

LVDT의 상품화 연구

박영태, 강진홍, 이진호, 장석명*
 한국표준과학연구원 전자기표준부, *충남대학교 전기공학과

A study on the merchandising of the LVDT

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

Abstract - 피 측정물의 변위를 기계적 변화로 감지하여 나타내는 LVDT는 상호인덕턴스 변화를 이용하는 대표적 변위 트랜스듀서이다. 본 연구에서는 LVDT에 대한 상품화를 위한 설계와 제작, 그리고 신호변환장치에 대한 과정을 기술하였으며, 최종 성능 특성을 측정하여 상품화를 위한 신뢰성의 정도와 선형도 등을 평가하였다. 이러한 상품화 과정을 통하여 산업현장에서 자동 계측과 제어를 위한 트랜스듀서로 활용할 수 있도록 하고자 한다.

1. 서 론

피 측정물의 변위를 기계적 변화로 감지하여 나타내는 LVDT는 상호인덕턴스 변화를 이용하는 대표적 변위 트랜스듀서이며 기계적, 전기적으로 분리되어 움직일 수 있는 코어(core)의 변위에 비례하여 전기적 출력이 발생된다.

가장 간단한 형태로서 LVDT는 1930년대 이후부터 일반산업에 부분적으로 활용되기 시작하였지만 측정대상 에 대한 효과적인 응용과 설계에 대한 기술이 부족하여 상품화하는데 많은 시간이 걸렸다. 그러나 오늘날 잘 개선된 LVDT는 수 μ 미터에서 수십 mm까지의 변위를 직접 측정할 수 있으며 온도, 진동, 가속도, 압력, 힘, 레벨, 유속 등과 같은 물리적 양을 측정하는데 사용되고 있다[1-12]. 또 극한 주위환경에서도 재현성과 정확도가 우수하기 때문에 군수산업과 항공산업 분야의 트랜스듀서로 활용되고 있다. 이것은 무엇보다도 LVDT에 관한 공학과 응용 소개뿐만 아니라 LVDT가 일반 상품으로서 쓸모가 있다는 사실을 사용자가 강하게 받아들일 수 있게 하였기 때문에 LVDT의 역사에 있어서 초석으로 평가받았다. VDT(Variable differential transformer)는 20세기를 들어서면서 전기적 콘트롤 장치로 사용되었다. Porter and Carrier(1906)에 의하면 비접촉 교류모터 리버서(Contactless ac motor reverser)로써 VDT를 사용하였다[13]. 1920년 후반과 1930년 초기부터 화학적 식료품 가공업의 성장은 가공 중의 원거리 감시용 전기적 텔레메터링 시스템을 필요로 하게 되었고 이에 대한 연구가 활발하게 진행되었다. 이러한 연구가 진행되는 과정에서 VDT에 대한 관심이 새롭게 고조되어 갔으며 1936년 Querean 와 Williams가 최초로 differential transformer instrumentation system에 대해 발표하였다[14]. 1936년 G.B Hoadley는 "Coaxial core linear variable reluctance differential transformer"라고 기술한 특허를 제출하였는데 이것은 E-pick up과 LVDT의 복합적인 것이었다[15]. 제2차 세계대전이 끝날 무렵 LVDT는 산업의 프로세스 계측과 제어 분야의 트랜스듀서로서 받아들여지기 시작하였고 항공기, 수위, 잠수함, 그리고 다른 병기 시스템에 LVDT의 사용이 점점 늘어나기 시작하였다. 페루프 전기-기계 제어시스템을 채용하고 있는 항공기, 잠수함들을 위한 기계적 제로(0) 위치표시기로 특별히 유용하게 사용되었다. 그러

나 전쟁이 끝나고 LVDT에 대한 응용의 증가에도 불구하고 이 부분에 대한 소수의 과학 기술자들만 LVDT의 성질과 특성에 대한 실질적인 지식을 가지고 있었다. 이러한 상황을 개선하고 공학분야에 LVDT의 사용에 대한 관심을 높이기 위하여 Herman Schaevitz는 1946년 "The linear variable differential transformer"를 발표하였다[16].

본 연구에서는 LVDT에 대한 상품화를 위한 설계와 제작, 그리고 신호변환장치에 대한 과정을 기술하였으며 최종 성능 특성을 측정하여 상품화를 위한 신뢰성의 정도와 선형도 등을 평가하였다. 이러한 상품화 과정을 통하여 산업현장에서 자동 계측과 제어를 위한 트랜스듀서로 활용할 수 있도록 하고자 한다.

