

Tek ve Çift Geçişli Erbiyum Katkılı Fiber Yükselteçlerin C bandında Deneysel Olarak Karşılaştırılması

Zühal ASLAN¹, Murat YÜCEL^{2,*}

¹Gazi Üniversitesi, Bilişim Enstitüsü, Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi A.B.D., Ankara

²Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Böl., Ankara

ÖZET

Bu çalışmada, tek ve çift geçişli Erbiyum Katkılı Fiber Yükselteçler (EKFY) deneysel olarak incelenmiştir. İlk olarak, 1554 nm dalga boyundaki giriş sinyal gücü -40 dBm ile +5 dBm arasında değiştirilerek tek ve çift geçişli EKFY'lerin kazanç ve gürültü faktörü değerleri ölçülmüştür. Daha sonra, -30 dBm gücündeki giriş sinyalinin dalga boyu değerleri 1526 nm ile 1570 nm aralığında değiştirilerek ölçümler tekrarlanmıştır. Sonuç olarak, çift geçişli EKFY kazancında yaklaşık 3-9 dB'lik bir iyileşme elde edilmiştir. Ancak, çift geçişli EKFY'de yükseltilmiş kendiliğinden yayılma (YKY) gücü fiber boyunca hem ileri hem de geri yönlü yayıldığından, gürültü faktörü yaklaşık 2-5 dB yükselmiştir.

Anahtar Kelimeler: EKFY, tek geçiş, çift geçiş.

The Experimentally Comparison of the Single and Double Pass Erbium Doped Fiber Amplifiers in the C Band

ABSTRACT

In this study, single and double pass Erbium Doped Fiber Amplifiers (EDFA) have been experimentally investigated. Firstly, gain and noise figure values of single and double pass EDFAs are measured while input signal power is varied from -40 dBm to +5 dBm at the 1554 nm wavelength. Then, measurements are repeated while wavelength values of input signal are varied from 1526 nm to 1570 nm at the -30 dBm signal power. Consequently, the gain of double pass EDFA is improved by about 3-9 dB. However, the noise figure is increased to about 2-5 dB due to the amplified spontaneous emission (ASE) power propagates both forward and backward along the fiber at the double pass EDFA.

Key Words: EDFA, single pass, double pass.

1. GİRİŞ

Günümüzde haberleşme sistemlerinde hızla artan kapasite ve iletim hızlarına cevap vermek için optik haberleşme sistemleri kullanılmaktadır. Bu sistemlerde daha uzun iletişim mesafelerine ulaşabilmek için elektriksel dönüşüme gerek kalmadan, ışık sinyalini kendi ortamında (fiber içerisinde) yükselten optik yükselteçler geliştirilmiştir. Optik yükselteçler, yarı iletken optik yükselteçler, Brillouin yükselteçler, fiber Raman yükselteçler ve EKFY'ler olup, bu yükselteçler içerisinde yüksek band genişliği, yüksek kazanç, düşük gürültü, sade tasarımı ve düşük kuplaj kayıpları gibi özellikleri sayesinde en yaygın olarak kullanılan EKFY'lerdir [1-4].

Optik haberleşme sistemlerinde daha uzun mesafelere erişim için sinyal kazancının yüksek olması gerekmektedir. Bu nedenle geleneksel EKFY'lerin

kazançları, çeşitli konfigürasyonlar kurularak artırılmaya çalışılmıştır. Bu amaçla çift geçişli sistemler yaygın olarak kullanılmış, üç ve dört geçişli sistemler geliştirilmiştir [5-13].

Bu makale çalışmasında, tek ve çift geçişli EKFY düzenekleri kurularak kazanç ve gürültü faktörü değerleri karşılaştırılmıştır. Makalenin ikinci bölümünde tek ve çift geçişli EKFY'lerin deneysel kurulumu açıklanarak, kazanç ve gürültü faktörü hesaplamaları verilmiş, üçüncü bölümde ise tasarlanan yükselteçler tek tek analiz edilerek sinyal kazançları ve gürültü faktörü değerleri incelenmiştir. Ayrıca elde edilen deneysel sonuçlar son bölümde tartışılmıştır.

