

# L Bandı Döngü Tipi EDFA'da Tümüyle Optik Anahtarlama

## All-Optical Switching in a L Band Loop EDFA

Ahmet Altuncu<sup>1</sup>, M.Ali Ebeoğlu<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümü

Dumlupınar Üniversitesi, Kütahya

altuncu@dumlupinar.edu.tr, mebeoglu@dumlupinar.edu.tr

### Özet

Bu çalışmada, bir L Bandı döngü tipi EDFA'ya bir C bandı kontrol sinyali uygulamak suretiyle L bandındaki bir sinyalin tümüyle optik olarak anahtarlanaabileceği gösterilmektedir. L bandında çalışan bir EDFA'da döngü konfigürasyonu kullanılarak kazanç ve gürültü faktörü performansında önemli ölçüde artış elde edilebilmektedir. Gerçekleştirilen optik anahtarlama sisteminin optik ve elektriksel performansı kabul edilebilir düzeydedir ve 1mW'tan daha düşük C bandı kontrol sinyal güçleriyle çalışabilme avantajına sahiptir.

### Abstract

In this study, it is shown that an L-band optical signal can be all-optically switched in an L-band loop EDFA using a C band control signal. In an L-band EDFA designed using loop configuration, a significant improvement can be achieved in gain and NF performance. Optical and electrical performance of the all-optical switching system realized is within the acceptable levels and has an advantage of operation in low control signal powers less than 1 mW in C band.

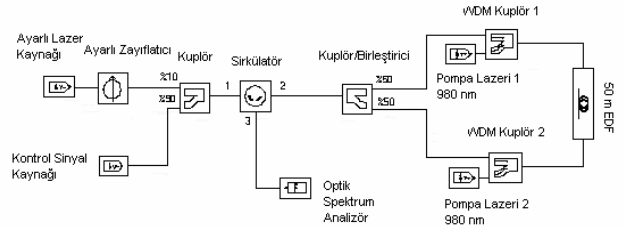
### 1. Giriş

Klasik (C bandı, 1525-1565 nm) ve uzun dalgaboyu (L-bandı, 1565-1620 nm) bandlarında çalışabilen erbiyum katkılı fiber amplifikatörler (EDFA) ve kuvvetlendirilmiş spontane emisyon optik kaynaklarının (ASE source) geliştirilmesi, yoğun dalgaboyu bölmeli çoğullamalı (DWDM) iletişim sistemlerinde daha geniş bir iletim penceresinin elde edilmesini, ayrıca genişbandlı fiber optik sensor ve tümüyle optik anahtarlama uygulamalarında kullanılabilmesini sağlamıştır [1,2]. Tümüyle optik anahtarlama (all-optical switching), gelecekte kullanılacak yüksek hızlı optik zaman ve dalgaboyu bölmeli çoğullamalı (OTDM ve WDM) iletişim sistemleri ve bilişim ağları için gerekli olan kritik teknolojilerden birisidir. Bu tür yüksek hızlı tümüyle optik anahtarları gerçekleştirmek, doğrusal olmayan malzemelerde hız ve verimlilik arasındaki ters ilişki nedeniyle oldukça zordur. Hızlı ve verimli anahtarlama için yakın zamanda önerilen tümüyle optik anahtar türleri çoğunlukla, interferometrik düzenlemelere sahip yarıiletken optik amplifikatörlerdeki (SOA) doğrusal olmayan etkilerden dolayı ortaya çıkan karşıt-faz modülasyonuna (XPM) dayanır. Bu yöntem kullanılarak, döngü aynasında SOA anahtar, Mach-Zender interferometre anahtar ve ultra hızlı doğrusal olmayan interferometre anahtar gibi anahtar türleri geliştirilmiştir. [3-

5]. Bu yöntemlerin birçoğu fiberde yeterli doğrusal olmayan etkiler üretmek suretiyle hızlı optik anahtarlama yapabilmek için, çok yüksek kontrol sinyal güçlerine ihtiyaç duymaktadırlar. Bu çalışmada, bir L Bandı döngü tipi EDFA'ya bir düşük güçlü C bandı kontrol sinyali uygulamak suretiyle L bandında iletilen sinyalin optik olarak anahtarlanaabileceği gösterilmektedir. C bandı çekirdek sinyal enjeksiyonu ile gerçekleştirilen optik anahtarlamanın performansı deneysel olarak karakterize edilmiştir.

