

WDM add/drop망에서 EDFA의 새로운 이득제어 방법

준회원 박 정 문*, 종신회원 신 서 용*, 정회원 송 성 호**

A novel gain-clamping technique for EDFA in WDM add/drop networks

Jungmoon Park Associate Member, Seyong Shin Lifetime Member, and Sungho Song Regular Member

요 약

본 논문에서는 파장분할다중(WDM) 첨가(add)/절취(drop)망에서 채널의 add/drop에 따라 망 내에 있는 EDFA의 이득을 제어함에 있어 세계 최초로 외란 관측기법을 적용하는 새로운 이득-클램핑(gain-clamping) 방법을 제안한다. 이득-클램핑을 위한 제어신호는 공칭 제어신호와 채널의 add/drop에 따른 이득변동을 보정하기 위한 부가 제어신호로 구성된다. 외란 관측기법에 근거하여, 부가 제어신호는 채널의 add/drop에 의해 발생하는 추정 외란을 보정할 수 있도록 설계하였다. 이러한 부가 제어신호를 생성하는 회로는 간단한 전자소자를 이용하여 쉽게 구현할 수 있다. 모의실험을 통해 본 논문에서 제안하는 방법을 사용할 때 채널의 add/drop 과정에서 EDFA의 출력 파형에 나타나는 이득변화에 따른 요철이 최소로 됨을 보여줌으로써 본 방법이 기존의 여타 방법들에 비해 유효함을 입증하였다.

Key Words : EDFA; WDM; channel add/drop; gain-clamping; disturbance observer technique

ABSTRACT

We propose, for the first time to our knowledge, a novel gain-clamping method for EDFA in WDM add/drop networks by introducing a disturbance observer technique. The control input signal for gain-clamping is composed of a nominal control signal and an additional control signal of compensating the gain fluctuations caused by channel add/drops. Based on disturbance observer technique, we designed the additional control signal such that it has the compensating information of estimated disturbance resulted from channel add/drops. The circuit for generating additional control signal can easily be implemented by using simple electronic devices. We proved the superiority of the new technique over the previous ones by showing simulation results of minimized dips and spikes that appear in power profile of EDFA in the process of channel add/drops.

1. 서 론

파장분할다중화(Wavelength Division Multiplex-

ing)망에서 망의 능동적인 재구성이나 WDM 채널의 첨가(add) 혹은 절취(drop) 등에 의한 채널 개수의 변화에도 불구하고, 각 채널의 신호레벨을 항상

* 명지대학교 통신공학과 광통신연구실(jungmoon@mju.ac.kr, sshin@mju.ac.kr)

** 한림대학교 정보통신공학부(ssh@hallym.ac.kr)

논문번호 : #030542-1208, 접수일자 : 2003년 12월 8일

※ 본 연구는 광주과학기술원 초고속 광네트워크 연구센터를 통한 한국과학재단 우수연구센터의 지원과 한국과학재단의 해외 post-doc. 연수지원비에 의해 이루어졌음.

일정하게 유지하는 것이 수신단에서의 정확한 신호 검출을 위해 매우 중요하다. WDM 망에서 채널 개수의 변화에 의해 각 채널의 신호레벨이 변화하게 되는 가장 큰 원인은 WDM 신호들이 EDFA를 통과하는 경우이다. EDFA에 첨가된 어븀 이온이 여기(excite)되어 상위 레벨에 머무르고 있는 시간은 (lifetime) 약 10ms이다. 그러나 채널의 add/drop으로 인해 발생하는 파워 천이(power transient)시간은 약 1μs 이내로 상대적으로 매우 작다. 이러한 이유에서 EDFA내부에는 채널 개수 변화에 따라 교차포화(cross saturation)현상이 발생한다[1]. EDFA에 발생된 교차포화현상은 남아있는 채널의 신호레벨에 영향을 주어, 각 채널의 신호레벨이 일정값 이상이 되면 브릴루앙 산란(Brillouin scattering)과 같은 비선형 현상이 일어나거나, 일정값 이하가 되면 수신단의 수신감도(sensitivity)이하가 되어 신호의 품질이 매우 낮아지게 된다. 따라서 EDFA를 지나는 각 채널의 수에 변화가 생기더라도 남아있는 채널의 신호레벨을 일정하게 유지시키는 빠른 동적 이득제어(fast dynamic gain control)가 필수적이다.

