

포화자성체 코어를 이용한 직교류 저전류측정장치

박영태,*장석영,**이종대
한국표준과학연구원,*국립충남대학교,**(주)서밋

AC/DC low current measurement system using the saturable magnetic cores

Y.T.Park,*S.M.Jang,** Y.D.Lee
KRISS,*Chungnam University,**Summit Company Ltd.

Abstract - 자성체 코어의 비선형 특성을 이용하여 DC와 AC 전류를 측정하는 Zero-Flux Current Transformer는 정밀 전류 측정용으로 많이 연구되고 있다. Zero-Flux Current Transformer는 DC 대 전류 측정에 합당하며 저 전류 측정에 사용될 경우 소모 전류, 안정되고 침예한 필터 제작, magnetic modulator에 의한 zero point drift, 자화 전류가 비대칭일 때 출력 등과 같은 문제가 해결되어야 한다. 그리고 상용으로 사용하기 위하여 Hand-Held Type으로 제작되어야하며 동작시의 소모전류가 작고 정확도가 우수하여야 한다. 본 연구에서는 자화 전류가 비대칭일 때 출력을 zero로 만들기 위하여 사용하는 필터와 복잡한 회로로 구성된 magnetic modulator 부분을 여러 개의 peak detector를 사용하여 AC와 DC를 측정하는 클램프미터를 개발하였으며 그 특성에 대한 내용을 기술하였다.

1. 서 론

도선을 흘리는 전류를 측정하기 위하여 여러 형태의 전류측정센서가 오래 전부터 사용되었다. 특히 클램프형 전류센서는 도선을 절단하지 않고 측정하는 장점이 있으므로 모터, 인버터, 전력변환기 등의 전류를 측정하는데 광범위하게 사용되고 있다. 최근에는 교류 뿐 만 아니고 직류전류를 동시에 측정해야하는 요구가 많이 늘어나고 있고 자동차 엔진 및 전기기기의 누설전류와 같은 저 전류를 정밀하게 측정해야할 필요가 생겼다. 대부분의 클램프형 전류측정기는 홀 소자를 이용하여 측정되고 있다[1]. 홀 소자를 이용할 경우 주위 온도에 대해 매우 약한 문제를 가지고 있으며 강한 자기장을 요구하는 단점을 가지고 있다. 근래에는 홀 소자에 비하여 주위 온도 변화에 강하고 강한 자기장을 요구하지 않는 자기센서가 전류측정소자로 활용되고 있다[2,3]. 그러나 아직까지 클램프타입의 휴대용 기기로 상용화하는데 어려움이 있다. 고전적 방법으로 인식되고 있는 current transformer type의 AC와 DC를 측정하는 클램프미터는 대부분 대 전류 측정용으로 사용된다[4-6]. 일반적으로 current transformer는 AC를 정밀하게 측정하는 소자이며 형태가 크고 대개 실험실이나 전류측정 표준장치에 사용된다. DC전류를 측정하기 위하여 transformer type으로 사용할 경우 자성체 코어의 비선형 특성을 이용한다. 자성체 코어의 비 선형 특성은 AC신호를 발생시키는 modulator에 의하여 만들어지는데 동일한 두 개의 자성체 코어에 발생하는 자속을 zero로 만들어 측정하는 Zero-Flux Current Transformer를 사용한다[7]. 이 type의 단점은 자화 전류가 비대칭일 때 출력을 zero 만들기 위하여 안정되고 침예한 대역필터가 사용되는데 이러한 필터를 만들기에는 어렵고 사용 부품의 성능이 우수해야한다.

본 연구에서는 자화 전류가 비대칭일 때 출력을 zero로 만들기 위하여 사용하는 필터대신 여러 개의 peak

detector, Zero-Flux current transformer type의 센서와 기준교류전압원으로 제작된 magnetic modulator를 개발하여 AC/DC 측정용 클램프미터를 제작하였다. 이 클램프미터는 2 A 미만의 DC, AC전류와 DC+AC가 혼합된 누설전류를 측정하는데 사용하고 자한다. AC 측정 전류의 주파수는 저주파(60 Hz)에서부터 10 kHz 이상의 고 주파수에서도 측정이 가능하며 DC 전류측정에서 정확도 0.5 %의 특성을 나타내었다.

2. 본 론

2.1 DC전류 측정 센서

DC 전류 측정 센서는 동일한 형태의 두 쌍으로 이루어진 코어가 대칭으로 포화된 상태에서 zero 출력을 유지하다가 DC 전류가 공급되면 이 전류에 비례하는 값으로 나타난다. 그림 1(a)는 센서를 구성하고 있는 코어와 코일의 권선 형태를 나타내었고 (b)는 코어의 자속 특성을 나타내었다.