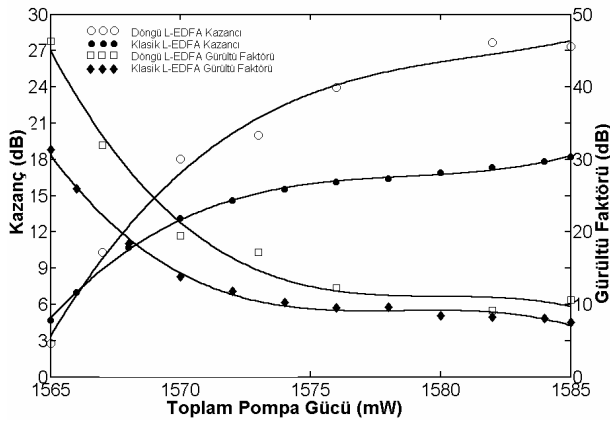
### 2. L Bandı Döngü Tipi EDFA ve ASE Kaynağı

Çift yönlü pompalamalı döngü tipi L-EDFA ve ASE kaynak tasarımı şekil.1'de görülmektedir. Bu konfigürasyonda, bir ayarlı lazer kaynağı (TLS) ile bir ayarlı optik zayıflatıcı L-band sinyal kaynağı olarak kullanılmıştır. TLS çıkış sinyali ve 1550 nm'deki C-band enjeksiyon sinyali bir 90/10 kuplörde birleştirilmiş ve bu sinyal 980 nm'de çift yönlü pompalanmış döngü tipi L-EDFA'ya uygulanmıştır. Döngü tipi tasarımda, birleşik sinyal bir genişband sirkülatör ve 3-dB kuplör üzerinden yönlendirilir. Sirkülatörün giriş ve çıkış portları arasındaki izolasyon L-EDFA içindeki istenmeyen osilasyonları önlemeyi sağlar. Bu deneyde kullanılan erbiyum katkılı fiber (EDF) 50 m uzunlukta olup NA'sı 0.21, kesim dalgaboyu 960 nm, öz yarıçapı 1.75  $\mu\text{m}$ , 1310 nm'deki arkaplan kaybı 8 dB/km, 980 nm'deki soğurum kaybı 10.46 dB/m ve 1530 nm'deki emisyon kaybı 16.59 dB/m'dir. L-EDFA çıkışında yükseltelen sinyal bir Anritsu MS9710B optik spektrum analizör ile gözlemlenmiş ve kazanç ve gürültü faktörü (NF) ölçümleri 0.1 nm çözünürlükte sistematik olarak gerçekleştirilmiştir. L-EDFA'ya uygulanan maksimum pompa gücü 114.8 mW ileri yönde ve 90.8 mW geri yönde olmak üzere toplam 205.6 mW'tır. İleri yönde/toplam pompalama güç oranı 0.56'tır.

