

로고스키 코일과 저항 분압기 원리를 이용한 배전급 전류/전압 센서 개발

최원준, 손종만, 이방욱, 오일성
LG산전 전력연구소

Development of Current and Voltage Sensors for Distribution switchgears

W.J.Choe, J.M.sohn, B.W.lee, I.S.Oh
Electrotechnology R&D Center, LG Industrial Systems.

Abstract - In the distribution networks, it is required to develop compact and smart current and voltage sensors for compact and digital switchgears. The sensor developed newly adopt the principle of rogowski coil for current sensing and resistive voltage divider for voltage sensing. The sensing characteristics and reliabilities were improved compared to conventional ones. In the near future, these voltage and current sensing apparatus will be widely used with electronic protection units for the distribution switchgear.

1. 서론

기존의 CT/PT의 문제점을 보완하고 전력기기의 소형화/디지털화를 실현하기 위해서 새로운 전류/전압 측정 및 보호용 장치의 개발이 필요하게 되었다.

새로운 전압/전류 측정장치는 기존의 CT/PT와 달리 자성체를 이용하지 않고, 로고스키코일 원리와 저항형 분압기의 원리를 이용하였다. 로고스키코일을 이용한 전류 측정장치는 공심코어에 코일을 권선하여 상호인덕턴스에 의해서 유도된 전압을 센싱하여 전류를 측정하기 때문에 소형/경량화 설계가 가능하고 포화현상이 없어 전류 측정범위가 상당히 넓다. 저항분압기의 원리를 이용한 전압측정장치는 고압단 저항과 저압단 저항의 분압비를 이용하여 전압을 센싱하기 때문에 소형화 설계가 가능하고, 절연특성이 우수해 사고위험성이 매우 낮다.

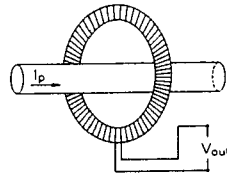
위와 같이 새로운 개념의 전류/전압 측정장치는 소형화한 설계가 가능하므로 전압과 전류를 동시에 측정할수 있게 하나의 예폭시하우징에 몰당함으로써 combi sensor의 형태로 제작가능하다. 이러한 센서를 적용한 배전반 및 GIS는 기존의 CT/PT를 이용한 배전반에 비해 축소된 설계가 가능하고 고기능화, 디지털화 및 신뢰성, 안전성을 확보할 수 있다. 또한 전류의 측정범위가 넓어 부하중설에 대한 대응이 용이하며 동일 프레임으로 제작 가능하므로 배전반의 표준화설계가 가능하다는 장점이 있다.

2. 로고스키코일을 이용한 전류센서

2.1 로고스키코일의 전류 측정 원리

로고스키코일의 전류측정원리는 그림 1과 같이 1차도체의 전류로 인해 발생한 자속이 공심코어에 감겨져 있는 2차 로고스키코일과 쇄교하여 발생한 상호인덕턴스에 의해 로고스키코일 양단에는 1차전류에 비례하는 전압이 유기된다. 이 유기된 전압을 측정함으로써 1차전류값을 측정할 수 있다. 로고스키코일에 유기된 전압은 1차전류에 의해 발생한 자속을 미분한 형태이므로 1차전류의 위상보다 90도 앞서게 된다. 그러므로 위상을 1차전류와 동상으로 맞추고, 외부노이즈를 제거하기 위해서는 로고스키코일에 유기된 전압을 적분기를 통해 적분함으로써 1차전류와 동상인 2차전압 파형을 얻을 수 있다. 위와 같은 측정원리를 정리하면 다음과 같은 수식으로 정리할

수 있다.

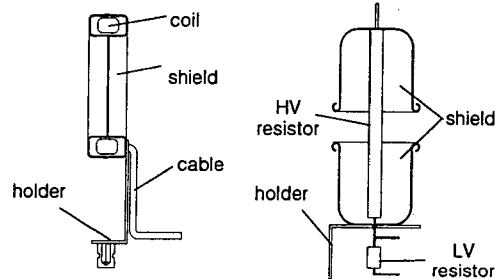


$$V_{out} = M \frac{dI_p}{dt}$$

For sinusoidal current,

$$V_{out} = M \cdot j \cdot \omega \cdot I_p$$

그림 1. 로고스키코일의 원리



(a) 전류센서 (b) 전압센서

그림 2. 전류센서와 전압센서 구조

2.2 개발된 전류센서의 구조

로고스키전류센서는 기존의 CT와 비교해서 소형화, 경량화가 가능하고 선형성이 매우 우수하기 때문에 새로운 배전급 측정장치로 각광받고 있다. 그러나 측정 정밀도를 ±1% 이하로 제작하기에는 다음과 같은 어려움이 있다.

