

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

초기에 축전기는 충전되지 않았다고 가정한다. 스위치가 열려있을 때(그림 1(a)) 회로에는 전류가 흐르지 않는다. $t = 0$ 의 시각(그림 1(b))에 스위치를 닫으면, 전하가 이동하면서 회로에 전류를 형성하고 축전기에 충전이 되기 시작한다. 축전기의 극판 사이의 간격은 열린 회로이기 때문에, 충전이 되는 동안에 전하는 극판을 통과하지 못한다는 것을 유의해야 한다. 대신 축전기가 완전히 충전될 때까지 전하는 전지에 의해서 축전기의 두 극판을 연결한 도선 내부에 형성된 전기장을 따라서 흐른다. 축전기의 극판에 충전이 진행됨에 따라 축전기 양단의 전위차는 증가한다. 극판에 유도되는 전하량의 최대값은 전지의 전압에 의존한다. 일단 최대 전하량에 도달하면, 축전기 양단의 전위차는 전지의 전압과 같게 되므로 회로에 흐르는 전류는 영이 된다.

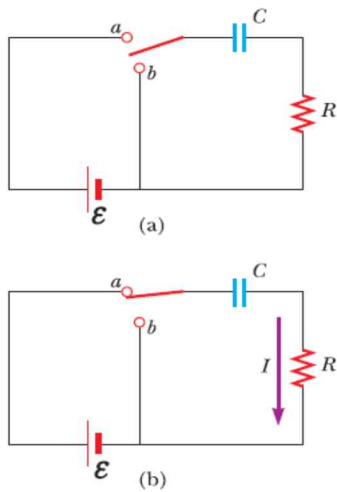


그림 1. 충전 회로

적용하면

$$\varepsilon - \frac{q}{C} - IR = 0$$

이며, 여기서 $-q/C$ 는 축전기에서의 전위차를 나타내고 $-IR$ 은 저항기에서의 전위차를 나타낸다. ε 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

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

이다. 이 미분방정식을 풀면 시간에 따른 전하량 및 전압에 대한 표현을 구할 수 있다.

구체적인 방법은 교재를 참조한다.

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

오실로스코프로 측정하는 값은 축전기 양단의 전압을 측정할 수 있으므로

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

이 된다. 전하량은 $t=0$ 에서 영이고, $t \rightarrow \infty$ 일 때 최대값 $C\varepsilon$ 에 수렴한다. 전류는 $t=0$ 에서 최대값 $I_i = \varepsilon/R$ 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 0.368 배로 감소한다. 마찬가지로 시간 τ 동안에 전압은 최대 전압의 0.632 배까지 증가한다.

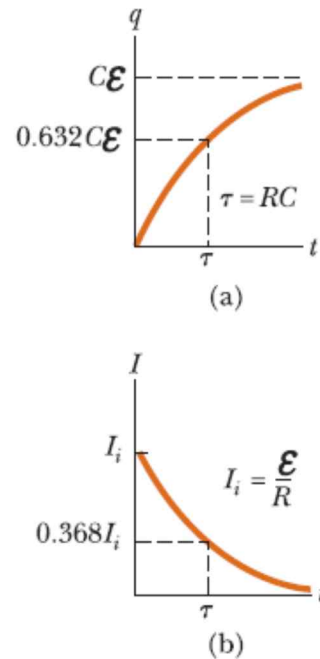


그림 2. 전하량 및 전류 변화

2.2 축전기의 방전

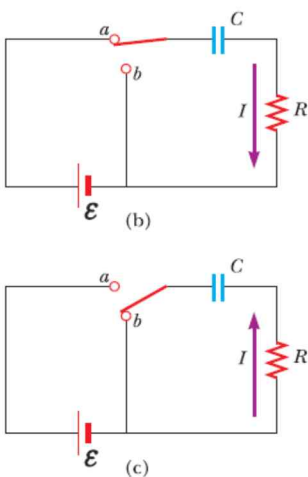


그림 3. 방전 회로

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.

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

$$V(t) = \frac{Q}{C}e^{-t/RC} = V_0e^{-t/RC}$$

전하량은 $t = 0$ 에서 Q 이고, $t \rightarrow \infty$ 일 때 0 에 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 0.368 배(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.

