

## 광-음향소자와 광굴절 크리스탈을 이용한 시간적분 상관기

### A Time Integrating Correlator using the Acousto-Optic Device and Photorefractive Crystal

金 慶 泰\*

(Kyung Tae Kim\*)

#### 요 약

본 연구에서 광-음향 상관기에 시간적분을 하는 소자로써 광굴절 크리스탈을 사용했다. CCD를 이용한 시간적분 상관기의 구조에서 출력 상관신호에는 바이아스가 내포되어 있어서 이 바이아스가 상관기의 실효 동적범위를 제한시킨다. 광굴절 크리스탈에서 공간변화를 받지 않는 광은 누적 바이아스를 출력하지 않으므로 광굴절 크리스탈을 시간적분 검출기로 이용하면 바이아스없이 상관신호를 기록 및 검출할 수 있었다. 또한 선형성, 동적범위 및 적분시간과 같은 중요한 특성을 제시하였다.

#### ABSTRACT

In this paper, a photorefractive crystal is utilized as an output device, specifically as a time integrating detector for an acousto-optic correlator. In a standard time integrating acousto-optic architecture which uses CCDs, the output correlation signal is presented which includes bias. This results in a limitation on the effective dynamic range of the correlator.

In a photorefractive crystal, light without spatial variation does not produce a cumulative bias signal and hence when the photorefractive crystal is used as the integrating detector, the correlation signal can be recorded and read out without bias. Important characteristics such as linearity, dynamic range and integration time are also presented in this paper.

#### I. 서 론

광 신호처리 시스템에서 잡음에 묻힌 신호의 검출 및 송수신 신호간의 지연시간등을 감지하기 위하여 광시간적분 상관기가 사용되어야 하는 필요성이 크게 요구되고 있으며, 또한 시간적으로 변화하는 전기신호를 광학적으로 상관신호(Correlation Signal)를 실시간(Real-Time)으로 검출하기 위해 광시간적분 상관기가 광범위하게 사용되어 왔다.<sup>(1-6)</sup> 종래의 포토마스크 회절격자에 의하여 광시간적분 상관기를 구성하면 입력신호가 많을수록 포토마스크상에 웨이팅함수(Weighting Function)를 부호화하는 작업이 증가하므로 실시간으로 신호처리 하는데 문제가 되었다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 AOD(Acousto-Optic Device)를 사용하면 전기신호에 의해 회절격자의 간격을 실시간으로 변화시킬 수 있어서 광신

호처리에 광범위하게 사용되었다.<sup>(1,5)</sup>

Turpin<sup>(1)</sup>에 의해 실질적인 광시간적분 상관기가 구축되기 시작하였는데 그는 AOD에 의해 형성된 상관신호를 검출하였으나 별도의 RF발진기가 시스템에 필요하였고 광검출기에 입사하는 광강도레벨이 낮아서 상관신호를 검출하는데 어려움이 있었다. 그후 AOD와 광검출기인 CCD를 이용하는 광시간적분 상관기에 대하여 많은 연구<sup>(6)</sup>가 있었으며, 특히 광신호처리를 위해 종래에는 CCD의 적분시간을 조정하는 전자회로가 별도로 필요하여서 신호검출을 위해 번거롭게 적분시간을 조정해야 하는 어려움이 있었다.

본 연구에서는 상관신호를 용이하게 검출할 수 있고 시스템의 처리이득(Processing Gain)을 보다 높이기 위해, 광검출기인 CCD 대신에 광굴절 크리스탈을 사용하여 바이아스(Bias)를 쉽게 제거할 뿐만 아니라 광학적으로 용이하게 적분시간을 조정할 수 있는 시스템을 구축하여 성능평가의 제시 및 상관신호의 검출에 대하여 설명한다.

