

## Optik Modülatörlerin Analizi ve Uygulamaları Analysis of the Optical Modulators 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 haberleşme sistemlerinde kullanılan optik devre elemanlarından optik modülatörlerin çalışma mekanizmaları incelenmiş ve OptiSystem 7.0 simülasyon programı ile performans analizleri yapılmıştır. Analizde, 193.1 THz frekansında çalışan bir optik haberleşme sistemi modellenmiştir. Bu optik haberleşme sistemi içerisinde yer alan optik modülatörlerin, haberleşme sistemi üzerindeki etkileri incelenmiş ve modülatörlerin performansları karşılaştırılmıştır.

### Abstract

In this study, optical modulators 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 modulators' effects on the optical communication system were investigated and the performances of the modulators were compared.

### 1. Giriş

Gelişen teknoloji ile birlikte iletişimdeki hız ihtiyacı günden güne artmaktadır. Günümüzde, en hızlı iletişim sistemi olan optik fiber, çok hassas üretilmiş saf bir cam ip üzerinden ışığın iletilmesi prensibiyle çalışır. Bu şekilde üretilmiş kabloların tercih edilmesinin en önemli gerekçesi, çevresel şartların ağır olduğu nemli, rutubetli ve elektriksel alan parazitlerinin yoğun olduğu yerlerden etkilenmemesi ve her zaman dengeli bir bağlantı sunmasıdır. Fiber optik kablolar, iletimi, ışık hızıyla, diğer bir ifadeyle saniyede 300.000 km'lik hızla gerçekleştirirler; bu nedenle optik fiberler, uzak mesafelere veri aktarımı için tasarlanmıştır.

Fiber optik sistemlerin gelişimi ve günümüz ihtiyaçlarını karşılayabilecek yeni sistemlerin üretilmesi amacıyla optik haberleşme sistemlerinde çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmada, gelişen fiber optik teknolojilerinin analiz edilmesi amacıyla 193.1 THz çalışma frekansına sahip bir referans optik haberleşme sistemi tasarlanmıştır. Bu optik haberleşme sistemi üzerinden sistemde kullanılan optik modülatörlerle ilgili performans analizleri yapılmış ve verim üzerindeki

değişimler incelenerek buna bağlı sonuçlar elde edilmiştir [1, 2].

