

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

85/00

**HABERLEŞME SİSTEMLERİNDE DALGABOYU
BÖLMELİ ÇOKLAMA SİSTEMLERİNİN ANALİZİ**

Elek.Müh.Mehmet Avni TERZİOĞLU

**F.B.E.Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalında
Hazırlanan**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tez Danışmanı : Prof.Dr.Halit PASTACI

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

İSTANBUL, 1999

85/00
Prof. Dr. Halit Pastacı
M. E. A. m
Kavas

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ-----	iv
KISALTMA LİSTESİ-----	v
ŞEKİL LİSTESİ -----	vii
TABLO LİSTESİ -----	x
ÖNSÖZ -----	xi
ÖZET -----	xii
ABSTRACT -----	xiii
1. GİRİŞ -----	1
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR -----	1
3. TÜRKİYE'DEKİ TELEKOMÜNİKASYON SİSTEMLERİNİN MEVCUT DURUMU -----	1
3.1 Transmisyon Sistemleri Olarak Türkiye'de Kullanılan Sistemler -----	11
3.1.1 Radyolink sistemleri-----	11
3.1.2 Fiber optik sistemleri-----	12
3.1.3 Uydu sistemleri -----	15
4. UYGULANMAYA BAŞLANAN YENİ TRANSMİSYON SİSTEMLERİ -----	16
4.1 SDH Sistemlerine Genel Bir Bakış-----	17
4.1.1 SDH'nın özellikleri-----	18
4.1.2 Transmisyon hiyerarşisi-----	25
4.1.3 Sistem elemanları-----	26
4.1.4 SDH'nın tanımı -----	29
4.2 Dalgaboyu Bölmeli Çoklama Sistemleri(WDM) ve Uygulama Alanları -----	33
4.2.1 Basit WDM-----	34
4.2.2 Yoğunluklu WDM linkleri -----	34
4.2.3 WDM için standartlar -----	37
4.2.3.1 G.692 standardı-----	37
4.2.3.2 Optik şebeke standardı-----	38
4.2.4 WDM çevrelerinde sistem mühendisliği-----	39
5. WDM'İN TÜRKİYE'DEKİ TRANSMİSYON SİSTEMLERİNE OLAN ETKİSİ	42
5.1 SDH Sistemlerinin Analizi -----	43
5.2 WDM Sistemlerinin Analizi-----	48
6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER -----	58

KAYNAKLAR	60	
EKLER	61	
Ek 1	Frekans Bantları	62
Ek 2	Tek Modlu Fiberin Özellikleri	63
Ek 3	SDH Terminolojisi	64
Ek 4	Erbium İlave Edilmiş Fiber Amplifikatör (EDFA)	84
Ek 5	WDM Sistemlerini Oluşturan Parçalar	92
Ek 6	ITU Tavsiyesi	124
Ek 7	Lineer Olmayan Yüksek Gücün Etkileri	139
Ek 8	Türkiye Geneli STM-16 Şebeke Planı	147
Ek 9	İstanbul'a Ait STM-16 Şebeke Planı	148
ÖZGEÇMİŞ	149	



SİMGE LİSTESİ

λ	Dalga boyu
γ	Dalga boyundaki sinyalin maksimum bit hızı
Er	Erbium elementi
F	Fiber
z	Fiber tipi
f	Frekans
ω	FWM içindeki dalga boyları
H	Havaii
I	Erbiumun enerji seviyeleri
L	Uzun mesafe
x	Maksimum aralık sayısı
n	Maksimum dalgaboyu sayısı
N	SDH terminolojisinde bit hızına karşılık gelen ön değer
O	Optik
Pin	Optik kazanç değeri
U	Ultra uzun mesafe
V	Daha uzun mesafe
W	Aralık uzaklığı
Y	Yeraltı

KISALTMA LİSTESİ

ADM	Add Drop Multiplexer
AFR	Absolute Frequency Reference
APS	Automatic Protection Switching
ASE	Amplified Spontaneous Emission
ATM	Asynchronous Transfer Modulation
AU	Administrative Unit
AUG	Administrative Unit Group
AUPTR	Administrative Unit Pointer
BER	Bit Error Ratio
C	Container
CC	Communication Control
CCITT	Committee Consaltative International Telegraphique et Telephonique
CIP	Carrier Induced Phase Modulation
DCC	Data Communication Control
DCS	Digital Communication System
DSF	Dispersion Shifted Fiber
DWDM	Dense Wavelenght Division Multiplexer
DXC	Digital Cross Connect
EDFA	Erbium Doped Fiber Amplifiers
EMOS	Eastern Mediteranean Optical System
EUTELSAT	European Telecommunication Satellite
FWM	Four Wave Mixing
GSM	Global System for Mobile Communication
INMARSAT	Uydular Aracılığı ile Deniz Haberleşmesi Uluslararası Teşkilatı
INTELSAT	Uydular Aracılığı ile Haberleşme Uluslararası Teşkilatı
IP	Internet Protocol
ISDN	Integrated Services Digital Network
ITU	International Telecommunication Union
ITUR	Italy Turkey Ukrain Russia
KAFOS	Karadeniz Fiber Optik Sistemi
LAN	Local Area Network
MAN	Metropolitan Area Network
MPI	Multiple Path Interface
MPI-R	Multiple Path Interface at the Receiver
MPI-S	Multiple Path Interface at the Sender
MSOH	Multiplex Section Overhead
NF	Noise Figure
NNI	Network Node Interface
OA	Optical Amplifier
OADM	Optical Add Drop Mutiplexer
OD	Optical Demultiplexer
OEO	Optical-Electirical-Optical Converter
OM	Optical Multiplexer
OPC	Operation Channel
OSC	Optical Supervisory Channel
OSNR	Optical Signal To Noise Ratio

OXC	Optical Cross Connects
PCM	Pulse Code Modulation
PDH	Plesiochronous Digital Hierarchy
PMD	Polarization Mode Dispersion
POH	Path Overhead
RSOH	Regenerator Section Overhead
RX	Optical Receiver
SBS	Stimulated Brillouin Scattering
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SDXC	Synchronous Digital Cross Connect
SEA-ME-WE	South East Asia Middle East West East
SF	Ses Frekansı
SNR	Signal To Noise Ratio
SOH	Section Over Head
SONET	Synchronous Optical Network
SPM	Self Phase Modulation
STM	Synchronous Transfer Mode
STM-N	Synchronous Transfer Mode-N
TAE	Trans Asya Avrupa Fiber Optik Kablo Sistemi
TBL	Trans Balkan Linki
TMN	Telecommunication Management Network
TTnet	Türk Telekom İkinci İnternet Alt Yapı Ağı
TU	Tributary Unit
TUG	Tributary Unit Group
TURCYOS	Turkey Cyprus Optical System
TURMEOS	Turkey Mediteranean Optical System
TURNET	Türkiye İnternet Alt Yapı Ağı
TURPAK	Türkiye Paket Anahtarlama Data Şebekesi
TÜRKSAT	Turkish Satellite
TX	Transmitter
VC	Virtual Container
VSAT	Very Small Aperture Terminal
WDM	Wavelength Division Multiplexer
XPM	Cross Phase Modulation

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 3.1	Türkiye’de uçlanan denizaltı fiber optik kablo güzergahı----- 7
Şekil 3.2	Türkiye’de uçlanan karasal fiber optik kablo güzergahı ----- 8
Şekil 4.1.1	Telefon şebekesinin gelişimi -----18
Şekil 4.1.1.1	Kurulu bulunan PDH seviyeleri ve çevrim faktörleri-----20
Şekil 4.1.1.2	Birinci mertebede PCM işaretinde bayt doldurma -----22
Şekil 4.1.1.3	Yüksek mertebe PCM sisteminde bayt doldurma-----22
Şekil 4.1.1.4	Yüksek mertebede PCM çerçevesinde pozitif doğrulama -----23
Şekil 4.1.1.5	İndirme bindirmeli çoklama (ADM)-----24
Şekil 4.1.1.6	PDH sistemlerinde düşürme ve ekleme işlemi -----25
Şekil 4.1.2.1	Uluslararası PDH hiyerarşisi -----26
Şekil 4.1.2.2	Eş zamanlı sayısal hiyerarşi (SDH)-----26
Şekil 4.1.3.1	CCITT çoklama yapısı -----28
Şekil 4.1.4.1	STM-1 çerçeve yapısı -----29
Şekil 4.1.4.2	STS-1 çerçeve yapısı (SONET)-----31
Şekil 4.1.4.3	SDH şebeke yapısı-----32
Şekil 4.2.1	Basit WDM-----33
Şekil 4.2.2.1	Şematik olarak WDM’in fonksiyonu-----34
Şekil 5.1.1	Noktadan noktaya STM-16 TE ile dizayn edilmiş ve STM-1 veya 140Mbit/s tributaryleri olan bir link örneği-----43
Şekil 5.1.2	Arada 2 ve 34 Mb/s hızında girişlerin,ADM istasyonunda yapıldığı noktadan noktaya bir link -----44
Şekil 5.1.2	STM-16 ve DXC 4-4 teçhizatlarından oluşmuş ulusal veya bölgesel omurga şebekesi örneği -----45
Şekil 5.1.3	Ankara Kırıkkale arasına kurulan STM-64 deneme linki -----47
Şekil 5.2.1	STM-16’nın bir fiber kılı üzerinden çalışan trafiği -----48
Şekil 5.2.2	WDM sisteminin STM-16 hızındaki her bir kanalını farklı renklerle belirleyerek karşı tarafa iletebilme durumu-----49
Şekil 5.2.3	WDM ile DWDM arasındaki fark tanımı-----50
Şekil 5.2.4	EDFA’nın kazanç karakteristiği -----51
Şekil 5.2.5	Optik amplifikatörlü bir linkin gürültü durumu -----51
Şekil 5.2.6	DWDM linkindeki OADM uygulaması -----52
Şekil 5.2.7	OADM uygulamalı bir DWDM ringi -----53
Şekil 5.2.8	OXC’s –Optik çapraz bağlantı teçhizatı -----53
Şekil 5.2.9	Noktadan noktaya veya çok noktadan çok noktaya WDM vasıtasıyla iletilen bir link örneği -----55
Şekil 5.2.10	Katmanlararası bağlantı-----56
Şekil 5.2.11	DWDM ile çeşitli katmanları arasındaki bağlantı modeli -----57
Şekil 5.2.12	Optik iletim katmanına direkt yapılabilen bağlantılar -----57
Şekil 6.1.1	Optik çapraz bağlantı teçhizatı kullanılarak planlanmış bir şebeke örneği-----59
Şekil 4.1.4.4	Senkron çoklama -----64
Şekil 4.1.4.5	SDH’deki taşıyıcılar-----65
Şekil 4.1.4.6	VC-3 Payload ile VC-4 -----66
Şekil 4.1.4.7	VC’nin yapısı -----66
Şekil 4.1.4.8	SOH ve POH baytlarının konumları-----70
Şekil 4.1.4.9	VC’nin yapısı -----70

Şekil 4.1.4.10	Yönetici birim (AU) (örnek olarak AU-4) -----	72
Şekil 4.1.4.11	VC-4'de Yönetici biriminin (AU) yapısı ve STM-1 içinde AU-4 gösterici (AUPTR)-----	73
Şekil 4.1.4.12	STM-1 çerçevesinin üretiminin akış şeması -----	74
Şekil 4.1.4.13	Değişik parite testlerinin yerleri -----	75
Şekil 4.1.4.14	Tributary birimi -----	75
Şekil 4.1.4.15	C-1'den STM-N'ye çoklama -----	76
Şekil 4.1.4.16	Tributary birim grubu (örnek olarak TUG-2 3 adet TU-1 ile oluşmuş) -----	77
Şekil 4.1.4.17	Yönetici birim grubu (AUG) -----	78
Şekil 4.1.4.18	Negatif doldurma için gösterici değişikliği -----	80
Şekil 4.1.4.19	SDH şebeke izleme cihazının fonksiyonları -----	82
Şekil 4.2.2.2	EDFA -----	84
Şekil 4.2.2.3	Erbium'un enerji seviyeleri-----	85
Şekil 4.2.2.4	Tipik bir EDFA'nın kazanç eğrisi -----	89
Şekil 4.2.2.5	Kademeli EDFA'nın sinyal sonucu-----	89
Şekil 1.1.1	Çok dalgaboylu lazer -----	95
Şekil 1.2.1	Çok dizgili fiberin idealleştirilmiş çıktı spektrumu -----	96
Şekil 1.3.1	Hemen eşik öncesi FB lazeri çıktı spektrumu -----	96
Şekil 1.3.2	ASE'ye dayalı çok çizgili lazaer tasarımı-----	97
Şekil 4.1.1	Fabry-Perot filitrelele sahip bölücü dizisi -----	101
Şekil 4.2.1	Fiber içi Bragg ızgaralarını kullanan ters çoklayıcı-----	102
Şekil 4.3.1	3 db'lik bağlayıcılara sahip fiber içi Bragg ızgaralarını kullanan ters çoklayıcı -----	103
Şekil 4.5.1	Dizi dalga kılavuzu yönlendirici şeması -----	104
Şekil 4.5.2	İki yönlü dalgaboyu çoklayıcı / ters çoklayıcı-----	105
Şekil 4.5.3	Dalgaboyu çoklayıcı / ters çoklayıcı-----	105
Şekil 5.1	Ekle-düşür çoklayıcı işlevi -----	106
Şekil 5.1.1	Dizi dalga kılavuzu ekle-düşür çoklayıcı -----	107
Şekil 5.2.1	FBG ve sirkülatörleri kullanan ekle-düşür çoklayıcı -----	108
Şekil 5.3.1	Kademeli MZ interferometrelerini kullanan filitre -----	109
Şekil 5.3.2	Kademeli MZ interferometrelerini kullanan ADM prensibi -----	109
Şekil 5.3.3	Kademeli MZ interferometrelerini kullanan ekle-düşür çoklayıcısı -----	111
Şekil 6.1	4*4 Optik yer bölünme anahtarı -----	113
Şekil 6.2	Çapraz bağlantı anahtar elementlerini kullanan optik anahtar-----	113
Şekil 8.1	Optik anahtarlama düğümünün yapısı-----	114
Şekil 8.1.1	Dalgaboyu dönüştürücüleri ile birlikte optik anahtarlama düğümü. -----	116
Şekil 9.1.1	Çapraz kazanç modüleli SOA ile dalgaboyu dönüştürücüsü -----	119
Şekil 9.2.1	Çapraz faz modülasyonlu SOA'ya sahip dalgaboyu dönüştürücüsü-----	120
Şekil 9.3.1	FWM yada DFG kullanan dalgaboyu dönüştürücüsü -----	121
Şekil 4.2.4.1	Bir optik hat sisteminin arayüzleri-----	132
Şekil VII.2/G.mcs	Tek yönlü WDM-----	137
Şekil VII.2/G.mcs	Çift yönlü WDM-----	137
Şekil 1.1	Dört dalga karışım etkisi-----	140
Şekil 2.1	SBS'nin eşik değerinin dalgaboyu ile birlikte değişimi -----	142



TABLO LİSTESİ

	Sayfa
Tablo 3.1	Türkiye’de fiber optik kablo uzunluğu ----- 2
Tablo 3.2	GSM abone sayısının yıllara göre dağılımı ----- 3
Tablo 3.3	Radyolink sistemlerinin yıllara göre değişimi ----- 4
Tablo 5.1.1	PDH ve SDH sistemlerinin kapasite karşılaştırması -----46
Tablo 5.2.1	Telefon hatları ve internete bağlı bilgisayar durumu -----54
Tablo 5.2.2	Ses kanalları ile data kanallarının karşılaştırılması -----54
Tablo 1/G.mcs	Amplifikatörsüz çok kanallı sistemde uygulama kodları----- 129
Tablo 2/G.mcs	Amplifikatörlü çok kanallı sistemlerin kodları ----- 130
Tablo 3/G.mcs	Amplifikatörsüz hattaki zayıflama aralığı ----- 131
Tablo 4/G.mcs	Amplifikatörlü hattaki zayıflama aralığı ----- 131
Tablo 5/G.mcs	G.652 tavsiyesine uygun fiberin maksimum dağılımı ----- 132
Tablo A.1/G.mcs	Nominal merkezi frekanslar ----- 134
Tablo III.1/G.mcs	G.652 ve G.655 tavsiyesine uygun fiberlerin önerilen kanal frekans yerleşimi----- 135
Tablo IV.1/G.mcs	G.653 tavsiyesine uygun fiberin 4 ve 8 kanallı uygulaması için önerdiği kanalların merkezi frekansları ----- 136

ÖNSÖZ

Bu tezin hazırlanması hususunda bana gerekli desteği veren öncelikle Sayın Prof.Dr.Halit Pastacı hocama, daha sonrada Türk Telekom EPYD Başkanlığı Kuranportör Grub.Baş. Mühendisliğinde çalışan bütün arkadaşlarıma ve Alcatel Telekomünikasyon A.Ş’de çalışan Sayın Yük.Müh.Ersin Sert beye teşekkürlerimi sunarım.



ÖZET

Dalgaboyu Bölmeli Çoklama Sisteminin analizinin yapılmaya çalışıldığı bu tezde sistemin özellikleri ve uygulama alanları incelenmiştir.

Çalışmada kullanılan yöntemler ise dünyada bu sistemin çalışma alanları olarak kapsadığı yer ve önem ile teknolojinin getirdiği avantajlar olarak ele alınmıştır.

Ayrıca ülkemiz için bu sistemin alt yapısının nasıl bir şekilde oluşturulmaya çalışıldığı ve uygulanabilirlik olarak mevcut sistemlerle entegre olabilme durumunda gözlenmiştir.

Bu çalışma sonucunda mevcut fiber optik kablo ve sistemleri kullanarak bir omurga şebeke oluşturulmaya çalışılmıştır.



ABSTRACT

This research work in which Wavelength Division Multiplexer system is tried to be analyzed, explores this system and applications areas.

The methods in this work is handled as the importance and the working areas of the system around the world and the technological advantages of it.

Also in our country, the substructure of this system which will be formed and the application of integration of existing systems are examined.

At the end of this research , the backbone network is try to be formed by using the existing fiber optics cables and systems.



1.GİRİŞ

Bu tezde Türkiye’de ki mevcut telekomünikasyon sistemleri ve bununla birlikte yeni kurulacak sistemlerin genel özellikleri ve yeni teknolojilerin ülkemizdeki telekomünikasyon alt yapısına yapacağı katkıları anlatmaya çalışacağım.

Özellikle bu tezin ana başlığını oluşturan WDM sistemlerini ve bununla birlikte gelen optik transmision sistemlerini, PDH ve SDH çoklama sistemlerini, bu sistemlerin birbirleriyle olan ilişkilerini ,getirmiş olduğu avantajları,dezavantajları ve bunun sonucunda yapılmakta olan yatırımları, inceleyeceğiz.

2.ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Özellikle tezime başlık teşkil eden dalgaboyu bölmeli çoklama sistemleri ile ilgili olarak bir araştırmanın daha çok yeni olması nedeniyle, O.D.T.Ü’nün, TÜBİTAK’ın kütüphanesinde ve ULAKBİM’in oluşturduğu tez kütüphanesinde de bu konuyla ilgili olarak herhangi bir makalenin veya araştırmanın bulunmadığını gördüm.

Ancak konunun birazda fizikle olan ilgisinden dolayı, üniversitelerin bu bölümünde yapılmış olan araştırma konularıda bulunabilir.Bundan dolayı, WDM’le ilgili olarak yapılan bütün araştırma ve makaleleri yabancı kaynaklardan ,internet’ten ve bu konuyla ilgili olarak dünya pazarındaki ürünlerin kataloglarını karıştırmak suretiyle elde edilmiştir.

3.TÜRKİYE’DEKİ TELEKOMÜNİKASYON SİSTEMLERİNİN MEVCUT DURUMU

Bilindiği üzere, günümüzde teknoloji çok hızlı bir şekilde değişmektedir.Her alanda, özellikle elektronik sanayiinde meydana gelen gelişmeler haberleşmede uzay çağını başlatmış ve bugün, haberleşme hizmet ve şebekeleri, insan ve toplum hayatında hem sosyal ve kültürel hemde ekonomik alanda daha olumlu katkılar sağlar hale gelmiştir. Bu gerçeğin bilincinde olarak, son yıllarda Türk Telekom tarafından alınan dizi kararlarla, Türk Telekomünikasyon şebekesinde çok yönlü gelişmeler sağlanmıştır.

1984 yılı başı itibarıyla 1.9 milyon hat olan telefon santral kapasitesi, 18 milyon hatta yükseltilmiş ve telefon santrallerinde otomatikleşme oranı %91'e ulaşmıştır. Telefon hizmetlerine ilave olarak ; teleks, teleteks, faksimile, devre anahtarlama, data, paket anahtarlama, mobil telefon ,çağrı sistemi, ücretsiz arama, kredili-arama, kordonsuz telefon, kartlı telefon, videoteks ve videokonferans gibi bir çok hizmetlerde ülke genelinde sağlanmaktadır. Ayrıca Tümüleşik Hizmetler Sayısal Şebeke (ISDN) yani ses, görüntü , data ve faks gibi temel servislerin sayısal bir ortamda birleştirilip iletilmesinin sağlandığı bir ortam ile görüntülü telefon hizmeti ve santralara ilave edilen arayan numarayı gösterme özelliği olan numara 7 özelliğinin kazandırılması hizmetlerinin verilmesinde çok yakında başlanacaktır.

Telefon santralleri ve yerleşim yerleri arasında tesis edilen fiber optik kablo uzunluğu 1997 yılı sonu itibarıyla %18 artışla 36,573 km'ye ulaşmıştır. Tablo 3.1'de yıllara göre fiber optik kablo uzunluğunu görebiliriz.

Tablo 3.1 Türkiye'de fiber kablo uzunluğu. Türk Telekom

FİBER-OPTİK KABLO UZUNLUĞU(km)				
1994	1995	1996	1997	1998 Prog.
24,850	28,300	31,000	36,573	46,573

Yeri sabit olmayan veya hareket halindeki abonelerin telefon görüşmelerine imkan sağlayan araç telefonu (NMT 450 Mobil telefon Sistemi) hizmetinde, santral(MTX) kapasitesi 1997 yılı sonu itibarıyla 150,000 hattır. Bu sistem 80 il ve çeşitli il ve ilçe merkezleri ile bu yerleri birbirlerine bağlayan ana karayolları ve sahillerimizde 126,659 aboneye hizmet vermektedir. Ayrıca ; ülkemizde kullanıcılara daha güvenli, pratik ve kullanışlı mobil telefon haberleşmesi sağlamak amacıyla kurulmuş olan Avrupa Sayısal Mobil Telefon Sistemi (GSM)'nin alt yapı çalışmaları üstlenici firmalarca devam etmektedir. İki ayrı şebekeden oluşan GSM sisteminin 1997 yılı sonu itibarıyla toplam abone sayısı 1,483,149 iken bu rakamın çok hızlı büyüdüğü ve bugünkü rakamının 5,500,000 civarında olduğudur. Buna ilave olarak DCS-1800 mobil sayısal telekomünikasyon sisteminin kurulması işlemi ile ilgili olarak ayrıca iki ayrı operatöründe devreye girmesi husunda çalışmalar devam etmektedir. Böylece mobil telefon sistemlerinin

daha iyi ve daha geniş alanlarda hizmet vermesi sağlanmış olacaktır.Tablo 3.2’de GSM sistemiyle ilgili bir değerlendirme sunulmuştur.

Tablo 3.2 GSM abone sayısının yıllara göre dağılımı.Türk Telekom

GSM SİSTEMİ					
	1994	1995	1996	1997	1998 Prog.
Santral hat kap.	114,000	365,000	550,000	1,210,000	2,210,000
Baz ist.sayısı	192	742	1,107	1,894	2,694
Abone sayısı	81,968	332,716	692,779	1,483,149	2,350,000

Öte yandan ; Milletlerarası teleks haberleşmesi halihazırda toplam 218 ülkeyle, milletlerarası telefon haberleşmesi ise toplam 217 ülke ile sağlanmaktadır. Türkiye, Ankara ve İstanbul'da kurulu bulunan iki adet milletlerarası sayısal santral ile, diğer ülkelere otomatik transitlik yapmaya bütünüyle muktedir durumdadır.Telekomünikasyon şebekesindeki teknolojik yapı değişikliğinde, Türkiye'nin dünyanın başta gelen ülkeleri arasında yer almasını sağlayan çok büyük aşamalar kaydedilmiştir.Analog şebekenin sayısallaştırılması kararının alındığı 1984 yılından itibaren başlatılan yoğun ve başarılı çalışmalar neticesinde, bugün milli telekomünikasyon şebekesinde santraller itibarıyla %82.86, uzak mesafe transmisyon sistemleri itibarıyla da %94.49 oranında sayısallaştırma gerçekleştirilmiş bulunmaktadır.Uzak mesafe transmisyon sistemleri olarak radyolink sistemleri,fiber optik kablo sistemleri ve uydu sistemleri kullanılmaktadır.Türkiye radyo link şebekesi günümüze kadar %46.67 oranında sayısallaştırılmıştır.1997 yılı sonunda 6,720 adet olan radyo link alıcı verici sayısı ,1998 yılı sonunda 7,224'e ulaştırılması planlanmıştır.Tablo 3.3'te radyo link sistemleri ile ilgili özet bilgiyi görebiliriz.Mevcut PDH(Plesiochronous Digital Hierarchy) yani yarı senkron sistemlerine göre üstünlüğü olan ve şebeke planlamasında esneklik sağlayan SDH (Synchronous Digital Hierarchy) teknolojisini üretilen transmisyon sistemleri satın alınarak şebekeye entegre edilmiştir.

Sistemler gerek şehirlerarası gerekse de büyük metropoliten sahalaradaki kapasitelerin arttırılarak internet,data, GSM ve santral şebekelerinin iletişim ihtiyaçlarının karşılanmasını sağlayacaktır.

Tablo 3.3 Radyolink sistemlerinin yıllara değişimi. Türk Telekom

RADYO LİNK SİSTEMLERİ					
	1994	1995	1996	1997	1998 Prog.
Radyo link istasyon sayısı	333	335	335	335	335
Analog alıcı verici sayısı	3,584	3,584	3,584	3,584	3,584
Sayısal alıcı verici sayısı	2,594	2,788	2,908	3,136	3,640
Şebekeye bağlı merkez sayısı	609	643	688	732	1132
Uzunluk(km)	43,155	45,000	46,550	48,000	53,760

Ülkemiz telekomünikasyon şebekesi ; gerek boyutları ve yaygınlığı ile gerekse otomatikleşme oranı, uygulanan teknoloji ve servis kalitesi bakımından, dünyanın ileri ülkeleri seviyesine ulaşmış ve bu ülkelerle entegrasyonda hiçbir problemle karşılaşılmamıştır. Bugün Türkiye'de, milletlerarası telkomünikasyon hizmetlerinde kullanılan çeşitli haberleşme sistemleri bulunmaktadır.

Örnekleme gerekirse, uydu sistemleri Türkiye'nin yurtdışı haberleşmesinde çok önemli bir rol oynamaktadır. Ülkemiz; Uydular Aracılığı ile Haberleşme Uluslararası Teşkilatı (INTELSAT), Uydular Aracılığı ile Haberleşme Avrupa Teşkilatı (EUTELSAT) ve Uydular Aracılığı ile Deniz Haberleşmesi Uluslararası Teşkilatı (INMARSAT)'nın üyesidir. Uluslararası haberleşme için INTELSAT, EUTELSAT ve INMARSAT uyduları ile çalışan 5 adet, TV yayınlarının alışverişi için ise 11 adet yer istasyonu kurulmuştur.

Uydular aracılığıyla haberleşme ile elde edilen ekonomik yararların yanısıra, milli bir uydu sisteminin getireceği çeşitli avantajlar gözönüne alınarak; Avrupa Türkiye ve Orta Asya'nın kapsama alanı içerisinde bulunduğu ilk Türk uydusu TÜRKSAT, 11 Ağustos 1994 tarihinde uzaya fırlatılmıştır. Böylece, ülkemiz; dünyada kendi uydusuna sahip olan 16 ülke, Avrupa'da ise 6 ülke arasına girmiş bulunmaktadır. Geçtiğimiz yıllarda hizmete

verilen TÜRKSAT ile;

- Ülkemizdeki TV kanal sayısının arttırılması ve bu yayınların tüm yurt içinde kısa zamanda ekonomik ve kaliteli olarak dağıtılması
- Türk TV programlarının Batı Avrupa ülkelerinde yaşayan Türk vatandaşlarına iletilmesi
- Aynı şekilde Orta Asya Türk Cumhuriyetleri'nin de bu programları izleyebilmesi
- Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgelerimizin coğrafi yapısının gerektirdiği özel haberleşme sistemlerinin temini, mümkün olacaktır.

Ayrıca Türksat 1C'ninde devreye girmesiyle bu kapasite kullanımı hem askeri hemde sivil amaçlı olarak artmış ve televizyon olsun radyo olsun pekçok yayının hem Orta Asya ,hem Orta Doğu hemde Batı Avrupa ülkelerinden izlenip,dinlenilmesi sağlanmıştır.

Uydu haberleşme sistemlerinden başka; ülkemiz ile İran, Irak, Suriye, Yunanistan ve Bulgaristan arasında geniş kapasiteli radyolink sistemleri bulunmaktadır.Yine, Nahçıvan ile ülkemiz arasında radyolink sistemi mevcuttur. Ayrıca; Türkiye ile Azerbeycan ve Gürcistan arasında DOKAP olarak adlandırılan 140Mbit/s'lik bir radyolink sistemi projesi de gündemde bulunmaktadır.

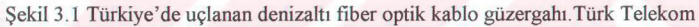
Türk Telekom, üç tarafı denizlerle çevrili bir ülkenin idaresi olarak, denizaltı kablo sistemlerinden de geniş ölçüde yararlanmaktadır.Türk Telekom müşterek malik statüsüyle iştirak etmiş olduğu ilk denizaltı kablo sistemi; Türkiye ile İtalya arasında 1977 yılında tesis edilmiş bulunan Antalya-Catania denizaltı kablo sistemi olup, muhtelif Avrupa ülkeleri ile olan telefon haberleşmesi için kullanılmaktadır.İtalya, Yunanistan ve İsrail ile Türkiye arasında tesis edilmiş olan EMOS-1 fiber optik denizaltı kablo sistemine, yatırımcı ülkeler arasında ikinci sırada yer alınmasını sağlayan %18'lik hisse ile iştirak edilmiştir.Atlas okyanusunda Amerika kıtası ile Avrupa arasında tesis edilen ilk transatlantik fiber optik denizaltı kablo sistemi olan TAT-8 ve Avrupa ile Kuzey Amerika

lkeleri arasında irtibat sağlamak üzere atlas okyanusu'nda tesis edilen TAT-9 fiber optik denizaltı kablo sistemlerinede iştirak edilmiştir.Ayrıca; EMOS-1 ve TAT-9 kabloları arasında irtibat sağlayan MAT-2, Amerika kıtası ve İngiltere arasında tesis edilmiş bulunan PTAT-1, ABD ile Avrupa arasında tesis edilen TAT-10, TAT-12 ve TAT-13 fiber optik denizaltı kablo sistemlerinde'de Türk Telekom'un kapasitesi bulunmaktadır.

Türkiye, Uzak Doğu'da Singapur ve Endonezya'dan başlayıp, batıda Fransa'ya kadar uzanan SEA-ME-WE 2 fiber optik kablo sisteminde terminal ülkelerden birisidir.lkemizde Marmaris'te termine edilecek olan kablo, Mısır'da İskenderiye ile Süveyş arasında kalan kısım hariç, tümüyle deniz altından yollandırılan ve 565 Mbit/s iletişim kapasitesini haiz fiber optik bir kablodur.Yaklaşık olarak 18190 km uzunluğundaki SEA-ME-WE 2 kablosu, bugüne kadar dünya üzerinde döşenen denizaltı kablolarının en uzununu olup, ortalama ömrü 25 yıl olarak öngörülmektedir.

Karadeniz Ekonomik İşbirliği Bölgesi Projesi kapsamında ticari, ekonomik, kültürel ve sosyal alanda işbirliğini gerçekleştirmek üzere; Karadeniz'e kıyısı olan ülkeler arasında deniz altından telekomünikasyon irtibatı kurulmasına yönelik olarak, KAFOS fiber optik denizaltı kablo sisteminin gerçekleştirilmesi planlanmıştır.Proje alışmalarının Türk Telekom'un önderliğinde yürütüldüğü söz konusu kablo; Bulgaristan'da Varna, Romanya'da Mangalia, lkemizde ise İstanbul'da termine edilmiştir.Sistem, Moldova'ya da Romanya üzerinden irtibatlandırıcaktır.Projenin gerçekleştirilmesiyle; ülkemiz üzerinden Akdeniz, Batı Avrupa, Kuzey Amerika, Orta Doğu ve Uzak Doğu lkelerine, Romanya ve Bulgaristan üzerinden ise Balkan ülkelerine ulaşılacaktır.Toplam uzunluğu 504 km olan sistem 1995 yılı sonunda servise verilmiştir.

Türkiye, İtalya, Rusya Federasyonu ve Ukrayna arasında 565 Mbit/s kapasitesinde ITUR adı verilen denizaltı fiber kablosu 1995 yılında servise verilmiştir.İtalya'da Palermo, Ukrayna'da Odessa, Rusya Federasyonu'nda Novorosijsk ve lkemizde İstanbul Ataköy'de termine edilecek olan 3500 km uzunluğundaki ITUR fiber optik denizaltı kablo sistemi, Karadeniz havzasının haberleşme trafiğini, Ukrayna ve Rusya Federasyonu üzerinden boğazlar vasıtasıyla Akdeniz ülkelerine akıtmaktadır.şekil 3.1 Türkiye'nin bağlı olduğu denizaltı fiber optik kablo güzergahlarını özetlemektedir.



İtalya'da Bari, Arnavütük'da Tiran, Makedonya'da Üsküp, Bulgaristan'da Sofya ve ülkemizde İstanbul'da termine edilen projenin gerçekleştirilmesiyle, anılan ülkeler arasında ilk kez sayısal bir fiber optik kablo sistemi kurulmuş ve bölge ülkelerinin diğer ülkelerle haberleşmeleri sağlanmıştır.

Ülkemiz ; Asya ve Avrupa arasında artan haberleşme ihtiyacının karşılanması amacıyla, Çin'de Şanghay'dan başlayarak Kazakistan, Kırgızistan, Özbekistan, Tacikistan, Türkmenistan, İran, Türkiye, Ukrayna ve Polonya üzerinden geçip Almanya'nın Frankfurt kentinde termine edilmesi öngörülen "Trans Asya-Avrupa(TAE) fiber optik kablo sistemi"

nin tesisine yönelik çalışmalara da fiilen iştirak etmiştir.1995 yılı sonunda tamamlanarak 1996 yılının ilk çeyreğinde hizmete verilen sözkonusu sistemin uzunluğu yaklaşık 21 000 km'yi bulmuştur.Şekil 3.2'de bunu görebiliriz.



Şekil 3.2 Türkiye'de uçlanan karasal fiber optik kablo güzergahı.Türk Telekom

Türkiye ile KKTC arasında fiber optik bir bağlantının tesisini öngören TURCYOS-1 fiber optik denizaltı kablosu, 1994 yılı başında servise verilmiştir.Ayrıca ; Türkiye'de, Marmaris'te karaya çıkan EMOS-1 ve SEA-ME-WE 2 fiber optik denizaltı kablolarının İstanbul'a, İzmir üzerinden irtibatlandırılmasını sağlayan ve aynı zamanda yurtiçi trafik için de kullanılabilecek olan TURMEOS-1 fiber optik denizaltı kablosu da, 1994 yılı başında tamamlanarak servise verilmiştir.

SEA-ME-WE 3 kablo projesi'de Almanya'dan başlayıp Belçika ve İngiltere'de terminal noktası olan,Batı Avrupa,Akdeniz,Orta Doğu ve Hint Okyanusu ülkeleri üzerinden Güney Doğu Asya ve Japonya'ya kadar Uzak Doğu ülkelerine ve Avustralya'ya uzanan ve güzergah üzerinde 34 ülkede termine olması planlanan bir projedir.Türkiye'de Marmaris'te termine edilecek olan bu sistemin yine aynı yerde termine olan ve halen serviste bulunan EMOS,SEA-ME-WE 2 ve ITUR ile KAFOS sistemlerine yine bir denizaltı kablo sistemi

olan TURMEOS'la entegrasyonu sağlanarak , hem geçiş istasyonu geliri hemde diğer uluslararası bağlantılarla önemli ölçüde transit trafik geliri elde edilecektir.

Ayrıca ECOFOS olarak adlandırılan ve İstanbul'dan başlayarak Ankara, Tahran, İslamabat ve Karacî'yi birbirine irtibatlandıracak diğer bir fiber optik kablo projesine yönelik çalışmalar da başlatılmış bulunmaktadır.Bu projelerin gerçekleştirilmesiyle, Türkiye ; gerek doğu (Orta Doğu) ile batı (Avrupa), gerekse güney (Orta Doğu ve Afrika) ile kuzey (Bağımsız Devletler Topluluğu) arasında bir köprü işlevi görecektir.

Bunların haricinde data haberleşme sistemleri olarakta TURPAK (Türkiye Paket Anahtarlamalı Data Şebekesi) hizmettedir.Birbirlerinden hız,arayüz,standartı ve kullandıkları haberleşme protokolleri açısından farklı marka ve tipteki her türlü bilgi işlem birimlerinin birbirleriyle uyumlu iletişimine olanak sağlayan TURPAK şebekesi alt yapıyı oluşturmaktadır.Turpak X.25 haberleşme protokolünü esas alan bir şebeke olup,şebekede sakla ilet yönetimi ile uçtan uca hata ve akış kontrolünün yanı sıra gerektiğinde hız ve protokol çevrimi yapılarak taşınmaktadır.Şebeke temel olarak abone erişiminin ve servislerinin sağlandığı erişim modülleri ile şebeke içerisinde abone çağrılarının yönlendirildiği, şebekenin yurt dışı bağlantılarının gerçekleştirildiği anahtarlama modülleri olmak üzere iki tip modülden oluşmaktadır.TURPAK, kullanıcıya gerek telefon şebekesi üzerinden gerekse direkt hatlarla yaygın erişim olanağı sağlayarak yurt çapında kullanıma açıktır.1989 yılının son çeyreğinden itibaren aşamalar halinde servise verilmiş bulunan TURPAK , 122 erişim ve 4 anahtarlama modülü ile bugün için 14,854 port kapasitesine ulaşmıştır.Şebeke yaygın olarak bankacılık,savunma sanayii ve şans oyunları sektöründe kullanılmaktadır.Yüksek hızlı çalışmalar için ise 19 adet passport modülü alınarak 5 modül ile 34 Mbps'lik omurga oluşturulmuştur.Diğer modüller ise 2 Mbps'lik hız seviyesinde haberleşmektedir.Böylece frame relay yani çerçeve yol verici için yeterli hız seviyesine erişilmiş ve 1997 yılı itibariyle şebekede frame relay servisi verilmeye başlanılmıştır.Frame relay servisi port kapasitesi 1997 yılı sonu itibariyle 654'dür.Transmisyon hattı kalitesinin düşük olduğu ortamlar için geliştirilmiş olan ve dayandığı sakla ilet prensibi ile gelişmiş uçtan uca hata ve akış kontrolü prosedürleri nedeniyle düşük hızlı uygulamaları için elverişli olan X.25 yöntemi yerine Frame Relay, transmisyon kalitesinin yüksek olduğu ve dolayısıyla hata oranının çok düşük olduğu

ortamlarda 45Mbps'a kadar olan yüksek hızlarda çalışma gereksinimi olan uygulamalar için elverişlidir. Frame relay servislerinden yararlanacak tipik uygulamalar olarak; anlık trafik motifine sahip ve düzensiz biçimde yüksek bant genişliğine gereksinim duyan Yerel İletişim Ağları (LAN) bağlantıları, ana bilgisayarlar arası veri tabanı koordinasyonu, video konferans gibi uygulamalar sayılabilir. Çok daha ileri teknoloji olan ve ses, data ve video sinyallerinin çok daha yüksek hızlarda aynı ortamda iletimine olanak veren ATM (Asynchronous Transfer Modulation) asenkron iletim modun teknolojisine geçişin ise kurulacak olan 155 Mbps ve 622 Mbps'lık omurga ile gerçekleşmesi planlanmaktadır. Ayrıca internet sevisini sunabilmek için ilk olarak Ulusal İnternet Alt Yapı Ağı olan TURNET şebekesi kurulmuştur. TURNET şebekesi ile akademik kullanıcılar hariç tüm internet kullanıcıları için, küresel internet erişimine tek bağlantı konumunda hizmet verilmektedir. TURNET internet alt yapı ağının omurgasını oluşturan düğüm noktaları, ilk aşamada Ankara, İstanbul ve İzmir'de kurulmuş olup bu noktalar birbirine 2 Mbps hız bazında yurt içi fiber linkleri ile bağlanılmıştır. TURNET servisine abone olan servis sağlayıcılar, TURNET düğüm noktalarına kiralık hatlarla bağlanmaktadır. TURPAK üzerinden TURNET'e erişim yapan aboneler ise IP/X.25 protokolü ile TURPAK santralleri üzerinden TURNET şebekesine bağlanmaktadır. TURNET'in Ankara'dan Amerika -SPRINT'e ve İstanbul'dan Amerika-MCI'a birer adet 2Mbps hızında yurt dışı çıkışı vardır. Ülkemizde TURNET şebekesinin tek Ulusal İnternet Alt Yapı Ağı olması nedeniyle, gerek yurt dışı gerekse yurt içi şebekenin yetersiz kalması nedeniyle, ikinci bir internet şebekesine ihtiyaç duyulmuştur. TNet şebekesi olarak bilinen bu şebekeye göre; Ankara, İstanbul ve İzmir yurt dışı çıkış hat kapasiteleri 34'er Mbps olacaktır. Toplam yurt dışı hat kapasitesi 102 Mbps olarak hizmete sunulacaktır. Ankara, İstanbul ve İzmir illerinde çekirdek düğüm noktaları kurularak, bu noktalar 155 Mbps hızında ATM protokolü ile birbirine bağlanacaktır. Öte yandan, Türk Telekomünikasyon sanayiinde üstlendiği ve gerçekleştirdiği öncülük ve teşvik faaliyetleri neticesinde ; üstün teknolojiye üretilen ürünler, yurtiçi ihtiyacının %95'ini karşılaması yanında yurtdışında da alıcı bulmakta ve bu dalda dünyada söz sahibi olan markalarla yarışabilmektedir.

Sonuç olarak ifade etmek gerekirse, bütün bu önemli gelişmeleri gerçekleştiren Türk Telekom ; haberleşme hizmetlerinin planlama, projelendirme ve yürütülmesinde önemli

ölçüde bilgi ve tecrübe kazanmış bulunmaktadır. (Faliyet Raporu ,1998 Ar-ge Bülteni 1997)

3.1 Transmisyon Sistemleri Olarak Türkiye’de Kullanılan Sistemler

Mevcut Transmission sistemlerini Radyolink Sistemleri, Fiber Optik Sistemleri ve Uydu Sistemleri olarak üçe ayırmak mümkündür.Şimdi bunlara kısaca değineceğiz.

