

Çift Geçişli L-Bandı Erbiyum Katkılı Fiber Amplifikatör (L-EDFA) Tasarımı

Design of a Double-Pass L-Band Erbium Doped Fiber Amplifier (L-EDFA)

Şeref Yuvka¹, Ahmet Altuncu²

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

Özetçe

Bu çalışmada 980 nm’de, iki yönlü pompalanmış bir çift geçişli L-bandı EDFA’nın tasarımı ve deneysel karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Tasarlanan çift geçişli L-bandı EDFA’nın performans parametreleri, Optiamplifier 4.0 simülasyon programı yardımıyla teorik olarak analiz edilmiştir. Daha sonra, laboratuvar ortamında deneysel olarak gerçekleştirilerek kazanç ve gürültü performansı karakterize edilmiş ve klasik tek geçişli L-EDFA’nın deneysel performansı ile kıyaslanmıştır.

Abstract

In this study, the design and experimental characterisation of a bidirectionally pumped double-pass L-band EDFA is realized. First, the performance parameters of the double-pass L-band EDFA design are theoretically analyzed using Optiamplifier 4.0 simulation program. Then, it is realised experimentally and, its gain and noise figure performances are characterized and compared with the classical single-pass L-EDFA design.

1. Giriş

Başlangıçta C bandında (1525–1565 nm) çalışan optik iletişim sistemlerinde sinyal zayıflamasını gidermek için geliştirilen erbiyum katkılı fiber amplifikatör (EDFA) teknolojisi, günümüzde L bandını (1570–1620 nm) da kapsayacak şekilde genişletilerek iletim kapasitesi artırılmaya çalışılmaktadır [1–6]. Bu sayede yoğun dalgaboyu bölmeli çoğullamalı (DWDM) iletişim sistemlerinin kapasitesi iki katına çıkmış olacaktır [7]. EDFA’nın spektral kazanç ve gürültü faktörü performansı, erbiyum katkılı fiberin geometrisi, uzunluğu ve katılama özelliklerinin yanında, pompa ve sinyal dalgaboyu ile gücüne de bağlıdır. EDFA’lar geri yönde (backward pumping), ileri yönde (forward pumping) veya çift yönlü (bidirectional pumping) pompalanabilirler. Çift yönlü pompalama yöntemi, iki pompa lazerine ihtiyaç duymasına rağmen, popülasyon ters birikimi açısından diğer konfigürasyonlara göre üstünlük sağlamaktadır. Yüksek pompalama verimi ve düşük ESA (uyarılmış seviye absorblaması) nedeniyle 980 nm veya 1480 nm’de pompalanan L bandı EDFA’da C bandıyla kıyaslanabilir bir kazanç-gürültü performansı elde edebilmek için, düşük pompa dönüşüm verimi nedeniyle prensip olarak C bandına göre yaklaşık olarak on katı uzunlukta ve daha yüksek oranda erbiyumla katılanmış fiberler gerekmektedir. Bunun yanında, çift geçişli, üç geçişli[8,9] veya döngü tipi konfigürasyon kullanılması[10], pompa dalgaboyunun 980 nm absorblama tepesinden ± 20 nm uzağa kaydırılması[2], geri yöndeki yükseltilmiş spontane emisyon (backward

ASE) gürültüsünün yeniden EDFA’ya uygulanması[3,4] veya dışardan uygulanacak bir C bandı çekirdek sinyali (1550–1560 nm) ile ön pompalama yapılması[4,5] gibi farklı yöntemler performansı yükseltmek için önerilmektedir. Bu çalışmada çift geçişli çift yönlü pompalanmış bir yüksek performanslı L-band EDFA’nın tasarımı ve deneysel karakterizasyonu gerçekleştirilmiştir. Tasarım optimizasyonu için önce klasik tek geçişli ve çift geçişli tasarımlara ait kazanç ve gürültü faktörü spektrumları simülasyonlar ile elde edilmiştir. Daha sonra bu teorik sonuçlar kullanılarak deneysel olarak gerçekleştirilen L-EDFA tasarımının deneysel kazanç ve gürültü faktörü performansı elde edilmiştir.