- 균일한 특성을 만족시키기 위한 코일권선 문제
- 인접한 외부전류에 의한 crosstalk effect
- 온도변화에 따른 코어의 단면적 변화에 의한 출력 특성 오차
- 외부방사 노이즈에 의한 출력특성변화
- 조립상태에 따른 출력오차 등

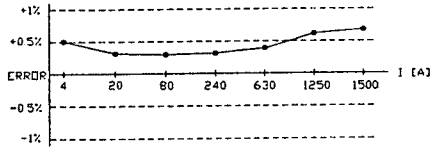
로고스키코일 설계시 가장 고려해야 할 사항은 외부노이즈에 의한 영향을 최소화 시킬수 있는 구조와 조립성 및 기계적인 구조를 경제적으로 설계하는 것이다.

그림 2(a)는 실제 설계된 로고스키코일로 외부 노이즈 차폐를 위한 쉴드와 로고스키 코일을 잡아주기 위한 홀더와 편조쉴드로 차폐된 신호선으로 구성되어 있으며 이 부품을 예폭시로 몰당하여 기계적 절연특성을 좋게 하였다.

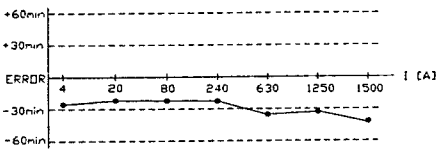
그리고 권선에 따른 균일한 특성을 얻기 위해서는 로고스키코일의 권선을 균일하게 제작하여야하나 경제적인 문제를 수반하기 때문에 코일자체는 ±3%이내의 출력정밀도를 가지게 제작한 후 가변저항 미세조정을 통해 출력오차를 ±1%미만으로 조정하도록 설계하였다.

2.3 개발된 전류센서의 특성

그림 3은 개발된 로고스키코일 전류센서의 특성실험 결과이다. 실험에 사용된 전류센서의 사양은 정격전류 80~1250A이고 1차출력전압은 각각의 정격에서 150mV, 오차계급은 Class 1으로 출력오차 ±1%, 위상오차 1°(60min)이하이다.(관련규격 IEC 60044-8)



(a) current accuracy test result



(b) phase shift accuracy test result

그림 3. 전류센서의 Accuracy test result

출력오차 및 위상오차는 최소 정격전류의 5%, 20%와 각 정격전류값, 그리고 최대정격전류의 120%에서 시험하였다.

3. 저항 분압기를 이용한 전압센서

3.1 저항 분압기의 전압 측정 원리

저항 분압기의 측정원리는 그림4와 같이 1차 고압저항과 2차 저압저항의 분압비에 의한 2차 저압저항 양단의 전압을 센싱함으로써 1차측의 고전압을 측정할 수 있다. 무유도성 저항만을 사용하였기 때문에 위상변화가 거의 없는 것이 특징이다.

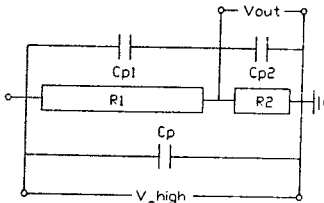


그림 4. 전압센서의 원리

3.2 개발된 전압센서의 구조

전압센서는 기존 PT와 비교해 소형화, 경량화, 선형성 및 철공진이 없다는 장점이 있다. 기존 PT는 배전급 배전반에서 차지하는 부피가 매우 크고, 1차 고압권선과 1차 저압권선의 절연불량으로 인한 사고가 일어날 수 있는 위험성이 있다. 저항분압기를 적용한 전압센서는 소형경량이면서 사고의 위험성이 상당히 낮아져 배전급 전압센서로 매우 적합하다.

원리나 구조는 매우 간단하나 실제 배전급에서 사용할 수 있는 전압센서를 제작하는 것은 다음과 같은 문제점이 있다.