2. DENEYSEL KURULUM

Şekil 1. (a) ve (b)'de sırasıyla tek ve çift geçişli EKFY düzenekleri görülmektedir. Tek geçişli düzenekte lazer kaynağı olarak 1526 nm ile 1570 nm arasındaki dalga boylarına ve -30 dBm güce sahip sinyaller tek tek ayarlanarak sisteme uygulanmıştır. Sinyaller, geri yansımaları engellemek için bir optik izolatörden

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

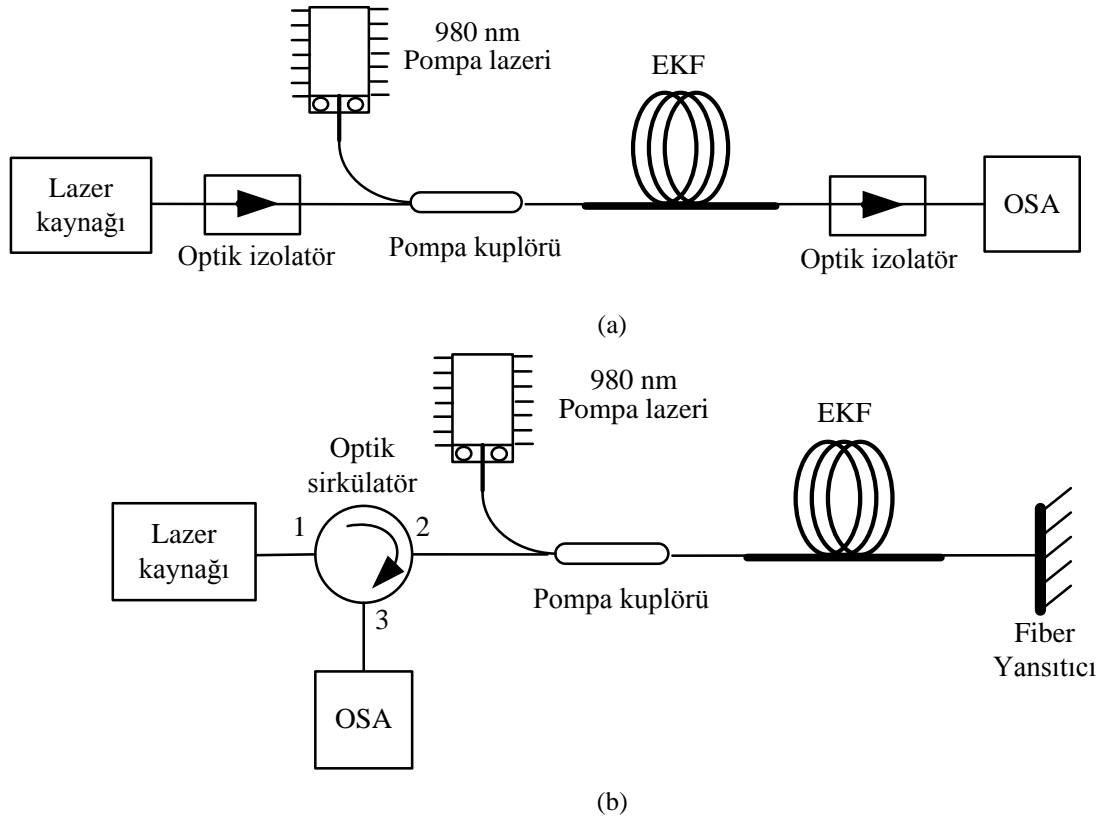
e-posta: myucel@gazi.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2012.15.3, 135-138

geçirilerek, pompa kuplörüne ulaşmıştır. Burada, 980 nm dalga boyu ve 100 mW güçteki pompa sinyali ile birleştirilerek erbium katkılı fibere (EKF) uygulanmıştır. Bu çalışmada 10 m uzunluğa sahip, EMP980 C band EKF'si kullanılmıştır. Bu fibere ait parametreler Tablo 1'de görülmektedir. EKF'de yükseltilen sinyaller yine bir optik izolatörden geçirilerek optik spektrum analizörü (OSA) ile kazanç ve gürültü ölçümleri yapılmıştır.

