

Erbium Katkılı Fiber Amplifikatörleri (EDFA)

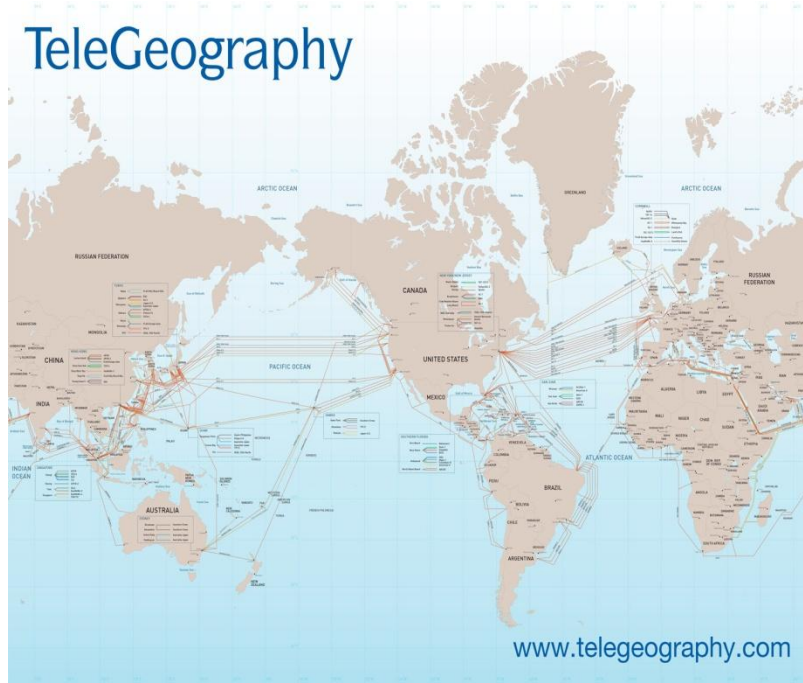
Haluk Tanrıkulu

İçindekiler :

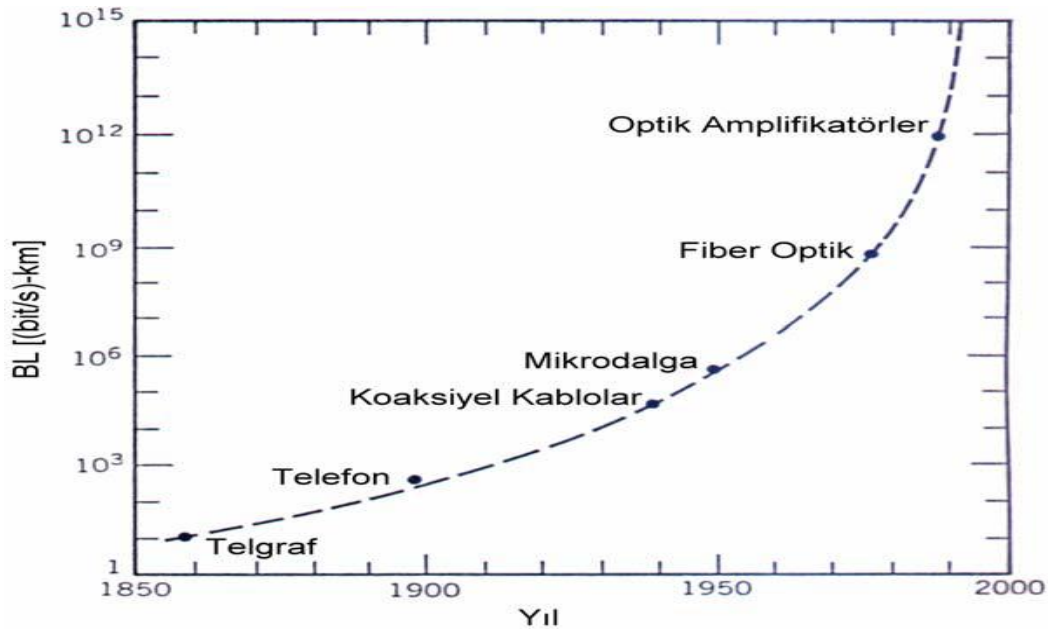
- 1. Fiber Optik Sistemlerinin Gelişimi**
 - 1.1. Fiber Optik Haberleşme Sistemi**
 - 1.2. Fiber Optik Sinyal İletimini Etkileyen Faktörler**
 - 1.3. İletişimde Çoklama Teknikleri**
 - 2. Fiber Optik Amplifikatörler**
 - 3. Erbium Katkılı Fiber Yükselteçler**
 - 3.1 EKFY'nin Çalışma Şekli**
 - 4. Sonuç :**
- Kaynaklar**

1. Fiber Optik Sistemlerinin Gelişimi

Günümüzde bakır kablonun oluşan talebi karşılamaması fiber optik kablonun kullanımını artırmıştır. Fiber optik iletişim teknolojileri geniş kapasitelere cevap verebilecek ve yüksek kalitede hizmet sağlayabilecek ekonomik iletişim araçlarıdır. Bilgi taşıyıcı olarak, ışığın kullanıldığı fiber optik iletişim sistemleri, sağladığı yüksek kapasite ve sinyal kalitesi nedeniyle hızla yaygınlaşmış, kıtalar arası kullanımı ile geniş kitlerin iletişim aracı olarak tercih nedeni olmuştur.