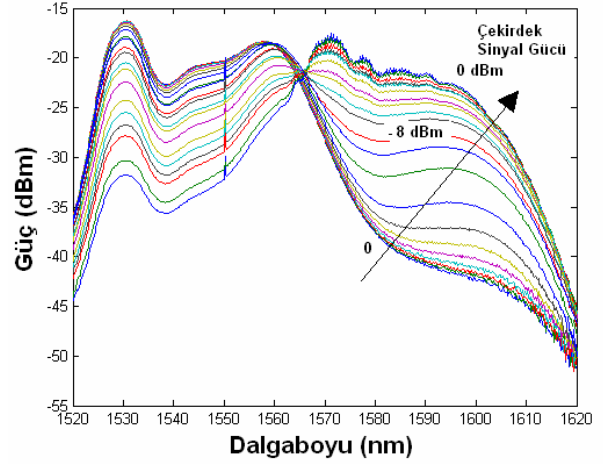


Şekil 1. C bandında çekirdek sinyal uygulanan çift yönlü pompalamalı L bandı döngü tipi EDFA

Şekil 2’de çift yönlü pompalamalı klasik ve döngü tipi L-EDFA’nın kazanç ve gürültü faktörü performansı toplam pompa gücünün fonksiyonu olarak görülmektedir. Bu deneyde, uygulanan pompa gücü 125 mW’tan 205 mW’a kadar artırılmıştır. Şekilden de görülebileceği gibi, artan pompa gücü ile kazanç artmakta ve NF azalmaktadır. Döngü tipi L-EDFA tasarımında, klasik L-EDFA’ya göre daha yüksek kazanç elde edilmiştir. Buna karşılık, döngü tipi L-EDFA’nın gürültü faktörü performansında bir miktar azalma elde edilmiştir. Döngü tipi L-EDFA’da daha yüksek kazanç elde edilmesinin nedeni şu şekilde açıklanabilir: Birleşik L-band sinyal ve uygulanan C bandındaki çekirdek sinyali 3-dB kuplörde iki parçaya ayrılır. Saat ibresi ve tersi yönünde ilerleyen bu sinyaller, amplifikatörde yüksek oranda kuvvetlendirilerek aynı kuplöre geri yansıtılırlar. EDF’nin her iki uç tarafında üretilen geri yönlü ASE, yoğun şekilde yükseltelen C band çekirdek sinyal nedeniyle önemli ölçüde bastırılır. Fiberin her iki ucunda gerçekleşen geri yönde ASE’nin bastırılması ve ikincil pompa etkileri, pompa dönüşüm veriminin artması ve klasik konfigürasyona göre önemli ölçüde daha yüksek kazanç elde edilmesiyse sonuçlanmaktadır. Ayrıca bu tasarımda döngü, 3-dB kuplör oranı, düzgün EDF yapısı ve her iki uçta eşit güçte pompalama yapılması nedeniyle dispersiyonu dengelenmiş fiber yansıtıcı ayna gibi davranmaktadır. L bandı sinyalinin karşı yönde yayılan bileşenleri döngü içinde eşit optik yol katederler ve daha sonra sirkulatör üzerinden çıkış portuna yönlendirilirler. Bu nedenle, bir zaman gecikmesine yol açacak şekilde bağlı fazlarını değiştirmezler. Yansıma mekanizması, koherent giriş sinyalinin karşı yönde ilerleyen bileşenlerinin yapıcı girişime uğramasından kaynaklanmaktadır [6]. Bu durum, L bandı EDFA’nın döngü tipinde daha yüksek kazanç elde edilmesiyse sonuçlanmıştır. Bu nedenle, döngü L-EDFA her iki doğrusal ve doğrusal olmayan rejimlerde yüksek kalitede darbe kuvvetlendirmesi yapabilir. Bu yöntemin, döngü uzunluğu, döngü kazancı, kuplör ayırma oranı, giriş tepe gücü, giriş darbe şekli, başlangıç frekans çörpü ve daha yüksek mertebeden fiber etkileri gibi her iki cihaz ve giriş darbesi parametrelerinde oluşacak küçük değişimlere karşı oldukça tolere edici olduğu teorik olarak da gösterilmiştir [7].