\*경원대학교 전자공학과  
Dept. of Electronics Eng., Kyungwon Univ.  
접수일자: 1996년 2월 14일

## II. 시간적분 검출기인 광굴절 크리스탈

BSO, LiNbO<sub>3</sub> 등과 같이 광전기 계수가 큰 비선형 결정에 광이 조사되면 입사된 광에너지에 의해 내부의 전하가 이동하여 결정내에 강한 전계가 발생된다. 이 전계로 인해 결정의 굴절률이 변하여 격자(Grating)가 형성된다. 이 현상을 광굴절(Photorefractive)이라 하며 이 현상을 이용하는 광굴절 크리스탈에 입사하는 광의 강도는

$$I(x, t) = \begin{cases} 0 & t < 0 \\ I_0 + Re\{I_1(x, t) e^{ik/2\pi x}\} & t > 0 \end{cases} \quad (1)$$

이며, 여기서  $k/2\pi$ 은 격자의 공간주파수,  $I_0$ 는 입력신호의 DC에 대한 광의 강도,  $I_1(x, t)$ 는 정보를 내포하고 있는 입력신호에 대한 광의 강도를 나타낸다. 입사광이 광굴절 크리스탈을 통과하여 빠져나온 출력광의 강도  $I_{out}(x, t)$ 에 대한 표현은 Kukhtarev 모델<sup>(8)</sup>을 이용하면 된다.

$$I_{out}(x, t) = I_R \left| \frac{K_1}{\tau} \int_0^t \frac{I_1(x, t')}{I_0} e^{\frac{t-t'}{\tau}} dt' \right|^2 \quad (2)$$

여기서  $K_1$ 은 복소계수(complex coefficient)인데 광굴절 크리스탈의 매질의 파라미터, 격자공간주파수 및 가해지는 전계의 크기에 따라 값이 변화되며,  $\tau$ 는 광굴절 크리스탈의 복소시정수로서 특히 매질의 파라미터에 따라 변화되고,  $I_R$ 은 상관정보취득(Correlation Readout Beam)의 강도이다. 식(2)를 푸리에 성분으로 나타내면

$$I_{out}(x, t) = I_R \left| \frac{K_1}{\tau} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\tilde{I}_1(x, \omega)}{(1/\tau + i\omega) I_0} e^{i\omega t} d\omega \right|^2 \quad (3)$$

이며, 여기서  $\tilde{I}_1(x, \omega)$ 는  $I_1(x, \omega)$ 의 푸리에변환이다.  $Re\{1/\tau\}$ 은 광굴절 크리스탈의 단일격자에 대한 상승시간의 역수를 나타내므로, 식(3)은 마치 차단주파수  $Re\{1/\tau\}$ 으로 입력을 변조시키는 저역통과필터로 간주할 수 있다. 따라서 시간적으로 변화하고 있는 강도패턴에 대한 광굴절 크리스탈의 응답은 슬라이딩 적분창(Sliding Integrating Window)을 갖는 시간적분기의 응답과 같으므로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$I_{out}(x, t) = \left| \frac{K_1}{\tau} \int_{t-\tau'}^t \frac{I_1(x, t')}{I_0} dt' \right|^2 I_R \quad (4)$$

$\tau'$ 는 광굴절 크리스탈에서 격자를 기록하는 시간을 나타내며, 광굴절 크리스탈을 빠져나오는 출력광의 강도는  $\tau'$  시간내에서 신호  $I_1(x, t)$ 의 자승에 비례하게 된다.

출력정보를 바이아스에 무관하게 하고 시간적분 상관시스템의 처리이득(Processing Gain)을 향상시키기 위해 광굴절 크리스탈을 시간적분 검출기로 사용하는 시간적분 상관기에 대해 검토해 보기로 한다.

## III. 시간적분 상관기

광신호처리에서 시간을 적분하는 기법은 매우 광범위하게 사용되었다. 대표적인 시간적분 상관기는 두개 AOD(Acousto-Optic Device)을 입력소자로써 사용하며 출력단에는 광검출기인 CCD(Charge Coupled Device)를 사용하고 있다(그림1).

전기신호를 AOD중 어느 하나에 인가하면 이 전기신호가 AOD의 트랜스듀서(Transducer)에서 발생하는 음파를 변조시키게 되는데, 이 변조된 음파가 AOD 매질의 굴절률을 실시간으로 변화시키게 된다. 따라서 AOD에 의해 시간적으로 변화하는 전기신호를 공간적으로 변화하는 광신호로 변화되어 위상홀로그래프를 만들게 된다.

이 시스템의 기본동작은 두개 AOD에 의하여 빠져나온 광은 광-음향효과에 의해 회절되며, 이 회절출력빔은 렌즈시스템에 의하여 광검출기인 CCD에 맺히도록 하고 있다.