2. 본 론

2.1 LVDT의 구조

절연누설저항 혹은 재질의 부식은 습기나 부식환경과 조립하는 과정에서 코일 주위에 남게되는 습기에 보호되지 않으면 발생된다. 이러한 문제를 제거하기 위하여 대부분 LVDT의 코일은 습기와 온도 영향에 악화되지

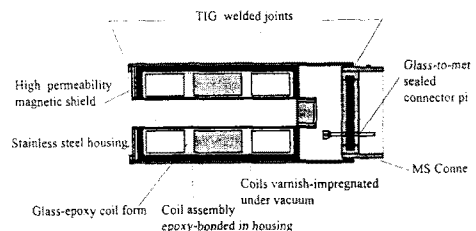


그림 1 LVDT의 구조

않게 하기 위하여 진공처리를 한다. 극단적인 습기, 응축, 분사, 염기 환경에 응용되는 LVDT 내부는 특별한 재질과 수지로 채워진다. 특히 습기에 대한 내성을 가지기 위하여 밀봉처리 하기도 하고 필요하다면 진공 처리나 가스로 채워진 LVDT를 사용한다.

누설저항은 LVDT의 정확한 동작에 영향을 미친다. 온도 35°C에서 권선과 금속 케이스 사이, 권선과 권선 사이의 절연저항이 1000 MΩ보다 적게되면 특성을 악화시키는 요인이 될 수 있다. 그림 1은 밀봉 처리된 LVDT의 구조를 나타내었다.

2.2 LVDT의 설계

그림 2는 LVDT설계를 위한 field 해석 모델을 나타내었다. field 모델은 자기차폐 영역 안의 1차 코일에서 발생하는 자속과 코어가 움직임에 따라 발생하는 자속으로 구성된다. 인덕턴스와 같은 정보는 자속분포로

부터 얻어지고, LVDT의 성능이 결정된다. 자속분포는 경계조건을 가진 Maxwell's equation의 수치해석으로 부터 얻어지며 전류밀도는 형상과 재질의 특성으로 부터 얻어진다.

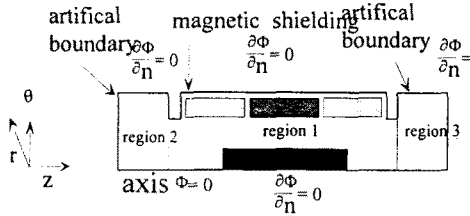


그림 2 LVDT의 해석모델

LVDT가 축을 따라 대칭이므로 그림 2-4와 같이 원통좌표로 정의할 수 있다. 이 대칭좌표를 사용하면 r, z 상의 2차원 방정식으로 쓸 수 있다.

$$\frac{\partial B_r(r, z)}{\partial z} - \frac{\partial B_z(r, z)}{\partial r} = \mu J_\theta(r, z) \quad (1)$$

벡터포텐셜 A를 사용함에 의해서 중심(0, z)과 반경 r를 통과하는 자속 Φ 를 표현할 수 있다. 벡터포텐셜 A는 다음과 같이 정의된다.

$$\nabla A = B \quad (2)$$

$$\nabla \cdot A = 0 \quad (3)$$

Stoke's의 이론을 적용하면

$$\Phi(r, z) = 2\pi r A_\theta(r, z) \quad (4)$$

으로 쓸 수 있으며 방정식(4)는 다음과 같이 된다.

$$\frac{\partial^2 \Phi}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 \Phi}{\partial r^2} - \frac{1}{r} \frac{\partial \Phi}{\partial r} = -2\pi r \mu J_\theta \quad (5)$$

적절한 경계조건을 가진 미분 방정식(5)의 해는 LVDT 모든 위치에서의 자속 $\Phi(r, z)$ 를 얻는다. 이 미분방정식은 변위전류와 와전류를 무시하고 있으며 코어표면과 자기차폐 케이스는 투자율이 매우 높기 때문에 이들 표면에서의 경계조건은

$$\frac{\partial \Phi}{\partial n} = 0 \quad (6)$$

으로 나타낸다. 여기서 n 방향은 고투자율의 표면에서 안으로 향하는 법선 방향이다. 따라서 z축을 따라서 경계조건은 $\Phi = 0$ 이 되며 $J_\theta = \frac{NI}{A}$ 이다. 여기서 N은 코일 권선 수, A는 (r, z)평면에서 코일의 면적을 나타낸다.

