

**창립**  
**40주년 학술대회**  
**논문 87-P-21-1**

광센서에 의한 전류전압 측정법

김 영 수                      박 애 수                      김 관 호  
 한국전기연구소

Current and Voltage Measurement using  
 Optical Sensors

Y. S. Kim                      H. S. Park                      K. H. Kim  
 Korea Electrotechnology Research Institute (KERI)

Abstract

The present metering transformer being used for measurement has the characteristics of high reliability and high efficiency. In the future, however, it is thought that the scales of metering transformer will be larger and the cost of production will increase as the transmission voltage ascends to UHV. And, also, it will be not easy to ensure the aseismatic capability. For the purpose of settling these problems, by applying optical sensor technology to electric power systems and by developing optical current transformer and potential transformer, we will realize the saving in energy, reduction of cost prise, improvement in measuring precision.

1. 서 론

1959년 레이저 광이 최초로 인공적으로 만들어진 이래 매우 짧은 기간에 많은 종류의 레이저 발전기와 그 응용이 고려되어 왔다. 그중에서도 레이저광을 각종 계측의 수단으로 사용하려는 것은 레이저광이 자연광에서 볼 수 없었던 간섭성이 좋고 레이저빔을 좁게 할 수 있으며 직진성이 있어 광파이버 같은 광도파로에서 효율 좋게 전송되고 Coherence 가 좋아 각종의 변조를 행할수 있는등 우수한 성질을 갖고 있기 때문에 계측의 매체로는 유망하다고 생각되었다. 특히 전력공학에서 보면 절연물질을 전파하는 레이저광은 절연상 가장 이상적인 정보전달 매체이고 송전선에서 나타나는 각종의 전자기도에 의한 장애를 받지 않는 특성을 가지고 있다. 특히 광을 단순히 정보전달 매체만이 아닌 전기 자기와의 상호작용을 통하여 직접 전기량 및 자기량으로 변환하는 방식이 레이저광에 의해서 용이하게 실용 가능하게 되었다. 이 방식은 변환부에 어떠한 동소자, 전원등을 포함하지 않으므로 대단히 간단하여 신뢰성이 높고 전기적 절연, 방해를 받지 않는 계측 시스템에 구

축할 수 있다.

현재까지 사용하고 있는 전력용 전류·전압 측정 수단과 비교하여 보면 과거 교류대전류 측정에는 계기용 변류기(CT : Current Transformer)가 사용되어 왔다. 이것은 철심의전자유도를 이용하는 것으로서 구조는 간단하고 신뢰성도 상당히 높다. 또한 주파수 특성도 상당히 양호한 편이다. 그러나 최근 전력수요가 증가함에 따라 국내의 전력회사에서는 500KV급 이상의 송전계통이 계획되고 있고 송전계통의 보호, 전류 감시등 목적으로 500KV급 이상의 송전계통용 대용 CT가 제작되고 있다. 여기서 재래의 CT 로서는 철심을 넣어 교류전류를 변류하여 계측하는 것이므로 초고전압에 대한 절연문제 특히 내압해성을 고려한 거대한 부실액관이 필요하다. 따라서 이러한 형식의 CT는 중핵의 기술로서도 충분한 정도, 확도, 신뢰성을 갖고 있지만 가격, 보수상의 문제가 많고 또 철심을 사용하므로 고장시 대전류에 의하여 철심이 포화되어 구조상 직류전류나 마이크로 초에서 나노초급의 전류 Pulse의 측정은 행할 수 가 없다. 본 연구에서 시도하는 광센서를 이용한 초고압 변류기(광 CT)는 이러한 난점을 피하고 무접촉형의 원리에 의해 먼 거리에서 고압부에 흐르는 전류를 레이저광을 통하여 직접 변환하여 계측을 시도하는 것으로 절연 문제가 용이하게 해결될 뿐만 아니라 직류에서 나노초까지 넓은 주파수 대역에 걸쳐 충실한 전류파형의 재현성을 갖고 있는 장점이 있다.

이 광 CT의 원리는 광학적인 파라데이 회전으로서 대전류가 흐르는 도체근방에 나타난 자계에 비례하여 연그레스를 통과한광의 편파면이 회전하는 것을 검출하는 것이다. 또 전기 광학 효과를 갖고 있는 결정을 사용하면 전기에 의해 광을 변조하는 것도 가능하다. 그 원리는 레이저 광의 변조기로서 넓게 응용되는 것이지만 이것을 전기 또는 전압 측정기로 고려하면 대단히 높은 입력임피던스의 전압측정이 가능할 뿐만 아니라 전기적으로 상호절연을 취할 수 있는 전압측정기로서 매우 유리하다.

