

84991

**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

FİBER OPTİK KABLOLAR

Elektrik Mühendisi A. Rauf ENSARİ

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

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**İ.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

Tez Danışmanı: Doç. Dr. F. Okan PEKİNER

İSTANBUL, 1999

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ.....	ii
ŞEKİL LİSTESİ.....	v
ÖNSÖZ.....	x
ÖZET.....	xi
ABSTRACT.....	xii
1. TARİHİ GELİŞME.....	1
2. OPTİK DALGA KILAVUZLARININ FİZİĞİ.....	4
2.1 Elektromanyetik Spektrum.....	4
2.2 Dalga Teorilerinin Temel Fikirleri.....	5
2.3 Işığın Yansıması.....	9
2.4 Işığın Kırılması.....	10
2.5 Toplam İç Yansıma.....	13
2.6 Nümerik Açıklık.....	15
2.7 Optik Dalga Kılavuzunda Işığın Yayılması.....	16
2.8 Optik Nanlineer Etkiler.....	19
3 OPTİK DALGA KILAVUZLARININ KİMYASI.....	21
3.1 Erimiş Silika Cam.....	21
3.1.1 Üretim.....	23
4 OPTİK DALGA KILAVUZU PROFİLLERİ.....	29
4.1 Basamak Katsayısı Profili.....	34
4.2 Dereceli Katsayı Profili.....	40
4.3 Çok Basamaklı Katsayı Profili.....	45
5 OPTİK FİBER PARAMETRELERİ VE ÖLÇME METOTLARI.....	49
5.1 Besleme Durumları.....	49
5.1.1 Çok modlu fiberler.....	49
5.1.2 Tek-modlu fiberler.....	51
5.2 Zayıflatma.....	52
5.2.1 Ölçme metotları.....	54
5.3 Band genişliği.....	59
5.3.1 Ölçme metotları.....	60
5.4 Renk Dağılımı.....	64
5.4.1 Ölçme metotları.....	68
5.5 Kesme Dalga Boyu.....	70
5.5.1 Ölçme metotları.....	70
5.6 Mod Alan Çapı.....	71
5.6.1 Ölçme metotları.....	73

5.7	Yakın Alan Dağılımı ve Geometrik Ölçmeler.....	74
5.7.1	Ölçme metotları	74
5.8	Uzak Alan Dağılımı	78
5.8.1	Ölçme metotları	78
5.9	Mekanik Dayanıklılık.....	79
5.10	Kutuplanma Mod Dağılımı.....	81
5.10.1	Ölçme metotları	85
5.11	Yansıma kaybı	89
5.11.1	Ölçme metotları	89
6	OPTİK FİBERİN YAPISI.....	93
6.1	Erimiş Silika Camdan Yapılan Çok Modlu Fiber.....	94
6.2	Erimiş Silika Camdan Yapılan Tek-Modlu Fiber.....	96
6.3	Tek-Modlu ve Çok Modlu Fiberlerin Teknik Özellikleri.....	98
6.4	Plastik Maddeden Yapılan Optik Fiber.....	99
7	OPTİK FİBERLERİN ÜRETİMİ.....	101
7.1	Erimiş Cam ile Öncekil Üretimi	101
7.2	Buhar Fazında Cam Çökertme ile Öncekil üretimi.....	103
7.2.1	OVD metodu	103
7.2.2	VAD metodu	105
7.2.3	MCVD metodu	106
7.2.4	PCVD metodu.....	107
7.3	Fiber Çekilmesi.....	108
8	OPTİK FİBER TAMPONLARI.....	110
8.1	Tek-Fiber Gevşek Tampon.....	110
8.1.1	Üretim.....	113
8.2	Çok Fiberli Gevşek Tampon.....	115
8.2.1	Üretim.....	116
8.2.2	Tek-fiberli ve çok fiberli gevşek tamponların teknik karakteristikleri	117
8.2.3	Tek-fiberli ve çok fiberli gevşek tamponların uygulamaları	118
8.3	Sıkı Tamponlanmış Fiber	119
8.3.1	Üretim.....	120
8.3.2	Teknik karakteristikler	121
8.3.3	Uygulamalar	122
8.3.4	Tamponlanmış plastik optik fiber	122
8.4	Çıkış Yelpazesi Tüplemesi	122
8.5	Bant Teknolojisi.....	123
9	OPTİK KABLO TASARIMI	125
9.1	Kablo Çekirdeği.....	125
9.1.1	Demetleme.....	125
9.1.2	Boyuna genişleme ve büzülme	134
9.1.3	Kablo çekirdeğinin doldurulması.....	139
9.2	Kablo Kılıfı.....	139
9.3	Koruyucu Örtü	143
9.4	Zırhlama	143

9.5	Yapı Tipleri.....	145
9.5.1	Bina dışı kablolar	145
9.5.2	Bina içi kablolar	155
9.5.3	Bina içi – bina dışı kablolar	160
9.5.4	Havai hat kablolar	163
9.5.5	Denizaltı kabloları	171
9.6	Optik Kablolarla Yapılan Çevresel Testler	172
9.6.1	Gerilme dayanıklılığı testi	172
9.6.2	Sıcaklık performansı testi	176
9.6.3	Diğer çevresel testler	177
9.6.4	Yangına karşı dayanıklılık	178
10	KABLO TESİSİ TASARIMI	180
10.1	İletim Özelliklerinin Planlanması	180
10.1.1	Tek-modlu ve çok modlu fiberler için zayıflamanın planlanması	180
10.1.2	Kablo tesislerindeki dereceli katsayı fiberlerinin band genişliği	183
10.1.3	Kablo tesislerindeki tek-modlu fiberlerin dağılımı	185
10.2	Mekanik Planlama Görüşleri	187
10.3	Fiber Optik Ek Yapma Tekniği	190
10.3.1	Mekanik ekler	191
10.3.2	Kaynak Ekleri	192
10.3.3	Optik Fiberler İçin Bağlayıcılar	200
10.3.4	Konnektörler	207
10.4	Fiber Optik Dağıtım Donanımı	212
10.5	Anahtarlama Elemanları	217
11	ŞEBEKE KONFİGÜRASYONLARI	223
11.1	Telekom İdaresi Kavramı	223
11.2	ISDN	226
11.2.1	Geniş band ISDN	227
11.3	FITL	229
11.4	LAN	232
11.4.1	Şebekeler	234
11.4.2	Kablo Döşeme Kavramları	237
11.4.3	FDDI	238
11.4.4	MAN ve görünüm	241
11.5	FTTD	243
12	ELEKTROOPTİK SINYAL DÖNÜŞTÜRÜLMESİ	247
12.1	Vericiler	249
12.1.1	LED	249
12.1.2	Lazer diyodu	254
12.2	Detektörler	261
12.2.1	PIN fotodiyodu	261
12.2.2	APD fotodiyotları	263
12.3	Optik Fiber Amplifikatörleri	266

13.	FIBER OPTİK ELEMANLAR.....	267
13.1.	Dalga Boyundan Bağımsız Kuplörler	267
13.2	Dalga Boyu – Seçici Kuplörleri.....	269
14	OPTİK İLETİM İÇİN SİSTEMLER	272
14.1	Dijital İletim Teknolojisi	273
14.1.1	PDH sistemleri.....	275
14.1.2	SDH sistemleri.....	276
14.1.3	SLA 4 ve SLA 16’nın bulunduğu sistemlerin örnekleri.....	276
14.1.4	Optik fiber sistemlerinde uluslararası eğilimler.....	277
14.2	Analog İletim Teknolojisi.....	279
	KAYNAKLAR.....	280
	ÖZGEÇMİŞ	281



SİMGE LİSTESİ

A	Genlik
a	Düzlem dalgasının yer değiştirmesi; Weibull sabiti
a_K	Bir kablo tesisinin zayıflaması
a_R	Tekrarlayıcı aralığının zayıflaması
a_{sp}	Bağlayıcı kaybı
B, B_1	Band genişliği; uzunluğu L_1 olan bir optik fiberin band genişliği
b	Weibull sabiti
b_1	Band genişliği uzunluk çarpımı
c	Eşmerkezlilik (çekirdek/ince kaplama); bir ortamdaki ışık hızı
c_g	Grup hızı
c_0	Boşluktaki ışık hızı
D, D_{min}, D_{max}	Çap; ince kaplamanın çapı (min. ve max.)
d, d_{min}, d_{max}	Çap; çekirdek çapı (min. ve max.)
D_0	Yuvarlak ise ince kaplama çapı
d_0	Yuvarlak ise çekirdek çapı
d_i	Gevşek tamponun iç çapı
d_f	Optik fiberin dış çapı
E	Young modülü
E_B	Enerji boşluğu
e	Çekirdeğin dairesel olmayışı; Euler sayısı = 2.7182818...
F	Gerilme kuvveti; kırılma ihtimali
F_{max}	Maksimum gerilme kuvveti
f	Frekans
f_m	Modülasyon frekansı
G	Ağırlık
$H(f_m)$	Modülasyon frekansının transfer fonksiyonu
$I_N(r)$	Yarıçap r 'nin bir fonksiyonu olarak yakın alan ışık şiddeti
$I_F(\Theta)$	Optik eksene göre Θ açısının bir fonksiyonu olarak uzak alan dağılımı
k	Dalga sayısı
L	Uzunluk

L_0	Test altındaki uzunluk
$M(\lambda)$	Renk dağılımı
M_0	Madde dağılımı
$M_0(\lambda)$	λ dalga boyunda madde dağılımı
M_1	Dalga boyu dağılımı
N	Çekirdekte yönlendirilen modların sayısı
NA	Optik fiberin nümerik açıklığı
n	Kırılma katsayısı
n_g	Grup kırılma katsayısı
P	Profil dağılımı
P_0	Optik fiberin yakın ucundaki ışık gücü
R	Demetleme yarıçapı
ΔR	Tampon tüpteki optik fiberin boşluğu
r	Yarıçap; optik fiberin eksenden olan mesafesi
T	Salınım periyodu
ΔT	Sıcaklık değişimi
ΔT_{FRMS}	Ortalama tam karekök darbe genişlemesi
t	Zaman
t_0	Testin nominal süresi
V	V sayısı veya normalleştirilmiş frekans
V_c	V sayısının sınır değeri
w_0	Mod alan yarıçapı
x	Çekirdek merkezindeki sapma
Z	Demetlemeye bağlı olan aşırı uzunluk
z	z yönündeki uzunluk
α	Işığın girme açısı; lineer termik genişleme katsayısı; demetleme açısı; dağılma kaybı; zayıflama katsayısı
β	Kırılma açısı
γ	Maddenin yoğunluğu
Δ	Normalleştirilmiş kırılma katsayısı farkı
ϵ	Boyuna genleşme; eliptiklik
ϵ_K	Kablonun boyuna genleşmesi
ϵ_{TK}	Kablo büzülmesi

ϵ_F	Optik fiber boyuna genleşmesi
η	Viskozite
Θ	Optik fiber eksenine bağlı olan açı
$\Theta_{\max}$	Optik fiberin giriş açısı
λ	Dalga boyu
λ_c	Kesme dalga boyu
λ_m	Bir vericinin orta dalga boyu
μ	Radyal mod sayısı; Poisson oranı
π	Pi = 3.1415927...
Q	Bükülme yarıçapı
σ	Basınç; kırılma basıncı
σ_0	Nominal basınç
φ	Faz açısı
ω	Açısal frekans

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Elektromanyetik dalgaların spektrumu	4
Şekil 2.2 Polarizasyon tipleri.....	5
Şekil 2.4 Işığın yansıması	9
Şekil 2.5 Işığın kırılması	11
Şekil 2.6 Kırılma katsayısı $n(\lambda)$ ve grup kırılma katsayısı $n_g(\lambda)$ (%100 SiO ₂)	12
Şekil 2.7 Işığın toplam iç yansıması	14
Şekil 2.8 Optik bir dalga kılavuzunda ışığın yönlendirilmesi	15
Şekil 2.9 Bir optik dalga kılavuzunun ilk on modu LP _{vm}	18
Şekil 3.1 Sıcaklığın bir fonksiyonu olarak erimiş silika camın viskozitesi	23
Şekil 3.2 Farklı katkı maddeleriyle birlikte SiO ₂ 'nin kırılma katsayısı.....	24
Şekil 4.1 Bir optik dalga kılavuzunun kırılma katsayısı profili	31
Şekil 4.2 Bessel fonksiyonları	32
Şekil 4.3 Basamak katsayısı profili olan fiber.....	35
Şekil 4.4 Tek-modlu fiber	38
Şekil 4.5 LP ₀₁ temel modunun radyal alan dağılımı	39
Şekil 4.6 LP ₁ ve LP ₂ modlarının radyal alan dağılımı	39
Şekil 4.7 Dereceli katsayı profili olan fiber	42
Şekil 4.8 Bir dereceli katsayı profili olan bir optik fiberin faz aralığı diyagramı	43
Şekil 4.9 Bir basamak katsayısı profili olan bir optik fiberin faz aralığı diyagramı	44
Şekil 4.10 Faz aralığı diyagramındaki modlar	44
Şekil 4.11 Dalga boyunun bir fonksiyonu olarak kromatik dağılım	46
Şekil 4.12 Dağılım kayması olmayan optik fiberlerin profil dizaynı	47
Şekil 4.13 Dağılım kayması olan optik fiberin profil dizaynı	47
Şekil 4.14 Dağılım düzleştirilmesi olan optik fiberlerin profil dizaynı	48
Şekil 5.1 Bir dereceli katsayı fiberinin içine doğru kırılmış beslemenin faz aralığı diyagramı	51
Şekil 5.2 Rayleigh zayıflama eğrisi	53
Şekil 5.3 Tek-modlu ve çok modlu fiberin zayıflama katsayısının spektral eğrisi	54
Şekil 5.4 Direkt güç tekniği.....	55
Şekil 5.5 Geri saçılım tekniği.....	56
Şekil 5.6 Geri saçılım ölçme eğrisi	58
Şekil 5.7 Bir optik fiberin geçiş fonksiyonu	60
Şekil 5.8 Band genişliği ölçümünün ölçme kaydı - zaman bölgesinde ölçme	62
Şekil 5.9 İki farklı dalga boyunda temel modun enerji dağılımı	65
Şekil 5.10 Tek modlu bir fiberin dağılım eğrileri.....	67
Şekil 5.11 Vericinin spektral genişliği $\Delta\lambda$ 'ya bağlı olan tek-modlu fiberlerin band genişliği uzunluk çarpımı	68
Şekil 5.12 Dalga boyunun bir fonksiyonu olarak tek-modlu fiberlerin grup gecikme süresi	69
Şekil 5.13 Dalga boyunun bir fonksiyonu olarak tek-modlu fiberlerin renk dağılımı	69
Şekil 5.14 Bükülme metodu ile kesme dalga boyunun kararlaştırılması	71
Şekil 5.15 Temel modun alan genişliğinin radyal bağımlılığı	72
Şekil 5.16 Enine kayma metodu ile mod alan çapının kararlaştırılması	73
Şekil 5.17 Dalga boyunun bir fonksiyonu olarak mod alan çapı	74
Şekil 5.18 Yakın alan dağılım ölçümü.....	75

Şekil 5.19	Çekirdek ve ince kaplamanın eş merkezliliği ve dairesel olmayışı	76
Şekil 5.20	Dört-daireli metot için referans diyagramı	77
Şekil 5.21	Kırılan yakın alan metodu	77
Şekil 5.22	Kırılma katsayısı profilinin ölçülmesi	78
Şekil 5.23	Uzak alan dağılımının ölçümü	79
Şekil 5.24	Bir optik fiberin mekanik dayanıklılığının belirlenmesi için Weibull dağılımı	82
Şekil 5.25	Çift kırılmalı optik fiberdeki kutuplanma modlarının ayrışışı	83
Şekil 5.26	Bir bit periyodunun 0.1'den düşük PMD'si için iletim uzunluğuna karşılık gelen bit oranı	84
Şekil 5.27	Bir Mach-Zehnder interferometresi (girişim-ölçer) kullanılarak PMD ölçme tertibi	84
Şekil 5.28	Yüksek (düşük mod kuplajı) ve düşük (kuvvetli mod kuplajı) çift kırılması olan optik fiberler için girişim şekilleri	86
Şekil 5.29	Yüksek ve düşük çift kırılması olan fiberlerin girişim şemaları	88
Şekil 5.30	L pozisyonundaki bir yansımanın OTDR görüntüsü	91
Şekil 5.31	Bağlayıcı yansıma kaybının ölçülmesi için tertip	92
Şekil 6.1	Çok modlu fiber	95
Şekil 6.2	Tek modlu fiber	95
Şekil 6.3	Çok modlu ve tek-modlu bir fiberin aşındırılmış uç yüzeyleri	96
	Renk kodlaması (DIN 47002 ve IEC 304'e göre renkler)	98
Şekil 6.4	Plastik optik fiber	100
Şekil 6.5	Bir plastik optik fiberin spektral zayıflaması	100
Şekil 7.1	Buhar fazında cam çokertme ile önsékel üretimi	102
Şekil 7.2	OVD metodu	104
Şekil 7.3	VAD metodu	105
Şekil 7.4	MCVD metodu	106
Şekil 7.5	PCVD metodu	108
Şekil 7.6	Fiberin çekilmesinin şematik gösterilişı	109
Şekil 8.1	Gevşek tamponda hiç gerilmemiş optik fiberin pozisyonu	111
Şekil 8.2	Kablo boyuna genleştiginde optik fiberin pozisyonu	112
Şekil 8.3	Kablo büzüldüğünde optik fiberin pozisyonu	112
Şekil 8.4	Tek-fiber gevşek tampon	113
Şekil 8.5	Tampon tübün üretiminin şematik gösterilişı	114
Şekil 8.6	Çok fiberli gevşek tampon	116
Şekil 8.7	Maksütüp tasarımında çok fiberli gevşek tampondaki optik fiber aşırı uzunluğu	116
Şekil 8.8	Sıkı tamponlanmış fiber	119
Şekil 8.9	Tamponlanmış plastik optik fiber	123
Şekil 8.10	Çıkış yelpazesi tüplemesinin şematik gösterilişı	123
Şekil 8.11	Optik fiber bant tipleri	124
Şekil 9.1	Bir katmanda tek-fiber gevşek tamponları olan katman kablosu	126
Şekil 9.2	İki katmanda tek-fiber gevşek tamponları olan katman kablosu	126
Şekil 9.3	Bir katmanda çok fiberli gevşek tamponları olan katman kablosu	128
Şekil 9.4	Ünite kablosu	128
Şekil 9.5	Kablo çekirdeğinin şematik gösterilişı	128
Şekil 9.6	100 ve 1000 optik fiberi olan oluklu çekirdek kablosu	131
Şekil 9.7	Ters döşeme demetlemesi	132

Şekil 9.8 Döşeme uzunluğu, demetleme açısı ve demetleme elemanlarının uzunluğu arasındaki ilişki	132
Şekil 9.9 Bükülme yarıçapı Q 'nın bir fonksiyonu olarak döşeme uzunluğu S	135
Şekil 9.10 Tampon tüpü	136
Şekil 9.11 Demetlenmiş tek-fiberli gevşek tamponlar için optik fiberin boyuna genişmesi α_F , kablunun boyuna genişmesi α_K ve kablunun büzülmesi β_{TK}	138
Şekil 9.12 Dengeli ve koaksiyal bakır kablolar ve çeşitli optik kablolar için modülasyon frekansının bir fonksiyonu olarak zayıflama katsayısı	150
Şekil 9.13 Bir PE yapraklı kılıfı, çok fiberli gevşek tamponlarda 30 optik fiberi ve bir bakır dörtlüsü olan Alman Telekom AG'nin telekomünikasyon kablo su	151
Şekil 9.14 Bir PE yapraklı kılıfı, çok fiberli gevşek tamponlarda 60'a kadar optik fiberi ve bir bakır dörtlüsü olan telekomünikasyon kablo su	154
Şekil 9.15 12 optik fiberi olan çoklu-bina içi kablo	157
Şekil 9.16 6 fiberli alt ünite içerisinde 48 optik fiberi olan çoklu-bina içi kablo	157
Şekil 9.17 8 optik fiberi olan çıkış kablo su	159
Şekil 9.18a Tek optik fiberi olan birbirine	160
bağlantılı kablo	160
Şekil 9.18b İki optik fiberi olan birbirine	160
bağlantılı kablo, Enerji kablo su (Zipcord)	160
Şekil 9.18c İki optik fiberi olan birbirine	160
bağlantılı kablo, DIB (dual intrabuilding cable)	160
(çift bina içi kablo)	160
Şekil 9.19 264 optik fiberi olan bina içi – bina dışı kablo	161
Şekil 9.20 Kampüs kabloları	162
Şekil 9.21 OPGW tasarımları	164
Şekil 9.22 Tam dielektrik otomatik desteklemeli kablo	167
Şekil 9.23 AD-Lash kablo su nın bir toprak teline bağlanması	168
Şekil 9.24 AD-Lash kablo su	168
Şekil 9.25 8 şeklinde kablo	170
Şekil 9.26 Çok amaçlı kablo	170
Şekil 9.27 MINISUB kablo ailesi	173
Şekil 9.28 Bir tek-fiberli ve çok fiberli gevşek tamponlu kablunun işletme karakteristiği (örnek)	174
Şekil 9.29 Gerilme test cihazı (şematik)	175
Şekil 9.30 Bir tek-fiberli veya çok fiberli gevşek tamponlu kablunun gerilme test kaydı; gerilme kuvvetinin fonksiyonu olarak $\Delta\alpha$, α_K , α_F	176
Şekil 9.31 Sekiz katmanlı demetlenmiş çok fiberli gevşek tamponu ve her birinin altı tek-modlu fiberi olan bir kablo için sıcaklığın bir fonksiyonu olarak 1300 nm'lik bir dalga boyundaki zayıflama değişimi $\Delta\alpha$	176
Şekil 10.1 Bir mekanik ek olan CamSplice'in çalışma prensibi	192
Şekil 10.2 Kaynaklı eklem prensibi	193
Şekil 10.3 Tek-fiber ve fiber bandı	194
Şekil 10.4 A8 kesicisi	196
Şekil 10.5 D6 kesicisi	198
Şekil 10.6 Isı ile büzüşen ek koruyucuları olan standart ek tablası	198
Şekil 10.7 Bağlayıcı ailesi	199
Şekil 10.8 L-PAS TM prensibi	202
Şekil 10.9 LID Sisteminin TM prensibi	203

Şekil 10.10	İletimin bir fonksiyonu olarak diziliş ve otomatik füzyon zaman kontrolü	203
Şekil 10.11	Ölçme yeteneği olan L-PAS ve LID Sistemli X60 bağlayıcısı	203
Şekil 10.12	X7 füzyon bağlayıcı serisi	206
Şekil 10.13	Temaslı bağlantı prensibi	208
Şekil 10.14	Konnektör kısımları	208
Şekil 10.15	Fiberlerin eksenel sapması	209
Şekil 10.16	Fiber ve uç yüzey ayrılması	209
Şekil 10.17	Fiberlerin açılacak akortsuz dizilişi	209
Şekil 10.18	Uç yüzeyin aşırı cilalanması	210
Şekil 10.19	ST ve SC fiber optik konnektörleri	211
Şekil 10.20	<i>Fuse-Lite</i> konnektörünün şematik gösterilişi	212
Şekil 10.21	Bina içi fiber optik dağıtım elemanları	214
Şekil 10.22	19" 'lik bir dolabın şematik gösterilişi	216
Şekil 10.23	ETSI standardına göre fiber optik modül	217
Şekil 10.24	Üniversal Anahtarlama Elemanları Ailesi	218
Şekil 10.25	UCN 7-10 Üniversal Anahtarlama Elemanı	219
Şekil 10.26	UCTL 6-20 Üniversal Anahtarlama Elemanı	220
Şekil 10.27	UCAO 4-9 Üniversal Anahtarlama Elemanı	220
Şekil 11.1	Deutsche Telekom AG'nin telefon şebekesinin yapısı	223
Şekil 11.2	Analog şebekeden geniş band ISDN	228
Şekil 11.3	Pasif optik şebeke (PON)	230
Şekil 11.4	Yıldız sisteminin şematik gösterilişi	234
Şekil 11.5	Bir halka sisteminin şematik gösterilişi	235
Şekil 11.6	Bara sisteminin şematik gösterilişi	236
Şekil 11.7	Sadece 2 kablo tipi olan ICCS yapısal kablo döşeme sistemi	238
Şekil 11.8	FDDI topolojisi	239
Şekil 11.9	MAN-Yapısı (G geçit yolu, E kenar, R yönlendirici)	242
Şekil 11.10	Şebeke yapıları için kablo döşeme kavramları	244
Şekil 12.1	Bir optik fiber iletim sisteminin şematik gösterilişi	247
Şekil 12.2	Bir yarı iletkendeki elektrooptik etkileşimler	248
Şekil 12.3	Bir tek düzleme yayılı GaAs diyodunun yapısının şematik gösterilişi	251
Şekil 12.4	Yüksek ışımalı AlGaAs/GaAs diyodunun yapısının şematik gösterilişi	252
Şekil 12.5	Yüksek ışımalı InGaAsP/InP diyodunun yapısının şematik gösterilişi	253
Şekil 12.6	Bir lazer diyodunun ışık-akım karakteristiği	255
Şekil 12.7	(1) bir LED'in ve (2) bir lazer diyodunun emisyonunun spektral dağılımı	255
Şekil 12.8	(1) bir LED'in ve (2) bir lazer diyodunun emisyonunun uzaydaki dağılımı	255
Şekil 12.9	Bir oksit şeritli lazerin yapısı	256
Şekil 12.10	Bir MCRW lazerinin yapısı	256
Şekil 12.11	$T_1 = 25^\circ\text{C}$ ve $T_2 = 60^\circ\text{C}$ 'de bir lazer diyodunun ve ışık yayan diyodun ışık-akım karakteristikleri	257
Şekil 12.12	Bir lazer modülünün modüler tasarımın şematik gösterilişi	258
Şekil 12.13	Ters-polarize fotodiyodunun işletilmesi	260
Şekil 12.14	Yarı iletken maddelerin λ dalga boyunun bir fonksiyonu olarak α emme katsayısı	260
Şekil 12.15	PIN fotodiyodunun tasarımının şematik gösterilişi	262
Şekil 12.16	Silikon çığ (avalanche) fotodiyodunun tasarımının şematik gösterilişi	262
Şekil 12.17	Bir PIN fotodiyodunun ve APD' nin hassasiyeti	263
Şekil 12.18	Bir InGaAs/InP çığ fotodiyodunun tasarımının şematik gösterilişi	265

Şekil 12.19	Erbiyum katkılı fiber amplifikatörün şematik gösterilişi	265
Şekil 13.1	$M \times N$ kuplörü	267
Şekil 13.2	4×4 yıldız kuplörü	268
Şekil 13.3	1×4 ayırıcısı	268
Şekil 13.4	4×1 birleştiricisi	268
Şekil 13.5	Dalga boyu bölmeli çoklama (WDM)	269
Şekil 13.6	Üç kanal için WDM kuplörlerinin uygulanması ile bir geniş bandlı komünikasyon şebekesinde abone erişme hattı	270
Şekil 13.7	Optik fiber çoklaması	271
Şekil 13.8	Zaman bölmeli çoklama	271
Şekil 14.1	Yeniden üretici olmayan (yukarıda) ve yeniden üretici tekrarlayıcısı olan (aşağıda) optik iletimin temel elemanları	272
Şekil 14.2	SDH sistemleri SLA 4 ve SLA 16	277

ÖNSÖZ

Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Ana Bilim Dalı Elektrik Mühendisliği Programında hazırlanan bu tez fiber optik kablolar ile ilgili herhangi bir ön bilgiye sahip olmayanların bile kolaylıkla anlayabilecekleri şekilde hazırlanmıştır. Bilindiği gibi fiber optik kablo teknolojisi son yıllarda büyük bir gelişme göstermiştir. En son yenilikleri ve metotları geniş bir şekilde ele alınmış ve gerçek hayattan örnekler verilerek incelenmiştir. Söz konusu çalışmanın yürütülmesinde yardımını esirgemeyen Siemens yetkililerine ve tez danışmanım Doç. Dr. F. Okan PEKİNER'e teşekkürlerimi sunarım.

Haziran 1999

A. Rauf ENSARİ

ÖZET

Son yıllarda, kablolarla haberleşme iletimi alanında yeni bir teknik gitgide kabul edilmektedir. Bakır kablo teknolojisine karşılık, bu teknolojiye optik fiberler denilen optik dalga kılavuzları yardımıyla sinyaller optik olarak iletilmektedir. Bu gelişme, lazerler, ışık yayan diyotlar ve fotodiyotlar gibi uygun yarı iletken elemanlar tarafından desteklenmektedir. Aynı zamanda, işletilmekte olan dijital iletim sistemleri, optik fiber teknolojisinin taleplerini karşılamak için geliştirilmektedir. Bu tez, fiber optik kablo teknolojisinin daha iyi anlaşılabilmesi için hazırlanmıştır. Bu amaçla, bütün konular fiziksel ve kimyasal açıdan tartışılmıştır. Optik fiberlerin parametreleri ve ölçme metotları, iç yapıları ve üretimleri geniş olarak ele alınmıştır. Fiber optik kablo tasarımı, bina içi - bina dışı, havai hat, denizaltı optik kabloları gibi uygulama alanları ve ayrıca bağlayıcılar, konnektörler ve dağıtım yazılımları gibi yardımcı cihazları içererek kablo tesislerinin tasarımı, bakır kablolar ile kıyaslanarak anlatılmıştır. Bu bilgiler ışığında farklı şebeke konfigürasyonları ve optik iletim sistemleri incelenmiştir. Konular daha iyi kavranabilmesi için şekiller, tablolar ve örneklerle desteklenmiştir. Bu yazı, fiber optik kablo tesisi alanında tasarımı, yapısı, üretimi ve bakımı ile ilgilenen herkes için temel bir bilgi sağlamaktadır.

Anahtar sözcükler: Erimiş silika cam, nümerik açıklık, zayıflama, ince kaplama, gevşek tampon, sıkı tampon, demetleme, bağlayıcı, anahtarlama.

ABSTRACT

During the past years a new technology has been increasingly accepted in the field of communication transmission via cables. In contrast to copper cable technology, in this technology signals are transmitted optically with the aid of optical waveguides which are called optical fibers. This development was supported by suitable semiconductor components such as lasers, light emitting diodes and photodiodes. At the same time, digital transmission systems already in operation were upgraded to meet the demands of optical fiber technology. This thesis has been written in order to make the subject of fiber optic cable technology more understandable. For this purpose, all subjects have been discussed in physical and chemical contexts. Optical fiber parameters and measurement methods, optical fiber construction and manufacturing of optical fibers are described in detail. Different applications of fiber optic cable design, such as indoor-outdoor cables, aerial cables and submarine cables and also accessory equipment such as splices, connectors and distribution hardware have been included and fiber optic cable plant design has been compared to that of copper cables. In the light of these facts, different network configurations and systems for optical transmission have been examined. In order to understand the subject fully, diagrams, tables and examples have been used. This thesis provides basic information in the field of fiber optic cable technology for all who deal with the design, construction, manufacturing and maintenance of optical cable plants.

Key Words: Fused silica glass, numerical aperture, attenuation, cladding, loose buffer, tight buffer, stranding, splice, closure.

1. TARİHİ GELİŞME

Işık, en eski zamanlarda bile haberleşme aracı olarak kullanılmaktaydı, örneğin işaret ateşleri şeklinde. Bu tip haberleşmelere günümüzde de rastlanmaktadır, örneğin donanmadaki bayrak sinyallerinde, fener kulelerinde, trafik ışıklarında ve makinelerdeki kontrol lambalarında. Yaklaşık 200 yıl önce, daha uzun mesafelerde bilgi iletimi için, ışık kullanılan metotlar düşünülmüştür. Örneğin, Fransa’da 1790 civarında Claude Chappe optik bir telgraf sistemi inşa etmişti; bu sistem, hareketli sinyal kolları olan kuleler zincirinden ibaretti. Bilgi, bu sistem boyunca on beş dakika içerisinde iki yüz kilometreye iletilebiliyordu. Bu sistem, elektrik telgrafının icadına kadar kullanılmıştır.

Amerikalı Alexander Graham Bell, 1880 yılında ses sinyallerini ışık yardımıyla iletebilen fotofonu geliştirmiştir. Bununla beraber, havanın ve gözle görünebilirliğin (visibility), iletimin kalitesi üzerinde çok fazla olumsuz etkisi olmasından dolayı, bu fikir pratik bir uygulamaya dönüşmemiştir.

İngiliz fizikçisi John Tyndall, Bell’in icadından kısa bir süre önce 1870 yılında bu probleme bir çözüm önermiştir. Işığın bir su akıntısıyla yönlendirilebileceğini göstermiştir. Bu deneyde, günümüzde de optik fiberlerde uygulanan toplam iç yansıma prensibini kullanmıştır. Bell tarafından ışık modülasyonu ve Tyndall tarafından ışık yönlendirilmesi alanlarında yapılan deneylerin ardından, Amerikalı Norman R. French ancak 1934 yılında optik telefon sistemi için patent alabilmiştir. Bu sistemde, ses sinyallerinin bir optik kablo şebekesiyle nasıl iletilebileceğini anlatmaktadır; burada kabloların katı cam çubuklardan veya benzer bir maddeden yapılması ve işletme dalga boyundaki azalma katsayısının düşük olması gerekiyordu.

Bu fikir, teknik anlamda ancak 25 yıl sonra gerçekleştirildi. Öncelikle, bir verici olarak kullanılmak üzere uygun bir ışık kaynağı bulunmuştu. 1958 yılında Nobel ödülü sahipleri Arthur Schawlow ve Charles H. Townes lazeri geliştirmişlerdir; ve lazer ilk olarak 1960 yılında Theodor H. Maiman tarafından başarıyla kullanılmıştır.

Lazeri, yarı iletken maddelerden elde etmenin uygunluğu 1962’de kabul edilmiştir. Aynı zamanda alıcı elemanlar, yarı iletken fotodiyotlar şeklinde geliştirilmiştir. Şimdi, geri kalan problemin çözülmesi gerekiyordu: Uygun bir iletim aracı bulmak.

Başlangıçta, karmaşık mercek sistemleri yardımıyla, ışığın ayna yüzeyli silindirik tüplerde yönlendirilmesi için denemeler düşünülmüştür. İngiltere’de 1966 yılında, Charles H. Kao ve George A. Hockham ışığın yönlendirilmesi için cam fiberlerin kullanımını önermişlerdir. Bununla beraber, öngörülen mesafelerde yararlı optik iletim sistemleri inşa etmek için, bu cam fiberlerin 20 dB/km’den fazla olmayan azalma değerlerini göstermesi gerekmektedir, fakat 1965 yılında optik dalga kılavuzları 1000 dB/km civarında azalmalar göstermekteydi. Fakat, tıbbi teknoloji alanında, cam fiberler 1950’li yıllarda, çok kısa mesafelerde doğru görüntü iletimi için kullanılmaktaydı.

1970’de Corning Inc. kademeli katsayı fiberlerini (step index fibers) üretmiştir ve 633 nm’lik dalga boyunda 20 dB/km’den daha az azalma değerleri elde etmiştir. Dereceli katsayı profilleri (graded index profiles) olan optik fiberler 1972 yılında 4 dB/km’ye ulaşmıştır. Günümüzde tek-modlu fiberlerde (single-mode fibers) 1550 nm’de 0.2 dB/km’lik azalma değerleri elde edilmiştir. Aynı zamanda verici (transmitter) ve alıcı (receiver) elemanları, hem güç ve duyarlılık hem de dayanıklılık açısından takdir edilir şekilde gelişmişlerdir. Optik fiberler için ayrılabilir ve sürekli ek bağlantılarıyla birlikte uygun kablo teknolojisi, hiç bir problem olmadan bu yeni iletim aracını ortaya çıkarmamızı sağlamıştır.

İlk optik kablolar, A.B.D.’de 1973 yılında gemilerdeki askeri uygulamalarda telefon hizmetleri için işleme konmuştur. Western Electric, Atlanta’daki arazilerinde 1976 yılında optik kablolarla ilk sistemi test etmiştir. Bir yıl sonra, ilk alan testleri, Bell sistemleri tarafından 2.5 km üzerinde Chicago’da ve General Telephone tarafından 9 km üzerinde Long Beach’te uygulanmışlardır. Siecor Corporation (Siemens AG ve Corning Inc.’in ortaklığı), New York’ta 1983 Eylül’ünde bir telefon firmasına tek-modlu fiber kabloları teslim eden ilk imalatçı firmaydı. 1988’de ilk standart fiber optik yeraltı kablosu (TAT-8) Atlantik boyunca başarıyla döşenmiştir.

Siemens, 1976 yılında Munich'te 2.1 km uzunluğunda ilk fiber optik kablo test rotasıyla başlamıştır. Deutsche Telekom AG'nin ilk optik fiber bağlantısı Berlin'de 1977 yılında Siemens tarafından tesis edilmiştir. 1978'den beri, yeni teknolojinin dünya çapında uygulamalarında ilk çok modlu fiberler kullanılmaya başlanmıştır. Günümüze kadar, her yıl yedi milyon kilometreden daha fazla Siemens tek-modlu fiber optik kabloları bütün dünyada tesis edilmektedir.

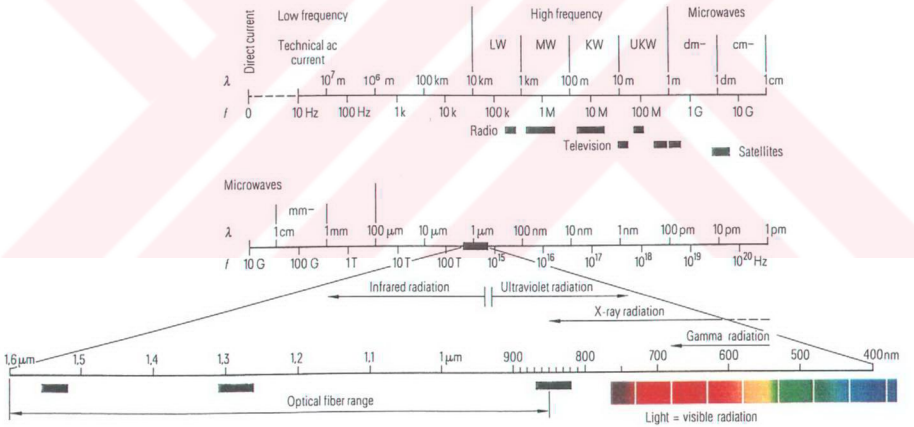


2. OPTİK DALGA KILAVUZLARININ FİZİĞİ

2.1 Elektromanyetik Spektrum

Elektromanyetik dalgaların yüzölçümü aşkın bir süredir bilgi iletiminde faydalı olduğu bilinmektedir. Bunun sebebi, metalik iletkenlerin dalgaların yayılmaları için pek gerekli olmamalarıdır. Tersine, bir vakum veya dielektrik ortamda, yeni bir elektrik yalıtkanında, yüksek hızda yayılabilirler.

Şekil.2.1’de elektromanyetik dalgaların spektrumu ve uygulamalarına genel bir bakış gösterilmektedir. Görünebilir ışık, sadece 380 (mor) ile 780 nm (kırmızı) arasındaki dar bir bölgede bulunmaktadır. Bu bölgenin kenarlarında düşük dalga boylarında ultraviyole (mor ötesi) radyasyon ve daha yüksek dalga boylarında infraruj (kızıl ötesi) radyasyon bulunmaktadır.



Şekil.2.1 Elektromanyetik dalgaların spektrumu

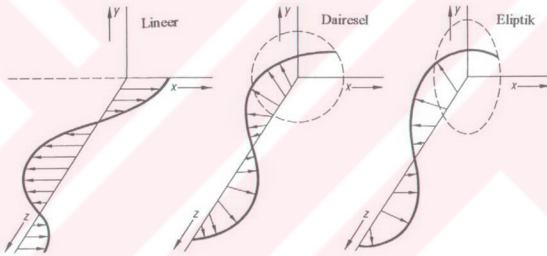
Optik dalga kılavuzları bulunan optik telekomünikasyonda 800-1600 nm arasındaki infraruja yakın dalga boyu bölgesi kullanılmaktadır; ve tercih edilen dalga boyları 850, 1300 ve 1550 nm’dir.

Elektromanyetik dalgalar vakum içerisinde *ışık hızında* yayılırlar:

$$c_0 = 299792.458 \text{ km/s.}$$

$c_0 = 300000 \text{ km/s} = 3 \times 10^5 \text{ km/s} = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$ yuvarlanmış değeri, ışığın hava içinde yayılmasını anlatmak için yeterince doğrudur.

Dağılmayan (ideal bozulma), sonsuz bir ortamda, elektromanyetik dalga ve böylece ışık dalgası da enine bir dalgadır. Elektrik ve manyetik alanı, yayılma doğrultusuna dikey olarak salınmaktadır. Elektrik veya manyetik alan bir düzlemde salınırsa, elektrik veya manyetik alanın ibresinin ucu düz bir çizgiyi takip eder; böyle bir dalgaya lineer olarak polarize denmektedir. İbrenin ucu; bir daire veya daha genel olarak bir elips çizerse, o zaman dairesel veya eliptik polarizasyon terimleri kullanılmaktadır. Şekil.2.2, z-doğrultusunda yayılan bir ışık dalgasının farklı polarizasyon tiplerini göstermektedir.



Şekil 2.2 Polarizasyon tipleri

2.2 Dalga Teorilerinin Temel Fikirleri

Genel olarak bir dalga, gerçekte ortamın kendisinin kütlesini veya maddesini taşımadan bir durumun yayılması veya bu ortamda üremesi olarak anlaşılmaktadır. Bir ışık dalgasında bu durum bir şeffaf maddede, yani optik ortamda yayılan elektromanyetik alandır. En basit durumda, zaman ve uzayda böyle bir dalga'nın yayılması bir sinüs fonksiyonu ile anlatılabilir. Böylece, z-doğrultusunda yayılan bir düzlem dalgasının "a" yer değiştirmesiyle ilgili olarak aşağıdakiler söylenebilir.

$$a = A \sin(\omega t - kz) = A \sin 2\pi (t/T - z/\lambda)$$

a düzlem dalgasının yer değiştirmesi (ör: manyetik veya elektrik alan gücü veya kareleri (şiddeti))

A yer değiştirmenin birim olarak genliği

ω açısal frekans (s^{-1})

t zaman (s)

k dalga sayısı (m^{-1})

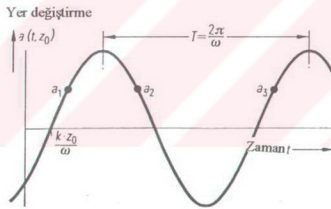
z z -doğrultusundaki uzunluk (m)

T salınım periyodu (s)

λ dalga boyu (m)

A dalga genliği denge durumundan olan en büyük yer değiştirmeyi anlatmaktadır. Parantez içindeki ifadeye ($\omega t - kz$) *faz açısı* veya kısaltılmış olarak dalganın fazı denmektedir. Faz açısı ϕ , rad (radyan) olarak ifade edilen dairesel bir ölçümdür, örneğin

$$1 \text{ rad} = 360^\circ / 2\pi = 57.295^\circ$$



Şekil 2.3 z_0 sabit noktasında düzlem harmonik dalgası.

Daha ayrıntılı bir açıklama için, Şekil.2.3 $z = z_0$ sabit noktasında t zamanının bir fonksiyonu olarak bir düzlem dalgasını göstermektedir. ϕ_1 ve ϕ_3 salınım noktalarının aynı salınım fazında oldukları görülebilir. Faz farkları 2π 'dir. Buna karşın ϕ_2 noktası aynı yer değiştirmeye sahiptir, fakat farklı bir fazdadır.

ω terimine açısal frekans denmektedir. Bu, zamana bağlı olarak salınım sayısını ifade etmek için kullanılan f frekansının katına eşittir. Böylece

$$\omega = 2\pi f \text{ dir,}$$

burada f , Hz (hertz) veya cps (cycles per second) (saniye başına devir) olarak frekanstır. Frekans için türetilen bazı birimler Tablo 2.1'den alınabilir.

T , salınım periyodunu anlatmak için kullanılmaktadır, yani bir tam salınım veya bir tam devrin zamanı. Salınım periyodu için türetilen bazı birimler Tablo 2.2'de verilmiştir. f frekansı T salınım periyoduyla ters orantılıdır:

$$f = 1 / T,$$

burada T , saniye olarak salınım periyodudur.

k sembolü dalga sayısını anlatmak için kullanılmaktadır. Dalga yayılma doğrultusunu $\rightarrow$ gösteren k dalga vektörünün büyüklüğüne eşittir. k dalga sayısı, uzunluğa bağlı olarak dalganın faz kaymasını vermektedir ve böylece orantılılık faktörü 2π ile birlikte dalga boyu λ ile ters orantılıdır:

$$k = 2\pi / \lambda.$$

λ dalga boyu, dalganın uzaydaki periyodudur, yani tam bir salınım yol mesafesi veya uzunluğu, m'den türetilen birimler Tablo 2.3'de görülebilir.

Aşağıdaki temel bağıntı, bir dalganın f frekansı, λ dalga boyu ve c yayılma hızı arasında bulunmaktadır:

$$c = f\lambda$$

Örnek

Dalga boyu $\lambda = 1 \mu\text{m}$ olan ışığın havadaki yayılma hızı $c_0 = 300000 \text{ km/sn}$ 'dir. Işık dalgasının f frekansı şöyle olur:

$$f = \frac{c_0}{\lambda} = \frac{300000 \text{ km/s}}{1 \mu\text{m}} = \frac{3 \times 10^8 \text{ m/s}}{1 \times 10^{-6} \text{ m}};$$

$$f = 3 \times 10^{14} \text{ s}^{-1} = 300 \times 10^{12} \text{ Hz} = 300 \text{ THz}$$

Tablo 2.1 Hz'den türetilen birimler

Birim	İsim
1 kHz = 10^3 Hz	Kilohertz
1 MHz = 10^6 Hz	Megahertz
1 GHz = 10^9 Hz	Gigahertz
1 THz = 10^{12} Hz	Terahertz

Tablo 2.2 s'den türetilen birimler

Birim	İsim
1 ms = 10^{-3} s	Milisaniye
1 μs = 10^{-6} s	Mikrosaniye
1 ns = 10^{-9} s	Nanosaniye
1 ps = 10^{-12} s	Pikosaniye
1 fs = 10^{-15} s	Femtosaniye

Tablo 2.3 m'den türetilen birimler

Birim	İsim
1 Mm = 10^6 m	Megametre
1 km = 10^3 m	Kilometre
1 m = 1 m	Metre
1 dm = 10^{-1} m	Desimetre
1 cm = 10^{-2} m	Santimetre
1 mm = 10^{-3} m	Milimetre
1 μm = 10^{-6} m	Mikrometre
1 nm = 10^{-9} m	Nanometre

2.3 Işığın Yansıması

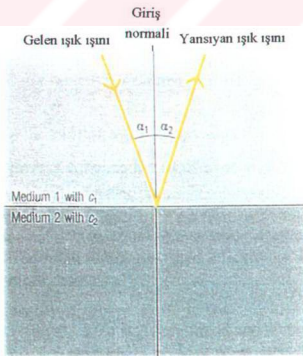
Işık, iki ortam arasındaki ara yüzeye düşünce, belli bir yüzdesi yansımaktadır.

Yansıyan ışığın miktarı, ışığın gelen ışını ve geliş normali arasındaki α_1 açısına bağlıdır. Işık ışını, burada ışık enerjisinin gittiği yolu anlatmak için kullanılmaktadır. Geliş normali ve yansıyan ışık ışını tarafından yaratılan yansıyan ışın ve α_2 açısı için aşağıdakiler geçerlidir (Şekil 2.4):

Yansıyan ışın

- gelen ışık ışını ve geliş normali ile anlatılan geliş düzleminde kalmaktadır,
- geliş normalinin karşı tarafında gelen ışına bağlı olarak bulunmaktadır, ve
- geliş normaline aynı açıdadır:

$$\alpha_1 = \alpha_2$$



Şekil 2.4 Işığın yansıması

2.4 Işığın Kırılması

α geliş açısı olan bir ışık ışını, optik olarak daha az yoğun bir ortamdan (örneğin hava) optik olarak daha yoğun bir ortama (örneğin bir bardak su) girdiği zaman, yönü β kırılma açısına doğru eğilir.

İzotropik bir ortam, yani bütün doğrultularda aynı özellikleri olan bir madde veya element durumunda *Snell'in kırılma kanunu* geçerlidir:

α geliş açısının sinüsünün β kırılma açısının sinüsüne oranı sabittir ve aynı zamanda birinci ortamdaki ışık hızı c_1 'in ikinci ortamdaki ışık hızı c_2 'ye oranı c_1 / c_2 'e eşittir (Şekil 2.5):

$$\sin\alpha / \sin\beta = c_1 / c_2 ,$$

burada

α geliş açısı

β kırılma açısı

c_1 ışık hızı 1

c_2 ışık hızı 2.

İki şeffaf ortamda, ışık hızı daha yavaş olan ortamın daha yoğun ortam olduğu kabul edilmektedir.

Işığın c_0 hızıyla gittiği bir vakumdan ($\approx$ hava), c ışık hızı olan bir ortama geçiş için aşağıdakiler geçerlidir:

$$\sin\alpha / \sin\beta = c_0 / c = n$$

Vakumdaki c_0 ışık hızının ortamdaki c ışık hızına oranı, ortamın *n kırılma katsayısı* (daha tam olarak *faz kırılma katsayısı*) olarak adlandırılmaktadır. Vakumun kırılma katsayısı 1'e eşittir.

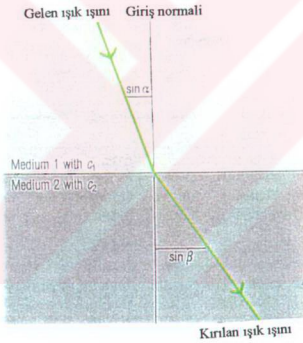
n_1 ve n_2 kırılma katsayıları ve c_1 ve c_2 ışık hızları olan iki farklı ortam için aşağıdakiler geçerlidir:

$$c_1 = c_0 / n_1 \quad \text{ve} \quad c_2 = c_0 / n_2$$

Snell'in kırılma kanunun başka bir şekli bundan türetilmektedir:

$$\sin \alpha / \sin \beta = n_2 / n_1$$

Kırılma açısının sinüsüne bağlı olarak geliş açısının sinüsü, kırılma katsayılarıyla ters orantılıdır.



Şekil 2.5 Işığın Kırılması

Örnek

Bir optik fiberdeki cam için genellikle varsayılan $n_1 = 1.5$ kırılma katsayısında fiberdeki c_1 ışık hızı

$$c_1 = \frac{c_0}{n} = \frac{300000 \text{ km/s}}{1.5};$$

$$c_1 = 200000 \text{ km/s} = 200 \text{ m}/\mu\text{s}$$

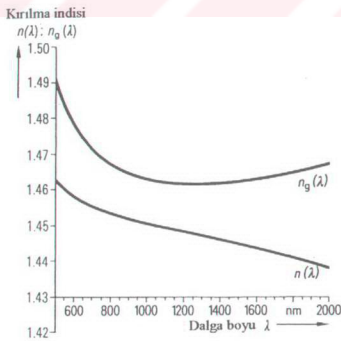
ya da her km fiber için 5 μ s ya da her m için 5 ns'dir.

Bir ortamın kırılma katsayısı n , temel olarak ışığın dalga boyuna bağlıdır; erimiş silika camdaki optik haberleşme için önemli olan infraruj dalga boyları için bu katsayı dalga boyu arttıkça sürekli azalır.

n katsayısı, sadece bir dalga boyunda yayılan ve sabit bir genlikte olan ve bilgi iletemeyen ışık dalgaları için geçerlidir. Sadece bu dalgaların *modülasyonu* bilgi iletimini mümkün kılar. Optik (dijital) haberleşmede ışık dalgaları bu amaçla kullanılmaktadır. Bunlar, farklı dalga boylarındaki ışık dalgalarını içeren kısa dalga gruplarıdır. Böyle dalga gruplarında tek dalgalar farklı dalga boylarına bağlı olarak farklı hızlarla yayılırlar. Böyle bir dalga grubunun yayılma hızına *grup hızı* denmektedir. Birleştirilmiş grubun kırılma katsayısı n_g , aşağıdaki gibi tanımlanmıştır ve kırılma katsayısına bağlıdır:

$$n_g = n - \lambda \frac{dn}{d\lambda}$$

Saf erimiş silika camı için n ve n_g eğrileri λ dalga boyunun bir fonksiyonu olarak Şekil 2.6'da gösterilmiştir. Bazı sayısal değerler Tablo 2.4'te görülebilmektedir.



Şekil 2.6 Kırılma katsayısı $n(\lambda)$ ve grup kırılma katsayısı $n_g(\lambda)$ (%100 SiO₂)

Tablo 2.4 Kırılma katsayısı $n(\lambda)$ ve grup kırılma katsayısı $n_g(\lambda)$ (%100 SiO₂)

Dalgaboyu λ (nm)	Kırılma katsayısı n	Grup kırılma katsayısı n_g
600	1.4580	1.4780
700	1.4553	1.4712
800	1.4533	1.4671
900	1.4518	1.4646
1000	1.4504	1.4630
1100	1.4492	1.4621
1200	1.4481	1.4617
1300	1.4469	1.4616
1400	1.4458	1.4618
1500	1.4446	1.4623
1600	1.4434	1.4629
1700	1.4422	1.4638
1800	1.4409	1.4648

$dn / d\lambda$ ifadesi, gözlenen dalga boyu aralığı aşağı doğru (negatif) olan $n(\lambda)$ kırılma katsayısı eğrisinin eğimini vermektedir. Bu yüzden, her dalga boyunda grup kırılma katsayısı n_g , kırılma katsayısı n 'den daha büyüktür. Optik sinyallerin iletim zamanının hesaplanması için sadece grup kırılma katsayısı n_g kullanılmaktadır.

Grup kırılma katsayısının 1300nm'lik dalga boyu civarında bir minimuma ulaştığını fark etmek yararlıdır. Bu dalga boyu aralığı özellikle optik iletim için ilginçtir.

2.5 Toplam İç Yansıma

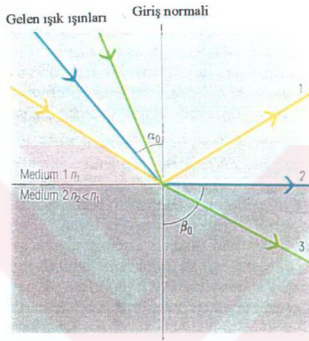
Bir ışık ışını (1) kırılma katsayısı n_1 olan optik olarak yoğun bir ortam ve kırılma katsayısı n_2 olan optik olarak daha az yoğun bir ortam arasındaki ara yüzeye, gitgide küçülen bir açıyla, yani gitgide yükselen bir α geliş açısıyla değiştiği zaman, o zaman belli bir geliş açısı α_0 'da kırılma açısı $\beta_0 = 90^\circ$ olur (Şekil 2.7).

Bu durumda, ışık ışını iki ortamın ara yüzeyine paralel yayılır. Geliş açısı α_0 iki ortamın *kritik açısı* olarak adlandırılmaktadır.

α_0 kritik açısı için aşağıdaki oran geçerlidir.

$$\sin \alpha_0 = \frac{n_2}{n_1},$$

yani, kritik açı, iki ortamın n_1 ve n_2 kırılma katsayılarının oranına bağlıdır.



Şekil 2.7 Işığın toplam iç yansıması

- 1 Tamamen yansımış ışık ışını
- 2 $\beta_0 = 90^\circ$ 'lik kırılma açısı ile kırılmış ışık ışını
- 3 Kırılmış ışık ışını

Örnekler

$n_1 = 1.333$ olan su ve $n_0 = 1$ olan hava arasındaki kritik açı

$$\sin \alpha_0 = 1 / 1.333 \approx 0.75 \text{ ve } \alpha_0 \approx 49^\circ \text{ dir;}$$

$n_1 = 1.5$ olan cam ve $n_0 = 1$ olan hava arasındaki kritik açı

$$\sin \alpha_0 = 1 / 1.5 \approx 0.67 \text{ ve } \alpha_0 \approx 42^\circ \text{ dir;}$$

α kırılma açısı α_0 kritik açısından daha büyük olan bütün ışınlar için, optik olarak daha zayıf olan ortamda bunlara karşılık gelen kırılmış ışınlar yoktur. Bu ışık ışınları ara

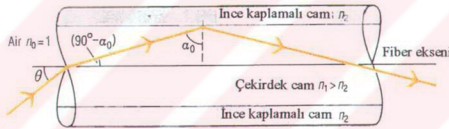
yüzeyde tekrar daha yoğun olan ortama yansır. Bu olaya *toplam iç yansıma* denmektedir (ışık ışını1).

Toplam iç yansıma, ancak bir ışık ışınının optik olarak daha yoğun bir ortamdan (ör: cam $n_1 = 1.5$) optik olarak daha az yoğun bir ortama (ör: hava $n_0 = 1$) yayıldığı bir ara yüzeyde oluşabilir ve bunun tersi hiç bir zaman geçerli değildir.

2.6 Nümerik Açıklık

Toplam iç yansımanın etkisi optik dalga kılavuzlarında kullanılmaktadır; bu, dalga kılavuzunun ortasında kırılma katsayısı n_1 olan bir “çekirdek cam” (core glass) ve çevresinde kırılma katsayısı n_2 olan “ince kaplamalı cam” (cladding glass) bulundurulmuş yapılmaktadır (n_1, n_2 'den biraz daha yüksektir.) (Şekil 2.8).

$\sin \alpha = n_2 / n_1$, gereksiniminden çıkarak, $(90^\circ - \alpha_0)$ 'dan daha büyük bir açıyla fiber eksenini kesmeyen bütün ışınlar çekirdek camda yönlendirilecektir.



