

## NiZn 페라이트코어를 이용하여 제작한 직교형 플럭스게이트 센서의 출력에 미치는 바이어스전류의 영향

신광호\*

정성대학교 공과대학 정보통신공학과, 부산시 남구 대연동 110-1, 608-736

(2013년 5월 24일 받음, 2013년 6월 10일 최종수정본 받음, 2013년 6월 11일 게재확정)

본 연구에서는 원통형 페라이트 코어와 페라이트코어를 관통하는 구리선, 그리고 검출 코일을 이용하여 직교형 플럭스게이트 센서를 제작하고, 직류 바이어스 전류가 출력 감도에 미치는 영향에 대해서 조사하였다. 제작한 직교형 플럭스게이트 센서의 출력 및 감도는 구동주파수에 의존하였으며, 이는 검출코일 임피던스의 주파수특성이 나타내는 경향과 유사하였다. 직류 바이어스 전류가 교류 구동전류의 크기에 비해서 대략 50% 이상일 때 출력감도가 최대가 되었으며, 그 보다 큰 직류 바이어스 전류에 의해서는 출력감도가 포화되는 경향을 나타내었다.

**주제어** : NiZn 페라이트코어, 직교형 플럭스게이트 센서, 직류 바이어스전류

### I. 서 론

직교형 플럭스게이트(orthogonal fluxgate) 센서는 기존의 플럭스게이트센서가 가지는 고감도특성을 나타냄과 동시에 단순한 구조로 소형화가 가능하다는 장점이 있기 때문에 최근 고감도 자기센서분야에서 주목을 받고 있다[1-7]. 평행형 플럭스게이트 센서는 여자 자계(excitation magnetic field)와 측정하고자 하는 외부 자계가 평행한 방향을 가지는 반면, 직교형 플럭스게이트센서는 여자 자계와 측정하고자 하는 외부 자계가 서로 직교하는 방향을 가지고 있다. 오랫동안 주로 사용되어 왔던 평행형 플럭스게이트 센서를 구동하기 위해서 외부 자계에 대한 제2고조파 출력을 검출하는 방식이 사용되어 왔는데, 동기검파 방식을 이용하여 매우 정밀한 자계의 검출이 가능하게 되었다[8, 9]. 평행형 플럭스게이트 센서의 경우, 자성코어를 여자시키기 위한 코일(excitation coil)과 외부 자계에 의존하는 출력 전압을 검출하기 위한 검출 코일(pickup coil)이 반드시 필요하다. 그러나, 아몰퍼스 자성와이어와 같이, 우수한 연자성과 도전성을 동시에 가지는 재료를 직교형 플럭스게이트 센서의 자성코어로 이용하는 경우, 자성와이어에 구동주파수를 가지는 교류전류를 직접 통전시킴으로써 여자시킬 수 있기 때문에 여자코일이 불필요하다[4-7]. 직교형 플럭스게이트 센서는 절연체에 가까운 페라이트코어를 이용하여 구현할 수도 있는데, 이 때에는 원통형 페라이트코어에 검출코일과는 직각방향으로 가지는 여자코일을 설치하여서

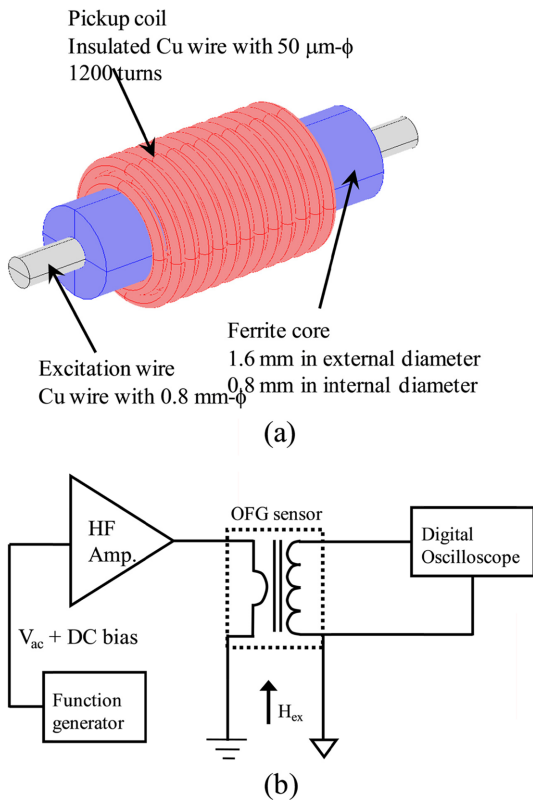
구동할 수 있다[10].

