

L BANDINDA ÇALIŞAN ERBİYUM KATKILI FİBER AMPLİFİKATÖR (L-EDFA) TASARIMI

DESIGN OF L BAND ERBIUM DOPED FIBER AMPLIFIER (L-EDFA)

Arif Başgümüş¹, Ahmet Altuncu²

^{1,2}Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü, Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya
aribasgumus@dumlupinar.edu.tr, altuncu@dumlupinar.edu.tr

Özetçe

Bu çalışmada 980 nm’de çift yönlü pompalanan yüksek performanslı bir L-band EDFA tasarımı yapılmış ve deneysel olarak gerçekleştirilmiştir. Gerçeklenen L-EDFA’ya 1550nm’de bir prob sinyali enjekte edilerek, EDFA’da üretilen ve kullanılmayan geri yönlü ASE sinyali faydalı C-bandı pompalama sinyaline dönüştürülmekte ve bu sayede yüksek kazanç (~18 dB) ve düşük gürültü faktörü (~7dB) elde edilmektedir.

Abstract

This study presents the design and experimental realization of a high performance L band EDFA pumped bidirectionally at 980 nm. In our L-EDFA, at which unused backward ASE is converted to usable C band pumping signal by injecting a 1550 nm probe signal, high gain (~18 dB) and low noise figure (~7dB) values are obtained.

1. Giriş

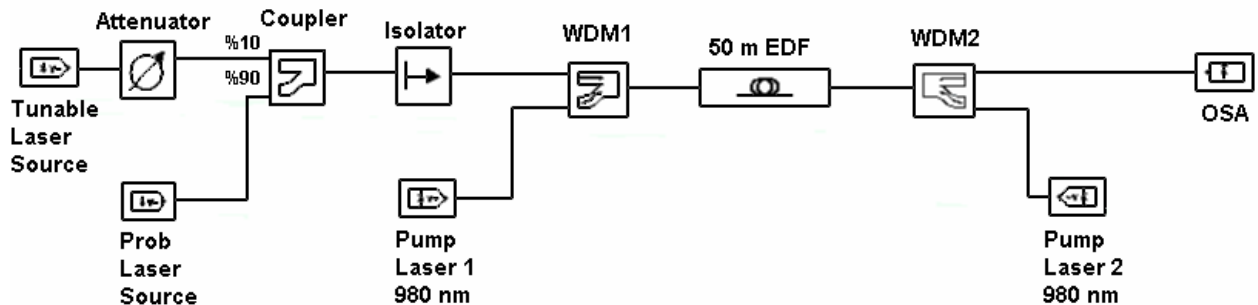
Başlangıçta C bandında (1525-1565 nm) çalışan optik iletişim sistemlerinde sinyal zayıflamasını gidermek için geliştirilen erbium katkılı fiber amplifikatörler (EDFA), günümüzde L bandında (1570-1620 nm) da yeterli kazanç ve gürültü performansı sağlayacak şekilde geliştirilmeye çalışılmaktadır [1-8]. Bu sayede yoğun dalgaboyu bölmeli çoğullamalı (DWDM) iletişim sistemlerinin kapasitesi iki katına çıkmış olacaktır [9]. EDFA’nın C bandına göre oldukça düşük olan L bandı kazancı, daha uzun ve daha yüksek oranda katkılı fiberler kullanılarak artırılabilir. L bandında C bandıyla kıyaslanabilir bir kazanç-gürültü performansı elde etmek için daha uzun EDF kullanmanın yanında, pompa dalgaboyunun

980 nm absorplama tepesinden ± 20 nm uzağa kaydırılması [2], geri yöndeki yükseltilmiş spontane emisyon (backward ASE) sinyalinin yeniden EDFA’ya enjekte edilmesi [3-5] veya dışardan uygulanacak bir C bandı prob sinyali (1550-1560 nm) ile ön pompalama yapılması [5-8] gibi farklı yöntemler önerilmektedir.

Bu çalışmada, 980 nm’de çift yönlü pompalanmış bir L bandı EDFA tasarımı gerçekleştirilmiştir. L bandında yüksek pompa-kazanç dönüşüm verimi elde etmek için, EDFA’ya bir C bandı kararlı lazer ile 1550 nm’de prob sinyali enjekte edilerek C bandındaki kullanılmayan geri yönlü ASE sinyalinin faydalı C bandı pompa sinyaline dönüşmesi sağlanmaktadır.

