

커패시터와 인덕터

IoT 응용 설계

청주대학교 전자공학과
한철수

커패시터(capacitor)와 인덕터(inductor)

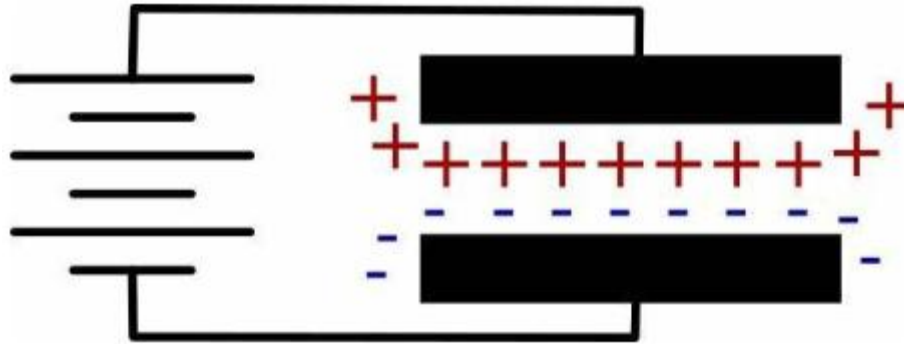
- 디지털 전자공학에서 커패시터는 단기간 전하를 저장함으로써 회로의 안정성을 향상시키는 보험의 역할로 주로 사용된다.
- 이 경우, 특별히 계산할 필요 없이 IC의 데이터시트에 명시된 추천 값을 따르면 된다.

-
- 아날로그 전자공학에서 커패시터는 다양한 방법으로 활용된다.
 - 커패시터는 소량의 전하를 단기간 저장할 수 있어서 발진기의 주파수를 설정하는 데 사용된다.
 - 전원 공급 장치의 리플 전압(ripple voltage)을 정류하는데 사용된다.
 - 오디오 신호의 DC 부분을 없애 신호를 맞춰 주기 위해 사용된다.

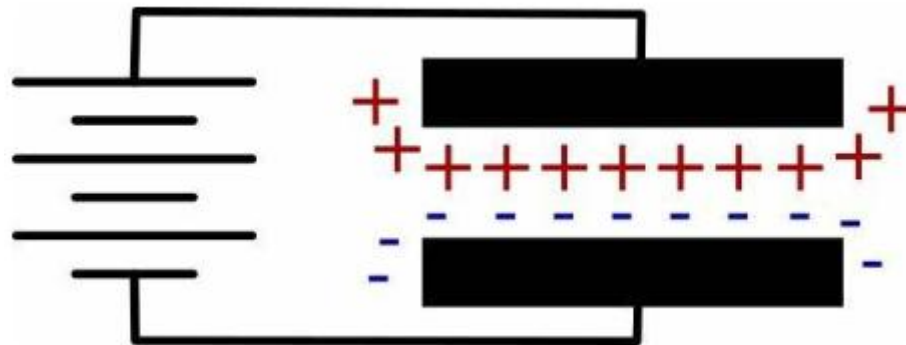
-
- 커패시터는 전자공학 전반에서 다양한 방식으로 사용된다.
 - 따라서 작동원리, 올바른 선정 방법, 사용 방법을 이해하는 것이 중요하다.
 - 인덕터는 커패시터만큼 흔하게 쓰이지는 않지만, 특정 용도, 특히 전원 공급 장치 분야에서는 널리 사용된다.