EDFA의 이득을 일정하게 제어하는 방법에는 EDFA의 출력을 제한(feedback) 신호로 이용하는 전광학적 방식[2]과, EDFA의 출력 신호를 바탕으로 펌프 레이저의 출력세기를 전기적으로 제어하는 방식[3]이 있다. 전광학적 방식은 EDFA의 완화진동(relaxation oscillation) 주파수보다 채널의 add/drop 주파수(빈도수)가 낮아만 EDFA의 이득을 제어할 수 있다는 문제점을 가지고 있다. 기존의 펌프광의 세기를 제어하는 방식은 채널의 add/drop을 파악한 후 신호처리 과정을 거쳐 펌프 광의 세기를 제어한다. 이 경우, 신호처리 시간과 펌프 레이저의 반응 속도 한계로 인해 EDFA 출력 광 파형에 요철(dips & spikes)이 생기게 된다.

본 논문은 새로운 이득클램핑 방식을 통하여, 기존의 EDFA 이득클램핑 제어방식에서 EDFA 출력 광 파형에 존재하던 큰 요철문제를 해결하고자 한다. 이를 위하여 세계 최초로 외란관측기법(disturbance observer technique)[4][5]을 WDM add/drop망 내 EDFA의 이득클램핑 제어기에 적용했다. 외란관측기법을 적용한 외란관측기(disturbance observer)는 채널의 add/drop되는 신호를 외란(disturbance)으로 간주하여 외란의 유무에 대한 추정신호를 얻을 수 있다. EDFA의 펌프레이저를 이러한 외란 추정신호로 제어함으로써, EDFA의 출력에 존재했던 큰 요철을 최소화 할 수 있다.

본 논문의 II절에서는 EDFA 이득클램핑 시스템의 기본적인 원리와 모델링을 소개하고, 외란관측기 설계에 대해 소개한다. III절에서는 외란관측기법을 적용한 제어기의 모의실험을 통하여 성능이 향상된 것을 입증한후, IV절에서 결론을 맺는다.

II. 이론적 배경

1. EDFA 모델링

EDFA 이득제어기를 설계하기 위해, EDFA의 수학적 모델을 2-레벨상태로 모델링 하였다[7]. 시간과 위치에 따라 여기 되어 있는 이온의 비율을 나타낼 수 있는 비율방정식(rate equation)과, 광자전달방정식(photons propagation equation)은 다음과 같다[8][9].

$$\frac{\partial N_2(z, t)}{\partial t} = -\frac{N_2(z, t)}{\tau} - \frac{1}{\rho A} \frac{\partial P_s(z, t)}{\partial z} - \frac{u}{\rho A} \frac{\partial P_p(z, t)}{\partial z} \tag{1}$$

$$\frac{\partial P_k(z, t)}{\partial z} = \rho u \Gamma_k \sigma_k^T N_2(z, t) P_k(z, t) - \rho u \Gamma_k \sigma_k^A P_k(z, t) \tag{2}$$

$N_2(z,t)$ 는 상위레벨에 있는 이온의 개체수, τ 는 여기된 이온이 상위 레벨에 머무르고 있는 시간 (lifetime)이고 대략 10ms이다. ρ 는 단위 부피에 대한 이온의 수, A 는 유효면적(effective area), $P(z,t)$ 는 단위시간에 대한 광자의 수로 광의 세기(power)를 의미한다. Γ 는 순수하게 기하학적 보정요소(geometric correction factor)로서, 어븀이온의 분포를 가진 중첩요소(overlap factor)이다. 첨자 s는 입력신호, p는 펌프신호, k는 특정채널 k를 의미한다. σ 는 빛을 방출 또는 흡수하기 위한 어븀이온의 능력으로 첨자 a는 흡수, T는 흡수와 방출의 합이다. u는 진행방향을 의미하며, z=0에서 z=L로 진행하면 +1, 그 반대이면 -1의 값을 갖는다. 요약하면, 식 (1)에서 여기상태의 $N_2(z,t)$ 이온은 자연방출(spontaneous emission)에 의한 어븀 이온의 감쇄량 $N_2(z,t)/\tau$ 과 광자의 흡수 또는 방출에 의한 변화량 $\sum_{j=0}^N (\partial P_k(z, t) / \partial z) / \rho A$ 으로 구성되어 있다.

