

ERBİYUM KATKILI FİBER YÜKSELTEÇLERDE ASE'NİN İNCELENMESİ

H. Haldun GÖKTAŞ, Murat YÜCEL

Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Elektrik-Bilgisayar Eğitimi Bölümü, 06500/Ankara

Geliş Tarihi : 30.06.2003

ÖZET

Bu çalışmada uzun mesafe sinyal iletiminde kullanılan Erbium Katkılı Fiber Yükselteçlerin (EDFA) en büyük gürültü nedeni olan kendiliğinden yükseltilmiş yayılmanın (ASE) sinyal kazancı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Bu amaçla 1480 nm dalga boyunda pompalanmış, 1550 nm dalga boyundaki sinyalleri yükselten EDFA ASE'li ve ASE'siz olarak analiz edilmiştir. Yapılan analizde ASE'nin yükselteç kazancını sınırladığı ve aynı kazancı sağlamak için daha uzun mesafeli fibere ihtiyaç duyulduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler : EDFA, ASE, Gürültü, Optik yükselteç

EXAMINING OF ASE AT THE ERBIUM DOPED FIBER AMPLIFIERS

ABSTRACT

In this study, the effect of Amplified Spontaneous Emission (ASE) which is the main cause of noise in Erbium Doped-Fiber Amplifiers (EDFA) used in long distance signal transmission has been examined. For this purpose an EDFA pumped with a 1480nm pump source has been analysed to see the effect of ASE, by taking into account the noise and removing it from the simulation.

Key Words : EDFA, ASE, Noise, Optical amplifier

1. GİRİŞ

Optik yükselteç sistemlerinde temel gürültü kaynağı, ara tekrarlayıcı, ön yükselteç ve son yükselteç olarak kullanılan optik yükselteçler tarafından üretilen ASE'dir. Kimi fotonlar, bir işaretin fotonuyla uyarılmaksızın, rasgele toprak seviyesine dönecektir. Bu olay gerçekleşirken, sinyalle ilişkisiz bir foton yayılacaktır. Ani ışınmayla üretilen fotonlar, katkılı fiber boyunca her iki yönde yayılacaktır. Fotonlar hangi yöne giderse gitsin, kendiliklerinden daha fazla foton ışınmasını uyarabileceklerdir. Aniden ışınan fotonlarla uyarılmış yayılma iki probleme neden olur. Birincisi bu durum gürültüyü kuvvetlendirir. Dolayısıyla bu, yükselteçte ani ışınma

(ASE) gürültüsünün tanımıdır. İkincisi bu yayılma yarı kararlı seviyedeki elektronların bazılarını kaldırır. Bu durum ise iyonların ters birikmesini azaltır. Bu ikinci etki ters yönde ASE olarak bilinir ve yükseltecin çıkış gürültüsüne doğrudan katkı yapmayacak olsa bile EDFA performansını bozacaktır (Arya, 1997). ASE gürültüsü çok geniş band genişliğindedir (~40nm) ve sistem performansı üzerindeki zayıflatıcı etkisinin dikkatlice incelenmesi gerekir (Chapman, 1994). Bölüm 2'de ASE'nin matematiksel analizi yapılmış, bölüm 3'de ise bir EDFA parametresi ASE'li ve ASE'siz olarak incelenmiş ve bölüm 4'de de alınan bu sonuçlar tartışılmıştır.

2. TEORİK ANALİZ

2. 1. Kendiliğinden Yükseltilmiş Yayılma (ASE)

Temelde lazer iyonlarının kendiliğinden uyarımında optik yükselteçlerde gürültü oluşmaktadır. Bazı iyonlar belirli bir süre sonunda toprak seviyesine geri dönerken, bazı iyonlar rasgele olarak toprak seviyesine geri dönerler ve bu arada bir foton yayırlar. Bu foton karakteristiği, gelen sinyale göre uyumlu değildir ve uyarılmış yayılmada bir foton oluşumuna zıttır. Bu şekilde kendiliğinden oluşan fotonlar toplanarak fiber yükseltici tarafından çoğaltılır ve temel olarak sinyal ışığına gürültü şeklinde eklenirler. Bu temel gürültü kendiliğinden yükseltilmiş yayılma (ASE) olarak adlandırılır (Desurvire, 1994).

