

İKİ AŞAMALI C BAND ERBİYUM KATKILI FİBER YÜKSELTEÇLERDE (EKFY) KAZANÇ DÜZLEŞTİRİCİ FİLTRE OPTİMİZASYONU

H.Haldun GÖKTAŞ, Murat YÜCEL

Gazi Üniv. Tek. Eğt. Fak., Elt.-Bil. Eğt. Böl., Ankara. Tel: 312 2126820 (1313), goktas@gazi.edu.tr

ÖZET

En yaygın optik yükselteç olan EKFY, dalga boyuna bağlı, düz olmayan bir kazanç spektrumuna sahiptir. Yüksek band genişliği gerektiren durumlarda yaygın olarak kullanılan Dalgaboyu Bölmeli Çoğullama (DBÇ) sistemlerinde, EKFY'nin düz olmayan kazanç spektrumundan dolayı çıkış sinyalleri arasında kazanç farklılıkları oluşur. Kazanç düzleştirici filtreler kullanılarak bu farklılıklar giderilebilir. Bu çalışmada, iki Erbiyum katkılı fiber arasında C bandı (1530 nm–1565 nm) boyunca düz bir kazanç spektrumu sağlamak için kazanç düzleştirici filtre yerleştirilmiş ve tüm sistemin kazanç spektrumu optimize edilmiştir.

Anahtar Kelimeler - EKFY, DBÇ, kazanç düzleştirici filtre, optimizasyon.

GAIN FLATTENING FILTER OPTIMIZATION OF THE TWO STAGE C BAND ERBIUM DOPED FIBER AMPLIFIERS (EDFA)

ABSTRACT

The most prevalent optical amplifier is EDFA that has a wavelength dependent non-flat gain spectrum. When Wavelength Division Multiplexing (WDM) systems used for high bandwidth demand some gain variations arises from the uneven gain spectrum of EDFA. Gain flattening filters are used to eliminate this gain differences. In this study, we have placed a passive filter between the two stages of erbium doped fiber, and optimized the gain spectrum of the whole system that gives a flat gain spectrum along the well known C band (1530 nm–1565 nm).

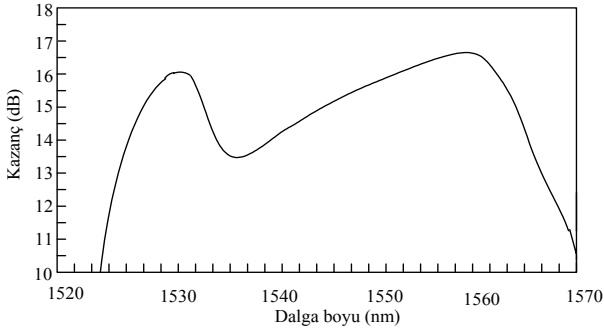
Keywords - EDFA, WDM, gain flattening filter, optimization.

1. GİRİŞ

DBÇ sistemleri, yüksek hızlı ve yüksek kapasiteli optik iletişim sistemleri için kullanışlı sistemlerdir. DBÇ teknolojisini destekleyen anahtar cihazlar optik yükselteçlerdir [1, 2]. Bununla beraber DBÇ sistemlerinin kapasitesi EKFY'nin kazanç profili tarafından sınırlanmaktadır [3]. Aynı fiberden daha fazla kanal iletmek için düz kazanç ve daha geniş band genişliği gerekmektedir [4]. Geniş band optik yükselteçler, 1480 nm - 1620 nm aralığındaki optik haberleşmede daha düz kazanç band genişliği için araştırılmaktadır [5].

EKFY'nin kazanç spektrumu, enerji seviyelerinin yapısından dolayı oluşan asimetrik ikiz tepeye sahiptir.

