



제13회 아시아 물리학 올림피아드 뉴델리, 인도 2012년 5월 2일(수) 실험 대회

먼저 다음 지침을 주의 깊게 읽어주세요:

1. 사용 가능한 시간은 두 개의 실험 문제 각각에 대해 2시간 30분입니다.
2. 제공된 펜과 장비만 사용하세요.
3. 각 용지의 상단에 있는 상자에 **학생 코드**를 적습니다.
4. 데이터와 결과를 입력해야 하는 답안지 세트가 있습니다. 또한 사용할 수 있는 빈 시트가 제공됩니다.
5. 그래프 시트에 그래프를 그릴 때는 연필만 사용하세요.
6. 기본 답안지에 빈 답안지를 추가하는 경우, 이 추가 답안지에 각 답안지의 진행 번호(**페이지 번호**)를 적습니다. 사용한 빈 시트에는 해당 문제의 번호(**문제 번호**)를 입력해야 합니다.
7. 표시하고 싶지 않은 노트에 빈 필기장을 사용하는 경우, 시트 전체에 큰 'X'를 표시하고 번호 매기기에 포함시키지 마세요.
8. 숫자 결과는 적절한 자릿수로 작성해야 하며 단위를 잊지 마세요.
9. 답안에는 주로 방정식, 숫자, 기호, 그래프, 그림을 사용하고 가능한 한 텍스트를 적게 사용해야 합니다.
10. 실험이 끝나면 모든 시트를 다음 순서대로 정렬합니다:
 - a. 주요 답변 시트
 - b. 사용된 그래프 시트
 - c. 사용한 필기 시트
 - d. 'X'로 표시된 시트
 - e. 사용하지 않는 필기 시트 및 그래프 시트
 - f. 인쇄된 문제지
11. 모든 서류를 봉투 안에 넣고 봉투는 책상 위에 놓아둡니다.
12. 실험에 사용된 종이나 재료는 교실 밖으로 반출할 수 없습니다.

마찰

코드가 기둥이나 빔 주위를 통과하고 두 세그먼트의 장력이 다른 경우 코드와 빔 사이의 마찰이 코드의 움직임을 제어하는 역할을 합니다(그림 1). 코드의 한쪽 끝에 매달린 몸을 고정하기 위해 코드의 다른 쪽 끝에 필요한 최소 힘은 마찰력의 존재로 인해 몸의 무게보다 작다는 것이 관찰됩니다. 빔의 회전 수가 증가함에 따라 힘의 감소는 놀랍습니다. 선원들은 부두의 기둥 주위에 선박에 묶인 로프를 감아 선박의 움직임을 정지시키는 데 이 아이디어를 사용하는 알려져 있습니다.

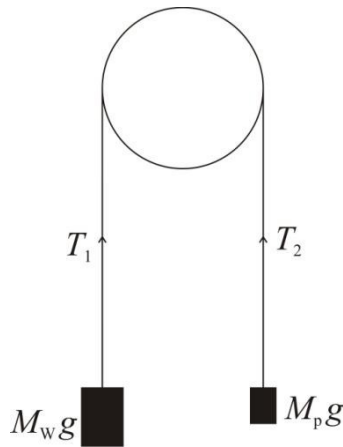


그림 1

목표:

시스템을 평형 상태로 유지하는 데 필요한 하중 $W(=M_{(w)}g)$, 최소 노력 $P(=M_{(p)}g)$, 하나 이상의 빔과 접촉하는 코드의 세그먼트에 의해 기울어진 각도 ϑ , 이 세 가지 양 사이의 관계를 체계적으로 변화시킴으로써 다음과 같이 탐색할 수 있습니다.

방정식의 형태로 표현합니다.



