

광센서를 이용한 과전류 보호계전의 응답특성 연구

Response Characteristic of Over Current Relay using Optical Sensor

° 박병석, 안성준, 조홍근

전력연구원 시스템통신연구소(Tel:+82-42-865-5486;Fax:+82-42-85-7704;E-mail:bspark@kepri.re.kr)

**Abstracts** To operate electric power systems economically and stably, and to supply the electric power of good quality, it is necessary that the measured information (current, voltage, and so on) be detected and transmitted with high reliability and high efficiency.

For the reason, the optical magnetic field sensor is possible to rapidly detect to over current and recover when electric power line have fault. In addition, The optical sensor have no electro magnetic distortion and no electric insulation.

In this study, we designed OCR(Over Current Relay) using optical sensor. The designed OCR using optical sensor was measured characteristic and compared conventional OCR. This system have highest optical advantages and reliability.

**Keywords** Optical Sensor, OCR(Over Current Relay), Protective relaying

1. 서 론

전력계통분야에서 널리 이용되고있는 기존의 전자계식 변성 장치는 구조상 경년에 다른 열화 등에 의해 성능이 저하되면 각종 전기사고의 원인이 되며, 아울러 자기포화에 의한 과형 왜곡과 써지나 잡음 등의 전기적 장치가 갖는 문제점을 갖고 있다. 더욱이 송배전 전압의 초고압 화에 따른 절연 장치의 규모가 커지게 되어 경제적, 기술적, 제조상의 문제를 야기시킨다.

자계에 의한 광의 편광(polarization) 회전을 검출하는 Faraday 효과를 이용한 전력 계통의 계측은 절연특성이 우수하고 내구성이 뛰어난 뿐만 아니라 여러 가지 부가적 기능 및 다양한 구성이 가능하여 많은 장점을 지니고 있다.

Faraday 효과를 이용하여 전류 량이나 자계를 측정하고자 하는 연구의 초기에는 광섬유 자체를 센서로 사용하는 형태가 많이 연구되었으나 외부환경의 변화에 열악한 특성 때문에 보다 안정적인 화합물 결정체를 주로 이용한다. 본 연구에서는 Faraday 효과를 갖는 화합물 광센서를 이용하여 전류를 측정하는 과전류 보호계전 장치를 구현하고자 하였다. 구현된 시험 모델은 기존의 전자기적 전류 변성장치를 이용한 정지형 계전기 시스템과 호환되도록 하였으며, 기존의 과전류 계전 장치와 광센서를 이용한 과전류 계전 시험 모델간의 응답특성을 비교하였다.

본 논문은 우선 2장에서 광자계센서를 이용한 전류검출의 기본적 원리와 광센서부의 구성을 기술하였으며, 3장에서는 센서에 의해 변화된 광신호의 전기적 변환 및 신호처리 등에 관련된 전기적 회로의 구성에 대하여 설명한다. 4장에서는 광센서를 과전류 보호계전 장치의 구성 및 실험 방법 및 설정에 대하여 설명하고, 실험 결과 및 응답특성을 비교 분석하였다. 마지막으로 5장에서 결론 맺었다.

2. 광자계 센서의 원리 및 구성

Faraday 효과를 광자계센서의 중요 파라메타는 verdet 상수

와 온도의존성등을 들 수 있으며, 전류 량의 정확한 측정을 위해서는 센서부의 구성 및 고신뢰도의 신호처리가 중요하다[1].

