

거대 자기 저항(GMR)

I. 소개

자기저항은 외부 자기장의 세기에 대한 시료의 전기 저항의 의존성을 나타냅니다. 다음 공식이 특징입니다:

$$\delta(= \frac{R(B) - R(0)}{R(0)}) \quad (1)$$

여기서 $R(B)$ 는 자기장 B 에서 샘플의 저항이고, $R(0)$ 은 $B = 0$ 에 해당하며, $\delta(B)$ 를 *저항의 상대적 변화*라고 합니다.

상대적으로 약한 자기장에서 저항의 상대적 변화가 일반적으로 몇 퍼센트 미만으로 작은 몇 가지 "정상적인" 자기저항 효과가 존재합니다. 예를 들어, 자기저항 효과 중 하나는 전류에 대한 자기장의 직접적인 작용으로 인해 발생할 수 있습니다. 로렌츠 힘으로 인해 전하 캐리어의 흐름이 편향되어 이동성이 효과적으로 감소합니다. 따라서 자기장이 증가함에 따라 전기 전도도가 감소하고 시료의 저항이 증가합니다. 이는 자기장의 세기가 비교적 큰 범위에서 변화할 때 발생합니다.

*거대 자기 저항*은 전도 전자의 스핀과 고체의 자기 모멘트의 상호 작용으로 인해 발생합니다. 이 효과는 외부 자기장이 가해질 때 강자성층과 비자성층이 교대로 구성된 다층 구조에서 수 나노미터 두께의 전기 저항이 감소하는 것으로 구성됩니다. 상대적으로 약한 자기장에서는 전기 저항의 변화가 크므로 이를 거대 자기 저항(GMR) 효과라고 합니다. GMR의 실용적 중요성 때문에 발견자인 알버트 퍼트와 피터 그뤼너베르크는 2007년에 노벨 물리학상을 수상했습니다.

이러한 다층에서 인접한 두 강자성층은 외부 자기장이 없을 때 반대 방향으로 자발적으로 자화합니다. 고체의 자기 모멘트를 가진 전도 전자의 산란은 자화 방향과 평행한 스핀을 가진 전자의 경우 약하고 자화 방향과 반평행한 스핀을 가진 전자의 경우 강하다고 가정해 봅시다. 따라서 평행 스핀과 반평행 스핀 전자는 모두 강자성층 중 하나에 강하게 흡입됩니다. 따라서 이 경우 다층의 총 저항이 높습니다(그림 1a 참조).

충분히 강한 자기장이 층의 평면에 평행하게 적용되면 모든 강자성 층은 자기장의 동일한 방향으로 자화됩니다. 결과적으로 자화 방향과 평행한 스핀을 가진 전자는 자기 모멘트에 거의 산란하지 않고 구조를 통과합니다. 반대로 자화 방향과 반대의 스핀을 가진 전자는 강자성층 강하게 산란됩니다. 두 스핀 채널에 대해 전도가 병렬로 일어나기 때문에 다층의 총 저항은 주로 전도성이 높은 병렬 스핀 전자에 의해 결정되며 낮게 나타납니다(그림 1b 참조). 그림 1에서 $R_{\parallel}$ 은 산란이 강한 층의 높은 저항을 나타내고, $R_{\perp}$ 은 산란이 약한 층의 낮은 저항을 나타냅니다. $R_{(0)}$ 은 제로 자기장에서의 구조의 저항이며, R_B 은 충분히 강한 자기장에서의 저항입니다.

인접한 두 강자성층이 같은 방향으로 자화되어 있습니다. 등가 전기 모델

(소위 "두 개의 저항" 모델)의 GMR 효과는 그림 1의 하단에 나와 있습니다. 이 모델의 회로는 하나의 GMR 소자를 나타냅니다.