본 연구에서는 크기가 작으면서도 감도가 우수한 직교형 플럭스게이트 센서를 개발하는 것을 목적으로 하여, NiZn 페라이트 코어를 이용하여서 센서소지를 제작하고, 그 특성에 대해서 조사하였다. 특히, 본 논문에서는 제작한 직교형 플럭스게이트 센서의 감도를 높이기 위해서, 바이어스 전류가 감도에 미치는 영향에 대하여 검토하였다.

### II. 실험방법

Fig. 1은 본 연구에서 제작한 직교형 플럭스게이트 센서의 개략도를 나타낸 것이다. 센서를 구성하기 위해서 사용한 자성코어는 TDK사의 NiZn 페라이트[11]이며, 내경과 외경이 각각 0.8 mm, 1.6 mm, 그리고 길이가 5 mm인 원통형구조를 가지고 있다. 센서 제작을 위해서 사용된 NiZn 페라이트의 상대 초기투자율은 1500이었다.

Fig. 1(a)에서 표현하고 있는 것과 같이, 센서구동을 위한 교류전류와 직류바이어스 전류를 인가하기 위하여 페라이트 코어의 내부로 직경 0.8 mm의 구리선을 관통시켜서 설치하였다. 또한 직경이 50 μm인 절연이 된 구리선을 1200회 감아서 만든 검출코일을 보빈레스 권선기로 제작하여 설치하였다. 솔레노이드 형상을 가진 검출 코일의 길이는 3.4 mm였으며, 내경과 외경은 각각 2.5 mm와 3.4 mm였다. 제작한 센서 소지는 신호의 입출이 용이하도록 하기 위해서 PCB상에 실장하였으며, 입력과 출력의 그라운드를 서로 분리되도록 하였다. Fig. 1(b)는 측정 장치를 설명하기 위한 개략도를 나타낸다. 입력과 출력신호는 SMA(Sub-Miniature version A) 커넥

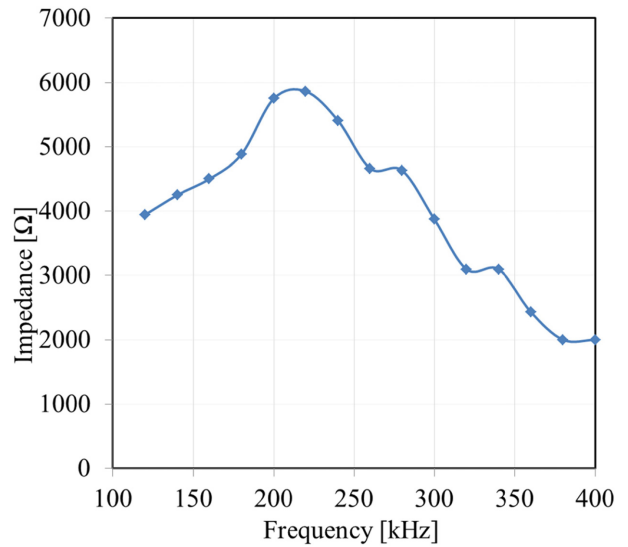


**Fig. 1.** (Color online) Schematic view of the orthogonal fluxgate sensor fabricated with NiZn ferrite core (a) and block diagram of measurement system (b).

터를 이용하여서 외부로 연결될 수 있도록 하였다. 센서의 구동주파수는 160~320 kHz 사이에서 변화시키면서 감도의 변화를 관찰하였다. 페라이트 코어를 여자하기 위한 교류 전류는 파고치(peak value)로 0.1~0.5 A 사이에서 변화시켰고, 직류 바이어스 전류는 0.1~1 A 사이에서 변화시켰다. 입력과 출력신호는 각각 고주파 증폭기와 디지털 오실로스코프에 연결하였다. 제작한 센서에 외부자계를 인가하기 위해서 내경 15 cm, 외경 25 cm의 두개의 원형 코일을 이용하였고, 두 개의 원형 코일을 구성하는 두 코일의 외측면 간격은 15 cm였다. 코일의 형상을 이용한 FEM 해석 결과에 의해서 발생자계는 두 코일의 중심에서 코일축상으로 ±25 mm의 영역에서 2% 이내의 균일도를 나타내는 것을 확인하였다. 센서의 여자 전류는 신호발생기에서 발생한 정현파 신호를 고주파 증폭기를 통해서 센서의 여자코일에 공급되었다. 이 때, 센서의 안정한 기본파(fundamental mode) 출력이 가능하도록 하기 위해서 [4, 5], DC 바이어스를 교류여자전류에 합쳐서 인가하였다.