일시적으로 회로에 에너지 저장하기

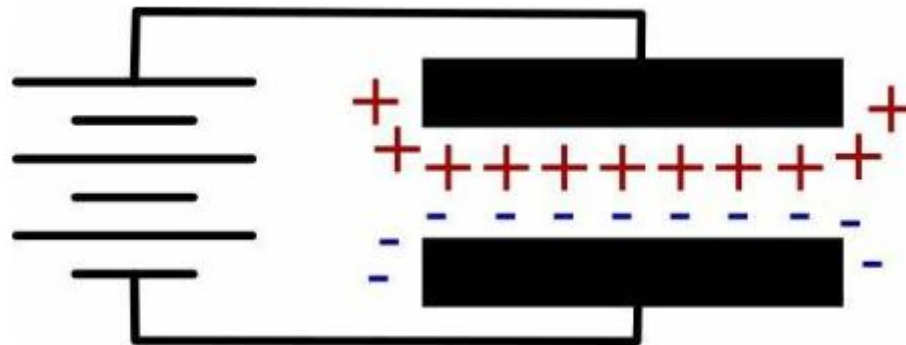
- 잠시 에너지를 저장하거나, 펄스를 생성하거나, 다른 부품을 전압 스파이크로부터 보호하고 싶을 때 커패시터를 사용하자.
- 커패시터는 도체판 2개와 이를 분리하는 절연층만으로 구성된다.



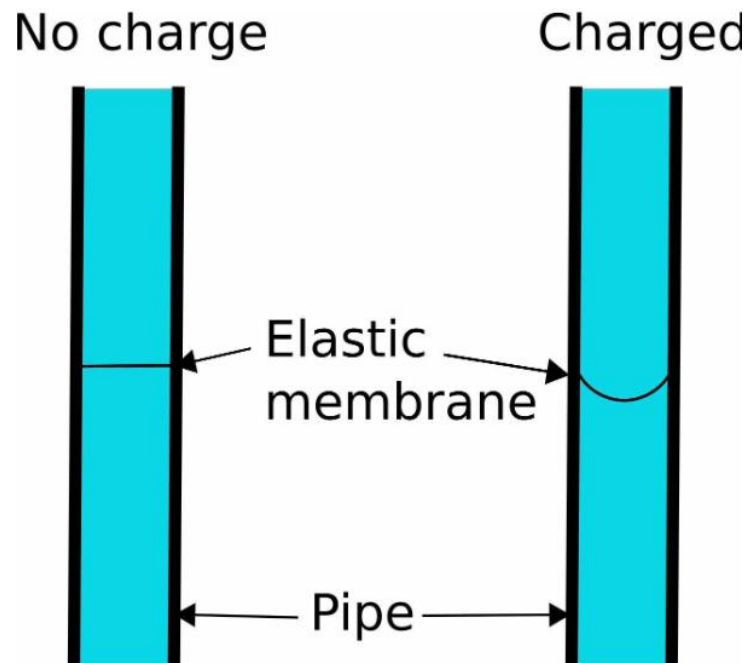
- 커패시터의 도체판을 분리하는 절연체로서 공기를 사용할 수도 있지만, 이 경우 커패시터의 용량 값이 매우 작아 진다.
- 커패시터의 값은 도체판의 면적, 도체판 사이의 거리, 절연체의 성능에 따라 결정된다.
- 도체판의 면적이 크고, 둘 사이의 거리가 가까울수록 커패시터의 전기 용량(커패시터가 저장할 수 있는 전하량)이 증가한다.



- 전자가 커패시터를 통과해서 흐르지는 않지만, 한쪽 도체판의 전자는 다른 쪽 도체판의 전자에 영향을 미친다.
- 전원을 커패시터에 연결하면 양극에 연결된 도체판에 양의 전하가 축전되면서 전기장이 생긴다.
- 이로 인해 같은 크기의 음의 전하가 반대쪽 도체판에 생성된다.