Şekil 1 Global deniz altı fiber optic kablo güzergahları

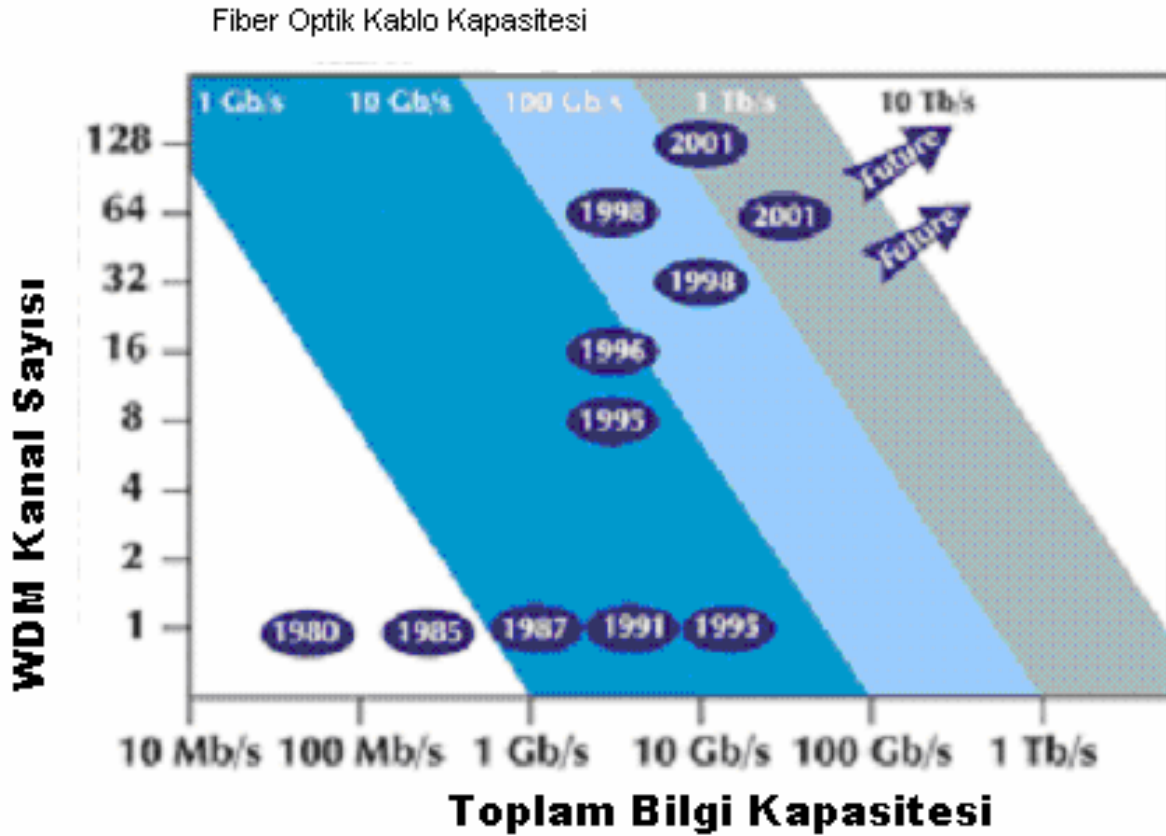


Şekil 2 Fiber optik kablo kullanımı ile iletin bilginin artışı sağlanmıştır. [1]

Fiber optic kablo kullanımı ile taşınan veri miktarındaki artışı şekil 2’de görülmektedir.

İnternetin kullanımının artması ve ses, görüntü ve veri trafiğinin daha hızlı ve verimli bir biçimde ortak bir optik veri yolunda taşınabilmesi amacıyla ile TDM çoklama teknolojisini kullanan SDH (Synchronous Digital Hierarchy) geliştirilmiştir. SDH teknolojisinin gelişimi STM-1 (STM: Senkron Taşıma Modülü 155Mbit/s) ile başlamış, STM-4 (622Mbit/s), STM-16 (2.5Gbit/s), STM-64 (10Gbit/s)’e ve en son olarak günümüzde STM-256 (40Gbit/s)’e ulaşmıştır.

Mevcut fiber optik kablo altyapısı değiştirilmeden iletim kapasitesini artırmaya çalışılmış ve dalgaboyu bölmeli çoğullama WDM (Wavelength Division Multiplexing) yöntemi ile Tbit/s hızlarına ulaşılmıştır. Şekil 3’de fiber optik kabloların WDM kanal sayısı ile değişen bilgi taşıma kapasitelerini gösterilmektedir.

