오.

그림 9-45



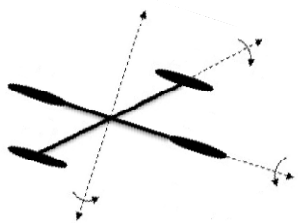
우선 X_C 를 구한다.

해

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\pi(10 \times 10^3 \text{ Hz})(0.0056 \times 10^{-6} \text{ F})} = 2.84 \text{ k}\Omega$$

다음에는 옴의 법칙을 적용한다.

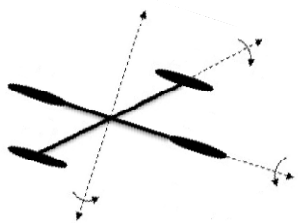
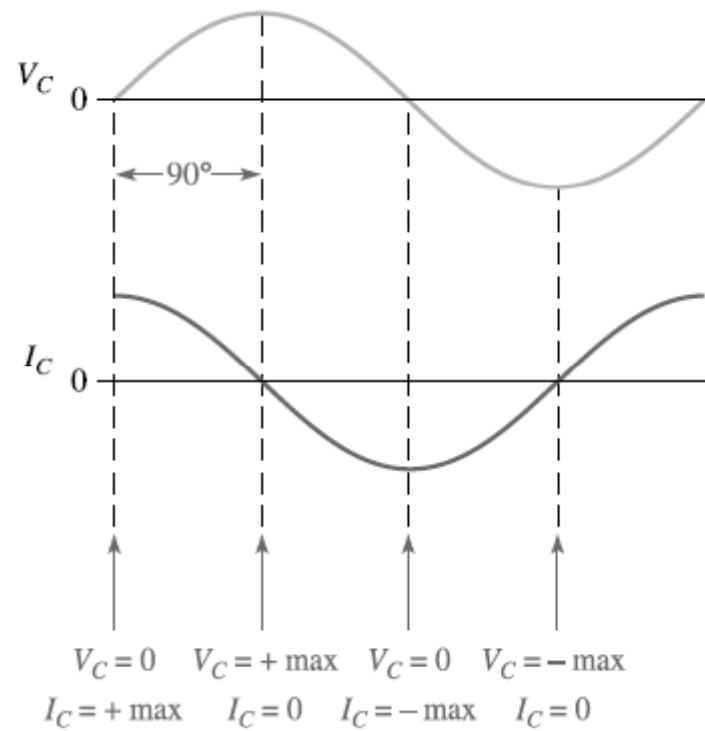
$$I_{\text{rms}} = \frac{V_{\text{rms}}}{X_C} = \frac{5 \text{ V}}{2.84 \text{ k}\Omega} = 1.76 \text{ mA}$$