2. Simülasyon Sonuçları

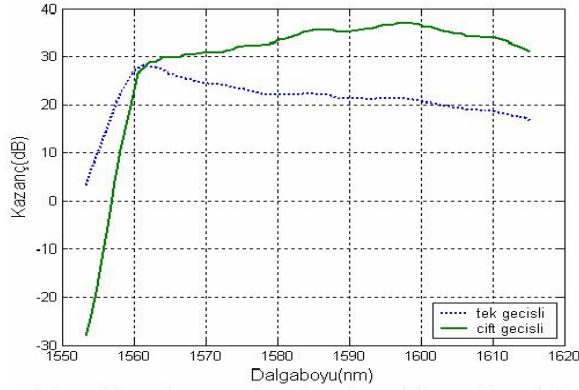
Simülasyonlar, tek geçişli ve çift geçişli L-EDFA’nın kazanç ve gürültü faktörünün sinyal dalgaboyu, giriş sinyal gücü ve toplam pompa gücüne göre değişimlerini içermektedir. Simülasyonlarda kullandığımız, Fibercore firmasının Metro–12 erbiyum katkılı fiberinin önemli parametreleri Tablo 1 de verilmiştir.

EDFA’nın kazanç ve gürültü faktörü simülasyonlarında ASE ve ESA (uyarılmış seviye absorblaması) etkilerini dikkate alan ve Er^{3+} için iki seviyeli enerji band modelini içeren Giles modeli kullanılmıştır. Giles modelinde erbiyum katkılı fiber boyunca sinyal ve ASE güçlerinin yayınımını karakterize eden propagasyon denklemleri absorblama ve emisyon katsayıları cinsinden verilmektedir[11].

Tablo 1: Metro–12 erbiyum katkılı fiber parametreleri

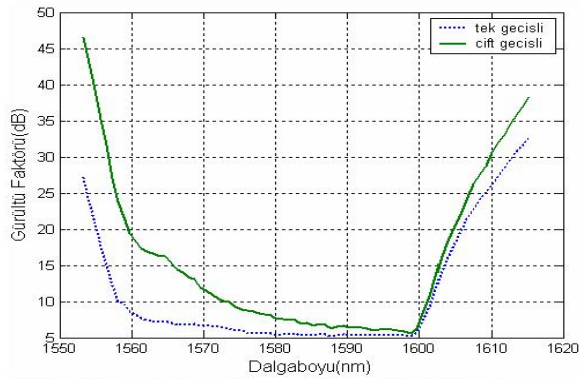
NA	0.21
Kesim dalgaboyu	960 nm
İyon konsantrasyonu	$1.6e25$ iyon/m ³
Öz yarıncapı	1.75 μ m
Arkaplan kaybı	8.0 dB/km @ 1310 nm
Absorblama	10.46 dB/m @ 980 nm 7.28 dB/m @ 1480 nm 17.70 dB/m @ 1530 nm
Emisyon	2.01 dB/m @ 1480 nm 16.59 dB/m @ 1530 nm

Şekil 1’de toplam 230 mW (127,6 mW ileri yönde, 103 mW geri yönde) pompa gücüyle pompalanmış her iki L-EDFA tasarımının kazanç spektrumları verilmiştir.



Şekil 1: Çift yönlü pompalamalı, tek geçişli ve çift geçişli L-bandı EDFA'lar için kazançın sinyal dalgaboyu ile değişimi

Tek geçişli L-EDFA'da maksimum kazanç 1562 nm'de 28 dB olmakta, artan dalgaboyu ile azalarak 1610 nm'de 19 dB kazanç elde edilmektedir. Diğer taraftan çift geçişli L-EDFA tasarımı genel olarak daha yüksek kazanç sağlamıştır. Kazanç değişimi 1562 nm ile 1615 nm arasında yaklaşık düz olup 30-36 dB arasında değişmektedir. Maksimum kazanç 1600 nm dalgaboyunda elde edilmiştir.



Şekil 2: Tek geçişli ve çift geçişli L-bandı EDFA için gürültü faktörünün sinyal dalgaboyu ile değişimi.

