

넓은 대역폭과 고안정도를 가진 교류, 직류 전류 측정용 영자속 전류 측정기

서재학, 남상훈, 고인수
포항가속기연구소, 포항공과대학교

Zero-Flux Current Transformer, High stability and Wide Band Measuring For AC and DC Current.

J. H. Suh, S. H. Nam and I. S. Ko

Pohang Accelerator Laboratory, POSTECH, Pohang 790-784, Korea

Abstract - To store and maintain electron beams in synchrotron machines, it is very important to read and keep precise magnet current ($< \pm 50$ ppm). However, accurate DC current measurement tools are not readily available. In this paper, we introduce high precision, wide band zero-flux current transformer that is manufactured and tested at Pohang Accelerator Laboratory. This sensor can measure DC as well as AC current. Accuracy of the current transformer is less than ± 20 ppm. Performance of the manufactured current sensor is compared with a high precision DCCT which is commercially available sensor.

1. 서론

영자속 전류 측정기는 자화 적분기와 자화 변조기로 구성되며 고안정도와 넓은 주파수 특성을 가진다. 제작된 전류 측정기는 주파수 대역폭 50kHz, 안정도 $< \pm 20$ ppm ($\pm 0.002\%$)의 특성을 보여준다. 0A에서 300A까지의 전류 측정에서 영자속 전류 측정기는 양호한 특성을 나타냈다. 이 전류 측정기는 고안정도용 직류 전자석 전원장치 및 고정도를 요구하는 교류 시스템까지 사용되어질 수 있다. 이 외의 장점으로서는 작은 철심크기, 탁월한 직선성 등

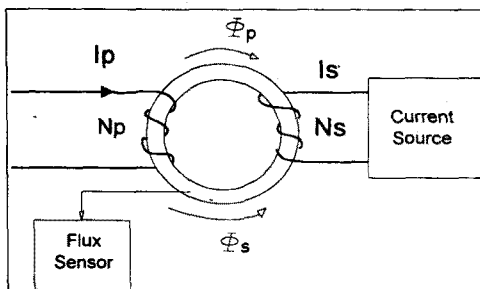


그림 1. 영자속 전류 측정기 개념도

이 있다. 이 영자속 전류 측정기는 정밀 전류 측정 및 검출에서 일반적인 전류 측정기와의 경쟁에서 우위를 가지면서 여러 방면의 응용에서 사용 가능하다. 본 논문에서는 제작된 영자속 전류 측정기의 원리를 분석하고 실험 결과를 소개하고자 한다.

2. 동작원리

2.1 영자속의 원리

그림 1에 영자속 전류 측정기의 개념 도를 나타냈다. 그림과 같은 환형 철심에 측정하고자하는 1차 전류 I_p 가 N_p 권선을 흐르면 철심 내에는 자속, Φ_p , 이 발생한다. 자속 검출기에 의한 전류원은 2차 전류 I_s 를 N_s 권선에 흘리게 되며, 따라서 철심 내에는 자속 Φ_s 가 Φ_p 의 반대 방향으로 발생하므로 철심내의 자속은 서로 상쇄되어 영자속이 된다. 즉, $\Phi_p - \Phi_s = 0$ 또는 $N_p \cdot I_p - N_s \cdot I_s = 0$ 인 관계가 성립된다. 그러므로 항상 철심내의 자속은 "0"이 되게 된다. 여기서 N_p , N_s 는 고정되어 있고 2차 전류 I_s 는 항상 1차 전류 I_p 를 추적하게 하여 I_p 를 측정할 수 있게 된다.

