

Pockels 효과를 이용한 광전압센서에 관한 연구

박해수<sup>○</sup>, 김영수, 김요희  
한국전기연구소

A study on optical voltage sensor using Pockels effect

Haesoo Park, Youngsoo Kim, Yohee Kim

Korea Electrotechnology Research Institute

ABSTRACT

For the purpose of increasing supply reliability in power line, high reliable voltage and current sensors must be needed. This paper describes the principle and result of the only optical voltage sensor based on BSO pockels cell.

I. 서론

전력계통에서 전기적 절연, 전자파로부터의 면역성, 방폭성등이 요구됨에 따라 이러한 특성을 가지는 광을 이용한 전류, 전압 측정장치 개발이 활발히 이루어지고 있다. 따라서 본 논문에서는 Pockels 효과를 이용한 광전압센서의 이론과 실험결과에 대해 간단히 설명하였다. 특히 일반적으로 온도특성이 좋은 Bi<sub>12</sub>SiO<sub>20</sub> (BSO) Pockels 소자를 사용하여 광전압센서를 설계하고, 그 실험결과를 보였다.

II. 이론

전기광학효과를 가지는 결정 (Bi<sub>12</sub>SiO<sub>20</sub>, Bi<sub>12</sub>GeO<sub>20</sub>, Li<sub>12</sub>NbO<sub>3</sub> 등)은 그림1과 같이 직선편광된 빛이 전계의 영향으로 직교성분의 굴절율이 변한다. 이때 전계의 1차에 비례하는 효과를 Pockels 효과라 한다. 본 논문에서는 온도특성이 일반적으로 양호한 BSO 소자를 사용하여 실험하였다.

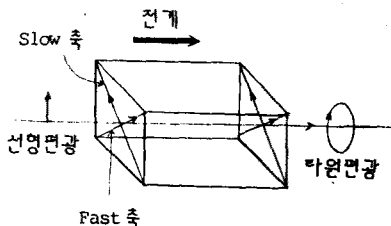


그림 1. Pockels 효과

Pockels 효과소자의 Jones 행렬은 (1) 식과 같이 표현된다.

$$[T] = \begin{bmatrix} e^{j\phi} & 0 \\ 0 & e^{-j\phi} \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서  $\phi = \frac{\pi V}{V_{\pi}}$

$$V_{\pi} = \frac{\lambda_0}{2n^3\gamma_{41}}$$

- V : 인가전압
- V<sub>π</sub> : 반파장 전압
- λ<sub>0</sub> : 사용광파장
- n<sub>o</sub> : 굴절율
- γ<sub>41</sub> : Pockels 계수

와 같이 표현된다. 특히 BSO 소자의 광학특성은 0.87μm의 파장에서 n<sub>o</sub>=2.45이며 γ<sub>41</sub> = 4.35X10<sup>-12</sup> (m/V)이다. 따라서 반파장 전압 V<sub>π</sub>는 약 6.6kV 정도가 된다. 엄밀히는 BSO 소자의 선광성을 고려해야하나

실제 무시할 수 있을 정도이다. Pockels소자(BSO)를 이용한 전압특성 센서의 구성도는 그림2와 같고 센서 내에서의 편광상태는 그림3 과 같다.

