

고주파자기측정용 센서에 관한 연구

A Study on the Sensor for Measuring the High Frequency Magnetic Fields

이복희*, 정승수**, 박형기*, 백용현*, 임동묵**

*인하대학교 공과대학 전기공학과 전자환경연구소

**Hydro Electronic Engineering Co.

Bok-Hee Lee*, Seung-Soo Jeong**, Hyung-Ki Park*, Yong-Hyun Paek*, Dong-Mook Yim**

*Department of Electrical Engineering, Inha University EMC/EMI Lab.

**Hydro Electronic Engineering Co.

Abstract

This paper presents the design and calibration methods of self-integrated magnetic sensor. Also the distance response measurement of magnetic field produced a transient large current and the frequency response measurement are carried out. As the integrating resistance increases, the sensitivity of the sensor is improved, but the decay time constant of response decreases. Also the experimental results are well agreed with the theoretical analysis of the equivalent circuit.

요 약

본 논문에서는 자기적분형 자기센서의 설계방법과 교정방법을 제안하고, 과도대전류에 의하여 형성되는 자계에 대한 거리-응답 특성시험과 주파수 변화에 대한 응답도의 측정을 수행하였다. 자기적분형 센서는 직분저항의 증가와 더불어 감지전압은 상승하였으나 감쇠시간은 줄어드는 특성을 나타내었다. 또한 전기적 등가회로를 구성하여 이론적으로 해석한 바 실험결과와 잘 일치하였다.

1. 서 론

고주파자계를 유발하는 뇌임펄스전압과 차단기의 개폐장치 등은 전력기기의 제어장치나 보호계전기 등 전자기기 및 컴퓨터와 같은 소선통신기기의 오동작을 초래하고, 인체에 위해를 미치게 되므로 이에 대한 영향의 평가와 대책의 수립

및 뇌방전 현상에 있어 공간전계의 세기와 성분을 파악하는 것은 대단히 중요하다.

본 연구에서는 뇌임펄스의 내습 및 개폐이상전압, 고장시의 과도이상전압발생시 과도대전류에 의한 급준자기 측정을 위해 고안된 자기센서의 교정실험과 대전류 발생장치를 제작하여 실제의 전력계통에서 발생하는 과도대전류에 의한 자기성분을 측정하고, 이들의 특성에 대해 검토하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 자기센서의 설계

루우프안테나 자기센서의 루우프 직경은 측정 가능한 최대주파수인 전자파의 파장에 비하여 작을수록 응답의 정밀도가 좋다. 즉 루우프의 길이는 측정하고자 하는 전자파가 상승시간동안 진행하는 거리보다 짧아야만 된다. 이 판계를 수식적으로 표현하면

$$d = \frac{U}{\pi} \tau_{\text{rise}} \quad (1)$$

이 되며, 여기서 d 는 루우프의 직경, U 는 전자파가 루우프를 진행하는 속도, τ_{rise} 는 센서응답의 상승시간이다.

또한 동축케이블의 인덕턴스 L_c

$$L_c = \frac{d}{2} \mu_0 \left(\ln \frac{4d}{r} - 2 \right) \quad (2)$$

이므로 인덕턴스가 구해지면 정합저항과의 관계로부터 응답

도와 주파수대역 등 기본성능의 파악이 가능해진다. 즉, 직각파인 자속밀도 B_0 가 인가된 경우 센서응답의 출력신호의 피크치와 감쇠시간은 다음 식과 같이 된다.

$$V = AB_0R/L \quad (3)$$

$$\tau_{\text{decay}} = L / R \quad (4)$$

R은 정합용 저항이다.

유기질 절연재료(폴리에틸렌)를 사용한 동축케이블에서의 진행파의 전파속도는 약 2×10^8 [m/sec]이므로 주파수 대역의 고역측 차단주파수가 100[MHz]이기 위하여는 단위계단응답의 상승시간이 3.5 [ns]이하이어야 되기 때문에 루우프의 직경은 식 (1)로부터 22 [cm]이하이어야 된다.

루우프센서의 직경을 작게 하면 자체인덕턴스가 작아지기 때문에 응답도는 좋아지나 감지전압 즉, 감지신호의 레벨이 저하되어 정확한 측정이 곤란하고 잡음원과 오차를 함유하게 될 가능성이 커지게 된다.

동축케이블을 사용하여 제작한 루우프센서의 개략도는 그림 1와 같다. 동축케이블로는 고품용 RG/58U를 사용하여 제작하였고, 직경이 10 cm일 때의 인덕턴스는 0.199 [μ H]이다.