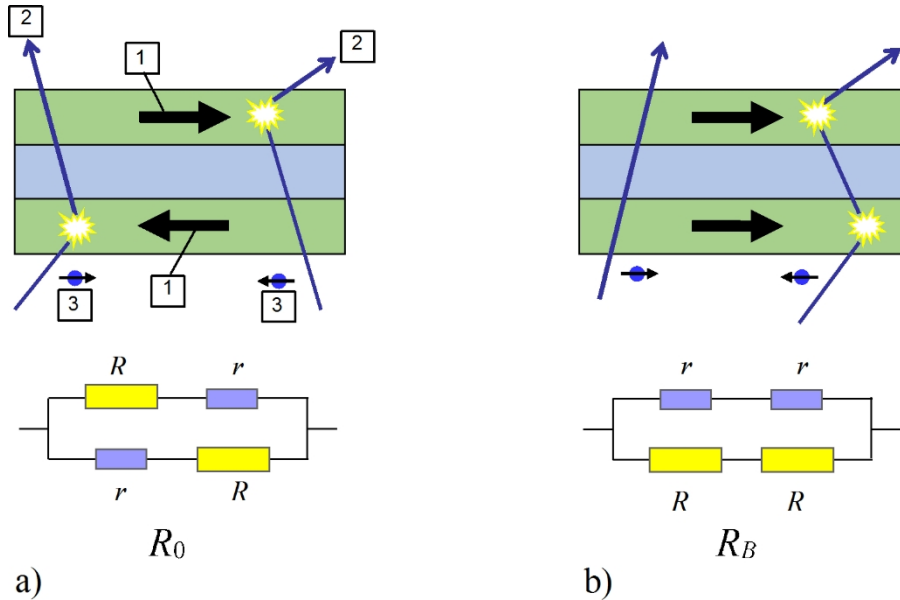


그림 1: GMR 효과 모델. (1) 자화, (2) 전자 경로, (3) 전자 스핀

GMR의 응용 분야 중 하나는 *자력계라고도 하는 자기 센서*로, 적용된 자기장의 세기를 측정하는 데 사용할 수 있습니다. 널리 사용되는 GMR 자기 센서는 그림 2b와 같이 휘트스톤 브리지로 연결된 4개의 GMR 소자로 구성됩니다. 각 GMR 요소는 위 모델에서 설명한 대로 다층 구조로 구성됩니다. 이 중 두 개는 차폐되어 있어 인가된 자기장이 도달하지 못하므로 외부 자기장에 민감하지 않습니다. 마그네틱 센서는 그림 2a와 같이 8핀 장치에 패키징되어 있습니다. 공급 전압은 4번과 8번 핀에 연결됩니다. 신호 출력은 핀 1과 5에서 가져옵니다. 이것이 정상적인 작동 방식입니다. 그러나 문제를 해결하는 동안 센서를 파괴하지 않고 전원 공급 장치를 다른 핀 연결할 수 있습니다. 센서의 감도 축은 그림 2a의 화살표로 표시되어 있습니다. 자기 센서는 이 축에 수직인 인가 자기장에는 민감하지 않습니다.

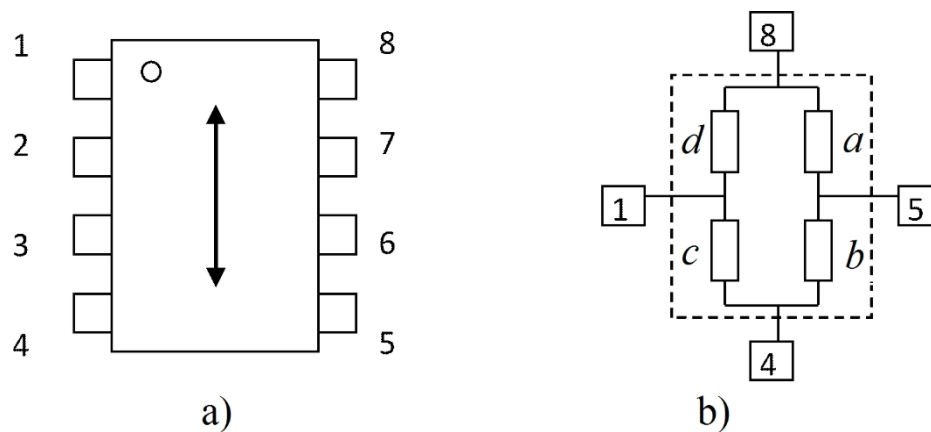


그림 2

그림 2b와 같이 요소의 저항을 a, b, c, d 라고 부릅니다.

요소의 저항은 전류에 의존하지 않는 것으로 간주할 수 있습니다.

감도가 다른 센서를 제작하기 위해 통합 자속 농축기가 사용됩니다. 덕분에 센서 내부의 소자에 작용하는 자기장이 적용된 자기장보다 더 강해집니다.

플럭스 집중 장치와 다층 구조의 자기 층에 강자성 물질이 존재하기 때문에 센서의 전기적 특성에 히스테리시스가 존재합니다.

실험의 목표는 다음과 :