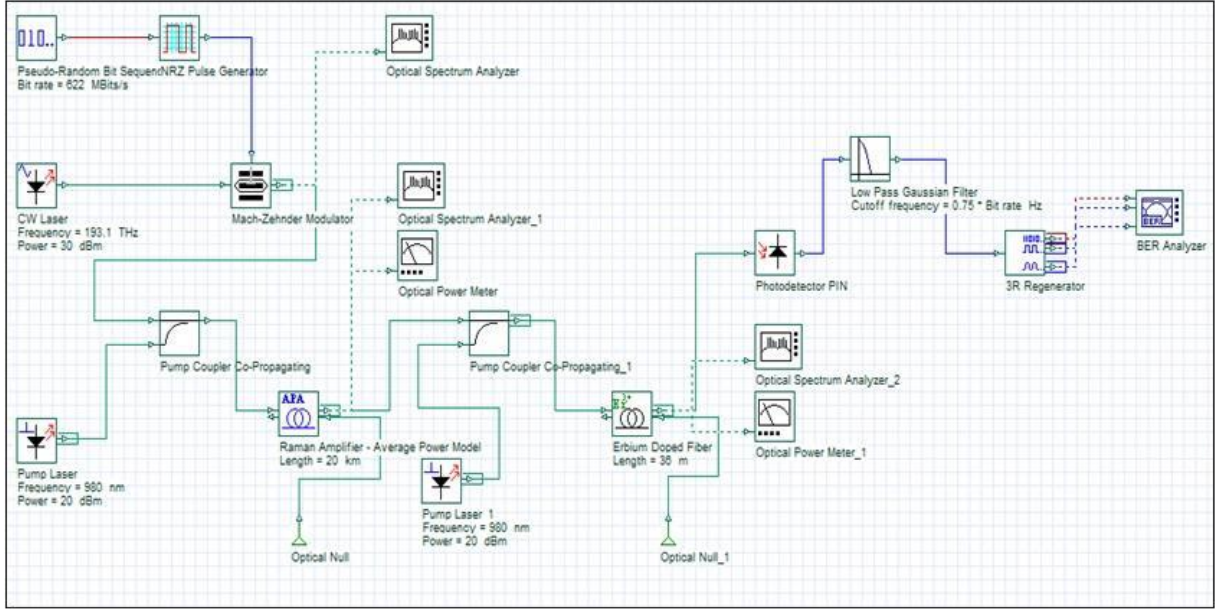
### 2. Optik Haberleşme Sistemleri

Optik haberleşme sistemleri, iletim ortamı olarak içinden ışığın yönlendirilebildiği cam veya plastik fiberlerin kullanıldığı sistemlerdir. Optik fiberler, uzun mesafelerde veri iletimini diğer iletim hatlarına göre daha hızlı sağladıkları için iletişim teknolojileri arasında kilit konumdadır ve veri iletimini, uzun mesafelerde dahi yüksek kazanç ve düşük gürültü ile sağlarlar. Bu özellikleri nedeniyle optik haberleşme sistemlerinin önemi gün geçtikçe artmaktadır [2, 3].

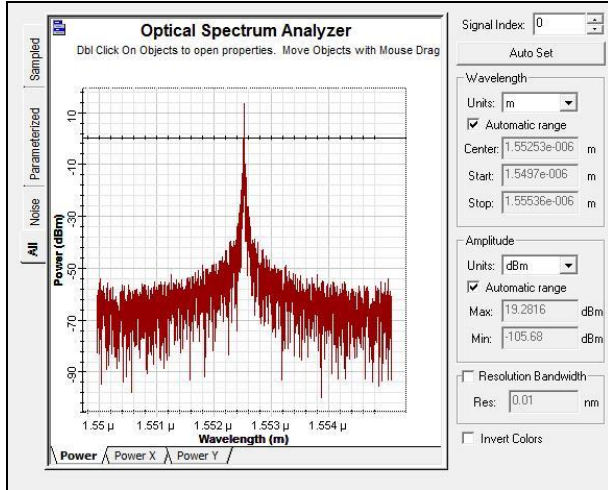
Kullanımı gittikçe yaygınlaşan optik haberleşme sistemleri, verici bloğu, optik fiber ve alıcı bloğundan oluşmaktadır. Optik haberleşme sistemlerinde, performansın ve iletişim kalitesinin artırılması amacıyla çeşitli verici ve alıcı blokları ve devre elemanları kullanılmaktadır. Söz konusu olan blok ve devre elemanlarının seçimi, çalışılan frekansa ve optik haberleşme sisteminin amacına yönelik olarak özenle seçilmelidir. Şekil 1'de bir optik haberleşme sisteminin blok diyagramı verilmiştir. Verici birim, elektronik önişlemci, zamanlayıcı kontrollü bir sürücü devre, soğutucu ve sıcaklık kontrol devresi ile desteklenen bir LED veya lazerden oluşur. Alıcı birimde ise fotodetektör, düşük gürültülü kuvvetlendirici, filtre, zamanlayıcı, sayısal demodülatör ve karar verme devresi yer alır.



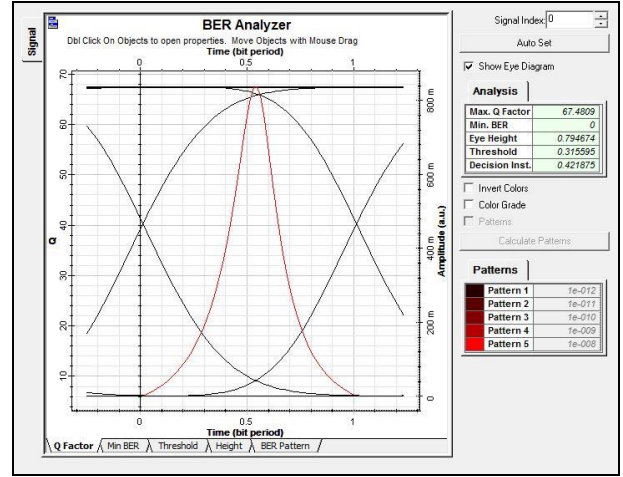
Şekil 1: Optik haberleşme sistemi [4].