EDFA를 통과하는 신호의 이득이 변화하는 원인은 입력채널 개수의 변화에 따라 EDFA 내부의 여

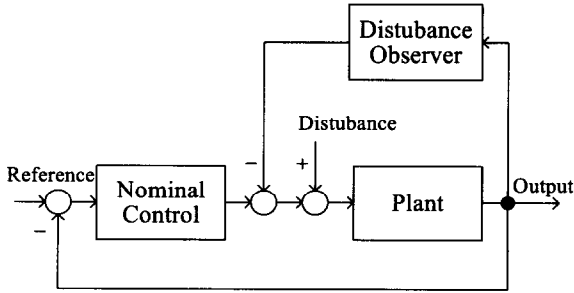


그림 1. 제안하는 제어 시스템의 개략도로써 기존의 공칭제어시스템을 변경하지 않고 외란증폭기를 추가함으로써 EDFA의 이득-클래мп을 할 수 있다.

기된 전체 이온수가 제어되지 않아 발생한다. 이에 외란관측기의 제어를 통해, 채널이 add/drop되어도 EDFA의 여기된 전체 이온수를 일정하게 하겠다.

EDFA의 상위레벨에 여기되어 있는 전체 어븀이온수는 저장소 $r(t)$ 를 사용하여 다음과 같이 정의한다.

$$r(t) = \rho A \int_0^L N_2(z, t) dz \quad (3)$$

식(1)과 식(3)의 관계에 의해 다음과 같은 시간에 따라 변하는 어븀이온의 미분방정식을 얻을 수 있다.

$$\dot{r}(t) = -\frac{r(t)}{\tau} + (1 - e^{-G_0(t)})P_0^{in}(t) + \sum_{k=1}^N P_k^{in} [1 - e^{-G_k(t)}] \quad (4)$$

채널 k의 이득방정식을 구하기 위해 식(2)의 양변을 $P_k(z,t) \neq 0$ 인 $P_k(z,t)$ 로 나누고, EDFA 전체 길이 L까지 적분하면 다음과 같은 채널 k의 이득방정식을 얻을 수 있다.

$$G_k(t) = B_k r(t) - A_k, \quad k = 0, \dots, N \quad (5)$$

여기서 각 B_k, A_k 는 다음과 같이 정의한다.

$$B_k \equiv \frac{\Gamma_k \sigma_k^T}{A} = \frac{h\nu}{P_k^{IS} \tau}$$

$$A_k \equiv \rho \Gamma_k \sigma_k^u L = \alpha_k L$$

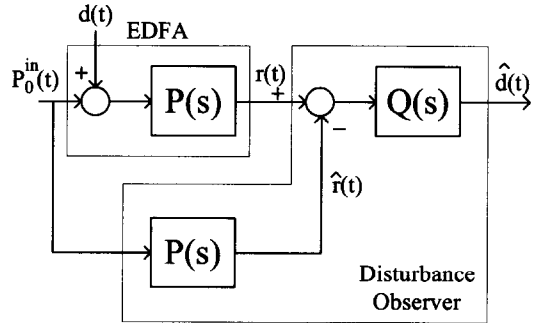


그림 2 제안하는 외란관측기의 개략도로써 저대역 통과필터의 특성을 나타낼 수 있게 전달함수를 설계하였다.

흡수계수(absorption coefficient) a_k 는 파장에 의존적 변수이고, P_k^{IS} 는 EDFA의 고유한 포화에너지(intrinsic saturation power)이다. h 는 플랑크상수(plank's constant)이고, ν 는 신호의 주파수(frequency)이다. 따라서 식(5)의 변수 A_k, B_k 는 EDF의 특성에 기인하여 일정한 값을 가진다. 식(5)에서 알수 있듯이 채널 k의 이득을 변화시키는 요소는 시간에 따라 변하는 저장소뿐이다. 이에 저장소를 일정하게 유지시킴으로써 채널 k의 일정한 이득 $G_k(t)$ 를 얻겠다. 그러나 저장소는 입력 채널의 add/drop에 따라 변한다. 이러한 시간에 따라 변하는 저장소를 일정하게 하는 것은 매우 어렵다. 외란관측기법은 이와같이 변하는 불확실한 외부입력을 추정하고, 보정하는데 월등한 성능이 널리 입증되었다[5]. 이에 외란관측기법을 적용한 외란관측기를 설계하여 채널의 add/drop에 따라 변하는 저장소를 제어 하겠다.