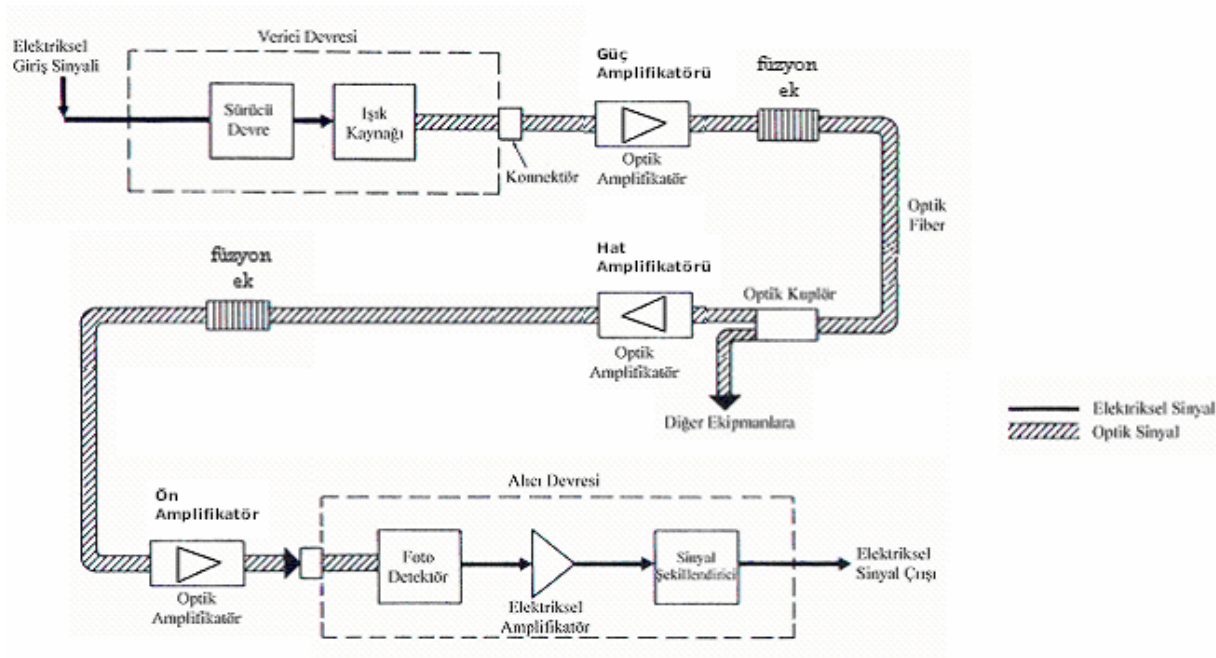


Şekil 3 WDM kanal kapasitelerinin yıllara göre değişimi. [1]

Daha fazla veri taşımak için DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) ve CWDM (Coarse Wave Division Multiplexing) teknolojisi geliştirilmiştir. DWDM, günümüzde optik internet teknolojisinin çekirdeğini oluşturmaktadır. 160 farklı kanalda 3 dalga boyu ve dalga boyu başına 40Gbit/s veri hızı kullanılmaktadır. Bu da dalga boyu başına 6.4 Tbit/s kapasitede iletim sağlayabilmektedir.

1.1 Fiber Optik Haberleşme Sistemi

İletişim sistemleri verici, iletişim kanalı ve alıcı öğelerinden oluşmaktadır. Benzer şekilde şekil 4’de fiber optik iletişim sistemleri için genel bir yapı gösterilmiştir. Optik iletişim sistemleri fiber kılavuzlu ve sabit uzay iletişimi olmak üzere iki sınıfta incelenebilir.



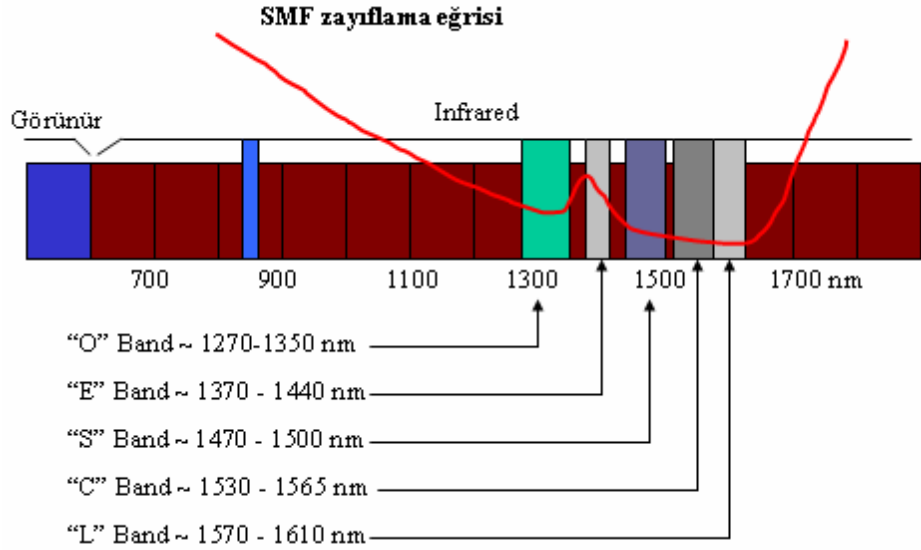
Şekil 4 Fiber optik iletişim sistemlerinin genel yapısı. [1]