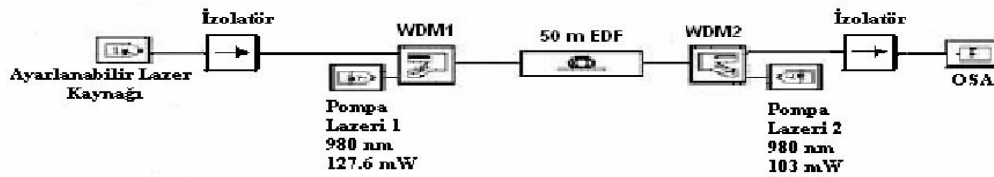
Şekil 2'de her iki L-EDFA tasarımı için simülasyonla elde edilen gürültü faktörü değişimleri verilmiştir. 1560 nm dalgaboyunda çift geçişli L-EDFA'da 18 dB gürültü faktörüne karşılık, tek geçişli tasarım için gürültü faktörünün 8 dB civarında olduğu görülmektedir.

Daha yüksek dalgaboyları için klasik tek geçişli ve çift geçişli EDFA'da gürültü faktörü değerlerinin düştüğü ve yaklaşık 1600 nm'de eşitlendiği görülmektedir. En düşük gürültü faktörü 1598 nm'de tek geçişli devre için 5.8 dB, çift geçişli için ise 6.6 dB olarak elde edilmiştir. Bu sonuçlarla çift geçişli L-EDFA'da kazanç performansının daha iyi olmasına rağmen gürültü performansının nispeten daha kötü olduğu anlaşılmaktadır. Kazanç ve gürültü faktörü spektrumları dikkate alındığında verilen L-EDFA tasarımları için kullanılabilir bandgenişliğinin 1570 nm- 1600 nm arasında yaklaşık 30 nm olduğu görülmüştür.

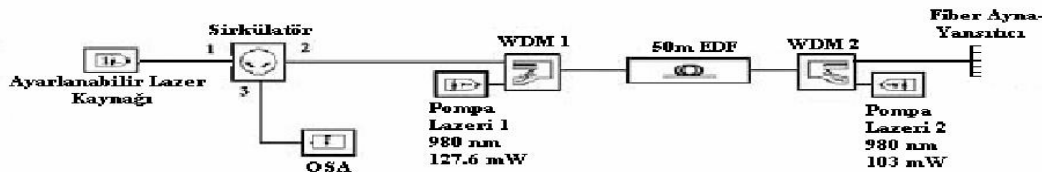
3. Tek Geçişli ve Çift Geçişli L-EDFA'nın Deneysel Performansları

Deneysel olarak gerçekleştirilen, tek geçişli ve çift geçişli L-bandı EDFA düzeniği sırasıyla Şekil 3 ve 4'de gösterilmektedir. 1495-1585 nm dalgaboyu aralığında çalışan bir ayarlı lazer kaynağından alınan sinyal, çift yönlü olarak 980 nm dalgaboylu pompa lazerleri ile pompalanan EDF'de yükseltilmektedir. Sinyal yansımalarını önlemek üzere tek geçişli EDFA giriş ve çıkışlarında izolatör kullanılmıştır. Çift geçişli L-bandı EDFA da ayarlı lazer kaynağından alınan sinyal, sirkülötör üzerinden, EDFA'ya uygulanmaktadır. EDFA çıkışına bağlanan bir genişband fiber reflektör ile %100 geri yansıtılan sinyal, EDF boyunca tekrar kuvvetlendirilmekte ve sirkülötörün 3 nolu çıkışından OSA'ya uygulanmaktadır. Sirkülötör EDFA giriş ve çıkışında izolasyon sağladığı için tasarımda ayrıca izolatör kullanılmamıştır. Deneyde kullanılan erbiyum katkılı fiber uzunluğu 50 m. olup, 980 nm de toplam 230,6 mW'lık bir pompa gücüyle pompalanmaktadır.

