

Optik Kuvvetlendiriciler ve Uygulamaları

Optical Amplifiers and Applications

Gizem Pekküçük, İbrahim Uzar, N. Özlem Ünverdi

Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü
Yıldız Teknik Üniversitesi

gizem.pekkucuk@gmail.com, ibrahim.uzar@yahoo.com, unverdi@yildiz.edu.tr

Özet

Bu çalışmada, optik devre elemanlarından optik kuvvetlendiricilerin çalışma mekanizmaları incelenmiş ve performans analizleri yapılmıştır. OptiSystem 7.0 simülasyon programı kullanılarak 193.1 THz frekansında çalışan optik devre elemanlarının yer aldığı bir optik haberleşme sistemi modellenmiştir. Optik kuvvetlendiricilerin karakteristik özellikleri gözlenmiş ve veri iletimindeki kalitenin artırılması için sistem üzerinde kuvvetlendiriciler incelenmiştir.

Abstract

In this study, optical amplifiers that are used in optical communication systems were examined and their performance analysis were done on the OptiSystem 7.0 simulation software. In the analysis, an optical communication system was modeled at a frequency of 193.1 THz. Optical amplifiers' effects on the optical communication system were investigated and the performances of the amplifiers were compared.

1. Giriş

Son yıllarda haberleşme sistemlerinde yoğunlaşan trafiğe bağlı olarak kapasite ihtiyacı artmıştır. Optik haberleşme sistemleri, THz'ler mertebesinde çalışan frekans karakteristiği sayesinde büyük ölçüde bu ihtiyaca çözüm olmuştur.

Optik haberleşme sistemlerinde, iletim mesafesini sınırlayan en önemli faktör fiber kayıplarıdır. Bu kayıpların dengelenmesinde, yüksek kazanç, düşük gürültü, yüksek band genişliği ve yüksek çıkış gücü karakteristiği nedenleriyle optik kuvvetlendiriciler tercih edilmektedir. Optik kuvvetlendiriciler, uyarılmış yayımla ışığı yükseltirler ve geri beslemesi olmayan bir lazer mekanizması ile gelen sinyalin frekansına ve dalga boyuna bağlı olarak optik bir kazanç sağlarlar. Kuvvetlendiricilerin tasarım sürecinde yer alan bu parametreler, kuvvetlendiricilerin kazanç ve gürültü spektrumunu önemli derecede etkiler. Dolayısıyla kazanç ve tasarım parametrelerinde yapılan optimizasyon çalışmaları, optik sinyalin uzak mesafelere gönderilebilmesi açısından büyük önem arz eder.

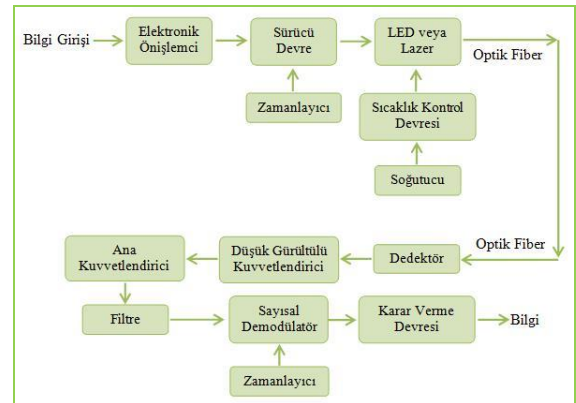
Bu çalışmada, fiber optik kuvvetlendiriciler analiz edilmiştir. Çalışmanın 2. Bölümü'nde, OptiSystem 7.0 simülasyon

programı kullanılarak 193.1 THz çalışma frekansına sahip bir referans optik haberleşme sistemi tasarlanmış ve optimizasyon çalışmaları yapılmıştır. 3. Bölüm'de, optik kuvvetlendiricilerin karakteristik özellikleri araştırılmış ve 4. Bölüm'de, elde edilen sonuçlar yorumlanarak değerlendirilmiştir [1].