### III. 실험결과

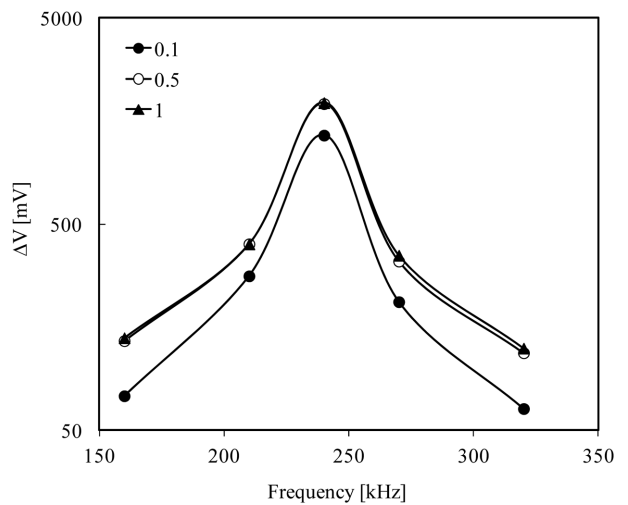
Fig. 2는 본 연구에서 제작한 센서의 검출코일 임피던스를



**Fig. 2.** (Color online) Frequency dependence of impedance of pickup coil.

100~400 kHz의 주파수대역에서 측정된 결과를 나타낸 것이다. 주파수의 증가에 따라 임피던스가 증가하다가 220 kHz에서 최대치를 나타내고 보다 높은 주파수에서는 감소하는 경향을 나타내었다.

이는 페라이트코어를 감싸고 있는 검출코일의 인덕턴스와 선간 캐피시턴스에 의해서 발생하는 LC공진에 의해서 발생한 것으로, 이 결과로부터 센서의 최대 감도는 220 kHz에서 얻어진다는 것을 짐작할 수 있다. 검출코일의 임피던스가 최대가 되었을 때 최대의 감도가 얻어지는 이유는, 검출코일의 임피던스가 계측기의 임피던스(본 실험에서는 디지털 오실로



**Fig. 3.** Frequency dependence of voltage differences for the bias current of 0.1, 0.5 and 1 A. Voltage difference  $\Delta V$  was evaluated by subtraction of the voltage measured without magnetic field from the voltage measured with the magnetic field of 15 Oe.

스코프의 입력임피던스~1 MW)와 가까워질수록 신호의 전달이 커지기 때문이다[7].

Fig. 3은 외부자계가 15 Oe일 때의 전압과 외부자계가 없을 때의 전압의 차이값의 주파수 특성을 나타낸 것으로, 직류 바이어스가 각각 0.1 A, 0.5 A, 1 A일 때의 결과를 함께 나타낸 것이다. 이 때 교류전류는 0.3 A였다.

Fig. 3에서 나타낸 결과에서 알 수 있듯이, 출력전압의 차이  $\Delta V$ 는 직류 바이어스전류의 크기에 상관없이 240 kHz에서 최대값을 나타내었으며, 이 때의 감도를 분석해 보면 직류 바이어스전류가 0.1, 0.5, 1 A일 때, 각각 90.1, 128.1, 129.6 mV/Oe였다. 감도와 비례한다고 할 수 있는  $\Delta V$ 는 구동주파수에 크게 의존하는 것을 알 수 있다. 이 결과는 Fig. 2에서 나타낸 검출코일의 임피던스의 측정결과와 거의 유사한 경향을 나타내고 있다. 임피던스가 최대인 주파수(220 kHz)와  $\Delta V$ 가 최대인 주파수(240 kHz) 사이의 작은 차이는, 정량적으로 분석되지는 않았으나, LCR미터를 이용한 임피던스의 측정시 사용한 신호인출선의 길이 및 구조와 디지털 오실로스코프를 이용한 출력전압의 측정시 사용한 신호인출선의 길이 및 구조가 달라서 발생한 것으로 생각된다. 즉, 서로 다른 두 종류의 신호인출선이 가지는 인덕턴스와 선간 캐패시턴스의 차이에서 발생한 것으로 생각된다.

