

직류 자력계의 제작

장 충 근*

Construction of a Direct Current Magnetometer

Chang, Choong-Geun

요 약

자기저항 센서로부터 얻은 자기 신호를 표시하기 위하여 직류 자력계를 설계하고, 그 회로를 구현하였다. 제작한 자력계 및 상용 MAG-01 자력계로 측정된 자장은 서로 잘 일치하였고, 제작한 자력계의 자동 범위선택기능, 애널로그 출력기능 및 벡터 감지기능이 양호하였다. 자력계의 측정범위는 $1 \mu\text{T} \sim 1.999 \text{ mT}$ 였고, 분해능은 1 Hz의 밴드폭에서 -132 dB였으며, 측정된 자장은 $3 \cdot 1/2$ -digit LED로 표시 되었다.

Abstract

In order to display magnetic signals obtained from a magneto-resistance sensor, a direct current magnetometer was designed and its circuit was constructed. The magnetic fields measured by the home-made magnetometer, which showed good functions of automatic ranging, analog output, and vector sensing, were well agreed with those by commercial MAG-01 magnetometer. The measurement range of the magnetometer was $1 \mu\text{T}$ to 1.999 mT , the resolution was -132 dB within 1 Hz bandwidth and the measured magnetic fields could be displayed with $3 \cdot 1/2$ -digit LED.

I. 서론

자장을 변화시키면 전기저항이 변화되는 재료의 자-전(磁-電)현상에 관한 연구는 1966년에 Hebbert R.S. 등에 의하여 최초로 시도되었다. 이연구를 기점으로하여 자-전현상에 관한 연구가 여러 연구자들에 의하여 꾸준히 연구되어 왔으며 앞으로도 계속 연구될 것이다.

본 저자는 1991년부터 이 연구에 참여하여, 1992년에 강자성체 박막(Fe-Ni, Co-Ni)의 자기저항효과에 관한 연구(I)⁽¹⁾를 수행하였고, 1994년에는 강자성체 박막(Co-Ni)의 자기 저항효과에 관한 연구(II)⁽²⁾를 수행하여, 자기저항센서에 관한 특허를 출원한 바 있다. 또한 1995년에는 강자성체 박막(Co-Ni)의 자기저항효과에

관한연구(III)⁽³⁾를 수행하여 자기저항센서의 감도를 33 V/T로 향상시킨 바 있으며, 교류 자력계의 구현에 관한 연구도 수행하였다.

본 연구에서는 저자가 그동안의 연구에서 제작한 자기저항 센서를 구동시키기 위하여 자기저항 센서용 직류 자력계를 설계하고, 그 시스템을 구현시킨 다음 동작 상태를 점검하여 본 결과, 자력계의 LCD에 표시된 수치와 실제 자장값이 일치 되었으며, 자기신호의 극성이 반대로 되는 경우에도 이득이 자동으로 조절되었다. 또한 auto-ranging기능, analog출력기능 및 vector sensing기능 등이 원활하게 작동되었다. 그리고 측정범위는 $1 \mu\text{T} \sim 1.999 \text{ mT}$ 였고, 분해능은 -132 dB(1 Hz 밴드폭)이었다.

* 충남대학교 자연과학대학 교수
(Dept. of Physics, College of Natural Sciences,
Chungnam National University)
<접수일자 : 1996년 3월 21일>

II. 실험

1. 자력계 설계

지자장(地磁場)과 같이 미약하고 서서히 변하는 자장을 감지하기 위하여 자기저항 센서에 유기되는 신호를 자속밀도로 변환시킨후, LED로 표시하면서 analog 형태의 자장강도를 기록기에 인가할 수 있도록 설계한 자력계의 구성도는 그림 1과 같다.

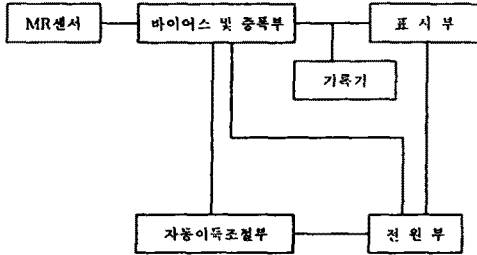


그림 1. 자력계의 개요도.