Kazanç spektrumu düz değildir (Şekil 1). Bu yüzden, yükseltilecek sinyallerin güçleri arasında farklılıklara neden olur. Uzun mesafeli optik iletim sistemleri, optik sinyalleri çoklu bir yükselteç sistemi ile iletirken, biriken optik sinyal güçleri arasında farklılıklar oluşur. Optik sinyaller alıcıda çeşitli dalga boylarına ayrıldığında diğer optik sinyaller bu sinyalleri gürültü gibi etkiler. Eğer yükselteçler tarafından iletilen optik sinyaller arasında farklılıklar varsa, EKFY tarafından iletilen DBÇ sinyalleri sinyal gürültü oranı ile daha da düşerek bozulurlar. Bu da iletim mesafesini kısaltır ve iletilen sinyal sayısını azaltır. Bunu engellemek için her bir dalga boyunda EKFY kazancının düzleştirilmesi gerekir [6].

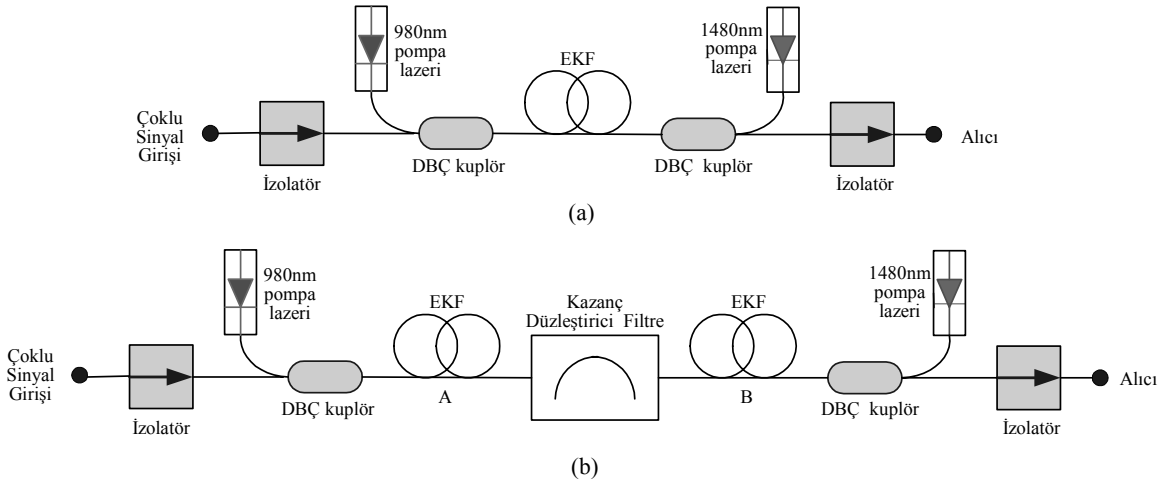


Şekil 1. EKFY'nin dalga boyuna bağlı kazanç spektrumu

Kazanç band genişliğini büyütmek ve düzeltmek için birkaç yaklaşım vardır. Yaklaşımlardan birisi erbiyum katkılı silika cam fibere Al_2O_3 [7] ve P_2O_5 eklemektir. Flüorür tabanlı EKFY'ler DBÇ uygulamalarında silika tabanlı EKFY'lerden çok daha iyi karakteristiğe sahiptirler. Başka bir yaklaşım ise Mach-Zender optik filtresi, akusto-optik filtre veya uzun periyotlu fiber-ızgara filtreleri gibi kazanç eşitleyici optik filtrelerin kullanılmasındır [3]. Bu metotta EKFY kazancının yüksek olduğu dalga boylarında filtre ile kayıp oluşturularak toplam kazanç düzeltilir. Bu filtre optik kazanç düzeltirici filtre olarak adlandırılır [6]. Bu filtreler düşük maliyete, yüksek kararlılığa ve düşük kayba sahiptir [8].