özelliğine sahip fiber yansıtıcıdan EKF'ye geri dönerek, tekrar yükselen sinyaller optik sirkülâtörün 2 nolu ucundan girerek 3 nolu ucundan OSA'ya ulaşmıştır ve OSA kullanılarak çift geçişli sisteme ait kazanç ve gürültü değerleri ölçülmüştür.

Yükselteç kazancı Eş. 1 kullanılarak hesaplanabilir [15]:



Şekil 1. EKFY düzenekleri (a) Tek geçişli düzenek, (b) Çift geçişli düzenek.

Tablo 1. EMP980 C band EKF parametreleri

Parametreler	Değerler
Kesim dalga boyu	891 nm
1300 nm kaybı	1,45 dB/km
İyon ömrü	10 ms
Öz yarıçapı	1,77 µm
Erbium yarıçapı	1,68 µm
Er ³⁺ yoğunluğu	226,66 ppm
Nümerik açıklık	0,19

Çift geçişli düzenekte ise lazer kaynağından optik sirkülâtöre uygulanan sinyaller optik sirkülâtörün 1 nolu ucundan girerek 2 nolu ucunda çıkmış ve pompa kuplöründe pompa sinyali ile birleştirilmiştir. Buradan EKF'e ulaşan sinyaller yükselerek %100 yansıtma

$$G = \frac{P_{out}(\lambda_s) - P_{YKY}}{P_{in}(\lambda_s)} \quad (1)$$

Eş. 1'de G kazanç, λ_s sinyal dalga boyu, P_{YKY} YKY gücü, $P_{in}(\lambda_s)$ giriş sinyal gücü, $P_{out}(\lambda_s)$ çıkış sinyal gücünü göstermektedir. Gürültü faktörü (NF) ise dB olarak Eş. 2 kullanılarak hesaplanabilir [14, 15]:

$$NF = 10 \log \left(k \frac{P_{YKY}}{h \cdot \nu \cdot G \cdot \Delta \nu_s} \right) \quad (2)$$

burada, h Planck sabiti, ν sinyal frekansı, $\Delta \nu_s$ P_{YKY} ölçümünde optik spektrum analizörün frekans bandı, k düzeltme değeri olup NF kalibrasyonunda genellikle 1 alınır.

$$v_s = \frac{c}{\lambda_{sv} \cdot 10^{-9} - \frac{Re s_{real} \cdot 10^{-9}}{2}} - \frac{c}{\lambda_{sv} \cdot 10^{-9} + \frac{Re s_{real} \cdot 10^{-9}}{2}} \quad (3)$$

$$v = \frac{c}{\lambda_{sv} \cdot 10^{-9}} \quad (4)$$

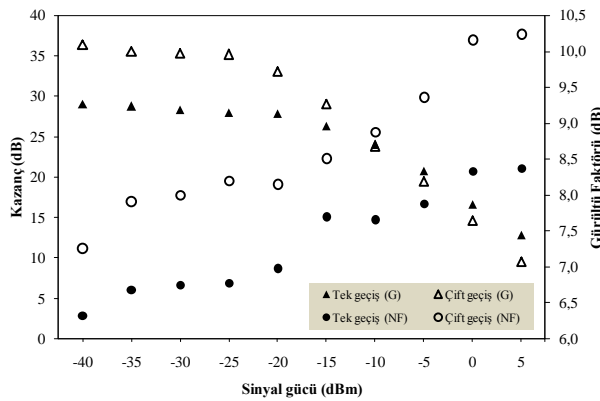
olup burada, c ışık hızı, $Re s_{real}$ OSA'nın gerçek çözünürlüğü ve λ_{sv} optik çıkış sinyalinin dalga boyudur [14, 15]. Optik yükseltecin toplam NF değeri ise Eş. 5 kullanılarak hesaplanabilir:

$$NF = 10 \log k \left(\frac{P_{YKY}}{h \cdot v \cdot G \cdot \Delta v_s} + \frac{P_{YKYT}^2}{2 \cdot h \cdot v \cdot G^2 \cdot P_m(\lambda_c) \cdot \Delta v_s} + \frac{1}{G} + \frac{P_{YKYT}}{G \cdot P_m(\lambda_c)} \right) \quad (5)$$

burada, parantez içindeki ilk terim optik sinyal ve YKY çıkışı arasındaki vuruş (shot) gürültüsü, ikinci terim YKY'ler arası vuruş gürültüsü, üçüncü terim akış gürültüsü ve son terim YKY akış gürültüsüdür [14, 15].

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMALAR

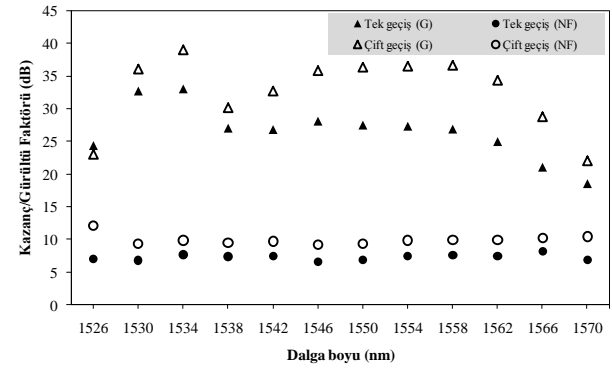
Şekil 2'de tek ve çift geçişli EKFY'nin giriş sinyal gücü değişimine karşılık, çıkış kazancı (G) ve gürültü faktörü (NF) değerlerinin değişimi görülmektedir.



Şekil 2. Tek ve çift geçişli EKFY'nin giriş sinyal gücüne göre kazanç ve gürültü faktörü değişimi

Giriş sinyal gücü -40 dBm ile +5 dBm arasında değiştirilerek 1554 nm dalga boyuna sahip sinyalin çıkış kazancı ve gürültü faktörü değişimi incelenmiştir. Şekil 2'den de görüleceği üzere sinyal gücü yükseldikçe çıkış kazancı hem tek, hem de çift geçişli düzenek için azalmaktadır. Ancak tek ve çift geçişli düzenekler karşılaştırıldığında kazanç değerlerinde, -20 dBm değerine kadar çok fazla bir değişim olmazken bu değerden sonra doğrusala yakın bir azalma gerçekleşmiştir. Bunun nedeni, yükselteçlerin doyuma gitmesidir. Ayrıca, -10 dBm'lik giriş sinyal gücü değerine kadar çift geçişli sistem kazancı daha yüksek iken, bu değerden sonra tek geçişli düzeneğin kazanç değeri çift geçişli sistem kazancından daha yüksektir. Her iki sistemin gürültü faktörü değerleri incelendiğinde ise tüm giriş sinyal gücü değerlerine karşılık, çift geçişli sistemin gürültü faktörü değerlerinin tek geçişli sisteme göre daha yüksek olduğu görülmüştür. Bunun yanı sıra, giriş sinyal gücü

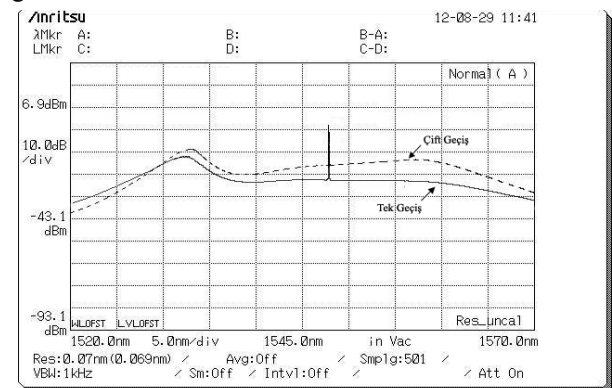
arttıkça gürültü faktörünün de doğru orantılı olarak arttığı görülmektedir.