Fig. 1. Schematic diagram of the magnetometer.

2. 회로 설계

(1) 바이어스회로 및 증폭회로 설계; 그림 1에서 나타낸 바이어스 및 증폭부의 회로를 도시하면 그림 2와 같다. 신호증폭에 AD524를 채택하였고, 교정을 위

한 증폭에 OP07을 사용하였으며, 바이어스용으로 AD581을 이용하였다. 그림 2에서 가변저항 VR1으로 브리지형 자기저항센서의 균형을 잡았으며, AD581의 출력을 0-10 V범위에서 조절하기 위하여 가변저항 VR2를 삽입하였다.

가변저항 VR3은 offset을 조절하기 위한 것으로 영점조정에 사용하였고, 릴레이 RY 1, 2 및 3은 각각 이득을 10, 100 및 1000으로 전환시키기 위한 것이며, 가변저항 VR4는 이득을 조절하여 자력계의 LED에 표시된 자장값이 실제값과 같은 값으로 표시되도록 교정할 목적으로 삽입하였다.

(2) 자동 이득조절부 설계; 증폭기의 이득과 표시기의 눈금을 자동제어하기 위하여 절대치 회로와 원도우 비교기를 그림 3과 같이 설계하였다. 절대치 회로는 입력신호가 음이건 양이건 모두 양으로 전환되게 하기 위한 것으로, 출력이 +1.2 V 보다 작으면 A점에서의 출력은 +12 V, +1.2 V보다 크고 +10 V 보다 작으면 0 V, +10 V보다 크면 -12 V가 되도록 설계하였다. 이때 B점과 C점의 출력은 순차적으로 0 V와 +12 V, 0 V와 0 V 및 +12 V와 0 V로 변화될 것이며, 이 신호가 OR 게이트를 통과하면 각각 high, low,

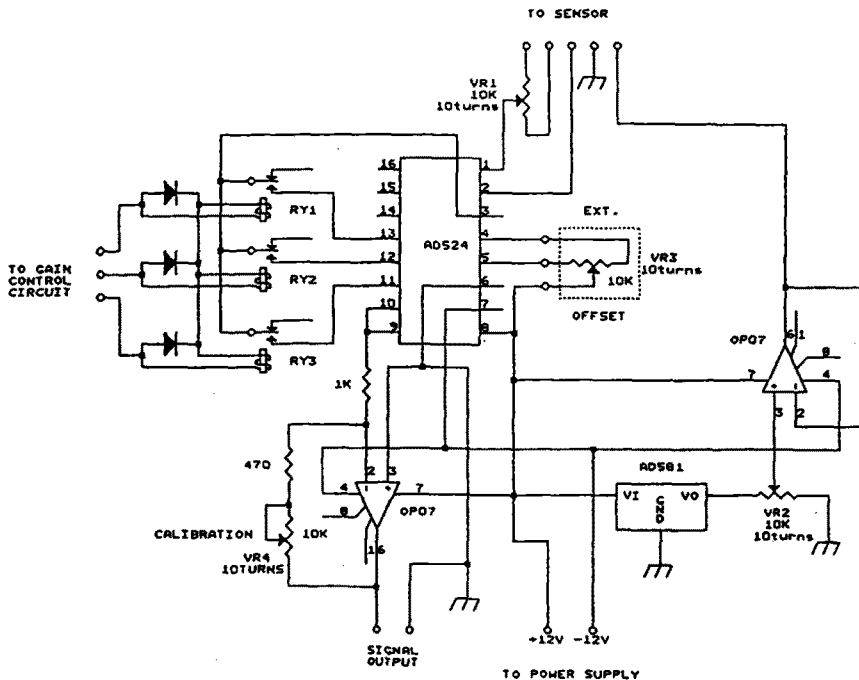


그림 2. 전류바이어스 회로 및 신호증폭 회로도.

Fig. 2. Electronic circuit of the current bias and signal amplifier.

+1.2 V보다 작고 이득이 1,000 일때 또는 입력 신호가 +10 V보다 크고 이득이 1인 경우에 AND 게이트를 제어하여 카운터의 클럭이 금지되도록 하였다.

