

초정밀 비례변성기 개발에 관한 연구

김한준, 강전홍, 한상옥*
한국표준과학연구원, 충남대학교*

A study on the Development of a Precise Ratio Transformer

Han Jun Kim, Rae Duk Lee, Jeon Hong Kang and Sang Ok Han*
KRISS, ChungNam Univ.*

Abstract : A precise ratio transformer which is used to a ratio arm of a precise impedance measurement bridge at low frequencies was developed. The developed ratio transformer has the ratio taps of 1:1, 2:1, ..., to 10:1 in order to measure the primary impedance standards by substitution and special winding techniques for 10:1 ratio that is used frequently for impedance build up/down. The calibration results of the transformer has inphase and quadrature error of 0.073×10^{-6} and 0.14×10^{-6} respectively at 1.6 kHz.

Key Words : ratio transformer, inphase, quadrature, impedance, bridge

1. 서 론

비례변성기는 투자율이 매우 높은 토로이달 코어(toroidal core)에 균일하게 권선을 할 때 권선 비가 전압의 비와 같게 되는 성질을 이용한 기기이다. 필요에 따라서 권선에 여러 개의 단자(tap)를 부착시킴으로서 넓은 범위의 전압 비를 얻을 수 있으며, 일반적으로 전 권선이 10 혹은 11, 12 부분(section)으로 나뉘어져 있어서 1:10, 1:1의 전압 비를 얻을 수 있도록 제작하고 있다. 이러한 비례변성기가 다른 임피던스, 즉 저항이나 전기용량기에 의한 전압 분할기보다 우수한 점은 전압 분할기가 권선 비에 고 정도로 일치하고, 온·습도의 변화, 인가전압의 변동 또는 진동 등에 대해서 대단히 안정하며, 전기적 특성의 경년 변화가 아주 미소하고 입력 임피던스가 높으며 출력 임피던스가 대단히 작다[1]는 것이다. 이러한 여러 가지 장점을 갖고 있기 때문에 100 kHz 미만의 주파수에서 임피던스 정밀측정용 브리지의 비례 팔(ratio arm)로써 널리 사용이 되고 있다. 그러나 leakage inductance, 권선저항, 권선간의 분포용량 및 core loss resistance의 영향에 의해서 권선 비에 오차가 발생하게 되고, 일반적인 방법으로 제작된 비례변성기의 10:1에서의 비 오차(ratio error)는 1 kHz 주파수에서 측정 시 수 ppm 정도가 발생한다. 본 연구에서는 특수한 권선방법을 사용하여 1:1, 1:2,1:9 및 1:10의 권선 비를 갖는 비례변성기를 제작하였다.

2. 본 론

2.1 설계식

특성이 우수한 비례변성기를 제작하기 위해서는 인가전압, 권선 수, 권선 방법 등을 사용목적에 적합하도록 설계해야 한다. 그림 1의 toroidal core 치수에서 인가전압, 권선 수, IVD에 유도되는 인덕턴스는 아래의 식으로 결정된다.

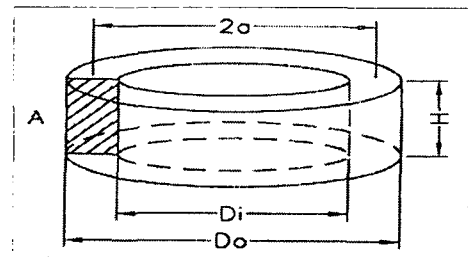


그림 1. 비례변성기 설계를 위한 toroidal core 치수.

$$\text{인가전압: } V = \frac{\omega BAN}{\sqrt{2}} \quad [\text{volt}] \quad (1)$$

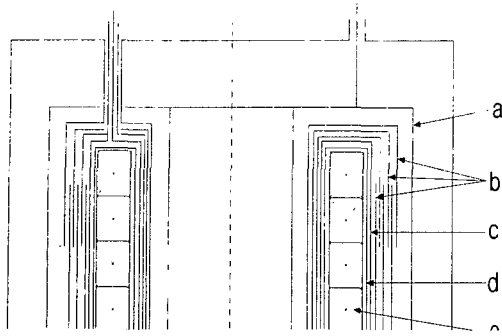
$$\text{권선 수: } N = \frac{V}{\omega BA} \quad [\text{turn}] \quad (2)$$

$$\text{인덕턴스: } L = \frac{N^2 \mu_m \mu_0 A}{2\pi a} \quad [\text{H}] \quad (3)$$

여기에서 μ_0 : 투자율, μ_m : 상대투자율, B : 자속밀도(Tesla), a : toroidal core의 반경(m), A : toroidal core의 단면적(m^2)이다.

2.2 제작

비례변성기의 토로이달 코어로서는 초기투자율이 60,000인 supermalloy 코어 4개를 그림 1과같이 적층하여, mylar 테이프로 주변을 감고 측면에 중심에서 방사선 상으로 100회의 홈이 파여진 도너츠 모양의 판을 부착하고 B&S #22선을 사용하여 권선 간의 분포자기용량(distributed self-capacitance)을 줄이기 위해 bootlace 권선방식[2]으로 1차 권선을 균일하게 100회 하였다. 그 뒷면을 다시 mylar tape로 감고 teflon sleeve 및 copper tape를 통하여 1차 권선의 끝부분을 외부로 뽑아내었다.



a: 10 turn secondary winding supported on polyethylene former, b: copper-mumetal-copper shield, c: primary wing, d: teflon tape, e: supermalloy toroidal core

그림 1. Cross sectional view of a developed ratio transformer.