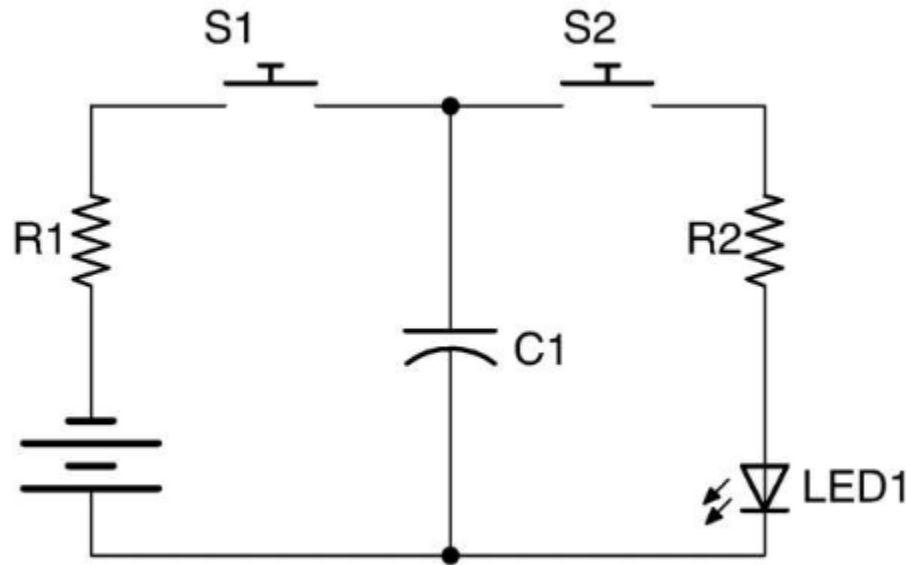


- 커패시터를 파이프 속에 든 탄성막이라고 생각해 보자.
- 탄성막은 물이 파이프를 통과해 흐르지 못하도록 막는다.
- 탄성막은 탄성이 있어서 물을 저장할 수 있도록 늘어난다.
- 그러나 정도가 지나치면 탄성막은 찢어진다.
 - 들어오는 전압이 커패시터의 최대 전압을 넘어설 때 커패시터가 손상 되는 것과 같다.

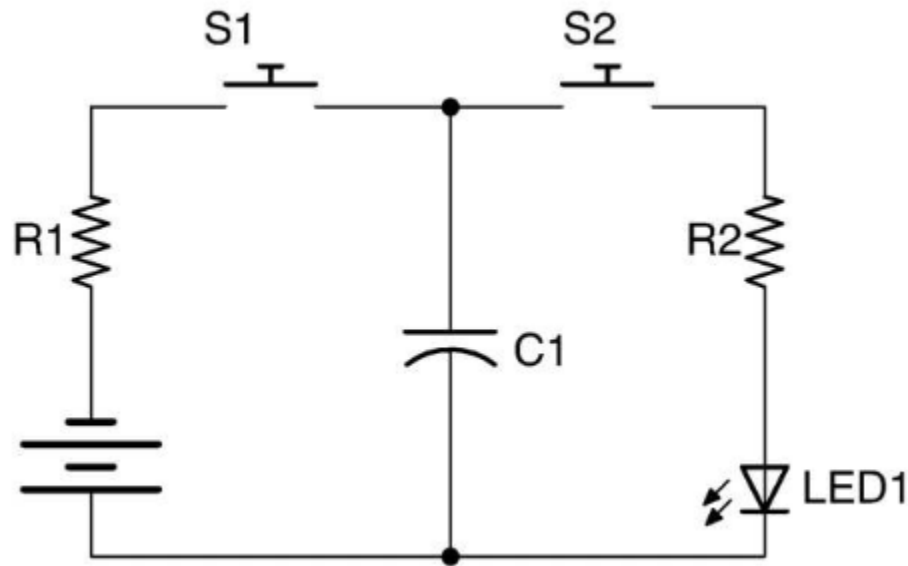


-
- 전압을 커패시터에 인가하면 커패시터에 전하가 즉시 충전된다.
 - 그러나 전압과 커패시터 사이에 저항을 두면, 완전히 충전될 때까지 어느 정도 시간이 걸린다.