2. Deneysel Düzenek

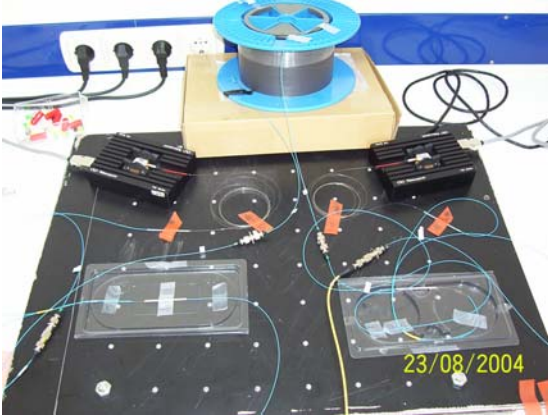
Şekil 1’de tasarlanan ve gerçekleştirilen L-bandı EDFA görülmektedir. 1495-1585 nm dalgaboyu aralığında çalışan bir ayarlı lazer kaynağından alınan sinyal bir ayarlı optik zayıflatıcıya uygulanır. Ayarlı zayıflatıcı çıkışındaki sinyal ile 1550 nm de çalışan prob sinyali bir 90/10 optik kuplör/ayırıcı ile birleştirilir. Birleşik sinyal bir optik izolatör üzerinden çift yönlü olarak 980 nm dalgaboylu pompa lazerleri ile pompalanmış EDFA’ya uygulanmaktadır. Erbium katkılı fiber uzunluğu 50 m olup, uygulanan pompa seviyesine göre optimize edilmemiştir. Deneyde kullanılan erbium katkılı fiberin parametreleri daha önceki bir çalışmada sunulmuştur [10].



Şekil 1: L-bandı EDFA deney şeması

EDFA çıkışında yükseltile sinyal bir Anritsu MS9710B optik spektrum analizör yardımıyla görüntülenerek, kazanç ve gürültü faktörü ölçümleri sistematik bir şekilde yapılmıştır. Gürültü faktörü ölçümü, Gauss interpolasyon yöntemi ile yalnızca sinyal-spontane emisyon gürültüsü dikkate alınarak 2 nm'lik bir optik maskeleye bandgenişliği için 0.1 nm çözünürlük ile yapılmıştır. EDFA ya sabit modda uygulanan pompa gücü 114.8 mW ileri yönde, 90.8 mW geri yönde olmak üzere toplam 205,6 mW'tır. Pompa lazerleri 975 nm'de çalışan soğutmasız (uncooled) tipte olup, kararlı akım kaynakları ile sürülmektedirler.

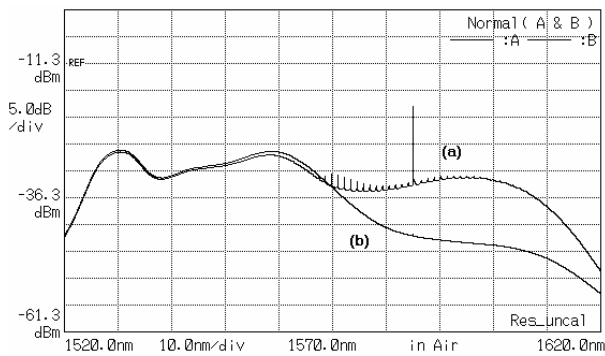
Şekil 2'de gerçekleştirilen EDFA sistemi görülmektedir. Modüler yapıyı korumak için fiber optik konnektörlerle yapılan bağlantılarda, yansımaları ve osilasyonları önlemek için FC/APC konnektörler kullanılmıştır.



Şekil 2: L-EDFA deney düzeneği.

3. Deneysel Sonuçlar

Şekil 3'te L-EDFA'nın 205.6 mW toplam pompa gücü ve -30 dBm'lik giriş sinyali uygulanarak elde edilen yükseltilmiş sinyal ve 1520 nm'den 1620 nm'ye kadar geniş bir band için ASE sinyal spektrumu görülmektedir.