장치:

Sr. 아니 요.	항목	수량
1	네 면에 4개의 강관으로 구성된 장치입니다. 중앙에 동일한 수직 조각이 있으며 모두 나무 플랫폼에 고정되어 있습니다.	1
2	아크릴 시트(1.5mm 간격의 선이 있는) 중 하나 앞에 장착된 수평 파이프	1
3	플라스틱 팬(지지대 포함)에 질량($M_{\text{팬}}$)이 적혀 있습니다. 측면	1
4	토치가 달린 돋보기	1
5	파란색 표시가 있는 흰색 코드(다이얼 코드)	2개
6	핑크 코드	1개
7	다음과 같은 무게가 들어 있는 무게 상자	
	500.0 g	1
	200.0 g	2
	100.0 g	1
	50.0 g	1
	20.0 g	2
	10.0 g	1
	5.0 g	1
	2.0 g	2
	1.0 g	1
8	질량을 알 수 없는 물체, M_u	1
9	후크가 달린 슬롯형 웨이트 행거(각 무게 100.0g, 합계 무게 800.0 g)	1
10	청소용 천 조각	1

파란색 스위치를 움직여 토치를 켜고 끌 수 있습니다. 코드의 움직임을 감지하기 위해 선이 그어진 아크릴 판이 제공됩니다. 아크릴 판의 선을 기준으로 코드의 움직임을 관찰할 수 있습니다.

		
그림 2(a) 장착된 강관 나무 플랫폼에서	그림 2(b) 가중치 세트	그림 2(c) 플라스틱 팬
		
그림 2(d) 다이얼 코드	그림 2(e) 분홍색 코드	그림 2(f) 돋보기가 있는 돋보기 토치
		
그림 2(g) 알 수 없는 몸체 질량, M_u	그림 2(h) 슬롯형 분동 후크 포함	그림 2(i) 전체 설정

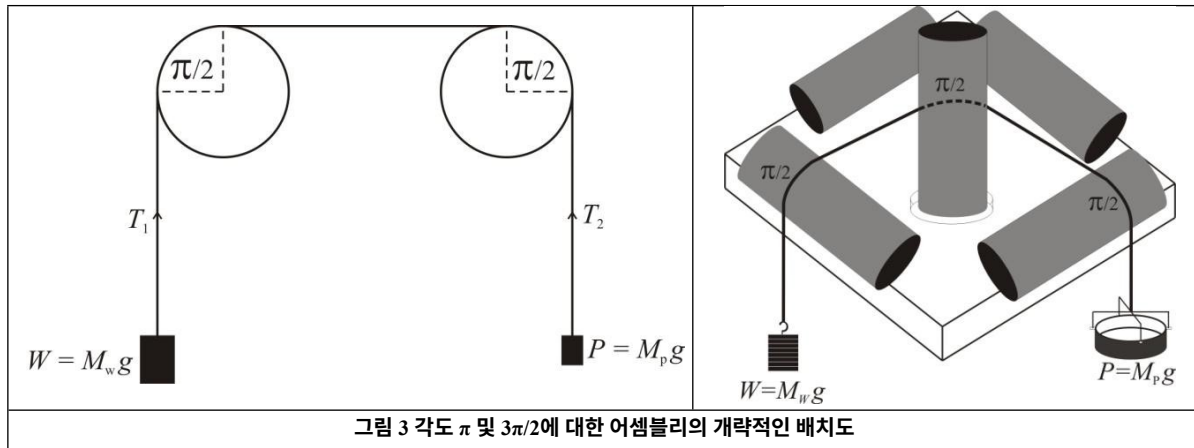
실험 절차:

주의: 코드가 닿을 수 있는 파이프 표면을 만지지 마세요. 기름기가 있는 물질은 표면(코드뿐만 아니라 파이프 표면)의 마찰 특성을 변화시킬 수 있습니다. 필요한 경우 청소용 천이 제공됩니다.

1부:

(참고: 이 부분에서는 다이얼 코드를 사용합니다.)

슬롯형 추가 달린 행거를 하중 M_w 로 사용합니다. 주어진 다이얼 코드의 한쪽 끝(질량이 무시할 수 있는)에 하중을, 다른 쪽 끝에는 팬(질량이 알려진)을 부착합니다. 추가 달린 추 상자도 제공됩니다. 코드에 의해 기울어지는 각도 θ 는 주어진 두 개 이상의 파이프 위/주위를 통과하여 변경할 수 있습니다. (그림 3 참조).