즉 2차 축 코일 영역에서 Φ 의 값이 얻어지면 이것에 의해 B와 H의 값을 결정할 수 있고 r 방향의 실제 치수값을 식(7)에 대입하면 2차 축 각각의 지점에서 자기 에너지 U를 구할 수 있다.

$$U = \frac{1}{2} \int_r B \cdot H dr \quad (7)$$

자기에너지 U를 통하여 1차 축 전류 I에 의하여 발생하는 2차 축 인덕턴스 변화 ΔL 는 코어의 위치에 따라 2차 축 양쪽에서 발생하는 자기에너지 U_A, U_B 의 변화로 나타난다. 즉 자기에너지 U_A, U_B 의 변화는 인덕턴스 L_A, L_B 의 변화로 유도되므로 다음과 같이 인덕턴스의 변화로 나타낼 수 있다.

$$\Delta L = L_A - L_B = \frac{2U_A}{I^2} - \frac{2U_B}{I^2} \quad (8)$$

따라서 만일 변위가 0이어서 변위 코어의 위치가 LVDT중심에 위치하면 출력은 나타나지 않는다.

2.3 LVDT와 신호변환기의 제작

2.3.1 신호변환기

일반적으로 트랜스듀서의 출력신호는 매우 작을 뿐만 아니고 많은 잡음이 섞여 있어서 기계적 입력 형태의 변화에 대응하여 출력신호를 충실하게 감지하기에는 여러 가지 어려움이 있다. 이와 마찬가지로 LVDT 코어 위치변화에 의해서 발생하는 전기적 출력신호를 왜곡없이 감지하기 위해 성능이 우수한 신호변환장치가 필요하다. LVDT 2차 축에 출력되어지는 전기적신호는 공진, 발전, 브릿지 방법 등에 의하여 신호변환이 이루어질 수 있으나 출력신호가 교류 형태의 진폭과 위상변화가 포함

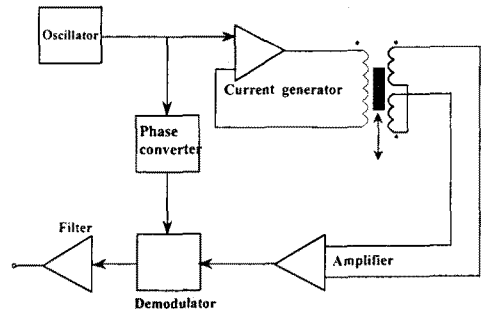


그림 3 LVDT의 신호변환회로

되어 있어서 코어의 위치에 따라 위상이 변화되어 출력 진폭만의 감지로 정확한 신호변환이 이루어지지 않는다.

이러한 것을 해결하기 위하여 그림 3에 나타낸 것과 같이 동기 복조기(synchronous demodulator)를 사용하면 된다. 동기복조 방식은 PSD(phase sensitive detection)와 같은 방식으로 quadrature 신호가 제거되고 필터와 같은 작용을 하여 잡음을 줄일 수 있는 장점을 가진다. 즉 LVDT는 주파수 f와 일정한 진폭을 가진 발전기에 의해 구동되고 발전기와 LVDT 2차 축 출력 사이에서 위상차가 있어 위상변화를 조절할 수 있다.

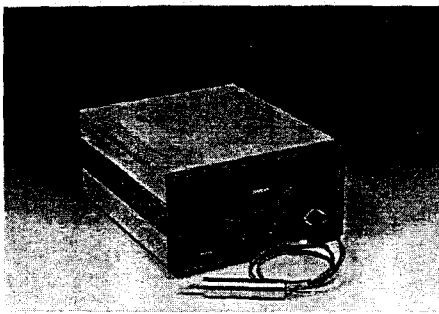
발전기에서 발생한 여기신호는 전류발생회로에서 정전류공급원으로 만들어 LVDT의 1차 축에 공급한다. 이것은 온도 변화에 의한 영향을 줄이기 위한 것으로 1차에 흐르는 전류를 일정하게 함으로써 1차권선 저항의 변화를 없앨 수 있다. 2차의 출력전압은 잡음과 함께 낮은 신호전압이므로 증폭기를 통하여 신호를 증폭시킨 후 복조기에서 여기공급주파수와 동기시킨다. 여기에서 신호에 섞여 있는 잡음은 일차적으로 제거되고 교류신호가 직류신호로 바뀌어진다.