만약 입력신호가 +1.2 V보다 작으면 순차적으로 이득이 증가되다가 +1.2 V에서 +10 V사이에 있으면 OR 게이트로 클럭을 금지시켜 현재 상태의 이득을 유지하도록 하였다. 그런데 이득이 최고로 되어도 입력신호가 1.2 V보다 작으면 NAND 게이트에 의해서 클럭이 금지된다. 반대로 입력신호가 +10 V보다 크면 이득 조절용 릴레이가 전환되고 입력신호가 1.2 V에서 +10 V사이에 있으면 릴레이가 정지되고, 이득이 1인데도 입력신호가 +10 V보다 크면 NAND 게이트에 의하여 클럭이 금지되어 이득이 1인 상태로 유지되게 하여 자리수와 단위가 전환되도록 설계하였다.

(3) 표시부 설계; 그림 4는 디지털미터(3·1/2-digit)의 회로를 설계한 것이며, 여기서 ICL7107은 CMOS A/D 변환기로서 적분기, 애널로그 스위치, 발진기, 카운터 및 LED표시기 등의 구동회로가 내장되어 있는 소자이다. 이 소자의 변환속도는 초당 25회로 고정시켰다.

(4) 전원부 설계; 전원부는 충방전이 가능한 Ni-Cd

전지 22개를 직렬로 연결하여 +5 V, +12 V, -12 V의 전원이 각 회로에 공급되도록 하였다. 그림 5에서 전지가 소모되어 가변저항 VR(5 k Ω)에 의한 전압이 6 V이하로 강하되면 741이 작동하여 LOW BATT. LED가 점등되도록 설계하였다. 이때 스위치를 RECHARGE 쪽으로 전환시키면 SSR(solid state relay)이 구동되어 Ni-Cd 전지가 재충전되도록 하였다. 표시부의 전원전압은 +5 V이므로 5 V용 정전압소자 IC7805를 사용하여 LED의 전원이 공급되도록 설계하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 자력계의 구현결과

그림 2의 회로와 같이 구현된 바이어스 전원에서 VR2를 조정함으로써 0-10 V범위의 정전압을 선택적으로 얻을 수 있었고, VR3에 의해서 offset 조정이 가능하였다. 또한 VR4에 의해서 표시판의 수치와 실제값을 정확히 일치시킬 수 있었다.