Şekil 2. Klasik ve döngü tipi L-EDFA konfigürasyonları için kazanç ve gürültü faktörünün toplam pompa gücü ile değişimi. (Psig.in = -30 dBm, λsig = 1585 nm)

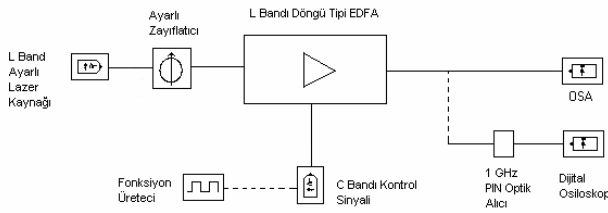


Şekil.3. L bandı döngü tipi EDFA'da çıkış ASE spektrumunun çekirdek sinyal gücü ile değişimi.

Bir L bandı döngü tipi EDFA, çalışma bandı seçilebilen geniş bantlı bir ASE kaynak olarak kullanılabilir [2]. Şekil 3, L bandı döngü tipi EDFA’da L bandında giriş sinyali yokken çıkışta elde edilen ASE spektrumunun uygulanan C bandı çekirdek sinyal gücü ile değişimini göstermektedir. Çekirdek sinyal uygulanmadığında, çıkış ASE spektrumu tamamen C bandını kapsamaktadır. -8 dBm civarında bir çekirdek sinyal uygulandığında, C band ASE kısmen bastırılır ve enerjisi L bandına transfer edilerek C+L bandını kapsayan bir ASE çıkış sinyali elde edilir. Eğer çekirdek sinyal gücü 0 dBm’e kadar artırılırsa, o zaman C bandındaki ASE sinyali önemli ölçüde bastırılır ve çıkış ASE spektrumu daralarak yalnızca L bandını kapsayacak duruma gelir. 1550 nm’de C bandı çekirdek sinyal enjeksiyonunun bir döngü tasarımı kontrol sinyali olarak kullanılmasının etkisi iki mekanizma ile açıklanabilir : İlk olarak, C bandı geri yönlü ASE EDF’nin uç kısımlarında bastırılmasıyla pompa gücü L bandı ASE gücüne daha verimli bir biçimde dönüştürülebilir. C bandı çekirdek sinyal enjeksiyonu ile pompa gücünden L bandı ASE’ye güç dönüşüm verimindeki artış çekirdek sinyal dalgaboyu ile enjekte edilen güç seviyesinin her ikisine bağlıdır. Çekirdek sinyal dalgaboyu 1540-1560 nm arasında iken 1535 nm civarındaki C bandı geri yönlü ASE önemli ölçüde bastırılmaktadır. İkinci olarak, enjekte edilen C bandı çekirdek sinyali erbium katkılı fiberin giriş kısmında güçlü bir biçimde kuvvetlendirilmekte ve sistemde 1550 nm’de çalışan ikinci bir pompa kaynağı olarak kullanılmaktadır. Bir L bandı EDFA veya ASE kaynağının 1530-1550 nm bandındaki bir pompa kaynağı ile verimli bir biçimde pompalanabileceği gösterilmiştir [8]. Çekirdek sinyalinin verimli çalışma limitleri C bandı sinyal kaynağındaki küçük bandgenişliği ve güç sapmalarını tolere edebilecek şekilde yeterince geniştir. Daha uzun bir EDF ve daha yüksek pompa güçleri kullanılarak C bandından L bandına maksimum güç transferi sağlanabilir ve çıkışta daha geniş bir ASE spektrumu elde edilebilir.