Şekil 2: Referans optik haberleşme sistemi.



Şekil 3: Referans sistemin giriş işaretinin optik spektrum analizi.



Şekil 4: Referans sistemin BER analizi.

Şekil 2’de yer alan referans sistemin giriş işareti, optik spektrum analizörü ile gözlenmiş ve çıkış işareti ise BER (Bit Error Rate, Bit Hata Oranı) analizörü ile sistemin göz diyagramı (eye diagram), bit hata oranı ve kalite faktörü bazında incelenmiştir.

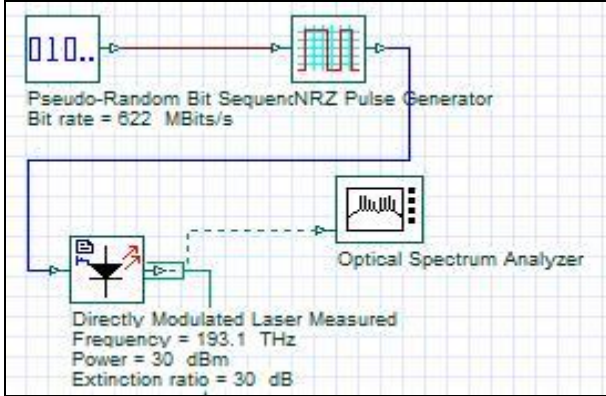
Elde edilen analiz sonuçları, Şekil 3 ve Şekil 4’te verilmiştir. Şekil 4’te yer alan sistemin BER diyagramının simetrik olduğu sonucuna varılmakla birlikte bu çalışmada, referans sistem üzerinde modülatör değişiklikleri yapılarak sistemin kazancı ve kalite faktörü dikkate alınarak verimi artırılmaya çalışılmış ve optik modülatörlerin, optik haberleşme sistemi üzerindeki etkileri incelenmiştir.

### 3. Optik Modülatörler

Optik haberleşme sistemlerinde faz, genlik ve frekans modülasyonunda kullanılan optik modülatörler, verici bloğundaki elektriksel giriş işareti üzerinde kullanılırlar. İşaretler, direkt modülasyon ve harici modülasyon veya kaynağın cinsine göre analog modülasyon ve sayısal modülasyon olmak üzere alternatif yöntemlerle modüle edilirler [5].

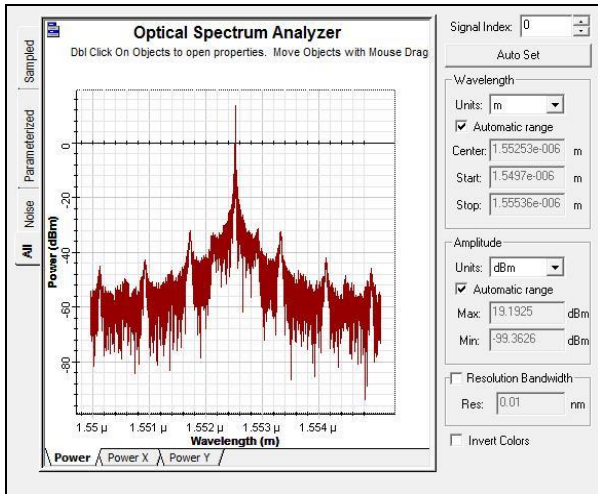
Bu bölümde, referans sistemde kullanılmış olan harici Mach-Zehnder modülatörü yerine direkt çalışan bir modülatör kullanılarak karşılaştırmaları yapılmıştır. Şekil 5’te referans

sistem üzerinde yapılan modülatör değişikliği verilmiştir. Referans sistemdeki Mach-Zehnder modülatörü kaldırılmış ve yerine direkt modülasyon yapan bir eleman kullanılmıştır.