직류 바이어스가 0.1 A에서 0.5 A로 증가함에 따라서는 출력전압은, 구동주파수가 240 kHz일 때, 90.1 mV에서 128.1 mV로 증가하여 약 42%의 증가율을 나타내었으나, 직류 바이어스전류가 0.5 A에서 1 A로 증가함에 따라서는 128.1 mV에서 129.6 mV로 약 1.2%의 증가율을 나타내었다. 이것은

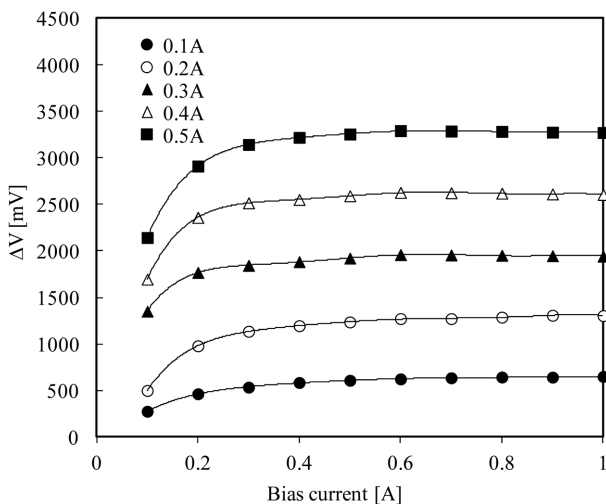


Fig. 4. Bias current dependence of voltage differences for the excitation current of 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 and 0.5. Voltage difference  $\Delta V$  was evaluated by subtraction of the voltage measured without magnetic field from the voltage measured with the magnetic field of 15 Oe.

직류 바이어스전류에 의해서 센서의 감도가 증가한다는 것과 동시에, 직류 바이어스전류의 크기가 일정 이상일 때에는 그 효과가 포화될 수 있다는 것을 의미하는 것이다.

Fig. 4는 직류 바이어스 전류의 크기가 센서의 감도에 미치는 영향을 보다 직접적으로 분석하기 위한 것으로,  $\Delta V$ 의 바이어스 전류 의존성을 나타낸 것이다. Fig. 4에서는 교류구동전류를 각각 0.1 A, 0.2 A, 0.3 A, 0.4 A, 0.5 A로 하였을 때의 결과들을 나타낸 것이며, 센서의 구동주파수는 240 kHz였다.

직류 바이어스 전류에 의한  $\Delta V$ 의 변화는 Fig. 4의 모든 데이터에서 비슷한 경향을 나타내고 있다. 즉, 일정한 직류 바이어스 전류까지는, 직류 바이어스 전류가 증가할수록  $\Delta V$ 가 증가하고 있으나, 일정한 직류 바이어스 전류(0.2~0.3 A) 이상에서는 더 이상  $\Delta V$ 가 증가하지 않고 포화된다. 예를 들어, 교류구동전류가 0.5 A일 때는 직류 바이어스 전류가 0.3 A 이상일 때에는  $\Delta V$ 가 더 이상 큰 증가를 나타내지 않는다는 것을 알 수 있고, 교류구동전류가 0.3 A일 때는 직류 바이어스 전류가 0.2 A 이상일 때에는  $\Delta V$ 가 더 이상 큰 증가를 나타내지 않는다는 것을 알 수 있다. 이 때 직류 바이어스 전류의 크기는 대략적으로 교류구동전류의 50%보다 조금 더 큰 값이라는 것을 알 수 있다. 직류 바이어스 전류의 크기가 교류구동전류의 50%보다 조금 더 큰 경우  $\Delta V$  혹은 센서의 감도가 최대가 되는 것은 센서의 기본파 구동(fundamental mode operation)으로 정성적인 설명을 할 수 있다. 즉, 직교형 플럭스게이트 센서를 구동하는 전류에 대하여 50% 이상의 직류 바이어스 전류가 인가될 때 기본파 구동이 가능해지며, 이 때 감도가 증가하는 것이다. 직교형 플럭스게이트 센서의 기본파 구동에 대한 원리에 대해서는 참고문헌[5]에서 잘 설명되어 있다. 참고문헌 [5]의 연구에서는 도전성을 가지는 아몰퍼스와이어에 직접 교류전류와 직류 바이어스전류를 통전하는 방식으로 센서를 구동하였고, 본 연구에서는 절연체인 페라이트를 관통하는 구리선에 교류전류와 직류 바이어스전류를 통전하는 점이 다르기는 하지만, 전류인가에 의한 여자 자계가 자성코어(참고문헌 5에서는 아몰퍼스 와이어, 본 연구에서는 페라이트코어)의 원주방향으로 발생한다는 점은 동일하다. 따라서, 센서의 기본파 구동원리는 동일할 것으로 예상할 수 있다.