### 3. L Bandı Döngü Tipi EDFA'da Çekirdek Sinyal Enjeksiyonu ile Optik Anahtarlama

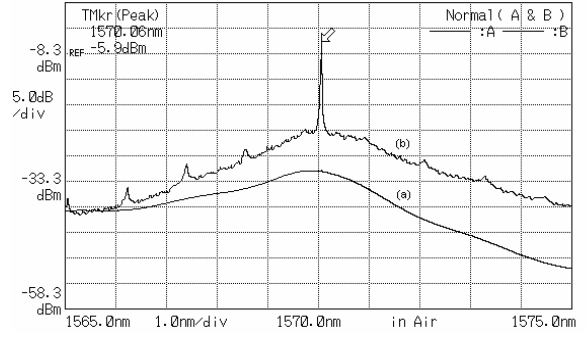
Bir L bandı döngü tipi EDFA'ya uygulanan C bandı çekirdek sinyalini kontrol sinyali olarak kullanarak tümüyle optik anahtarlama yapılabilir. Şekil.4, L bandı döngü tipi EDFA'ya 1550 nm'de ve -1.6 dBm gücünde C bandı kontrol sinyali uygulanarak gerçekleştirilen tümüyle optik anahtarlama sistemini göstermektedir. L bandında çalışan ayarlı lazer kaynağında üretilen sinyal L bandı döngü tipi EDFA'da birlikte uygulandığı 1550 nm'deki kontrol sinyali ile ON-OFF anahtarlama yapılmaktadır. Deney düzeneğinde, C bandı kontrol sinyali kaynağını modüle etmek için bir standart fonksiyon üretici kullanılmıştır. Deneyde L bandı sinyalin optik çıkış karakteristikleri Anritsu MS9710B optik spektrum analizör ile elektriksel çıkış karakteristikleri ise 1 GHz'de çalışan bir PIN diyotlu optik alıcı ve dijital osiloskop ile elde edilmiştir.



Şekil 4. L Bandı EDFA'da çekirdek sinyal enjeksiyonu ile optik anahtarlama düzeneği.

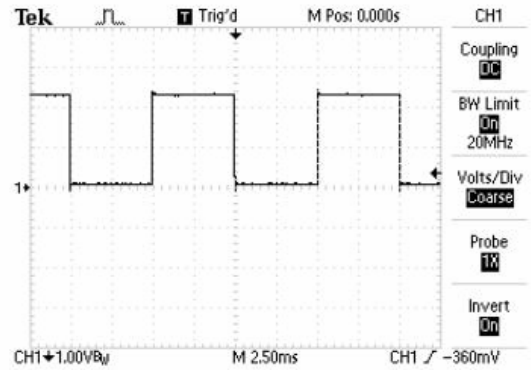
L bandı döngü tipi EDFA'da elde edilen sinyal kazancı, sinyalle aynı yönde uygulanan C bandı çekirdek sinyal gücü ile orantılı olarak artış göstermektedir. Uygun değerlerde C bandı çekirdek sinyalini kontrol sinyali olarak kullanmak suretiyle, bir L bandı optik kanalı anahtarlama mümkün olabilir. Şekil 5 'de, 1570 nm'de ve -30 dBm sinyal giriş gücündeki bir L bandı sinyalinin, döngü tipi EDFA'da bir C bandı kontrol sinyali ile anahtarlama sonucu elde edilen optik çıkış spektrumları görülmektedir. Şekil 5.a kontrol sinyali uygulanmadan, Şekil 5.b ise -1.6 dBm (0.7 mW) ortalama güce sahip bir C bandı kontrol sinyali uygulandığında elde edilen çıkış spektrumlarını göstermektedir. Kontrol sinyali uygulanmadığında 0 dB kazanç ve 74.4 dB gürültü faktörü değerlerine sahip olan L-EDFA'da kontrol sinyali uygulandığında 25 dB kazanç, 11.9 dB gürültü faktörü ve 18.4 dB yan mod bastırma oranı (SMSR) elde edilmiştir.

Şekil 6'da 100 Hz karedalga sinyal ile modüleli kontrol sinyalinin doğrudan bağlı olduğu foto alıcı çıkışındaki elektriksel dalgaşekli görülmektedir. 100 Hz karedalga sinyal ile doğrudan modüle edilen -4.6 dBm ortalama gücünde bir C bandı kontrol sinyali ile anahtarlama yapılmış 1570 nm dalgaboyunda bir L Bandı çıkış sinyalinin dijital osiloskopa elde edilen elektriksel dalga şekli ise Şekil 7'de görülmektedir. Elektriksel ölçümler, anahtarlama kazancı değişiminin 10 dB, güç taşınımının 1.64 dB, yükselme süresinin ( $t_r$ ) 4.167 ms ve bandgenişliğinin ( $0.35/t_r$ ) 84 Hz olduğunu göstermiştir.