Şekil 2.8 Optik bir dalga kılavuzunda ışığın yönlendirilmesi

Çekirdek camın içine, dışarıdan (kırılma katsayısı $n_0 = 1$ olan hava) ışık beslemek için, ışık ışını ve fiber eksenini arasındaki besleme açısı kırılma kanununa bağlı olarak hesaplanabilir:

$$\frac{\sin \Theta}{\sin(90^\circ - \alpha_0)} = \frac{n_1}{n_0}$$

ve böylece

$$\sin \Theta = n_1 \cos \alpha_0 = n_1 \sqrt{1 - \sin^2 \alpha_0}$$

$\sin\alpha_0 = n_2 / n_1$ kritik açısı için gereksinimle birlikte sonuç

$$\sin\Theta = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

Mümkün olan en büyük besleme açısı $\Theta_{\max}$ optik fiberin *kabul edilebilir açısı* olarak adlandırılır; sadece n_1 ve n_2 kırılma katsayılarına bağlıdır. Kabul edilebilir açının sinüsü optik fiberin *nümerik açıklığı* *NA* (*Numerical Aperture*) olarak adlandırılmaktadır.

$$NA = \sin\Theta_{\max}$$

Bu nicelik optik fiberin ışık beslemesinde çok önemlidir.

2.7 Optik Dalga Kılavuzunda Işığın Yayılması

Optik kanunlar, bir optik fiberin çekirdek cam ve ince kaplamalı cam arasındaki ara yüzeyde ışığın toplam iç yansımaları anlatmayı mümkün kılar. Işığın ışın şeklindeki lineer yayılması temel varsayımdır. Çekirdek cam içerisinde ışığın yayılmasının çeşitli ihtimallerini daha yakından incelemek için dalga optikleri tipik olan olayları düşünmek gerekir. Fiber çekirdeğinin çapı $10\mu\text{m}$ civarında ve böylece $1\mu\text{m}$ civarındaki çekirdekte yönlendirilen ışığın dalga boyundan sadece biraz daha büyük olduğu zaman bu özellik gereklidir. Böylece dalga optiklerinin yardımı ile açıklanabilen girişim (interference) şekilleri oluşmaktadır.

İki veya daha fazla dalganın süperpozisyonuna ve tek tek bir dalgada birleşmelerine genel olarak *girişim* denmektedir. İki dalganın girişiminin belli bir şekli ancak iki dalga aynı dalga boyunda ve birbirleri arasında herhangi bir zamanda sabit bir faz farkı olduğu zaman sağlanabilir. Böyle dalgalara *eşevreli dalgalar* (coherent waves) denir. İki dalganın, dalga boyları λ 'nın tamsayı çarpanı ile uzayda uzayda belirli bir noktada fazları farklı olursa, o zaman genliğin *toplaması* oluşur. Diğer yandan, dalga boyunun yarısı $\lambda/2$ olan tamsayının faz farkı olması durumunda *çıkarma* olur ve genliği aynı olan iki dalgası olması durumunda dalgalar o noktada *görülmez* (bozucu girişim).

İki normal ışık kaynağı kullanıldığı zaman (örneğin ampul) ve ışıkları üstüste gelirse, o zaman hiçbir girişim görülemez, çünkü bu ışık eşkaynaklı değildir. Bu, akkor gövde (bu durumda ampuldeki filaman) tarafından ışığın nasıl yayıldığına bağlıdır.

Rastgele zamanlarda kendiliğinden oluşan işlemlerden dolayı filamanın tek tek atomları ışık flaşları, yani 10^{-8} s süresi civarındaki kısa dalga boyları yayarlar. Havadaki 3×10^8 m/s'lik ışık hızında bu dalga gruplarının uzunluğu 3m civarındadır. Bu uzunluğa *eşevreli uzunluk* (coherence length) denilir. 3m uzunluğundaki dalga gruplarının süperpozisyonu tamamen rastgeledir ve sadece odayı aydınlatır.

Optik dalga boylarında ışığı iletmek için, çok eşevreli ışığın kaynağını bulmak gerekmektedir. Vericinin spektral eni (Bölüm.12.1) mümkün olduğu kadar küçük olmalıdır. Spektral eni ≥ 40 nm olan ışık yayan diyotlara karşın, uyarıcı ışık yayan lazerler, bir dalga boyunda sabit faz farkını sağlamayı mümkün kılar. Böylece, optik dalga kılavuzunda girişim olayları oluşmaktadır; bu ışığın ancak kesin açılarda çekirdek camda yayılabileceği gerçeğinden anlaşılabilir; “kesin” ilgili ışık dalgalarının süperpozisyonlarından dolayı yükseltildiği ve böylece yapıcı girişim gösterdiği yönlerde yayılmaları gerektiği anlamına gelmektedir. Optik fiberler içinde yayılabilen izin verilen ışık dalgalarına *modlar* (öz dalgalar) (eigenwaves) denmektedir.

Bu modlar, *Maxwell denklemleriyle* matematiksel bir kesinlikle hesaplanabilir. Elektromanyetik dalgalar için denklemlerin bu genel sistemi, optik fiberde sadece zayıf bir şekilde yönlendirilen ışık dalgalarına uygulandığı zaman büyük ölçüde basitleştirilebilir. Bu, hemen hemen tamamen fiber eksenini doğrultusunda yayılan ve eksen boyunca alan elemanları az olan dalgalar için geçerlidir. Bu dalgalar, çekirdek camın kırılma katsayısı n_1 ve ince kaplamalı camın kırılma katsayısı n_2 ancak az miktarda farklı olduğu zaman oluşmaktadır. Kırılmadaki bu farkın bir ölçüsü normalleştirilmiş *kırılma katsayısı farkıdır* Δ .

$$\Delta = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2} \approx \frac{n_1 - n_2}{n_1}$$

Optik bir fiberde normalleştirilmiş kırılma katsayısı farkı Δ , birimle karşılaştırılınca çok küçüktür ve böylece ışık dalgaları çekirdek camda buna oranla zayıf yönlendirilmektedir.

Basitleştirilmiş dalga denklemlerinin çözümleri, optik fiberdeki yayılma modları için çok iyi yaklaşımlar sunmaktadır. Örnek olarak Şekil 2.9 ilk on mod için optik bir fiberin ara kesitinde ışık şiddetinin yayılımını göstermektedir. Öz dalgalar (eigenwaves) düzlem dalga yüzeylerine sahiptirler ve lineer olarak polarize olmuşlardır. Böylece iki mod sayıları ν ve μ ile birlikte $LP_{\nu\mu}$ diye adlandırılırlar.

ν niceliği azimut mod sayısıdır. Her konsantrik ışık zincirinde ışık noktalarının sayısının yarısını vermek için kullanılmaktadır. ν için değerler 0, 1, 2, 3, ... olabilmektedir, $\nu = 0$ olduğunda her ışık zinciri alt bölümsüz görünür.

μ niceliği radyal mod sayısıdır, modun konsantrik ışık zincirlerinin sayısını vermek için kullanılmaktadır. 1, 2, 3, ... değerlerini alabilmektedir.

Temel moda LP_{01} denmektedir; bir sonraki mod LP_{11} 'dir.



Şekil 2.9 Bir optik dalga kılavuzunun ilk on modu $LP_{\nu\mu}$ (Stolen, R. H. , ve Leibolt, W. N. : Uyarılan dört foton karışımı kullanan optik fiber modlar. Appl. Opt., 15, 1976, 239-243)

2.8 Optik Nanlineer Etkiler

Bir optik fiber, yüksek güç yoğunluğundaki ışıkla çalıştırılırsa optik nanlineer etkiler önem kazanır. Bu etkiler, subatomik seviyede fiberin cam maddesi ile gelen fotonların etkileşimi sonucudur. Böylece, ilgili fiziğinin bir kuantum mekaniği seviyesinde iyice anlaşılması gerekmektedir.

Optik nanlineerlik yaklaşık olarak en azından dört tipte gruplandırılabilir. İlk tip, *uyarıcı Raman dağılıması* (stimulated Raman scattering) olarak bilinen, gelen fotonların moleküler titreşimlerle etkileşimidir. İkinci tip, *uyarıcı Brillouin dağılıması* (stimulated Brillouin scattering) (SBS) olarak bilinen, fotonlar akustik fononlarla etkileştiğinde oluşur. Her iki mekanizma foton dalga boyunun ötelenmesi ile sonuçlanır ve elastik olmayan dağılıma olarak bilinir. Üçüncü tip, fotonlar aniden kafes elektronlarla etkileştiğinde, kırılma katsayısının şiddete bağlı değişimleri nedeniyle oluşmaktadır. İzotropik SiO₂ camda bu etki, 4-foton karıştırılması ve ayrıca öz-fazlı modülasyon (self-phase modulation) (SPM) olarak bilinen işlemlere sebep olur. Dördüncü tip, hatalı elektronun hapsedilmesi ile ilgilidir, ve böylece kırılma katsayısı değişimi uzun sürelidir. Bu etki fotoelektrik kırılma (photorefraction) etkisi olarak bilinmektedir.

Optik fiberlerde nanlineer etkilerin, şimdiye kadar optik haberleşme sistemlerinin işletilmesinde önemli etkisi olmamıştır. Bu yüzden optik nanlineerlik, bu sistemlerin tasarımında küçük bir faktör olmuştur. Bununla beraber, yüksek güç ışık kaynaklarının, daha küçük spektral enli lazerlerin ve küçük fiber çekirdeklerinin kullanımı, uyarıcı Brillouin dağılıması ve öz-fazlı modülasyon gibi nanlineer etkiler için kritik eşik seviyesini aşacak kadar yüksek olan güç yoğunluklarına sebep olabilir.

Eşik güç seviyeleri SBS için yaklaşık 190 mW ve SPM için yaklaşık 30 mW'dır. Parametrik etkiler 4-fotonlu karıştırılma veya uyarıcı Raman dağılıması gibi yukarıda bahsedilen diğer nanlineer etkiler, daha yüksek güç yoğunluklarını gerektirmektedir ve böylece pratik olarak önemli değildir. SBS ve SPM sinyal distorsiyonlarına sebep olabilir.

SBS işleminde, fiberde taşınan optik gücün önemli bir oranı, vericiye doğru geri giden, frekansta ötelenmiş ikinci bir ışık dalgasına dönüştürülebilir. SBS, şiddetli ek sinyal zayıflamaları oluşturarak, bazı durumlarda kompleks frekans ötelenmelerine sebep olarak ve iletim optiklerine yüksek şiddetli geriye doğru kuplaj uygulayarak, birçok yolla optik haberleşme sisteminde zararlı olabilir. Bu yüzden SBS için olan eşiğin altındaki güç seviyelerinde işletmek gerekecektir ve bu, besleme gücüne ve böylece amplifikatörler arası mesafeye büyük sınırlandırmalar getirebilir.

Öz fazlı modülasyon, sinyal spektrumunun şiddete bağlı genişlemesine yol açmaktadır. Bu daha büyük frekans genişliği, grup hızı dağılması yoluyla darbe yayılmasını arttırmaktadır. Bu işlem, şiddete bağlı kırılma katsayısından dolayı optik darbenin merkezi ve kuyrukları arasındaki bir diferansiyel faz ötelenmesi olarak anlaşılabilir. Katsayı değişimi çok küçüktür, fakat buna karşılık gelen faz modülasyonu, uzun bir fiberde toplandığında önemli olur.

Bununla beraber, eğer SPM ve renk dağılması birbirine iyi ayarlanmış ise (doğru ışık şiddeti, negatif dağılma) darbe genişlemesi yerine darbe daralması oluşabilir ve bu optik solitonlara yol açabilir. Solitonlar, optik fiberlerde dağılma yoluyla deformasyona maruz kalmayan ve böylece prensip olarak uzun iletim hatlarında bit oranlarında hiçbir sınırlama görmeyen ışık darbeleridir. Böylece bunlar, özellikle transokyanus iletim hatlarında telekomünikasyon için çok uygun görünmektedirler. Soliton iletimi, 9000 km fiber uzunluğuna kadar laboratuvarlarda başarıyla denenmiştir. Ticari amaçlı kullanılan soliton temelli iletim hatları henüz tesis edilmemiştir.

3 OPTİK DALGA KILAVUZLARININ KİMYASI

3.1 Erimiş Silika Cam

Ağırlık açısından dünyanın dış katı tabakası, yarı oksijen ve dörtte bir silikondan ibarettir. Elementlerin periyodik tablosunda oksijen 8. element ve silisyum 14. elementtir (Tablo 3.1).

Bu iki elementin bol miktarda bulunması, dünyanın dış tabakasının çoğunlukla kuvarstan (necef taşı) ve metalik oksitlerle bileşikleri, yani silikatlardan ibaret olması nedeniyledir. Bir kimyasal bileşik olan ve silisyumdioksit SiO_2 olarak adlandırılan kuvars, çoğunlukla kumun bileşenlerinden biri olan kuvarsit olarak görünmektedir. Dünyanın gelişimi sırasında, volkanik kayaların hava ile bozulması (genel olarak granit), bu kumu meydana getirmiştir.

En saf şeklinde kristal olarak kuvars, su kadar berrak olan kaya kristali olarak bulunmaktadır. Optik veya mekanik özellikleri anizotropiktir, yani kristalin kendi eksenleri doğrultusunda değişirler.

Teknolojideki çeşitli uygulamalarından dolayı, örneğin kuvars rezonatörü olarak (optik olarak aktif bir bileşen olarak ya da piezoelektrikte), kuvars bugün bir çekirdek çevresinde kristal gelişimini sağlayarak sentetik olarak üretilmektedir.

Kuvarsa karşın, erimiş cam (fused glass) şekilsizdir, yani silisyumdioksitin kristal olmayan, camı katılaşmış eriyiğidir; sadece yüksek viskozitesinden dolayı katı görülmektedir. Erime noktası yoktur; tersine, daha yüksek ısılarda sadece daha çok yumuşak olur ve bu halden sıvı haline geçmeden direkt olarak buharlaşır.

Viskozite, camın bütün üretiminde ve şekil verme işleminde önemli bir özelliktir. Bu özellikle, erimiş silika camdaki iç sürtünme tanımlanmıştır. η ile gösterilir ve birimi desipascalsaniyedir, burada

$$1 \text{ desipascalsaniye (dPa} \cdot \text{s)} = 1 \text{ g} / \text{cm} \cdot \text{s}$$

Erimiş silika camda viskozite, sıcaklık T ile orantılı olarak düzgün bir şekilde azalmaktadır (Şekil 3.1).

Pratik sebeplerden dolayı, bazı sıcaklıklar viskozitenin logaritması yardımıyla daha yakından tanımlanmıştır (Tablo 3.2), çünkü viskozite-sıcaklık eğrisinin göze çarpan noktaları yoktur.

Üst ve alt tavlama noktaları dönüştürme bölgesinin sınırlarındadır, yani bir eriyiğin viskoelastik durumdan erimiş silika camın kolay kırılır durumuna geçiş noktasındadır. Yumuşama noktasının bölgesi içerisinde erimiş silika camın şekli kendi ağırlığına göre değişir.

1a

1

H

Hydrogen

1.00797

2a

2

He

Helium

4.0026

3

4

Li

Beryllium

6.939

9.0122

11

12

Na

Magnesium

22.9898

24.305

19

20

K

Ca

Potassium

39.102

40.08

27

28

Co

Ni

Cobalt

58.9332

58.71

35

36

Br

Kr

Bromine

79.904

83.80

53

54

I

Xe

Iodine

126.9044

131.30

81

82

Tl

Pb

Thallium

204.37

207.19

89-103**

Actinides

67

68

La

Ce

Lanthanum

138.91

140.12

72

73

Hf

Ta

Hafnium

178.49

180.948

89

90

Ac

Th

Actinium

227

232.038

91

92

Pa

U

Protactinium

231

238.03

93

94

Np

Pu

Neptunium

237

244

95

96

Am

Cm

Americium

243

247

97

98

Bk

Cf

Berkelium

247

251

99

100

Es

Fm

Einsteinium

254

257

101

102

Md

No

Mendelevium

257

259

103

104

Lr

Uu

Lawrencium

260

261

1a

2a

3a

4a

5a

6a

7a

1b

2b

Atomic number

1

Symbol

H

Hydrogen

1.00797

Atomic weight

(or mass number of most stable isotope if in parentheses)

2

He

Helium

4.0026

3

4

Li

Beryllium

6.939

9.0122

11

12

Na

Magnesium

22.9898

24.305

19

20

K

Ca

Potassium

39.102

40.08

27

28

Co

Ni

Cobalt

58.9332

58.71

35

36

Br

Kr

Bromine

79.904

83.80

53

54

I

Xe

Iodine

126.9044

131.30

81

82

Tl

Pb

Thallium

204.37

207.19

89-103**

Actinides

67

68

La

Ce

Lanthanum

138.91

140.12

72

73

Hf

Ta

Hafnium

178.49

180.948

89

90

Ac

Th

Actinium

227

232.038

91

92

Pa

U

Protactinium

231

238.03

93

94

Np

Pu

Neptunium

237

244

95

96

Am

Cm

Americium

243

247

97

98

Bk

Cf

Berkelium

247

251

99

100

Es

Fm

Einsteinium

254

257

101

102

Md

No

Mendelevium

257

259

103

104

Lr

Uu

Lawrencium

260

261

1

H

Hydrogen

1.00797

2

He

Helium

4.0026

3

4

Li

Beryllium

6.939

9.0122

11

12

Na

Magnesium

22.9898

24.305

19

20

K

Ca

Potassium

39.102

40.08

27

28

Co

Ni

Cobalt

58.9332

58.71

35

36

Br

Kr

Bromine

79.904

83.80

53

54

I

Xe

Iodine

126.9044

131.30

81

82

Tl

Pb

Thallium

204.37

207.19

89-103**

Actinides

67

68

La

Ce

Lanthanum

138.91

140.12

72

73

Hf

Ta

Hafnium

178.49

180.948

89

90

Ac

Th

Actinium

227

232.038

91

92

Pa

U

Protactinium

231

238.03

93

94

Np

Pu

Neptunium

237

244

95

96

Am

Cm

Americium

243

247

97

98

Bk

Cf

Berkelium

247

251

99

100

Es

Fm

Einsteinium

254

257

101

102

Md

No

Mendelevium

257

259

103

104

Lr

Uu

Lawrencium

260

261

1

H

Hydrogen

1.00797

2

He

Helium

4.0026

3

4

Li

Beryllium

6.939

9.0122

11

12

Na

Magnesium

22.9898

24.305

19

20

K

Ca

Potassium

39.102

40.08

27

28

Co

Ni

Cobalt

58.9332

58.71

35

36

Br

Kr

Bromine

79.904

83.80

53

54

I

Xe

Iodine

126.9044

131.30

81

82

Tl

Pb

Thallium

204.37

207.19

89-103**

Actinides

67

68

La

Ce

Lanthanum

138.91

140.12

72

73

Hf

Ta

Hafnium

178.49

180.948

89

90

Ac

Th

Actinium

227

232.038

91

92

Pa

U

Protactinium

231

238.03

93

94

Np

Pu

Neptunium

237

244

95

96

Am

Cm

Americium

243

247

97

98

Bk

Cf

Berkelium

247

251

99

100

Es

Fm

Einsteinium

254

257

101

102

Md

No

Mendelevium

257

259

103

104

Lr

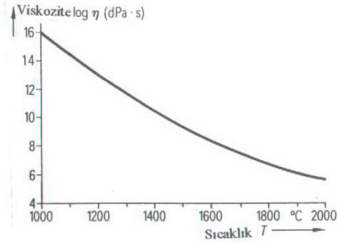
Uu

Lawrencium

260

261

Tablo 3.1 Elementlerin periyodik tablosu



Şekil 3.1 Sıcaklığın bir fonksiyonu olarak erimiş silika camın viskozitesi

Tablo 3.2 $\log \eta$ yardımıyla erimiş silika cam için bazı sıcaklık değerlerinin tanımlanması

Viskozite $\log \eta$	Tanımlama	Erimiş silika camda sıcaklık (°C)
7.6	Yumuşama noktası	1730
13	Tavlama noktası	1180
14.5	Gerilme noktası	1075

3.1.1 Üretim

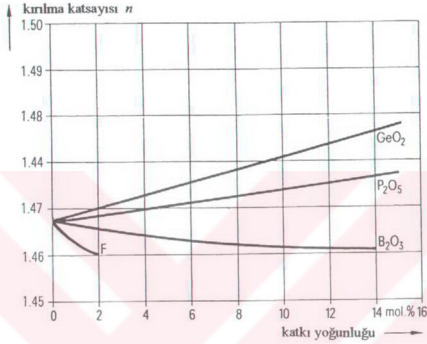
Aşırı derecede saf erimiş silika cam, genellikle çok uçucu silisyum tetraklorit bileşiğini oksijenle birlikte dönüştürerek ve klor gazı çıkararak buhar fazında SiO_2 çökertilmesiyle üretilmektedir. SiCl_4 'ün kullanıldığı bu yol seçilmiştir, çünkü tabii SiO_2 'e karşı bu bileşik damıtma yoluyla çok saf bir şekilde üretilir. Reaksiyon denklemi



Günümüzde, optik dalga kılavuzları optik haberleşmelerde kullanılmak üzere bu işlemle üretilmektedir. Camın kırılma katsayısının optik dalga kılavuzu içerisinde ışığın yayılması için önemli bir faktör olduğu bilinmektedir. Bu, buharlı çökertme işlemi sırasında uygun katkılamaya (doping) ile, yani belirli miktarda oksit eklenerek, “ayarlanabilir”. Örneğin flor (F) ya da bortriksit (B_2O_3) ekleyerek daha düşük bir kırılma katsayısı elde edilebilir ve germanyumdioksit (GeO_2) ya da fosforpentaoksit (P_2O_5) ekleyerek daha yüksek bir kırılma katsayısı elde edilir, ve bu optik fiberin çekirdek camı için gereklidir. Bununla beraber,

ince kaplamalı silika cam içinde bu yollarla oluşturulan kırılma katsayısı değişiklikleri nispeten sınırlıdır.

Şekil 3.2’de katkı erimiş silika camın kırılma katsayısı n , bu maddelerin katkı yoğunluğunun bir fonksiyonu olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.2 Farklı katkı maddeleriyle birlikte SiO₂'nin kırılma katsayısı

Aşırı derecede saf silisyumdioksit'e bu oksitlerin eklenmesiyle sadece kırılma katsayısı değişmez; aynı zamanda diğer faktörler de etkilenir. Böylece, katkı ve katkısız erimiş silika camın sıcaklık değişimlerine bağlı olarak lineer genleşme karakteristikleri farklıdır. Ayrıca, yabancı moleküllerin eklenmesiyle ışık dağılmasının ve böylece yayılan ışığın azalmasının artması özellikle önemlidir.

Işık, ince kaplamalı silika camdan geçtiğinde azalmanın diğer bir sebebi, geçiş metalleri Fe, Cu, Co, Cr, Ni, Mn tarafından ve OH iyonları şeklinde su tarafından *emilmesidir* (absorption). Bu metaller ve Oh iyonlarıyla camın çok az miktarda kirlenmeleri bile olsa yüksek ışık kayıpları oluşur. Bu yabancı maddelerin yoğunluğu ppm (parts per million) (milyonda bir) veya ppb (parts per billion) (milyarda bir) olarak ölçülmektedir, yani temel maddenin milyonda ya da milyarda birindeki kirlilik. Örneğin, 1 ppm Cu 800 nm bölgesinde kilometre başına birkaç yüz desibel azalmaya sebep olur ve 1 ppm'lik OH yoğunluğu 800 nm'de 0.1 dB/km, 950 nm'de 1 dB/km, 1240 nm'de 1.7 dB/km ve 1390 nm'de 35 dB/km'lik bir azalmaya sebep olur. Böylece, yabancı maddelerin tipine bağlı

olarak, emilmenin emme bandları denilen belirli dalga boylarında özellikle fazla olduğu bellidir.

Aşırı derecede saf silisyumdioksit yerine kurşun alkali silikat cam ya da sodyum bor silikat cam gibi *çok bileşenli* cam optik dalga kılavuzu üretiminde ham madde olarak kullanıldığında, yabancı maddelere bağlı olarak daha yüksek azalmalar oluşur. Normal cam (örneğin pencere camı veya su bardağı için) ek oksitler içerir ve böylece daha az yarı şeffaftır; diğer yandan, mekanik ve üretim avantajları vardır.

3.1.2 Madde özellikleri

Erimiş silika cam izotropik bir ortamdır, yan, yönlerine bağlı olmadan fiziksel özellikleri aynıdır. Sıcaklık hızlı değiştiği zaman davranışı iyi bilinmektedir. Son derece küçük *lineer termik genleşme katsayısı* α 'dan dolayı (Tablo 3.3), sıcaklık değişimlerine karşı fevkalade dayanıklıdır.

Örnek

Erimiş silika cam fiberin uzunluğundaki değişim:

Test uzunluğu $L = 1$ km, 20°C 'den 40°C 'ye sıcaklık değişimi:

$$\Delta T = 20 \text{ K}$$

Uzunluktaki değişim ΔL şöyle hesaplanmaktadır:

$$\Delta L = \alpha TL$$

$$\Delta L = 5.5 \times 10^{-7}/\text{K} \times 20 \text{ K} \times 1 \text{ km} = 110 \times 10^{-7} \times 10^5 \text{ cm}$$

$$\Delta L = 1.1 \text{ cm.}$$

Erimiş silika camın diğer bazı tipik özellikleri Tablo 3.3'te bulunabilir.

Tablo 3.3 Erimiş silika camın özellikleri

Özellik	Birim	Değer
Yoğunluk γ	g/cm^3	2.20
Young'un modülü E	N/mm^2	72900
Shear modülü G	N/mm^2	33000
Lineer termik genleşme katsayısı α	K^{-1}	5.5×10^{-7}

Aşağıdaki örnek hesaplamalar bu özellikleri açıklar:

- Kaplamasız, çapı $d = 125 \mu\text{m} = 0.125 \text{ mm}$, uzunluğu 1 km olan erimiş silika cam fiberin *ağırlığının hesaplanması*.

Camın arakesitinin yüzeyi

$$A = \pi \frac{d^2}{4} \approx 3.14 \frac{0.125^2 \text{ mm}^2}{4} \approx 0.0123 \text{ mm}^2 = 1.23 \times 10^{-4} \text{ cm}^2$$

Kilometre başına ağırlık G şöyledir

$$G = \gamma A \times 1 \text{ km} = 2.20 \text{ g/cm}^3 \times 1.23 \times 10^{-4} \text{ cm}^2 \times 10^5 \text{ cm} \approx 27 \text{ g.}$$

- $\sigma \approx 345 \text{ N/mm}^2 \approx 50 \text{ KPSI}$ (Kilopound-force per square inch) (İnç kare başına kilopound-kuvvet) ($1 \text{ KPSI} \approx 6.8948 \text{ n/mm}^2$) gerilmeli bir deney testinde çapı $d = 125 \mu\text{m} = 0.125 \text{ mm}$ olan erimiş silika cam fiberin *boyuna gerilmesinin* (longitudinal strain) ϵ ve buna karşılık gelen gerilme kuvvetinin hesaplanması.

Hooke'un kanununa göre:

$$\sigma = E\epsilon.$$

σ gerilimi (gerilme veya sıkıştırma), boyuna gerilme $\varepsilon = \Delta L/L$ ile orantılıdır (per unit uzunluktaki uzama veya sıkıştırma) ve Young'ın modülü E orantı sabitidir.

Yukarıdaki gerilme şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} = \frac{50 \times 6.8948 \text{ N/mm}^2}{72900 \text{ N/mm}^2} \approx 4.73 \times 10^{-3} \approx \%0.5$$

$A = 0.0123 \text{ mm}^2$ 'lik bir cam arakesitinde gerilme kuvveti şöyle hesaplanmaktadır

$$F = \sigma A = 50 \times 6.895 \text{ N/mm}^2 \times 0.0123 \text{ mm}^2 = 4.24 \text{ N}.$$

➤ Erimiş silika cam fiber için *Poisson oranı μ 'nın hesaplanması.*

Poisson oranı, gerilim altındaki bir gövdede boyuna gerilme ile ara-kesit gerilmesi arasındaki ilişkiyi vermektedir:

$$\mu = \frac{\Delta d}{d} \div \frac{\Delta L}{L}$$

Young'ın modülü E ve shear modülü G yardımıyla bu şöyle hesaplanabilir

$$\mu = \frac{E}{2G} - 1.$$

Böylece erimiş silika cam fiberler için şöyledir:

$$\mu = \frac{72900 \text{ N/mm}^2}{2 \times 33000 \text{ N/mm}^2} - 1 \approx 0.1.$$

Yaklaşık %0.5'lik bir boyuna gerilmesi olan bir deney testinde hesaplanan çap azalması şöyledir:

$$\frac{\Delta d}{d} = \mu \frac{\Delta L}{L} \approx 0.1 \times 0.005 = \%0.05$$

4 OPTİK DALGA KILAVUZU PROFİLLERİ

Bir optik dalga kılavuzunun n kırılma katsayısı, r yarıçapının bir fonksiyonu olarak düşünülürse *kırılma katsayısı profili* terimi kullanılmaktadır. Bu, kırılma katsayısının çekirdek camın içindeki fiber ekseninden dışarıya ince kaplamalı cama doğru radyal değişimini tarif etmektedir:

$$n = n(r).$$

Bir optik dalga kılavuzundaki modların yayılması, bu kırılma katsayısı profilinin şekline bağlıdır (Şekil 4.1).

“Güç kanunu katsayı profilleri” (Power law index profiles) pratik uygulamalar için önemlidir. Bunlar kırılma katsayısı profilleri olarak anlaşılmaktadır ve yarıçapın güç kanunu fonksiyonu olarak belirtilen eğrisi şöyle anlatılmaktadır

$$n^2(r) = n_1^2 \left[1 - 2\Delta \left(\frac{r}{a} \right)^g \right]$$

çekirdekte $r < a$ için

ve

$$n^2(r) = n_2^2 = \text{sabit}$$

ince kaplamada $r > a$

burada

- n_1 fiber eksenini boyunca kırılma katsayısı
- Δ normalleştirilmiş kırılma katsayısı farkı
- r fiber ekseninden μm olarak mesafe
- a μm olarak çekirdek yapısı
- g profil üssü
- n_2 ince kaplamanın kırılma katsayısı

Normalleştirilmiş kırılma katsayısı farkı, aşağıda gösterildiği gibi NA nümerik açıklığına veya n_1 ve n_2 kırılma katsayılarına bağlıdır:

$$\Delta = \frac{NA^2}{2n_1^2} = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2}$$

Aşağıdaki özel durumlar dikkate değerdir (Şekil 4.1):

- $g = 1$ üçgen profil
- $g = 2$ parabolik profil
- $g \rightarrow \infty$ basamak profili (g 'nin limiti sonsuzdur)

Sadece son durumda, yani basamak profilinde, çekirdek camda kırılma katsayısı sabit kalır ($n(r) = n_1$). Bütün diğer profiller için, çekirdek camdaki kırılma katsayısı $n(r)$, ince kaplamalı camın n_2 değerinden fiber eksenindeki n_1 değerine kadar yavaş yavaş artar.

Bu profiller bu yüzden *dereceli katsayı profilleri* olarak adlandırılır. Bu isim, özellikle parabolik profiller ($g = 2$ olan) için çok uygun olmuştur, çünkü bu profildeki optik fiberlerin teknik olarak ışık yönlendirme kaliteleri çok iyidir.

Bir optik fiberin tanımlanmasında diğer bir önemli nicelik V sayısı ya da V normalleştirilmiş frekanstır. Bu, a çekirdek yarıçapına, çekirdek camın NA nümerik açıklığına ve ışığın λ dalga boyu veya k dalga sayısına bağlıdır. V sayısı boyutsuz bir parametredir:

$$V = 2\pi \frac{a}{\lambda} NA = kaNA,$$

burada

a çekirdek yarıçapı

λ dalga boyu

NA nümerik açıklık

k dalga sayısıdır.

Çekirdek camda yönlendirilen modların sayısı N , bu parametreye bağlıdır ve yaklaşık olarak şöyle gösterilir:

g profil üssü olan rastgele bir güç kanunu katsayısı profili için

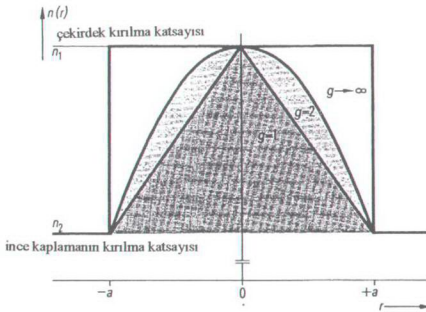
$$N \approx \frac{V^2}{2} \frac{g}{g+2}$$

Bir basamak katsayı profilindeki ($g \rightarrow \infty$) modların sayısı yaklaşık olarak

$$N \approx V^2 / 2 \text{ dir.}$$

Dereceli katsayı profili ($g = 2$) için modların sayısı

$$N \approx V^2 / 4 \text{ tür.}$$



Şekil 4.1 Bir optik dalga kılavuzunun kırılma katsayısı profili

Örnek

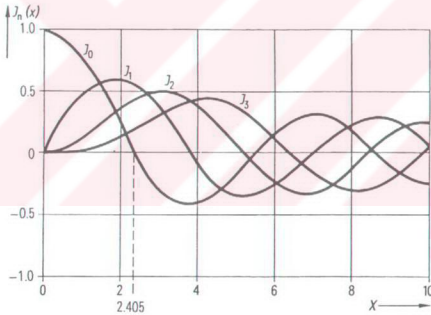
Dereceli katsayı profili ($g = 2$), çekirdek çapı $2a = 50\mu\text{m}$, nümerik açıklığı $NA = 0.2$ ve dalga boyu $\lambda = 1\mu\text{m}$ olan bir optik fiberin V sayısı aşağıdaki gibidir

$$V = 2\pi \frac{50/2\mu\text{m}}{1\mu\text{m}} \times 0.2 = 2\pi \times 5 \approx 31.4.$$

Çekirdekte yönlendirilen modların sayısı N

$$N \approx \frac{V^2}{4} = \frac{31.4^2}{4} \approx 247$$

Birkaç modu olan böyle bir optik dalga kılavuzu, *çok modlu fiber* olarak adlandırılır.



Şekil 4.2 Bessel fonksiyonları

Eğer modların sayısı azaltılacaksa, yani V sayısı azalacaksa, ya çekirdek çapı $2a$ ya da nümerik açıklık NA azaltılmalı veya ışığın dalga boyu artırılmalıdır. Bir optik fiberden geçen ışık miktarı nümerik açıklığa çok bağlı olduğundan, bu değer olabilecek en yüksek değerde kalmalıdır. Daha zor kullanılması ve eklenmesi sebebiyle çekirdek yarıçapı a 'daki bir azalma sınırlıdır. Diğer yandan, daha uzun dalga boyu aralıkları için verici ve alıcı yapmak gitgide zorlaşmaktadır; böylece dalga boyu istenildiği gibi arttırılamaz.

Bir basamak katsayı profili ($g \rightarrow \infty$) olan bir optik fiberdeki V sayısı, $V_{c\infty} = 2.405$ sabitinden daha küçük olursa, sadece tek bir mod, LP_{01} temel modu, çekirdekte yayılabilir. Sadece tek bir modu olan böyle bir optik fibere *tek-modlu fiber* denilmektedir.

2.405 değeri, Bessel fonksiyonu $J_0(x)$ 'in x değerine bu fonksiyonun ilk sıfır değerinde eşittir (Şekil.4.2).

Bessel fonksiyonları $J_n(x)$ 'in eğrileri, söndürülmüş sinüsoidal salınımlara (dampened sinusoidal oscillations) benzemektedirler. Koaksiyal kablolar, içi boş tüpler veya optik fiberler gibi silindirik olarak simetrik dalga kılavuzları için tipik fonksiyonlardır.

$V_{c\infty}$ sabiti, basamak katsayılı profili ($g \rightarrow \infty$) olan optik bir dalga kılavuzu için limit değeridir. c katsayısı kesme değeri (cut-off value) teriminden gelmektedir. Rastgele profil üssü g olan bir güç kanun katsayı profili için V_c limit değeri yaklaşık olarak

$$V_c \approx V_{c\infty} \sqrt{\frac{g+2}{g}}$$

Dereceli katsayılı fiber ($g = 2$) için V_c limit değeri yaklaşık olarak

$$V_c \approx 2.405\sqrt{2} = 3.4.$$

Örnek

Basamak katsayı profili, çekirdek çapı $2a = 9 \mu\text{m}$ ve nümerik açıklığı $NA = 0.11$ olan bir optik fiber, aşağıda hesaplanan dalga boyunda $V = V_{c\infty}$ V sayısına ulaşır

$$\lambda = \pi \frac{2a}{V} NA = \pi \frac{9 \mu\text{m}}{2.405} 0.11 \approx 1.293 \mu\text{m} = 1293 \text{nm}.$$

V_c kesme değerine karşılık gelen, hesaplanan λ dalga boyuna, λ_c kesme dalga boyu (cut-off wavelength) denilmektedir (Bölüm 5.5):

$$\lambda_c = \pi \frac{2a}{V_c} NA.$$

Bütün dalga boyları $\geq \lambda_c$ olduğunda, bu belirli optik dalga kılavuzunda sadece bir mod yayılabilir. Bu fiber, bu yüzden λ_c dalga boyunun üzerinde tek-modlu bir fiberdir.

Burada, ışığın polarizasyonu nedeniyle temel mod ve diğer yüksek modların, birbirlerine dik olarak salınan öz dalgalar (modlar) olan iki moddan ibaret olduğuna dikkat edilmelidir. İki *polarizasyon modunun* bulunmasına rağmen tek modlu optik dalga kılavuzu terimi kullanılmaktadır. Bu polarizasyon modlarının etkileri, sadece optik dalga kılavuzlarının özel uygulamaları için önemli değildir, örneğin optik dalga kılavuzu sensör teknolojisi için, eşevreli iletim için ve “polarizasyonu sağlayan optik fiberleri” kullanan optik pusulalar için. Ayrıca iki moda ayrılmasıyla oluşan etkiler, günümüz iletim sistemleri için haberleşme kablo teknolojisinde önemlidir. Bir yandan, polarizasyon mod dağılmasına (PMD) bağlı olarak birleşik ikinci dereceden distorsiyonların (CSO) (Composite Second Order) üretimi (Bölüm 5.10), CATV uygulamaları için kullanılan analog sinyallerin kalitesinde önemli düşüşlere sebep olabilir. diğer yandan, haberleşmede kullanılan 10Gbit/s kadar bit oranları olan PMD dijital sinyallerinden dolayı iletim sistemleri link uzunlukları açısından sınırlı olabilir.

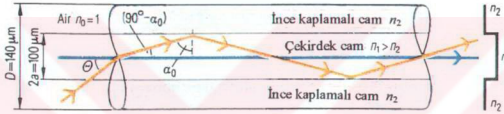
4.1 Basamak Katsayısı Profili

Toplam iç yansımaya bağlı olarak, basamak katsayısı profili ile optik fiberin çekirdek camında ışığın yönlendirilebilmesi için, çekirdek camın n_1 kırılma katsayısı, iki camın ara yüzeyindeki ince kaplamalı n_2 kırılma katsayısından biraz daha büyük olmalıdır. n_1 kırılma katsayısı, çekirdeğin bütün arakesiti üzerinde aynı değeri sağlarsa, kırılma katsayısının bir basamak profili olduğu söylenmektedir. İnce kaplamalı camın ara yüzeyinde kırılma katsayısı çekirdek camda bir basamakta artar ve orada değişmeden kalır. Şekil 4.3, basamak katsayısı profili olan bir optik fiberin kırılma katsayısı profilini göstermektedir. Ayrıca, karşılık gelen açılırla birlikte bir ışık ışınının yayılmasını da göstermektedir.

Böyle bir optik dalga kılavuzu, basamak katsayısı profili olan fiber veya *basamak katsayısı fiberi* diye adlandırılır. Optik fiberin bu tipi kolayca üretilir, bununla beraber, günümüzde ancak nadiren kullanılmaktadır. Aşağıdaki örnek, böyle bir optik fiber içinde ışığın yayılmasını daha iyi göstermek için seçilmiştir (Şekil 4.3).

Basamak Katsayısı Profili olan bir Çok Modlu Fiber için Tipik Boyutlar

Çekirdek çapı	$2a$	100 μm	Çekirdek kırılma katsayısı	n_1	1.48
İnce kaplamanın çapı	D	140 μm	İnce kaplamanın kırılma katsayısı	n_2	1.46.



Şekil 4.3 Basamak katsayısı profili olan fiber

Bu durumda, toplam iç yansımanın α_0 kritik açısı, yani gelen ışık ışını ve normal arasındaki en küçük açı (bu açının altındaki değerlerde, ışık ışınları çekirdek camda yönlendirilir ve ince kaplamalı camda kırılmaz), şöyledir:

$$\sin \alpha_0 = \frac{n_2}{n_1} = \frac{1.46}{1.48} \approx 0.9865; \quad \alpha_0 = 80.6^\circ.$$

Fiber eksenine $(90^\circ - \alpha_0) = 9.4^\circ$ 'ye eşit ya da daha küçük açı oluşturan bütün ışık ışınları çekirdek camda yönlendirilir.

Işık, dışarıdan (hava $n_0 = 1$) çekirdek cama doğru beslendiğinde, kırılma kanunu hesaba katılmalıdır, çünkü ışık fibere sadece belirli bir Θ emme açısı (acceptance angle) ile girebilir. Bu durumda açı şöyledir:

$$\sin \Theta = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \sqrt{1.48^2 - 1.46^2} \approx 0.242; \quad \Theta \approx 14.0^\circ.$$

Emme açısının sinüsü nümerik açıklık olarak tanımlandığı için NA aşağıdaki gibidir

$$NA = \sin \Theta = 0.242.$$

Basamak katsayısı profili olan bu fiber için normalize edilmiş kırılma katsayısı farkı Δ

$$\Delta = \frac{NA^2}{2 \cdot n_1^2} \approx \frac{0.242^2}{2 \times 1.48^2} \approx 0.0134 = \%1.34$$

$\lambda = 850$ nm dalga boyunda çekirdek çapı $2a = 100 \mu\text{m}$ olan bir basamak katsayısı fiberi için hesaplanan V parametresi şöyledir:

$$V = \pi \frac{2a}{\lambda} NA = \pi \frac{100 \mu\text{m}}{0.85 \mu\text{m}} \times 0.242 \approx 89.4.$$

Böyle bir optik fiber için N mod sayısı yaklaşık olarak

$$N \approx \frac{V^2}{2} = \frac{89.4^2}{2} \approx 4000.$$

Böyle bir optik fiber çok modlu fiberdir. Bunun içinde yayılan bir ışık darbesi, fiberin tek modlarında yönlendirilen birçok kısmi darbeden ibarettir. Bu modların her biri, farklı bir besleme açısıyla fiberin başlangıcında uyarılmaktadır ve fiberin çekirdeği içinde farklı bir ışın yolunda yönlendirilmektedir. Bu işlemde her mod farklı bir mesafe kat eder ve bu yüzden fiberin sonuna farklı zamanlarda varmaktadır. En uzun geçiş zamanı, çekirdek ve ince kaplamalı camların kırılma katsayısı oranlarına göre en kısa karşılaştırılmasına bağlıdır ve bu yüzden Δ kırılma katsayısı farkının miktarı yaklaşık olarak %1'den daha büyüktür.

Örnek

Işık, 1 km uzunluğundaki basamak katsayısı profili olan bir fiberden yaklaşık olarak

5 μs 'de geçer. Geciktirme zamanı (geçiş zaman farkı) Δt yaklaşık olarak

$$\Delta t \approx 5 \mu\text{s} \times \%1 = 50 \text{ ns' dir.}$$

Tek modların geciktirme zamanı distorsiyonuna *mod dağılması* (modal dispersion) denilmektedir. Bir basamak katsayısı fiberinden geçerken bir kısa ışık darbesinin zamanla genişlemesine sebep olur. Bu, optik iletim için bir dezavantajdır, çünkü iletim hızını (bit oranı) ve iletim band genişliğini azaltır. Tek modların birbirlerini etkilemeleri ve yol boyunca enerji değiş tokuşu yapmaları sebebiyle bu etki yavaşlatılmıştır. Bu *mod karıştırması* (mode mixing) veya *mod kuplajı* (mode coupling), çekirdek camdaki parazitli noktalarda, örneğin ek ve bükülme yerlerinde, özel şiddetle oluşmaktadır.

Fiber eksenindeki modların yolu boyunca, fiber eksenine küçük açı yapan düşük dereceli modlar, enerji değiş tokuşu ile fiber eksenine daha dik bir açısı olan daha yüksek dereceli modlara dönüştürülür, ve bunun tersi de geçerlidir. Böylece, modların hızları arasındaki fark düzeltilmiş olur, ve bunun sonucu olarak besleme ışık darbesindeki Δt zaman genişlemesi fiber uzunluğu ile lineer olarak artmaz, yani $\Delta t \sim L$, fakat daha çok ideal olarak sadece uzunluğunun karekökü ile, yani $\Delta t \sim \sqrt{L}$, artmaktadır.

Bu mod dağılması, basamak katsayısı fiberi sadece bir modun, yani temel mod LP_{01} , yönlendirilmesi şeklinde boyutlandırıldığı zaman, tamamen elenebilir.

Bununla beraber, temel mod böyle bir fiberden geçtiğinde zamanla genişler. Bu etkiye *kromatik dağılma* (chromatic dispersion) denilmektedir (Bölüm 5.4). maddenin bir özelliği olduğundan genellikle her optik fiberde oluşmaktadır. Mod dağılmasıyla karşılaştırıldığında kromatik dağılma 1200 – 1600 nm dalga boyu aralığında nispeten daha az veya sıfırdır.

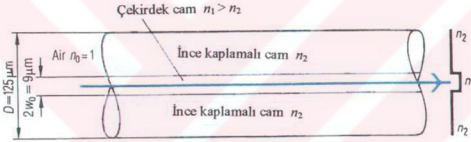
Mod alan çapı $2w_0$ terimi, temel modun boyutunu (radyal alan genişliği) ölçmek için çıkarılmıştır (Bölüm 5.6). sadece 1200 nm üzerindeki dalga boyu aralığındaki temel modu yönlendiren düşük zayıflatma basamak katsayısı fiberini üretmek için, mod alan çapı $2w_0$

9 μm civarına düşürülmelidir. Böyle bir basamak katsayısı fiberine, *tek mod fiberi* veya *mono mod fiberi* denilmektedir.

Tek Modlu Fiberler için Tipik Boyutlar

Mod alan çapı	$2w_0$	9 μm
İnce kaplamanın çapı	D	125 μm
Çekirdek kırılma katsayısı	n_1	1.46
Kırılma katsayısı farkı	Δ	0.003 = %0.3

Şekil 4.4, tek modlu fiberin kırılma katsayısı profilini ve ışığın izlediği yolu göstermektedir.



Şekil 4.4 Tek-modlu fiber

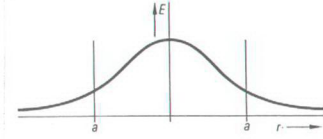
Tipik bir tek-modlu fiberin NA nümerik açıklığı şöyledir:

$$NA = n_1 \sqrt{2\Delta} \approx 1.46 \times \sqrt{2 \times 0.003} \approx 0.113$$

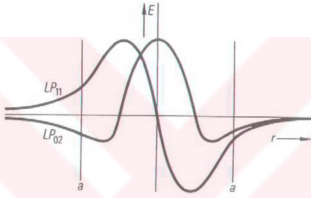
Buradan Θ emme açısı:

$$\sin \Theta = NA \approx 0.113; \quad \Theta \approx 6.5^\circ.$$

Burada, sadece çekirdek çapının değil, fakat ayrıca nümerik açıklığın ve bu yüzden emme açısının da, çok modlu basamak katsayısı fiberine kıyasla çok daha küçük olduğuna dikkat edilmelidir, bu da tek-modlu fiberin ışık beslemesini nispeten daha çok zorlaştırır.



Şekil 4.5 LP_{01} temel modunun radyal alan dağılımı



Şekil 4.6 LP_1 ve LP_2 modlarının radyal alan dağılımı

Fiberde yönlendirilen temel modun üzerinde bulunan ve V değeri $V_c = 2.405$ olan kesme dalga boyu λ_c , tipik tek-modlu fiber için aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır

$$\lambda_c = \pi \frac{2a}{V_c} NA = \pi \frac{8.5 \mu\text{m}}{2.405} \times 0.113 \approx 1.255 \mu\text{m} = 1255 \text{ nm}.$$

Bu λ_c dalga boyunda, sonraki daha yüksek mod LP_{11} (Şekil 2.9 ve 4.6) fiber içinde daha fazla yayılamaz. Daha yüksek dalga boylarında sadece temel mod LP_{01} hala vardır. Buna rağmen, bunun mod alanı ince kaplamalı camın içinde genişler (Şekil 4.5).

Örnek

Basamak katsayısı profili, çekirdek çapı $2a = 8.5 \mu\text{m}$ ve kesme dalga boyu $\lambda_c = 1255 \text{ nm}$ ($V_c = 2.405$) olan bir tek-modlu fiberin, $\lambda = 1300 \text{ nm}$ ve 1550 nm dalga boylarında bir mod alan çapı $2w_0$ 'ı vardır:

$$2 \times w_0 \approx \frac{2.6 \times \lambda}{V_c \times \lambda_c} \times 2a \quad (\text{Bölüm 5.6});$$

$$\lambda = 1300 \text{ nm} : \quad 2 \times w_0 \approx \frac{2.6 \times 1300 \text{ nm}}{2.405 \times 1255 \text{ nm}} \times 8.5 \mu\text{m} \approx 9.5 \mu\text{m};$$

$$\lambda = 1550 \text{ nm} : \quad 2 \times w_0 \approx \frac{2.6 \times 1550 \text{ nm}}{2.405 \times 1255 \text{ nm}} \times 8.5 \mu\text{m} \approx 11.3 \mu\text{m};$$

Tek-modlu fiberler büküldüğünde veya ek yapıldığında, mod alan çapının boyutu, zayıflama karakteristikleri için önemli bir faktördür. Daha büyük bir mod alan çapı, bükülme noktalarında daha kötü ışık yönlendirmesine, fakat ek ve bağlantı yerlerinde daha düşük kayıplara neden olur.

4.2 Dereceli Katsayı Profili

Pek çok modlu olan bir basamak katsayısı fiberinde, bu modlar değişik uzunluklardaki yollar boyunca yayılırlar ve bu yüzden fiberin sonuna değişik zamanlarda ulaşırlar. Çekirdek camın kırılma katsayısı parabolik olarak fiber eksenindeki maksimum n_1 değerinden, ince kaplamalı ara yüzeyindeki n_2 kırılma katsayısına azaldığında, bu istenmeyen mod dağılımı büyük oranda azaltılabilir. Profil üssü $g = 2$ olan böyle bir dereceli katsayı profili (graded index profile) ya da güç kanunu profili (power law profile) şu şekilde tanımlanır:

$$n^2(r) = n_1^2 - NA^2 (r/a)^2$$

çekirdekte $r < a$ için

ve

$$n^2(r) = n_2^2$$

ince kaplamada $r \geq a$ için

Böyle bir dereceli katsayı profili olan bir optik dalga kılavuzuna ayrıca *dereceli katsayı fiberi* (graded index fiber) de denir.

Dereceli Katsayı Profili olan bir Fiberin Tipik Boyutları

Çekirdek çapı	$2a$	50 μm
İnce kaplamalı çap	D	125 μm
Maksimum çekirdek kırılma katsayısı	n_1	1.46
Kırılma katsayısı farkı	Δ	0.010

Şekil 4.7 dereceli katsayı profili olan bir fiberin kırılma katsayısı profilini ve değişik dereceli ışık dalgalarının yollarını göstermektedir.

Işık ışınları, dalga veya vida gibi spiral şeklindeki yollarda optik fiberin içinden geçerler. Basamak katsayısı profilinin tersine, artık zik zak şeklinde yayılmazlar. Çekirdek camdaki kırılma katsayısı $n(r)$ 'nin sürekli değişimine bağlı olarak, ışınlar sürekli kırılırlar ve böylece dağılma yönleri değişir, bu şekilde dalga yollarında yayılırlar. Fiber eksenî etrafında salınan ışınlar hala fiber eksenî boyunca ışık ışınından daha uzun bir yol kat ederler; bununla beraber, fiber ekseninin dışındaki daha düşük kırılma katsayısına bağlı olarak bu ışınlar buna uygun olarak daha hızlı yol alırlar, böylece daha uzun yoldan dolayı olan gecikme telafi edilmiş olur. Sonuç, değişik ışınların gecikme farkının hemen hemen yok olmasıdır. Kırılma katsayısı profilinin parabolik şekli, bir dereceli katsayı fiberinde detaylı olarak üretildiğinde, gecikme farkları 1 km'nin üzerinde 5 μs 'lık ışığın geçiş zamanı için 0.1 ns'den biraz daha büyük olacaktır

Madde dağılımına ek olarak, dereceli katsayı fiberlerindeki bu minimum gecikme zamanı farkına “profil dağılımı” sebep olmaktadır. Bu, λ dalga boyu değiştiği sırada, çekirdek ve ince kaplamalı camın kırılma katsayılarındaki değişik varyasyonlara bağlıdır, ve bu yüzden Δ kırılma katsayısı farkı ve profil üssü g dalga boyuna bağlıdır. Bir parabolik dereceli katsayı profilinin optimal profil üssü teorik bir temele dayandırılarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$g = 2 - 2P - \Delta(2 - P),$$

burada $P \ll 1$ ve Δ kırılma katsayısı farkı parametreleri λ dalga boyuna ve böylece profil üssü g 'ye bağlıdır.



Şekil 4.7 Dereceli katsayı profili olan fiber

$g \approx 2$ iken bir dereceli katsayı profili olan bir optik fiberin kırılma katsayısı profili, sadece sınırlı bir dalga boyu aralığında, bütün yönlendirilmiş modlarda aynı gecikme zamanına sahip olmasını mümkün kılmaktadır.

Dereceli katsayı profili olan bir optik fiberin $n(r)$ kırılma katsayısı fiber ekseninden olan r uzaklığına bağlı olduğu için, çekirdeğin içine doğru ışığı beslemek için önemli olan Θ emme açısı (acceptance angle), r 'nin bir fonksiyonudur:

$$\sin \Theta(r) = \sqrt{n_1^2(r) - n_2^2} = NA \sqrt{1 - \left(\frac{r}{a}\right)^2} \leq NA.$$

Emme açısı fiber ekseninde ($r = 0$) en yüksek değerindedir; ve nümerik açıklık NA 'ya kesin olarak eşittir. İnce kaplama ile olan ara yüzeyde ($r = a$) açı sıfıra eşittir.

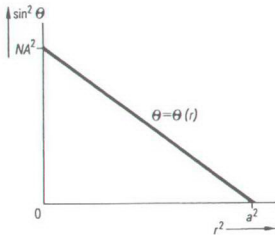
Dereceli katsayı profili olan tipik bir optik fiber için nümerik açıklık

$$NA = n_1 \sqrt{2\Delta} \approx 1.46 \sqrt{2 \times 0.01} \approx 0.206$$

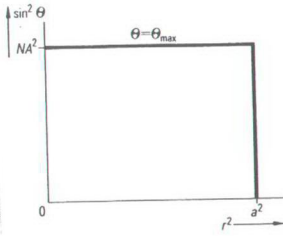
ve fiberlerin eksenindeki $\Theta_{\max}$ maksimum emme açısı

$$\sin \Theta_{\max} = NA \approx 0.206; \quad \Theta_{\max} \approx 11.9^\circ.$$

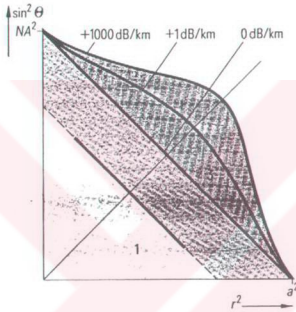
Optik fiber ekseninden r uzunluğunun bir fonksiyonu olarak Θ emme açısını grafiksel olarak göstermek için, $\sin^2 \Theta$ ve r^2 koordinatlarının en uygun oldukları ispatlanmıştır. Bu koordinatlarla oluşturulan bu sistem faz aralığı diyagramı (phase space diagram) olarak adlandırılır. Şekil 4.8 ve 4.9, dereceli katsayı profili olan bir optik fiber için diyagramları göstermektedir ve amacı basamak katsayısı profili olan bir optik fiber için karşılaştırma yapmaktır.



Şekil 4.8 Bir dereceli katsayı profili olan bir optik fiberin faz aralığı diyagramı



Şekil 4.9 Bir basamak katsayısı profili olan bir optik fiberin faz aralığı diyagramı



Şekil 4.10 Faz aralığı diyagramındaki modlar

- 1 Daha düşük dereceli modlar
- 2 Daha yüksek dereceli modlar
- 3 Kaçak modlar (leaky modes) bölgesi

$\theta_{\max}$ maksimum emme açısının eğrisi tarafından sınırlandırılmış olan alan, çekirdeğin içini besleyebilecek ışık gücü ile orantılıdır. Görülebildiği gibi, aynı NA nümerik açıklığı ve aynı a çekirdek yarıçapı olan bu güç, basamak katsayısı profili olan bir optik fiberdekinin iki katı kadar fazladır (Dereceli katsayı profili olan optik fiberde olduğu gibi). Çekirdekte yönlendirilen modların sayısı N de bu bölge ile orantılıdır. Tek modlar bu bölgede yerleştirilebilirler. Örneğin, mod sayısı yaklaşık olarak $\nu = 0, 1, 2$ ve $\mu = 1, 2$ olan ve optik fiber eksenine neredeyse paralel olarak yayılan daha düşük dereceli modlar $LP_{\nu\mu}$, orijine yakındırlar. Daha yüksek dereceli modlar $LP_{\nu\mu}$ ($\nu, \mu \gg 1$ olan) orijinden uzaktırlar (Bölüm 2.7). bu alanın dışında bulunan modlar yönlendirilmezler, yani çok yüksek zayıflamaları vardır. Sınırlanmış eğrinin sadece biraz üstünde kalan modlar yayılma

kabiliyetine sahiptirler, fakat yükseltilmiş zayıflamalar gösterirler. Bu tip modlar *kaçak modlar* olarak adlandırılırlar, bunlar kısmen yönlendirilirler ve ışığı kısmen yayarlar (Şekil 4.10).

Diğer optik fiber özellikler, faz aralığı diyagramı yardımıyla açıklanabilir, besleme şartları örneğinde olduğu gibi (Bölüm 5.1); bir optik fiberin, bir ışık kaynağından beslenebildiği ışık gücünü hesaplamak için de kullanılabilir.

