

RC 회로

1. 실험 목적

저항과 축전기로 구성된 회로에서 축전기에 인가되는 전압의 시간적 변화를 오실로스코프로 관측하고 회로의 용량 시간상수를 구한다.

2. 기초 이론

2.1 축전기의 충전

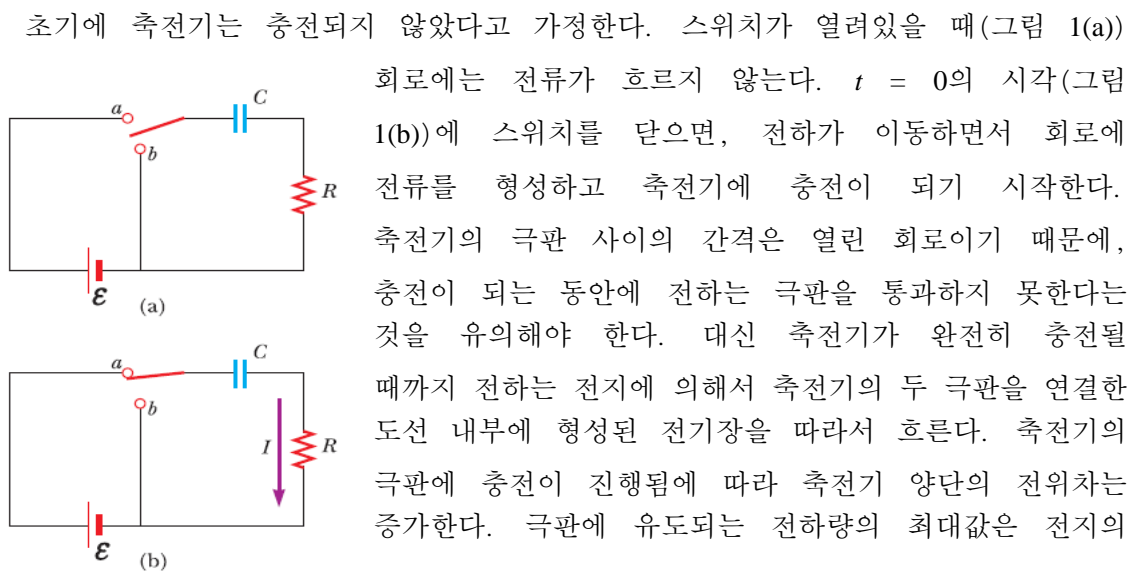


그림 1. 충전 회로

흐르는 전류는 영이 된다.

이 문제를 정량적으로 분석하기 위하여 스위치를 a 위치에 놓은 후 회로에 키르히호프의 제 2법칙을 적용하면

$$\mathcal{E} - \frac{q}{C} - IR = 0$$

이며, 여기서 $-q/C$ 는 축전기에서의 전위차를 나타내고 $-IR$ 은 저항기에서의 전위차를 나타낸다. \mathcal{E} 와 IR 의 부호는 키르히호프의 법칙에 따라 정한다. 축전기의 경우 양(+) 극판에서 음(-) 극판으로 지나가므로 전압 강하가 일어남을 유의하라. 그러므로 식 (1)의 전위차 항에서 음의 부호를 사용한다. q 와 I 는 각각 축전기가 충전될 때의

시간에 의존하는(정상 상태와는 다름) 순간 전하와 순간 전류값임을 유의하라. $I = dq/dt$ 를 대입하여 정리하면

$$\frac{dq}{dt} = \frac{\mathcal{E}}{R} - \frac{q}{RC}$$

이다. 이 미분방정식을 풀면 시간에 따른 전하량 및 전압에 대한 표현을 구할 수 있다. 구체적인 방법은 교재를 참조한다.

$$q(t) = C\mathcal{E}\left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right) = Q\left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right)$$

오실로스코프로 측정하는 값은 축전기 양단의 전압을 측정할 수 있으므로

$$V(t) = \mathcal{E}\left(1 - e^{-\frac{t}{RC}}\right)$$

이 된다. 전하량은 $t = 0$ 에서 영이고, $t \rightarrow \infty$ 일 때 최대값 $C\mathcal{E}$ 에 수렴한다. 전류는 $t = 0$ 에서 최대값 $I_i = \mathcal{E}/R$ 이며, 시간이 지남에 따라 지수적으로 감소하여 $t \rightarrow \infty$ 일 때 영이 된다. 지수에 나타나는 값 RC 는 시간의 차원을 가지며, 회로의 시간 상수(time constant)라고 한다. 즉,

$$\tau = RC$$

이다. 시간 상수는 전류가 처음 값의 $1/e$ 로 감소하는 데

걸리는 시간을 나타낸다. 즉, 시간 τ 동안에 전류는 최대 전류의 0.368배로 감소한다. 마찬가지로 시간 τ 동안에 전압은 최대 전압의 0.632배까지 증가한다.