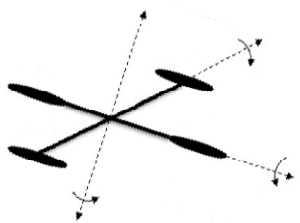
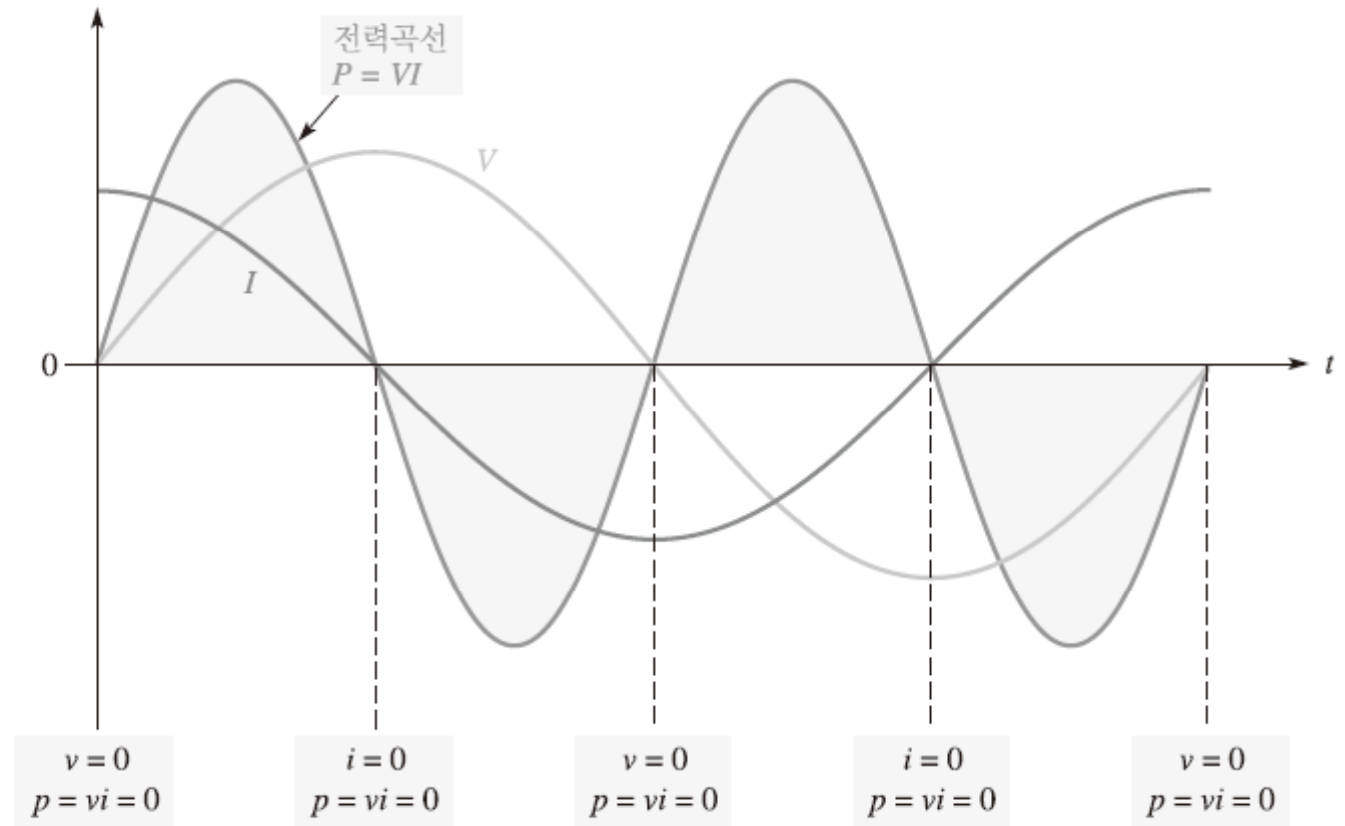
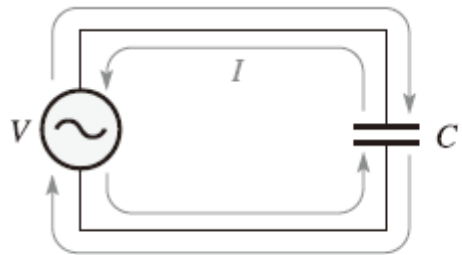
전류가 캐패시터 전압을 90° 앞섬

그림 9-47

전류는 캐패시터 전압을
 90° 앞선다



캐패시터에서의 전력



유효전력(P_{true}) 이상적으로 전력 사이클의 (+) 부분 동안 캐패시터에 의해 저장된 모든 에너지는 (-) 부분 동안 전원으로 되돌아간다. 캐패시터에서는 에너지 소모가 없으므로 **유효 전력(true power : P_{true})**은 0이다. 그러나 실제 캐패시터에서는 누설전류와 도체판의 저항으로 인해 약간의 전력이 유효전력의 형태로 손실된다.