4.3 Çok Basamaklı Katsayı Profili

Bir tek-modlu optik fiberdeki dağılma, iki tip dağılmadan ibarettir. Bir taraftan kırılma katsayısının $n = n(\lambda)$ (Şekil 2.6) ve bu yüzden ışık hızının $c = c(\lambda)$ dalga boyu bağı sebebiyle madde dağılması vardır. Diğer taraftan, çekirdek ve ince kaplamalı camın üzerindeki temel mod LP_{01} 'in ışık dağıtımının (Şekil 4.5) ve bu yüzden kırılma katsayısı değişiminin $\Delta = \Delta(\lambda)$ dalga boyu bağından kaynaklanan dalga kılavuzu dağılması vardır. Bu iki çeşit dağılma bir arada renk dağılması olarak adlandırılır.

1300 nm'den daha yüksek dalga boyu aralığında, erimiş silika camdaki iki dağılmanın farklı iki işareti vardır. Madde dağılması, diğer cam katkı maddelerinin kullanılmasına bağlı olarak sadece biraz değişebilmektedir. Tam tersine, dalga kılavuzu dağılması, kırılma katsayısının diğer bir profil yapısının kullanımı tarafından çok fazla etkilenmektedir.

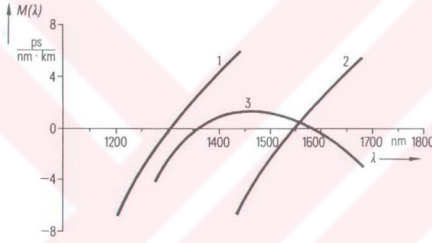
Bir tipik tek-modlu fiberin kırılma katsayısı profili, Δ kırılma katsayısı farkı olan bir kademeli katsayı profilidir. Bu basit profil yapısı için $\lambda = 1300$ nm'lik dalga boyu civarında madde ve dalga kılavuzu dağılmalarının toplamı sıfırdır.

Bu sıfır dalga boylarından değişik dalga boylarına geçilmek isteniyorsa, optik fiberin dalga kılavuzu dağılması ve onun profil yapısı değiştirilmelidir. Bu, çok kademeli veya bölünmüş katsayı profiline (multistep or segmented index profile) yol açar. Bu profilleri kullanarak, sıfır dağılım dalga boyu 1550 nm kaydırılan (genellikle kaydırılmış dağılma fiberleri olarak adlandırılan) veya 1300'den 1550 nm'ye kadar olan geri kalan bütün dalga boyu bölgesi için dağılma değerleri çok düşük olan (genellikle dağılması düzeltilmiş

(flattened) veya dengelenmiş (compensated) fiberler olarak adlandırılır) optik fiberler üretilebilmektedir.

Şekil 4.11, dağılım kayması olmayan (1), dağılım kayması olan (2) ve dağılım düzeltirmesi olan (3) bir tek-modlu fiber için λ dalga boyunun bir fonksiyonu olarak kromatik dağılımı göstermektedir.

Bu tek-modlu fiberler, değişik profil dizaynlarıyla üretilebilmektedir. Bundan sonra anlatılanlar, bu profillerden bazılarını göstermektedir.



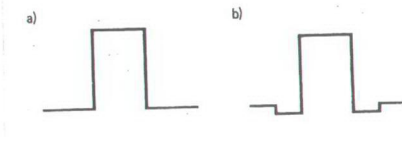
Şekil 4.11 Dalga boyunun bir fonksiyonu olarak kromatik dağılım

- 1 Dağılım kayması olmayan
- 2 Dağılım kayması olan
- 3 Dağılım düzeltirmesi olan

1. Tip Dağılım kayması olmayan

Standart basamak katsayısı profili (basit basamak katsayısı veya karşılık gelen ince kaplama) (Şekil 4.12 a)

İnce kaplamadaki düşürülmüş kırılma katsayısı olan basamak katsayısı profili (depressed cladding) (Şekil 4.12 b)



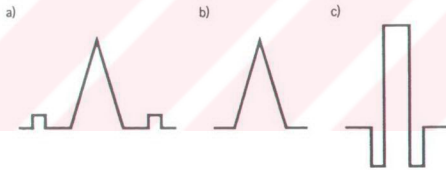
Şekil 4.12 Dağılım kayması olmayan optik fiberlerin profil dizaynı

2. Tip Dağılım kayması olan

Üçgen çekirdeği olan bölünmüş profil (bölünmüş çekirdek) (Şekil 4.13 a)

Üçgen profil (Şekil 4.13 b)

İnce kaplamadaki bir çift kademeli kırılma katsayısı olan bölünmüş profil (çift kaplamalı) (Şekil 4.13 c)

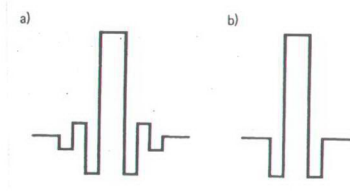


Şekil 4.13 Dağılım kayması olan optik fiberin profil dizaynı

3. Tip Dağılım düzleştirilmesi olan

İnce kaplamanın kırılma katsayısında bir dört katlı basamağı olan bölünmüş profil (dört kutuplu kaplama) (Şekil 4.14 a)

W profili (çift kaplamalı) (Şekil 4.14 b)



Şekil 4.14 Dağılım düzleştirilmesi olan optik fiberlerin profil dizaynı

5 OPTİK FİBER PARAMETRELERİ VE ÖLÇME METOTLARI

Bir fiber optik kablunun kalitesi kabul edilen ölçme metotlarıyla test edilmiştir. Standartların, optik fiber parametreleri ve bunlara uygun olan ölçme metotları için belirlenmelidir. Avrupa seviyesinde the Working Group SC 86A of the CENELEC ve the Electronic Components Committee (CECC), ulusal seviyede the Subcommittee 412.6 of the German Electrotechnical Commission (DKE, Deutsche Elektrotechnische Kommission) ve uluslararası seviyede the Technical Committee 86 of the International Electrotechnical Commission (IEC) standartlar için sorumludurlar.

5.1 Besleme Durumları

Bir optik fiberin içine ışığın beslenmesi işlemi, fiberdeki ışık gücünün daha sonraki dağıtımında çok önemlidir, çünkü çok modlu fiberlerde, beslenmiş ışık darbelerinin gücü tek modların üzerinden dağıtılmaktadır. Tek-modlu fiberler durumunda ışık, kısmen temel modun içine beslenir ve kısmen yayılır. Besleme durumlarına dayanarak, ışık te-modlu ve çok modlu fiberlerin içine beslendiğinde, bu fiberler ışık gücünü farklı yönlendireceklerdir.

5.1.1 Çok modlu fiberler

Tam yük beslemesi (full flood launch) sırasında optik fiberin geri kalan çekirdeği ışıkla aydınlatılmaktadır, ve bu daha yüksek ve daha düşük derecelerin bütün yönlendirilmiş modlarını ve ayrıca kaçak modları (Dalga kılavuzunun dışındaki enerjinin sürekli kısmi radyasyonunun sebep olduğu radyasyon dalgaları) da uyarmaktadır (Şekil 4.10). Çünkü bu modların, optik fiber boyunca zayıflamanın değişen dereceleri vardır ve ek olarak enerji transferine bağlı olarak mod karışması (mode mixing) sebebiyle, optik fiberin uzunluğuna bağlı olan ışık gücünün farklı bir dağıtımı ve modların gecikme zamanı ölçülmüş olacaktır. Bu yüzden çok modlu fiberin sonundaki şartlar, başlangıçtaki besleme şartlarına (bir tam ışığın tamamen bağımsız olması veya tam ışık beslemesi olmayan) ve yol boyunca mod karışmasına dayanmaktadır.

Çok modlu fiberler için, ışık beslemesinin belirsiz olmayan bir metodunun belirlenmesi özellikle önemlidir, ve böylece en önemli iletim parametreleri için ince ayarlı ve

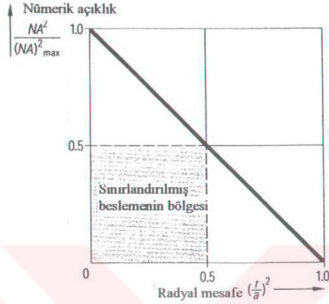
tekrarlanabilir ölçme metotları geliştirilebilmektedir. Bu nedenle bir temel terim, mod karışımı derecesine bağlı olarak çok modlu fiberde belirli bir uzunluktan sonra *kararlı hal* (*steady state*) ya da *dengeli mod dağıtımına* (*equilibrium mode distribution*) (EMD) ulaşmasıdır (Enerji dağıtımının modlar üzerinde sabit kalması hariç).

Bu yüzden, optik fiber boyunca bu kararlı haldeki iletim parametrelerini ölçmek özellikle istenilmektedir. Bu hale ulaşmak için farklı teknik metotlar vardır. Deneye tabi tutulan optik fiber içine ışığı beslemek için bir olasılık, denge mod dağıtımına önceden ulaşmış olan yeterli uzunluktaki bir *yapay fiber* (*dummy fiber*) kullanmaktır. Denge mod dağıtımının ancak çok uzun mesafelerde elde edilmesinden dolayı, bu yapay fiberlerin elverişli olmayan uzunluklarda olması gerekir. İçerisinde, istatistik olarak düzensiz mekanik bozuklukların, kuvvetli mod karıştırmasına sebep olduğu optik fiberin daha kısa bir uzunluğu kullanılarak ve böylece optik fiberin bu parçasında denge mod dağıtımını yakınlılaştırarak bu durumdan sakınılabılır. Böyle düzenlere *mod karıştırıcıları* (mode scramblers) denmektedir. Bu amaç için bu kısa uzunluktaki optik fiber pürüzlü bir yüzeyle (örneğin zımpara kağıdı veya törpü) sıkıştırılabilir veya küçük bilyalar etrafında bükülebilir. Basamak katsayısı profili olan bir optik fiber, basamak katsayısı profili olan bir optik fibere bağlı durumda bulunan (*SGS düzeni*) derceli katsayı profili olan optik fibere bağlandığında (her bölümü 1-2 m arasındaki uzunlukta), şiddetli mod kuplajı da oluşmaktadır.

Besleme sırasında daha yüksek dereceli modlar bastırılırsa bir *mod filtresi* kullanılmaktadır. Bu, örnek olarak, daha yüksek dereceli modların izolasyonunun soyulmasına sebep olan, optik fiberin çapı yaklaşık 1 cm olan bir mil etrafında sarılmasını içermektedir. Genel olarak, bir mod karıştırıcı bütün modları uyarmak için ve bir mod filtresi uyarmayı belirli modlara (özellikle daha düşük dereceli) sınırlamak için kullanılabilir.

Bu mekanik metotlara ek olarak, bir denge mod dağıtımını elde etmek için optik yardımcıları sık sık kullanılmaktadır. Sadece düşük dereceli modlar uyarılarak, kaçak modlar ve ince kaplamalı modlar ile olan problemlerden kaçınılabilir. Bu amaç için, lens ve açıklıkların uygun bir kombinasyonu çekirdek çapının %70'ini ve nümerik açıklığın %70'ini dolduran

bir giriş ışık ışını oluşturmak için kullanılabilir. Bu besleme, bir faz aralığı diyagramında grafik dökümantasyonuna çok uygun gelmektedir. Örnek olarak, Şelil 5.1’de böyle bir kısıtlanmış veya sınırlanmış faz aralığı (limited phase space) (LPS) beslemesi sırasında modların uyarıldığı bölge, bir dereceli katsayı fiberi için çizilmiştir.



Şekil 5.1 Bir dereceli katsayı fiberinin içine doğru kırılmış beslemenin faz aralığı diyagramı

r Radyal mesafe

a Fiberin çekirdek yarıçapı

Bir beslemenin bir denge mod dağılımını oluşturduğuna veya bu duruma gelip gelmediğine karar vermek için, belirli konfigürasyonun yakın ve uzak alan dağılımı ölçülmelidir. Tecrübelerimiz, “çan şeklindeki radyal yakın alan ışık dağılımının” (bell-shaped radial near field light distribution) (Bölüm 5.7) 2 m’den sonra yaklaşık 26 μm ’lik bir tam yarım genişliği olduğunda ve yine çan şeklinde olan uzak alan ışık dağılımı, açının bir fonksiyonu olarak 0.11’lik nümerik açıklığa karşılık gelen yarım genişliklere ulaştığında, dereceli katsayı profili olan ve 50 μm ’lik bir çekirdek çapı olan bir optik fiber durumunda, denge mod dağılımının yaklaştırıldığını göstermektedir.

5.1.2 Tek-modlu fiberler

Bir tek-modlu fibere tam yük beslenmesi sırasında ince kaplamalı modlar üretilmiştir, ve buna rağmen ince kaplamanınkinden daha büyük kırılma katsayısı olan bir coating

(kaplama) kullanıldığında izolasyonları birkaç santimetre sıyrılmıştır. Bu kaplama, mod izolasyonunu soyma görevini görür.

5.2 Zayıflatma

Bir optik fiber içindeki ışık yayılması zayıflatılmıştır, yani enerji kaybı olmuştur. Bu kayıp minimumda tutulmalıdır, böylece büyük mesafeler tekrarlayıcılar (repeater) araya girmeden köprülenebilir. Bir optik fiberin zayıflatılması optik haberleşme kablo tesisinin boyutlandırılmasında önemli bir parametredir. Buna, genellikle fiziksel işlemler, emme (absorption) ve dağılma (scattering) sebep olmaktadır (Bölüm 3.1.1).

Işık kayıplarının büyüklüğü, beslenmiş ışığın dalga boyuna dayanmaktadır. Bundan dolayı, genellikle bir optik fiberin zayıflamasının spektral olarak ölçülmesi faydalı olmaktadır, yani dalga boyunun bir fonksiyonu olarak, optik haberleşme için uygun olan düşük zayıflamalı dalga boyu aralıklarını bulamak için.

Emme işleminin sadece emme bandları denilen (örneğin 1390 nm'deki OH emmesi) belirli dalga boylarında meydana gelmesine rağmen, bütün dalga boylarında dağılmaya bağlı olan ışık kaybı oluşur. Optik fiberdeki dağılma, ışığın dalga boyundan çoğunlukla daha küçük boyutu olan yoğunluk değişimlerinin (homojen olmayan) sonucu olmasından dolayı, *Rayleigh dağılma kanunu* bu işlemi tanımlamak için kullanılabilir. Bu, λ dalga boyu arttıkça, α dağılma kaybının λ 'nın dördüncü gücü ile birlikte azaldığını belirtmektedir (Şekil 5.2).

Optik haberleşme için önemli olan dağılma kayıplarını karşılaştırarak (örneğin 850, 1300 ve 1550 nm'lik dalga boylarında), dağılma kaybının 1300 nm'de değerinin sadece %18'ini, 850 nm ve 1550 nm'de değerinin sadece %9'una ulaştığı görülebilmektedir. Optik kabloların bu dalga boylarında işletilmesi bu yüzden avantajlıdır.

Kararlı haldeki ışık yayılması düşünüldüğü zaman, yönlendirilmiş ışık gücü P 'nin, optik fiberin uzunluğu L ile üstel olarak azaldığı görülebilmektedir:

$$P(L) = P(0) \times 10^{-\alpha L/10}$$

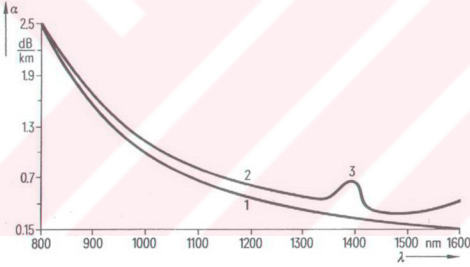
$P(0)$, başlangıçta optik fiberi besleyen ışık gücüdür. $P(L)$, L uzunluğundan sonra kalan ışık gücüdür ve α per unit uzunluğu zayıflamasına ölçü olan zayıflama katsayısıdır. Uzunluğu L olan ve zayıflama katsayısı α olan bir optik fiberin zayıflaması aşağıdaki gibidir:

$$\alpha L = 10 \times \log \frac{P(0)}{P(L)},$$

burada

α dB/km olarak zayıflama katsayısı

L km olarak fiberin uzunluğu



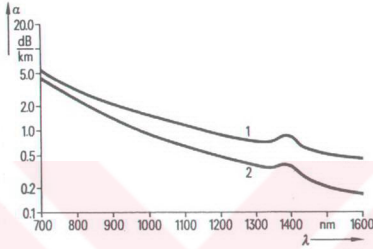
Şekil 5.2 Rayleigh zayıflama eğrisi

- 1 Rayleigh dağılımı
- 2 Tipik optik fiber zayıflaması
- 3 OH emmesi

Örnek

10 dB'lik bir zayıflama, L (km olarak) uzunluğundan sonra bir optik fiberdeki $P(L)$ ışık gücünün, fiberin başlangıcındaki $P(0)$ ışık gücünün sadece %10'u olması anlamına gelmektedir; 3 dB'de hala %50'dir ve 1 dB'de yaklaşık %80'dir.

Modern tek-modlu fiberlerin 1550 nm'lik dalga boyunda kilometre başına 0.2 dB'lil bir zayıflamaları vardır, yani bir kilometrede optik gücün sadece %4.5'i kaybolmaktadır. Tipik tek-modlu ve çok modlu fiberin zayıflama katsayısının spektral eğrisi Şekil 5.3'te gösterilmektedir.



Şekil 5.3 Tek-modlu ve çok modlu fiberin zayıflama katsayısının spektral eğrisi

- 1 Çok modlu fiber
- 2 Tek modlu fiber

Bir optik fiberin zayıflama katsayısını kararlaştırmak için ışık gücü fiberin iki noktasında ölçülmelidir. Bu yüzden fiberde kararlı hal sağlanmalıdır; yani ışık, ölçme noktalarının arasında, tek-modlu fiberde ince kaplamalı ışık kalmayacak şekilde ve çok modlu fiberde denge mod dağılımı durumu elde edilecek şekilde dikkatli olarak beslenmelidir. Bu yüzden, sınırlı faz aralığı beslemesi (%70), genellikle zayıflama katsayısının ölçülmesi için kullanılmaktadır.

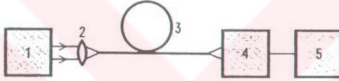
5.2.1 Ölçme metotları

Direkt Güç Tekniği

Direkt güç tekniğini uygularken iki metot vardır (Şekil 5.4), kesme metodu (cut-back method) ve araya sokma kayıp tekniği (insertion loss technique).

Kesme metodu, optik fiberin L_1 ve L_2 noktalarındaki optik gücün ölçülmesini gerektirmektedir. Genellikle, L_2 fiberin sonundadır ve L_1 başlangıca çok yakındır. Ölçme işleminde, ışık gücü P ilk olarak sonda L_2 'de (km olarak) ve bir kere daha L_1 'de (km olarak) ölçülmektedir; bu, ışık kaynağı (verici) ve fiberin arasındaki besleme şartlarını değiştirmeden fiberi L_1 noktasına kadar kesmeyi içermektedir. Fiberin zayıflama katsayısı α (dB/km olarak) aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$\alpha = \frac{10}{L_2 - L_1} \log \frac{P(L_1)}{P(L_2)}.$$



Şekil 5.4 Direkt güç tekniği

- 1 Işık kaynağı
- 2 Optik
- 3 Optik fiber
- 4 Detektör
- 5 Değerlendirme

Bu metot problemsiz değildir, çünkü optik fiberin kısa bir uzunluğunun kesilmesini gerektirmektedir; bu da bağlantılı optik kablolar için pratik değildir. *Araya sokma kayıp tekniği* bu durumda elverişlidir. Bu teknik, test altındaki fiberin en ucundaki ışık gücünün ölçülmesini ve sonra optik fiberin küçük bir parçasının ucundaki ışık gücüyle kıyaslanmasını gerektirmektedir. Fiberin bu parçası referans olarak kullanılmaktadır ve yapı ve özellik olarak test altındaki fibere benzemelidir. Test yapıldığı sırada, referans uzunluğu için besleme şartlarının, ölçülecek olan uzunluklardaki şartlara mümkün olduğu kadar benzemesine dikkat edilmesi önemlidir. Bu sınırlamalara bağlı olarak, araya sokma kayıp tekniğinin doğruluğu ve yeniden üretilebilirliği kesme metodundakinden daha az geçerlidir.

Direkt güç tekniği ile (Şekil 5.4), ışık bir optik fiberin başlangıcına (vericide) beslenmektedir ve alıcı ucunda ölçülmek üzere fiberden doğrudan doğruya geçer.

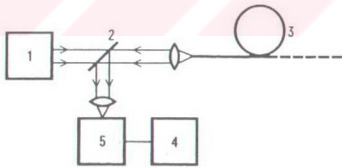
Fiber uzunluğun bütünü üzerinde tam bir ölçme olduğundan ve optik fiber boyunca bölgesel zayıflama değişimleri hakkında ayrıntı vermediğinden dolayı bu dezavantaj olabilir. ayrıca optik fiberin iki ucu da erişilebilir olmalıdır.

Bükülmeli Bağlantı Tekniği

Bükülmeli bağlantı tekniği (Bending coupler technique), zayıflamayı ölçmek için başka bir metottur. Fiberin içine ve fiberden dışarı doğru ışığın iletilmesi için optik fiberin sadece birkaç santimetresine ihtiyaç vardır, ve bu optik fiberin uçlarına erişilmesi gerektiği anlamına gelir. Böylece bu teknik muflar (kaynak bağlantı), kuplörler ve optik ayırıcılar veya dalga boyu çoklayıcılarından dolayı oluşan kayıpların çabuk ve basit ölçülmesini sağlamaktadır.

Geri Saçılım Tekniği

Geri saçılım tekniğinde (Backscattering technique) ışık fiberin bir ucunda hem beslenir, hem alınır (Şekil 5.5). ayrıca, optik fiberin uzunluğu boyunca zayıflamanın ayrıntılarını elde etmemizi sağlar.



Şekil 5.5 Geri saçılım tekniği

- 1 Işık kaynağı
- 2 Işın bölücü
- 3 Optik fiber
- 4 Değerlendirme
- 5 Deteksiyon

Rayleigh saçılımı, bu teknik için temeli teşkil eder. Işık gücünün daha büyük bir kısmı ileri doğru yayılırken, aynı zamanda küçük bir yüzdesi vericiye doğru geriye yansır. Bu

yansıyan güç, fiberde geriye doğru yayıldıkça zayıflamaktadır. Geriye kalan güç bir ışın bölücü (beam splitter) (örneğin, kısmen saydam ayna) ile toplanmış ve ölçülmüştür. Bu geri saçılmış ışık gücünden (Şekil 5.6) ve optik fiberdeki geçiş zamanından bir eğri elde edilmesi mümkündür; ve bu eğriden fiberin bütün uzunluğu üzerindeki zayıflama katsayısı çıkarılabilir. Geri saçılmış sinyalin zamana göre hareketi osiloskoptan kolaylıkla izlenebilmektedir.

Zayıflama katsayısı ve geri saçılım faktörü fiber uzunluğu boyunca sabit kalırsa, eğri optik fiberin başında üstel olarak düşer. Fiberin başında ve sonunda kırılma katsayısındaki büyük değişmeden dolayı, ışık gücünün nispeten büyük bir kısmı orada geri saçılır, ve bu da eğrinin başında ve sonunda bir tepe noktası oluşmasına sebep olur. İki tepe noktası arasındaki Δt zaman farkından, ışığın vakum içindeki c_0 hızından ve çekirdek camdaki grup kırılma katsayısı $n_g \approx 1.5$ 'tan, fiberin uzunluğu L hesaplanabilir:

$$L = \frac{\Delta t \cdot c_0}{2 \cdot n_g},$$

L km olarak fiberin uzunluğu

Δt s olarak ilk ve son darbelerin tepe noktaları arasındaki zaman farkı

c_0 vakumdaki ışık hızı 300000 km/s

n_g çekirdek camdaki etkin grup kırılma katsayısı

L_1 ve L_2 arasında optik fiberin herhangi bir kısmı için zayıflama katsayısı α aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$\alpha = \frac{5}{L_2 - L_1} \log \frac{P(L_1)}{P(L_2)}$$

Işığın ileri ve geri hareket etmesi gerçeğine dayanarak, 5 faktörü, burada direkt güç tekniği için kullanılan denkleme karşılık olarak kullanılmaktadır. Bu denklem, geri saçılım faktörünün, nümerik açıklığın ve çekirdek çapının optik fiberin uzunluğu boyunca değişmediği farz edilerek geçerlidir. Eğer bu sağlanamazsa, her iki uçtan birer ölçüm

yapılmalı ve sonuçların ortalması alınmalıdır. Geri saçılmış gücün nispeten düşük olması sebebiyle, alıcının duyarlılığı üzerine daha büyük talepler vardır.

Alınan sinyalin geliştirilmesi için, tek tek ölçülen değerler birçok kere ortalanmıştır. Geri saçılım prensibine göre işletilen test ünitelerine optik zaman domeni reflektometresi (optical time domain reflectometer) (OTDR) denilmektedir. Zayıflama katsayısının ölçümüne ek olarak, ayrıca fiberdeki arızaları (kırıkları) tespit etmek ve bağlantılı fiberlerde ışık kayıplarını kontrol etmek için (konnektöre veya muf bağlantılarına dayanan zayıflamalardaki değişimler) kullanılabilir.



Şekil 5.6 Geri saçılım ölçme eğrisi

- 1 Fiberin başında geri saçılım
- 2 Bağlantı mufunda geri saçılım
- 3 Fiberin sonunda geri saçılım

Direkt güç ölçme tekniği, Avrupa standardı EN 188000'de (Ulusal Alman standardı VDE 0888 Kısım 101) metotlar 310/302 ve uluslararası olarak IEC 793-1-C1A ve -C1B'de belirtilmiştir.

Geri saçılım ölçme tekniği, Avrupa standardı EN 188000'de (Ulusal Alman standardı VDE 0888 Kısım 101) metot 303 ve uluslararası IEC 793-1-C1C'de belirtilmiştir.

5.3 Band genişliği

Bir optik kablunun iletim karakteristiklerinin tanımlanması için, zayıflatma α 'ya ek olarak kullanılan ikinci önemli parametre B band genişliği veya b_1 band genişliği uzunluğudur (Bölüm 10.1.2). Bir yandan zayıflatma, optik fiber boyunca ışık gücü kaybını vermektedir; diğer yandan band genişliği bir optik fiberin dağılım özellikleri için bir ölçü olarak kullanılmaktadır.

Dağılıma bağlı olarak (Bölüm 5.4), ışık darbeleri optik fiber boyunca yayıldığı sırada zamanda genişler. Frekans açısından, bu bir optik fiberin alçak frekans filtresi (low-pass filter) görevi gördüğü anlamına gelmektedir. Diğer bir anlamda, bir fiberde f_m modülasyonunun frekansı arttıkça, ışık dalgasının genliği yok olana kadar azalmaktadır. Böylece optik fiber, düşük frekans sinyallerinin geçmesini sağlar ve frekans arttıkça onları zayıflatır. Modülasyonun her frekansı için fiberin başında $P_1(f_m)$ ve sonunda $P_2(f_m)$ ışık gücünün genliklerini ölçerek ve bu genliklerin oranlarını hesaplayarak, geçiş fonksiyonu $H(f_m)$ 'in değeri çıkarılabilir:

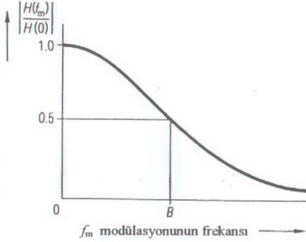
$$H(f_m) = \frac{P_2(f_m)}{P_1(f_m)}$$

$H(f_m)$, f_m modülasyonunun frekansının bir fonksiyonudur. Genellikle geçiş fonksiyonunun büyüklüğü, $H(0)$ 'a bölünerek normalize edilir. $H(0)$, $f_m = 0$ Hz frekansında geçiş fonksiyonunun büyüklüğüdür, yani modülasyonsuz olarak Şekil 5.7, geçiş fonksiyonunun tipik bir eğrisini göstermektedir.

Bu çan şekilli eğrinin şekli, bir Gauss düşük frekans filtresini aşağı yukarı yakınlştırır. Geçiş fonksiyonunun normalize edilmiş büyüklüğü 0.5'e eşit olduğunda modülasyonun frekansına, optik fiberin band genişliği B denmektedir:

$$\frac{H(f_m = B)}{H(0)} = 0.5,$$

Böylece band genişliği, genliğin (ışık gücü) frekans sıfırındaki değere nispeten %50 veya optik olarak 3 dB düşüşü modülasyonun frekansıdır.



Şekil 5.7 Bir optik fiberin geçiş fonksiyonu

5.3.1 Ölçme metotları

Çok modlu fiberler için band genişliğinin ölçülmesi, modların besleme şartlarına bağlıdır, yani ışığın optik fibere beslendiği şartlarda. Eğer, örneğin oldukça küçük bir açıklığı olan ışık, çekirdeğin küçük bir alanına odaklanırsa, sadece oradaki modlar uyarılır ve onların tek tek belirli gecikme zamanları incelenebilir. Bu tekniğe *diferansiyel mod gecikme ölçmesi* (differential mode delay measurement) (DMD) denmektedir. Bu, kırılma katsayısı profilinin araştırılmasını ve mod dağılmasına izin vermeden ideal şekle yaklaşıp yaklaşmadığının araştırılmasını sağlar. Profildeki arızalar, bunlara karşılık gelen modlarda zaman gecikmeleri tarafından gösterilmiştir, ve bu zamanda sırayla önceki veya sonraki darbelerle sonuçlanır.

Mod karıştırılmasına dayanarak (Bölüm 5.1) bütün yayılan modlar, bir optik fiberin özelliklerine ve dış şartlara bağlı olarak bir denge mod dağılımını elde etmektedirler. Zayıflatma ölçmelerinin, optik fiberin uzunluğu ile orantılı değerlerle sonuçlanmasına rağmen, bu sadece band genişliği ölçmesinin bazı şartları için doğrudur. Fiberin band genişliği B 'nin uzunluğu L 'ye bağlı olması, γ faktörü tarafından yakınlştırılabilmektedir (uzunluk üssü de denilir), buna rağmen bu faktör de uzunluğa bağlıdır. Aşağıdakiler bunu göstermektedir.

$$\frac{B}{B_1} = \left(\frac{L}{L_1} \right)^{-\gamma},$$

burada

B MHz olarak sistem band genişliği

B_1 L_1 noktasındaki MHz olarak fiberin band genişliği

L km olarak fiberin uzunluğu

L_1 B_1 band genişliğinde fiberin uzunluğu, genellikle 1 km'dir

γ γ faktörü

γ faktörü optik fiberin başında 1'e eşittir ve uzun mesafelerde 0.5'e ulaşır. Ortadaki uzunluklarda 0.5'den 1'e kadar değişir. γ faktörünü deneysel olarak kararlaştırmak, ancak fiberin band genişliğini L uzunluğunun bir fonksiyonu olarak ölçmekle mümkündür. Bu amaçla optik fiber parça parça kesilmelidir ve bu genellikle gerçek kullanımda pratik değildir. Bu yüzden bir optik fiberin ölçülen bir band genişliğini başka bir uzunluğa dönüştürmek problemler yaratabilir ve günümüzde ne deneysel ne de teorik olarak yeterince açıklanmamıştır. Bununla beraber, bu gerçek uygun olarak tasarlanmış bir optik kablo tesisinin fonksiyonunu etkilemez.

Bu yüzden aşağıda, sadece optik fiberin B band genişliğinin kararlaştırılması ve $H(f_m)$ geçiş fonksiyonunun büyüklüğü ele alınacaktır. Bu amaçla iki metot bulunmaktadır:

frekans bölgesinde ölçme ve

zaman bölgesinde ölçme

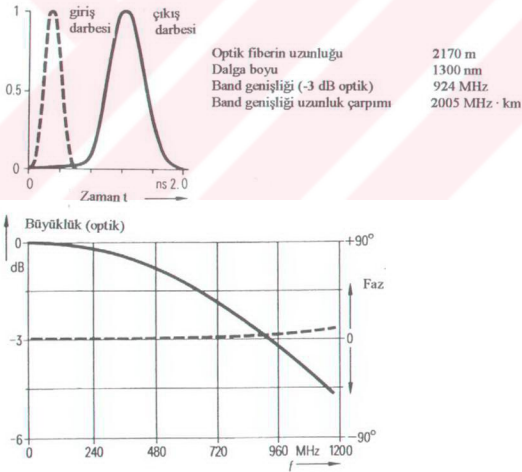
Frekans bölgesinde ölçme

Geçiş fonksiyonunun tanımına göre bir vericinin ışık gücünün genliği, sürekli artan frekans f_m ile ayarlanır, ve optik fiberin alıcı ucunda güç, frekans aralığında veya frekans bölgesinde bu ölçüm için kararlaştırılır. Yukarıda bahsedilen denklemlerle birlikte geçiş fonksiyonunun büyüklüğü ve böylece band genişliği elde edilebilir. Işık gücü $P_1(f_m)$ 'in

genliğinin, modülasyon f_m 'in frekansına bağlı olmadığı bir verici mevcut ise B band genişliğine, ışık gücü $P_2(f_m)$ 'in genliği alıcıda sıfır frekansında kendi değerinin yarısına kadar azaldığında direkt olarak vericinin frekansı olarak okunabilir. Böylece, az sayıda teknik cihaza ihtiyaç olmasından dolayı, bu ölçme metodu az zaman gerektirmektedir ve tesis edilmiş optik kablolardaki fiberlerin band genişliğini ölçmek için kullanışlıdır.

Zaman bölgesinde ölçme

Bu ölçme, optik fiberdeki dağılım etkilerinin sebep olduğu zamanda darbe genişlemesini incelemek için kullanılmaktadır. Böylece kısa bir ışık darbesi (tipik olarak 100 ps süreli), test altındaki fibere beslenir. Mod ve madde dağılmasına bağlı olarak, giriş darbesi optik fiberde yayıldıkça genişler. Oluşan çıkış darbesi alıcısındaki bir fotodiyoda girer; orada yükseltilir ve örnek osiloskobun girişine iletilir. Bu ölçme, giriş darbesini kararlaştırmak için, az parazitli olan kısa bir optik fiberde (yaklaşık 2 m) tekrarlanmalıdır.



Şekil 5.8 Band genişliği ölçümünün ölçme kaydı - zaman bölgesinde ölçme

Üst: Normalleştirilmiş zaman darbesi

Alt: Geçiş fonksiyonu

Giriş darbesi $g_1(t)$ ve çıkış darbesi $g_2(t)$ için kaydedilen verileri kullanarak, bunlara karşılık gelen T_1 ve T_2 darbe genişliklerinin tam kare kök ortalamalarını (full root mean square) (FRMS) tümleştirme ile hesaplamak mümkündür. Bundan FRMS darbe genişlemesi ΔT_{FRMS} hesaplanır:

$$\Delta T_{FRMS} = \sqrt{T_2^2 - T_1^2}$$

ve band genişliği için yaklaşık bir değer şöyledir:

$$B \approx \frac{0.375}{\Delta T_{FRMS}}$$

Bu yaklaşım, Gauss şeklinde bir darbe farz ettiğinden (bu yüzden faktör 0.375'tir) ve böylece FRMS genişliği hariç darbenin gerçek yapısını inkar ettiğinden, band genişliğini daha kesin olarak kararlaştırmak için, darbelere zaman bölgesinden frekans bölgesine bir *Fourier dönüşümü* uygulanmalıdır. Bu işlemde, tümleştirme, bu giriş ve çıkış darbelerine karşılık gelen geçiş fonksiyonunun büyüklüğünü ve fazını hesaplamak için kullanılmaktadır. Frekans bölgesinde genliğin ölçülmesine karşın, darbe şekillerinin simetrisi hakkında bilgi veren geçiş fonksiyonunun fazını da vermektedir. Band genişliği geçiş fonksiyonunun büyüklüğünden çıkarılır; tam olarak büyüklüğünün sıfır frekanstaki değerinin yarısına kadar düştüğü frekanstır. Tipik bir ölçme kaydı Şekil 5.8'de görülebilir.

Band genişliği ölçme tekniği, Avrupa standardı EN 188000 (ulusal Alman standardı VDE 0888 Kısım 101) metotlar 304/305 ve uluslararası IEC 793-1-C2A ve C2B'de belirtilmiştir.

5.4 Renk Dağılımı

Işık darbeleri, bir optik fiberde grup hızında yayılırlar.

$$c_g = \frac{c}{n_g},$$

burada n_g , λ dalga boyuna bağlı olan, çekirdek camın grup kırılma katsayısını göstermektedir. L uzunluğundaki bir optik fiberden çapraz olarak geçmek için bir ışık darbesinin bir grup gecikme süresi ihtiyacı vardır:

$$t_g = \frac{L}{c_g} = \frac{L}{c} n_g.$$

Böylece, grup kırılma katsayısı n_g 'ye bağlı olarak, grup gecikme süresi λ dalga boyuna bağlıdır. Bir optik fiber için bütün ışık kaynakları, ışığı sadece bir tek λ dalga boyunda değil, fakat daha çok λ dalga boyu etrafında dağılmış $\Delta\lambda$ *spektral genişliğinde* yaymaktadırlar. Bu yüzden, $\Delta\lambda$ içindeki tek tek ışık kısımları farklı hızlarda yayılırlar ve farklı gecikme süreleri vardır.

Farklı dalga boylarında, grup kırılma katsayısı n_g 'nin varyasyonları için bir ölçme *madde dağılımı* $M_0(\lambda)$ 'dir; bu da grup kırılma katsayısının dalga boyu açısından birinci türevi alınarak hesaplanmaktadır:

$$M_0(\lambda) = \frac{1}{c} \frac{dn_g(\lambda)}{d\lambda} = \frac{1}{L} \frac{dt_g(\lambda)}{d\lambda}$$

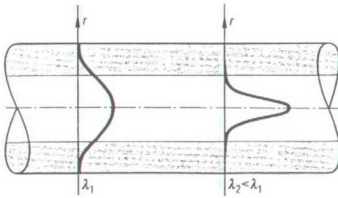
Madde dağılımı $M_0(\lambda)$, genellikle ps/nm x km birimlerinde verilmektedir.

Erimiş silika camda grup kırılma katsayısı n_g 'nin 1300 nm'lik dalga boyu civarında bir minimumu olması nedeniyle, bu noktadaki türev sıfır olur ve bu dalga boyundaki madde dağılımı $M_0(\lambda)$ son derece küçüktür.

Madde dağılımı, maddeye bağlı olan bir niceliktir. Çekirdek camdaki katkı maddeleri nedeniyle, belirli limitler içerisinde değişebilir ve böylece sıfır noktası etkilenebilir. Hem tek modlu hem de çok modlu bütün fiberler de etkilidir. Bununla beraber, sıfır noktasının yakınındaki çok modlu fiberler için, büyüklüğü mod dağılımı tarafından büyük ölçüde aşılr.

Düşünülmesi gereken bir dağılma etkisi daha vardır, bu da tek modlu fiberlerde özellikle önemli olan dalga kılavuzu dağılımıdır. Çekirdek ve ince kaplamalı camdaki temel modun ışık dağılımının dalga boyuna bağlı olması ve bu yüzden kırılma katsayısı farkı $\Delta = \Delta(\lambda)$ nedeniyle meydana gelmektedir.

Dalga boyu arttıkça, temel mod LP_{01} , çekirdekten ince kaplamalı cama doğru genişlemektedir (Şekil 5.9). Bu, temel modun ışığının artan bir kısmının, ince kaplamada çekirdeğe kıyasla düşük bir kırılma katsayısı ile yönlendirildiği anlamına gelmektedir. Bu yüzden temel mod daha hızlı yayılır. Spektral genişlik $\Delta\lambda$ içerisinde gecikme süresi farkları gelişir. Temel modun yayılmasının gerçek hızı, çekirdek ve ince kaplamalı camda “uniform”dur, yani bunun ortalama bir değeri çekirdek ve ince kaplamalı camdaki yayılma hızından hesaplanabilir.



Şekil 5.9 İki farklı dalga boyunda temel modun enerji dağılımı

İki dağılımın toplamına (madde dağılımı ve dalga kılavuzu dağılımı) renk dağılımı $M(\lambda)$ denmektedir:

$$M(\lambda) = M_0(\lambda) + M_1(\lambda).$$

Renk dağılımının kaybolduğu dalga boyuna λ_0 , sıfır dağılım dalga boyu denmektedir. Şekil 5.10, 1550 nm’de yer değiştirmiş sıfır dağılım dalga boyu olan bir optik fiberin dağılım eğrilerini göstermektedir.

Bir spektral genişliği (tam genişlik yarı maksimum (full width half maximum) (FWHM), $\Delta\lambda$ veya bir tam kare kök ortalaması (FRMS) genişliği $\Delta\lambda_{FRMS}$ (Gauss şekilli verici tayfi için $\Delta\lambda_{FRMS} = \frac{1}{\sqrt{\ln 4}} \Delta\lambda \approx 0.85 \times \Delta\lambda$) olan bir vericiden bir tek-modlu fibere beslenen ışık darbesi, zamanla renk dağılımı $M(\lambda)$ tarafından değiştirilmektedir. Başlangıçta T_1 ve L uzunluğu sonunda T_2 olan bir FRMS darbe genişliği için, FRMS darbe genişlemesi ΔT_{FRMS} aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$\Delta T_{FRMS} = \sqrt{T_2^2 - T_1^2} = M(\lambda) \Delta\lambda_{FRMS} L.$$

Darbe genişlemesi, optik fiberin L uzunluğu ile orantılı olarak artmaktadır. Ayrıca, vericinin spektral genişliği $\Delta\lambda$ ile orantılıdır.

Bir lazer diyodu (LD) için tipik değerler $\Delta\lambda = 3\text{-}5$ nm ve bir ışık saçan diyot (light emitting diode) (LED) için tipik değerler $\Delta\lambda = 40\text{-}70$ nm (850 nm’de) ve $\Delta\lambda = 120\text{-}150$ nm (1300 nm’de) dir.

Yukarıdaki denklem Gauss şekilli darbeler ve tayflar için geçerlidir; burada, renk dağılımı $M(\lambda)$ sıfır olduğunda, vericinin merkez dalga boyu λ_m , λ_0 dalga boyuna yakın olmayabilir. O durumda FRMS darbe genişlemesi ΔT_{FRMS} için genel denklem şöyle olmalıdır:

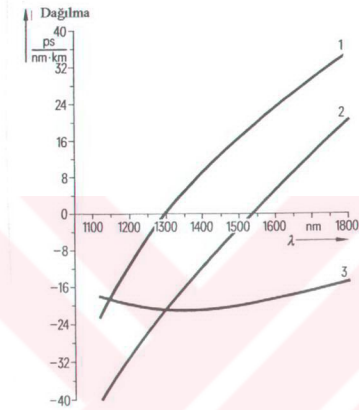
$$\Delta T_{FRMS} = \Delta\lambda_{FRMS} L \sqrt{M(\lambda_m)^2 + M'(\lambda_0)^2 \frac{\Delta\lambda_{FRMS}^2}{8}}$$

burada

$M(\lambda_m)$ ps/nm.km olarak vericinin merkez dalga boyu λ_m 'deki dağılım

$M'(\lambda_0)$ ps/nm².km olarak sıfır dağılım dalga boyu λ_0 'da dağılımın eğimi

$\Delta\lambda_{FRMS}$ nm olarak vericinin FRMS genişliği



Şekil 5.10 Tek modlu bir fiberin dağılım eğrileri

1 Madde dağılımı $M_o(\lambda)$

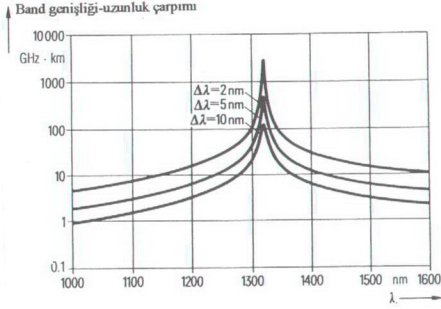
2 Renk dağılımı $M(\lambda)$

3 Dalga kılavuzu dağılımı $M_1(\lambda)$

Tek modlu bir fiberin band genişliği B , Gauss şekilli verici tayfı ve FRMS darbe genişlemesi ΔT_{FRMS} için, merkez dalga boyu λ_m 'nin bir fonksiyonu olarak hesaplanabilir:

$$B = \frac{\sqrt{\ln 4}}{\pi} \frac{1}{\Delta T_{FRMS}} = \frac{\ln 4}{\pi} \frac{1}{\Delta T} \approx \frac{0.375}{\Delta T_{FRMS}} \approx \frac{0.441}{\Delta T}.$$

Şekil 5.11, tipik bir tek-modlu fiber ve farklı spektral genişlikler $\Delta\lambda$ için band genişliği eğrilerini göstermektedir.

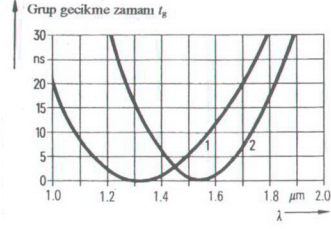


Şekil 5.11 Vericinin spektral genişliği $\Delta\lambda$ 'ya bağlı olan tek-modlu fiberlerin band genişliği uzunluk çarpımı.

5.4.1 Ölçme metotları

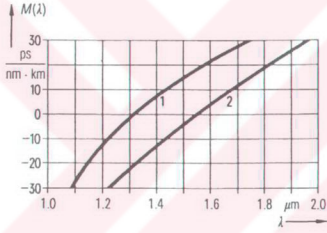
Renk dağılımı $M(\lambda)$ 'yı dalga boyu λ 'nın bir fonksiyonu olarak ölçerken, genellikle değişen dalga boyları olan bir verici ya da farklı fakat sabit dalga boyları olan birkaç verici kullanılmaktadır.

Bir neodinyum-itriyum alüminyum garnet (neodymium-yttrium aluminium garnet) (Nd-YAG) lazerinin, 1064'ten 1800 nm civarına kadar olan dalga boyu aralığı için yüksek güç vericisi olarak kullanılması uygundur. Birkaç yüz metre uzunluğunda oldukça çok katkılı tek-modlu fiberdeki ışığın bir *Raman dağılımı* (geniş sürekli bir tayfa sahip olan şiddetli ışık yayılmasından doğan nonlineer optik etki) üretmektedir. Tek renkli bir ışık kaynağı ile, istenilen ölçme dalga boyu filtrelenir ve test altındaki fibere beslenir. Optik fiberin sonunda bir alıcı ve bir osiloskop, optik fiberin L uzunluğu için mutlak grup gecikme süresini t_g ölçmek için kullanılmaktadır. Birkaç ölçme uygulanarak, grup gecikme süresi t_g dalga boyu λ 'nın bir fonksiyonu olarak elde edilebilir (Şekil 5.12).



Şekil 5.12 Dalga boyunun bir fonksiyonu olarak tek-modlu fiberlerin grup gecikme süresi

- 1 1.3 μm 'de sıfır dağılım dalga boyu olan tek-modlu fiber
- 2 1.55 μm 'de sıfır dağılım dalga boyu olan tek-modlu fiber



Şekil 5.13 Dalga boyunun bir fonksiyonu olarak tek-modlu fiberlerin renk dağılımı.

- 1 1.3 μm 'de sıfır dağılım dalga boyu olan tek-modlu fiber
- 2 1.55 μm 'de sıfır dağılım dalga boyu olan tek-modlu fiber

Renk dağılımı $M(\lambda)$, grup gecikme eğrisinden, bu eğrinin eğimini hesaplayarak ve onu optik fiberin uzunluğu L 'ye bölerek çıkarılmaktadır. Şekil 5.13, renk dağılımına karşılık gelen eğrileri göstermektedir.

Bu dağılım ölçümüne ek olarak, Raman dağılımı yardımıyla, sıfır dağılım dalga boylarına yakın dalga boyları olan birkaç lazer diyot kullanmak mümkündür. Bu, belirli dalga boyları için gecikme sürelerinin t_g ölçümünü sağlamaktadır. Enterpolasyon ve eğri ayarlanması ile bunlar grup gecikme süresi eğrisinin hesaplanmasında kullanılabilir. Bir sonraki değerlendirme Raman metoduna göre uygulanmaktadır.

Eğer istenilirse, böyle bir lazer diyot tertibi bu alanda özellikle elverişli ve yararlıdır. Buna rağmen, önceden kararlaştırılan dalga boylarına bağlı olarak, çok basamaklı tek modlu profillerin renk dağılımını yeterli doğrulukla tanımlamak için kullanılıp kullanılmaması şüphelidir.

Dağılım ölçme tekniği, Avrupa standardı EN 188000 (ulusal Alman standardı VDE 0888 Kısım 101) metot 308/309/310 ve uluslararası IEC 793-1-C5’de belirtilmiştir.

5.5 Kesme Dalga Boyu

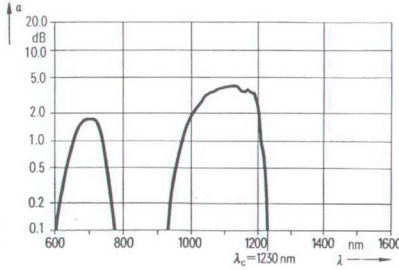
Dalga boyuna bağlı olarak, bir mod ya da birkaç mod optik dalga kılavuzunda yayılırlar. Bir optik dalga kılavuzunun işletilmesi için, dalga kılavuzunda sadece temel mod LP_{01} ’in yönlendirildiği dalga boyunun kararlaştırılması önemlidir. Bir optik dalga kılavuzunun kesme dalga boyu (cut-off wavelength), en düşük işletilen dalga boyu için kullanılan terimdir, bunun ötesinde sadece temel mod yayılmaktadır. Bu kesme dalga boyu λ_c ’nin üzerinde, bir sonraki yüksek mod LP_{11} kaybolur. λ_c ’nin altında daha düşük dalga boylarında yeni modlar eklenmektedir. Optik dalga kılavuzu λ_c ’den düşük dalga boylarında çok modlu ve daha yüksek dalga boylarında tek modludur.

5.5.1 Ölçme metotları

Bükülme metodu

Kesme dalga boyunu kararlaştırmak için sık sık kullanılan bir metot bükülme metodudur. Bu, spektral ışık gücünün ölçülmesini içermektedir, yani test altındaki optik fiberin 2m’lik uzun bir parçasında dalga boyunun bir fonksiyonu olarak ışık gücü. İlk olarak, fiber mümkün olduğu kadar düz bir pozisyonda ölçülür (bükülme yarıçapı 140 mm’den büyük); daha sonra fiber 30 mm çapındaki bir milin etrafına bir kere sarılır ve ölçülür. Bükülmeden doğan zayıflama, dalga boyunun bir fonksiyonu olarak hesaplanır ve grafik üzerine çizilir (Şekil 5.14). Bu, daha yüksek dalga boylarına doğru dik eğimleri olan zayıflama için birkaç iyi tanımlanmış maksimum noktalar vermektedir. Bu eğimler, en düşük modların kesme dalga boylarını işaret etmektedirler. LP_{11} modunun kesme dalga boyu λ_c , en yüksek

dalga boyu olan maksimumun aşağı doğru eğiminin 0.1 dB’lik zayıflama değerinden geçtiği dalga boyudur.



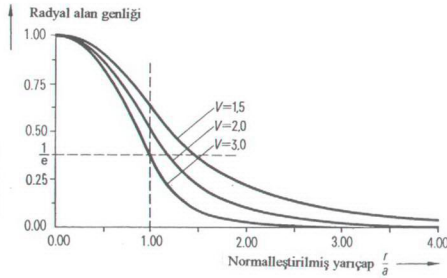
Şekil 5.14 Bükülme metodu ile kesme dalga boyunun kararlaştırılması

Bu metotla ölçülen λ_c değeri, sadece optik fiberin tasarım karakteristiği değil, fakat test edilen uzunluğa da bağlıdır. Optik fiber ne kadar kısa olursa, kesme dalga boyu o kadar yüksek olur. Birkaç milimetre uzunluğundaki bir optik fiber parçası için teorik kesme dalga boyu, 2m uzunluğunda olan parçanınkinden yaklaşık 100 nm daha uzundur.

Kesme dalga boyu ölçme tekniği, Avrupa Standardı EN 188000 (ulusal Alman standardı VDE 0888 Kısım 101) metot 312 ve uluslararası IEC 793-1-C7’de belirtilmiştir.

5.6 Mod Alan Çapı

Tek-modlu fiberdeki temel modun ışık dağılımı, besleme, bükülme ve ek kayıplarının değerlendirilmesinde önemli bir faktördür. Mod alan yarıçapı w_0 veya mod alan çapı $2w_0$, bu dağılımı anlatmak için tanımlanmıştır (Şekil 5.15).



Şekil 5.15 Temel modun alan genişliğinin radyal bağımlılığı.

Mod alan yarıçapı w_0 , radyal alan genişliğinin, optik fiber eksenindeki ($r = 0$) maksimumunun $1/e$ kadar değerine ($\approx \%37$, çünkü $e = 2.71828$) azaldığı yarıçaptır. Mod alan çapı dalga boyuna bağlıdır: dalga boyu arttıkça o da artar. Çekirdek yarıçapı a ile orantılı olan mod alan yarıçapı w_0 , sırasıyla λ dalga boyuna ve NA nümerik açıklığına bağlı olan V sayısının sadece bir fonksiyonudur:

$$V = \pi \frac{2a}{\lambda} NA$$

V sayısının $1.6 < V < 2.6$ aralığında, mod alan yarıçapı w_0 , çekirdek yarıçapı a ve V sayısı arasındaki ilişkiyi doğru olarak açıklayan, tek-modlu basamak katsayısı fibri için basit bir yaklaşım vardır:

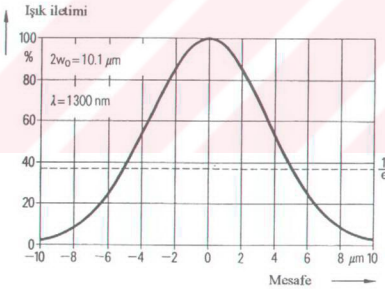
$$w_0 \approx \frac{2.6}{V} a$$

V sayısı aralığının üstü, 1150-1875 nm arasındaki dalga boyu aralığına denk gelmektedir ve bu yüzden 1300-1550 nm arasındaki genel işletme dalga boylarını kapsar.

5.6.1 Ölçme metotları

Enine kayma metodu

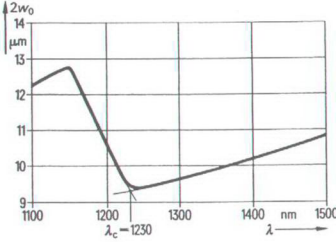
Mod alan çapının ölçülmesi için farklı metotlar vardır. Genellikle kullanılan metot enine kayma metodudur (transverse offset method). Işık gücünü dalga boyunun bir fonksiyonu olarak ölçmek için kullanılan, test altındaki 2m uzunluğundaki bir parçasını spektral zayıflama ölçme tertibine bağlamayı içermektedir. Daha sonra test örneği ortadan kırılır ve iki ucu bir mikro durum gösteren ünitenin kulplarına yerleştirilir ve böylece birbirlerinin karşısında yakın olarak dururlar (aralık bir çekirdek çapından daha azdır). Durum gösteren ünite, fiberin bir ucunu hareket ettirmek için kullanılmaktadır; böylece spektral zayıflama ölçme tertibinin alıcısında bir maksimum ışık iletimi ölçülmektedir. Sonradan, ışık iletimi, bir optik fiber ucunu eşit adımlarla hareket ettirerek ve ışık gücündeki azalmayı kaydederek optik fiber uçlarının radyal enine kaymasının bir fonksiyonu olarak ölçülmektedir. Buradan çıkan eğrinin $1/e$ çapı, mod alan çapı $2w_0$ 'ı verir (Şekil 5.16).



Şekil 5.16 Enine kayma metodu ile mod alan çapının kararlaştırılması.

Mod alan çapı için ölçme dalga boyu 1300 nm'ye ayarlanmıştır. Eğer, mod alan çapı veya mod alan yarıçapı, dalga boyunun bir fonksiyonu olarak ölçülürse, tipik tek-modlu fiber için Şekil 5.17'de gösterilene benzer bir eğri oluşmaktadır. 1200 nm'de mod alan çapı $2w_0$ 'ın dik azalması, LP_{11} modunun kesme dalga boyunu λ_c göstermektedir.

Mod alan λ ölçme tekniği, Avrupa standardı EN 188000 (ulusal Alman standardı VDE 0888 Kısım 101) metot 314/315 ve uluslararası IEC-793-1-C9’da belirtilmiştir.



Şekil 5.17 Dalga boyunun bir fonksiyonu olarak mod alan λ .

5.7 Yakın Alan Dağılımı ve Geometrik Ölçmeler

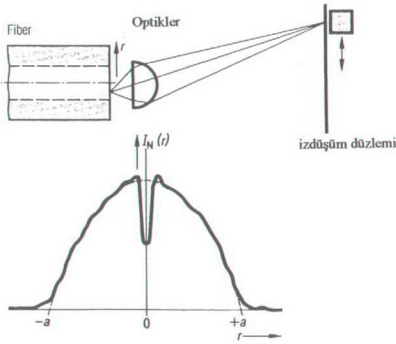
Bir optik fiberin yakın alan dağılımı, bir optik fiberin ucundaki ara-kesit bölgesindeki ışık güç yoğunluğunun dağılımı olduğu bilinmektedir.

5.7.1 Ölçme metotları

Kırılma katsayısı profili

Bir çok modlu fiberin optik gücünün dağılımının, kırılma katsayısının dağılımıyla orantılı olmasından dolayı yakın alan dağılımı, bir optik fiberin kırılma katsayısı profilini kararlaştırmak için kullanılabilir. Bu, bütün modlar eşit olarak uyarılsın diye optik fiberin kısa bir parçasına tam yük beslenmesi için halojen lamba gibi beyaz bir kaynak kullanarak ölçülmektedir. İnce kaplamalı modlar bir mod soyma makinesi (mode stripper) tarafından ortadan kaldırılmaktadır. Fiberin diğer ucunda, optik fiberin ara-kesit bölgesindeki ışık şiddeti mikroskop ve detektör ile izlenmektedir (Şekil 5.18).

Kırılma katsayısı profiline ek olarak, bu konfigürasyon ayrıca *çekirdek* ve *ince kaplamanın* *çapını*, ince kaplamadaki çekirdeğin *eş merkezliliğini* (concentricity) ve çekirdek ve ince kaplamanın *dairesel olmayışını* (noncircularity) kararlaştırmak için kullanılabilir (Şekil 5.19).