그림 3과 같이 제작된 자동이득 조절기에서 클럭은

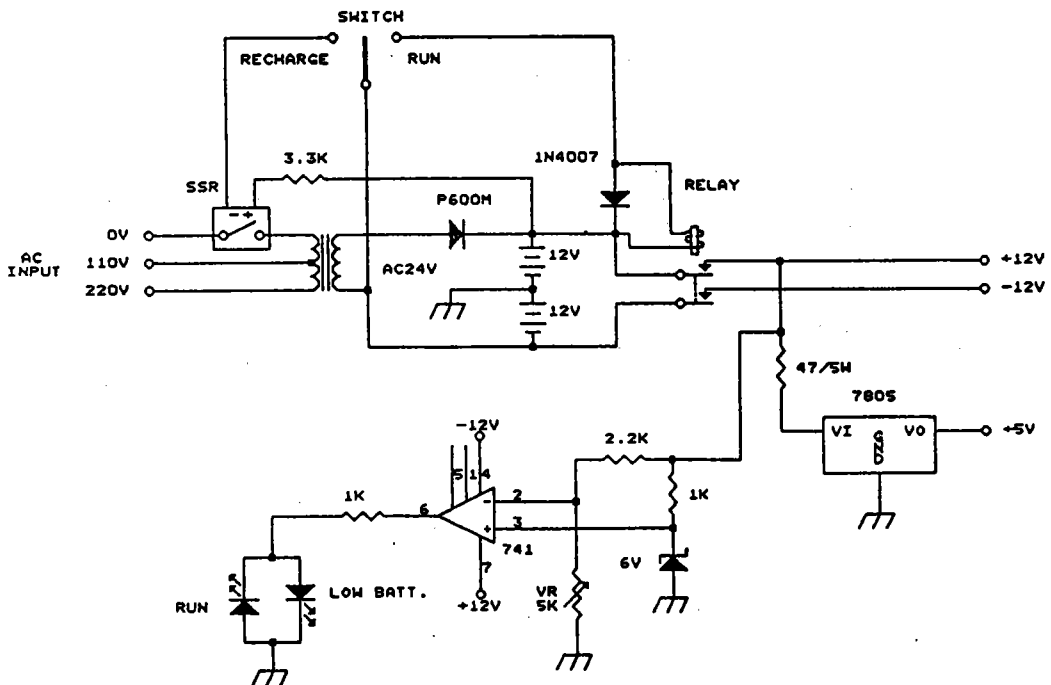
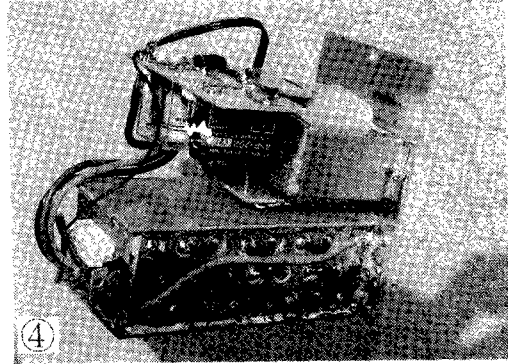
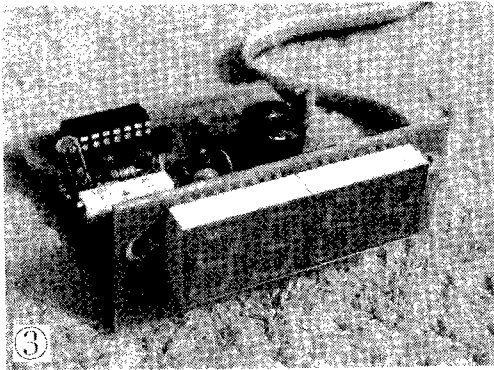
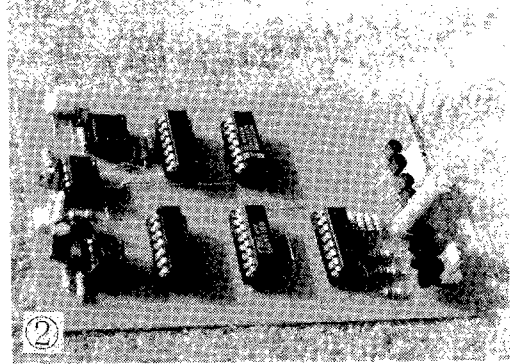
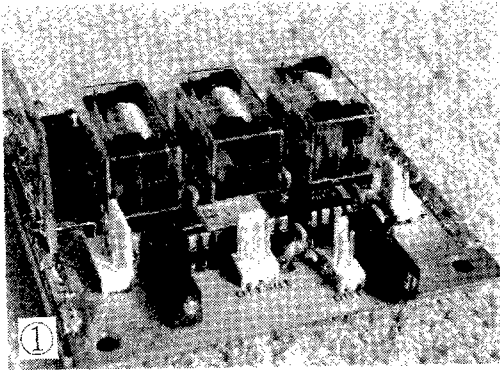


그림 5. 전원 공급회로도.

Fig. 5. Power supply circuit.

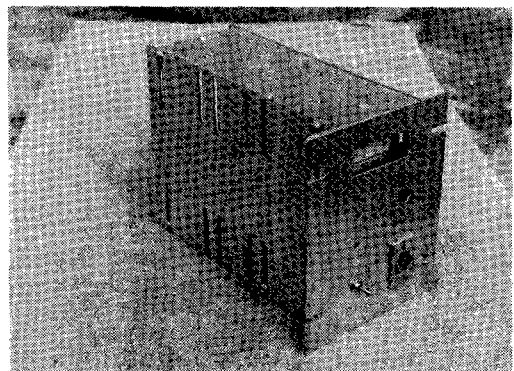


사 진 1. 자력계를 구성하는 주요 모듈(①: 전류 바이어스 및 신호 증폭부, ②: 자동 이득 조절부, ③: LED 표시부, ④: 전원부).

Photo. 1. Main modules consisting magnetometer(①: current bias and signal amplifier, ②: automatic gain controller, ③: LED display, ④: power supply).