각도 θ 의 코드가 중앙 포스트와 접촉하지 않고 두 개의 평행봉을 통과할 때 얻을 수 있습니다(그림 3). 수직 기둥에 코드를 감고 노력의 위치를 이동하면 각도 θ 를 $\pi/2$ 단계별로 변경할 수 있습니다. 하중 $M_{(w)}$ 은 패선형 아크릴판이 장착된 파이프에 매달려 있어야 합니다.

각도 높이려면 코드를 중앙 수직 기둥 주위로 돌려야 합니다. 하중을 지탱하는 코드가 파이프 위로 미끄러지는지 관찰하기 위해 투명 아크릴 판이 제공됩니다. 토치가 달린 돋보기를 사용하여 코드가 파이프 위로 미끄러지는지 확인할 수 있습니다. 이상적으로는 하중 M_w 아래로 이동하기 직전(정적 마찰을 극복)에 있을 때 노력 M_p 을 기록해야 합니다. 하지만 이는 불가능합니다. 그러나 이 값이 있는 구간 $[M_{(p)(-)}, M_{(p)(+)}]$ 을 결정할 수는 있습니다. 이 간격은 M_p 크기의 불확실성을 측정하는 것이므로 가능한 한 작게 만들어야 합니다.

$\theta = \pi$ 의 경우, 제공된 가중치를 사용하여 가능한 한 넓은 범위의 관측값을 구합니다. 관측의 불확실성을 추정합니다. 필요한 그래프를 그리고 그래프의 결과를 결합하여 원하는 방정식을 얻습니다. 데이터 분석을 바탕으로 w 와 θ 의 관점에서 P 의 값을 제공하는 정량적 관계를 적습니다. P 의 값은 다음과 같습니다.



는 코드와 파이프 사이의 마찰에 따라 달라집니다. 방정식에서 마찰을 설명하는 항을 파악하고 이를 주어진 시스템의 마찰 계수 μ 와 동일시합니다. 그 값의 확장된 불확실성을 추정합니다.

2부:

(참고: 이 부분에서는 분홍색 코드를 사용합니다.)

미지 질량 M_u 의 몸체와 분홍색 끈이 주어집니다. 줄의 한쪽 끝에는 미지의 질량을, 다른 쪽 끝에는 팬을 매달아 놓습니다. 관련 방정식을 적고 M_u 와 $\mu_{(u)}$ 구합니다. $\vartheta = \pi$ 인 경우, 실험에서 얻은 관계를 사용하여 분홍색 줄과 파이프 사이의 질량과 마찰 계수를 결정하기 위해 필요한 관찰을 수행합니다. 결과에서 확장된 불확실성을 추정합니다.

불확실성 평가에 대한 참고 사항

- 1) 측정하고자 하는 양의 크기 X 가 $[X_1, X_{(2)}]$ 의 구간 어딘가에 있고 이 구간에서 어떤 값을 가질 수 있는 확률이 같다면 확률 분포는 균일 또는 직사각형이라고 합니다. 표준

이러한 분포에 대한 불확실성은
$$\frac{|X_1 - X_2|}{2\sqrt{3}}.$$

- 2) 측정된 수량에서 표준 불확실성을 합산한 후 그 결과를 확장된 불확실성으로 표시합니다. 확장 불확실성을 결합된 표준 불확실성의 두 배로 간주하면 신뢰 수준은 약 95%가 됩니다. 확장 불확도를 나타내는 숫자는 일반적으로 한 자릿수를 유지하기 위해 반올림되며, 측정된 수량의 크기를 나타내는 숫자는 마지막 자리가 확장 불확도와 소수점 이하 자릿수가 같도록 적절한 자릿수를 유지하기 위해 반올림됩니다.