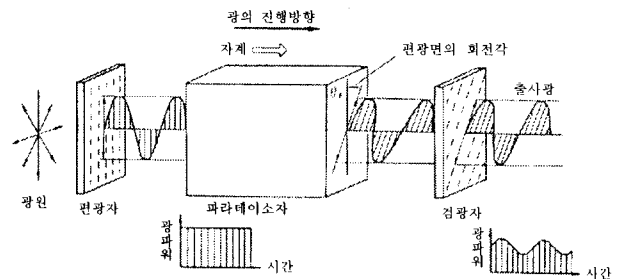


그림 1. 광자계센서의 원리  
Fig. 1. Principle of opto-magnetic sensor

2.1 Faraday 효과

광자계센서의 기본 원리는 그림 1과 같다[3]. 여기서 Faraday 회전각  $\theta_F$ 는 자계의 세기를 H, 광센서에서 광 경로의 길이는 L, 광의 전파방향과 자계와의 각도를  $\theta$ 라 하고 Verdet 상수를 V로 표시할 때

$$\theta_F = V \cdot H \cdot L \cos \theta \tag{1}$$

가 된다. Faraday 효과는 임의 매질에서 발생하지만 매질이 갖는 Verdet 상수에 의해 편광의 회전각도가 달라지며, 시스템의 설계에 있어 온도 의존성이나 삽입 손실 등의 특성들과의 관계를 고려하여 광 자계센서를 설정하여야한다.

2.2 광자계센서

광자계센서는 소자에 인가되는 자계의 세기(Magnetic field intensity)에 따라 입사된 선형편광면이 회전하는 Faraday 효과를 이용하여 과전류를 검출하는 것을 말한다. 광자계소자로는 여러 가지가 있으나 반자성체의 연그래스, ZnSe, BSO, BGO 등

이 있고 강자성체의 YIG(Yttrium Iron Garnet) 등이 있다[2].

본 연구에서는 Verdet 상수가 크고 온도특성이 우수한 회토류 첨가 YIG를 센서 소자로 선정하였다. 회토류 첨가 YIG는 온도특성을 개선하기 위하여 YIG결정에 온도보상용 회토류를 첨가하여 개발된 소자로 현재 널리 이용되고 있는 소자이다. 본 연구에서 사용된 회토류 첨가 YIG의 특성은 표 1과 같다.

표 1. 파라데이 소자의 특성

Table 1. The characteristic of Faraday component

항 목	단 위	특 성
매 질	-	회토류 첨가 YIG
삽입 손실	dB	< 6
파장 의존성	deg/nm	-0.17
포화 자속밀도	kA/m	80
Verdet 상수	deg/Oe · cm	7
온도 의존성	deg/°C	0.06
두께 (기판 포함)	μm	570
사용 파장	nm	850
크 기	nm	5×5

센서부의 구성은 2개의 GRIN(Graded Index) 렌즈, 2개의 PBS(Polarized Beam Splitter), 45° 회전자 그리고 광자계 센서로 구성되어지며, 그림 2에서 각 소자 배치를 나타내었다. 광섬유를 통하여 전달되는 광신호는 입출력부의 GRIN 렌즈에 의해 평행 광으로 정렬되어지고 전단 PBS를 통과하면서 광원의 빛이 선 편광(line polarization)을 가지도록 조정된다.

광자계 센서는 선광성이 없으므로 선형 성이 우수한 영역에서 광신호를 검출하기 위해서는 광학 바이어스를 잡아주어야 하며, 센서 바로 전단의 45° 회전자에 의해서 이루어진다. 전력선에 전류가 흐르면 자계가 형성되고, 선편광된 빛은 센서를 통과하면서 편광면이 회전하게되며, 후단의 PBS를 거치면서 전류의 세기에 따른 빛의 강도로 진폭 변조된다.