Şekil 3. C bandı boyunca tek ve çift geçişli EKFY'nin kazanç ve gürültü faktörü değişimi.

Şekil 3'de ise 1526 nm- 1570 nm'lik dalga boyu bandı içerisinde tek ve çift geçişli EKFY'nin kazanç ve gürültü faktörü değişiminin deneysel sonuçları görülmektedir. Çift geçişli sistem kazancı tek geçişli sistem kazancı ile karşılaştırıldığında 3 ile 9 dB arasında değişen bir iyileşme söz konusudur. Buda fiber zayıflaması göz önüne alındığında (0,2 dB/km) 15km ile 45 km arasında optik haberleşme sisteminin uzaması anlamına gelmektedir. Özellikle 1542 nm- 1566 nm aralığında bu fark oldukça yüksektir. Aynı grafikte gürültü faktörü değerleri incelendiğinde ise çift geçişli sistemin tek geçişli sisteme göre daha kötü bir gürültü performansına sahip olduğu görülmektedir. Çift geçişli sistemin sahip olduğu yüksek gürültü değeri tek geçişli sistem ile karşılaştırıldığında 2 dB ile 5 dB arasında değişmektedir. Bunun nedeni çift geçişli sistemde sinyal EKF'den iki kez geçtiği için kazancın yanı sıra YKY gücü de yükseltmekte bu da toplam gürültü faktörü değerini yükseltmektedir.

Şekil 4'de ise C bandı boyunca tek ve çift geçişli sistemlere ait YKY spektrumu görülmektedir. Ölçümler 1554 nm sinyal dalga boyu ve -30 dBm'lik güce sahip giriş sinyali uygulanarak yapılmıştır. 1530 nm-1570 nm arasındaki bölgede tek geçişli sistemde düşük olan YKY'nin, çift geçişli sistemde yükseldiği görülmektedir.



Şekil 4. Tek ve çift geçişli sistemlere ait YKY spektrumu.

4. SONUÇ

Bu çalışmada, tek geçişli sistem ile çift geçişli sistemin kazanç ve gürültü faktörü değerleri deneysel olarak incelenmiştir. Tek geçişli sistemde EKF'den bir kez geçen sinyaller, çift geçişli düzenekte sistem sonuna takılan fiber yansıtıcı ile %100 oranında yansıtılarak EKF'den iki kez geçirilmiş ve EKFY kazancında 3-9 dB'lik artış sağlanmıştır. Buna karşılık EKFY'deki YKY'de iki kez yükseltildiği için çift geçişli sistemin gürültü faktörü değerleri de 2-5 dB artmıştır. Ancak kazanç değeri ile karşılaştırıldığında bu gürültü değerine rağmen çift geçişli sistemler ile çok küçük bir maliyet artışıyla daha yüksek mesafelere (ortalama 30 km) iletişim yapılabilir. Deneysel sonuçlar, çift geçişli sistemin tek geçişli sisteme göre daha yüksek kazanç sağlaması için fibere uygulanan sinyal gücünün -10 dBm'den daha düşük olması gerektiğini göstermiştir. Yaygın olarak optik yükselteçler uzun iletişim hatlarında kullanıldıkları için genellikle sinyal gücü -20 dBm'in altındadır ve bu nedenle çift geçişli sistemlerin performansı daha yüksektir.

5. TEŞEKKÜR

Bu makale Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmekte olan 07/2012-39 kodlu ve "Çift geçişli erbiyum katkılı fiber yükselteçlerde gürültü faktörünün azaltılması" isimli proje çalışmalarının sonuçlarından oluşturulmuştur. Desteklerinden dolayı Gazi Üniversitesine teşekkür ederiz.