3.1.1 Radyolink sistemleri

Radyolink sistemlerini analog ve sayısal radyolar olarak tanımlamamız mümkündür.Mevcutta halen kullanmış olduğumuz analog radyoların kanalları taşıma mesafeleri (130 km’ye kadar taşıyabilmektedirler) sayısal radyolara göre daha uzun mesafede olmasına rağmen kanal gürültüsü dediğimiz sesin temiz bir şekilde iletilememe hadisesi daha yoğun olarak görülmektedir.Ayrıca analog radyoların üzerinden taşınabilecek kanal kapasiteside bu radyolara birlikte çalışan analog çoklayıcıların frekans planlamasına bağlı olarak daha az olmaktadır.

Ancak sayısal radyolarda bu durum tam tersi bir özellik arz eder.Yani daha kısa mesafede (yaklaşık olarak 60 ile 70 km arasında değişen) daha kaliteli ve daha yüksek kapasitede kanal taşıma imkanımız bulunmaktadır.Radyo sistemlerinin kullanılma maksadı coğrafi engellerin çok olduğu merkezlerde transmisyon ortamını temin etmek içindir.Hatta bu maksatla kurulan radyolink istasyonları vasıtasıyla daha fazla sayıda radyonun çeşitli yönlere kurulan karşılıkları vasıtasıyla küçük veya büyük merkezlerin transmisyon imkanı sağlanmış olur.Bu ortamın olabilmesi için radyoların birbirlerini optik olarak görme zorunluluğu vardır.

Sayısal radyoları sınıflandırmak gerekirse küçükten,büyüğe doğru kapasite ve hız olarak ifade ettiğimizde 2,8,34,140,STM-1 yani 155 ve STM-4 yani 622 Mbit/s olarak sıralamamız mümkün olacaktır. Frekans bantlarını Ek 1’de görebiliriz.Ayrıca burada ifade etmiş olduğumuz STM-4 radyo sisteminin Avrupa’daki ilk uygulamasıda geçtiğimiz Şubat ayı içerisinde Antalya’da başlanmıştır.Kapasite olarak 4 adet STM-1 sinyalinin yani

yaklaşık 7680 telefon kanalını özel bir modülasyon tekniğini kullanarak gerçekleştirmiştir.

Bunun dışında STM-1 yani 1920 telefon kanalını taşıyan radyoların yaygın olarak kullanılmasında Türkiye’de çok yakın bir gelecekte başlanılacaktır. Belirtilen STM-n teçhizatları normal sayısal radyolardan farklı olarak Senkron Sayısal Hiyerarşiyi (SDH) kullanabilen teçhizatlardır. Dolayısıyla ileride daha detaylı olarak değineceğimiz bu hiyerarşik yapılanmadan şimdilik kapasite olarak bahsediyoruz. Ancak; Yarısenkron Sayısal Hiyerarşi’den (PDH) farklı olarak pekçok avantajı olduğunu SDH’den bahsederken göreceğiz.

3.1.2 Fiber optik sistemleri

Mesaj göndermek için ışığın kullanımı yeni değildir. İlk çağlarda insanlar ateşle işaretlerken, binlerce yılda dumanla işaretleşmişler ve savaş gemilerinde birbirleri arasında haberleşmek için gene ışığı kullanmışlardır.

Optik haberleşmede cam fiberin kullanılması fikrini ilk olarak Alexander Graham Bell ortaya atmış ve bununla birlikte bu fikrin pratik olarak hayata geçişi için 80 yıl beklemek zorunda kalmıştır. Bu zaman diliminde daha kaliteli camlar ve daha düşük maliyetli elektronik teçhizatlar geliştirilmiştir.

Optik haberleşmede fiberin ve teçhizatlarının gelişimi 1960 yılların başından günümüze kadar gelmiştir. Fakat asıl değişim 1980’lerde olmuştur. Teknolojinin gelişiminde ilgi çekici bir rol oynayan optik haberleşme sistemleri on yıllık dönemler boyunca iletişimde çok önemli roller oynamıştır. Bunları sıralıyacak olursak;

1. 1950’li yılların sonunda Lazerin icatı.
2. 1970’li yıllarda düşük kayıplı optik fiberin gelişimi.
3. 1980’li yıllarda optik fiber yükselticilerinin icatı.

4. 1990'lı yıllarda da fiberdeki Bragg ızgarasının icatı olarak görebiliriz.

Yarıiletken teknolojisinde devam eden gelişim oldukça önemli olmasına rağmen tabiki optik teknolojideki kadar değildir.

Optik teknolojinin en önemli kullanım özelliği elektrik kablosu kullanımı gibi çok hızlı olmasıdır. Optik fiberler elektrik kablolarıyla yer değiştirmiş ve haberleşme sistemlerinde başka bir şeyin değişmesine gerek kalmamıştır. Belki bu tanımlama tam doğru olmayabilir ama çok hızlı ve kaliteli optik haberleşme sistemleri kendi kendini doğrularcasına, yeni bir tip elektronik haberleşme sistemlerinin dizaynının geliştirilmesini zorunlu kılmıştır. ATM (Asynchronous Transfer Modulation) ve SDH (Synchronous Digital Hierarchy) bu yeni tip sistemlerin en iyi örneklerindendir.

Şunu çok iyi anlamak lazımki optik haberleşme ,elektronik haberleşme gibi değildir. Her ne kadar ışık bir fiber kablonun içinde akıp gittiği gibi elektrikte bir kablonun içinden akıp gidiyor gibi düşünsekte yanlış oluruz. Işık bir elektromanyetik dalga ve fiber optik kablo ise bir dalga kılavuzudur. Sinyalin iletilmesi sırasında hatta basit iki fiber kablonun birbirine eklenmesi işlemi bile elektronik dünyasında olan herşeyden oldukça farklı olmaktadır. Bu iki alan elektronik ve optik birbirine oldukça yakın olmasına rağmen farklı yollarda farklı prensipleri uygulurlar.

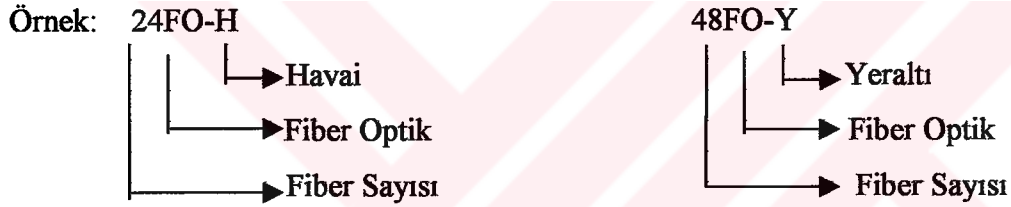
Şimdi ülkemizde yaygın olarak kullanılan optik haberleşme sistemlerinden biraz bahsetmek istiyorum. Bu sistemler fiber kabloların uçlarına kurulan hat teçhizatlarının kurulmasıyla çalışan sistemlerdir. Hat teçhizatları dediğimiz sistemler 2,8,34,140 ve 565Mbit/s hızında Yarısenkron Sayısal Hiyerarşi'de (PDH) çalışan sistemlerdir. Ayrıca Senkron Sayısal Hiyerarşi'de (SDH) STM-1 (155Mbit/s) ,STM-4 (622Mbit/s) ,STM-16 (2.5Gbit/s) ,STM-64 (10Gbit/s) hızında çalışan optik ve elektriksel teçhizatlarda bulunmaktadır.

Optik sistemler mesafe olarak kullanılan elektriksel tekrarlayıcılar (reapeter) ,optik amplifikatörler , uzun mesafe optik kartları ve özel kartlar olan booster'lar sayesinde hattın zayıflamasına, lazerin optik dağılımına bağlı olarak oldukça uzun mesafelere

gönderilebilmektedir.Hatta tezimize başlık teşkil eden Dalgaboyu Bölmeli Çoklama (WDM) sistemleri sayesinde bir fiber kılı üzerinden 102 farklı dalga boyunda ve her bir dalga için STM-64(10 Gbit/s) hızında, 400km uzaklığında bir mesafeye saniyede bir trilyon bit’lik verinin iletilmesini mümkün kılmaktadır.Lucent Technologies’in araştırma geliştirme merkezi Bell Laboratuvarlarında yapılan bu deney dünyada bir ‘ilk’ niteliğini taşımaktadır.

Yukarıda bahsetmiş olduğumuz hem SDH hemde PDH çoklama(multiplex) sistemlerinde çalışan hat teçhizatları için önemli olan ve Türkiye’de kullanılan fiber kablo hakkında kısaca aşağıdaki kısaltmaları ,kablo tiplerini ilave edebiliriz;

F:Fiber, O:Optik, Y:Yeraltı, H:Havai,



Türkiye’de kullanılan fiber kablo tiplerini şu şekilde sıralayabiliriz:

1.Yeraltı: 4FO-Y,6FO-Y,12FO-Y,24FO-Y,36FO-Y,48FO-Y,96FO-Y,144FO-Y,192FO-Y

2.Havai tipi:4FO-H,6FO-H,12FO-H,24FO-H,36FO-H,48FO-H

Yukarıda bahsettiğimiz kablo, tek modlu fiber(single mode fiber) Ek 2’teki optik karakteristikleri taşımaktadır.

Bazı insanlar ‘Gerçek’ optik şebekelerle ileriye bakmaktalar.Bu şebekeler optik olarak son kullanıcının birinden diğerine sinyalin elektronik olmasına gerek kalmadan oluşturulacak şebekeler olarak görülmektedir.Gerçekten bazı deneysel lokal alan(LAN) ve metropolitan alan (MAN) şebekeleri oluşturulmuştur.1998’te optik düğümlü geniş alan

şebekelerinin gerekli teçhizatlarıyla birlikte kurulabilmesi mümkün olmuştur.Buna rağmen bu çeşit şebekelerin henüz uygulamalarına geçilmemiştir.

Yukarıda da bahsettiğimiz gibi 1998’te optik haberleşmede gelişen Dalgaboyu Bölmeli Çoklama (WDM) sistemleridir.Bu bize tek bir fiber kılından belkide 1000 kadar optik kanalın gönderilmesi imkanını sağlayacaktır.WDM’in ilk ticari uygulamasını 1996’ta görebildik.WDM tam bir optik şebeke için çok büyük bir adımı ifade etmektedir.İleriki konularda WDM ile ilgili daha detaylı bilgilere sahip olacağız.(Dutton ,1998)

3.1.3 Uydu sistemleri

Günümüzde tüm dünyada kullanılmaya başlanan haberleşme maksatlı uydu sistemlerinin maliyetinin çok pahalı olmasına rağmen bu teknolojinin ülkemizde de kullanımına başlanmasında ön ayak olan Türk Telekom 21 Aralık 1990 tarihinde Aerospatilale Firması ile Türk Milli Haberleşme Uyduları Sistemi Sözleşmesi ile hem askeri amaçlı hemde sivil haberleşme sistemlerine hitap edecek alt yapının ilk adımını atmıştır.

İlk atılan Türksat-1A, 24 Ocak 1994 tarihinde Korou’dan ARIANE-4 roketi ile uzaya fırlatılmıştır.Ancak roketteki bir arıza nedeniyle Türksat-1A kaybedilmiştir.

Birinci uydunun kaybedilmesinden sonra 11 Ağustos 1994 tarihinde Türksat-1B uydusu yörüngesine yerleştirilmiştir.Bu uydunu kapsama alanı Türkiye,Orta Avrupa ve Orta Asya olmak üzere 3 alanı kapsamaktadır.Türksat-1B üzerinde Ku-bantta (11-14 Ghz) çalışan 10 tanesi 36 Mhz, 6 tanesinde 72 Mhz genişliğinde toplam 16 verici(transponder) vardır.Türkiye ile Orta Avrupa arasında 4 ve Türkiye ile Orta Asya arasında 3 verici(transponder) anahtarlanabilme özelliğine sahiptir.Ayrıca yurtiçi ve yurtdışı uydu (IBS) telefon kanalları, sayısal televizyon kanalları ile bazı radyo kanalları mevcuttur.

Türksat-1C uydumuz, 10 Temmuz 1996 tarihinde başarıyla fırlatılmıştır.Daha sonra Türksat-1B uydusu üzerindeki yayın trafiği Türksat-1C uydusuna aktarılmıştır.Üzerinde 15 televizyon kanalı ile pekçok radyo kanalı ve Orta Asya ve Güneydoğu anadolu uydu(İBS) telefon kanalları ve VSAT data haberleşme şebekesi bulunmaktadır.

Türksat uydularının kontrolü, gözlemlenmesi ve yörünge manevralarının gerçekleştirilmesi amacıyla Gölbaşı'nda ana ve ODTÜ'de yedek olmak üzere iki adet Uydu Kontrol İstasyonu kurulmuştur. Bu istasyonlardaki Türk mühendisler, yörüngedeki Türksat uydularıyla ilgili tüm operasyon ve manevradan sorumludur. Bu uydular tarafından verilen en önemli hizmet doğrudan tv ve radyo yayınıdır. Ülkemizde özellikle Doğu ve Güneydoğu bölgelerimize oranla daha dağlık ve engebeli bir arazi yapısı sahiptir. Bu nedenle radyo-link hatları ve kablolu iletişim şebekeleri aracılığıyla söz konusu bölgelerimize tv, telefon, data vb. haberleşme hizmetlerinin götürülmesinde yıllardan beri çeşitli sıkıntılarla karşılaşmıştır. Bu dağlık ve engebeli arazi nedeniyle maliyeti oldukça yüksek ve verimsiz sistemler kullanılmak zorunda kalınmıştır.

Ancak Türksat uyduları bu bölgelere yönlendirilmiş yüksek güçlü vericileri (transponder) sayesinde TV hizmetleri verebilecek, ayrıca, bu transponderlar kullanılarak coğrafi koşulları nedeniyle radyo-link ve kablolu iletişim şebekelerinin kurulmasında zorluk çekilen yerlerde halen kullanılmakta olan IBS uydu istasyonlarına ek olarak daha birçok il ve ilçemize uydu yer istasyonları kurulabilecek ve bu yörelerimizin en iyi şekilde haberleşmeleri (telefon, data, teleks, faks v.b) sağlanacaktır.

Silahlı Kuvvetlerimize ve güvenlik teşkilatlarımıza yüksek kalitede ses, veri devreleri tahsis edilmek suretiyle haberleşme hizmeti verebilecektir. Bu şekilde kurulacak olan çok küçük çaplı antenlerle, komuta ve kontrol düzeyinde haberleşme sağlanabileceği gibi yine benzer sistemlerle havaalanları, limanlar ve kara sınır kapıları bir bilgi merkezine bağlanarak giriş ve çıkış yapan hakkında anında bilgi edinilebilir. (Faliyet raporu, 1998)

4. UYGULANMAYA BAŞLANAN YENİ TRANSMİSYON SİSTEMLERİ

Yukarıda da bahsettiğimiz gibi Türkiye'de kullanılan transmisyon sistemlerinin hem fiber optik, hemde radyolink olarak altyapısını oluşturan çoklama sistemlerinin % 99'u PDH yani Yarı Senkron Hiyerarşi yapısına göre çalışan sistemlerdir. Ancak 1997 yılından itibaren SDH yani Senkron Sayısal Hiyerarşi yapısını kullanan sistemlerin alınmasına başlanması ile Türk Telekom olarak teknolojinin gerisinde kalınmamış ve çok hızlı bir şekilde bu ürünlerin ülkemize adabtesi sağlanmıştır.

Burada adından çok sık söz ettiğimiz SDH teknolojisine girerek ne olduğu hakkında, avantajları ve nasıl bir çoklama yapısı oluşturduğu konusuna biraz değinerek konumuza devam edeceğiz.

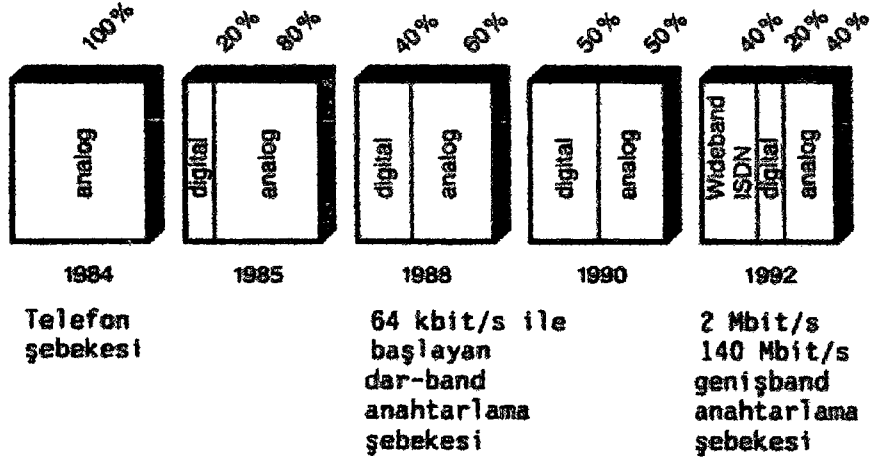
4.1 SDH Sistemlerine Genel Bir Bakış

Modern dünyamızda bilgi değişimi ve iletiminin büyük önemi bulunmakta, iletişim hatları, artık yalnızca ses sinyallerinin iletimi için değil bilgi ve görüntü sinyallerinin taşınması içinde yoğun olarak kullanılmaktadır. Telekomünikasyon operatörleri 1970 lerden itibaren sayısal transmisyonla tanıştılar. ISDN (Integrated Services Digital Network- Tümüleşik Hizmetler Sayısal Şebekesi) sistemlerine geçişin bir önceki adımı olarak, santraller sayısal döndürülmeye başlanmıştır. Yarı-iletken teknolojisinin gelişimiyle 1960'lerde PCM(Pulse Code Modulation-Darbe Kod Modülasyonu) teknolojisi ekonomik açıdan uygun hale gelmiş ve yaygınlık kazanmıştır. İlk zamanlarda çok az sayıda SF(Ses Frekans) kanalının çoklandığı birinci mertebe PCM sistemleri kullanıldı. Daha yüksek kapasite ihtiyaçları nedeniyle sonradan 120 veya 480 kanal çoklayan yeni bit hızları belirlendi. Bu çeşit transmisyon sistemlerini tanımlayan standardizasyon setine PDH(Plesiochronous Digital Hierarchy-Yarısenkron Sayısal Hiyerarşi) denildi. Süreç içinde, PCM sistemlerinde, iki farklı standart ortaya çıkmış, Avrupa ülkeleri temel bit hızı olarak 2.048 Kbit/s seçerken, USA ,Kanada ve Japonya, temel bit hızı olarak 1.544 Kbit/s olan 'Kuzey-Amerika' standartını yeğlemiştir.

Yukarıda belirtildiği gibi ,PCM sistemlerinde farklı standartlar bulunmakta ve ülkeler arası bağlantıda sorunlar çıkmaktadır. Dünya çapında bir standart oluşturabilmek, yeni servislere iletişim tekniklerine olanak sağlayabilmek için, eşzamanlı yeni bir sisteme gereksinim ortaya çıkmıştır. Böylece genişband iletişimine artan istem kolayca karşılanabilecektir.

Araştırmalar 1980'li yılların ortasında ABD de başladı ve Bellcore laboratuvarlarında geliştirilen SONET(Synchronous Optical Network-Senkron Optik Şebeke) standardı ile neticelendi. Bu sistem özellikle Kuzey Amerika pazarı için geliştirilmişti. CCITT(Comite Consultatif International Telegraphique et Telephonique-Uluslararası Arabirim Standartlarını Hazırlayan Kuruluş) bu standardı içerik olarak kabul etmekle birlikte dünya

genelinde kullanılacak şekilde bazı değişiklerin yapılması gerekiyordu.1988 yılında CCITT yi oluşturan üyelerin uzlaşmasıyla, SDH standardı dünyaya geldi.



Şekil 4.1.1 Telefon şebekesinin gelişimi. Taşdelen

Şekil 4.1.1'de iletişim şebekesinin 1984'den sonraki gelişimi görülmektedir. ISDN klasik sistemlerin ötesinde yeni birçok servisler önerirken, abone telefon görüşmelerinin temelinde kurulmuş olan 'PCM' sistemi ve bakır tel üzerinden sinyal iletimi bir kuşak geride kalmaktadır. Böylece SDH sayesinde ISDN; video telefon, video konferans ve yüksek hızda veri(data) iletimi gibi servislerini hizmete sokabilecektir. Ayrıca SDH şebeke yönetimi(network management) yapabilmektedir. (Taşdelen, 1997)

4.1.1 SDH'in özellikleri

SDH sayısal şebekeleri, gelişen yeni özellikleri ile birlikte, kurulu bulunan PDH sistemlerini de kapsamaktadır. SDH ve PDH sistemlerini kıyasladığımızda SDH'in şu üstünlükleri ortaya çıkmaktadır.

Dünya çapında standart

Yukarıda da belirtildiği gibi, süreç içinde hepside 64Kbit/s kanal bazında olan farklı PDH seviyeleri gelişmiştir. Uluslararası sınırları geçerken sinyallerin, bölgesel standartlara çevrimi çok pahalı olmakla birlikte, sinyalin ülke

içinde iletebilmesi için zorunlu olmaktadır.Şekil 4.1.1.1 kurulu bulunan PDH seviyelerini ve aralarındaki bit oranı çevrim faktörlerini göstermektedir.

SDH bit hızı ,uluslararası sınırları bir çevrime gereksinim duymaksızın geçebilir.Tributary yani alt seviye sinyalleri, haritalama tekniğiyle SDH bit hızlarına çevrilir.

Üst seviyeler, temel bit hızı olan 155.520 Mbit/s' in katlarıdır. SDH tamamen yeni bir hiyerarşi olmayıp,var olan iki PDH sisteminin devamıdır.Yalnızca , Kuzey Amerika'da uydu iletişiminde kullanılan SONET'in 51.84 Mbit/s hızı ,SDH tarafından kapsanmaz.

Standart arabirimler

SDH tarafından sunulan uluslararası arabirim standardı, sayısal arabirimlerin çeşitliliğini ortadan kaldırmaktadır.Böylece üreticiler , tek bir dünya pazarı için daha ucuza sistem elemanları üretebilirler.

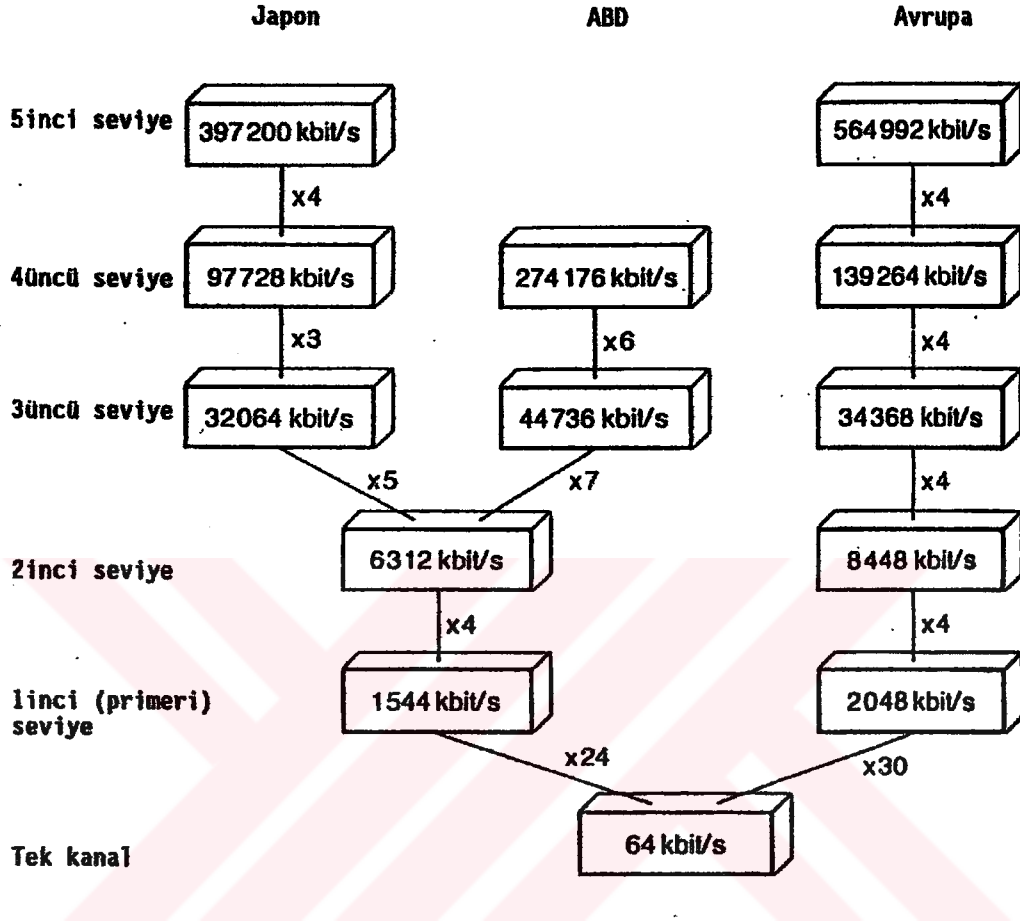
Geliştirilmiş ekonomi

Sinyaller, 1300-1550 nm dalga boyundaki tek-mod (single-mode) fiberler üzerinden, 40 ve 100km arasında tekrarlayıcı'ya(repeaters) gerek duymadan iletebilmektedir.2,5 Gbit/s tek optik fiberin kapasitesi, herbiri 64 Kbit/s hızında olmak üzere 30.720 kanaldır.Ek olarak hat teçhizatları, çoklayıcılar içine yerleştirilmekte ve bir hat üzerinde gereken tekrarlayıcı sayısı açık şekilde azalmaktadır.

Genişband dağıtım şebekeleri

Genişband sinyal iletimi yapılabilmektedir.Genişband şebekeler,yüksek frekans seviye tanımlı TV sinyallerini iletebilmekte ve LAN'a (Local Area Networks-Küçük Alan Şebekeleri), MAN'a (Metropolitan Area Networks-Büyük Alan

Şebekelerine) bağlanabilmektedir. Video konferans ve diğer sayısal uygulamalar için kullanılan 2.048Kbit/s'den 155.520Mbit/s'e kadar olanyüksek hızlara kolayca



Şekil 4.1.1.1 Kurulu bulunan PDH seviyeleri ve çevrim faktörleri. Taşdelen

ulaşılabilir. Çoklayıcılar, gelen herhangi bir PDH tributarisine yani tek kanala düşürme ve ekleme (drop & insert) olanağı sağlarlar.

Gösterici tekniği ve bit doldurma(pointer stuffing)

Saat sinyallerinin farklılıklarından ötürü , PCM sistemlerinde bit doldurma gerekmekte ve sistemlerin bir dezavantajı olarak gözükmemektedir.

SDH'de bu problem gösterici (pointer) tekniği ile aşılmıştır.

Düşürme ve ekleme(Drop& Insert)

PDH sistemlerinde bir kanala yada alt seviyelerden birine ulaşabilmek için istenen seviyeye kadar ters-çoklama (demultipleks) yapılması gerekmektedir.Şekil 4.1.1.6'da bunun uygulaması görülmektedir.

Bu uygulamada görüldüğü gibi pek çok teçhizata ihtiyacımız vardır.Bu şebeke noktasına kaskad bağlı bir dizi teçhizat montajı yapılmalıdır.

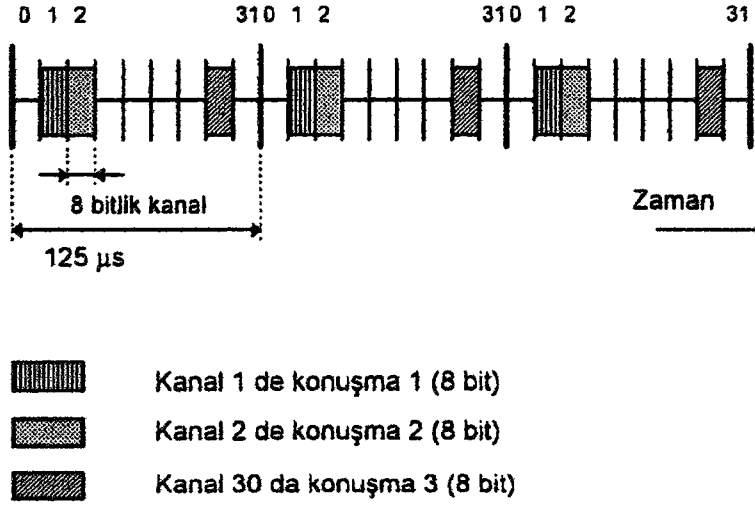
Bu çözümün bir dizi dezavantajı vardır:

1. Pahalı olması.Çünkü her bir şebeke noktasında da duruma özel montaj gerekmektedir.Şebekeyi daha sonra yeniden düzenlemek istersek teçhizatı değiştirmek zorunda kalınmaktadır.
2. İşaretin bu kadar çok işleminden geçmesi hata ve arıza olasılığını arttırmaktadır.Eğer bu optimum bir çözüm değilse o halde neden kullanıldı? Cevap PDH çoklama yapısında yatmaktadır.

Sayısal haberleşmenin en temel parametreleri 8 KHz'lik örnekleme frekansı ve 8 bitlik örneklenmiş PCM işaretidir.Bu sayısal transmisyon için, 125µsn'lik temel çerçeve yapısı ve kanal başına 8 bit (Bu 64 kbit/s'lik kanal hızına denk düşer) demektir.

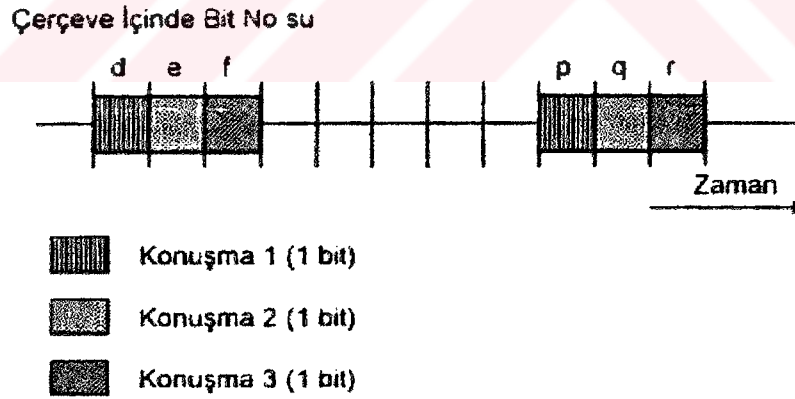
PDH sistemindeki 2 Mbit/s'lik birinci mertebe işaretler, 8 bitlik temel kanal işaretlerinin senkron olarak çoklanması bayt doldurma (byte interleaving) ile oluşturulur.

Bu, hem 64 kbit/s hem de 2 Mbit/s aynı lokal saat kaynağından elde edildiği için mümkündür.(Şekil 4.1.1.2).Transmisyonun maliyetini düşürmek için, birinci mertebedeki bu işaretleri daha yüksek mertebelere doğru çoklamak lazımdır.



Şekil 4.1.1.2 Birinci merteye PCM işaretinde bayt doldurma. Taşdelen

Birinci merteye olan tüm sistemleri tek bir merkezden senkron etmek o gün için mümkün olmadığından, basit bayt doldurma(byte interleaving) tekniği kullanılamadı. Netice olarak üst mertebeler bit doldurma (bit interleaving) tekniğine dayandırıldı.



Şekil 4.1.1.3 Yüksek merteye PCM sisteminde bit doldurma. Taşdelen

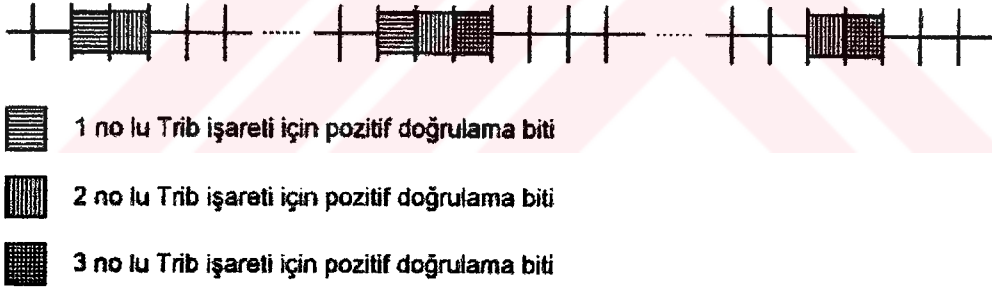
Yüksek merteye çerçeve yapısındaki bayt'ların her bir bit'i farklı bir dönüşüm neticesiydi. (Şekil 4.1.1.3). Böylece 64 kbit/s'i oluşturan bitler, tüm bir transmisyon çerçevesi içinde dağıtılmıştır. Doldurma(Stuffing) nedeniyle bitlerin tam yerini tesbit etmek çok zordur.

Trib. işaretleri senkron olmadığı için bit stuffing(bit doldurma) gereklidir. Her bir üst merteye çerçevesi bir miktar doldurma biti içermektedir.(Şekil 4.1.1.4) Böylece çoklanmış işaretin bit hızı, daima trib. işaretlerinin bit hızının toplamından biraz daha yüksektir. Örneğin 2048 kbit/s trib. hızında, 8448 kbit/s olan çoklanmış işaretin hızı, 4×2048 kbit/s den daha yüksektir.

Gerekli doldurma bitlerin sayısı, olması gereken bit hızıyla gelen trib. işaretin bit hızının farkına bağlıdır. Bit doldurma işlemi her bir trib. için ayrı ayrı gerçekleştirilir. Problem, yüksek merteye de kullanılan doldurma biti sayısının çözme işlemi gerçekleştirilmedikçe bilinmemesidir.

Şekil 4.1.1.6'daki zincirin değişik adımlarını bu yüzden takip etmek zorundayız. Bu yüzden ki 140 Mbit/s lik bir işaretin içine doğrudan bir 2 Mbit/s yerleştiremeyiz.

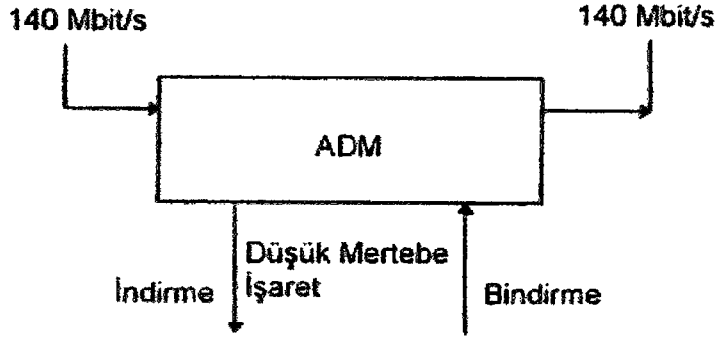
Çoklanmış İşaret Çerçevesi İçinde



Şekil 4.1.1.4 Yüksek merteye PCM çerçevesinde pozitif doğrulama Taşdelen.

SDH transmisyon şebekesinde, şebeke kaynakları bir master saat'e senkronize edilmiştir. Bu çeşit bir şebekede PDH'in aksine yüksek merteye çerçevelerini bayt doldurma (byte interleaving) tekniği ile oluşturmak mümkündür.

Böylece alt merteye işareti, üst merteye işarete eklemek/çıkararak mümkün olmaktadır. Artık alt merteye işaretleri ters çolama/çoklama zincirini kat etmeden doğrudan eklemek/çıkararak olasıdır.(Şekil 4.1.1.5)



Şekil 4.1.1.5 İndirme bindirmeli çoklama (ADM)

SDH sistemlerinde ise, üst seviyeler içindeki herhangi bir alt seviyeye yada tek bir 64 Kbit/s kanalına direk olarak, indirme ve bindirme çoklayıcıları ile ulaşmak olasıdır.

İzleme kavramı

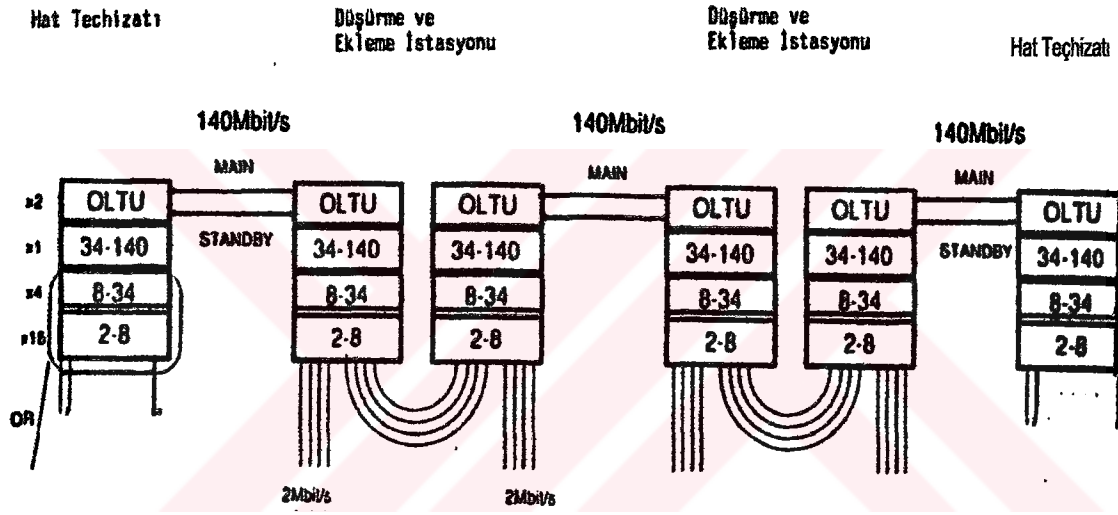
Yeni gelişmekte olan izleme kavramı artan 'başlık' (overhead) kapasitesi ile şu olanakları sağlamaktadır.

1. Hattı birbirine bağlayan şebeke elemanlarının (Network Elements-NE) uzaktan izlenmesinin kontrolünün servis içinden yapılması.
2. Arıza bulmada daha hassaslık
3. Birleştiren performans izlemesi. Bu bilgi Bölüm Başlığı SOH (Section Overhead) için 'başlık' (overhead) byte 'ları D1'den D3'e (192Kbit/s) ve haberleşme kanalı içinde iletilir.

Gelecekte bir arabirimle Şebeke Yönetim Birimi TMN'e (Terminal Management Network) bağlantı yapılırken ek olarak bölgesel alarm gösterimi ve PC bağlantısı da sağlanacaktır. Aslında hızla gelişen teknolojiyle şu andada bu işlevi kazandırmış olan pek çok ürün bulunmaktadır.

4. Servis ve veri(data) kanalları Bölüm Başlığı (Section Overhead-SOH) içinde ve taşınan düşük seviyeli kapasitenin STM-1 çerçeve yapısı içinde yerinde Yol Başlığı (Path Overhead-POH) belirtmektedir.

Burada ‘veri’ sözcüğü klasik veri(data) iletişiminden ayrı olarak SDH çerçevesi içinde SOH,POH gibi standart ve çerçeve yapısı ile ilgili bayt’ları dışındaki, veri alanı (payload) içinde taşınan her türlü sinyali (konuşma,tv,video,data gibi) ifade etmektedir.



Şekil 4.1.1..6 PDH sistemlerinde düşürme ve ekleme işlemi. Taşdelen

4.1.2 Transmisyon hiyerarşisi

PDH'deki problem farklı hiyerarşiler

Tarihi sebebler nedeniyle, Kuzey Amerika,Avrupa ve Japon PDH transmisyon şebekeleri farklı farklı gelişti.Kıtaları sayısal transmisyon linkleriyle birbirinebağlamak gerektiğinde ise Avrupa ve Kuzey Amerika PDH sistemlerinin karışımı olan dördüncü bir hiyerarşi tanımlandı. Şekil 4.1.2.1'de tüm dört hiyerarşiyi'de tanımlamaktadır.

SDH'deki çözüm daha yüksek bir hiyerarşi

SDH için, tüm dünya genelinde kullanılacak olan daha yüksek hızlı ortak bir işaret tanımlanacaktır.

Bu yeni merteye işaret, mevcut tüm PDH lerle uyumlu olacaktır. Bu ,farklı PDH lerin düşük merteye işaretlerini taşıyabilecek yapıda olması demektir.

Hiyerarşik Seviyeler	Kuzey Amerika	Avrupa	Japonya	Trans Atlantik
0	64	64	64	64
1	1544	2048	1544	2048
2	6312	8448	6312	6312
3	44736	34368	32064	44736
4	139264	139264	97728	139264

Şekil 4.1.2.1 Uluslararası PDH hiyerarşisi (kbit/s).Taşdelen

Mevcut PDH'ler maksimum 565 Mbit/s hızına kadar çıkmaktadır.Modern optik sistemler daha yüksek bit hızları sağlayabilirler.Böylece, SDH de çoklama hiyerarşinin yeni seviyeleri , söz konusu yüksek bit hızları için tanımlanmalıdır.

SDH Seviyesi	Hiyerarşi bit oranı kbit/s
1	155.520
4	622.080
16	2.488.320
plan: 8	1.244.160

Şekil 4.1.2.2 Eş zamanlı sayısal hiyerarşi (SDH).Taşdelen

4.1.3 Sistem elemanları

Bir iletim cihazı, farklı elemanların bir sistem içinde birleşmesi ile oluşur.Bunuda SDH sistemleri içinde görebilmemizde mümkündür.SDH sistemi, optik ve elektriksels

arabirimler , PDH sisteminin tersine çerçeveli sinyal ile işlem yapan tekrarlayıcılar, hat sistemleri ve çoklayıcılardan oluşmaktadır.

Arayüzler (Interfaces)

SDH'de birinci seviye olan STM-1 seviyesinde optik ve elektriksel arabirimler, STM-N seviyelerinde ise optik arabirimler tanımlanmıştır. Son yıllarda fiber optik teknolojisindeki gelişme ve bu teknolojinin sağladığı üstünlükler değerlendirildiğinde, SDH sistemlerinde ağırlıklı olarak optik arabirimlerin ve hatların yeğlenmesinin nedeni kolayca anlaşılabilir.

Hat Sistemleri (Line System)

Şebeke Düğüm Noktası (NNI'daki -Network Node Interface) bit oranı, aynı zamanda SDH hattı ve radyo-linklerinde de kullanılmaktadır. PDH hat sistem arabirimlerinde bir standart yoktur. Oysa, optik iletim teknolojisinde tek bir yaklaşım ve arabirim bulunmaktadır.

Tekrarlayıcılar (Repeaters)

Tekrarlayıcılar, gelen sinyalden saat (clock) sinyali elde ederler. Aynı zamanda, dispersiyon yani dağılım tarafından genlik ile zaman boyutlarında bozulmuş ve zayıflamış sinyali yeniden üreterek tekrar hatta verirler. Tekrarlayıcılar, PDH sistemlerinde kullanılan Tekrarlayıcılardan farklı olarak SDH sistemlerinde çerçeveli (framed) sinyalle eşzamanlanırlar.

