실험 경연

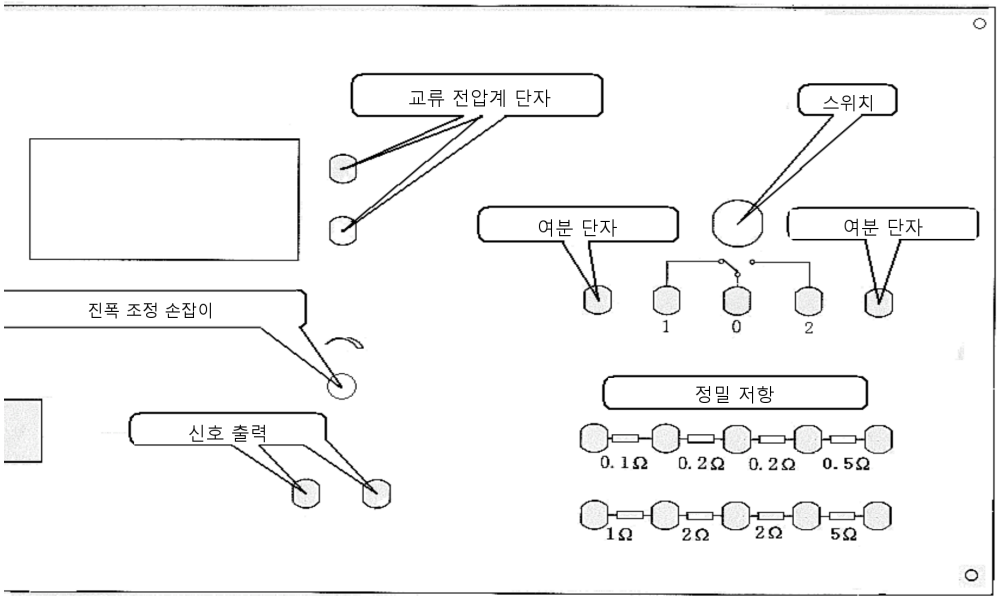
조립을 시작하기 전에

문제 전체를 끝까지 읽으시오!

먼저 다음을 읽으시오:

1. 실험 문제 1에 주어진 시간은 **2시간 45분**이고, 실험 문제 2에 주어진 시간은 **2시간 15분**이다.
2. 주어진 펜과 장비만 쓰시오.
3. 주어진 종이는 한쪽 면만 쓰시오.
4. 자유롭게 쓸 수 있는 빈 종이 말고도 *답안지* 한 묶음이 있으며, 여기에는 얻은 결과를 **반드시** 요약해야 한다. 수치 결과는 알맞은 자릿수로 적어야 하며, 단위를 잊지 마시오.
5. "빈" 종이에는 모든 측정 결과와, 채점 과정에서 평가받고 싶은 문제 풀이에 중요하다고 여기는 것을 모두 적으시오. 그러나 주로 식, 수, 기호, 그래프, 그림을 쓰고 ***글은 될 수 있는 한 적게*** 쓰시오.
6. **반드시** 각 종이의 맨 위에 이름표에 적힌 학생 번호를 적어야 하며, "빈" 종이에는 덧붙여 학생 번호, 각 종이의 일련번호(**쪽 n.** 1부터 N까지), 그리고 평가받고 싶어 쓴 "빈" 종이의 전체 수(N)(전체 쪽수)를 적으시오.
7. 각 절마다 새 쪽에서 시작하시오. 각 절을 시작할 때 답하는 절의 번호를 적어 두면 좋다. 채점단에게 평가받고 싶지 않은 메모용 종이는 종이 전체에 크게 ×표를 하고 번호를 매기지 마시오.
8. 다 끝나면 모든 종이를 올바른 순서(답안지를 맨 앞에, 그다음 쓴 종이를 순서대로, 쓰지 않은 종이와 문제지는 맨 아래)로 정리해 주어진 봉투에 모두 넣고, 모든 것을 책상 위에 두고 나가시오. 방 밖으로 아무것도 가지고 나갈 수 없다.
9. 방 밖으로 아무것도 가지고 나갈 수 없다.