13th아시아 물리학 올림피아드 인도

2012년 5월 2일*수요일 실험 대회

먼저 다음 지침을 주의 깊게 읽어주세요:

1. 사용 가능한 시간은 두 개의 실험 문제 각각에 대해 2시간 30분입니다.
2. 제공된 펜과 장비만 사용하세요.
3. 각 용지의 상단에 있는 상자에 **학생 코드**를 적습니다.
4. 데이터와 결과를 입력해야 하는 답안지 세트가 있습니다. 또한 사용할 수 있는 빈 시트가 제공됩니다.
5. 그래프 시트에 그래프를 그릴 때는 연필만 사용하세요.
6. 기본 답안지에 빈 답안지를 추가하는 경우, 이 추가 답안지에 각 답안지의 진행 번호(**페이지 번호**)를 적습니다. 사용한 빈 시트에는 해당 문제의 번호(**문제 번호**)를 입력해야 합니다.
7. 표시하고 싶지 않은 노트에 빈 필기장을 사용하는 경우, 시트 전체에 큰 'X'를 표시하고 번호 매기기에 포함시키지 마세요.
8. 숫자 결과는 적절한 자릿수로 작성해야 하며 단위를 잊지 마세요.
9. 답안에는 주로 방정식, 숫자, 기호, 그래프, 그림을 사용하고 가능한 한 텍스트를 적게 사용해야 합니다.
10. 실험이 끝나면 모든 시트를 다음 순서대로 정렬합니다:
 - a. 주요 답변 시트
 - b. 사용된 그래프 시트
 - c. 사용한 필기 시트
 - d. 'X'로 표시된 시트
 - e. 사용하지 않는 필기 시트 및 그래프 시트
 - f. 인쇄된 문제지
11. 모든 서류를 봉투 안에 넣고 봉투는 책상 위에 놓아둡니다.
12. 실험에 사용된 종이나 재료는 교실 밖으로 반출할 수 없습니다.



전자기 유도

금속 물체 표면 아래의 결함을 감지하는 데 사용되는 와전류 테스트의 최신 기술은 전자기 유도 원리를 기반으로 합니다. 전도체가 위치한 영역의 자속 변화로 인해 전도체에 유도되는 순환 전류를 와전류라고 합니다. 물체 표면 가까이에서 교류 전류를 전달하는 코일의 저항과 인덕턴스 변화를 관찰하여 결함을 감지합니다.

솔레노이드의 코어에 강자성 물질이 없는 한 자속 ϕ 는 전류 i 에 비례하며, 비례 상수를 코일의 자기 인덕턴스라고 하며 문자 L 로 표시됩니다. 인덕턴스 L 이 있는 코일의 자기 유도 EMF는 다음과 같습니다,

따라서 $-L \frac{di}{dt}$.

한 전류 i_1 이 있는 회로들의 결합된 시스템에서 연결된 자속은 다음과 같이 주어집니다.

$$\phi = L_{11}i_1 + M_{21}i_2$$

여기서 L_{11} 은 해당 회로의 자체 M_{21} 은 커플링된 시스템의 상호 인덕턴스입니다.

그 반대도 비슷한 공식이 적용되며, $M_{12} = M_{21}$

L-R 회로

저항 R 과 인덕턴스 L 의 직렬 조합을 통해 흐르는 각 주파수 ω 의 정현파 교류는 조합 전체에 걸쳐 전압 강하를 생성합니다.

전류를 $i = i_0 \sin \omega t$ 로 표현하면 저항을 가로지르는 전압 강하는 $I_0 R \sin \omega t$ 와 같고 인덕턴스를 가로지르는 전압 강하는 $I_0 \omega L \cos \omega t$ 가 됩니다. 이를 결합하여 R - L 조합의 전압을 구할 수 있습니다. ωL 을 유도 리액턴스라고 하며 기호 X 로 표시됩니다. 코일을 가로지르는 전압은 $I_0 Z \sin(\omega t + \theta)$ 와 같다는 것을 쉽게 알 수 있습니다.

$$Z = \sqrt{R^2 + X^2} \quad (1)$$

그리고

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{X}{R} \right) \quad (2)$$

교류 전압과 전류는 시간이 지남에 따라 크기와 극성이 지속적으로 변하지만 주기 동안 계산된 이러한 양의 rms 값은 다음과 같습니다.

는 시간과 무관하며, V 와 모두 rms 값을 나타내는 $V = IZ$ 관계는 옴의 법칙과 유사합니다. 이를 통해 다음과 같은 사실을 알 수 있습니다.

$$V^2 = (IR)^2 + (IX)^2 \quad (3)$$

(참고: 저항의 개념은 기본적으로 전기 에너지의 소산과 관련이 있으며, 교류 회로에서 코일의 저항 값은 직류 전류에 옴의 법칙을 적용하여 결정된 값과 다를 수 있습니다.)