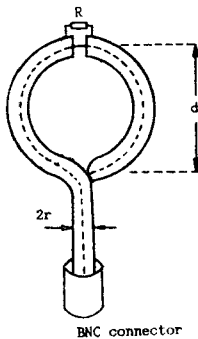


그림 1 동축케이블을 사용한 루우프자계센서의 개략도

2.2 전송선로에 의한 교정시스템

제작된 자계센서의 단위계단응답 특성 즉, 센서의 응답도와 주파수대역 등의 기본성능을 파악하기 위하여는 교정이 필요하며, 직각파전류에 의한 자속의 입력을 위하여 횡전자파 전송선로를 설계제작하였다.

전송선로의 끝부분에서는 다소 불평등전계가 형성되므로 이의 영향 즉, 단부효과를 고려하여 전송선로의 폭을 높이에 비하여 크게 하면 이의 영향은 감소되며 특성임피던스는 다음과 같은 근사식으로 표현된다.

$$Z_0 = \frac{377}{(W/h) + 2} \quad (5)$$

본 연구에서는 루우프센서의 치수와 센서의 응답도인 출력전압을 고려하여 전송의 높이를 18cm, 폭을 100cm로 하

고, 경사부분에서도 (W/h)가 일정하도록 하여 특성임피던스가 50[Ω]이 되도록 하였다

2.3 실험방법

임펄스형 대전류발생장치를 제작하여 대전류 발생원으로부터 일정거리 이격된 거리에 따라 주변에 발생되는 자계의 세기는 어떻게 변화하는가를 조사한다. 이때 측정장치인 오실로스코프와 전류프robe는 차폐함내에 내장시켰으며 공급전원은 절연변압기와 선로용 노이즈 필터를 이용하여 잡음원이 차단되도록 하였다.

또한 주파수에 대한 감지전압 즉, 응답도의 측정을 위해 횡전자파 전송선로를 이용한다. 이 때 입력원으로는 정현파전압을 사용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 교정실험

직각파 자계를 인가시키기 위하여 횡전자파 전송선로에 계단상의 펄스전압을 인가하여 이에 의한 펄스전류로부터 계단상의 자계를 인가시킬 수 있다. 적분저항이 무한대일 때의 직각파전류에 의한 자속의 변화로 감지된 센서의 응답파형은 아래와 같다.

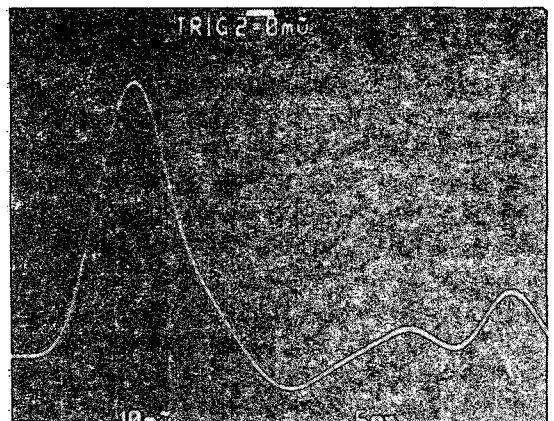


그림 2 센서의 계단응답파형

이 응답파형의 상승시간은 약 4.8 ns 이며, 감쇠시정수는 약 6 ns (이론치 7 ns)이다. 이론치보다 적은 이유는 센서의 정전용량에 의한 오버슈트로 급속한 감쇠가 이루어졌기 때문으로 여겨진다.

동축케이블의 내부도체와 외부도체 사이의 상호유도작용을 적용하여 이론적 등가회로를 구성하고 이의 특성을 평가해 본다. 이 때 동축케이블의 내부도체와 외부도체사이의 상호유도계수를 $M = \sqrt{L_1L_2}$ 로 놓았을 때 등가회로는 아래와 같다.

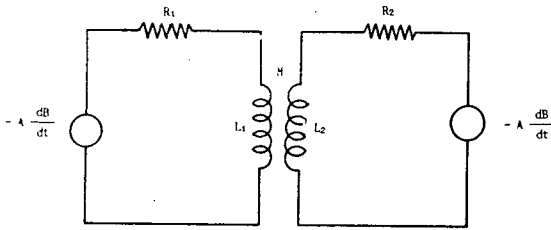


그림 3 자기정합형 자계센서의 등가회로

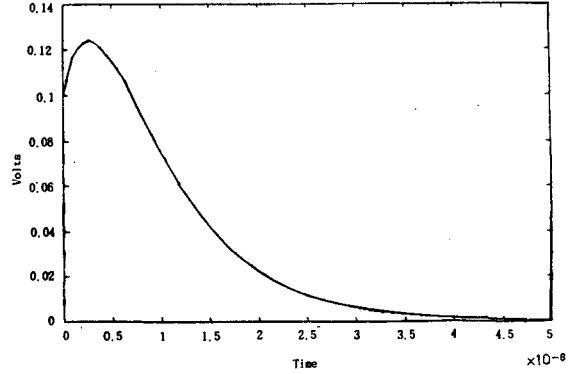


그림 5 적분저항이 500일 때의 계산된 파형

직각과 전류에 의하여 감지되는 전압을 구하여보면 아래식과 같다.