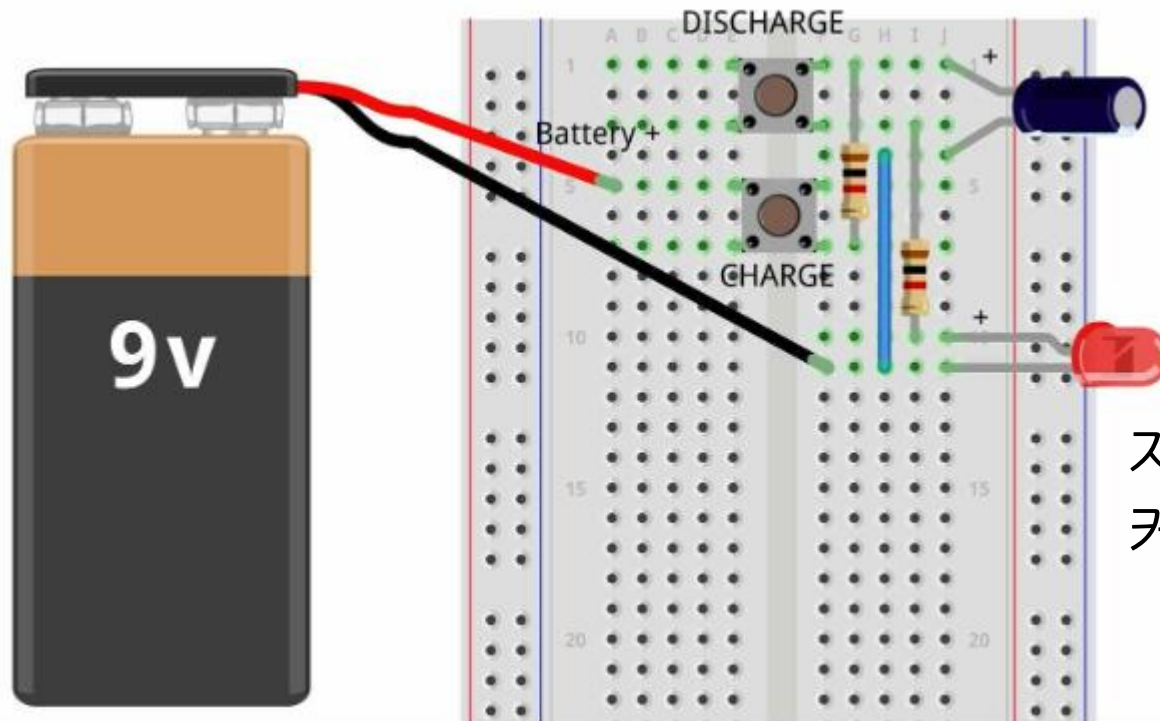
- 스위치 S1을 닫으면 전하가 R1을 지나 C1에 충전되고, 전기 용량이 배터리의 전압과 같아지면 충전이 끝난다.
- 이제 S1을 열면 충전된 커패시터 C1의 전하가 유지된다.
- 현상태에서 가만히 두면 C1은 자체 방전(self-discharge)을 통해 전하를 잃게 된다.



- 스위치 S2를 닫으면 C1이 R2와 LED1을 통해 방전된다.
- LED1은 처음에 밝게 빛나다가 C1이 방전되면서 점점 밝기가 줄어든다.