복조기의 출력신호는 다시 필터를 거쳐 잡음이 제거되고 LVDT의 변위에 대응되는 출력격류전압이 발생되어진다.

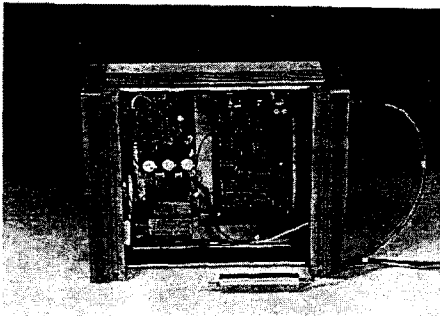
2.3.2 LVDT와 신호변환기

그림 4는 상품화를 위하여 제작된 LVDT와 신호변환장치를 나타내었다.

LVDT Transducer



LVDT and Signal Conditioner



Inside View of Signal conditioner

그림 4 상품화 제작된 LVDT와 신호변환장치

2.3 LVDT와 신호변환기의 성능

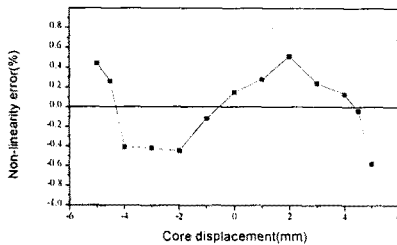


그림 5 LVDT와 신호변환기의 성능

그림 5는 LVDT와 신호변환장치의 성능을 측정된 것으

로 선형도는 ± 5 mm의 범위에서 ± 0.5 %의 범위에 있었다. 이것은 기존의 외국산 상품이 가지고 있는 전체 치수의 80 %에 해당하는 크기라고 생각한다면 성능 면에서 우수하다고 생각이 된다.

3. 결 론

LVDT는 수 μ 미터에서 수십 mm까지의 변위를 직접 측정할 수 있으며 온도, 진동, 가속도, 압력, 힘, 레벨, 유속 등과 같은 물리적 양을 측정하는데 사용되고 있는 다용도 전자센서로 국산화가 시급한 센서소자이다. 본 연구를 통하여 LVDT의 국산화는 이루어졌으며 대량 생산으로의 상품화를 위한 연구를 완성하였다. 사용요구에 따라 선형도를 ± 0.25 %, ± 0.5 %, ± 0.1 % 등으로 제작 가능하며, 이것은 코어의 변위범위, 감도 등에 의해 설계가 달라진다.

(참 고 문 헌)

- [1] S.C.Saxena and B.L.Seksena, "A self-compensated smart LVDT transducer", IEEE, IM, Vol.38, No.3, pp.748-753, 1989
- [2] T.Meydan and G.W.Healey, "Linear variable differential transformer(LVDT): linear displacement transducer utilizing ferromagnetic amorphous metallic glass ribbons", Sensor and Actuators A, 32, pp.582-587, 1992
- [3] Y.Kano, S.Hasebe and C.Huang, "New type LVDT position transducer", IEEE Trans. Instrum. Meas. IM-38, pp.407-409, 1989
- [4] S.C.Saxena and S.B.L.Seksena, "Inductive ratio transducer instrumentation system for displacement measurement", Meas. Sci. Technol. 1, pp.475-480, 1990
- [5] Y.T.Park, et al, "Study on a linear variable differential transformer for precision measurement", Kor. Appl. Phys. 2(4), pp.347-351, 1989
- [6] K.S.Norton, "Handbook of transducers for electronic measuring systems", Englewood Cliffs, NJ:Prentice-Hall, 1968
- [7] K.S.Lion, "Instrumentation in scientific research", New York McGRAW-HILL, pp.44-56, 1962
- [8] K.Ara, "A differential transformer with temperature and excitation-independent output", IEEE Trans. Instrum. Meas. IM-21, pp.249-255, 1972
- [9] Wouterse, "Inductive position transducer with transverse excitation", Technisches Messen 54, No.1, pp.15-19, 1987
- [10] W.D.MacGeorge, U.S. Patents 2 427 866, 1947
- [11] Brosh, U.S. Patents 2 985 854, 1961
- [12] J.Lipshutz, U.S. Patent 3 054 976, September, 1962
- [13] Porter and Currier, U.S.Patent 808944, 1906
- [14] Querean and Williams, U.S.Patent 2050 629, 1936
- [15] G.B.Hoadley, U.S. Patent 2 196 809, 1940
- [16] H.Schaevitz, "The linear variable differential transformer", SESA, Vol. No.2, 1946