1. GMR 효과에 대한 조사.
2. GMR 자기 센서에 대한 조사.
3. GMR 마그네틱 센서의 몇 가지 응용 분야에 대한 연구.

II. 장치

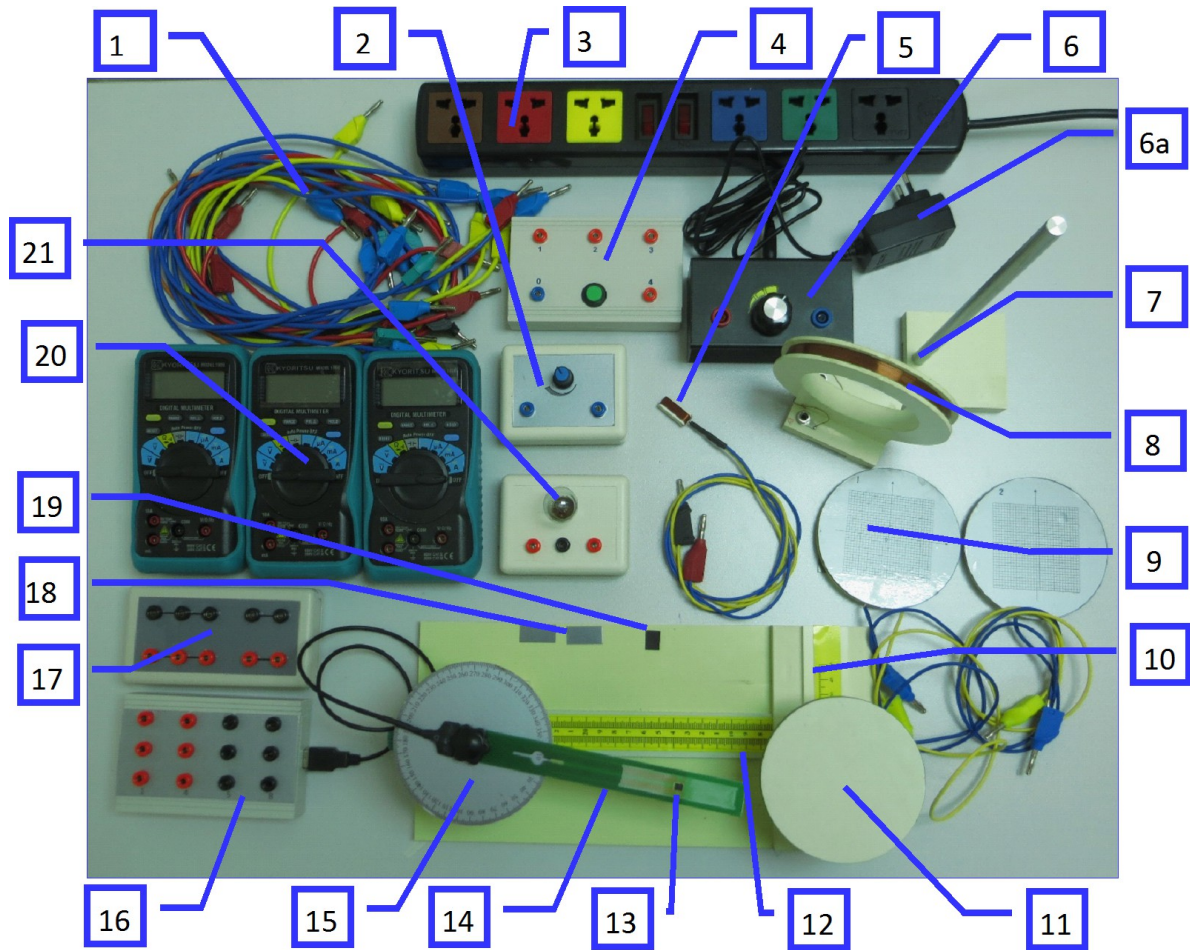


그림 3

1	리드	12	세로 레일이 있는 플랫폼
2	레오스탯	13	자기 센서
3	220V AC 전원 코드	14	센서 홀더
4	배터리 *)	15	짧은 기둥으로 지지대에 고정된 눈금이 표시된 원형 테이블(사진에는 보이지 않음)
5	플랫 코일	16	센서 연결 상자 *)
6	조정 가능한 DC 전류 소스(어댑터 [6a] 포함)	17	연결 상자
7	키가 큰 폴로 지지	18	강자성 시트
8	원형 코일	19	영구 자석 플레이트
9	전기 회로가 매설된 인쇄 회로 기판	20	멀티미터 *) (3개)
10	횡단 레일	21	이중 필라멘트 전구
11	턴테이블		

*) 자세한 내용은 부록에서 확인하세요.

경고: 220V AC 전압은 테이블 램프(그림 3에는 표시되지 않음)와 조정 가능한 DC 전류 소스의 어댑터(6a)에만 사용됩니다. 이 전압에 다른 장치를 연결하는 것은 엄격히 금지되어 있습니다.

III. 실험

A. 자기장에 대한 이해(1.0점)

이 실험 문제에서 자기장은 다음과 같을 수 있습니다.

- 에 의해 생성된 자기장
 - 전류를 전달하는 원형 코일입니다;
 - 전류를 전달하는 평평한 코일입니다;
 - 영구 자석으로 된 플레이트.
- 지구의 자기장을 측정합니다.

1. 원형 코일에 의해 생성되는 자기장에 대한 이해

원형 코일 [8]의 평균 직경은 $d = 10.0\text{cm}$ 이고 회전 수는 $N = 500$ 입니다. 전류 I 가 흐를 때 이 코일의 중심에 생성되는 자기장은 원형 코일의 평균 반경과 같은 반경과 $500I$ 의 전류를 가진 원형 전류 루프의 자기장으로 근사화할 수 있습니다.