2. Optik Haberleşme Sistemleri

Veri haberleşmesi, telefon ağları, kablolu televizyon sistemleri, tıp ve askeri uygulamalarda kullanım alanları bulan, uzun mesafelerde yüksek kazanç ve düşük gürültü ile iletişim imkânı sağlayan fiber optik haberleşme sistemlerinin önemi giderek artmaktadır. Optik haberleşme ağı, dünya genelinde hızla genişlemektedir. Işığın yönlendirilebildiği optik fiberler, uzun mesafelerdeki veri iletiminin, diğer iletişim malzemelerine oranla daha hızlı olmasına olanak sağladıkları için iletişim teknolojileri içinde kilit konumda bulunmaktadır [2, 3].

Optik haberleşme sistemleri, elektrik işaretlerinin bir optik fiber yoluyla iletimi için kullanılırlar. Şekil 1'de görüldüğü gibi, bir optik haberleşme sisteminde, verici bloğu, alıcı bloğu ve optik fiber bulunmaktadır. Optik haberleşme sistemlerinde, optik modülatör, optik izolatör, optik kuvvetlendirici, optik fiber sensör, optik doğrultu kuplörü, optik sirkülatör, optik polarizör, optik rezonatör, optik filtre ve optik dedektör gibi devre elemanları kullanılarak veri iletimindeki performans artırılmaktadır.



Şekil 1: Optik haberleşme sistemi [4].

3. Optik Kuvvetlendiriciler

Optik haberleşme sistemlerinde iletişim hattı boyunca zayıflayan sinyalin kuvvetlendirilmesi için optik kuvvetlendiriciler kullanılmaktadır. Yüksek kazanç, düşük gürültü, yüksek band genişliği ve büyük çıkış gücü karakteristikleri ile zayıflama probleminin aşılmasında önemli katkı sağlayan optik kuvvetlendiriciler, yarıiletken optik kuvvetlendiriciler (SOAs, Semiconductor Optical Amplifiers), katkılı fiber kuvvetlendiriciler (DFAs, Doped Fiber Amplifiers) ve Raman kuvvetlendiriciler olmak üzere üç gruba ayrılırlar.

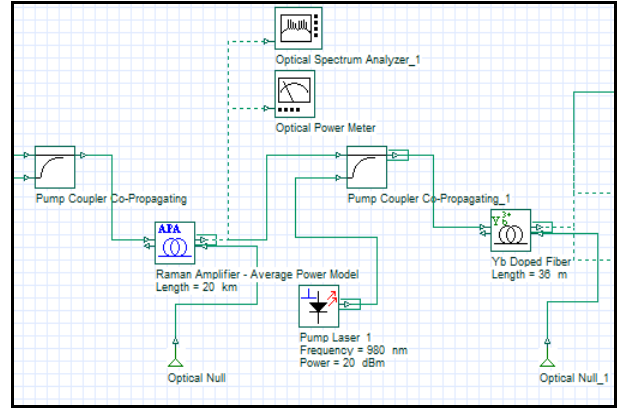
SOA'lar, optik entegre devrelerinde optik sinyal işleme uygulamalarında yer almaktadır. EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier, Erbiyum Katkılı Fiber Kuvvetlendirici), optik haberleşme sistemlerinde yaygın olarak kullanılmakta ve özellikle WDM (Wavelength Division Multiplexing, Dalgaboyu Bölmeli Çoğullama) sistemlerinde önemli yer almaktadır. YDFA (Ytterbium Doped Fiber Amplifier, İterbiyum Katkılı Fiber Kuvvetlendirici), özel frekanslarda güç kuvvetlendirme ve uzay lazer haberleşmesi gibi uygulamalarda kullanılmaktadır. Bütün optik haberleşme frekanslarında çalışabilme özelliğine sahip olan Raman kuvvetlendiriciler, fiberin tüm noktalarında kuvvetlendirme yapabilmektedir. Kuvvetlendiricilerin özellikleri bakımından karşılaştırılması, Tablo 1'de görülmektedir [6].

Tablo 1: Optik kuvvetlendiricilerin karşılaştırılması [6].