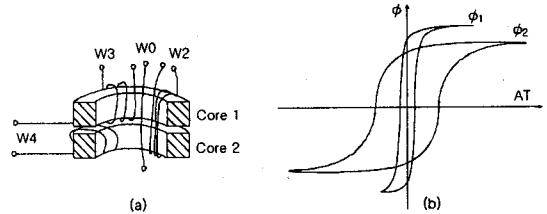


그림 1. (a)코어와 권선, (b)코어의 자속 특성

Core 1과 Core 2는 다른 특성을 나타낸다. 두 코어의 재료는 퍼멀로이를 사용하였으며 사각에 가까운 히스테리시스 특성을 가지고 있다. 권선 W3과 W4는 자화전류를 발생시키기 위하여 기준교류전압원에 직렬로 양쪽에 동시에 연결되며 두 코어의 자속 발생은 modulator의 기준교류전압원에서 공급하는 자화전류의 크기와 주파수에 따라 달라진다. 양 코어에 연결된 기준교류전압원에 의하여 발생하는 modulation current는 양 코어가 동일한 특성을 가지고 있기 때문에 이 전류에 의하여 유도된 전류는 상쇄되어 측정에는 영향을 미치지 못한다. 권선 W2 양단에 발생하는 전압의 극성은 Core 1이 포화될 때마다 바뀐다.

측정하려는 DC 전류가 센서에 공급되면 양 코어의 자속이 비대칭을 이루게 된다. 비대칭을 통하여 출력되

는 전압이 측정 DC 전압에 비례하며 그 동작 원리를 그림 2에 나타내었다. magnetic modulator를 구성하고 있는 기준교류전압원에 의하여 발생하는 비대칭 자화전류의 감지는 peak value detector를 사용한다.

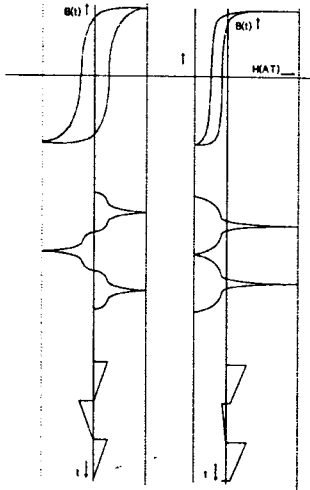


그림 2. 센서의 동작 원리

그림 2의 왼쪽 그림은 측정 전류가 공급되지 않을 때 한쪽 코어의 히스테리시스 모양이며 그 밑에는 자화전류의 파형, 그리고 또 그 아래는 peak value detector의 출력 파형을 나타내었다. 그림 2의 오른쪽은 측정 전류가 공급되었을 때 다른 코어의 히스테리시스 모양이며 그 밑에는 자화전류의 파형, 그리고 또 그 아래는 peak value detector의 출력 파형을 나타내었다.

2.2 Modulator

Magnetic modulator는 민감하고 광대역 특성을 가진 DC 전류 증폭기와 같은 전자회로를 사용한다. 동작 원리는 자성재료의 잘 알려진 비선형 자화곡선 특성을 기본으로 하고 있다. magnetic modulator의 가장 간단한 형태는 1차 권선과 2차 권선을 가진 한 개의 자성체 코어로 이루어져있다. 측정할 여고 하는 전류가 1차 코일에 공급되고, 반면 대칭을 이루고 있는 기준교류전압원은 코어가 양 방향으로 자기 포화를 대칭적으로 발생시키기 위하여 2차 코일에 주기적으로 구동시킨다.

기준교류전압원에 의하여 발생하는 자화전류는 1차 권선의 전류에 의하여 변조된다. 자화전류에서의 비대칭 정도와 방향은 DC 전류 성분의 방향에 의하여 결정된다.

상대적으로 가파른 포화 방향으로 기울어지는 자화곡선과 함께 자화전류는 갑자기 코어의 포화지역에서 증가하게 되는데 2차 권선의 self induction이 급격히 떨어지기 때문이다. 만약 자화전류가 대칭이라면 정(+)과 부(-)의 주기는 동일한 모양을 가진다. 반 주기의 peak value 정류와 이론적으로 이 정류된 신호의 합은 완전히 대칭일 경우 출력신호는 zero가 된다. 그러나 자화전류가 이미 대칭이 아닐 경우, 반 주기 동안의 정류된 신호와 합에 의한 출력 신호는 zero가 되지 않는다. 출력 신호의 극성과 크기는 자화의 크기와 방향에 대응된다.