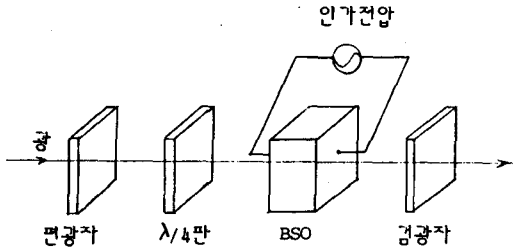


그림 2. 광전압 센서의 구성

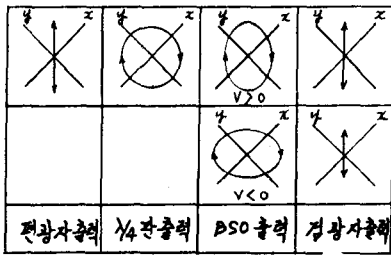


그림 3. 센서내부의 편광상태

입력광을  $E_0$ 라 두고 출력광 값을 Jones 행렬을 이용하여 구하면

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} E_0 \\ E_1 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^{j\frac{\pi}{4}} & 0 \\ 0 & e^{-j\frac{\pi}{4}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e^{j\frac{\pi}{4}} & 0 \\ 0 & e^{j\frac{\pi}{4}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{E_0}{\sqrt{2}} \\ \frac{E_1}{\sqrt{2}} \end{bmatrix} \\
 &\quad \text{검광자출력} \quad \text{BSO} \quad \text{λ/4판} \quad \text{편광자} \\
 &\quad \text{X축과45°} \\
 &= \begin{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{2}} & \frac{1}{\sqrt{2}} \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{E_0}{\sqrt{2}} e^{j(\frac{\pi}{2}-\frac{\pi}{4})} \\ \frac{E_1}{\sqrt{2}} e^{j(\frac{\pi}{2}-\frac{\pi}{4})} \end{bmatrix} \quad (2)
 \end{aligned}$$

(2)식에서 검광자에 평행한 광파  $E_{11}$  는

$$\begin{aligned}
 E_{11} &= \frac{E_0}{2} \left\{ e^{j(\frac{\pi}{2}-\frac{\pi}{4})} + e^{-j(\frac{\pi}{2}-\frac{\pi}{4})} \right\} \\
 &= E_0 \cos\left(\frac{\pi}{4}-\frac{\pi}{4}\right) \quad (3)
 \end{aligned}$$

이며, 광의 강도는 전계성분의 2승이므로

$$\begin{aligned}
 \frac{\text{출력광강도}}{\text{입력광강도}} &= \frac{E_{11}^2}{E_0^2} = \cos^2\left(\frac{\pi}{2}-\frac{\pi}{4}\right) \\
 &= \cos^2\frac{1}{2}(\phi-\frac{\pi}{4}) \\
 &= \frac{1}{2}(1+\sin\phi) \\
 &= \frac{1}{2}\left[1+\sin\left(\frac{\pi V}{V_R}\right)\right] \quad (4)
 \end{aligned}$$

가 된다.

인가전압과 출력광강도의 관계를 그림4에 나타내었다. 여기서  $\pm 1000V$ 의 전압인가시 생기는 광강도 변조방식의 오차율은  $\pm 2\%$  정도가 된다.

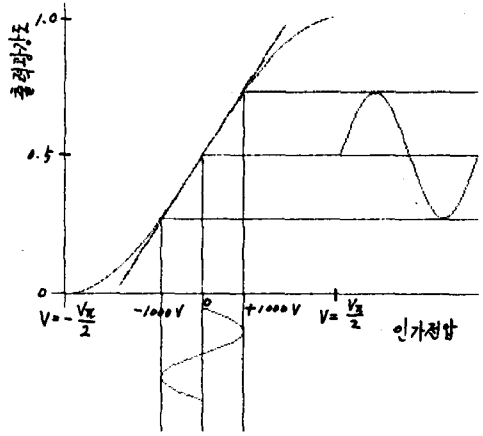


그림4. 인가전압과 출력광강도의 관계

### III. 실험 및 결과 고찰

그림2에서와 같이 전압센서를 구성하고 BSO 양면(광로방향)에 전압을 직접 인가하여 변조된 광강도 값을 O/E 변환기를 통해 출력값을 측정할 결과 표1과 같은 값을 얻을 수 있었다. 이 값을 그래프로 그려 보면 그림5와 같이 양호한 직선성을 볼 수 있다. 단 700V 이상에서 약간의 오차를 보이기 시작해 1000V에서 최대 6.5%의 오차율을 보이고 있다.

즉, 이러한 현상은 신호처리부(O/E, E/O) 및 물리적 광손실등이 오차의 요인에 크게 작용할 것으로 생각된다. 입력전압이 200V 일때의 입.출력 파형을 그림6에 나타내었다.

