비이상적 축전기 (10점)

이 실험은 축전기의 성질을 조사하기 위한 것이다.

축전기의 전기용량(이 글에서는 언제나 미분 전기용량을 뜻한다)은 저항 R_1 을 통해 충전될 때의 전압 $U(t)$ 그래프로부터 구할 수 있다. 회로에 따라, 축전기의 충전 전류와 전압의 관계 $I(U)$ 를 구하고 이를 이용하여 전기용량을 정해야 한다.

$$C(U) = \frac{dq}{dU} = I\frac{dt}{dU} = \frac{I(U)}{dU/dt}. \tag{1}$$

이 실험에서 쓰는 전기 회로가 그림 1.1에 나타나 있다. 기판의 스위치 S1으로 축전기 C1과 C2를 바꾸어 연결할 수 있다. 스위치의 가운데 위치는 이 실험에서 아무 역할도 하지 않으므로 절대 쓰지 말아야 한다.

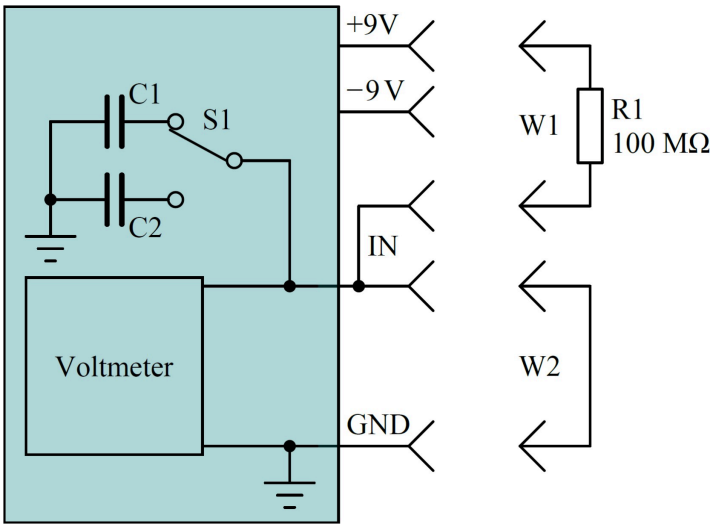


그림 1.1. 실험에 쓰는 전기 회로.

주의: 시료 축전기 중 하나는 유전율이 축전기 전압의 변화율에 의존하는 유전체를 담고 있다. 이 변화율을 되도록 일정하게 유지하기 위해, 양의 전압에서 측정할 때에는 축전기를 9 V에서 −9 V 쪽으로 충전해야 하고, 음의 전압에서의 측정은 축전기를 −9 V에서 9 V 쪽으로 충전하면서 해야 한다. 측정된 전기용량은 축전기의 이전 상태에 영향을 받을 수 있으므로, 측정 전에 축전기를 시작 전압에 적어도 10초 동안 두어야 한다.

파트 A. 실온에서의 축전기 (4.0점)

실온에서 축전기 C1과 C2의 전기용량을 전압에 대해 측정하고 그래프로 그리라(모든 그래프를 같은 축 위에 함께 그리라).

A.1	−7 V에서 7 V 범위에서 $C_1(U)$ 와 $C_2(U)$ 를 측정하고 그래프로 그리라. 답안지에 0 V, 3 V, 6 V에서의 C_1 과 C_2 값을 쓰라. 원 측정값으로부터 전기용량을 계산하는 데 쓴 공식도 쓰라. 기판 ID와 실온도 쓰라.	2.3pt

A.2	축전기의 전기용량이 전압에 대해 가장 빠른 상대적 변화 $\left(\frac{dC(U)}{C(U)\,dU}\right)$ 를 보이는 전압 $U_{\max}$ 를 찾으라. 답안지에 어느 축전기(C1 또는 C2)가 가장 빠른 변화를 보이는지와 그것이 관측되는 전압을 쓰라.	0.5pt

A.3	6 V에서 축전기 C1과 C2의 전하 q_1 과 q_2 는 얼마인가?	1.2pt

파트 B. NTC 서미스터의 보정 (1.0점)

알려진 실온(시험장 온도계로 잰다)에서 NTC(부의 온도 계수) 서미스터의 전압을 측정하라. 저항과 온도의 관계식 (1)과 그 회로는 "실험 시험 – 전체 안내 G1"에 나와 있다.