두개 AOD에 인가하는 입력신호를 각각  $S_1(t)$  및  $S_2(t)$ 라 하면 광검출기에 의해 검출된 광의 강도는

$$I_0(x, t) = \int_{t-\tau_d}^t |S_1(t'-x/v) e^{-i\omega x/v} + S_2(t'-x/v) e^{i\omega x/v}|^2 dt' \quad (5)$$

이며, 여기서  $\tau_d$ 는 CCD의 적분시간,  $\omega$ 는 음파의 중심주파수,  $v$ 는 AOD의 음파속도이다.

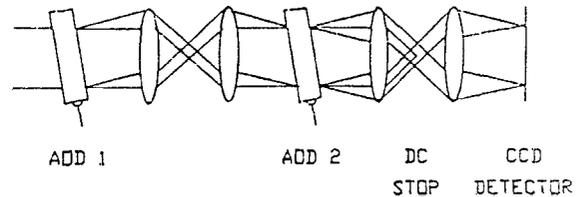


그림 1. 기존의 시간적분 상관시스템

입력신호가 2진이거나 위상변조된 신호인 경우에  $|S_1(t)|^2$ 와  $|S_2(t)|^2$ 의 크기는 일정하므로 광검출기의 광의 강도는 다음과 같다.

$$I_0(x, t) = [|S_1(t)|^2 + |S_2(t)|^2] \tau_d + 2Re \left\{ \left[ \int_{t-\tau_d}^t S_1(t-x/v) S_2^*(t+x/v) dt \right] e^{i2\omega x/v} \right\} \quad (6)$$

따라서 식(6)으로부터 광검출기의 출력은 바이아스인  $|S_1|^2$ 과  $|S_2|^2$ 과  $2\pi/v$ 인 공간캐리어로 두 입력신호를 변조한 결과인 상관(Correlation)이 내포되어 있다.

위에서 언급한바 대로 상관을 얻으려면 두 가지 문제점이 있다. 첫째로, 공간캐리어 때문에 광검출기의 분해능

을 더 높여야 하여 이 시스템의 분해능은 입력신호의 공간대역적(Space-Bandwidth Product)에 의해 주로 결정된다. 둘째로, 바이아스가 상관기의 동적범위(Dynamic Range)를 작게하여 시스템의 처리이득을 감소시킨다.

동적범위를 유지시키기 위해서, 상관신호와 바이아스를 분리해야 하므로 분리하는 방법은 상관정보를 높은 주파수를 갖는 공간캐리어로 변조하는 방법을 사용해야 한다.

시간적분 상관기의 주된 용도는 잡음에 묻힌 신호를 검출하기 위해 사용되므로, 입력신호가 백색잡음에 묻혀 있다고 하자(즉,  $S_1(t) = S(t)$ ,  $S_2(t) = S(t) + n(t)$ ).

기존의 시간적분 상관기에서 출력은 다음과 같다.

$$V_0(x, t) \propto \int_{t-\tau}^t |S(t-x/v) + n(t-x/v)| e^{-i\omega x/v} + S(t+x/v) e^{i\omega x/v} |^2 dt \quad (7)$$

신호와 잡음이 아무런 상관관계가 없고  $|n(t)|^2$ 이 일정하다고 하였을 때, 이 시간적분 상관기의 출력은

$$V_0(x, t) \propto [|S(t)|^2 + |n(t)|^2] \tau_d + \left[ \int_{t-\tau}^t S(t-x/v) S^*(t+x/v) dt \right] \cos(2\omega x/v) \quad (8)$$

이므로, 상관신호의 강도는 일정한 반면에 잡음은 바이아스를 보다 더 증가시키게 된다.

광검출기의 동적범위를 DR로 표시하고 광검출기에 입사하는 광의신호 대 바이아스의 비를 SBR이라하면, 상관기의 실효 동적범위는 다음과 같다.

$$DR' = DR \left[ \frac{SBR}{1 + SBR} \right] \quad (9)$$

잡음이 신호보다 강한 경우, 상관기의 실효동적범위는 감소되므로 광검출기의 실효 동적범위가 적을수록 광검출기가 보다 빨리 포화되어서 적분시간은 짧아진다.