Şekil 5: Direkt modülasyonla oluşturulan verici bloğu.

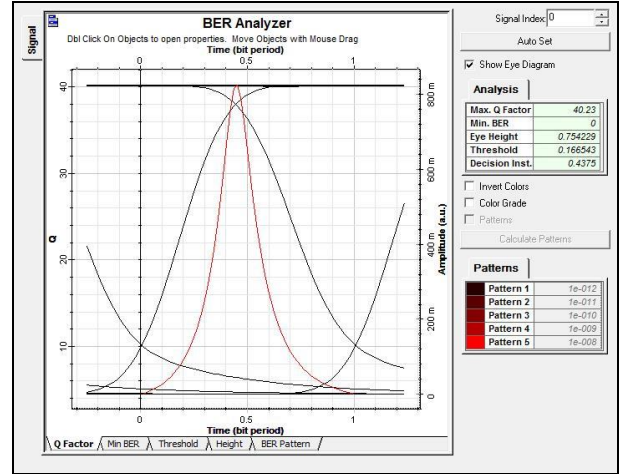
Şekil 6 ve Şekil 7’de referans sistemdeki Mach-Zehnder modülatörü ile özdeş güce ve ER (Extinction Ratio, Sönümlenme Oranı) faktörüne sahip direkt modülasyon elemanı ile elde edilen giriş işaretini optik spektrumu ile BER analizleri sonuçları verilmiştir.



Şekil 6: Direkt modülasyonlu sistemin giriş işaretini optik spektrum analizi.

Referans sistem üzerinde yapılan modülatör değişikliğinin ardından giriş işaretini optik spektrum analizinin, daha değişken bir yapıya sahip olduğu Şekil 6’da görülmektedir. Optik spektrum analizinde, genel olarak referans sistem sonuçlarına benzer sonuçlar elde edilmesine karşın direkt modülasyonun devre üzerinde yaratmış olduğu etkilerin BER diyagramına yansımaları Şekil 7’de izlenmektedir.

Yapılan analizler sonucunda referans sistem çıkışında elde edilen 67.4809 değerindeki kalite faktörünün, direkt modülasyonlu sisteme geçişi sonrasında 40.23 değerine



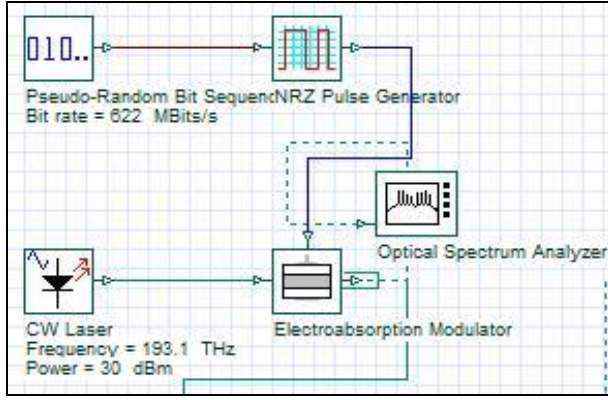
Şekil 7: Direkt modülasyonlu sistemin BER analizi.

düştüğü ve ek olarak Şekil 7’deki göz diyagramının simetrisinde referans sistemdeki göz diyagramı simetrisi ile karşılaştırıldığında bozulmalar meydana geldiği görülmüştür. Bu durum, sistemin harici bir modülatör olan Mach-Zehnder modülatörü yerine kullanılan direkt modülasyonlu bir elemanın, devrenin verimini düşürdüğünü göstermektedir.