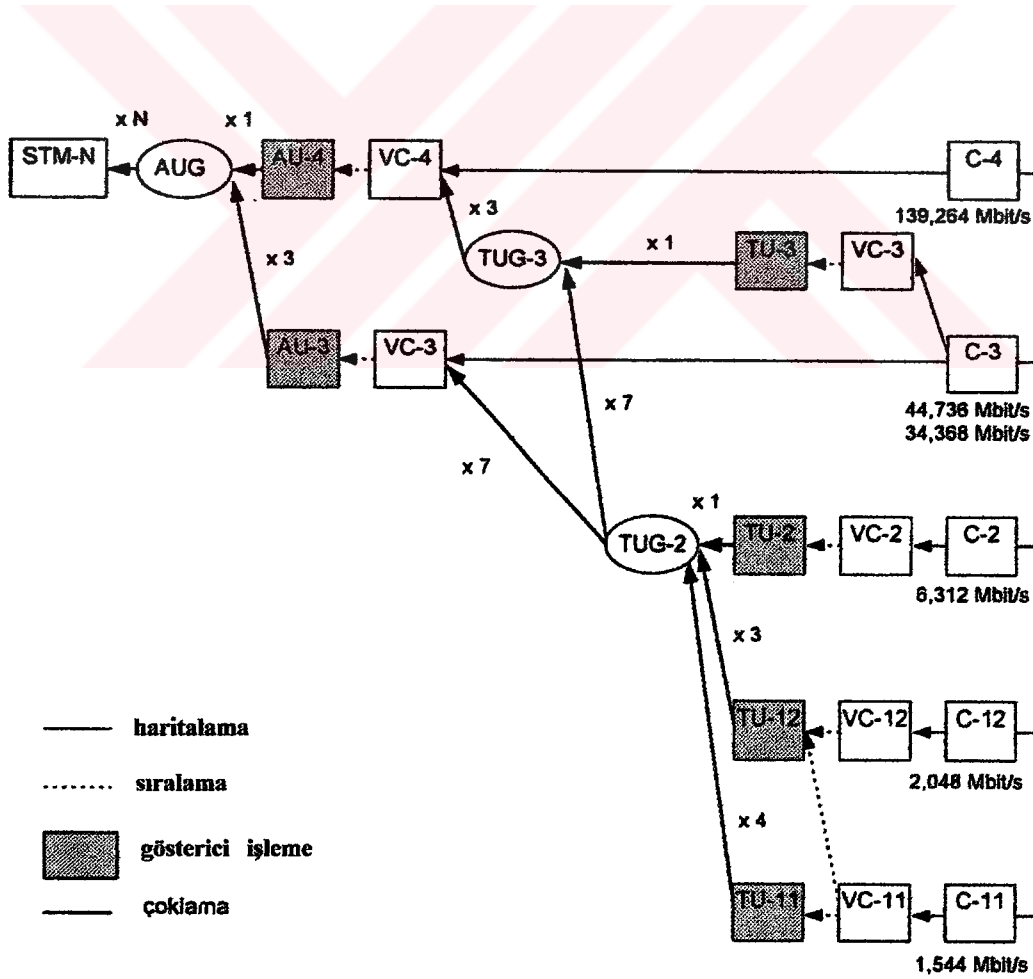
Geliş bilgileri , Tekrarlayıcılar Bölüm Başlığı (Regenerator Section Overhead- RSOH) içindeki 64 kbit/s kanallarından çıkarılır, işlenir ve bilgi tekrar iletilir (transmit edilir). 'B1' parite byte' ı arıza izlemek için kullanılır.

Bir arıza olduğunda örneğin, 'Sinyal yok' ('No-signal') veya 'Senkron kaybı' ('Out-of sync') tekrarlayıcı, sistemi ayakta tutabilmek için uygun bir STM-N

çerçevesi üretir. Bu durumda, göstericiler(pointers) ve veri alanı (payload) işlenmez.

Çoklayıcılar (Multiplexers)

SDH çoklayıcılarının girişine Amerikan /Japon ve Avrupa standartlarında gelen bütün hiyerarşik seviyelerdeki tributary sinyalleri girilebilir. Eşzamanlı çoklayıcılar (S-MUX), PDH'den gelen tributary sinyallerini sabit boyutlu Hayali Taşıyıcılara (Virtual Container-VC) planlı bir şekilde yerleştirir. Böylece, PDH'in fiziksel ara evrelerinden uzaklaşmış olur. CCITT(Comite Consultatif International Telegraphique et Telephonique), yani uluslararası arabirim standartlarını hazırlayan kuruluş tarafından tanımlanmış Şekil 4.1.3.1'de görülen çoklayıcı yapısı içinde STM-1, STM-4 ve STM-16 bit oranları tek bir adımda



Şekil 4.1.3.1 CCITT Çoklama yapısı. Taşdelen

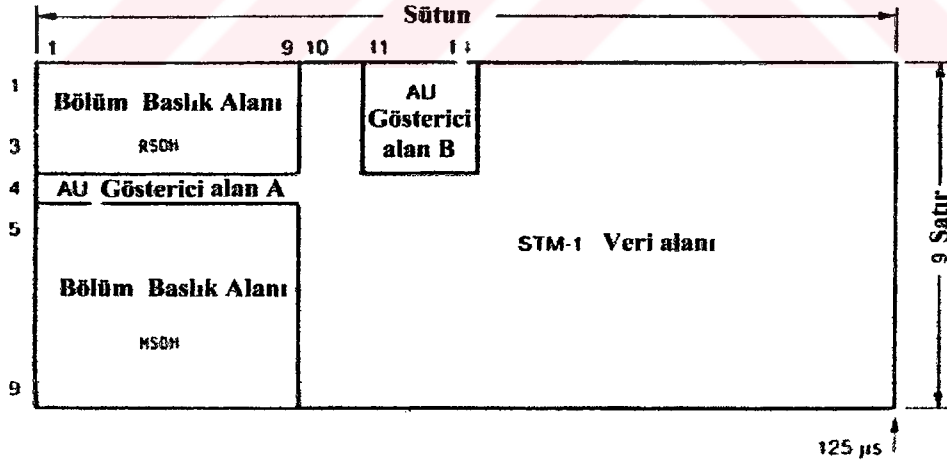
elde edilir.Eşzamanlı seviyede toplama olasıdır (Örneğin uygun sayıda STM-1 sinyalleri, STM-4 veya STM-16 'nın içinde çoklanabilirler).Üst seviye oranları STM-1'in katlarıdır.Sayısal sinyallerin karıştırılması (SOH'un bir kısmı hariç) hat kodlarını gereksiz kılmaktadır.Bütün işlemler, göstericilerin içerikleri değerlendirilerek yapılır.

4.1.4 SDH'in tanımı

SDH çerçevesi

SDH transmisyon çerçevesi, Senkron Transport Modül (STM) olarak adlandırılır ve SDH hiyerarşi seviyesini göstermek üzere STM-N şeklinde kullanılır.

SDH'in temel bit oranı 155.520 Mbit/s'dir.Şekil 4.1.4.1'de görülen çerçeve yapısı Eşzamanlı Taşıma Birimi-1 (Synchronous Transport Module-1 STM-1) olarak isimlendirilmiştir.



Şekil 4.1.4.1 STM-1 çerçeve yapısı.

SDH Çerçevesinde en küçük eleman bir byte'dır (8 bit uzunlukta sözcük).Bir çerçeve, 2.430 byte'tan oluşur(270 kolon * 9 satır) ve süresi 125µs'dir.SDH çerçevesi 3 ana alana ayrılır:

1.Bölüm Başlık alanı (Section Overhead-SOH)

2.Yönetici Birim gösterici alanı (AU pointer area)

3.Verî alanı (Payload)

STM-1 çerçevesinin karakteristiği :

- $9 \times 270 = 2430$ byte
- 125µs peryodlu
- 155.520 Mbit/s bit hızında ($2430 \times 8 \times 8000$)

Çerçevenin transmisyonu,sol üst köşeden başlayarak satır satır yapılır.SDH'de ayrıca daha yüksek mertebe çerçeve yapıları da tanımlanır.Genel olarak, bir STM-N çerçevesinde:

- Başlık(Overhead):9 satır*9 byte*N
- Verî Alanı(Payload):9 satır*261 byte*N mevcuttur.

Sonuç olarak, bit hızı STM-1 çerçevesinin bit hızının N katıdır.Standartlaştırılmış çerçeveler:

1.STM-4 :622.080 Mbit/s

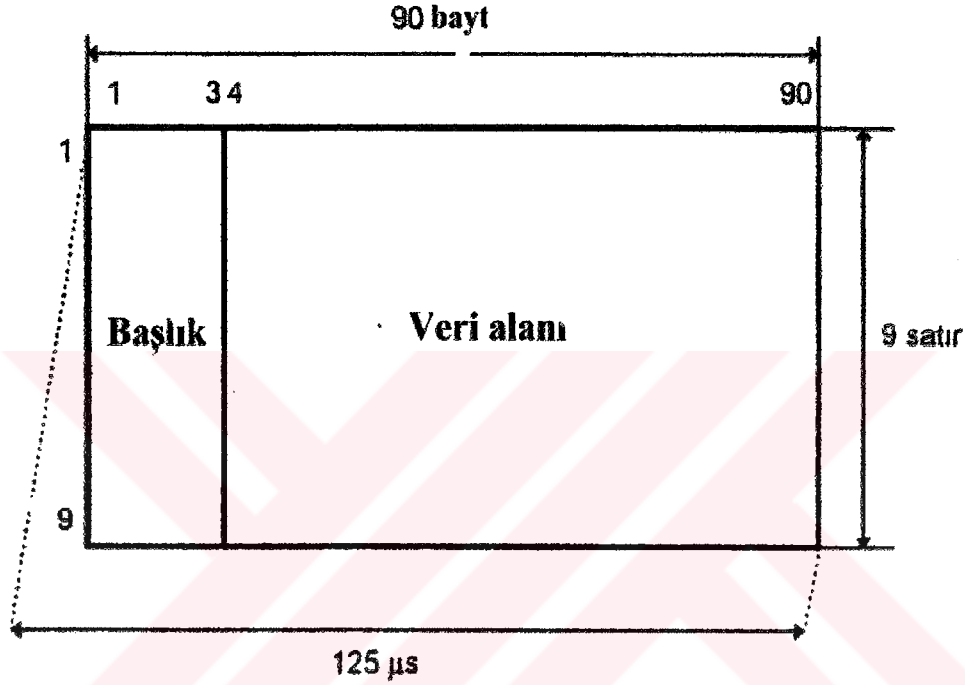
2.STM-16 :2488.320 Mbit/s

3.STM-64 :9953.280 Mbit/s

Yukarıda da görüldüğü gibi, çerçeve yapısı olarak farklı hızlarda tam bir oran var.

Tüm STM çerçeveleri 125µs periyodludur.Hatta bu hızların üzerinde 102*STM-16'yı bir per fiber kablo üzerinden gönderebileceğimiz WDM(Dalgaboyu Bölmeli Çoklama-Wavelength Divison Multiplex) teknolojiler geliştirilmiştir.

SONET transmisyon sisteminde temel yapı Senkron Transport İşareti-1(STS-1) dir ve bit hızı 51.840 Mbit/s dir.(Şekil 4.1.4.2)



Şekil 4.1.4.2 STS-1çerçeve yapısı (SONET)

SDH deki STM-1, STM-4 ve STM-16 çerçeveleri, SONET standartlarında sırasıyla STS-3,STS-12,STS-48'e karşı düşer.

Üç seviyeli yönetim yapısı

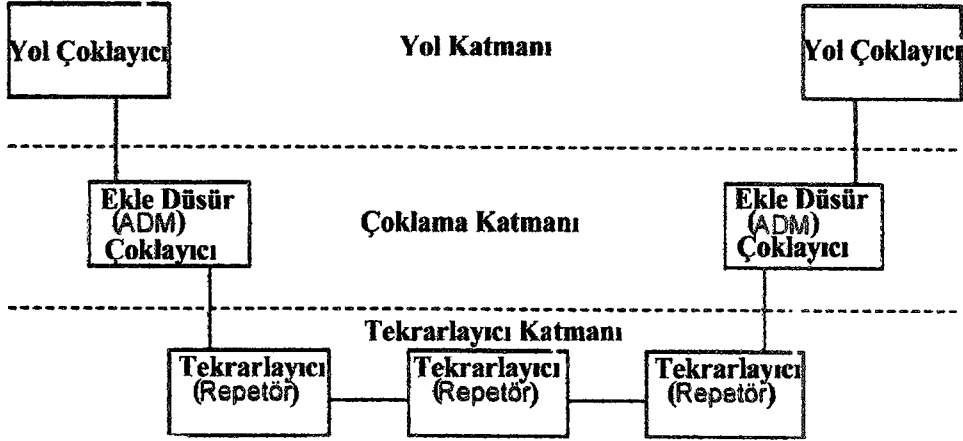
SDH transmisyon şebekesi, katmanlı bir yapıda ele alınır.(Şekil 4.1.4.3)

Bu katmanlar :

1. Yol (Path) Katmanı

2 Çoklayıcılar (Mux.Section) Katmanı

3 Tekrarlayıcı (Repeater Section) Katmanı



Şekil 4.1.4.3 SDH Şebeke yapısı.Taşdelen

STM-N çerçevesi farklı tipte başlık (overhead) bilgisi içerir.Başlık bilgisi, işletme, yönetim,bakım ve koşullama amacıyla kullanılır.Katman kavramı, başlık bilgisinin STM-N çerçevesi içinde ki farklı bloklara yerleştirilmesini sağlar.

Böylece her bir çeşit teçhizat, ihtiyaç duyduğu bilgiye doğrudan ulaşabilir ve her bir teçhizat kendisi için manalı olan bu bilgiyi çözümler.

Yol katmanı başlığı (path layer overhead), yol çoklayıcılar (access mux.'lar) arasında haberleşme için gerekli bilgiyi taşır.Çoklayıcı katmanı başlığı (Mux.section layer overhead), çapraz bağlantılar (cross-connect'ler) ve ekle-çıkart çoklayıcıları (add/drop mux.'larla) arasındaki haberleşme için gerekli bilgiyi taşır.

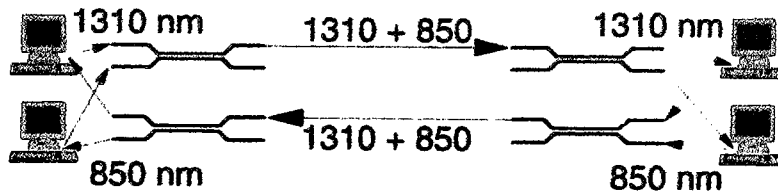
Tekrarlayıcı katmanı başlığı (Regenerator section layer overhead) ise tekrarlayıcılar (repeater) arasındaki haberleşme için gerekli bilgiyi sağlar.

Bunlara ilaveten SDH terminolojisini oluşturan tanımlamalar ve fonksiyonları Ek 3'te incelenmiştir.(Taşdelen,1997)

4.2 Dalgaboyu Bölme Çoklama Sistemleri (WDM) ve Uygulama Alanları

WDM optik şebekelerin temelidir.Bir fiber kılı üzerinden pekçok ayrı ve bağımsız optik kanalın taşınmasını sağlayan bir tekniktir.Televizyon alıcılarının pek çok kanal içinden birini alabilmesi için ayarlanabilmesi ile benzer prensipleri bulunmaktadır.Herbir kanal farklı radyo frekansları gönderirler ve biz bir 'tuner' kullanarak bu kanallardan birini seçmiş oluruz.Tuner aslında sadece bir resonant devresi olarak çalışmaktadır.Tabiki dalgaboyu optik dünyada sadece bir yoldur.

WDM'i tasavvur etmenin başka bir yoluda herbir kanalın ışığı farklı renklerden oluştuğunu düşünmektir.Böylece bir WDM sistemi 'gökkuşağı' yaymış olacaktır.Gerçektende dalga boyları ışığın görünmez olmasını gerektirmektedir ve bu prensibi tanımlarken oldukça iyi bir method'dur.WDM'in pek çok çeşitleri bulunmaktadır.Basit formda 1310 ve 1550 nm dalgaboylarıyla veya 850 ve 1310 nm'lik dalga boylarıyla çalışmak mümkün olacaktır.Bu tip WDM uygulamaları nispeten daha basit ve pahalı olmayan teçhizatlardan kurulmuştur ve daha çok deneme amaçlı olarak çalıştırılmışlardır.



Şekil 4.2.1 Basit WDM

DWDM(Dense WDM) yani Yoğunluklu WDM ise daha farklı bir şeydir.Kanallar arasındaki boşluk dahada daralmıştır.Burada 'Yoğunluklu' daha hassas ,kaliteli bir ölçümü ifade etmek için ve akılda kalıcı olsun diye kullanılmıştır.Bazı WDM kanalları arasındaki

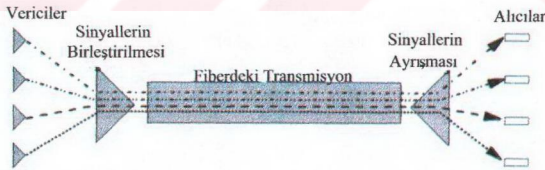
boşluk tanım olarak 3.6 nm kadar olmaktadır. Diğer kullanımlarda ise yani DWDM’de bu kanal boşluğu 1 nm veya daha az olduğu için ayırt etmek kolaydır. WDM tam bir optik şebeke için temel teknolojiyi oluşturmaktadır.

4.2.1 Basit (Seyrek) WDM

Şekil 4.2.1 çok basit WDM sisteminin çok modlu fiber kullanılarak yapılmış bir örneğini göstermektedir. Dalga boyu seçici kuplörler hem çoklayıcı hemde ters-çoklayıcı taraflarında kullanılmıştır. Burada ayırt edici özellik olarak çok farklı dalgaboylarının kullanılmış olmasıdır. Yani farklı bandlarda çalışmaktan ziyade aynı bantta farklı dalga boylarında çalışmaktadır.

Bu basit örnekte bile birden fazla değişik çeşitte uygulama yapmak mümkündür. Bazı sistemler tek bir fiber kılını çift yönlü kullanırken diğer taraftan bu örnekte olduğu gibi herbir yön için bir fiber kılıda kullanmak mümkün olmaktadır. Diğer sistemler farklı dalga boylarını da mesela 1310 nm ve 1550 nm gibi kullanabilmektedirler. En genel sistemler çok düşük data oranlarıyla çalışmaktadırlar. En genel uygulama alanları fabrika işletim kontrol alanlarında görüntü taşınması, monitör edilmesi olarak bilinmektedir.

4.2.2 Yoğunluklu WDM linkleri



Şekil 4.2.2.1 Şematik olarak WDM’in fonksiyonu.

Şekil 4.2.2.1 Basit bir DWDM sistemi için gerekli olan fonksiyonel elemanların ne olduğunu göstermektedir. Her optik kanal kendi dalga boyunda veya daha geniş dalga boylarında çalışmaktadır. Tipik bir optik kanal 1 nm genişliğinde olabilmektedir. Bu kanal

gerçekten içinde bir dalga boyunun bulunabileceği büyüklüktedir ve sinyalin kendisinden daha geniştir. Bir kanalın genişliği pek çok şeye bağlı olabilmektedir. Vericinin hat genişliğinin modülasyonuna, onun dengeli sabit olmasına ve sistemdeki diğer teçhizatların toleranslarına bağlıdır. Yukarıdaki Şekil 4.2.2.1'deki elemanları inceleyelim.

Vericiler(Transmitters)

Pratik olarak verici daima bir lazerdir. Vericinin öyle bir hat genişliği olmalıdır ki modülasyondan sonra kolaylıkla müsaade edilen band aralığına uygun olmalıdır. Müsaade edilen band aralığının dışına çıkmamalıdır. Böylece sapma karakteristiğinin ifade etmiş olduğu sınırlar içinde kalmış olacaktır. Band genişliğine bağlı olarak bu karakteristikler tam olarak sağlanabilmiş değildir. Bununla birlikte bu karakteristikler sinyalin bulunduğu ortama göre belirlenirler.

Sinyallerin birleştirilmesi (Kanallar)

Sinyallerin birleştirilmesi işleminde birkaç yol bulunmaktadır. En fazla bilineni ise 3-dB ayırıcılar(splitters) veya Y-bağlayıcı(junctions) kullanarak yapılan kademeli bağlantıdır. Problem bu durumda her bir kademede 3dB'lik bir kayıp olmasıdır. Büyük sayıda mesela 32 sinyal için bunu düşündüğümüzde her bir sinyal için 1/32'lik bir zayıflama oluşacaktır. Küçük sayıdaki kanallar için bu o kadar önemli olmasada daha fazla sayıda sinyali birleştirmek istediğinizde birleşecek sinyallerin seviyelerini karıştırdıktan sonra yükseltmek zorundayızdır.

Transmisyon ve amplifikasyon

Bir fiber kılındaki transmisyonun ana meselesi crosstalk etkisi yani konuşmaların birbirine karışmasıdır. Kanal boşlukları, genişlikleri ve seviyeleri bu meseleyi minimize eden değişkenlerdir. Amplifikasyon önemli bir faktördür. WDM sistemlerinde birleştirilmiş olan sinyallere amplifikasyon yapılabilir. Bununla birlikte uzun linklerde kullanılan amplifikatörle linier olmayan etkilerini ve önemli zorlukları da beraberinde getirmektedirler. Bu noktada Ek 4'te anlatılan EDFAs'ın (Erbium Doped Fiber Amplifiers yani Erbium İla-

ve Edilmiş Fiber Amplifikatör) bu tip problemleri çözmede kullanılan önemli bir amplifikatör olduğunu da belirtelim.

Alıcıda kanalların ayırımı

Bu işlem kanalları birleştirme işleminden daha zordur.Uygulanabilen birkaç teknik bulunmaktadır.Bunlar:

- Yansıma (Littrow) kafesleri
- Dalga kılavuzu kafesi yönlendiricileri(routerlar)
- Devrettiren (Circulators) kullanılarak yapılan fiberdeki Bragg kafesleri.
- Ayırıcılar (Splitters) kullanılarak yapılan Fabry-Perot filtreleridir.

Sinyallerin alınması

Alıcı oldukça açık ve net olup,WDM olmayan alıcılarla genellikle aynı özelliktedir.

Çünkü sinyal dedektöre ulaşmadan önce ters- çoklama yapılmıştır.

Şu belirgindir ki,her optik kanal bir diğerinden bağımsızdır ve sinyallerin kendilerine tahsis edilen bantlarda durmalarını sağlamak için aralarında ilişki kurmalarına gerek yoktur.

Örneğin,bir kanal 2 Gbps bir hızla çalışırken bir diğer kanal 622 Mbps hızında ve başka birkaç kanal da 200 Mbps hızında çalışabilir.

Buraya kadar WDM sistemini oluşturan ana birimlerin neler olduğu gördük.

Bundan sonra daha detaylı olarak her birim içindeki parçaların neler olduğu hakkındaki bilgiyi Ek 5'te bulmamız mümkün olacaktır.

4.2.3 WDM için standartlar

Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (ITU), WDM linkleri ve optik şebekelerin (network) işletimi için pek çok standart taslağı üzerinde çalışmaktadır. Belirgin uyumsuzlıklardan dolayı henüz hiç biri netleşmemiştir. Buna rağmen, endüstri ürün tasarımlarında taslak standartlar (prensipte olarak dalga boyu aralığı) doğrultusunda adaptasyona başlamıştır. Bu alandaki standartlar bir kaç sebepten dolayı kritiktir:

1. Yeni teknolojinin ilk safhalarında, parça tedarikçilerinin sistemler için çok pahalıya, özel olarak sipariş ederek parça temin etmek yerine kabul edilebilir fiyatlarla parçaları temin etmesine ihtiyaç duyulmuştur. Standartlar bunun gerçekleşmesini sağlarlar.

2. Uzun vadedeki hedef, pek çok değişik tedarikçiden temin edilecek farklı ekipmanlardan oluşan sistemlere izin verilmesidir. Bu tip ekipmanlar beraber çalışmaya izin veren standartlara ihtiyaç doğurur. Yeni teknolojinin ilk zamanlarında bu tip standartların sihirbazlıkla belirmesini beklemek gerçekçi olmaz. Konuyla ilgili pek çok kişi değişik fikirlere, bakış açısına sahiptir ve henüz bu alanda çalışan çok az sistem bulunmaktadır. Bundan dolayı pratikte çok az deneyim bulunmaktadır. Buna rağmen, bu tip standartların ne kadar erken geliştirilirse endüstri için de o kadar iyi olur.

4.2.3.1 G.692 standardı

Uluslararası Telekomünikasyon Birliği (ITU) 'nin taslak standardı G.692'nin başlığı 'Optik Amplifikatörlü Çok Kanallı Sistemlerin Optik İnterfazları' dır. Bunun uzun mesafede noktadan noktaya WDM sistemlerinden 4, 8, 16 veya 32 kanaldan STM-4, STM-16 ve/veya STM-64 kullananları kapsaması amaçlanmıştır. Bir sistemdeki maksimum link mesafesi optik amplifikasyonla birlikte amplifikatörler hariç 160 km veya en fazla 640 km'dir. Taslak halindeki standart dalga boyu referans ızgarasında 100 GHz aralığını ve referans (merkez) frekansı olarak da 193.1 THz'i tanımlamaktadır. Bu (193.1 THz) yaklaşık olarak 1,553.5 nm'dir. (Çok gariptir ki dalga boyları nm biriminde değil Hz biriminde tanımlanmaktadır.) Kullanıcılar ızgarada istedikleri şekilde herhangi bir dalga

boyunu kullanmakta serbesttirler. Ayrıca spectrumun hangi bölümünü kullanacaklarına karar vermekte serbesttirler. Eşit olmayan aralıklarla yerleştirilmiş olan kanallara kanal dalga boylarının kafeste yerleştirilmesi kaydıyla izin verilmiştir. İlk sistemlerde kullanılma eğiliminde olanlar şunlardır:

- 400 GHz (3.2 nm) aralıklı 4 kanal
- 200 GHz (1.6 nm) aralıklı 8 kanal
- 200 GHz (1.6 nm) aralıklı 16 kanal
- 100 GHz (.8 nm) aralıklı 32 kanal

Denetleyici bilgi için ekstra bir kanala ihtiyaç vardır. Bu kanalın formatı, bit hızı veya modülasyon protokolü için bir standart yoktur. Kullanıcıların seçilmiş denetleyici dalga boylarından (1310, 1480, 1510 ve 1532 nm) herhangi birini seçmelerine izin verilmiştir.

Bir başka tavsiye olan G.681'de ise optik ekipmanların ve sistemlerin bir çok mantıksal fonksiyon bloğunu kullanarak nasıl kuruldukları belirtilmektedir.

4.2.3.2 Optik şebeke standartı

Yukarıda anlatılan G.692 sadece noktadan noktaya WDM linklerini kapsamaktadır. Daha geniş optik şebekelerini kapsayan bir standarta ihtiyaç vardır. 1997 Nisanında, Uluslararası Telekomünikasyon Birliğinin Çalışma Grubu 15 (ITU) optiksel şebekeleri kapsayan bir seri standartın geliştirilmesi için bir çalışma iskeleti belirlemiştir. Standartların geliştirilmesinin bu aşamasında alfabetik belirleyicilerden çok sayılar kullanılmaktadır.

G.onf Optik network için çalışma iskeleti

G.otn Şebeke mimarisi

G.oef Ekipman fonksiyonları

G.oni Enformasyon modeli

G.onm Yönetim görüşleri

G.ons İskelet formatları

G.onp Fiziksel tabaka

G.onc Parçalar

Yazıldığı esnada komitede tanımlamada ve amaçda bir optik şebeke'nin nasıl olacağı konusunda anlaşmaya varılamamıştır. Gerçekte bu ciddi bir meseledir ve pek çok çelişkili fikirler bulunmaktadır.

ITU' nun oluşturduğu Çalışma Grubu 15'e çeşitli üretici firmalar vasıtasıyla tasarı halinde öneriler gelir. İşte bunlardan bir tanesinde 'Lucent Technologies' in yaptığı bu konudaki çalışmalardır. Ek 6'da bu konunun bir özetini bulunmaktadır.

4.2.4 WDM çevrelerinde sistem mühendisliği

Telekomünikasyon dünyasında, sistem mühendisliği bir çok cihazın alınarak birilerine faydalı olacak bir sistemin içerisinde birleştirilmesi sanatıdır. Bu hiç de saçma olmayan bir çalışma olup, değişik tipteki ekipmanların ve onların çalışmalarının belirli bir çevrede iyi anlaşılmasını gerektirir.

Konuyla ilgili aşağıdaki hususlar dikkate alınmalıdır :

1. Dalga bantlarının genişliği ve aralığının belirlenmesi
2. Dalgaboyu hassas olan parçalarda dalgaboyunun sabit tutulması

3. Filtre kademelerinde filtre sıralaması
4. Doğrusal olmayan etkenlerin kontrolü
5. Dağılımın kontrolü
6. Konuşmalardaki karışmaların kontrolü
7. Optik amplifikatörlerin dinamiği
8. Sistemin gürültüsünün kontrolü

Özet olarak bir WDM sistemi mühendisliği pek çok kompleks meteryalin birbirleriyle yarışan etkilerini dengelemektir. Bunların bir kısmını zaten tek kanallı sistemlerden biliyorduk. Fakat diğerleri WDM'le birlikte yeni gelmişlerdir. İşte bunlar:

- **Kanal ayrımları ve sinyalin bant genişliği**

SRS'nin (Stimulated Raman Scattering bir liner olmayan etkidir ve Ek 7'de bahsedeceğiz) etkisini minimuma indirmek ve optik amplifikatörden optimum bir kazanç düzgünlüğü elde etmek için ,mümkün olduğunca kanalları birbirine yakın yerleştirmeye çalışıyoruz.

Tabiki bu bize daha fazla kanal sayısı ve daha fazla kapasite sağlayacaktır. Bununla birlikte FWM'nin (Four-Wave Mixing bir liner olmayan etkidir ve Ek 7'de bundan bahsedeceğiz.) etkisi nedeniyle kanalların birbirine yakın olmasını engellemektedir.

- **Doğru teçhizat seçimi ve maliyeti**

Genellikle daha isabetli optik teçhizat seçimi daha pahalıya mal olmaktadır. Daha dar lazer çizgili lazerler daha düzgün çalıştıkları için maliyetleride artmaktadır. Aynı

düşünceyi kullanan diğer teçhizatlar olan ızgaralardan,fitrelerden bahsederken de uygulayabiliriz.

Bu tabiki kanalların bant genişliklerini ve aralıklarına karar verirken çok önemli bir faktörü oluşturmaktadır.

- **Dağılımın kontrolü**

Dağılımı kontrolü prensibinde ki mana sinyalin bandgenişliğinin minimize edilmesi ve dağılım kompanzasyon şemalarının kullanımıdır.DSF(Dispersion shifted fiber) fiber kablo kullanımı FWM problemi yüzünden mümkün değildir.Sinyalin band genişliğini küçültebilirsiniz, fakat bandgenişliği zaten modülasyondan dolayı sınırlandırılmıştır. Eğer sinyalin band genişliğini 80MHz den daha küçük hale getirirseniz SBS'in (Stimulated Brillouin Scattering bir liner olmayan etkidir ve Ek 7'de açıklanacaktır.) etkilemeye başladığını görmüş oluruz.

100 km'nin üstündeki 2.4Gbps hızındaki sistemler için dağılımın kontrolü veya kompanze edilmesi gerekmektedir.

- **Her bir kanaldaki sinyalin gücü**

Sistem maliyetinin kritik noktalarından biride amplifikatörler arasındaki mesafenin maksimuma çıkarılmasına duyulan ihtiyaçtır.Amplifikatörlerin maliyeti ana konumuz değildir.Ancak evlere kadar çekilen kablonun ve her bir istasyonda bu kablonun bakım maliyeti amplifikatörün kendi maliyetinden daha fazlaya gelmektedir.Fakat her zaman biz sinyalin hızını iki katına çıkarttığımızda, alıcının hasasiyeti en az 3 db'lik bir azalma göstermektedir.Bu yüzden her bir kanalda gönderilen sinyalin maksimum güçle gönderilmesini istiyoruz.Bununla birlikte kullandığımız gücün değerinde bir limite götüren peçok faktör bulunmaktadır.

- Verici tarafında gücün maksimum olarak kullanılması mümkündür.Gerçektende EDFA'nın bulunduğu bir vericinin çıkış değeri maksimum olabilmektedir.Son

zamanlara kadar 200 mW olan bu değer değişik çeşitteki EDFA'ların kullanımı ile 10 Watt'a kadar çıkmıştır.

- Liner olmayan etkiler dediğimiz (SBS,SRS,CIP-Carrier Induced Phase Modulation Ek 7'de bu etkidende bahsedilmektedir.) değişik etkilerde gücün her bir kanalda kısıtlamalara gitmesine neden olmaktadır.
- Güvenlik meselesi ayrıca önemli olan diğer bir faktördür.Hemen hemen bütün WDM sistemleri tehlikeli olarak sınıflandırılır ve güvenlik sistemlerine ihtiyaç vardır.Özel yerlere yerleştirilmelidir ve buralara giriş ve çıkışlar sadece kalifiye elemanlar tarafından yapılmalıdır.

- **Gürültü**

ASE'nin (Amplified Spontaneous Emission-Kendiliğinden Yükseltgenmiş Emisyon) etkisinin yükseltgenen sinyaller için önemli bir sonucudur.

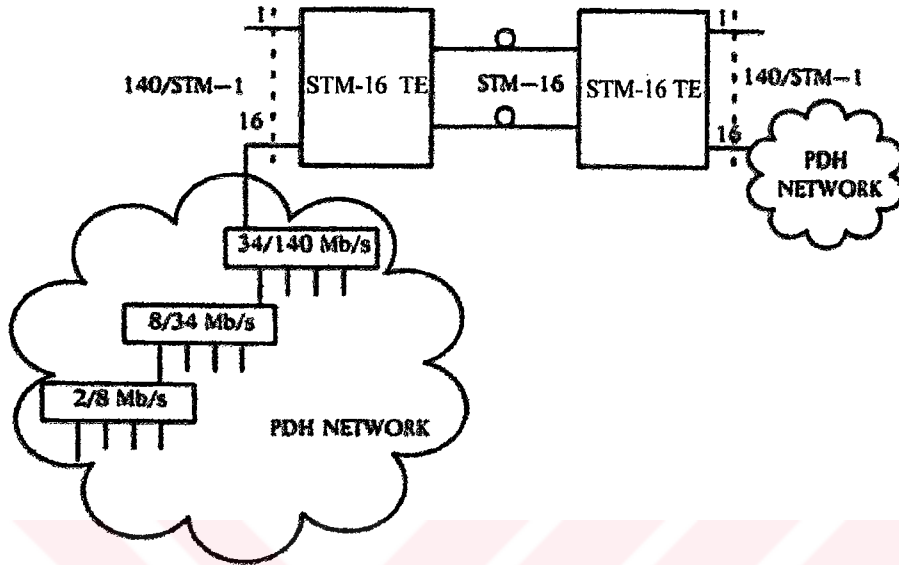
- **Fiber Tipi**

Dağılımı minimuma indirmek için DSF fiber tipi kullanmak isteyebiliriz.Bununla birlikte DSF fiber tipi FWM ve SRS etkilerinin artmasına neden olmaktadır.Bundan dolayı diğer fiber tipleri veya dağılımı optimize edilmiş olan fiber tipleri (DOF) kullanılabilir.(Dutton,1998)

5.WDM'İN TÜRKİYE'DEKİ TRANSMİSYON SİSTEMLERİNE OLAN ETKİSİ

Türkiyede ki transmisyon yapısının geliştirilmesi ve iyileştirilmesi amacıyla alımı yapılan yüksek hızlı (2.4 Gbit/s) SDH sistemlerinin tesisine 1997 yılı itibarıyla başlanılmış olup bu sistemlerin hem şehirlerarası hemde metropoliten sahalardaki kapasitelerinin artırılarak internet,data,GSM şebekelerinin iletişim ihtiyaçlarının karşılanması.Ek 8'de Türkiyede ki mevcut SDH link ve ringlerinin durumunu bulmak mümkündür.Ayrıca Ek 9'da İstanbul için planlanan STM-16 ringlerini bulacağız.Burada WDM sisteminin etkilerinin olumlu

veya olumsuz yönlerini ele almadan önce SDH sistemlerinin mevcut durumunada bir göz atacağız.

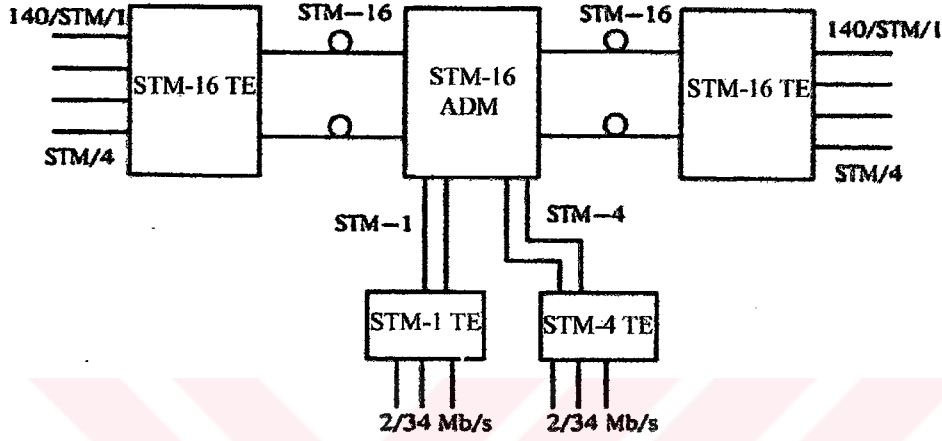


Şekil 5.1.1 Noktadan noktaya STM-16 TE ile dizayn edilmiş ve STM-1 veya 140 Mbit/s tributaryleri olan bir link örneği.

5.1 SDH Sistemlerinin Analizi

SDH sistemleri mevcut PDH sistemlerinin arayüz hızlarına cevap verebilecek durumda oldukları için kurulu bulunan 140 Mbit/s, 34 Mbit/s, 8 Mbit/s ve 2 Mbit/s hızındaki sistemlerin transmisyonları mevcut PDH çoklayıcıları kullanarak SDH teçhizatlarına eklenip çıkartılabilmektedir. Şekil 5.1.1'de görüldüğü gibi STM-1 yani 155 Mbit/s hızında veya 140 Mbit/s hızında elektriksel veya optik olarak bağlantı yapılan bu arayüzlere tributary kısmı denilmektedir ve bir STM-16 teçhizatı maksimum 16 tane STM-1 veya 140 Mbit/sn hızında arayüzlere bağlantı yapabilmektedir. Sistemin karşısındaki STM-16 teçhizatına bağlantı yaptığı kismada hat tarafı denilmektedir. Bilindiği üzere SDH sistemleri bir çift fiber kılı üzerinden STM-16 yani 2.4 Gbit/s hızında çalışabilen hem uçtan uca (buna terminal teçhizatı TE denir .Şekil 5.1.1 de görüldüğü gibi)

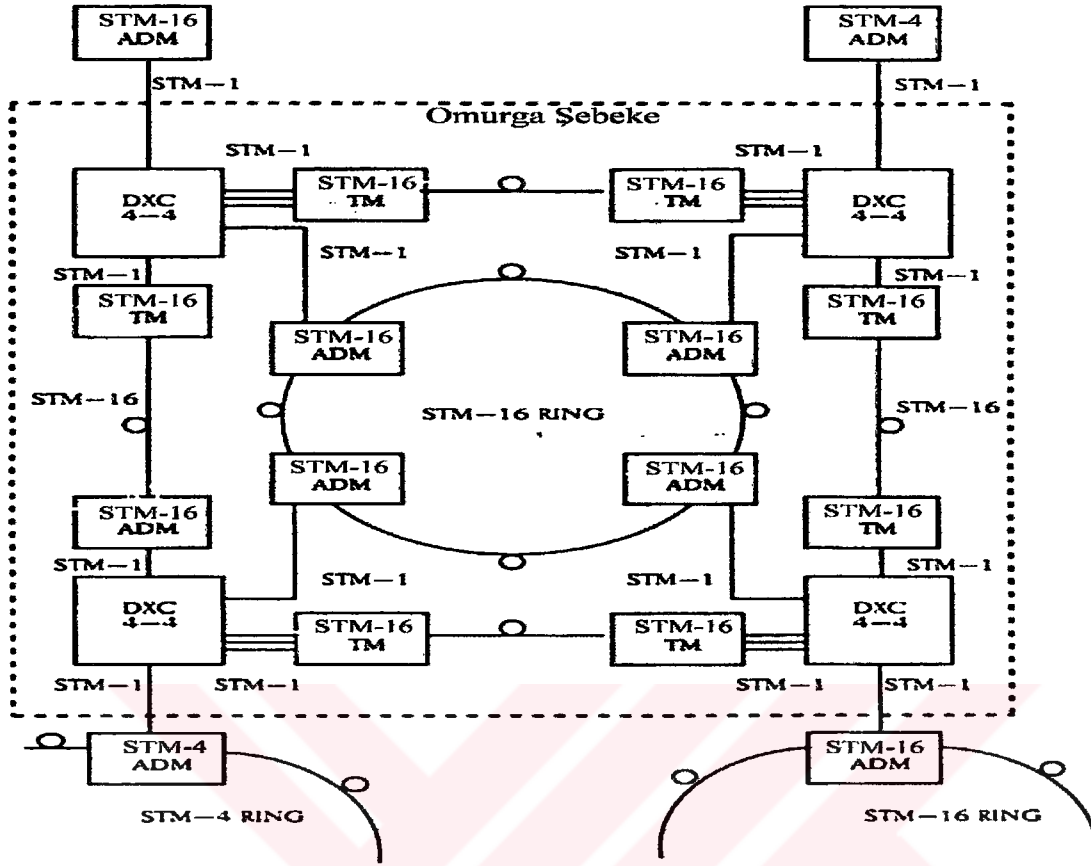
gibi)hemde ekleme-çıkartma yapabilen yani farklı hızlardaki sinyalleri bir noktada indirip- bindirebilen(buna ADM teçhizatı denir.Şekil 5.1.2) teçhizatlar olduğu için büyük bir avantaj sağlamaktadır.



Şekil 5.1.2 Arada 2 ve 34 Mb/s hızında girişlerin ,ADM istasyonunda yapıldığı noktadan noktaya bir link.

Şekil 5.1.2’de görüldüğü gibi STM-16 ADM teçhizatı için sadece 8Mbit/s hızındaki arayüzleri haricinde bütün PDH seviyelerinde ekleme-çıkartma yapılabilmektedir.Ayrıca burada görüldüğü gibi STM-4 seviyesinde ekleme-çıkartma yapılmıştır.Sadece STM-16 değil ayrıca elektriksel hat bağlantılı STM-1 ve STM-4 teçhizatlarında kullanıldığını görmek mümkündür.

Çeşitli SDH teçhizatları kullanarak linkler ve ringlerden oluşan bir omurga da oluşturmakta mümkündür.Şekil 5.1-3’te bunun bir örneğini görebiliriz.Dikkat edilirse burada yukarıda bahsedilmeyen DXC yani çapraz bağlantı teçhizatınıda görmemiz mümkündür.DXC 4-4 teçhizatı maksimum STM-1 veya 140 Mbit/s hızında akan trafiği istenilen yöne doğru iletebilmeyi mümkün kılmaktadır.Türkiye’de buna benzer olmasada bir omurga oluşturulmaya çalışılmaktadır.



Şekil 5.1.3 STM-16 ve DXC 4-4 teçhizatlarından oluşmuş ulusal veya bölgesel omurga şebekesi örneği.

Normalde bu sistemlerin yerine Türkiye’de yaygın olarak kullanılan 140 Mbit/s hızındaki Fiber Optik Hat Teçhizatları olduğu için sadece bir çift fiber kılı için çok düşük bir kapasite kullanımı söz konusu olmaktadır.

Tablo 5.1.1’de 140 Mbit/s hızındaki hat teçhizatlarıyla SDH teçhizatları arasındaki karşılaştırmanın bir neticesini görmemiz mümkündür.

Bilindiği gibi bir 140 Mbit/s hızında çalışan hat teçhizatı 1920 telefon kanalını hiç optik amplifikatör kullanmadan ortalama 60 km öteye iletebilmekte iken aynı mesafede STM-16 teçhizatı bunun 16 katı büyüklüğünde bir kapasiteyi taşıyabilmektedir. Bu tablodan da anlaşılacağı gibi STM-64 seviyesinde yani 10Gbit/s hızında SDH sistemleride bulunabilmektedir.