잡음에 묻힌 신호를 검출하는 능력을 처리이득이라 하는데, 이것을 출력상관신호의 S/N비 대 입력신호의 S/N비로 정의된다. 상관시스템의 처리이득은

$$Gain = \frac{SNR_{out}}{SNR_{in}} = \tau_d BW \quad (10)$$

이며, 여기서 BW는 입력신호의 대역폭,  $\tau_d$ 는 광검출기의 적분시간이다. 따라서 바이아스의 존재가 광검출기의 최대적분시간을 짧게 하여서 시간적분 상관기의 처리이득을 감소시킨다.

광검출기에 입사하는 광의 양을 감소시킴으로써 이 상관기의 적분시간을 길게 할 수 있으나 광검출기 내부에서 발생된 잡음이나 암전류(Dark Current)에 의해 제한

을 받는다.

#### IV. 광굴절 크리스탈

시간적분을 위해 앞에서 언급된 바와 같이 광검출기의 분해능이 상관신호 및 공간캐리어를 샘플하려면 충분히 높아야 하며, 적분시간을 보다 길게 하려면 광검출기의 동적범위가 보다 넓어야 하는 요구조건이 있다.

이러한 요구조건을 만족시키려면 광굴절 크리스탈의 분해능은 최소한 1000 lines/mm, 적분시간은 최소한 수 초가 되어야 한다. 광굴절 크리스탈을 시간적분 검출기로 사용될 때, 이 크리스탈에 입사하는 광의 강도는 다음과 같다.

$$I_{inc} \propto |S_1(t)|^2 + |S_2(t)|^2 + 2\text{Re}\{S_1(t-x/v) S_2^*(t+x/v) e^{2i\omega x/v}\} \quad (11)$$

식(4)를 이용하여 광굴절 크리스탈을 빠져나온 광의 강도는

$$I_0(x, t) \propto \left| \frac{K_1}{|S_1(t)|^2 + |S_2(t)|^2} \left[ \int_{t-\tau}^t S_1(t-x/v) S_2^*(t+x/v) dt \right]^2 \right| \quad (12)$$

이며, 여기서  $\tau$ '는 광굴절 크리스탈의 격자를 기록하는 시간이다. 따라서 이 시스템의 출력은 상관적분의 자승에 비례하는 크기를 갖는다. 광굴절 크리스탈을 검출소자로 사용하고 있는 시간적분 상관시스템(그림 2)에서, 이 시스템의 기본구조를 언급하면, 두개 AOD으로 구성된 기본구조와 광굴절 크리스탈에 기록된 상관정보를 얻기 위하여 보조빔(Auxiliary Beam)을 조사했으며, 시간적분을 위해 CCD앞에 검출소자로 광굴절 크리스탈을 삽입하였다.

본 연구에서, 두개 flint AOD소자 및 광원은 아르곤 이온 레이저(Argon Ion Laser,  $\lambda = 488\text{nm}$ )을 사용했다.

AOD의 중심주파수는 70MHz, 음파속도는 4Km/sec, Bragg각은  $0.2^\circ$ 이었으며 자기상관(Autocorrelation)을 얻기위해 대역폭  $\Delta f = 5\text{MHz}$ 인 chirp신호를 AOD에 인가하였다.

광굴절 크리스탈은 BSO(Bismuth Silicon Oxide) 크리스탈로 사용하였고, 이 크리스탈의 방향은  $\langle 110 \rangle$ , 크기는  $15 \times 15 \times 2\text{mm}$ 이었다. 또한 광굴절 크리스탈의 회절효율을 높이기 위해 횡방향으로 6Kv/cm 전계를 가하였다.

그림 2에 나타내지는 않았지만 BSO 크리스탈의 전 aperture를 조사하기 위해 AOD의 출력단에 Cylindrical 렌즈를 사용했으며 이 크리스탈에 입사하는 광의 평균강도는  $1\mu\text{w}/\text{cm}^2$ 되게 하였다.