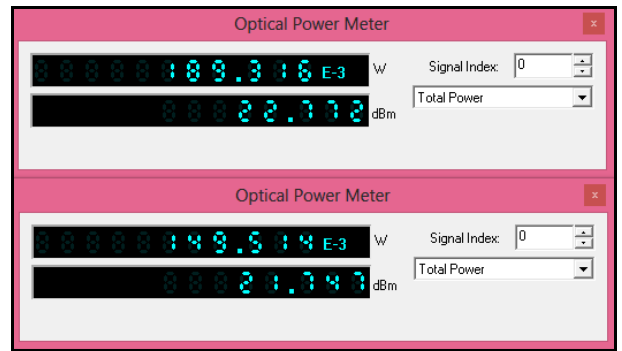
	SOA	DFA	RAMAN	
Kazanç	>30	>40	>25	dB
Dalgaboyu	1280-1650	1530-1560+	1280-1650	nm
Band Genişliği (3 dB)	60	30-60	Pompalamaya Bağlı	nm
Psat	15	20	0.5*Pompalama	dBm
Sat. Maksimum Güç	18	22	0.75*Pompalama	dBm
Polarizasyon	<0.5	0	0	dB
Gürültü	8	5	5	dB
Pompa Gücü	<400 mA	25 dBm	>30 dBm	
Zaman Sabiti	0.2 ns	10 ms	fs	
Boyut	Kompakt	Raf Modül	Toplu Modül	
Değiştirilebilir	Evet	Hayır	Hayır	
Maliyet	Rekabetçi	Orta	Yüksek	

Şekil 2'de yer alan referans sistemde, EDFA ve Raman kuvvetlendirici olmak üzere iki çeşit kuvvetlendirici kullanılmıştır. Bu bölümde, öncelikle EDFA yerine özdeş uzunluklu YDFA kullanılarak iki durum karşılaştırılmış ve ardından bu kuvvetlendiricilerin uzunluklarına yönelik çalışmalar yapılmıştır. Özdeş uzunluklu (36 m) YDFA ile oluşturulan yeni sistem, Şekil 5'te görülmektedir.

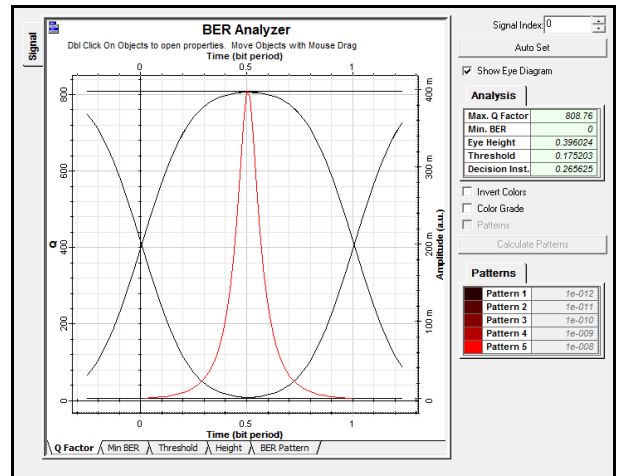
Şekil 6 ve Şekil 7'de, özdeş uzunluklu YDFA kullanılarak oluşturulan sistemin kuvvetlendiriciler sonrası güç çıkışları ve BER analizleri verilmiştir. Sistemde kullanılmış olan 20 km'lik Raman kuvvetlendirici ve 36 m'lik YDFA'nın çıkışlarında elde edilen güçler, Şekil 6'da verilmiştir. YDFA, kendisinin giriş gücü olan 22.772 dBm'i kuvvetlendirememiş



Şekil 5: YDFA kullanılarak oluşturulan sistem.



Şekil 6: Sırasıyla Raman kuvvetlendirici ve YDFA çıkışlarındaki güç analizi.



Şekil 7: YDFA kullanılan sistemdeki BER analizi.

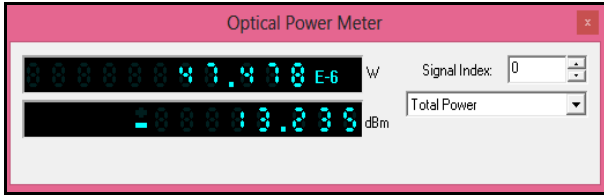
ve çıkışta 21.747 dBm güç aktarımı sağlamıştır. Bu durumun, YDFA'nın yarattığı kayıpların, 193.1 THz frekansında sağladığı kuvvetlendirme yeteneğine göre daha fazla olduğu için meydana geldiği belirlenmiştir.

Şekil 7'de gözlenen 36 m'lik bir EDFA yerine özdeş uzunlukta kullanılan bir YDFA, giriş gücünü yükseltmemiş

olmasına karşın sistemin verimi üzerinde pozitif bir etkiye sahip olmuş ve BER analizörü üzerindeki kalite faktörünü (sistem verimini) artırmıştır.