A.1 원형 코일의 중심에있는 자기장의 크기는 다음과 같을 수 있습니다.
 $B = kI$. B 가 측정된 경우 k 의 수치를 계산합니다.
 mT 및 I - mA 단위

0.5pt

2. 지구 자기장에 대한 이해

지구 자기장은 모든 곳에 존재합니다. 주어진 각 지점 주변의 넓은 공간 영역에서 균일한 자기장으로 간주할 수 있습니다. 지구 자기

실험



19th APhO

Asian Physics Olympiad
HANOI - VIET NAM 2018

Q1-6

영어(공식)

장의 수평 성분의 크기는 B_h 로 표시됩니다.

- A.2** 지구 자기장의 크기 B_β 에 대한 식을 적으세요.
면에서 측정한 0.5pt와 β 와 각도를 이루는 방향에서 측정한 0.5pt
 β 및 B_h 의 관점에서 지구 자기장의 수평 성분을 나타냅니다.

수평

참고: 항상 지구 자기장이 자기 측정에 미치는 영향을 고려하세요.

B. GMR 자기 센서를 이용한 GMR 효과 조사(7점)

참고: 이 파트는 나머지 파트와 비교적 독립적입니다. 파트 B를 풀지 않고도 파트 C와 D를 풀 수 있습니다.

이 부분에서는 자기 센서 내부의 각 요소 저항의 외부 자기장에 대한 의존성을 조사합니다. 원형 코일 [8]은 세로 레일 위에 서 있습니다. 센서 홀더 [14]는 원형 코일의 중앙에 자기 센서 [13]가 있고 센서 축이 코일 평면에 수직 인 수평 위치의 원형 플레이트 [15]에 나사로 고정됩니다. 코일의 전류를 변경하여 센서에 작용하는 자기장을 변화시킵니다. 지구 자기장이 측정에 영향을 주지 않도록 자기 센서의 감도 축이 서쪽-동쪽 방향(실험 표에 표시된 방향)을 향하도록 하세요. 서-동 방향은 자기 나침반을 사용하여 현지에서 결정했습니다.

마그네틱 센서는 배터리 [4]로 전원을 공급받습니다. 원형 코일은 조정 가능한 DC 전류 소스 [6]에서 전류를 공급받습니다.

1. GMR 요소의 저항 측정

a. $B=0$.

- B.1** 실험의 다이어그램을 스케치하고 다음을 계산하기 위한 식을 찾습니다.
이터 측면에서 각 요소의 저항을 1.25pt로 계산합니다.

측정 데

- B.2** 측정 및 계산을 수행하여 $B = 0$ 에서
에서 1.25pt 요소 a, b, c 및 d 의 저항을 측정하고 계산합니다.

$B = 0$

원형 코일의 전류를 $I=0$ 으로 설정합니다.

b. 최대 외부 자기장에서의 소자 저항: 코일의 전류 I 를 가능한 가장 높은 값으로 설정

합니다.

- B.3** 측정 및 계산을 수행하여 최대 외부 자기장에서의
외부 자기장에서 0.5pt 요소 a, b, c 및 d 의 저항을 측정하고 계산합니다.

최대

- B.4** 자기장에 민감한 원소를 표시합니다.

0.25pt

c. 요소의 속성.

2. GMR 요소의 특성

이 섹션에서는 차폐되지 않은 두 GMR 소자 중 하나의 특성을 공부합니다. 이러한 GMR 요소 중 하나를 선택하고 저항의 상대적 변화에 대한 외부 자기장에 대한 의존성인 $\delta(B)$ 를 결정합니다.

B.5	선택한 GMR 요소의 이름을 입력합니다. 실험의 다이어그램을 스케치합니다. 를 스케치하고 측정 데이터의 관점에서 $\delta(B)$ 를 계산하는 식을 찾습니다.	0.75pt
B.6	측정 및 계산을 수행하여 $\delta(B)$ 를 외부 자기장 B 를 0에서 가능한 최대 값까지 범위에서 측정하고 계산합니다. 측정된 수량의 값으로 표를 채우고 $\delta(B)$ 를 결정합니다. 전류 I 및 외부 자기장 B 의 값에 해당합니다.	1.25pt
B.7	외부 자기장 B 의 함수로 $\delta(B)$ 를 그래프에 플롯합니다(그래프 1).	0.5pt
B.8	다음 영역에서 곡선 $\delta(B)$ 의 평균 기울기 $\alpha = \frac{\Delta\delta(B)}{\Delta B}$ 를 구합니다. $\delta(B)$ 는 B 에 크게 의존합니다.	0.25pt
B.9	GMR 계수 결정 $\delta = \frac{\Delta R}{R(0)}$ 요소의 여기 ΔR $_{max}$ 는 자기장 내 저항의 최대 변화입니다.	0.25pt
B.10	그림 1에 주어진 0.5pt 모델과 비율에 따라 GMR 소자의 저항 R 과 r 의 값을 구하십시오. 모델과 비율 $\gamma = \frac{r}{R}$.	0.75pt

C. GMR 자기 센서 연구(6점)

이 부분에서는 자기 센서 [13]의 가장 중요한 특성을 조사합니다. 원형 코일 [8]은 세로 레일 [12]에 서 있습니다. 센서 홀더 [14]는 원형 플레이트 [15]에 수평 위치에서 나사로 고정되어 센서가 원형 코일의 중앙에 있고 센서 축이 코일 평면에 수직이 되도록 합니다. 코일의 전류를 변경하여 센서에 작용하는 자기장을 변경합니다. 지구 자기장이 측정에 영향을 미치지 않도록 자기 센서의 감도 축이 동서 방향을 향하도록 하세요.