B.1	NTC 서미스터 상수 R_0 를 구하라.	1.0pt

파트 C. 서로 다른 온도에서의 축전기 (3.0점)

C.1	40 °C, 65 °C, 85 °C의 온도에서 −7 V부터 7 V 범위의 $C_1(U)$ 와 $C_2(U)$ 를 측정하고 그래프로 그리라.	1.3pt

C.2	0 V와 6 V에서 실온부터 85 °C까지 온도에 대한 $C_1(T)$ 와 $C_2(T)$ 를 그래프로 그리라.	0.5pt

C.3	답안지에 0 V와 6 V에서 축전기 C1과 C2 각각에 대해 $C(85\,^\circ\mathrm{C})/C(40\,^\circ\mathrm{C})$ 비를 쓰라.	1.2pt

파트 D. 측정 오차의 원인 (2.0점)

이 실험의 앞 과제들은 처음 충전을 오래 한 조건에서 수행하였다. 더 짧은 재충전 시간(0.1–10 s)을 볼 때에는 여러 오차 원인이 있을 수 있다.

1. 누설 전류.
2. 축전기 유전체 매질의 분극 성질. 이는 과정의 시간 규모에 의존하는 유전율로 나타낼 수 있다.

주의: 단열재는 공기 중 수분을 흡수하여 전도성을 띨 수 있다. 누설 측정을 할 때에는 이를 제거하라.

C1과 C2를 측정할 때의 주된 오차 원인을 정하라. 축전기 누설과 전압계 입력 전류는 전압에 의존하므로, 9 V에 가까운 전압에서 이 오차들을 어림하라. 이 물음에 답하기 위해 어떤 보조 측정을 어떤 조건에서 해야 할지 정하라. 다음 D.1과 D.2 문항의 답에서는 아래 표에 예시한 것처럼 측정 조건, 측정하는 양, 그리고 그 측정을 바탕으로 내린 결론을 밝히면 된다.

비고: 아래는 측정을 개략적으로 기술하는 방법의 예일 뿐이다. 측정의 적절한 조건은 스스로 정해야 한다.

D.1과 D.2 문항의 답을 쓰는 방법의 예:

예 1.

측정 회로에 연결된 C1의 전압 변화율이 0 V에서보다 9 V에서 더 빠름을 보이기.

가능한 S1 위치: C1, C2

가능한 IN 연결: +9V, -9V, GND, Free

처음 설정:

S1 위치	IN 연결
C1	9V

과정:

단계 번호	S1 위치	IN 연결	지속 시간, s	측정하는 양
1	C1	Free		$\lvert du_C(t)\rvert/dt$
2	C1	GND		
3	C1	Free		$\lvert du_C(t)\rvert/dt$

확인: $|du_C(t)|/dt|_1 > |du_C(t)|/dt|_3$

예 2.

9 V에서 C1의 전압 변화율이, 0 V에서 시작하여 1000초에 걸친 평균 전압 변화율보다 큼을 보이기.

가능한 S1 위치: C1, C2

가능한 IN 연결: +9V, -9V, GND, Free

처음 설정:

S1 위치	IN 연결
C1	9V

과정:

단계 번호	S1 위치	IN 연결	지속 시간, s	측정하는 양
1	C1	Free		$\lvert du_C(t)\rvert/dt$
2	C1	GND		
3	C1	Free		u_C
4	C1	Free	1000	
5	C1	Free		u_C

확인: $|du_C(t)|/dt|_1 > (u_C|_3 - u_C|_5)/1000$

D.1	$C_1(9\mathrm{V})$ 를 측정할 때의 주된 오차 원인은 무엇인가? 측정 단계를 표에 쓰라.	1.0pt

D.2	$C_2(9\mathrm{V})$ 를 측정할 때의 주된 오차 원인은 무엇인가? 측정 단계를 표에 쓰라.	1.0pt