magnetic modulator를 구성하고 있는 peak value

detector의 사용은 2차 고조파를 감지하는 데 장점을 가지고 있다. 그리고 고조파 뿐만 아니고 기준교류전압원과 함께 발생하는 자신의 자화전류가 처리된다. 이것은 정확하게 사인파 모양의 기준교류전압원을 얻기 위하여 저가의 밴드 필터, 동기 정류기와 부가의 회로를 사용할 수 있다는 의미이다. 그러나 peak value detector와 함께 사용된 회로의 단점은 실제로 순수하게 대칭 자화전류의 경우에도 항상 기준교류전압원의 주파수와 동일한 주파수를 가진 리플 전압이 발생된다. 이 리플 전압의 크기는 회로의 응답시간에 의하여 결정된다. 빠른 응답 특성을 얻기 위하여 peak value detector는 가능한 작은 시정수를 가져야 한다. 이것은 peak value detector에 저장되는, 그리고 자화전류의 peak value에 비례하는 전하가 상대적으로 급히 방전되어야 함을 의미한다. 그러나 이것은 출력이 리플을 증가시키는 결과를 가져온다.

magnetic modulator를 구성하고 있는 기준교류전압원에 의하여 발생하는 비대칭 자화전류와 출력이 나타나는 리플 전압을 개선하기 위하여 peak value detector들을 사용하여 그림 3과 같이 제작하였다.

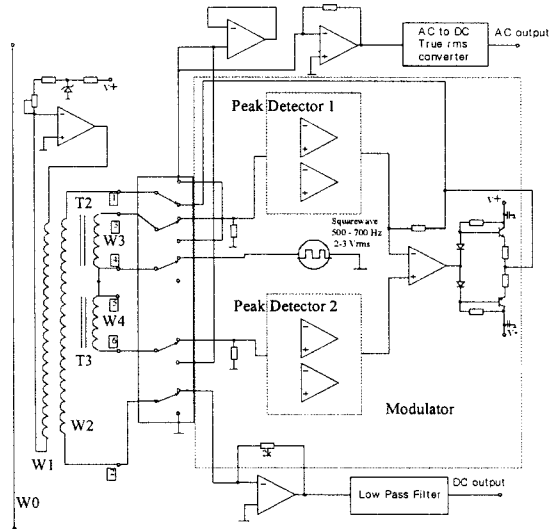


그림 3. 전류 측정 시스템의 블록다이어그램

modulating current에 달갑지 않는 영향을 제거하기 위하여 이미 magnetic modulator에 더해진 동일한 특성을 가진 코어를 그림과 같이 설계하였다. 대칭 자화전류와 함께 2개의 peak value detector의 출력신호는 정확하게 동일하면 이들 신호의 차 신호에는 어떠한 리플도 포함되지 않는다. 1차 권선에 유도되는 전류를 제거하기 위하여 두 개의 코어는 기준교류전압원에 의하여 반대 방향으로 자화되거나 이 코어들을 통과하는 modulating current, 혹은 2개의 peak value detector의 출력신호는 180° 까지 상하간에 위상변이를 일으킨다.

2개의 peak value detector의 출력신호는 difference 증폭기에서 차를 검출하여 이 신호를 다시 트랜지스터를 사용한 전류 증폭기에서 증폭한 후 권선 W2에 공급한다. W2에 공급된 전류는 1차 권선에 공급되는 측정 DC 전류에 비례한 전류가 흐른다. 이 전류는

부하저항을 통하여 측정 DC 전류에 비례한 전압을 얻을 수 있다. 권선 W1은 센서의 안정도와 drift를 개선하기 위하여 설치한 바이어스 권선이다.

2.3 AC 전류측정 센서

AC 전류를 측정하기 위하여 그림 3에 나타난 스위치의 위치를 연동으로 동작하는 다른 쪽으로 절환하면 된다. AC의 전류도 DC전류를 측정하는 방법과 동일하게 사용할 수 있으나 여기에서는 스위치를 사용하여 DC 전류를 측정하는 것과 분리하여 사용하였다. 이렇게 하는 이유는 정확도와 안정도를 높이기 위해서이다.

AC의 전류는 2 stage current transformer 방법을 사용하였다. 권선 W3을 유니트 게인증폭기의 입력과 출력에 연결하고 W2 권선은 한쪽을 접지 시킨다. 그리고 다른쪽은 W3과 연결하여 부하저항에 연결시켜 전류증폭기를 통하여 전압 값을 읽는다. 이 전압 값은 측정 AC전류에 비례한 값이다. 이 교류전압은 True rms converter를 통하여 DC 값으로 변환되어 읽혀진다.

2.4 전류센서의 특성

그림 4는 DC 전류에 대한 출력 특성을 나타내었다. 측정 전류는 0 A에서 2 A까지 측정하였다. 그림에서 Polarity +와 -는 전류센서에 흐르는 측정 전류의 방향을 나타내었다. 전류의 방향에 따라 나타나는 최대 차이는 $\pm 0.3\%$ 를 넘지 않았다. 따라서 DC전류 측정센서의 정확도는 이 범위 안에서 $\pm 0.5\%$ 의 특성을 나타내었다. 그림에서 200 mA까지는 5, 10, 20, 30, 50, 100, 200 mA에서 측정되었다.