Fiber optik iletişim sistemlerindeki verici devreleri sürücü devresi ve ışık kaynağından oluşmaktadır. Verici devresinin görevi elektriksel sinyali fiber iletişim hattındaki fiber kabloya iletilecek hale getirmektir.

Işık kaynağı olarak LED diyotlar veya yarıiletken lazerleri kullanılmaktadır.

Optik iletişim kanalının görevi, optik sinyalin bozulmadan vericiden alıcıya iletilmesini sağlamaktır. Eğer iletişim kanalı olarak atmosferi kullanmakta ise bu iletişime “Free Space Optic” denilmektedir. Hava içerisinde giden ışık çok fazla zayıfladığı için uzun mesafelerde kullanılmaktadır. Optik iletişim kanalı olarak fiber optik kablo kullanılması ile daha fazla bilgi çok daha uzaklara taşınmaktadır. Fiber optik kablolarda ışık kayıpları daha azdır. Ancak Fiber optik iletişimde iletilen ışık sinyali zayıflama, dispersiyon ve kablo kesitine göre kırılma indisinin değişiklik göstermesi (non-lineerlik) nedeni ile kayıplara uğramaktadır.

Optik alıcılar ise, fiber çıkışında alınan optik sinyali tekrar orijinal elektriksel sinyale dönüştürülmesini sağlarlar. Optik alıcılar fotodetektör, elektriksel kuvvetlendirici ve sinyal şekillendiriciden oluşmaktadır.



Şekil 5 Tek modlu fiber kablonun band genişliğine göre zayıflaması

Modern optik iletişim sistemlerinin önemli elemanlarından birisini de optik amplifikatörlerdir. oluşturulmuştur. Blok diyagramda da gösterildiği gibi optik amplifikatörler, optik sinyali doğrudan optik olarak yükseltirler. Bu işlem belirli kazanç ve gürültü performansı değerleri ile gerçekleştirilebilir. Fiber optik kuvvetlendiriciler zayıflamanın en az olduğu S, C ve L bantlarında tasarlanırlar. [1]

1.2 Fiber Optik Sinyal İletimini Etkileyen Faktörler

Zayıflama

Işık şiddetinin modülasyonu yoluyla fiberde taşınan optik sinyaller belirli oranda zayıflamaya maruz kalırlar. İşaret zayıflaması desibel (dB) cinsinden ve logaritmik olarak ifade edilir. Fiber optik kabloda zayıflama ışığın dalga boyu değerine bağlıdır.

Fiber optik haberleşme sistemlerinde, zayıflama genellikle "birim uzunluk başına desibel" cinsinden ifade edilir.

$$\text{Birim Uzunluk Başına Zayıflama} = 1/L (10\log(P_i/P_o)) \text{ dB/Km}$$

P_i fibere uygulanan optik güç ve P_o alınan optik çıkış gücüdür. L fiberin uzunluğudur. [1]

Zayıflamanın Nedenleri

- ▶ Fiber optik kabloda zayıflama, temel olarak fiberdeki soğurma (absorblama) ve saçılma (dispersiyon) kayıpları ile az miktardaki dalga kılavuzu kusurlarından meydana gelmektedir.
- ▶ Soğurma kayıpları saf ve saf olmayan malzeme soğurması, saçılma kayıpları ise lineer(doğrusal) ve lineer olmayan (doğrusal olmayan) saçılma kayıpları olarak ayrılabilir.

Dispersiyon

Kromatik dispersiyon optik kaynağın sonlu spektral çizgi genişliğinden meydana gelir ve her tip optik fiberde olabilir. Optik kaynaklar tek bir frekansta değil, bir frekans bandında enerji yayarlar. Yani ışık bir tek dalga boyunda değil de dalga boyu değerleri (λ), $\lambda\Delta$ kadar değişebilen dalga grubu olarak yayar. Grubu oluşturan dalga tanecikleri de farklı sürelerde ilerleyeceğinden aradaki zaman farkından sinyal yine genişler. Dalga boyuna bağlı darbe genişlemesi, dispersiyon (chromatic dispersion) olarak adlandırılır [1]. Kromatik dispersiyon fiber nüve malzemesinin dispersif özellikleri (malzeme dispersiyonu) ile fiber yapı içinde kılavuzlama etkileri yüzünden (dalga kılavuzu dispersiyonu) ortaya çıkan iki genel türe sahiptir [1].