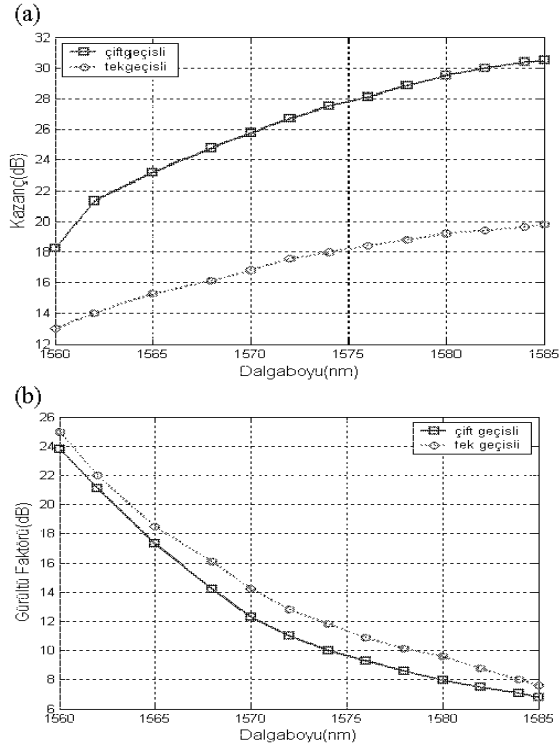
Şekil 5a ve b'de toplam 230 mW pompa gücüyle iki yönlü pompalanan tek geçişli ve çift geçişli L-EDFA'nın, sinyal dalgaboyuna bağlı kazanç ve gürültü faktörü spektrumları görülmektedir. Şekil 5.a'daki klasik tek geçişli L-EDFA düzeniğinde 1560 nm dalgaboyunda kazanç 13 dB iken 1585 nm'de yaklaşık 5 dB'lik bir artışla 20 dB'ye ulaşmaktadır. Çift geçişli L-EDFA tasarımında ise kazancın 1560nm'de 18 dB iken 1585 nm dalgaboyunda 30,5 dB'ye ulaştığı görülmektedir. Şekil 5.b'den gürültü faktörünün C'den L bandına doğru artan dalga boyu ile azaldığı görülmektedir.



Şekil 3: Tek geçişli L-bandı EDFA deneysel düzeniği

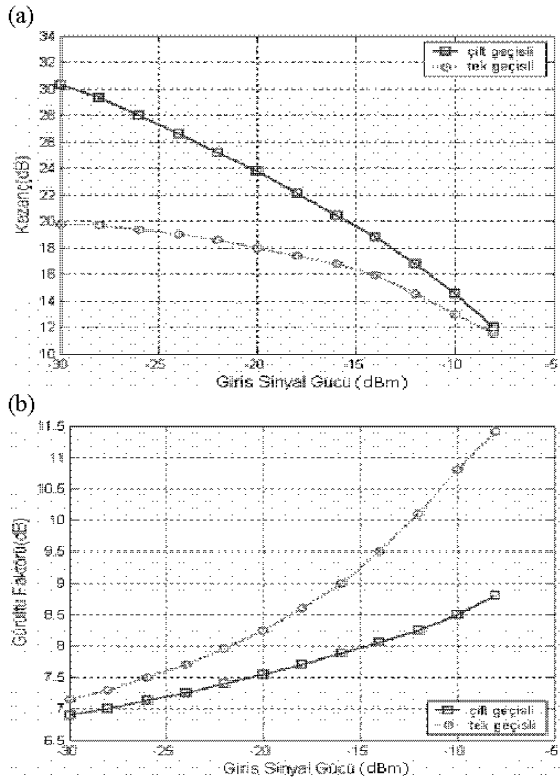


Şekil 4: Çift geçişli L-bandı EDFA deneysel düzeniği



Şekil 5: Klasik tek geçişli ve çift geçişli L-EDFA'nın (a) kazanç ve (b) gürültü faktörünün sinyal dalgaboyu ile değişimi.

Ayrıca klasik tek geçişli L-EDFA'da gürültü faktörünün çift geçişli düzeneğe göre tüm dalgaboylarında yaklaşık 1,5 dB yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Bu fark, büyük ölçüde çift geçişli L-EDFA'da elde edilen yüksek kazançtan kaynaklanmaktadır.