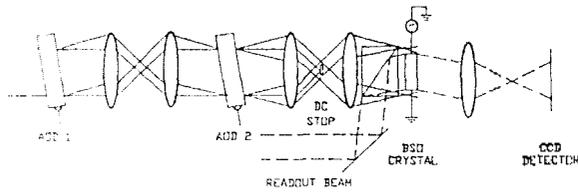


그림 2. 광굴절 크리스탈을 이용한 시간적분 상관시스템

상관신호를 검출하기 위해 보조빔으로서 출력  $150 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 인 He-Ne 레이저( $\lambda=633\text{nm}$ )를 사용하였으며 최절빔을 관찰하기 위해 CCD를 사용하였다.

그림 3은 기존의 시간적분 상관 시스템에서 AOD<sub>1</sub> 및 AOD<sub>2</sub>에 가하는 입력신호들이 잡음이 없고 진폭이 서로 같이 하였을때 CCD로 검출한 출력이며, 자기상관피크(peak)와 더불어 강한 bias가 나타났다.

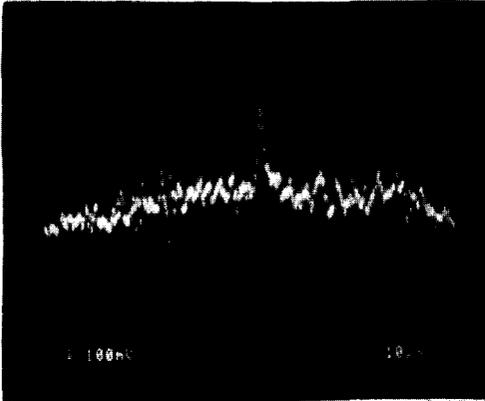


그림 3. 기존의 시간적분 상관기에서 잡음이 없을때 두개 chirp 신호에 대한 자기상관

잡음이 없을시 비교적 높은 SBR을 갖게 되며 잡음이 있는 경우에는 출력신호의 길이 떨어져서 시스템의 실효동적범위가 감소하게 된다.



그림 4. 광굴절 크리스탈을 이용한 시간적분상관기에서 잡음이 없을때 두개 chirp신호에 대한 자기상관

그림 4는 광굴절 크리스탈로 시간적분 하였을때의 상관출력인데 이 경우 광굴절 크리스탈에서 적분할때 발생되어진 바이아스는 모두 제거되나 CCD의 암전류때문에 약간의 바이아스가 남게 된다.

CCD의 적분시간을 길게 할수록 CCD의 암전류가 보다 크게 나타나므로 상관정보 취득 빔의 강도  $I_R$ 을 크게 함으로써 암전류를 최소화할 수가 있다. 따라서 암전류의 최소화되는 CCD의 요구하는 적분시간을 보다 감소시킬 수 있으므로 광굴절 크리스탈을 검출기로 이용하는 시스템(그림 2)이 기존의 시스템(그림 1)에 비해 실용화하기가 보다 용이한 장점을 갖게 된다.

광굴절 크리스탈을 검출기로 이용하는 시간적분 상관 시스템은 기존의 시간적분 상관 시스템에 비해, 또 다른 장점으로는 구조상 광굴절 크리스탈 검출기를 빠져나온 출력빔을 코히런트 광빔으로 사용할 수 있다. 즉, 광굴절 크리스탈 검출기로 부터 얻은 상관신호를 코히런트 광신호처리 시스템의 입력으로 바로 사용할 수가 있어서 또 다른 공간 광변조기(Spatial Light Modulator)가 필요하지 않는다.

### V. 성능 평가

앞에서 언급한 바와 같이 광굴절 크리스탈을 광검출기로 사용하여 상관신호를 검출하는 것이 기존의 시스템에 비해 장점이 많으므로 성능평가로써 이 시스템의 선형성(linearity), 적분시간, 동적범위 및 감도(Sensitivity)에 대하여 검토해 본다.

#### 1. 선형성

비선형성은 AOD소자의 회절효율이 수% 초과하거나 광검출기가 포화상태로 구동될때 발생한다.

광굴절 크리스탈을 이용하는 시간적분 상관기에서 출력광의 강도는 비선형성인데, 이것은 광굴절 크리스탈의 매질과 상관신호를 추출할때 자송법칙의 검출때문이다.