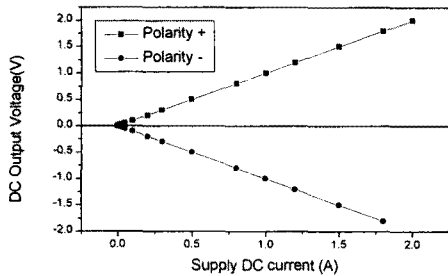


그림 4. DC 전류의 출력특성

그림 5는 센서의 AC 전류출력 특성을 나타내었다. 측정 AC 전류는 60 Hz, 400 Hz, 1 kHz, 5 kHz, 10 kHz의 주파수를 변화 시켜가며 측정하였다. 이 센서는 100 kHz 까지 측정이 가능하지만 코어의 자성체 특성이 고주파에서 크게 떨어지므로 주파수 10 kHz 까지 측정하였다.

일반적으로 2 stage current transformer는 코어의 자성재료 선택, 권선 방법, 차폐기술 및 전자회로를 통한 보상방법에 의하여 측정의 정확도를 수 ppm 까지 얻을 수 있다. 여기에서 사용한 센서의 자성재료는 높은 주파수와 낮은 주파수에서 출력의 차이를 나타내었다. 그러나 전력주파수(60 Hz)에서는 0.01%의 선형도를 나타내었으며 60 Hz에서 10 kHz까지의 차는 1%를 벗어나지 않은 특성을 가졌다. 측정 전류는 0 A에서 2 A 까지 측정하였으며 DC와 마찬가지로 200 mA까지는 5, 10, 20, 30, 50, 100, 200 mA에서 측정되었

다. 회로 전체를 동작시키는데 필요한 소모전류는 15 mA이며 주변의 표시장치와 컨트롤러 등을 합하여 소모되는 전류는 대략 25 mA를 넘지 않았다.

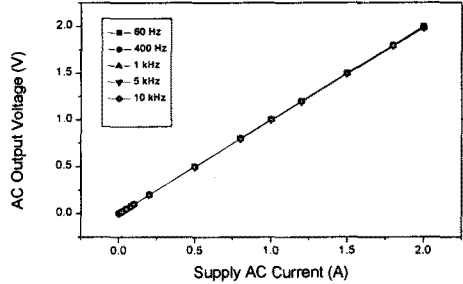


그림 5. AC 전류의 출력 특성

3. 결 론

자화 전류가 비대칭일 때 출력을 zero로 만들기 위하여 사용하는 필터와 복잡한 회로로 구성된 magnetic modulator 부분을 여러 개의 peak detector를 사용하여 AC와 DC를 측정하는 클램프미터를 개발하였다. 특성 측정을 위하여 측정 전류는 0 A에서 2 A까지 측정하였다. DC전류 측정센서의 정확도는 이 범위 안에서 $\pm 0.5\%$ 의 특성을 나타내었다. AC 전류의 출력은 60 Hz에서 10 kHz까지의 범위에서 그 출력 차가 1%를 벗어나지 않은 특성을 가졌다

(참 고 문 헌)

- [1] Y.Suzuki, A.Hirabayashi, and K.Yamasawa, "Analysis of A Zero-Flux Type Current Sensor", IEEE Trans.Mag. vol.29, no.6, pp.3183-3185,1994
- [2] Y.Yoshida and A.Tayaoka, "Precise Current Sensor by means of Small Angle Magnetization Rotation using Amorphous Wire and its Industrial Application", IEEE Trans.Mag. vol.29, no.6, pp.3180-3182,1993
- [3] D.Son and J.D.Sievert, "A New Current S두백 Based on the Measurement of the Apparent Coercive Field Strength", IEEE Trans. Instrum. Meas.,vol.38, no.6, pp.1080-1082, 1989
- [4] E. So, S.Ren and D.A.Bennett, "High Current Precision Openable-Core AC and AC/DC Current Transformers", IEEE Trans. Instrum. Meas.,vol.42, no.2, pp.571-576, 1993
- [5] J.D.Ramboz, "A Highly Accurate, Hand-Held Clamp-on Current Transformer",IEEE Trans. Instrum. Meas.,vol.45, no.2, pp.445-448, 1996
- [6] T.Watanabe and T.Aizawa, "DC Large Current Measurement Using DC CT", 電氣檢定研技報, 第25卷, 4号.
- [7] L.Lisser and A.J.van de Walter, "Zero-Flux Current Transformer For Wide-Band Precision Measurement In AC and DC HV System", IEE Fourth International Conf. AC and DC HV Power Transmission, London 23-26, pp.229-234, 1985