2.2 자화 적분기

영자속 전류 측정기는 자화 적분기와 자화 변조기로 구성되어 있다. 그림 2는 영자속 검출기의 자화 적분기의 개념 도를 나타낸다. 그림에서 환형 철심 T에 1차전류 I_p 가 1차권선 N_p 을 통하여 흐르므로 이때 발생하는 자속은 2차 권선 N_s 와 보조 권선 N_a 에 공급된다. 보조 권선 N_a 는 전력 증폭기의 입력이 되고 그 출력이 2차권선과 저항에 공급된다. 이때 순간적인 1차 전류의 변화는 환형 철심 T의 자속을 변화시키는 원인이 되고 이것에 의해 보조 권선에 전압을 발생하게되어 전력증폭기의 출력으로 나타나 2차 권선에 전류를 흐르게 하여 이때 발생하는 반대극성의 자속이 1차 전류의 변화에

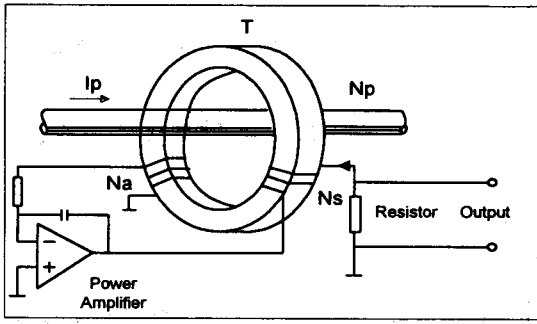


그림 2. 자화 적분기의 개념도

의해 생성된 환형 철심내의 자속을 상쇄시킨다. 그러므로 2차 전류는 1차와 2차의 권수 비례에 의하여 1차 전류에 직접 관계하게 되므로 1차 전류를 측정할 수 있게된다.

2.3 영자속 전류 측정기의 구성

자화 적분기 만으로 1, 2차 권수에 비례하여 완벽한 보상을 할 수 없다. 왜냐하면 전력증폭기의 오프셋이 자속의 균형을 교란시켜 환형 철심이 포화되므로 불안정하게 된다. 이때 자속의 균형을 유지하기 위하여 자화 변조기가 사용된다. 그림 3은 영자속 전류 측정기의 구성도를 나타내며 권선 Na1은 자화 적분기이고, Na2와 Na3은 자화 변조기이다. 1차 전류로 발생된 자속을 상쇄하기 위한 Ns 권선은 T3에 감겨진다. Na3은 Na2와 같은 방향으로 권선되나 고정된 주파수의 발전기와는 반대방향으로 접속된다. 자화 변조기는 1, 2차 전류가 균형을 유지하는 지를 끊임없이 검사하게 된다. 그림 3의 발전기에 의하여 Na2, Na3의 권선이 T2, T3 철심을 여자 시킬 때 철심이 영자속 상태이면 최대값 검출기에는 양극 파형과 음극 파형이 대칭을 이루게 되며 적분을 하면 영이 된다. 1차 전류가 변화하면 그림 4의 자화 변조기의 동작 특성에서 나타나는 바와 같이 T2, T3 철심의 여자 전류 중심 축은 1차 전류 양만큼 이동되므로 최대값 검출기에는 양극 파형이나 음극 파형의 한쪽 방향으로 출력이 나타나게 된다. 적분기를 통하여 누적된 값이 전력증폭기를 거친 후 Is를 흐르게 하므로 T2, T3 내의 자속은 다시 영자속 상태가 되고 저항에는 1차 전류에 비례하는 전압이 발생하게 된다. 즉, $I_p \cdot N_p = I_s \cdot N_s$ 이므로 출력 전압이 ($V_r = \frac{I_p \cdot N_p}{N_s} \times R$) 1차 전류에 비례하게 된다. 이 구조의 전류측정기는 직선성이 우수하고, 매우 긴 기간의 안정도, 극히 적은 온도 드리프트, 높은 신호대 잡음비, 넓은 주파수 대역폭을 가지며 또한 신뢰성이 높다.