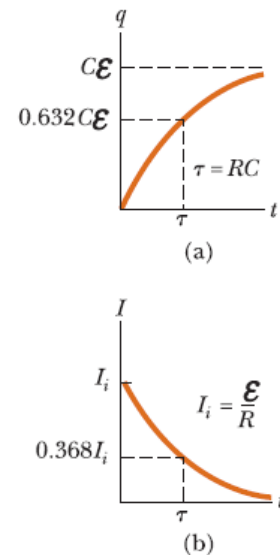


그림 2. 전하량 및 전류 변화

2.2 축전기의 방전

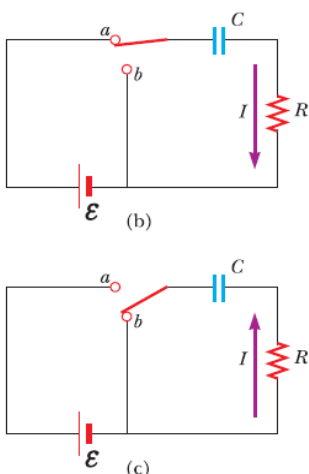


그림 3. 방전 회로

이제 그림과 같이 처음에 전하 Q 로 완전히 충전된 축전기를 생각해 보자. 스위치가 열려 있을 경우 축전기 양단의 전위차는 Q/C 이고, $I = 0$ 이므로 저항 양단의 전위차는 영이다. 만일 $t = 0$ 에서 스위치를 b 의 위치로 닫으면 축전기는 저항기를 통해서 방전하기 시작한다. 방전하는 동안 어떤 시간 t 에서 회로에 흐르는 전류는 I 이고 축전기의 전하량은 q 이다. 그림 (c)의 회로는 회로에 전지가 없는 것을 제외하고는 그림 (b)의 회로와 동일하다. 키르히호프의 법칙을 적용하면

$$-\frac{q}{C} - IR = -\frac{q}{C} - R \frac{dq}{dt} = 0$$

$$\frac{dq}{q} = -\frac{1}{RC} dt$$

이 미분방정식을 풀면 시간에 따른 전하량 및 전압에 대한 표현을 구할 수 있다. 구체적인 방법은 교재를 참조한다.

$$q(t) = Qe^{-t/RC}$$

$$V(t) = \frac{Q}{C} e^{-t/RC} = V_0 e^{-t/RC}$$

전하량은 $t = 0$ 에서 Q 이고, $t \rightarrow \infty$ 일 때 0에 수렴한다. 전류는 $t = 0$ 에서 최대값 V_0 이며, 시간이 지남에 따라 지수적으로 감소하여 $t \rightarrow \infty$ 일 때 영이 된다. 지수에 나타나는 값 RC 는 시간의 차원을 가지며, 회로의 시간 상수(time constant)라고 한다. 즉, 충전 시와 방전 시의 시간 상수는 동일하다. 시간 τ 동안에 전압은 최대 전압의 0.368배(36.8%)까지 감소한다.

아래 그림을 클릭하면 직렬 RC 회로에서 충전 및 방전 시에 축전기 양단의 전압과 저항을 흐르는 전류에 대한 가상실험을 수행할 수 있다. 실험하기 전에 시뮬레이션을 수행하여 측정할 결과에 대해 어느 정도 예측할 수 있다.