Şekil 5.18 Yakın alan dağılım ölçümü

Çekirdek çapı:

$$d = \frac{d_{\max} + d_{\min}}{2}$$

İnce kaplamanın çapı:

$$D = \frac{D_{\max} + D_{\min}}{2}$$

Çekirdeğin dairesel olmayışı:

$$e = \frac{d_{\max} - d_{\min}}{d_0} \times \%100$$

Çekirdeğin eliptikliği:

$$\varepsilon = \sqrt{1 - \left(\frac{d_{\min}}{d_{\max}} \right)^2}$$

İnce kaplamanın dairesel olmayışı:

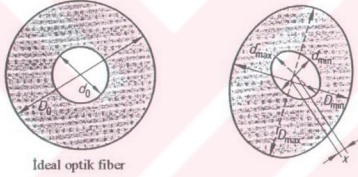
$$E = \frac{D_{\max} - D_{\min}}{D_0} \times \%100$$

Eşmerkezlilik:

$$c = \frac{x}{d} \times \%100$$

burada

- d çekirdek çapı
- D ince kaplamanın çapı
- e çekirdeğin dairesel olmayışı
- d_0 dairesel olduğunda çekirdek çapı
- E ince kaplamanın dairesel olmayışı
- D_0 dairesel olduğunda ince kaplamanın çapı
- c eş merkezlilik
- x çekirdek merkezinden sapma
- ε çekirdek eliptikliği

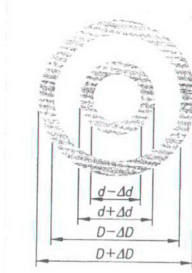


Şekil 5.19 Çekirdek ve ince kaplamanın eş merkezliliği ve dairesel olmayışı.

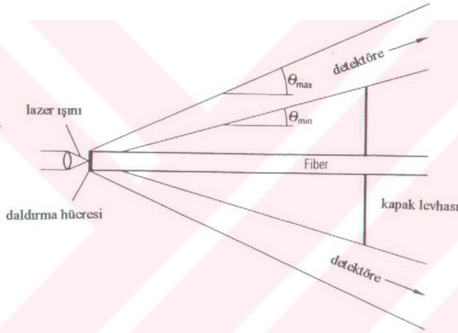
Dört-daireli metot

Geometrik boyutları kontrol etmenin diğer bir metodu “dört-daireli metot”tur (Şekil 5.20). Bu metotta, deneme yanılma metoduyla, dört eşmerkezli daire (ikisi çekirdek çapının tolerans aralığı için ve ikisi ince kaplamanın çapının tolerans aralığı için), optik fiber arakesit bölgesinin gerçek boyutlarına karşılık gelecek şekilde yan yana konmalıdır.

Yakın alan dağılımının ölçümü sırasında, tam yük beslemesi ayrıca optik fiberin kısa bir parçasına kaçak modlar besler; böylece ölçülen kırılma katsayısı profili gerçeğe tam olarak uymaz. Bu problemten sakınmak için *kırılan yakın alan metodu* (refracted near field method) kullanılmaktadır. Bu metotla, optik fiberde yayılmayan ışık ölçülmektedir (Şekil 5.21).



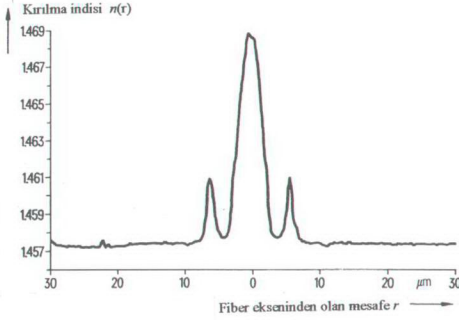
Şekil 5.20 Dört-daireli metot için referans diyagramı.



Şekil 5.21 Kırılan yakın alan metodu.

İnce kaplamalı camın kırılma katsayısı bilinirse (genellikle saf SiO_2 'dir), bu metot, mutlak kırılma katsayısı profilinin tam olarak ölçülmesini mümkün kılar. Çok basamaklı bir çekirdeği olan bir tek-modlu fiber için bir örnek Şekil 5.22'de gösterilmiştir.

Dört-daireli ölçme tekniği, Avrupa standardı EN 188000 (ulusal Alman standardı VDE 0888 Kısım 101) metot 103 ve uluslararası IEC 793-1-A1, -A2 ve -A3'te belirtilmiştir.



Şekil 5.22 Kırılma katsayısı profilinin ölçülmesi

5.8 Uzak Alan Dağılımı

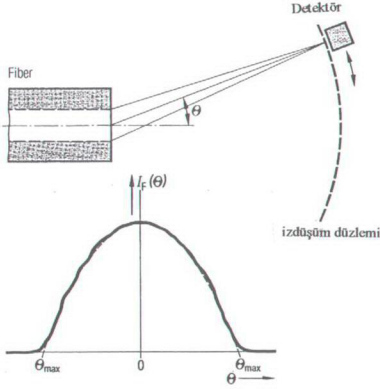
Bir optik fiberin uzak alan dağılımı, fiber eksenine θ açısı yapan bir optik fiberin ucundan yayılan ışık gücünün $I_F(\theta)$ dağılımı olarak bilinmektedir.

5.8.1 Ölçme metotları

Yakın alan tertibatının ölçülmesi için gerekli olan tertibata benzer bir konfigürasyon, uzak alan dağılımının ölçülmesinde kullanılabilir. Optik fiberin uç yüzünü izlemek için sadece mikroskop dışarıda bırakılır ve alıcı, optik fiberin çıkış ucunda dairesel hareket yapabilmesi için döner ayak üzerinde monte edilmelidir. Böylece ışık gücü, θ açısının bir fonksiyonu olarak ölçülmektedir (Şekil 5.23).

Ölçümler, genellikle uzak alanın Gauss şekilli yoğunluk dağılımı ile sonuçlanmaktadır. Maksimum yayılma açısı $\theta_{\max}$ ı kullanarak, optik fiberin NA nümerik açıklığı bu sonuçlardan hesaplanabilir:

$$NA = \sin \theta_{\max} .$$



Şekil 5.23 Uzak alan dağılımının ölçümü

Yayılmanın bu maksimum açısındaki düşük yoğunluktan dolayı $\theta_{\max}$ 'ı ölçmek zordur. Bu açığı belirlemek için, ya yoğunluk eğrisine bir teğet çizilir ve apsis eksenine kesişme noktası $\theta_{\max}$ olarak tanımlanır ya da %10 yoğunluktaki açı $\theta_{\max}$ olarak alınır.

Nümerik açıklık ölçme tekniği, Avrupa standardı EN 188000 (ulusal Alman standardı VDE 0888 Kısım 101) metot 311 ve uluslararası IEC 793-1-C6'da belirtilmiştir.

5.9 Mekanik Dayanıklılık

Camdaki maddelerin homojen olmamasından veya camın yüzeyindeki bozukluklardan dolayı optik fiber boyunca mekanik olarak zayıf noktalar bulunabilir. Bu düzensizlikler ancak istatistiksel anlamda açıklanabildiğinden, optik fiberin mekanik dayanıklılığı ancak belirli bir olasılıkla önceden belirtilebilir. Ayrıca, bu bozukluklardan birinde optik fiberin kırılması zamana bağlı bir işlemdir.

Bir *Weibull dağılımı*, uzunluk L , mekanik kırılma kuvveti σ ve zaman t 'ye bağlı olarak bir optik fiberdeki kırılma olasılığını F matematiksel olarak hesaplamak için kullanılmaktadır.

$$F(L, \sigma, t) = 1 - \exp \left\{ - \frac{L}{L_0} \left(\frac{\sigma}{\sigma_0} \right)^a \left(\frac{t}{t_0} \right)^b \right\},$$

burada

F	kırılma olasılığı	σ_0	N/mm ² olarak nominal kuvvet
L	m olarak fiberin uzunluğu	a	sabit
σ	N/mm ² olarak kırılma kuvveti	t_0	s olarak nominal test süresi
t	s olarak zaman	b	sabit
L_0	m olarak test uzunluğu		

L_0 , σ_0 ve t_0 değerleri, diğer iki sabit a ve b 'ye ek olarak deneysel olarak kararlaştırılmalıdır.

$L = L_0$, $\sigma = \sigma_0$ ve $t = t_0$ için aşağıdaki ifade geçerlidir.

$$F(L_0, \sigma_0, t_0) = 1 - 1/e \approx 0.632 \text{ (dağılımın nominal değeri)}$$

σ_0 nominal kuvvet, t_0 nominal test süresi ve L_0 test edilen uzunluktur. a ve b sabitleri için tipik değerler:

$$a = 3 \pm 1$$

ve

$$b = 0.2 \pm 0.05.$$

Test uzunluğu L_0 tipik olarak 20 m, nominal test süresi t_0 yaklaşık olarak 1s ve nominal kuvvet σ_0 yaklaşık olarak 2000 N/mm²'dir.

Şekil 5.24, zamana karşı $t = t_0$ bağımlılığı olmadan bir Weibull dağılımını göstermektedir; kırılma kuvveti logaritmik ölçekle apsis eksenine çizilmiştir ve kırılma olasılığı F ölçekle ordinat eksenine çizilmiştir:

$$\log \ln \frac{1}{1 - F(L, \sigma)}$$

Ölçülmüş noktalardan geçen düz çizginin eğimi α sabitini vermektedir.

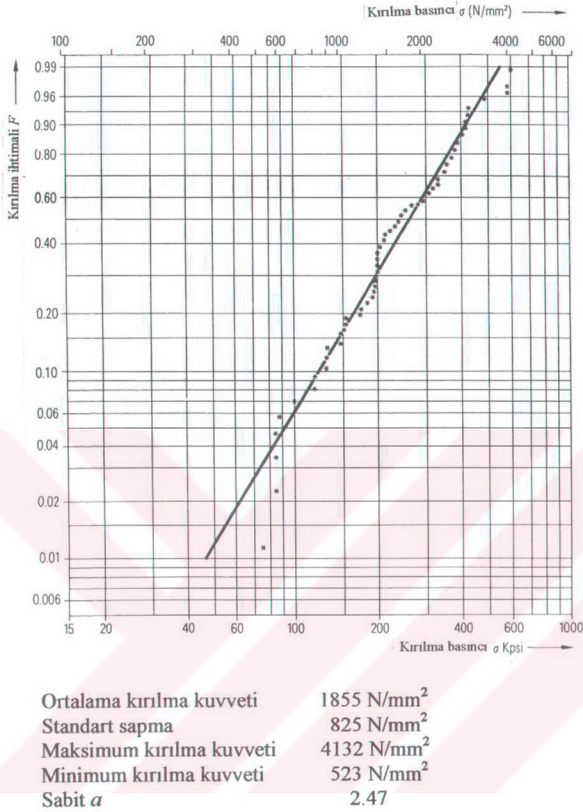
Optik fiberlerin üretimi sırasında mekanik dayanıklılıkları kanıt testi (proof test) veya ekran testi (screen test) ile kontrol edildiğine dikkat edilmelidir. Genellikle, silindirlerden oluşan bir sistem, fiberin içinden geçerken fibere 345 N/mm^2 'lik bir kuvvet uygulamak için kullanılmaktadır.

Mekanik dayanıklılık ölçme teknikleri, Avrupa standardı EN 188000 (ulusal Alman standardı VDE 0888 Kısım 101) metot 203, ve uluslararası IEC 793-1-B2A ve -B2B'de belirtilmiştir.

5.10 Kutuplanma Mod Dağılımı

Tek-modlu fiber denilen bir fiber gerçekten tek modlu değildir (Bölüm 4). Aslında, bir tek modlu fiberdeki temel mod iki defa geri beslenir, yani her zaman aynı anda giden iki dikgen (birbirine dik) kutuplanmış moddan ibarettir. İdeal optik olarak dairesel simetrik çekirdeği olan bir optik fiberde her iki kutuplanma modu aynı hızlarla yayılır. Bununla beraber, gerçekte üretilen optik fiberlerde, çekirdek geometrisinde (eliptiklik) kaçınılmaz küçük asimetrilere veya fiber tesis etme işlemi sırasında camın içinde dondurulan iç kuvvetlerden dolayı çift kırılma görülür. Çift kırılmanın diğer sebepleri fiber gerilimi, fiber yan basıncı, fiber bükülmesidir. Bu, anizotropik kırılma katsayısına ve böylece iki kutuplanma modunun farklı hızına sebep olur. Sonuç olarak, çift kırılmalı fibere enjekte edilen ışık darbeleri, Şekil 5.25'te şematik olarak gösterildiği gibi ayrılma eğilimi gösterirler. İki kutuplanma modu, “yavaş” ve “hızlı” fiber eksenlerinin farklı kırılma katsayılarına göre farklı hızlarla gitmektedirler. Fiberin ucundaki modların (ps) ayrılması, kutuplanma mod dağılımına (polarization mode dispersion) (PMD) denk gelmektedir.

İki kutuplanma modu arasındaki rastgele mod bağlanmasından dolayı, aralarında kısmen enerji alışverişi yapılır ve bu PMD'nin istatistik özelliğini ortaya çıkarır. Bağlantı uzunluğu denilen L_c 'den daha kısa bir L uzunluğundaki fiber için PMD L ile lineer olarak dağılır. L_c bağlantı uzunluğundan daha büyük bir L uzunluğundaki fiber için PMD, fiber uzunluğunun karekökü ile orantılı olarak artar.



Şekil 5.24 Bir optik fiberin mekanik dayanıklılığının belirlenmesi için Weibull dağılımı.

Yukarıda belirtildiği gibi çekirdek eliptikliği ε (Bölüm 5.7.1) çift kırılma B 'yi indükleyebilir.

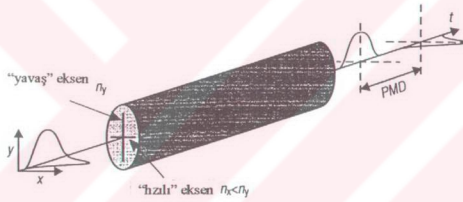
$$B = \text{sabit} \times \varepsilon^2 \quad (\varepsilon < 0.3 \text{ için})$$

Özellikle kablolu optik fiberler, çift kırılmayı meydana getirebilecek yan basınca maruz kalırlar.

$$B = 4n_k^3 \times (1 + \mu) \times (p_{12} - p_{11}) \times Q / (\pi \times E \times 2 \times A),$$

burada

n_k	çekirdek kırılma katsayısı
μ	Poisson oranı
E	Young modülü
Q	yanal kuvvet
p_{11}, p_{12}	fotoelastik sabitler
A	cam fiberin ara-kesit bölgesi



Şekil 5.25 Çift kırılmalı optik fiberdeki kutuplanma modlarının ayrılışı

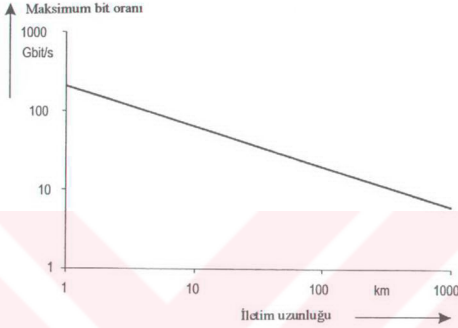
Saf fiber bükülmesi ayrıca, bükülmüş fiber boyunca homojen olmayan bir gerilim dağılımıyla kırılma katsayısının asimetrisini oluşturmaktadır. Saf bükülme durumunda çift kırılma şu şekilde gösterilir:

$$B = n_k^3 \times (1 + \mu) \times (p_{11} - p_{12}) \times (A/R)^2 / 4,$$

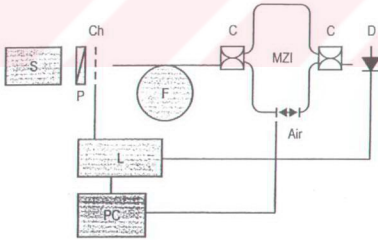
burada R bükülme yarıçapıdır (diğer değerler yukarıda tanımlanmıştır).

Kablolama PMD'yi önemli bir şekilde etkilemez. Ölçme silindirleri (çap = 30 cm) üzerine gevşek olarak sarılmış olan optik fiberlerde ölçülen PMD değerlerinin dağılımı, standart

telekomünikasyon kablosunda denetlenmiş tampon tüplere yerleştirilmiş olan fiberlerle hemen hemen aynıdır. Ölçülen PMD değerlerinin çoğunluğunun, onaylanmış uluslararası spesifikasyon olan $0.5 \text{ ps/km}^{1/2}$ 'den çok düşük olduğuna dikkat edilmelidir.



Şekil 5.26 Bir bit periyodunun 0.1'den düşük PMD'si için iletim uzunluğuna karşılık gelen bit oranı.



S Işık kaynağı
P Kutuplayıcı (Polarizör)
L Kilitleme kuvvetlendirici
PC Bilgisayar
MZI Mach-Zehnder-İnterferometresi

C Fiber Bağlayıcı / Birleştirici
Air Hava boşluğu
D Detektör
Ch Akım kısıyıcı (chopper)
F Test altındaki fiber

Şekil 5.27 Bir Mach-Zehnder interferometresi (girişim-ölçer) kullanılarak PMD ölçme tertibi.

Optik fiberlerde PMD, bilginin hem dijital hem de analog optik iletimini etkileyebilmektedir. Önceden Bölüm 5.4'te belirtildiği gibi renk dağılımı, küçük spektral genişliği olan ışık kaynaklarını (örneğin DFB lazerleri, bölüm 12.1.2) seçerek ve/veya dağılım dengelenmesi (örneğin DCM = dağılım dengelenme modülleri) için uygun bir teknik uygulayarak azaltılabilir. Bununla beraber, PMD dengelenemez ve bu yüzden iletim uzunluğunu eninde sonunda sınırlandırır (güç beslemesi burada ihmal edilmiştir). Yükseltilmiş uzun mesafeli sistemlerle ilgili standartların grupları PMD'nin ortalama değerlerini bir bit periyodunun 0.1'den düşük tutma gereksinimleri vardır. Şekil 5.26, bit oranı ve mesafe ilişkisi için $0.5 \text{ ps/km}^{1/2}$ 'lik bir PMD değerinin sonucunu göstermektedir.

Analog sistemler, bazen TV ekranlarında gözle görülebilen izlere sebep olan karma ikinci derece (composite second order) (CSO) denilen distorsiyonlara sebep olurlar. Bu etki, PMD, kutuplanmaya bağlı kayıp (polarisation dependent loss) (PDL) ve lazer cıvıltısının karmaşık bir etkileşiminin bir sonucudur. Optik fiberler için maksimum PMD değerinin $0.5 \text{ ps/km}^{1/2}$ 'si ile -65 dBm civarında CSO güç seviyesi ve %2 PDL için 250 km bir link uzunluğuna kadar, sinyal distorsiyonu oluşmamalıdır.

5.10.1 Ölçme metotları

Kutuplanma mod dağılımı hem zaman hem de frekans domeninde ölçülebilir. *İnterferometrik metot* (interferometric method) (zaman domeni), *kutuplanma durumu analizi* (state of polarization analysis) (frekans domeni) ve *sabit analizör metodu* (fixed analyzer method) (frekans domeni) kullanılmaktadır.

İnterferometrik metot

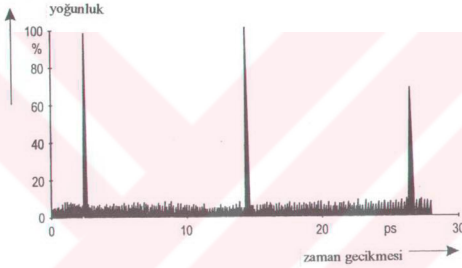
Deney tertibi, Michelson veya Mach-Zehnder interferometresine dayanmaktadır (Şekil 5.27). 80 nm 'lik tipik bir spektral genişliği olan bir LED'den lineer olarak kutuplanmış ışık, test fiberine beslenmektedir. Fiber ucu bir fiber kuplörüne bağlanır. İnterferometrenin bir kısmı değişken bir hava boşluğu içermektedir. İkinci fiber kuplörü (birleştirici) çıkışındaki girişim şeması, hava boşluğundan dolayı oluşan gecikme süresinin

bir fonksiyonu olarak kaydedilmektedir. Maksimum ölçülebilen gecikme (tipik olarak 150 ps'e kadar) sadece hava boşluğunun toplam uzunluğuna dayanmaktadır. Minimum ölçülebilen PMD, LED'in eş evreli süresi t_c tarafından sınırlanır. Böylece, $PMD_{\min} = t_c = 0.1$ ps. Yüksek ve düşük çift kırılması olan optik fiberlerin tipik ölçme eğrileri Şekil 5.28'de gösterilmektedir. Dış tepelerden iç otokorelasyon tepesine kadar aradaki "mesafe" ps olarak PMD'dir. Kuvvetli mod kuplajı durumunda, girişim şeklinin ikinci momenti PMD'yi vermektedir.

yüksek çift kırılması olan optik fiber

$L = 7.1$ m

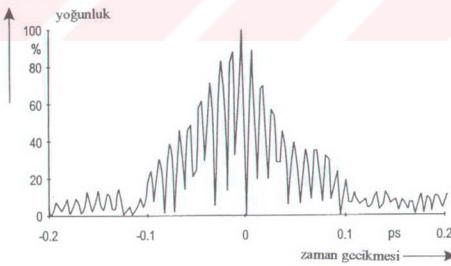
$PMD = 12$ ps



standart optik fiber (düşük çift kırılması olan)

$L = 25$ km

$PMD = 0.14$ ps



Şekil 5.28 Yüksek (düşük mod kuplajı) ve düşük (kuvvetli mod kuplajı) çift kırılması olan optik fiberler için girişim şekilleri.

Kutuplanma durumu analizi

PMD'nin frekans domeninde ölçülmesi, ayarlanabilir bir lazer, bir kutuplanma kontrolörü (regülatörü) ve polarimetre gerektirmektedir. λ_0 dalga boyunda PMD'nin kararlaştırılması, en azından 2 komşu dalga boyunda ($\lambda_0 - \Delta\lambda$ ve $\lambda_0 + \Delta\lambda$) gelen ışığın 3 farklı kutuplanma durumu için çıkan ışığın kutuplanma durumunun ölçülmesini (Jones matris-eigen analizini kullanarak) gerektirmektedir. Bu dalga boylarının, kutuplanma durumu değişmelerinin kararlaştırılmasında 2π belirsizliğinden kaçınmak için λ_0 'a olabildiğince yakın olması gerekmektedir. Bu yüzden, $\Delta\lambda, \Delta\lambda < \lambda_0^2 / (c \times t_c \times 2)$ ilişkisini sağlamalıdır. Ayrıca, lazerin eş evreli süresi t_c , PMD'den daha büyük olmalıdır. 50 ps gibi bir maksimum eş evreli süre t_c , lazer için 0.1 nm'den daha az bir spektral genişliği gerektirmektedir. Yeniden üretilen ve sabit PMD değerleri elde etmek için, birçok dalga boyu ve “zaman” üzerinde ortalama almak gerekmektedir.

Sabit analizör metodu

Kutuplanmış, ayarlanabilir bir lazerin dar spektral genişliği olan ışığı test fiberine beslenmektedir. Fiberin ucundaki ışık analizörden geçer (sabit) ve ışık şiddeti değişen dalga boyu ile kaydedilmektedir (Şekil 5.29). Yüksek çift kırılması olan fiber durumunda şiddet dalga boyuna göre periyodik olarak değişmektedir. İki kutuplanma modu arasındaki faz farkı Φ şöyledir:

$$\Phi = 2 \times \pi \times (n_y - n_x) \times L / \lambda$$

burada

λ dalga boyu

L test altındaki optik fiberin uzunluğu

n_x, n_y “yavaş” ve “hızlı” eksenin kırılma indisleri

PMD aşağıdaki gibidir.

$$\text{PMD} = N \times k \times \lambda_1 \times \lambda_2 / (c \times (\lambda_2 - \lambda_1)),$$

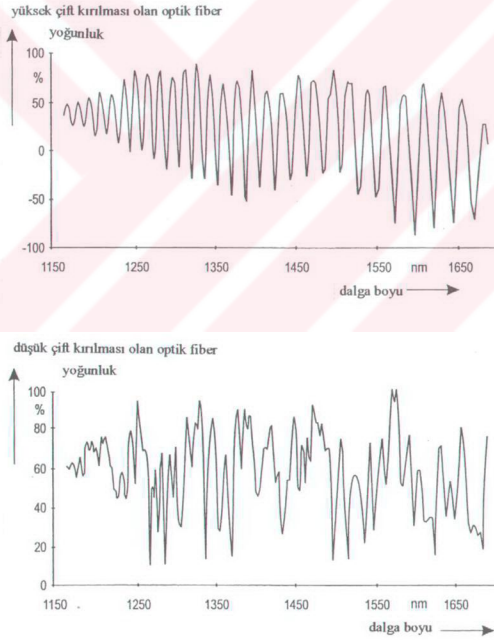
burada

N salınım sayısı

c ışık hızı

k düşük mod kuplajı için = 1 , kuvvetli mod kuplajı için = 0.8

λ_1, λ_2 dalga boyu taramasının baştaki ve sondaki dalga boyu



Şekil 5.29 Yüksek ve düşük çift kırılması olan fiberlerin girişim şemaları.

Düşük çift kırılması olan fiberler (kuvvetli mod kuplajı) incelendiğinde, girişim şeması birçok frekansı içermektedir (Şekil 5.29). Fourier dönüşümü (Fourier transform) (FT) analizi, yukarıda anlatılan interferometrik metoduyla elde edilene benzer bir şemaya yol açmaktadır. Bir Gauss ayarı veya ikinci momentin hesaplanması PMD'yi vermektedir. Bu ölçme, frekans domeninde yapıldığından lazerin eş evreli uzunluğu maksimum ölçülebilen PMD'yi sınırlandırmaktadır. Ek olarak, FT'yi hesaplamak için kullanılan nokta sayısı, yüksek frekanslı bir kesmeden sakınmak için yeterince büyük olmalıdır.

PMD ölçme işlemleri, Amerikan standardı EIA/TIA-455-124 (interferometrik metodu ile tek-modlu optik fiberler için PMD ölçümü), EIA/TIA-455-122 (Jones matris eigen analizi ile tek-modlu optik fiberlerin PMD ölçümü) ve EIA/TIA-455-113 (dalga boyu taraması ile tek-modlu optik fiberlerin PMD ölçümü)'de belirtilmiştir. Avrupa standartları halen tartışılmaktadır.

5.11 Yansıma kaybı

Optik bir malzemenin yansıma kaybı (return loss) (RL), gelen gücün (incident power) P_m yansıyan optik güce (reflected optical power) P_{ref} dB biriminde oranıdır.

$$RL = 10 \times \log (P_m / P_{ref})$$

Lazerlerin, optik malzemelerden kendilerine doğru geri yansıyan kendi ışıklarına olan duyarlılıklarından dolayı, bu optik malzemelerin (örneğin bağlayıcılar, Bölüm 10.3.4) yansıma kaybı gün geçtikçe dikkat çekmektedir. Fiziksel temasa dayanan mükemmel bağlayıcılar, yaklaşık 60 dB'lik bir yansıma kaybını göstermektedirler.

5.11.1 Ölçme metodları

Bir OTDR ile yansıma kaybı ölçümü

Şekil 5.30'da, bir optik zaman domenli yansıma ölçme aygıtı (optical time domain reflectometer) (OTDR) görüntüsü, şematik olarak gösterilmektedir (Bölüm 5.2.1). Eğrideki

tepe, örneğin bir bağlayıcının sebep olduğu yansımaya bağlıdır. Tepenin yüksekliğine (dB olarak) A denilirse, o zaman A şöyle tanımlanır:

$$A = 5 \times \log [(P_{\text{ref}} + w \times S \times P_{\text{in}})/(w \times S \times P_{\text{in}})],$$

Burada

P_{ref} yansıyan güç

P_{in} L pozisyonunda giriş gücü

w darbe genişliği

S yakalanma kesri

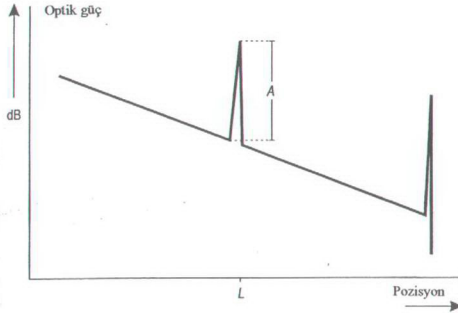
$w \times S \times P_{\text{in}}$ terimi geri saçılım gücünü belirlemektedir. Temel matematiksel dönüşümler aşağıdaki gibi sonuçlanır:

$$RL = -10 \times [\log(w \times S) + \log(10^{4/5} - 1)] = K + \log(10^{4/5} - 1)$$

Böylece, K sabiti biliniyorsa, RL A tepesinin yüksekliğinin ölçülmesi ile hesaplanabilir. Bir kalibrasyon ölçmesi yapılarak, örneğin optik fiberi keserek ve 14.5 dB'lik iyi tanımlanmış bir yansıma ile bir cam/hava geçişini yaratarak K belirlenebilir.

Erimiş fiber kuplörü ile yansıma kaybı ölçümü

Bu metot, sürekli bir ışık kaynağı ve optik güç sayacı ile birlikte erimiş fiber kuplörüne dayanmaktadır (Şekil 5.31). Ölçmenin dinamik değerini arttırmak için bir lazer kaynağı tavsiye edilmektedir. Test altındaki cihaz (Device under test) (DUT) olarak bir tek-modlu bağlayıcı çiftinin RL ölçülmesi aşağıda örnek olarak verilmiştir.



Şekil 5.30 L pozisyonundaki bir yansımanın OTDR görüntüsü

Bu tertipte, DUT kuplöre birinci atlama kablosu (jumper cable) ile bağlanmıştır, çünkü bağlayıcı 4 (kuplörün bağlantı ucu) DUT'un bir parçası olmamalıdır. İşlem 3 adımdan ibarettir.

A Adımı: Bağlayıcı 6 açık iken (cam/hava geçişi) -14.5 dB'lik yansıma kaybı için tertibin kalibrasyonu. Güç sayacından $P1$ okunmaktadır.

B Adımı: Fiber ucundaki yansılardan kaçınmak için yağa batırılmış bağlayıcı 6'sı olan, bağlayıcı çift 4/5'ten çıkan istenmeyen yansımaların ölçülmesi. Güç sayacından $P2$ okunmaktadır.

C Adımı: DUT'un (bağlayıcı çifti 6/7) ölçülmesi artı istenmeyen yansımalar. İkinci atlama kablusunun ucu şimdi yağa batırılmıştır. Güç sayacından $P3$ okunmaktadır.

RL aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

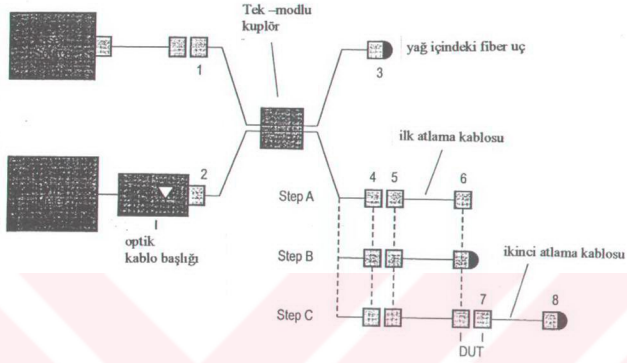
Kalibrasyondan (A adımı) giriş gücü P_m çıkarılmaktadır:

$$P_m = 10^{1.45} \times P1$$

B ve C adımları yansıyan gücü $P_{ref} = P3 - P2$ vermektedir ve böylece

$$RL = 10 \times \log [(P1 \times 10^{1.45}) / (P3 - P2)]$$

Erimiş kuplör ile yansıma kaybı ölçümü, Amerikan standardı EIA/TIA-455-107'de belirtilmiştir.



Şekil 5.31 Bağlayıcı yansıma kaybının ölçülmesi için tertip

6 OPTİK FİBERİN YAPISI

Bir optik fiber iki temel kısımdan oluşmaktadır:

Optik olarak şeffaf bir maddeden (örneğin erimiş silika cam) yapılmış olan çekirdek ve ince kaplama ve coating (kaplama).

Çekirdek, optik fiberin merkezindedir ve ışığı yönlendirmek için kullanılmaktadır. Bu dalga yönlendirilmesi sadece çekirdekte mümkündür, çünkü çekirdeğin kırılma katsayısı n_1 , ince kaplamanın kırılma katsayısı n_2 'den daha büyüktür. Ara yüzeylerinde (çekirdek/ince kaplama) modlar, sürekli tam yansıma ile optik fiberin çekirdeğinde tutulmaktadır.

Coating, üretim sırasında ince kaplama yüzeyine direkt olarak uygulanan tabaka olarak bilinmektedir. Fiberin içine ve dışına ışık kuplağı için veya fiberlerin bağlanması için sökülüp takılabilir olmalıdır. Birkaç tabaka plastikten oluşabilir ve çıplak noktalar veya kalınlıkta farklılıklar olmadan bütün uzunluk boyunca düzgün bir şekilde uygulanmalıdır. Coating renkli olabilir ve gerekirse ek halka işaretleri olabilir; ince kaplamanın kırılma katsayısından daha yüksek bir kırılma katsayısına sahiptir; bu, ince kaplamaya beslenen arzu edilmeyen ışığın bir metre içinde plastik tarafından emilmesi demektir.

Bir optik fiberin kırılma katsayılarının örnekleri

Çekirdek	1.48
İnce kaplama	1.46
Coating	1.52

Mekanik olarak, coating optik fiberi dış etkilere korumalıdır ve fiberin mikro aralıklarda bükülmesine ve böylece ek zayıflamalara sebep olabilecek aşırı kuvvetleri yok etmelidir.

6.1 Erimiş Silika Camdan Yapılan Çok Modlu Fiber

Çok modlu fiberler için standart geometrik değerler Tablo 6.1a 'da ve çok modlu fiberlerin genel kullanımdaki kodları Tablo 6.1b 'de gösterilmektedir.

Sadece 50 μm 'lik bir çaptaki, bir çok modlu fiber çekirdeği, bir insan saçının boyutlarına sahiptir.

Tablo 6.1a Çok modlu fiberler, boyutlar

Fiber Tipi G50/125 (Boyutlar μm olarak)	EN 188200, VDE 0888 Kısım 105, ITU-T Tavsiye G.651 IEC Standardı 793-2
Çekirdek çapı	50
Nominal değer	± 3
İzin verilen tolerans	3
Dairesel tolerans	
İnce kaplama çapı	125
Nominal değer	± 3
İzin verilen tolerans	2.5
Dairesel tolerans	
Çekirdek ve ince kaplama arasındaki izin verilen eşmerkezlilik toleransı	3
Dört-daireli metod için izin Verilen tolerans (Şekil 5.20)	
çekirdek: Δd	4
ince kaplama: ΔD	5

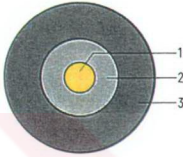
Tablo 6.1b Çok modlu fiber, kodlar

	Çekirdek/ince kaplama maddesi	Çekirdek/ince kaplama çapı			
		a	b	c	d
A 1	Cam/cam	50/125	62.5/125	85/125	100/140
A 2	Cam/cam	200/240			
A 3	Cam/plastik	200/280			
A 4	Plastik/plastik	980/1000			

Örnek

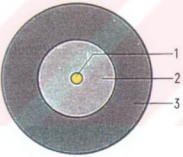
Çekirdek çapı (cam) $50\ \mu\text{m}$ / ince kaplama çapı (cam) $125\ \mu\text{m}$ = A 1 a olan çok modlu fiberler.

Şekil 6.1 ve 6.3, bu optik fiberin yapısını göstermektedir.



Şekil 6.1 Çok modlu fiber

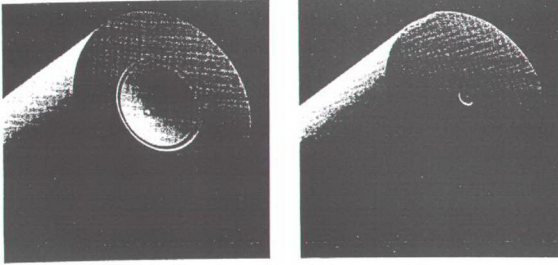
- 1 Çekirdek
- 2 İnce kaplama
- 3 Coating



Şekil 6.2 Tek modlu fiber

- 1 Çekirdek
- 2 İnce kaplama
- 3 Coating

Dört-daireli metot (Bölüm 5.7.1), optik fiberin toleranslara ulaşmış ulaşmadığının hızlı bir şekilde kontrol edilmesi için kullanılabilir. Eş merkezli daireleri olan bir örtü (mask) yardımı ile bütün parametreler aynı anda kontrol edilmektedir. Bu yüzden, bu test metodu, ne tek tek çapların ne de dairesel olmama ya da eş merkezlilik toleranslarının belirlenmesi için uygun değildir.



Şekil 6.3 Çok modlu ve tek-modlu bir fiberin aşındırılmış uç yüzeyleri

Kodlar, fiber optik terminoloji

IEC 86/87 CDV, kodları ve kodların yapılışını içermektedir.

Örnek

F - G50/125

F optik fiber

G dereceli katsayı fiber

50 /125 nominal değerler:

çekirdek çapı μm olarak / ince kaplama çapı μm olarak

6.2 Erimiş Silika Camdan Yapılan Tek-Modlu Fiber

Çok modlu fibere zıt olarak, tek-modlu fiber için (Şekil 6.2 ve 6.3) çekirdek çapı yerine, dalga boyuna bağlı olan mod alan çapını $2w_0$ belirtmek yeterlidir. 1300 nm dalga boyunda mod alan çapı, çekirdek çapından %10-12 daha büyüktür.

Dalga boyuna olan bu bağımlılık, özellikle fiber bağlantıları için önemlidir. Bir ekin kalitesi (mod sadece optik fiber içinde yayıldığından), cam-teknik ayarına nazaran ışık-teknik ayarı tarafından daha çok etkilenmektedir.

Tek-modlu fiberler için standart geometrik değerler Tablo 6.2a'da ve tek-modlu fiberler için genel kullarımdaki kodlar Tablo 6.2b'de gösterilmektedir.

Tablo 6.2a Tek-modlu fiberler, boyutlar

Fiber Tipi E 9/125 ve E 10/125 (boyutlar μm olarak)	EN 188100 VDE 0888 Kısım 102 ITU-T Tavsiye G.652 IEC Standardı 793-2	
1300 nm'de mod alan apı Nominal değer İzin verilen tolerans	9 veya 10 ± 1	± 1
İnce kaplama apı Nominal değer İzin verilen tolerans Dairesel tolerans	125 ± 3 2.5	125 ± 3 2.5
Çekirdek ve ince kaplama arasındaki izin verilen eş merkezlilik toleransı	1 ¹⁾	1 ¹⁾

¹⁾ Ek tekniğine ve izin verilen ek kaybına bağlı olarak 3 μm 'e kadar olan değerler seçilebilir

Tablo 6.2b Tek-modlu fiberler, kodlar

	Sıfır dağılma dalga boyu nm	İşletme dalga boyu nm	Mod alan çapı	
			μm a	b
B 1.1	1300	1300	10	9
B 1.2	1300	1550	10	9
B 2	1550	1550		
B 3	1300 ve 1550	1300 ve 1550		

Örnek

Bir sıfır dağılma dalga boyu ve 1300 nm'de işletme dalga boyu ve mod alan çapı 10 μm = B 1.1a olan bir tek-modlu fiber.

Kod örneği

F - E 9/125

F optik fiber

E tek-modlu fiber

9/125 nominal değerler:

mod alan çapı μm olarak / ince kaplama çapı μm olarak

Ulusal ve uluslararası olarak standartlaştırılmış olan tek ve çok modlu fiberler için önceden bahsedilen yapının dışında, özellikle özel uygulamaları karşılamak için kullanılan diğer birçok boyut vardır.

Örnekler

G 62.5/125

G 85/125

G 100/140

6.3 Tek-Modlu ve Çok Modlu Fiberlerin Teknik Özellikleri

Gerilme yükü

Yaklaşık 1 s'lik bir süre için taşınabilen maksimum gerilme yükü en azından 5 N'dir. Ya üretim sırasında hat içi ya da ayrı bir adımda hat dışı test edilmelidir.

Renk kodlaması (DIN 47002 ve IEC 304'e göre renkler)

Tek tek fiberleri tanımamız için renklerle kodlanmışlardır ve gerekirse üstlerine halka işaretleri basılmıştır. Renkler, fiberlerin optik özelliklerini etkilemeyecek şekilde uygulanmaktadır (Tablo 6.3).

Tablo 6.3 DIN VDE 0888 Kısım 3 ve 6 (taslak)'ya göre renk kodları

Mavi Sarı Yeşil Kırmızı Tabii renk Siyah ¹⁾	DIN 47002 ve IEC 304'e göre
---	--------------------------------------

¹⁾ Sadece halka işaretlemesi için

Sıcaklık Aralıkları

Nakil ve depolama sıcaklıkları -20°C - 50°C

Montaj sıcaklığı 5°C - 40°C

İşletme sıcaklığı 0°C - 50°C

Özel uygulamalar için bu sıcaklık aralıkları aşıldığında, üreticiye danışılmalıdır.

Bu değerlerin dışında, VDE 0888 Kısım 101, çok sayıda mekanik, iletim ve optik testleri şart koymaktadır.

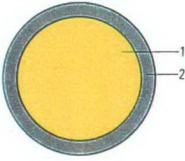
6.4 Plastik Maddeden Yapılan Optik Fiber

Şeffaf plastik maddelerden yapılan optik fiberler, 100 m'e kadar olan kısa mesafelerde bilgi iletimi için uygundur.

En sık kullanılan fiber tipi, yaklaşık 980 µm kalınlığındaki bir polimetilmetakrilat (PMMA) çekirdeği ve yaklaşık 20 µm kalınlığı olan bir karbon polimer ince kaplamadan ibarettir (Şekil 6.4).

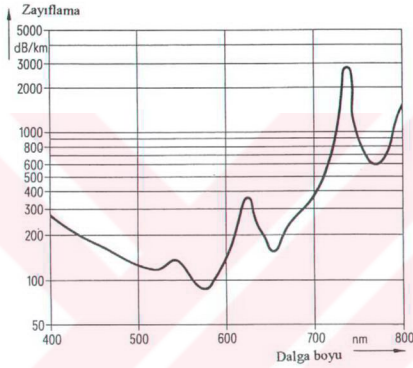
İki kırılma katsayısı 1.492 (çekirdek) ve 1.417 (ince kaplama) kullanıldığında, 0.47'lik bir numerik açıklık ve ± 28°'lik bir emme açısı ile sonuçlanır. Bu yüzden, böyle bir plastik optik fiber çok elverişli bir ışık kuplajına sahiptir.

Şekil 6.5 plastik optik fiberin spektral zayıflamasını göstermektedir.



Şekil 6.4 Plastik optik fiber

- 1 Çekirdek
- 2 İnce kaplama



Şekil 6.5 Bir plastik optik fiberin spektral zayıflaması.

Kodlar (örnek)

F-P 980/1000 310 :

F Fiber
P Basamak katsayı profili olan plastik optik fiber
980/1000 Çekirdek/ince kaplama çapı μm olarak
310 Zayıflama katsayısı dB/km olarak

Sıcaklık Aralığı

Nakil ve depolama sıcaklığı $-20^{\circ}\text{C} - 50^{\circ}\text{C}$

İşletme sıcaklığı $0^{\circ}\text{C} - 55^{\circ}\text{C}$

7 OPTİK FİBERLERİN ÜRETİMİ

Optik fiberler, genellikle birkaç üretim adımında üretilmektedir; ve böylece fiberin mekanik, geometrik ve optik özelliklerini seçici bir şekilde optimize etmek mümkündür. Bu işlem, modern optik haberleşme kablosu teknolojisinin önemli ön şartlarından biri olan hızlı ve ekonomik büyük çaplı üretimini sağlamaktadır.

Bugün kullanılan bütün tekniklerde öncelikle bir önşekil (preform) üretilmektedir. Bu, çekirdek ve ince kaplamalı camdan oluşan bir cam çubuktur. Önşekilin arakesiti, önşekilden yola çıkılarak yapılan optik fiberin geometrik boyutlarının ve kırılma katsayısı profilinin bir ölçekli modelini göstermektedir. Bir ucu daha yüksek bir sıcaklıkta ısıtılırken önşekil fiber şekline getirilir ve aynı zamanda coating, koruyucu örtü olarak fibere uygulanmaktadır.

7.1 Erimiş Cam ile Önşekil Üretimi

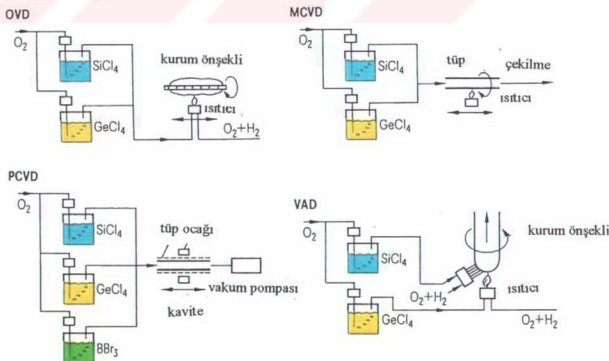
Optik fiberlerin üretiminde kullanılan ilk tekniklerden biri tüp içinde çubuk metodudur; burada çekirdek olarak bir ultra saf erimiş silika cam çubuk, ince kaplama olarak daha düşük kırılma katsayısı olan bir erimiş silika cam tübüne kaydırılmaktadır. Çubuk ve tübün boyutları aralarında çok az bir boşluk kalacak kadardır. Bu tekniğin, fiber çekildiği zaman ara yüzeydeki küçük parazitler ve katkı maddeleri çok yüksek zayıflamalara (500-1000 dB/km) sebep olması ve sadece çok modlu basamak katsayısı fiberlerinin bu şekilde üretilebilmesi dezavantajları vardır.

Problemlerden kaçınmak için, çekirdek ve ince kaplamalı camın erimiş durumda bir araya getirildiği ve fiberlerin direkt erimiş durumda çekildiği farklı bir metot kullanılmaktadır. Bu metoda *çift pota* veya bileşik eritme metodu denilmektedir, çünkü çekirdek ve ince kaplamanın camları iki ayrı potada (maden eritme kabı) eritilmiştir. Kullanılan cam tipleri ultra saf kompleks camlardır, örneğin kurşun alkali silikat camı ve sodyum bor silikat camı. Çekirdek ve ince kaplamalı cam arasındaki difüzyon veya iyon transferi ile dereceli katsayı profili olan optik fiberleri üretmek de mümkündür (Selfoc metodu). Potaların iç kısımlarının tamamen temiz tutulamaması sebebiyle, geçiş metallerine ek olarak katkı

maddeleri fibere girer ve zayıflamayı artırır (850 nm’de 5-20 dB/km). Bu metod, özellikle kalın çekirdekli fiberler için kullanılmaktadır (çekirdek çapı $\geq 200 \mu\text{m}$).

Bir SiO_2 cam matrisinde bir sodyum borat cam fazının ayrılmasının meydana geldiği zaman esnasında, faza ayrılabilir cam veya fazil (phasil) metodunda bir sodyum bor silikat cam çubuğu 1200°C ’de şekillendirilir ve 600°C ’de birkaç saat tutulur. Fe ve Cu gibi geçiş metalları sodyum borat cam fazında birikirler ve gözenekli bir önşekil kalana kadar asitle ıslatılabilir. Bu, bir ultra saf tuz çözeltisinde (örneğin sezyum nitrat) ıslatılır ve sonra dış kısmı yıkanmaktadır. Sezyum katkısı, içerideki kırılma katsayısını artırmaktadır. Yıkanan bölge, ince kaplama halini alır. 850 nm’de 10-50 dB/km’lik bir zayıflaması olan basamak katsayı ve dereceli katsayı profilleri olan optik fiberler bu metotla üretilmektedir.

Önşekil üretiminin diğer bir metodu, çekirdek olarak ticari olarak bulunan erimiş silika cam çubuğun kullanışını içermektedir ve fiberin çekilmesi sırasında düşük kırılma katsayısı olan şeffaf plastik olan bir ince kaplama (plastik kaplama) uygulanmaktadır. 850 nm’de 5-50 dB/km arasında değişen zayıflama değerleri elde edilmiştir. *Plastik fiber* denilen, sadece plastik maddelerden yapılan optik fiberler bulunmaktadır, burada çekirdek ve ince kaplama farklı kırılma katsayıları olan optik olarak saf plastiklerden üretilmektedir. 600 nm civarında 100-400 dB/km’lik zayıflama değerleri bu fiberlerle ölçülmüştür (Bölüm 6.4).



Şekil 7.1 Buhar fazında cam çöktürme ile önşekil üretimi.

7.2 Buhar Fazında Cam Çökertme ile Öñşekil üretimi

Çok düşük zayıflaması olan optik fiberlerin üretimindeki büyük bir gelişme, ancak ilk olarak 1970’de ABD’de Corning Inc. tarafından kullanılan bir teknik ile yani farklı *buhar fazı çökertme metotları* (vapor phase deposition methods) ile elde edilmiştir.

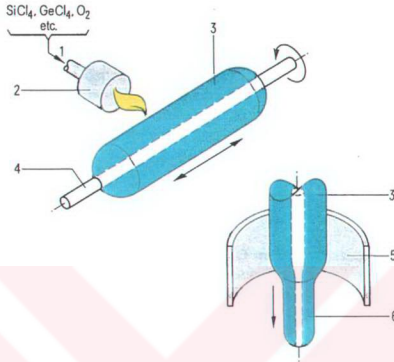
Cam çökertmesi, bir döner hedef milinin dış yüzeyinde (OVD metodu, dış buhar çökertmesi (*Outside Vapor Deposition*)), erimiş silika cam çubuğun uç yüzeyinde (VAD metodu, buhar eksenel çökertmesi (*Vapor Axial Deposition*)) ya da döner erimiş silika cam tübün iç yüzeyinde (IVD metodu, iç buhar çökertmesi (*Inside Vapor Deposition*)) meydana gelebilir. İç buhar çökertme metodu için, cam çökertilmesi için gerekli olan enerji, ya dıştan oksihidrojen gaz ısıtıcısı ile (MCVD metodu, değiştirilmiş kimyasal buhar çökertmesi (*Modified Chemical Vapor Deposition*)) ya da içten plazma aleviyle (PCVD metodu, plazma ile oluşan kimyasal buhar çökertmesi (*Plasma-activated Chemical Vapor Deposition*)) elde edilmektedir.

Bu tekniklerde (Şekil 7.1), cam çökertilmesi, uçucu ultra saf bileşiklerin bir oksihidrojen veya plazma alevindeki reaksiyonu ile oluşmaktadır (Bölüm 3.1.1’de belirtildiği gibi). Bu metotlar, günümüzde modern endüstriyel büyük çaplı üretimlerde, çok fazla düşük zayıflaması (1550 nm’de 0.2 dB/km) ve yüksek band genişliği (1300 nm’de $> 2 \text{ GHz} \cdot \text{km}$) veya düşük dağılması (1285 ve 1330 nm arasında $< 3.5 \text{ ps/nm} \cdot \text{km}$) olan tek-modlu ve çok modlu fiberler için öñşekillerin üretilmesinde kullanılmaktadır. Bir yandan, özellikle çökertme oranının geliştirilmesine önem verilmektedir, yani tipik olarak 1-5 g/dak aralığında bulunan, bir dakikada çöken parçacıkların (kurum parçacıkları) miktarı. Diğer yandan, 100 km’den daha fazla uzunlukta olan fiberlerin çekilebilmesi için öñşekilin boyutunu artırmak istenilmektedir.

7.2.1 OVD metodu

OVD metoduyla, öñşekil üretimi iki basamakta gerçekleşir. İlk olarak, erimiş silika camın hedef (antikatot) mili, Al_2O_3 veya grafit bir torna tezgahının üzerinde uzunlamasına eksen

boyunca döndürülür ve bir oksihidrojen veya propan gazlı ısıtıcı tarafından belli bir bölgesi dışarıdan ısıtılır (Şekil 7.2).



Şekil 7.2 OVD metodu

- 1 Buhar
- 2 Isıtıcı
- 3 Kurum önşekli
- 4 Hedef mili
- 5 Ocak
- 6 Cam aralığı

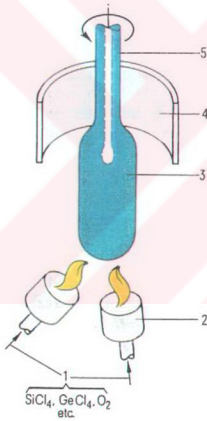
Oksijen ve kırılma katsayısı profili için gerekli olan herhangi bir katkı maddesi, örneğin metal halojenler (SiCl_4 , GeCl_4 , BCl_3 , PCl_3), ısıtıcıya beslenir ve bunlara karşılık gelen oksitlere dönüştürülür. Bunlar, döner mil üzerinde çökertilen ufak kurumlar oluştururlar. Mil, uzunlmasına geri ve ileri hareket ettiğinde, katmanlarda *gözenekli cam önşekli* meydana gelir. Her katman değişik şekilde katkılандırılabilir, yani belirli bir miktar katkı maddesi temek maddeye (SiO_2) eklenebilir. Dereceli katsayı profilleri için çekirdeğin GeO_2 ile katkılандırılması, ilk katmandan itibaren ince kaplama için saf SiO_2 çökertilene kadar sürekli olarak azaltılır. Basamak katsayı profilleri durumunda, çekirdeğin GeO_2 ile katkılандırılması her katmanda sabit kalır.

Fiber çekirdek ve ince kaplaması için yeteri kadar katman çökertildiğinde, işlem durdurulur ve kurum parçalarından yapılmış olan silindirik tüp hedef milden uzaklaştırılır.

Bu metodun ikinci adımında, tüp öşekli bütün uzunluğu boyunca kısım kısım ısıtılır (Şekil 7.2). 1400-1600°C arasındaki sıcaklıklarda merkez deliği kapalı olan katı, köpüksüz, şeffaf cam mile (boşluk) çöker (büzülür). Sinterleştirme (sintering) (ısıyla toz halindeki malzemenin birleştirilmesi işlemi) sırasında, öşekil, suyun camdaki bütün izlerini yok etmek için bir kurutma aracı olarak gaz halindeki klor ile sürekli olarak beslenir, çünkü aksi halde daha yüksek zayıflama beklenebilmektedir.

7.2.2 VAD metodu

VAD metodunda, bir oksihidrojen ısıtıcısında oluşan kurum parçacıkları, bir döner erimiş silika cam milinin uç yüzeyinde çöktürilmektedir (Şekil 7.3).



Şekil 7.3 VAD metodu

- 1 Buhar
- 2 Isıtıcı
- 3 Kurum öşekli
- 4 Ocak
- 5 Şeffaf öşekil

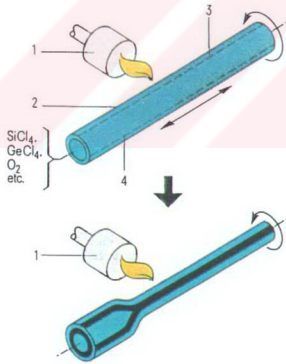
Bu yolla oluşturulan gözenekli öşekil yukarı doğru çekilir, burada ısıtıcı ve eksenel olarak büyüyen öşekil arasındaki uzaklık sabit kalmalıdır. Çekirdek ve ince kaplamanın kırılma katsayısını oluşturmak için birkaç ısıtıcı aynı anda kullanılabilir. Isıtıcıların yapısına ve

onların milden uzaklıklarına ve çökertme sırasındaki sıcaklığa bağlı olarak değişik kırılma katsayısı profilleri oluşabilir. Çökertme sonrasında, gözenekli öşekil, bir halka şekilli ocak tarafından şeffaf bir öşekile (boşluk) çökertilir (collapsed) (katılaştırılır) (consolidated). Gaz halindeki klor, çökertilen öşeklin etrafında onu kurutmak için dolandır.

Daha kalın ince kaplaması olan fiberleri elde etmek için, tüp içinde mil metodundakine benzeyen öşekildeki ince kaplama olarak bir erimiş silika cam tübün kaydırılması mümkündür.

7.2.3 MCVD metodu

MCVD metodu ile öşekiller iki adımda üretilmektedir. İlk olarak, bir erimiş silika cam tübü, bir torna tezgahında uzunlamasına eksenini boyunca döndürülür ve dış kısmının belli bölgesi, bir oksihidrojen gaz ısıtıcısının tübün dış kısmında dolaştırılmasıyla ısıtılır (Şekil 7.4).



Şekil 7.4 MCVD metodu

- 1 Isıtıcı
- 2 Cam tüp
- 3 Kurum katmanı
- 4 Cam katmanı

Oksijen ve katkı maddesi olarak gereken gaz halindeki holojen karışımlar (SiCl_4 , GeCl_4 , PCl_3) tüp boyunca yol alırlar. Bu holojenler OVD ve VAD metotlarında olduğu gibi ısıtıcıların alevlerinde reaksiyona girmezler, fakat tübün içerisinde reaksiyona girerler. Bu, istenilen kırılma katsayısı profilini elde etmek için katkılandırılabilen tübün içerisinde, camın birçok ince katmanlarının çökmesine neden olur. Tübün kendisi, ince kaplamalı camın dış kısmıdır. Buhar fazı çökertmesi yoluyla, ince kaplamalı camın ve çekirdek camın iç kısımları üretilmektedir.

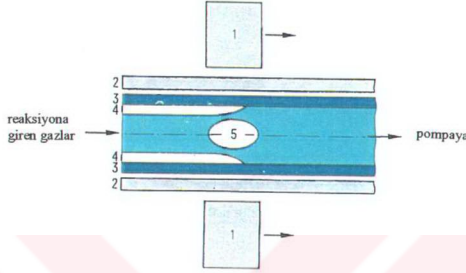
Küçük parçacıklar, ısıtılmış bölgede 1600°C 'de geliştiğinde ve tübün iç duvarında çöktürüldüğünde camın bir katmanı oluşmaktadır. Isıtıcı akış doğrultusunda ileri doğru hareket ettirildiğinde çöktürülmüş parçacıklar eritilip, camın ince bir katmanı haline getirilirler.

MCVD metodunun ikinci adımında, gereken katmanların üzerinde çöktürüldüğü tüp uzunluğu boyunca kısımlar halinde 2000°C 'de ısıtılır. Böylece, tüp büzüşüp mil şeklini alır. Tübün içerisinde reaksiyona giren gazlar hidrojenle tutulursa, bu metot için özel bir kurutma işlemi gerekmez, çünkü ısıtma için kullanılan gazlar (genellikle hidrojenle yüksek olan) sadece tübün dış kısmı ile temas ederler ve diğer herhangi bir dış etkinin de bir etkisi yoktur.