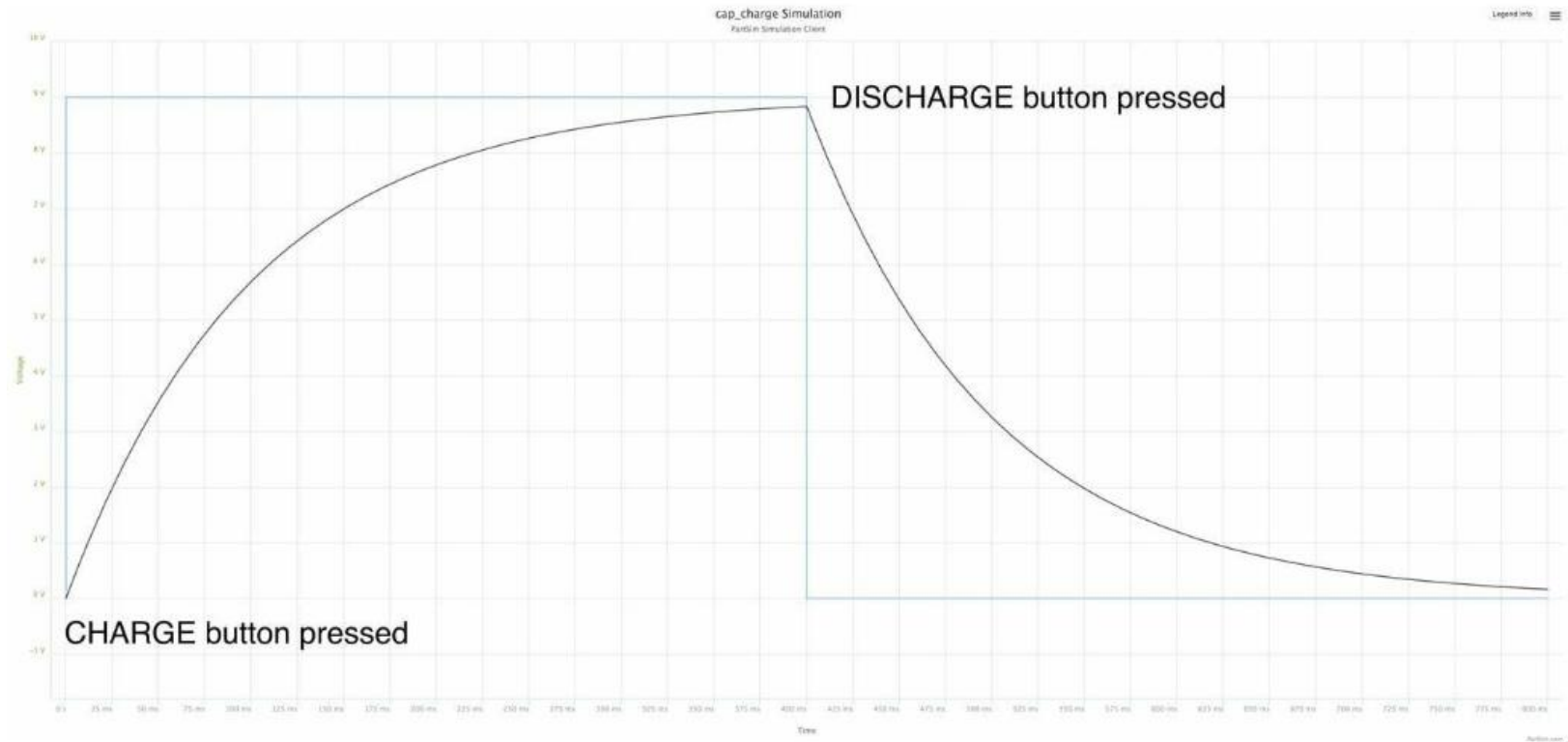


- CHARGE 버튼을 1-2초 동안 눌러 커패시터를 충전시킨다.
- CHARGE 버튼에서 손을 떼고, DISCHARGE 버튼을 계속 누르고 있다.
- LED는 1초 정도 밝게 빛났다가 점점 밝기가 줄고 1초 후에는 꺼진다.