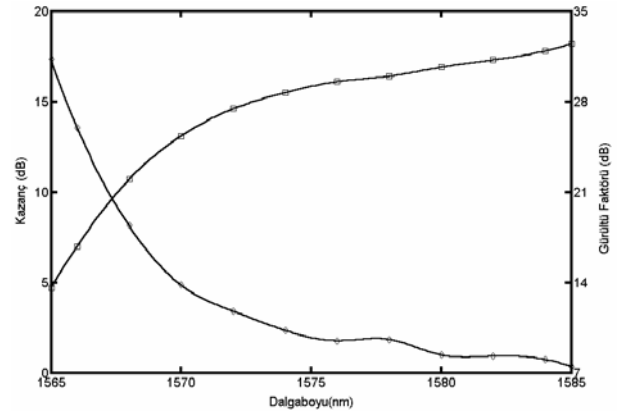


Şekil 3: 50 m L-EDFA çıkış ASE spektrumu, (a) 1550 nm prob sinyali ile, (b) Prob sinyali uygulanmadan.

Şekil 3'de görülen ASE spektrumunda, (a) çizgisi L-EDFA'ya 1550 nm'de -1.4 dBm gücünde prob sinyali uygulandıktan sonraki, (b) çizgisi ise prob sinyali uygulanmadan önceki ASE spektrumlarını göstermektedir. ASE spektrumundan anlaşılacağı gibi, prob sinyalinin uygulanması ile L

bandındaki ASE'de dolayısıyla amplifikatör kazancında önemli ölçüde artış meydana gelmektedir. C bandında ileri yönde yayılan ASE'de değişme olmazken L bandında kazancın artması ile C bandı geri yönlü ASE sinyalinin prob sinyal genliğini yükseltmede kullanıldığı, prob sinyalinin de L bandındaki sinyal ve ASE'nin artmasında etkili olduğu anlaşılmaktadır.

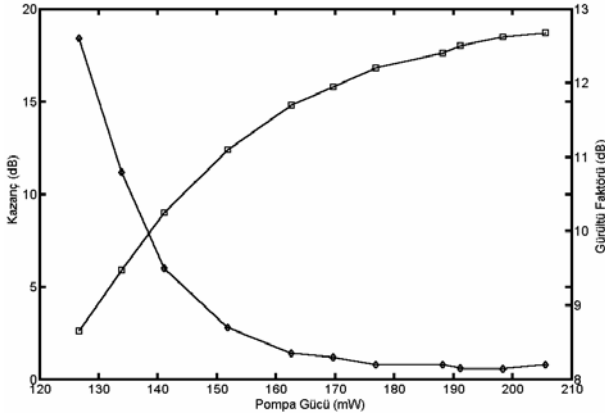
Şekil 4'te toplam 205.6 mW gücüne çift yönlü pompalanmış L-Bandı EDFA'nın 1565-1585 nm dalgaboyu arası ölçülen kazanç ve gürültü faktörü spektrumları görülmektedir. L-EDFA'nın spektral analizi, kazanç yüksek olmasına rağmen ayarlı lazer kaynağının maksimum çalışma dalgaboyu nedeniyle 1585 nm ile sınırlı kalmıştır. C bandında hiç kazanç sağlamayan amplifikatör, 1565 nm'de 4.7 dB kazanç ve 31.3 dB gibi yüksek bir gürültü faktörüne sahiptir. L-bandının başladığı 1570 nm civarında kazanç ve gürültü faktörü değerleri kabul edilebilir bir değere, 13.1 dB kazanç ve 13.8 dB gürültü faktörüne ulaşmıştır. Diğer taraftan ölçüm yapılan üst dalgaboyu sınırı olan 1585 nm'de kazancın 18.2 dB'ye yükseldiği, gürültü faktörünün de 7.5 dB ye düştüğü görülmektedir. Bu sonuçlara EDFA girişindeki izolatör kaybı ile giriş ve çıkışta kullanılan 2 adet FC-PC/FC-APC konnektör dönüştürücü kayıpları dahildir. Şekil 3 ve 4'te verilen kazanç ve ASE spektrumlarından, L- bandı EDFA kazancının 1620 nm'ye kadar 1585 nm'de olduğu kadar yüksek bir değerde olacağı anlaşılmaktadır.