2. TEORİ

İki aşamalı yükselteç kullanılarak EKFY kazancı eşitlenebilir. İki aşamalı yükselteç, dış yansımaların neden olduğu gürültü etkilerine karşı geliştirilmiş bir bağımsızlığa sahiptir. Bu şekilde yüksek kazançla rağmen yükselteçte gürültü seviyesi düşüktür. Pompalanan ışık yüksek bir verimlilikle sinyale aktarılır ve kazanç spektrumunun pasif olarak düzeltilmesi gerçekleştirilirken yükselteç gürültüsü ve doyuma ulaşmış çıkış gücünden dolayı sadece çok küçük bir hata meydana gelebilir [9]. Şekil 2.b'de de görüldüğü gibi kazanç düzeltirici filtre, ek kaybı ve sinyal gürültü oranının çıkış gücünü azaltmaması için genellikle iki aşamalı yükseltecin arasına yerleştirilir. Kazanç tepelerini azaltmak için araya filtre konulduğunda ters birikme artar ve diğer dalga boylarında daha fazla kazanç kullanılabilir. İlk yükselteç sinyali yükseltir, daha sonra bu sinyal filtre edilir ve son olarak filtreden dolayı oluşan kaybı gidermek için ikinci yükselteç kullanılır. Bu düzenekte dikkat edilmesi gereken en önemli hususlar; her bir aşamadaki erbiyum katkılı fiber (EKF) uzunluklarının optimize edilmesi ve kullanılacak filtrenin türüdür. Bu çalışmada filtre olarak band durdurucu pasif optik filtre kullanılmıştır.



Şekil 2. Kazanç düzeltirici filtre ile iki aşamalı EKFY'nin kazanç optimizasyonu düzeni, (a) Filtresiz düzenek, (b) Filtreli düzenek

EKFY'lerde λ_s dalga boyundaki sinyal kazancı aşağıdaki şekilde ifade edilir:

$$G(\lambda_s) = \exp\left\{\rho_0 \Gamma_s \left(\sigma_e^s \hat{N}_2 - \sigma_a^s \hat{N}_1\right)\right\} \quad (1)$$

$$= \exp\left\{\rho_0 \Gamma_s \left(\sigma_e^s + \sigma_a^s \hat{N}_2 - \sigma_a^s\right)\right\}$$

burada Γ_s λ_s dalga boyunda örtüşme faktörü, ρ_0 tepe katkı yoğunluğu (erbiyum için), σ_e^s λ_s dalga boyunda

yayımla kesit alanı, σ_a^s λ_s dalga boyunda soğurma kesit alanı, \hat{N}_1 , \hat{N}_2 ortalama fiber boyunda ve Er^{3+} yoğunluklu normalize edilmiş atom sayıları olup,

$$\hat{N}_{1,2} = \frac{1}{\rho_0 L} \int_0^L N_{1,2}(z) dz \quad (2)$$

ile verilir. λ_s 'nin dB olarak kazancı $g(\lambda_s) = 10 \log_{10} G(\lambda_s)$ olur. Denklem 1'e göre $d\hat{N}_2$ 'nin üst seviye nüfusundaki herhangi bir değişim

$dg(\lambda_s)/d\hat{N}_2$ diferansiyel kazanç değişimine karşılık gelir ve:

$$\frac{dg(\lambda_s)}{d\hat{N}_2} = 10 \log_{10}(e)\rho_0\Gamma_s(\sigma_e^s + \sigma_a^s) \quad (3)$$

olarak bulunur. Burada $e=\exp(1)$ 'dir. İki sinyal dalga boyu dikkate alındığında aralarındaki ilişki aşağıdaki şekildedir:

$$\frac{dg(\lambda_{s1})}{dg(\lambda_{s2})} = \frac{\sigma_e^{s1} + \sigma_a^{s1}}{\sigma_e^{s2} + \sigma_a^{s2}} \equiv R(\lambda_{s1}, \lambda_{s2}) \quad (4)$$

A ve B bölümlerinden oluşan iki aşamalı EKFY'de iki sinyal için aşağıdaki eşitlik yazılabilir:

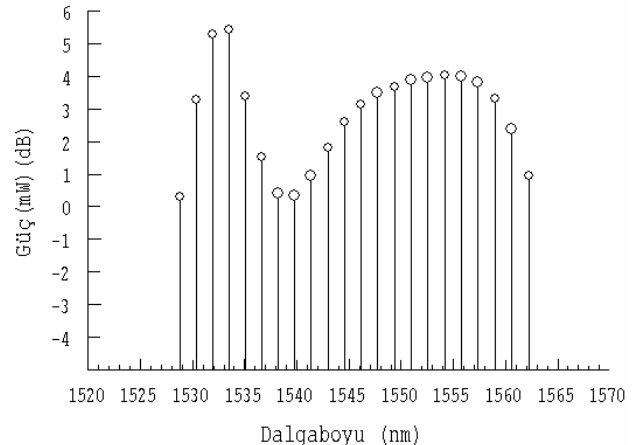
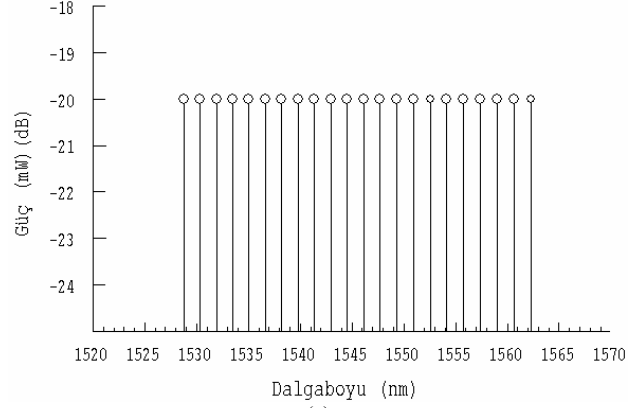
$$dg(\lambda_{s1}) = dg_A(\lambda_{s1}) + dg_B(\lambda_{s1}) \quad (5)$$

$$dg(\lambda_{s2}) = R_A(\lambda_{s2}, \lambda_{s1})dg_A(\lambda_{s1}) + R_B(\lambda_{s2}, \lambda_{s1})dg_B(\lambda_{s1}) \quad (6)$$

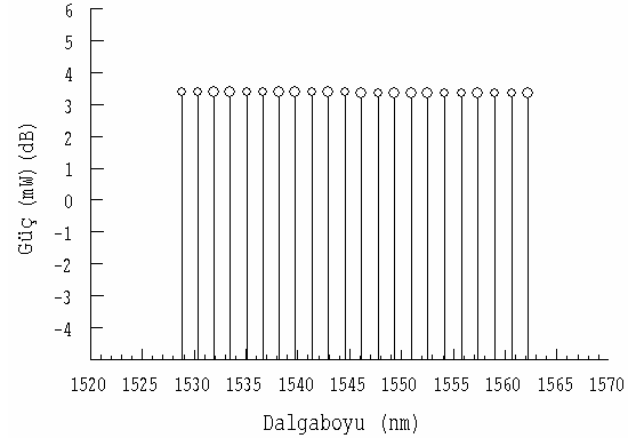
burada A ve B parametreleri sırasıyla birinci ve ikinci EKFY bölümlerini göstermektedir [10].