Sonsuz küçük dV hacimli bir lazer ortamında $+z$ yönünde kendiliğinden üretilen ve fiber moduna kuple edilen, v ve $v + \delta v$ arasındaki frekansta rasgele kutuplanmış fotonların sayısı:

$$dn(v) = A_{21}g(v)\delta v \frac{\Delta\Omega}{4\pi} dV \int_S N_2(r, \theta) \bar{\psi}_s(r, \theta) r dr d\theta \quad (1)$$

ile verilir (Kogelnick and Yariv, 1994). Burada $g(v)$ çizgi fonksiyonu (Yariv, 1975; Saleh and Teich, 1991), $A_{21} = 1/\tau$ kendiliğinden bozulma oranı (τ foton ömrü), $\Delta\Omega/4\pi$ fiberde kendiliğinden tutulmuş ışığın oranları ve integral terimi de kılavuzlanmış mod ve uyarılmış iyonların yoğunluk dağılımları arasındaki örtüşmeyi göstermektedir. Çizgi fonksiyonu $g(v) = 8\pi n^2 \tau \sigma_e(v)/\lambda_s^2$ ile tanımlanmış olup, burada n ortam kırılma indisi, σ_e yayılma kesit alanıdır (Yariv, 1975). Yoğun açrı yakalaması $\Delta\Omega$ ile tanımlanabilir, kılavuzlanmış lazer boşluklarında, ışın enerjisini yüzeyinde soğuran moda karşılık gelir, $\Delta\Omega = \lambda_s^2/n^2 \pi \omega_s^2$ (ω_s güç mod yarıçapı) ve element şiddeti $dV = \pi \omega_s^2$ ile tanımlanır. Birim frekans başına kendiliğinden yayılım gücü $dP_{SE} = hv dn(v)$ 'dir. Bu tanımlamalarla δv band genişliğinde kendiliğinden yayılma oluşurma oranı:

$$\frac{dP_{SE}}{dz} = 2P_0 \sigma_e(v) \int_S N_2(r, \theta) \bar{\psi}_s(r, \theta) r dr d\theta \quad (2)$$

ile verilir. Burada $P_0 = hv\delta v$, δv band genişliğinde bir foton gürültüsünün gücüdür. P_0 terimi eşdeğer giriş gürültüsü gösterir, yüksek kazanç durumunda

toplam kendiliğinden yayılma, fiber boyunca δv band genişliğinde, mod başına bir hayali giriş sinyal fotonunun yükseltilmesi eşitliği oluşur. Denklem 2'deki 2 faktörü fiberin her iki kutuplu modlarında meydana gelen kendiliğinden yayılmayı yansıtmaktadır. Fiber z koordinatında kendiliğinden yayılım güç oranının, yayılmanın $+z$ yönünde olduğu elde edilmiştir (Chapman, 1994).

Fiber boyunca ışık dağılımı moduna göre optik güç değişimi oranının denklemleri:

$$\begin{aligned} \frac{dP_s}{dz} &= \sigma_a(\lambda_s) \int_S \{ \eta(\lambda_s) N_2(r, \theta) - N_1(r, \theta) \} I_s(r, \theta) r dr d\theta \\ &= \sigma_a(\lambda_s) P_s \int_S \{ \eta(\lambda_s) N_2(r, \theta) - N_1(r, \theta) \} \bar{\psi}_s(r, \theta) r dr d\theta \end{aligned} \quad (3)$$

şeklinde ifade edilir. Burada $\bar{\psi}_s$ normalize edilmiş mod zarfı olup,

$$\bar{\psi}_s(r, \theta) = \frac{\psi_s(r, \theta)}{\int_S \psi_s(r, \theta) r dr d\theta} \quad (4)$$