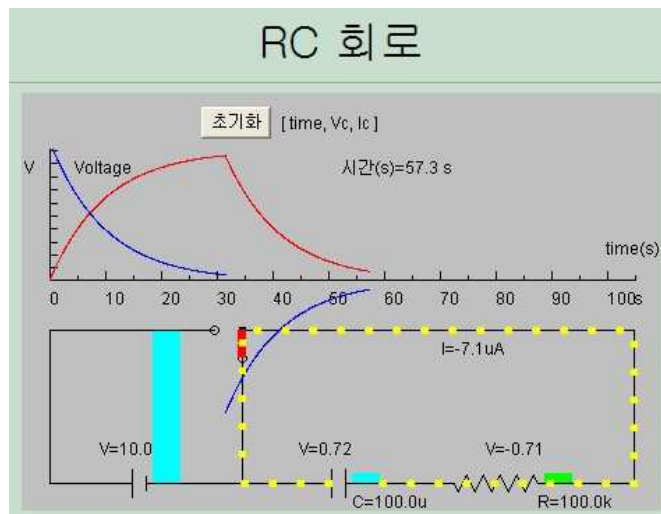
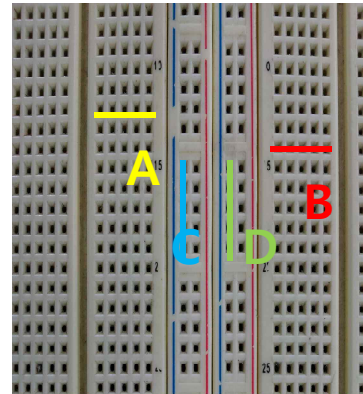


그림 4. RC 회로의 충전 시 전압 변화

3. 실험 기구

(1) Bread Board(일명 빵판)

- 각종 소자를 자유롭게 연결할 수 있는 범용보드(또는 만능 보드)이다. Bread Board 에서의 연결 방법은 [“축전기의 연결”](#) 매뉴얼을 참조한다.



(2) Oscilloscope 프로그램

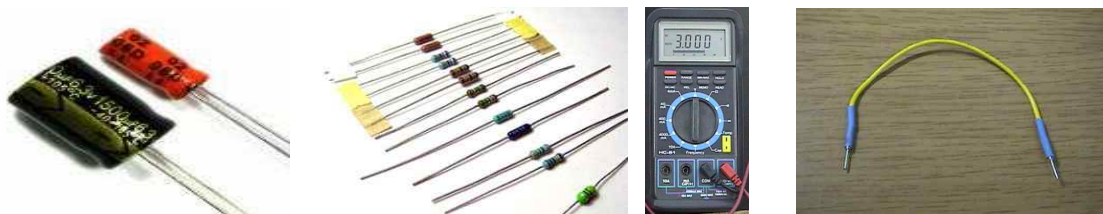
- 오실로스코프의 데이터를 컴퓨터에서 확인하는 프로그램으로 주파수/전압 등 주요 정보를 보다 정확하게 확인할 수 있다.



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



- (4) 축전기
- (5) 저항
- (6) LCR meter 와 멀티미터
- (7) 각종 점프 와이어



4. 실험 방법

- (1) 함수발생기와 오실로스코프를 연결하고, 함수발생기에서 설정한 파형 및 주파수가 오실로스코프에서 올바르게 측정되는지 확인한다.(그림1,그림2 참고)

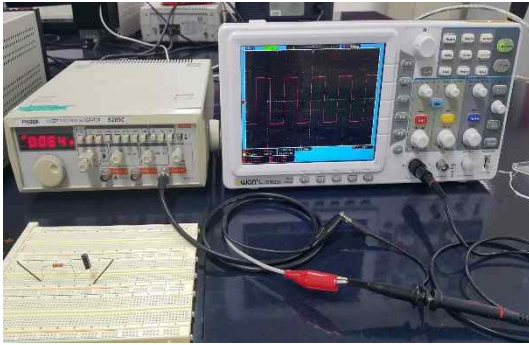


그림 1. 함수발생기(사각파)

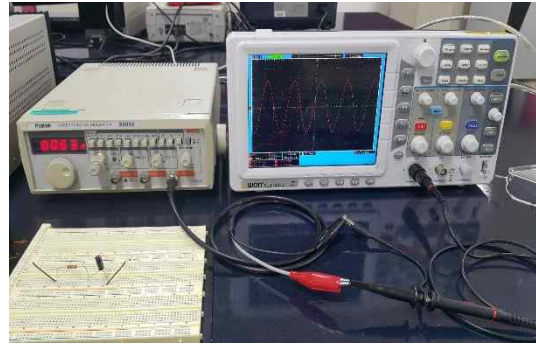


그림 2. 함수발생기(삼각파)

- (2) 그림3과 같이 실험에 사용할 저항의 저항값과 축전기의 전기용량을 각각 멀티미터와 LCR meter로 측정하여 기록한다. (두 값을 곱하여 시간상수를 구한다.)