그림 1은 제안하는 제어시스템의 개략도이다. plant는 실제 EDFA로서, 제어의 대상이다. EDFA를 제어하는 전체 시스템은 기존의 공칭제어기(nominal control)와 새로이 제안하는 외란관측기로 되어있다. reference는 공칭제어기가 EDFA 제어에 쓰는 일반적인 사항이다. 채널 개수의 변화가 없는 신호는 공칭제어기에 의해 제어되며, EDFA를 거치면서 증폭된다. 그러나, 만약 채널 개수에 add/drop이 발생하면 공칭제어기는 위치추적(set-point tracking)문제를 해결할 수 있는 비례적분법(PI : Proportional and Integral)으로 외란을 제거시킨다 [6]. 그러나 PI제어법은 자체 시스템 특성에 의해 전체 제어시간이 오래 걸린다. 외란관측기는 채널의 add/drop이 발생했을 때 외란관측기법에 의거해 추정치를 발생한다. 발생된 추정치를 피드백

(feedback)시켜 EDFA 펌프레이저에 제어신호로 사용한다. 펌프에 인가된 제어신호는 EDFA에 입력되는 외란을 빠르게 상쇄시키는 작용을 한다. 이에 외란관측기는 기존의 EDFA 시스템 전체를 교체하지 않고, 추가로 덧붙임으로써 기존의 시스템이 가지고 있는 채널 개수에 변화가 있을 때 EDFA의 출력에 나타나는 큰 요철문제를 해결하고자 한다.

2. 외란관측기 설계

채널의 add/drop에 의한 외란 $d(t)$ 의 정의는 다음과 같다.

$$d(t) \equiv \sum_{k=1}^N P_k^{in} [1 - e^{-G_k(t)}] \tag{6}$$

그림 2는 우리가 사용하고자 하는 외란관측기의 개략도이다. 외란관측기의 $P(s)$ 는 실제 EDFA를 모델링하여 설계하고, $Q(s)$ 는 전체 외란관측기의 전달함수 특성이 저대역 통과필터와 같도록 설계한다. 이와 같이 외란관측기를 설계함으로써, 실제 EDFA에 시간에 따라 변하는 외란이 입력되면, 외란관측기는 EDFA의 출력으로부터 채널 k 에 대한 저장소를 얻고, 외란을 겪지 않은 $P(s)$ 로부터 이상적인 저장소를 얻을 수 있다. $Q(s)$ 는 이 두 저장소의 차이로부터 외란에 대한 추정치 $\hat{d}(t)$ 를 구한다. 외란관측기로부터 구한 추정치를 피드백 시켜서, EDFA의 펌프레이저를 제어하는데 제어신호로 사용한다.

EDFA의 전달특성함수 $P(s)$ 를 구하기 위해 식(4)에 식(6)을 적용하여 정리하면 식(7)와 같다.

$$\dot{\gamma}(t) = -\frac{\gamma(t)}{\tau} + (1 - e^{-G_0(t)})P_0^{in}(t) + d(t) \tag{7}$$

EDFA에 외란이 발생하지 않았거나 또는 안정화 되었을 때 이상적인 상태변수(state variable)는 공칭모델 $\bar{\gamma}(t)$ 으로 정의한다. 이 공칭모델을 라플라스 변환은 다음과 같다.

$$\bar{\gamma}(s) = \frac{1}{s + 1/\tau} (1 - e^{-G_0})P_0^{in}(s) \tag{8}$$

실제 시스템의 상태변수 $\gamma(t)$ 와 공칭모델의 상태변수 $\bar{\gamma}(t)$ 의 차이인 $\gamma(t) - \bar{\gamma}(t)$ 는 외란의 영향을

포함하는 함수가 되고, 이를 라플라스 변환하면 다음과 같다.

$$(\gamma(s) - \bar{\gamma}(s)) = \left(\frac{1}{s + 1/\tau} \right) d(s) \tag{9}$$

식(9)의 양변을 정리하면 다음과 같이 EDFA의 전달특성함수를 정의 내릴 수 있다.