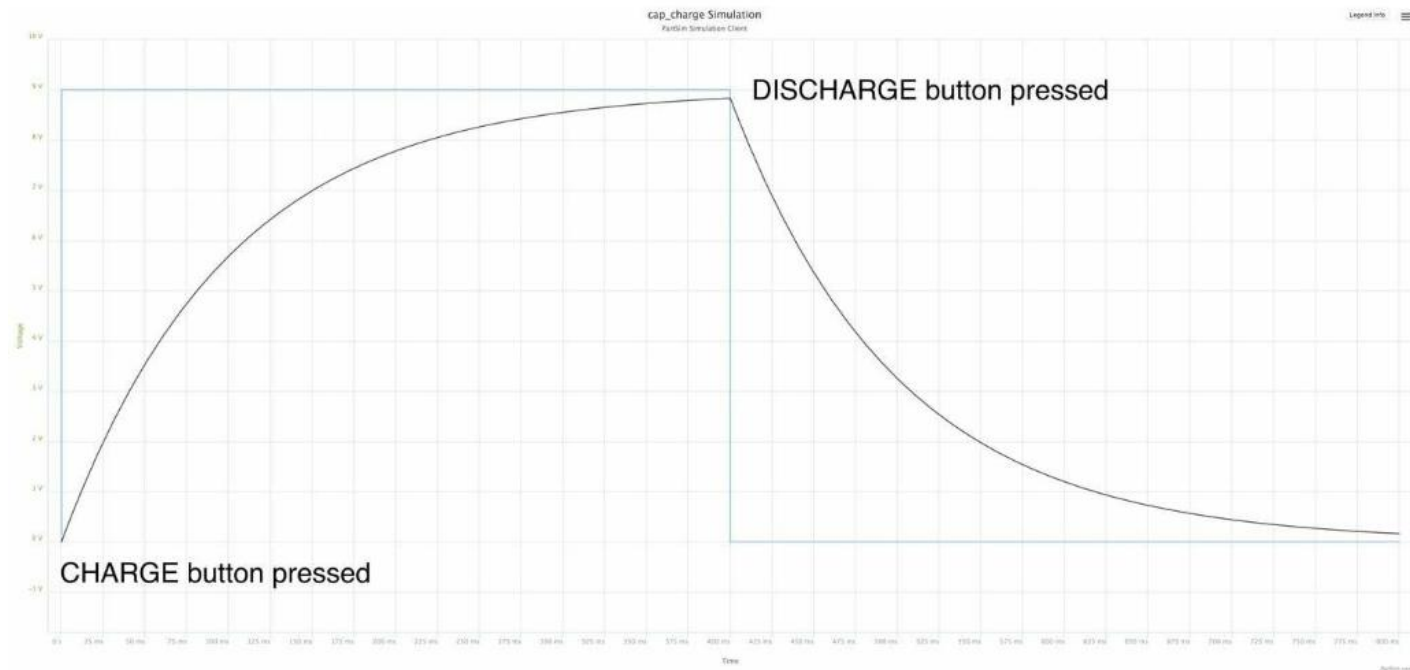


저항 : 1kΩ
커패시터: 100μF

- 커패시터가 처음 충전되었다가 다시 방전되는 동안 커패시터에 걸리는 전압



- 충전 버튼을 눌렀을 때 커패시터의 전압은 직선의 형태로 증가하지 않는다.
- 처음에는 빨리 증가하다가 그 값이 배터리 전압에 가까워질수록 점차 증가폭이 줄어든다.
- 방전할 때에도 처음에 급격하게 떨어지다가 감소폭이 줄어든다.



-
- 커패시터가 전기 에너지를 저장한다고 하면 충전식 배터리와의 차이가 궁금할 수 있다.
 - 실제로 전기에너지를 빠르게 충전했다 빠르게 방전해야 하는 경우, 전기 용량이 아주 큰 슈퍼 커패시터라는 특수한 커패시터를 충전식 배터리로 사용한다.

- 커패시터와 배터리의 차이점

- 배터리는 화학 반응을 이용해 전기를 발생시키는 반면, 커패시터는 전하를 직접 저장한다.
- 배터리는 충전/방전 시간이 몇 분에서 몇 시간에 달하지만, 커패시터는 1초도 안 돼서 충전과 방전이 끝날 수 있다.
- 커패시터의 전압은 방전이 시작되는 즉시 급격히 떨어지지만, 배터리의 전압은 배터리가 거의 방전될 때까지 상대적으로 일정하게 유지된다.
- 단위 크기당 배터리는 최고 성능의 슈퍼 커패시터보다 약 10배 더 많은 에너지를 저장할 수 있다.

커패시터의 유형 구별하기

- $1\text{pF} \sim 1\text{nF}$ 은 디스크 세라믹을 선택한다.
- $1\text{nF} \sim 1\mu\text{F}$ 은 MLC(다층 세라믹 커패시터)를 선택한다.
- $1\mu\text{F}$ 이상은 알루미늄 전해를 선택한다.