7.2.4 PCVD metodu

PCVD metodu ile önşekil üretimi, temel olarak MCVD metodu için açıklanan aynı işlem adımlarını takip eder (Bölüm 7.2.3). İkisi arasındaki fark reaksiyon tekniğindedir. Gaz, örneğin mikrodalgalarla uyarıldığında, bir plazma oluşur. Bu gazı iyonlaştırır, yani elektrik yük taşıyıcılarına (charge carriers) ayırır. Bu yük taşıyıcıları yeniden birleştirdiğinde, yüksek bir erime noktası olan maddeleri eritmek için kullanılan termik enerji açığa çıkarılır. Plazma metoduyla holojenler düşük basınçlı bir plazmanın (gazın basıncı yaklaşık olarak 100 mbar) yardımıyla reaksiyona girerler ve oksijenle SiO_2 oluştururlar. Bu şekilde üretilen kurum parçacıkları, 1000°C civarında camın bir katmanı olarak direkt bir şekilde çöktürülür (Şekil 7.5).

Plazma alevi, tübün içerisinde yukarı ve aşağı hızla hareket ettiği için, kırılma katsayısı profilinin doğruluğunun artmasını sağlayan binden fazla çok ince katman üretilmektedir.



şekil 7.5 PCVD metodu

- 1 Mikrodalga boşluğu
- 2 Sabit ocak
- 3 Silika tp
- 4 Katı cam katmanı
- 5 Plazma

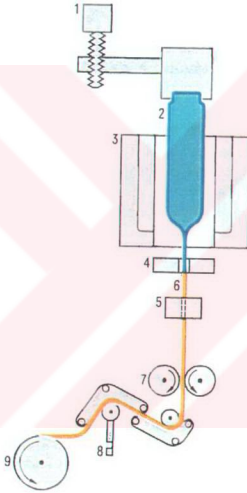
7.3 Fiber ekilmesi

Bir fiberin çekilmesi (fiber drawing) için, nşeklin çekme kulesinde bir yuvaya bağlantısı yapılır (şekil 7.6).

Yuva, besleme mekanizması ile dik olarak ayarlıdır. nşeklin alt ucu, 2000°C'ye kadar bir ısıtma elemanı ile ısıtılır, böylece fiber eriyen nşekilden aşağıya çekilir. Fiberin çapının istenilen değerde sabit kalması için, hem çekme hızı (tipik olarak 300 m/dak.) hem besleme mekanizması, bir otomatik kontrol sistemi ile tam olarak ayarlı olmalıdır.

Çekme sırasında, nşekilden fibere kadar çaptaki azalmanın 300 - 1 arasında olmasının mümkün olmasına rağmen, çekirdek ve ince kaplama camının geometrik oranları aynı kalmaktadır. Ayrıca, kırılma katsayı profili de değişmemektedir.

Çap kontrolünden hemen sonra, fibere coating (kaplama) uygulanır. Genellikle iki katmanlı bir yapısı olan bu plastik coating, fiberin dayanıklılığını artırmak amacıyla kullanılır, burada iç katman mikro bükülmeye karşı korur ve dış katman işlemeyi kolaylaştırır. Coating, ısıtma veya UV kurutması tarafından sertleştirildiğinde, fiberin gerilme dayanıklılığı sıralı test kontrolöründen geçerken kontrol edilir. Kaplanmış fiber, doğru olarak ölçülmüş bir gerilme kuvvetini ona uygulayan silindir tertibi üzerinde ilerlemektedir. Fiber, bir silindirik tambur üzerine sarılmadan önce bu minimum basınca dayanmalıdır.



Şekil 7.6 Fiberin çekilmesinin şematik gösterilişi

- 1 Aşağıya besleme mekanizması
- 2 Önşekil
- 3 Ocak
- 4 Çap kontrolörü
- 5 Coater (kaplayıcı)
- 6 Dalga kılavuzu
- 7 Çekme sistemi (tractor)
- 8 Gerilme dayanıklılığı kontrolörü
- 9 Sarım tamburu

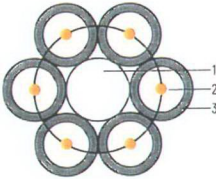
Bir milimetrenin birkaç onda biri kadar boş alanı ve belirtilen bir uzunluğu olan optik fiberin kendisi, fiberin dairesel hareketini sağlayan bu koruyucu tampon tübün içerisinde bulunur. Tampon tübün içi düz olduğu için, fiberin hareketi için mümkün olan en düşük direnci sağlar.

Optik fiberin ve tampon tübün aynı uzunlukta olduğu farz edildiğinde, uygun örgüleme ile tek-fiber gevşek tamponu, kablunun uzunluğunda yüzde 0.4'lük bir değişmeye kolaylıkla izin verebilen ve fiber bükülmeden ya da gerilmeden maksimum iki katı kadar arttırılabilen bir aşırı uzunluk olarak (excess length) görülebilir.

Gevşek tamponun önemli bir avantajı bağlantılar ve ışık beslemeleri için kolaylıkla izolasyonunun soyulabilmesidir. Bu, ekler ve konnektörler için hazırlıklar yaparken çok kullanışlıdır.

Şekil 8.1 ve 8.3, optik fiberin değişik şartlar altında pozisyonunu göstererek tek-fiber gevşek tamponun avantajlarını açıklamaktadır.

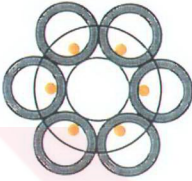
Şekil 8.1, gevşek tamponda hiç gerilmemiş optik fiberin pozisyonunu göstermektedir. Fiberin ve tampon tübünün uzunlukları eşittir.



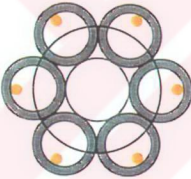
Şekil 8.1 Gevşek tamponda hiç gerilmemiş optik fiberin pozisyonu

- 1 Merkezi parça
- 2 Optik fiber
- 3 Tampon tüp

Optik fiber kablo boyuna genişletildiğinde, örneğin gerilme kuvvetine bağlı olarak, fiber tampon tübün içine doğru başlangıçta temas etmeden veya şekli bozulmadan hareket eder, ve bu da daha yüksek zayıflamaya sebep olabilir. Gevşek tamponun tasarımına bağlı olarak, kablounun boyuna genişmesi, ancak gerilim yaklaşık olarak yüzde 0.5-1'e ulaştığında optik fiberi etkiler. Sadece bunlardan daha yüksek değerler, fiberde zayıflamanın artmasına sebep olurlar (Şekil 8.2).



Şekil 8.2 Kablo boyuna geniştiğinde optik fiberin pozisyonu



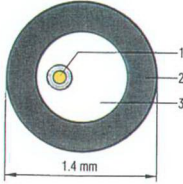
Şekil 8.3 Kablo büzüldüğünde optik fiberin pozisyonu

Eğer kablo büzülürse, optik fiber tampon tübün dışına doğru hareket eder (Şekil 8.3). Burada yine aşırı uzunluk, daha yüksek zayıflama oluşmadan dış şartlara ayarlamayı mümkün kılar. Örneğin, kablolar kışın soğuma nedeniyle büzülür.

Dolgu bileşiği

Bir optik kablo zarar gördüğünde, belli çevresel şartlar altında, tampon tübe su gireceği ve içinde ilerleyeceği tahmin edilmelidir. Suyun donabilmesi ve miktarına bağlı olarak farklı şekilde genişleyebilmesinden (bu yüzden, bölgesel hacim değişiklikleri olabilir ve böylece optik fibere birçok yerinden basınç uygulanır) dolayı, *mikro bükülme* (microbending) ve

zayıflamada istenmeyen artışlar olma riski vardır. Bunu önlemek için, tampon tüp bir bileşikle doldurulmuştur (Şekil 8.4).



Şekil 8.4 Tek-fiber gevşek tampon

- 1 Optik fiber
- 2 Tampon tüp
- 3 Dolgu bileşiği

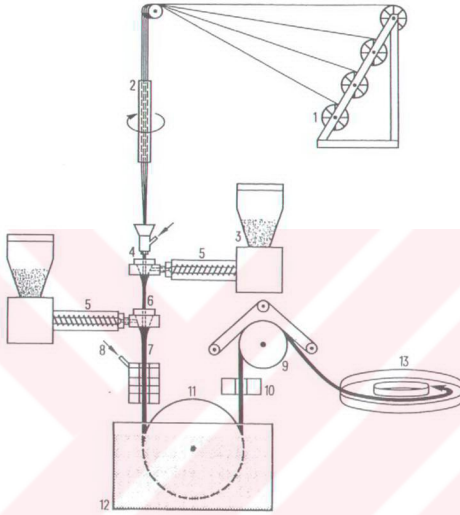
Bu bileşik, biraz thixotropic (karıştırıldığında sıvı hale gelen ve yeniden hareketsiz bırakıldığında katılaşan bazı jellerin bir özelliğidir) ve kimyasal olarak nötrdür, yaygın olabilen -30°C 'den $+70^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar olan sıcaklık aralığında donmaz ve dışarıya damlamaz ve ayrıca optik fiberin coating'ini aşındırmaz ve şişmesine sebep olmaz. Bu bileşik, kolayca silinir ve yıkanır ve fiberlerin bağlanmasını zorlaştıran kalıntılar bırakmaz, ayrıca çabuk yanabilen maddeleri içermez.

8.1.1 Üretim

İmalat işleminde iki ekstruder arka arkaya sıralanmıştır, böylece sürekli bir işlemde gevşek tamponun içi ve dış tübü üretilir. Bu amaçla, eğer sadece bir milimetrenin birkaç onda biri kadar olan tüplerin gerekli duvar kalınlığı sağlanacaksa, çok iyi işleyen ve 250°C civarındaki tampon tüp maddelerinin sabit bir itip çıkarma oranını (extrusion rate) garantileyen bir kontrol sistemine ihtiyaç vardır (Şekil 8.5).

Bu iki katmanlı tampon tübün, bir tek katmanlı tampon tübe nazaran avantajları, maddelerin ve bunların kombinasyonlarının seçiminde daha serbest olunabilmesinde yatmaktadır. Termik ve mekanik problemler, değişik varyasyonların olması sayesinde daha kolay çözülmektedir.

Dolgu maddesinde herhangi yabancı maddeler bulunmaması gerektiğinden, tampon tübün üretim işlemi sırasında, bir enjeksiyon iğnesi yardımıyla tübe direkt olarak sabit basınç altında uygulanmaktadır.



Şekil 8.5 Tampon tübün üretiminin şematik gösterilişi

- 1 Optik fiber makaraları
- 2 Fiber demetleri
- 3 Saçma tanesi şeklinde plastik
- 4 Dolgu bileşiğinin enjeksiyonu
- 5 Vida (extruder)
- 6 İlk tampon tüp
- 7 İkinci tampon tüp
- 8 Soğutma suyu
- 9 Mil
- 10 Çap kontrolörü
- 11 Kenarları oluklu çark
- 12 Soğutma kabı
- 13 Çekme tablası

Gevşek tamponlar için üretim işleminin en önemli yanı, tampon tübün ve optik fiberin uzunluklarının birbirine kesin uymasıdır.

Üzerine bakır tel sarılan geleneksel makaralar, gevşek tamponlarla kullanım için uygun değildir. Bu, kısmen sınırlı kapasitelerine ve kısmen tabakalarının çekme sırasında bir arada kayabilmesine bağlıdır. Bu, gevşek tamponlar arasında kontrolsüz basınç şartlarına sebep olur ve böylece onlara zarar verebilir. Ayrıca, bu tip depolama, optik fiberlerin uzunluğunu gevşek tüplerin uzunluğuna kesin olarak denk getirmeyi zorlaştırırdı. Bu sebepten dolayı, gevşek tamponlar, üretim makinelerinin hemen yanında bulunan büyük yatay tablalar üzerine sarılmaktadır. Bunların yüksek hacimleri (birkaç kilometreye kadar) çekme kapasitesi vardır.

8.2 Çok Fiberli Gevşek Tampon

Bölüm 8.1’de açıklandığı gibi, gevşek tamponların sadece bir optik fiberi olan pratik uygulamalarda kullanışlı olduğu görülmüştür. 1.4 mm’lik dış çapı olan bu tüpler, düşük fiber sayıları olan kablo tesisatlarında kullanılmaktadır.

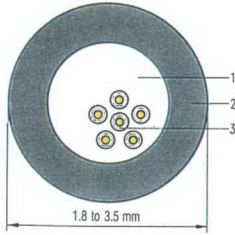
Tek-fiber gevşek tamponları ile, daha çok sayıda optik fiber ile bile kabloları tasarlamak ve üretmek mümkündür. Bununla beraber, kablo tesisatları gitgide karmaşıklaşmaktadır, dış çapları öncekine kıyasla daha büyük olmaktadır ve buna bağlı olarak ağırlıkları çok artmaktadır. Bütün bunlar, pratik uygulamalarını daha zor ve elverişsiz kılmaktadır.

Bu dezavantajları sınırlandırmak için tampon tüpe bir optik fiber koymak yerine, iki ve oniki arasında tek-modlu veya çok modlu fiber, oldukça daha büyük tampon tübün (çapı 1.8-3.5 mm) içerisine yerleştirilir; buna çok fiberli gevşek tampon denmektedir.

Tek-fiber gevşek tamponunda olduğu gibi, boşluk -30°C ’den $+70^{\circ}\text{C}$ ’ye kadar olan bir sıcaklık aralığında damlamayan ve donmayan esnek, biraz thixotropic bir bileşikle doldurulmaktadır (Şekil 8.6).

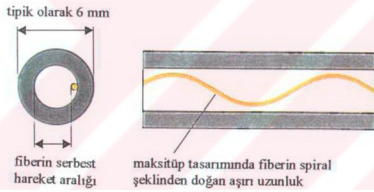
Maksitip, çok fiberli gevşek tamponun daha geliştirilmişidir. Bu, çok sayıda optik fiberi ayrı ayrı ya da fiber demetleri veya şeritleri şeklinde tutabilir. Bu daha büyük tampon tübün (tipik dış çapı 6 mm) içindeki optik fiberler demetlidir. Fiberlerin demetli olması

sebebiyle tampon tübün içinde yaklaşık %0.5'lik bir a ırlı uzunluk meydana gelmektedir ( ekil 8.7). Bu çok fiberli maksitüp, örneğin otomatik desteklemeli havai hat optik kabloları (self-supporting aerial cables) için temel eleman olarak kullanılmaktadır.



Şekil 8.6 çok fiberli gevşek tampon

- 1 Dalga bile i i
- 2 Tampon t p
- 3 Optik fiber



Şekil 8.7 Maksitüp tasarımımda çok fiberli gevşek tampondaki optik fiber a ırlı uzunluğu

8.2.1 Üretim

Çok fiberli gevşek tampon, tek-fiberli gevşek tampona benzer bir şekilde üretilmektedir ( ekil 8.5). Tek fark, tampon tübün boyutlarında yatmaktadır. Örneğin, DIN VDE 0888, Kısım 3'e göre tek-fiber gevşek tamponları için dış çapın i  çapa oranı 1.4 mm / 0.85 mm ve çok fiberli gevşek tampon için 3.0 mm / 1.8 mm'dir.

8.2.2 Tek-fiberli ve çok fiberli gevşek tamponların teknik karakteristikleri

Aşağıda, örnek olarak, Alman Ulusal Standardı DIN VDE 0888 (German National Standard DIN VDE 0888)'e göre tek-fiberli ve çok fiberli gevşek tamponların teknik karakteristikleri sunulmaktadır: boyutlar, renk kodlaması, sıcaklık aralıkları ve kodlar.

Boyutlar

Gevşek tamponların dış çapı için kılavuz değerler Tablo 8.1'de verilmektedir.

Gevşek tamponların duvar kalınlığı, gevşek tamponların dış çapının %20'si civarındadır.

Bu standartlaştırılmış değerlere ek olarak, diğerleri uygulamaya dayanarak pratik için kullanılabilir, örneğin daha uzun tesis uzunlukları için veya bir katman yapısı olan otomatik desteklemeli havai hat kablolar için.

Renk kodları

Tek-fiberli ve çok fiberli gevşek tamponlar genellikle renklidir. Eğer gevşek tamponların bir veya birçok katmanı merkezi bir parçanın etrafında örülü ise, her katmanda gevşek tamponların bir tanesi kırmızı renklidir. İşaret elemanı denilen bu kırmızı tampon tüp yardımı ile o katmanın bütün diğer gevşek tamponlarını tanımak mümkündür. Kablo tamburunun üzerinde yatan kablo ucuna (A ucu) bakarken, kırmızı tampon tübü ile başlayarak saat yönünde sayılır. Değişik bir rengi olan ilk tampon tübüne 1 numara verilir, vs. Çok modlu fiberleri olan tampon tüpleri yeşildir ve tek-modlu fiberleri olan tampon tüpleri sarıdır.

Almanya'da, optik fiberler ve gevşek tamponlar için, Ulusal Standartlar Enstitüsü (National Standards Institute) (DKE) ancak uygun bir uygulama işlemlerine göre dosyalanıp test edildikten sonra kullanılabilen onay logosunu çıkartabilir.

Tablo 8.1 Gevşek tamponların çapı için tipik değerler

	Fiberlerin sayısı	Dış çaplar (mm)
Tek-fiberli gevşek tampon	1	1.4
Çok fiberli gevşek tampon	2-12	1.8-3.5
Çok fiberli maksitüp	> 12	6

Tipik sıcaklık aralıkları

Nakil ve depolama sıcaklığı -20°'den 50°C'e

Tesis etme sıcaklığı 5°'ten 40°C'e

İşletme sıcaklığı 0°'dan 50°C'e.

Kodlar

Almanya'da Ulusal Standartlar Enstitüsü kodları, yapılarını ve anlamlarını tanımlamıştır.

Tablo 9.5 bütün kodları vermektedir.

8.2.3 Tek-fiberli ve çok fiberli gevşek tamponların uygulamaları

Tek-fiberli ve çok fiberli tamponları olan optik kablolar özellikle yüksek kaliteli iletim beklendiği durumlarda kullanılmaktadır (Bu beklentilerin karşılanmasını zorlaştırabilen çeşitli çevresel etkilere rağmen).

Tek veya çok modlu fiberleri olan bina dışı kablolar, bu yüzden genellikle tek-fiberli veya çok fiberli gevşek tamponlarla tasarlanmaktadır. -30 ve 70°C arasındaki sıcaklık değişiklikleri ve gerilim, basınç ve bükülme kuvvetleri gibi genel mekanik etkiler için, standart tasarımda olan kablo tipleri kullanılabilir.

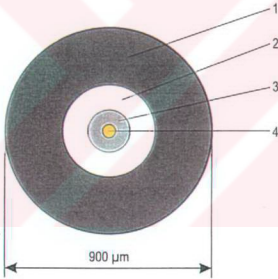
Bu tip tasarımın bir başka avantajı, aşırı çevresel şartlar gibi normalde beklenen değerleri aşan yükler kabloya konduğunda, bu özel uygulamaları karşılamak için tampon tüp için diğer boyutlar ve/veya daha uygun bir madde veya madde kombinasyonlarının seçilebilmesidir. Bunlar, örneğin otomatik desteklemeli havai hat kabloları, denizaltı kabloları veya maden işletmelerindeki shaft kabloları olabilir.

Gevşek tamponlu bu kablolar, çok çeşitli uygulama profilleri ile birlikte Deutsche Telekom AG ve Almanya'daki telekomünikasyon şebekelerinin diğer işleticileri ve ayrıca ülke dışındaki şebekeler tarafından kabul edilmiştir.

8.3 Sıkı Tamponlanmış Fiber

Optik fiberi dış etkilere korumanın basit bir yolu, uygun plastikten yapılan bir sıkı tamponu fiberin coating'i üzerine direkt olarak uygulamaktır (Şekil 8.8). bu tip tampon yapısı, tek-fiberli tampona kıyasla dış çapta büyük bir azalma göstermektedir.

Bununla beraber, bu sıkı tamponlanmış fiberleri olan kablo tesisatlarında yüksek gerilme kuvveti sebebiyle kablounun elastiki boyuna uzaması fiberi direkt olarak etkiler, çünkü gevşek tamponda sağlanan gereken aşırı uzunluk burada eksiktir. Bu dezavantaj, kabloya aramid sargısının kuvvet elemanlarını koyarak kısmen dengeleyebilir.



Şekil 8.8 Sıkı tamponlanmış fiber

- 1 Plastik tampon
- 2 Fiber coating'i, 250 µm
- 3 İnce kaplama
- 4 Çekirdek

Diğer yandan, eğer sıcaklık donma noktasının altına düşerse tampona su girmesinin olumsuz etkileri olabilir. o halde, donan su fibere mekanik basınç uygular ve bu daha kötü iletim özelliklerine ve hatta fiberin yok olmasına sebep olabilir. Bir gevşek tamponlanmış fiberin aşırı uzunluğu vardır ve tampon tüpün içindeki dolgu bileşiği sayesinde suyun girmesine karşı korunmaktadır.

Gevşek tamponlanmış fiberlere kıyasla, sıkı tamponlanmış fiberlerin daha küçük dış çapları ve daha az ağırlıkları vardır. Daha esnektirler ve izolasyonun soyulması, tesis edilmesi ve bağlanabilmeleri daha kolaydır.

Özellikle TBII sıkı tamponlanmış fiberi, hem kullanım kolaylığı hem de fiberin kolay tesis edilmesi ve kutuplanması için yeni endüstri standartlarını belirlemiştir. Bu, kullanıcıların daha büyük tampon uzunluklarını (20 cm'ye kadar) tek bir geçişte kolaylıkla yer değiştirebilmesini sağlar. Bu, 250 μm 'lik coating ve tampon arasındaki teflondan ince bir katmana bağlıdır. TBII fiber zayıflama değerleri EN 187000, EN 50173 ve IEC 794 gibi optik ve mekanik performans için bilinen bütün endüstri standartlarını karşılamaktadır.

Sıkı tamponlanmış fiberi “kompozit tamponlanmış fiber” diye adlandırılardan ayırt etmek önemlidir. Kompozit tamponlanmış fiber 50-100 μm 'lik bir radyal genişliği olan bir kayma katmanında yüzer. Bu kayma katmanının elle tutulması ve temizlenmesi zordur. Ayrıca çok yanıcıdır.

TBII sıkı tamponlanmış fiberinin yani üretilenleri ile, artık standart bina içi kabloları için kompozit tamponlanmış fibere ihtiyaç yoktur.

8.3.1 Üretim

Sıkı tampon üretimi için tampon, genellikle çapı 250 μm ölçüsünde olan optik fibere direkt olarak çekilir. Tamponlanmış fiberin 900 μm 'lik bir dış çapı vardır.

Gevşek tamponların üretiminde olduğu gibi, tamponun bu tek katmanını bir fiber üzerinde üretmenin yatay ve dikey metotları vardır.

Tamponlanmış fiberin kolay soyulmasını sağlamak için, teflondan ince bir tabaka (5-10 μm) plastik tampon üzerine çekilmeden önce, çıplak 250 μm fiberin üzerine püskürtülür.

Tanımlamak amacıyla, tampon maddesi renk ile kodlanmış olabilir.

Tamponun fiber üzerine direkt olarak çekilmesi ve bunun sonucunda fiber üzerinde oluşan küçük basınçtan dolayı iletim performansı, gevşek tamponlanmış fiberinki ile tamamen aynı değildir. Bununla beraber, sıkı tamponlanmış fiberin standart uygulama uzunluğu birkaç yüz metreden fazla olmadığından optik performansın bu bozukluğu uygulamaları hiç etkilemez.

8.3.2 Teknik karakteristikler

Aşağıda, örnek olarak, uluslararası (ISO/IEC 11801) ve Avrupa (EN 50173) standartlarına dayanan sıkı tamponlanmış fiberin teknik karakteristikleri verilmektedir. İletim özellikleri Tablo 8.2’de gösterilmektedir.

Boyutlar

Tek-modlu ve çok modlu sıkı tamponlanmış fiberler için çapın nominal değeri 0.9 mm ve izin verilen tolerans ± 0.1 mm’dir. Nominal ağırlık yaklaşık 0.8 kg/km’dir.

Mekanik özellikler, işletme sıcaklığı

Bir sıkı tamponlanmış fiberin uzun süreli gerilme kuvveti en az 2.5 N olması gerekirken, kısa süreli gerilme kuvveti en az 5 N olmalıdır. Tesis etme (yükli) sırasındaki minimum bükülme yarıçapı 5 cm’den daha az olmaması gerekirken, tesis etme sonrasındaki bükülme yarıçapı en az 3 cm olmalıdır. İşletme sıcaklığı aralığı -5°C ’den $+70^{\circ}\text{C}$ ’ye kadardır (Bu sıcaklık aralığında, zayıflamadaki maksimum değişme 1 dB/km’dir).

Sıkı tamponlanmış fiberlerin yeni üretilenlerinin (örneğin TPII) 20cm’ye kadar soyulması çok kolaydır. Bu sebepten dolayı elle tutulması ve optik performanslarında kayıp olmadan tesis edilmeleri çok kolaydır. Ayrıca, yeni üretilenler, fiberin mikro bükülmesine karşı daha az duyarlıdır.

Maksimum izin verilen gerilme kuvveti 400 N’dir (Fiber sayısına bağlı olarak).

Kodlar

Kodlama açısından Tablo 9.6'ya bakınız.

Tablo 8.2 Sıkı tamponlanmış fiberlerin iletişim özellikleri

Fiber tipi	Dalga boyu (nm)	Zayıflama (dB/km)	Band genişliği (MHz × km)
Çok modlu 62.5 µm	850	3.5	200
	1300	1.0	500
Tek-modlu	1310	<1.0	—
	1550	<1.0	—

8.3.3 Uygulamalar

Sıkı tamponlanmış fiber, bir hat veya atlamalı tip kısa bağlantıların istenildiği bütün durumlarda kullanılabilir; örneğin dolaplar ve raflarda iç kablolama için “pigtail” (optik bağlayıcı ile ek yapılacak optik fiber arasındaki belli bir uzunluktaki optik fiber) için. Bu, ayrıca farklı fiber optik cihazların birbirine bağlanması gerektiği makineler, bilgisayarlar vs içerisinde iletim amacıyla yerleştirilebilir.

Sıkı tamponlanmış fiber kuru bir çevrede kullanılmalıdır. Islak çevre, ancak sıcaklığın donma noktasından aşağıya düşmediği garanti olduğu zaman kabul edilebilir.

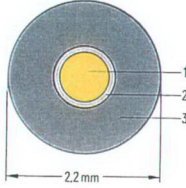
8.3.4 Tamponlanmış plastik optik fiber

Tamponlanmamış plastik optik fiberlere (Bölüm 6.4) ek olarak, dış etkilere korunmak için plastik tamponu olan plastik optik fiberler vardır (Şekil 8.9). 1000 µm'lik bir ince kaplama çapı olan plastik optik fiber için tamponun tipik dış çapı 2.2 mm'dir.

8.4 Çıkış Yelpazesi Tüplemesi

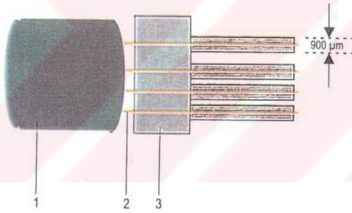
Sıkı tamponlanmış bir fiberin, gevşek tamponlanmış bir fibere kıyasla temel bir avantajı fiberin direkt olarak bağlanabilmesidir, yani bir alana tesis edilebilen konnektör 900 µm'lik sıkı tamponlanmış bir fiberde direkt olarak sonlandırılabilir. Gevşek

tamponlanmış fiberlerin sonlanması sağlamak için, *çıkış yelpazesi (fan-out) tüpü* kullanılmaktadır (Şekil 8.10). 250 μm 'lik gevşek tamponlanmış bir fiber, dış çapı 900 μm olan ve bu yüzden alana tesis edilebilen konnektörler (pigtail bağlantısı olmadan) ile direkt olarak sonlandırmaya uygun olan tüp içerisine yerleştirilir.



Şekil 8.9 Tamponlanmış plastik optik fiber

- 1 Çekirdek
- 2 İnce kaplama
- 3 Tampon tüpü



Şekil 8.10 Çıkış yelpazesi tüplemesinin şematik gösterilişi

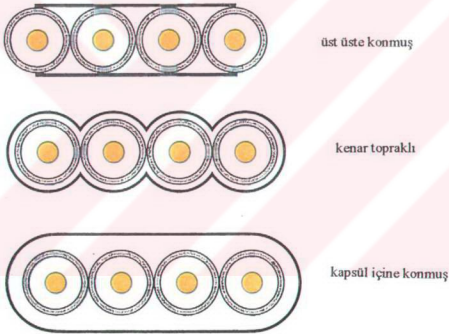
- 1 Çok fiberli gevşek tampon
- 2 Optik fiber, 250 μm
- 3 4 tüplü çıkış yelpazesi, tüplemesi

8.5 Bant Teknolojisi

Bölüm 8.2'de anlatıldığı gibi, çok fiberli gevşek tampon veya maksitüp birkaç farklı optik fiberi içine almayı başarmıştır. Paketleme yoğunluğu ve fiber ek yapma teknikleri açısından, bant teknolojisi bu tampon dizaynını daha da geliştirebilir.

Bu teknolojide, 2 ya da daha fazla optik fiber, bir bant oluşturmak için düzenli bir şekilde birleştirilmiştir. Optik fiberler ayrı ayrı eşit aralıklarla ve bir katmanda birbirlerine paralel olarak yerleştirilmiştir. Bağlantı şekillerine göre 3 bant tipi ayırt edilebilir: Üst üste (sandwiched) konmuş, kenar topraklı (edge bonded) ve kapsül içinde (encapsulated) konmuş (Şekil 8.11).

Bu üç metot da ayrı ayrı optik fiberler, ya iki polyester yapışkan tabaka arasında bir katmanda bir arada topraklanmıştır, ya tabaka olmadan kenarlarından bir arada yapıştırılmışlardır ya da plastik coating ile tamamen kaplanmışlardır ve böylece birbirine sıkı bağlanmışlardır. Bantlar, dikdörtgen arakesiti olan bir küme oluşturarak birbirlerinin üstüne yığılabılır. Böylece, oluklu çekirdek kablusunun doğru boyutlandırılmış oluklarına veya maksitüp kablolarına yerleştirilebilirler (Bölüm 9.1.1).



Şekil 8.11 Optik fiber bant tipleri

9 OPTİK KABLO TASARIMI

Haberleşme kablo teknolojisindeki optik fiberlerin çok farklı uygulamaları, çeşitli kablo yapısı tasarımlarını gerektirmektedir. Bu kabloların tasarımı, bunlara karşılık gelen boyutları ve maddeleri belirtmektedir. Bölüm 8’de belirtildiği gibi fiber tamponun yapısına bağlı olarak, optik kablonun uzun bir servis ömrü boyunca güvenilir bir şekilde işletilebilmesi için kablo çekirdeği, kılıf ve gerektiğinde zırhlama (armoring) ve koruma örtüsü seçilmektedir. Bu kablolardaki optik fiberlerin sıcaklık değişimleri ve mekanik kuvvetler gibi çevresel etkilere karşı korunmalarına özellikle önem verilmektedir.

9.1 Kablo Çekirdeği

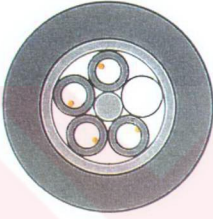
Tek-fiberli ve çok fiberli gevşek tamponları olan optik fiberlerin mekanik dayanıklılığını arttırmak için, bu tamponlar bir *merkezi eleman* etrafına örülmüşlerdir. Burada merkezi eleman hem destek (kablo düğümlemesine karşı bükülme korunması) hem de gerilim azaltma elemanı olarak iş görmektedir. Genellikle *demetlemeye* (stranding) bağlı olarak, optik fiberlerin iyi tanımlanmış boş bir alanları vardır; bu alan içerisinde gerilim, bükülme, basınç ve tabii ki bükülme kuvvetlerinin, iletim karakteristikleri üzerinde hiçbir etkisi olmaz. Tek-fiberli ve çok fiberli gevşek tamponlara, sıkı tamponlanmış fiberlere, kompozit tamponlanmış fiberlere veya bant tasarımlarına ek olarak *dolgular* (fillers) onlarla birlikte demetlenebilir; yani optik fiberleri olmayan tampon tüpleri ya da sadece katı PE dolgular, ve ayrıca çiftler veya dörtlükler halinde bakır teller. Kablodaki demetleme elemanlarının bütün konfigürasyonu bükülme önleyici, dayanıklılık elemanları ve etrafında sarılanlar ile birlikte kullanıldığında *kablo çekirdeği* olarak adlandırılmaktadır.

9.1.1 Demetleme

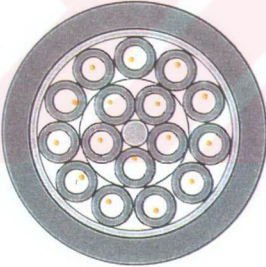
Optik kablo teknolojisinde kablolar katmanlar halinde demelenirler. Böylece demetleme elemanları, merkezi bir eleman etrafında bir ya da birkaç katman halinde eş merkezli (concentric) olarak düzenlenir (Şekil 9.1 ve 9.2). Demetleme elemanları ayrı ayrı elemanlar ise (örneğin tek-fiberli gevşek tamponlar, çok fiberli gevşek tamponlar, dolguların bakır telleri) kablo bir optik *katman kablosu* olarak tanımlanabilir; diğer yandan kablo çekirdeği,

demetlenmiş eleman ünitelerinden oluşan demetleme elemanlarından meydana gelmişse optik *ünite kablosu* olarak tanımlanmaktadır.

Telekomünikasyon idarelerinin şehirlerarası şebekesinde çok fiberli gevşek tamponları olan katman kabloları yaygındır (Şekil 9.3). Yerel şebekelerde, hem katmanlarda demetlenmiş kablolar (Şekil 9.1 ve 9.2) ve ünite kablo yapıları (Şekil 9.4) kullanılmaktadır, çünkü bir ünite kablosu ile paketleme yoğunluğunu büyük ölçüde arttırmak mümkündür.



Şekil 9.1 Bir katmanda tek-fiber gevşek tamponları olan katman kablosu



Şekil 9.2 İki katmanda tek-fiber gevşek tamponları olan katman kablosu

Her birinin çapı D olan n kadar demetleme elemanının tek katmanlı optik kablосundaki geometrik ilişkiler (Şekil 9.5), a , b , c , e parametreleri ve demetleme açısı α yardımıyla aşağıdaki gibi açıklanabilir:

$$a = \frac{1}{\sin \pi/n};$$

$$b = \frac{1}{\tan \pi/n} ;$$

$n = 2$ ise $b = 0$ olduğunda ;

$$c = \frac{1}{\sin \alpha},$$

$$e = \sqrt{c^2 + \frac{1-c^2}{a^2}}$$

Arakesitin toplam dış çapı

$$D_1 = D (ae + 1)$$

ve çekirdek çapı

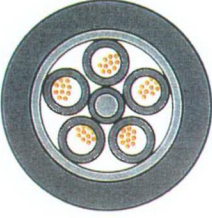
$$d = D (ae - 1)$$

Ayrıca dıştaki boşluk çapı

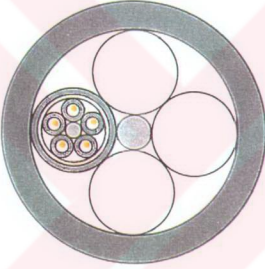
$$d_1 = \frac{D (1+a-b)^2}{2 (2+a-b)}$$

ve içteki boşluk çapı

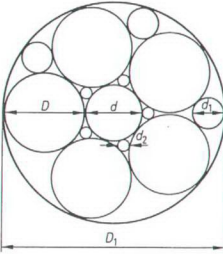
$$d_2 = \frac{D (1-a+b)^2}{2 (2-a+b)}.$$



Şekil 9.3 Bir katmanda çok fiberli gevşek tamponları olan katman kablosu



Şekil 9.4 Ünite kablosu



Şekil 9.5 Kablo çekirdeğinin şematik gösterilişi

Tablo 9.1 Kablo çekirdeğinin hesaplanması için farklı çap değerleri

Katmandaki eleman sayısı	Toplam dış çap D_1	Çekirdek çapı d	Dıştaki boşluk çapı d_1	İçteki boşluk çapı d_2
2	2.000 D	0.000 D	0.667 D	0.000 D
3	2.155 D	0.155 D	0.483 D	0.063 D
4	2.414 D	0.414 D	0.414 D	0.108 D
5	2.701 D	0.701 D	0.378 D	0.136 D
6	3.000 D	1.000 D	0.354 D	0.155 D
7	3.305 D	1.305 D	0.339 D	0.168 D
8	3.613 D	1.613 D	0.327 D	0.178 D
9	3.924 D	1.924 D	0.318 D	0.186 D
10	4.236 D	2.236 D	0.311 D	0.192 D
11	4.549 D	2.549 D	0.305 D	0.197 D
12	4.864 D	2.864 D	0.300 D	0.202 D

Tablo 9.1'de, $c = 1$ olan $n = 2$ -12 kadar demetleme elemanları için bu çapların değerleri verilmiştir.

Oluklu çekirdek kablolu (slotted core cable), tek katmanlı katman kablusunun özel bir tasarımıdır (Şekil 9.6). Bu kabloda optik fiberler, tampon tüplerinin içerisinde ve katmanlarda demetlenmiş olacağına, merkezi elemanın yüzeyinde önceden şekillenmiş spiral oluklar veya oluklarda yatmaktadır.

Merkezi elemandaki bu olukların büyüklüğü ve biçimine bağlı olarak, bir veya daha çok fiber ya tek tek ya da bir fiber bandı veya bant yığını olarak olukların içerisinde serbest olarak hareket edebilirler (Bölüm 8.8). Gevşek tamponlarda olduğu gibi, bu oluklar genellikle bir bileşikle doldurulmuştur. Doldurulmamış kablo tasarımlarının gerektiği durumlarda, suyun içeri girmesi, suyu bloke etme şeridi veya şişme sargısının (swelling yarn) kullanımı ile önlenabilir.

Kablonun fiber sayısını daha çok arttırmak için, ayrı ayrı oluklu çekirdek kablo elemanları bir genel dış kılıfın içerisinde üniteler halinde demetlenebilir. Bu tasarımda, 100 optik fiberden fazla bir fiber sayısı olan kabloların, optik fiberlerin düzgün pozisyonlarına bağlı olan yüksek paketleme yoğunluğu ve basitleştirilmiş bağlantı yapma teknolojisi vardır.

Maksitüp kablosu, optik kablo tasarımının diğer özel bir örneğidir, bir merkezi eleman etrafında demetlenmiş olan demetleme elemanları yoktur. bunun yerine, optik fiberlerin kendileri daha büyük birçok fiberli gevşek tampon içerisinde demetlenmiştir, ve bu maksitüp kablounun merkezi elemanı olarak iş görmektedir. Böyle bir tasarım, özellikle basit ve kompaktır. Örneğin optik topraklama tellerinde (optical ground wires) uygulanmaktadır (Bölüm 9.5.4).

İki demetleme metodu vardır:

Spiral demetleme ve

Ters döşeme (SZ) demetlemesi

Spiral demetlemede (helical stranding) demetleme elemanları kablounun uzunlamasına eksenine bir sabit açı ile tek yönde demetlenmiştir.

Ters döşeme demetlemesinde (reverse lay stranding) (SZ), demetleme yönü önceden kararlaştırılan belli bir sayıdaki sarımdan sonra tersine döner; şöyle ki, demetleme elemanları ilk önce kablo eksenı boyunca bir S şeklini ve sonra ters döndükten sonra bir Z şeklini alır. Ters dönme noktasında kablounun eksenine paralel olarak bulunmaktadırlar (Şekil 9.7).

Demetleme elemanlarının esnekliğine bağlı olarak, elemanları doğru demetleme pozisyonunda tutmak için bir bağlayıcı, ters döşeme demetlemesinde demetlenmiş elemanlar etrafında sarılmalıdır.

Spiral demetlemede, demetleme elemanları, spiral merdivene benzer bir vida tipi hattı oluşturmaktadır. 360°'lik tam bir dönüşten sonraki aralık uzunluğu *S döşeme uzunluğu* olarak adlandırılır. Demetleme elemanları ve kablo ara-kesiti arasındaki açı, demetleme eğimi veya *demetleme açısı* α diye adlandırılır. Kablo eksenı ve demetleme elemanının orta noktası arasındaki mesafe *demetleme yarıçapı* R diye adlandırılır. Böylece, demetleme elemanının uzunluğu L ve demetleme açısı α (Şekil 9.8) şu şekilde hesaplanabilir

$$L = S \sqrt{1 + \left(\frac{2\pi R}{S} \right)^2};$$

$$\alpha = \arctan \frac{S}{2\pi R},$$

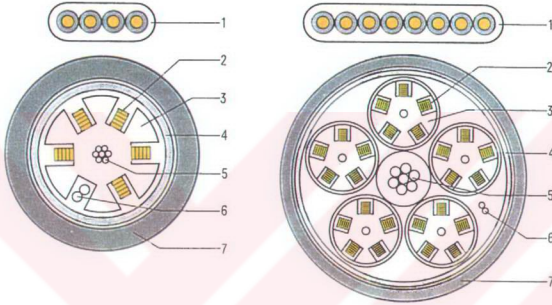
R mm olarak demetleme yarıçapı

L mm olarak demetleme elemanının uzunluğu

S mm olarak döşeme uzunluğu

α derece olarak demetleme açısı

$2\pi R$ demetleme dairesinin çevresi



Şekil 9.6 100 ve 1000 optik fiberi olan oluklu çekirdek kablosu

- 1 Optik fiber bandı
- 2 Bant yığımı
- 3 Oluklu çekirdek merkezi elemanı
- 4 Suyu bloke etme şeridi
- 5 Gerilme elemanı
- 6 Bükümlü bakır çift
- 7 PE dış kılıf

Demetleme sebebiyle, demetleme elemanları uzunlamasına eksene paralel olmaları gerektiği durumdakinden daha uzun olmalıdır. Demetlemeye bağlı olan aşırı uzunluk yüzde olarak verilmiştir.

$$Z = \frac{L - S}{S} \times \%100 = \left\{ \sqrt{1 + \left(\frac{2\pi R}{S} \right)^2} - 1 \right\} \times \%100$$

$$= \left(\frac{1}{\sin \alpha} - 1 \right) \times \%100,$$

% olarak demetlemeye bağı olan Z aşırı uzunluğu.



Şekil 9.7 Ters döşeme demetlemesi

- 1 S yönü
- 2 Z yönü
- 3 SZ demetlemesi



Şekil 9.8 Döşeme uzunluğu, demetleme açısı ve demetleme elemanlarının uzunluğu arasındaki ilişki

- α Demetleme açısı α
- 1 Döşeme uzunluğu S
 - 2 Demetleme elemanının uzunluğu L
 - 3 Demetleme dairesinin çevresi $2\pi R$

Vida hattı veya helis (helix) üç boyutlu bir eğridir; *eğrilik yarıçapı* (radius of curvature) veya *bükülme yarıçapı* (bending radius) aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$Q = R \left\{ 1 + \left(\frac{S}{2\pi R} \right)^2 \right\},$$

Q mm olarak bükülme yarıçapıdır.

Bir optik fiberin dayanıklılığı ve zayıflama performansı için çok fazla bükülmemesi önemlidir. Bunun bir ölçüsü minimum izin verilen yarıçapı Q 'dur. Standart fiberler için tipik bir değer $Q = 65$ mm'dir. Bükülme yarıçapı Q ve demetleme yarıçapı R 'nin ikisi de verilirse döşeme uzunluğu

$$S = 2\pi R \sqrt{\frac{Q}{R} - 1}.$$

Örnek

Döşeme uzunluğu $S = 102$ mm, demetleme yarıçapı $R = 4.3$ mm ve spiral demetlemesi olan bir optik kabloda, demetlemeye bağlı olan aşırı uzunluk şöyle hesaplanır:

$$Z = \left\{ \sqrt{1 + \left(\frac{2\pi \times 4.3}{102} \right)^2} - 1 \right\} \times \%100 = \%3.4.$$

Bu yüzden, kablo uzunluğunun her 100 m'si için demetleme elemanları 3.4 mm daha uzundur.

Demetleme açısı α

$$\alpha = \arctan \frac{S}{2\pi R} = \arctan \frac{102}{2\pi \times 4.3} \approx 75.2^\circ.$$

Buna karşılık gelen bükülme yarıçapı

$$Q = 4.3 \left\{ 1 + \left(\frac{102}{2\pi \times 4.3} \right)^2 \right\} \text{mm} \approx 65.6 \text{ mm}.$$

Ters dölşeme demetlemesinde kablo çekirdeği boyunca bükölme yarıçapı değişir; ters dönme noktalarında bir maksimuma ve ikisi arasındaki yarı yol noktalarında bir minimuma ulaşmaktadır.

şekil 9.9'da, bir sabit demetleme yarıçapı olan dölşeme uzunluğu S 'nin bir fonksiyonu olarak bükölme yarıçapı Q , ters dölşeme demetlemesinin ve kıyaslamak için spiral demetlemesinin iki aşırı durumunu göstermektedir.

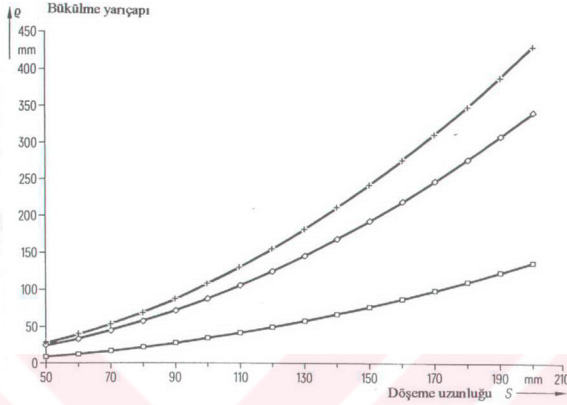
Pratik uygulamalarda, ters dölşeme demetlemesi için spiral demetlemenin denklemlerini kullanmak yeterlidir.

Aşağıda iki bükölmenin süperpozisyonunun nasıl hesaplandığı gösterilmektedir. Örneğin, ünitelerin demetleme elemanlarının bükölme yarıçapının Q_1 olduğu ve kablo çekirdeğinin yine Q_2 bükölme yarıçapı ile demetlendiği bir ünite kablosunda böyle bir durum oluşmaktadır. Optik fiberler için oluşan toplam bükölme yarıçapı Q aşağıdaki gibidir.

$$\frac{1}{Q} \leq \frac{1}{Q_1} + \frac{1}{Q_2}$$

9.1.2 Boyuna genleşme ve büzölme

Bükölmeye ek olarak tampon tüplerdeki optik fiberin boyuna genleşmesi ve büzölmesi sınırlı olmalıdır, böylece belirli bir gerilme yükü için ve optik kablo için verilen bir sıcaklık aralığında, ne iletim parametrelerinde izin verilmeyen değişmeler oluşur ne de optik fibere zarar gelir. Tek-fiberli ve çok-fiberli gevşek tamponlarda fiberlerin tampon tüpleri içerisinde serbestçe hareket ettikleri bilinmektedir. Nötr halde (basınç olmadan), tampon tüpün merkezine yerleştirilmişlerdir. ΔR toleransları, tampon tüpün iç çapı d_i ve dış çapı d_f yardımıyla hesaplanmaktadır (şekil 9.10). Çok fiberli gevşek tampon tüpünde, d_f fiberleri mümkün olduğu kadar çevreleyen hayali bir dairenin çapı olarak ele alınmalıdır.



Şekil 9.9 Bükülme yarıçapı Q 'nın bir fonksiyonu olarak döşeme uzunluğu S

- + SZ demetlemesi (max.)
- ◇ Spiral demetleme
- SZ demetlemesi (min.)

Bir optik kablounun uzunluğundaki bağıl değişme $\Delta L/L$, yani izin verilen kablounun boyuna genişlemesi ε_K veya büzülmesi ε_{TK} (sıcaklığa bağlı büzülme), demetleme çapı R ve döşeme uzunluğu S olan bir optik katmanlı kabloda şöyledir:

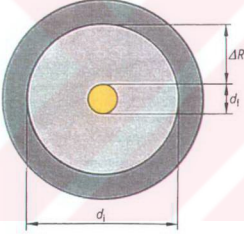
$$\varepsilon = -1 + \sqrt{1 + \frac{4\pi^2 R^2}{S^2} \left(2 \frac{\Delta R}{R} \pm \frac{\Delta R^2}{R^2} \right)},$$

Burada parantez içindeki ifadedeki artı işareti *kablo büzülmesini* ε_{TK} ve eksi işareti *kablounun boyuna genişlemesini* ε_K ifade eder. Bu denklem şu sonucu verebilir.: döşeme uzunluğunun kısaltılması, kablounun izin verilen boyuna genişlemesinde veya büzülmesinde önemli bir artışa sebep olur. Bununla beraber, çok modlu ve tek-modlu fiberler için farklı olan izin verilen bükülme yarıçapı ele alınmalıdır (Bölüm 9.1.1).

Örnek

Bir tipik çok fiberli gevşek tamponda (iç çapı $d_i = 1.8$ mm), hepsinin ortak toplam toleransı $\Delta R = (1.8\text{mm} - 1.0\text{mm})/2 = 0.4$ mm olan 10 tane dereceli katsayı fiberinin (çapı $d_f = 4 \times 0.25\text{mm} = 1\text{mm}$) vardır. Döşeme uzunluğu $S = 102$ mm ve demetleme yarıçapı $R = 4.3$ mm olan maksimum izin verilen kablo boyuna genleşmesi

$$\varepsilon_K = -1 + \sqrt{1 + \frac{4\pi^2 4.3^2}{102^2} \left(2 \frac{0.4}{4.3} - \frac{0.4^2}{4.3^2} \right)} \approx 0.0062 = 6.2\%.$$



Şekil 9.10 Tampon tüpü

Maksimum izin verilen gerilme kuvveti $F_{\max}$ 'ı hesaplamak için, kablodaki malzemelerin ara-kesit bölgelerini A_i ve Young modüllerini E_i (Tablo 9.2) bilmek gerekmektedir. Bütün ürünlerin toplamı $E_i A_i$ ile maksimum izin verilen kablo boyuna genleşmesi ε_K 'nın çarpımı, optik fiberlerine basınç uygulanmayan bir kablonun maksimum izin verilen gerilme kuvvetini vermektedir:

$$F_{\max} = \sum_i E_i A_i \varepsilon_K$$

Pratik uygulamalarda, tamponlanmış fiberler etrafında demetlenmiş olan ve merkezi elemanla birlikte gerekli gerilme dayanıklılığını sağlayan merkezi eleman ve dayanıklılık elemanı içindeki malzemeleri ele almak yeterlidir. Bu, kablo çekirdeğinin merkezine ve çevresine gerilme kuvvetlerini düzgün olarak dağıtır. Kabloda kullanılan diğer malzemeler, on üssü kadar küçük olan bir Young modülüne sahiptirler; böylece ara-kesit bölgesinin $F_{\max}$ üzerinde az etkisi vardır.

Tablo 9.2 Young modülü, yoğunluk ve lineer termik genişleme katsayısı (Oda sıcaklığındaki tipik değerler)

	Young modülü (N/mm ²)	Yoğunluk γ (g/cm ³)	Lineer termik genleşme katsayısı α (1/K)
Erimiş silika cam	72500	2.20	5.5×10^{-7}
Termoplastik polyester (PBTP = polibütlen tereftalat)	1600	1.31	1.5×10^{-4}
Poliamid (PA)	1700	1.06	7.8×10^{-5}
Polikarbonat	2300	1.20	6.5×10^{-5}
Aramid sargısı	100000	1.45	-2×10^{-6}
Merkezi eleman için esnek çelik	200000	7.85	1.3×10^{-5}
LDPE (Düşük yoğunluk PE)	200-300	0.918-0.925	$1 - 2.5 \times 10^{-4}$
MDPE (Orta yoğunluk PE)	400-700	0.926-0.940	$1 - 2.5 \times 10^{-4}$
HDPE (Yüksek yoğunluk PE)	1000	0.941-0.965	$1 - 2.5 \times 10^{-4}$
Yumuşak-PVC	60	1.31	1.5×10^{-4}

Bir GRP (Glass reinforced plastic) (cam ile takviye edilmiş plastik) elememnti, bir tamamen dielektrik optik kablodaki (metalik elementleri olmayan kablo) mrkezi eleman için malzeme olarak kullanılmaktadır; yıpranma direnci (age-resistant) ve sabit sıcaklığı olan reçine içerisinde topraklı olan çok kuvvetli cam flamalardan oluşmaktadır. Dielektrik olmayan bir kabloda çelik bir element de kullanılabilir. Bir mevcut GRP elementi veya çelik elementin çapı kablo çekirdeği için yeterli değilse, çapı arttırmak için sıkı bir şekilde yapışan bir PG koruyucu tabakası uygulanabilir. Aramid sargıları ve/veya cam elementleri dayanıklılık elemanları olarak kullanılmaktadır. Hem esnek hem hafif olan bu sargılar yüksek gerilme dayanıklılığı olan bir sarım oluştururlar.

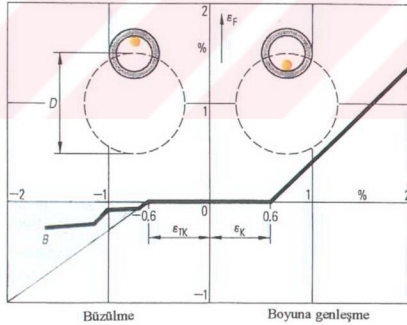
Genellikle, sadece tesis etme sırasında bir faktör olan gerilme kuvvetine ek olarak, bir optik kablo ayrıca servis ömrü boyunca belirli bir aralık üzerinde sıcaklık değişikliklerinin etkilerine dayanabilmelidir. Özellikle büzülme kuvvetleri dengelenmelidir; bunları tampon

tüplerindeki ve kablo kılıflarındaki plastik maddelerin büzülmesinden dolayı düşük sıcaklıklarda oluşmaktadır.

Sıcaklık değişimi ΔT başına uzunluktaki bağıl değişimi ε_{TK} açıklayan, lineer termik genişleme katsayıları bazı maddeler için Tablo 9.2’de verilmektedir.

$$\varepsilon_{TK} = \Delta L / L = \alpha \Delta T$$

Bir kablunun boyuna genişlemesi ve büzülmesi arasındaki ilişki, bir gevşek tampondaki bir optik fiberin toleransına bağlı olarak bir kez daha Şekil 9.11’de gösterilmektedir. Sol tarafta büzülme gösterilmektedir; burada optik fiber yaklaşık $\varepsilon_{TK} = \% 0.6$ ’da tampon tüpün iç kısmının üst tarafına değer, ve daha büyük büzülme halinde (yani daha düşük sıcaklıkta) fiberin kendisi bükülür ($\Delta F < 0$). Şeklin sağ tarafı, gerilme kuvvetlerine bağlı olarak boyuna genişleme için ters durumu göstermektedir. $\%6$ civarında optik fiber tampon tüpün iç kısmının alt tarafına değer ve sadece gerilme kuvvetindeki fazladan bir artıştan sonra kendisi boyuna genişler.



Şekil 9.11 Demetlenmiş tek-fiberli gevşek tamponlar için optik fiberin boyuna genişlemesi ε_F , kablunun boyuna genişlemesi ε_K ve kablunun büzülmesi ε_{TK}

D Demetleme çapı

B Bükülme bölgesi

9.1.3 Kablo çekirdeğinin doldurulması

İçine su girdiğinde bir optik kablunun boyuna gerginliğini sağlamak için, kablo çekirdeğindeki boş aralıklar çok yüksek basınçta (yaklaşık 15 bar) bir bileşik ile doldurulmaktadır. Bu bileşik diğer kablo elementlerinin özelliklerine zarar vermeyen bir bileşim olmalıdır. Bileşiğin PE kılıfı üzerinde az miktarda bir şişme etkisi ve nispeten düşük termik genleşme katsayısı vardır. Petrole karşı dayanıklı bir engel katmanı ve kablo çekirdeği etrafına sürülmüş esnekliği azalmış(relaxing) termoplastik yapışkan (erimiş tutkal), optik kablunun esnekliğine zararlı etkiler olmaksızın bir yandan dolgu bileşiği için ek bir engel olarak ve diğer yandan gerilmeye dayanıklı sarım ve kablo kılıfı arasında dikişsiz bir bağlantı olarak iş görmektedir.

Su geçirmemenin gerekmediği durumlarda (bu durum genellikle bina içi kablolarda geçerlidir), çekirdeği doldurmaya gerek yoktur. sonraki üretim aşamaları sırasında kablo çekirdeği içindeki demetleme elemanlarının korunması için ve dayanıklılık elemanlarının ve kılıf maddesinin aralıkların dışında tutulması için, kablo çekirdeği plastik folyadan bir veya birkaç ince katman ile sarılmaktadır. Kabloların kaynağını tanımlamak için, yani bir optik kablunun üreticisinin ismini tanımlamak için, kılıflama sırasında üreticinin tanımlama ipliği eklenmektedir; bu genellikle kablo eksenine paralel, demetleme elemanlarının tam üzerinde olmaktadır (örneğin Siemens için yeşil-beyaz-kırmızı-beyaz ve Siecor için kırmızı-kırmızı-yeşil-siyah'tır).

Tüketicinin isteği doğrultusunda, bir ölçme bandı da eklenebilir. Bu, üzerinde sürekli metre işaretleri yazılı olan 6 mm genişliğinde kağıttan bir şerittir. Kablo kılıfı üzerinde yazılı olan uzunluk işaretlerine ek olarak, bu ölçme bandı uzunluğu tanımlamanın başka bir yolunu sağlamaktadır. Bu ölçme bandının, uzunluğu ölçmedeki doğruluğu $\% \pm 0.3$ kadardır.

9.2 Kablo Kılıfı

Kablo kılıfı, optik çekirdeği aşağıdakilerden korumalıdır:

- mekanik,

- termik ve
- kimyasal etkiler,
- ve ayrıca dış ortamdaki nem.

Genelde kullanılan kablolarda olduğu gibi, eldeki şartlara bağlı olarak seçilmek üzere belli bir sayıda kılıf tipi bulunmaktadır. Popüler ve ispatlanmış olan polietilen (PE) (bir engel katmanı olan veya olmayan, örneğin alüminyumdan) en çok kullanılandır. Genellikle bina içi kablolarda kullanılan polivinil klorit (PVC)'e ek olarak, özel uygulamalar için başka kılıf maddeleri de bulunmaktadır, örneğin perfloretilen propilen (FEP), perfloralkoksi kopolimer (PFA) ve etilen vinil asetat (EVA).