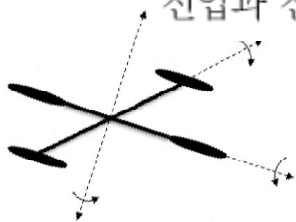
무효전력(P_r) 캐패시터가 에너지를 저장하거나 돌려 보내는 비율을 **무효전력(reactive power : P_r)**이라 한다. 매 순간 캐패시터는 에너지를 전원으로 부터 받고 있거나 전원으로 돌려 보내고 있으므로 무효전력은 0이 아니다. 그러나 무효전력이 열로 변환되는 에너지 손실을 의미하지는 않는다. 무효전력을 구하는 식은 다음과 같다.

$$P_r = V_{\text{rms}} I_{\text{rms}} \quad (9-19)$$

$$P_r = \frac{V_{\text{rms}}^2}{X_C} \quad (9-20)$$

$$P_r = I_{\text{rms}}^2 X_C \quad (9-21)$$

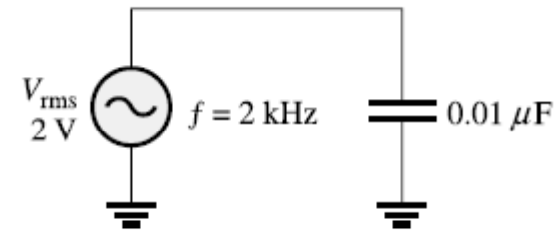
이러한 식들은 3장에서 다루었던 저항에서의 유효전력에 대한 식과 같은 형태로 되어 있다. 전압과 전류는 실효값으로 표현되며, 무효전력의 단위는 **VAR(volt-ampere reactive)**이다.



예제 9-17

그림 9-49에서 유효전력과 무효전력을 구하시오.

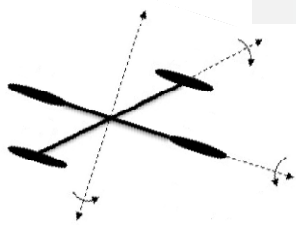
그림 9-49



해 유효전력 P_{true} 는 이상적인 캐패시터에서 항상 '0'이다. 무효전력을 구하기 위해 우선 용량성 리액턴스를 구한 후 식 (9-20)을 이용한다.

$$X_C = \frac{1}{2\pi fC} = \frac{1}{2\pi(2 \times 10^3\text{ Hz})(0.01 \times 10^{-6}\text{ F})} = 7.96\text{ k}\Omega$$

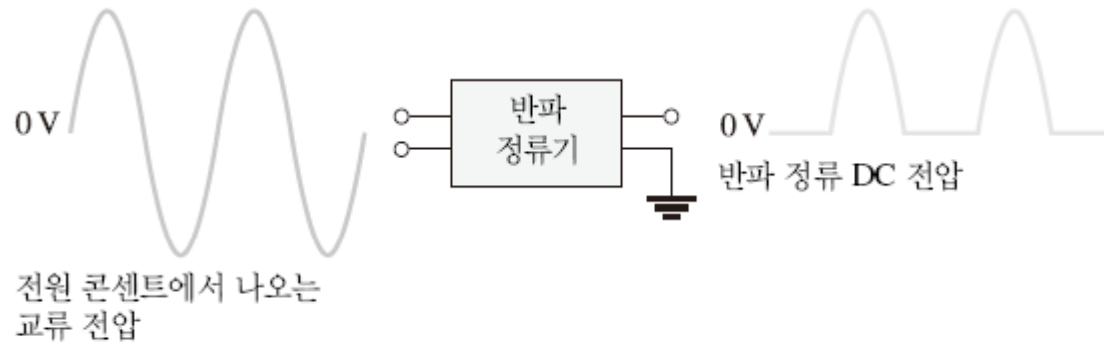
$$P_r = \frac{V_{rms}^2}{X_C} = \frac{(2\text{ V})^2}{7.96\text{ k}\Omega} = 503 \times 10^{-6}\text{ VAR} = 503\ \mu\text{VAR}$$



