

Fiber Raman Yükselteçlerde Pompalama Yönünün Kazanç Spektrumuna Etkisi Üzerine Bir Simulasyon

Murat YÜCEL, H.Haldun GÖKTAŞ
Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi; Elektronik Bilgisayar Eğitimi Bölümü
06500 Teknikokullar, ANKARA

ÖZET

Fiber optik haberleşme uygulamaları için Fiber Raman Yükselteçleri (FRY) yüksek band genişliklerinden dolayı oldukça çekicidir. Fiber Raman yükselteçler, Uyarılmış Raman Saçılmasını (URS) kullanır. URS’de enerji, pompalama ışınından sinyal ışınına transfer edilir ve bu iki ışın optik fiber boyunca birlikte ilerler. Bu çalışmada, 1525 nm – 1575 nm arasındaki giriş sinyalleri, 600 mW güçte, ileri ve geri yönde ve iki yönde (her biri 300 mW güçte pompa lazerleri ile) 1450 nm dalga boyunda pompalanarak, pompalama yönlerinin sinyal kazancı üzerindeki etkisi incelenmiştir. Simulasyon sonuçları en yüksek sinyal kazancının geri yönde pompalama kullanıldığında gerçekleştiğini göstermiştir.

Anahtar kelimeler: Fiber Raman Yükselteç, Uyarılmış Raman Saçılması, pompalama yönü.

A Simulation on the Gain Spectrum Effect of the Pumping Directions in Fiber Raman Amplifiers

ABSTRACT

Fiber Raman Amplifiers (FRA) are attractive for optical fiber communication systems due to having broad bandwidths. Fiber Raman Amplifiers use the Stimulated Raman Scattering (SRS). In SRS, the energy is transferred from the pump beam to the signal beam as the two beams co propagate along the optical fiber. In this study, the effect of pumping directions to the signal gain are examined for the input signal wavelengths of varying 1525 nm to 1575 nm, for the power of 600 mW forward, backward, and bidirectional (300 mW for each pump) 1450 nm pump signals. Simulation results show that the highest signal gain achieved in the backward pumping case.

Keywords: Fiber Raman Amplifier, Stimulated Raman Scattering, pumping direction.

1. GİRİŞ

Yüksek çıkış güç değerlerine sahip yarıiletken lazerlerin gelişimi ile teknolojinin 1970’li yıllarda bu alana doğru yönelmesi, fiber optik sistemlerde kullanılması düşünülen fiber Raman yükselteçlerin bir süre daha dikkatlerden kaçmasına neden olmuştur. Hâlbuki fiber hat boyunca yerleştirilmiş FRY’ler pek çok avantajlar sağlamaktadır; düşük gürültü faktörü, çalışma mekanizmasındaki basitlik ve sinyal dalga boylarını kullanmadaki esnekliği en dikkat çekici özellikleridir. Ayrıca, FRY’nin kazancı pompa dalga boylarına bağlıyken, katılan elementin yayılım tesir kesitinden bağımsız davranış göstermektedir. FRY’ler, bu özelliği nedeni ile daha geniş band aralığında kazanç sağlama eğilimi göstererek çoklu pompa dalga boylarını kullanabilmektedir.

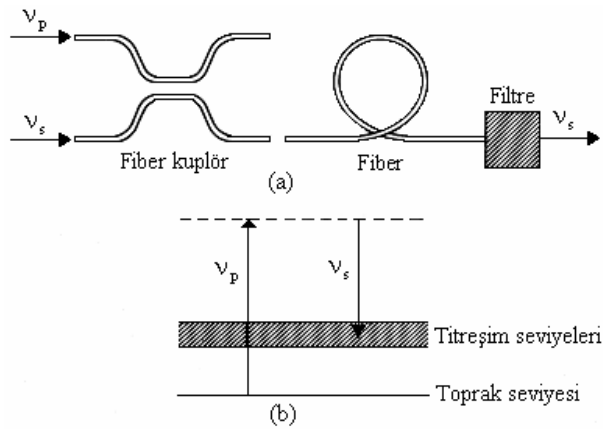
Raman yükselteçler optik yükseltme için Uyarılmış Raman Saçılması (URS) mekanizmasını kullanılır. URS, yüksek yoğunluklu Dalgaboyu Bölmeli Çoğullamada (DBÇ) daha yüksek frekanslı kanallardan, daha düşük frekanslı kanallara doğru enerji transferine neden olur. Şayet daha yüksek güç ve tüm sinyal kanallarından daha yüksek frekanslı bir pompalama kaynağı kullanılırsa (Raman kazanç spektrumu içinde), SRS

yoluyla elde edilen Raman kazancı, DBÇ kanallarındaki sinyal kaybını gidermek için kullanılabilir (1).