패널 안내



의 검은 단자는 여분 단자 두 개에 연결되어 있다

실험 문제 2

액체의 전기 전도도 재기 (10점)

1. 실험 설명

이 실험의 액체(곧 소금물) 전도도 측정 장치에서, 센서는 원하는 실험 결과를 방해하는 접촉 전위 없이 *교류* 신호를 다룬다. 또한 센서(검출 코일)가 측정할 액체에 직접 닿지 않으므로, 실험하는 동안 장치의 어느 부분을 망가뜨리는 화학 반응도 일어나지 않는다. 따라서 오랫동안 되풀이해 쓸 수 있다.

그림 1과 같이, 액체의 전도도를 재도록 설계한 센서는 연철 기반 합금으로 만든, 반지름이 같은 원형 고리 두 개로 이루어진다. 각 고리에는 코일이 감겨 있다. 두 코일의 감은 수는 서로 같다. 두 합금 고리는 같은 축을 따라 나란히 놓여, 그림 2처럼 하나의 밀폐된 속 빈 원통으로 꼭 붙어 있다.

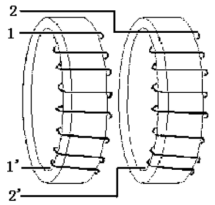


그림 1

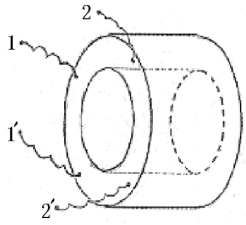


그림 2

센서를 측정할 액체에 담근다. 코일 11′은 진동수 약 2.5 kHz의 *사인* 신호 발생기에 연결한다. 출력 신호의 진폭은 조금씩 변할 수 있다. 변동이 어떤 값을 넘으면 출력 진폭이 일정한 값을 유지하도록 제때 조정해야 한다. 코일 22′은 유도된 신호 전압을 재는 *교류* 전압계에 연결한다. 잰 신호 전압의 크기로 액체의 전도도를 계산할 수 있다.

2. 실험 원리

이 실험 장치의 작동 원리는 다음과 같이 간단히 설명할 수 있다. 신호 발생기에서 나온 *교류 사인* 전류가 고리 11′에 *교류* 자기장을 유도한다. 이 자기장은 다시 전도성 액체에 *교류* 전류를 유도한다.

이렇게 유도된 전류는 다시 고리 22′에 시간에 따라 변하는 자기장을 유도하고, 이것이 같은 고리 22′에 기전력을 유도하는데, 이것이 센서의 출력 신호이다.

자기 이력 효과를 무시하면 출력 전압 V_o는 입력 전압 V_i의 단조 함수이다. 입력 전압 V_i와 액체의 전도도 σ가 각각 어떤 범위 안에 있으면, σ와 비 V_o/V_i 사이에 비례 관계가 성립한다.

$$\sigma = K\,(V_o/V_i)\,, \tag{1}$$

여기서 K는 비례 상수이다.

이 장치에서는 액체 그릇에 측정할 액체가 충분히 많이 들어 있어, 원통 모양 센서 바깥 액체의 저항은 무시할 수 있다. 따라서 센서의 출력 전압 V_o는 주로 '속 빈 원통 안의 액체'(이후 "액체 기둥"이라 한다)에 달려 있다. 그러므로 액체 기둥으로 액체의 전도도를 계산할 수 있다. 액체 기둥의 저항은 다음과 같다.

$$R = \frac{1}{\sigma}\frac{L}{S}, \qquad \sigma = \frac{1}{R}\frac{L}{S} \tag{2}$$

여기서 L은 축을 따른 액체 기둥의 길이이고, S는 그 단면의 넓이이다. (1)과 (2)를 합치면 다음을 얻는다.

$$V_o/V_i = \left(\frac{1}{K}\frac{L}{S}\right)\frac{1}{R} = B\frac{1}{R} \tag{3}$$

여기서 $B = \left(\frac{1}{K}\frac{L}{S}\right)$, 또는 $K = \frac{1}{B}\frac{L}{S}$이다.

식 (2)와 (3)으로부터 다음을 얻는다.

$$\sigma = \left(\frac{1}{B}\frac{L}{S}\right)V_o/V_i\,. \tag{4}$$

식 (4)는, 이 센서로 액체의 전도도를 잴 때 전도도 σ가 L(속 빈 원통의 길이), S(그 단면의 넓이), V_o/V_i, 그리고 B와도 관련됨을 보여 준다.