- 온도에 따른 저항값의 변화
- 1차 및 2차 저압저항 양단에 기생정전용량(stray cap-

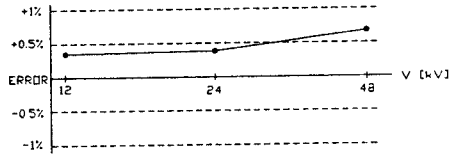
acitance)에 의한 위상 특성변화

- 외부노이즈에 의한 출력 특성 변화
- 고압저항의 열적용량에 대한 신뢰성

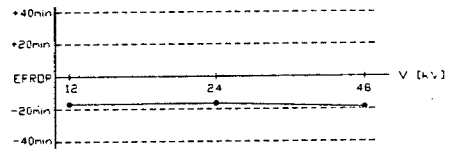
그림 2(b)는 개발된 전압센서의 구조로 고압저항, 그 양단에 전계완화를 위한 실드와 저압저항, 외부노이즈 차단을 위한 실드로 구성되어있다. 실드는 저압단 기생정전용량과 매우 밀접한 관련이 있으므로 설계시 적정 사이즈로 구성하여 이로 인한 위상오차를 최소화 하여야 한다. 그리고 고압저항의 신뢰성은 절연특성 및 온도특성을 고려하여 충분한 열적용량을 갖는 고압저항을 선정 또는 제작하여야 한다. 제작된 센서에서는 분압비를 일정하게 하기 위해 세트로 제작된 고압저항과 저압저항을 사용하였다.

3.3 개발된 전압센서의 특성

그림 5는 개발된 전압센서의 특성실험 결과이다. 전압센서의 사양은 절연레벨 24kV, 분압비 20000:1, 정격전압 22.9kV, 2차 출력전압은 1.15V이고 오차계급은 Class 1으로 출력오차 ±1%, 위상오차 40분 이하이다.(관련규격 IEC 60044-7) 출력오차 및 위상오차는 정격전압의 50%, 100%, 200%에서 측정하였다.



(a) voltage accuracy test result



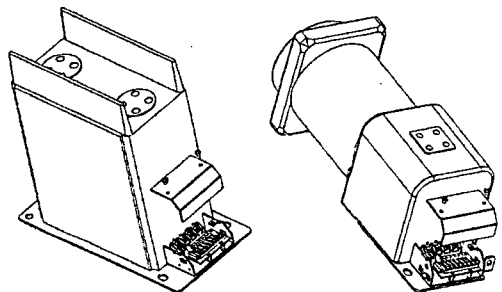
(b) phase shift accuracy test result

그림 5. 전압센서 Accuracy test result

4. 로고스키코일과 저항 분압기를 이용한 콤비센서

4.1 예폭시 절연을 이용한 배전급 콤비센서

2장과 3장에서 기술한 전류센서와 전압센서는 소형으로 제작가능하기 때문에 전압과 전류를 동시에 측정할 수 있도록 예폭시 하우징에 전류, 전압센서를 몰딩함으로써 복합적인 형태로도 제작이 가능하다. 이렇게 제작된 콤비센서는 기존의 CT/PT를 사용할 경우와 비교해



(a) 24kV terminal type

(b) 12kV bushing type

그림 6. 콤비센서 시제품

서 배전반의 사이즈를 축소시킬 수 있고, 사고의 위험성이 적으며, 전자식계전기와 함께 디지털화함으로써 고부가가치의 배전반 제작이 가능하다. 그림 6(a)는 24kV 단자형 콤비센서이고 그림 6(b)는 12kV 부싱형 콤비센서이다.

4.2 정격전류 조정용 2차 분압저항 및 미세조정을 위한 가변저항 블럭

그림 7은 로고스키 코일 전류센서의 정격전류 조정용 2차 분압저항 블럭 및 미세조정용 가변저항의 회로도이다. Rv는 가변저항, R1~R5는 정격전류를 조정할 수 있는 저항 블럭이다.

로고스키코일 자체의 출력정밀도를 $\pm 1\%$ 이하로 제작하는 것 보다는 가변저항(Rv)을 통해 미세조정 하는 것이 보다 효과적이라 생각되어 그림 7과 같은 구조로 제작하게 되었다.

