

새로운 적분기를 이용한 모터 코어 특성시험 장치

박영태, 이진호, *장석영, *이성호
 한국표준과학연구원 전자기연구부, *충남대학교 전기공학과

A new integrator based measuring system for testing motor core material

Y.T.Park, J.H.Lee, *S.M.Jang, *S.H.Lee
 KRISS, *Chungnam University

Abstract - A B-H curve measuring system for testing softmagnetic materials was constructed. This system can measure the B-H curve in the low frequency(0.1 - 1 Hz) range. The drift of the integrator can be moderately removed by software technique. The advantages of the developed system are easier to measure B-H curve compared with conventional measuring system and low cost.

그리고 자속계의 특성 때문에 발생하는 드리프트를 제거할 수 있는 새로운 적분기를 고안하여 이를 대체함으로써 측정 시스템의 소형화, 단순화, 측정의 정밀도 향상을 이룰 수 있었다. 일반적으로 고가의 자기이력곡선 측정장치는 전력증폭기, 자속계, 오실로스코프, 장치콘트롤러, 시험 시편으로 이루어져 있지만 제작된 장치는 0 ~ 2 A의 전력증폭기, PCMCIA A/D 보드를 가진 노트북 컴퓨터, 전원공급콘트롤러, LabView 소프트웨어로 구성되어 있다.

1. 서 론

변압기, 모터 등과 같은 전자기 장치들의 최적 설계와 원가 면에서 경쟁력 있는 제품을 만들기 위해서는 코어 재질의 자기이력곡선(B-H curve), 와전류 손실과 같은 자기적 성질에 대한 특성을 정확하게 파악하고 있으므로 가능하다. 2차 권선에 유기되는 기자력(emf), 1차 여기전류, 여러 자속밀도에서의 철손과 자기 해석에 대한 많은 양의 자료는 컴퓨터의 도움으로 이루어질 수 있었다[1,2]. 그러나 이러한 시스템들은 취급이 어렵고 조심스러울 뿐만 아니라 가격이 비싸므로해서 일반적으로 사용되는 장비로 활용하기에는 어려움을 가지고 있다.

연자성체의 자기이력곡선 측정은 밀러형 전자적분기를 사용하는 측정기[3], voltage to frequency 변환기와 디지털 계수기 및 D/A 변환기를 사용하는 측정기로 발전했다[4-6]. 마이크로 컴퓨터의 보급과 디지털 기술의 발전에 따라 자기이력곡선 측정방법에도 많은 변화를 가져왔고 자화력과 자기유도 각각의 한 주기를 원하는 수 만큼 동시에 샘플링하고 A/D 변환을 통하여 메모리에 넣은 다음 컴퓨터를 이용하여 측정하는 방법 등이 개발되었다[7,8]. 주기를 원하는 수만큼 나누어 샘플링하는 방법은 PLL을 쓰는 방법[9]과 계수정현파합성장치(digital sine wave synthesizer)를 사용하는 방법[10]이 있으나 측정주파수가 낮아지면 PLL방법은 사용할 수가 없다.

자화력과 자기유도 신호가 일단 컴퓨터의 메모리에 전달되면 읍셋 및 드리프트, 특히 자기유도를 측정하기 위해 2차 코일에 유도되는 기자력을 적분하는 자속계(fluxmeter)의 드리프트는 항상 존재하여 측정 오차의 가장 큰 문제가 될 수 있다. 이러한 드리프트를 제거하기 위하여 하드웨어적으로 구성하기는 어렵지만 소프트웨어적으로 처리가 가능하다.

일반적으로 short-term에서 자속계의 드리프트는 어느 한 방향으로 선형적인 진행을 하기 때문에 자기유도의 한 주기의 처음 시작점과 마지막 끝나는 점을 보면 한 주기 동안 얼마나 드리프트해 갔는가를 알 수 있어서 이것을 소프트웨어적으로 제거할 수 있다.

본 연구에서는 자기이력곡선 측정 시스템에 사용되는 자속계를 소프트웨어적으로 처리하여 하드웨어적인 자속계를 사용하지 않으므로써 장치의 간단화를 추구하였다.

2. 자기이력곡선의 측정

자기이력곡선을 측정하기 위해서는 자화력(H)과 자기유도(B)를 측정해야 한다. 측정 샘플이 트로이달인 경우 자화력 H(A/m)는

$$H = \frac{N_1 I}{\pi(d_o + d_i)} \quad (A/m) \quad (1)$$

N_1 : 1차코일의 권선수, I : 1차코일에 흐르는 전류, d_o : 시험샘플의 외경(m), d_i : 시험샘플의 내경(m)으로 주어지며 1차코일에 가해진 전류에 비례한다. 이 전류는 1차코일에 shunt 저항을 연결하여 측정한다. 2차코일에 유도되는 기자력 e(Volt)와 자기유도 B(Tesla) 사이의 관계는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \phi &= N_2 AB \quad (Wb) \\ e &= -\frac{d\psi}{dt} \\ &= -N_2 A \frac{dB}{dt} \quad (Volt) \\ B &= -\frac{1}{N_2 A} \int_0^t e dt \quad (Tesla) \end{aligned} \quad (2)$$

ψ : 자속(Wb), N_2 : 2차코일의 권선수, A : 시편의 단면적(m²), e : 2차코일에 유도되는 기자력(Volt).