Frekans bandı yüzünden iletilen işaretin farklı spektral bileşenleri arasında yayılma gecikmesi farkları oluşur. Bu etki fiber boyunca iletilen optik darbelerin yayılarak darbe genişliklerinin artması ve tepe genliklerinin azalması şeklinde görülür. Bu ise tek modlu fiberin bandgenişliğini ve iletim mesafesini sınırlayan önemli bir faktördür.

1.3 İletişimde Çoklama Teknikleri

Fiber optik haberleşme sistemleri, değişik enformasyon kaynaklarının ürettiği veriyi, aynı kablo altyapısını kullanarak eş zamanlı olarak iletimini sağlayabilirler. Bu sayede yüksek kapasiteli ve uzak mesafelere ulaşabilen iletişim sistemleri geliştirilebilir. Bunun için sinyal veya kanal çoklama yöntemleri kullanılır. Çoklama, frekans, zaman aralığı veya dalgaboyu paylaşımında yapılabilmektedir. Frekans aralığında yapıldığında Frekans Paylaşımlı Çoklama (FDM), zaman aralığında yapıldığında Zaman Paylaşımlı Çoklama (TDM) , dalgaboyu paylaşımında yapıldığında ise Dalgaboyu Paylaşımlı Çoklama (WDM) olarak adlandırılır [1].



TDM, senkron ve asenkron sinyalleri alır ve bunları fiber üzerinden ve tek bir dalga boyunda iletim için daha yüksek bir bit oranında çoklar. Kaynak sinyallerin elektrikten optiğe ve çoklamadan önce yine optiğe dönüştürülmesi gerekebilir.

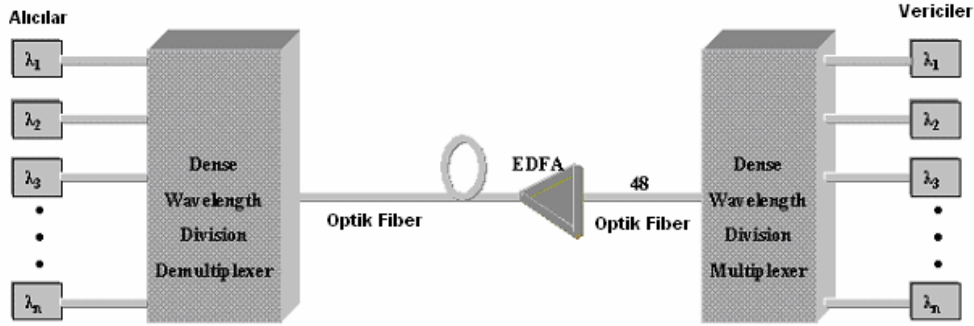


WDM sistemi

WDM ise çoklu sinyalleri alır, bunları ayrı ayrı dalga boyları şekline getirir ve bu dalga boylarını tek bir fiber üzerinden çoklar.

TDM ile WDM arasındaki bir diğer farklılıkta WDM'in ortak bir sinyal biçimini kullanmadan çoklu protokolleri taşıyabilmesidir.

Fiber ağların iletim kapasitesini arttırmak için en iyi çözüm DWDM teknolojisini kullanmaktır. DWDM, WDM teknolojisinden geliştirilmiş halidir. TDM'den farklı olarak DWDM aynı fiber optik hat üzerinde farklı dalga boylarına sahip iletilen çoklu sinyallerin her biri için bağımsız kanal sağlar. WDM ile DWDM arasındaki temel farklılık, DWDM de dalga boyları WDM'de olduğundan daha yakındır. Bu nedenle daha fazla taşıma kapasitesine sahiptir.



Şekil 6 DWDM çalışma şekli

2. Fiber Optik Amlifikatörler

İletişim hattı boyunca zayıflayan sinyalin güçlendirilmesi için amplifikatörler kullanılmaktadır. Optik amplifikatörlerin özellikleri aşağıda sıralanmıştır.

- ▶ Fiber optikteki zayıflama, saçılma problemi ile birlikte uzun mesafe optik iletişiminin gerçekleşmesini önemli oranda sınırlamaktadır.
- ▶ Yüksek kazanç, düşük gürültü, yüksek bant genişliği ve büyük çıkış gücü karakteristikleri ile zayıflama problemini aşmada önemli katkı sağlamaktadırlar.
- ▶ Optik amplifikatörlerde optik sinyal, elektriksene sinyale dönüştürülmeden doğrudan optik olarak yükseltilmektedir. Bu sayede sistem hem daha ucuza mal edilmekte hem de basitleşmektedir.

Optik amplifikatörler optik veya elektriksene pompalama yöntemlerine göre fiber optik amplifikatörler veya yarı iletken lazer amplifikatör olarak iki ana sınıfa ayrılabilirler.