-
- 유리 및 운모 커패시터
 - 전 온도 범위에서 사용 가능하지만 가격이 비싸다.
 - 탄탈 전해 커패시터
 - 극성을 갖는 커패시터로, MLC와 알루미늄 전해 커패시터의 중간쯤 되는 용량을 갖는다.
 - 크기가 작지만 가격이 비싸다.
 - 최대 용량이 수십 μF 이다.
 - 단점으로 두 단자가 맞물릴 때 파손되고, 폭발이 발생하는 경우도 많다.
 - MLC의 용량이 수백 μF 까지 증가하면서 거의 사용하지 않게 되었다.

-
- 커패시터는 저항보다 안정성이 떨어진다.
 - 정격 전압 이상을 인가하면 절연층이 손상된다.
 - 전해 커패시터는 알루미늄 케이스 내부의 전해질을 이용하여 절연체 역할을 하는 매우 얇은 산화막을 형성한다.
 - 전해 커패시터는 특히 과전압, 과열 또는 단순 노후화로 인해 고장나기 쉽다.
 - 오래된 오디오 기기나 TV, 모니터가 고장난 경우, 그 원인이 되는 것은 보통 전원 공급 장치에 사용된 대형 전해 커패시터이다.
 - 전해 커패시터가 고장 나면 전해액이 지저분하게 빠져 나올 수 있다.

- 정격 전압

- 세라믹 커패시터는 용량이 작은 것도 정격 전압이 50V가 넘기 때문에 큰 문제가 되지 않는다.
- 전해 커패시터는 정전 용량과 정격 전압의 상충 관계(trade-off)를 고려해야 한다.
- 전해 커패시터의 정격 전압은 6.3V, 10V, 25V, 30V, 40V, 50V, 63V, 100V, 160V, 200V, 250V, 400V, 450V가 있다.
- 정격 전압이 500V가 넘는 전해 커패시터는 쉽게 보기 어렵다.

- 정격 온도

- 세라믹, MLC의 커패시터는 다양한 정격 온도를 갖는다.
- 전해 커패시터는 고온에 취약해서 보통 80℃나 105℃이다.

- 등가 직렬 저항

- 정격 온도는 빠르게 충전하고 방전할 때 중요하다.
- 커패시터 내부에는 충방전시 열을 발생시키는 등가 직렬 저항 (equivalent series resistance, ESR)이 존재한다.
- 저용량 MLC의 등가 직렬 저항은 아주 작고 리드선보다 조금 크다. 이 경우 충방전이 아주 빠르다.
- 용량이 큰 전해 커패시터의 등가 직렬 저항은 수백 mΩ이다.
- 용량에 관계없이 등가 직렬 저항은 충방전 속도를 제한하며, 발열을 일으킨다.

커패시터의 정전 용량 확인하기

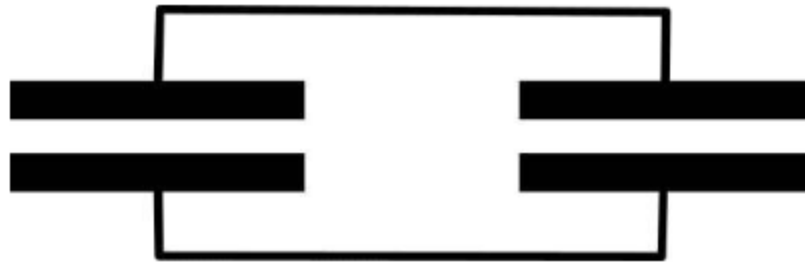
- 용량이 작은 소형 표면 실장형(SMD) 커패시터는 보통 겉에 아무런 표시가 없으므로 구입하자마자 본인이 직접 용량을 표시해 두어야 한다.
- 전해 커패시터는 용량과 정격 전압이 인쇄되어 있다. 양극성 스루홀 유형은 + 리드선이 - 리드선보다 길고, - 쪽에 - 기호나 다이아몬드 부호가 표시된다.