Bundan sonraki aşamada Raman kuvvetlendirici, YDFA ve EDFA'nın uzunluklarına yönelik çalışmalar yapılmıştır. İlk olarak Raman kuvvetlendiricinin sahip olduğu 20 km'lik uzunluk, 200 km'ye kadar artırılmıştır. Sistem verimi, 20 km'lik uzunluğa kadar artarak 20 km'de maksimuma ulaşmış ve sonrasında verimin yavaş yavaş azalmaya başladığı görülmüştür. Bu sonucun, Raman kuvvetlendiriciden sonra gerek EDFA ve gerekse YDFA kullanımında, seviyeleri farklı olmak üzere, azalma eğiliminde olduğu belirlenmiştir. Şekil 8 ve Şekil 9'da, 200 km'lik Raman kuvvetlendiricinin güç çıkışı ve BER analizi verilmiştir.

Şekil 8'e göre sistemde kullanılan 200 km'lik Raman kuvvetlendiricinin sistemin devamına aktardığı gücün, 20 km'lik Raman kuvvetlendirici kullanımına göre oldukça düşük seviyelerde olduğu görülmektedir.



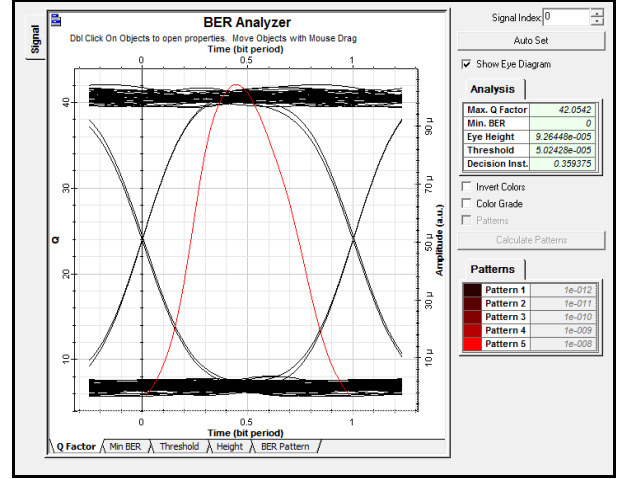
Şekil 8: 200 km'lik Raman kuvvetlendiricinin çıkışındaki güç analizi.

Şekil 9'dan da açıkça görüldüğü gibi, Raman kuvvetlendiricinin uzunluğu arttıkça göz diyagramında dağılımlar meydana gelmeye başlamış ve kalite faktörü, 808.76 değerinden 40.0542 değerine kadar düşmüştür. Uzunluk arttıkça hat üzerindeki kayıp artacağı için bu sonucun, fiziksel mekanizmaya uygun olduğu açıktır. Raman kuvvetlendiricinin maksimum verime ulaştığı uygun uzunluk, 20 km civarındadır. Bu nedenle, sistem analizlerine 20 km'lik Raman kuvvetlendirici ile devam edilmiştir.

Raman kuvvetlendiricinin ardından YDFA'nın uzunluğu 1000 m'ye kadar artırılmış ve gerek çıkış gücünde ve gerekse BER analizlerinde büyük miktarda bir değişim gözlenmemiş olmasına karşın azalma eğiliminde olduğu belirlenmiştir.

EDFA'da ise, optik fiberin 36 m uzunluğuna kadar verim üzerinde artış belirlenmiş ve 36 m uzunluğundan itibaren gerçekleştirilen artışlarda sistem veriminde yavaş yavaş azalmalar gerçekleşmiş, 1000 m uzunluğunda ise sistem çalışmayı durdurmuştur. Analizde, minimum BER değeri, 1 olarak elde edilmiştir. EDFA'da fiberin uzunluğu arttıkça zaman kazancının da artması beklenirken, bu çalışmada fiberin uzunluğundaki değişim, evirme katsayısını da değiştirdiği için belli bir uzunluğa kadar kazancı artırıcı yönde bir etki görülmüş ve bu uzunluktan sonra kazancı düşürücü bir etki ortaya çıkarmıştır. Bu şartlar altında, EDFA'nın maksimum verimde çalışması için fiber uzunluğunun 30 m civarında olduğu belirlenmiştir.