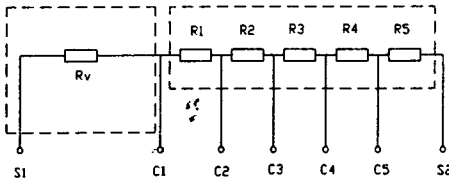


그림 7. 분압저항 및 가변저항 블럭

4.3 Voltage Detector 장치

콤비센서에는 전류전압측정장치 뿐 아니라 배전반 BUS에 전압이 인가되었는지 여부를 패널전면에서 확인하기 위하여 활선여부를 체크할수 있는 전극이 추가되었다. 그림 8은 이에 대한 회로도이다. 추가된 전극의 정전용량 값 C1과 voltage detector 장치내의 정전용량 C2는 용량성분압기의 원리에 의해 전압인가 여부를 확인할 수 있는 램프를 구동시킨다.

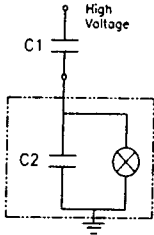


그림 8. voltage detector device.

4.4 전압 및 PD특성 시험

표 1은 제작된 콤비센서의 상용주파 내전압, 너임펄스 전압, 2차 저압측 상용주파내전압, 너임펄스 및 PD시험 결과를 정리한 것이다. 1, 2차 절연특성 및 부분방전 특성은 IEC60044-7/8의 조건을 만족하였다. 이 외에 단시간 전류시험(40kA/3sec) 및 온도상승시험(Δt 60°C) 역시 규격조건을 만족하였다.

표 1. 전압 및 부분방전시험

	24kV 콤비센서	12kV 콤비센서
상용주파내전압시험	50kV/1min	28kV/1min
너임펄스내전압시험	125 BIL	75 BIL
부분방전시험	16.6kV : free	8.3kV : free
	28.8kV : free	14.4kV : free

5. 결론

배전급 전력계통에서 일반적인 널리 사용되는 CT/PT를 대체할만한 전류, 전압센서를 제작, 소개하였다.

전류센서는 로고스키코일의 원리를 적용하여 가볍고 컴팩트하게 제작되었으며 기존의 CT에 비해 월등한 정밀도를 나타내었다. 그리고 저항블럭을 통해 다양한 정격에 대응할 수 있도록 하였다. 전류센서는 class1 급을 만족하였고 4A~40kA의 매우 넓은 전류정격에 대해 안정적인 출력특성을 나타내었다.

전압센서는 저항 분압기의 원리를 적용함으로써 측정 오차 및 위상오차를 상당히 줄일수 있었으며 저압단에 실드를 추가함으로써 노이즈에 의한 영향을 감소시켰다.

이러한 전류, 전압센서를 이용해 보다 컴팩트하고 규격화된 배전반 설치가 가능하게 되었으며 향후 전자식 보호계전기와 함께 기존 배전급 측정, 보호장비를 대체하게 될 것이라 사료된다.

이번에 제작한 콤비센서는 IEC60044-7/8 규격을 만족하였으며 추후 신뢰성, 안전성을 위한 장시간 필드테스트가 이루어질 계획이다.

[참 고 문 헌]

- [1] John D. Ramboz "Machinable Rogowski Coil, Design, and Calibration" IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol.45, No.2, April 1996
- [2] J. D. Ramboz "High-current Measurement techniques, Part II; 100kA source characteristics and preliminary shunt and Rogowski coil evaluations", NIST Rep. NISTIR 89-4040, Mar 1989
- [3] Jun Kato; Tominaga, T.; Kuwabara, N. Improved frequency characteristics of large Rogowski coil using lightning surges observation, Electromagnetic Compatibility, 1999, International Symposium on , 1999 , Page(s): 310 -313
- [4] L. Kojovic, "Rogowski Coils Suit Relay Protection and Measurements", IEEE Computer Application in Power, pp. 47~52, July 1997
- [5] Oates, C., "The design and use of Rogowski coils", Measurement Techniques for Power Electronics, IEE Colloquium on , 1991 Page(s): 5/1 -5/5
- [6] C. Kung; Michael J. Devaney, "The Design of a Hand-held K-factor Meter Using an Air-core Current Transformer", Instrumentation and Measurement Technology Conference, 1996. IMTC-96. Conference Proceedings. Quality Measurements: The Indispensable Bridge between Theory and Reality., IEEE , Volume: 1 , 1996, Page(s): 541 -544 vol.1