표1. 입력전압에 대한 출력전압

입력 전압 (Vrms)	출력 전압 (Vrms)
50	0.47
100	1.00
150	1.52
200	2.03
250	2.56
300	3.05
350	3.55
400	4.07
450	4.54
500	5.04
550	5.56
600	6.02
650	6.50
700	6.93
750	7.31
800	7.84
850	8.24
900	8.69
950	9.01
1000	9.35

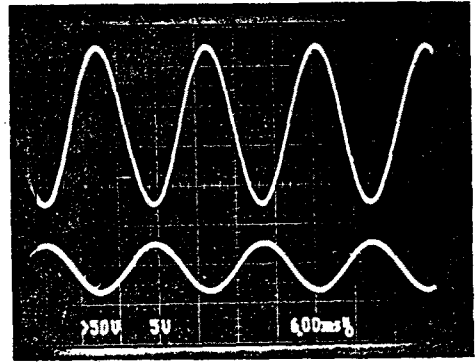


그림6. 입력전압이 200V일때의 입-출력파형

그리고  $-20^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$ 의 온도범위에서 최대오차  $\pm 1\%$ 이내의 양호한 온도특성을 확인했으며 그 특성 그래프는 그림7과 같다.

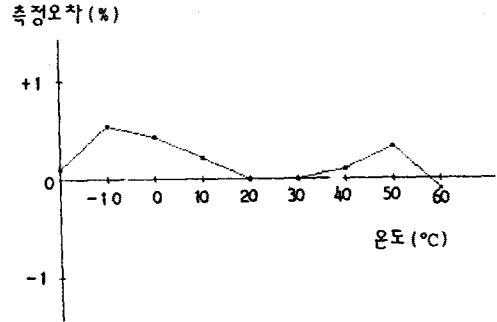


그림7. 광전압센서의 온도특성

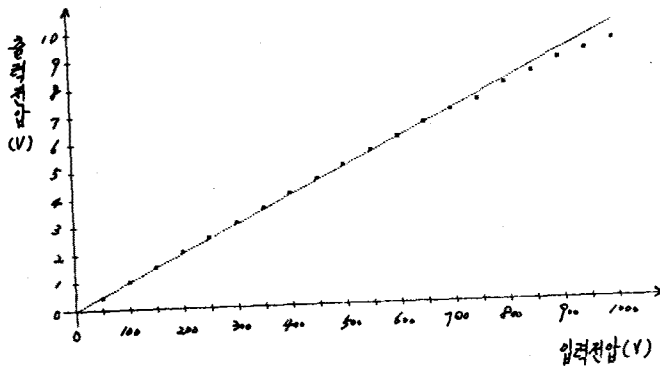


그림8. 입출력 특성

## IV. 결론

BSO 전압센서를 이용한 전압(전계) 측정결과 1KV 까지의 양호한 특성을 확인할 수 있었으며 현 시점에 서는 더 높은 전압측정시 PD (Potential Divider) 가 필요하나 앞으로 고압에서 측정가능한 전압센서 개발 을 연구중에 있으며 실현 가능하리라 본다.

그 해결 방법으로는 검광방식의 개선책과 내전압 및 전기광학효과가 우수한 전압센서 개발에 있으며 현재 일반적으로 사용되는 검광방식은 지금까지 설명된 검 광자를 이용한 강도변조 방식인데 그 특성이 Sin함수 를 따라 감으로서 생기는 오차율이 직선성 저하에 크 게 요인이 되고 있다. 따라서 검광방식이 직선성을 유지할 수 있는 방안이 필요하다. 또한 전압센서의 내전압이 높을 수록 고전압이나 서지 (Surge) 측정도 가능하리라 본다.

## 참 고 문 헌

- [1] M. Miyauchi, M.Kurihara "Development of di-  
stribution automation system using advanced  
information technology (part II) Development  
of optical voltage sensor and current sensor  
for distribution system" , 1985
- [2] Edward A. Lacy "FIBER OPTICS", 1982
- [3] 김요희외 "전력용 광계측 시스템 개발연구 (II)  
과기처 특정연구 보고서, 1988
- [4] 浜崎祐司의 "光ファイバ 電圧計とその  
応用", 1981.5

본 연구는 과학기술처 특정연구 개발사업의 연구결과 중 일부임.