Dolgulu kablolar için metalsiz bir kılıf yapısı gerekiyorsa, poliamid (PA) – termoplastik yapışkan (erimiş tutkal) gibi plastik maddeden bir engel katmanı, kablo kılıfı ile iplikler ya da dolgu bileşiği arasına eklenmelidir. Bu, dolgu bileşiğinin kablo çekirdeğinden kılıfa doğru sızmasını engellemektedir.

Bu katman, kılıfa eklenmeden önce aynı işlem aşamasında uygulanmaktadır. Termoplastik yapışkandan (erimiş tutkal) dolayı, aramid sargılarıyla kablo kılıfı ve çekirdeğinin çok sıkı bağlantısı sağlanmıştır. Bu, optik kablolar bir oluktan çekildiğinde çok avantajlıdır.

Teorik olarak, metal kılıflar (örneğin, kurşun veya oluklu çelikten olan kılıflar) ayrıca optik kablo çekirdekleri üzerinde kullanılabilir. Bununla beraber, kablo bir oluktan çekildiğinde oluşabilen gerilme kuvvetlerinin, kablounun sürekli boyuna genleşmesine sebep olabileceği ve uzun vadede optik fiberin iletim özelliklerini etkileyebileceği gerçeğini ele almak gerekmektedir.

PE kılıfı

Kodu 2Y olan bir termoplastik (Ek Bilgi 15.3) ve etilenin bir polimerleşme ürünü olan polietilen (PE), bir düşük dielektrik sabiti ve bir düşük kayıp faktörü avantajına sahiptir. Polar olmama davranışına bağlı olarak, geniş bir sıcaklık aralığı boyunca çoğunlukla sabit dielektrik özellikleri vardır; bu yüzden elektrik kablolarında yaygın bir şekilde

kullanılmaktadır. Bütün normal mekanik ve kimyasal gereksinimleri karşılar ve özellikle bina dışı kablolar için kullanışlıdır.

Optik iletişimasyon kablolarının çok çeşitli özel uygulamaları için PE çeşitleri vardır. Özellikle, düşük yoğunluklarına, yüksek akışkanlıklarına, boyuna genişleme miktarlarına ve kolay işletilebilirliklerine bağlı olarak, optik kablo çekirdeklerini kılıflamak için kullanılmaktadırlar. Temel farklılıklar, düşük yoğunluk PE (LDPE), orta yoğunluk PE (MDPE) ve yüksek yoğunluk PE (HDPE). Young modülü, yoğunluk ve lineer termik genişleme katsayısı Tablo 9.2’de bulunabilir.

Kablo kılıfı üzerindeki yüksek basınçlar için özel PE maddeleri bulunmaktadır. Çoğunlukla lineer moleküler bir yapıları vardır ve yeni bir düşük basınç tekniğiyle bir katalizör yardımıyla üretilmektedirler. Bunlar, lineer düşük yoğunluk PE (LLDPE) ve lineer orta yoğunluk PE (LMDPE)’dir.

Bazen, genelde kullanılan kablo teknolojisinden bilinen kompozit katmanlı kılıf veya yapraklı alüminyum PE (LAP) kılıfı kullanılmaktadır. 0.2 mm kalınlığında olan bir alüminyum bant iki tarafında plastik maddelere (kopolimerizat) yapışan bir yapışkanla örtülmektedir. İletim sırasında dış tabaka extrusion (alüminyum bandın iki tarafına yapışkan sürülmesi) işlemindeki ısıdan dolayı PE kılıfına yapışır (extruded). İç tabaka üst üste binme bölgesinde yapışkan olarak kullanılır. PE kılıfın (siyah) nominal kalınlığı ve kompozit katmanlı kılıftaki PE kalınlığı genellikle 2.0 mm’dir.

Kablo çekirdeğinin üzerinde sıkı bir şekilde sarılması gereken PE kılıfı bir extrusion işleminde uygulanmaktadır.

PVC kılıfı

Tip kodu Y (Ek-Bilgi 15.3) olan polivinil klorit (PVC) kılıfları, genellikle bina içi kablolar için kullanılmaktadır. Kılıfın rengi genellikle gridir.

PVC, toprakta zarar verici çöküntülerin beklendiği yerlerde kullanılan bina dışı kablolar için uygundur. Bu amaçla, PVC kılıfı karışımı petrole karşı dayanıklılığına göre seçilebilir.

Bir PVC kılıfı, ayrıca aleve karşı dayanıklılık gerektiğinde tavsiye edilir. Fakat bu durumda halojensiz aleve karşı dayanıklı polimerlerin (tip kodu H) gitgide PVC'lerin yerini aldığına dikkat etmek mümkündür.

Florlu plastik kılıf

Tip kodu 6Y (Ek-Bilgi 15.3) olan florlu plastik maddesi perfloretilen propilen (FEP), PFA'da olduğu gibi viskoelastik bir maddedir, ve özellikle iyi elektriki, mekanik, termik ve kimyasal özelliklere sahiptir. İkisi de, özellikle 100°C'den daha yüksek sıcaklıklar oluştuğu zaman optik kabloları kılıflandırmak için kullanılmaktadır. Bu durumlarda, optik fiberin kendisi de dahil diğer kablo elemanlarının beklenen sıcaklıklara dayanabileceklerine dikkat edilmelidir. FEP ve PFA kılıfları pürüzsüz yüzeylere sahiptirler ve aşındırmaya karşı dayanıklıdır.

Halojensiz kılıf

Tip kodu H (Ek-Bilgi 15.3) olan etilen vinilasetat (EVA) içeren maddelerden yapılan kılıflar, alüminyum trioksihidrat ağırlığı ile %50'e kadar dolguya sahiptir. Bunlar, aleve karşı dayanıklılık ve halojensizlik gerektiğinde tercih edilmektedir. Bu durumlarda PE, PVC ve florlu plastikler bile uygun değildir.

250°C'den yüksek sıcaklıklarda alevlerin etkisi ile alüminyum trioksihidrattan su ayrılmaktadır. Bu ayrışma ve suyun buharlaşması yoluyla alevler enerji kaybederler. Sıcaklık, ateşi sürdürmek için gerekenden aşağıya düşer ve yanıcı olmayan gazlar ve oksijenin konsantrasyonu, buharın eklenmesiyle azaltılır ve böylece ateş söndürülür. Geri kalan madde, yanıcı olmayan alüminyum oksittir. EVA kılıfları olan kablolar, PE kablolarınıninkilerle hemen hemen aynı olan mekanik özelliklere sahiptir. Kılıf gri renklidir. EVA kılıfının daha belirli bir tanımı için, FRNC (alevi geciktiren ve paslanmayan) kablolar için kodun sonuna eklenir.

9.3 Koruyucu Örtü

PE ve PVC ve özel uygulamalar için poiamid (PA) koruyucu örtüleri, bina dışı ve özel kablolar için kullanılmaktadır; kılıfın üzerindeki zırhı, paslanmaya ve dış zararlara karşı korumaktadırlar, örneğin çukur kazılması veya toprağın dışarı çıkarılması sırasında.

Koruyucu örtüler, genellikle 200°C civarındaki sıcaklıklarda tüp extrusion metodu ile PE'den üretilmektedirler ve ziftli (asfalt) paslanmaya karşı koruyucu maddeler üzerine uygulanmaktadır.

Petrole karşı dayanıklılık veya renkli kablo kılıfları gerektiği zaman, uygun kalınlıkta olan koruyucu PVC örtüler PE kılıflar üzerine çekilmektedir. Diğer bütün uygulamalarda siyah PE koruyucu örtüler kullanılmaktadır.

9.4 Zırhlama

Optik kablolar, sık sık yeraltı ve kanal kabloları olarak zırh olmadan kullanılmaktadırlar. Termoplastik yapışkan ile (erimiş tutkal) kablo kılıfına sıkıca bağlanmış olan sargı dayanıklılık elemanları, kablonun bükülme önleyici elemanlarıyla birlikte tipik gerilme kuvvetleri için yeterlidir.

Denizaltı kabloları veya maden kabloları gibi özel uygulamalar için, kemirgenlere karşı koruması olan kablolar için, otomatik desteklemeli havai hat kabloları için ya da gerilme kuvveti ve basıncı için olağanüstü değerlerin dengelenmesi gereken durumlar için, optik kablo çekirdeğinin ve kablo kılıfının korunması için fazladan bir zırh kullanılmaktadır.

Kablonun ağırlığını çok fazla arttırmayan, esnekliğinde büyük azalmaya sebep olmayan ve ayrıca nispeten düşük bir boyuna genleşme gösteren zırhlama elemanları bu kablolar için bulunmalıdır; Young modülü ve ağırlık arasında iyi bir oran elde edilmelidir.

Aramid sargıları (Kevral) ve çok çeşitli şekillerde çelik, optik kablo tasarımı için uygun olmuştur; burada aramid sargıları, Young modülü ve ağırlık arasında çeliğe nazaran çok daha yüksek bir oranı göstermektedir.

Aramid sargıları, çeşitli kılıf maddeleri altında gerilme elemanı olarak geniş çapta kullanılmaktadır. Daha yüksek gerilme kuvvetleri için, örneğin otomatik desteklemeli havai hat kablolarında olduğu gibi, kılıfın altında yarı bükülmüş sargılar kullanılmaktadır. Kemirgenlere karşı korunması olan kablolar için bir oluklu çelik yapraklı kılıf kullanılabilir. Bu durumda, oluklu, paslanmaya karşı dayanıklı bir çelik bant, kablo çekirdeğine direkt olarak uzunlamasına uygulanır ve PE kılıfına bağlanır. İşlem, alüminyum yapraklı kılıftakine benzemektedir. Çelik banttaki ufak oluklar, kablunun esnekliğini geliştirmektedir.

Oluklu çelik yapraklı kılıfa alternatif olarak, çelik bant sargılar (steel tape wrapping) kullanılabilir. Bu, paslanmaya karşı koruyan katmanlarda gömülü olan, her biri 0.1 mm kalınlıkta olan galvanizli çelik banttan iki katmandan ibarettir. Bir dış PE kılıfı koruma için uygulanmaktadır.

Çelik bant sargılarının, gerilme kuvvetlerini önlemek için kullanılmayacağına dikkat edilmelidir.

Optik topraklama telli kablolar (optical ground wire cables) (OPGW) için yuvarlak tellerle zırhlama için çeşitli maddeler kabul edilmiştir. Uygulamaya bağlı olarak, galvanizli çelikten veya Aldrey (alüminyum alaşımlı – E - AlMgSi)tellerinden bir ya da daha çok katman kullanılmaktadır ve Stalum (alüminyum kaplı çelik (ACS), alumoweld) telleri ile artırılmaktadır.

Denizaltı kablolarında olduğu gibi şiddetli uygulamalarda, bir veya daha çok katmanda çok galvanizli kuvvetli yuvarlak çelik teller veya paslanmaz çelik teller uygulanabilmektedir. Çok galvanizli çelik teller için hala paslanmaya karşı ek koruma gerekmektedir.

9.5 Yapı Tipleri

Optik kablo tasarımları, belirli karakteristiklere göre seçilmektedir ve aşağıdaki yapı tiplerine gruplandırılmaktadır:

- bina dışı kablolar,
- bina içi kablolar,
- özel kablolar.

Açıklamak için birkaç kablo tipi seçilmiştir, uygulamaları anlatılmıştır ve mevcut özellikleri gösterilmiştir.

Bütün yapı tiplerinde, optik fiberlerin iletim özelliklerinin ne kablo üretimi sırasında ne de çeşitli izin verilen etkilerle sürekli olarak değişmemesini temin etmek önemlidir. Tampon tüpün boyutları hariç, uygun optik fiberlerin kablonun temel yapı tipinden bağımsız olarak seçilmesi mümkündür. uygun optik fiberlerin seçilmesi için önemli kriterler, rotanın verileri ve planlanmış iletim sistemlerinin teknik verilerinin bir bilgisidir. Tablo 9.3 genellikle, 850 nm veya 1300 nm ve 1310/1550 nm’de tek-modlu fiberler ve çok modlu fiberler için zayıflama katsayısı, band genişliği, v.b. için değerleri göstermektedir.

Bakır iletkenleri olan optik kablolar, düşük gerilim kılavuz hattı NSR 73/23/EWG’e göre beraberindeki dökümanlar, etiketler veya makaralarda CE damgasıyla işaretlenmektedir.

9.5.1 Bina dışı kablolar

Genellikle bir PE kılıfı olan bina dışı kablolar, gömülü ya da oluk içinde kablo tesislerinde oluşabilen bütün gereksinimleri karşılamak üzere yapılandırılır ve boyutlandırılır.

Gerekli olan optik fiberlerin sayısına bağlı olarak ya bir fiberi olan tek-fiberli gevşek tamponlar ya 2-12 kadar fiberi olan çok fiberli gevşek tamponlar ya da maksitüpler kullanılmaktadır. Tasarım ve ekonomik düşüncelere bağlı olarak, en çok 10 fiberi olan kablolarla tek-fiberli gevşek tamponlar kullanılabilir, halbuki 10 fiberden çok olanlarda

çok fiberli gevşek tamponların veya maksitüplerin kullanılması tavsiye edilmektedir. Tek-fiberli ve çok fiberli gevşek tamponların veya maksitüplerin bileşiklerle doldurulması yaygındır.

Tablo 9.3 Oda sıcaklığında tek-modlu ve çok modlu optik fiberlerin iletimi ve optik özellikleri

	Çok modlu fiberler G 50/125		Tek-modlu fiberler E 9/125	
	Dalga boyu 850 nm	Dalga boyu 1300nm	Dalga boyu 1310 nm	Dalga boyu 1550 nm
Maksimum zayıflama Katsayısı ¹⁾ (dB/km)	2.5 3.5	0.7 1.0	0.45	0.3
1 km için minimum band genişliği ¹⁾ (MHz)	200 400	600 800 1000 1200	Bazıları 10 GHz	
1550 nm'de (ps/nm·km)	—	—	3.5 5	—
1285-1330 nm (ps/nm·km)	—	—	—	25
aralığındaki maksimum dağıtım				
Nümerik açıklık için nominal değer	0.20	0.20	—	—
İzin verilen tolerans	±0.02	±0.02	—	—
Mod alan çapının nominal değeri (µm)	—	—	9	—
İzin verilen tolerans (µm)	—	—	± 1	—

¹⁾ ITU-T'ye göre zayıflama ve band genişliği kategorileri için tam özellikler yoktur. sadece 2.5-3.5 dB gibi aralıklar belirtilmektedir.

Aşağıdaki örnekler, özellikle çok fiberli olan kablolarda çok fiberli gevşek tamponların avantajlarını göstermektedir.

	Tek-fiberli gevşek tampon tasarımı için dış çap (mm)	Çok fiberli gevşek tampon tasarımı için dış çap (mm)
16 fiberli olan kablolar	15	14.5
120 fiberli olan kablolar	24.5	22

Çoğu uygulamalarda, tek-modlu fiberleri olan kablolar, çok fiberli gevşek tamponlar ya da maksitüpler ile tasarlanmıştır.

Tek-fiberli gevşek tamponların ve çok fiberli gevşek tamponların ikisi de bir merkezi eleman etrafında katmanlarla demetlenmiştir.

Sıkı tamponlanmış fiberleri olan kablolar, genellikle bina dışı kablolar olarak tesis edilmemektedir.

Bir PE kılıf ya da bir PE yapraklı kılıf, metal olmayan dayanıklılık elemanları üzerine uygulanmaktadır. Tek-fiberli ya da çok fiberli gevşek tamponlarda ve kablo çekirdeğinde bulunan dolgu bileşiminden dolayı, bu yapraklı kılıfı olan bina dışı kablolar ayrıca enine su geçirmezler. İki durumda da kılıf siyahtır.

Oluklar içindeki bina dışı kabloların tesis edilmesi sırasında tipik olarak oluşanlar gibi 1000 ve 3000 N arasındaki gerilme kuvvetleri, doğru kablo tasarımı seçilirse ve kablo için doğru kablo çengelleri veya kablo başlığı contaları kullanılırsa problem yaratmaz (Bölüm 10.2). Özellikle kritik uygulamalar için, koruyucu örtüsü olan ek bir zırh, kılıfın üzerinde uygulanmaktadır. Alman Telekom AG'deki kablolarda bu durum çoğunlukla geçerli değildir. Alman Telekom AG'nin şehirlerarası kabloları genellikle plastik oluklarda bulunmaktadır. Sadece kemirgenlere karşı korumanın gerektiği olukların düşünülemeyeceği durumlarda oluklu çelik yapraklı kılıftan oluşan bir zırh veya alternatif olarak uygun iç ve dış koruyucu örtüleri olan 0.1 mm kalınlığında iki çelik bant uygulanmaktadır.

Genellikle kablolar, firmanın temel işareti olan üreticinin bir tanımlama ipliğini taşımaktadırlar. Bu kabloların kılıflarında veya dış koruyucu örtülerinde sürekli yazılan işaretler bulunabilmektedir. Nakil, depolama ve işletme açısından ve ayrıca tesis etme sırasında, bu kablolar için sıcaklık aralıkları aşağıda verilmektedir.

Optik kablolar, minimum bükülme yarıçapı ele alınması şartıyla tesisat sırasında veya oluklara ya da şekillenmiş tuğlalara döşenmeleri sırasında bakır kablolar gibi aynı şekilde işletilebilmektedir. Düşük ağırlıklarından dolayı, 2000 m veya daha fazla uzunlukta olan kabloların oluklara döşenebilmesi avantajı bile vardır.

Tipik sıcaklık aralığı

Nakil ve depolama sıcaklığı -25'ten 70 °C'ye kadar

Tesis etme sıcaklığı	-5'ten 50 °C'ye kadar
İşletme sıcaklığı	-20'den 60 °C'ye kadar

Günümüzde, optik bina dışı kabloların standart teslim uzunlukları 2000 m'dir.

Çap, ağırlık ve uygulamalara dayanarak, 5000 m'ye kadar veya daha fazla uzunluklardaki kablolar üretilmektedir.

Tablo 9.4, seçilmiş birkaç optik bina dışı kablo için nominal değerleri bakır kablolar ile kıyaslayarak göstermektedir.

Özet olarak, bilinen bakır kablo teknolojisinin bütün uygulamaları için yeterli optik kabloların mevcut olduğu söylenilebilmektedir. Önemli avantajları şöyledir:

Mekanik

Daha küçük kablo çapı,
daha hafif ağırlığı,
daha uzun teslim uzunluğu,
avantajlı makara boyutları ve bu yüzden nispeten düşük makara ağırlığı.

Parazit

Uygun maddeleri olan bir tam dielektrik kablonun tasarımının mümkün olabilmesinden dolayı, yıldırım, yüksek gerilim hatları veya elektrik trenlerinden gelen parazit problemleri ve de akım iletimi ve topraklama problemleri yoktur.

İletim

İyi zayıflama değerleri:

tek-modlu fiberler

1300 nm'de 0.36 ve 0.5 dB/km arasında

1550 NM’de 0.22 ve 0.30 dB/km arasında.

dereceli katsayı profili olan çok modlu fiberler

850 nm’de 2.5 ve 3.5 dB/km arasında

1300 nm’de 0.7 ve 1.0 dB/km arasında.

Yüksek band genişliği:

1 km için 1.2 GHz’e kadar olan çok modlu fiberler için

1 km için 10 GHz’in birkaç katı kadar olan tek-modlu fiberler için.

Tablo 9.4 Optik ve bakır kabloların karşılaştırılması

Fiber sayısı		Dış çap (mm)		Ağırlık (kg/km)		Standart teslim uzunlukları (m)	
Fiber	0.6 mm çaplı bakır bükümlü çift	Fiber	Cu	Fiber	Cu	Fiber	Cu
2, 4, 6	6	11.5	12	100	140	2000	1000
10	10	12	13.5	115	190	2000	1000
20	20	14.5	16.5	160	315	2000	1000
40	40	14.5	21.5	160	555	2000	1000
60	60	16	25.5	195	800	2000	1000
100	100	20	31.5	295	1245	2000	1000

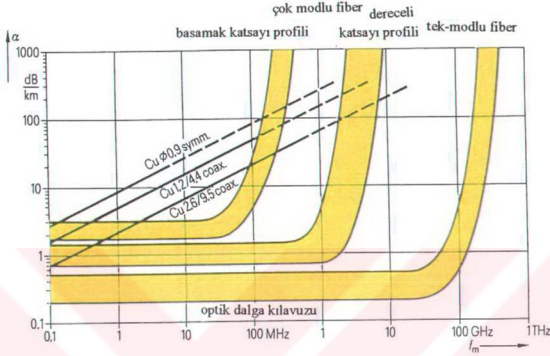
Tel bağlantısı (wire tapping) için nispeten yüksek koruma

Şekil 9.12, farklı koaksiyal ve optik kablolar için zayıflama katsayılarının karşılaştırılmasını göstermektedir, bu, optik kabloların temel avantajlarından biridir.

Optik kablolar, ayrıca az sayıda kanalı olan sistemler için (< 30 kanal), telefon ve uzaktan kumanda işaretlerinin iletimi için ve ISDN geniş band sistemi gibi, geleceğin planlanmış band sistemi için (Bölüm 11.2.1) uygundur. Bu geniş band sisteminde bütün iletim çeşitleri için bir şebeke kullanılmaktadır, örneğin

Televizyon, video text, radyo/stereo,
data, teleks, telefaks, faksimil,
ISDN hizmetleri, telefon ve
video konferansları ve videofon.

Dengeli ve koaksiyal bakır kablolarınkilerden çok daha uzun olan tekrarlayıcı aralıklar elde edilebilir. Bu, günümüzde 2.5 Gbit/s'e kadar bit oranları olan dijital sistemler için geçerlidir.



Şekil 9.12 Dengeli ve koaksiyal bakır kablolar ve çeşitli optik kablolar için modülasyon frekansının bir fonksiyonu olarak zayıflama katsayısı

Tek-modlu fiberler için çok fiberli gevşek tamponları olan bina dışı kablolar

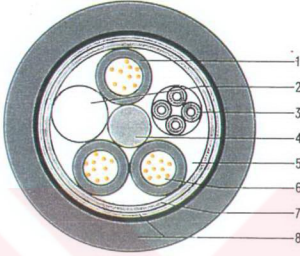
Bina dışı kablolarda, tek-modlu fiberler yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunları yapılandırırken optik fiberin kablo içinde baskıya maruz kalmamasına dikkat edilmelidir. Bunun dışında çok modlu fiberler için geçerli olan bütün yapı parametreleri burada da geçerlidir.

Optik fiberlerin sayısına bağlı olarak, aşağıda bahsedilen çok fiberli gevşek tamponlar kullanılmaktadır:

2-12 fiberli 1.8 - 3.5 mm çapında çok fiberli gevşek tamponlar.

İşaretleme elemanından başlayarak, çok fiberli gevşek tamponlar sürekli sayılır. Bakır çift ya da dörtlü sayılmaz ve pozisyonu, sayma için seçilecek herhangi bir yönü belirtmez. Dolgular sayılmazlar.

Alman Telekom AG için kablolar, çok fiberli gevşek tampon yerine PE izolasyonu olan bakır tellerin bir çifti veya dörtlüsü demetlenmektedir (Şekil 9.13). çok fiberli gevşek tampon teknolojisini tasarımda esnekliği sağladığı için, yüksek fiber sayısı olan kablolar kolayca üretilmektedir.



Şekil 9.13 Bir PE yapraklı kılıf, çok fiberli gevşek tamponlarda 30 optik fiberi ve bir bakır dörtlüsü olan Alman Telekom AG'nin telekomünikasyon kablosu

- 1 Çok fiberli gevşek tampon, soyma elemanı
- 2 Dolgu
- 3 Bakır dörtlüsü
- 4 Bükülmeyi önleyici eleman
- 5 Dolgu bileşiği
- 6 Çok fiberli gevşek tampon
- 7 Çekirdek sargısı (isteğe bağlı)
- 8 Dayanıklılık elemanları olan yapraklı kılıf

Kod (Tablo 9.5)

A – DSF(L) (ZN)2Y 3 × 10E9 ... F ... LG

Tek-modlu fiberi olan kablolar, yüksek band genişliğinin ve düşük zayıflamanın veya minimum geri beslemesi olan uzun mesafelerin kat edilmesinin gerektiği bütün durumlarda kullanılmaktadır.

Kod (Tablo 9.5)

A – WF(ZN)2Y 8G 50/125 ... F ... LG

- | | |
|---|------------------------------------|
| A | Bina dışı kablo |
| W | Tek-fiberli gevşek tampon, dolgulu |

F	çekirdek dolgulu
(ZN)2Y	Metalik olmayan dayanıklılık elemanı olan PE kılıf
8G 50/125	Dereceli katsayı çok modlu fiber çekirdeği / ince kaplama çapı 50/125 μm
... F ...	1300 nm için zayıflama katsayısı ve band genişliği
LG	Katmanlarda demetli

Çok modlu optik fiberler ve dereceli katsayı profili için çok fiberli gevşek tamponları olan bina dışı kablolar

Dereceli katsayı fiberleri olan bina dışı kablo tasarımı için genellikle çok fiberli gevşek tamponlar kullanılmaktadır. Bu, yerden tasarruf eden demetleme elemanı 12'ye kadar olan optik fiberi tutabilir ve bileşiklerle doldurulmuştur. Optik fiberlerin renk kodlaması Bölüm 6.3, Tablo 6.3'te gösterilmiştir. Çok fiberli gevşek tamponların çapı 3.5 mm kadar büyük olabilir, en az beş demetleme elemanı bir katmanda merkezi bir eleman etrafında demetlenmiştir. Bunlardan biri, 1-10 fiber için yedek çok fiberli gevşek tampon olarak planlanabilir, ve ayrıca bunun yerine dolgu yapılabilir. Bir çok fiberli gevşek tampon yerine sünger yüzeyli izolasyonu olan aynı çaptaki bir yıldız dörtlüsü sıralı teller olarak demetlenebilir.

Demetleme elemanları aşağıdaki gibi kodlanabilir:

Yedek çok fiberli gevşek tampon veya	
onun yerine kullanılabilen dolgu (işaretleme elemanı)	Kırmızı
Yıldız dörtlüsü (bakır)	Sarı
Çok fiberli gevşek tampon	Yeşil
Dolgu	Doğal renk

Çok fiberli gevşek tamponun demetlenmesiyle, çok sağlam optik kablolar üretilebilmektedir. Her çok fiberli gevşek tamponda 10 fiberi olan 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100 veya 120 optik fiberli standart kablo tasarımı vardır (Şekil 9.14). 120 optik fiberden fazla olan gereksinimler için, ayrıca uygun kablo tasarımları bulunmaktadır.

Tablo 9.5 Alman Ulusal Standardı DIN VDE 0888'e dayanan bina dışı kablolar için kodların açıklanması

1	2	3	4	5	6	7	8	9 ¹⁾	10	11	12	13 ²⁾	14
													LG katmanlarda demetli
													1 km için MHz olarak band genişliği
												Dalga boyu B 850 nm F 1300 nm H 1550 nm	
												Zayıflama katsayısı (dB/km)	
												İnce kaplama çapı (µm)	
												Çekirdek çapı (µm)	
												Fiber tipi E tek-modlu G dereceli katsayı	
												Fiberlerin sayısı ya da çok fiberli gevşek tamponların sayısı × tampon tüpü başına fiber sayısı	
												B Zırhlama BY PVC koruyucu örtüsü olan zırhlama B2Y PE koruyucu örtüsü olan zırhlama	
												2Y PE kılıf (L)2Y Yapraklı kılıf (ZN)2Y Metalik olmayan dayanıklılık elemanı olan PE kılıf (L)(ZN)2Y Metalik olmayan dayanıklılık elemanı olan yapraklı kılıf (ZN)(SR)2Y Metalik olmayan dayanıklılık elemanı olan oluklu çelik yapraklı kılıf	
												F Kablo çekirdeğindeki demetleme boşluklarını doldurmak için dolgu bileşiği	
												S Kablo çekirdeğindeki metal eleman	
												H Tek-fiberli gevşek tampon, dolgunsuz W Tek-fiberli gevşek tampon, dolgulu B Tek-fiberli gevşek tampon, dolgunsuz D Tek-fiberli gevşek tampon, dolgulu	

Ürünün belirtilmesi

A-Bina dışı kablo

¹⁾ Tek-modlu fiberler için çekirdek çapı yerine mod alan çapı verilmektedir.

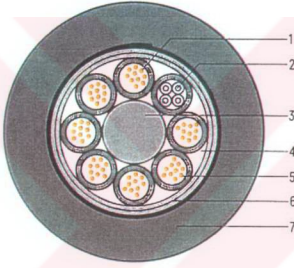
²⁾ Tek-modlu fiberler için dağılım ps/nm·km olarak verilmiştir.

Kılıf, zırhlama, koruyucu örtü, vs gibi bütün diğer yapı elemanları söz konusu olan çapa uygun olarak kullanılmaktadır.

Koaksiyal kablolarla karşılaştırıldığında, optik kablolar çok daha hafiftir.

Örneğin:

Alman Telekom AG'nin koaksiyal kablo tipi 32c yaklaşık 5kg/m ağırlığındadır, halbuki 60 optik fiberi olan bir şehirlerarası kablo yaklaşık 350 g/m ağırlığındadır.



Şekil 9.14 Bir PE yapraklı kılıfı, çok fiberli gevşek tamponlarda 60'a kadar optik fiberi ve bir bakır dörtlüsü olan telekomünikasyon kablosu

- 1 Yedek çok fiberli gevşek tampon veya dolgu
- 2 Bakır dörtlüsü
- 3 Bükülmeyi önleyici eleman
- 4 Dolgu bileşiği
- 5 Çok fiberli gevşek tampon
- 6 Çekirdek sargısı
- 7 Dayanıklılık elemanları olan PE yapraklı kılıf

Kod

A – DSF(L) (ZN) 2Y 6 × 10G 50/125 ... F ... LG

9.5.2 Bina içi kablolar

Optik bina içi kablolar, binaların içerisinde çok çeşitli uygulamalar için gereklidir, çünkü bina dışı kablolar binaların içerisinde ancak sınırlı bir şekilde kullanılabilir. Bu yüzden, binaların içerisinde bir optik fiber dağıtım sonlandırmasında ya da kablo uçlandırma rakında (kabloların duvara tespiti için kullanılan demir kol) uçlandırılmaktadır. Ek bağlantılarının sadece düşük zayıflama artışları göstermesi için, bina içi kablo, ona karşılık gelen bina dışı kabloya benzer optik iletim özelliklerine sahip olmalıdır. Ayrıca, bina içi kablolar mekanik gerilmelerin veya sıcaklık değişimlerinin özelliklerini olumsuz olarak etkilemeyeceği şekilde tasarlanmıştır.

Genel olarak bina içi kablo tipleri üçe ayrılabilir:

Çoklu-bina içi kablolar (Multi-indoor cables) (MIC)

Çıkış kabloları (Break-out cables) (Çıkış yelpazesi)

Birbirine bağlantılı kablolar (interconnect cables)

Bütün bina içi kablolar metalden yoksundur. Bunun sebebi topraklama ve yıldırıma karşı korumaya gerek yoktur. tam dielektrik yapı EMI'yi (elektromanyetik bağışıklığı) sağlamaktadır. Bütün bina içi kablo tipleri, izolasyonu çok kolay soyulan 900 µm TBII sıkı tamponlanmış fiberlerden oluşmaktadır (Bölüm 8.3). kablunun tipine bağlı olarak farklı bir şekilde demetlenmişlerdir. Kolayca tanınması için fiber tipi ve uzunluk işaretlemeleri dış kılıfın üzerine yazılabilir.

Bina içi kablolar için standart tasarıma ek olarak, diğer yapıların özel karakteristikleri karşılaması mümkündür.

Çoklu-bina içi kablolar (MIC)

Çoklu-bina içi kablolar sağlam, yüksek performanslı optik iletişim kablolarıdır. Çeşitli bina içi ve bina dışı gereksinimler için tasarlanmışlardır, örneğin oluklar içerisinde

binalar arasında, binaların içerisindeki yükseltme şaftlarında, dolu bölgelerde yönlendirme ve masaya kadar fiber için.

Tablo 9.6 Alman Ulusal Standardı DIN VDE 0888'e göre bina içi kablolar için kodların açıklanması

1	2	3	4	5	6 ¹⁾	7	8	9	10 ²⁾
									1 km için MHz olarak band genişliği
									Dalga boyu B $\approx$ 850 nm F $\approx$ 1300 nm H $\approx$ 1550 nm
									Zayıflama katsayısı (dB/km)
									İnce kaplama çapı (μ m)
									Çekirdek çapı (μ m)
									Fiber tipi E Tek-modlu G Dereceli katsayı
									Fiber sayısı
									Y PVC kılıf H Halojensiz kılıf
									V Sıkı tamponlanmış W Tek-fiberli gevşek tampon, dolgulu

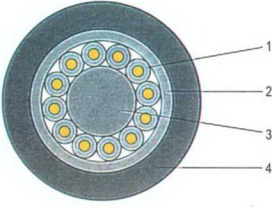
Ürünün belirtilmesi

J-Bina içi kablo

¹⁾ Tek-modlu fiberler için çekirdek çapı yerine mod alan çapı verilmektedir.

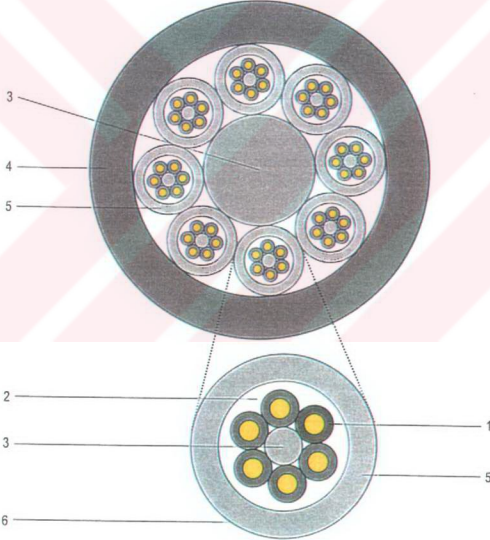
²⁾ Tek-modlu fiberler için dağılım ps/nm·km olarak verilmiştir.

Geniş çapta fiber sayısında bulunan bu kablo ailesi, günümüzün gelişen ofis ve fabrika çevresinde genellikle gerekli olan bütün ses, data, video ve görüntüleme sinyallerini nakletmek için gereken band genişliği kapasitesini sağlamaktadır. Ayrıca kablonun küçük çapı, düşük ağırlığı ve esnekliği, özellikle sıkışık yerlerde kolay tesis edilmesini, bakım yapılmasını ve işletilmesini sağlamaktadır.



Şekil 9.15 12 optik fiberi olan çoklu-bina içi kablo

- 1 Sıkı tamponlanmış fiber
- 2 Dielektrik dayanıklılık elemanları
- 3 Kaplanmış merkezi eleman
- 4 Kılıf



Şekil 9.16 6 fiberli alt ünite içerisinde 48 optik fiberi olan çoklu-bina içi kablo

- 1 Sıkı tamponlanmış fiber
- 2 Dielektrik dayanıklılık elemanı
- 3 Kaplanmış merkezi eleman
- 4 Kılıf
- 5 6 fiberli alt ünite
- 6 Alt ünite kılıfı

Çoklu-bina içi kablolar, demetli sıkı tamponlanmış fiberleri ve metalik olmayan dayanıklılık elemanlarından (örneğin kevlar sargısı) oluşmaktadır. 6'dan fazla optik fiberi olan kablolarda, daha sağlam bir kablo elde etmek için fiberler metalik olmayan bir merkezi eleman etrafında demetlenmiştir (Şekil 9.15).

Fiber sayısı 24'ten fazla olan kablolar, konfigürasyon kontrolü, kolay tesis etme ve hızlı tamir etme için alt ünitelerde düzenlenmiştir. Böyle bir kabloda 6 sıkı tamponlanmış fiberin her biri, metalik olmayan bir dayanıklılık elemanı ile bir alt üniteye demetlenmiştir. Alt üniteler de metalik olmayan bir merkezi eleman etrafında demetlenmiştir (Şekil 9.16). fiber sayısı 72'den fazla olan kablolar için alt üniteler 12 optik fiberden oluşmaktadır. Çoklu-bina içi kablolar için 2-144 fiber sayısı standarttır.

MIC için maksimum uzun vadeli gerilme yükü, bir 2 fiberli MIC için 200 N ve bir 144 fiberli MIC için 4000 N arasındadır. Kısa vade için izin verilen gerilme yükü dört misli daha fazladır.

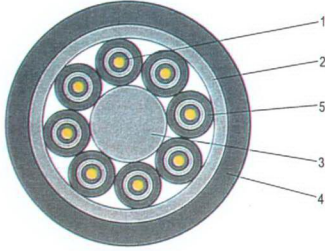
Fiberler, kolay tanınması için tek tek kodlanmıştır.

Çıkış kabloları (çıkış yelpazesi)

Çıkış kabloları, uçlandırma ve bakım için ayrı ayrı fiberlerin tek tek yönlendirilmesini veya sıralandırılmasını sağlamaktadır. Üç farklı yapıya sahiptirler: ağır görev uygulamaları için 2.7 mm alt üniteleri, standart görev uygulamaları için 2.4 mm alt üniteleri ve hafif görev uygulamaları için 2.0 mm alt üniteleri (Şekil 9.17). bu kablolar, donma sıcaklığının altında oluklar içerisinden binalar arasında, binalar içerisindeki yükseltme şaftlarında, bilgisayarlı odaların yeri altında ve masaya kadar fiber uygulamalarında yönlendirilebilmektedir.

Bununla beraber, MIC ile karşılaştırıldığında kabloların önemli daha yüksek fiyatlarından dolayı ve ayrıca bu kabloların daha yüksek ağırlığı ve boyutundan dolayı, temel uygulama alanı, kısa ve orta iletim mesafeleri olmalıdır. Çoğu durumlarda, MIC kabloları tesis etme için yeterlidir. Sadece çok kötü şartları olan çevrelerde veya tek-fiberlerin gerçekten ayrı

ayrı yönlendirilmesi gerektiğinde, çıkış kabloları yapısı açısından bir avantaj sağlamaktadırlar.



Şekil 9.17 8 optik fiberi olan çıkış kablosu

- 1 Sıkı tamponlanmış fiber
- 2 Dielektrik dayanıklılık elemanı
- 3 Kaplanmış merkezi eleman
- 4 Kılıf
- 5 1-fiberli alt ünite

Alt üniteler, kolay tanınması için numaralandırılabilir veya renklerle kodlanabilir. Çıkış kablolarının standart fiber sayısı 2 ile 24 arasındadır. Çıkış kabloları için maksimum uzun vadeli gerilme yükü, bir 2 fiberli çıkış için 300 N ve bir 24 fiberli çıkış için 1600 N arasındadır. Kısa vade için izin verilen gerilme yükü üç misli daha fazladır.

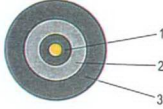
Birbirine bağlantılı kablolar

Cihazları birbirine bağlamak için kablolar, bilgisayar, süreç denetimi, data girişi ve kablolu ofis sistemlerindeki ses, data, video ve görüntü iletimi için tasarlanmıştır. Bir ve iki fiberli tasarımlarda bulunan bu kablolar, kolay bağlanabilmesi ve bina içi dağıtımında atlama (jumper) olarak kullanılabilmesi için optimize edilmiştir (Şekil 9.18a, b, c).

Küçük çapı ve bükülme yarıçapı, yeri kısıtlı bölgelerde kolay tesis edilebilmesini sağlamaktadır. Bunlar, kolay direkt bağlanmalarını sağlamaktadır veya iş alanlarında kullanılması için kablo assembly (belirli amaçlar için kullanılan, uçlarında fiş veya

konnektörler bulunan kablo) olarak ya da birbirine bağlantılı ara kablolar olarak fabrikadan önceden bağlanmış bir şekilde gelmektedirler.

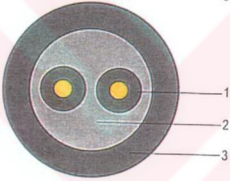
- 1 Sıkı tamponlanmış fiber
- 2 Dielektrik dayanıklılık elemanı
- 3 Kılıf



Şekil 9.18a Tek optik fiberi olan birbirine bağlantılı kablo



Şekil 9.18b İki optik fiberi olan birbirine bağlantılı kablo, Enerji kablo (Zipcord)



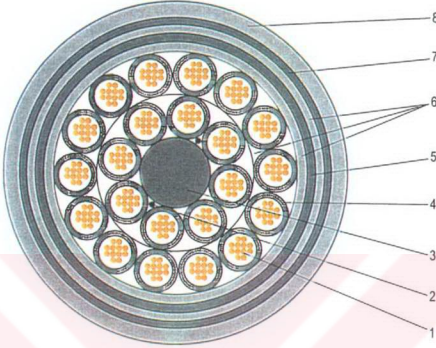
Şekil 9.18c İki optik fiberi olan birbirine bağlantılı kablo, DIB (dual intrabuilding cable) (çift bina içi kablo)

9.5.3 Bina içi – bina dışı kablolar

Bina içi – bina dışı kablolar, bina içi ve bina dışı uygulamaları için tamamen su geçirmezdir. Bu kablo tiplerinin bir binaya girerken geçiş bağlantılarına veya direkt uçlandırılmalara ihtiyacı yoktur. Bu kablolar, özellikle sınırlı nakil veya atlama aralığı olan yerlerde, ilk bina dışı ek noktasına düşen binalar için ya da yüksek fiber sayısı olan bina içi şebekeler için kullanılabilir, çünkü bu kabloların fiber sayısı 288'e kadar ya da daha yüksek olabilir (Şekil 9.19). uygulandığı ülkede belirli yangın kodlarına uymalıdır.

Yangın riskini azaltmak için, kılıf ve bant için alev geciktirici maddeler kullanılmaktadır. Fiberler, dolgu bileşiği olan bir standart gevşek tampon tüpüne (örneğin her biri 12 fiber) konmaktadır; tampon tüpler, bir dielektrik merkezi eleman etrafında demetlenmiştir ve suyu bloke eden bantlarla sarılmıştır. Ek su bloke etme sargıları, dolgusuz kablo çekirdeğinde kullanılmaktadır.

Bina içi - bina dışı kabloların önemli bir uygulaması, bir ana dağıtım panosunun (main distribution frame) (MDF) dışarıdan direkt olarak bina içine bağlanmasıdır. Dışarıdaki kablo tesisi ile MDF arasında geçiş bağlantısı gerekli değildir.



Şekil 9.19 264 optik fiberi olan bina içi - bina dışı kablo

- 1 Optik fiberler
- 2 Suyu bloke etme sargıları
- 3 Dielektrik merkezi elemanı
- 4 Gevşek tampon tüpü (12 fiberli)
- 5 Alev geciktirici bant
- 6 Suyu bloke etme bantı
- 7 Dielektrik dayanıklılık elemanı
- 8 UV - dirençli, alev geciktirici dış kılıf

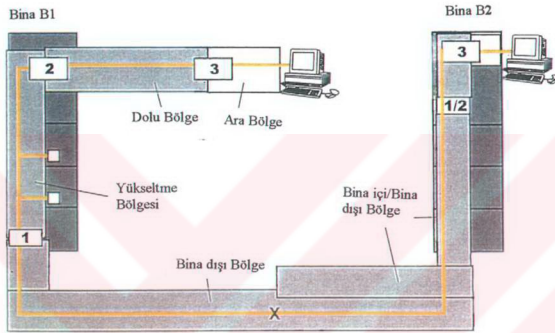
Bina içi ve bina dışı kabloların uygulanması

Şekil 9.20'de gösterilen aşağıdaki örnek, farklı bina içi ve bina dışı kablo tiplerinin uygulamasının bir planını göstermektedir. Bir kampüs çevresinde bulunan iki binanın (B₁ ve B₂) bir *Bina Dışı Bölgede* bağlanması gerektiği durum.

B₁ binasında ana dağıtım panosu (MDF), her hattaki dağıtımı sağlamak için bodrum katında yerleştirilmiştir. Binanın bütün katları MDF'den bağlanacaktır. Binadaki dikey bölgeye "Yükseltme Bölgesi" (Riser Area) denmektedir. Her katta, o kattaki dağıtımı sağlamak için bir ara dağıtım panosu (intermediate distribution frame) (IDF) yerleştirilmiştir. Bu yatay bölgeye Plenum Area (Dolu Bölge) denilmektedir. Son olarak,

duvardaki telekomünikasyon çıkışından (telecommunication outlet) (TCO) çalışma yerine kadar olan bölgeye ara bölge (Patch Area) denilmektedir.

B₂ binasında kablolanırılacak bölge sadece üst kattadır. Bu sebepten, MDF ayrıca IDF'dir ve çalışma yerleri ile aynı katta yerleştirilmiştir. Burada, sadece plenum bölgesinin kablolanırılması gerekmektedir.



Şekil 9.20 Kampüs kablolanması

- X Ek noktası
- 1 Ana dağıtım panosu (MDF)
- 2 Ara dağıtım panosu (IDF)
- 3 Telekomünikasyon çıkışı (TCO)

Ara bölgedeki çalışma yerleri, birbirine bağlantılı kablolarla (interconnect cables) bağlanacaktır. Çoğu durumlarda iki fiberli enerji kabloları kullanılmaktadır. İş yerlerindeki IBM Escon ara yüzeyleri durumunda DIB kabloları kullanılacaktır.

Her iki binada plenum bölgesi telekomünikasyon çıkışının (TCO) (çıkış başına iki fiber gerekmektedir) sayısına bağlı olarak, fiber sayısı 4-8 fiber olan çoklu bina içi kablolarla (MIC) kaplı olacaktır. Her çıkış, bir çalışma yerini ya da yazıcıyı besleyebilir. Bu yüzden genel olarak (2 veya 4 ile bölünebilen TCO'ların sayısı) kablolar her kat için gereklidir. Çok engebeli çevrelerde, alternatif olarak aynı fiber sayısı olan çıkış kabloları

kullanılabilmektedir. Fakat bu kablolar daha pahalı, daha ağırdır ve çapları daha büyüktür. Kablolar IDF’de uçlandırılacaktır.

B₁ binasında, yükseltme bölgesi için yüksek fiber sayısı olan MIC kullanılacaktır. Ana dağıtım panosundan her kata MIC çekilecektir. Bu kablolar bir IDF’de uçlandırılacaktır. Kablo başına fiber sayısı, her kat için planlanmış TCO sayısının en az iki katı olmalıdır.

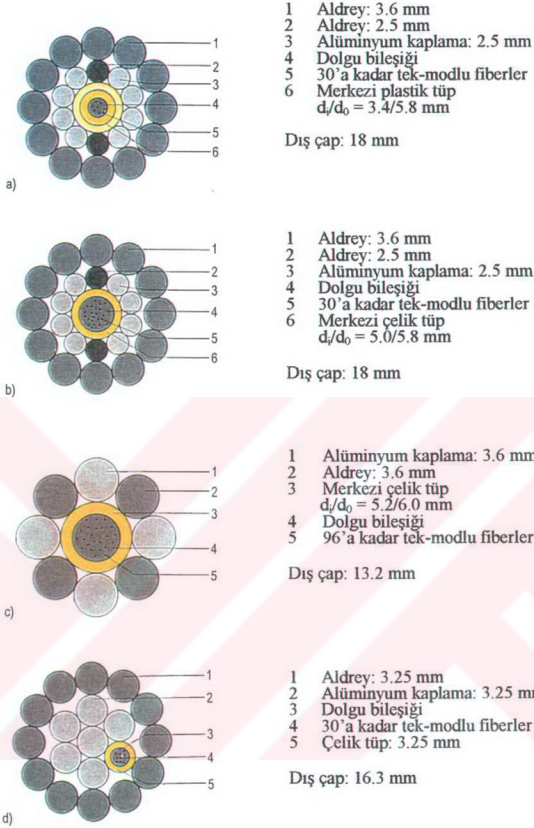
B₁ binasında bodrum katında, MIC MDF’de uçlandırılacaktır. Bina dışı kablolar, MDF’den başlayıp kampüs boyunca çekilecektir. Dış bölgedeki bir ek noktasında (genellikle bir menholde (yeraltı ek odası) yerleştirilen) bir bina içi – bina dışı kablo bina dışı kablosuna eklenecektir. Bu bina içi – bina dışı kablo, B₂ binasına doğru dışarıdan son birkaç metrede ve bina içinde üst kata kadar bütün yol boyunca çekilecektir. Burada kablo MDF/IDF’de uçlandırılacaktır. TCO’lar, buradan yine 4-8 fiberli MIC ile ya da çıkış kabloları ile bağlanacaktır. Bina içi – bina dışı kablodaki fiber sayısı, planlanan kattaki TCO’ların sayısının en az iki katı olmalıdır.

Bina içi – bina dışı kabloların kullanımı ile, bina içindeki bir geçiş noktası ihmal edilmektedir. Farklı yangın kodlarından dolayı, birçok ülkede bina içinde standart bina dışı kabloların kullanımı yasaktır. Bu yüzden, genellikle bir bina dışı kablo binanın bodrum katında uçlandırılmalı ve yükseltme ve plenum bölgelerinde bir bina içi kablo kullanılmalıdır.

Bina içi – bina dışı kablolar ayrıca bina içinde de kullanılabilir. Böyle bir kablo, dışarıdan MDF/IDF’ye kadar çekilebilmektedir. Orada kablo uçlandırılacaktır ve plenum bölgesinde bir MIC veya çıkış kablosu kullanılacaktır.

9.5.4 Havai hat kablolar

Fiber optik havai hat kablolar için dünya çapındaki talep, özellikle yüksek gerilim güç sistemlerinde ve ayrıca demiryolu kablo şebekelerinde kullanımı için, artmıştır. Fiber optiklerin, elektrik ve manyetik parazitlere karşı duyarlılıkları, bu kabloları telekomünikasyon, kontrol ve ölçme sinyalleri için ideal bir iletim aracı yapmıştır.



Şekil 9.21 OPGW tasarımları

- a) Merkezi plasti tüp b) Merkezi metalik tüp
c) Tek zırhlama katmanı olan merkezi tüp d) Demetlenmiş paslanmayan çelik tüp

Ağırlık izin verdiği ve yeraltında gömülme zorunluluğu beyan edilmediği taktirde, bütün kablo tiplerinin direkler veya pylonlardan asılması eğilimi vardır. Buna rağmen, bu çok riskidir. Örneğin kablo, kablunun gerilme kuvvetinin kendi ağırlığına, rüzgarın etkilerine ve buzun ağırlığına karşı dayanabileceği şekilde tesis edilmelidir. Düşen ağaçlardan ve

tüfek atışından gelebilecek fiziksel zararlar, ayrıca uygun tasarım tedbirleriyle önlenmelidir.

Çoğu ülkelerde havai hat kablo tesisleri şimdiden kullanılmaktadır, örneğin çok yüksek gerilim kabloları ve demiryolu kabloları. Bu mevcut altyapı, toprak tellerini optik toprak telleri (**optical ground wires**) (OPGW) ile değiştirerek veya tam dielektrik otomatik desteklemeli kabloları (**all dielectric self supporting cables**) (ADSS) yüksek gerilim iletim hatlarında birleştirerek kullanılabilir.

Havai hat toprak tellerinde fiber optik kablolar (OPGW)

Havai hat toprak tellerinde otomatik desteklemeli fiber optik kablolar, Almanya’da 1986 yılından beri enerji besleme şirketleri tarafından geleneksel havai hat toprak telli kabloların yerine yedek olarak kullanılmaktadır. Öncelikle gerekli olan şey, OPGW’nin ağırlık veya çap olarak geleneksel toprak telli kablolardan önemli bir şekilde farklı olmaması ve böylece asma direklerdeki yükün aynı kalmasıdır.

Optik toprak telli kabloların iki temel tasarımı vardır. Optik fiberler ya merkezi bir tüpte gömülmüştür ya da çok fiberli metal tüplerde demetlenmişlerdir. Merkezi bir tüpte demetlendiğinde, zırh ya da çift (Şekil 9.21a ve b) ya da tek (Şekil 9.21c) tel katmanından oluşmaktadır. Optik fiberler, demetlenmiş çok fiberli metal tüplerde olduğunda, bu tüpler iç katmandaki zırh tellerinden birinin ya da daha fazlasının yerini tutmaktadır (Şekil 9.21d).

Tipik olarak çift zırhlı kabloların çekirdeği, bir plastik veya metalik (yüksek derecede çelik) çok fiberli tüpten oluşmaktadır. Zırhın iç katmanı, genellikle galvanizli çelik tellerden ya da alüminyum kaplı çelik tellerden (AW – alumoclad, alumoweld) yapılmıştır. Aldrey telleri (AY) genellikle zırhın dış katmanını oluşturmaktadır. Alüminyum, magnezyum ve silikondan oluşan çok iletken bir alaşım olan Aldrey, saf alüminyum iki katı gerilme dayanıklılığına sahiptir.

Fiber sayısına bağılı olarak, plastik tüpün çapı 3.5 mm'den 8 mm'ye kadar değişebilirken metalik tüplerin çapları en fazla 6 mm olabilir. Bir tüpte 96 kadar fiber içeren kablolar üzerinde deneyler yapılmıştır.

Demetlenmiş çok fiberli metal tüpleri olan kablolarda tüpler, zırh telleriyle aynı çaptadırlar (2.3 mm – 3.6 mm civarında dış çap). Her tüpe 16-36 kadar fiber konulabilir.

Temel tasarım düşüncesi, optik fiberlerde artık gerilimi önlemektir. Bu yüzden, tellerin ara-kesit bölgesi, miktarları ve iki tel tipinin ara-kesit ilişkisi, mekanik gerilme dayanıklılığı ve akım taşıma karakteristikleri açısından tanımlanmaktadır. Spiral bir şekilde düzenlenmiş fiberler, şiddetli rüzgar ve buz yükleri altında bile gerilmeye maruz kalmazlar. Tipik bir aşırı fiber uzunluğu %0.5'tir (Bölüm 8.2.1).

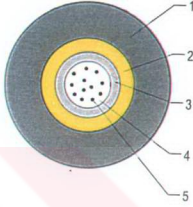
Kısa devre şartları altında termik yüklemeyi gidermek için, bütün yapı elemanlarının birbirine uyması gerekmektedir. Bu yüzden, dış zırh katmanı genellikle üstün iletkenleri olan aldrey tellerinden oluşmalıdır. Bu yolla, iç zırh katmanının sıcaklığını, merkezi tüpün plastik bileşikler (tüp maddesi, dolgular, polipropilen tampon) zarar görmeyecek kadar düşük tutmak mümkündür.

Belirlenen nominal kısa devre akımı (1 saniyelik süre), dış zırh katmanının maksimum izin verilen sıcaklık artışı ile (140°C) kararlaştırılmaktadır. Üst limitinde, alüminyum ve aldrey gerilme kuvvetlerini kaybetmeye başlar. Örneğin, 112 mm² aldrey ve 32 mm² alüminyum kaplı çelik telleri olan bir kablo için, bir saniye için 11.4 kA kısa devre akımı olan kısa devreden sonra sıcaklık artışı, dış aldrey katmanında 123°C ve plastik tampon tüpün içrisinde sadece 73°C'dir. Belirlenen değerin iki misli kadar yüksek olan elektrik yükleri, optik iletim özelliklerinde bir değişikliğe yol açmazlar.

Tuzlu ortamdaki sis (salt-fog) ile birlikte rüzgarla oluşan titreşim etkilerini değerlendiren uzun vade performans çalışmaları uygulanmıştır. Yaklaşık üç aylık bir test periyodundan sonra kablolar incelendiğinde kırılmalar bulunmamıştır ve zayıflamada değişiklikler kaydedilmemiştir. Çelik tüpler paslanmamıştır. Sadece tüplerin yüzeyinde küçük aşınma işaretleri görülmüştür. Plastik tüpler bu testten etkilenmemiştir.

Tam dielektrik otomatik desteklemeli kablolar (ADSS)

ADSS kabloları, genellikle toprak telini değiştirmeden mevcut yüksek gerilim güç hatlarını fiber optikle geliştirmek için kullanılmaktadır. Tam dielektrik tasarımları, tesis etme sırasındaki tehlikeleri minimize eder ve faz telleriyle temas etme durumunda kısa devreleri önlemektedir.



Şekil 9.22 Tam dielektrik otomatik desteklemeli kablo

- 1 PE kılıfı
- 2 Aramid sargıları, dayanıklılık elemanları
- 3 Tampon tüp
- 4 Dolgu bileşiği
- 5 Optik fiberler

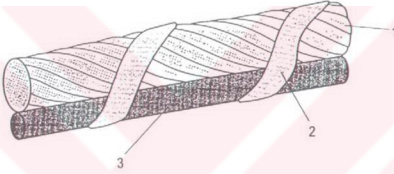
Tipik bir ADSS kablonun ara-kesiti Şekil 9.22’de gösterilmektedir. Kablo çekirdeği, içerisinde 48’e kadar fiberin birleşebildiği merkezi çift katmanlı bir maksitüp tarafından oluşturulmuştur. Fiberler belirli bir aşırı uzunluk ile içeri konmaktadır. Böylece, kablo belirli bir gerilme kuvveti ile yüklenirse, basınca maruz kalmazlar. Suyun içeri girmesini ve göç etmesini önlemek için tüp jel ile doldurulur. Gerekli gerilme dayanıklılığını sağlamak için aramid sargıları çekirdeğin etrafına sarılmaktadır.

110 kV ve yukarısında işletilen güç hatlarında tesis etmek için, dış kılıf özel bir polimerden yapılmıştır; bu polimer izlemeye dayanıklı ve kendinden söndürmelidir. Aramid sargıları, kapasitif akımları emmek için ve dış kılıfın yüzeyinden elektrik kuvvetleri yok etmek için nötr iyojenik akışkanla işlenmektedir. 110 kV’un altında işletilen havai güç hatları durumunda kılıf maddesi polietilendir (PE).

Maksimum germe uzunluğu, çoğunlukla kullanılacak dayanıklılık elemanlarının sayısına (örneğin aramid sargıları) ve gereken eğilmeye bağlıdır. 15 mm²'lik aramid sargıları ile tipik germe uzunluğu 300 m kadardır.