1. 센서 출력 신호의 특성

마그네틱 센서는 배터리 [4]에서 최대 전압으로 공급됩니다. 공급 전압은 핀 4와 8에 연결됩니다. 원형 코일은 조정 가능한 DC 전류 소스 [6]에 의해 공급됩니다.

- 먼저 코일의 전류 I 를 가능한 가장 높은 값으로 설정합니다. 핀 1과 5 사이의 전압은 센서의 출력 신호 S 입니다.
- 코일의 전류를 $I = 0$ 으로 서서히 줄이면서 I 의 각 값에 해당하는 S 값을 읽습니다.
- 코일에서 전류 I 의 방향을 변경합니다. 전류를 최대 값까지 서서히 증가시키면서 I 의 각 값에 해당하는 S 의 값을 읽습니다.
- 전류를 $I = 0$ 으로 서서히 줄이면서 I 의 각 값에 해당하는 S 값을 읽습니다.
- 코일에서 전류 I 의 방향을 변경합니다. 전류를 최대 값까지 서서히 증가시키면서 I 의 각 값에 해당하는 S 의 값을 읽습니다.

C.1	현재 I 의 값에 해당하는 S 값으로 표를 채웁니다. 측정 과정에서 코일과 외부 자기장 B 의 값을 1.0pt씩 입력합니다.	위의
C.2	출력 신호 S 의 그래프 $S(B)$ 를 외부 자기장 B 의 함수로 플롯합니다. 필드 B 의 함수입니다(그래프 2).	1.0pt
C.3	1. 곡선 $S(B)$ 의 영역에 동그라미를 치고 "S"로 레이블을 지정합니다. 2. 곡선 $S(B)$ 의 선형성 영역에 동그라미를 치고 "L"로 레이블을 지정합니다. 이를 위해 지역의 기울기 평균값을 구합니다 $m = \frac{\Delta S}{\Delta B}$.	0.5pt
C.4	그래프 $S(B)$ 에서 외부 자기장 B_C 을 구합니다. 에서 자화된 후 S 를 최소로 만드는 데 필요한 0.5pt 자기장입니다. 채도 필드가 있는 포지티브 방향입니다.	연산

참고: 커브 $S(B)$ 의 선형 영역을 사용하려는 경우, 작은 영구 자석 플레이트

[19]가 제공됩니다. 센서 [13] 근처의 센서 홀더 [14]에 영구 자석을 놓고 센서에 대한 자석의 상대 위치를 변경하여 커브의 작업 지점을 선택하기만 하면 됩니다. 적절한 작업 지점을 찾으면 접착 테이프를 사용하여 자석을 홀더에 고정할 수 있습니다. 이 과정을 **바이어싱**이라고 합니다.

2. 공급 전압에 대한 출력 신호의 의존성

자기 센서는 배터리 [4]로 전원을 공급받습니다. 센서를 배터리 상자의 다른 소켓에 연결하여 공급 전압 E 를 변경할 수 있습니다. 원형 코일의 전류 I 는 곡선 $S(B)$ 의 선형 영역에 해당하는 값으로 설정됩니다.

C.5	E 값에 해당하는 S 값으로 표를 채웁니다.	0.25pt의
C.6	E 함수로서 S 그래프를 플롯합니다.	0.25pt의
C.7	센서의 출력 신호 S 와 0.5pt, B.8에서 찾은 GMR 요소의 기울기 α , 공급 전압 E 및 ap-...와 관련된 분석 식을 도출합니다. 여기서는 α 이 두 원소에 대해 동일하며 원소의 특성에는 이형성이 없다고 가정합니다. 또한 자기장이 없는 경우 네 가지 요소의 저항 값은 모두 동일하다고 가정합니다.	

3. 플렉스 농축기의 효과 연구

자기 센서 내부의 통합 자속 집속기는 두께가 마이크로미터 정도이고 길이가 수백 마이크로미터 정도인 두 개의 박막 강자성 구조로 구성되어 있습니다. 자속 집속기의 목적은 구조물 사이의 틈새에서 자기장을 확대하는 것입니다.

자속 집중기가 자기 센서에 미치는 영향을 연구하기 위해 센서의 양쪽 끝에 길이 L_2 및 상호 거리 L_1 로 배치된 두 개의 강자성 시트 (그림 4 참조)로 만든 외부 자속 사용합니다.