코일과 직렬로 연결된 추가 저항 및/또는 인덕턴스가 있는 경우에도 조합 전체의 전압 강하를 총 저항과 총 인덕턴스 전반의 전압 강하 제곱합의 제곱근과 같다고 생각할 수 있습니다.

코일의 인덕턴스 및 저항 측정

교류 전류 및 전압을 측정할 때는 일반적으로 rms 값을 기록합니다. 방정식 (2) 및 (3)에서 다음과 같은 결과를 얻을 수 있습니다.

$$V \cos\theta = IR \quad (4)$$

그리

$$V \sin\theta = IX \quad (5)$$

고

코일의 R 과 L 값을 구하기 위해 위의 방정식을 사용할 수 있습니다. 전압 V 와 전류 I 를 측정할 수 있습니다. 하지만 미지의 세 가지 양 θ , R , X 가 있으므로 방정식이 하나 더 필요합니다.

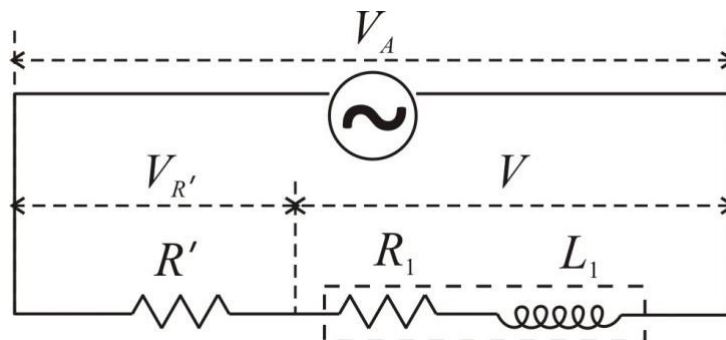


그림 1

코일과 알려진 저항 R' 로 구성된 조합의 인가 전압이 V_A 인 경우 인가 전압 V_A 를 R' 의 전압 강하 $V_{R'}$, 코일의 V 및 각도 θ 와 연관시키는 식은 다음과 같습니다.

$$V_A^2 = V^2 + V_{R'}^2 + 2VV_{R'}\cos\theta \quad (6)$$

방정식 (6)에서 θ 를 제외한 모든 수량은 측정할 수 있습니다.

따라서 세 가지 전압 V_A , $V_{R'}$ 및 V 를 측정하고 방정식 (4), (5) 및 (6)을 사용하여 θ , R 및 X 를 결정할 수 있습니다. 주파수를 알면 L 의 값을 계산할 수 있습니다.



또는 방정식 (4) 및 (6)에서 측정된 세 가지 전압의 관점에서 R 의 값을 다음과 같이 표현할 수 있습니다.

$$R = \left[\frac{(r')^2 - v^2}{2} \right] \frac{1}{vR'} - 1 \quad (7)$$

코일의 임피던스 Z 는 다음 공식을 사용하여 계산할 수 있습니다.

$$Z = \frac{V}{I} \quad R' \text{과 } X' \text{의 값}$$

에서 얻을 수 있습니다.

$$X = \sqrt{Z^2 - R^2} \quad (1A)$$

결합 회로

전원이 1차측에 공급하는 에너지는 1차측에서 일부 나머지는 상호 결합된 다른 2차측에서 소산될 수 있습니다. 기계적 작업이 수행되지 않을 때 에너지 손실은 저항에서만 발생합니다. 인덕턴스는 관련된 자기장에 에너지를 저장합니다. 전류 I (rms 값)의 경우 평균 저장된 에너지는 다음과 같습니다.

$$\text{인덕턴스 } L \text{은 다음과 같습니다} \quad \frac{1}{2}LI^2.$$

다.

2차측에 전류가 흐르면 1차측에서 이 전류로 인해 유도된 EMF가 1차측 전류에 변화를 가져옵니다. 1차측에서 볼 때 이 효과는 1차 코일의 유효 저항과 리액턴스의 변화로 인한 결과이며 2차측 회로의 파라미터를 알 필요가 없습니다. 1차측에서 볼 때 1차측 및 2차측 회로에서 소실된 총 에너지는 마치 1차측 유효 저항에서 소실된 것처럼 나타납니다.