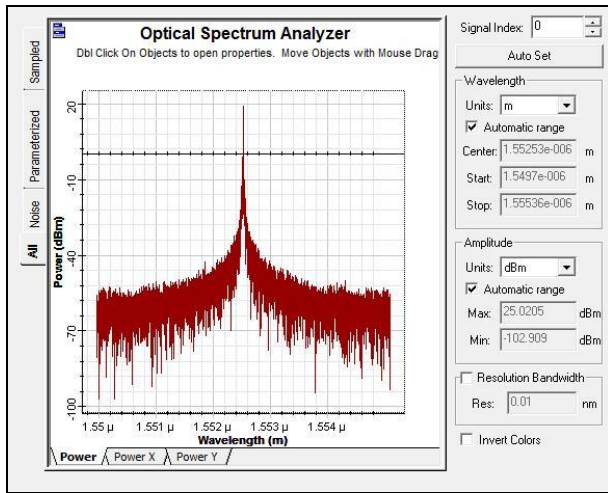
Mach-Zehnder modülasyonu gibi harici modülasyon sistemi ile çalışan bir diğer modülatör olan EML’ler (Electroabsorption Modülatörü), bir p-n jonksiyonu ve jonksiyonlar arasında yer alan aktif yarı iletken bölgeden oluşur. Modülatöre uygulanan gerilim, açık-kapalı (on/off) durumları için 1,5 V ile 4 V arasında değer alır. ER faktörü, modülatör içindeki aktif bölgenin sadece absorbe karakteristiğini değil, kırılma indisini de modüle etmesi ve dolayısıyla civıltının meydana gelmesi nedeniyle, 11 dB ile 13 dB arasında dinamik olarak değişir. Oluşan civıltı, direkt modüle lazerlerde meydana gelen civıltıdan çok daha azdır [5].

Şekil 8’de referans sistem üzerindeki Mach-Zehnder modülatörü yerine EML yerleştirilerek oluşturulan yeni verici bloğu verilmiştir. Şekil 9 ve Şekil 10’da referans sistemdeki Mach-Zehnder modülatörü ile özdeş güce ve ER faktörüne sahip EML ile elde edilen giriş işaretini optik spektrumu ile BER analizleri sonuçları verilmiştir.

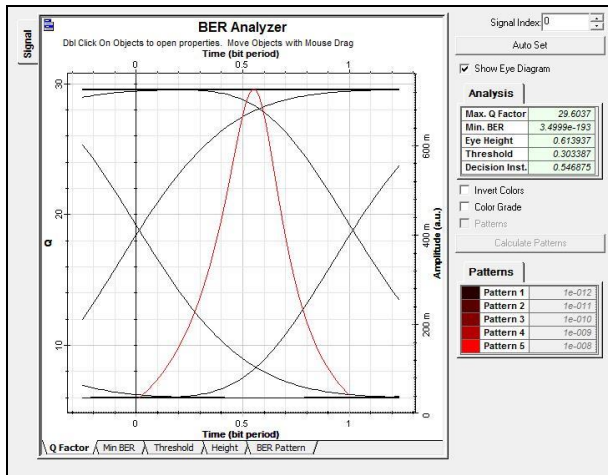
Yapılan analizlerin sonucunda, Şekil 7 ve Şekil 10’daki BER analizleri incelendiğinde, kalite faktörleri, sırasıyla 40.23 ve 29.60 olarak elde edilmiş, bir başka deyişle referans sistemde elde edilen 68.48 değerindeki kalite faktöründe her iki durumda da azalma gözlenmiştir. Ayrıca BER analizlerindeki grafiklerde görüldüğü gibi, göz diyagramları da simetrik yapısını kaybetmiş ve özellikle direkt modülasyonun kullanıldığı sistemde bu fark net olarak görülmüştür. Bu durum, sistemin Mach-Zehnder modülatörü dışında kullanılan farklı herhangi bir harici modülatörün veya kullanılan direkt modülasyonlu elemanın, devrenin verimini düşürdüğü anlamına gelmektedir. Bu nedenle, optik haberleşme sistemlerinde, giriş sinyali ile birlikte en sık kullanılan modülatör çeşidi Mach-Zehnder modülatörüdür [6,7].