$$P(s) \equiv \frac{L[\gamma(t)]}{L[P_0^{in}(t)]} = \frac{(\gamma(s) - \bar{\gamma}(s))}{d(s)} = \frac{1}{s + 1/\tau} \tag{10}$$

전체 외란관측기의 저대역 통과필터의 특성을 갖게 하기 위하여 $Q(s)$ 를 다음과 같이 설계한다.

$$Q(s) \equiv \frac{L[\hat{d}(t)]}{L[\gamma(t) - \bar{\gamma}(t)]} = \frac{K(s + 1/\tau)}{s + K} \tag{11}$$

외란관측기의 전달함수 $GD(s)$ 는 $P(s)$ 와 $Q(s)$ 의 곱으로 이루어져 있어 다음의 식을 만족한다.

$$G_D(s) \equiv \frac{L[\hat{d}(t)]}{L[d(t)]} = P(s) \cdot Q(s) = \frac{K}{s + K}, \quad K > 0 \tag{12}$$

EDFA 제어를 위한 일반적인 공칭제어기의 출력은 다음과 같다.

$$u_c(t) = -K_c \{ \gamma(t) - \bar{\gamma} \} + \frac{1}{\tau} \gamma(t) \tag{13}$$

K_c 는 공칭제어기의 제어 파라미터이며, EDFA의 시정수(time-constant)를 향상시킨다. $\bar{\gamma}$ 은 실질적으로 EDFA의 제어가 이루어졌을 때의 저장소 값이다.

외란관측기에 의해 제어되는 펌프입력 $P_0^{in}(t)$ 는 다음과 같다.

$$P_0^{in}(t) = u_c(t) - \hat{d}(t) \tag{14}$$

만약, 식(14)가 EDFA에 입력되면, EDFA의 폐루프(closed-loop) 시스템은 다음의 식을 만족한다.

$$r(t) = r(0)e^{-K_c t} + \bar{r}(1 - e^{-K_c t}) \quad (15)$$

식(15)는 시간 t 가 무한대로 갈 때 $t \rightarrow \infty$, 저장소 $r(t)$ 는 \bar{r} 와 같게 된다. 만약 K_c 가 충분히 크다면, 채널이 add/drop되어 이득 변화가 있을 때 저장소 $r(t)$ 는 매우 빠르게 \bar{r} 로 수렴한다.

그림 2에서 $P(s)$, $Q(s)$ 블록은 OP 앰프와 수동 전자소자 등을 이용하여 아날로그 회로를 구성하는 것이 가능하다.

III. 모의실험

일반적으로 실제 EDFA는 3-레벨로 간주한다. 그러나 많은 경우 EDFA를 보다 단순한 2-레벨 모델을 적용하여 모의실험이 이루어진다. 이는 3-레벨의 어븀이온은 급속하게(1 μ s) 2-레벨 상태로 안정화되기 때문에 3레벨의 모델을 2-레벨 모델로 단순화 시켜서 가정할 수 있는 것이다. 그럼에도 불구하고 본 모의실험에서는 3-레벨 모델과 2-레벨 모델을 동시에 모의실험하여, 결과적으로 두 모델간의 차이점이 거의 없음을 알 수 있었다.

우리는 EDFA에 1552.4nm, 1557.9nm를 입력신호로 하여 3-dB 즉, 입력신호의 절반이 add/drop되는 상황으로 설정하였고, 980nm의 펌프를 사용하였다. 매 0.005초마다 채널이 add/drop되는 상황으로 설정하였다. 표 1은 모의실험에서 사용된 변수를 기술 하였다. 일반적으로 공칭제어기는 PI 제어방식을 사용한다. 따라서, 본 논문은 기존의 쓰이던 PI법과 비교 모의실험 하였다.