본 논문에서 KERI 에서 개발연구를 추진중인 광 CT, PT의 측정원리 및 센서의 구조를 기술하고 앞으로 추진할 GIS용 광 CT, PT에 대하여 간략히 언급하고자 한다.

2. 광 전류·전압 측정원리

가. 전류측정 원리

전류측정은 전류에 의하여 발생하는 자기장의 어느 위치에 광학소자 (Faraday Cell)를 놓고 선형편광된 광을 투과시키면 광의 편광면이 자기장의 크기에 따라 편광면이 회전하는 원리 (Faraday 효과)를 이용한다.

그림1은 전류검출의 원리로서 편광자에 의해 직선편광된 광은 자기광학효과를 갖는 결정내에서 광도 방향에 가해지는 자기장에 의해 편광면이 각도  $\theta$ 만큼 회전하여 검광자에 입사된다. 검광자를 편광자에 대하여  $45^\circ$ 의 상대 각도로 놓음으로서 광학적인 바이어가 주어진다. 이와같은 구성에 의해 검광자에서 출사하는 광파워는 자기장도에 대응하여 정현함수로 변조된 것이 된다. 따라서 출사광이 자기장에 대응하여 직선적으로 비례하는 범위의 각도  $\theta$ (자기장도)에 동작범위를 선정할 필요가 있다.

이와같은 관계를 식 (1)-(3)과 그림2에 나타낸다.

메이저

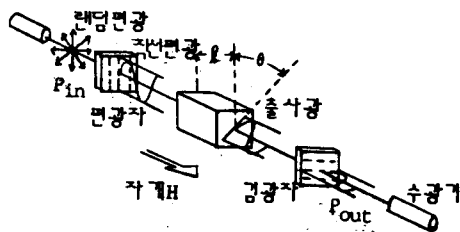


그림1. Faraday효과에 의한 전류 검출

회전각과 출사광파워의관계

$$P_{out} = \frac{1}{2} P_{in} (1 + \sin 2\theta)$$

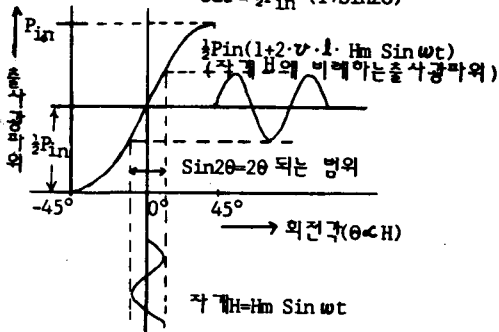


그림2. Faraday효과에 의한 광강도 변조

$$\theta = V \cdot H \cdot l \text{ (rad)} \dots \dots \dots (1)$$

$V$  : 파라데이 효과를 표시하는 광학결정의 Verdet  
 상수 (rad/cm·Oe)  
 $H$  : 자기장도 (Oe)  
 $l$  : 광로장 (cm)

$$P_{out} = \frac{1}{2} P_{in} (1 + \sin 2\theta) \dots \dots \dots (2)$$

$\sin 2\theta = 2\theta$  가 성립하는  $\theta$ 의 범위에서는

$$P_{out} = \frac{1}{2} P_{in} (1 + 2\theta) = \frac{1}{2} P_{in} (1 + 2 \cdot V \cdot H \cdot l) \dots \dots \dots (3)$$

따라서 입사광파워의 50%를 중심으로한 자기장도 H에 비례하는 출력광 파워가 얻어진다. 또  $\sin 2\theta$ 를  $2\theta$ 에 근사치로 놓았을때의 이론오차  $\epsilon$ 은  $(2\theta - \sin 2\theta)/2\theta$ 로 나타낼 수 있다.

예를들어  $\epsilon \leq 1\%$ 로 하면 회전각  $\theta$ 는 대략 0.25rad이 된다.

나. 전압측정 원리

어느 종류의 광학소자에 있어서는 그 굴절률이 가해진 전기장에 비례하여 변화하는 특성을 갖고 있다. 이러한 소자를 Pockels 소자라 하는데 이소자를 이용하여 전압을 광으로 검출할 수 있다. 검출원리를 그림3에 나타내었다.