FRY’ler düşük gürültü değeri, düşük bağlantı kaybı, yüksek kazanç, yüksek çıkış gücü ve geniş band genişliğine sahiptir (2–4). FRY’ler erbiyum katkılı fiber yükselteçlerle (EKFY) karşılaştırıldığında, DBÇ kanal sayısı ve yükselteçler arasındaki mesafenin uzunluğu açısından daha avantajlı olduğu görülmüştür (5–7). Ayrıca dağınık Raman yükseltmesi kullanıldığında optik sinyal gürültü oranı (OSNR), toplu EKFY ile karşılaştırıldığında, her bir yükselteç arası mesafede 5 dB kadar önemli bir avantaja sahiptir (8).

2. OPTİK FİBERDE RAMAN YÜKSELTMESİ

Bir FRY, yoğun pompalama ışını yayılırken silica fiber içinde meydana gelen URS mekanizmasını kullanır. Şekil 1’de FRY ve bu yükseltecin enerji seviye şeması gösterilmektedir. Pompa ışını ve sinyal ışınının frekansları ν_p ve ν_s , bir dalgaboyu seçici kuplörden fiber içine enjekte edilir. URS yoluyla pompa ışınından sinyal ışınına enerji transfer edilir ve her iki ışın fiber boyunca birlikte yayılırlar. Pompa ve sinyal ışınları fiber içinde karşılıklı da yayılabilirler (9).



Şekil 1. Fiber Raman yükselteç ve URS enerji seviye şeması
(a) Fiber Raman yükselteç ve (b) URS enerji seviye şeması

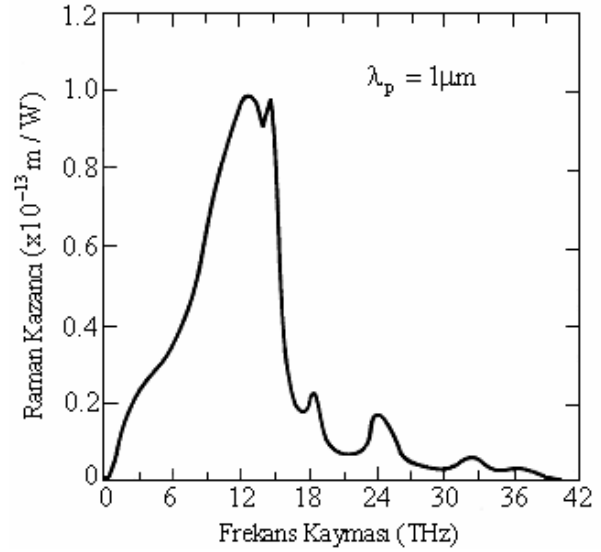
2.1. Raman kazancı ve band genişliği

Soğurulan foton ile saçılan foton arasındaki fark frekansı, $\Omega_R = \nu_p - \nu_s$, URS içinde önemli bir rol oynar. Bu Stokes kayması olarak bilinir. Moleküllerin titreşimsel enerji seviyeleri Ω_R değeri olarak kabul edilir ve Ω_R içerisindeki yayılma URS meydana gelmesini sağlar. Sonuçta, ν_s sinyal frekansı geniş bir aralığın üzerinde (40THz'den fazla) ν_p 'den farklı olabilir ve hala URS sayesinde önemli yükseltme görülebilir.

Şekil 2'de silika fiberin Raman kazanç spektrumu görülmektedir. Raman kazanç katsayısı g_R , ν_p ile lineer değişir. Zira g optik kazancı I_p pompalama şiddeti ile orantılıdır ve $g = g_R I_p$ ifadesi kullanılarak elde edilir. Pompalama gücü P_p ile ifade edilirse, kazanç ifadesi Denklem 1'de görülmektedir:

$$g(\omega) = g_R(\nu)(P_p / a_p) \quad [1]$$

Burada, a_p fiber içindeki pompalama ışınının geçiş kesit alanıdır. Kazanç tepe noktalarında 13,2 THz (440cm^{-1}) civarında Stokes kayması görülmektedir. Şekil 2'nin baskın tepesinde maksimum kazanç band genişliği $\Delta\nu_g$, 6 THz civarında olup bu değer oldukça yüksektir. Ancak, yüksek kazanç elde etmek için yüksek pompalama gücü gerekir (9).