-
- 대부분의 커패시터는 SMD 저항의 숫자 표기 방식을 사용한다.
 - 용량 크기는 보통 숫자 3개와 문자 1개로 표시된다.
 - 처음 숫자 2개가 기본 값이고, 세번째 숫자가 기본값 뒤에 붙는 0의 개수이다.
 - 기본 값은 pF(피코 패럿)을 나타낸다.

-
- 100pF 커패시터라면 숫자 3개는 101(10뒤에 0이 1개)
 - 100nF 커패시터라면 숫자 3개는 104(10뒤에 0이 4개
=100,000pF=100nF)
 - 숫자 3개 뒤에 붙는 문자는 허용 오차를 나타낸다.
 - J, K, M이 있고, 각각 ± 5 , ± 10 , $\pm 20\%$ 를 의미한다.

커패시터를 병렬로 연결하기

- 병렬로 커패시터 2개를 연결하면 도체판의 표면 면적이 2배가 되었다.
- 따라서 전체 정전 용량은 커패시터 2개의 용량 합이 될 것이다.



-
- 여러 개의 커패시터를 병렬로 두어 전체적인 정전 용량을 늘리는 방법은 실제로 흔히 사용된다.
 - 고전력 변압기를 전원 공급 장치로 사용하는 오디오 증폭기 등에서 특히 자주 볼 수 있다.
 - 오디오 장치는 전원 공급 장치로부터 발생하는 리플 전압을 최대한 제거하는 것이 중요하기 때문이다.
 - 오디오 장치에서는 유형과 용량이 서로 다른 커패시터를 여러 개 병렬로 연결해서 등가 직렬 저항의 영향을 최소화하려고 한다.

커패시터를 직렬로 연결하기

- 커패시터를 직렬로 연결하면 총 전전 용량은 다음과 같다.

$$R_{total} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}}$$

- 흥미롭게도 병렬로 연결된 전체 저항 값을 구하는 공식과 유사하다.
- 커패시터는 보통 직렬로 연결하지 않는다.
- 아주 복잡한 회로(전압 증배기 회로 등)에서 가끔 직렬 연결이 사용된다.

많은 양의 에너지를 저장하기

- 슈퍼 커패시터는 정전 용량이 아주 큰 저전압 커패시터로, 주로 에너지를 저장해 두었다가 충전식 배터리로 사용한다.
- 슈퍼 커패시터의 최대 정전 용량은 수백 패럿(F)에 달한다.
- 전해 커패시터의 최대 정전 용량은 약 0.22F이다.



-
- 충전식 배터리나 수명이 긴 리튬 배터리 대신 수 패럿의 상대적으로 용량이 작은 슈퍼 커패시터를 사용할 경우
 - 전원이 끊기면 사라지는 정적 RAM의 메모리를 유지하도록 IC를 대기 모드로 둘 수 있다.
 - 실시간 클록(real-time clock, RTC) 칩에 전원을 공급하여 RTC IC가 내장된 장치의 정원이 끊기더라도 일정 시간 동안 내부 클록이 유지되도록 할 수 있다.

-
- 대량의 에너지를 저장하는 충전 배터리 대신 용량이 매우 큰 슈퍼 커패시터를 사용할 경우
 - 정전 용량이 500F 이상인 슈퍼 커패시터는 몇 달러면 구입할 수 있다.
 - 슈퍼 커패시터의 최대 전압은 2.7V이다.
 - 더 큰 용량이 필요할 경우 여러 개를 연결하여 사용할 수 있고, 충전 시에는 보호 회로를 이용해 2.7V 제한을 초과하지 않아야 한다.

-
- 슈퍼 커패시터는 전해 커패시터와 비슷한 모습을 하고 있다.
 - 슈퍼 커패시터의 에너지 저장 용량은 충전식 배터리보다 많이 부족하다.
 - 커패시터의 특성상 전압이 배터리가 방전될 때보다 더 빠르게 줄어든다.

Q&A