1차측의 저항 R_{PE} 및 인덕턴스 L_{PE} 의 유효 값은 2차측의 '반사' 저항 R_R 및 '반사' 인덕턴스 L_R 와 관련될 수 있습니다. 1차측의 반사 저항 R_R 에서 손실되는 (평균) 전력은 2차측 회로의 저항 R_S 에서 손실되는 전력과 같아야 합니다. 이는 다음을 제공합니다.

$$I_P^2 R_{PE} = I_S^2 (R_S + R_R) \quad (8)$$

마찬가지로 반사 인덕턴스 L_R 을 다음에서 2차 인덕턴스 L_S 와 연관시킬 수 있습니다.

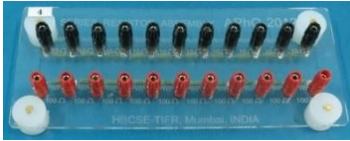
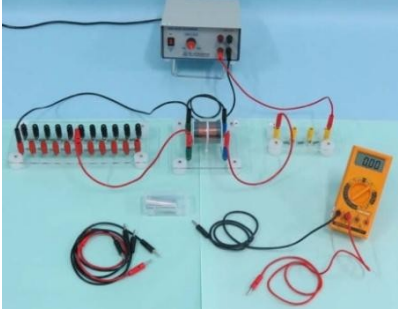
$$\frac{1}{2} L_{PE} I_P^2 = \frac{1}{2} L_S I_S^2 \quad (9)$$

교류 1차측 전류 I_P 로 인해 2차측에서 유도된 EMF의 크기가 $\omega M I_P$ 와 같다는 사실을 고려하면 1차측 및 2차측 전류의 rms 값 측면에서 2차측에 대한 Kirchhoff의 루프 규칙에 해당하는 방정식을 다음과 같이 작성할 수 있습니다.

$$\omega M I_P = I_S Z_S \quad (10)$$

여기서 $Z_{(s)}$ 는 2차 회로의 임피던스입니다. 2차측 임피던스가 무한대인 경우 상호 유도된 EMF는 2차측의 개방형 끝단에 걸친 전압으로 나타납니다.

장치:

			
저항 보드	연결 전선	디지털 멀티미터	코일은 기타
			
사인파 발생기	저항 보드	알루미늄 Rod	실험 설정 완료

실험을 위해 제공되는 장치는 다음과 같이 구성됩니다.

1. 1000Hz 주파수에서 약 10V(rms) 출력의 사인파 발생기
 2. 전압계로 사용할 수 있는 디지털 멀티미터(DMM)
 3. 한 쌍의 동축 코일이 원통형 속이 빈 비전도성 보빈에 서로 감겨 있습니다.
 4. 보빈 내부에 장착할 수 있는 알루미늄 막대 조각
 5. 아크릴 보드에 장착된 10개의 저항기 시리즈 2개: 하나는 100옴 저항기와 바나나 핀 소켓이 있는 10옴 저항기로 구성됩니다.
 6. 이 저항 보드와 연결 와이어 조각을 사용하여 부하 R_L 또는 샘플링 저항 R' 필요한 저항을 선택할 수 있습니다.
- 별도의 아크릴 보드에는



300옴의 저항이 제공되므로 다른 보드를 부하 저항으로 사용할 때 샘플링 저항으로 사용할 수 있습니다.

7. 끝 부분에 바나나 핀이 달린 빨간색 전선 5개와 검은색 전선 5개 세트(더 긴 빨간색과 검은색 전선 한 쌍은 DMM 프로브로 사용하기 위한 것입니다).

주파수 1000Hz의 사인파 발생기의 출력을 교류 소스 전압으로 사용해야 합니다. DMM의 20V 범위를 사용하여 rms 교류 전압을 측정합니다.

필요한 경우 전류 I_p 및 I_s 의 크기는 각각 1차측의 R' 및 2차측의 R_L 의 알려진 값에서 측정된 전압을 통해 계산해야 합니다.