#### IV. 결 론

NiZn 페라이트 코어를 이용하여 제작한 직교형 플럭스게이트 센서의 출력에 미치는 직류 바이어스전류의 효과에 대해서 조사한 결과 다음의 결과를 얻었다.

센서의 출력 및 감도는 구동주파수에 크게 의존하는 경향을 나타내었다. 또한 센서의 출력은 검출코일 임피던스의 주

파수특성과 유사한 경향을 나타내었으며, 이를 통해서, 센서의 검출코일 임피던스를 분석함으로써 구동주파수를 설정할 수 있음을 알 수 있었다.

센서의 출력은 직류 바이어스의 크기에 의존하는 경향을 나타내었다. 직류 바이어스 전류가 교류 구동전류의 크기에 비해서 대략 50 % 이상일 때 출력감도가 최대가 되었으며, 그보다 큰 직류 바이어스 전류에 의해서는 출력감도가 포화되어서 큰 변화를 나타내지 않았다. 이 결과에 의해서 직교형 플럭스게이트의 출력감도를 높이기 위한 직류 바이어스의 설정 방법을 제시할 수 있었다.

### 감사의 글

이 논문은 2013학년도 경성대학교 학술연구비지원에 의하여 연구되었음.

### 참고문헌

- [1] F. Primdahl, IEEE Trans. Magn. **6**, 276 (1970).
- [2] X. P. Li, J. Fan, J. Ding, H. Chiriach, X. B. Qian, and J. B. Yi, J. Appl. Physics **99**, 08B313 (2006).
- [3] Xinbo Qian, Xiaoping Li, Yong Ping Xu, and Jie Fan, IEEE Trans. Magn. **41**, 3715 (2005).
- [4] Ichiro Sasada, IEEE Trans. Magn. **38**, 3377 (2002).
- [5] I. Sasada, J. Appl. Phys. **91**, 7789 (2002).
- [6] K.-H. Shin, J. Kor. Mag. Soc. **19**, 17 (2009).
- [7] S.-H. Choi, Y.-H. Kim, B. Yoon, C.-S. Yang, and K.-H. Shin, IEEE Trans. Magn. **47**, 2573 (2011).
- [8] Pavel Ripka, J. Magn. Mater. **320**, 2466 (2008).
- [9] Pavel Ripka and S. W. Billingsley, IEEE Trans. Magn. **34**, 1303 (1998).
- [10] K.-H. Shin, J. Kor. Mag. Soc. **22**, 200 (2012).
- [11] <http://www.tdk.co.jp/>.

## DC Bias Current Influence to the Sensitivity of Orthogonal Fluxgate Sensor Fabricated with NiZn Ferrite Core

Kwang-Ho Shin\*

*Department of Information & Communication Engineering, Kyungsoong University,  
110-1 Daeyeon-dong, Nam-gu, Pusan 608-736, Korea*

(Received 24 May 2013, Received in final form 10 June 2013, Accepted 11 June 2013)

Orthogonal fluxgate sensor was fabricated with cylinder-shaped NiZn ferrite core, Cu wire through the core and pickup coil wound on the core, and the bias current effect on the output sensitivity of it was investigated. The output ( $\approx$  sensitivity) of the sensor was largely dependent on the operation frequency, and the tendency of sensor output was similar to that of the impedance of pickup coil. The maximum output was obtained by adding the DC bias current of which value was over 50 % of the excitation current. The output was saturated when the DC bias current was larger than 50 % of the excitation current.

**Keywords :** NiZn ferrite core, orthogonal fluxgate sensor, DC bias current