NE55에 의해서 2 Hz로 발진되었고, AND 게이트(4082), OR 게이트(4071), NAND 게이트(4011), 카운터(4518) 및 디코더(4028) 등을 모두 CMOS로 구현시키면서 절대치 회로를 채택한 결과 극성이 반대가 되는 경우에도 이득이 자동으로 조절됨을 확인할 수 있었다. LED의 구동을 위하여 적분기, 애널로그 스위치, 발진기 및 LED 표시기 등이 내장되어 있는 IC7107과 Hex. inverter 4049를 그림 4와 같이 배선하여 구동시켜본 결과 이상없이 작동되었다. 한편 1.2 V Ni-Cd 전지 22개를 직렬로 연결하여 만든 직류전원과 전압강하를 위하여 부가시킨 741과 LED 및 정전압 소자 IC7805 등이 원활히 작동되고 있음을 확인하였다.

한편 본 연구에서 제작한 전류바이어스와 신호증폭부, 자동이득 조절회부, LED 표시부 및 전원공급부의 실물은 사진 1과 같고, 완성된 직류자력계의 외관은 사진 2와 같다.



사 진 2. 제작한 직류 자력계.

Photo. 2. Photograph of the home-made direct current magnetometer.

2. 자장 측정결과

본 연구에서 제작한 자력계를 사용하여 본 저자의 전용 실험실의 위치(127° 26'E, 36° 20'N, 해발 100 m)에서 지자장을 측정한 결과는 그림 6과 같다. 그림 6에서 실선은 본 연구에서 제작한 자력계로 측정된 결과이고, 점선은 Bartington사제(영국) flux gate magnetometer(#Mag-01)로 측정된 결과인데, 이들 양자는 거의 같은 값을 보이고 있다. 단 S→N 방향의 지자장 측정결과를 살펴보면, 본 연구에서 제작한 자력계는 16.01 μ T를 나타내는 반면에 MAG-01은 16.230 μ T를 나타내고있으며, 그외의 다른 방향에서도 약간의 편차가 나타나고 있다. 이는 두 자력계의 규격과

성능에서 야기된 것으로 사료된다. 이상과 같은 지시치의 차이는 신호증폭율과 센서의 배향 등을 교정하므로써 어느정도 줄일 수 있을 것으로 생각한다. 그러나 S→N 방향의 지자장 16.01 μ T는 대전지방의 지자장값과 큰 차이가 있는데, 이는 측정장소가 실험실내부이고 또한 실험실내에 각종 철제 실험기구가 불규칙적으로 배열된 데에 기인하는 것으로 사료된다.

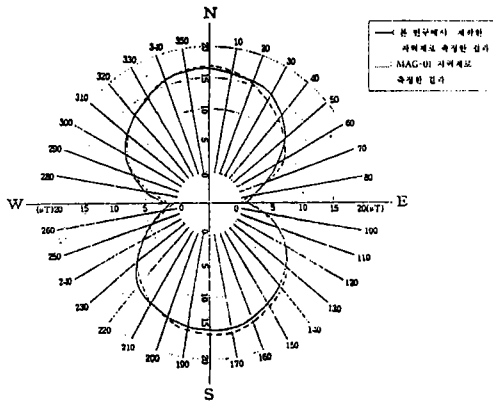


그림 6. 본 연구에서 제작한 자력계와 상용 MAG-01 자력계로 지자장을 측정된 결과의 비교
(측정위치: 동경 127° 26', 북위 36° 20', 해발 100 m).

Fig. 6. Comparison of earth magnetic fields measured by both home-made and commercial MAG-01 magnetometers at 127° 26'E, 36° 20'N, and 100 m from sea level.

3. 자력계의 기능 및 규격

(1) 전력 공급기능 동작에 소요되는 전력은 건전지나 충전기에 의하여 연속적으로 공급되었고, 충전된 건전지는 12 시간동안 연속적으로 사용할 수 있었으며, 충전에는 5 시간이 소요되었다.