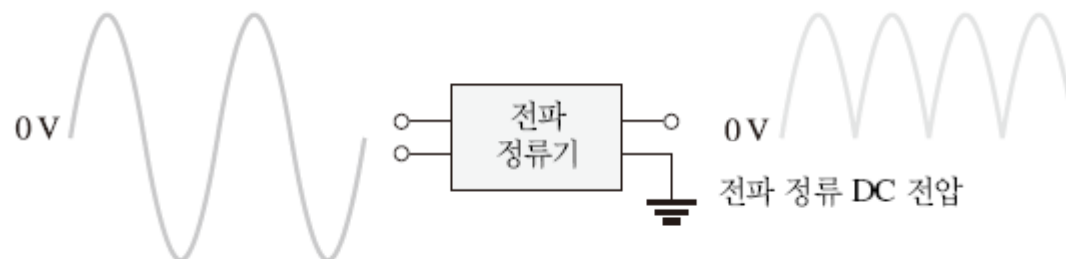
9-7 캐패시터 응용

축전

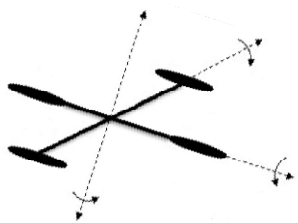
전원 공급기의 필터



(a)



(b)



직류 차단과 교류 결합

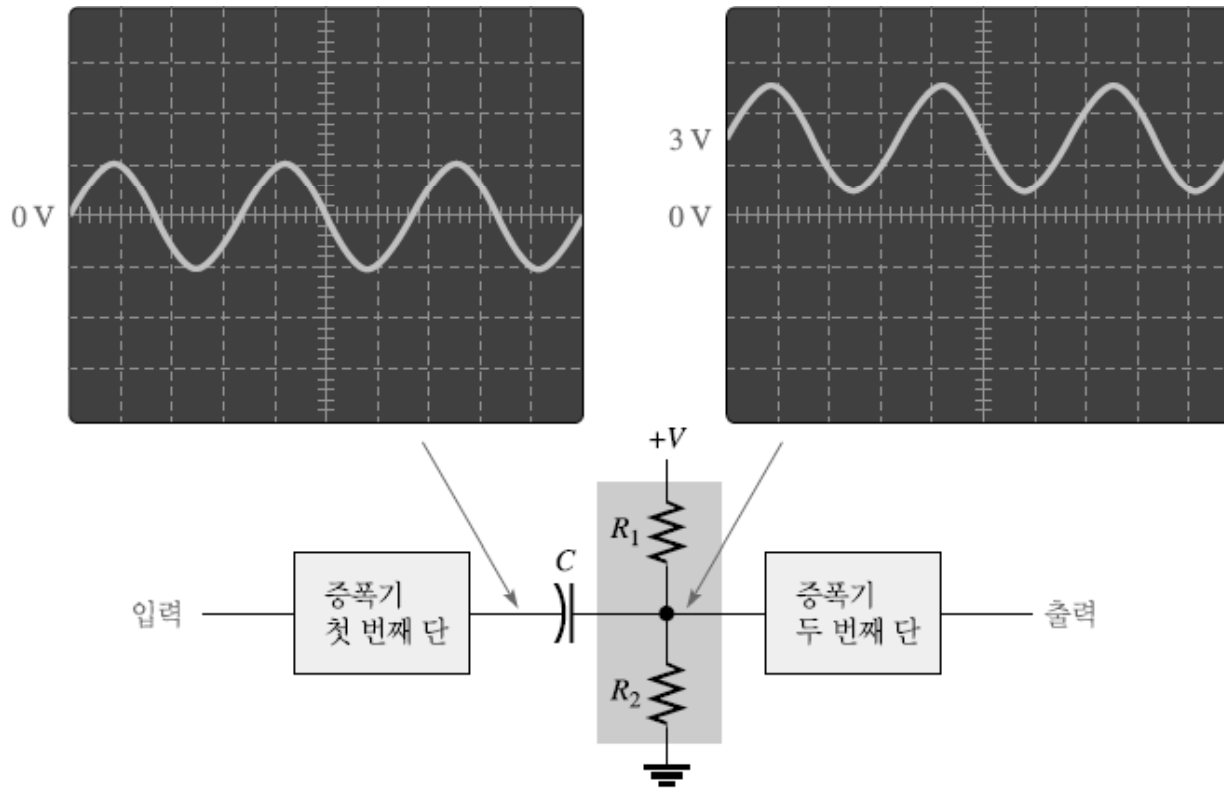
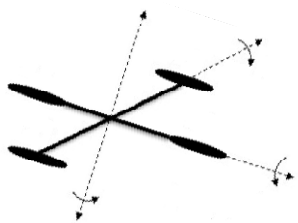