EDFA ile YDFA karşılaştırıldığında, çalışma frekansı olan



Şekil 9: 200 km'lik Raman kuvvetlendirici kullanılan sistemin BER analizi.

193.1 THz (yaklaşık olarak 1500 nm dalgaboyu) seviyesinde EDFA'nın kuvvetlendirme yeteneğinin, YDFA'nın kuvvetlendirme yeteneğine göre daha yüksek olması nedeniyle EDFA'nın, bu frekansta çalışan optik sistemlerde daha çok tercih edildiği görülmektedir.

Analizlerde görüldüğü gibi, EDFA ve YDFA'da, uzunluk, metre seviyelerinden kilometre seviyelerine çıkarıldığında, kazanç üzerinde düşüş yaşanırken Raman kuvvetlendirici için aynı şey geçerli değildir. Raman kuvvetlendirici, 200 km'lik bir mesafede bile verimi az da olsa sistemin çalışmasını sağlamaya devam etmektedir. Bu durum, uzun mesafelerde en kullanışlı kuvvetlendiricinin Raman kuvvetlendirici olduğunu göstermektedir [1-8].

4. Sonuçlar

Bu çalışmada, optik haberleşme sistemlerinde kullanılan optik devre elemanlarından optik kuvvetlendiriciler analiz edilmiştir. OptiSystem 7.0 simülasyon programı ile düzenlenen ve üçüncü pencere bölgesinde çalışan referans optik haberleşme sistemi üzerinde optik kuvvetlendiricilerin sistem üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Sistem içerisinde tercih edilmesi gereken kuvvetlendirici türünün, sistemin uzunluğuna ve çalışma frekansına bağlı olarak belirlenmesi gerektiği görülmüştür. Kilometreler mertebesindeki çok uzun hatlarda, Raman kuvvetlendiricinin kullanılabilirliği ve karakteristikleri sebebiyle 193.1 THz çalışma frekansında EDFA katkılı fiber kuvvetlendiricinin, YDFA katkılı fiber kuvvetlendiricilere göre tercih edildiği belirlenmiştir. EDFA ve YDFA katkılı fiber kuvvetlendiricilerin, belli bir mesafeye kadar sisteme verim ve kazanç anlamında olumlu katkı sağlarken uygun değer mesafelerinden sonra güç ile birlikte gürültüyü de kuvvetlendirdikleri için sistem kazancının azalmasına neden oldukları gözlenmiştir.

Analizde, optik haberleşme sistemlerinde kullanılacak olan optik devre elemanlarının, veri iletiminin kalitesinin yüksek olması için önemli olduğu görülmüştür. Bu nedenle, her geçen

gün yaygınlaşan optik haberleşme sistemlerinin tasarımı ve projelendirilmesinde, sistem özellikleri göz önünde bulundurularak amaca uygun olacak şekilde optik devre elemanlarının seçilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

5. Kaynaklar

- [1] Pekküçük, G. ve Uzar, İ., *Optik Haberleşme Sistemlerinde Kullanılan Optik Devre Elemanlarının Analizi ve Uygulamaları*, Haberleşme Devre Tasarımı Projesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Elektrik – Elektronik Fakültesi, Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü, İstanbul, 2014.
- [2] Güre, Ö., *Pasif Optik Ağlar ve Uygulamaları*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012.
- [3] Çankaya, S. ve Ertürk S., *Optik İletim Kuramı*, PTT Meslek Geliştirme Başmüdürlüğü, Ankara, 1991.
- [4] Ünverdi, N. Ö. ve Ünverdi, N. A., “Optik Haberleşme Sistemlerinin Dizaynı”, *V. İletişim Teknolojileri Ulusal Sempozyumu (İTUSEM 2013)*, İzmir, 16-17 Mayıs 2013, 127-133.
- [5] Optiwave, *OptiSystem 7.0 Component Library*, 2007.
- [6] Küçükarslan, T., *Erbiyum ve İterbiyum Katkılı Optik Fiber Kuvvetlendiricilerin Kazanç Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012.
- [7] Pachnicke, S., *Fiber-Optic Transmission Networks: Efficient Design and Dynamic Operation*, Springer-Verlag, Heilderberg, 2012.
- [8] Agrawal, G. P., *Fiber-Optic Communication Systems*, Wiley-Interscience, New York, 2002.