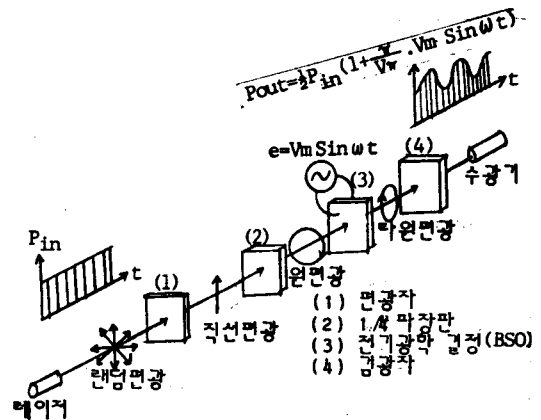


그림3. Pockels효과에 의한 전압검출

광원에서 나온 광은 편광자에서 직선편광으로 변환되고 1/4파장판을 통하여 원편광으로 되어 전기광학 결정(Rockels 소자)에 입사된다. 전기광학결정에 전압이 인가되면 결정에서 출사된 광은 타원편광이 된다. 이 타원편광이 검광자를 통하여 빛의 강도가 타원의 정도에 의해 변화되어 인가전압에 의해 타원에서 입사된 광에 대한 투과율이 변함된 것과 같은 작용을 하게된다. 인가전압 V와 광출력  $P_{out}$ 의 관계는 (4)식으로 나타내어지고 인가전압 V가 전기광학결정의 반파장 전압  $V_\pi$ 에 비하여 충분히 적은 경우에는 (5)식에서처럼 출사광 파워는 인가전압에 직선비례하는 영으로 근사하게 된다.

$$P_{out} = \frac{1}{2} P_{in} (1 + \sin \frac{V}{V_\pi} \cdot \pi) \dots \dots \dots (4)$$

$V \ll V_\pi$  인 경우에는

$$P_{out} = \frac{1}{2} P_{in} (1 + \frac{V}{V_\pi} \cdot \pi) \dots \dots \dots (5)$$

BSO 소자의 경우는  $V_\pi$ 가 7KV이고 또 1000V 이하의 인가전압의 영역에서 식(5)에서 표시한 것과 같이 인가전압

의 영역에서 식(5)에서 표시한 것과 같이 인가전압 V와 출사광파의 Pout가 직선적인 비례관계가 된다.

다. 신호처리부

센서의 E/O 변환기 및 O/E 변환기(신호처리부)의 블록다이어그램을 그림4에 나타낸다. 광파이버는 삽입 손실을 줄일 목적으로 SI 영 다중모드파이버를 사용하여 변환부에서는 PIN - PD에 의하여 수광된 광파이버의 안정화를 기하기 위하여 피드백제어를 행한다. 외로는 부패한 루프의 형태를 취하여 광파이버, 광코넥터, 광센서에서의 손실에 대한 보상도 행하고 있다. 광출력을 안정하게 하여 변조지수에 비례하는 출력신호가 얻어진다.

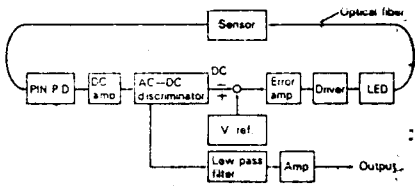


그림4. 신호처리부의 블록다이어그램

3. BSO 센서 응용

가. GIS용 광 CT, PT

부피가 큰 현재의 CT, PT 대응으로 광전압 센서를 GIS (Gas Insulated Switchgear) 내부에 조립하여 실용화를 추진하는 추세에 있다. 그림5는 GIS용 광 CT, PT를 내장하고 있는 GIS 내부구조를 나타낸 것이다.

전류측정은 자기코어의 겹 사이에 설치된 자기센서에 의하여 행해지고 전압은 전극에 의하여 도체전압을 센서의 측정가능범위로 변환하여 측정하게 되는데 이때 변환작용은 도체주위의 부유용량을 이용하여 행하게 된다.

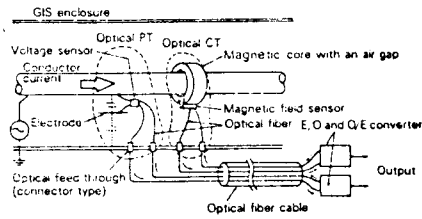


그림5. GIS 용 CT, PT 구조

나. 과도전압 검출

광전압 센서의 주파수 특성은 7MHz 대까지 가능하고 입력임피던스도 매우 높기 때문에 높은 입력임피던스를 갖는 PD(Potential Divider) 실현이 가능하다.