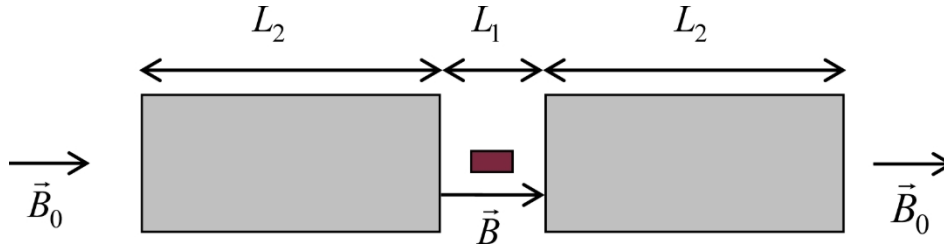


그림 4. 플럭스 농축기 다이어그램

자속 집중기가 있는 센서를 B_0 크기의 균일한 자기장에 놓으면 센서에 작용하는 유효 자기장은 B 입니다. L_1 의 변화 범위가 그리 크지 않은 경우 경험적 공식을 사용하여 B 을 대략적으로 구할 수 있습니다:

$$\frac{B}{B_0} = n \frac{L_2}{L_1} + 1 \quad (2)$$

자기 센서와 두 개의 강자성 시트를 사용하여 실험을 수행하라는 요청을 받았습니다.
[18]을 사용하여 공식 (2)에서 n 의 값을 결정합니다.

C.8		1.0pt
다음 중 어떤 자기장을 이 실험에 사용하시겠습니까?		0.25pt
a. 전류를 전달하는 원형 코일의 필드		
b. 전류를 전달하는 플랫 코일의 필드		
c. 영구 자석의 플레이트의 필드		
d. 지구의 자기장		
실험의 다이어그램을 스케치하고 측정 데이터의 관점에서 n 의 값을 결정하는 찾습니다.		0.75pt
C.9	실험을 수행하여 L_1 의 다른 값에 대해 B/B_0 을 구하고 표를 채우십시오. 를 측정 데이터로 채웁니다.	0.5pt
C.10	B/B_0 을 적절한 변수의 함수로 그래프로 n 의 값을 결정합니다(그래프 4). n 의 값을 입력합니다.	0.5pt

D. GMR 마그네틱 센서의 응용 분야(6점)

이 부분에서는 마그네틱 센서의 몇 가지 응용 분야를 살펴봅니다.

1. 지구 자기장 측정

자기 센서를 사용하여 지구 자기장의 몇 가지 매개 변수를 결정하라는 요청을 받습니다. 이 문제를 푸는 데 필요한 추가 그래프 시트가 제공됩니다.

a. 지구 자기장의 수평 성분의 크기

원형 플레이트 [15]를 수평면에 고정합니다. 센서 홀더 [14]가 원형 플레이트에 나사로 고정됩니다. 원형 플레이트의 센서 홀더를 회전하여 센서 축의 다른 방향에서 지구 자기장의 수평면에서 구성 요소를 확인할 수 있습니다.

D.1 실험의 다이어그램을 스케치하고 다음을 계산하기 위한 식을 찾으십시오. 지구 자기장의 수평 성분의 0.5pt 크기 B_h 를 계산하는 식을 찾으십시오. 측정 데이터의 조건.

D.2 측정 및 계산을 수행하여 B_h 를 구합니다. 0.25pt

b. 지구 자기장의 크기와 자기 경사도

자기 경사는 지구의 자기장 벡터 B_{Earth} 와 수평면 사이의 각도 θ 로 정의됩니다.

원형 플레이트 [15]를 긴 기둥 [7]에 고정하고, 원형 플레이트가 남-북 방향을 포함하는 수직면에 위치하도록 합니다. 센서 홀더 [14]가 원형 플레이트에 나사로 고정됩니다. 원형 플레이트의 센서 홀더를 회전하여 센서 축의 다른 방향에서 지구 자기장의 성분을 확인할 수 있습니다.

D.3 실험의 다이어그램을 스케치하고 다음을 계산하기 위한 식을 찾으십시오. 지구 자기장 B_{Earth} 와 자기 경사 θ 를 계산하는 식을 찾아보세요. 보종 데이터. 0.75pt

D.4 측정 및 계산을 수행하여 B_{Earth} 및 θ 를 찾습니다. 0.5pt

2. DC 전력계

이 섹션에서는 자기 센서를 사용하여 전력계의 회로를 구성합니다. 플랫 코일 [5]이 센서를 감싸고 있습니다. 이 플랫 코일은 부하와 직렬로 연결되어 있으므로 플랫 코일의 전류 I 는 부하의 전류와 동일합니다. 플랫 코일의 전류 I 는 센서에 작용하는 자기장을 생성하고 부하에 걸친 전압 U 는 센서에 공급하는 데 사용됩니다.

센서의 출력 신호 S 는 부하에서 소모되는 전력 P 를 결정하는 데 사용됩니다.