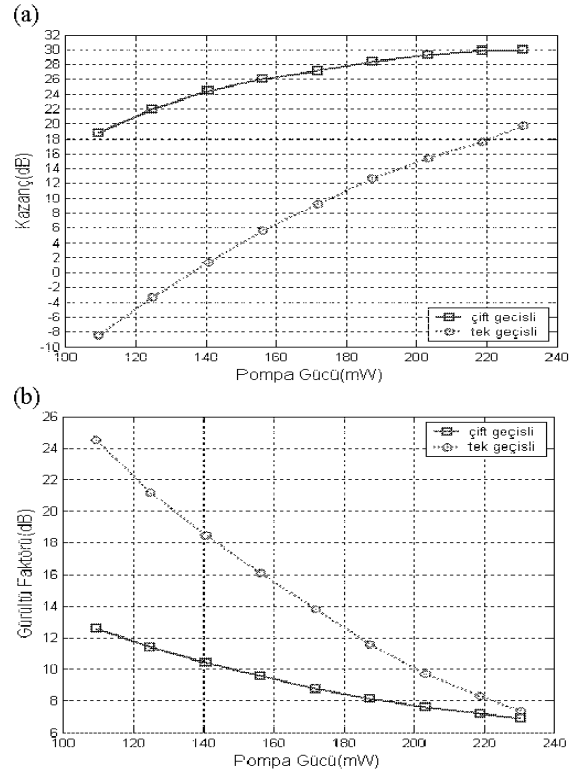


Şekil 6: Çift geçişli ve tek geçişli L-EDFA'da (a) kazanç ve (b) gürültü faktörünün giriş sinyal gücüyle değişimi

1585 nm dalgaboyunda ve toplam 230 mW pompa gücüyle iki yönlü pompalanan tek geçişli ve çift geçişli L-EDFA'nın kazanç ve gürültü faktörünün, giriş sinyal gücüyle değişimi Şekil 6 a ve b'de görülmektedir. Şekil 6.a'da giriş sinyal gücü -30 dBm mertebesinde iken çift geçişli L-EDFA kazancının 30,5 dB, tek geçişli de ise 20 dB civarında olduğu görülmektedir. Şekil 6.b'den ise gürültü faktörü değerinin, çift geçişli ve tek geçişli L-EDFA'da sırasıyla -30 dBm de 6,9 dB ve 7,2 dB iken artan giriş sinyal gücüyle birlikte hızla yükseldiği anlaşılmaktadır. Gürültü faktöründeki artış oranı tek geçişli L-EDFA'da daha fazla olmuş ve -8 dBm giriş sinyal gücünde 11,5 dB'ye ulaşmıştır.

Şekil 7 'de tek ve çift geçişli L-EDFA'da kazancın ve gürültü faktörünün toplam pompa gücü ile değişimleri verilmektedir. Bu değerler -30 dBm giriş sinyal gücünde ve 1585 nm dalgaboyunda elde edilmiştir.

Artan pompa gücüyle sağlanan kazanç artışı tek geçişli klasik L-EDFA'da daha yüksek olmaktadır. Bunun nedeni tek geçişli devrede kazanç daha düşük değerlerden başlayarak yükselmektedir. 230 mW'lık toplam pompa gücünde 20 dB'ye yükselen kazanç henüz tam saturasyonda değildir. Çift geçişli konfigürasyonda ise, sağlanan yüksek pompalama verimi ile L-EDFA yüksek kazançta erken saturasyona gitmekte ve dolayısıyla kazanç/pompa artış oranı düşük kalmaktadır. 230 mW'lık pompalama gücü için sağlanabilen maksimum kazanç 30,5 dB'dir. Bu değer tek geçişli konfigürasyona göre yaklaşık 10,5 dB daha fazladır.



Şekil 7: Tek geçişli ve çift geçişli L-EDFA'da (a) kazanç ve (b) gürültü faktörünün toplam pompa gücü ile değişimi

Diğer taraftan çift geçişli konfigürasyon, yüksek kazanç nedeniyle düşük gürültü faktörü sergilemiştir. 120 mW'lık pompa gücünde gürültü faktörleri; tek geçişli EDFA'da 22 dB, çift geçişli L-EDFA'da 12 dB olmuştur.

10 dB olan NF farkı, artan pompa gücüyle azalarak 230 mW'ta 0,5 dB'nin altına düşmüştür. Pompa gücüyle NF değişimlerine bakıldığında, 230mW'tan yüksek güçler için, tek geçişli konfigürasyonun gürültü faktörü değerinin çift geçişliye göre biraz daha düşük olacağı söylenebilir. Çift geçişli düzenekte artan kazanç verimi ve tek geçişliye yakın NF performansı, başlıca pompalama veriminin artması (aynı fiberden iki defa geçen sinyalde daha fazla kazanç sağlanması nedeniyle) ve ileri yönlü ASE sinyallerinin, L bandı için ikincil pompa sinyali olarak kullanılmasından kaynaklanmaktadır.