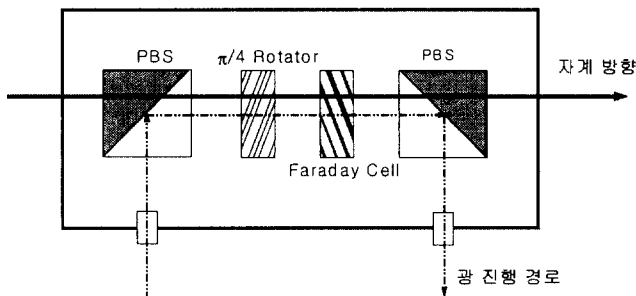


그림 2. 광자계센서부의 구성도

Fig. 2. Configuration of optical sensor module

### 3. 광신호처리부의 설계

자계의 세기에 따라 진폭 변조된 광신호는 맥류신호 형태를 가지며 이것을 수식으로 표현하면, 수광부에 입사되는 광의

직류성분을  $P_0$ 라 할 때,

$$P = P_0(1 + m) = P_0 + mP_0 \quad (2)$$

으로 나타내어진다. 여기서  $m$ 은 Faraday 효과에 의한 광의 변화량으로서 일종의 변조도와 같다.

변조도,  $m$ ,만을 검출하는 방법으로 수신된 광신호를 직류성분과 교류성분으로 분리한 뒤 나누어주는 방식을 택하였다. 이러한 방식은 회로 구성이 간단하며, 안정적인 광신호의 변조도 검출을 가능하게 한다.

$$m = \frac{mP_0}{P_0} = \frac{\text{교류}}{\text{직류}} \quad (3)$$

아래의 그림 3에 광신호를 전송하고 수신하여 변조도,  $m$ ,을 검출하는 광신호 처리부의 구성도를 나타내었다.

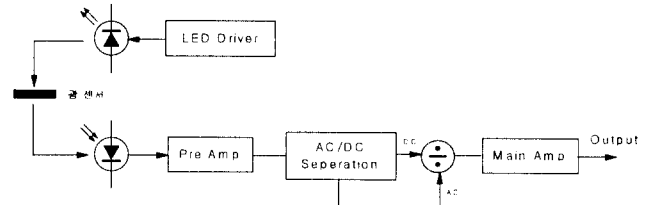
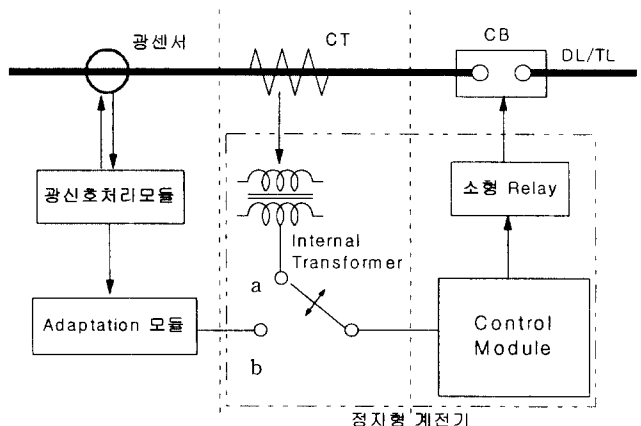


그림 3. 나눔 방식을 이용한 신호처리도

Fig. 3. Signal processing block diagram of using division method

### 4. 실험 결과 및 분석

기존의 보호계전은 전력선에 설치된 전류변성 장치인 CT로부터 축소되어 전류를 과전류 보호계전기 모듈에 입력하고, 내부의 트랜스포머에서 전류에 비례한 전압 값으로 변환된다. 본 연구에서 구성한 광자계센서 보호계전 장치의 경우, 광신호처리 모듈의 LED에서 생성된 광신호를 광섬유를 통하여 전력선의 광센서로 전달하고 광센서에서 변조된 광신호는 다시 광섬유를 통하여 광신호처리모듈의 수신 단에서 PD에의 전기신호로 감지되고 변조도를 추출하기 위해 전기소자에 의해 처리되어진다. 광신호처리 모듈의 출력 값은 광센서의 자계에 대한 응답특성을 가지므로 기존의 정지형 계전기와와의 호환성을 갖기 위해서는 기존장치의 선형성과 일치하도록 변환해 주는 Adaptation 모듈을 구성하였다.