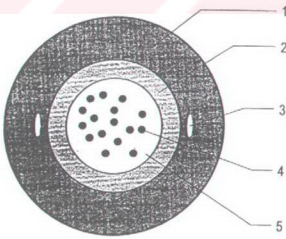
Tam dielektrik bağ kabloları (AD-Lash)

Tam dielektrik kabloların diğer bir sınıfı AD-Lash (AD-Bağ) kablolarıdır. Özellikle toprak veya faz tellerine bağlanmak üzere tasarlanmışlardır (Şekil 9.23). bu kablo, polietilen kılıfla sarılmış, 48'e kadar fiberi olan bir çift katmanlı, jel ile dolu maksitüpten oluşmaktadır (Şekil 9.24).



Şekil 9.23 AD-Lash kablosunun bir toprak teline bağlanması

- 1 Toprak teli
- 2 Yapışkan bant
- 3 Fiber optik kablo



Şekil 9.24 AD-Lash kablosu

- 1 PE kılıfı
- 2 Tampon tüp
- 3 Aramid sargıları, dayanıklılık elemanları
- 4 Optik fiberler
- 5 Dolgu bileşiği

Genellikle tesis etme işlemi sırasında gerekli olan belirli bir gerilme dayanıklılığını sağlamak için, iki ince aramid sargısı dış PE kılıfına gömülmüştür. Bütün kablounun bir tipik dış çapı 5-6 mm'dir. Bu yüzden km başına ağırlık 30 kg civarındadır. Böyle bir kablo, direklerin, örneğin ADSS gibi otomatik desteklemeli bir kablounun sebep olduğu ek gerilme yüküne dayanacak kadar kuvvetli olmadığı iletim hatlarında kullanım için idealdir.

Hem kablo hem toprak veya faz teli etrafı, yapışkan bir bant ile sarılarak birbirlerine bağlanmaktadır. Bu, toprak veya faz teli üzerinde hareket eden özel bir cihaz ile yapılmaktadır. Bir döner bant çıkışı ve yaklaşık 2-4 km AD-Lash kablosu olan kablo çıkış makarasından ibarettir.

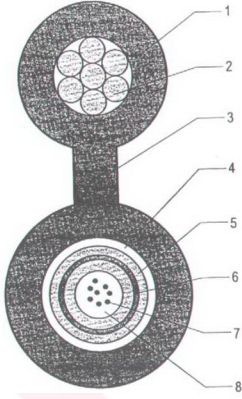
8 şeklinde kablolar ve çok amaçlı kablolar

Önceden bahsedilen yüksek gerilim güç iletim hatlarındaki özel uygulamalar için havai hat kablolarından başka, genel uygulamalar için havai hat kabloları bulunmaktadır.

Şekil 9.25, 8 şeklinde tasarım denilen kablounun ara-kesit diyagramını göstermektedir. İki kısımdan oluşmaktadır: Üst kısmı, aramid sargıları veya çelik telden oluşan bir gerilim taşıyan elemanı (asma teli) içermektedir. Alt kısmı, merkezi tampon tüpü veya demetlenmiş tüplerden oluşan kablounun çekirdeğini içermektedir. İki kısım da bir polietilen kılıf içerisinde gömülmüştür. Bu tasarım, genellikle 50 m civarında kısa direk mesafeleri için kullanılmaktadır.

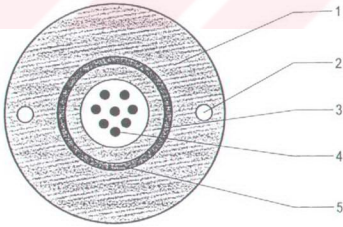
Ayrıca otomatik desteklemeli havai hat kablosu olarak kullanılabilen bir çok amaçlı kablo (Şekil 9.26), 96'ya kadar fiberi içerebilen esas eleman olarak bir maksitüpten (Bölüm 9.1.1) oluşmaktadır.

İki karşılıklı konmuş dayanıklılık elemanının gömüldüğü bir polietilen kılıf, maksitüptün üzerine direkt olarak çekilmiştir. Bu kablo çok hafiftir ve eğilmenin kabul edilir miktarına bağlı olarak, yaklaşık 50 m'lik bir mesafeye kadar olan zayıf direkler için çok uygundur. Dayanıklılık elemanı olarak çelik teller yerine aramid sargıları kullanılırsa, yıldırım düşmelerine meyilli olan bölgelerde tam dielektrik havai hat kablosu olarak kullanılabilir.



Şekil 9.25 8 çeklinde kablo

- 1 PE kılıf
- 2 Çelik tel
- 3 Aralık
- 4 Oluklu çelik bant
- 5 Şişebilen dolgu bileşiği
- 6 Tampon tüp
- 7 Optik fiberler
- 8 Dolgu bileşiği



Şekil 9.26 Çok amaçlı kablo

- 1 PE kılıf
- 2 Dayanıklılık elemanları
- 3 Tampon tüpler
- 4 Optik fiberler
- 5 Sargı bükümü

9.5.5 Denizaltı kabloları

Kara tipi fiber optik iletim kabiliyetini, tekrarlayıcısız denizaltı uygulamalarına (unrepeated undersea applications) genişletmek için, MINISUB tekrarlayıcısız denizaltı kablo ürün hattı geliştirilmiştir. MINISUB cihazı, standart satışa hazır kara terminalleri ve bakım sistemleri, optik güçlendiriciler ve ön amplifikatör modülleri ve ayrıca düşük kayıplı optik fiberler ve özellikle tekrarlayıcısız sistem uygulamaları için yapılan yüksek performanslı, mekanik olarak sağlam ve düşük maliyetli kablolardan oluşmaktadır.

Denizin 6000m'ye kadar olan derinliklerinde kablo döşenmesi ve onarılması, SDH teknolojisinde 2.5 Gbit/s'lik 24 fibere kadar bir iletim kapasitesi olan 400 km'lik toplam tekrarlayıcısız gerilme uzunluğu (Bölüm 14.1) önemli özelliklerdir.

MINISUB sisteminin temel elemanlarından biri, denizaltı kablosu ve teçhizatıdır. MINISUB kablo ailesi, merkezi gevşek tamponlu tüp tasarımına dayanmaktadır (Şekil 9.27). büyük su derinliklerinde yüksek hidrostatik basınca dayanabilmesi için ve optik fiberleri moleküler hidrojeni sızdırmayacak şekilde izole etmek için tampon tüp bakırdan yapılmıştır. Kablonun döşenmesi, işletilmesi ve onarılması sırasında beklenen gerilme yüküne bağlı olarak zırh, yüksek gerilme dayanıklılığı olan galvanizli çelikten bir ya da üçe kadar katmandan oluşmaktadır. Zırh katmanları, polietilen (PE) katmanlar tarafından tipik olarak ayrılmaktadır. Dış katman da PE'den oluşmaktadır.

Sahil bölgelerinde balık tutma faaliyetlerinden ve ayrıca demir atmadan kabloları korumak için, kablolar özellikle tasarlanmış denizaltı sabanı yardımıyla denizin dibinden bir metre derinlikte gömülmektedirler. Kabloların gerilme özelliğini geliştirmek için diğer bir ihtimal bir koruyucu kullanmaktır. Bu ek koruyucu, kablo fabrikasında MINISUB kablosundan bağımsız olarak üretilen ve sonra döşeme gemisinde kabloya eklenen iki çelik halattan oluşmaktadır.

9.6 Optik Kablolar Yapılan Çevresel Testler

İletim özellikleri ve çevresel şartlar açısından optik kabloların çok geniş çaplı gereksinimleri vardır. İletim özelliklerinin genellikle optik fiber karakteristiklerine bağlı olmasına rağmen (en önemli iletim parametreleri için testler ve ölçme metotları Bölüm 5'te anlatılmıştır), kablounun çevresel etkilere karşı olan davranışı kablo tasarımına bağlıdır. Bütün uygulamalara uyan kablo özelliklerini optimize etmek için kullanılabilen bir çok mekanik ve termik test metotları bulunmaktadır. Sonuçların tam bir değerlendirilmesi ile beklenen işletme şartları altında optik kabloların performansını tahmin etmek mümkündür. En önemli testler, gerilme dayanıklılığı ve sıcaklık içindir.

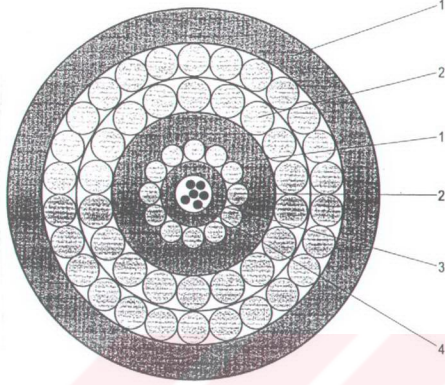
Çevresel test metotları, Avrupa standardı EN 187000'de (ulusal Alman standardı VDE 0888) ve uluslararası olarak IEC 794-1'de belirtilmiştir.

9.6.1 Gerilme dayanıklılığı testi

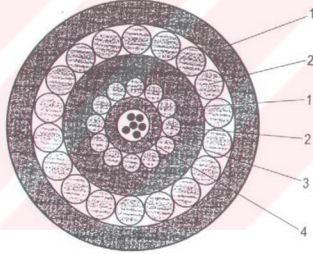
Kablounun tesis edilmesi sırasında büyük gerilme kuvvetleri oluşabilmektedir, bu gerilme kuvvetleri optik fiberin işlemlerini etkilememelidir. Bu, tesis edilmiş kablolar için de geçerlidir; burada artık gerilme kuvvetlerinin optik fiber üzerinde sürekli bir etkisi olmamalıdır.

Bu sebepten dolayı tek-fiberli ve çok fiberli gevşek tamponlar genellikle optik kablo tasarımında kullanılmaktadır (Bölüm 8.1 ve 8.2). Bu gevşek tamponlarda fiberlerin hareket özgürlüğü vardır; bu hareket özgürlüğü fiberleri dışarıdaki önemli etkilere korumaktadır. Bu boş alan, fiberin işletme karakteristiğidir (Şekil 9.28); karakteristiğine bağlı olarak tasarlanmıştır, üretilmiştir ve üretilen kablo üzerinde bir tip testi yapılmıştır. Tip testi sırasında, bir gerilme testi ile boyuna genişleme aralığı belirlenmektedir ve bir sıcaklık testi ile büzülme aralığı belirlenmektedir.

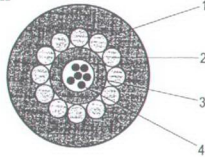
MINISUB Bakır Tüp Çift Zırlı
(Copper Tube Double Armoured)
(CTDA)



MINISUB Bakır Tüp Tek Zırlı
(Copper Tube Single Armoured)
(CTSA)



MINISUB Bakır Tüp Düşük Ağırlıklı
(Copper Tube Light Weight)
(CTLW)



Şekil 9.27 MINISUB kablo ailesi

- 1 PE kılıf
- 2 Çelik teller
- 3 Bakır maksitüp, dolgulu
- 4 Optik fiberler

Gerilme testi sırasında

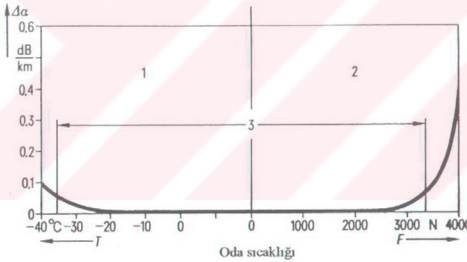
Kablonun boyuna genişleşmesi ε_k ,

Fiberin boyuna genişleşmesi ε_f ve

Zayıflamadaki değişim $\Delta\alpha$

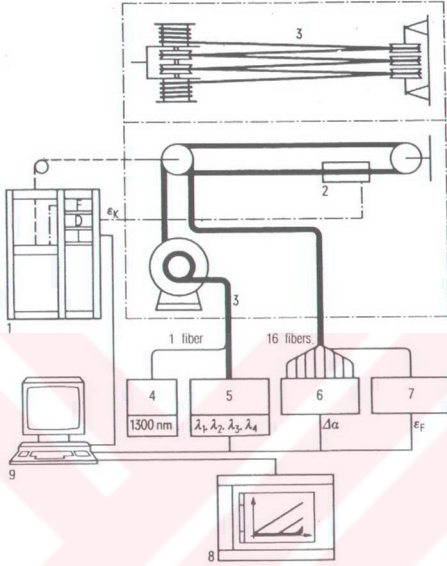
gerilme kuvveti F 'nin bir fonksiyonu olarak kabul edilmektedir. Bu amaç için, 100 m civarında bir uzunluk için bir halat takımı blokuna benzeyen bir kablo makarası olan bir gerilme test cihazı (Şekil 9.29) kullanılmaktadır.

Kablonun boyuna genişleşmesi, kablo kılıfının dışına kancalanmış bir boyuna genişleşme test cihazı tarafından ölçülmektedir ve fiberin boyuna genişleşmesi, darbe gecikme zamanı ölçümü ile belirlenmektedir. Zayıflamadaki değişim, tek-modlu veya çok modlu fiberi aynı zamanda ve en fazla 4 dalga boyunda ölçmeyi mümkün kılan özel bir zayıflama değişimini ölçme tertibiyle ölçülmektedir. Buna karşılık gelen veriler bir gerilme test kayıt cihazında kaydedilebilmektedir (Şekil 9.30).



Şekil 9.28 Bir tek-fiberli ve çok fiberli gevşek tamponlu kablonun işletme karakteristiği (örnek)

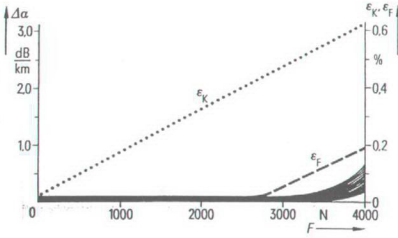
- 1 Büzülme aralığı
- 2 Boyuna genişleşme aralığı
- 3 İşletme aralığı



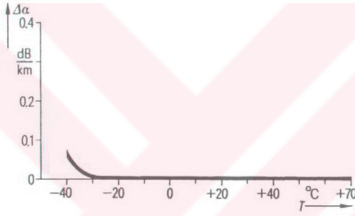
Şekil 9.29 Gerilme test cihazı (şematik)

- 1 Çekme makinası
- 2 Boyuna genişleme test cihazı
- 3 Kablo
- 4 Darbe lazeri
- 5 Ölçme vericisi
- 6 Ölçme vericisi
- 7 Darbe alıcısı
- 8 Plotter
- 9 Bilgisayar

Şekil 9.30, fiber 3000 N civarında boyuna genişlemeye başladığında zayıflamanın da arttığını göstermektedir. Zayıflamadaki bu değişimler için tersi de geçerlidir, yani kablo serbest bırakıldığında azaltılmaktadırlar.



Şekil 9.30 Bir tek-fiberli veya çok fiberli gevşek tamponlu kablunun gerilme test kaydı; gerilme kuvvetinin fonksiyonu olarak $\Delta\alpha$, ϵ_K , ϵ_F



Şekil 9.31 Sekiz katmanlı demetlenmiş çok fiberli gevşek tamponu ve her birinin altı tek-modlu fiberi olan bir kablo için sıcaklığın bir fonksiyonu olarak 1300 nm'lik bir dalga boyundaki zayıflama değişimi $\Delta\alpha$

9.6.2 Sıcaklık performansı testi

Optik kablolar, işletilmeleri ve genellikle depolanmaları sırasında da çok çeşitli sıcaklıklara maruz kalmaktadırlar. Gömülü ve kanal içinden geçirilen kablolar için çevresel sıcaklıklarda sadece nispeten küçük değişimler beklenmektedir; bunun tam tersi olarak, havai hat kablolarında daha büyük değişimler olmaktadır. Her kablo tipinin belirli sıcaklık aralıkları için, optik fiberin iletim özellikleri ancak sınırlı bir aralıkta değişebilmektedir.

Sıcaklık performansını belirlemek için, zayıflamadaki değişme sıcaklığın bir fonksiyonu olarak ölçülmektedir. Bu amaçla, kablo ve üzerine sarıldığı tambur, iki ucu bir zayıflama ölçme test tertibine bağlı olan bilgisayar kontrollü sıcaklık odacığına yerleştirilmiştir. Birkaç software programı, belirli gereksinimleri karşılamak için çeşitli sıcaklık devirlerinin

işletilmesini sağlamaktadır. Şekil 9.31, örnek olarak, her biri 6 tek-modlu fiber içeren 8 tamponu olan bir çok fiberli gevşek tamponlu kablonun ortalama zayıflama değişimini göstermektedir.

Şekil 9.31’ de, -40°C ’ de 1300 nm’lik bir dalga boyunda ortalama zayıflama değişiminin 0.1 dB/km’ den daha az olduğu görülebilmektedir.

Özet olarak, gerilme ve sıcaklık testlerine göre, bir optik kablonun işletme karakteristiğini (Şekil 9.28) gösteren tek bir açıklama vermek için, gerilme ve sıcaklık eğrilerinin tek bir grafikte birlikte çizilebileceği söylenebilmektedir.

9.6.3. Diğer çevresel testler

Aşağıda, diğer çevresel testlerin bir listesi verilmektedir:

Mekanik testler

Uygulamaya göre, bir optik kablo farklı kuvvetlere maruz kalabilir. Örneğin, havai hat kablolarında veya tren rayları gibi genel taşıma hatları boyunca veya köprülerde test edilen optik kablolarda titreşimler oluşabilmektedir. Hareket gerektiren üniteler (Örneğin, tıbbi röntgen cihazlarında olduğu gibi) için iç kablolama gerekli olduğunda, çevrimsel ve kıvrımlı bükülme dayanıklılığı açısından özel talepler vardır.

Son olarak, kablolar, tesis etme sırasında ortaya çıkabilen yanal ezilmeler ve çarpma kuvvetlerine belli bir dereceye kadar dayanmalıdır.

Bu kablo özelliklerini belirlemek için IEC standartlarına aşağıdaki standartlar uygulanabilir: Bükülme, burulma, çarpma, ezilme ve titreşim.

Termik testler

Sıcaklık devir testlerine ek olarak, kabloların dayanıklılığını hesaplayabilmek için daha yüksek sıcaklıklarda yıpranma testleri yapılmaktadır, örneğin uzun bir zaman periyodunda (yarım yıl) yaklaşık 70°C. Bu zaman aralığında, farklı maddelerin iletim özellikleri ve potansiyel değişimleri kontrol edilmektedir.

Endüstride, bina içi ve özel kablolar için aleve karşı daha yüksek dayanıklılık sık sık gerekmektedir; ve bu da diğer çevresel testlerle birlikte test edilebilmektedir.

Kimyasal testler

Pratik kullanımda, kablolar çok çeşitli kimyasal çevre şartlarına maruz kalmaktadırlar, örneğin petrol, alkali çözeltiler ve asitler. Kablonun kısa uzunlukları üzerine testler yapılmaktadır ve değişiklikler gözlenmektedir.

Diğer testler

Gerekirse, kemirgenlere karşı dayanıklılık, bakteriler, mikroplar, beyaz karıncalar, gaz blokajı için özel testler yapılmalıdır.

9.6.4 Yangına karşı dayanıklılık

Özellikle bina içi kablolar için yangına karşı dayanıklılık gerekmektedir. Yangının sınırlandırılması için birkaç farklı gereksinim mevcuttur. Bunlardan bazıları şunlardır:

FR alev geciktirici

Kablo özel maddelerden yapılmaktadır, böylece ateşle tutuşturmak zordur. Alev geciktirici kablo için yapı da önemlidir.

NC paslanmayan

Kablo kılıfı ve tamponlar paslanabilen maddeler içermez, yani, paslanma elektronik cihazlara ve hava alma sistemine yönelir. En çok bilinen paslanabilen maddeler klor, brom ve florun bileşikleridir. Örnek olarak PVC yandığında paslanabilen klor üretmektedir.

LS düşük duman

Kablo kılıfı ve tamponların yapıldığı maddeler, yangın sırasında çok az duman açığa çıkarırlar. Bu, acil çıkışlar ve kaçış yolları için özellikle önemlidir.

OH halojensiz

Halojensiz kablolar, paslanmayan kabloların bir alt grubudur ve paslanabilen halojenleri içermezler. Fakat, başka paslanabilen maddeleri içerebilirler. Bölüm 9.2'ye bakınız.

Yangına karşı dayanıklılık için gereksinimlerin genellikle kullanılan kombinasyonları FR NC ve LS OH' dır.

10 KABLO TESİSİ TASARIMI

Bu bölümde, optik kablo tesislerini planlamanın en önemli faktörleri özetlenmiştir. Optik kablolar için tesis etme uygulamaları fikrine ek olarak, zayıflama ve dağılma gibi iletim parametrelerini hesaplama metotlarına ve ayrıca mekanik parametrelere ve ek yapma teknolojisine özellikle dikkat edilmelidir.

Bir optik kablo tesisi, birbirine bağlantılı tesis edilmiş kablo uzunluklarından oluşmaktadır ve uçlarındaki ilk sürekli olmayan eklere, yani konnektörlere, kadar uzanmaktadır.

Aşağıdaki yorumlar, bazen karmaşık olan bu konunun daha iyi anlaşılabilmesini kolaylaştırmak için mümkün olduğu kadar genel tutulmalıdır. Bu konularda daha ayrıntılı bilgi için, benzer özel teknik yazılar referans olarak verilmiştir.

10.1 İletim Özelliklerinin Planlanması

Kullanılan optik fiberlerin zayıflaması ve bant genişliği ve ek bağlantılarındaki kayıplar, optik kablo tesislerinin planlanmasında ele alınması gereken iletimi etkileyen en önemli parametrelerdir. Konnektörlere, dallanma noktalarına, muflara, vs. bağlı olan kayıplar ve cihazda planlanması gereken ekstra farklar, aşağıdaki düşüncelerde hesaba katılmamıştır.

10.1.1 Tek-modlu ve çok modlu fiberler için zayıflamanın planlanması

Bir kablo tesisinin zayıflaması α_K , zayıflama katsayısı α_F olan kablo uzunluğu L ve ek kayıplarının α_{sp} sayısı n ' den hesaplanmaktadır. Böylece

$$\alpha_K = L\alpha_F + n\alpha_{sp},$$

α_K dB olarak kablo tesisinin zayıflaması

L km olarak kablo uzunluğu

α_F dB/km olarak zayıflama katsayısı

n ek sayısı

α_{sp} dB olarak ek kaybı

Tablo. 10.1: Optik iletim sistemleri için zayıflamanın geniş kapsamlı planlanması									
İletim bit oranı	Mbit/s	140		565		2488		Tek modlu fiber	1550 nm
		1300 nm	1550 nm	1300 nm	1550 nm	1300 nm	1550 nm		
Fiber tipi									
Optik verici									
Lazer diyot									
Dağa boyu	nm	1285-1330	1500-1570	1290-1330	1525-1575	1260-1360	1480-1550		
Spektral genişlik	nm	< 5	< 1	4	0,3	< 1	0,25		
İletilen güç	dBm	-5	-5	-6	-8	-5	-4		
(konnektör arkasında)									
Optik alıcı									
Alınan güç	dBm	-38	-40	-37	-38	-18	-27		
3 db'lık sistem marjını (çeren									
İçeren tekrarırcı aralığının	dB	30	32	28	27	10	20		
maksimum optik zayıflaması									
Fibrenin zayıflama katsayısı	dB/km	1	0,25	0,4	0,25	0,4	0,25		
Ortalama ek kaybı	dB/ splice	0,2-0,1	0,1-0,05	0,1-0,05	0,1-0,05	0,1-0,05	0,1-0,05		
Tesis uzunluğu	km	1-2	1-2	1-2	1-2	1-2	1-2		
Uzunluk başına ek kayıp	dB/km	0,2-0,05	0,1-0,025	0,1-0,025	0,1-0,025	0,1-0,025	0,1-0,025		
Ortalama marjını	dB/km	0,35-0	0,2-0	0,2-0	0,2-0	0,2-0	0,2-0		
Kablo tesisinin zayıflama	dB/km								
katsayısı		1,55-1,05	0,55-0,275	0,7-0,425	0,55-0,275	0,7-0,425	0,55-0,275		
Tekrarırcı aralığının uzunluğu	km	19,3-26,5	58,1-116,3	40-65,8	49,98,1	14,2-23,5	36,3-72,7		

1-) FBR= Fabry-Perot-Rezonatör

2-)DFB= Geri beslemeli dağıtım

Kablo tesislerinin daha uzun işletme periyotları için tasarlanmasından dolayı, planlama sırasında onarma eklerini dengelemek için ekstra marjinler eklenmelidir. Bu, mevcut kablounun yeniden yönlendirilmesi sebebiyle veya inşaatlar ve kazılar sırasında oluşan zararların onarılması için, yeni kablo parçalarının tesis edilmesi gerektiğinde özellikle önemli olabilir. Bu amaçla rezerve edilen zayıflamanın ekstra marjini α_{Res} , yerel şartlara ve tesisin önemine bağlıdır. Bu marjin, şebeke operatörünün kararına bağlı olarak 0.1 ve 0.4 dB/km arasında olabilmektedir.

Bundan, tekrarlayıcı aralığı için zayıflama α_R hesaplanabilmektedir.

$$\alpha_R = \alpha_K + \alpha_{Res} L,$$

burada, α_{Res} kilometre başına desibel olarak zayıflamanın ekstra marjini. Mümkün olan en uzun teslim uzunluklarını kullanarak, eklerden dolayı mümkün olduğu kadar az zayıflama artışı elde edilmeye çalışılmalıdır.

Örnek

$\lambda = 1300 \text{ nm}$ ’lik bir işletme dalga boyunda, 30 dB’lik tekrarlayıcı aralığı için maksimum zayıflaması olan, lazer diyotlu 140 Mbit’lik bir sistem için bir yol planlanacaktır. Yolu uzunluğu 50 km olacaktır, burada 2000 m uzunluğundaki kablolar kullanılacaktır, yani 0.1dB’lik bir ortalama kaybı olan 24 ek gerekecektir. Ekstra marjin, yol boyunca verilen şartlara bağlı olarak 0.1dB/km’ye ayarlanmıştır.

Seçilecek optik fiberlerin hangi maksimum zayıflama katsayısında olabileceği ve yolun tekrarlayıcı olmadan beslenip beslenemeyeceğini kararlaştırmak gerekmektedir (dağıtım ile ilgili görüşler Bölüm 10.1.3’te ele alınmıştır).

Çözüm

Yukarıda bahsedilen denklemlerden

$$\alpha_R = L\alpha_F + n\alpha_{sp} + L\alpha_{Res};$$

$$\alpha_F = \frac{\alpha_R - n\alpha_{sp} - L\alpha_{Res}}{L};$$

$$\alpha_F = \frac{30 \text{ dB} - (24 \times 0.1 \text{ dB}) - (50 \text{ km} \times 0.1 \text{ dB/km})}{50 \text{ km}} \approx 0.45 \text{ dB/km}.$$

Bu, gerekli optik fiberlerin zayıflama katsayısının 0.45 dB/km' den fazla olmaması gerektiği demektir. Tekrarlayıcı gerekmemektedir.

Tablo 10.1, dikkate alınması gereken bütün zayıflama parametreleri ile çeşitli iletim sistemlerinin planlanmasını göstermektedir.

10.1.2 Kablo tesislerindeki dereceli katsayı fiberlerinin band genişliği

Dereceli katsayı profili olan bir optik fiberin band genişliği genellikle mod ve/veya madde dağılımı ile sınırlanmıştır. Daha büyük spektral genişliği ve $\lambda = 850 \text{ nm}$ ' lik bir işletme dalga boyu olan ışık yayan diyotlar kullanıldığında, madde dağılımı daha büyük bir rol oynamaktadır. Diğer yandan, tipik olarak daha küçük bir spektral genişliği ve $\lambda = 1300 \text{ nm}$ ' lik bir işletme dalga boyu olan lazer diyotlar ile mod dağılımı daha yaygındır.

Dereceli katsayı fiberinin gerekli band genişliği ile uzunluğun çarpımı

$$b_1 = B_1 L_1$$

hesaplamanın birkaç metodu vardır ; burada band genişliğinin uzunluk bağımlılığını yaklaştıran fiberin L uzunluğunda bir sistem band genişliği verilmiştir. Bu metotlardan biri güç kanununa dayanmaktadır (Bölüm 5.3):

$$\left(\frac{B}{B_1} \right) = \left(\frac{L}{L_1} \right)^{-\gamma}$$

B MHz olarak sistem band genişliği

b_1 MHz · km olarak band genişliği ile uzunluğun çarpımı

B_1 L_1 ' de MHz olarak optik fiberin band genişliği

L km olarak optik fiberin uzunluğu

L_1 B_1 band genişliğinde optik fiberin uzunluğu (tipik olarak 1km)

Birçok kablo parçası birbirine seri olarak bağlandığında, band genişliği mod dağılımına bağlı olarak uzunluk ile lineer olarak azalmadığından dolayı γ faktörü yardımıyla gerçek uzunluk bağımlılığı yaklaştırmaya çalışılmıştır. Genellikle γ için deerler 0.6 ve 1.0 arasında olduğundan genel olarak 0.8 beklenebilir.

Örnek

Bir dereceli katsayı fiberinden istenen band genişliği - uzunluk çarpımı b_1 , $\lambda = 1300$ nm' lik işletme dalga boyunda $L = 25$ km' lik tekrarlayıcı aralığı olan bir 34 Mbit sistem için hesaplanacaktır. 34 Mbit sistemin sistem band genişliği $B \geq 50$ MHz'dir.

Çözüm

$$b_1 = B_1 L_1 = \frac{B L_1}{(L / L_1)^{-\gamma}} = B L_1 \left(\frac{L}{L_1} \right)^{\gamma}$$

$$= 50 \text{ MHz} \times 1 \text{ km} \times 25^{0.8} \approx 657 \text{ MHz} \cdot \text{km}.$$

$\lambda = 1300 \text{ nm}$ ' lik bir işletme dalga boyunda bir dereceli katsayı fiberinin band genişliği – uzunluk çarpımının gruplandırılması $657 \text{ MHz} \cdot \text{km}$ ile yukarıdaki örnekte $200 \text{ MHz} \cdot \text{km}$ ' lik adımlarda ($600\text{-}800\text{-}1000\text{-}1200 \text{ MHz} \cdot \text{km}$) uygulanmasından dolayı, $800 \text{ MHz} \cdot \text{km}$ ' lik bir band genişliği – uzunluk çarpımı olan bir fiber gerekmektedir.

Kıyaslamak için Tablo 10.2, $\lambda = 1300 \text{ nm}$ 'de dijital sistemlerin dereceli katsayı optik fiberleri için band genişliği değerlerini vermektedir.

Tablo 10.2 $\lambda = 1300 \text{ nm}$ 'de dijital sistemlerin dereceli katsayı optik fiberleri için band genişliği

Sistem	Tekrarlayıcı aralığı başına band genişliği	
	LED (MHz)	LD (MHz)
8 Mbit/s	25	25
34 Mbit/s	50	50
140 Mbit/s	170	120

10.1.3 Kablo tesislerindeki tek-modlu fiberlerin dağılımı

Sadece lazerlerin kullanılacağı 140 Mbit/s ' ye kadar dijital sistemleri olan kablo tesislerinin planlanması sırasında, tek-modlu fiberlerin band genişliği genellikle ihmal edilmektedir, çünkü gigahertz aralığına kadar ulaşır ve bu yüzden zayıflama değerleri (fiber, ek ve marjinler) tekrarlatıcı aralıklarını sınırlar.

Tek-modlu fiberler için band genişliği yerine dağılım verilmiştir. Darbe genişlemesinin dağılımdan hesaplanması özellikle kolaydır:

$$\Delta T = M(\lambda) \Delta \lambda,$$

ΔT ps olarak darbe genişlemesi

$M(\lambda)$ ps/nm · km olarak kromatik dağılım

$\Delta\lambda$ nm olarak vericinin spektral genişliği (FWHM)

L km olarak fiberin uzunluğu

Örnek

Bu, $L = 50$ km uzunluğunda bir iletim yolu ile sonuçlanan darbe genişlemesi ve band genişliğinin hesaplanmasıdır; burada $\lambda = 1300\text{nm}$ 'lik bir işletme dalga boyu, $\Delta\lambda = 2.5$ nm'lik spektral genişliği ve $M(\lambda) = 3.5$ ps/nm · km'lik dağılımı olan bir lazer verilmiştir.

Çözüm

$$\Delta T = 3.5 \text{ ps/nm} \cdot \text{km} \times 2.5 \text{ nm} \times 50 \text{ km} = 437.5 \text{ ps.}$$

Bir optik fiberin band genişliği Bölüm 5.4' te açıklandığı gibi hesaplanmaktadır.

$$B \approx \frac{0.441}{437.5 \text{ ps}} \approx 1 \text{ GHz.}$$

565 Mbit/s' den daha büyük oranı olan sistemlerde dağılımın hesaplanması için, mod bölüşüm gürültüsü gibi lazerin özel karakteristikleri yukarıda bahsedilen parametrelere ek olarak ele alınmalıdır.

Tek-modlu optik fiberleri olan bir kablo tesisinin planlanmasında mod alan çapının büyüklüğü de ilgi çekicidir. Çünkü optik fiberin ek kayıplarını ve bükülme davranışını ve bu yüzden güç planlamasını ve böylece yolun uzunluğunu etkileyebilir.

10.2 Mekanik Planlama Görüşleri

Mekanik görüşler açısından planlamanın asıl amacı, çevresel şartlara optimal olarak uygun bir şekilde optik kablunun inşa edilmesi ve böylece dış etkilere karşı optik fiberlerin yeterli korunmasının sağlanmasıdır. Bu amaçla, standart kablo tasarımlarının ya da özel yapıların kullanılıp kullanılmayacağını belirlemek için veriler birçok kaynaktan toplanmalıdır.

Uygulamalarına göre, bina dışı, bina içi ve özel kablo tesisleri arasında bir ayırım yapılmaktadır.

Özellikle yol şartları ve tesis etme uygulamaları açısından birçok parametreyi kontrol etmek önemlidir. Bu parametreler şunlardır:

İzlenecek yol

Yol haritaları ve çevre haritaları, çıkış ve inişlerin eğimlerini, üzerinden veya altından geçilecek nehirler ve yollar ve ayrıca kritik eğrilerin sayısını (açıların gösterilmesi ile) belirlemek için kullanılmalıdır.

Arazinin türü

Bu amaç için, söz konusu arazinin ova, dağlık, çökme, orman, bataklık, göl, vs. olup olmadığını bilmek gerekmektedir.

Toprak tipi, iklim tipi

Toprak humuslu, killi, kumlu mudur? Kimyasal kirlenmeler içerir mi? Ortalama sıcaklıklar nelerdir?

Tesis etme uygulamaları

Kabloların gömülmesi ve toprağın kazılıp kabloların içine konması arasında bir ayırım yapılmaktadır. Kabloların tesis edileceği derinlik ve bükülme yarıçapı dikkate alınmalıdır.

Kablolar kanallar içinde çekileceği zaman, kablonun uzunluğu ve kablonun çekme gözüne ya da kablo çengeline uygulanan maksimum gerilme kuvveti düşünülmelidir.

Optik kablolar, metal iletkenli kablolarla kıyasla özel tesis etme uygulamaları gerektirmezler, çünkü hafiftirler, yüksek esneklikleri ve nispeten küçük çapları vardır.

Tesis etme sırasında bükülme yarıçapları, her kablonun karakteristiklerinde listelenenlerden küçük olmamalıdır. Listelenen tesis etme metodlarının en optimal olanı, yukarıda belirtilen parametreler dikkate alındıktan sonra seçilmelidir.

Kablo yapısı, yapısal elemanların boyutlandırılması ve doğru seçimi, mekanik, termik ve kimyasal etkilerin iletim özellikleri üzerinde sürekli bir etki yapmasını önleyecek şekilde tasarlanmalıdır. Her durumda, mümkün olan en uzun kablo boylarını kullanmak önemlidir, böylece iş miktarı ve ekler sebebiyle zayıflamadaki artışlar minimuma indirilmiştir. 2000 m ya da daha uzun kablo boylarını tesis etmek genel bir uygulama haline gelmiştir.

Birçok durumda, özellikle maksimum gerilme kuvvetinin aşılmamasını sağlamak mümkün olduğunda, optik kablolar düşük ağırlıklarından dolayı *elle* tesis edilebilirler. Fakat, bu durumlarda tesis etme sırasında uygulanan gerilme kuvvetini belgelemek mümkün değildir.

Tesis etme sırasındaki potansiyel gerilme kuvvetini belirlemek için, düz, yatay kablo yollarında gerilme kuvvetlerinin, tesis edilen kablonun uzunluğu ile lineer olarak arttığı farz edilebilmektedir. Bükülme yerlerinde, bükülme açısının ve sürtünmenin gerilme kuvvetinde bir üstel artışa sebep olduğu gerçeğini dikkate almak önemlidir.

Optik kabloları tesis etmenin diğer bir metodu, onları kanallara enjekte etmek için basınçlı hava kullanmaktır. Bu, kanal ile optik fiber çapının optimum oranı ve yaklaşık 1000 m' ye kadar uzunluğu olan uygun arazide mümkündür.

Çok uzun optik kablo boyları tesis edilirken (örneğin tek yönde > 3 km) , bir veya daha fazla kendiliğinden beslemeli ara sarıcı üniteler kullanılabilir.

Önceden tesis edilmiş kanalların daha iyi kullanılması için, en fazla 4 tane alt kanalın onların içine çekilmesi mümkündür. bu tip alt bölüm, birçok kablonun birbirinden bağımsız olarak tesis edilmesini sağlamaktadır.

İstisnai durumlarda, küçük dış çapları olan kablolar, alt bölümleri olmadan kanallar içinde peş peşe tesis edilebilmektedirler. Bu durumlarda, bu şekilde tesis edilen kablolar arasında dış çaptaki maksimum fark 5 mm' den büyük olmamalıdır, çünkü sıkıştırılmış ya da kısıtlanmış olabilirler.

Bina içi kablolarda, kolay tutuşabilmeleri ve halojen içerikleri dikkate alınması gereken faktörlerdir. Diğer yandan, mekanik basınç daha az önemli bir faktördür.

Otomatik desteklemeli havai hat kablolar, maden kabloları, denizaltı kabloları vs. gibi özel kablolar için, önceden bahsedilenlere ek olarak belirli kriterler ele alınmalıdır. Karmaşıklıkları ve sayıları nedeniyle burada ele alınmazlar.

Enerji besleme şirketleri optik kabloları büyük avantajlarla uygulayabilmektedir. Bazı kullanım şekilleri şöyledir:

- Yukarıdaki metotlara göre tesis edilen standart optik fiber kabloları olarak gömülü ve kanallı kablolar,
- Toprak telleriyle kullanılan teknikleri uygulayan otomatik desteklemeli havai hat kablolar. Galvanizli çelik, Aldrey (Alüminyum alaşım, E-AlMgSi) ya da Stalum (Alüminyum kaplı çelik, ACS) veya onların bir kombinasyonundan yapılan bir ya da daha çok katmanlı tel zırhı olan kablo tasarımları ve ayrıca tam dielektrik tasarımları

vardır. Bu iki tip için, 500m' den fazla kutup mesafeleri ve şiddetli çevresel şartları (rüzgar ve buz yükleri) bile, buna göre boyutlandırılan kablolarla problem yaratmazlar.

Tesis etme teknikleri ve cihazları, havai hat yapılarında genellikle kullanılanlara uymaktadır.

10.3 Fiber Optik Ek Yapma Tekniği

Kablolar genellikle standart uzunluklarda üretildiğinden ve kablo şebekelerinin dallanma gerektirmesinden dolayı, fiber optik kabloların eklenmesi gerekecektir. Sonuç olarak, kablo tesisi tasarımcılarının sadece fiberin zayıflama katsayılarını değil, eklerde ortaya çıkan kayıpları da hesaba katmaları gerekmektedir. Kablo tesisinin toplam maliyetini minimuma indirmek için, sinyal tekrarlayıcıları olmadan gerilmiş mesafeyi her zaman maksimize etmeye ihtiyaç vardır. Böylece, sadece kablo uzunluklarını arttırmak ve fiberdeki doğal kayıpları azaltmak değil, aynı zamanda eklerdeki kayıpları optimize etmek gereklidir.

Ekler, mekanik ve kaynak ekleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Mekanik ekler de aralarında mekanik bağlantılar (Bölüm 10.3.1) ve konnektörler (Bölüm 10.3.4) diye ikiye ayrılmaktadırlar.

Konnektör bağlantıları, *sürekli değildirler* ve mekanik teması sağlayan bir adaptör tarafından bir arada tutulan iki fiber optik konnektörü içermektedir. Konnektörlerdeki kritik kayıplar, giriş kaybı ve dönüş kaybıdır (Bölüm 5.11). Bu kayıplar, konnektörlerin uç yüzeyinin tipi ve kalitesi tarafından direkt olarak belirlenmektedir.

Mekanik bağlantılar, çoğunlukla çok modlu fiberleri olan şebekelerde veya kısa mesafeler için kullanılmaktadır. Onarırken ve ölçme yaparken geçici bağlantılar için sık sık kullanılmaktadır. Yüksek performanslı iletişim şebekelerinin gereksinimlerinin mekanik ekler tarafından karşılanamayacağı duruma (özellikle tek-modlu fiberler kullanıldığında) sık sık rastlanmaktadır. Böyle durumlarda, fiber uçlarını kaynak yaparak

topraklı bir bağlantı yapmak için optik fiberler için kaynak ekleri kullanılmaktadır. Bu kaynak eklerine *sürekli ekler* denilmektedir.

10.3.1 Mekanik ekler

Kaynak eklemesi sırasında optik fiberlerin uçları bir arada topraklandığı halde, mekanik eklerde, adından da anlaşıldığı gibi mekanik olarak bağlanmışlardır. Bu, genellikle içinde fiberlerin yerleştirildiği ve sıkı bir şekilde kenetlendiği V-oluklu mekanizmalar tarafından sağlanmıştır. Fiberlerin kesiştiği yerde, fabrikada önceden doldurulmuş bir sıvı çoğunlukla cam ve hava arasındaki kırılma katsayısının farkını dengelemektedir. Bu sıvı, optik fiberlere kıyasla hemen hemen aynı ışık iletimi özelliklerini göstermektedir ve birbirlerine yakın bulundukları için fiber uçları arasındaki boşluğu doldurmaktadır.

Mekanik ekler, kaynak ekleri gibi yaklaşık aynı düşük ek kaybı değerlerini göstermektedir, fakat dönüş kayıpları sıcaklığa bağlıdır. 0.2 dB'lik bir giriş kaybı, bir alan tesisatı için gerçekçi bir değerdir. Kırılma katsayısındaki değişime bağlı olarak, özellikle düşük sıcaklıklarda (-40°C), dönüş kaybı klasik metotlar ile yaklaşık -50 dB'e sınırlandırılmıştır.

Performansın o kadar önemli olmadığı yerlerde (örneğin geçici ekler için), büyük tesisatlar olmadan hızlı fiber optik atlamalar için ve onarımlar için, mekanik ekler son derece uygundur ve kullanılmalıdır. Böylece, kaynaklı ekleme metoduna ideal bir alternatif sağlarlar.

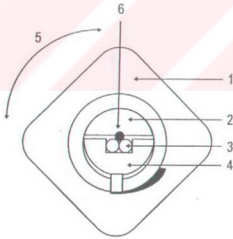
“*CamSplice*” gibi modern mekanik ekler basittir, hizmet dostudur ve tek-modlu ve çok modlu fiberlerin ikisi için de uygundur. *CamSplice*'ın karakteristik özelliği, içine sokulan fiberlerin yapışkan kullanılmadan sabit kalmasını sağlayan “*Cam mekanizması*”dır. İki cam kılcaldan oluşan bir tüm cam oluşu ile birlikte bu mekanizma, fiberlerin son derece düzgün bir şekilde sıralanmasını sağlayan bir patentli fiber yönlendirme metodunu içermektedir. Ortalama ek kaybı 0.15 dB'dir. *CamSplice*, 250/250 μm , 250/900 μm ve 900/900 μm 'lik coating'I olan bütün optik fiberler için tüm dünyada kullanılabilir. Yeniden kullanılabilir ve tek taraftan ayrılabilir.

Fiberlerin hazırlanması için, sadece coating'lerin çıkarılması için bir izolasyon soyma aleti ve fiber kesici gerekmektedir. Hazırlanan fiber uçları, uç yüzeyler birbirine temas edene kadar *CamSplice* içine yerleştirilmektedir. Sonra “cam” kilit kısımları fiberleri sabitleştirmek için çevrilmektedir (Şekil 10.1). Bu ekleme işleminde yapışkana ya da fiberlerin cilalanmasına gerek yoktur.

10.3.2 Kaynak Ekleri

Kaynak eklemenin amacı, düşük kayıp ve düşük yansıma ile birlikte mekanik dayanıklılığı ve uzun vadede sağlamlığı sağlayacak şekilde fiberin ışık yönlendirme çekirdeklerini bağlamaktır. Bu, bir kaynaklı bağlayıcı kullanarak fiberleri direkt olarak birbirine kaynatarak sağlanmaktadır.

Optik fiberler için bağlayıcılar, fiberleri birbirleriyle ilişkili olarak düzenli bir şekilde sıralamak için ve elektrik arkı ile fiberin uçlarını birbirine kaynatmak için kullanılmaktadır. Bu ark, iki elektrot arasında bir yüksek frekanslı alternatif gerilim tarafından üretilmektedir (Şekil 10.2).



Şekil 10.1 Bir mekanik ek olan *CamSplice*'in çalışma prensibi

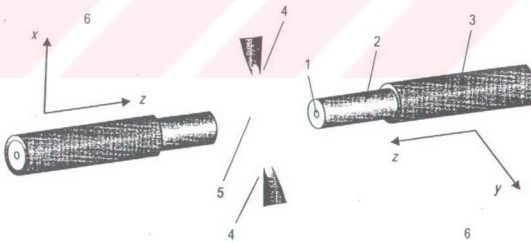
- 1 *Cam mekanizması*
- 2 Üst kısım
- 3 Cam kılcallar
- 4 Alt kısım
- 5 Kilitleme ve kilidi açmak için “cam” ı döndürme yönü
- 6 Optik fiber

Mekanik fiber eklemesine karşılık, kaynak eklemesinin fiber üzerinde kendiliğinden merkezleme etkisi vardır, böylece ek kaybını otomatik olarak optimize eder. Kendiliğinden merkezleme etkisi, kaynaklı topraklama işlemi sırasında erimiş camın yüzey gerilmesinin bir sonucu olarak fiberin, hatalı dizilişi olmayan bir homojen bağlantıyı oluşturma eğilimidir. Buna bağlı olarak, kaynak ekleri için çekirdek çekirdeğe diziliş olmadan 0.1 dB'den daha az ortalama kayıpların elde edilmesi mümkündür.

Fiber optik bağlayıcılar, tek-fiberli ve fiber bantlı uygulamalar için ünitelere bölünebilir. Farklı boyutlar ve fiber sayılarından dolayı (Şekil 10.3) özel uygulamalara uygun bir şekilde donatılan bağlayıcılara ihtiyaç vardır.

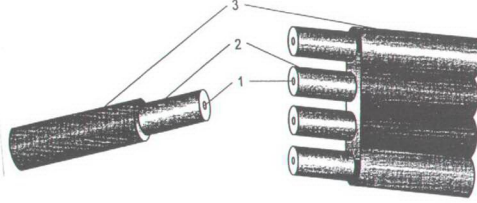
Tek-fiberli kaynaklı bağlayıcılar, çekirdek çekirdeğe dizilişli veya çekirdek çekirdeğe dizilişsiz olarak bulunmaktadır. Çekirdek çekirdeğe dizilişli olan üniteler, tek-modlu fiberler için 0.05 dB'den daha az ek kayıplarını sağlamaktadır.

Çok modlu fiberler için kaynaklı ekleme, büyük çekirdek çapı ve büyük nümerik açıklığından dolayı o kadar önemli değildir. 0.02 dB'den daha az ek kayıpları tipik olarak elde edilmektedir.



Şekil 10.2 Kaynaklı ekleme prensibi

- 1 Çekirdek
- 2 İnce kaplama
- 3 Coating
- 4 Elektrot
- 5 Elektrik arkı
- 6 Fiber dizilişi



Şekil 10.3: Tek-fiber ve fiber bandı

- 1 Çekirdek
- 2 İnce kaplama
- 3 Coating

Fiber bantları için bağlayıcılar, kendiliğinden merkezleme etkisini kullanmaktadır. Fiber bantların çekirdek çekirdeğe dizilişi, birbirlerine yakın duran fiberlerin sabit aralıklarından dolayı uygundur. Bantlardaki fiberlerin kalitesine ve sayısına bağlı olarak, 0.15 dB'lik maksimum kayıpları ile 0.1 dB'den daha az ortalama kayıplar ek başına elde edilebilir. Uygulamada bu kayıplar kabul edilirse, banttaki bütün fiberler aynı zamanda hazırlanabilir ve eklenebilir ve böylece zaman tasarrufu olur ve verimlilik artar.

Fiber bant bağlayıcıları tek-fiberler için sık sık kullanılmaktadır.

Tek-fiberli ve fiber bantlı kabloların kullanımı bölgeden bölgeye değişir ve özel şebeke yapıları tarafından etkilenebilmektedir. Henüz hiçbir standart onaylanmamış olmasına rağmen, genellikle kullanılan fiber bantları 4, 8 ya da 12 ayrı ayrı fiberleri içermektedir. Günümüzde, Asya ve Avrupa'nın bazı kısımlarında dört ve sekiz fiberli bantlı şebekelerde ve A.B.D. ve Asya'da on iki fiberli bantlı şebekelerde kullanılmaktadırlar.

Bantlar için fiberin hazırlanması, tek-fiberli uygulamalar için hazırlanmasından daha karmaşıktır, örneğin bant yapısındaki bütün fiberlerin aynı anda izolasyonunun soyulması ve kesilmesine bağlı olarak. Ayrıca, farklı bant boyutlarının işletilmesinin basitleştirilmesi gerekmektedir, bu yüzden bant uygulamalarında ekler, işletme adaptörleri kullanılmaktadırlar.

Ekleme işlemi, tek-fiberler ve fiber bantları için temel olarak aynıdır. Üç adıma ayrılabilir:

Fiber hazırlanması

Kaynaklı ekleme

Eklerin korunması ve depolanması.

Fiberlerin eklenmesi sırasında, her işlem adımının düzgün ve doğru bir şekilde yapılmasını sağlamak her zaman önemlidir.

Fiber Hazırlanması

Ek yapma tekniğine bakmaksızın, fiber hazırlanması aşağıdaki işlem adımlarını içermektedir.

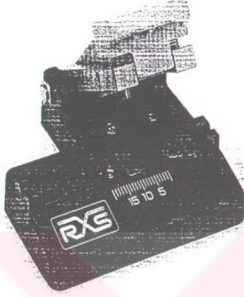
İzolasyonu soyma

Çalışma yerinin ve kablonun hazırlanmasından sonra, fiberin etrafındaki tampon ve coating çıkarılmalıdır. Tek-fiberler için elle işletilen aletler, genellikle bu amaç için kullanılmaktadır. Fiber bantları, genellikle termik izolasyon soyma aletlerini kullanarak soyulmaktadır. Bu aletler, banttaki bütün ayrı ayrı fiberlerin coating'ini aynı anda soyarak, bant coating'ine ısı ve kontrollü bir kesiş uygulamaktadırlar.

Soyma aletleri, fiberin zarar görmemesini garantileyecek bir şekilde tasarlanmalı ve işletilmelidir. Fiberin herhangi bir zarar görmesi, işletilmesi veya ek yapılması sırasında fiberin kırılmasına sebep olan mikro çatlakları meydana getirebilir. Çoğu eklerin yapısında bulunan gerilme test cihazı, korumasız ekleri kontrol etmek ve kapama elemanı ya da ek modülünde depolandığı zamandaki mekanik dayanıklılığını doğrulamak için kullanılmaktadır.

Temizleme

Açıktaki fiber uçları, coating kalıntılarını ve diğer pislikleri çıkarmak için alkol ile temizlenmektedir.



Şekil 10.4 A8 kesicisi

Kesme

Fiberler bir kesici kullanarak kesilmektedir. Kesilen yüzey, mümkün olduğu kadar düz ve fiber eksenine dik olmalıdır, çünkü uç yüzeyin kalitesi ek kaybını direkt olarak etkilemektedir. Yüksek kaliteli kesiciler, tipik olarak dik açığa 0.5° 'lik bir kesme açısı sapması yaparlar. Çeşitli uygulamalara ve gereksinimlere uygun olan farklı kesici tipleri bulunmaktadır. Şekil 10.4 ve 10.5, tek-fiberlerin kesilmesi için tipik yüksek performanslı kesicileri göstermektedir. Çeşitli kesme uzunlukları için bütün bilinen fiber tipleriyle kullanılabilmektedirler ve işletilmeleri kolaydır.

Çalışma yerindeki şartlar altında taşıma ya da işletme sırasında zarar görme riskini minimuma indirmek için, bağlayıcı kutusunun çalışma bölgesinde kesicilerin montajı için kaynaklı bağlayıcılar üzerinde sık sık kullanılan bir hüküm vardır.

Kaynaklı Ekleme

Prensip olarak, kaynaklı ekleme optik fiberler için bütün kaynaklı bağlayıcılarda aynıdır ve aşağıdaki adımlardan ibarettir.

Fiber uçlarının sokulması

Hazırlanmış fiber uçlarının, bağlayıcının fiber yuvalarına sokulması. Bu, elle ayarlama ile fiber uçlarının kaba bir şekilde dizilmesini gerektirebilir.

Fiber dizilişi

Bu adım, çoğu yüksek kaliteli bağlayıcılarda tam otomatik olarak uygulanmaktadır. Burada, çeşitli fiber diziliş tipleri ve çeşitli kaynaklı işlem kontrol şekilleri arasında bir ayırım yapılmaktadır (Bölüm 10.3.3). Basit bağlayıcılarda, fiberler kabul edilebilir bir doğruluk ile elle sokulup ayarlanarak dizilmektedirler.

Ark temizlenmesi

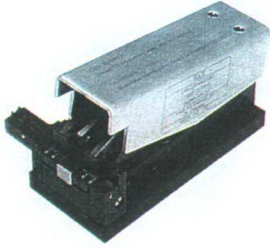
Birçok bağlayıcı, ekleme yapılan bölgedeki kir parçacıklarını veya kalıntıları yakmak veya dağıtmak için kısa ark ateşlemesi ile fiber uçlarına ek bir temizleme sağlarlar.

Ark ateşlemesi sırasında ince ayarlı kaynak yapılması

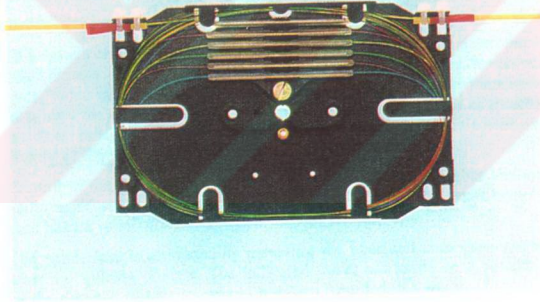
Kaynak yapma işlemi, genellikle bağlayıcı tarafından otomatik olarak önceden belirlenmiş parametrelere göre uygulanmaktadır. LID™ sistemi ve AFC™'si olan bağlayıcılarda, ayrıca ek kaybının direkt ya da direkt olmayan ölçülmesi ile kontrol edilmektedir (Bölüm 10.3.3). İşlem, genellikle ilk ve ana kaynak fazları olmak üzere alt kısımlara bölünmektedir. İlk kaynak fazında, ana kaynak fazı sırasında fiberlerin optimum topraklanmasını sağlamak için fiber uçları eritilmektedir.

Ek kaybının hesaplanması ya da ölçülmesi

Yüksek kaliteli bağlayıcılar bu yeteneği sağlar, böylece ek kayıpları kaynak yapma işleminin hemen ardından değerlendirilebilir.



Şekil 10.5 D6 kesicisi



Şekil 10.6 Isı ile büzüşen ek koruyucuları olan standart ek tablası

Bitirilmiş ekin gerilme testi

Çoğu bağlayıcıların yapısında gerilme test cihazı vardır. Bu, tamamlanmış ekin mekanik dayanıklılığını kontrol etmek için kullanılmaktadır.

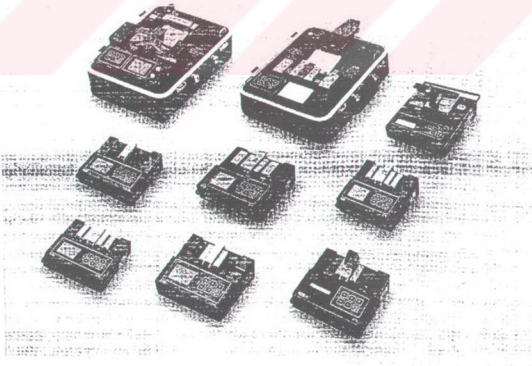
Eklerin Korunması ve Depolanması

Eklerin korunması

Ek çıkarılır ve bir ek koruması (örneğin ısı ile büzüşen ya da lehimsiz ek koruması), bu amaç için sağlanan bir cihazla genellikle bir çıplak cam fibere uygulanmaktadır. Ek koruma cihazları, genellikle kendi yapılarında bulunmaktadır ya da uyarlanabilir teçhizat olarak bulunmaktadır.

Eklerin depolanması

Korumalı ek, bir ek tablasında (genellikle ek düzenleyicisinde) depolanmaktadır (Şekil 10.6). Ekler, ek tablası tutucuları ile donatılabilmektedir. Korumalı ek ve fiberin gevşek kısmı depolandığında fiberlerin maksimum bükülme yarıçapını dikkate almak gerekir.



Şekil 10.7 Bağlayıcı ailesi

10.3.3 Optik Fiberler İçin Bağlayıcılar

Modern füzyon bağlayıcıları, her uygulamaya uygun olan çok çeşitli seçenekleri sunmaktadır (Şekil 10.7). Üniteler genellikle özellikleriyle farklıdır, örneğin:

- Fiber dizilişi ve füzyon kontrol sistemleri
- Fiber dizilişi tipleri
- Fiziksel tasarım

Fiber Dizilişi ve Füzyon Kontrol Sistemleri

Düzgün fiber dizilişini ve ayrıca ek kaybının hesaplanmasını sağlamak için, bağlayıcılar sık sık füzyon işlem kontrolünü kullanmaktadırlar. Bu amaçla iki farklı sistem kullanılmaktadır:

- Fiberin mekanik özelliklerinin video görüntüsü ile görsel olarak değerlendirildiği sistemler
- Bağlayıcılardan iletilen ışığın davranışını ölçen sistemler

Aşağıdaki paragraflarda, en çok kullanılan dizilişler ve füzyon kontrol sistemleri açıklanmıştır.