3. KAZANÇ DÜZLEŞTİRİCİ FİLTRE OPTİMİZASYONU

Bu çalışmada Şekil 2'de görülen düzenek OptiAmplifier 4.0 yazılımı kullanılarak simüle edilmiş ve kazanç düzleştirici filtre optimizasyonu yapılmıştır. Çoklu lazer kaynağı ile 1528,793 nm ile 1562,253 nm aralığında kanallar arası 100GHz'lik bir kanal mesafesi bırakılarak çoklu sinyal uygulanmıştır. Pompa lazerler sırasıyla 980 nm, 1480 nm dalga boyunda ve 125 mW gücünde seçilmiştir. Bunun nedeni ilk EKFY'de 980nm dalga boyunda yapılan pompalamanın yüksek bir ters birikme sağlaması ve buna bağlı olarak da sinyal gürültü şeklinin azalmasıdır. İkinci EKFY'de 1480 nm dalga boyunda yapılan pompalama ise daha yüksek bir kazanç sağlamaktadır. Filtresiz düzenekteki EKFY boyu 9 m, iki aşamalı EKFY'nin A kısmının boyu 4 m, B kısmının boyu ise 5 m olarak belirlenmiştir. Bu değerler, EKFY bu değerlerin üzerine çıktığında doyuma ulaştığından optimum değerlerdir. Kullanılan EKF'nin öz yarıçapı 1µm, erbiyum yarıçapı 1 µm, nümerik açıklığı 0,31 ve iyon yoğunluğu $1,4 \times 10^{25}/m^3$ 'dür. Simülasyonda Giles metodu [11] ve LP_{01} geometrik modeli kullanılmıştır. Şekil 2.a ve b düzenekleri kurularak simülasyon sonuçları karşılaştırılmıştır. Şekil 3'de filtre kullanılmayan durumda giriş sinyaline karşılık çıkış sinyali görülmektedir. Şekil 3.a ve b'de görüldüğü gibi çok kanallı sinyallerin güçleri çıkışta farklılık göstermektedir.



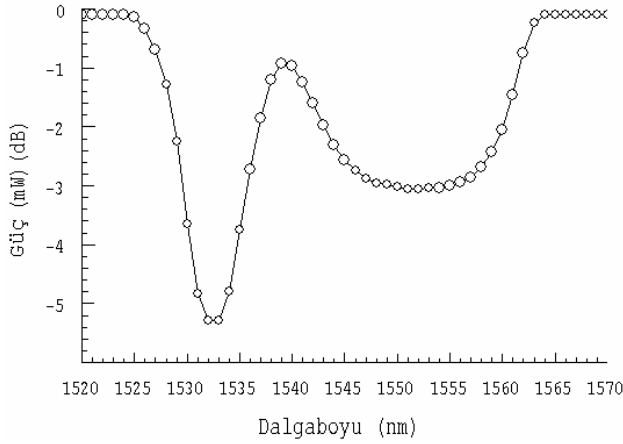
Şekil 3. Filtresiz iki aşamalı EKFY'de giriş sinyaline karşılık çıkış sinyali. (a) Giriş sinyali, (b) Çıkış sinyali



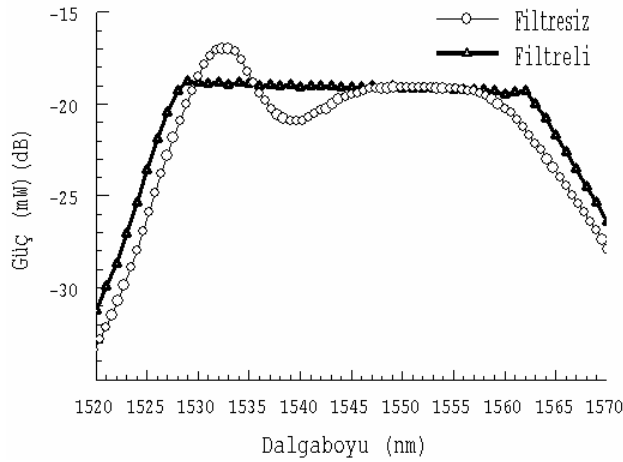
Şekil 4. Filtre kullanılan iki aşamalı EKFY'nin çıkış sinyalleri

Sinyallerin güçleri arasındaki bu farkı yok edip eşitlemek için A ve B EKF'lerinin arasına filtre konularak Şekil 3.a'daki giriş sinyallerine karşılık Şekil 4'deki çıkış sinyalleri kazançları düzleştirilmiş olarak elde edilir. A ve B EKF'leri arasına konulan kazanç düzleştirici filtrenin iletim spektrumu Şekil 5'de görülmektedir. Şekil 5'de görüldüğü gibi filtre zayıflatıcı bir etki göstermektedir. Şekil 6'de ise kazanç düzleştirici filtrenin kullanıldığı ve kullanılmadığı durumlardaki ASE (kendiliğinden

yükseltilmiş yayılma) spektrumu görülmektedir. Filtre kullanılan durumda spektrumun düzleştiği açık olarak görülmektedir.