그림 3. 저항값 및 전기용량 측정

- (3) Bread board를 사용하여 그림 4와 같이 저항과 축전기를 직렬로 연결하고 함수 발생기의 양극(빨간색 집게)에 먼저 저항을 연결하고, 그 뒤에 전해질 축전기의 (+)극이 연결되도록 한다. 함수 발생기 출력 신호의 파형은 사각파로 설정하고 주파수는 1kHz로 설정하고 시작한다.

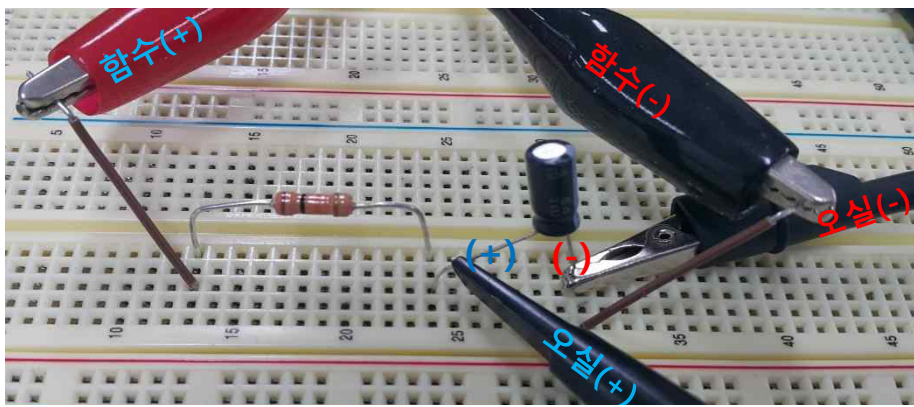


그림 4. 회로 구성 및 연결 단자의 극성

- (4) RC회로 구성 후 함수발생기에서 적당한 주파수를 설정하여 충전 및 방전 곡선을 측정한다. 이 때 회로의 시간 상수의 3배 이상의 주기를 갖도록 신호 발생기 출력 신호의 주파수를 설정해야 충전 및 방전 신호를 관찰할 수 있다. (주파수와 주기는 반비례함을 기억하자)

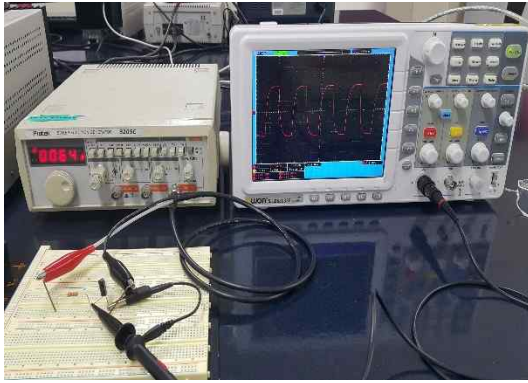


그림 5. 전체 실험세팅 모습

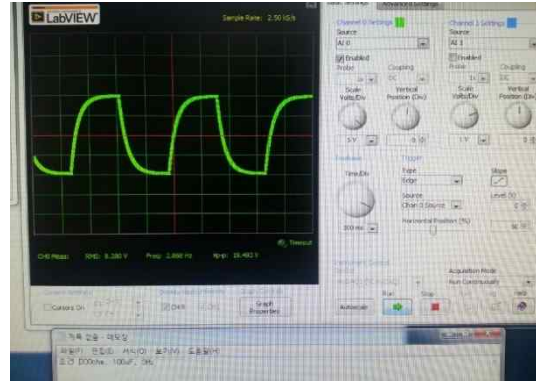


그림 6. 축전기의 충전 및 방전 신호

- (5) 그림6와 같은 패턴을 얻지 못하면 함수 발생기의 주파수를 변경하면서 오실로스코프 패턴을 관찰한다.
- (6) 컴퓨터에서 오실로스코프 프로그램을 켜고, 아래와 같이 세팅하여 오실로스코프의 데이터를 프로그램으로 불러온다.