Tablo 5.1.1 PDH ile SDH sistemlerinin kapasite karşılaştırması

	PDH Sistemleri (Mbit/s)				SDH Sistemleri			
	2	8	34	140	STM-1	STM-4	STM-16	STM-64
Kanal sayısı	30	120	480	1920	1920	7680	30720	122880

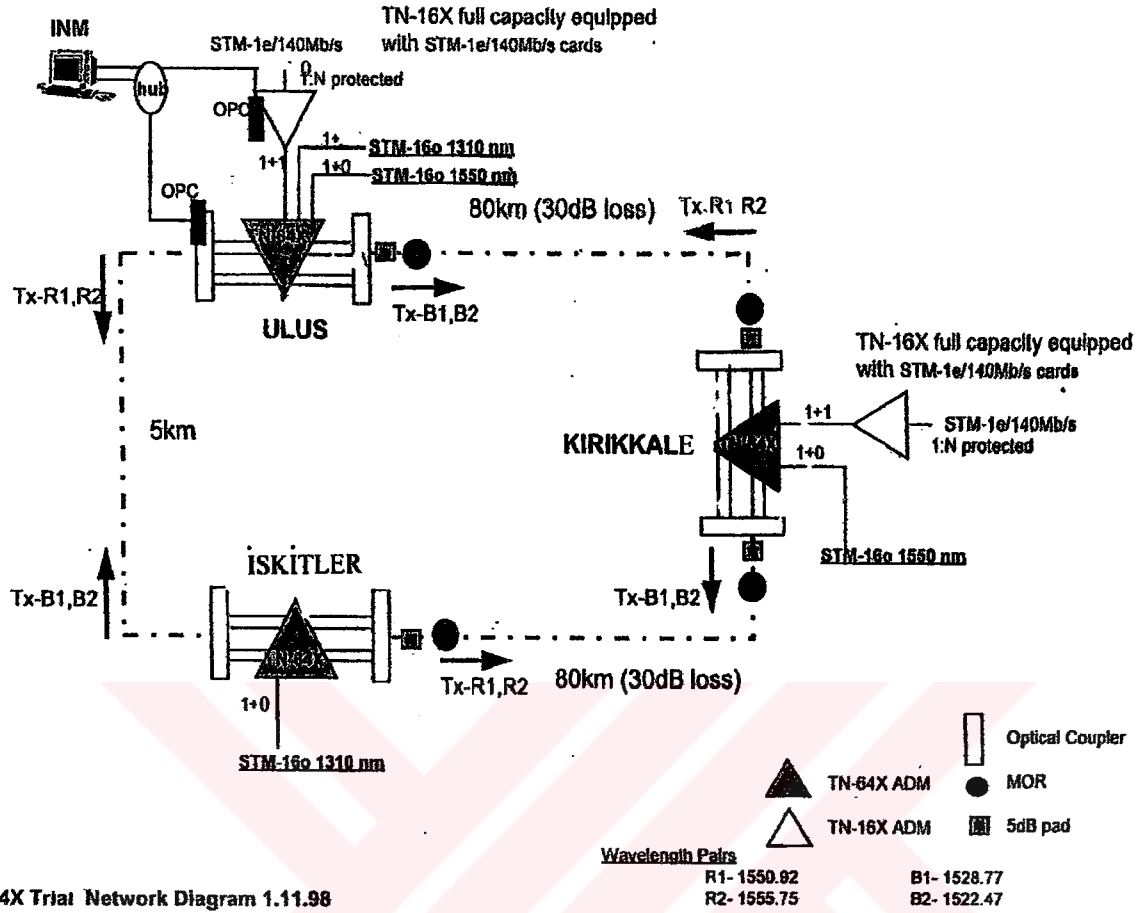
Şekil 5.1.4 'te görüldüğü gibi Türkiye'de ilk defa STM-64 sistemi , Nortel firmasının deneme ringi olarak Ankara'nın Ulus,İskitler ve Kırıkkale Merkez'e kurulan teçhizatlarıyla birlikte 24.05.1999 tarihinde hizmete verilmiştir.

Bu ringten biraz bahsedecek olursak kullanılan teçhizatlar açısından ADM'ler optik kuplörler ve MOR dediğimiz çok dalga boyunu optik olarak tekrar eden ,yani optik olarak seviyeyi yükseltgeyen tekrarlayıcılar bulunmaktadır.

Dikkat edilirse bu sistemde sadece bir fiber kılı üzerinden 4 ayrı dalga boyunda sinyaller alınıp, verilmektedir.Yani teçhizat aynı zaman da basit bir WDM özelliğide göstermektedir.Burada neden 4 ayrı dalga boyu kullanma ihtiyacı doğmuştur dersek,bunun cevabı olarakta 4 dalga boyunun 2 tanesi çalışan durumda iken diğer 2 tanesi koruma kanalları olarak çalışmaktadır.

Böylece çalışan dalga boylarında oluşan bir problem karşısında diğer 2 dalga boyu devreye girecek ve ringin koruması sağlanmış olacaktır.Ayrıca yukarıda gösterilen sistemin merkezi yönetim birimleri olan INM birimleri hub dediğimiz teçhizatlar vasıtasıyla belirli hızlarda STM-64 birimine OPC dediğimiz operasyon kanallarıyla bağlanabilmekte ve ringin herhangi bir noktasındaki arızaları,sisteminin üzerinde yapılacak olan konfigürasyon değişikliklerini,anında görüntüleye bilmektedir.

Bu sistemin devreye girmesiyle STM-16 seviyesinde optik olarak tributary tarafında bağlantı yapılmış olmakta ve bir STM-64 teçhizatına optik seviyede maksimum 4 tane STM-16 teçhizatı bağlanmış olmaktadır.



TT 64X Trial Network Diagram 1.11.98

Şekil 5.1.4 Ankara- Kırıkkale arasına kurulan STM-64 deneme linki.Nortel

Bunun sonucunda sadece bir fiber kılıyla STM-64 seviyesindeki 4 kanal korumalı bir sistem çalıştırılırken bu kapasitede ve bu tip bir koruma mekanizmalı bir sistemi STM-16 teçhizatı kullanarak yapmak istediğimizde her bir STM-16 teçhizatı için 4 ayrı fiber kabloya ve neticede STM-64 kapasitesi için 16 tane ayrı fiber kılına ihtiyaç duyulacaktır. Her bir fiber kılı çiftinin maliyetinin km'de 10,000 \$ olduğunu düşünürsek sadece buradaki sistemin km'de 80,000 \$ tasarruf sağladığını görmek mümkündür. SDH ile ilgili kısım anlatılırken getirmiş olduğu avantajlardan bahsedilmişti.

Dolayısıyla buradaki en büyük avantajının artan talep ihtiyacına cevap verebilecek olan bir fiber kılından maksimum kapasitede data ve konuşma kanallarının taşınması diyebiliriz. Ayrıca SDH'in getirmiş olduğu diğer özelliklerden biri olarakta kurulabilecek

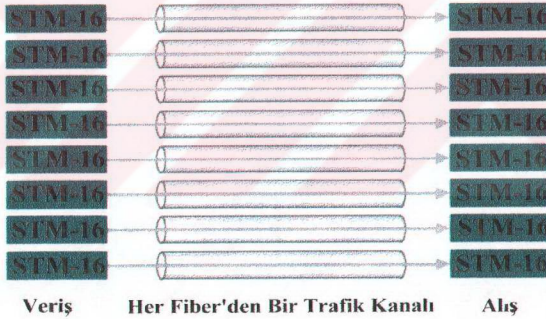
olan bir omurga şebekenin kontrol ve denetlenme durumunun bir merkezden yapılabilmesidir ki buda arızalara vaktinde müdahale etme avantajının getirmektedir.

5.2 WDM Sistemlerinin Analizi

Buraya kadar anlatmış olduğumuz SDH sistemlerinin getirmiş olduğu pek çok avantajın yanısıra, mevcut hem PDH hemde SDH sistemlerinin optik olarak transmisyonun sadece bir çift fiber kılı üzerinden sağlayabilen

WDM sisteminden oldukça detaylı olarak önceki konularda bahsetmiştik. Aslında WDM konusu oldukça yeni bir teknoloji olduğu için özet olarak nasıl bir sistem olduğu konusunda bazı tablolara bakarak inceleyeceğiz. Bu tablolarda özellikle dünyadaki en büyük üretici ve operatör firmaların yapmış olduğu çalışmaları da inceleyeceğiz.

BUGÜNKÜ TRANSMİSYON



Şekil 5.2.1 STM-16'nın bir fiber kılı üzerinden çalışan trafiği

Bugünün transmisyon sistemleri Şekil 5.2.1'de olduğu gibi bir fiber çift kılı üzerinden şu anda yaygın olarak kullanılan transmisyon sistemlerinden STM-16 hızında çalışmaktadır. Fakat WDM teknolojisinin getirmiş olduğu yapıda Şekil 5.2.2'de görmemiz mümkün olacaktır. Buradada görüldüğü bir fiber kılından 8 tane STM-16 hızında

Dalgaboyu Bölmeli Çoklama



Şekil 5.2.2 WDM sisteminin STM-16 hızındaki her bir kanalını farklı renklerle belirleyerek karşı tarafa iletebilme durumu

optik sinyali taşımak mümkün olmaktadır. Gönderilen her bir kanal farklı bir renktedir. Böylece kanalların birbirine karışmasını önlemekte ve uzak ucta bu kanalların kolayca ayrışmasını sağlamaktadır.

DWD ile DWDM arasındaki basit farkıda Şekil 5.2.3'te görmemiz mümkündür. Burada WDM dün itibarıyla bir çift fiber kılından sadece 2 kanalı 1310 ile 1550 nm'lik iki dalga boyunda çalıştırabilmekte iken bugün DWDM ile 1530 ile 1560 nm arasında değişen ve dalgaboyu aralıkları daha dar olan kanallar vasıtasıyla 8,16,32 trafik kanalını taşımak mümkündür. Zaman içerisinde teknolojik olarak daha yüksek kalitede, kararlı ve dalgaboyu seçilebilen lazerlerin üretilmesi mümkün olmuştur. Kanalları birbirlerinden ayırt edebilmek içinde yeni, ekonomik özellikleri olan filitre teknolojileri yani fiber ızgaraları, dalgaboyları düzenlenmiş filitreler kullanılmıştır.

Ayrıca EDFA'nın sayesinde kanalların karışması-ayrışması, monitör edilmesi-filtrelenmesi, iletilmesi-anahtarlanması büyük bir kolaylık oluşturmuştur. EDFA bütün

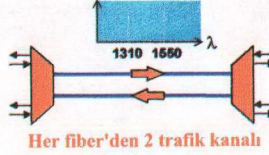
kanalları amplifiye edebilmektedir. Böylece dalgaboyları kendi istenilen değerlerine ulaşmaktadır.

WDM: Yeni bir kavram değil.

Dün:

WDM

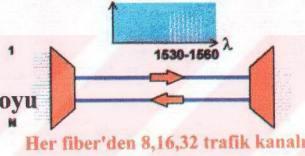
Dalgaboyu Bölmeli Çoklayıcı



Bugün:

DWDM

Yoğunluklu Dalgaboyu Bölmeli Çoklayıcı



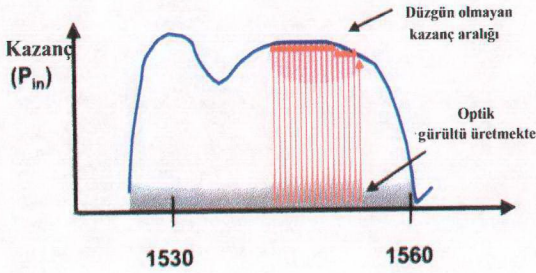
Şekil 5.2.3 WDM ile DWDM arasındaki fark tanımlı

Fakat dezavantajıda belirli dalga boylarında elde edilen kazanç düzgün bir kazanç olmadığı ve çalışma şartlarına bağlı olduğu için optik olarak gürültünün oluşmasına neden olunabilmekte ve sinyal amplifikasyonu optik olarak yapılsa bile gürültüde amplifikasyona tabi olmaktadır. (Şekil 5.2.4)

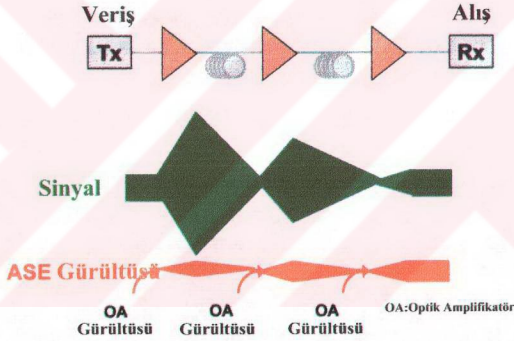
BER dediğimiz sinyaldeki hatalı bit oranı sayısına etki eden sinyalle gürültü arasındaki orana bağlıdır. Optik amplifikatör kullanılmayan linklerde gürültü genellikle alıcıdan gelmektedir ve bu hassasiyeti oluşturmaktadır.

Optik amplifikatörlü sistemlerde ise gürültü gönderilen sinyalle birlikte yükseltgene yükseltgene alıcı tarafına gelir. Burada artık alıcı gürültüsü gelen sinyale göre çok küçük olduğu için önemli değildir.

Aşağıdaki Şekil 5.2.5'te optik amplifikatör sıralı bir linkin sinyal ve gürültü durumları her bir amplifikasyon işleminden sonra gösterilmektedir.



Şekil 5.2.4 EDFA'nın kazanç karakteristiği.Ericsson



Şekil 5.2.5 Optik amplifikatörlü bir linkin gürültü durumu.Ericsson

Optik amplifikatörler kullanarak oluşturan bir linkle optik amplifikatör yerine tekrarlayıcılar yani gelen optik sinyalleri önce elektriksel çevirip tekrar ürettikten sonra tekrar optik sinyale çevirip gönderen teçhizatlar kullanıldığı zaman görülecektir ki optik amplifikatör kullanılan linklerde amplifikatörler arasındaki uzaklık, amplifikatörün sayısı arttıkça tekrarlayıcılar kullanılan sistemlere göre daha kısa olmaktadır.

Transmisyonu zayıflatan mekanizmaları özetliyecek olursak ;

1. Zayıflatma, sönüm yani güç yitimi
2. Kromatik dağılım :Dalgaboyları farklı hızlarda yol alırlar.Lazerler tam olarak monokromatik değildir, bundan dolayı lekeli darbeler oluşur.Bunun sonucunda sinyalde bir bozunum olur.Buda bit oranının karesi ile doğru orantılıdır.
3. Polarizasyon modundaki dağılım:Işık iki dikey modda yol alır.Eğer fiberin çekirdeği simetrik değilse farklı modlar farklı hızlarda yol alır.Modlar arasındaki gecikme zamanı farkı 10%'luk bir bit periyoduna kadar tolere edilebilir.Fakat 10Gbit/s bir hız için eski fiberlerin kullanılması mümkün değildir.
4. Liner olmayan etkiler:Sinyalin gücü arttıkça her yerde gözükten etkenlerdir.Bu etkenleri zayıflatan çeşitli mekanizmalar geliştirilmiştir.Fakat bu etkenlerin kanal başına bir güç yoğunluğu karakteristiği bulunmaktadır.Bu yüzden geliştirilen son fiberlerle bu etkin alanı daha fazla genişletme yoluna gidilmeye çalışılmıştır.

OADM (Optical Add-Drop Multiplexer) dediğimiz optik olarak ekleme-çıkartma yapabilen DWDM sistemleri sayesinde istenilen bir noktaya optik olarak kanalların eklenip -çıkartması yapılabilir.



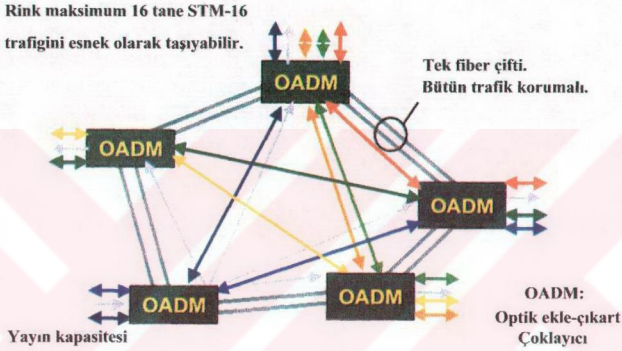
OTM:Optik terminal çoklayıcı OADM:Optik ekle-çıkart çoklayıcı
OLA:Optik hat amplifikatörü

Şekil 5.2.6 DWDM linkindeki OADM uygulaması.Ericsson

Bunun uygulamalarını bir link veya koruma yolları olan bir ring konfigürasyonunda görmemiz mümkündür.Şekil 5.2.6 ve Şekil 5.2.7 'de olduğu gibi.

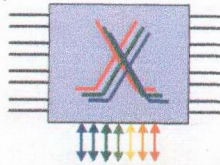
Şekil 5.2.6’da belirtilen OTM(Optical Terminal Multiplexer) optik çoklama teçhizatını ve OLA(Optical Line Amplifier) teçhizatıda optik amplifikatörü ifade etmektedir.

Şekil 5.2.7’de oluşturulan OADM teçhizatlarıyla oluşturulan 16 kanallı bir ring uygulamasında alternatif yolların çok olması ringin trafiğinin korumalı olarak çalışmasına neden olmaktadır.



Şekil 5.2.7 OADM uygulamalı bir DWDM ringi .Ericsson

Ayrıca gelişen teknolojiyle birlikte OXC(Optical Cross-Connects) optik çapraz bağlantı teçhizatları vasıtasıyla her bir noktaya istenilen yönde değişik dalga boylarında kanalları aktarmak mümkün hale getirilmiştir.Şekil 5.2.8.

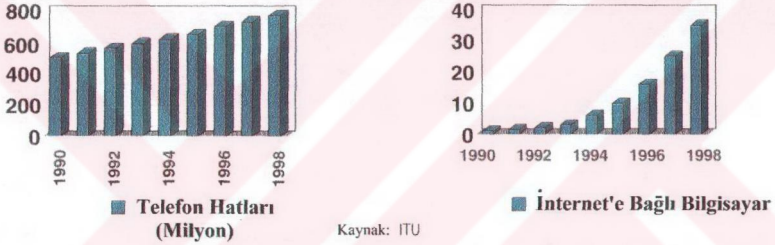


Şekil 5.2.8 OXC –Optik çapraz bağlantı teçhizatı.Ericsson

Yukardaki sistemlerin kullanımı gereken yer ve ihtiyaçlar neticesinde ortaya konmaktadır.(Ericsson,1998)

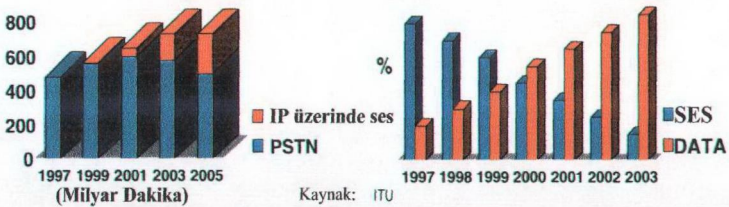
Peki dünyadaki trafik dağılımı nereye doğru gitmektedir ve nasıl bir altyapı planlaması düşünülmektedir?Bunu incelediğimizde ITU'nun yapmış olduğu araştırma neticesinde data'nın telefon kanallarından daha hızlı geliştiği görülmüştür.Tablo 5.2.1'te bunu görmemiz mümkündür.Data'nın ses kanalı üzerindeki iletiminden, ses kanalının data üzerinden aktarımına doğru bir modellemeye gidilmektedir.Klasik telefon modelinden, çok servisli İnternet modeline doğru bir gelişme gözlenmektedir.

Tablo 5.2.1 Telefon hatları ile internete bağlı bilgisayar durumu. Alcatel



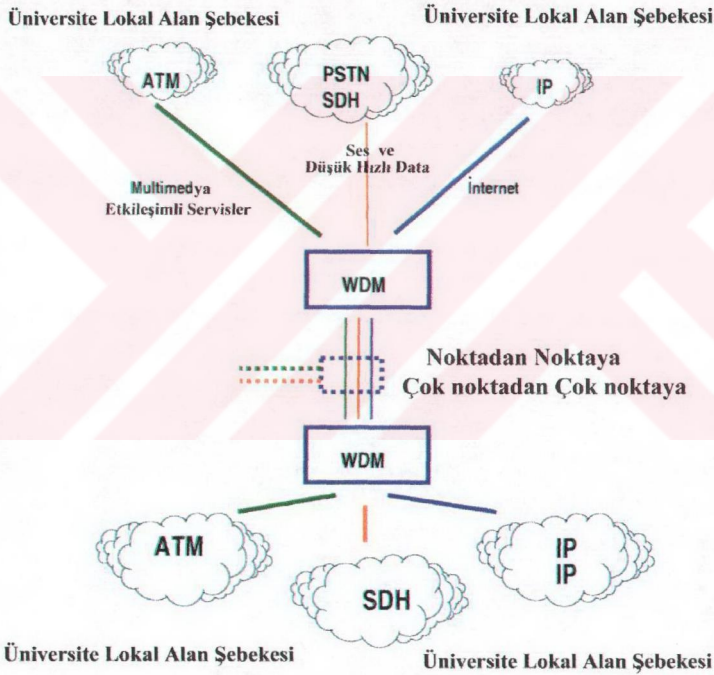
Amerikada data trafiği ,telefon kanalına eşit duruma gelmiştir.Data trafiği yılda %50 ile %100 arasında değişen bir oranda büyümektedir.Fakat ses kanallarının trafiği ise yılda %7 oranında kalmaktadır.

Tablo 5.2.2 Ses kanalları ile data kanallarının karşılaştırılması. Alcatel



Diğer bir Tablo 5.2.2’de ise ses kanalları ile data kanallarının büyüme hızlarını görüyoruz.Burada ‘PSTN’ dediğimiz normal sayısal santrallerden geçen konuşmalar iken ‘Voice over IP’ ise internet protokolü üzerinden iletilen ses kanallarını göstermektedir.

ATM(asenkron iletim modu) ve IP(internet protokolü) trafiği hızlı bir şekilde büyümektedir.Verimli bir iletim zorunlu hale gelmiştir.Şebeler daha fazla bandgenişliği olan ve hızlı olan şebekelere ihtiyaç duymaktadır.

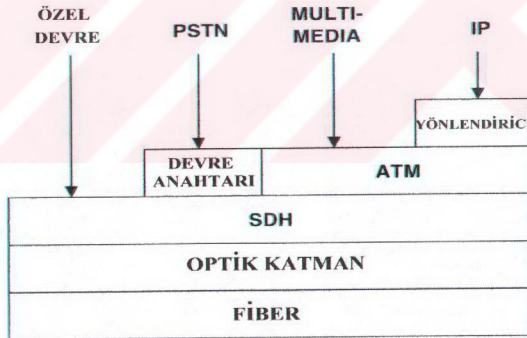


Şekil 5.2.9 Noktadan noktaya veya çok noktadan çok noktaya WDM vasıtasıyla iletilen bir link örneği

Dolayısıyla fiberin oldukça verimli kullanılmasını sağlayan WDM sistemlerine daha fazla ihtiyaç duyulmaktadır.Bu durumda kiralık dalgaboylarına gereksinimin artacağı kesindir.Tabiki buda bandgenişliğinin maliyetinin öncelikli olarak ucuzlamasıyla mümkün olacaktır.

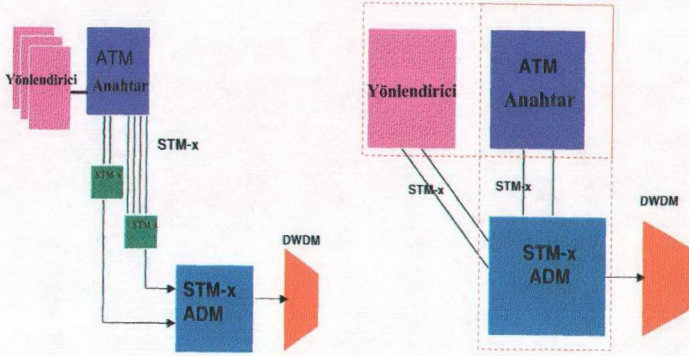
Şekil 5.2.9'da pratikte uygulanan bir modelin örneğini görmekteyiz.Burada farklı hızlardaki, farklı kısımlarda ki, data ve ses trafiğinin nasıl bir optik şebeke ortamında iletildiğini ve niçin WDM sistemine ihtiyaç olduğunu özetleyen bir örnektir.

Eğer mevcut şebeke yapısına optik katmanıda eklersek aşağıdaki Şekil 5.2.10'u elde etmiş oluruz.Bu şekilden de anlaşılacağı gibi farklı katmanlardaki iletimin nasıl olduğu gösterilmiştir.IP bağlantıları yönlendirici dediğimiz çok yüksek hızlı modemler vasıtasıyla sağlanırken, multi-media bağlantılarının ATM sistemi üzerinden, normal telefon kanallarını yani PSTN bağlantılarının PDH teçhizatları vasıtasıyla ve özel devreleride olarak hepsini bir SDH katmanına bağlamak ve buradanda optik katmana bağlamak mümkündür.(Alcatel,1999)



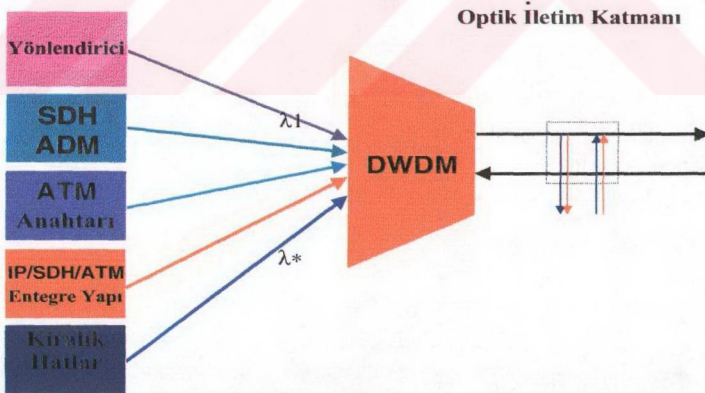
Şekil 5.2.10 Katmanlar arası bağlantı.Alcatel

Şu andaki yönlendirici, ATM ,STM ve DWDM bağlantı modelini Şekil 5.2.11'de görebiliriz.Bundan sonrada olabilecek bağlantı şeklinide görebilmemiz mümkündür.Bu şekilde STM-x olarak ifade edilen $x = 1, 4, 16, 64$ olabilir.



Şekil 5.2.11 DWDM ile çeşitli katmanlar arasındaki bağlantı modeli. Alcatel

Gelecekte ise bu katmanların tamamı yukarıda belirtildiği gibi Optik katmana direkt olarak ayrı ayrı bağlanacak duruma gelecektir. Bununla DWDM teknolojisi sayesinde ulaşılabilecektir. Şekil 5.2.12 bunu göstermektedir. (Alcatel, 1999)



Şekil 5.2.12 İlerde optik iletim katmanına direkt yapılabilecek bağlantılar. Alcatel

6.SONUÇLAR VE ÖNERİLER

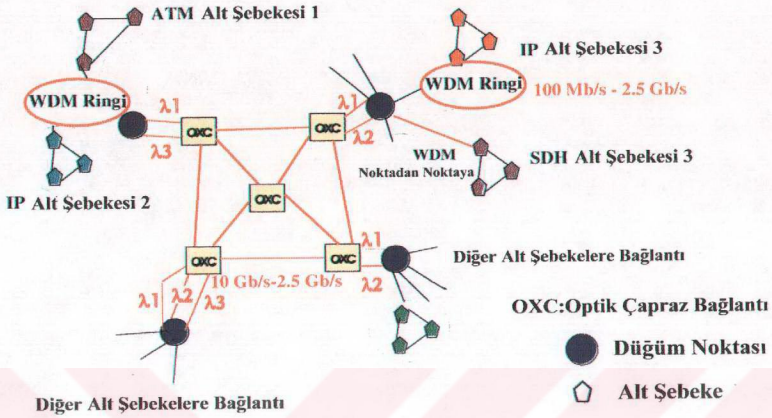
Yukarıda WDM ve SDH sistemlerinin hepsinin teknik olarak çalışma prensiplerinden yapılarından ,teknik teçhizatlarından ve bu yeni teknolojinin ülkemizdeki uygulamalarından bahsettik.

Bunun sonucunda gerçekten ilerleyen ses ve data trafiğinin getirmiş olduğu zorunlu değişiklikler ülkemizde’de uygulanmaya başlanmıştır.Halen SDH linkleri ve rinklerinin büyük şehirlerin merkezlerinde ve şehirlerarasında kurulmasına devam edilmektedir. Özellikle hızla artan GSM sistemlerinin kanal talepleri, mevcut SDH sistemlerinin bile çok kısa zamanda tamamen trafikle dolmasına neden olmaktadır.Tabi bu arada henüz ülkemizde omurgası tam olarak oturtulmamış bir internet ve data trafiğinin de ekleneceğini düşünürsek; transmisyonu oldukça önem arz eden bir noktaya getirmektedir.

Tabi burada ülkenin mevcut altyapısına yani fiber optik kablo olarak oldukça pahalı bir yatırımında eklenmesi gerektiğini düşünmeden edemiyoruz.Çünkü SDH sistemleri kurmakla problemlerimiz halledilmiş olmamaktadır.Bunun yanında kaliteli fiber optik kabloya da ihtiyaç oldukça fazla bir şekilde artmaktadır.

Türkiye için WDM teknolojisi ülkenin genelinde oluşturulacak olan bir omurga yapı için düşünülebilecek bir sistemdir.İlk olarak bu omurganın Ankara-İstanbul-İzmir arasında kurulabilecek olan bir ring dizaynı ile ve bunlara bağlanacak olan STM-16 hızındaki sistemlerle oluşturulabileceği düşünülebilir.Hatta gelişen teknolojinin getirmiş olduğu OXC dediğimiz optik çapraz bağlantı sistemlerini kullanarak çok yüksek hızlarda oluşturulmuş bulunan WDM rinklerine , IP alt şebekelerine SDH rinklerine, ATM alt şebekelerine bağlantı yaparak bir şebeke oluşturmakta mümkündür (Şekil 6.1.1).Ancak bu şebekenin oluşturmuş olduğu yapının ülkemiz için uygulanabilirliğini iyi incelememiz gerekmektedir.Bu şekil belkide çok yakın bir gelecekte bizim içinde mümkün olabilir.

Bunun dışında Türk Telekom için mevcut altyapının daha iyi hale getirilmesi gerektiği kesindir.Burada her kamu kuruluşunda olabilecek ve düzeltilmesi gereken başka faktörlerde önem kazanmaktadır.



Şekil 6.1.1 Optik çapraz bağlantı teçhizatı (OXC) kullanılarak planlanmış bir şebeke örneği

Kamu kuruluşları içinde en çok kar eden kuruluş olan Türk Telekom, işletme gibi önemli bir probleminide çözmek zorundadır.Yetişmiş insan faktörünün her zaman önemsendiği bir yapılanmanın olması gerekmektedir.Bununda özelleşme ile daha hızlı ve verimli bir şekilde yapılması kaçınılmazdır.

Yoksa getirilen teknolojiler,yetiştirilen insanlar belli bir süre sonra elden çıkmakta ve devlet her ne kadar kar etsede verimliliği giderek düşmektedir.

KAYNAKLAR

Türk Telekom AR-GE Bülteni, (1997),Ankara

Türk Telekom Faaliyet Raporu, (1998),Ankara

Taşdelen ,H. ,(1997) , SDH Sistemleri ve Ölçü teknolojisi, Wandel & Goltermann
Türkiye İrtibat Bürosu

Dutton ,H. J. R., (September 1998), ‘Understanding Optical Communications’, Redbook
Series, IBM Technical Support Organization

Rahn,J.,(1998), ‘Optical Interfaces for Multichannel Systems with Optical Amplifiers’
ITU-T Study Group 15-Contribution

Ericsson, (01 Aralık 1998),WDM Tanıtım Semineri, Ankara

Alcatel,(19 January 1999), ‘Interworking IP,ATM & SDH WITH WDM’, WDM
Technical Seminars for Network Carriers,Researched & Produced by IIR Telecoms &
Technology, The Forum Hotel,London

EKLER

Ek 1	Frekans Bantları
Ek 2	Tek Modlu Fiberin Özellikleri
Ek 3	SDH Terminolojisi
Ek 4	Erbium İlave Edilmiş Fiber Amplifikatör(EDFA)
Ek 5	WDM Sistemi İçin Parçalar
Ek 6	ITU Tavsiyesi
Ek 7	Lineer Olmayan Yüksek Gücün Etkileri
Ek 8	Türkiye Geneli STM-16 Şebeke Planı
Ek 9	İstanbul'a Ait STM-16 Şebeke Planı

Ek 1

FREKANS BANTLARI

Ses Frekansı VF	Çok Alçak Frekans VLF	Alçak Frekans LF	Orta Frekans MF	Yüksek Frekans HF	Çok Yüksek Frekans VHF	Ultra Yüksek Frekans UHF	Süper Yüksek Frekans SHF	Aşırı Yüksek Frekans EHF
↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
300Hz	3KHz	30KHz	300KHz	3MHz	30MHz	300MHz	3GHz	30GHz
								300GHz

LF (30-300KHz)	MF (300KHz-3MHz)	HF (3-30MHz)	VHF (30-300MHz)	UHF (300MHz-3GHz)	SHF (3-30GHz)
181KHz Radyo2 (Ank)	Deniz Haberleş. (415-535KHz)	Deniz Haberleş (3-4MHz) veya (27.5-30MHz)	FM Radyo (87.5-108MHz)	NMT-450 Uplink (415.5-419.975MHz)	3,5,6 ve 7GHz Yüksek kapasiteli analog ve sayısal R/L sistemleri
191KHz Radyo1 (Ank)	702 KHz Radyo2 (İst)	Polis (4-27.5MHz)	167.025 MHz Çağrı F2 167.200 MHz Çağrı F1	GSM uplink (890-915MHz) GSM downlink (935-960MHz)	10,5,18 ve 25GHz Düşük kapasiteli sayısal R/L sistemleri
			174 MHz Deniz Haber.	1.5 GHz Köy R/L 1.8 GHz Köy R/L 2.5 GHz Köy R/L Orta kapasite sayısal ve Analog R/L sis. (1.7135-1.8GHz) ve (1.8-2.2975GHz)	

DCS 1800 1710-1785/1805-1880MHz

DECT 1880-1900MHz

Ek 2

TEK MODLU(SINGLE MODE FIBER) FİBERİN ÖZELLİKLERİ

ÖZELLİKLER	BİRİM	1310 nm	1550 nm
Zayıflama(Attenuation)	db /km	Maksm. 0.4	≤ 0.22
Mod Alan Çapı(Mode Field Diameter)	μm	9.2 ± 0.5	
Renksel Saçılma(Cromatic Dispersion)	ps /(nm*km)	≤ 3.5	≤ 18
Koruyucu Çapı(Cladding Diameter)	μm	125	

Not:

1)1310 nm ;1285 ile 1330 nm aralığını, 1550 nm;1525 ile 1575 nm dalga boyu aralığını kapsamaktadır.

2)Yalnızca 4 ve 6 FO kablolar için 1350 nm.de Optik zayıflama;maksimum 0.25 db/km, ortalama 0.22 db/km dir.

Taşıyıcı (Container) (C)

SDH transmisyön şebekesinde taşınacak olan işaret ilk olarak bir taşıyıcı (container) içine konur.Farklı PDH işaretleri yerleştirmek için, farklı boyutlarda C'ler tanımlanmıştır. Şekil 4.1.4.5 bu C'leri göstermektedir.

Adı	Bit Hızı (Mbit/s)
C-11	1544
C-12	2048
C-2	6312
C-3	34368
	44736
C-4	139264

Şekil 4.1.4.5 SDH deki taşıyıcılar.Taşdelen

Başlık (Overhead) fonksiyonları

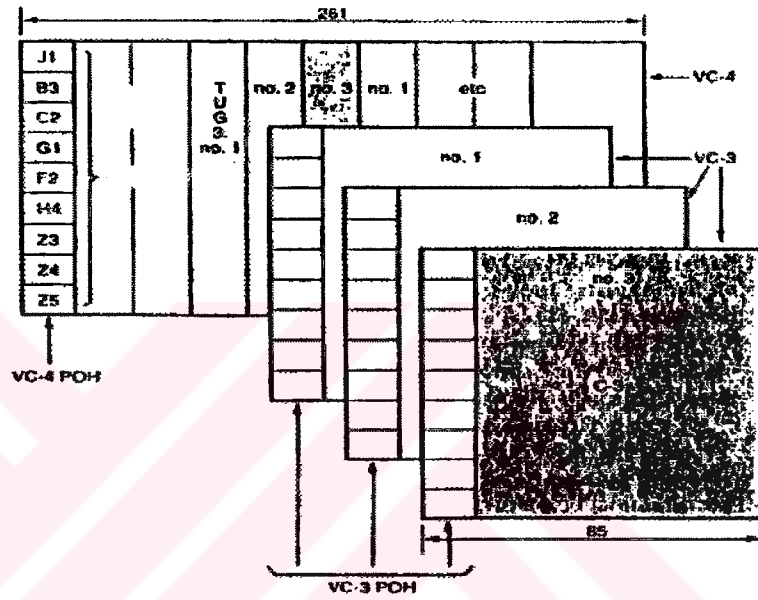
SDH'in başlık(overhead) fonksiyonları ile, işletim, ve bakım/onarım çalışmaları yapılabilmektedir.İki çeşit başlık(overhead) vardır:Yol başlığı (Path Overhead-POH) ve Bölüm Başlığı (Section Overhead-SOH).

POH, çoklama sırasında, veri alanı ile birleştirilerek C içine yerleştirilir ve veri alanı ters çoklana kadar taşıyıcı içinde kalır.Bu SDH'de yolun(path) tanımıdır.

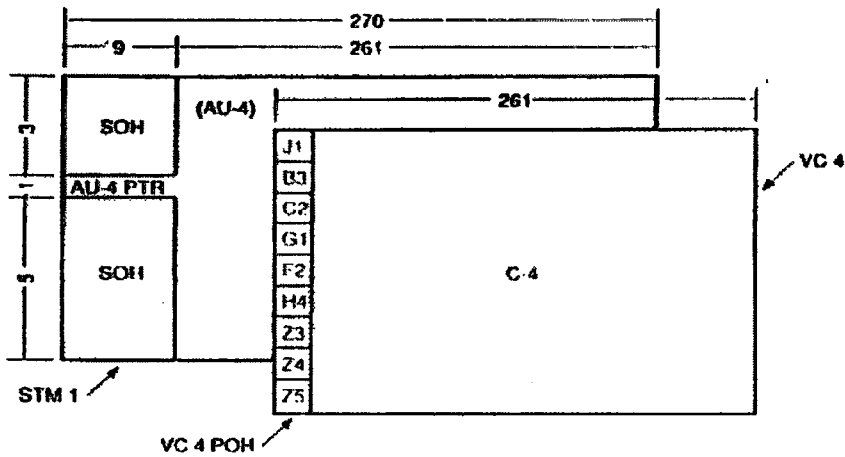
Bölüm başlığı (section overhead), STM-1 çerçevesinin bir parçasıdır.Burada, bölüm(section) STM-N'in çoklama ve ters-çoklama olmayan parçası olarak tanımlanmaktadır.Genel olarak, yol(path) , birden fazla bölümü (section) taşımaktadır.

SDH iki parçaya bölünür:Çoklayıcı Bölüm Başlığı (Multipleks Section Overhead-MSOH) ve Tekrarlayıcı Bölüm Başlığı(Regenerator Section Overhead-

RSOH). Tekrarlayıcılarda yalnızca RSOH işlenir, MSOH'la hiçbir işlem yapılmaz. Şekil 4.1.4.7 ve Şekil 4.1.4.1'de SDH çerçevesi içinde üst kısımda SOH olarak belirtilen kısım RSOH ve alt kısımda SOH olarak belirtilen kısım da MSOH'dur. Şekil 4.1.4.6 tanımlanmış olan SOH ve VC-4/3 POH byte'larının haritalandırılmasını göstermektedir. Her byte 64 Kbit/s hızında bir iletim kapasitesini temsil etmektedir. Buradan, SOH'un kapasitesi 4.6 Mbit/s olarak bulunur.



4.1.4.6 VC-3 veri alanı ile VC-4



ŞEKİL 4.1.4.7 VC'nin Yapısı

Bölüm başlık alanı (Section overhead) (SOH)

Bölüm Katmanı (Section layer) ların yönetimi ile ilgili bilgi taşır.

SOH, çerçeve eşzamanlaması için gereken bayt'larıyla birlikte, yönetim (management) ve belirleme (ID identification) amaçlı birçok bayt'ı da kapsar.

Şekil 4.1.4.8 SOH'un yapısını ve içeriğini göstermektedir.SOH byte'ları aşağıdaki parçalara ayrılabilir.

- A1, A2

Çerçeve eşzamanlaması için her STM-1 çerçevesi içinde üçer defa tekrar ederler.İçerikleri şöyledir:

A1:11110110

A2:00101000

- B1, B2

Parite bayt'ları, tekrarlayıcılar, çoklayıcılar ve şebeke uçları arasındaki bit hatalarının izlenmesi için kullanılırlar.

- C1

STM-N içinde tek tek STM-1'leri belirler.

- D1, D2

Veri iletişim kanalı (Data communication channel).D1 ve D2 byte'ları çoklayıcı bölümündeki veri santralleri için veri kanallarını taşırlar.

Örneğin, servis içi izleme için kullanılırlar.

- E1, E2

Servis kanalları (Orderwire channels) hat teçhizatları , çoklayıcılar ve tekrarlayıcılar arasındaki ses iletimi için kullanılan servis kanallarındırlar.

- F1

Kullanıcı kanalı (User channels).Şebeke işletimi gibi kullanıcı uygulamalarına ayrılmıştır.

- K1 ,K2

APS kanalları.Bu bayt'lar otomatik koruma anahtarlama (Automatic Protection Switching-APS) için ayrılmıştır.

- Z1, Z2

Yedek kanalları.

Yol başlığı(Path overhead) (POH)

Şekil 4.1.4.7'de görüldüğü gibi, VC-4'leri , POH ve C'ler oluşturmaktadır.

POH, VC-4'ün ilk kolonunda bulunmaktadır ve byte'ları aşağıdaki gibidir:

- J1

Periyodik olarak belirlemenin(ID) (VC-n' nin yol bağlantısı) eklenmesi için kullanılır.

Belirleme işlemi , sürekli olarak yol bağlantısını (path connection) denetler.

- B3

Parite baytı.Tekrarlayıcılar, çoklayıcılar ve şebeke uçları arasındaki bit hatalarının izlenmesi için kullanılır.

- C2

VC veriaları belirleme (ID).Taşınacak sinyalin birleşimi (payload composition) için ID taşır.

- G1

Yol statü kanalı (Path status).Uç'tan uca yolun durumu hakkında bilgi taşır.