- ▶ Fiber optik amplifikatörler, nadir toprak katkılı bir aktif fiberin uygun bir pompa dalga boyun da pompalanması ile elde edilir.
- ▶ Pompalama, sinyal bandında gereken enerjiyi sağlar.

Bunun dışında nonlineer Raman ve Brillouin saçılmasının faydalı biçimde kullanıldığı Fiber Raman Amplifikatör (FRA) ve Fiber Brillouin Amplifikatör (FBA) de bulunmaktadır.

Amplifikatörler genel olarak aşağıdaki gibi sınıflandırabiliriz:

- ▶ Yarıiletken Optik Amplifikatörler (SOAs)
- ▶ Katkılı Fiber Amplifikatörler (DFAs)
- ▶ Raman Amplifikatörler

Amplifikatörlerin karşılaştırması şekil 7’deki tabloda belirtilmiştir.

	SOA	EDFA	RAMAN	
Gain	>30	>40	>25	dB
Wavelength	1280-1650	1530-1560+	1280-1650	nm
Bandwidth (3dB)	60	30-60	<i>pump dependent</i>	nm
Psat	15	20	$0.5*Pump$	dBm
Sat.Power max	18	22	$0.75*Pump$	dBm
Polarisation	<0.5	0	0	dB
Noise Figure	8	5	5	dB
Pump Power	<400 mA	25 dBm	>30 dBm	
Time constant	0.2 ns	10 ms	fs	
Size	<i>compact</i>	<i>rack module</i>	<i>bulk module</i>	
Switchable	yes	no	no	
Cost Factor	<i>competitive</i>	<i>medium</i>	<i>high</i>	

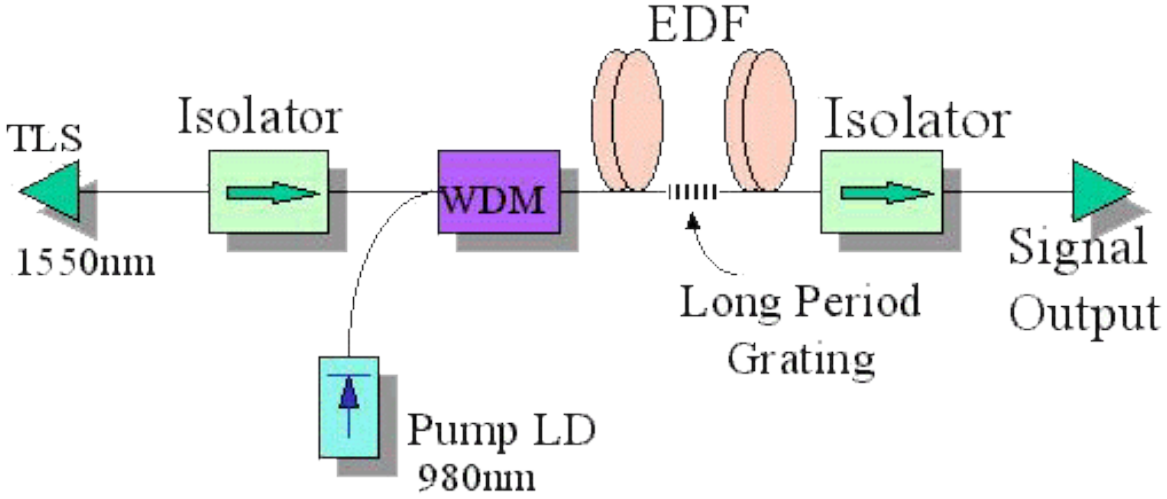
Şekil 7 Amplifikatörlerin karşılaştırılması.

3. Erbiyum Katkılı Fiber Yükselteçler

Orta ve uzun mesafe optik iletimde genellikle optik fiberin zayıflamasının minimum olduğu 1550 nm civarındaki dalga boylarına sahip sinyaller kullanılır. EKFY, Er³⁺ aktif iyonunu ve çoğunlukla 1550 nm sinyal yükseltmesinde kullanılır. Yüksek kazanç ve düşük gürültü özelliklerine sahip EKFY S band (1460-1530 nm) içerisindeki 1490-1520 nm bölgesinde, C band (1530-1565 nm) içerisindeki 1530-1565 nm bölgesinde, L band (1565-1625 nm) içerisindeki 1570-1600 nm bölgesinde kullanılabilir [2].

EKFY’yi çekici yapan nedenlerden biri, tasarımdaki sadeliğidir. İletim hattında bir pompalama kaynağı, pompa ve optik sinyallerini birleştirip EKF’ye aktaran dalga boyu bölmeli çoğullayıcı, sinyal geri dönüş kayıplarını engellemek için kullanılan optik izolatörler EKFY’nin temel yapısını oluşturmaktadır. İzolatörler olmazsa, sistemin ideal olmayan eklerden, oğullayıcılardan,

birleştiricilerden v.s. kaynaklanan yansımalar EKFY’de yükseltilebilir. Bunun en kötü sonucu kararsızlığa ve gürültü faktörünün yükselmesine sebep olmasıdır. EKFY’nin temel yapısı Şekil 8’de görülmektedir [2].