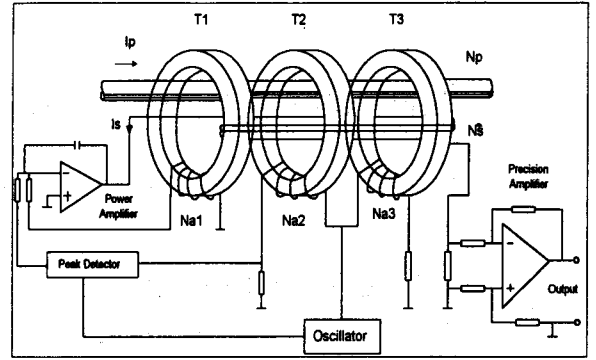


그림 3. 영자속 전류 측정기의 구성

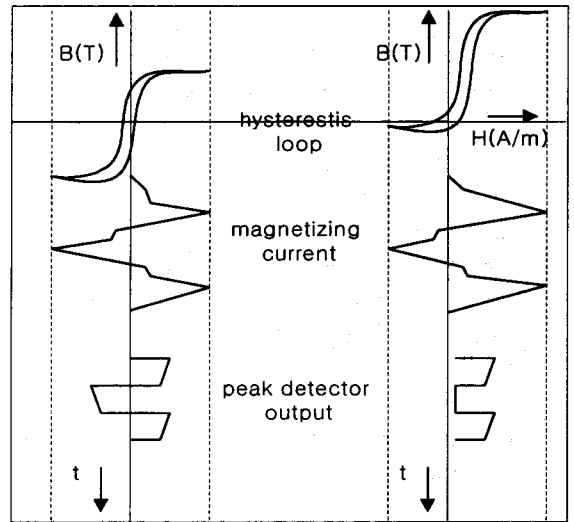


그림 4. 자화 변조기의 동작특성

3. 실험 결과

그림 5의 상단 파형은 1차측 측정전류가 0A 일 때 자화변조기 Na2의 전압과 전류 측정기의 출력 전압으로 영자속 상태를 나타내며 양극과 음극의 파형이 대칭을 이루면서 균형을 유지함을 알 수 있다. 그림 6은 1차측 측정전류가 DC 8.9A에서 100A로 변화할 때의 자화변조기 Na2의 전압이 양극방향으로 침두값 형태의 모양을 나타낸다. 이때 그림 3에 보여준 최대값 검출기에는 양극방향의 전압이 나타나고 적분된 출력이 영전류 측정기의 최종출력으로 나타나고있다. 그림 7은 12상 정류기가 DC 100A로 운전할 때 정류기의 출력 전압 안정도를 보여준다. 영자속 전류측정기의 출력과 표준측정기의 출력전압 기록을 비교한 것으로 결과가 동일함을 알 수 있다. 그림 8은 12상 정류기가 직류 100A로 운전할 때 직류에 포함된 교류성분을 측정한 것으로 상단 파형은 제작품, 하단 파형은 표준측정기의 출력 파형이다. 제작된 영전류 측정기의 미세 신호 검출특성이 우수함을 알 수 있다.

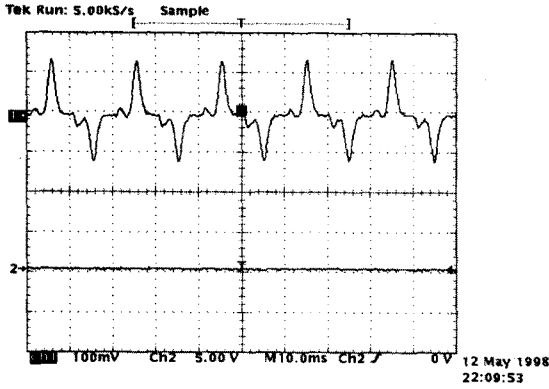


그림 5. 1차 전류 0A일 때 자화변조기 Na2의 전압(상단)과 출력 전압 (하단, 50 A/Div.)