- F2

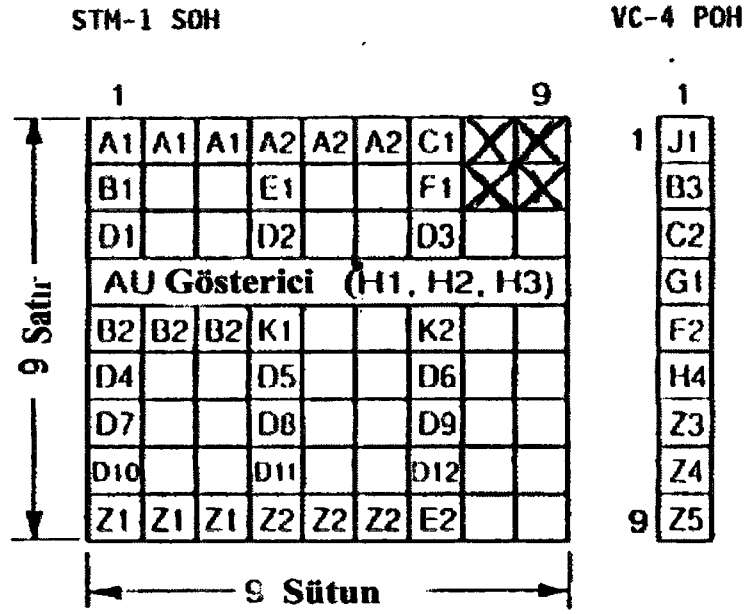
Yol kullanıcı kanalı (Path user channel).F1 gibidir;uçtan uca kullanıcı haberleşmesi sağlar.

- H4

Çoklu-çerçeve belirleyicisidir(Multiframe indicator).

- Z3-Z5

Yedek kanallar.



Şekil 4.1.4.8 SOH ve POH bayt'larının konumları. Taşdelen

Hayali taşıyıcı (Virtual container) (VC)



Şekil 4.1.4.9 VC' nin yapısı. Taşdelen

Her bir C kendi POH ine sahiptir. POH , PDH/SDH arabağlantısında sonlandırılır. Böylece bir VC= C+POH dir. (ŞEKİL 4.1.4.9)

SDH , farklı hızlarda ve yapılarda farklı sinyalleri iletebilmek, tüm sistemi alt seviyeye indirmeden yeni bir sinyal ekleyebilmek ve çıkarabilmek için tasarlanmıştır. Bu alt sinyalleri taşıyacak bir hayali taşıyıcı (VC) sayesinde

başarılır.VC, Eşzamanlı Taşıma Birimi (Synchronous Transport Module) içinde taşınır ve her şebeke düğüm noktalarında, payload'dan bağımsız olarak işlenir.

VC'nin içinde Şekil 4.1.4.7'de görüldüğü gibi, Yol Başlığı (Path Overhead-POH) ve taşıyıcı (Container-C) bulunur.C içindeki veri alanı'nda , alt VC'ler veya PDH'in seviyeleri gibi diğer sinyaller olabilir.VC'lerin yapıları, taşıdıkları veri alanı'na göre değişir.Taşıdıkları veri alanlarına göre değişir.Taşıdıkları Veri alanlarına göre VC'ler ,Tributary Birim Grup'lara (Tributary Unit Group-TUG) bölünür.TUG'lar ise Tributary Birim'lere (Tributary Unit-TU) ayrılır.Her TU, bir VC kanalı için iletim kapasitesini belirler,TUG'lar ise bir üst seviyedeki VC içinde TU'nun yerini belirler.Tek bir TUG-2, bir çeşit TU taşır.Bir TU-2 veya üç TU-12 veya dört TU-11.

Üst seviye VC'nin TUG-2'leri değişik türde TU'lar taşıyabilir.Alt seviyedeki VC'ler ise, bir tek üst seviyeli VC tarafından taşınır.Örneğin, bir VC-4 , 30 kanal hiyerarşi sisteminden 2 Mbit/s sinyalleri, ve 24 kanal hiyerarşiden 1.5 ve 45 Mbit/s sinyallerini aynı zamanda taşıyabilir.

Şekil 4.1.4.6 , VC- 4 ile TUG-3 altyapısının , üç VC-3 taşıdığı gösterilmektedir.VC-3'ün taşınması için her TUG, bir TU-3 ve ilgili göstericiyi kapsar.TU içinde sabit bir bölgede bulunan TU gösterici, bu TU içindeki VC'nin pozisyonunu ve bir üst seviyedeki VC ile ilişkisini belirler.

Farklı bir çok VC'lerin (VC-2,VC-4) birleştirilmesi, PDH ile kıyaslandığında, taşıma kapasitesini arttırır.Örneğin , bir STM-16 içindeki dört VC-4 ,600 Mbit/s kapasiteli bir kanal sağlar.Bu özellik, gelecekteki 600 Mbit/s anahtarlarına bağlanmada büyük bir kolaylıktır.TV sinyallerini beş VC-2, bir VC-2-5C içinde , verimli biçimde taşıma da diğer bir olanaktır.Farklı tipde VC ler mevcuttur.Bunlar, VC-11,VC-12,VC-2,VC-3 ve VC-4 dür.Hepsinin kendi taşıyıcıları (container-C) ve POH leri vardır.Farklı VC lerde iki gruba bölünür.

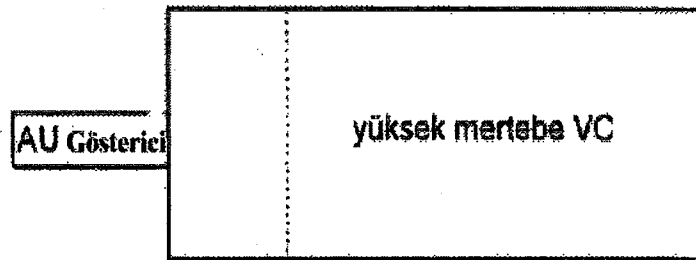
Düşük mertebe VC ler:VC-11,VC-12,VC-2

Yüksek mertebe VC ler:VC-3, VC-4 veya Tributary Birim Grubu (tributary unit group) TUG-2,TUG-3 ların birleşimi.

Yönetici birim (Administrative unit) (AU) ve Gösterici (Pointer)((AUPTR)

Yol katmanları'nın (Path- layer) adaptasyonu için kullanılan gösterici. Bir AU yüksek mertebe VC ve bir AU Gösterici (Pointer) dan oluşur(Şekil 4.1.4.10).AU Gösterici , yüksek mertebe VC çerçeve yapısının başlangıcının, Çoklanmış Bölüm Çerçevesi (Mux.Section Frame) (STM-N) başlangıcına göre olan konumunu gösterir.Bu bilgi, yüksek mertebe yol katmanı'nı çoklama katmanı'na adapta eden faz ayarlaması için gereklidir.AU Gösterici'nin konumu, STM-N içinde sabitlenmiştir.

Yönetici Birim (Administrative Unit) tipleri:AU-3 ve AU-4 dür.İlgili VC ler ve onların AU Gösterici(Pointer)'lerinden oluşur.Çerçeve içinde eğer bir VC-4 taşınacaksa , taşıma kapasitesi Yönetici Birim-4 (Administrative Unit-4, AU-4) olarak isimlendirilmiştir.Eğer VC'ler veri alanı ise, bu kapasite Yönetici Birim-3'e (Administrative Unit 3-AU-3) bölünmektedir. AU-4 Göstericisi (AU-4 PTR), STM-1 veri alanı içinde VC-4 çerçevesinin başlangıcını belirler ve VC-4 ile birlikte AU-4'ü oluşturur.SOH ile birlikte, STM-1 çerçevesi tamamlanmış olur.

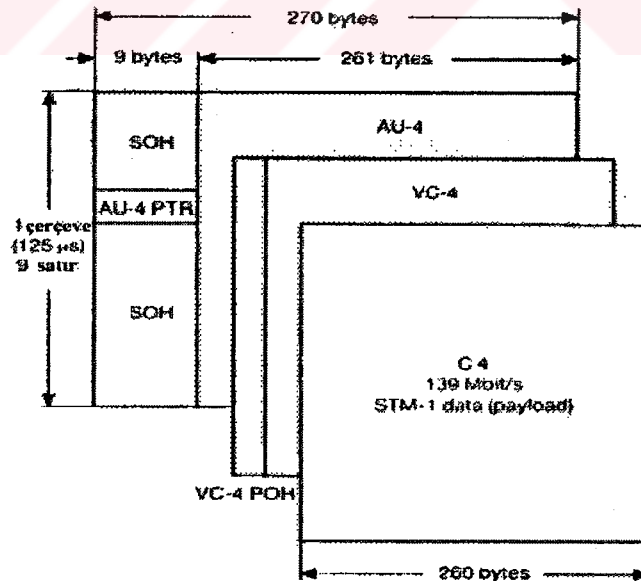


Şekil 4.1.4.10 Yönetici birim (AU)(Örnek olarak AU-4).Taşdelen

STM-1 çerçevesi içinde AU'ların işlevi, üst seviyedeki VC'ler içindeki TU'ların işlevine karşı gelmektedir. AU'nun kullanılma nedeni, Kuzey Amerika ve Avrupa standartları arasındaki boşluğu doldurmaktır. Aslında AU, TU'dan başka bir şey değildir. Tek fark; AU, STM-1 çerçevesi ile ilgili olarak tanımlanırken, TU, VC ile ilgili tanımlanmıştır. (Şekil 4.1.4.11)

Çerçeve içinde veri kanalları (Payload)

Payload yüksek mertebe VC(Hayali Taşıyıcı) ler içerir. Yüksek mertebe bir VC ise, düşük mertebe VC'ler içerir. Tüm VC ler yol katmanı seviyesinde POH ve veri alanı içerir. Hayali Taşıyıcıların(VC) 'hayali' olarak adlandırılmasının sebebi, sadece STM seviyesinde var olan hayali varlıklar olmasıdır ve 'taşıyıcı' olarak adlandırılmasının sebebi ise bilgi taşınması (belirli bir işaret) dir. İletilen tek tek tributari kanalları, "veri kanalı" (payload) alanları içindedir. Bu tributariler PDH sisteminin her seviyesi olabilir. Yapı, çerçeve ile veri kanallarının zaman içindeki pozisyonlarının olabildiğince birbirinden bağımsız olması düşünülerek yapılmıştır. Tek tek veri kanalları, STM-1 çerçevesinde nominal eşzamanlı olarak C'nin içine yerleştirilmiştir.



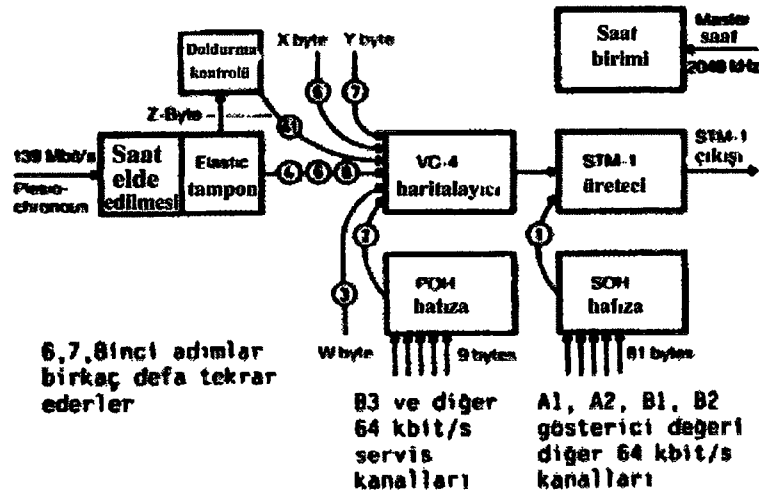
Şekil 4.1.4.11 VC-4'de Yönetici biriminin (Administrative unit AU) yapısı ve STM-1 içinde AU-4 gösterici(pointer) (AUPTR)

PDH tributarilerini, eşzamanlı şebeke saatine adapte edebilmek için bir çeşit doldurma tekniği kullanılmıştır. Bu amaçla, C(Taşıyıcı-Container)'a 9 byte'lık POH eklenmiştir. Şebekeden iletilen sonuçlar, VC'ye yerleştirilir. STM-1 çerçevesi içinde VC'nin başlangıç yerini belirten gösterici ile birlikte, AU yada, birçok C'ler bir grup içinde toplanmışsa TU bir form içinde birleştirilirler.

Birkaç TU'nun, Tributary Birimleri Grubu (Tributary Unit Group-TUG) içinde birleştirildiği yukarıda belirtilmişti. TUG ise VC içinde toplanır. Sonuç olarak, SOH ile birlikte AU, STM-1 formunu alır.

STM-1 Çerçevesinin üretilme adımları şöyle sıralanabilir

İlk 9 kolon, SOH bellekten alınır, POH baytı ve W baytı VC-4 haritalandırıcıya (mapper) gelir. Elastik tampondan (buffer), peş peşe 12 bilgi baytı aktarılır. Bu akış X ve Y bitlerinin eklenmesi ile kesilir. 41'inci adımda 1 doldurma biti taşıyan Z baytı eklenir ve doldurma bölgesi, X baytı içinde sürekli olarak belirlenir. 12 veri byte'ından sonra tekrar süreç SOH'dan başlar. Şekil 4.1.4.12

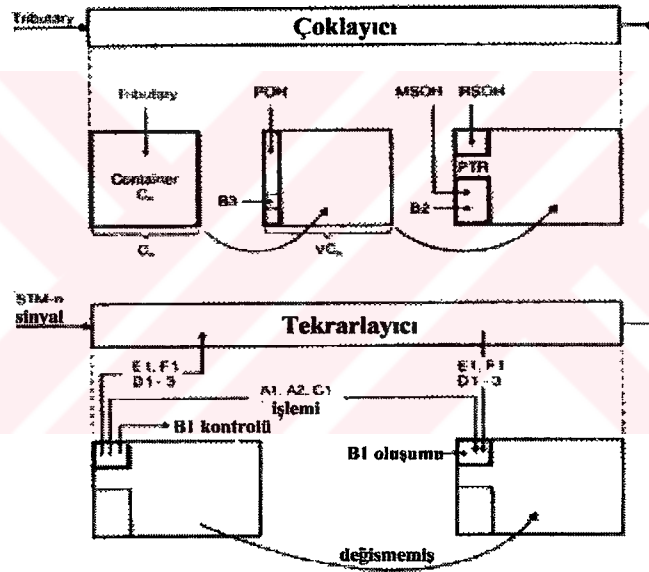


Şekil 4.1.4.12 STM-1 Çerçevesinin üretiminin akış şeması. Taşdelen

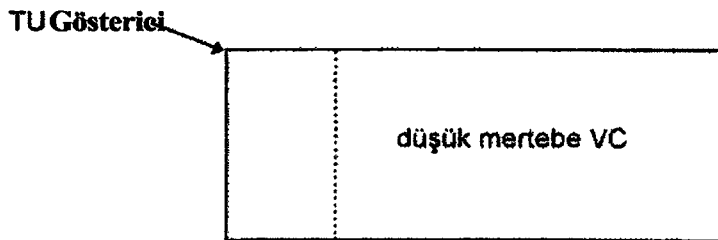
Tekrarlayıcıdan tekrarlayıcıya ve çoklayıcılar arasında arıza izlenmesi, RSOH içinde yer alan B1 baytı ile etkili bir şekilde olur.

MSOH içinde üç B2 baytı çoklayıcılar için önemlidir. Test , üç başarılı baytı üzerinden yapılır. Arıza izlenmesinin noktadan-noktaya ve çoklayıcı bölümlerinde yapılabilmesi için, Gösterici (Pointer) artışları sayılır.

POH içinde bulunan B3 byte'ı , veri akışı üzerinde arıza izlenmesi için kullanılır. Bu byte her C için tanımlanır ve aynı seviyedeki çoklayıcılar tarafından değerlendirilir. Arızaları daha kesin belirleyebilmek için, arıza seçiciliği arttırılmıştır. Şekil 4.1.4.13



Şekil 4.1.4.13 Değişik parite testlerinin yerleri. Taşdelen



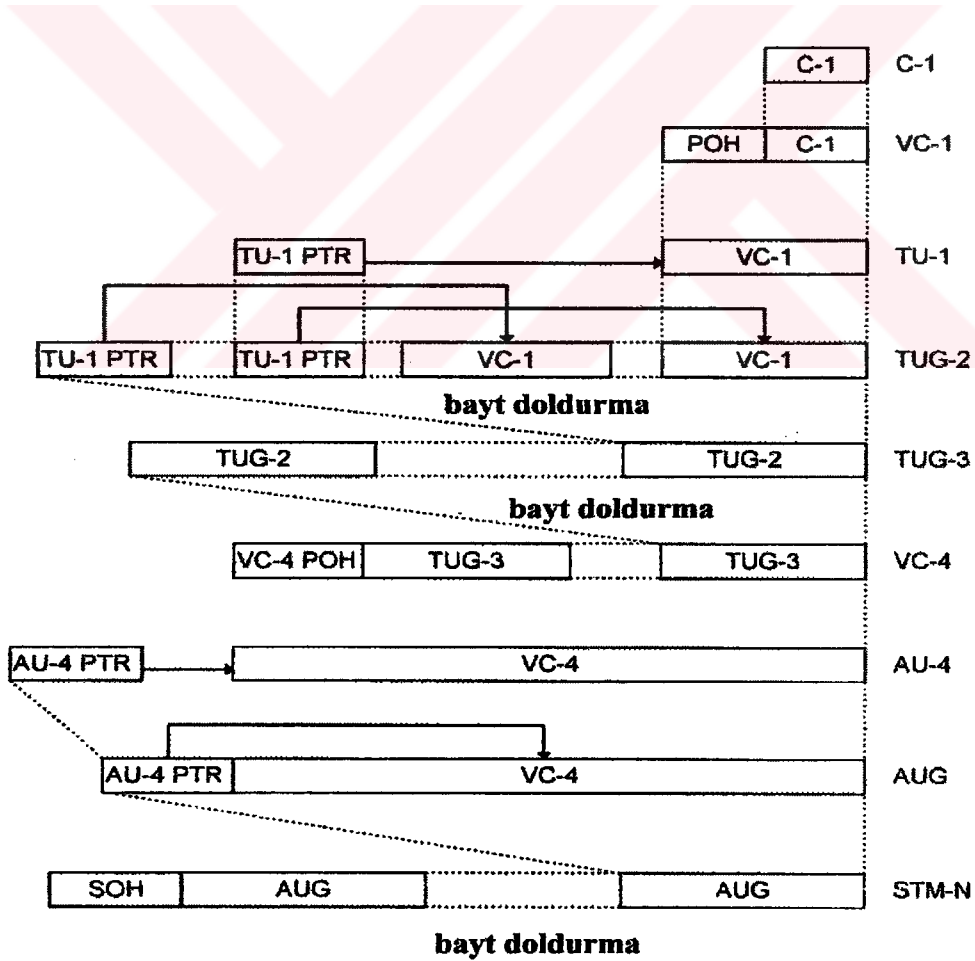
Şekil 4.1.4.14 Tributary Birimi (TU)

Şekil 4.1.4.15’da SDH de çoklamanın nasıl yapıldığının bir örneği verilmiştir.Bu bölümde daha sonra açıklayacağımız bazı yeni terimler de tanıtılmaktadır.

Trib. birimi (Tributary unit) (TU)

Bir TU, düşük mertebe VC ve TU Pointer’den oluşur. (Şekil 4.1.4.14) TU Pointer, düşük mertebe VC nin başlama noktasının yüksek mertebe VC başlama noktasına göre pozisyonunu gösterir.Bu bilgi iki VC nin fazını ayarlamak için gereklidir.

TU tipleri: TU-1,TU-2,TU-3 dür.Bunlar kendi VC lerine ve ilgili TU Pointer’ine karşı düşerler.



Şekil 4.1.4.15 C-1’den STM-N’e çoklama.Taşıdelen

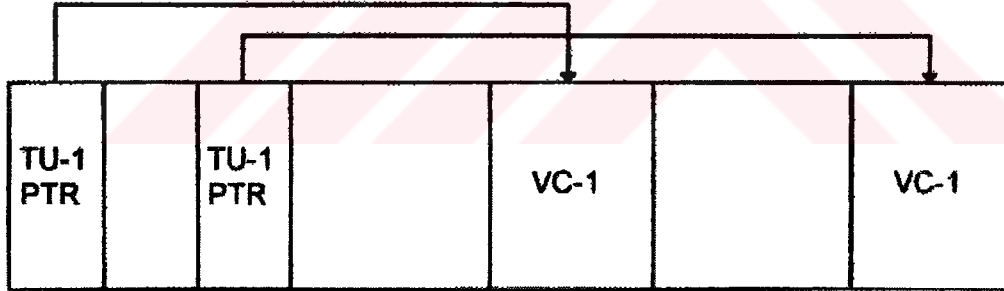
Trib. birim grubu (Tributary unit group)(TUG)

Yüksek mertebe VC payload içinde belirli bir pozisyona sabitlenmiş bir veya daha fazla TU, TUG yapısını oluşturur.(Şekil 4.1.4.16) TUG'lar esnek bir şekilde belirlenebilir.Bir TUG farklı tipde TU'lardan oluşturulabilir fakat belirli bir TUG yapısında aynı anda sadece aynı tip TU ların olmasına izin verilir.

TUG tipleri:TUG-2 ve TUG-3 dür.

Bir TUG-2 özdeş yapıda TU-1 lerin homojen olarak bayt doldurma (byte interleaving) tekniğiyle çoklanmasından veya bir adet TU-2 den üretilir.

Bir TUG-3 özdeş yapıda TUG-2 lerin homojen olarak bayt doldurma tekniğiyle çoklanmasından veya bir adet TU-3 den üretilir.

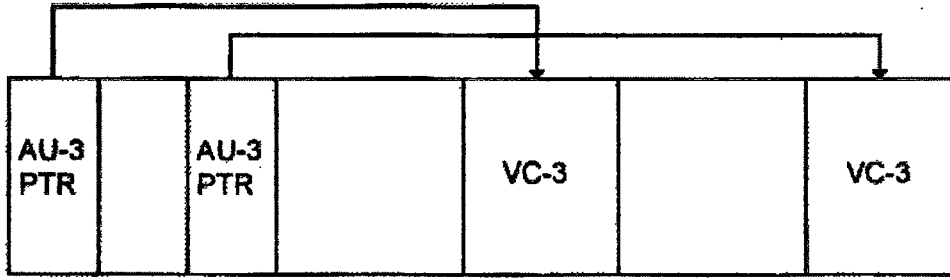


Şekil4.1.4.16 Tributary birim grubu (örnek olarak TUG-2)(3 adet TU-1 ile oluşmuş)

Yönetici birim grubu (Administrative unit group) (AUG)

Bir STM-N payload'u içinde, sabitlenmiş ve tanımlanmış pozisyonadaki bir veya daha fazla AU'lar bir AUG oluşturur.(Şekil 4.1.4.17).

Bir AUG, homojen ve byte interleaved asamblajlı AU-3'ler veya bir AU-4'den oluşur.



Şekil 4.1.4.17 Yönetici birim grubu(AUG)

Gösterici (Pointer) teknolojisi

Göstericiler (Pointers) ,VC'lerin içinde bulundukları üst yapıya göre AU veya TU gösterici'leri olarak VC'lerin yerini tanımlar.Göstericiler , taşıma kanalları içine (AU veya TU) yerleştirilen VC'lerin bit oranlarının uyumlandırılması, bir diğer klasik deyişle doldurma(justification-stuffing) için kullanılırlar.

Bu yaklaşımın avantajları şöylece sıralanabilir:Çerçeve birleştirme tamponlarına (buffer'larına) ve 125µs slip tamponlarına karşı (santralllarda ve çapraz bağlantı sistemlerinde kullanılan) etkili bir önleme yöntemidir ve gecikmeyi ortadan kaldırır.Slipten kaynaklanan tampon aşırı yüklenmesi ve ilişkili olarak veri kaybı engellenmiş olur.

Çoklayıcı ve ters-çoklayıcı, bir yada iki gösterici yardımıyla , STM-N sinyali içinden herhangi tek bir tributarinin her bayt'ı kolayca bulunur.Bu özellik, tributary sinyallerini şebeke düğümlerinde elektronik olarak yönlendiren çapraz bağlı (SDH Digital X Cross-Connect-SDXC) sistemlerin kurulmasında büyük kolaylık sağlar.

Ekleme/Çıkarma Çoklayıcılar (Add/Drop Mux.-ADM), SDXC'nin daha az kapasiteli ve anahtarlama yapabilirliği azaltılmış uygulamasına bir örnek olarak verilebilir.

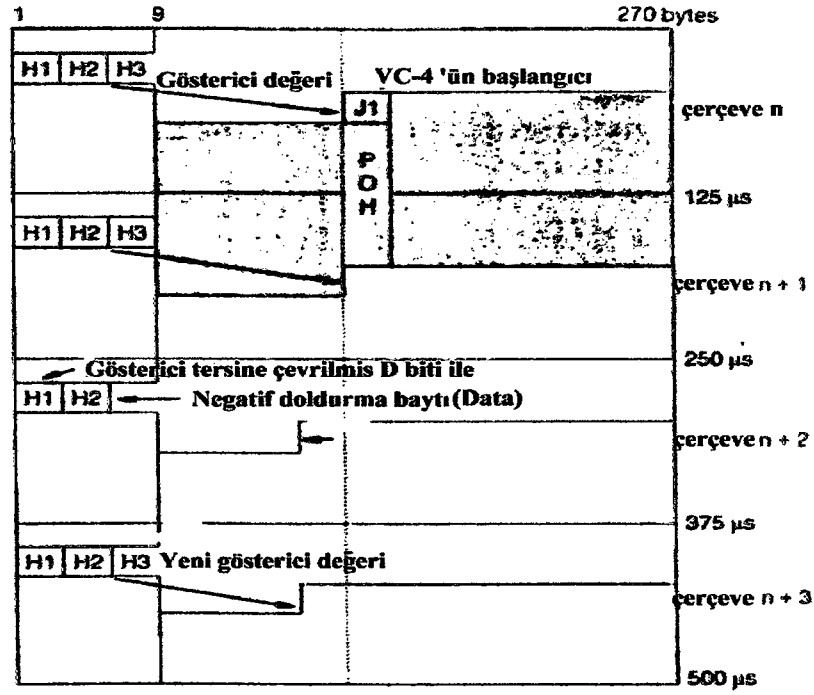
SDH çoklayıcıları, çok hassas merkezi saat kaynaklarınca kontrol edilir. Gerçek şebekede faz farklılıkları olduğunda ve trafik uluslar arası sınırları geçerken gösterici bazen gerekli olmaktadır. Daha önceden işaret edilerek, gösterici yalnızca her dört çerçevede bir değiştirilebilir. Bu değişiklik üç baytı etkiler.

Gösterici, zaman içinde daha sonra gelecek bir noktaya doğru kaydırılırsa (Şekil 4.1.4.18'e sağa doğru), önceki üç bayt'lar iptal edilir. İletilen sinyalin kaynağındaki hızı, sistemin saatinden hızlı ise, ek bir iletim kapasitesi sağlanmalıdır. Bu, gösterici yerinde olur ve üç bit kaydırılır. Eğer saat ayarlanmaz ise, düzenek (konfigürasyon) şebeke içinden geçer.

Zincirli gösterici yapısı da olasıdır. Bu durumda, AU-4 gösterici, ilk adım olarak VC-4'ü belirler. Sabit yerde, VC-4'ü belirler. Sabit yerde, VC-4 ile beraber dört başka gösterici de yer alır ve bunlar, dört hayali taşıyıcının (VC-31) başladığı yeri, VC-4'e göre belirler.

Böylece bir tarafta, her hangi bir zamanda, VC içine veri sinyallerinin bir üst seviyedeki çerçeve içine, tamponsuz eklenebilmesi sağlanır. Diğer tarafta, bir üst seviyenin çerçevesine göre olan VC faz değişiklikleri, uygun gösterici değişiklikleri ile düzeltilir. Bu değişikliklerin ve faz kaymalarının nedeni, gerçek şebeke içinden iletim ortamında yada kısımlarda, saat ile eş zamanlanamamaktan kaynaklanan gecikme değişiklikleridir. Çoklayıcı grubunun çözülmesi sırasında, gösterici teknolojisi bir STM-N çerçevesinde, her veri kanalının yerinin bulunmasını sağlar. Böylece, şebeke düğümlerinde düşürme ve ekleme (drop&insert) (veri kanallarının eklenmesi (insertion) ve çıkarılması (drop)) işlemi çok kolaylaşır.

PDH sistemlerinde, istenen veri kanalına ulaşabilmek için, bulunulan seviyeden en alt seviyeye kadar ters çoklama etmek gerekir. Buradan da görüldüğü gibi, SDH sistemlerinde, herhangi bir seviyede, ters çoklama yapmaksızın kanalına ulaşmak olasıdır. (Şekil 4.1.4.18)



Şekil 4.1.4.18 Negatif doldurma (stuffing) için gösterici(pointer) değişikliği.Taşdelen

Bazı temel tanımlar

- SDH haritalama (mapping)

SDH şebekesine girişte Trib. işaretlerin VC ye adapte edildiği prosedür.Hem asenkron hemde senkron tib. işaretleri adapte edilebilir.Sonuç olarak farklı tipde haritalama prosedürleri tanımlayabiliriz.

- Asenkron haritalama (mapping)

1.544 Mb +/- 50 ppm, 2.048 Mb +/- 50ppm

6.312 Mb +/- 30ppm

34.368 Mb +/- 20ppm, 44.736 Mb +/- 20 ppm

139.264 Mb +/- 15ppm lik işaretleri

- SDH sıralama (aligning)

Çerçeve offset değerinin, TU veya AU ile birleştirildiği bir prosedürdür.

- Gösterici işlemi (pointer processing)

SDH ,125µsn lik zaman peryoduna , herhangi bir trib. veya yönetim işaretine bir miktar bayta atar.Ör: 2048 kbit/s için 32 byte gibi.Normalde bu bayt'ların sayısı doğru olmakla birlikte gerçek bir uygulamada 2048 kbit/s lik işaretin hızı biraz daha düşük veya biraz daha yüksektir.

Bu faz değişimini çözmek için, SDH teçhizatlarında zaman zaman bir miktar bayt ekleyen veya çıkaran bir mekanizma mevcuttur.

Bu mekanizmaya gösterici ayarlamalı frekans doğrulaması veya gösterici mekanizması denir.Her çeşit işaret, AU ve TU içindeki VC ler göstericiler vasıtasıyla doğrudan yerleştirilebilir ve erişebilir.

- SDH çoklama(multillexing)

Düşük mertebe yol katmanı işaretinin yüksek mertebe yol katmanı işaretine adapte edildiği.

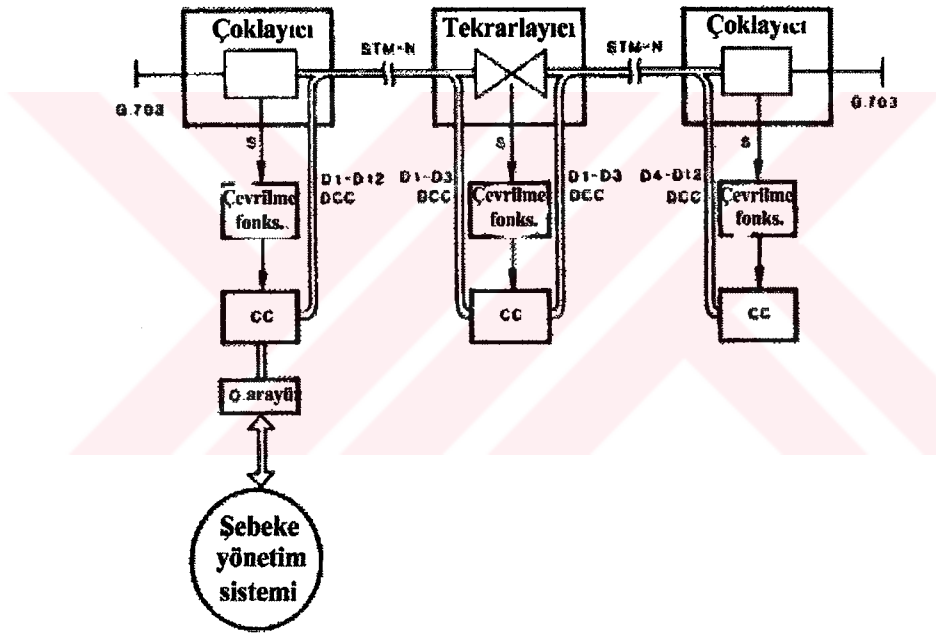
Veya birkaç yüksek mertebe yol katmanı işaretinin , çoklama katmanına adapte edildiği bir prosedür.

- Kademeli ek (Concatenation)

Birkaç VC nin diğerleriyle birleştirildiği bu kapasitenin tek bir taşıyıcı gibi kullanıldığı bir prosedür.

Şebeke izleme ve yönetim sistemlerinin fonksiyonları

SDH, şebeke yönetiminin daha verimli yapabilmek için şebeke statüsünü izlemeyi sağlayan yeni fonksiyonlar sağlamaktadır. Böylece SDH sistem elemanları, eski sistemlerde yalnızca test cihazlarıyla yapılabilmekte olan belirli performans değerlendirmelerini başarırlar. Farklı seviyelerde hata bulabilmek için ayrılmış olan B1, B2 ve B3 parite baytları arıza izlemede kullanılırlar. SDH içinde bulunan D- kanalları, alarm ve statü mesajlarını, Q- arabirimlere iletebilmek için kullanılır. Q arabirimi link ile şebeke sistem merkezi arasındadır.



S : Alarm ve mesajlar izleme
CC: İletişim kontrol (communication control)

Şekil 4.1.4.19 SDH Şebeke izleme cihazının fonksiyonları. Taşdelen

Şekil 4.1.4.19'de şebeke denetleme fonksiyonları için kullanılan veri kanalları akış şeması görülmektedir. Çoklayıcılardan ve tekrarlayıcılardan gelen alarmlar

ve kontrol sinyalleri, S izleme noktasından elde edilirler ve çevrim üniteleri tarafından, bu sinyaller object temelli mesajlara çevrilirler.İletişim kontrol (Communication Control-CC) tarafından desteklenen bu veri paketleri, data iletişim kanallarına (Data Communication Channels-DCC) girilir ve SDH içinde şebeke düğümlerine iletilir.

Şebeke denetleme sistemine bağlanan ara birim, Q- arabirimdir ve bilginin aktarılması için kullanılır.(Taşdelen ,1997)

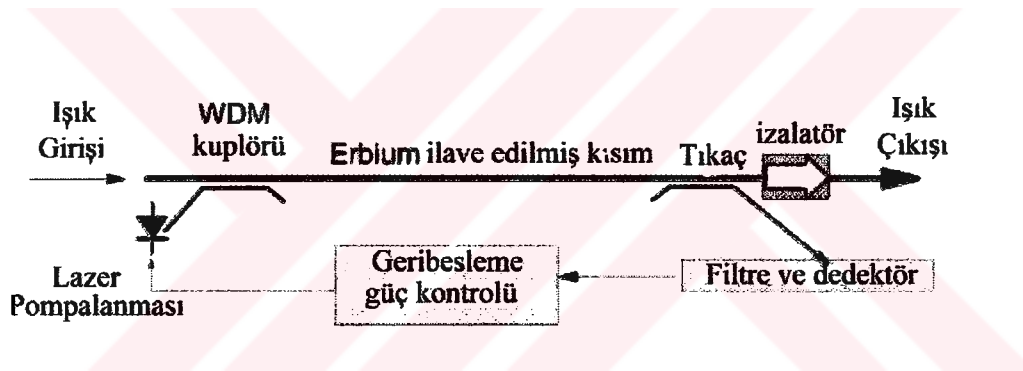


Ek 4

ERBİUM İLAVE EDİLMİŞ FİBER AMPLİFİKATÖR (EDFA)

EDFA kısa mesafe bir fiberden(yaklaşık 10 ile 200 metre arasında değişen) oluşur.Bu fibere yeryüzünde nadir bulunan Erbium elementinin iyon formu kontrollü olarak ilave edilir.Bunu Şekil 4.2.2.2’de görmek mümkündür.

Prensip olarak lazerin çalışma prensibinin aynısıdır ve çok basittir.Erbium iyonları çeşitli enerji seviyelerinde bulunabilirler.Bir erbium iyonu yüksek enerji bölümünde ise ışığın fotonu erbium iyonunu uyatarak bir kısım enerjisini bırakmasını sağlar ve böylece daha düşük seviyeli enerji durumuna dönmüş olur ve daha karalı bir hale gelir.



Şekil 4.2.2.2 EDFA.Dutton

Sistem elektiksel olarak çalışmada ampifikasyon işlemi tamamen optik ve tek modlu kısa mesafeli fiberinin içine yerleştirilmiştir.Lazer diyonu çok yüksek güçlü bir ışık hüzmelerini bir dalgaboyunda oluşturur.(10 ile 200mWatts arasında değişen) Öyleki erbium iyonları bu ışık hüzmelerini emerler ve sınır değerlerine atarlar.Operasyon aşağıdaki şekilde oluşur:

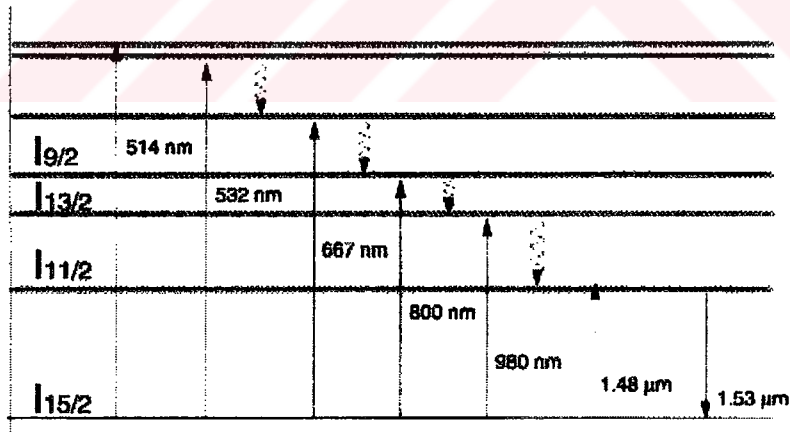
Yüksek güçlü bir ışık hüzmeleri gelen sinyal ile bir dalga boyu seçici kuplör kullanarak karıştır.(Gelen sinyal ve uyarı ışığı tabiki farklı dalga boylarında olmalıdır.)Karışık ışık fiberin erbium iyonları içeren çekirdek bölümüne gönderilir.

Yüksek güçlü ışık hüzmeleri erbium iyonlarını daha yüksek enerji seviyelerine çıkarır.

Sinyale ait fotonlar (gönderilen ışıktan daha farklı dalgaboyunda olan) yükseltgenmiş erbium atomları ile karşılaştığında, erbium atomları enerjilerinin bir kısmını sinyale geri verir ve daha düşük enerji seviyelerine geri döner. Bu olay bütün dalga boylarındaki sinyal için geçerli değildir. Dalgaboylarının bir aralığı vardır; buda yaklaşık olarak 24 nm genişliğine yükseltgenmiştir.

Belli bir noktada erbium enerjisini ek fotonlar şeklinde geri verir ki bu fotonlar yükseltgenmiş sinyalle tam olarak aynı faz ve yönde olurlar. Böylece sinyal sadece gönderildiği yönde yükseltgenmiş olur. (Bu olay normaldir. Çünkü bir atom lazer gibi ışık yaydığı anda enerjisini gelmekte olan ışıkla aynı yönde ve fazda geri verir. İşte bu lazerlerin çalışma yöntemidir.) Böylece bütün ek sinyal gücü gelmekte olan sinyalle aynı fiber moduna yönlendirilir.

Genellikle çıkışa bir izolatör yerleştirilerek, bağlanmış olan fiberden geri dönebilecek yansımalarından korunur. Bu tip yansımalar ampfilikatörün çalışmasını bozar ve en kötü durumda ampfilikatörün bir lazer gibi çalışmasına sebep olur.



Şekil 4.2.2.3 Erbium'un enerji seviyeleri. Dutton

Enerji seviyeleri yatay çizgilerle gösterilirken, belli bir enerji seviyesi etrafında merkezlenmiş enerji bandları olurlar. Enerji seviyelerindeki bu tip dağılıma Fermi-Dirac Dağılımı denir.

Operasyon Şekil 4.2.2.3 referansı ile anlaşılır. Şekildeki enerji seviyeleri gerçekte alt seviye gruplarıdır. $I_{15/2}$ bandı 8 tane alt seviye, $I_{13/2}$ bandı 7 tane alt seviye ve $I_{11/2}$ bandı 6 tane alt seviyeye sahiptir. Elektronlar bulundukları bantta (enerjilerine bağlı olarak) bir alt seviyede yer alırlar. İlâveten her alt seviye termal enerjiyle genişletilebilir. Bunun sonucu olarak her bant biraz daha genişler. Böylece, bir elektron enerji seviyeleri arasında atlayacağı zaman oldukça geniş bir enerji seviyesi aralığı mümkün olur. Sonuçta sistem daha geniş bir aralıkta çalışır.

Bu işlem için mümkün olabilecek pek çok uygulama vardır. Ama en iyisi ışığın 980 nm de pompalanması ile olur.

- 980 nm deki bir foton $I_{15/2}$ seviyesindeki bir elektronla etkileşir.
- Elektron fotondan enerji alır ve $I_{13/2}$ bandına geçer. Foton varlığı sona erer.
- $I_{13/2}$ bandı karalı değildir ve bu seviyedeki elektronlar bir alt seviyeye ($I_{11/2}$ bandı) yaklaşık olarak 1 mikro saniye yarı ömürle düşerler. Bu şekilde bırakılan enerji kafes titreşimleri (phonons) tarafından emilir.
- $I_{11/2}$ seviyesi yarı kararlıdır. Bu seviyedeki elektronlar atomsal vadede oldukça uzun sabit kalabilirler. Spontane salınım için yarı ömür bu seviyede yaklaşık olarak 11ms'dir. Eğer bu seviyedeki bir elektron kendiliğinden düşerse, 1550 nm bandı civarında bir foton ışığı yayar.
- Işıktaki bir foton $I_{11/2}$ bandındaki yükseltgenmiş bir elektrona ulaşarak etkileşimde bulunduğunda elektron en alt seviyeye atlar. Bu olay gerçekleştiği zaman ışık aynı fazda ,yönde ve etkileşime sebep olan fotonla aynı enerjide(dalgaboyunda) bir fotonu açığa bırakır.
- Herhangi bir lazerin amplifikasyonu için bir inversiyon olayının oluşmasına ihtiyaç vardır. Bu demektir ki en üst seviyedeki erbium iyonlarının sayısı en alt seviyedekinden daha fazla olmalıdır. Bunun nedeni erbium iyonlarının sinyali

yutmasıdır.(tıbbi pompalanan ışığı yutması gibidir.)Sinyalden gelmekte olan fotonun yükseltgenmiş erbium atomu ile karşılaşması ve yükseltgenmesi ihtimali onun en alt seviyedeki bir erbium atomu ile karşılaşarak yutulmasından daha fazladır.

Buradaki belirgin nokta, erbiumun gelen ışığı eğer belli bir dalgaboyunda ise abzorbe etmesidir.Yaklaşık 1525 nm ve 1570 nm dalgaboyu aralığındaki ışık uyarılmış erbiumun emisyon değerinin aktif olmasına sebep olur ve böylece sinyal amplifike edilmiş olur.Diğer dalga boyundaki ışıklar sistemi etkilemeden geçer giderler.

Özet olarak sistem böyle çalışır.Sabit bir ışık hüzmesi(yani pompalanan ışık) doğru dalga boyunda erbium atomlarını etkiler.Bu sinyal gelen sinyalle karışarak bir dalgaboyunda seçici kuplöre girer.Bu ışık hüzmesi sabit olarak erbium atomlarını uyarılmış seviyede tutar.(Pompanın güç seviyesi bir geri besleme devresi ile kontrol edilir.)Sinyal ilave edilmiş fiber kısmından geçerken enerjisini uyarılmış erbium iyonlarından alır ve amplifike olur.

Aynı bir lazerde olduğu gibi inversiyon amplifikasyonun başlaması için gereklidir.Bu demektir ki, daha üstteki uyarılmış bir seviyede enaltteki seviyeden daha fazla erbium atomu bulunmalıdır.Erbium'un yüksek seviyedeki ömrünün uzun olmasından dolayı bu bir sorun teşkil etmez.