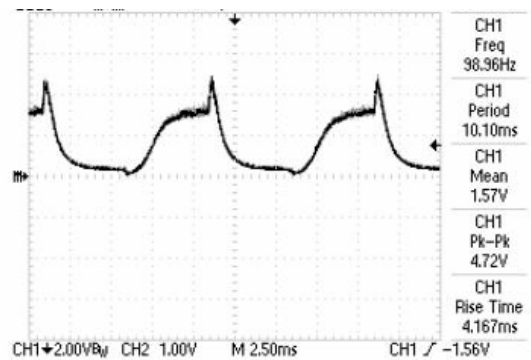


Şekil 5. L bandındaki bir giriş sinyali için L bandı döngü tipi EDFA'nın ölçülen çıkış spektrumu (giriş sinyal dalgaboyu : 1570 nm, sinyal gücü : -30 dBm)

- C bandı kontrol sinyali yokken,
- 1.6 dBm ortalama güce sahip bir C bandı kontrol sinyali uygulandığında.

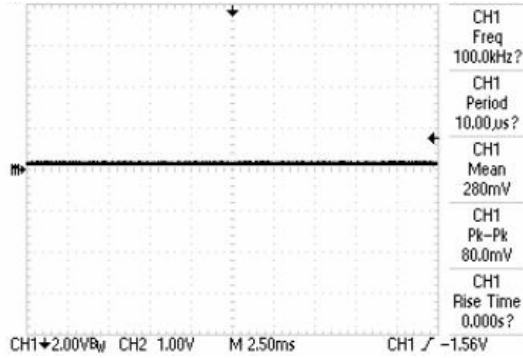


Şekil 6. 100 Hz karedalga sinyal ile modüleli C band kontrol sinyalinin foto alıcı çıkışındaki elektriksel dalgaşekli. (EDFA'sız)

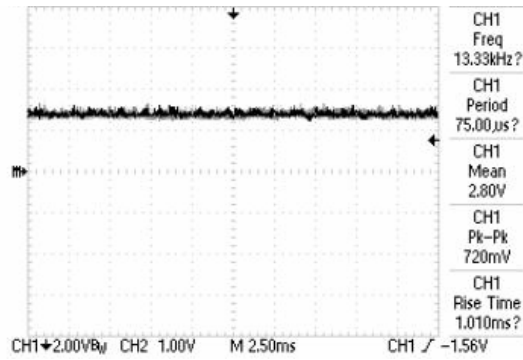


Şekil 7. 100 Hz karedalga sinyal ile modüleli -4.6 dBm ortalama gücünde C bandı kontrol sinyali ile anahtarlama yapılmış bir L Bandı sinyalin elektriksel çıkış dalga şekli. (EDFA ile)

Şekil 8’de, -30 dBm giriş sinyal gücü için ve C band kontrol sinyali yokken EDFA’ya uygulanmaksızın L-EDFA çıkışında ölçülen elektriksel dalgaşekli görülmektedir. Şekil 9’da ise -30 dBm giriş sinyal gücü için ve -1.6 dBm ortalama güçte modülesiz C band kontrol sinyali uygulandığında ölçülen fotoalıcı çıkış dalgaşeklini göstermektedir. Dalgaşekillerinden de görüleceği gibi optik anahtarlama düzeneği kontrol sinyali yokken OFF konumundadır. Yeterli güçte bir C bandı kontrol sinyali uygulandığında optik anahtarlama düzeneği ON konumuna geçmekte ve L bandındaki bilgi sinyalini çıkışı doğru iletmektedir. (Şekil 9). Bu sonuçlarla, önerilen ve deneysel olarak karakterize edilen L bandı döngü tipi tümüyle optik anahtarın düşük hızlı anahtarlama uygulamalarında (< 100 Hz) başarıyla kullanılabilceği anlaşılmaktadır.