(2) Auto-ranging 기능: 저자장 측정시 전면의 LED는 μ T 단위로 자장강도를 나타내었는데, 이 표시시스템에 도입된 auto-ranging 시스템은 매우 원활하게 작동되었다. 저자장에서 1 자리 수치와 3 자리 소수치가 나타나 full scale range, 즉 ± 1.999 가 초과되면 LED의 표시는 ± 1 을 나타내면서 over range 되었다.

(3) Analog 출력기능: 처음부터 정지되어 있거나 서서히 변화하는 저강도 자장을 장시간에 걸쳐서 조사할 수 있었고, 출력의 주파수 응답은 정합이 잘되는 chart recorder로 기록할 수 있었다.

(4) Vector sensing 기능: 탐침속에 들어 있는 자기저항 센서는 탐침축에 평행한 자장성분에 반응하여 vector sensing 기능을 보이면서 cosine 방향성 반응을 보였다. 측정전압 $V = V_{max} \cos \theta$ 로 나타났고, 탐침축이 자장의 북쪽방향을 향하거나 서쪽방향을 향하면 +값을 보이고, 남쪽방향 또는 동쪽방향을 향하면 -값을 나타내었다.

(5) 기계적 규격; 크기: 120×230×150 mm, 무게; 2.3 kg.

(6) 성능: 측정 범위: 1 μ T-1.999 mT, 분해능; -132 dB(1 Hz 밴드폭), LED: 3·1/2-digit, auto range.

(7) 전면 조정판: on/off/충전, 3단 스위치, 6p Fischer 커넥터, 충전요구 표시등, offset 조정 VR.

(8) 뒷면판의 구성: AC 120 V, 0.5 A 입력단자, analog 출력단자(BNC).

IV. 결론

본 연구에서는 자기저항 센서에서 얻어진 자기신호를 표시하기 위하여 직류자력계를 설계하고, 그 회로를 구현 시켜 자장을 측정된 결과는 상용자력계(MAG-01)로 측정된 결과와 비교적 잘 일치하였다. 증폭기의 이득과 표시기의 눈금을 자동으로 제어하기 위하여 절대치 회로와 윈도우비교기 회로를 채택한 결과 자기신호의 극성이 반전되는 경우에도 이득이 자동으로 조절되었다.

저자장 측정에서 전면의 LED는 μT 단위의 자장강도를 나타내었는데, 이 표시 시스템에 도입된 auto-ranging 기능에 의해서 측정치가 full scale range($\pm 1.999 \text{ mT}$)를 초과하면 LED의 표시는 ± 1 을 나타내면서 over range되었다.

처음부터 정지하여 있거나 서서히 변화하는 저장도 자장도 긴 시간에 걸쳐서 조사 할 수 있었으며, 이때의 analog 출력신호는 chart recorder를 이용하여 기록할 수 있었다. 그리고 탐침속에 들어있는 자기저항센서는 탐침축에 평행한 자장성분에 반응하여 vector sensing 기능을 보이면서 cosine 방향성 반응을 보였다. 제작된 자력계의 측정범위는 $1 \mu\text{T} \sim 1.999\text{mT}$ 였으며, 분해능은 1 Hz 의 밴드폭에서 -132 dB 였고, 측정된 자장은 $3 \cdot 1/2\text{-digit}$ 의 LED로 표시되었다.

참고문헌

- [1] 장충근, 유중열, 송재용, 윤만영, 박재형, 손대락, "강자성체박막(Fe-Ni, Co-Ni)의 자기저항효과에 관한연구(I)," 한국센서학회지, 제1권, 제1호, pp. 23-34, 1992.
- [2] 장충근, 유중열, 남선우, 손대락, "강자성체박막(Co-Ni)의 자기저항효과에 관한 연구(II)," 한국센서학회지, 제3권, 제1호, pp. 68-77, 1994.
- [3] 장충근, 윤만영, 김영일, 손대락, "강자성체박막(Co-Ni)의 자기저항효과에 관한 연구(III)," 한국센서학회지, 제4권, 제1호, pp. 9-14, 1995.
- [4] 장충근, "교류자력계의 구현," 충남과학지(충남대학교 기초과학연구소 논문집) 제22권, 제2호, pp. 81-86, 1995.

著 者 紹 介

장 충 근

『센서학회지 제1권 제1호』 논문 92-03, p.34 참조.

현재 충남대학교 물리학과 교수