광센서 회로

기존 회로

공통 부분

그림 4. 광센서 과전류 보호 계전기의 실험 구성도

Fig. 4. Test diagram of OCR using optical sensor

여 구성되어 포화나 경년 변화에 의한 성능 저하 및 운용상의 문제점들이 내재하고 있으며, 더욱이 전력 계통의 대용량화 및 고전압화에 따라 더욱 심화되고 있다. 본 논문에서 제시한 광자계 센서를 이용한 과전류 보호계전의 시험 모델의 경우, 고절연 특성 및 대전류 측정이 가능하여 기존의 보호계전기의 문제점을 다수 해결할 수 있었다.

향후, 과전류 보호계전 기능에 부가하여 비열 차동 계전 기능까지 통합한 보호계전에 대한 연구가 계속되어야 할 것이다.

## 참고 문헌

- [1] Jun Song, "Development of Magneto-optical Current Transducers for Power Systems", *Thesis for the degree of Ph D, Univ. of Manitoba*, Jan. 1996.
- [2] 布下正雄, 久間和生, "光ファイバセンサ(基礎と應用)", 情報調査會, 1986.
- [3] 박해수, "과전류 계측을 위한 광자계센서의 구현," 대한 전기학회 하계학술대회, 7월 21. 1997.

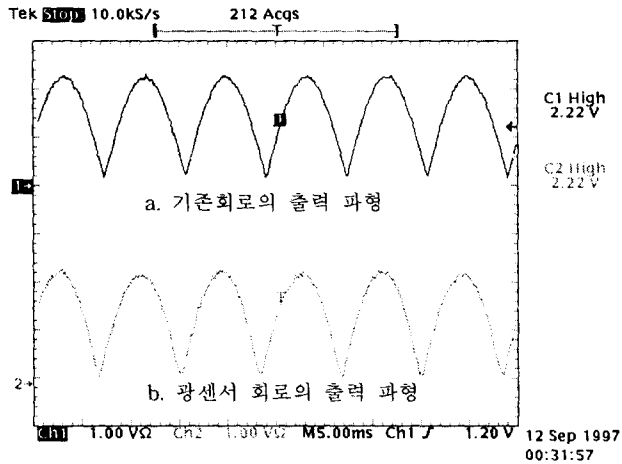


그림 5. 기존 회로와 광센서회로간의 출력 파형 비교  
 Fig. 5. Output waveform comparison between optical sensor circuit and conventional circuit  
 (전력선 전류 : 500A)

기존의 보호계전부의 CT는 500:5의 전류 변환 비를 설정하였으며, 실험 구성도를 그림 4에 나타내었다. 그림4의 a와 b점에서의 출력 파형을 그림 5에 나타내었으며, 두 파형이 거의 일치함을 알 수 있다.

전류 측정 범위는 실험상의 제약으로 300A - 1,000A에서 수행하였으며, 측정 영역에서의 응답 특성을 그림 6에 나타내었는데, 전 영역에 걸쳐 거의 일치함을 알 수 있다. 더 큰 전류영역에서의 광센서의 특성 해석은 [3]에 의해서 30kA까지는 선형성이 보장됨을 알 수 있다.

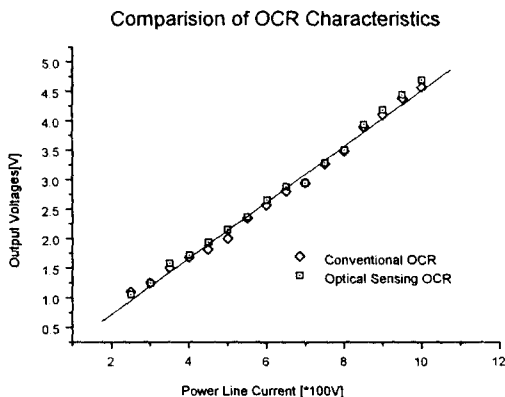


그림 6. 기존회로와 광센서회로간의 출력특성 비교  
 Fig. 6. Output characteristic comparison between optical sensor circuit and conventional circuit

## 5. 결 론

기존의 전력계통에서의 보호계전은 철심형 변류기를 이용하