Şekil 5. Optimize edilen filtrenin iletim spektrumu



Şekil 6. İki aşamalı EKFY'de filtrenin kullanıldığı ve kullanılmadığı durumlardaki ASE spektrumu

4. SONUÇ

Bu çalışmada, uzun mesafeli DBÇ sistemlerinde girişten uygulanan çoklu sinyallerin çıkıştaki kazançları, kazanç düzleştirici filtrenin optimizasyonu yapılarak eşitlenmiştir. EKFY'nin kazanç spektrumundaki nonlineeriteden dolayı oluşan bu kazanç farklılıkları EKFY'den sonra konulan bir kazanç düzleştirici filtre yardımıyla düzleştirilmiştir. Filtre kazanca kayıp yönünde etkide bulunmuştur. Filtreden dolayı oluşan bu kazanç kaybını gidermek için ikinci bir EKFY kullanılmıştır. Bu nedenle sistem iki aşamalı olarak adlandırılır. Bu sistem sayesinde 33 nm band genişliği ve yaklaşık 25 dB kazanç elde edilmiştir. Uzun mesafeli DBÇ sistemleri çok sayıda EKFY kullanmakta, bu da hattın sonunda farklı dalgaboylarında farklı sinyal seviyelerinin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Kazanç düzleştirme metodları ile bu seviyeler büyük ölçüde eşitlenmektedir.

KAYNAKLAR

- [1]. Singh, R., Sunanda, Sharma, E. K. "Gain flattening by long period gratings in erbium doped fibers", Optics Communications (240), 123-132, (2004).
- [2]. Sohn, I.-B., Song, J.-W. "Gain flattened and improved double-pass two-stage EDFA using microbending long-period fiber gratings", Optics Communications (236), 141-144, (2004).
- [3]. Dung, S., J.C. Chi, Wen, S. "Gain Flattening of Erbium-doped Fibre Amplifier Using Fibre Bragg Gratings", Electronics Letters, 34(6), 555, (1998).
- [4]. Choi, H.B., Oh, J.M., Lee, D., Ahn, S.J., Park, B.S., Lee, S.B. "Simple and efficient L-Band Erbium-Doped Fiber Amplifiers for WDM Networks", Optics Communications (213), 63-66, (2002).
- [5]. Mahdi, M. A., Sheih, S. J. "Gain-Flattened Extended L-band EDFA with 43nm Bandwidth Suitable for High Signal Powers", Optics Communications, 234, 229-233, (2004).
- [6]. Mizuno, K., Nishi, Y., Mimura, Y., Lida, Y., Matsuura, H., Yoon, D., Aso, O., Yamamoto, T., Toratani, T., Ono, Y., Yo, A. "Development of Etalon-Type Gain-Flattening Filter", Furukawa Review, No.19, 53-58, (2000).
- [7]. Yoshida, S., Kuwano, S., Iwashita, K. "Gain-flattened EDFA with High Al Concentration for multistage repeatered WDM transmission systems", Electronics Letters, 31, 1765-1767, (1995).
- [8]. Vallon, S., Chevallier, P., Guiziou, L., Alibert, G., How Kee Chun, L. S., Boos, N. "40-Band Integrated Static Gain-Flattening Filter", IEEE Photonics Technology Letters, 15(4), 554-556, (2003).
- [9]. Giles, C. R., Di Giovanni, D. J. "Dynamic Gain Equalization in Two-Stage Fiber Amplifiers", IEEE Photonics Technology Letters, 2(12), (1990).
- [10]. Desurvire, E. "Erbium-Doped Fiber Amplifiers: Principles and Applications", John Wiley&Sons, (1994).
- [11]. Giles, C. R., Desurvire, E., "Modeling Erbium-Doped Fiber Amplifiers", Journal of Lightwave Technology, 9(2), 271-283, (1991).