EDFA'nın teknik özellikleri

Belkide erbium'un sağladığı en çarpıcı teknik özellik uyarılmış seviyedeki ömrünün yaklaşık 10 ms olmasıdır.EDFA'nın pek çok teknik özellikleri vardır.

- 1.Verimli pompalama
- 2.Minimum polarizasyon hassasiyeti
- 3.Düşük ekleme kaybı

4.Yüksek çıkış gücü

5.Az gürültü

6.Yüksek hassasiyet

7.Düşük distorsiyon ve minimum kanallar arası karışma

EDFA'nın nicel (ölçülebilen) anlamdaki yükseltici özellikleri şunlardır:

1.Kazanç(amplifikatörün):Desibel olarak giriş gücünün çıkışa oranıdır.

2.Kazanç katsayısı:Kazanç katsayısı bir amplifikatörün verimliliğinin en iyi göstergesidir.Bu küçük sinyal kazancının pompa gücüne bölünmesi ile ifade edilir.

3.Bant genişliği:Bu amplifikatörün çalışacağı dalga boyu aralığıdır.

4.Kazanç doyumu:Bu nokta giriş gücündeki bir artışın durarak çıkış gücünde bir artışa sebep olduğu noktadır.Pompanın bütün gücü kullanılmış olup hiç gücü kalmamıştır.Bu anlamda EDFA elektronik amplifikatörlerden çok farklıdır.Bir elektronik amplifikatörde kazanç doyumuna ulaşıldığı anda genellikle istenmeyen durumlar (konuşmaların karışması ve distorsiyon) oluşmaya başlar.EDFA doyumuna ulaştığında amplifikatörün toplam kazancı azalır fakat sinyalde herhangi bir bozunma olmaz.Bu EDFA'nın çalıştığı kazanç doyumudur.

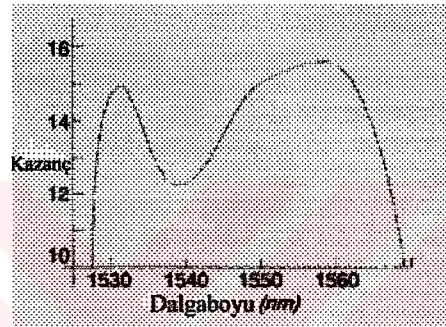
5.Polarizasyon Hassasiyeti:EDFA'nın polarizasyon durumları için çok küçük bir hassasiyet vardır.Buda bir avantaj teşkil etmektedir.Polarizasyon hassasiyeti giren sinyalin bir polarizasyonda ki kazancı ile dikey polarizasyondaki kazancının farkıdır.Buradaki değer .01 ile .1 db arasındaki bir değerdir.

6.Gürültü:EDFA gürültüyü ASE'nin(Amplified Spontaneous Emission yani Yükseltilmiş Kendiliğinden Yayılım) bir sonucu olarak sinyale eklemektedir.Bir

amplifikatörün gürültü şekli desibel olarak girişteki sinyalin gürültü oranının çıkıştaki sinyalin gürültü oranına olan oranıdır.

$$\text{SNR Sinyalin Gürültü Oranı(Girişteki)} \\ \text{Gürültü} = \frac{\text{SNR Sinyalin Gürültü Oranı(Çıkıştaki)}}{\text{Gürültü}}$$

EDFA'nın kazanç karakteristiği

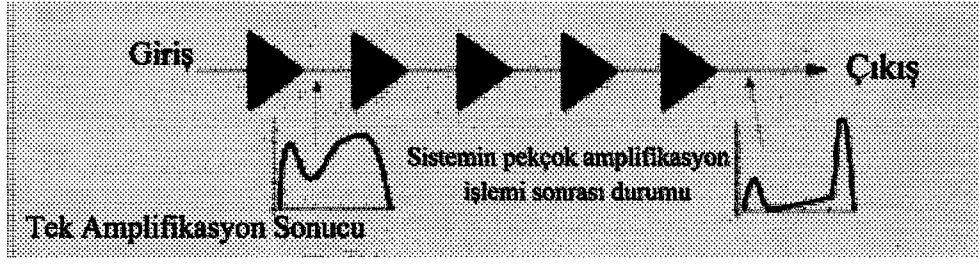


Şekil 4.2.2.4 Tipik bir EDFA'nın kazanç eğrisi.Dutton

Şekil 4.2.2.4'te gösterilen tipik ticari bir EDFA'nın kazanç eğrisidir.Y eksenini desibel olarak ifade edildiği için logaritmiktir.Aynı zamanda eğrinin merkezi sıfırda değildir.1560 nm'deki kazanç 1540 nm'deki kazançtan 3dB fazladır.Pekçok uygulamada (eğer tek bir kanal varsa veya devrede sadece birkaç amplifikatör varsa) bu çok büyük bir kısıtlama değildir.buna rağmen WDM sistemleri yükseltilmiş bant içinde pek çok dalga boyunu kullanırlar.

Eğer pek çok amplifikatörle(2000 veya 3000 km'de 80 veya daha fazla amplifikatör) çok uzun bir WDM linki varsa çeşitli kanallardaki amplifikasyon değişiklikleri eklenir.Kanallar arası sinyal seviyelerindeki farklılıklar 100 dB kadar büyük olabilir.

Başka bir deyişle, bazı kanallar o kadar kuvvetlidirler ki baskın çıkarlar ve diğerleri gürültü içinde kaybolurlar.Bu o kadar kuvvetli olabilir ki sistem operasyonunu başarılı bir şekilde gerçekleştirir.Daha az kuvvetli olduğu durumlarda, SNR'nin (sinyal gürültü oranının)



Şekil 4.2.2-5 Kademeli EDFA'nın sinyal sonucu .Dutton

anamlı bir şekilde kanaldan kanala göre değişmesi demektir. Tabiki sistem en kötü kanal değerindeki değerdedir. Bunun manası bir WDM sisteminde her bir kanal aynı büyüklükte kazanca ihtiyaç duyar. Yani amplifikatör kazancı yükseltgenen dalga boyları içinde düzgün bir karakteristik ifade etmiş olmalıdır.

Buradaki belirgin karmaşıklık EDFA'nın sinyal gücü seviyelerinin kazanç profili ile değişmesinden kaynaklanmaktadır. Mesela dört kanalın tam güç çalışmasıyla düzgün bir sinyal alınır. Ancak ne zamanki kanallardan biri kapatılırsa amplifikatörün diğer üç kanala tepkisi pürüzlü olur. Bu demektir ki bir kanal diğerlerinden daha fazla yükseltgenmektedir. Kazanç eğrisini düzgünleştirmek amaçlı pek çok araştırma halen devam etmektedir. Bu aşağıdaki şekilde yapılmaktadır:

1. Sistem 77 K sıcaklıkta çalışmaktadır. Bu daha düzgün bir kazanç eğrisi elde etmeyi sağlar. Fakat çok pratik değildir.

2. Başka ilave elementler (örneğin aliminyum veya ytterbium) erbium'la birlikte fiber çekirdeğine eklenir. Elemente bağlı olarak amplifikatörün tepkisinde belirgin değişiklikler gözlenebilir. Amplifikatörün fiber bölümünde pek çok değişik element kullanılabilir. Bu yaklaşımla tamamen düzgün tepkili amplifikatörlerin geliştirileceğine inanılmaktadır.

3. Amplifikatörün uzunluğu kazanç eğrisindeki düzgünlüğü etkileyen bir başka faktördür.

4.Pompalanan ışığın gücünün kontrolü geri besleme devresiyle yapılırken ASE'de rutin bir azalma olmaktadır.Bu teknik ayrıca giren sinyalin seviyesinin değişiminebağılı olarak liner olmayan tepkileri azaltmaktadır.

5.Amplifikatöre extra bir WDM kanalı eklenir.Bu devrede güç fazla gücü ve ayrıca liner olmayan güç seviyesinin değişkenlerini düşürmek için kullanılır.Buna Kazanç Bastırımı denir.

6.Fiberin amplifikatördeki dalga kılavuzunun şekli değişmeden çalışır.Çift çekirdekli fiberler son zamanlarda daha düzgün kazanç karakteristiği göstermektedirler.(Dutton,1998)



Ek 5

WDM SİSTEMLERİNİ OLUŞTURAN PARÇALAR

WDM sistemleri için özel olarak tasarlanmış olan aygıtlar göz ardı edilmiştir ve burada bu konuya açıklık getirmeye çalışacağız.

1.WDM İçin Işık Kaynakları

WDM sistemleri için gereksinim duyulan lazerler, sıradan uzun mesafeli iletişim için olan lazerler ile büyük oranda aynıdır. Bununla birlikte, bazı gerekler WDM ile daha kritiktir ve bir dizi yeni gerekler belirgin hale gelmektedir.

- **Spektral genişlik ve çizgi genişliği**

Genel olarak yoğun bir WDM sisteminde, spektrumunda sadece tek çizgi olan bir lasere gereksinim duyarız. Bu ya DFB ya da DBR lazeri demektir. Gerekli çizgi genişliği önerilen sistemdeki kanal sayısına ve (ızgara ters çoklayıcıları gibi) diğer bileşenlerin toleransına dayalıdır. Genel olarak çizgi genişliği ne kadar dar ise o kadar iyidir ancak bu genellikle bir maliyet / yararlanım ikilemidir.

- **Dalga boyu stabilitesi**

Çoğu uzun mesafeli (tek kanallı) sistemlerde, dağılmanın etkileri ve mod bölümleme gürültüsü gibi şeyleri en aza indirmek üzere çok stabil ve dar çizgi genişliğine sahip lazerlere gereksinim duyarız. Bununla birlikte, WDM’de dalga boyundaki zaman içerisinde değişimi en aza indirmemiz gerekmektedir. Bir nm (nanometre) kayması ya da bir kaç saniye içerisinde iki defa yer alması sonradan bir WAN (Geniş Alan Ağı) tek kanal sistemini rahatsız etmez ancak bir WDM kanalını kesintiye uğratır. Buradaki anahtar problem, lazer dalga boyundaki zaman içerisindeki (belki bir ya da daha iki yıl) “sürüklenmedir”. Lazer boşluğundaki ve uç kenarlardaki

yüksek enerji düzeyleri malzemelerin zaman içerisinde kalitesinin düşmesine ve bu dalga boyu kaymasına neden olmaktadır. Bir şeyler yapılabilir. Örneğin, (InGaAsP alaşımında olduğu gibi) alaşım yarı iletkeninde fosforun bulunması fosforun yalıtım bileşiği oluşturan kaçak oksijen atomları ile tepkimeye girme eğiliminde olması nedeniyle bir problem olabilir. Daha yakın tarihli araştırma bu problemle başa çıkmak üzere lazerlerdeki fosforu başka bir şeyle değiştirme üzerinde odaklanmıştır.

- **Ayarlanabilir lazerler**

Ayarlanabilir lazerler gelecekteki ışık dalgasıyla çalışan ağlarda çok önemli olabilir.

1. “Yayınla ve Seç” LAN’larında ve MAN’larında gerek vericinin gerekse alıcının hızlı bir şekilde ayarlanması sistemin tüm performansı için hayatidir.
2. Dalga boyu yönlendirmeli ağlarda (baskın olarak WAN’larda) gönderene bir bağlantı kurulmadan önce, hangi kanalı (hangi dalga boyunu) kullanacağı söylenmektedir. Bu durumda dalga boyunu ayarlamayı gerektirmektedir. Bu durumda ayarlamamanın hızlı olmaması ancak çok hassas olması gerekmektedir.
3. Çoğu geçerli (erken dönem) WDM sistemlerinde, gerek vericide gerekse alıcıdaki ayarlanabilirlik gerekmemektedir. Bununla birlikte, tam istenen dalga boyundaki lazerleri üretmek zordur. Yapacağınız tek şey bunlardan pek çok üretmek ve istediğiniz dalga boyunda çalışanları seçmektir. Düşük maliyetli ayarlanabilirlik bu problemi ve ayrıca lazer sürüklenmesi problemini yenmeye yardım edebilir.

Lazerler, ayarlanabilir hale getirmek üzere pek çok yaklaşım vardır .Teknik iki temel tipe bölünmüştür :

1. Izgaraya komşu olan DBR boşluğu parçasının kırınma indisini değiştirmek.

2. Harici boşluklu bir lazer tasarımındaki harici ızgara tarafından yansıtılan dalga boyunu değiştirmek. Bu yaklaşım genellikle ızgaranın mekanik olarak hareket ettirilmesini gerektirmekte ve dolayısıyla göreceli olarak yavaştır.

- **Çok dalgaboylu lazerler**

Çok hızlı ayarlamaya izin veren bir yaklaşım da aynı substrat üzerine farklı dalga boylarındaki bir dizi lazeri oluşturmaktır. Ayarlama hangi lazerin yayın yapacağını seçerek yapılabilir. Alternatif olarak, çoklu sinyaller de aynı zamanda gönderilebilir. Bu prensip sonraki bölümde daha ayrıntılı olarak tartışılmaktadır.

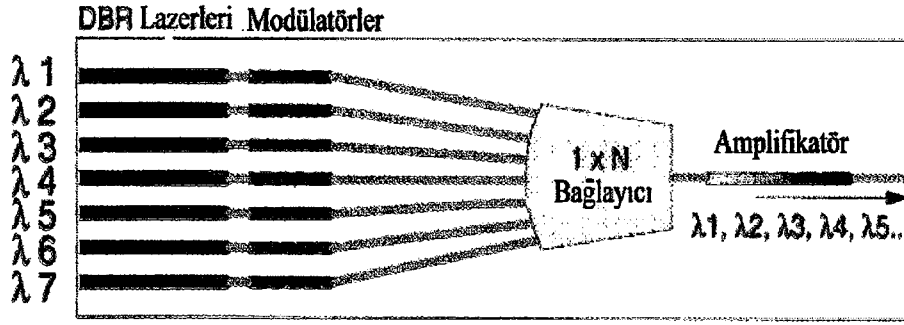
1.1 Çok dalgaboylu lazerler

Şekil 1.1 lazerlerin çok dalga boylu lazerler dizisinin tasarımını göstermektedir. Amaç 2.4 Gbps'e kadar olan hızlarda çoklu kanalları için düşük maliyetli bir WDM kaynağını üretmektir.

Şu ana kadar bu aygıtlar ticari piyasalarda ortaya çıkmamıştır ve gerçekte bir dizi problemlere sahip gibi görünmektedir.

- Tam olarak gereken dalga boylarındaki DBR lazerlerini üretmek çok zordur. Sıcaklık kontrolü aracılığıyla alışlagelmiş ayarlama seçeneği bunların hepsinin aynı substrat üzerine yerleştirilmeleri nedeniyle mümkün değildir.
- Işık karıştığında, çok büyük bir kısmı (elbette ki) kaybolmaktadır. Bir dalga kılavuzu ızgara yapısı kullanılarak bu durumla potansiyel olarak başa çıkılabilir ve gerçekte bunlar araştırılmaktadır.

Işık kaybı nedeniyle, kombine sinyali yükseltmek üzere SOA¹⁰⁹'ya gereksinim duyarsınız. Bu ise çoklu dalga boyları ile SOA kullanımı konuşmaların karışımı ve bozunum problemini ortaya çıkarır.



Şekil 1.1.1 Çok dalgaboylu lazer.Dutton

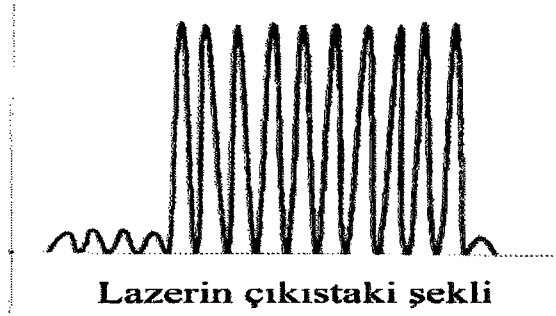
1.2 Çokçizgili lazerler

Birkaç hazır WDM sisteminde çokçizgili lazer ışık kaynağına ihtiyaç olduğu ortaya çıkmıştır. Buradaki ana konu pek çok dalgaboyunu aynı teçhizat içerisinde üretmektir. Bu bir dizi potansiyel avantajlara sahip olur :

- Çoklu lazer kullanmanın maliyetinden tasarrufta bulunabilirsiniz.
- Çoklu dalga boyları tek bir kaynaktan üretilirse, üretilen dalga boyları için sabit bir ilişki vardır. Böylece eğer bir dalga boyuna göre aygıtı stabilize edersek, bu aygıtı bütün dalga boyları için stabilize etmiş oluruz.

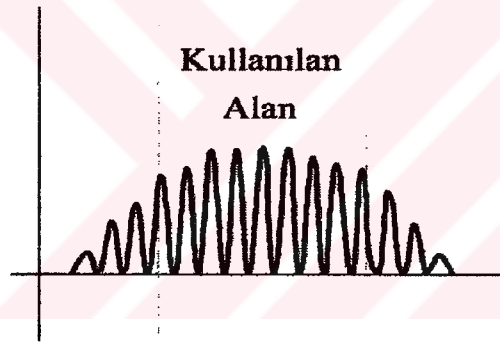
Açık dezavantajı lazerin enjeksiyon akımını kontrol ederek bireysel kanalları (dalga boylarını) modüle edemeyiz. Her bir kanalın bir çeşit harici modülasyonu gerekmektedir. Şekil 1.2.1 üretmek istediğimiz çıktı spektrumunu göstermektedir. Bu geleneksel lazer çıktısından oldukça farklıdır.

Çoğu lazer tasarımlarında, çizgi sayısının sadece bir taneye indirmeye ve bunun da genişliğini en aza indirmeye çalışırız. Burada arzu edilen aralıklarda eşit genlikte çizgiler üretmek üzere FB lazerini değişikliğe uğratmak istiyoruz.



Şekil 1.2.1. Çok çizgili lazerin idealleştirilmiş çıktı spektrumu. Dutton

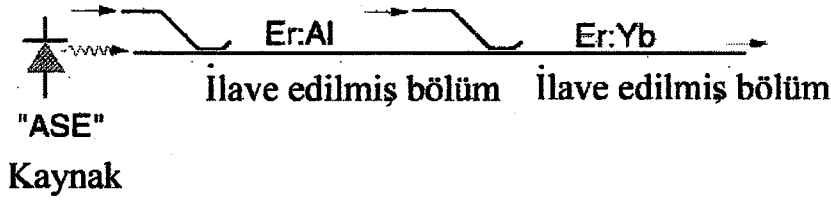
1.3 Yükseltilmiş emisyon (ASE) kaynakları



Şekil 1.3.1 Hemen eşik öncesi FP lazeri çıktı spektrumu. Dutton

Hemen lazer üretme eşiği altında sürülen sıradan FP lazeri istediğimiz tayfa çok yakın bir çok çizgili spektrum üretmektedir. Bu şekil 1.3.1’de gösterilmektedir. Bu “Yükseltilmiş Kendiliğinden Emisyon” (ASE) kaynağı olarak adlandırılmaktadır.

Bunun lazer eşiği altında üretim yapması nedeniyle, toplam güç düşüktür ve güç pek çok çizgi arasında dağıtılmaktadır. Ayrıca diyagram içerisinde gösterildiği gibi, üretilen çizgiler genlik açısından farklıdır. Yararlı olması için sinyalin hem yükseltilmesi hem filtrelenmesi hem de üretilen çizgilerin eşit genlikte olması için kompanse edilmesi gerekmektedir.



Şekil 1.3.2 ASE'ye dayalı çok çizgili lazer tasarımı.Dutton

Bu durum ASE kaynağının çizgisel olmayan ögelerini düzeltmek üzere EDFA'lardaki çizgisel olmayan ögelerin kullanılması fikrini önermektedir.Bu aygıt Şekil 1.3.2'de gösterilmektedir.

Arka yüzeyden çıkan güç gözlemlenebilir ve çizgilerin birinin dalga boyunu ölçmek üzere kullanılabilir. Daha sonra dalga boyu stabilitesi belirli bir referans çizgisi önceden tespit edilmiş bir dalga boyuna karşılık gelecek şekilde aygıtın sıcaklığının kontrol edilmesiyle sağlanabilir. (Elbette ki çizgiler arasındaki sabit ilişki nedeniyle, diğer bütün çizgiler bu süreç tarafından düzeltilebilir.)

Bu aygıtın büyük yararı her bir dalga boyunun birbiri ile tam olarak ilişkili olmasıdır. Eğer bunlardan birini stabilize ederseniz, bunların hepsini stabilize etmiş olursunuz.

Elbette ki lazerin enjeksiyon akımını kontrol ederek her bir bireysel hattı modüle edemezsiniz. Her bir dalga boyunu bağımsız olarak modüle etmek üzere bunların bireysel sinyallere ayrılmaları ve ayrı modüle edilmeleri gerekmektedir. Tüm akımı ters çoklamaksızın bir WDM akımı içerisindeki bireysel dalga boylarını modüle etmenin yolları vardır. Örneğin akustik bir modülatör bunu yapabilir.

Ek olarak, akustik bir modülatör bir WDM sistemi içerisindeki çoklu dalga boylarını bağımsız olarak modüle edebilir. Ek olarak, bazı yakın tarihli araştırmalar sinyaller hala pek çok dalga boyunun bir karışımı iken fiber içerisinde modüle etme olasılığını önermektedir.

Eğer bu başarılırsa, bu tipten çok dalga boylu kaynaklar için olanaklar önemli oranda genişletilecektir.

Bir ASE kaynağını kullanmanın bir karakteristiği de çizgi genişliklerinin görece geniş olması ve koherans uzunluğunun çok kısa olmasıdır. Bu örneğin kısa mesafeli sistemlerde meydana gelen yansımalar nedeniyle meydana gelen gürültüyle başa çıkmada belirgin bir avantaj olabilir. Bununla birlikte, uzun mesafeli sistemlerde, geniş bant genişliği dağılma problemi yaratmaktadır. Bu tipten bir aygıt hala oldukça araştırma aşamasındadır. Bununla birlikte bir dizi çok ilginç sistem olasılığı bu türden çoklu dalga boyu kaynağı için mevcuttur.

2. Işığın Çoklanması (Birleştirilmesi)

Yüzeysel olarak, bir dizi farklı ışık kaynağını tek bir akım içerisinde birleştirmek kolay olmalıdır. Elektronik dünyada pek çok farklı sinyal kaynağını bir araya çok basit bir şekilde ve hemen hemen hiç sinyal kaybı olmaksızın bir araya getirmektedir. Ne yazık ki, optikte bu böyle çalışmaz.

“Bölücüler ve bağlayıcılar” gibi pasif bağlayıcılar tam olarak istediğimiz şekilde ışığı kombine etmektedir ancak her seferinde iki fiberi bir bağlayıcı içerisinde birleştirdiğimizde, ışığın yarısını kaybederiz. Eğer farklı fiberler üzerindeki sekiz sinyali basit bağlayıcılar kullanılarak tek bir fiber üzerinde birleştirirseniz, bu durumda kombine çıktıdaki her bir bireysel kanal başladıkları kuvvetin sekizde biri olacaktır (9 dB’lik bir kayıp). Eğer bu şekilde 64 sinyali kombine ederseniz, bu durumda her bir kanal orjinal kuvvetin altmış dörtte biriyle sonlanır (18 dB kayıp). Bu bağlayıcılar nasıl üretilirse üretilsin (tek kaynaşmış bir fiber bağlayıcı ya da 3 dB’lik seri olarak birbirine birleştirilmiş olarak) geçerlidir. Bununla birlikte, diğer bir yolu yoktur. Eğer bu sinyallerin bütün farklı dalga boylarında olmasından yararlanırsak, bu durumda daha düşük kayıplı bir sinyali entegre etmek üzere Littrow ızgarası, Dizi Dalga Kılavuzu Iızgaraları (AWG’ler) ve benzer aygıtları kullanabilirsiniz. 32 kanallı birleştiren tipik bir ticari Littrow ızgarası (kanal başına) yaklaşık 6 dB’lik bir kayba sahip olur (her bir sinyalin 2/3’ü kaybolur). AWG’ler 64’e kadar olan kanal sayılarında yaklaşık 5 dB’lik toplam kayıp düzeyleriyle teklif edilmektedir.

5 dB bile çok fazla görünmesine rağmen, metropolitan mesafelerinde (70 km ya da daha fazlasında) çalışacak olan pratik WDM sistemleri yükselticilere uğramaksızın inşa edilebilirler. Bu aygıtların (kaynaştırılmış bağlayıcılarla karşılaştırıldığında) pahalı olmasına rağmen, maliyet etkisi en aza indirgenecek şekilde hem çoklama hem de ters çoklama için tek bir aygıt kullanan bir sistem de inşa etmek mümkündür. Bu “Dalga Kılavuzu Izgara Yönlendiricileri (WGR’ler)” da daha ayrıntılı olarak tartışılacaktır. Sadece bir kaç (diyelim ki dört) kanala sahip olan sistemlerde, basit bağlayıcılar kullanabiliriz. Eğer çok büyük sayıdaki kanallar işin içinde ise, bu durumda tipik olarak çoklayıcıdan sonra bir ızgara aygıtına ya da bir yükselticiye gereksinim duyabiliriz.

3. Transmisyon

WDM sistemlerinde, basit optik bağlantıların tasarımında mevcut olan aynı sistem tasarım konularının tamamına sahibiz. Bununla birlikte WDM sistemine has olan (ya da en azında WDM kapsamında daha büyük bir öneme sahip olan) bir dizi diğer konu da vardır.

- Dağılmanın kontrol edilmesi

Genel olarak, tekli dalga boyu durumunda olduğunda sahip olduğumuzla aynı dağılma problemlerine sahibiz ve aynı dağılma kontrol teknikleri kullanılabilir. Ancak en fazla dağılmaya tabi olan uzun linkler ayrıca insanların (deniz altı sistemleri gibi) WDM’yi kullanmak istedikleri linklerdir ve dolayısıyla dağılma kontrolünü sistem tasarımında kritik bir öge olarak görmekteyiz.

WDM’de kanalları doğru bir şekilde konumlandırabilmemiz ve yeterli ayırmaya izin verebilmemiz için minimum spektral genişliğe sahip lazerleri kullanmak istiyoruz. Bu özellik elbette ki aynı zamanda dağılmayı en aza indirmek içindir. WDM’nin bir yönü kendi bünyesinde kendisinin kendi türünde bir dağılma kontrolü olmasıdır. Optik kanalın hızı arttıkça dağılma daha fazla sorun hale gelir. WDM ile tek bir daha hızlı akım yerine çok sayıda daha yavaş akım kullanabiliriz. Dolayısıyla 2.4 Gbps’deki 4 kanallı bir WDM

sistemi 9.6 Gbps'deki tek kanal sistemiyle olan problemten daha az problem çıkaracaktır.

- **Girişim (Parazit) etkileri**

WDM'deki konulardan biri hem aygıtlar içerisindeki hem de iletim sırasındaki optik kanallar arasındaki karşılıklı girişimdir. En önemli iki iletim etkisi “Uyarılmış Raman Dağılımı” ve “4 Dalga Karıştırma” olarak adlandırılmaktadır. Diğer etkiler doygunluğa yakinken çalışırken, optik yükselticiler içerisinde meydana gelmektedir.

- **Yükseltilmiş (EDFA) konular**

Kanallar arasındaki yanıt eşitsizliği uzun mesafeli WDM sistemleri içerisinde ciddi bir konu haline gelebilir.

- **Dalga boylarının seçilmesi**

Kanallar arasındaki konuşmaları karışması (gürültüyü) sınırlandırmanın olası bir yolu WDM kanallarını eşit olmayan bir şekilde boşluklandırmaktır. Yani kanallar arasındaki boşluklar 4 kanal karışması tarafından üretilen gürültü ve SRS kanalların içinden çok kanalların arasına düşecek şekilde hesaplanmaktadır. Bu sıklıkla önerilmekte ancak teknik ticari sistemlerde nadiren kullanılmaktadır.

4. Işığın Ters Çoklanması

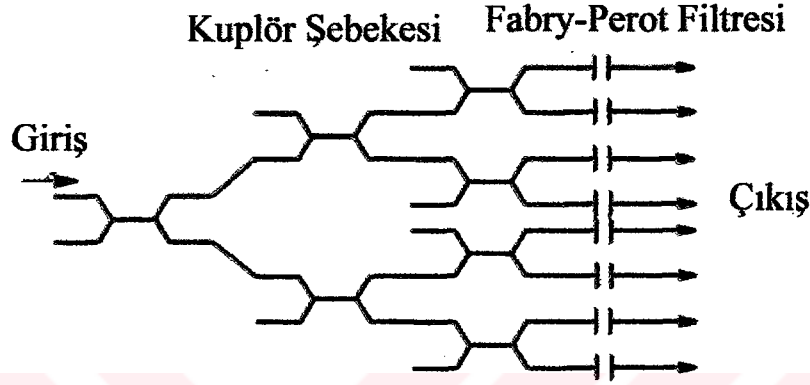
Ters çoklamaya yönelik üç jenerik yaklaşım vardır :

1. Karışmış durumdaki ışığı pekçok karışmış çıktıya bölmek (her gerekli çıkış portu için bir tane) ve her bir portu bireysel olarak filtrelemek.
2. Her seferinde tek bir kanalı bölmek

3. Tüm optik kanallar demetini tek bir işlemde ters çoklamak

Aşağıdakiler her bir yaklaşımın örnekleridir.

4.1 Fabry - Perot filtrelerle sahip 3 dB bölücü dizisi



Şekil 4.1.1 Fabry - Perot filtrelerle sahip bölücü dizisi.Dutton

Bu konfigürasyonda, karışmış sinyali gereken sayıda çıktıya bölmek üzere kademelendirilmiş 3 dB'lik bölücüler kullanılmaktadır. Daha sonra her bir bireysel sinyali diğerlerinden ayırmak gerekmektedir.

Buradaki durumda ayırma işlemi ayrı Fabry - Perot filtreleri ile gerçekleştirilmektedir. Elbetteki FP filtrelerini FBG'ler ya da sirkülatörlerle değiştirmek mümkündür (ki bu dalga boyu seçiminin hassasiyetinin yanı sıra maliyeti de artırır).

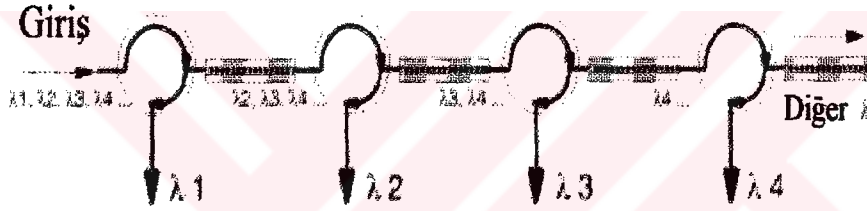
Eşit olarak 3 dB'lik bölücülerin kademeleri tekli bir kaynaşmış elyaf bağlayıcı ile değiştirilebilir. Bu konfigürasyon araştırma sistemlerinde kullanılmış ancak bir dizi dezavantaja sahiptir :

- Sistemdeki sinyal gücü kaybı hızla birikmektedir. Şekilde (eğer bölücüler mükemmelse) toplam kayıp FP filtresi için ek bir 3 dB harcamadan önce port başına 9 dB'dir. WAN ortamı için ciddi tasarımda, muhtemelen bölmeden önce sinyali güçlendirmek üzere

optik bir ön yükselticiye gereksinim duyacağız.

- Fiber bağlayıcılarla inşa edildiğinde, bu hacimli ve yönetilmesi zor hale gelmektedir. Bununla birlikte eğer planar teknolojisinde üretirsek, bu dezavantaj yenilebilir.
- Maliyet port sayısı ile çizgisel olma eğilimindedir. Az sayıdaki port ile bu çekici bir yaklaşımdır. Büyük sayıdaki portla, diğer yaklaşımlar daha maliyet etkili hale gelmektedir.
-

4.2 FBG'lere sahip sirkülatörler:



Şekil 4.2.1 Fiber içi Bragg ızgaralarını kullanan ters çoklayıcı. Dutton

Bu konfigürasyonda, her bir dalga boyu çoklanmış akımdan bireysel olarak ayrılmaktadır.

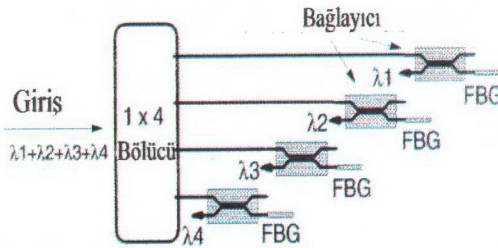
1. Pekçok karıştırılmış dalga boylarından oluşan girdi varmaktadır (şekilde solda).
2. İl sirkülatöre girmekte ve ilk FBG içerisine çıktı vermektedir.
3. FBG seçilen dalga boyunu sirkülatör içerisine geri yansıtır ancak diğer bütün dalga boylarının geçmesine izin verir. Pek çok sirkülatör tipi ile, bu işlem 1 dB ya da daha azlık bir zayıflamayı içerir.
4. Seçilen dalga boyu sirkülatör içerisinde hareket ederek çıkacağı 3 no'lu porta gider.

Diğer bütün dalga boyları, FBG aracılığıyla sürecin λ_2 için tekrarlanacağı bir sonraki sirkülatöre devam eder. Bireysel dalga boyları bir kademedен diğerine devam ettikçe ters çoklamadan geçer.

Bu tipten aygıtlar için pek çok göz önünde bulundurulması gereken şey vardır :

- Her biri kendi uç aygıtı ile birlikte konuşlandırılacak şekilde sirkülatörleri ve FBG'leri ayırabilirsiniz. Fiber daha sonra aygıttan aygıtı halka konfigürasyonu içerisinde bağlanmaktadır.
- Bu seçici olabilir ve çok dar kanalları ayırabilir.
- Sirkülatörlerin kalitesine dayalı olarak kademe başına sadece 1 ile 1.5 dB kaybedersiniz. Bu oldukça iyidir ancak çok fazla sayıda kanal söz konusu ile hala yükseltmeyi gerektirmektedir.
- Eğer port sayısı azsa çok rekabetçi bir teknoloji olacak şekilde maliyet port sayısı ile çizgiseldir. Bazı erken dönem ticari (4 kanal) WDM sistemleri bu prensibi kullanır.

4.3 Bağlayıcılarla birlikte fiber içi Bragg ızgaraları



Şekil 4.3.1.3 dB'lik bağlayıcılara sahip fiber içi Bragg ızgaralarını kullanan ters çoklayıcı. Dutton

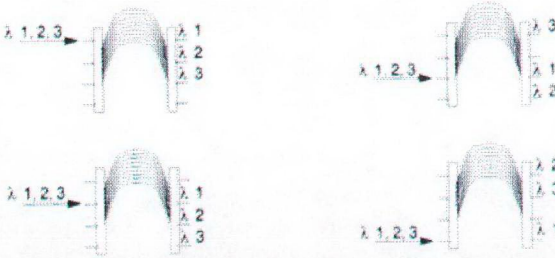
Şekil 4.3.1 Fiber Bragg ızgaralarını kullanan diğer bir konfigürasyonu göstermektedir. 3 dB'lik bağlayıcıların kullanımı nedeniyle, sirkülatörleri kullanan konfigürasyondan belirgin oranda daha az maliyetlidir. Gerçekte bu konfigürasyon “düz tepe” şekilli dar bant filresi sunmaktadır (ki bu WDM için idealdir) Büyük problem kanal başına $6 + 10\log(n)$ db olan (burada n = kanal sayısıdır) aşırı derecede yüksek ekleme kaybıdır. Pratik uygulamalarda, aygıtın pratik olarak düşünülmesi için girişin yüksek bir düzeye yükseltilmesi gerekmektedir. Buda uygulanan işlemin pratik olarak ne kadar koay olması gerektirdiğini göstermektedir.

4.4 Littrow ızgaraları

Bunlar hem çoklama hem de ters çoklama için kullanılabilirler. 132 adete kadar porta sahip olan ticari olarak mevcut sürümlerinde ana problem maliyettir. Pek çok fiberi çok hassas bir şekilde konumlandırma mekanik problemi bu aygıtların yüksek bir maliyete sahip olması anlamına gelmektedir. Bununla birlikte gerekli port sayısı yüksekse (20 ya da daha fazla) Littrow ızgaraları diğer yaklaşımlara göre maliyet etkili olabilir.

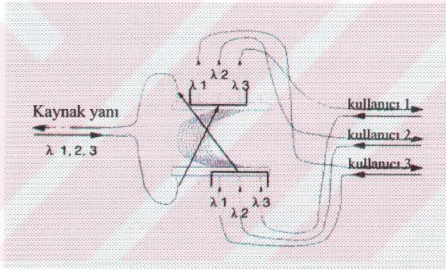
Aynı fiber üzerinde hem girdi hem de çıktı ile iki yönlü olabilmesi nedeniyle IBM 9729 WDM Deriştirici bu tipten ızgara kullanmaktadır. Bağlantının her bir ucunda sadece tek bir ızgaraya gereksinim duyarsınız. Ek olarak bunlar kanıtlanmış ve sahada güvenilirdir.

4.5 Dalga kılavuzu ızgara yönlendiricileri (WGR'ler)

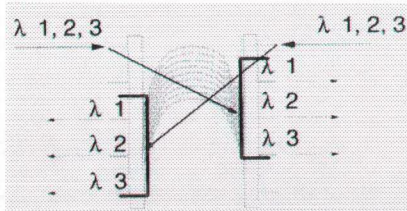


Şekil 4.5.1 Dizi dalga kılavuzu yönlendirici şeması.Dutton

Dalga kılavuzu yönlendiricileri ayrıca Dizi Dalga Kılavuzu İzgaraları (AWG'ler) olarak da bilinmektedir. Bunların bir ızgara fonksiyonu sağlamalarına rağmen, bunlar ızgara değildir. Gerçekte bunlar, Mach - Zehnder interferometresinin genelleştirilmiş bir şeklidir. Şekil 4.5.1 temel işlevi göstermektedir. Bir giriş portuna ulaşan çoklanmış bir dalga boyları akımı şeklin sol üst köşesinde gösterildiği gibi belirli çıktı portlarında ters çoklanmaktadır. Bu şeklin farklı bölümlerinde gösterilmektedir. Sadece tek bir çıkış portu olan basit bir WGR aygıtı inşa etmek mümkündür. Bu durumda, aygıtın bir tarafından yalnızca tek bir port ve diğer tarafında pek çok port bulunur. Çoğu durumda, bu bir WDM sistemi için arzu edilen durumdur ve kullanılmayan fiberleri aygıtı bağlamak zorunda olmamanız nedeniyle size oldukça maliyetten tasarruf sağlar. WGR aygıtları pek çok üreticiden ticari olarak mevcuttur. Bunlar planar dalga kılavuzu teknolojisinde üretilmekte ve yaklaşık 5 dB'lik bir ekleme kaybına sahiptirler. WGR'nin büyük avantajı Şekil 4.5.2'de gösterildiği gibi her iki yönde de kullanılabilmesidir.



Şekil 4.5.2 İki yönlü dalgaboyu çoklayıcı / ters çoklayıcı. Dutton



Şekil 4.5.3 Dalgaboyu çoklayıcı / ters çoklayıcı. Dutton

Bu çoklanmış bağlantı için ikili fiberler (her bir yönde bir tane) kullanırken, tek bir aygıtın hem çoklama hem de ters çoklama için kullanılabileceği anlamına gelmektedir. Bu durumun iki tane yerine tek bir aygıt gerekmesi nedeniyle sistem maliyetinden tasarruf yapmada önemli etkiye sahiptir

WGR geleneksel yoğun WDM konfigürasyonları için kullanılırken, WDM'nin yeni uygulamalarını ekonomik olarak cazip kılabilceği önerilmektedir.

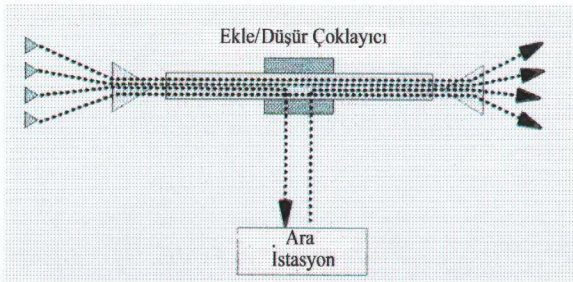
Örneğin bu konfigürasyon FTTH (fiberden eve) POS (pasif optik ağ) sisteminde uzaktaki (pasif) bir çoklayıcı olarak kullanılabilir. Bu Şekil 4.5.3'de gösterilmiştir.

Bunun kilit noktası 132 porta kadar olan WGR'lerin mevcut olmasıdır.

Bu konudaki problem ise aygıtın stabil işletim için sıcaklık kontrolü gerektirmesi ve eğer aygıtlar telgraf direklerine vidalanmış olarak kenar mahallelerde dağılmış durumda ise zor olacaktır.

Diğer bir problem temel aygıtın oldukça kutuplanmaya bağımlı olmasıdır.

5.Ekle-Düşür Çoklayıcılar



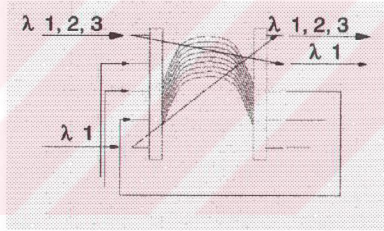
Şekil 5.1 Ekle - düşür çoklayıcı işlevi.Dutton

Bir ekle - düşür çoklayıcı fiber üzerindeki diğer kanallarla girişimde bulunmaksızın kombine bir WDM sinyalinin gelen tek bir kanalı eklemekte ve / veya çıkarmaktadır. Bu işlev Şekil 5.1'de gösterilmiştir. Aşağıdaki gibi bu işlevi yerine getirebilen pek çok aygıt vardır :

1. Dizi dalga kılavuzu ızgaraları
2. FBG'lere sahip Sirkülatörler
3. MZI Kademeleri

Bu aygıtların ekle - düşür çoklayıcılar olarak çalıştırılması aşağıdaki bölümlerde tanımlanmıştır.

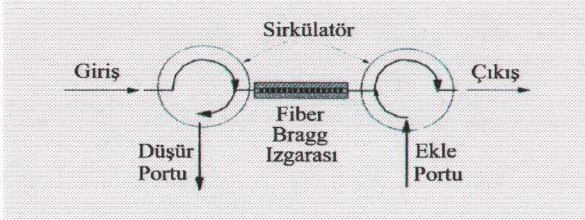
5.1 Dizi dalga kılavuzu ızgaraları



Şekil 5.1.1. Dizi dalga kılavuzu ekle - düşür çoklayıcı.Dutton

Bu şekilde, ekle - düşür çoklayıcı olarak yapılandırılmış bir WGR görmekteyiz. $\lambda 1$ dalga boyu resmin sol tarafından çoklanmış akıma eklenmekte ve resmin sağ tarafında girdi akımından düşürülmektedir (ters çoklanmaktadır). Bununla birlikte, sinyal kaybı aygıt içerisinde geçiş başına 5 dB civarındadır. Böylece eklenmeyen ya da düşürülen kanallar yaklaşık 10 dB civarında bir eklemeye kaybı yaşarlar. (Yeni eklenen kanalların düşürülenlerle yaklaşık olarak aynı kuvvette olması için) kanallar arasında sinyal kuvvetini eşitlememiz ve muhtemelen tüm akımı da yükseltmemiz gerekebilir. Tek bir kanalı eklemek ve düşürmek için Şekil 5.2.1'de gösterildiği şekliyle daha iyi bir konfigürasyon mevcuttur.