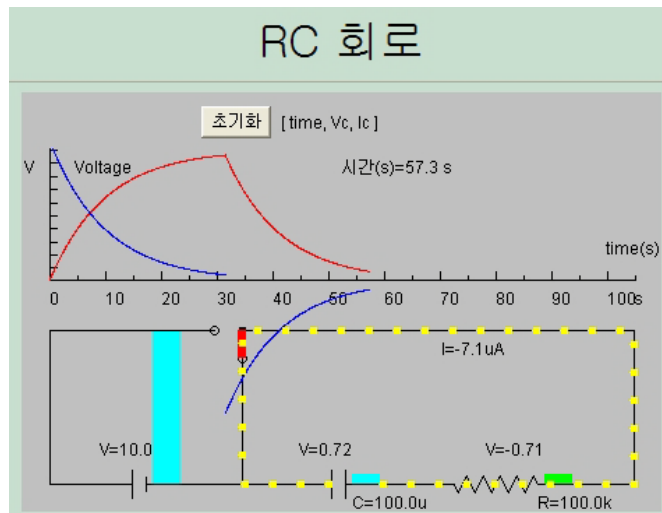
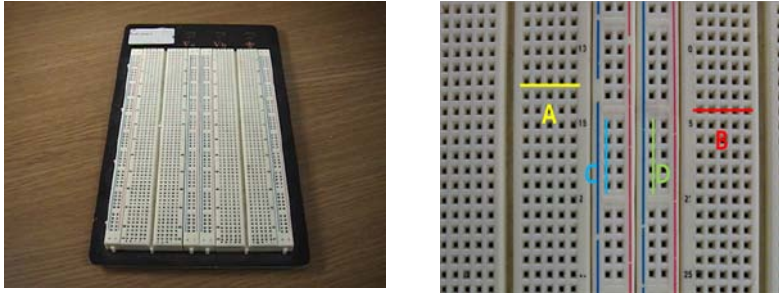


그림 4. RC 회로의 충전 시 전압 변화

3. 실험 기구

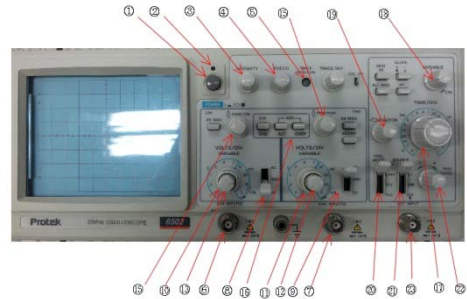
(1) Bread Board(일명 빵판)

각종 소자를 자유롭게 연결할 수 있는 범용 보드(또는 만능 보드)이다.



Bread Board에서의 연결 방법은 앞의 "[축전기의 연결](#)" 매뉴얼을 참조한다.

(2) 오실로스코프 - 축전기 양단의 전압 신호의 시간에 따른 변화를 측정한다. 사용법은 [오실로스코프 사용법](#)의 해당 부분을 참조한다.



(3) 신호 발생기 - 축전기 충전 및 방전 회로에 교류 전원을 공급하는(전압을 유지시켜주는) 장치이다. 사용법은 [오실로스코프 사용법](#)의 해당 부분을 참조한다.



(4) 축전기
(5) 저항



(6) LCR meter 와 멀티미터
(7) 각종 점프 와이어



4. 실험 방법

- (1) 오실로스코프의 전원을 켜고 기본 상태로 설정한다.
- (2) 실험에 사용할 저항과 축전기의 저항값과 전기용량을 각각 멀티미터와 LCR meter로 측정하여 기록한다.
- (3) Bread board를 사용하여 그림 5와 같이 저항과 축전기를 직렬로 연결하고 신호 발생기의 양극(빨간색 집게)에 먼저 저항을 연결하고, 그 뒤에 전해질 축전기의 (+)극이 연결되도록 한다(그림 6은 반대로 연결된 상태임). 신호 발생기 출력 신호의 파형은 사각파로 설정하고 주파수는 1kHz로 설정하고 시작한다.