Şekil 2. Silika için ölçülen Raman kazanç spektrumu (Geri yönde pompalama için) (9)

2.2. Teorik Analiz

Bu analizde tek modlu fiber (TMF) kullanılmış ve iletim sisteminin boyu L kabul edilmiştir. Pompalama gücü $P_1(0)$ ve sinyal gücü $S_1(0)$ $z = 0$ 'da fibere uygulanmıştır ve $+z$ yönünde ilerlemektedir. Pompalama gücü $P_2(L)$ ve sinyal gücü $S_2(L)$ $z = L$ 'den fibere uygulanmıştır ve $-z$ yönünde ilerlemektedir. Fiber öz yarıçapı r , etkin kesit alanı A (A genellikle πr^2 farz edilir), α ve g ise sırasıyla fiber kayıp katsayısı ve fiberin Raman kazanç katsayısıdır.

İleri yönde Raman yükseltilmesi incelenirse; $+z$ yönüne yayılan pompalama gücü $P_1(z)$ ve sinyal gücü $S_1(z)$ 'nin uzaklıkla değişimi Denklem 2 ve 3'de görülmektedir (10):

$$\frac{dS_1(z)}{dz} = \left[\frac{g}{A} P_1(z) - \alpha_s \right] S_1(z) \quad [2]$$

$$\frac{dP_1(z)}{dz} = - \left[\frac{g \cdot \nu_p}{A \cdot \nu_s} S_1(z) + \alpha_p \right] P_1(z) \quad [3]$$

Burada α_s , α_p sinyal ve pompalama için fiber kayıp katsayılarıdır. ν_s , ν_p ise sırasıyla sinyal ve pompalama frekanslarıdır. Burada kendiliğinden Raman yayılması terimi ihmal edilmiştir. Benzer şekilde, $-z$ yönüne yayılan pompalama gücü $P_2(z)$ ve sinyal gücü $S_2(z)$ 'nin uzaklıkla değişimi Denklem 4 ve 5'de verilmiştir (10):

$$\frac{dS_2(z)}{dz} = - \left[\frac{g}{A} P_2(z) - \alpha_s \right] S_2(z) \quad [4]$$

$$\frac{dP_2(z)}{dz} = - \left[\frac{g \cdot v_p}{A \cdot v_s} S_2(z) + \alpha_p \right] P_2(z) \quad [5]$$

Denklem 2-5, $\alpha_s = \alpha_p = \alpha$ yaklaşımı ile analitik olarak çözülebilir. Bu yaklaşım oldukça düşük kayıplı fiberlerde 1550 nm dalga boyu etrafında geçerlidir.

Geri yönde Raman yükseltmesi incelenirse; $z = 0$ iken $S_1(z)$ giriş sinyaline karşılık, $z = L$ iken $P_2(z)$ pompa sinyali arasındaki ilişki Denklem 6'da görülmektedir. Bu denklemde $S_1(z)$, $z = L$ civarında iken $S_1(z) \ll P_2(z)$ 'dir ve $S_1(z)$ 'den dolayı $P_2(z)$ 'deki azalma ihmal edilmiştir. $S_1(z)$ için denklem,

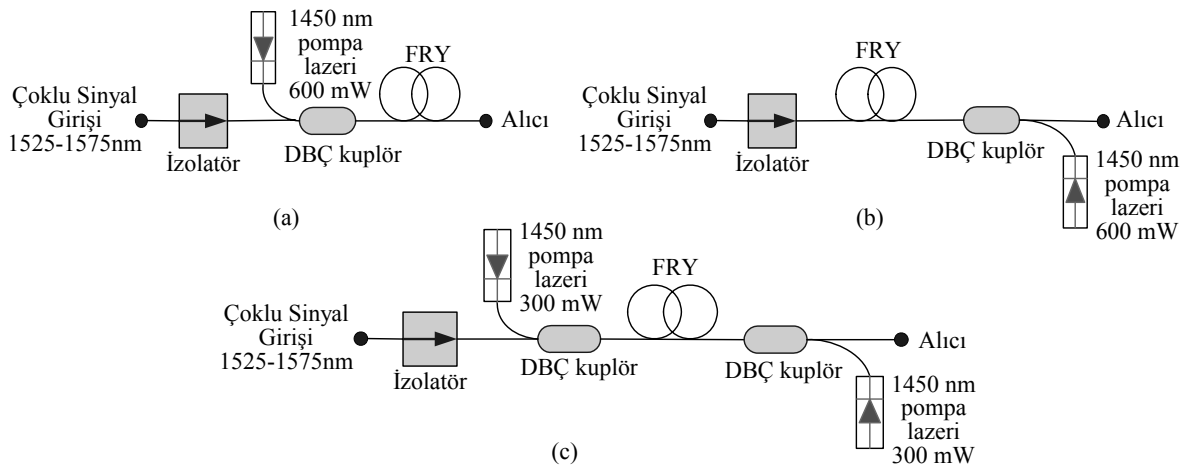
$$\frac{dS_1(z)}{dz} = \left[\frac{g}{A} P_2(z) - \alpha \right] S_1(z) \quad [6]$$