PI제어기에 의해 EDFA의 펌프레이저에 가해지는 제어입력신호는 다음과 같다.

$$P_0^m(t) = -2K_c\{r(t) - \bar{r}\} - 4K_c^2 \int_0^t \{r(\tau) - \bar{r}\} d\tau \quad (16)$$

그림 3부터 5까지는 제안하는 외란관측기와 PI제어기를 비교 모의실험의 결과이다. 그림 3과 그림 5의 결과에서 점선은 PI제어방식 실선은 외란관측제어 방식을 나타낸다. 그림 4의 (a)는 실제 EDFA

에 채널의 add/drop에 의한 외란이고, (b)는 외란관측기가 의해 채널의 add/drop을 추정하는 과정이다. 표 1. 모의실험 변수들

변수	수치
L	32m
τ	10.5ms
A ₁ , A ₂ , A ₃	5.075, 4.375, 8.995
B ₁ , B ₂ , B ₃	6.4998 $\times 10^{-16}$, 5.9624 $\times 10^{-16}$
	4.6099 $\times 10^{-16}$
P ₁ ⁱⁿ , P ₂ ⁱⁿ	-15dBm, -15dBm
K _c , K	8000, 20000

모의 실험결과에서 그림 3은 채널이 add/drop된 입력 신호가 EDFA를 거치면서 발생하는 이득변화를 보여준다. 외란관측기는 시정수(time constant)까지 시간이 이르는데 약 250 μ s 시간이 걸리는 반면에, PI제어기는 외란관측기의 10배정도 약 2.5ms 시간이 필요하다. 이는 외란관측기의 월등한 성능을 입증한다. 만약 외란관측기의 이득을 충분히 높인다면, 그림 4의 (b)에서 보이는 외란추정과정에서 발생된 외란추정오차는 현저히 작게 만들 수 있다. 그림 5의 점선은 PI제어기에 의해 채널의 add/drop이 발생했을 때 EDFA의 펌프레이저에 가해지는 제어신호이다. 모의실험 결과에서 알 수 있듯이 PI제어기에 의한 제어신호는 외란관측기에 비해 즉각적인 반응이

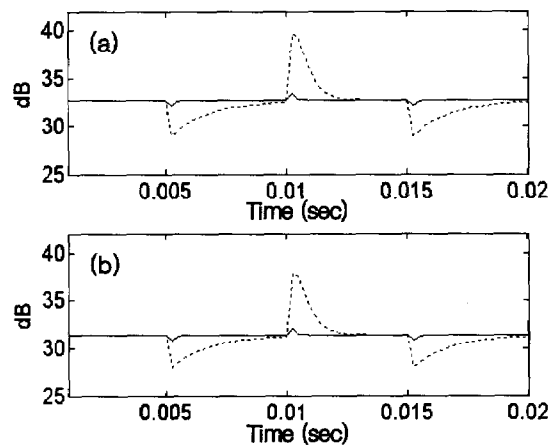


그림 3. (a) 채널1의 이득변화. (b) 채널2의 이득변화. 실선은 외란관측기에 의한 EDFA 출력, 점선은 PI제어기에 의한 EDFA 출력으로 외란관측기에 의해서 EDFA의 이득 요철이 현저히 줄어들었음을 보여준다.

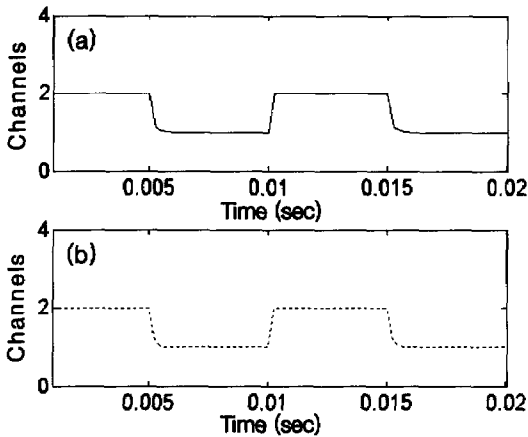


그림 4. (a) EDFA에 입력되는 채널의 add/drop. (b) 외란관측기에 의해서 채널의 add/drop의 추정값

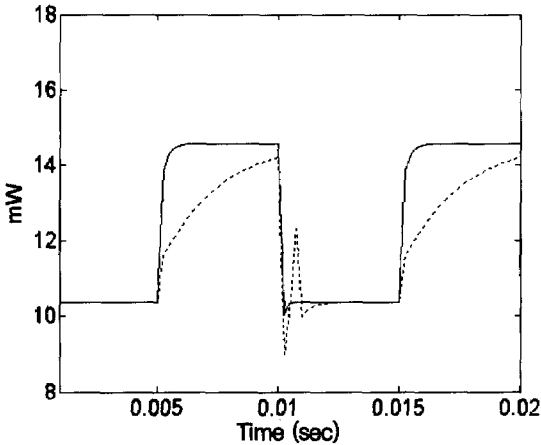


그림 5. EDFA의 펌프레이저에 가해지는 제어입력신호. 점선은 PI제어에 의한 제어입력신호, 실선은 외란관측기에 의한 제어입력신호.