$$V_{out} = -AB_0 \frac{R_1}{L_1} \exp\left(-\frac{R_1}{L_1} t\right) + AB_0 \frac{L_1}{L_2} A \frac{R_1 R_2}{L_2 R_1 - L_1 R_2} \left\{ \exp\left(-\frac{R_1}{L_1} t\right) - \exp\left(-\frac{R_2}{L_2} t\right) \right\} \quad (6)$$

식 (6)은 빠른 상승시간을 나타내며, 서서히 감쇠되는 형상을 가지므로 감쇠시정수를 크게 하면 곧 적분효과와 마찬가지로 된다. 식 (6)을 적용하여 계산으로부터 구한 규격화 감쇠시정수를 실측치와 비교하기 위하여 그림 4에 나타내었다. 적분저항이 500일 때의 식 (6)의 그래프를 그림5에 나타내었다.

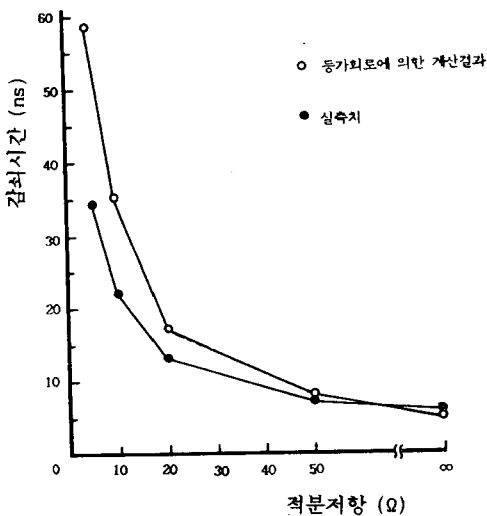


그림 4 적분저항의 변화에 따른 센서응답의 감쇠시간특성

3.2 센서의 거리 - 응답특성

자계의 측정은 대전류 발생장치의 중앙점에서 50 [cm], 100 [cm], 200 [cm], 300 [cm] 이격된 점에서 측정하였다. 이 대전류파형의 측정에서 분류기와 전류프르브의 전체 배율은 135이다.

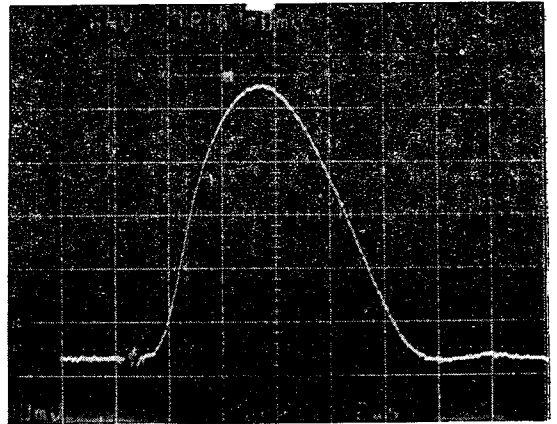
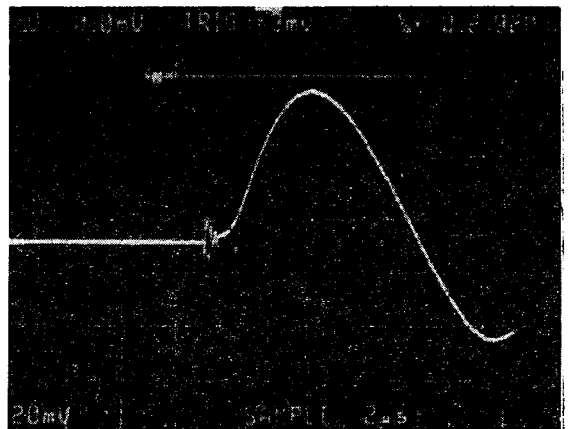
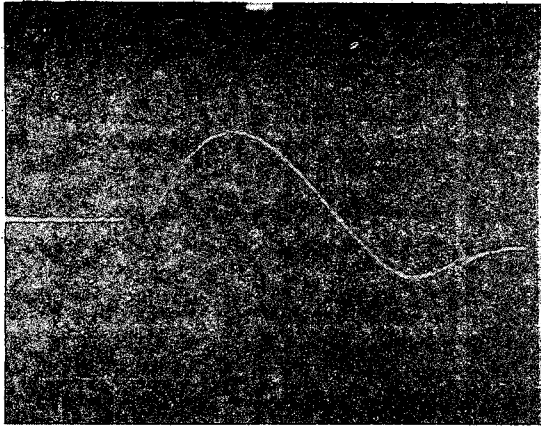


그림 6 자계측정에 사용한 대전류파형



(a) 0.5 m



(b) 1 m

그림 7 수직배치의 응답특성

센서의 응답전압 즉, 자계의 세기는 대체적으로 거리의 제곱에 반비례하는 특성을 나타내었으며, 이는 준정상자계성분보다 방사자계가 중점적으로 나타남을 알 수 있다.