식(2)에 나타난 바와같이 자기유도는 2차코일에 유도되는 기자력을 적분하면 얻을 수 있다. 이상에서 얻어진 자화력과 자기유도를 각각 수평축, 수직축으로 하면 자기이력곡선을 측정할 수 있다.

일반적으로 2차코일에 유도되는 기자력은 자속계를 사용하여 자속의 값으로 나타내는데 자속계는 그 특성상 일정한 드리프트를 가지게 됨으로써 이 드리프트 값을 보상해 주거나 제거할 수 있는 방법을 동시에 사용해야 한다.

그럼 1은 자속계를 사용하지 않고 소프트웨어적으로 적분기를 만들고 적분기에서 발생하는 드리프트를 제거할 수 있는 연산 프로그램을 도입하여 자기유도 값을 얻었다.

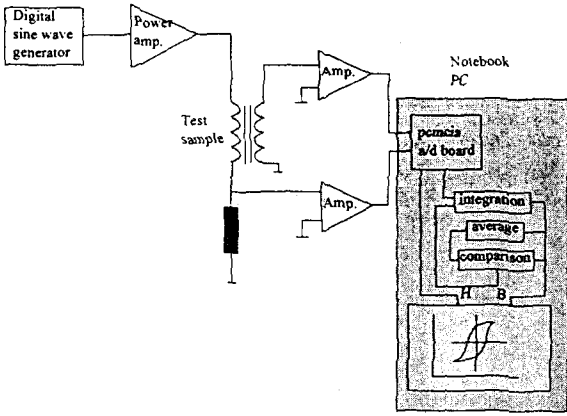


그림 1. 자기이력곡선 측정 시스템

3. 시스템 제작

그림 1에 나타난 바와 같이 자기이력곡선 측정시스템은 디지털 사인파발생기, 전력증폭기, pcmcia d/a 보드, 노트북 pc, 그리고 소프트웨어 패키지 LabView로 구성되어 있다.

3.1 디지털 사인파발생기

수정발전기에서 발생하는 공급기분주파수를 binary 계수기의 입력으로 사용하여 그 출력을 ROM의 address에 연결시키고 ROM에는 각 address에 대응하는 binary sine 값을 넣어두면 ROM의 출력은 각 address 즉, angle에 대응하는 binary sine값이 되며 이 binary sine값을 D/A 변환하여 아날로그 값으로 만든 다음 저역통과필터를 사용하면 정현파를 만들 수 있다. 이 정현파의 주파수는 공급기분주파수와 ROM의 address bit 크기에 따라 결정된다. 이와 같은 정현파를 만들 경우 LC, RC 발전기보다 일그러짐이 훨씬 적은 정현파를 만들 수 있는 장점이 있다.

여기에서는 16 bit D/A converter(DAC 71)를 사용하였으며 사인파의 위파형과 아래파형을 2개의 ROM에 할당하여 사용하였다.

3.2 전력증폭기

측정하고자 하는 측정샘플의 1차코일에 전류를 인가하기 위해서는 전력증폭기를 사용하여야 한다. 본 시스템에 사용되는 전력증폭기는 power FET(2SK134, 2SJ50)를 페어로 구성하여 제작하였다. 증폭기의 입력단에 IC OP27를 사용하여 소형 트랜지스터를 구동회로로 사용하였다. 증폭기의 전체 게인은 20으로 하였으며 최대 출력전류는 2 A로 설계하였다.

3.3 pcmcia A/D 보드와 적분기

식(2)에 나타난 바와같이 자속계는 적분기와 같은 역할을 하므로 본 시스템에서는 소프트웨어적으로 적분기를 만들어 사용하였다. 2차코일에 유도된 기자력은 소신호 증폭기를 통하여 노트북 pc에 장착된 pcmcia a/d보드의 1채널에 공급되어 소프트웨어 패키지 LabView 상에서 적분되고 다른 채널에 입력되어진 H 값과 함께 자기이력곡선으로 디스플레이된다.