5.2 Fiber içi Bragg ızgaralarına sahip sirkülatörler



Şekil 5.2.1. FBG ve sirkülatörleri kullanan ekle - düşür çoklayıcı.Dutton

Burada tek bir kanalı eklemek ve düşürmek üzere bir çift sirkülatörle birlikte bir FBG kullanıyoruz. Çalışması aşağıdaki gibidir :

- Sinyal şeklin sol tarafından girer ve FBG aracılığıyla sirkülatöre yönlendirilir
- Seçilmemiş olan dalga boyları FBG aracılığıyla sonraki sirkülatöre geçer.
- Seçilen dalga boyu FBG tarafından yansıtılır ve sonraki sirkülatör portundan dışarı yönlendirilir.
- Henüz düşürülenle aynı olması gereken eklenecek olan dalga boyu en sağdaki sirkülatörün “ekleme - portu” aracılığıyla girer.
- Çevrede dolaşarak FBG’ye gider ve sirkülatöre geri yansıtılır. Bu süreç eklenen kanalı çoklanmış akımla karıştırır.

Bu konfigürasyon çoklanmış bir akım için 3 db’lik görece düşük bir kayba sahiptir. Bu tek bir fiber yarım devresinin bir şehir alanı içerisindeki pek çok konumu birbirine bağladığı yarım devreli metropolitan alan ağı (MAN) içerisinde çalıştırılmak üzere çok uygun olabilir.

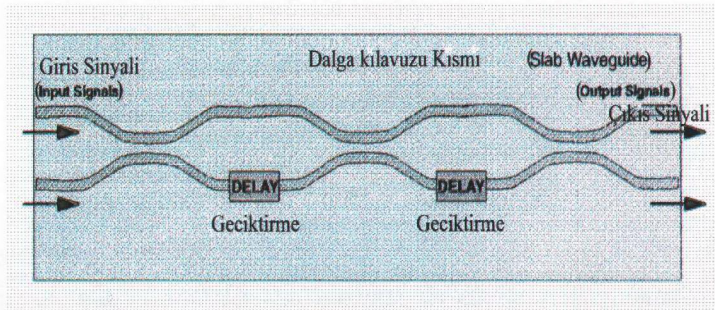
5.3 Kademeli Mach - Zehnder interferometrik filtreler

“Mach - Zehnder Interferometresi Kullanılarak Modülasyon” içerisinde tanımlanan basit Mach - Zehnder interferometresi dalga boyu seçici bir filtre olarak kullanılabilir..Aygıtın kolları arasındaki gecikme miktarı zayıflama miktarına dönüştürülen faz farkına dönüştürülmektedir. Belirli bir gecikme miktarı (zaman içerisinde ölçülmüş) dalga boyuna dayalı olarak farklı miktarlarda faz gecikmesine neden olur.

Böylece eğer iki kol farklı uzunluklarda ise, ya da eğer kollardan birindeki artma zamanını değiştiren bir şey varsa, etki dalga boyuna dayalı olarak farklı olacaktır.



Şekil 5.3.1 Kademeli Mach - Zehnder interferometrelerini kullanan filitre.Dutton



Şekil 5.3.2. Kademeli Mach - Zehnder interferometresini kullanan ADM –prensibi.Dutton

Basit (tek kademeli) MZI ile problem çok keskin bir filtre kesimi vermemesidir. Tek bir iyi tanımlanmış dalga boyu bandı geçirmek yerine, her biri değişen miktarlarda zayıflatılan geniş bir dalga boyu bandı geçirmektedir. Fabry - Perot filtreleri için gösterilen durumla tamına aynı durumdur. Tek kademeli bir MZI çok düşük yansıtma oranlı aynaları olan bir FP'ye karşılık gelmektedir.

Çok kademeli bir MZI ise çok yüksek yansıtımlı aynalara sahip bir FP filtresine benzer karakteristiklere sahiptir.yi kullanılabilir filtre özelliklerine sahip bir MZI üretmek üzere, seriler (ya da kademeler) halinde bağlanmış pek çok kademe kullanmaya gereksinimimiz vardır. Bu Şekil 5.3.2'de gösterilmiştir.

Şekil 5.3.2 bir dizi projede araştırılmakta olan ilginç bir aygıtı göstermektedir.Bu aygıt seri halindeki "Mach - Zhender Interferometrelerini (MZI'ları)" oluşturmak üzere planar bir substrat üzerine oluşturulmuş seri haldeki rezonans bağlayıcılarıdır.Tek bir dalga boyu diğer dalga boylarına zarar verilmeksizin çoklanmış akıma eklenebilir ve / . veya çıkarılabilir.

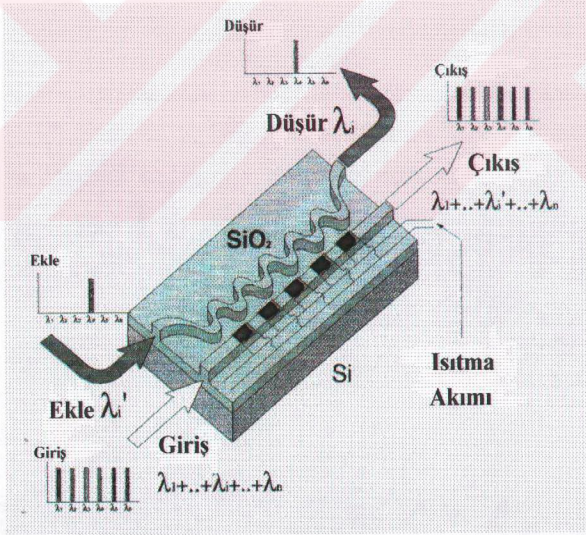
Aygıt Y bağlayıcıları kullanılmasının yerine rezonans bağlayıcıları kullanmaları haricinde, yukarıda tanımlanan MZI serilerine benzerdir. Bu aygıt aygıtın çalışmasını kontrol etmek üzere kullanılabilecek diğer bir parametreyi (bağlama uzaklığı) tasarımcıya vermektedir.Bir WDM çoklamalı akım tek bir dalga kılavuzu içerisinden geçirilebilir ve seçilen dalga boyu diğer dalga kılavuzundan eklenebilir ya da düşürülebilir. Ayarlama malzemeyi direnç ısıtıcılarla ısıtmak aracılığıyla tek bir dalga kılavuzundaki gecikmeyi ayarlayarak gerçekleştirilebilir.

Bu aygıtlarla yaşanan ana problem büyüklüğüdür. Etkili bir işletim elde etmek üzere kademeler halinde yaklaşık 15 adet bağlayıcıya gereksinim duyarsınız. Çoğu planar teknolojisindeki eğrilerin minimum büküm yarı çaplarının 15 - 20 mm olduğu göz önünde bulundurulduğunda, aygıt çok uzun olarak sonlanmaktadır (belkide 30 - 40 cm).

Şu anki planar üretim teknolojisi bu büyüklükteki aygıtları işleyemez ve işleyebilseydi bile, maliyet çok yüksek olurdu.

Bunun çözümü dalga kılavuzu ve substrat arasında “yüksek” bir RI kontrastına sahip bir dalga kılavuzu malzemesi kullanmaktır (Buradaki “yüksek” kelimesi 0.02’lik bir RI farkı anlamına gelmektedir). Yüksek RI kontrastı ile, dalga kılavuzu içerisinde daha sıkı büküm yarı çapları elde edebiliriz ve böylece aygıtı belirgin oranda daha küçük hale getirebiliriz. Daha küçük aygıtlar mevcut çip üretim teknolojisi ile yapılabilir. Şekil 5.3.3 IBM Araştırma tarafından geliştirilmekte olan deneysel bir aygıtı göstermektedir. Bu silisyum bir altlık üzerinde silika teknolojisi ile üretilmektedir. Dalga kılavuzları 1.48’lik bir RI veren yüksek (%7) SiON (Silisyum Oksinitrit) derişimiyle silikayı kaplayarak oluşturulmaktadır. Bu dalga kılavuzundaki bükümlerin yarı çapının 1 - 2 mm olmasına izin vermektedir.

Tüm aygıt 15 kademeli bağlayıcıyla birlikte 7 cm uzunluğundadır. Gösterilen aygıt dalga kılavuzu üzerindeki tespit edilmiş alanların kontrollü bir şekilde ısıtılması aracılığıyla ayarlanabilir. Bu ısıtıcılar kendilerine bağlanan Au tellere sahip Cr elektrotlardan yapılmıştır.



Şekil 5.3.3 Kademeli Mach - Zehnder Interferometrelerini kullanan ekle - düşür çoklayıcısı.Dutton

Yüksek RI malzemeleri bu şekilde kullanmanın üç potansiyel problemi vardır :

1. Yüksek RI dalga kılavuzunun tek kipli kalması için çok dar (3 mikronun katlarında) olması gerektiği anlamına gelmektedir. Bu kendi bünyesinde bir problem anlamına gelmektedir, çünkü bir fibere bağlantı yapmak çok zor olacaktır.
2. Yüksek RI malzeme standart silika dalga kılavuzlarından daha yüksek zayıflatmaya sahiptir. Boyutların çok küçük olması nedeniyle bu çok fazla problem olmayacaktır ve dolayısıyla sinyal yüksek zayıflatmalı bir malzeme içerisinde katedecek daha az yola sahip olacaktır.
3. Çok dar dalga kılavuzu kenarlarında düzgün değildir. Entegre devreler için olan üretim teknolojisi entegre devre üretimi için maskeler oluşturmak üzere raster tarama tekniğini kullanmaktadır.

Bu raster taraması bir noktalar matriksi oluşturmaktadır. Böylece dalga kılavuzları çok küçük noktalardan inşa edilmektedir.

Böylece düz ve (çipin eksenleri ile hizalı olan) 90° bükümlere sahip dalga kılavuzları düzgün kenarlıdır. Ancak optik dalga kılavuzları 90° köşelere sahip olamaz.

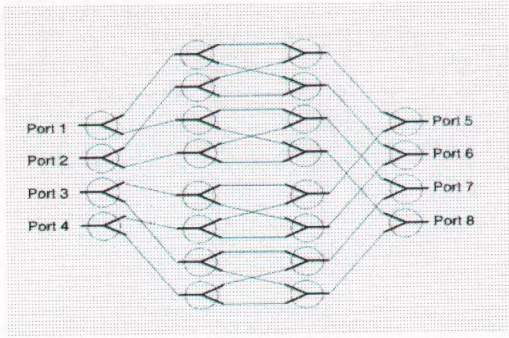
Eğik ya da köşeli hatlar kenarlarda merdiven basamağına benzer bir pürüzlülüğe sahiptir.

Dalga kılavuzunun kenarındaki bu düzenli oluklar ızgaralar olarak davranabilir ve eğer doğru bir şekilde kontrol edilmezse istenmeyen etkilere neden olabilir.

Gerçekte, bu durum silisyum çip üretimi süreci tarafından yapılan bütün planar dalga kılavuzu aygıtlarına uygulanmaktadır.

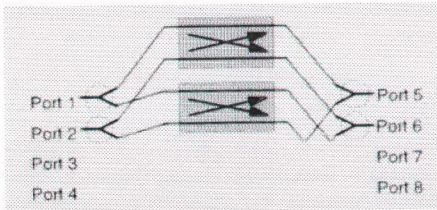
Problem olmasına rağmen, gerçek dünyada ciddi bir sınırlama oluşturmayacaktır.

6. Optik Yer Bölümleme Anahtarları



Şekil 6.1 4 x 4 Optik yer bölünme anahtarı.Dutton

Herhangi bir giriş portunu kullanıcı tarafından arzu edildiği şekliyle herhangi bir çıkış portuna bağlamak üzere optik yer bölümleme anahtarı tasarlanmıştır. Tipik anahtarlar “Optik Anahtarlama Elementleri” içerisinde tanımlananlar gibi basit sayısal optik anahtarların bir araya getirilmesinden üretilmektedir. Bu normal olarak tek bir planar aygıt olarak planar bir substrat üzerinde üretilmektedir. Sadece tek bir dalga boyu herhangi bir giriş dalga kılavuzu üzerinde olabilir (giriş dalga kılavuzu başına tek bir kanaldır). Herhangi bir giriş herhangi bir çıkışa anahtarlanabilir ancak iki giriş aynı anda aynı çıkışa gidemez. Aygıt iki yönlüdür ve bir giriş portu ile bir çıkış portu arasında bir bağlantı oluşturulduğunda, bu belirli bağlantı her iki yönde de kullanılabilir.



Şekil 6.2 Çapraz bağlantı anahtar elementlerini kullanan optik anahtar.Dutton

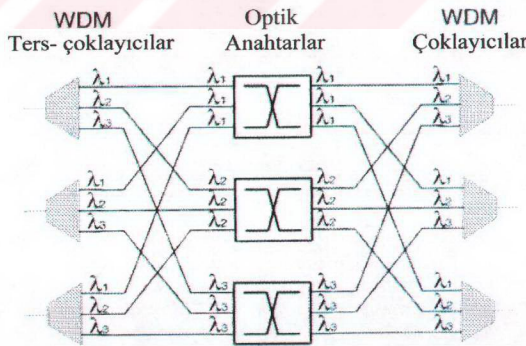
Şekil 6.2, anahtarlamanın ana parçası basit sayısal optik anahtarlardan çok çapraz bağlantılar olarak uygulanması haricinde Şekil 6.1 içerisindeki ile aynı anahtarı göstermektedir. Burada karmaşıklık ve gerekli eleman sayısında önemli oranda tasarrufa gidilmektedir.

7. Optik Anahtarlama Düğümleri

“Optik Yer Bölümleme Anahtarları” içerisinde tartışılan optik yer bölüm anahtarı giriş ve çıkış portları arasında iki yönlü optik bağlantılar kurmaktadır. Bununla birlikte, bu dalga boyuna karşı hassas değildir ve hangi dalga boyunun kullanımda olduğuna bakılmaksızın bir porttan diğerine anahtarlama yapacaktır. Gerçekte, pek çok dalga boyundan oluşan optik WDM akımlarını bir porttan diğerine bağlayabilir.

8. Çapraz Bağlantılar ve Anahtarlama Düğümleri

Anahtarlama elementlerinin kapsamı içerisinde, bir çapraz bağlantı iki giriş ve iki çıkış portuna sahip olan bir anahtar elementidir. Ağlar kapsamında, bir çapraz bağlantı durumu ağın işaretlenmesinden çok ağ yönetimi sistemi tarafından değiştirilen bir anahtarlama düğümüdür.



Şekil 8.1 Optik anahtarlama düğümünün yapısı.Dutton

Bu bir çapraz bağlantının durumunun değişmesinin mikrosaniyeler zaman ölçeğinde değil saniyeler zaman ölçeğinde meydana gelen bir şey olduğu anlamına gelmektedir.

Yararlı bir optik “çapraz bağlantı” ya da anahtarlama düğümü yapmak üzere, bireysel dalga boylarını anahtarlamak isteriz. Bu, kanalları anahtarlamadan önce, tek bir dalga boyu anahtarlama yapısının sadece tek bir portunda belirecek şekilde gelen WDM akımını ters çoklamamız gerekmektedir. Çıkışta ayrı dalga boylarını amaçlanan çıkış fiberleri üzerinde tekrar çoklamamız gerekmektedir.

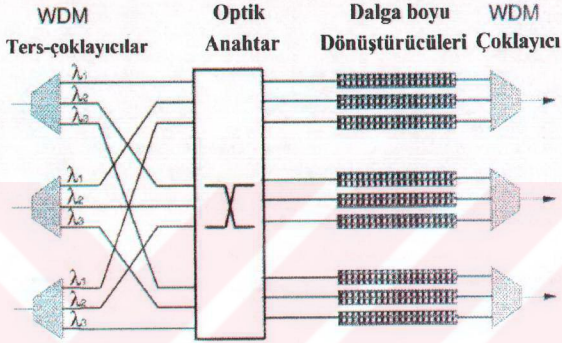
Yararlı bir anahtarlama düğümünün bir şeması Şekil 8.1’de gösterilmektedir. Şekildeki her bir “optik anahtar” sayfa “Optik Yer Bölümleme Anahtarları” içerisinde tanımlanan anahtara benzerdir. Aynı üç dalga boyunun üç giriş portunun her birinde mevcut olduğunu varsayıyoruz. Görev herhangi bir giriş kanalını (3 port x 3 dalga boyu 9 kanala eşit) herhangi bir çıkış portuna anahtarlama. Yani çoklu girişlerden gelen aynı dalga boyunu aynı çıkış portuna anahtarlayamayız. İlk olarak, sinyallerin karışması ve sonucun çok kötü olması nedeniyle bunu yapmak mantıksızdır! İkinci olarak, eğer bunu yapmaya çalışsaydık, çok yüksek ek zayıflama olmaksızın mümkün olmadığı (WDM çoklayıcılarındaki) anahtar dokusu içerisinde bir yerler olacaktı. Bu şekildeki anahtarda her bir anahtar elementinin sadece tek bir dalga boyunu işlemek üzere yapılandırılmasının nedenidir.

Farklı giriş portlarından gelip aynı çıkış portuna giden aynı dalga boylarına sahip olamayacağınızdan dolayı, anahtar sunabileceği bağlanabilirlik seçenekleri ile sınırlıdır. Tam olarak her türlü bağlantıyı sağlamak üzere, anahtarlama süreci sırasında dalga boylarını değiştirebiliyor olması gereklidir.

Elbette ki bu gibi anahtarların hepsi elektronik olarak kontrol edilmektedir! Eğer bu bir çapraz bağlantı ise, anahtarlama elementini kontrol eden bilgisayar “ağ yönetim konsolundan” işletilecektir. Yani üçüncü şahıs (yani bağlantının taraflarından olmayan) bir operatör anahtarın durumunu değiştirmek üzere komutlar girecektir. Eğer bu gerçek bir iletişim anahtarı olarak düşünülüyorsa, bu durumda son kullanıcı aygıtları işaretleşme sistemi olarak bilinen bir sistem aracılığıyla yapılacak olan bir bağlantıyı talep edecektir. Bağlantıları

yapmak üzere gerekli olan bilgileri geçirmek üzere anahtar ve son kullanıcı aygıtları arasında iki yönlü iletişim oluşturmak üzere bazı süreçler olmalıdır.

8.1 Dalgaboyu dönüştürmeli optik anahtarlama düğümü



Şekil 8.1.1 Dalgaboyu dönüştürücüsü ile birlikte optik anahtarlama düğümü. Dutton

Sadece birkaç düğümden oluşan küçük ağlarda, ağ boyunca uçtan uca aynı dalga boyunu muhafaza etmek zorunda kalmak çok ciddi değildir. “Düğümsel Ağlar” içerisinde tartışıldığı şekliyle, ağ büyük hale geldikçe dolayısıyla dalga boylarını değiştirememeye daha fazla sınırlayıcı hale gelmektedir.

Şekil 8.1.1’de gösterilen gibi bir düğüm mimarisi giriş optik kanalları ile çıkış optik kanalları arasında tam bağlantı sağlamaktadır. Bu anahtar içerisinde gerektiği şekilde dalga boylarını değiştirerek yapılmaktadır.

Bu şekil ile Şekil 8.1 arasındaki farklara dikkat edin. İlk olarak dalga boyunu değiştirmek üzere aygıtlar ekledik. İkinci olarak, anahtar elementi önemli oranda daha büyük hale gelmiştir. Dalga boyu değiştirme gerekmemesi durumunda, sadece her birinde üç giriş ve üç çıkış portu bulunan üç anahtara gereksinim duyacağız. Dalga boyu değiştirme durumunda,

dokuz porta dokuz portluk bir anahtara gereksinim duyacağız. Bunun nedeni, ilk örnekte imkansız olan trafik kombinasyonları için anahtar yolları sağlamamamızdır. İkinci durumda, evrensel bir bağlanabilirlik sağlarız.

Bu tipten anahtarla yaşanan ana problem maliyettir. Dalga boylarını değiştirebilen pek çok aygıt mevcuttur ancak bunların hepsi oldukça pahalıdır. Dikkatli tasarımıyla işlevi sınırlandırmaksızın dalgaboyu değiştiricilerinin sayısını azaltabilirsiniz ve böylece maliyetten bir miktar tasarrufta bulunabilirsiniz.

9. Dalga Boyu Dönüştürücüler

Tam olarak işlevsel geniş alan optik ağı dağınık yönlendirme (ya da anahtarlama) düğümleri olaral algılanabilir. Son kullanıcı ekipman bu düğümlerin bazılarına ya da tamamına bağlanabilir. Düğümler arasındaki bağlantılar her biri bir dizi (diyelim ki 64 ya da daha fazla) optik kanal taşıyabilen fiberler tarafından yapılacaktır.

Yukarıdaki tipteki çok küçük ağlarda, belirli dalga boylarını bireysel bağlantılara dinamik olarak tahsis edebilir ve belki de dalga boyunu değiştirmeksizin sinyali tüm ağ boyunca uçtan uca yönlendirebiliriz.

Bununla birlikte, böyle bir ağ makul derecede büyük bir büyüklüğe büyütüldüğünde, benzersiz uçtan uca dalga botlarının tahsisi hemen hemen imkansız derecede zor hale gelir. Ağ bütün linleri üzerinde pek çok boş optik kanallara (dalga boylarına) sahip olabilir ancak iki son kullanıcı arasındaki herhangi bir olası yol arasında tek bir benzersiz dalga boyu bulunmayabilir.

Bu problemi yenmek üzere, ağ içerisinde geçerken bazı sinyallerin dalga boyunu değiştirmek gerekli olacaktır.

Dalga boyu dönüştürme, hala bir laboratuvar teknolojisidir. Yazar bu işlevi yerine getiren hiç bir ticari olarak mevcut ürün bilmemektedir. Bununla birlikte, gelecekte bu çok önemli

bir konu haline gelebilir ve prensiplerden bazıları burada tartışılmaktadır. Tam olarak optik olan dalga boyu dönüştürücülerinin kullanılabileceği pek çok prensip vardır ¹¹¹:

- **SOA’lardaki genlik kazancı çapraz bağlantısı**

Yarı İletken Optik Yükselticiler (SOA’lar) doyumluğa yakın işletildiklerinde ciddi çapraz bağlantıya sahiptir. Bir dalga boyundaki bilgiyi diğer dalga boyuna taşımak üzere bu çapraz bağlantıdan amaçlı olarak yararlanabiliriz.

- **SOA’larda çapraz faz modülasyonu**

Doygunluk yoğunluğ modülasyonunda çalıştırıldığında, bir sinyal akımı SOA içerisindeki etkin bölgenin kırınma indirini etkileyebilir. Bu içinden geçen bütün sinyallerin fazını değiştirir. Faz farkı Mach - Zehnder İnterferometresi içerisinde genlik modülasyonuna dönüştürülebilir.

- **SOA’larda dört dalga karıştırması (FWM)**

Bu durumda “modüle edilmemiş” bir prob sinyali alıyorsunuz ve bunu orjinal sinyalle karıştırıyorsunuz. Probun dalga boyu üretilen yan bant sinyallerinden biri arzu edilen dalga boyuna sahip olacak şekilde seçilmektedir. Elbette ki, arzu edilen sinyali girdi sinyalinden ve sondadan ayırma problemi vardır ancak sirkülatör ve fiber içi Bragg ızgarası gibi çeşitli yöntemlerle yapılabilir. FWM sadece çok yüksek bit oranlarında ve modülasyon bağımsız olduğunda işe yarar.

- **Fark frekansı üretme (DFG)**

Buradaki prensip dört dalga karıştırmaya çok benzerdir. Bununla birlikte, görece daha yüksek güce sahip olan dalga kılavuzları içerisinde yaşanan çizgisel olmayan bir etkidir.

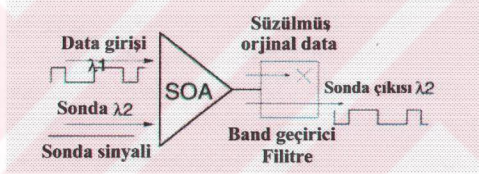
¹¹¹ Burada sinyali alıp, elektronik forma dönüştürüp tekrar iletme açık dönüştürme çözümünü göz ardı etmekteyiz.

Cazibeleri ise çok düşük gürültülü çalışma beklentisi sunması ve çoklu dalga boylarını aynı anda kaydırmasıdır. Ek olarak, bu hızlı ve tek yönlüdür. Bununla birlikte, verimlilik açısından düşüktür ve polarizasyon açısından çok fazla hassastır.

- **Akustik - Optik Modülatörler içerisinde Frekans Kaydırma**

Akustik filtreler ve modülatörler frekansı akustik frekans miktarı kadar kaydırabilir. Dalgaboyunda gerçekten önemli bir kayma (diyelim ki 1 nm) elde etmek üzere gerçekten yüksek bir akustik frekansa (130 GHz) gereksinim duyarsınız. Bu akustik frekans şu anda mümkün değildir ancak yaklaşık 1 GHz civarındaki daha küçük dalga boyları için mükemmel bir tekniktir.

9.1 SOA'lardaki çapraz kazanç modülasyonu (XGM)



Şekil 9.1.1 Çapraz kazanç modüleli SOA ile dalgaboyu dönüştürücüsü. Dutton

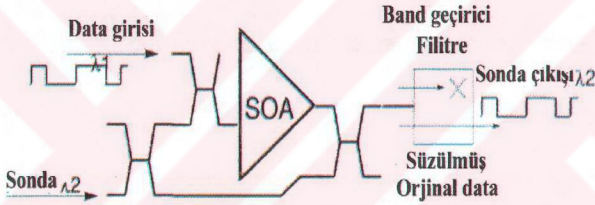
Buradaki prensip oldukça basittir. Bir SOA'ya oldukça yüksek bir sinyal düzeyi beslediğinizde, doygunluğa erer. Yani kazanç ortamı uyarılmış durumdaki elektronlarının tamamını (ya da tamamına yakını) verir ve artık yükseltme yapamaz. Eğer doygunluk sırasında bir SOA'ya iki WDM sinyali beslerseniz, yukarıdaki nedenden ötürü bunlar arasında çok ciddi çapraz bağlantı elde edersiniz.

Prensip bu çapraz bağlantı etkisinden yararlanmaktadır. Görece yüksek düzeydeki (modüle edilmiş) bir sinyali SOA'ya beslersiniz. Bununla karşınca, farklı bir dalga boyunda daha düşük bir model edilmemiş sinyal (sonda olarak adlandırılır) elde edersiniz. SOA'dan çıkışta

sonda sinyali orjinal veri sinyalinden gelen bütün modülasyonları taşıyacaktır. Bununla birlikte, modülasyonlar modüle edilmiş girdi sinyalinin tersidir.

Orjinal sinyal daha sonra filtrelenir ve - başlangıçta sahip olduğumuz sinyalin tersi bir sinyale (bu daima görüldüğü kadar bir problem olmayabilir) sahip olmamıza rağmen - dalga boyunu değiştirmiş durumdayız. Sinyal düzeyleri bir problemidir. Bunu çalıştırmak üzere oldukça yüksek bir veri sinyali düzeyine ve oldukça düşük bir sonda sinyaline gereksinim duyarsınız. Bu SOA'ya girmeden önce veri sinyalini ön yükseltmeden geçirmenizin ve sondayıda (yeni veri sinyalini) çıkışta yükseltmeden geçirmenizin gerektiği anlamına gelmektedir.

9.2 SOA'lardaki çapraz fazlı modülasyon (XPM)



Şekil.9.2.1. Çapraz faz modülasyonlu SOA'ya sahip dalgaboyu dönüştürücüsü.Dutton

Aygt bir kolunda SAO'ya sahip bir Mach - Zehnder interferometresidir. SOA içerisindeki sonda sinyalinin faz modülasyonu rekombinasyon içerisindeki girişimin genlik modülasyonuna dönüştürülmektedir.

SOA doygunluğa ulaştığında (yukarıda gördüğümüz gibi) kazanç özellikleri değişir. Bununla birlikte kazanç doygunluğuna etkin bölge (boşluk) içerisindeki taşıyıcı yoğunluğundaki bir değişim eşlik eder.

Taşıyıcı yoğunluğundaki bir değişiklik kırınma indisinde bir değişim olduğunu ima etmektedir.

Bu aygıtta genliğinden çok sonda sinyalinin fazını değiştirmek üzere değiştirilmiş kırılma indisinden yararlanabiliriz. Fazdaki değişimler SOA'nın Mach - Zehnder interferometresinin bir koluna yerleştirilmiş olması şartıyla genlik değişimleri halinde dönüştürülmektedir. Bu yaklaşımın büyük bir avantajı dalga boyu dönüştürücüsünden gelen çıkışın ters olmamasıdır.

9.3 FWM ve DFG

Dört Dalga Karıştırma (FWM) ve Fark Frekansı Üretme (DFG) yakın derecede benzer süreçlerdir. FWM'de iki yeni sinyal üretmek üzere iki sinyal karışır.

$$f_3 = 2 f_1 - f_2$$

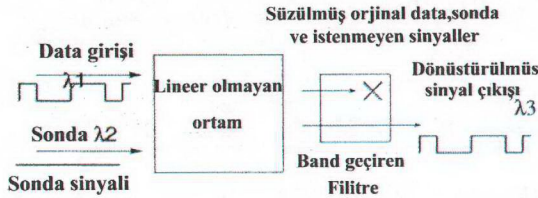
$$f_4 = 2 f_2 - f_1$$

DFG'de iki sinyal yine iki yeni frekans üretmek üzere karışmaktadır :

$$f_3 = f_1 - f_2$$

$$f_4 = f_2 - f_1$$

Bu iki süreç arasındaki fark sürecin meydana geldiği ortam nedeniyle. FWM standar fiber ya da SOA gibi üçüncü dereceden ortamlar içerisinde meydana gelmektedir



Şekil 9.3.1. FWM ya da DFG kullanan dalgaboyu dönüştürücü. Dutton

DFG lityum niobat dalga kılavuzu gibi ikinci dereceden ortamlarda meydana gelmektedir.

Süreç Şekil 9.3.1 tarafından gösterilmektedir.

Her iki süreçler yüksek bit oranlarında işleyebilir ve modülasyon formatı bağımsızdır. FWM'deki sonda sinyalinin giriş (ve çıkış) sinyallerinin dalga boyuna yakın olduğuna dikkat edin. DFG'de pompa dalga boyu sinyal dalga boyunun yarısıdır (frekans açısından iki katıdır) Bir problem de giriş sinyalinin dalga boyunun bir fonksiyonu olmasıdır. Giriş sinyalindeki bazı istenmeyen değişimler çıkışta benzer dalga boyu değişimlerine neden olur. Her iki teknik de potansiyel olarak sistemde büyük avantaja sahiptir. Böylece dağıtılmış bir atım ters döndürülmekte ve fiber üzerindeki sonraki kademesinden geçişi sırasında "dağılmamıştır".

9.4 Opto - Elektronik dönüştürme

Yukarıda tartışılan saf optik dönüştürmeler kapsamında, sinyali bir ara elektronik forma dönüştürmek hile yapmak gibi görünmektedir.

Bununla birlikte bu, belkide ana geçerli tekniktir ve son kullanıcı ekipmanın bağlantısı için pek çok geçerli WDM sisteminde kullanılmaktadır

Gerçekte burada iki oldukça farklı ortam vardır .

1. Ara düğüme ulaşan bir kanalın (dalga boyunun) sonraki optik düğüme ileri doğru yönlendirmek üzere farklı bir dalga boyuna dönüştürülmesi gereken tamamen optik bir WDM ağında olabilir.
2. Gerek optik ağı gerekse bugünün tipik WDM sistemlerinin son kullanıcı arabirimindedir. Bu durumda son kullanıcıya bağlantı genellikle 1310 nm bandındadır ve MM fiberi üzerinde LED'leri bile kullanabilir. Bu ortamda çoğu optik dönüştürme teknikleri işe yaramaz.

Opto - elektronik dönüştürmede, sinyal sıradan bir pin diyodu ya da APD kullanılarak alınmakta ve temiz keskin kenarlara sahip dijital bir atıma dönüştürülmektedir. Bununla birlikte, bir oranını ve sayısal kod bağımsızlığını muhafaza etmek üzere sinyal genellikle

tekrar zamanlanmamaktır. Bu “temizlenmiş” sinyal tanımlı bir dalga boyundaki bir lazer vericisini sürmek üzere kullanılmaktadır.

Bu çok şık olmamasına rağmen, pragmatik olarak yapılan en yararlı şeydir. Sinyalin “temizlenmesi” gerçekte dağılma etkilerinin çoğunu (ancak hiç bir durumda tamamını değil) yok eder. Atım temizlendiğinde, “0” ve “1” bir arasında bir karar vereceğiniz bir sinyal düzeyi seçmelisiniz. Bu süreç kaçınılmaz olarak atımın kenarlarından alınmış dağılmanın bir kısmını kesmektedir. Bu tüm dağılmayı ortadan kaldıramaz ve dolayısıyla bu açıdan tam tekrar üretim olmayıp ancak (sinyal sayısal olduğu sürece) kod ve hız bağımsızlığını muhafaza ederken, pek çok dağılmayı ortadan kaldırmaktadır.

Elektronığın dezavantajları çok fazla güç tüketmesi, sinyale gürültü eklemesi, ve çapraz bağlantı problemi nedeniyle çok yüksek bir oranlarını tasarımlamak çok zordur (pahalı olarak okuyun).

IBM 9729 ile yapılan deneylerde, iyi kalitedeki bir iletişimin (sinyali tekrar üretmek üzere 9729'ları kullanarak) 350 km uzaklığa kadar mümkün olduğu bulunmuştur.

Bunun yerine yükselticiler kullanırsa, sinyal yaklaşık 150 km'de dağılma nedeniyle sınırına ulaşır. Ara anahtarlama düğümleri için bir teknoloji olarak, elektronik kısa vadede yararlı olan bir geçici teknoloji olarak görülmelidir.

Optik bir ağı son kullanıcı ekipmanına bağlamak için bir teknoloji olarak,

1. Son kullanıcı bağlantısının 1310 nm bandını kullandığı
2. Son kullanıcı bağlantısının MM fiberi olduğu
3. Son kullanıcı lazerlerinin kalitesinin problemlili (düşük) ya da kontrolsüz olduğu bir ortamda elektroniğe sürdürülebilir bir alternatif yoktur. (Dutton, 1998)

Ek 6

ITU TAVSİYESİ

ITU' nun oluşturduğu Çalışma Grubu 15'e çeşitli üretici firmalar vasıtasıyla tasarı halinde öneriler gelir.İşte bunlardan bir tanesinde 'Lucent Technologies' in yaptığı bu konudaki çalışmalardır.Ek 6'da bu konuyla ilgili yapılmış olan çalışmanın bir özetini bulabiliriz.

- **Özet**

Çok Kanallı Optik Hat Sistemlerinin ilerdeki bu tip sistemlerle olan uygunluğunun devam etmesini teminen hazırlanmış bir tasarıdır.

Halen kullanılmakta olan bu tavsiyede 4 ve 8 kanallı ve STM-16 hızındaki kanalların G.652,G.653 ve G.655 tavsiyelerine uygun fiberler için 80km,120km ve 160 km aralıklı tekrarlayıcıların kullanıldığı 640 km mesafeli bir link için arayüz parametreleri tanımlanmıştır.193.1 THz frekansından başlamak üzere ve kanallar arası boşluğun 100GHz olduğu kanal seçimi baz olarak alınabilmektedir.

- **İçerik**

Bu tavsiye çok kanallı optik hat sistemlerinin optik amplifikatörlü ve uzun mesafeli uygulamalarının optik arayüzleri için geçerlidir. 160 km'ye kadar olan amplifikatörsüz hatlar ve 640 km'ye kadar olan optik amplifikatörlü hatların optik arayüz değerleri ve parametrelerini tanımlamaktadır.

Bu tavsiyedeki amaç optik amplifikatörlerin spefikasyonlarını SDH sistemleri için uyumlu hale getirmek ve gelecekteki çok kanallı sistemler için optik amplifikatör teçhizatlarının uyumlu olmasını sağlamak içindir.Şu andaki gelişmeler neticesinde bütün spefikasyonların bütün sistemlerle uyumlu olarak çalıştığını söylemek oldukça erken olacaktır.Bununla birlikte endüstrideki bu hızlı gelişme nedeniyle bu ilk geliştirilen tavsiye niteliğindeki tasarımı sunmakta fayda görüyoruz.

Tamamlanmış halini gelecek versiyonlarda bulabileceğiz.Bu tavsiye sadece noktadan noktaya olan çok kanallı optik hat sistemleri için geçerlidir.Optik ekleme-çıkarma yapılan sistemler için değildir.Aşağıdaki özellikleri taşımaktadır.

1. Maksimum kanal sayısı :4,8,16 veya 32 olabilir.
2. Sinyalin kanal tipleri:STM-4,STM-16 veya STM-64 olabilir.
3. Tek bir fiber kılı üzerindeki transmisyon:Tek yönlü veya çift yönlü olabilir.

Tabiki gelişen teknoloji ile birlikte marketteki ürün sayısı ve çeşidi devamlı olarak artmakta ve değişmektedir.Bu yüzden sistemlerin karakteristikleride sürekli olarak gelişmekte ve bunlarla ilgili ortak bir standart belirlemekte oldukça zor olmaktadır.

Burada anlatmaya çalıştığımız tavsiye 1550 nm dalgaboyunda çalışan EDFA kullanılarak yapılmıştır.Daha farklı dalga boyunda çalışan veya yarıiletkenli optik amplifikatör kullanılarak yapılan denemelerin daha farklı ilave fonksiyonları ve arayüzleride beraberinde getirdiğini söylemekte fayda görmekteyim.

• Referanslar

Aşağıda ITU-T tavsiyelerini ve bu tasarının hazırlanmasında rol oynayan şartları bulabileceğiz.Bu baskı hazırlandığında aşağıdaki tavsiyeler geçerliydi.Bütün tavsiyeler her zaman için yeniden yazılmak üzere revizyona tabi tutulabilirler.

Bütün kullanıcılar son tavsiyeleri her zaman için bekleme zorunda kalmaktadırlar.Aşağıdaki liste halen geçerli olan ITU-T tavsiyeleridir.

ITU-T Tavsiyesi G.652-1993-Tek modlu fiberin karakteristiği.

ITU-T Tavsiyesi G.653-1993-Dispersiyonu(Saçılımı) kaydırılmış tekmodlu fiberin karakteristiği.

ITU-T Tavsiyesi G.655-1996-Bir non-zero dispersiyonlu(saçılımlı) tekmodlu fiberin karakteristiği.

ITU-T Tavsiyesi G.661-1996-Optik fiber amplifikatöre ait geniş kapsamlı tanımlama ve test metodları.

ITU-T Tavsiyesi G.662-1995-Optik fiber amplifikatöre ait teçhizatların ve alt sistemlerin geniş kapsamlı karakteristikleri.

ITU-T Tavsiyesi G.663-1996-Optik fiber amplifikatörün teçhizatlarına ve alt sistemlerine ait uygulamalı fikirler.

ITU-T Tavsiyesi G.671-1996-Pasif optik komponentlerin transmisyon karakteristikleri.

ITU-T Tavsiyesi G.681-1996-Optik amplifikatör veya optik multipleks kullanan uzun mesafe ve kısa mesafeli sistemlerin fonksiyonel karakteristikleri.

ITU-T Tasarı Şeklindeki Tavsiye G.691-Ne zaman olursa-Tek kanallı SDH sistemleri ve STM-64 sistemleri için optik arayüzler.

ITU-T Tavsiyesi G.707-1993- SDH bit oranları.

ITU-T Tavsiyesi G.783-1993-SDH teçhizatının fonksiyonel bloklarının karakteristikleri.

ITU-T Tavsiyesi G.955-1993-Fiber kabloda 1544 kbit/s ve 2048 kbit/s hiyerarşisinde çalışan sayısal hat sistemleri.

ITU-T Tavsiyesi G.957-1995-SDH sistemleri ve teçhizatları ile ilgili optik arayüzler.

- **Terminoloji**

Bu tavsiyede aşağıdaki tanımlama uygulandı.

Optical Supervisory Channel(OSC) yani **Optik Denetleme Kanalı** :Bu kanal her bir optik amplifikatörün bulunduğu yerde bulunabilen ve bakım işi için kullanılan bir kanaldır.Bu kanalla uzak uçtaki merkezin alarmlarını, hata durumunu ve servis kanalını kullanmak mümkündür.Optik Denetleme Kanalı canlı trafik taşımak için kullanılmaz.

- **Kısaltmalar**

Aşağıdaki kısaltmaları bu tavsiye edilen metin için kullanacağız.

1. **AFR** :Absolute Frequency Reference(Mutlak Frekans Referansı)
2. **ASE** :Amplified Spontaneous Emission(Kendiliğinden Yükseltgenmiş Yayılım)
3. **BER** :Bit-Error Ratio(Bit Hata Oranı)
4. **EDFA** :Erbium Doped Fibre Amplifier(Erbium İlave Edilmiş Amplifikatör)
5. **FWM** :Four Wave Mixing(Dört Dalga Karışması)
6. **MPI** :Multiple Path Interference(Çoklu Yol Girişimi)
7. **MPI-S** : Main Path Interface at the Transmitter(Verici tarafında Ana Yol Arayüzü)
8. **MPI-R** :Main Path Interface at the Receiver (Alıcı tarafında Ana Yol Arayüzü)
9. **NF** :Noise Figure(Gürültü Şekli)
10. **OA** :Optical Amplifier(Optik Amplifikatör)
11. **OD** :Optical Demultiplexer(Optik De-multipleks)
12. **OEO** :Optical-Electrical-Optical Converter (Optik-Elektriksel-Optik Çeviriciler)

- 13. OM :Optical Multiplexer(Optik Multipleks)
- 14. OSC :Optical Supervisory Channel(Optik Denetleme Kanalı)
- 15. OSNR :Optical Signal to Noise Ratio(Optik Sinyalin Gürültü Oranı)
- 16. PMD :Polarization Mode Dispersion(Polarizasyon Modunun Dağılımı)
- 17. RX :Optical Receiver(Optik Alıcı)
- 18. SDH :Synchronous Digital Hierarchy(Senkron Sayısal Hiyerarşi)
- 19. SNR :Signal to Noise Ratio(Sinyalin Gürültü Oranı)
- 20. SPM :Self Phase Modulation (Kendi Faz Modülasyonu)
- 21. SBS :Stimulated Brillouin Scattering (Bastırılmış Brillouin Dağılımı)
- 22. STM-N:Synchronous Transport Module Level N(N Seviyesindeki Senkron İletim Modülü)
- 23. TX :Optical Transmitter(Optik Verici)
- 24. WDM :Wavelength Divison Multiplexing(Dalgaboyu Bölmeli Çoklama)
- 25. XPM :Cross-Phase Modulation(Çapraz-Faz Modülasyonu)

- **Amplifikatörsüz Bir Hattaki Sistemlerin Kodlanması**

Bu uygulama 4 veya 8 kanallı optik sistemlerdir. Her bir kanal STM-4 , STM-16 veya farklı büyüklükteki karışık kanallardan oluşabilir. Sırasıyla G.652, G653 ve G.655 tavsiyesindeki fiber kablolarla 80, 120 ve 160 km çalışabilen sistemleridir. Aşağıdaki

Tablo 1/G.MCS'de hat amplifikatörü kullanmadan tanımlanan kodlar özetlenmiştir.

1. $nWx-y.z$ her bir uygulama kodu için:
2. n , maksimum dalgaboyu sayısını.
3. W , bir harf olarak aralık uzaklığını ifade etmektedir.
 - L uzun mesafe için.
 - V daha uzun mesafe için.
 - U Ultra uzun mesafe için.
4. x , maksimum aralık sayısı (Amplifikatör olmadığı için $x=1$ olarak kabul edildi.)
5. y , dalgaboyundaki sinyalin maksimum bit-hızı (STM seviyesi)
6. z , fiber tipidir. şöyle ki:
 - 2, G.652 fiber tipini ifade etmektedir.
 - 3, G.653 fiber tipini ifade etmektedir.
 - 5, G.655 fiber tipini ifade etmektedir.