3.3 주파수응답특성

시변자계에 대한 감지전압이 자계의 시도함수에 의하여 동작되므로 주파수에 따라 응답전압이 바뀌게 되므로 자계의 주파수에 대한 응답도의 측정이 필요하다.

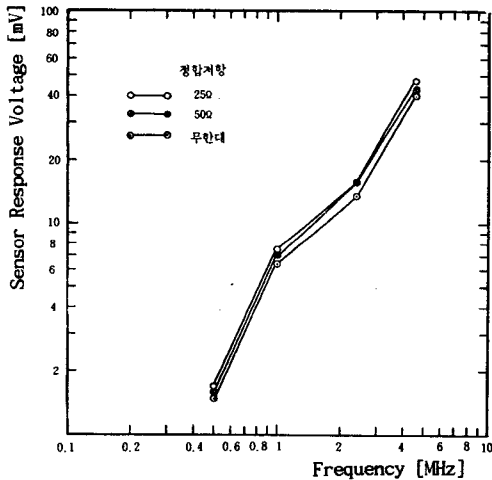


그림 8 자기적분형 자계센서의 주파수응답특성

자기적분저항이 250, 500 무한대인 경우의 결과를 종합하여 그림 8에 나타내었다. 응답특성은 거의 선형적으로 증가하는 경향을 나타냈다. 이는 인가전압의 변화율에 따라 센서가 감지되기 때문이다. 따라서 측정하고자 하는 미지의 자계의 주파수에 따라 적정의 적분효과를 가지는 센서의 선정이 필요하게 된다.

4. 결 론

본 연구에서는 전력기기 또는 전기용품으로부터 발생되는 시변성 자계를 측정할 수 있는 자계센서의 실현과 교정시스템의 개발을 목적으로 시변성 고주파 자계측정용 센서의 동작원리에 대한 이론적 해석과 설계기법 및 교정실험에 대한 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 자계센서의 설계방법을 제안하고, 제안된 설계이론을 적용하여 시제작된 센서의 성능 및 특성은 이론적인 값과 잘 일치하였다.
- (2) 급준성 대전류에 의하여 발생하는 방사자계는 거리의 제곱에 반비례하는 특성으로 나타났다.
- (3) 전자유도작용을 이용하는 자계센서는 자계의 세기가 동일한 경우도 주파수에 따라 응답도가 다르기 때문에 이에 상응하는 보상장치가 필요하다.

5. 참고문헌

- (1) W.Gopel, J.Hesse, J.N.Zemel, "Magnetic Sensors" vol 5, pp 205-253 (1989)
- (2) Dr.A.Cameron, IEEE Trans. 2116-2, "The Effects of Induced Cable Currents on Electric and Magnetic Fields Measurements", pp 296-299 (1985)
- (3) R. Malewski, R.P.Corcoran, etc., IEEE Trans. vol PAS-101, "Measurements of the Transient Electric and Magnetic Field Components in HV Laboratories", (1982)
- (4) W. H. Hayt, "Electromagnetics", International Student Edition, pp 322-326, (1989)
- (5) 이 복 회, 대한전기학회지, Vol. 40, No.6, pp 19-29 (1991)
- (6) Carl E. Baum, Edward L. Breen, Joseph C. Giles etc., IEEE Trans. vol AP-26 no-1, "Sensors for Electromagnetic Pulse Measurements Both Inside and Away from Nuclear Source Regions", (1978)
- (7) John D. Dyson, IEEE Trans. vol AP-21 "Measurement of Near Fields of Antennas and Scatterers" (1973)
- (8) Edmund K. Miller, Van Norstand Reihold Co., pp 195-198, (1986)
- (9) Capt. Robert K. Baum, NASA Conference Publication 2128 FAA - RD - 80 -30, pp 153-171, (1980)
- (10) A. J. Schwab, IEEE PES Summer Meeting and EHV/UHV Conference, T 73 062-7 pp 333-339 (1973)
- (11) J. Guo_Xiong and H. De-Xiang, 4th ISH, Paper No 65.03, (1983)
- (12) G. D. Esposti, 5th ISH, Paper No 73.08 (1987)