şeklini alır (10).

3. FRY'LERİN POMPALAMA YÖNLERİNE GÖRE SIMULASYONU

3.1. Simulasyon Düzenegi

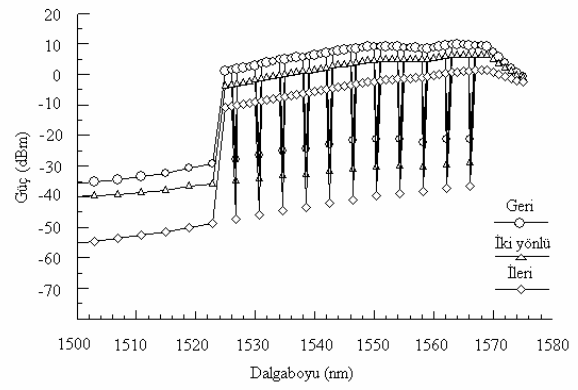
Şekil 3'te ileri, geri ve iki yönlü pompalanmış FRY simulasyon düzenegi görülmektedir. Şekil 3.a'da görülen ileri yönde pompalamada, 1450 nm dalga boyunda ve 600 mW güçteki pompalama sinyali giriş sinyalleri ile aynı yönde uygulanırken, Şekil 3.b'de sinyale ters yönde uygulanmaktadır. Şekil 3.c'de ise 1450 nm dalga boyunda ve 300 mW güçteki iki ayrı pompa kaynağı sinyale hem ters, hem de aynı yönde uygulanarak sinyal kazancı üzerindeki etkileri incelenmiştir.



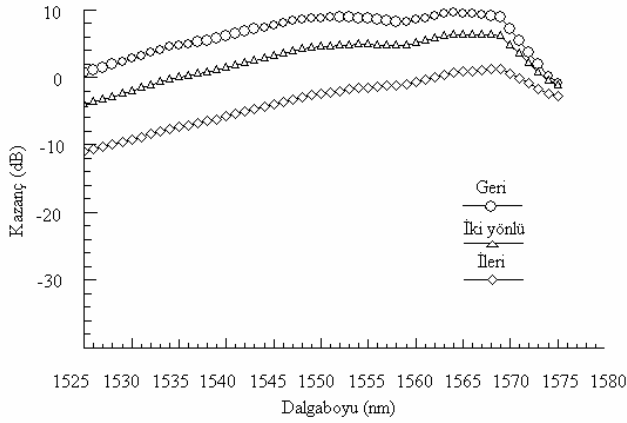
Şekil 3. FRY pompalama yönleri simulasyon düzenegi, (a) İleri, (b) Geri, (c) İki Yönlü

3.2. Simulasyon Sonuçları

Şekil 3'de görülen simulasyon düzenekleri OptiAmplifier 4.0 yazılımında kurularak pompalama yönlerinin FRY üzerindeki etkileri incelenmiştir. Simulasyon da kullanılan fiberin tepe Raman kazanç katsayısının pompalama dalga boyu 1450 nm, tepe Raman kazanç katsayısı $9,9 \cdot 10^{-14}$ m/W, etkin alanı $70 \mu\text{m}^2$ seçilmiştir. Simulasyonda ilk olarak 1525 nm – 1575 nm dalga boyu aralığında her biri, 1 mW güçteki 51 adet sinyal, 1450 nm dalga boyunda 600 mW güçteki pompalama lazeri ile ileri yönde pompalanarak, 60 km boyundaki FRY'ye uygulanmıştır. Daha sonra FRY, aynı sinyal ve pompalama özellikleri ile geri yönde pompalanmıştır. Son olarak FRY, 1450 nm dalga boyunda 300 mW'lık pompa lazerleri ile iki yönde pompalanarak çıkış sinyali kazancı incelenmiştir.