비선형 관계를 살펴 보기위해 기준신호를  $v_1(t) = s(t)$ , 입력신호를  $v_2(t) = aS(t)$ 라 하자. 여기서 a는 진폭이다 ( $0 < a < 1$ ).

상관 피이크에서 광굴절 크리스탈에 입사하고 있는 광의 강도는 다음과 같다.

$$I(x, t) \propto (1 + a^2 + 2a \cos kx) |S(t)|^2 \tag{13}$$

식(8)을 이용하면 CCD의 출력광의 강도는 BSO 크리스탈의 공간격자의 변조도(m)의 자송에 비해하게 된다.

$$I_{out} \propto m^2 = \left| \frac{2a}{1+a^2} \right|^2 = \frac{4a^2}{1+a^2} \tag{14}$$

그림 5은 상관피이크 대 공간격자의 변조도에 대하여 구한 이론치와 실험치를 비교한것으로, 식 (14)에 구한

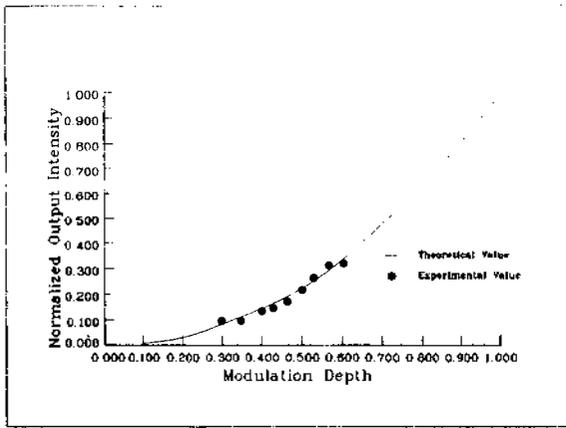


그림 5. 상관피이크 대 변조도

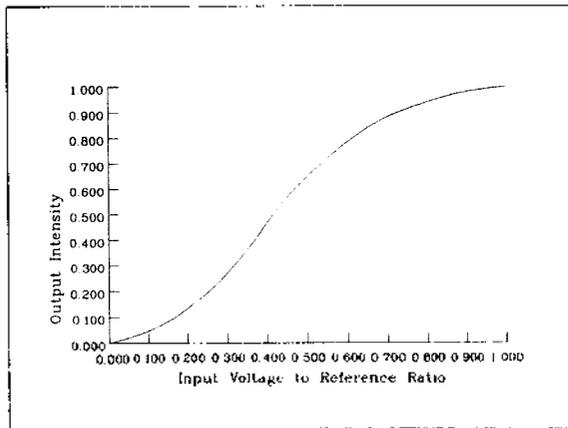


그림 6. 상관피이크 대 입력신호의 진폭비

수 및 가해지는 전계에 따라 값이 변화된다.

광굴절 크리스탈을 이용하는 시간적분 상관기의 적분 시간은 크리스탈에 입사하는 광의 양을 감소시킴으로써 보다 길게 할 수 있고 광의 양은 시스템의 처리이득을 높이기 위해서 매우 중요하다.

그림 7은 광굴절 크리스탈에 입사하는 광의 양 내 광굴절 크리스탈의 상승시간의 역으로 나타낸 것이다. 최소 적분시간은 광굴절 크리스탈 내부의 열에 의해 제한을 받게되며 최대 적분시간은 광굴절 크리스탈에 입사되는 최대량의 강도에 의해 제한을 받게된다. 본 연구에서, 적분시간은 BSO 광굴절 크리스탈으로 실제에 광신호처리에서 많이 사용하는 시간인 30msec로 조정할 수 있었다 (그림 7).

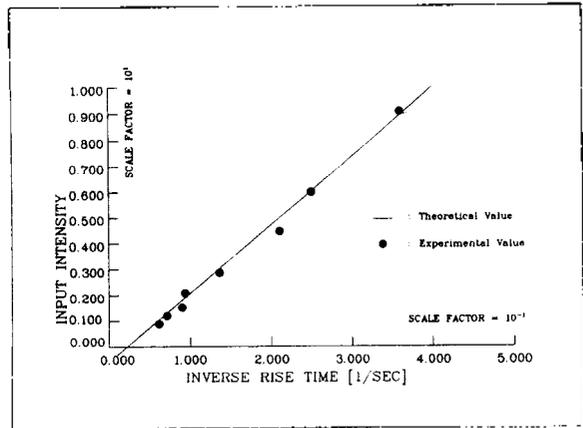


그림 7. 입력강도 대 상승시간의 역수

이론값과 실험값이 비교적 잘 일치하였다.