3.4 Hysteresis Loop의 Block Diagram 설명

그림 2는 자기이력곡선을 측정하기 위한 소프트웨어의 간단한 블록다이어그램을 나타내었다. 자성체 코일의 1차측에 인가되는 전류에 의하여 shunt에 발생하는 전압과 2차측에서 발생하는 전압을 상용 소프트웨어인 Labview를 이용하여 각각에 대한 전압 데이터를 받아 들인다. 자기이력 곡선을 그리기 위해서는 2차측에서 발생하는 전압을 적분함으로써 자속을 산출할 수 있는데 이 때 받아들여지는 데이터를 일정한 시간 간격으로 적분을 할 경우, 적분된 파형은 드리프트되고, 이러한 영향으로 인해 자기이력곡선은 일정한 좌표점을 기준으로 대칭적인 반복곡선을 그리지 못하고, 상하로 변위하게 된다. 자기이력 곡선을 정확히 그리기 위해서는 적분된 2차측 전압파형을 시간 축을 기준으로 정확히 맥동하도록 소프트웨어적인 데이터의 처리과정이 필요하게 된다.

하드웨어적으로 장치번호는 1번으로 셋팅이 되어있고, 커넥터의 채널 0과 1에 각각 1차측 전압과 2차측에서 발생하는 전압을 인가한다. 커넥터를 통해 들어오는 아날로그 전압은 D/A 카드(모델명 : DAQ card-1200)에서 사용자가 정의해 주는 샘플링 수와 scan rate에 의해 데이터를 받아들인다. 이 받아들여진 데이터로부터 2차측에서 발생하는 전압을 적분하여 자속의 파형을 얻을 수 있다. 이 때 얻어지는 자속의 파형은 시간적으로 드리프트 된다. 통상적으로 1차측의 전압과 시간적으로 드리프트되는 2차측 전압의 적분치를 시간적으로 서로 대응시킴으로써 그려지는 자기이력 곡선은 시간에 따라 변위한다. 그러므로 시간 축을 기준으로 정확히 대칭적으로 맥동하는 적분치를 소프트웨어적 처리를 통해 얻어야 하고, 이를 위해 먼저 적분치의 평균치를 구한 다음, 이 값을 $y=0$ (시간 축에 대칭인 파형의 평균치는 0이므로)과 비교하여 드리프트된 양을 구하게 된다.

이 드리프트된 양을 2차측 전압의 적분값에 더하거나 감해주면, 즉, 보상을 하게 되면 시간 축에 대칭인 적분 파형을 얻을 수 있게 된다. 1차측 전압과 이렇게 보상된 2차측 전압의 적분치를 시간적으로 대응시킴으로써 일정한 좌표점을 기준으로, 시간적 변위가 없는 대칭적인 자기이력 곡선을 그릴 수 있다.

Block Diagram

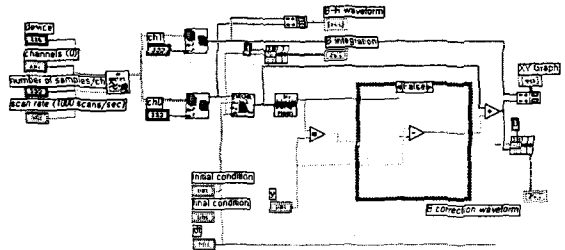


그림 2. 자기이력곡선 측정을 위한 프로그램

4. 결과 및 고찰

측정장치를 사용하여 측정샘플로 연자성 재료인 트로이달 형태의 순철을 시험하였다. 그림 3은 측정 결과의

과정과 함께 자기이력곡선을 나타내었다. 측정주파수는 0.5 Hz로 고정시킨 상태에서 측정되었다.

그림 3의 위쪽 첫 번째 그림은 자기이력곡선의 결과를 나타내었다. 두 번째 그림의 한 파형은 2차코일에 유기되는 전압(적분전의 자속)을 나타내었고 사인파와 같은 모양을 가진 다른 파형은 1차코일의 전류파형을 나타내었다.

아래쪽의 첫 번째 그림은 자속을 적분한 형태를 나타내었다. 그림에 의하면 시간에 따라 드리프트가 발생함을 알 수 있다. 아래쪽 두 번째 그림은 적분기를 통하여 나타난 드리프트를 보상하여 나타낸 B의 최종값이다.

그림에 의하면 수평축의 0점을 중심으로 항상 대칭적인

Hysteresis Loop Display

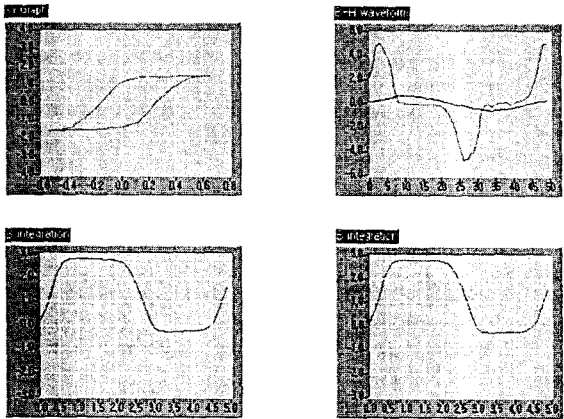


그림 3. 자기이력곡선의 측정결과

값을 항상 유지하여 드리프트에 의한 문제를 제거할 수 있다.