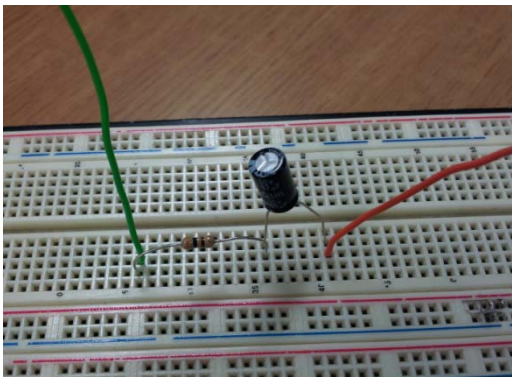


그림 5. 축전기와 저항의 연결

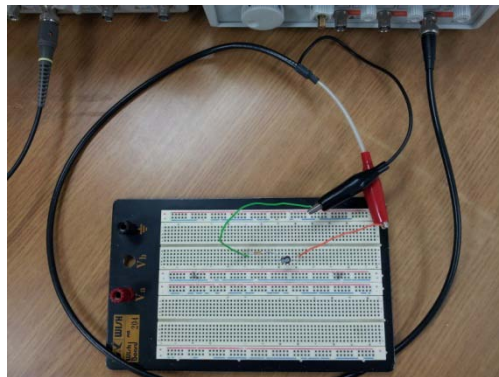


그림 6. 신호 발생기 신호 입력

- (4) 오실로스코프 프로브가 x1로 설정되어 있는지 확인하고 신호 발생기의 신호가 오실로스코프에 제대로 표시되는지 확인한다.
- (5) 프로브의 음극을 축전기의 (-)극에 연결한다(그림 7 참조).
- (6) 프로브 양극을 축전기의 양극에 대고 AC-GND-DC 스위치를 AC 모드로 한다.
- (7) 이제 프로브 양극을 그림과 같이 축전기의 끝에 대고 파형의 변화를 관찰한다. 이때 축전기 양단의 전압은 신호발생기의 전압보다 작으므로 신호를 분석하기 쉽도록 오실로스코프의 Volts/Div 다이얼을 조정한다. Volts/Time 다이얼도 신호 패턴을 분석하기 쉽도록 조정한다.

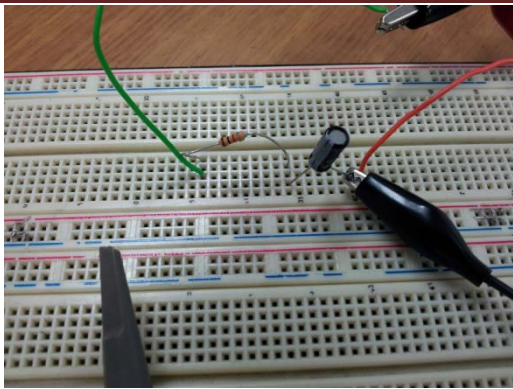


그림 7. 음극 프로브 연결

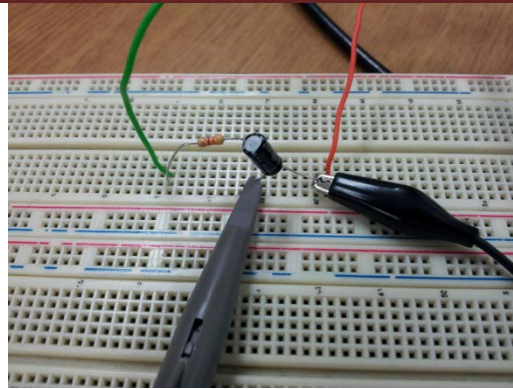


그림 8. 양극 프로브 연결

- (8) RC 회로의 시간 상수의 3배 이상의 주기를 갖도록 신호 발생기 출력 신호의 주파수를 설정해야 충전 및 방전 신호를 관찰할 수 있다(주파수와 주기는 반비례함을 기억하자). 그림 10과 같은 패턴을 얻지 못하면 신호 발생기의 주파수를 변경하면서 오실로스코프 패턴을 관찰한다.
- (9) 오실로스코프에서 충전과정에서 전압이 최대 전압의 63.2%까지 증가하는 데 걸리는 시간을 읽는다(그림 11 참조).