Şekil 4. İleri, geri ve iki yönlü pompalama için elde edilen FRY çıkış güç spektrumu



Şekil 5. İleri, geri ve iki yönlü pompalama için elde edilen FRY kazanç spektrumu

Şekil 4-5’de ileri, geri ve iki yönlü pompalama için elde edilen FRY güç spektrumu ve FRY kazanç spektrumu görülmektedir. Şekil 4’de, 1450 nm dalga boyunda (600 mW güçte), ileri ve geri yönlü pompalanmış FRY ile her iki yönde 1450 nm dalga boyunda (300’er mW güçte) pompalanmış FRY’nin çıkış güç spektrumu görülmektedir. Bu güç spektrumları incelendiğinde geri yönlü pompalamanın en yüksek güç spektrumuna, ileri yönlü pompalamanın en düşük güç spektrumuna ve iki yönlü pompalamanın ise orta değerinde güç spektrumuna sahip olduğu görülmektedir.

Şekil 5’de ise Şekil 4’deki pompalama özelliklerine sahip 1525 nm - 1575 nm dalga boyları arasındaki giriş sinyallerinin çıkış kazanç spektrumu görülmektedir. Maksimum ve ortalama sinyal kazançları incelendiğinde sırasıyla geri yönlü, iki yönlü ve ileri yönlü pompalama kullanılan düzeneklerin kazançları gelmektedir.

İleri ve geri yönlü pompalamada 600 mW güce sahip pompa lazeri kullanılırken, iki yönlü pompalamada bu pompa gücü yarıya düşürülerek 300 mW güçte iki pompa lazeri kullanılmıştır. Şekil 4 ve 5 incelendiğinde, iki yönlü pompalama sonuçlarının, ileri ve geri yönlü pompalama sonuçlarının ortalamasına yakın değerler aldığı görülmektedir.

Sonuç olarak Şekil 3’teki pompalama düzeneklerinden geri yönlü pompalama 1525 nm – 1575 nm dalga boyuna sahip giriş sinyallerine karşılık diğer pompalama yönlerine göre daha avantajlı olduğunu kanıtlamıştır (1).

4. TEŞEKKÜR

Bu çalışma 07/2004–33 kodlu ve “Uzun Mesafe Optik Haberleşme Sistemlerinde Raman Amplifikatörlerin Analizi” isimli Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri tarafından desteklenmiştir. Desteklerinden dolayı Gazi Üniversitesine teşekkür ederiz.

5. KAYNAKLAR

1. Zhang, Z. L., O’Reilly, J. J., “Backward Raman amplification used to alleviate SRS limitations in high-density WDM systems, Non-linear Effects in Fibre Communications IEE Colloquium, (1990)
2. Edagawa, N., Mochizuki, K., Ryu, S., Wakabayashi, H., “Amplification characteristics of fiber raman amplifiers”, ICICE Technical Report, (1988).
3. Zhou, J., Chen, J., Li, X., “A novel method to optimize optical-fiber Raman amplifiers using equally spaced low-power laser diode pumps”, Microwave and Optical Technology Letters, 4(2), 124-127, (2004)
4. Grant, A. R., “Calculating the Raman pump distribution to achieve minimum gain ripple”, IEEE Journal of Quantum Electronics, 38 (11), 1503-1509, (2002).
5. Islam, M. N., “Raman Amplifiers for telecommunications”, IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics, 8 (3), 548-559, (2002).
6. Mandelbaum, I., Bolshtyansky, M., “Raman Amplifiers model in single-mode optical fiber”, IEEE Photonics Technology Letters, 15 (12), 1704-1706, (2003).
7. Grosz, D.F., Agarwal, A., Banerjee, S., Maywar, D. N., Küng, A. P., “All-Raman Ultralong-Haul Single-Wideband DWDM Transmission Systems With OADM Capability”, Journal Of Lightwave Technology, 22 (2), 423-432, (2004).
8. Liu, X., Li, Y., “Optimizing the bandwidth and noise performance of distributed multi-pump Raman amplifiers”, Optics Communications, 230 (4-6), 425-431, (2004).
9. Agrawal, G. P., “Fiber-Optic Communication Systems”, John Wiley & Sons, Inc, (1992).
10. Ghi, S., Kao, M. S., Bidirectional optical fiber transmission systems using Raman amplification”, Journal of Lightwave Technology, 6(2), 312-317, (1988).