그림 9-54

증폭기에 직류를 차단(blocking)하고 교류 신호를 결합시키는 데 사용되는 캐패시터

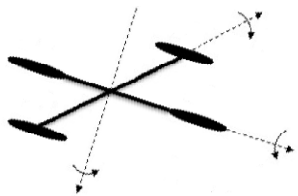
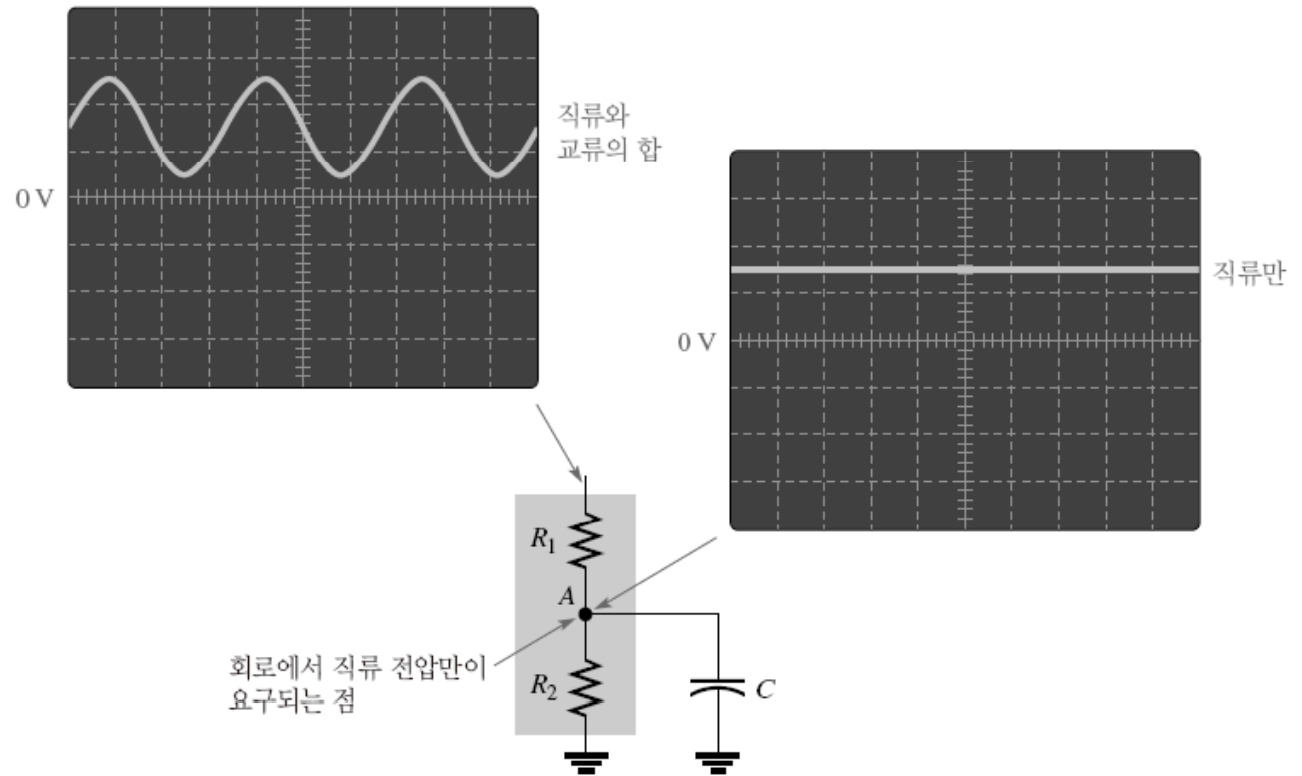


전원 공급선의 완충

바이패스

그림 9-55

바이패스 캐패시터의 동작의 예



신호 필터

필터의 주된 특징은 주파수를 선택할 수 있다는 데에 있으며, 캐패시터의 리액턴스는 주파수에 따라 달라진다는 사실($X_C = 1/2\pi fC$)에 기반을 둔다.

타이밍 회로

컴퓨터 메모리