실험

파트 1: 에어 코어 및 알루미늄 코어가 있는 코일의 저항 및 인덕턴스 결정하기

[3.4]

코일 1(파란색 단자)을 사인파 발생기의 출력 단자에 걸쳐 저항 R' (저항 보드에서 선택)과 직렬로 연결합니다. 사인파 생성기는 출력 안정화를 위해 실험을 시작하기 전에 켜져 있습니다. 끄지 마세요. 출력 전압 진폭을 최대로 유지합니다. (DMM에 약 10V의 출력이 표시되어야 합니다).

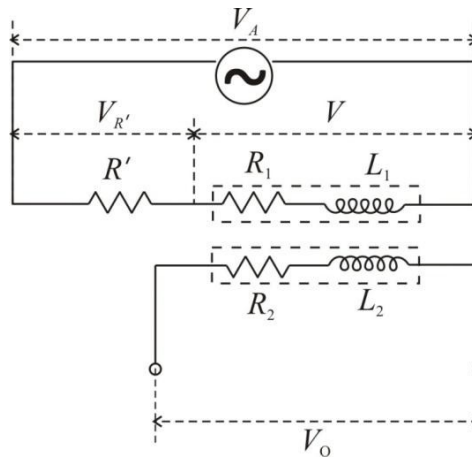


그림 2

발전기의 교류 출력에 약간의 비대칭이 있을 수 있습니다. 이 경우 DMM의 입력 극성이 'V/Ω'에서 'com'으로 바뀔 때 DMM의 판독값이 약간 다르게 표시됩니다. 비대칭으로 인한 오류를 수정하려면 DMM의 프로브 극성을 바꿔서 각 판독값을 반복하고 두 판독값의 평균을 구합니다.

R' 의 값을 선택하여 V_R 와 V 가 거의 같아지도록 하여 Z 의 체계적 오차가 무시할 수 있는 수준이 되도록 합니다.

a) 다른 코일의 단자에서 전압 V_A , $V_{(R)}$ 및 V 와 V_O 를 측정합니다. 코일 1(파란색 단자)의 저항 $R_{(1)}$ 과 인덕턴스 L_1 결정하고 결정된 값의 불확실성을 추정합니다. (0.9)

b) 다른 코일(녹색 단자가 있는 코일 2)을 연결하고 필요한 측정을 수행한 후 R_2 및 L_2 를 결정합니다. 얻은 값의 불확실성을 평가합니다. (0.9)

c) 이제 코일의 코어에 알루미늄 막대 조각을 삽입하고 절차를 반복하여 코일 1에 대한 인덕턴스 L_1^* 및 저항 R_1^* 의 값과 그 불확실성을 구합니다. (0.8)

d) 필요한 측정을 하고 알루미늄 코어가 있는 경우 코일 2의 인덕턴스 L_2^* 와 저항 $R_{(2)}^*$ 를 결정합니다. 값의 불확실성을 추정합니다. (0.8)

참고: 파트 2, 3, 4에 대해서는 불확실성 계산을 수행할 필요가 없습니다.

파트 2: 상호 인덕턴스 및 커플링 상수

[3.0]

f) 상호 인덕턴스 M 은 V_R 및 V_O 판독값(파트 1에 기록됨)에서 얻을 수 있습니다. 알루미늄 코어 코일과 공기 코어 코일의 평균값을 구합니다. 결합된 코일의 상호 인덕턴스와 자기 인덕턴스 사이의 관계는 $M = k(L_1 L_2)^{1/2}$ 로 주어집니다. 두 경우의 결합 계수인 k 의 값을 구합니다. (0.4)

g) 코일 1(파란색 단자)을 1차측으로, 코일 2(녹색 단자)를 2차측으로 선택합니다. 1차측을 제너레이터의 출력 단자에 걸쳐 샘플링 저항 $R' = 300\Omega$ 과 직렬로 연결합니다. 2차측에 가변 부하 R_L 를 연결합니다. 출력 전압 $V_{(O)}$ 은 R_L 을 가로질러 측정해야 합니다. R_L 을 변경하고 R_L 의 각 값에 해당하는 전압 V_A , V_R , V 및 $V_{(O)}$ 를 측정합니다. (0.8)