şeklinde tanımlanır. Burada $\psi_s(r, \theta)$ λ_s dalga boyunda dağıtılmış mod zarfıdır. λ_s dalga boyunda ve δv band genişliğindeki toplam sinyal gücünün değişimi denklem 2 ve 3 yardımıyla tekrar yazılırsa :

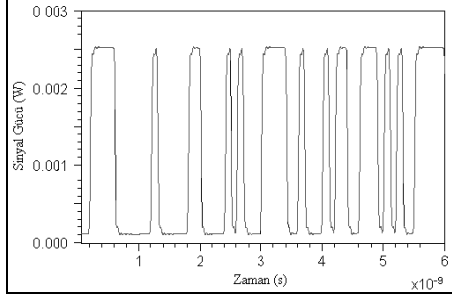
$$\frac{dP_s(\lambda_s)}{dz} = \sigma_a(\lambda_s) 2\pi \int_S \{ \eta(\lambda_s) N_2(r) [P_s(\lambda_s) + 2P_0] - N_1(r) P_s(\lambda_s) \} \bar{\psi}_s(r) r dr \quad (5)$$

elde edilir. Yukarıdaki denklem kendiliğinden gürültünün yükseltilmesi ve sinyalin yükseltilmesi olaylarının her ikisini de tanımlar. Burada; N_1 ve N_2 lazer seviyelerindeki (1. ve 2. seviye) iyon yoğunluğunu ifade eder. Şayet uyarılmış durumdaki N_2 popülasyonu sıfırdan farklı ise, denklem 5'in sağ tarafındaki $2P_0$ sabit terimi fiber boyunca optik gürültünün oluşmasına neden olur, fiberin girişinde optik sinyal olup olmadığını, δv band genişliğindeki kılavuzlanmış toplam ASE gösterir. ASE $-z$ yönünde oluşur ve sinyale ters yönde yayılır (Desurvire, 1994).

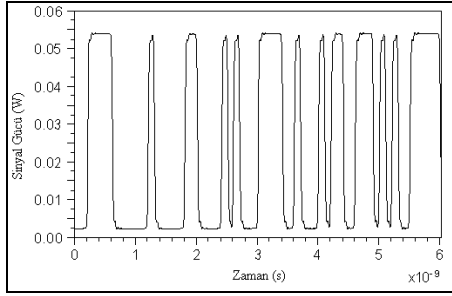
3. SİMULASYON SONUÇLARI

Bu bölümde, 1480 nm dalgaboyunda, 40 mW güce sahip pompalama kaynağı (lazer diyot) ile ileri yönde pompalama yapılan, 30m uzunluğa sahip EDFA'nın ASE'li ve ASE'siz analizi yapılmıştır.

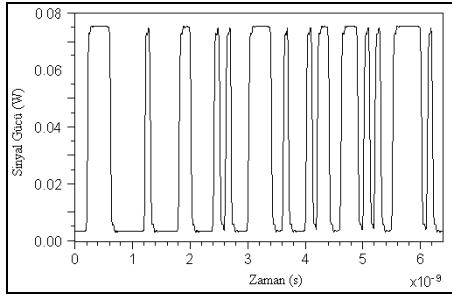
Şekil 1'de (a) 1550 nm dalgaboyunda sinyal giriş gücü, (b) 1480nm dalgaboyunda ileri yönde pompalanmış EDFA'da ASE'li ve (c) ASE'siz sinyal çıkış gücü görülmektedir (Yücel, 2003). Şekil 1b ve c'de görüldüğü gibi ASE'li çıkış gücü 54mW seviyesinde iken ASE'nin ihmal edildiği çıkış gücü 74mW civarındadır ve ASE'nin sinyal çıkış gücünü negatif yönde etkilediği görülmektedir.