Schematic Diagram of EDFA

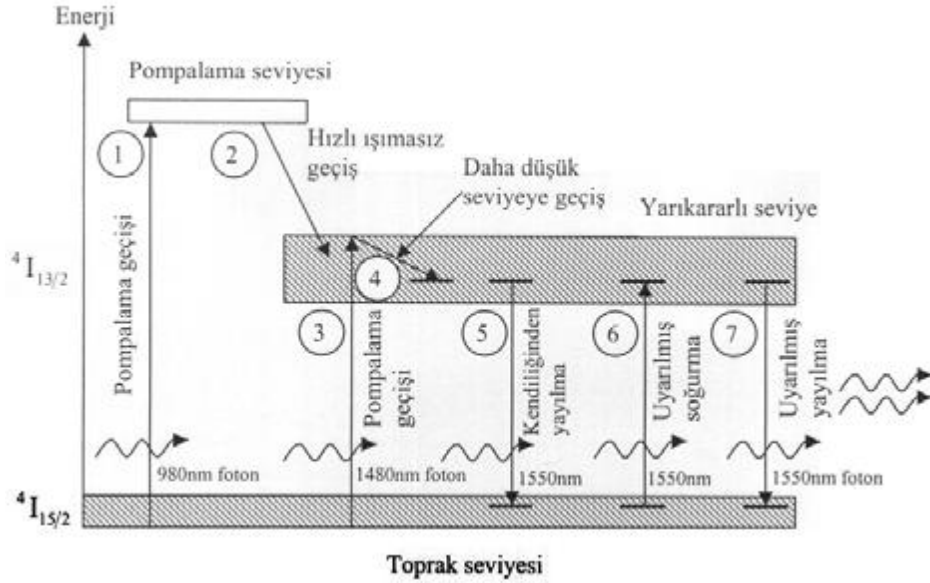
Şekil 8 EKFY’nin genel yapısı

Pompa ve optik sinyali EKF’ye aktaran dalga boyu bölmeli çoğullma (DBC) oldukça küçük kayıplara sahiptir (0,2 dB’nin altında). Katkılı fiberin temel malzemesi silika olup öz bölgesindeki erbiyum ve olası diğer katkı malzemeler ile standart telekomünikasyon fiberlerinden farklıdır. EKF’ler referans alındığında iki avantaja sahiptir. Ürün, düşük maliyetli yüksek kaliteli fiber üretiminin yerleşik düzenini kullanır ve katkılı fiber ile bunun kullanıldığı iletim ortamı olan standart fiberler arasındaki benzerlik, az kayıplı eklerle (kaynak bağlantılarıyla) basit birleştirme olanağını sağlar [2].

3.1 EKFY’nin Çalışma Şekli

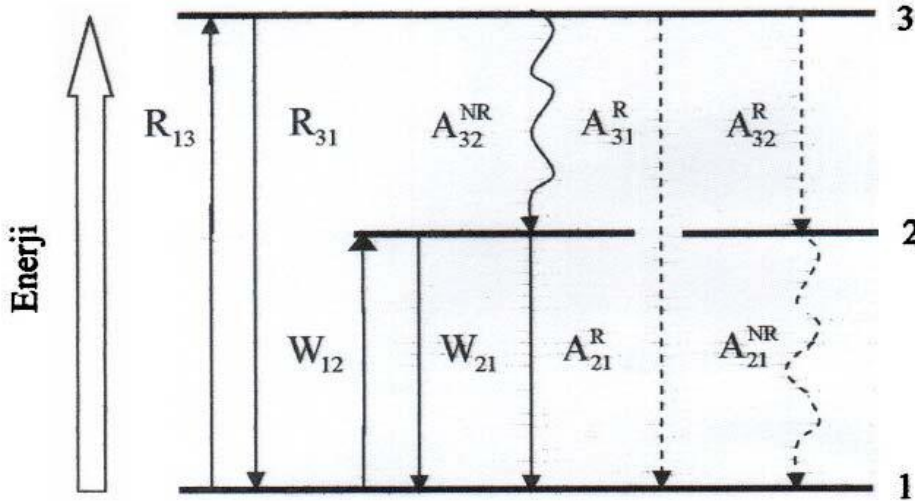
Şekil 9’da görülen üç seviyeli lazer sisteminin enerji seviyeleri, 1. seviye toprak seviyesi, 2. seviye uzun ömürlü bir τ tarafından karakterize edilen yarı kararlı seviye ve 3. seviye pompalama seviyesidir. Bu analizde üç seviyeli sistemde toprak seviyesinden 3 nolu seviyeye lazer geçişi dikkate alınmıştır. Bu durum pratikte 980 nm’lik pompalama dalga boyunun kullanılmasına karşılık gelir [2].