그림 6은 입력신호의 진폭a의 함수로써 나타낸 출력광의 강도를 나타내며 입력신호와 출력신호간의 관계가 비선형임을 알 수 있어서 이것이 하나의 단점이 된다. 그러나 상관기가 신호검출용만으로 사용될때는 크게 문제시 되지 않는다.

2. 적분시간

광굴절 크리스탈을 사용하지 않은 시간적분 상관기에서 적분시간은 CCD의 암전류에 의해 제한을 받게 된다. 광굴절 크리스탈을 검출기로 사용될때 크리스탈 내부의 공간전계의 상승시간에 의해 적분시간이 결정되므로 크리스탈의 격자를 기록하는 시간보다 짧게 하여 상관신호를 검출할 수 있다.

광굴절 크리스탈의 적분시간은

$$\tau' = \frac{|\tau|^2}{\text{Re}\{\tau\}} = \left| \frac{K_2}{I_0} \right| \tag{15}$$

이며, 여기서  $K_2$ 는 크리스탈의 매질, 캐리어의 공간주파

3. 동적범위와 감도

광굴절 크리스탈을 이용하는 시간적분 상관시스템의 동적범위를 구하기 위해, 광검출기인 광굴절 크리스탈의 동적범위를 결정 해야한다. 광굴절 크리스탈의 동적범위는  $DR_{PR} = m_{max}/m_{min}$ 로 정의되는데  $m_{max}$ 는 크리스탈에 정보를 기록할 때 크리스탈 격자의 최대 변조도이며  $m_{min}$ 은 상관신호가 잡음을 극복하며 검출될 수 있을때 크리스탈 격자의 최소 변조도이다. 입력신호를  $v_1(t) = as(t)$ ,  $v_2(t) = s(t)$ 라 하면 광굴절 크리스탈에 입사하는 광의 변조도 m은  $\frac{2a}{1+a^2}$  이 된다.

이 시스템으로 상관신호를 검출할 수 있는 최소 입력신호의 진폭은 다음과 같다.

$$a_{min} = \frac{m_{min}}{2} = \frac{1}{2DR_{PR}} \tag{16}$$

식 (16)으로부터 변화할 수 있는 a의 범위는 광굴절 크리스탈의 동적범위  $DR_{PR}$ 에 의해 제한을 받으며, 식 (16)으로부터 광굴절 크리스탈의 동적범위는 다음과 같다.

$$D)R_{TK} \approx \frac{1}{a_{\min}^2} = \frac{4}{m_{\min}^2} \quad (17)$$

광굴절 크리스탈을 이용하는 시간적분 상관기는 바이아스를 사전에 제거하므로 시스템의 동적범위는 광굴절 크리스탈의 동적범위와 같다고 간주할 수 있다. 또한 시스템의 동적범위는 주로  $m_{\min}$  파라미터에 의해 결정된다. 본 연구에서 입력신호의 크기와 기준신호의 크기와의 비율 주의깊게 조정된 결과  $m_{\min}$ 은 0.142이었으며 시스템의 동적범위는 23dB이었다.

상관 시스템의 중요한 성능평가 파라미터는 감도인데, 이것은 상관 피크를 검출할 수 있는 최소 입력S/N비로 정의되며,  $m_{\min}$ 에 따라 값이 변한다. 기준 신호를  $v_1(t) = as(t)$ , 입력신호를  $v_2(t) = bs(t) + n(t)$ 라 하였을때 광굴절 크리스탈의 변조도는 다음과 같다.

$$m = \frac{2ab|S(t)|^2}{(a^2 + b^2)|S(t)|^2 + |n(t)|^2} \quad (18)$$

기준신호의 레벨인 a의 최적 레벨과 최적 변조도는 다음과 같다.