(a)



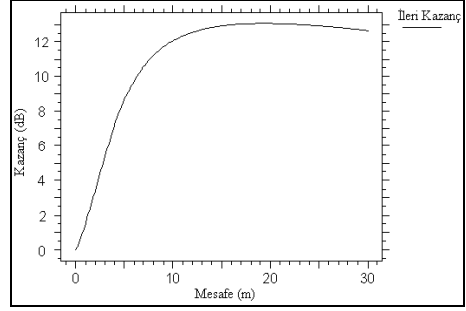
(b)



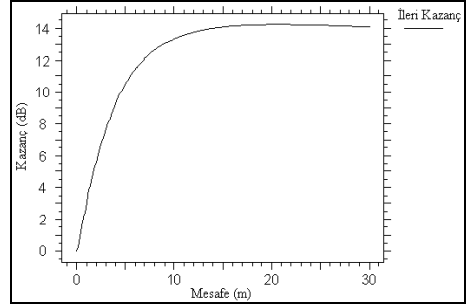
(c)

Şekil 1. Sinyal gücü (a) giriş sinyal gücü, (b) ASE'li çıkış sinyal gücü, (c) ASE'siz çıkış sinyal gücü

Şekil 2'de sırasıyla (a) 1480 nm dalgaboyunda ileri yönde pompalanmış ASE'li ve (b) ASE'siz fiber boyunca kazanç değişimi görülmektedir (Yücel, 2003). Şekil 2a'da ASE etkisiyle kazanç 12dB'nin üzerinde iken ASE'nin ihmal edildiği Şekil 2b'de kazanç 14dB'ye ulaşarak ASE'nin sinyal kazancı üzerindeki kayıp etkisi açık bir şekilde göstermektedir.



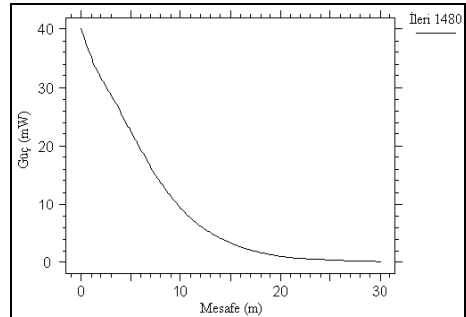
(a)



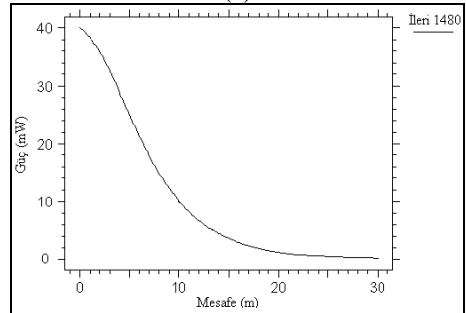
(b)

Şekil 2. Pompalanmış fiber boyunca kazanç değişimi (a) ASE'li, (b) ASE'siz

Şekil 3'de sırasıyla (a) 1480nm dalgaboyunda ileri yönde pompalanmış fiber boyunca ASE'li ve (b) ASE'siz pompalama gücünün değişimi görülmektedir (Yücel, 2003). Şekil 3.a'da pompalama gücü sinyale aktarılırken ASE'den dolayı kayıp oluşmaktadır. Fakat ASE'nin ihmal edildiği Şekil 3.b'de pompalama gücü sinyale kayıpsız aktarılmaktadır.



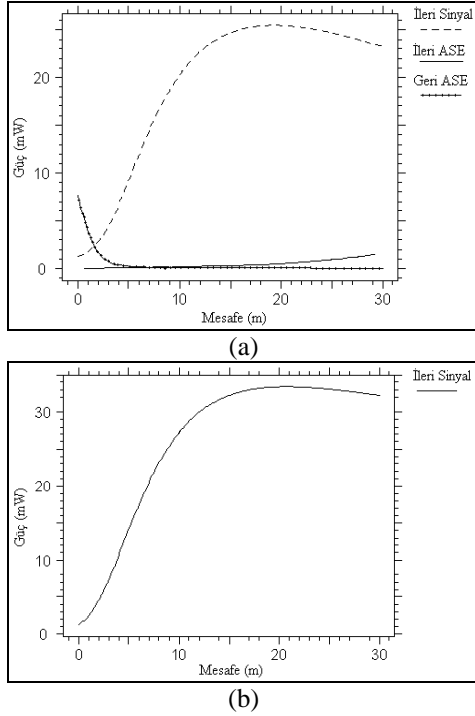
(a)