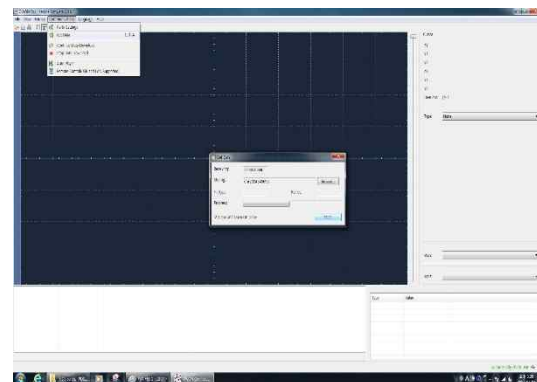
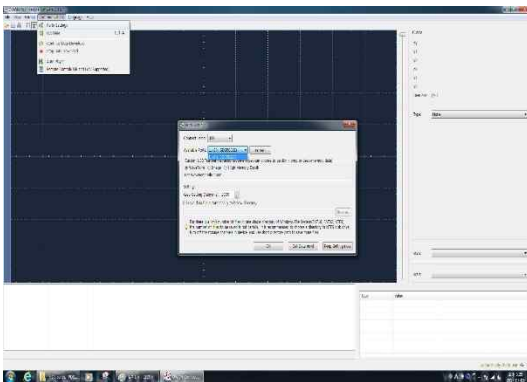


그림 7. 오실포스코프 프로그램 구동 화면 (포트세팅 및 데이터 불러오기)

- (7) 프로그램에서 TIME/DIV와 Cursor type을 조정하여 관찰하기 쉽도록 파형을 확대한다.

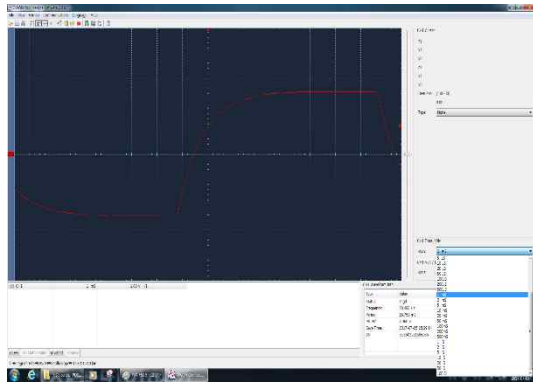


그림 8. TIME/DIV 조정

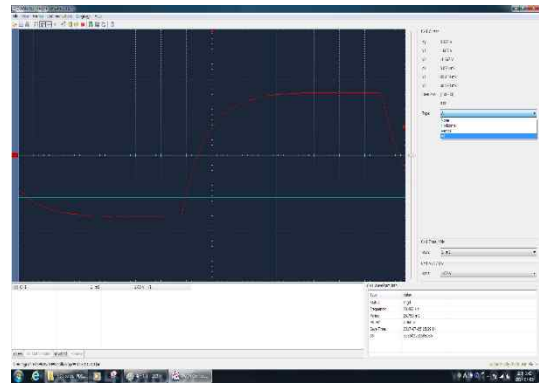


그림 9. Cursor type 조정

- (8) WaveForm Info에서 전압값을 확인하고, 시간상수 측정을 위해 전압의 63.2%에 해당하는 전압값을 계산한다. 그리고 데이터화면에서 63.2%에 해당하는 전압값을 읽어 시간상수를 측정한다.

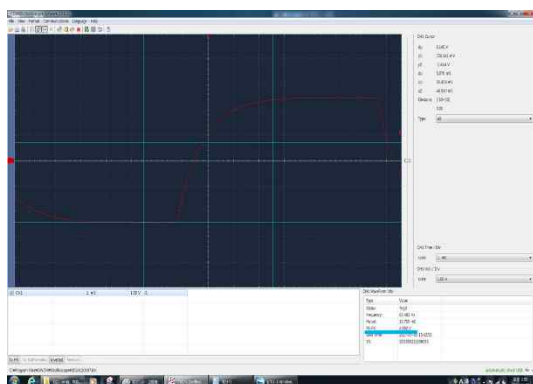


그림 10. 전압값 확인

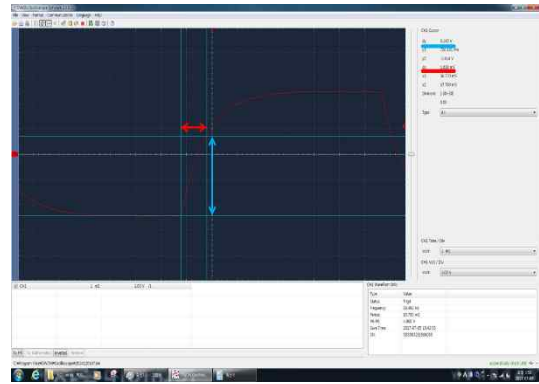


그림 11. 데이터화면에서 시간상수 측정

- (12) 이론값과 측정한 값을 비교한다.
- (13) 위의 방법을 반복하여 저항을 바꾸어가며 시간상수를 구한다. 이때 시간상수의 관찰이 용이하도록 입력전압의 주파수도 변화시키고, 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				

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.