Çift geçişli L-EDFA'dan deneysel olarak elde edilen performans, aynı devrenin simülasyonu ile elde edilen karakteristiklerle de kıyaslanmıştır. Deneysel kazanç değerlerinin teorik sonuçlara göre daha düşük ve gürültü faktörü değerlerinin daha yüksek elde edilmesi, deneysel düzenekteki ideal olmayan faktörlerden kaynaklanmaktadır. Bu faktörler içerisinde; konnektörlerde ve pasif optik elemanlarda meydana gelen yansıma kaynaklı sinyal ve pompa kayıpları, WDM, sirkülator ve reflektör zayıflama oranlarındaki belirsizlikler sayılabilir. Sistemdeki tüm bağlantıların konnektör yerine füzyon eklenmesi ve daha düşük kayıplı ve yansıtımlı pasif optik elemanlar kullanılması deneysel sonuçların, teorik sonuçlara yaklaşmasını sağlayacaktır.

4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, çift geçişli, çift yönlü pompalamalı L bandı erbiyum katkılı fiber amplifikatörün (L-EDFA) teorik analizi ile deneysel tasarımı gerçekleştirilmiş ve deneysel karakterizasyonu yapılmıştır. Simülasyon yoluyla elde edilen çift geçişli kazanç ve gürültü spektrumları dikkate alındığında verilen L-EDFA tasarımı için kullanılabilir bandgenişliğinin (1570 nm–1600 nm arasında) yaklaşık 30 nm olduğu görülmüştür. Çift geçişli L-EDFA'da ölçülen deneysel kazanç ve gürültü faktörü değerleri, teorik simülasyon sonuçlarına göre nispeten daha düşük kazanç ve daha yüksek gürültü faktörü ile sonuçlanmıştır. Bu durum, simülasyonda hesaba katılmayan bazı bağlantı kayıpları ve ek noktalarındaki yansımalar gibi deneysel düzenekteki ideal olmayan faktörlerden kaynaklanmaktadır.

Her iki konfigürasyonun deneysel performansı kıyaslandığında; çift geçişli düzenekte daha yüksek pompa kazanç verimi ve tek geçişliye yakın NF performansı elde edildiği görülmüştür. Bu durum başlıca pompalama veriminin artmasından (aynı fiberden iki defa geçen sinyalde daha fazla kazanç sağlanması nedeniyle) kaynaklanmaktadır.

Çift geçişli çift yönlü pompalamalı L-EDFA'ya 230.6 mW toplam pompa gücü ve -30 dBm'lik giriş sinyali uygulanarak, 30nm'lik bir iletim penceresinde optik sinyallerin kuvvetlendirilebildiği ve 1520 nm'den 1620 nm 'ye kadar geniş bir band için ASE sinyalinin elde edilebildiği anlaşılmaktadır.

5. Kaynakça

- [1] 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 No.10, 1999 p 1232,.
- [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] 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, p 1258.
- [4] Chen H., Leblanc M., Schimm G.W., "Gain enhanced L-band optical fiber amplifiers and tunable fiber lasers with erbium-doped fibers", *Optics Communications*, Vol 216, 2003, p 119.
- [5] 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, p 125.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] Harun, S.W., Tamchek, N., Poopalan, P., and Ahmad, H., "Double-pass L-band EDFA with enhanced noise figure characteristics", *IEEE Photonics Technology Letters*, Vol.15, No. 8, 2003,p 1055
- [9] Mahdi, M.A., Khairi, K.A., Bouzid, B., and Abdullah, M.K., " Optimum pumping scheme of dual-stage triple-pass erbium-doped fiber amplifier" *IEEE Photonics Technology Letters*, Vol. 16, No.2004, p 419
- [10] Altuncu,A., and Başgümüş, A., "Gain Enhancement in L Band Loop EDFA Through C Band Signal Injection", *IEEE Photonics Technoogy. Letters.*, Vol. 17 No.7, 2005, p. 1402-1404,.
- [11] Giles,C.R., and Desurvire, E., "Propagation of signal and noise in concatenated erbium-doped fibre optical amplifiers" *IEEE Journal of Lightwave Technology Letters* Vol.9 No.2 1991 pp.271-283"