(b)

Şekil 3. Pompalanmış fiber boyunca pompalama gücü değişimi (a) ASE'li, (b) ASE'siz

Şekil 4'de sırasıyla (a) 1480nm dalgaboyunda ileri yönde pompalanmış fiber boyunca ASE'li ve (b) ASE'siz sinyal ve ASE gücünün değişimi görülmektedir (Yücel, 2003). Şekil 4.a'da fiber boyunca ileri ve geri yönde ASE görülürken, Şekil 4b'de herhangi bir yönde ASE görülmemektedir ve sinyal gücü ASE'li durum ile karşılaştırıldığında daha yüksektir.



Şekil 4. Pompalanmış fiber boyunca sinyal ve ASE gücünün değişimi (a) ASE'li, (b) ASE'siz

4. SONUÇ

Bu çalışmada 1480nm dalgaboyunda ileri yönde pompalanan bir EDFA'da ASE'nin EDFA karakteristiklerine etkisi incelenmiştir. Şekil 1'de giriş sinyal gücüne göre ASE'li ve ASE'siz çıkış sinyal gücü görülmektedir. ASE var iken sinyal çıkış gücü, ASE'nin olmadığı duruma göre yaklaşık 20mW daha düşüktür. Bu kaybın Şekil 2'de görülen fiber boyunca ASE'li ve ASE'siz kazanç değişimi eğrileri incelendiğinde, yaklaşık 2dB'ye karşılık geldiği görülmektedir. Bu kaybı daha farklı olarak Şekil 3'deki ASE'li ve ASE'siz pompalama gücünün değişimini gösteren eğrilerden de inceleyecek olursak; ASE'li durumda pompalama gücü fiberin başından itibaren hızla düşerken,

ASE'li durumda pompalama gücü daha yavaş düşmektedir. Aralarındaki bu farktan dolayı sinyale aktarılan güç ASE'li durumdaki hızlı düşüşten dolayı daha düşükken, ASE'siz durumda pompalama gücünün tamamı sinyale aktarılmaktadır. Bunun sonucunda ASE'siz çıkış sinyal gücü ve kazancı yükselecektir. Son olarak Şekil 4a'da fiber boyunca ASE'nin yönü görülmektedir. Bu çalışmada pompalama ileri yönde yapıldığı için, fiber başında ileri yönlü ASE yüksektir ve fiber sonuna doğru düşerek, fiber sonunda geri yönlü ASE'nin altına düşmektedir. Şekil 4b'de ise ASE olmadığı için sadece ileri yönde sinyalin yükselişi görülmektedir. Sinyal gücü bu eğrilerde incelendiğinde ASE'li durumda 25mW civarı olan sinyal gücü, ASE'siz durumda yaklaşık 33mW seviyesine yükselmiştir. Dolayısıyla ASE ihmal edilerek yapılan modellerin bir miktar hatayı içereceği kabul edilmeli ve buna dayalı olarak elde edilen sonuçlar, ASE etkisi göz önüne alınarak değerlendirilmelidir.

5. KAYNAKLAR

Arya, V. 1997. Analysis, Design and Performance Evaluation of Optical Fiber Spectrum - Sliced WDM Systems, Phd. Thesis.

Chapman, D. A. 1994. Erbium-doped Fibre Amplifiers: the Latest Revolution in Optical Communications, Electronics & Communication Engineering Journal, 6 (2), 59-67.

Desurvire, E. 1994. Erbium-Doped Fiber Amplifiers, John Wiley.

Kogelnick, H., Yariv, A. 1994. Considerations of Noise and Schemes for its Reduction in Lazer Amplifiers, Proc. IEEE, 52 (2), 165-172.

Saleh, B. E. A., Teich, M. C. 1991. Fundamentals of Photonics, John Wiley, Newyork.

Yariv, A. 1975. Quantum Electronics, John Wiley, Newyork.

Yücel, M. 2003. Erbiyum Katkılı Fiber Yükselteç Analizi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Mayıs.