Şekil 8. -30 dBm giriş sinyal gücü için ve C band kontrol sinyali yokken ölçülen foto alıcı çıkış dalgaşekli (EDFA ile)



Şekil 9. -30 dBm giriş sinyal gücü için ve -1.6 dBm ortalama güçte modülesiz C band kontrol sinyali varken ölçülen fotoalıcı çıkış dalgaşekli (EDFA ile)

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada bir L Bandı döngü tipi EDFA’ya bir C bandı kontrol sinyali uygulanmasıyla elde edilen L bandındaki bilgi taşıyan optik kanalın tümüyle optik anahtarlama ve amplifikasyonu deneysel olarak gösterilmiştir. Anahtarlama sinyalinin çıkış optik spektrumları ve elektriksel dalgaşekilleri elde edilmiştir. Önerilen tasarımın anahtarlama performansı kabul edilebilir seviyede olup, düşük kontrol sinyal gücü gerektirmesi (< 1 mW), çift yönlü anahtarlama imkanı, yüksek

amplifikatör kazancı sayesinde genişbandlı (yaklaşık 30 nm) anahtar+amplifikatör olarak çalışabilme, ve yüksek veri iletimi (throughput) gibi birçok avantaja sahiptir. Bu şekilde 1 mW’tan daha düşük bir kontrol sinyal gücü kullanılarak fiberde doğrusal olmayan etkiler üretilmeksizin düşük hızlı (~ 84 Hz) tümüyle optik anahtarlama + amplifikatör uygulamalarında başarıyla kullanılabilir.

#### 5. Kaynakça

- [1] Altuncu, A. and Başgümüş, A., “Gain Enhancement in L Band Loop EDFA Through C Band Signal Injection”, *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 17 no.7, pp. 1402-1404, July 2005.
- [2] Altuncu, A., “Band Selection in Broadband Loop ASE Source Using Seed Signal Injection”, *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 18 no.9, pp. 1043-1045, May 2006.
- [3] Melloni A., Chinello M. And Martinelli M., “All-Optical Switching in Phase-Shifted Fiber Bragg Grating”, *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 12 no.1, pp. 42-44, Jan. 2000.
- [4] Schubert C., Berger J., Diez S., Ehrke H.J., Ludwig R., Feiste U., Schmidt C., Weber H.G., Toptchiyski G., Randel S. And Petermann K., “Comparison of Interferometric All-Optical Switches for Demultiplexing Applications in High Speed OTDM Systems”, *J. of Lightwave Techn.*, vol.20 no.4, pp.618-624, April 2002.
- [5] Bananej A. And Li C., “Controllable All-Optical Switch Using an EDF-Ring Coupled M-Z Interferometer”, *IEEE Photon. Technol. Lett.*, vol. 16 no.9, pp. 42-44, Sept. 2004.
- [6] Atieh A.K., Hatami-Hanza H., “Loop erbium doped fiber amplifiers”, *Fiber and Integrated Optics*, vol. 19, pp. 1-8, 2000.
- [7] Wai P.K.A., Cao W.,”Simultaneous amplification and compression of ultrashort solitons in an erbium doped nonlinear amplifying fiber loop mirror”, *IEEE J. of Quantum Electronics*, vol.39, pp.555-561, April 2003.
- [8] Choi B.H., Park H.H., Chu M. and Kim S.K., “High gain coefficient long wavelength band erbium doped fiber amplifier using 1530 nm band pump”, *IEEE J. of Quantum Electronics*, vol.39, pp. 1272-1280, Oct.2003.