Şekil 9’de basitleştirilmiş enerji seviye diyagramı ve silikadaki Er^{3+} iyonlarının çeşitli geçiş işlemleri görülmektedir. $I_{11/2} - I_{15/2}$ enerji seviyeleri 980nm pompalama bandını, $I_{13/2} - I_{15/2}$ enerji seviyeleri ise 1480nm pompalama bandını göstermektedir [3]. Şekil 9’de görüldüğü gibi 980nm dalgaboyunda yapılan pompalamada foton pompalama seviyesine kadar çıkmakta, daha sonra hızlı bir şekilde yarıkararlı seviyeye düşmektedir. 1480nm dalgaboyunda yapılan pompalamada ise foton direk yarıkararlı seviyeye çıkarılmaktadır. Bu nedenle kazanç 1480 nm dalgaboyunda daha yüksektir [3].



Şekil 9 Temel üç seviyeli enerji aktarımı

Atomik oran denklemleri çıkarılırken Şekil 10’da görülen üç seviyeli lazer sisteminin enerji seviyeleri dikkate alınmıştır. Burada seviye 1, toprak seviyesi, seviye 2 uzun ömürlü bir τ tarafından karakterize edilen yarı kararlı seviye ve seviye 3 pompalama seviyesidir. Üç seviyeli sistemin diğer bir tipi de; yarı kararlı seviyedir. Burada seviye 3 ve lazer geçişi uç seviyeden seviye 2’ye dir. Bu çalışmada, üç seviyeli sistemde toprak seviyesinden uç seviyeye lazer geçişi dikkate alınacaktır ki bu da Er^{3+} durumuna tekabül eder [2].



Şekil 10 Temel üç seviyeli lazer çalışması [3].

Yapılan çalışmalarda sinyal gücü ve dolayısıyla kazancın 1480nm dalgaboyunda daha yüksek olması 1480nm dalgaboyunu çekici kılarken, 980nm dalgaboyunu çekici kılan özellik ise ASE’nin (Amplified Spontaneous Emission)’nin daha düşük olduğu gözükmektedir. Şekil 10’da görüldüğü gibi 980nm dalgaboyunda yapılan pompalama fotonu pompalama seviyesine çıkarmak için daha fazla enerji harcamaktadır. Oysa 1480nm dalgaboyunda yapılan pompalama

ile foton direkt yarıkararlı seviyeye çıkarılarak daha az enerji harcanmakta, dolayısıyla kazanç yükselmektedir. Bu özelliklere bakılacak olursa, 1480nm dalgaboyunda pompalama uzun mesafeli fiberlerde kazanç ve sinyal gücü bakımından üstünlük sağlarken, düşük mesafeli fiberlerde 980nm dalgaboyunda pompalama ASE'nin düşük olması ve kazancın düşük mesafelerde kayba uğramamasından dolayı caziptir [3].

ileri yönlü pompalamada sinyal gücü ve kazancı, geri ve iki yönlü pompalamaya göre daha yüksektir. ASE açısından incelendiğinde, iki yönlü pompalamada ASE'nin çok düşük olduğu görülmektedir. Bunun yanında iki yönlü pompalamada iki lazer diyot kullanılacağından maliyet artacaktır. Ayrıca uzun mesafe iletişimde de iki yönlü pompalanmış EDFA'lar daha avantajlı olacaktır [3].

4. Sonuç :

EDFA'lar uzun mesafeli fiber optik haberleşme için önemli elemanlardır. EDFA'ların uzunlukları, pompalama dalgaboyları, pompalama güçleri, pompalama yönleri, katkılama yoğunlukları, ilave katkı malzemeleri gibi parametreleri değiştirilerek iletim sistemleri için en uygun EDFA tasarlanabilir. Tüm bunlar yapılırken çok düşüğe olsa ASE ve diğer gürültüler ihmal edilmemelidir.

Kaynaklar :

[1] ÇİFT GEÇİŞLİ L-BANDI ERBİYUM KATKILI FİBER AMPLİFİKATÖR (L-EDFA) TASARIMI VE KARAKTERİZASYONU, Şeref Yuvka , Yüksek Lisans Tezi, 2006.

[2] KAZANCI DÜZLEŞTİRİLMİŞ GENİŞ BANDLI FİBER YÜKSELTEÇLERİN TASARIMI, Murat YÜCEL, Doktora Tezi, 2008.

[3] ERBİYUM KATKILI FİBER YÜKSELTEÇLERDE (EDFA) POMPALAMA DALGABOYU VE YÖNÜNÜN EDFA KAZANCINA ETKİSİ, Murat YÜCEL, H. Haldun GÖKTAŞ, 2003