참고: 본래 이 실험에서 비례 상수 K와 이어서 B를 정확히 얻으려면, σ를 아는 여러 종류의 액체를

마련해야 한다. 이는 분명 쉬운 일이 아니다. 그래서 편리하고도 정확하게 하려고, σ를 아는 여러 액체 대신 외부에 연결한 표준 저항을 쓴다. 표준 저항의 두 끝을 센서의 속 빈 원통을 지나는 도선의 두 끝에 연결해 그림 3처럼 저항 회로를 만든다.

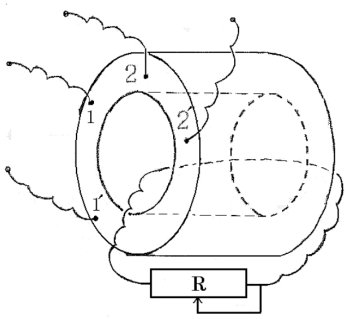


그림 3

3. 실험 내용

1. 액체 전도도 센서를 눈금 매기기 위한 실험 회로도를 그리고(1.0점), 이 회로도에 따라 입력 전압 V_i (<2.000 V)와 유도 출력 전압 V_o를 둘 다 잴 수 있도록 회로 연결을 마치시오(1.0점).

2. 표준 저항의 저항 범위 0—9.9 Ω에 따라, 여러 저항에 대해 V_o/V_i를 재시오. 데이터는 스스로 설계한 데이터 표에 기록하시오. (2.0점)

V_i의 진폭을 늘 조절하여 그 실횻값이 [1.700 V, 1.990 V] 범위 안에 있고 그 변동이 0.03 V보다 크지 않도록 하시오. 입력 전압을 이 범위 안의 한 값에 고정해도 된다. (1.0점)

3-1. V_o/V_i를 세로축으로, 표준 저항의 저항 R의 역수 $1/R$를 가로축으로 잡으시오. $1/R$에 대한 V_o/V_i의 곡선을 그리시오. 측정점의 수는 출력 전압 범위 전체에서 20개보다 많아야 하며, 그래프에 오차(불확도) 막대를 넣지 않아도 되지만 흩어진 점들로부터 불확도를 어림해야 한다. (1.0점)

3-2 유도 전류가 작은 어떤 영역에서는 곡선이 선형임을 알 수 있다. 이 선형 부분을 그래프로 그리고, 그래프 방법으로 곡선의 곧은 부분의 기울기 B와 그 상대 불확도 $u(B)$ 또는 $u(B)/B$를 구하시오. (1.5점)

4. 주어진 센서의 축 길이 $L = (30.500 \pm 0.025)\ \mathrm{mm}$와 액체 기둥의 지름 $d = (13.900 \pm 0.025)\ \mathrm{mm}$를 써서 K의 값과 $u(K)$ 또는 $u(K)/K$를 계산하시오. (1.0점)

5. 그릇 속 액체의 전도도를 구하고 결과를 적으시오. L, d, B의 불확도로부터 전도도의 불확도를 어림하시오. 전도도 측정은 여섯 번 해야 하며, 매번 액체를 저어야 한다. (1.5점)

4. 기구와 재료

1. 액체 전도도 센서

   센서에는 연결 단자 네 개가 있다. 단자 두 개는 코일 $11'$에, 다른 두 개는 다른 코일 $22'$에 연결되어 있다.
2. 값을 구해야 할 액체가 든 그릇과 젓는 막대.
3. 액체 전도도 측정 기구.

   기구 패널에는 다음이 있다:
   - 신호 발생기:

     신호 발생기에 연결된 연결 단자 두 개. 빨간 것은 신호 출력용, 검은 것은 접지용이다. 손잡이를 돌려 출력 신호의 진폭을 조절할 수 있다.
   - *교류* 디지털 전압계.
   - 꽂는 형식의 저항 상자:

     패널에는 연결 단자가 많이 있으며, 이웃한 두 단자 사이마다 상대 저항 오차 0.001의 저항이 있다. 이 저항들의 저항은 각각 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 5 Ω이다.
   - 스위치 1×2(단극 쌍투).
4. 도선 몇 개
5. 모눈종이 두 장(20 cm×25 cm), 계산기, 기록 용지, 자, 펜.