Şekil 8: EML ile oluşturulan verici bloğu.



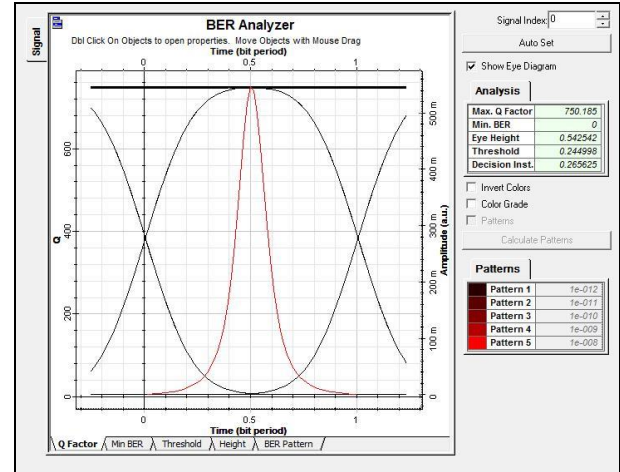
Şekil 9: EML'li sistemin giriş işareti optik spektrum analizi.



Şekil 10: EML'li sistemin BER analizi.

Optik haberleşme sistemleri tasarlanırken elle oluşturulan verici bloğu yerine OptiSystem 7.0 simülasyon programında blok olarak bulunan “Optical Transmitter, Optik Verici” elemanı da kullanılabilir. Bu elemanın, tpki modüle edilen bir giriş işareti gibi kullanılması mümkündür.

Optik vericinin referans sistemin verimi üzerindeki etkilerinin yer aldığı Şekil 11’de görüldüğü gibi, blok olarak kullanılan optik verici elemanı ile eleman başına düşen kayıpların azalmasına bağlı olarak referans sistemde elde edilen kalite faktörü, 68.48 değerinden 750.185 değerine kadar çıkmaktadır. Bu durum, optik haberleşme sistemi simülasyonlarında optik verici elemanı kullanımının tercih edilmesini sağlamıştır [2, 8].



Şekil 11: Optik verici elemanı kullanılarak oluşturulan sistemin BER analizi.

#### 4. Sonuçlar

Bu çalışmada, her geçen gün yaygınlaşan optik haberleşme sistemlerinde kullanılan optik devre elemanlarından biri olan optik modülörler analiz edilmiştir. OptiSystem 7.0 simülasyon programı ile düzenlenen ve üçüncü pencere bölgesinde çalışan referans optik haberleşme sistemi üzerinde optik modülör çeşitlerinin sistem üzerindeki etkileri araştırılmıştır.

Kullanılan modülasyon tekniğinin, harici modülasyon olarak tercih edilmesi gerektiği ve harici modülasyon yapan modülörler arasında da Mach-Zehnder modülörünün, sistemin verimine ve kazancına en yüksek katkısı olan modülör olduğu tespit edilmiştir.

Analizde, optik haberleşme sistemlerinde kullanılacak olan optik devre elemanlarının, veri iletiminin kalitesinin yüksek olması için önemli olduğu görülmüştür. Bu nedenle, 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] Çankaya, S. ve Ertürk, S., *Optik İletim Kuramı*, PTT Meslek Geliştirme Başmüdürlüğü, Ankara, 1991.
- [2] Pekkuçuk, 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.
- [3] Güre, Ö., *Pasif Optik Ağlar ve Uygulamaları*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2012.
- [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] Tarı, E., *Optik Modülatörlerde Performans Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2010.
- [6] Pachnicke, S., *Fiber-Optic Transmission Networks: Efficient Design and Dynamic Operation*, Springer-Verlag, Heilderberg, 2012.
- [7] Agrawal, G. P., *Fiber-Optic Communication Systems*, Wiley-Interscience, New York, 2002.
- [8] Optiwave, *OptiSystem 7.0 Component Library*, 2007.