6. KAYNAKLAR

1. Yamada, M. and Shimizu, M., "Ultra-Wideband Amplification Technologies for Optical Fiber Amplifiers", *NTT Technical Review*, 1:80-84 2003.
2. Mears, R.J., Reekie, L., Jauncey, I.M., and Payne, D.N., "Low-Noise Erbium-Doped Fibre Amplifier Operating at 1.54 μm ", *Electronics Lett.*, 23:1026-1028 1987.
3. Yücel, M., Göktaş, H. H., "Kazancı Düzleştirilmiş S Band Fiber Raman Yükselteç Tasarımı", *Teknoloji*, 10(4):277-281, 2007.
4. Yücel, M., Göktaş, H. H., "Fiber Raman Yükselteçlerde Pompalama Yönünün Kazanç Spektrumuna Etkisi Üzerine

- Bir Simulasyon", *G.Ü. Politeknik Dergisi*, 9(3):161-164, 2006.
5. Bouzid, B., Abdullah, M.K., Mahdi, M.A., "High-Gain Erbium-Doped Fiber Amplifier Incorporating a Double-Pass Amplification Technique as a Pre-amplifier", *Laser Physics*, 18(4), 460-463, 2008.
6. Jamaludin, M. Z., Abdullah, M. K., Abdullah, F., Abas, A.F., MAhdi, M.A., Rahman, F., "A Hybrid High-Gain Double-Pass Erbium-Doped Fiber Amplifier with Dispersion Compensation Feedback Loop", *Optics and Laser Technol.*, 40(2), 270-272, 2008.
7. Naji, A.W., Abidin, M. S. Z., Al-Mansoori, M.H., Faidz, A.R., Mahdi, M.A., "Experimental Investigation of noise in Double-Pass Erbium-Doped Fiber Amplifiers", *Laser Physics Lett.*, 4(2), 145-148, 2007.
8. Yi, L.L., Zhan, L., Hu, W.S., Xia, Y.X., "Tunable Gain-Clamped Double-Pass Erbium-Doped Fiber Amplifier", *Optics Express*, 14(2), 570-574, 2006.
9. Yi, L.L., Zhan, L., Taung, C.S., Luo, S.Y., Hu, W.S., Su, Y.K., Xia, Y.X., Leng, L.F., "Low Noise Figure All-Optical Gain-Clamped Parallel C+L Band Erbium-Doped Fiber Amplifier Using an Interleaver", *Optics Express*, 13(12), 4519-4524, 2005.
10. Naji, A.W., Abidin, M.S.Z., Kassir, A.M., Al-Mansoori, M.H., Abdullah, M.K., Mahdi, M.A., "Trade-Off between Single and Double Pass Amplification Schemes of 1480-nm Pumped EDFA", *Microwave and Optical Technol. Lett.*, 43(1), 38-40, 2004.
11. Yücel, M., Göktaş, H. H., Akkaya, G., "Optimization of the Three Stages L Band EDFA", *Signal Processing and Communications Applications, SIU 2012, IEEE 20th*, 18-20 April 2012.
12. Yücel, M., Göktaş, H. H., "Gain Flattening Configurations at the L Band Erbium Doped Fiber Amplifiers", *Signal Processing and Communications Applications, IEEE 15th*, 11-13 June 2007.
13. Yücel, M., Göktaş, H. H., "Examination of Temperature Dependence of Double Pass L Band Erbium Doped Fiber Amplifier", *J. Fac. Eng. Archit. Gazi Univ.*, 27(2), 237-243, 2012.
14. Anritsu C., "Anritsu MS9710B Optical Spectrum Analyzer Operation Manual", *Anritsu Corporation Press*, Japan, 78-81 (2003).
15. Yücel, M., "Kazancı Düzleştirilmiş Geniş Bandlı Fiber Yükselteçlerin Tasarımı", Doktora Tezi, *G.Ü. Bilişim Enstitüsü*, (2008).