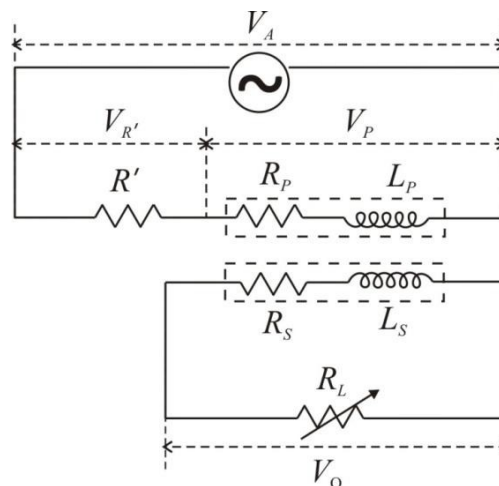


그림 3

h) 선형 그래프는 방정식 (10)에 나타나는 여러 항을 확장된 형태로 결합하여 그릴 수 있습니다. 기울기를 사용하여 M 의 값을 구하고 절편을 사용하여 2차 리액턴스 X_S 의 값을 구할 수 있는 그래프를 그리기 위한 선형 식을 작성하십시오. (0.2)



i) (g)의 데이터를 사용하여 필요한 수량을 계산하여 위의 (h) 단계에서 얻은 식에 해당하는 그래프를 그립니다.(0.9)

j) 그래프를 플롯하고 M 과 X_S 의 값을 구합니다. (0.7)

파트 3: 3부: 유효 1차측 임피던스와 2차측 반사량 간의 관계 [2.4]

k) 파트 2에서 수집한 데이터를 사용하여 2차측의 각 R_L 값에 해당하는 1차측의 유효 저항 R_{PE} 과 유효 리액턴스 $X_{(PE)}$ 를 구합니다. (0.6)

l) **파트 2의** 데이터를 사용하여 방정식 (8)에 정의된 반사 저항 R_R 값과 방정식 (9)를 참조하여 반사 리액턴스 X_R 값을 계산하여 R_L 값에 대응하는 값을 구합니다. (0.6)

m) $X_{(R)}$ 에 대한 X_{PE} 의 그래프를 플롯합니다. 플롯된 양의 불확실성을 고려하여 유효 1차 리액턴스와 반사 리액턴스 사이의 관계를 나타내는 방정식을 적습니다. (0.6)

n) 연구 범위에 걸쳐 R_R 과 R_L 의 관계를 그래픽으로 나타내고 반사 저항이 최대에 도달하는 R_L 의 값을 구합니다. *필요한 경우, 더 정밀하게 점을 찾기 위해 파트 2의 관찰을 보완하기 위해 몇 가지 관찰을 더 수행합니다.* (0.6)

파트 4: 와전류 효과 [1.2]

o) **파트 3의** 데이터 분석을 기반으로 한 모델은 전원에 연결된 코일의 코어에 설정된 와전류에 의해 나타나는 인덕턴스와 저항의 비율을 추정하는 방법을 제시합니다.

파트 2(i)와 (j)의 데이터를 분석하면 $R_{PE} = R_P + R_R$ 이 나와야 합니다. X_{PE} 와 X_R 사이의 관계는 **파트 3(m)**에서 구할 수 있습니다.

파트 1(c)에서 수집한 데이터를 참조하여, 전원 공급 장치가 코일 1과 코일 2에 각각 연결되었을 때 알루미늄 코어의 와전류로 보이는 인덕턴스와 저항의 비율을 추정하십시오. (0.8)

p) **파트 2 그림 3과** 같이 코일을 연결하고 코일의 중심부에 알루미늄 조각을 삽입합니다. 알루미늄 코어의 전력 손실 ΔP 를 나타내는 식을 적습니다.

$R' = 300\Omega$ 및 $R_L = 1000\Omega$ 를 설정합니다. V_A 의 크기를 $9.0V$ 로 조정합니다. 그리고 필요한 측정을 수행하고 알루미늄 코어의 와전류로 인한 전력 손실을 계산합니다. (0.4)