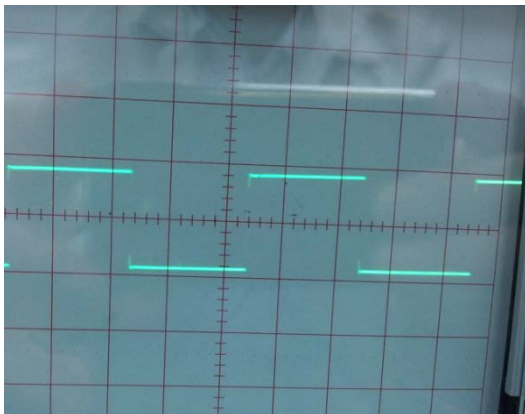


그림 9. 신호 발생기 출력 신호

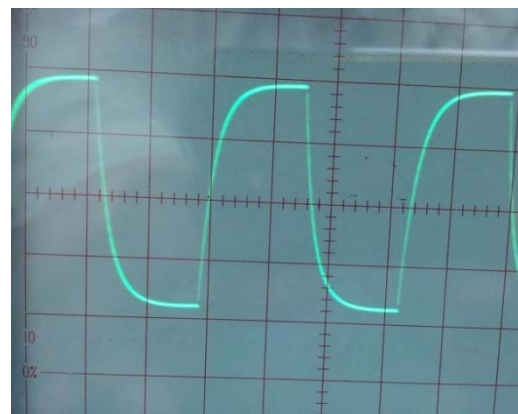


그림 10. 축전기의 충전 및 방전 신호

- (10) 저항을 바꾸어가며 시간상수를 구한다. 이때 시간상수의 관찰이 용이하도록 입력전압의 주파수도 변화시킨다.
- (11) 시간 상수로부터 구한 전기용량을 앞에서 측정한 값과 비교한다.

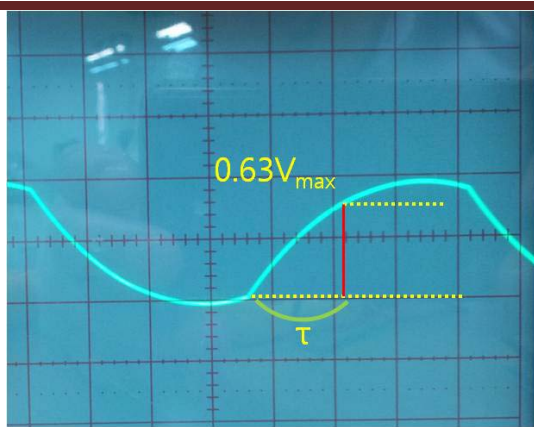


그림 11. 화면 분석

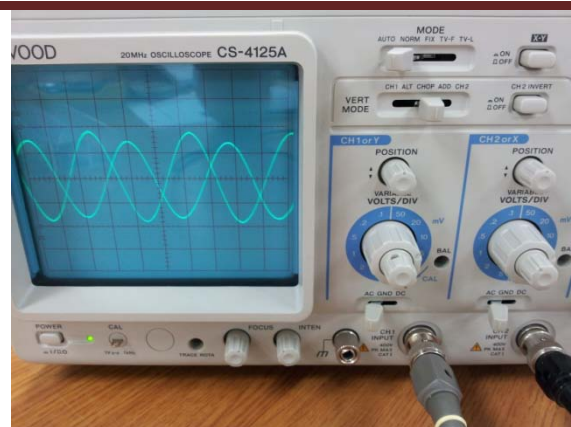


그림 12. 정현파의 위상차 확인

(12) 이제 신호발생기의 정현파(sine wave)를 RC 회로에 입력한 뒤 파형변화를 관찰한다. CH1에는 축전기 양단의 전압을 입력하고 CH2에 신호 발생기 출력 신호를 입력하여 동시에 관찰하면 위상의 변화를 볼 수 있다(그림 12 참조). 이때 오실로스코프의 VERT MODE는 CHOP로 설정한다. 입력 주파수를 변화시키면서 위상차가 생기는 과정을 관찰한다.

5. 측정 결과

학과/분반		실험 일시	
실험 조		작성자	

표 1. 축전기 1의 전기용량 $C_1 =$

구분 \ 항목	저항값	시간상수 측정값	시간상수 이론값	상대오차
저항 1				
저항 2				
저항 3				
저항 4				
저항 5				

표 2. 축전기 2의 전기용량 $C_2 =$

구분 \ 항목	저항값	시간상수 측정값	시간상수 이론값	상대오차
저항 1				
저항 2				
저항 3				
저항 4				
저항 5				

※ 대표적인 오실로스코프 화면

6. 고찰할 내용

※ 고찰 사항의 질문에 답하는 것이 보고서의 전부가 아닙니다. 여기에 있는 질문은 단지 보고서를 작성할 때 도움을 주기 위한 것입니다.

1. 다른 형태의 파형(톱니파 또는 정현파)을 사용해도 동일한 결과를 얻을 수 있는가?
2. 저항만 연결된 회로와는 달리 RC 회로에 정현파(sine 파)를 입력했을 때 입력 신호와 축전기 양단의 전압 신호 사이에 위상차가 발생한다. 위상차가 일어나는 이유를 생각해보자.