$$a_{opt} = \left( b^2 + \frac{|n(t)|^2}{|S(t)|^2} \right)^{\frac{1}{2}} = b \left( \frac{SNR + 1}{SNR} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (19)$$

$$m_{opt} = \frac{b}{(b^2 + |n(t)|^2/|S(t)|^2)^{\frac{1}{2}}} = \left( \frac{SNR}{SNR + 1} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (20)$$

기준신호의 전력과 입력신호의 전력을 같게 함으로써 기준신호의 레벨이 최적화된다. 즉,  $|v_1(t)|^2 = |v_2(t)|^2$ 이다. 이때에 시스템의 출력단에서 상관 피크를 검출할 수 있는 최소입력 S/N비는

$$SNR_{\min} \approx m_{\min}^2 \quad (21)$$

이며,  $m_{\min} = 0.142$ 일때 본 시스템의 감도는 식 (21)으로부터 -17dB이다.

실험적으로, 입력신호에 잡음을 가하고 동시에 상관피크를 더 이상 관찰할 수 없을때까지, 광검출기의 출력의 강도를 최대가 되도록 하여 기준신호의 레벨을 조절한뒤 감도를 구하였는데 이론치와 비교적 잘 일치하였다.

### VI. 결 론

본 연구에서 광굴절 크리스탈을 시간적분 검출기로 사용하여 시간적분 상관기를 실현하였으며 기존의 시간적분 상관기에 비해 본 상관기는 바이아스를 원천적으로 없애주므로써 시스템의 처리이득이 보다 향상되었다.

본 연구에서 사용한 BSO 광굴절 크리스탈은 저 회절 효율과 기록시간이 짧으며, 특히 잡음에 묻힌 입력신호에 대한 상관출력을 검출할 때 이 크리스탈의 출력 빔의

강도가 떨어지는 단점을 갖고 있다. 따라서 보다 높은 광전계수를 갖는 광굴절 크리스탈을 사용하면 시스템의 회절효율이 보다 향상되리라 생각된다.

### 참 고 문 헌

1. T. Turpin, "Time Integrating Optical Correlators," proc. SPIE, Vol.154, pp.196-203, 1978.
2. W. T. Rhodes, "Acousto-Optic Signal Processing : Convolution and Correlation," Proc. IEEE 69, pp.65-79, 1981.
3. A. P. Goutzoulis and B.V.K. ViJaya Kumar, "Optimum Time-Integrating Acousto-Optic Correlator for Binary Codes," Opt. Commun. Vol.48, pp.393-397, 1984.
4. D. Casasent, "General Time-, Space- and Frequency-multiplexed Acousto-Optic Correlator," Appl. Opt. Vol. 24, pp.2884-2888, 1985.
5. I. D. Bondarenko, A. A. Vetrov and Y.V. Popov, "Analysis of the Errors of the Signal Processing channel of an Acousto-Optic Correlator," Sov. J. Opt. Technol. Vol.56, pp.346-349, 1989.
6. N. Brousseau and R. Brousseau, "Analysis of DNA Sequences by an Optical Time-Integrating Correlator," Appl. Opt. Vol.31, pp.4802-4815, 1992.
7. Duncan T. H. Liu and Li-Jen cheng, "Real-Time VanderLugt Optical Correlator that uses Photorefractive GaAs," Appl. Opt. Vol.31, pp.5675-5680, 1992.
8. N. V. Kukhtarev and V. B. Markov, "Holographic Storage in Electro-Optic Crystals : 1. Steady state," Ferroelectrics, Vol.22, 1979.
9. J. Feinberg, "Real-Time Edge Enhancement using Photorefractive Effect," Opt. Lett. Vol.5, pp.330-332, 1980.
10. Francis T. S. Yu and Shun dong Wu, "Compact Joint Transform Correlator with a Thick Photorefractive Crystal," Appl. Opt. Vol.31, pp.2416-2418, 1992.

▲김 경 태(Kyung Tae Kim) 1954년 12월 19일생  
1978년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)



1980년 8월 : 연세대학교 대학원 전자공학과(공학석사)

1987년 2월 : 연세대학교 대학원 전자공학과(공학석사)

1987년 9월~현재 : 경원대학교 전자공학과 부교수

1991년 12월~1992년 12월 : 미국 펜실베니아 주립대학 객원교수

※주관심분야 : 광영상 및 신호처리, 광통신, 이동통신