그림6은 과도전압 검출 시스템 구성도이다. GIS 내부의 전극에 의하여 서지전압을 측정가능영역인 전압으로 변환한 후 E/O, O/E 변환기의 출력신호가 디지털 파형기록계에 의하여 기록된다.

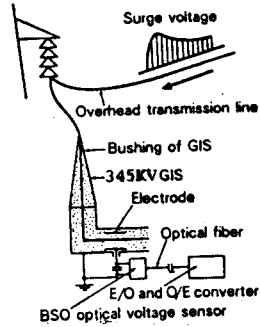


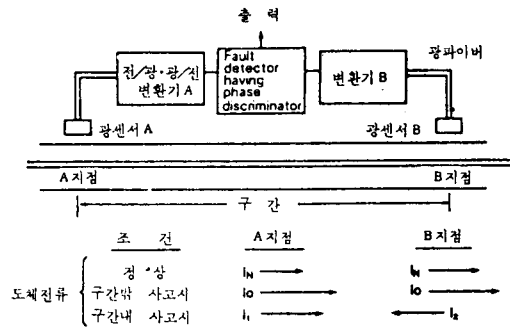
그림6. 과도전압 검출 시스템

다. Fault Section Detecting System(GIL용)

GIL(Gas Insulated Transmission Lines)의 종래의 고장구간 검출 장치에서는 CT가 센서로 사용되어 왔다. 그러나 CT가 GIL에 적용되었을때 부피가 큰 CT가 필요하고 때로는 CT가 GIL의 봉입물 내부에 들어가게 된다.

이러한 센서의 크기를 소형화하기 위하여 종래의 CT를 광을 이용한 자기센서로 대체해야 한다.

그림7은 광자기 센서를 이용한 시스템 구성과 동작모드를 나타낸 것이다. 센서 A와 센서 B 사이의 GIL 내부에서 고장이 발생하면 두 센서에 의해 감지된 전류의 위상이 반대로 된다. 그러나 센서 A와 센서 B의 바깥부분에서 발생하면 감지된 전류의 위상이 같다. 따라서 두 센서에 의하여 감지된 전류의 위상차를 검토해보면 사고구간의 위치를 찾아낼 수 있다.



Item	조건	정 상	구간밖 사고시	구간내 사고시
도체전류	A 지점	$I_a$ (—)	$I_a$ (—)	$I_a$ (—)
	B 지점	$I_b$ (—)	$I_b$ (—)	$I_b$ (—)
상용전압	A	$S_a$ (—)	$S_a$ (—)	$S_a$ (—)
	B	$S_b$ (—)	$S_b$ (—)	$S_b$ (—)
Phase discriminator output	—	—	—	$S_a - S_b$ (—)
Fault detector output	—	—	—	☀

그림7. 고장구간 검출장치의 구조와 동작원리

4. 결 론

공응용 전류·전압 측정원리 및 적용방법에 대해 알아보았다. 공응용 센서는 종래의 전기계 센서를 광으로 치환 센싱에서 전송까지 완전히 광으로 실현가능하므로 무유도성, 절연성, 방폭성, 세심성을 요구하는 각종 약 환경의 계측제어 분야에 응용 가능하다.

현재 KERI 에서도 광전류 및 광전압 센서를 이용 한 광 CT, PT 를 개발중에 있으며 아의 개발시 광대역 락 링크와 연계 변전소 자동화 및 배전자동화를 포함한 종합광계측 시스템 구성에 한걸음 접근할 수 있으리라고 본다.

참 고 문 헌

1. 淡嶋祐司, 가 "光能用電界センサー" OQC 80-4
2. 김영수, 김오희 "전자광학 효과를 이용한 전압전류 측정에 관한 연구", 과학기술지 '86특정연구 결과 발표회 논문집, 1987. 7.
3. "전력용 광계측 시스템 개발연구" 과학기술지 연구 보고서, 1987. 5.
4. T. Mitsui, K.Hosoe, H. Usami, S.Miyamoto, "Development of Fiber-Optic Volotage Sensors and Magnetic Field Sensors" IEEE Product No. 86 SM 442-8, 1986.
5. K. Kyuma, et al, "Fiber Optic Current and Voltage Sensors Using a Bi<sub>12</sub> Ge O<sub>20</sub> Single Crystal", Jour. of Lightwave Technology, Vol. LT-1, No. 1, PP93-97, Mar. 1983.