이중 필라멘트 전구 [21]가 부하로 사용됩니다. 전구의 세 단자를 서로 다른 방식으로 사용하면 부하의 저항값을 여러 가지로 얻을 수 있습니다. R_L

대부분의 경우, 자기 휘트스톤 브리지는 외부 자기장이 작용하지 않는 경우에도 불균형 상태가 됩니다. 이는 소자의 저항과 강자성 층의 잔류에 작은 차이가 있기 때문입니다. 이 경우 전력량계 회로에서 사용하기 전에 브리지의 균형을 맞춰야 합니다. 센서 홀더 [14]는 수평 위치의 원형 플레이트 [15]에 나사로 고정됩니다. 센서는 전압이 가장 높은 배터리 [4]로 전원을 공급받습니다. 지구 자기장에 맞춰 센서의 방향을 맞춥니다. 멀티미터에서 출력 신호 S 를 관찰합니다. $S=0$ 이면 브리지가 균형을 이룬 것이므로 다른 조치를 취할 필요가 없습니다. S 이면 브리지가 불균형 상태이므로 균형을 맞춰야 합니다. 가변 저항기 [2]를 요소 a, b, c, d 중 하나와 병렬로 연결하고 가변 저항기를 연결하면 S 의 크기가 감소합니다. 가변 저항기를 조정하여 S 를 0으로 줄입니다. 이제 브리지의 균형이 잡혔습니다. 이 과정을 *밸런싱*이라고 합니다.

어떤 경우에는 가변 저항기를 사용해도 브리지의 균형을 맞추는 데 도움이 되지 않습니다. 이러한 경우 출력 신호 S 가 $S=0$ 으로 감소하도록 센서 홀더를 작은 각도로 회전하는 것으로 충분합니다.

D.5 부하와 함께 전력량계 회로의 다이어그램을 스케치하고 측정에 사용되는 멀티
메터에 사용된 0.5pt 타이머와 함께 회로도를 스케치합니다.

측정

연결 상자 [17]를 사용하여 다이어그램에 따라 전력계의 회로를 구성합니다. 부하의 저항 R_L 을 변경하고 DC 전류 소스 [6]의 출력을 조정하여 부하에 걸친 전압 U 을 변경합니다.

D.6 표에 센서 출력 신호 S 의 값에 해당하는
 $U, P = U \cdot I$ 의 0.75pt 값으로 채웁니다

I 및

D.7 S 함수로 P 그래프를 플롯합니다(그래프 5).

0.5pt

$P = f(S)$ 곡선을 전력량계의 보정 곡선이라고 합니다.

D.8 보정 곡선의 함수 $P = f(S)$ 의 형태를 구하고 다음을 결정합니다.
0.25pt 값을 결정합니다.

계수의

3. 매설된 전기 회로 감지

이 섹션에서는 자기 센서를 사용하여 두 개의 묻혀 있는 전기 회로의 모양을 찾는 장치를 만들어야 합니다. 전기 회로는 인쇄 회로 기판의 숨겨진 표면에 만들어집니다. 인쇄 회로 기판의 뒷면에 부착된 격자 시트는 좌표계 역할을 합니다.

이 실험은 다음과 같은 방법으로 수행할 수 있습니다. 원형 플레이트 [15]를 수평 위치에 놓고 짧은 기둥에 고정합니다. 센서 홀더 [14]를 원형 플레이트에 나사로 고정합니다. 전기 회로 [9]가 매립된 인쇄 회로 기판이 턴테이블 [11] 위에 평평하게 놓입니다. 턴테이블은 수평면에서 자유롭게 회전할 수 있으며 레일 [10] 및 [12]를 따라 두 개의 수직 방향으로 이동할 수 있습니다. 빨간색 도체를 양극 단자에 두고 인쇄 회로 기판의 도체를 조정 가능한 DC 전류 소스 [6]에 연결합니다. DC 전류 소스를 조정하여 회로의 전류 값을 선택합니다. 인쇄 회로 기판을 자기 센서 [13]에 상대적으로 이동하고 센서의 출력 신호 S 의 변화를 보면 매설 회로의 위치와 모양, 매설 회로의 전류 방향도 감지할 수 있습니다. 이 문제를 푸는 데 필요한 경우 더 큰 규모의 그리드 시트가 제공됩니다.

D.9 매설된 전기 회로의 다이어그램과 함께 그 안에 흐르는
전류의 방향과 함께 답안지의 그리드 시트에 도표를 그립니다.