나타나지 않고, 또한 진동(oscillation)이 발생한다. 이는 PI제어기의 특성에 기인한 것으로 이를 보정하는데 많은 시간을 요구한다.

IV. 결론

WDM망에서 신호의 add/drop에 의해서 나타날 수 있는 EDFA의 이득-클램핑을 위해 기존의 대부분 EDFA 공칭제어기는 PI제어방식을 사용한다. PI제어 방식은 정확한 제어를 할 수 있는 장점을 지닌 반면에, 전체 제어시간이 느려지는 단점을 안고 있다. 이

러한 단점은 EDFA의 출력에 큰 요철을 발생시킨다. 우리는 기존의 PI제어방식의 느린 응답특성을 해결하고자 기존에 쓰이던 PI제어와는 다른 외란관측기법을 이득제어기에 적용하여, EDFA의 이득-클램핑 제어를 할 수 있는 외란관측기를 설계하였다. 이를 모의 실험을 통하여 기존의 PI제어법에 비해 월등히 향상된 EDFA 이득-클램핑 성능을 확인하였다. 모의실험 결과는 새로이 제안하는 외란관측기가 EDFA의 출력에 나타나는 요철을 극소화 시켰음을 보여준다.

참고 문헌

- [1] J. L. Zyskind, et al., "Fast power transients in optically amplified multiwavelength optical networks," Proc. OFC'96, Paper PD31, 1996.
- [2] M. Zirngibl, "Gain control in erbium-doped fiber amplifiers by all-optical feedback loop," Electron. Lett., 27(7), pp. 560-561, 1991.
- [3] S. Y. Park et al., "A gain-flattened two-stage EDFA for WDM optical networks with a fast link control channel," Optics Communications, pp. 23-26, 1998.
- [4] Y. J. Choi, et al., "Disturbance observer in H_{∞} framework," IEEE IECON, pp. 1394-1400, 1996.
- [5] B. K. Kim, H. T. Choi, W. K. Chung, and I. H. Suh, "Analysis and design of robust motion controllers in the unified framework," Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, vol 124, pp. 313-321, 2002.
- [6] H. Yoon, N. Park, et al., "Link-control gain clamping for a cascaded EDFAs link using differential ASE monitor," IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 12, no. 10, 2000.
- [7] Alberto Bononi, Leslie A. Rusch, "Doped-Fiber Amplifier Dynamics: A System Perspective," IEEE Journal of Lightwave Technology, 16(5), 1998.
- [8] E.Desurvire, Erbium Doped Fiber Amplifier (John Wiley & Sons, 1994).
- [9] P. C. Becker, N. A. Olsson, and J. R. Simpson, Erbium Doped Fiber Amplifiers : undamentals and Technology (Academic Press, 1999).

박 정 문(Jungmoon Park)

준회원



2002년 2월 : 명지대학교
전자정보통신공학부 졸업
2004년 2월 : 명지대학교
정보통신공학과 석사

<주관심 분야> 광섬유증폭기 이득제어 시스템,
광 부호분할다중화

신 서 용(Seoyong Shin)

중신회원



1987년 2월 : 서울대학교
제어계측공학과(공학사)
1989년 8월 : Florida
공과대학교(석사)
1992년 12월 : Texas A&M
Univ.(공학박사)
1994년 : 한국전자통신 연구원

선임연구원

1994년 9월 ~ 현재 : 명지대학교 통신공학과 정교수
<주관심 분야> 광스위칭 시스템 구조 및 구현 기술,
자동 편광제어 시스템, 편광모드분산 보상,
광버퍼, 광 압축기, 광 네트워크

송 성 호(Seong-Ho Song)

정회원



1987년 2월 : 서울대학교
제어계측공학과(공학사)
1991년 2월 : 서울대학교
제어계측공학과(석사)
1995년 2월 : 서울대학교
제어계측공학과(박사)

1996년 ~ 현재 : 한림대학교 정보통신공학부
부교수.

<주관심 분야> 제어 이론 및 응용, 광메카트로닉스,
비선 형 제어