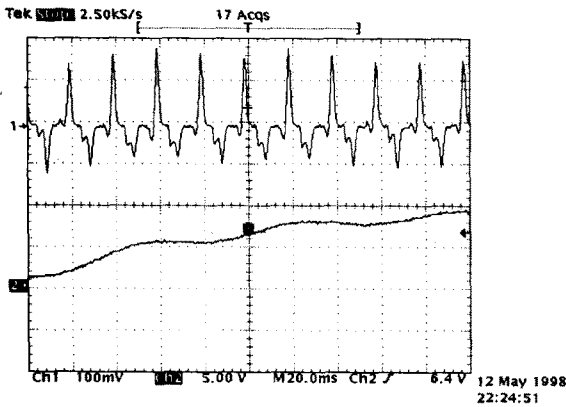


그림 6. 1차 전류가 DC 8.9A에서 100A로 변할 때 자화변조기 Na2의 전압(상단)과 출력 전압 (하단, 50 A/Div.)

이상의 실험결과를 요약하면 제작된 영자속전류 측정기의 성능은 다음과 같다.

- 전류 측정 범위 : ± 300 A
- 출력전압 : ± 10 V
- 주파수 대역폭 : 50 kHz
- 출력전압 상승율 : 100 V/ms
- 잡음 전압 : ± 50 ppm
- 온도 계수 : ± 2 ppm/K
- 직선성 : ± 20 ppm

4. 결론

전기 기기에 사용되는 전류측정기는 여러 형태로 제작되어 사용되고 있다. 이들은 측정 정확도가 대개 0.1% - 5% 범위를 가지면서 교류전용이나, 직 교류 겸용으로 구분된다. 제작된 영자속전류 측정기는 직류와 교류 겸용으로서, 측정정확도가 $\pm 0.002\%$ 로서 일반 산업계의 전류측정기의 검교정용

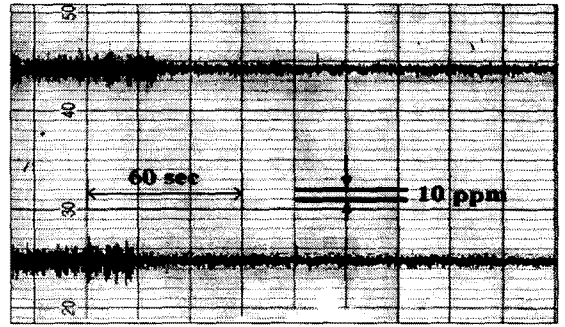


그림 7. 1차 전류가 DC 100A일 때 영자속전류측정기의 출력전압. 상단 : 제작품, 하단 : 표준 측정기

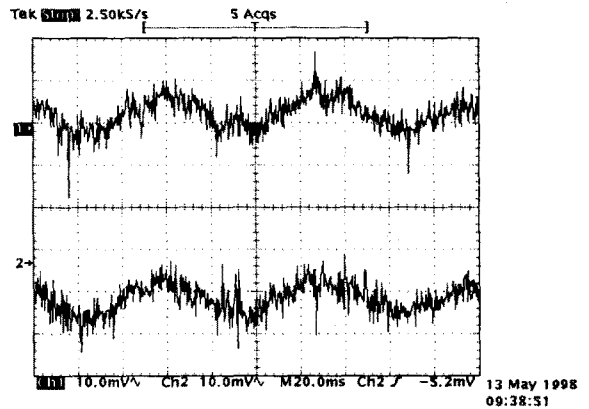


그림 8. 1차 전류 DC 100A에 포함된 교류성분.

상단: 제작품 (200mA/Div.)

하단: 표준측정기(200mA/Div.)

으로 사용될 수 있고 특수한 초정밀전류 측정용으로 사용될 수 있다. 또한 제작된 영자속 전류 측정기는 표준 전류 측정기와 성능비교에서 동일한 특성을 가지므로 여러 방면의 전류 측정에 사용될 것이다.

5. 지 원

이 작업은 포항제철과 과학기술처가 예산 지원하였다.

(참 고 문 헌)

- [1] J. A. Dinkel and A. R. Donaldson "Precision current transformer for the Fermilab booster magnet power supply," IEEE Trans. on Nuclear Science, Vol. NS-22, No3, June 1975, pp. 1234 - 1237.