2.0pt

부록

1. 멀티미터에 대한 지침

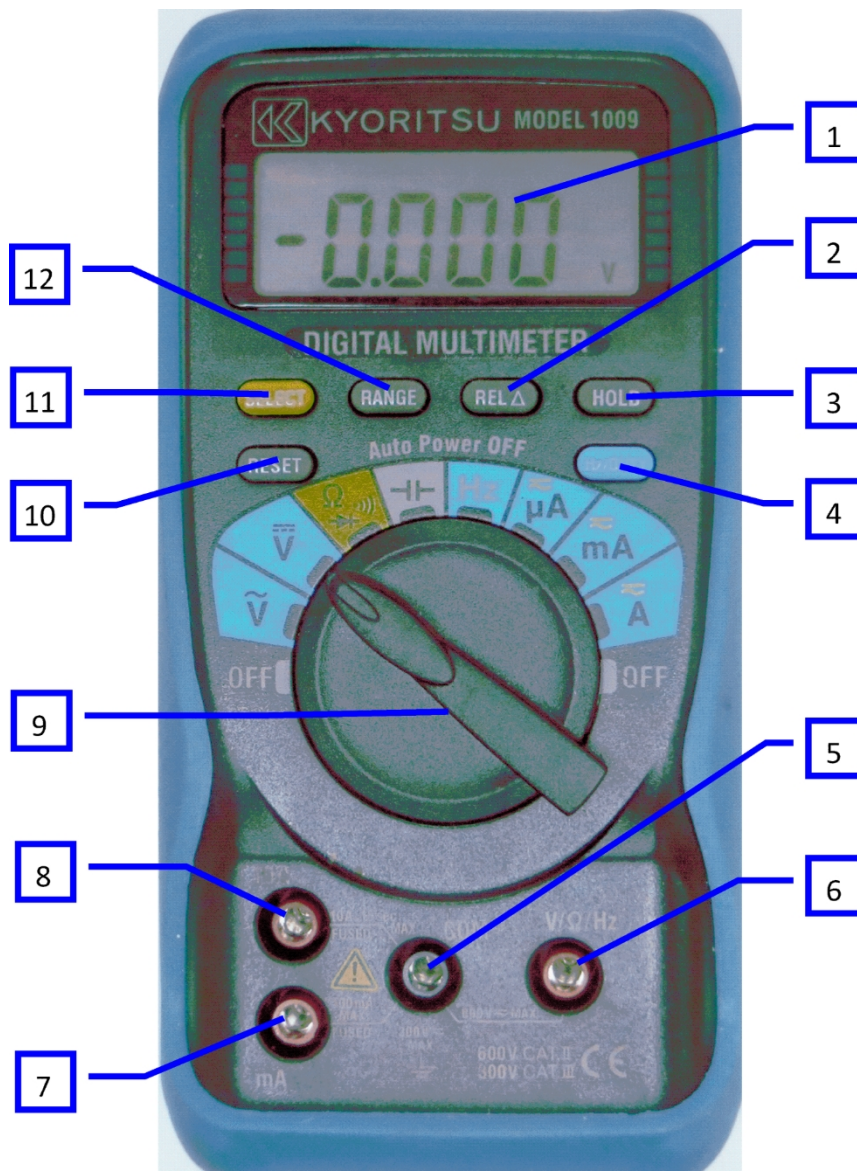


그림 A1

1	디스플레이	7	측정 단자(mA)
2	REL 키	8	측정 단자(A)
3	HOLD 키	9	기능 선택 스위치
4	Hz/DUTY 키	10	재설정 키
5	측정 터미널(COM)	11	SELECT 키
6	측정 단자(V/ Ω /Hz) Λ	12	범위 키

- 합병증을 방지하려면 다음 키를 사용하지 마십시오: REL 키 [2], HOLD 키 [3], Hz, DUTY 키 [4], RESET 키 [10].
- 멀티미터의 전원을 켜고 측정을 시작하려면 기능 선택 스위치 [9]를 원하는 기능으로 돌립니다.
- 전압 및 저항을 측정하려면 측정 단자(V/ Ω /Hz) [6] 및 측정 단자(COM) [5]를 사용합니다.
- 전류 측정에는 측정 단자(A) [8] 및 측정 단자(COM) [5] 및 기능 A를 사용합니다.
- 멀티미터는 전원을 켜 후 약 30분이 지나면 자동으로 꺼집니다. 측정을 계속하려면 기능 선택 스위치를 꺼짐으로 돌렸다가 다시 기능으로 돌려주세요.

자동으로 꺼지지 않게 하려면 기능 선택 스위치를 원하는 기능으로 돌리면서 선택 키를 누릅니다.

2. 배터리

배터리의 회로는 그림 A2에 나와 있습니다.

버튼을 누르면 배터리가 켜지고 버튼을 꺼집니다.

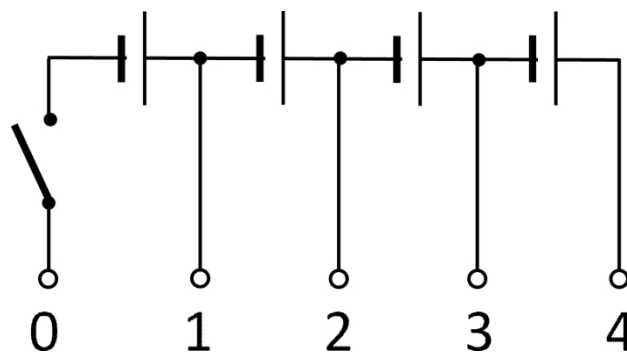


그림 A2

3. 센서 연결 상자

센서를 사용하기 전에 센서의 케이블을 센서 연결 상자에 연결해야 합니다. 이 상자에 연결되면 상자에 표시된 번호가 그림 2의 핀 번호와 일치합니다.