Şekil 4: 50 m L-EDFA'nın kazanç ve gürültü faktörünün dalgaboyu ile değişimi

Şekil 5'te verilen L-bandı EDFA'nın kazanç ve gürültü faktörü performansı, EDFA'ya uygulanan pompa gücünün fonksiyonu olarak görülmektedir. Uygulanan toplam pompa gücü, ileri/geri oranı 1.26 olmak üzere, kabul edilebilir kazanç seviyeleri için 125 mW'tan itibaren maksimum sağlanabilir güç olan 205 mW'a kadar artırılmıştır. Artan pompa gücüyle kazancın arttığı ve gürültü faktörünün azaldığı şekilden görülmektedir. EDF fiber uzunluğu sağlanabilir pompa gücüne göre optimize edilmediği için, maksimum uygulanan pompa gücünden sonrada kazancın artış eğiliminde olduğu anlaşılmaktadır. Diğer taraftan artan pompa gücü ile gürültü faktörü 7.5 ~8 dB civarına düşmüştür. Ölçümlerde ortaya çıkan yaklaşık 0.5 dB'lik gürültü faktörü sapmaları, ayarlı lazer kaynağının tam kararlı olmamasından kaynaklanmaktadır. Sistemdeki bağlantıların konnektör yerine eklenmesi ve daha düşük kayıplı pasif optik elemanların

kullanılması ile kazanç-gürültü performansı daha da iyileştirilebilir.



Şekil 5: 50 m L-EDFA'nın kazanç ve gürültü faktörünün pompa gücü ile değişimi

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, 980 nm'de çift yönlü pompalanmış bir L bandı EDFA tasarımı gerçekleştirilmiştir. L bandında yüksek pompa-kazanç dönüşüm verimi elde etmek için, bir C bandı kararlı lazer ile 1550 nm'de prob sinyali enjekte edilerek C bandındaki kullanılmayan geri yönlü ASE sinyalinin faydalı C bandı pompa sinyaline dönüşmesi sağlanmıştır. Gerçekleştirilen L-EDFA 1570-1620 nm bandında, optimize edilmemiş olmasına rağmen yaklaşık 18 dB kazanç ve 7.5 dB civarında gürültü faktörüne sahiptir. Uygulanan C bandı prob sinyali ile EDFA performansın etkili bir biçimde arttığı gözlenmiştir.

5. Kaynakça

- [1] Flood F.A., "L-band erbium-doped fiber amplifiers", *Tech Digest, OAA99, 1999*
- [2] Flood F.A., Wang C.C., "980 nm pump-band wavelengths for long-wavelength-band erbium-doped fiber amplifiers", *IEEE Photonics Technology Letters, Vol.11, Iss 10, 1999, p1232*.
- [3] Harun S.W, Low S.K., Poopalan P., Ahmad H., Gain clamping in L-band erbium doped fiber amplifier using a fiber bragg grating, *IEEE Photonics Technology Letters, Vol.14, Iss 3, 2002, p293*.
- [4] Oh J.M., Choi H.B., Lee D., Ahn S.J., Jung S.J., Lee S.B., "Demonstration of highly efficient flat-gain L-band erbium-doped fiber amplifiers by incorporating a fiber bragg grating", *IEEE Photonics Technology Letters, Vol.14, Iss 9, 2002, p1258*.
- [5] Chen H., Leblanc M., Schinn G.W., "Gain enhanced L-band optical fiber amplifiers and tunable fiber lasers with erbium-doped fibers", *Optics Communications, Vol 216, 2003, p119*.
- [6] Mahdi M.A., Adikan F.R.M., Poopalan P., Selvakennedy S., Chan W.Y., "Long-wavelength EDFA gain enhancement through 1550 nm band signal injection", *Optics Communications, Vol 176, 2000, p125*.
- [7] Mahdi M.A., Ahmad H., "Low-noise and gain L-band EDFA utilizing a Novel self-generated signal-seeding technique", *Optics Communications, Vol 195, 2001, p241*.

- [8] Hwang S., Cho K., "Gain tilt control of L-band erbium-doped fiber amplifier by using a 1550 nm band light injection", *IEEE Photonics Technology Letters, Vol.13, Iss 10, 2001, p1070*.
- [9] Park S.Y., Pendock G.J., Srivastava A.K., Wolf C., Sulhoff J.W., Kantor K., Sun Y., Sheih S.J., "WDM transmission in L-band over dispersion-shifted fiber with 25 db span loss", *IEEE Photonics Technology Letters, Vol.12, Iss 6, 2000, p729*.
- [10] Altuncu A., Başgümüş A., "L bandında çalışan erbium katkılı fiber optik amplifikatörlerde pompa lazeri dalgaboyunun kazanç ve gürültü spektrumlarına etkisi", *Teknoloji Dergisi, Karaelmas Üniversitesi, Cilt 7, Sayı 2, 2004, S321*.