그림 4는 제작된 시스템과 노트북 PC를 이용한 디스플레이를 나타내었다. 제작된 시스템은 이동이 용이하고 조작이 간단하고 저가로 만들 수 있는 장점을 가지고 있다. 현재까지의 제작과 실험을 통하여 얻어진 결과는 기준이 되는 표준교정장치와 비교하여 적분기에서 얻어진 전압값과 자속의 관계(B), 1차 전류에 의하여 얻어진 전압(H)을 대응하여 나타내는 마지막 단계를 거쳐야 한다.

이러한 표준교정장치와의 비교측정은 다음 연구에서 계속 수행될 것이며 여기에서는 적분기로 이용되는 자속계를 사용하지 않고 소프트웨어적으로 적분기를 대신할 수 있음을 확인할 수 있었다.

5. 결 론

변압기, 모터 등과 같은 전자기 장치들의 최적 설계와 원가 면에서 경쟁력 있는 제품을 만들기 위해서는 코어 재질의 자기이력곡선(B-H curve), 와전류 손실과 같은 자기적 성질에 대한 특성을 정확하게 파악하고 있어서 가능하다.

자기적인 특성을 나타내는 자기이력곡선을 그리기 위하여 사용되는 적분기는 그 특성상 시간에 따라 드리프트

와 오프셋을 일으키기 때문에 측정의 오차가 발생된다. 일반적으로 이러한 오차를 제거하기 위하여 드리프트와 오프셋을 보상하는 보정장치를 사용하는데 사용기기의 성능과 사용자의 숙련도에 따라 측정의 정확도가 달라진다.

본 연구에서는 자기이력곡선 측정 시스템에 사용되는 자속계를 소프트웨어적으로 처리하여 하드웨어적인 자속계를 제거함으로써 장치의 간단화를 추구하였다. 그리고 자속계의 특성 때문에 발생하는 드리프트를 제거할 수 있는 새로운 적분기를 고안하여 이를 대체함으로써 측정 시스템의 소형화, 단순화, 측정의 정밀도 향상을 이룰 수 있었다. 제작된 장치는 0 ~ 2 A의 전력증폭기, PCMCIA A/D 보드를 가진 노트북 컴퓨터, 전류공급콘트롤러, LabView 소프트웨어로 구성되어 있다

(참 고 문 헌)

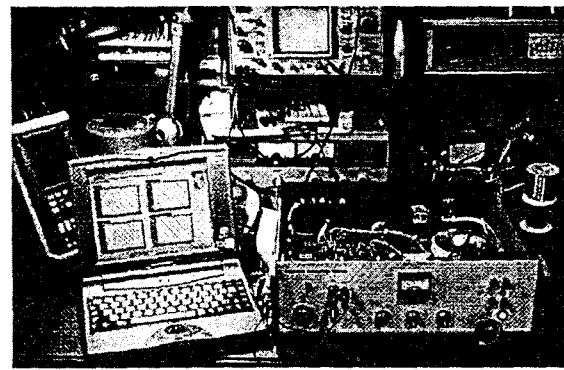


그림 4. 제작된 시스템

[1] J.D.Sievert, "Determination of ac magnetic power loss of electrical steel sheet: Present status and trends", IEEE Trans. on Magnetics, vol.Mag-20, No.5, pp.2912-2916, Sep.1984.
 [2] G.Birkelbach, J.V.Freeden and K.A.Hempel, "Device for the automatic determination of the magnetic properties of electrical steel sheet", IEEE Trans. on Magnetics, vol.Mag-20, No.5, pp.1711-1713, Sep.1984.
 [3] ASTM, STP526, 1973
 [4] H.Capptuller, IEEE Mag-6, pp263, 1970
 [5] H.Capptuller, IEEE IM-20, pp265, 1971
 [6] G.Naumann, H.Kupsch and J.Hantschke, J.Magn. Magn. Mat.41, pp219, 1984
 [7] E.Martin, J.M.Zamarro and J.Rivas, J.Phys. E: Sci. Instrum. IM-15, pp.539, 1982
 [8] M.G.Williams and A.J.Moses, J.Magn. Magn. Mat.41, pp.216, 1984
 [9] R.S.Turgel, IEEE IM-23, pp.337, 1974
 [10] 이원창, "연자성재료의 자기이력곡선 측정 자동화에 관한 연구", 한국과학기술원, 석사논문, 1985
 [11] 1983 Annual Book of ASTM Standards, 1983