Tablo 1/G.mcs Amplifikatörsüz çok kanallı sistemde uygulama kodları

Uygulama	Uzun mesafeli fiber (80 km)	Çok uzun mesafeli fiber (120km)	Ultra uzun mesafeli fiber (160 km)
4 Kanallı Sistem	4L-y.z	4V-y.z	4U-y.z
8 Kanallı Sistem	8L-y.z	8V-y.z	8U-y.z

Notlar:

1. İfade edilen mesafeler sadece sınıflandırmak için kullanılmıştır.
2. $y = 4$ veya 16 'dır.
3. $z = 2,3$ veya 5 'tir.

• **Amplifikatörlü Bir Hattaki Sistemlerin Kodlanması**

Buradaki uygulamada ise 4 veya 8 kanallı optik kanallar optik olarak birlikte oklanmıştır. Optik Amplifikatörler arasında normal olarak 80 km ve 120 km'lik mesafeler bulunan ve sinyali tekrar üretmeye gerek kalmadan 360 km'den 640 km'ye kadar değişen G.652, G.653 ve G.655 tavsiyelerine uygun fiberler kullanılmıştır. Bunu Tablo 2/G.mcs'de görmemiz mümkündür.

Tablo 2/G.mcs Amplifikatörlü çok kanallı sistemlerin uygulama kodları

Uygulama	Uzun Mesafeli Aralıklar(Aralıklar arası 80km)		Çok Uzun Mesafe Aralıkları(Aralıklar arası 120 km)	
	Aralık Sayısı			
	5	8	3	5
4 Kanallı Sistem	4L5-y.z	4L8-y.z	4V3-y.z	4V5-y.z
8 Kanallı Sistem	8L5-y.z	8L8-y.z	8V3-y.z	8V5-y.z*

Notlar:

1. Bu uygulamanın fizibilitesi daha sonraki çalışmalardır.
2. İfade edilen mesafeler sadece sınıflandırmak için kullanılmıştır.
3. $y = 4$ veya 16 'dır.

4. $z = 2,3,5$

Yukardaki uygulamalarda bit hızı her bir kanal için maksimum STM-16 seviyesine göre tanımlanmıştır. Daha yüksek seviyedeki bit hızları için bu uygulama kodlarının tekrar hesap edilmesi gerekmektedir.

- **Zayıflatma (Attenuation)**

Zayıflama durumu Tavsiye G.957'de tanımlanmıştır. Zayıflama değeri 1530 ile 1565 nm arasında çalışan bir fiber kablo için (ekler ve kablo marjın değerleride dahil olmak üzere) tahmini olarak 0.28 db/km olarak ifade edilmektedir. Pratikte tabiki bu bir reel değer değildir, ancak bir yaklaşım yapmak için yeterlidir.

Tablo 3/G.MCS amplifikatörsüz bir hattaki ve Tablo 4/G.MCS 'de optik amplifikatörlü bir hattaki zayıflama aralıklarını tanımlamaktadır.

Tablo 3/G.mcs Amplifikatörsüz hattaki zayıflama aralığı

Uygulama Kodu	nL-y.z	nV-y.z	nU-y.z
Zayıflama Aralığı			
-Maksimum	22 db	33db	44db
-Minimum	Çalışma Halinde	Çalışma Halinde	Çalışma Halinde

Tablo 4/G.mcs Amplifikatörlü hattaki zayıflama aralığı

Uygulama Kodu	nLx-y.z	nVx-y.z
Zayıflama Aralığı (Optik Amplifikatörler Arasında)		
-Maksimum	22 db	33 db
-Minimum	Çalışma Halinde	Çalışma Halinde

- **Dağılım (Dispersion)**

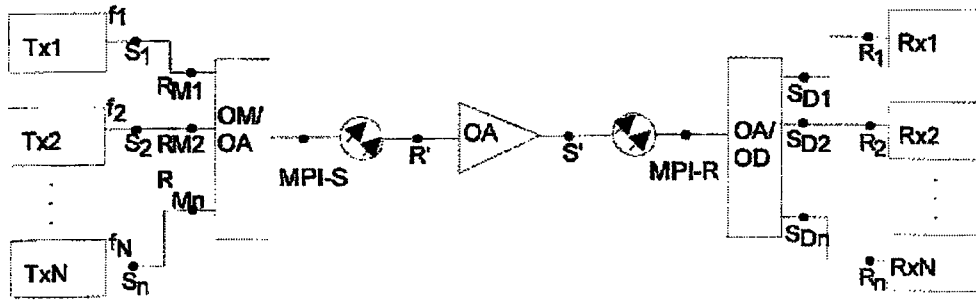
Dipersiyon yani Saçılım, kromatik ve polarizasyon modlu olan saçılımın etkilerinide içermektedir.Bunun tanımlaması.Tavsiye G.957’de belirtilmiştir.G.652 Tavsiyesine uygun fiber kablo alındığında saçılım limiti olarak 20 ps/nmkm bir değer ortaya çıkmaktadır.Tablo 5 optik amplifikatörsüz bir hattaki ve amplifikatörlü bir hattaki saçılım aralıklarını ifade etmektedir.

Tablo 5/G.mcs G.652 tavsiyesine uygun fiberin maksimum dağılımı

Uygulama Kodu	L	V	U	nV3-y.2	nL5-y.2	nV5-y.2	nL8-y.2
Maksimum Saçılım(ps/nm)	1600	2400	3200	7200	8000	12000	12800

Not :STM-16 sistemleri için saçılım değeri 10000 ps/nm üzerinde ise saçılım düzeltme teknikleri uygulanabilir.

- **Optik Arayüzlerin Parametre Değerleri**



Şekil 4.2.4.2.1 Bir optik hat sisteminin arayüzleri

Bir optik haberleşme sistemindeki çeşitli arayüzler, birbirleri arasında uygunluğu sağlamak için parametrelere ihtiyaç duyarlar.Ancak bu parametrelerin değerleri üzerindeki çalışmalar devam ettiği için şimdilik bu konuya bu kadar

değineceğiz. Aşağıdaki Şekil 4.2.4.2.1’de Optik bir hat sisteminin arayüzlerini gösterilmektedir.

Buraya kadar WDM sistemini oluşturan standartlar’dan özet olarak bahsettik. İlavelerde bu sisteme ait bazı önemli tablolarıda ekliyerek konuyu bitirmeye çalışacağız.



İLAVE A

Aşağıdaki tablo 100 GHz aralıklı ve 193.1 THz merkezi referanslı olmak üzere nominal merkezi frekansları vermektedir. Burada frekansları dalgalıplarına çevirmek için kullanılan ışık hızı sabitesini $2.99792458 \cdot 10^8$ m/s olarak alınmıştır.

Tablo A.1/G.mcs Nominal merkezi frekanslar

Nominal Merkezi Frekanslar (THz)	Merkezi Dalgalıpyu (nm)
196.1	1528.77
196.0	1529.55
195.9	1530.33
195.8	1531.12
195.7	1531.90
195.6	1532.68
195.5	1533.47
195.4	1534.25
195.3	1535.04
195.2	1535.82
195.1	1536.61
195	1537.40
194.9	1538.19
194.8	1538.98
194.7	1539.77
194.6	1540.56
194.5	1541.35
194.4	1542.14
194.3	1542.94
194.2	1543.73
194.1	1544.53
194	1545.32
193.9	1546.12
193.8	1546.92
193.7	1547.72
193.6	1548.51
193.5	1549.32
193.4	1550.12
193.3	1550.92
193.2	1551.72
193.1	1552.52
193	1553.33
192.9	1554.13
192.8	1554.94
192.7	1555.75
192.6	1556.55
192.5	1557.36
192.4	1558.17
192.3	1558.98
192.2	1559.79
192.1	1560.61

İLAVE B

Aşağıdaki tablo hem G.652 hemde G.655 tavsiyelerine uygun fiber kabloların önerilen merkezi kanal frekanslarını bulabilmekteyiz.

Tablo III.1/G.mcs G.652 ve G.655 tavsiyesine uygun fiberlerin önerilen kanal frekans yerleşimi

Frekanslar (THz)	100 GHz Aralıklı (8 kanal veya fazla)	200 GHz Aralıklı (4 kanal veya fazla)	400 GHz Aralıklı (sadece 4 kanal)	500/400 GHz Aralıklı (sadece 8 kanal)	600 GHz Aralıklı (sadece 4 kanal)	1000 GHz Aralıklı (sadece 4 kanal)	Dalgaboyu (nm)
196.1	*	*					1528.77
196.0	*						1529.55
195.9	*	*					1530.33
195.8	*						1531.12
195.7	*	*					1531.90
195.6	*						1532.68
195.5	*	*			*	*	1533.47
195.4	*						1534.25
195.3	*	*		*			1535.04
195.2	*						1535.82
195.1	*	*					1536.61
195.0	*						1537.40
194.9	*	*			*		1538.19
194.8	*			*			1538.98
194.7	*	*					1539.77
194.6	*						1540.56
194.5	*	*				*	1541.35
194.4	*						1542.14
194.3	*	*		*	*		1542.94
194.2	*						1543.73
194.1	*	*					1544.53
194.0	*						1545.32
193.9	*	*	*	*			1546.12
193.8	*						1546.92
193.7	*	*		*	*		1547.72
193.6	*						1548.51
193.5	*	*	*			*	1549.32
193.4	*			*			1550.12
193.3	*	*		*			1550.92
193.2	*						1551.72
193.1	*	*	*		*		1552.52
193.0	*			*			1553.33
192.9	*	*		*			1554.13
192.8	*						1554.94
192.7	*	*	*				1555.75
192.6	*						1556.55
192.5	*	*		*	*	*	1557.36
192.4	*						1558.17
192.3	*	*	*				1558.98
192.2	*						1559.79
192.1	*	*		*			1560.61

* : Burada üzerinde çalışılmakta olan frekansları göstermektedir.

İLAVE C

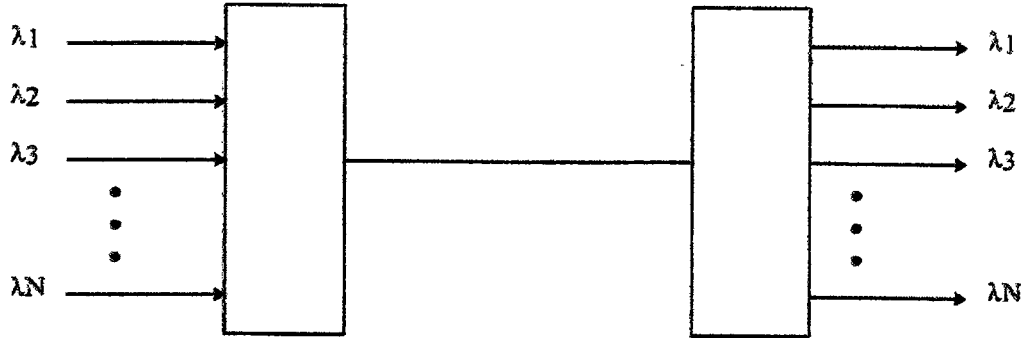
Tablo IV.1/G.mcs G.653 tavsiyesine uygun fiberin 4 ve 8 kanallı uygulamaları için önerdiği kanalların merkezi frekansları .

Frekans (THz)	100 GHz Aralıklı (8 kanal veya fazla)	200 GHz Aralıklı (4 kanal veya fazla)	Alternatif 200 GHz Aralıklı (4 veya 8 kanal) 25 GHz offsetli	Alternatif 200GHz Aralıklı (4 veya 8 kanal) 50 GHz offsetli	Dalga boyu (nm)
	Nominal frekans ızgarasında eşit olmayan aralıkta		Offsetli nominal frekans ızgarasında eşit olmayan aralıkta		
196.1	*				1528.77
196.0	*				1529.55
195.9	*	*			1530.33
195.8	*				1531.12
195.7	*	*			1531.90
195.6	*				1532.68
195.5	*	*			1533.47
195.4	*				1534.25
195.3	*	*			1535.04
195.2	*				1535.82
195.1	*	*			1536.61
195.0	*				1537.40
194.9	*	*			1538.19
194.8	*				1538.98
194.7	*	*			1539.77
194.6	*				1540.56
194.5	*	*		(194.45)	1541.35
194.4	*				1542.14
194.3	*	*		(194.2)	1542.94
194.2	*				1543.73
194.1	*	*			1544.53
194.0	*				1545.32
193.9	*	*	*		1546.12
193.8	*				1546.92
193.7	*	*	(193.675)	*	1547.72
193.6	*				1548.51
193.5	*	*	(193.525)		1549.32
193.4	*				1550.12
193.3	*	*	(193.35)	*	1550.92
193.2	*				1551.72
193.1	*	*	*	*	1552.52
193.0	*				1553.33
192.9	*	*	*		1554.13
192.8	*				1554.94
192.7	*	*	(192.625)	(192.75)	1555.75
192.6	*				1556.55
192.5	*	*	*	(192.45)	1557.36
192.4	*				1558.17
192.3	*	*		*	1558.98
192.2	*				1559.79
192.1	*	*			1560.61

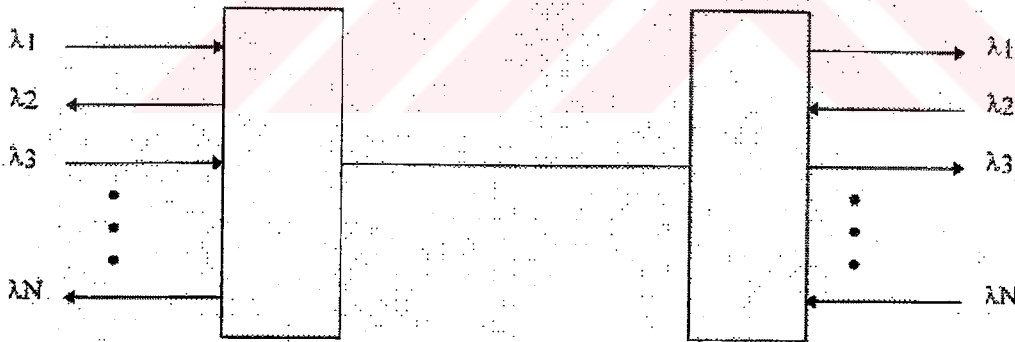
* :Üzerinde çalışılmakta olan frekansları göstermektedir.

İLAVE D

Şekil 4.2.4.2-1’de görüldüğü gibi Tek Yönlü WDM sistemi bütün optik kanalları bir fiberin üzerinden aynı yönde ve birlikte ileten sistemdir. Bunu aşağıdaki Şekil VII.1/G.mcs görmemiz mümkündür.



Şekil VII.2/G.mcs Tek yönlü WDM



Şekil VII.2/G.mcs Çift yönlü WDM

Genellikle çift yönlü WDM sistemleri tek yönlü WDM sistemleriyle karşılaştırıldığında zaman fiber kablonun ve hat amplifikatörünün sayısında bir azaltıma yol açmıştır. İlave bir yararıda dört dalganın karıştırılması (FWM) işleminde göstermiş olduğu performans olmuştur. Özellikle G.653 tavsiyesine uygun fiber kabloların kullanımının artmasıyla bu özellik belirginleşmiştir. Çift yönlü WDM sistemleri, sistem dizaynı yapılırken göz önüne

alınması gereken önemli bir faktör olmuştur. Endişe edilmesi gereken nokta, çok kanalın birbirine karışması (MPI) işlemine sebep olan optik yansımalara dikkat edilmesidir.Önemli olan diğer noktalar ise konuşmaların karışması, her iki yönde gönderilen sinyallerin bağımsız güç değerleri denetleme kanalı ve otomatik olarak kanalların kapanması işlemleridir.Bu konularla ilgili detaylı çalışmalar devam etmektedir.(Rahn,1998)



Ek 7

LINEER OLMAYAN YÜKSEK GÜCÜN ETKİLERİ

Işığın vakum içersinde hareketi esnasında, farklı kaynaklardan gelen dalgalar birbirinden etkilenmez. Buna rağmen ışığın materyal içinden geçmesi durumunda farklı şekillerde etkileşimler oluşur. Bu etkileşim ışığın dalga boyunda değişimlere neden olur ve farklı ışık dalgalarında da materyallerin içerisinden geçerken değişimler olur.

Fiber optik malzemeler içerisinden ışık geçmesi esnasında küçük değişiklikler olur böylece aynı fiber malzeme üzerinden gönderilen farklı sinyallerde de küçük değişiklikler olur. Buna rağmen sinyalin uzunca bir fiber hat üzerinden gönderilmesi çok küçük farklılıkların oluşturması için bir fırsattır. Lineer olmayan etkiler fiber içerisinden geçen optik güçlerin artmasını sağlar.

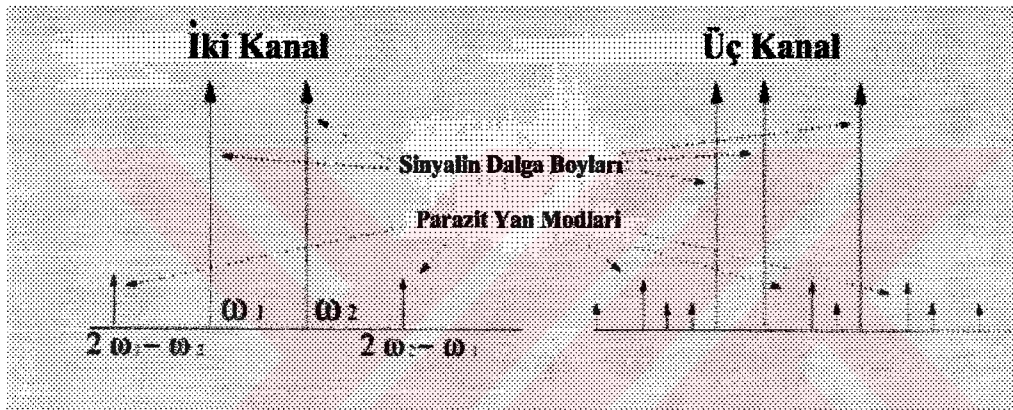
Düşük güç seviyelerinde çok küçük etkiler oluşur veya hiç olmaz. Gücün artmasıyla etki gözlemlenir ve daha belirgin olur. Örneğin, özel Uyarılmış Brilloun Dağılımı yapı içerisinden geçme 3mW sinyalde ölçülebilir bir değişiklikler olmazken 6 mW sinyal geçmesi durumunda belirgin güç değişikliği ölçülmüştür.

Bu etkiler iki ayrı şekilde gruplandırılabilir. “Elastik” etkilerde, optik dalga maddeyle karşılaşması ve varlığından etkilenmesine rağmen bu ikilinin arasında enerji değişimi olmaz. Elastik dağılıma örnek olarak dört dalga karışımını gösterebiliriz. İnelastik dağılımda malzeme ve optik dalga arasında bir enerji transferi vardır. Bu sınıfa örnek olarak Uyarılmış Brilloun Dağılımı ve Uyarılmış Raman Dağılımı gösterilebilir.

Fiber üzerindeki transmisyon dikkate alındığında lineer olmayan etkiler neredeyse istenmez. İnceltme ve saçılmadan sonra lineer olmayan etkiler optik transmisyonda bir sonraki önemli limitasyon sağlarlar. Gerçekte bağzı durumlarda bunlar inceltme veya dağılımından daha belirgindirler. Buna rağmen birçok optik ekipman temel işletimleri için aynı lineer olmayan etkileri temel alırlar. Daha verimli ekipmanlar yapmak için doğrusal olmama seviyesi yüksek olan özel bir fiber geliştirme konusunda pek çok araştırma yapılmaktadır.

1.Dört-Dalga'nın Karıştırılması (FWM)

WDM sistemlerindeki en büyük problemlerden birine “Dört Dalga'nın Karıştırılması” (FWM) denir. Şekil 1.1’de görüldüğü gibi.Sinyaller karışık sinyal olabilmek için eşit aralıklarla yerleştirilmiş dalga boylarında yeni sinyaller oluşturularak karıştırılır. Tanımlamada dalga boyu yerine frekans kullandığımız takdirde bu daha kolay anlaşılacaktır. Biri $2\omega_1 - \omega_2$ frekansında ve diğeri $2\omega_2 - \omega_1$ frekansında İki yeni sinyal oluşturmak için, ω_1 frekansındaki bir sinyal ω_2 frekansındaki bir sinyalle karıştırılır. Etkiler üç veya daha fazla sinyal arasında da oluşabilir.



Şekil 1.1 Dört dalga karışım etkisi

Konuyla ilgili birkaç belirgin nokta vardır.

- Kanal aralığı azaldıkça etki büyür, kanallar birbirine yaklaştıkça FWM etkisi büyür.
- FWM sinyal gücüyle birlikte doğrusal değildir, sinyal gücü arttıkça etki üssel olarak büyür.
- Etki kromatik dağılımdan çok fazla etkilenir. Sinyallerin belirli bir mesafede iken birbirlerine aynı fazda kalmaları FWM ye sebep olur. Lazerler uzun “Coherence Length” değerlerine sahip ışık üretirler ve birçok sinyal eğer kromatik dağılım yoksa uzun mesafede birbirleri ile aynı fazda kalırlar. Dağılım ne kadar çoksa FWM’nin

etkisi o kadar küçüktür, çünkü kromatik dağılım birbirleri ile aynı fazda uzun süre kalmayan değişik sinyallerin bir arada kalmalarını sağlar.

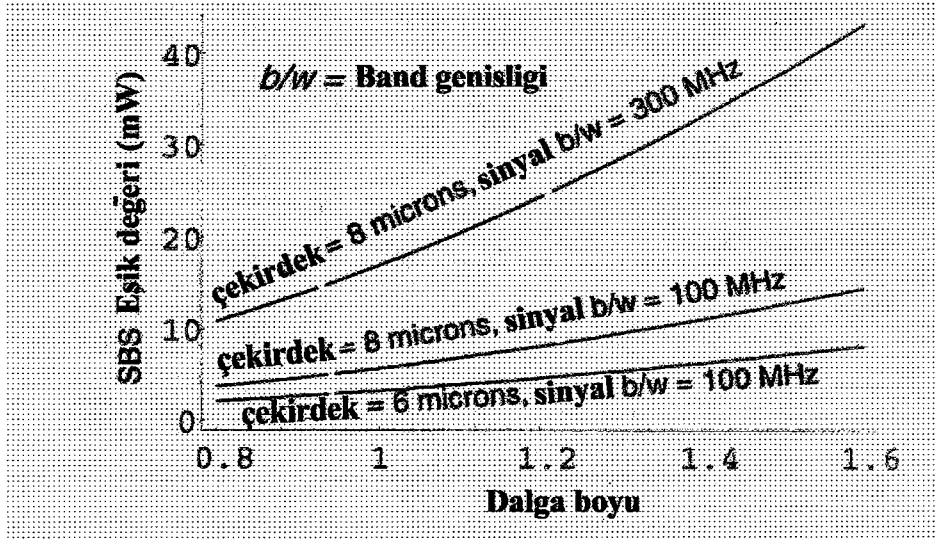
- Eğer WDM kanalları eşit olarak yerleştirilmişse sinyal kanallarında sahte sinyaller oluşacak ve gürültüye sebep olacaktır. FWM'nin etkisini azaltmanın bir yolu da kanalların eşit olmayan aralıklarla yerleştirilmesidir. Bu ilgisiz kanallardaki konuşmaların karışmasını azaltır. Buna rağmen, bu durum sinyal kanallarındaki gücü azalması problemini çözmez.

2.Uyarılmış Brillouin Dağılımı (SBS)

Uyarılmış Brillouin dağılımı ışığın transmisyon bölgesinde mekanik titreşimler vasıtasıyla arka tarafta vericiye doğru dağılmasına denir. Yansıyan dalgaya “Stokes dalgası” denir. Buradaki etki genellikle çok önemsiz olur ama yüksek kaliteli dar çizgi genişliği olan bir lazerin kullanıldığı yüksek güç seviyeli pozisyonlarda önemli olabilir.

Uyarılmış Brillouin dağılımı (SBS) optik sinyalin varlığından dolayı oluşur. Birkaç miliwatt'lık sinyal seviyesi çok küçük gözükse de tek modlu bir fiber çekirdeğinde küçük bir kesit bile çok yoğun olabilir. Bir optik sinyal gerçekte çok güçlü bir elektromanyetik alandır. Bu alan fiberde mekanik titreşimlere sebep olur ki düzenli değişen modeller kırılma indeksinde küçük değişikliklere neden olur. Brillouin dağılımının etkisi RI değişikliklerinin düzgün modellerince oluşturulan dağıtma ızgarasından ışığın yansmasıyla olur. Yansıya ışık hareketli bir ızgaradan geri yansır. Böylece frekansı Doppler etkisiyle kaydırılmış olur. Standart tek modlu fiberde yansıyan dalganın kaydırılması yaklaşık 11.2 G Hz frekansında aşağıya doğrudur.

Etki, tıpkı Uyarılmış Raman Dağılımı gibi, lineer olmaya ve pratik sistemlerde gizlenebilir ciddi bir etki için yaklaşık 3 m W güç seviyesine ihtiyaç duyar. Bu aynı zamanda uzun bir etkileşim boyu ve oldukça dar çizgi eni olan bir sinyale ihtiyaç duyar. Genellikle SBS söz konusu olması için sinyallerin çizgi eni 100 MHz küçük olmalıdır. İleri yöndeki etki inceltmede bir artış olarak görülür. Bu çok hızlıdır ve sinyale gürültü ekler. Dar çizgi enli sinyaller için SBS kullanılabilir transmisyon gücü üzerinde bir üst limit empoze eder.



Şekil 2.1 SBS'nin eşik değerinin dalga boyu ile birlikte değişimi. SBS'nin sebep olduğu etkinin, güç seviyesinin üzerindeki değerine eşik değeri denir.

Varolan çoğu sistemde SBS aşağıdaki sebeplerden dolayı bir problem değildir:

1. Geçen lazerin enjeksiyon akımının direk modülasyonu cıvıdar gibi ses çıkarır ve sinyali daraltır. Bu belirgin şekilde SBS'nin etkisini azaltır.
2. Etki fiberin fazla zayıflamasından dolayı 1300 nm sistemlerinde 1550 nm sistemlerinden daha azdır.
3. Yeterli güç seviyesi üretme kabiliyetine sahip lazerler henüz elde edilebilir olmuştur ve amplifikatörler de yeni icatlardır.
4. 2.4 GHz den düşük hızda ne yüksek güç ne de dar çizgi enli lazerler kullanmak gerekir.
5. SBS etkileri modülasyonun sinyal genişletme etkisinden dolayı hız artıktıkça azalır.

SBS problem olduğu durumlarda çizgi eni sıkça kasti olarak genişletilir. Bu lazer enjeksiyon akımı üzerinde ek bir RF modülasyonu kullanılarak, harici bir faz modülatörü

kullanılarak veya nabız gibi atan bir lazer kullanılarak yapılabilir. Tabi ki çizgi eninin artması uzun mesafe transmisyonun hafifletir çünkü bu kromatik dağılımı artırır.

Buna rağmen, SBS aşağıdaki üç durumda önemli bir problem olabilir:

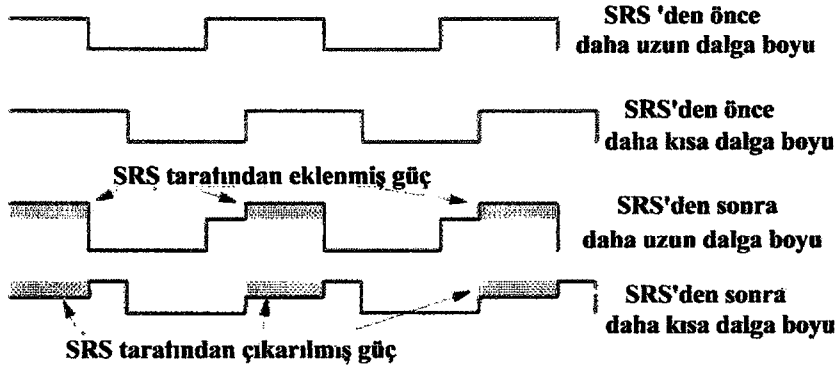
1. Amplifikatörler arası hattın uzak olduğu ve bit hızının düşük olduğu (yaklaşık 2.5 Gbps den düşük) uzun mesafe sistemlerinde
2. Sinyalin spektral eninin dar olduğu WDM istemlerinde (yaklaşık 10 Gbps ye kadar)
3. Ayrı bir fiberden EDFA 'nın uzağa pompalaması. EDFA pompaları tipik olarak yaklaşık 80 MHz genişliğinde dört hat çıkarırlar. Bu hatların herbiri kullanılabilecek güç ölçüsünde SBS tarafından sınırlandırılmıştır. Bu belirgin olarak uzağa pompalama potansiyelini sınırlandırır.

3.Uyarılmış Raman Dağılımı (SRS)

Uyarılmış Raman Dağılımına SBS'yi oluşturan mekanizmaya benzer bir mekanizma sebep olur. Buna rağmen var olan etkileşimler moleküler titreşimlerden çok akustik titreşimlerden dolaydır. Dağılan ışık hem ileri yönde hemde geri yönde gözükebilir. Tek kanallı bir sistemde “Raman Eşiği” (Raman dağılımının başladığı güç seviyesi) oldukça yüksektir. Diğer etkiler (örneğin SBS) sinyal gücünü tek kanallı sistemlerde Raman eşiğinden daha az olacak şekilde sınırlandırır.

Uyarılmış Raman dağılımı tek kanallı sistemlerde bir mesele değilken WDM sistemlerinde belirgin bir problem olabilir. Çoklu kanallar olduğu zaman, güç kısa dalga boylarından uzunlara gönderilir.

Bu SRS ye dayalı optik amplifikatörlerin oluşturulmasında yararlı bir etmen olabilir. Ama transmisyon sistemlerinde bu bir gürültü kaynağıdır.



Şekil 3.1 Uyarılmış Raman dağılımı(SRS)

Şekil 3.1 prensibi göstermektedir.İki dalga boyunun SRS'den önce ve sonra ki halini göstermektedir.Dikkat edilirse güç kısa olan dalga boyundan uzun olan dalga boyuna transfer edilmiştir.(yani yüksek enerjili dalgadan alçak enerjili dalgaya).Bunun sonucunda uzun dalga boyuna gürültü eklenirken kısa olandan çıkartılmıştır.

Güç transferi titreşen moleküller ile ışığın etkileşiminden olur. Optik güç transferine “Stoks Dalgası” denir.

SRS'nin önemli özellikleri:

- SRS'nin etkisi sinyaller ileri ve daha ileri gittikçe artar. Bu bir problemdir çünkü dört dalga karışımının etkilerini azaltmak için sinyalleri ayırmak isteriz. Bunu yaptığımız zaman SRS ye ulaşmış oluruz. SRS yaklaşık 40 THz'nin üstünde yüksek frekansın altında etkili olur.

Bu demektir ki, var olan en kısa dalga boyundan yaklaşık 300 nm uzun bir dalga boyu aralığında uzayabilir. Bu etki iki frekans birbirlerinden 13.2 THz uzak olduklarında maksimize olur.

- SRS üssel olarak artan güç ile artar. Çok yüksek güçte bütün sinyal gücü Stoks dalgasına gönderilir.

Bir araştırmada, 1 nm kanal aralığı olan 10 kanallı bir WDM sisteminde güç seviyesinin eğer SRS den kaınılacaksa 3 mW dan (her kanal için) düşük olması gerekir.

4.Taşıyıcı İndktanslı Faz Modülasyonu (CIP)

Bir fiberdeki ışığın varlığı fiberin kırılma indeksinin değişmesine sebep olur. Bunun sebebi ışık içeren elektromanyetik alanın camı meydana getiren atomlar ve moleküller üzerinde oynamasıdır. Buna “Kerr Etkisi” denir. Düşük yoğunluklarda bu etki lineerdir. Bu demektir ki RI değişimindeki miktar ışığın yoğunluğu ile linear olarak değişir. Yüksek yoğunluklarda bu etki yüksek oranlarda lineer değildir. Bir miktar yoğunluk değişiminden kaynaklanan RI değişimi, aynı miktarda yoğunluk değişiminin daha düşük ışık seviyelerindeki durumundan kaynaklanan RI değişiminden daha fazladır. Buna “Doğrusal Olmayan Kerr Etkisi” denir.

Yüksek güç seviyelerinde Kerr’nin lineer olmama durumu fiberdeki kromatik dağılımın ve oluşan “soliton”un etkilerinin dengeler.

Orta güç seviyelerinde Kerr etkisi, çarpmaları sıkıştıran ve tekrar oluşturan ve böylece kromatik dağılımın etkilerini bozan ekipmanların yapımında kullanılmıştır.

Düşük güç seviyelerinde Kerr etkisinin sonuçları “tek faz modülasyonu” ve “apraz faz modülasyonu”dur.

4.1 Tek faz modülasyonu (SPM)

Kerr etkilerinin sonucu olarak, fiber glas RI sı atımın oluştuğu yerede bağlı olarak değişiklikler gösterir. Fiber glas içindeki farklı noktalarda, ışığın titreşim sinyalleri farklıdır. Bundan dolayı RI’larda farklı noktalarda küçük değişiklikler gözlenir. Dalga boylarındaki bu farklılık titreşimlere (atımlara) neden olur. Faz miktarındaki değişim frekansta değişimede neden olur. Bundan dolayı titreşimlerin (atımların) frekans tayfi genişler. Çoğunlukla titreşimler (atımlar) dağılır ve bozulur.SPS titreşim (atım) boyunca frekansta seviyeli değişimlere “chirp” neden olur.Bu değişim normal dağılım

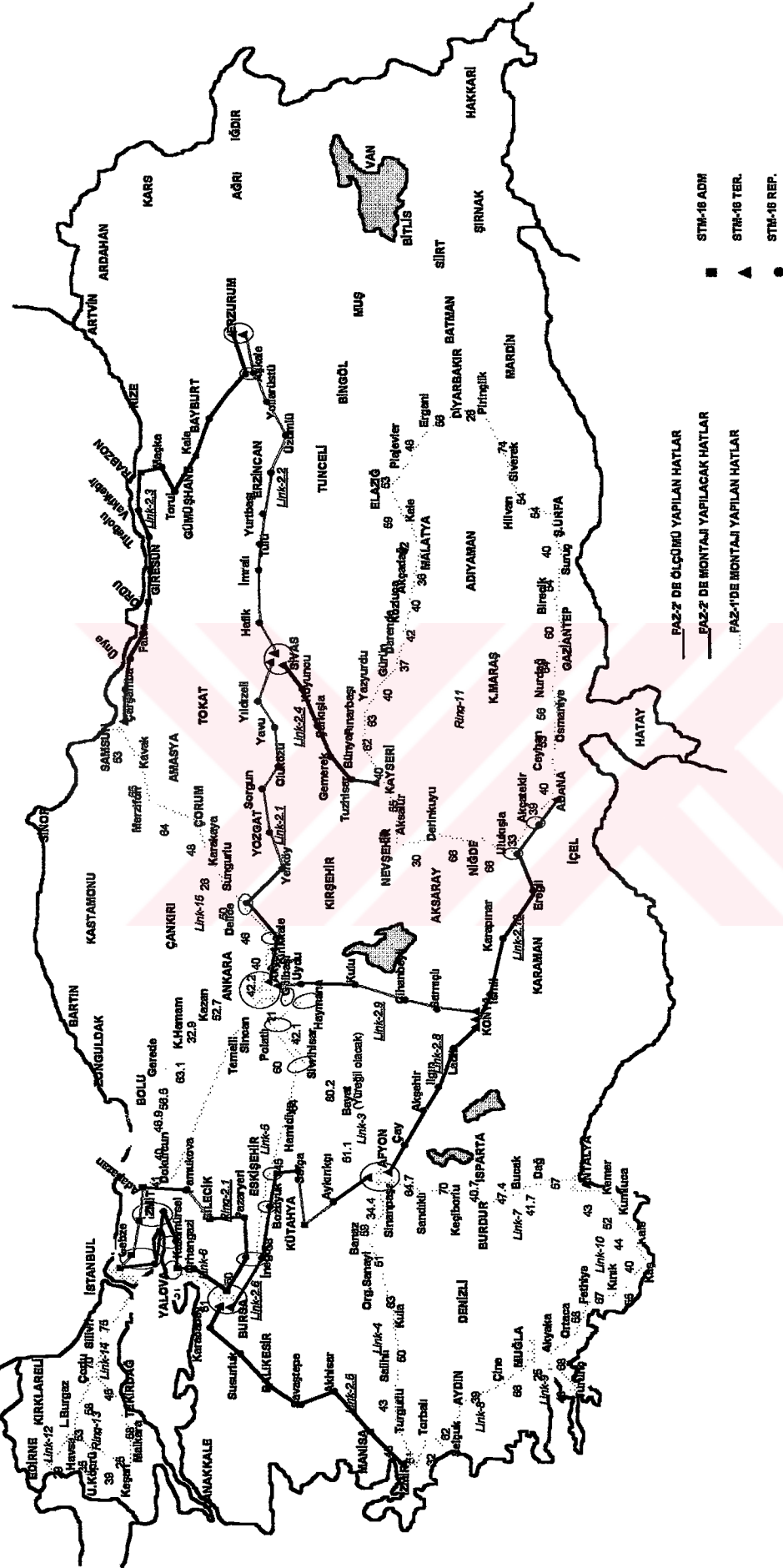
bölgelerindeki kromatik dağılma benzer. Şöyle ki, titreşimler başlangıçta dalga boyu büyük sona doğru ise dalga boyu küçüktür. Buna rağmen kromatik dağılımdan farklı olarak SPM tarafından üretilen titreşimler (atımlar) dalga şekline ve başlangıç güç seviyesine bağlı olarak radikal farklılıklar gösterirler. “Gaussian” şekilli titreşimin (atımın) oluşumu esnasında atım seviyeliştir. Eğer titreşim (atım) güç seviyesinde ani değişim olursa yani kare atım oluşursa, titreşim “Gaussian” atımından daha büyük olur. Buna rağmen orta seviyede değişim olmaksızın başlangıçta ve sonda atım sınırlanır.

Tek kanallı sistemlerde ki orada bilgiler atım kodlu modülasyonlarla (PCM) gönderilir. SPM den genelde kaynaklanan küçük etkiler imha edilir. Buna rağmen sinyal fazında SPM ciddi etkilere neden olur.

4.2Çapraz fazlı modülasyon (XPM)

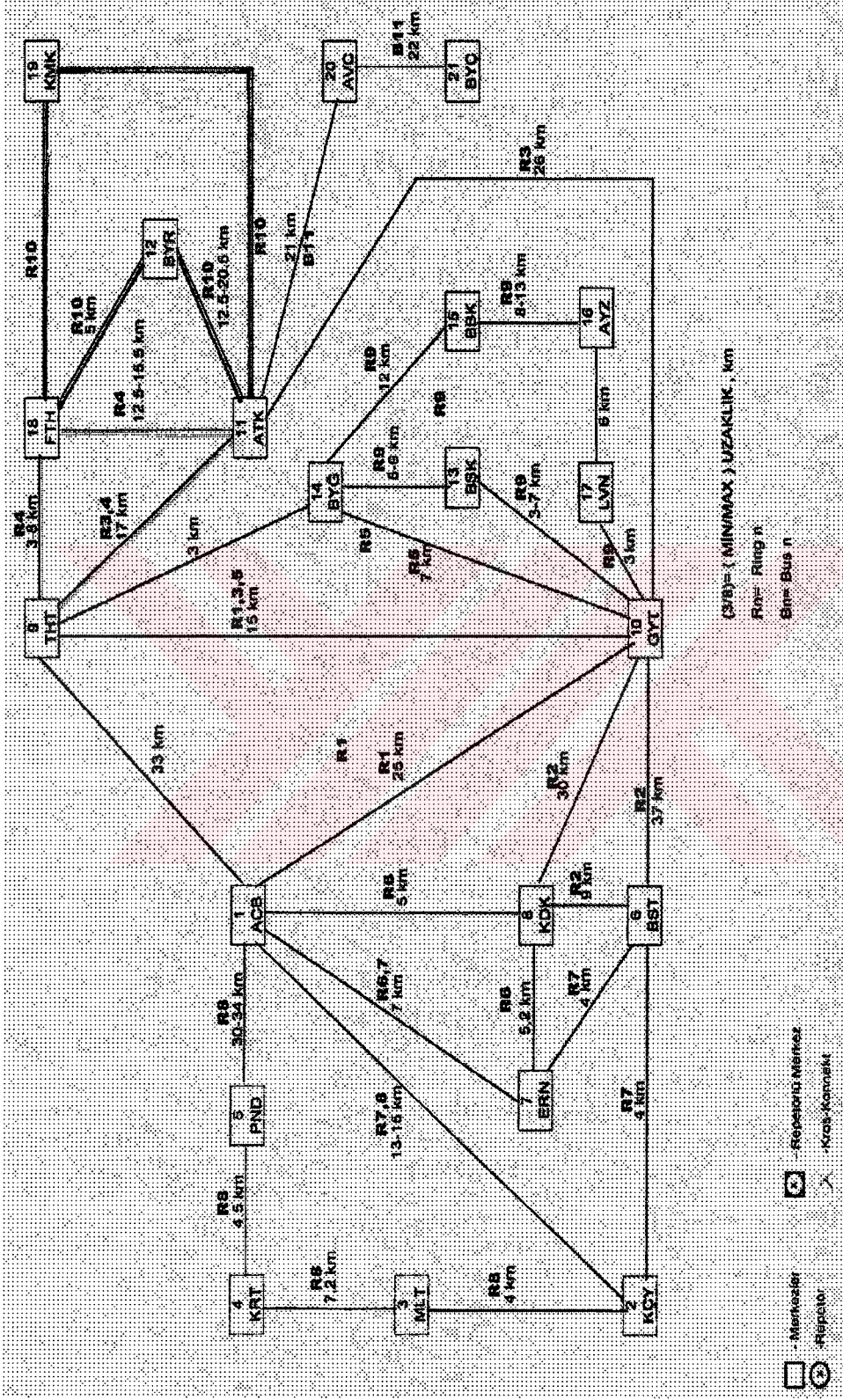
Keer etkisi bir sinyalin diğer sinyaller üzerinde faz modülasyonuna, çoklu sinyaller farklı dalga boylarında aynı fiber üzerinde iken neden olur. Buna çapraz faz modülasyonu (XPM) denir, çünkü tekli sinyaller arasında değil çoklu sinyaller arasında etkili olur. Diğer etkilerden farklı olarak lineer olmayan etkiler sinyaller arasında güç değişimine neden olmaz. Kesin olan şu ki XPM olmaksızın SPM olamıyor. Bunun anlamı tabi ki gürültü oluyor. (Dutton, 1998)

Türkiye Geneli ŞTM-16 Şebeke Planı



17,03.1999

İSTANBUL'A AİT STM-16 ŞEBEKE PLANI:



ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi 21.08.1969

Doğum yeri Karabük

Lise 1983-1986 Kabataş Erkek Lisesi

Lisans 1986-1995 O.D.T.Ü Gaziantep Mühendislik Fak.
Elektrik-Elektronik Mühendislik Bölümü

Çalıştığı kurumlar 1996-1997 Schneider Elek.A.Ş
1997-1997 Türk Telekom Tokat Başmüdürlüğü
1997-devam ediyor Türk Telekom Genel Müdürlüğü
Etüd-Proje ve Yatırım Dairesi Başkanlığı