1차 및 2차권선 사이의 잔여누설자속(residual leakage flux)을 감소시키기 위하여 1차권선과 코어둘레를 정전 및 자기적으로 완전차폐를 시키기 위해서 copper, mumetal, copper의 순으로 1차권선과 코어주변을 도너츠 형태로 차폐시켰으며 각 차폐판이 완전한 폐회로로 구성되지 않도록 외부측 간격사이를 테프론 sheet 및 mylar tape를 사용하여 절연시켰다.

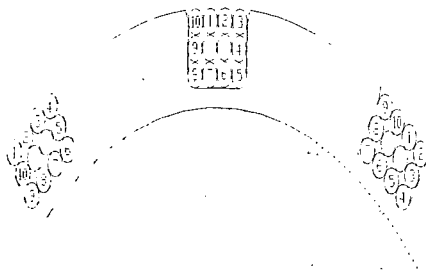


그림 2. Winding method of secondaries.

2차권선은 누설임피던스와 분포용량, 권선간의 상호 임피던스의 결합으로 인한 비오차를 감소시키기 위하여 새로운 권선방법을 택하였다. 즉 그림2와 같이 주변에 나선형 홈을 기계가공한 폴리에틸렌 외부형틀(outer former)을 그림1의 최외각 차폐상자 주변에 고정시키고 동시에 내부에는 폴리에틸렌 쐐기(wedges)와 권선면적을 정해주는 목재 spacer를 설치하였다. 직경 0.37 mm 가닥으로 꼬아진 2.4 mm의 teflon tinned copper wire group을 core 주변에 그림2와 같이 나선형 홈을 따라 3층으로 적층 권선하되, 권선 위치를 동일조건으로 하기위하여 선의 위치를 교체해 가면서 감은 후 12개의 권선을 한쪽 측면으로 모아 고정된 후 내부 1쌍의 권선을 “-1”측에, 외부 10개의 권선을 1에서부터 10까지 차례로 상자에 부착된 BPO(British Post Office) connector에 용접하였다.

2.3 비 오차 측정

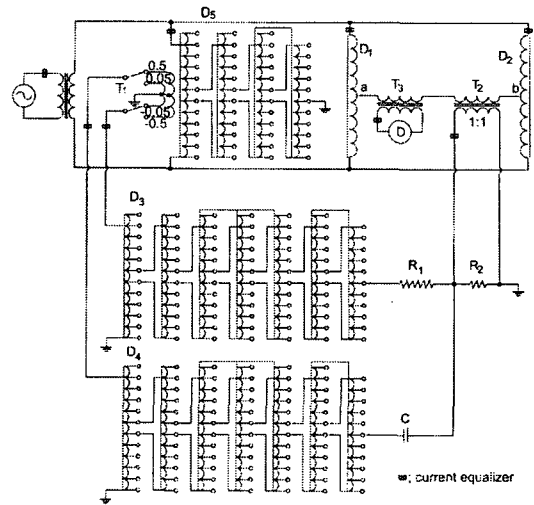


그림 3. Circuits of a calibration system for a ratio transformer.

제작된 비례변성기는 그림3과 같은 비오차 측정브리지[3]를 사용하여 1.6 kHz에서 측정이 되었으며, 측정결과 10:1에서의 비 오차는 동상분이 0.073×10^{-6} , 직각상분이 0.14×10^{-6} 으로 측정이 되었다. 그러나 실제 임피던스 측정에서 비례 양으로 사용 시에는 상기 비 오차는 보상하여 사용하기 때문에 비 오차 측정브리지의 측정불확도 즉 3×10^{-8} 가 임피던스 측정불확도가 된다.

3. 결론

저주파수에서 임피던스를 정밀하게 측정하는 브리지의 비례양으로 사용되는 초정밀 비례변성기가 개발되었다. 개발된 비례변성기는 비오차를 줄이기 위하여 특수하게 권선을 하였으며, 측정결과 1.6 kHz에서 10:1의 비오차가 동상분의 경우 0.073×10^{-6} , 직각상분의 비 오차가 0.14×10^{-6} 로 나타났다.

참고 문헌

- [1] 김한준, 이래덕, 강전홍, 한상욱, “저 주파수용 7-dial Inductive Voltage Divider 제작과 특성분석”, KIEE, Vol. 53B, No. 5, pp. 305-308, May, 2004.
- [2] B. P. Kibble, G. H. Rayner, “Coaxial Bridges”, Adam Hilger Ltd., 1984.
- [3] 김한준, 강전홍, 한상욱, “유도형 전압 분할기의 비교정 브리지 개발”, KIEE, Vol. 54B, No. 5, pp. 217-222, May, 2005.