Profil Dizilişleri Sistemi (Profile Alignment System) (PAS)

Bu sistem, iki perspektifte fiberdeki çekirdeklerin dış boyutlarını ve durumunu belirlemek için büyütmeli optiklerini ve bir video sistemini kullanmaktadır. Fiberlerin kaydedilmiş iki görüntüsünün video görüntü değerlendirmesi, fiber dizilişini kontrol etmek için kullanılmaktadır. Bu sistem, fiber uçlarının çekirdekten çekirdeğe dizilişine izin vermektedir. Fiberler bir monitörde görüntülenmektedir. Odaklamanın karışıklığı sebebiyle, her seferde sadece bir görüntü gösterilmektedir.

Füzyon işleminin kontrolü, sadece fiber dizilişi ve önceden ayarlanmış füzyon parametreleri ile yapılmaktadır. Parametrelerin optimizasyonu ek yapılmasından önce uygulanmalıdır.

Ek kaybı, ek yapılması işleminden sonra fiber ve çekirdeğin akortsuz dizilişinin değerlendirilmesiyle bulunmaktadır. Belirtilen kayıplar, bulunan akortsuz dizilişlerin bir seri testlerde kaydedilen değerler ile kıyaslanmasına dayanmaktadır

Mercek-Profil Diziliş Sistemi (Lens-Profile Alignment System) (L-PASTM)

Bu sistem, PAS'ın basitleştirilmiş bir şeklidir. L-PASTM, dizilişi kontrol etmek için fiberin mercek etkisini kullanmaktadır. İyi çekirdek eşmerkezliliği olan standart optik fiberler kullanıldığında, bu sistem ortalama gereksinimleri olan uygulamalar için yeterlidir.

L-PASTM sisteminin, PAS ünitelerinin aksine sadece basit ve bu yüzden kuvvetli olan optiklere ihtiyacı vardır. Odaklamak için CCD kameralarını hareket ettirmeye gerek yoktur. Bu, kendi yapısındaki bir monitör üzerinde iki fiber şekli aynı anda görüntülenirken, cihazın boyutunun azaltılmasını mümkün kılar.

Bu teknik, fiber ve yüzeyini belirleyen, bozulmaları ve mekanik zararları tarayan, dizilişi kolaylaştıran ve ek kaybını hesaplayan bir video değerlendirme sistemini kullanmaktadır (Şekil 10.8).

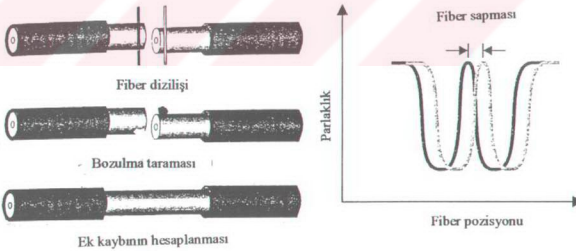
L-PASTM sistemi, fiber dizilişini içererek tipik olarak 10 saniyelik son derece kısa füzyon işletme zamanlarını sağlamaktadır.

Bölgesel Işık Enjeksiyonu ve Tarama Sistemi (Local Light Injection and Detection System) (LID SystemTM)

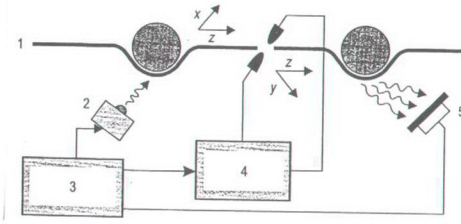
LID SistemiTM, 1300 nm'lik dalga boyundaki tek-modlu iletim bölgesinde işletilen, kendi iç yapısına yerleştirilen iletilen ışığı ölçme sistemidir. LID SistemiTM, optik değerlendirme

sistemlerinin aksine, düzenli dizilişi ve füzyon kontrolünü bağlantı yerinin iletim karakteristiklerinin bir fonksiyonu olarak uygulamaktadır. Bu sistem, eklenecek olan fiber uçlarından birine ışık enjekte etmek için bir bükümlü-fiber mufunu (kaynağını) kullanmaktadır. Ekin diğer tarafında iletilen ışık bir bükümlü-fiber mufu tarafından çıkartılır ve bir fotodiyot tarafından taranır. LID iletim seviyesinin bir fonksiyonu olarak çıkartılan elektrik sinyali, mikroişlemci kontrollü çekirdekten çekirdeğe diziliş için ve ayrıca otomatik füzyon zaman kontrolü AFCTM için hesaplanır ve kullanılır (Şekil 10.9). Bükümlü-fiber mufları, fiber karakteristiklerindeki (fiber ve coating) herhangi bir bozulmayı önlemek için tasarlanmıştır.

Otomatik füzyon kontrolü AFCTM, mümkün olan en düşük ek kaybını elde etmek için her ayrı ayrı ek yapma işleminin “on line” optimizasyonunu sağlamaktadır. Çevresel etkiler ve farklı fiber karakteristikleri otomatik olarak hesaba katılmaktadır. Bu optimizasyon, çekirdekten çekirdeğe diziliş gibi, sadece dış görsel şekil ile değil, ek kaybının bir fonksiyonu olarak uygulanmaktadır (Şekil 10.10). Böylece, farklı fiber için bile mükemmel ek yapma sonuçları elde edilmektedir.

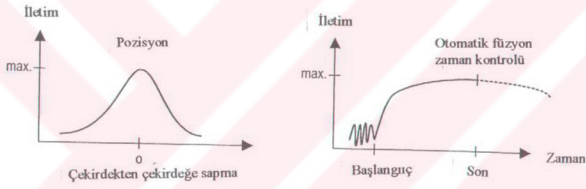


Şekil 10.8 L-PASTM prensibi

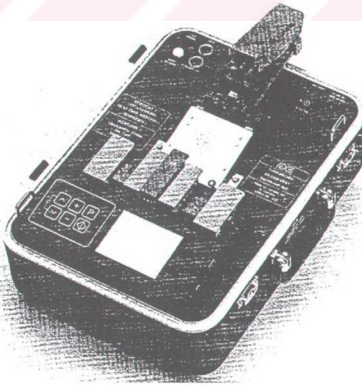


Şekil 10.9 LID Sisteminin™ prensibi

- 1 Optik fiber
- 2 LID vericisi
- 3 Mikroişlemci
- 4 Füzyon jeneratörü
- 5 LID tarayıcısı



Şekil 10.10 İletimin bir fonksiyonu olarak diziliş ve otomatik füzyon zaman kontrolü



Şekil 10.11 Ölçme yeteneği olan L-PAS ve LID Sistemli X60 bağlayıcısı

LID Sistemi ölçme yeteneği olan bağlayıcılar (Şekil 10.11), ayrıca kesin bölme açısı değerlendirmesini ve ek kaybı ölçmesini uygulamaktadır. LID SistemiTM'nin 1300 nm'lik işletme dalga boyu olmasından dolayı, bu ek kaybı ölçümü güvenilir ek kaybı değerlerini sağlamaktadır, böylece daha sonra rastlanan gerçek işletme şartlarına benzemektedir (ayrıca 1550 nm'de işletildiğinde de geçerli). Ayır ayrı ekleme ölçümlerinin aksi halindeki geleneksel analizleri burada gerekmemektedir. LID SistemiTM ölçme tesisi, ayrıca yüksek doğruluğu olan zayıflatma eklerini sağlamak için kullanılabilir. Bunlar, pasif optik şebekelerde güç uygunluğu için zayıflatıcı olarak kullanılmaktadır ve ancak bu kalitede önceden bağlanmış elemanlar olarak elde edilebilir.

LID SistemiTM olan bağlayıcılar, hızlı kaba bir diziliş ve uç yüzey değerlendirmesi için genellikle L-PASTM'yi kullanmaktadır. Böylece bu üniteler, yüksek doğruluğu olan çekirdekten çekirdeğe dizilişi ve AFCTM optimizasyonunu içeren bir ekleme işlemini sağlamaktadır. Bir ek, bir dakikadan daha az zamanda tamamlanabilmektedir.

Fiber Diziliş Tipleri

Fiber dizilişinin temel amacı, eklenecek fiber uçlarının mümkün olduğu kadar düzgün bir şekilde birbiri ardına dizilmesini sağlamaktır. Özellikle, tek-modlu fiberler küçük çekirdek çaplarından dolayı yüksek doğruluklu fiber dizilişi gerektirmektedir. Diziliş tesisi, belirli bağlayıcının tasarımına bağlı olarak ya sabittir ya da ayarlanabilir. Çekirdekten çekirdeğe dizilişinde ayarlama üç eksenle x , y ve z (fiber eksen) yapılmaktadır. Özel uygulamalar için ünitelerde (örneğin polarizasyonu devam ettiren fiberler), fiberleri döndürmek de mümkündür.

Dizilme işlemi otomatik olarak veya elle uygulanmaktadır. Bu seçeneklerin kombinasyonları da bulunmaktadır.

Elle diziliş

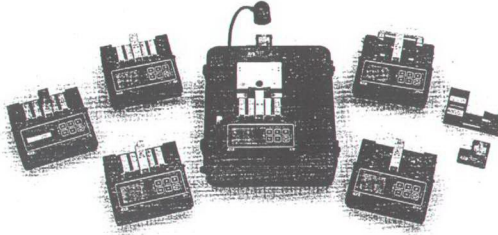
Elle diziliş, ayarlama makaralarını (örneğin mikrometre vidaları) kullanarak veya fiberleri noktalara veya V-oluklarına yerleştirerek yapılmaktadır. Sabit V-olukları ve noktaları olan bir bağlayıcıda, fiber uçları dik olarak ya da yatay olarak ayarlanamaz. İlgili kılavuzda dış çaplarına göre dizilmektedirler. Dizilişin kire karşı duyarlılığı, bu bağlayıcılarda 3 eksenli dizilişi olan ünitelerdekinden daha büyüktür.

Otomatik diziliş

Otomatik diziliş, kademeli motorlar ve/veya piezo seramik diziliş elemanları tarafından yapılmaktadır. Bu diziliş elemanları, mekanik boyutlarını çok iyi mekanik kararlılıklarda ($< 0.1 \mu\text{m}$) tam olarak büyüterek veya azaltarak elektrik geriliminin uygulanmasını sağlayan elektronik devre elemanlarından oluşmaktadır.

Fiberler, fiber kılavuzları tarafından tutulur veya kenetlenir. Bunlar, aşağıdaki kriterlere göre farklılaşır:

<i>Malzeme</i>	örneğin aşındırılmış silikon V-oluklar, metal V-oluklar, metal köşeler, seramik montajlar
<i>Ayarlanabilirlik</i>	sabit, hareket edebilen, dönebilen
<i>Değiştirilebilirlik</i>	farklı fiber çaplarına veya kenetleme metotlarına adaptasyon için
<i>Doğruluk</i>	fiberin tutulması için boyutsal toleranslar, düşük kayıplı ekleme için bir optimum sağlamak amacıyla mümkün olduğu kadar küçük olmalıdır.



Şekil 10.12 X7 füzyon bağlayıcı serisi

Fiziksel Tasarım

Bağlayıcılar yapılarında, boyutlarında ve ağırlıklarında farklılaşırlar (bazen çok belirgin şekilde).

Birçok üniteler küçük, kompakt tasarımlar şeklinde bulunmaktadır ve modüler şeklinde belirli uygulamalara uyması için uygun teçhizatlarla yapılabilmektedir (Şekil 10.12).

Bazı füzyon bağlayıcıları tam bir iş istasyonu oluştururlar. Bazıları da, tam iş istasyonları yapmak için teçhizatlarla geliştirilebilen kullanışlı ünitelerdir. Çeşitli batarya seçenekleri olan füzyon bağlayıcılar, bir dış güç beslemesinden bağımsız olarak işletilebilir.

Yüksek kaliteli kaynaklı bağlayıcılar, gömme monitör ve kontrol paneli ile uygun, basit işletme sağlayan geniş çapta software (yazılım) temin edilmektedir. Bu, kullanıcının ek yapma işlemini görsel olarak izlemesini, çeşitli dilleri seçmesini, ekleme verilerini depolamasını ve verilerin bir ara yüzey yardımı ile çıkışını sağlamasını, her farklı parametreyi serbestçe seçmesini, kendi programlarını yaratıp depolamasını ve tamamen otomatik veya elle çalışır modla işletmesini sağlamaktadır.

Akıllı software'I ve mikroişlemci kontrolü olan modern kaynaklı bağlayıcılar, tamamen otomatik eklemeyi tek buton işlemiyle bir dakikadan az bir zamanda sağlamaktadır. Örneğin X77 ve X60 kaynaklı bağlayıcıları, tek-modlu fiberlerde 0.05 dB'den daha düşük ek kayıpları elde eder.

10.3.4 Konnektörler

En sık kullanılan kararlı olmayan fiber optik ekler, fiber optik konnektörlerdir. Bir kablodaki optik fiberler, elektronik ile uygun olmaları için çoğunlukla fiber optik konnektörler yardımıyla uçlandırılmalıdır.

Bu yüzden fiber optik konnektörler, fiber optik kablo ve aktif iletim cihazı arasındaki ara yüzeyi belirtmektedir. Ayrıca fiber optik konnektörler, fiber optik kablo rotasının devrelerindeki ve konfigürasyonlarındaki basit ve hızlı değişimleri kolaylaştırmak için kullanılmaktadır. Böylece, fiber optik kablo şebekelerinin esnekliğine önemli bir şekilde katkıda bulunmaktadır.

Bir fiber optik konnektör bağlantısı, genellikle temaslı bağlantı prensibine dayanarak bir manşon içerisinde bir araya gelen iki fiber optik konnektörden oluşmaktadır. Fiberlerin optik çıkış ve giriş yüzeylerinin paralel ve çok yakın olarak ve hatta birbirlerine fiziksel temas edecek şekilde düzenlenmiş olmaları, temaslı bağlantının karakteristik bir prensibidir (Şekil 10.13). Sadece bu düzenleme ile 850, 1300 ve 1550 nm'lik dalga boyları için düşük kayıplı konnektör bağlantıları üretmek mümkündür.

Fiber Optik Konnektör Kısımları

Fiber optik konnektörün en önemli kısımları şunlardır (Şekil 10.14):

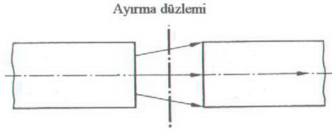
Başlık (ferrule)

Yuva

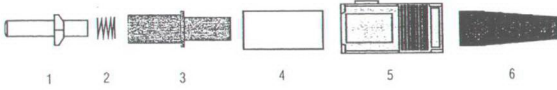
Crimping (bir uç veya kontağı bir iletkene basınç uygulayarak bağlama tekniği)

halkası

Koruyucu (boot)



Şekil 10.13 Temaslı bağlantı prensibi



Şekil 10.14 Konnektör kısımları

- | | |
|--------------------|------------|
| 1 Başlık | 4 İç yuva |
| 2 Yay | 5 Dış yuva |
| 3 Crimping halkası | 6 Koruyucu |

Yukarıda belirtilen temaslı bağlantı prensibinin pratik uygulamasında optik fiberlerin her biri, çok küçük bir iç çapı olan başlık (ferrule) denilen bir silindirik borunun tam merkezinde bağlanmıştır. Bu başlıkların iç çapı, fiber çapı $125\ \mu\text{m}$ olduğunda tek-modlu fiberler için $126\text{--}127\ \mu\text{m}$ ve çok modlu fiberler için $127\text{--}128\ \mu\text{m}$ kadardır. Başlığın uç yüzeyi topraklanmıştır ve/veya birkaç adımda parlatılmıştır, böylece temiz, çiziksiz ve son derece ince bir yüzey elde edilir.

Yukarıda anlatıldığı gibi hazırlanan başlık, bir fiber optik konnektörü oluşturmak için kalan kısımlarla (Şekil 10.14) tamamlanmalıdır. Bir fiber optik konnektör bağlantısını şekillendirmek için cilalı uç yüzeyleri temaslı bağlanmış olan iki konnektör bir manşona konmaktadır. Birçok farklı tipte fiber optik konnektörü olmasına rağmen $2.5\ \text{mm}$ 'lik bir başlık çapı için gerçek bir standart ortaya çıkmıştır. Konnektör başlıkları metal, seramik ve yeni dayanıklı plastikten yapılabilir. Zirkonyum oksit seramikleri konnektör başlıkları için en iyi özellikleri olan madde olarak kabul edilmiştir ve gümüş nikel veya tungsten karbit gibi metalik maddelere tercih edilmiştir.

Yeni dayanıklı plastik başlıklar, çok modlu fiber optik konnektörler için A.B.D. pazarındaki gibi performansı önemli olmadığında düşük masraflı uygulamalarda ortaya

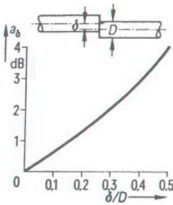
çıkılmaktadır. Teknik performansta genellikle seramik başlıklar kadar iyi değildirler, fakat masraf bakımından avantajlıdır.

Konnektör başlıklarını saran konnektör yuvalarının iki yönlü amacı vardır. Konnektörün manşona bağlanma şeklini belirlerler, örneğin vidalı, sürgülü ve puşpul (push-pull) bağlantısı. Ve crimping halkası ile yuva, fiber optik kablunun uçlandırılmasını ve gerilmeye karşı korunmasını sağlamaktadır.

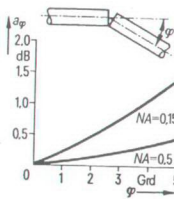
Fiber Optik Konnektör Kalitesi

Tek-modlu fiber optik konnektörlerin kalitesinin belirlenmesinde en önemli kriterler giriş kaybı ve dönüş kaybıdır. Çok modlu konnektörler için genellikle sadece giriş kaybı ölçülmektedir. Giriş kaybı, bir konnektör girişi yapıldığında bir fiber optik iletim yolunun zayıflamasındaki artış miktarını anlatmaktadır. Giriş kaybının büyüklüğü çoğunlukla aşağıdaki faktörlere bağlıdır:

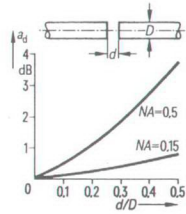
- Fiberlerin eksenel sapması (Şekil 10.15),
- fiber ve uç yüzey ayrılması (Şekil 10.16),
- fiberlerin açısal akortsuz dizilişi (Şekil 10.17),
- uç yüzeyin aşırı cilalanması, hava boşluğu (Şekil 10.18).



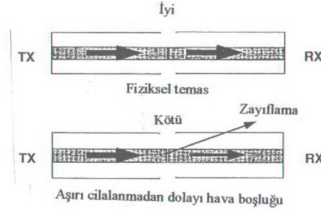
Şekil 10.15
Fiberlerin eksenel
sapması



Şekil 10.16
Fiber uç yüzey
ayrılması



Şekil 10.17
Fiberlerin açısal
akortsuz dizilişi



Şekil 10.18 Uç yüzeyin aşırı cilalanması

Bu faktörlere ek olarak, fiber optik konnektörlerin giriş kaybı ayrıca konnektör kısımların toleranslarına bağlıdır. SC veya ST konnektörü gibi modern konnektörler yaklaşık 0.2 dB'lik kayıp değerleri göstermektedirler. Pratik uygulamalarda, iki konnektör ve bir manşondan oluşan bir fiber optik konnektör bağlantısının giriş kaybı 0.8 dB'den az olmalıdır.

Tek-modlu konnektörler, daha iyi dönüş kaybı değerleri (yaklaşık -45 dB veya -55 dB'den daha az) göstermelidir. İletim için kullanılan lazerler yansımalarla çok duyarlıdır. CATV şebekelerindeki gibi analog sinyal iletimi için daha yüksek bir dönüş kaybı (-55 dB'den daha az) gerekmektedir. Bu, pratikte konnektör uç yüzeylerinin cilalanmasıyla elde edilmektedir, böylece 8° veya 9°'lik bir açı oluşturulmuş olur (üreticiye göre değişir).

Fiber Optik Konnektör Tipleri

Çok çeşitli fiber optik konnektörler bulunmaktadır:

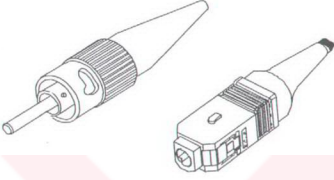
SC, FC, ST, FDDI, E2000, DIN, SMA, D4, EC, BICONIC, ESCON, MT.

Aşağıdaki konnektörler, bunlar arasında ulusal ve uluslararası alanda en çok kullanılanlarıdır:

LAN uygulamalarında SC, ST (Şekil 10.19) ve FDDI.

Telekomünikasyon ve CATV şebekelerinde SC, FC, E2000 ve DIN.

Genel olarak, puşpul prensibine dayanan konnektörlerin yavaş yavaş FC ve DIN gibi vida bağlantısı olan konnektörlerin yerini aldığı görülebilmektedir. Puşpul konnektörleri, vidalama işlemi için yere ihtiyaç kalmadığından dağıtım gövdelerinde ve kumanda panolarında daha yüksek paketleme yoğunluğunu sağlamaktadır. Ayrıca, vidalanması sırasında konnektörün fazla sıkılması ve cilalanmış konnektörün çizilme tehlikesi yoktur.



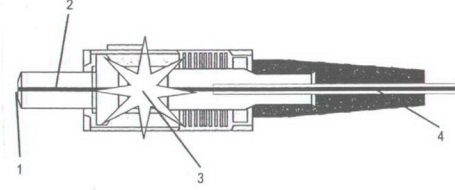
Şekil 10.19 ST ve SC fiber optik konnektörleri

Alana Tesis Edilebilen Fiber Optik Konnektörler

LAN uygulamalarında, fiber optik konnektörlerin alana tesis edilmesi sık sık gerekmektedir. Bu durumda, tutkallama, kurutma ve cilalama gibi genellikle fabrikada yapılan tesis etme adımları alanda uygulanmaları için basitleştirilmiştir. Çoğu alan şartları altında, fabrikalarda montajı yapılan konnektörlerin kalitesinin elde edilemediği dikkate alınmalıdır. Fabrika cilalama makinesi kullanılsa bile, montaj edilen konnektörlerin kalitesini kontrol etmek ve onaylamak için gereken test cihazları alanda kullanılamaz. Bu yüzden, tutkallama ve cilalama metoduna dayanan alana tesis etme, genellikle daha az gereksinimli özellikleri olan çok modlu LAN'larda kullanılmaktadır. Tek-modlu konnektörleri olan uygulamalarda tutkallama ve cilalama metotları kalite ve masrafları yüzünden alanda kullanılmamaktadır.

Çok pratik ve yüksek kaliteli alana tesis edilebilen bir konnektör sistemi *FuseLite* tekniğidir. Fabrikada, kısa uzunluktaki bir optik fiber konnektörün içine yapıştırılmıştır ve konnektör uç yüzeyinde cilalanmıştır (Şekil 10.20). Alana tesis etme sırasında konnektörün içinde bir kaynaklı bağlantı yapılmaktadır. Bu yüzden tutkallama ve cilalama gerekmemektedir. Asıl bağlantı için, optik fiberlerin bağlanmasında en iyi metot olarak bilinen kaynaklı ek uygulanmaktadır. Çok modlu uygulamalar için basit bir metot *Unicam*

konnektördür. Kaynaklı ekin yerine mekanik bir ek kullanılmaktadır, fakat konnektördeki fiber fabrikada yapıştırılır ve cilalanır.



Şekil 10.20 Fuse-Lite konnektörünün şematik gösterilişi

- 1 Fabrikada cilalanan konnektör uç yüzeyi
- 2 Optik fiberin fabrikada yapıştırılan parçası
- 3 Kaynak noktası
- 4 Yerleştirilen optik fiber

10.4 Fiber Optik Dağıtım Donanımı

Uygun fiber optik donanım elemanları, fiber optik kabloların uçlandırıldığı, dallandığı, bağlandığı veya dağıtıldığı herhangi bir fiber optik şebekenin bütün noktalarında gereklidir. Şebeke için doğru fiber optik donanımı belirlemek için aşağıdaki temel sorular cevaplandırılmalıdır:

Donanım, bina içinde veya bina dışında kullanılır mı?

Bina içi: Fiber optik dağıtım elemanları

Bina dışı: Fiber optik anahtarlama elemanları

Donanım, 19" 'lik dolaplarda mı duvarda mı monte edilmeli?

Fiber optik modülleri olan 19" 'lik dolaplar

ETSI veya uygun standarda göre fiber optik panolar

Duvara montaj edilen panolar.

Kablo uçlandırılması için, alana tesis edilebilen konnektörler mi yoksa önceden bağlanmış olan fırça bağlantı telleri mi kullanılmalı?

Alana tesis edilebilen konnektörler: Fiber optik panoda bağlantı tablası gerekmez.
Fırça bağlantı telleri (pigtails): Fiber optik panoda bağlantı tablası gerekir.

Tesis edilecek kablounun fiber sayısı kaçtır?

Bina dışındaki kabloların bağlanması ve dağıtılması için fiber optik anahtarlama elemanlarına ek olarak, belirli görevler yapmak için binaların veya dağıtım merkezlerinin içerisindeki dağıtım noktalarında kullanılmak üzere donanım elemanları gerekmektedir. Bu dağıtım elemanları fiber optik kablo tesisini uçlandıracaktır ve böylece şebeke konfigürasyonundaki değişimleri basitleştirmek için ayrı ayrı kablo elemanları, ekler ve konnektörler kolayca erişilebilmektedir. Fiber optik dağıtım elemanları, sık sık iletim elektronikleri ile ara yüzey gösterdiğinden, kesme ve arıza ölçümlerinin zorluklar olmadan yapılabilmesi önemlidir. Genel ya da telekomünikasyon şebekelerinde fiber optik dağıtım elemanları, sık sık şebekenin sorumluluklarının yasal bölgelerinin belli bir sınırını belirtmektedir.

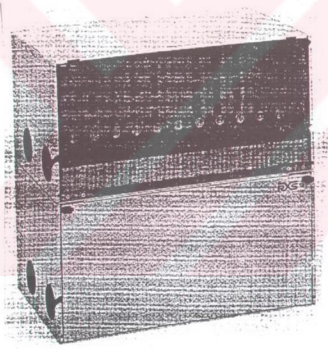
Fiber optik dağıtım elemanlarının (Şekil 10.21) şebeke içerisinde yerleştirildiği noktalar için planlama, ayrıca toplam mevcut zayıflama miktarına dayanmaktadır. Bu yüzden, ayırma ve dağıtım noktalarının sayısı minimumda tutulmalıdır.

Bina içi donanımın dört farklı fonksiyonel tipi vardır:

1. Tablalarda ekleri ve mufları tutmak, depolamak ve düzenlemek için ek modülleri / ek kutuları / duvar panoları.
2. Fiber optik konnektörleri olan kabloları dağıtmak, bağlamak ve dallandırmak için konnektör modülleri / kumanda panoları / duvar dağıtım panoları.
3. Yedek kablo parçalarını ve ek kabloları tutmak için modüller / duvar panoları.

4. Çoğunlukla birleştirilmiş ek veya konnektör yuvaları olarak önceden bahsedilen üç modülün kombinasyonları / duvar dağıtım panoları.

Fiber optik dağıtım elemanları, giriş ve çıkış fiber optik kablolarının düzenlenmesini ve bağlantı tekniğinin belirlenmesini sağlamaktadır. Fazla tesis etme işi gerektirmeden, konfigürasyonda sonradan yapılacak değişimleri veya şebekenin genişletilmesini kolaylaştırmaktadır. Ayrıca, fırça bağlantı tellerinin kaynaklı eklenmesi, mekanik ekler veya *Fuse-Lite* konnektörler gibi alana tesis edilebilen fiber optik konnektörler gibi çeşitli kablo uçlandırma tekniklerinin uygulanmasını sağlamalıdır.



Şekil 10.21 Bina içi fiber optik dağıtım elemanları

Modern fiber optik dağıtım elemanları, modüller halinde tasarlanmaktadır ve genellikle kullanılan bütün fiber optik konnektör bağlantıları ve muflar için uygundur. Fiber optik dağıtım elemanları için genellikle aşağıdaki temel gereksinimler istenmektedir:

Üniversal uygulama

Fiber optik dağıtım elemanları, bütün ses, veri ve video şebeke uygulamaları için uygun olmalıdır.

Uygunluk

Bütün fiber optik dağıtım elemanları birbiriyle uygun olmalıdır. Örneğin, tek bir dağıtım dolabında, bir veya daha fazla ek modülü ve kumanda panosunun birleştirilmesi mümkün olmalıdır.

Genişletilebilme

Fiber optik dağıtım elemanları, şebekenin gelecekteki genişlemelerini sağlamalıdır.

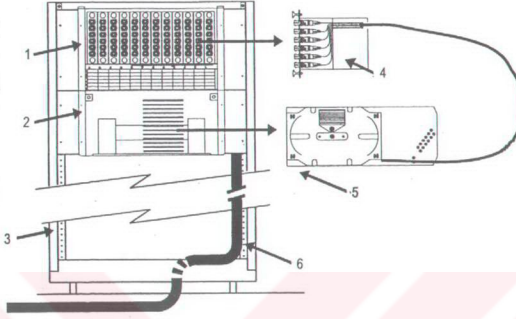
Tesis etme kolaylığı

Hızlı ve basit tesis etme sağlanmalıdır. Bu yüzden kablo uçlandırması, kablo döşenmesi, yedek kablo için boş yer ve mümkün olan bağlantıları belli bir şekilde belirlenmelidir.

Fiber optik şebeke uygulamalarına ve tipine bağlı olarak fiber optik dağıtım elemanlarının farklı tasarımları kullanılmaktadır. Özel şebekelerde ve LAN uygulamalarında, elektronikte bilinen 19" teknolojisi yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu durumda farklı fonksiyonları olan 19" 'lik modüller, şebekenin ana dağıtım noktalarında 19" 'lik raklara (racks) veya dolaplara yerleştirilmiştir (Şekil 10.22).

Şebekenin büyüklüğüne göre fiber optik dağıtım panoları ya da kombine bakır / fiber optik dolaplar kullanılabilir. 19" teknolojisi, Asya'da birçok ülkede ve A.B.D.'de telekomünikasyon ve CATV uygulamaları için hala kullanılmaktadır. Bu teknolojinin

çeşitli uygulamaları, bir dolapta 12 optik fiber için bir tek 19"lik modülün tesis edilmesinden, tamamıyla kullanılan 19" 'lik fiber optik dağıtım rakındaki 1000'den fazla optik fibere kadar uzanmaktadır.

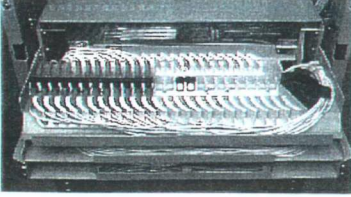


Şekil 10.22 19" 'lik bir dolabın şematik gösterilişi

- 1 19" 'lik fiber optik konnektör modülü
- 2 19" 'lik fiber optik bağlantı modülü
- 3 19" 'lik dağıtım dolabı
- 4 Önceden tesis edilmiş 6 fırça bağlantı teli olan fırça bağlantı teli modülü
- 5 Fiber optik bağlantı tablası
- 6 Bina dışı veya bina içi giriş fiber optik kablosu

İnce boyutları olan 7R rak tasarım tipi Avrupa'da telekomünikasyon uygulamalarında uzun zaman kullanılmıştı. Bu rak dizisi, daha az fiber sayısı olan şehirlerarası telekomünikasyon şebekeleri için tasarlandığından, bir rakta sadece 24-75 optik fiberin yerleştirilmesi ve düzenlenmesi gerekiyordu. Birçok Avrupa ülkesinde şehirlerarası fiber optik şebekeler tamamlandıktan sonra, fiber optik dağıtım şebekeleri inşa edilmeye başlandı. Bunlar, daha yüksek sayıda optik fiber gerektirmektedir. Bu yüzden, başlıca Avrupa telekomünikasyon işletme şirketleri tarafından yeni bir tasarım tipi oluşturulmuştur. Standartlar kurulu olan ETSI, 19" teknolojisine karşın metrik standart olan pr ETS 300 119-3 standardını belirlemiştir. Bu standart, modülleri 25 mm yüksekliğindeki ünitelerde yerleştirebilen ve boyutları (en × yükseklik × derinlik) 600 mm × 2200 mm × 300 mm olan sistem raklarını belirlemektedir (Şekil 10.23).

Küçük fiber optik şebekelerde, binaların katlarında ve hatta müşteri erişme noktaları için fiber optik duvara montajlı panolar sık sık kullanılmaktadır.



Şekil 10.23 ETSI standardına göre fiber optik modül

10.5 Anahtarlama Elemanları

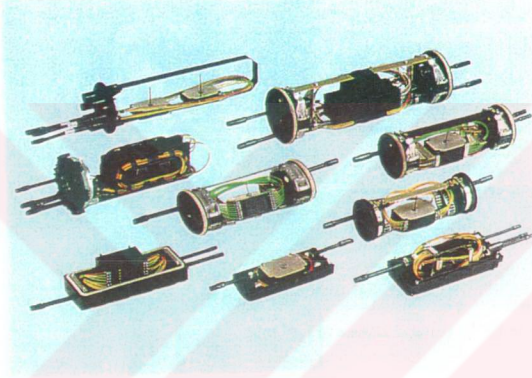
Genellikle, fiber optik kablo anahtarlama elemanları şehirlerarası, dallanma ve dağıtım kablolarının ek bağlantılarını korumak için kullanılmaktadır. Ayrıca, kabloların mekanik ve elektriksel sürekliliğini temin etmelidirler, yani kablolar bu bağlantı noktasında kesintisiz olarak üretim yapmalıdır. Bu, kabloların konumundan, yani tam gömülü, kablo kanallarında veya havai hat kablo yollarında bulunmalarından bağımsız olarak geçerli olmalıdır.

Kabloların mekanik sürekliliği, kablo kılıfları, merkezi elemanlar ve aramid sargılarının (kullanıldıklarında) bağlanmasıyla temin edilmektedir. Tesisatçıyı ve elektronik cihazları korumak için, elektriksel süreklilik kabloların mekanik elemanlarının elektriksel olarak bağlanmasıyla sağlanmaktadır. Bu, zırhlamayı ve metalik bantlar ya da metalik merkezi elemanlar gibi metalik kılıf elemanlarını birbiriyle veya dış topraklama noktalarına bağlayarak yapılabilir.

Fiber optik kablolar için kablo anahtarlama elemanları, ayrıca bağlantıların uygun bağlantı tablalarında düzenlenmesini ve tampon tüplerin yedek parçalarının depolanmasını sağlamalıdır. Tabii ki, kablolar kablo giriş deliklerinin içerisinde izole edildiğinde, gevşek tamponların yedek parçaları depolandığında ya da ek bağlantıları ve yedek fiber parçaları bağlantı tablalarına yerleştirildiğinde optik fiberlerin fazla sıkı bükülme yarıçaplarından dolayı artan zayıflaması önlenmelidir.

Fiber Optik Anahtarlama Elemanları Tipleri

Çok sayıda farklı gereksinim ve çok sayıda çeşitli uygulama karakteristikleri, tek bir anahtarlama tasarımı ile karşılanamaz. Böylece, bütün uygulama problemleri için çözüm sağlayan anahtarlama elemanı tiplerinin tam bir dizisi (Üniversal Anahtarlama Elemanları Ailesi) (The Family of the Universal Closures) (UC) geliştirilmiştir (Şekil 10.24).



Şekil 10.24 Üniversal Anahtarlama Elemanları Ailesi

Kablo şebekesinin tasarımcısı hangi kriterlere göre kablo anahtarlama elemanını seçecektir? Düşünülecek üç nokta vardır:

Anahtarlama elemanının kapasitesi

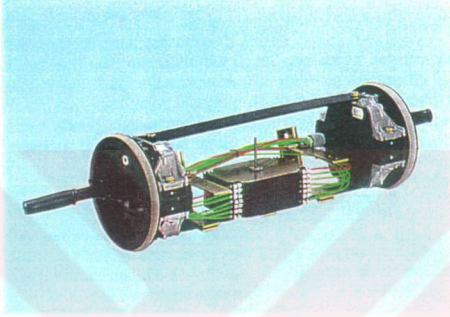
Hem bağlantı kapasitesi hem yerleştirilecek kablo sayısı ve dış çapları hesaba katılmalıdır.

Anahtarlama elemanının dış yapısı

Burada anahtarlama elemanının şekli önemlidir. Aşağıdaki seçenekler bulunmaktadır:

Düz anahtarlama elemanları:

Bağlantı düzdür ve kablo giriş ve çıkış delikleri anahtarlama elemanı tübünün karşı uç yüzeylerinde bulunmaktadır. Genellikle, kablolarında fiber sayısı yüksek olan şehirlerarası kablolar (örneğin iki anahtarlama santrali ya da dağıtım merkezi arasında) kullanılmaktadır (Şekil 10.25).



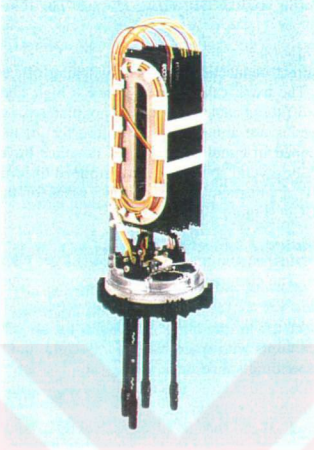
Şekil 10.25 UCN 7-10 Üniversal Anahtarlama Elemanı

Canister (çay kutusu) anahtarlama elemanları:

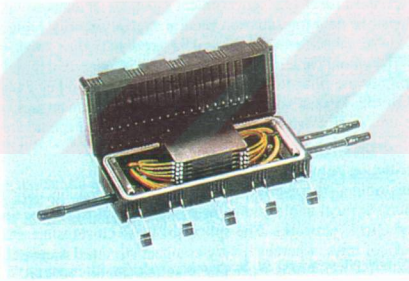
Bu anahtarlama elemanı tasarımında, giriş ve çıkış kablolarının kapatılması için sadece bir uç yüzey bulunmaktadır. *Canister* anahtarlama elemanları, kablolarında orta fiber sayısı olan halka veya yıldız kablo şebekelerinde kablonun dallandırılması için en uygun olanıdır. (Şekil 10.26).

Yarım kabuk (half shell) anahtarlama elemanları:

Anahtarlama elemanının gövdesi iki yarım kabuktan meydana gelmiştir. Bu tasarım çok kompakttır ve genellikle kablolarında az sayıda fiberi olan dağıtım şebekeleri için kullanılmaktadır (Şekil 10.27).



Şekil 10.26 UCTL 6-20 Üniversal Anahtarlama Elemanı



Şekil 10.27 UCAO 4-9 Üniversal Anahtarlama Elemanı

Anahtarlama elemanının iç yapısı

Her biri tek fiber veya fiber şerit teknolojisinde olan, oluklu çekirdek, maksidemet veya gevşek tüp kabloları gibi farklı kablo tasarımlarına uyarlanmasına ek olarak, içinde bulunduğu şebeke konfigürasyonuna uyarlanması, anahtarlama elemanının iç yapısı için diğer bir önemli karakteristiktir. Aşağıdaki tasarımlar bulunmaktadır:

Şehirlerarası şebekeler için anahtarlama elemanları:

Şehirlerarası şebekeler, anahtarlama santralleri arasında veya dağıtım merkezleri arasında direkt bağlantıyı oluşturmaktadır. Şehirlerarası kablolar genellikle yüksek fiber sayısına sahiptir. Bu kablolardan çıkan tesis sonrası dallanmalar genellikle planlanmamıştır, yani ayrı ayrı bağlantılara erişme beklenmemektedir. Bu yüzden, daha çok tasarruf elde etmek için ekler demetlerde gruplanabilir ve bağlantı tablalarına yerleştirilebilir. Daha büyük paketleme yoğunluğu için birkaç bağlantı tablası paketler oluşturacak şekilde gruplandırılmıştır. Bu uygulamanın tipik örnekleri; UCN tipi Üniversal Anahtarlama Elemanlarının çeşitli boyutlarıdır (Şekil 10.25).

Halka veya yıldız şebekelerdeki anahtarlama elemanları:

Genellikle orta fiber sayısında bulunan LAN'lar olan bu şebekeler, bugün ve yakın gelecek için tasarlanmıştır. Dallanma noktalarındaki anahtarlama elemanları bu yüzden iki gereksinimi karşılamalıdır:

1. Ana kablo, mevcut abonelerin dallanma kablolarıyla bağlanmalıdır. Gelecekteki dallanmalar için, yedek kablo parçaları olan ek bağlantıları uygun bağlantı tablalarında yerleştirilmelidir.
2. Gelecekte işletilecek olan dalların olması durumunda, ana (halka) kablolar kesilmeden anahtarlama geçirilir.

Bu durumlarda, anahtarlama elemanlarında yedek bir uzunluk bırakarak gevşek tamponları kesilmeden depolamak için kablo kılıflarının yeterli bir uzunluğu soyulmaktadır. Ancak talep edildiğinde (örneğin yeni bir yerleşim bölgesinin gelişmesi, bir endüstriyel park ya da bir alışveriş merkezi), gerekli tampon tüpler kesilir ve fiberleri dallanma kablolarındakilerle bağlanır ve yeni tesis edilen bağlantı tablalarında depolanır. Fiberler, genellikle bağlantı tablalarında demetler halinde gruplanmıştır. Bu şebekeler için, özellikle UCTL 6-20 tipi Üniversal Anahtarlama Elemanları uygundur (Şekil 10.26).

Hassas veri iletimi olan şebekelerde anahtarlama elemanları:

Yüksek bit oranları ve hassas veri iletimleri olan abonelerin (örneğin hükümet ajansları veya bankalar) optik fiberleri özel güvenlik korumasını gerektirmektedir. Bu abonelerin fiberleri, bütün kablo şebekesi boyunca anahtarlama elemanlarında ayrı bağlantı tablalarına yerleştirilmektedir. Böylece, dallanma işlemi sırasında sadece dallanacak fiber hareket ettirilir, bütün diğer fiberler sabit kalmış olur. Bu durumda, bir sözde tek-fiber idaresi yürürlüktedir. Böyle bir idareyi sağlayan Üniversal Anahtarlama Elemanı UCTL 6-20 E'dir.

Dağıtım şebekesindeki anahtarlama elemanları:

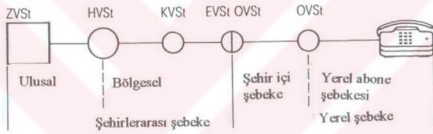
Birkaç aboneye dağıtılan kablolar, genellikle sadece az sayıda fiber içermektedir. Dağıtım anahtarlama elemanları için tipik uygulamalar, CATV şebekeleri için dağıtım noktalarıdır. Bu anahtarlama elemanlarının bağlantıları, tabla yığınlarında gruplar halinde depolanmaktadır; böylece çok kompakt bir yapı oluşturulmaktadır. Bu uygulama için UCAO 4-9 özellikle uygundur (Şekil 10.27).

11 ŞEBEKE KONFİGÜRASYONLARI

Bu bölümde, ISDN, FITL, LAN ve FTDD gibi umumi ve özel telekomünikasyon şebekelerinin tipik konfigürasyonları anlatılmaktadır.

11.1 Telekom İdaresi Kavramı

Deutsche Telekom AG'nin telefon şebekesi yerel ve şehirlerarası şebekeler olmak üzere ayrılmıştır (Şekil 11.1). Şehir içi şebeke ve yerel abone şebekesinden oluşan yerel şebekede bakır teknolojisini kullanan iletim için, simetrik plastik izoleli bükümlü çift kablolar kullanılmaktadır; bölgesel ve ulusal şehirlerarası şebekelerde dengeli taşıyıcı frekansı ve koaksiyal kablolar kullanılmaktadır.



Şekil 11.1 Deutsche Telekom AG'nin telefon şebekesinin yapısı

- EVSt Yerel şehirlerarası santral
- HVSt Ana şehirlerarası santral
- KVSt Şube şehirlerarası santrali
- OVSt Yerel santral
- ZVSt Merkez şehirlerarası santrali

Fiber optik teknolojisindeki hızlı gelişme ve dijital teknolojisine giriş, geleneksel şebeke kavramının yeniden incelenmesine sebep olmuştur. Bu amaçla, fiber optik kablo teknolojisinin pratik testleri telefon şebekesinin bütün seviyelerinde uygulanmıştır. Deneysel testler, Deutsche Telekom AG'nin kontrolü altında birçok şirket arasında yarışma halini almıştır.

Aşağıda, Deutsche Telekom AG'nin çeşitli şebeke seviyelerinde optik fiber teknolojisine giriş için önemli olan birkaç belirgin veriler verilmiştir.

Yerel Şebeke

1 Eylül 1977 tarihinde Berlin’de, Berlin I proje ismiyle, telefon Şebekesindeki ilk fiber optik Şehir iÇi Şehirlerarası kablosu Ėekilmeye baŐlanmıŐtı. Sekiz dereceli katsayı fiberleri olan 4.3 km uzunluğunda bir kablo tesis edildi; o zamanda dayanıklılık elemanı olarak aramid sargıları ve kablo ĖekirdeĖini korumak iÇin bir plastik kılıf ile Ėekirdek/ince kaplama Ėapı 62.5/125 μm kadardı. Mart 1978’de 850 nm’lik dalga boyunda 34 Mbit sistemi ile bütün tesis, lĖme ve test amacıyla iŐletilmeye baŐlanmıŐtı.

1980 ve 1983 yılarında, Berlin II ve BIGFON (*broad band integrated glass fiber local communication network*) (geniş band entegre edilmiş cam fiber yerel komünikasyon Şebekesi) adı verilen projelerde, optik fiberler ilk defa yerel abone Şebekesinde abonelerin evlerine kadar ĖekilmiŐti. Bu iki projede de her abone terminali iki dereceli katsayı optik fiberleri tarafından santral ile baĖlanmıŐtı.

1990 yılında, eski Doğu Alman devletlerinde bütün telekomünikasyon alt yapısının yeniden inşa edilmesi iÇin abone Şebekesinde fiber optik teknolojiyi test etme fırsatı doğmuştur. Bu projenin OPAL (*Optical Access Line*) (Optik Erişme Hattı) denilen bir kısmı olarak, Kasım 1991 yılında Leipzig’de optik fiberleri kullanarak 204 telefon hattı ve 37 kablolu televizyon hattı tesis edilmiŐti. O zamandan beri, eski Doğu Alman devletlerinin yerel Şebekesinde optik fiber teknolojisinde 500.000’den fazla hat kullanılmıştır.

Şehirlerarası Şebeke

1980 yılında, 15.4 km uzunluğundaki Frankfurt’tan Oberursel’e kadar olan ilk optik yol üzerinden aynı anda 480’e kadar uzun mesafe telefon konuşması iletilmişti. Ulusal Şehirlerarası Şebekesinde optik fiber teknolojisinin bir testi olarak, Aralık 1982 yılında Berlin III proŐesi 9 km uzunluğundaki bir kablo yolunu işleme koymuştur. Bir uÇ noktasında, kablodaki dört dereceli katsayı fiberlerini Ėiftler halinde halkalayarak (papatya zincirlemesi), 140 Mbit’lik sinyalleri iletmek iÇin toplam 18 km uzunluğunda bir halka

oluşturulmuştur. Bu yol uzunluğu ile tekrarlayıcı aralık mesafesi, şehirlerarası şebeke için bakır kabloları olan mevcut taşıyıcı frekans yollarına uymaktadır.

Şehirlerarası şebeke için bir sonraki önemli adım, 1984 yılında Berlin IV projesi ile atılmıştır. O zamanda teknik çözümler, 140 ve 565 Mbit/s'lik sinyallerin iletimi için tek-modlu fiberler yardımıyla sunulmuştu. Bu 36 km uzunluğundaki kablo tesisinde dalga boyu bölüm çoklaması (wave length division multiplexing) (WDM) yardımıyla, iki 140 Mbit/s'lik ve bir 565 Mbit/s'lik sinyal aynı zamanda, reaktif tekrarlayıcılar olmadan sadece bir tek-modlu fiber üzerinden iletilmişti. WDM sistemi, 1300 ve 1550 nm'lik dalga boyları için tasarlanmıştı. Bu, 1550 nm'de iletim için ilk testi sağlamıştır.

Almanya'da 7 şehirde toplam 350 abonesi olan 10 BIGFON ada şebekesinin test işletilmesinden sonra, Deutsche Telekom AG birbiriyle bağlantılı bir optik fiber şehirlerarası şebeke inşa etmeye başlamıştır. 1987'den itibaren bütün yeni şehirlerarası kablo yollarında fiber optik teknolojisi kullanılmaya başlanmıştır.

Kasım 1987'de Deutsche Telekom AG, Constance Gölü'nde ilk denizaltı fiber optik kablosunu tesis etmiştir. Her birinin 16 tek-modlu fiberi olan iki fiber optik denizaltı kablosu, Friedrichshafen ile Konstanz'daki (21.3 km uzunluğunda) ve Konstanz ile Meersburg'daki (5.9 km uzunluğunda) şehirlerarası santrallerini en kısa yol ile birbirine bağlamaktadır.

1989 sonbaharından itibaren 9.6 km uzunluğundaki bir zırhlı fiber optik kablo Führ adası ve Schleswig Holstein anakara parçası arasındaki denizaltındaki arazilere gömülmüştür. Bu başlangıç fiber optik kablosu, günümüzde Niebüll ve Wyk arasındaki reaktif tekrarlayıcıları olmayan 32 km uzunluğunda bir fiber optik şehirlerarası kablonun orta kısmını oluşturmaktadır. Bu yolla, modern fiber optik kabloların çok yönlü olması ve daha önemlisi standart bakır kablo teknolojisine kıyasla masraf etkinliği ispat edilmiştir.

Deutsche Telekom AG, TS 0006 (şehirlerarası kablolar), TS 0009 (bina içi kablolar) ve TS 0007 (yerel kablolar) Teslim Teknik Terimleri'nde fiber optik kablolar için tasarım ve performans standartlarının gereksinimlerini belirlemiştir. Bu, bu kablolarla genel giriş için

önemli bir temel olmuştur. Deutsche Telekom AG için fiber optik kablo tasarımları Bölüm 9.5'te ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır. Yapısına bağlı olarak, her kablunun kontrol teli (order wires) olarak 2 ya da 4 bakır çifti bulunmaktadır.

İletim teknolojisinden dolayı, şebekenin belirli seviyelerine dengeli düşük frekans, taşıyıcı frekans veya koaksiyal çiftlerin (yapısal elemanların) atanmasını gerektiren geleneksel kablo tasarımına karşın, optik kablo teknolojisi için bu gerekli değildir.

Tek-modlu fiberleri olan tek-fiberli ve çok fiberli gevşek tamponlar, uygun kablo tasarımları ile bütün yerel ve şehirlerarası şebekelerde kullanılabilir. Böyle tesislerin tasarlanmasındaki en önemli faktör arzu edilen iletim kapasitesidir. Yolların daha büyük tekrarlayıcı aralıklarından ve daha yüksek iletim kapasitelerinden dolayı, tek-modlu fiber Alman şebekesinin bütün seviyelerinde kullanılmaktadır.

11.2 ISDN

Elektriksel iletişim teknolojisinin başlamasından itibaren, teknoloji olanaklarına uygun olarak ses, metin ve veri gibi ayrı ayrı iletişim teknolojilerini sağlamak özel amacı için farklı şebekeler oluşturulmuştur ve mükemmelleştirilmiştir. Bunlar arasında sadece telefon ve telgraf şebekeleri, dünya çapında bağlantılar amacı için kendilerini kabul ettirmiştir.

Sadece bütün geleneksel hizmetlerin iletimini değil, ayrıca uyuma problemleri olmadan tek şebekede bütün yeni iletişim teknolojilerinin iletimini sağlayan işlemleri ve donanımı olan tamamlanmış bir şebekeyi inşa etmek için uluslararası bir amaç belirlenmiştir.

Telefon anahtarlama ve iletimi için dijital teknolojinin uygulanması ilk adımdır. Bu, şebekenin “entegre servis dijital şebekesi”ne (integrated services digital network) (ISDN) genişletilmesi için temel oluşturmaktadır. Bu, daha kısa bağlantı yapma zamanları, daha iyi kalite ve daha büyük işletme uygunluğu olan ses, metin, veri, sabit ve hareketli görüntülerin (videoteks, faks) iletimini sağlamaktadır.

Analog teknolojisinde düşük frekans iletimi için sadece 0.3'ten 3.4 kHz'e kadar olan bir band genişliği geçerlidir. Bu, dijital teknolojiye kanal başına 64 kbit/s'lik bir bit oranına karşılık gelmektedir. Bu iletim için ISDN abone hattı, 144 kbit/s'lik bit oranını vermektedir. Ses, metin ve/veya veri için 2×64 kbit/s'lik (B kanalları) ve mümkün olan üç uygulama için (sinyalleme, "daha yavaş" paketlenmiş verilerin iletimi ve belki gelecekte teletext hizmetleri için) 1×16 kbit/s'lik (D kanalı) alt kısımlara bölünmüştür (Şekil 11.2).

Başlangıç olarak, iletim mevcut dengeli bakır (koaksiyal) kablolar üzerinde uygulanmaktadır; böylece umumi şebekelere erişmek kolaylaşır.

Geleneksel telefon şebekeleri ve ISDN arasındaki temel fark, bir tek telefon hattı erişimi ile, bir analog ses kanalı olan tek bir telefon hattı yerine abonenin iki dijital kanalı ve ayrıca sinyalleme için 16 kbit/s'lik farklı bir kanalı olmasıdır. Umumi dijital anahtarlama sistemi EWSD, ISDN'nin bir parçası olarak işlemesi için sadece birkaç değişim (özellikle abone hattı erişimini) gerektirecek şekilde önceden geliştirilmiştir. Dengeli bakır telleri olan günümüzdeki iletim şebekesi, bu amaç için değişim olmadan kullanılabilir.

Standartlaştırma için uluslararası çabalar o kadar ilerlemiştir ki, 1984-88 ITU-T çalışma periyodu sırasında çoğu önemli ISDN standartları kabul edilmiştir. Ayrıca ETSI, Avrupa ülkeleri için zorunlu olan Avrupa telekomünikasyon standartlarını hazırlamıştır.

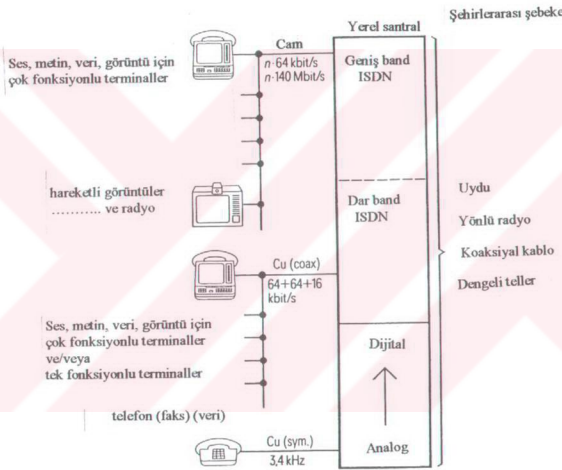
11.2.1 Geniş band ISDN

Telekomünikasyon altyapısının daha ileri geliştirilmesi için Deutsche Telekom AG'nin görüşü, entegre servis iletişim şebekesi üzerinde geniş band servisleri istemektedir. Standartların organizasyonları (örneğin ITU-T), genişband ISDN konusunu ele almaktadır. Geniş band şebekelerinin ve servislerinin dünya çapında bağdaşmasını temin edeceklerdir.

Dar band ISDN servislerinin çeşitli geniş band servisleri ile tamamlanması planlanmıştır. Bunlar, video telefon haberleşmesi, video konferansları, etkileşimli videoteks, hızlı veri iletimi, TV program dağıtımı (ödemeli-TV, yüksek ayarlı TV), stereo TV dağıtımı ve

seçimini içermektedir. Bu geniş band servislerini entegre etmek için, abone hatları için 155 Mbit/s'ye kadar bit oranları gerekmektedir, ve böylece optik kablolar için gereksinim vardır.

ISDN genişband aboneleri, ISDN servislerinin ve performans seviyelerinin bütün seçimini belirli derecelerde diledikleri gibi kullanabilmeleri için, sadece bir tek geniş band erişimine ihtiyaç duyacaklardır. Bu amaçla, temel ISDN servis erişimi (iki B servis kanalı ve bir D sinyal kanalı) bir geniş band kanalı tarafından arttırılacaktır. Sinyallemesi D kanalı yardımıyla yapılacaktır.



Şekil. 11.2 Analog şebekeden geniş band ISDN

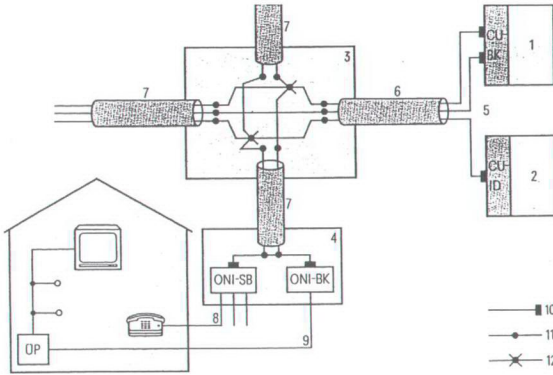
Geniş band anahtarlama teknolojisi, başlangıçta yeni anahtarlama sistemlerini gerektirmemektedir. Dijital elektronik anahtar EWSD gibi ISDN anahtarlama sistemleri, geniş band anahtarlama için uygun modüllerle geliştirilebilir. Geniş band abone erişimine ek olarak, performansı ile çok yüksek talepleri karşılaması gereken bir geniş band anahtarlama şebekesi de geliştirilmektedir. Donanım ve yazılım için araştırma ve geliştirme masrafları çok yüksektir.

11.3 FITL

Fiber optik iletim teknolojisi, günümüzde umumi telekomünikasyon operatörlerinin şehirlerarası ve şehir içi şehirlerarası şebekeleri için genel olarak kullanılmasından beri, geliştirilecek son şebeke seviyesi olarak yerel abone erişim bölgesi kalmıştır. A.B.D’den gelen etki ile çeşitli şebeke topolojileri, teknik ve ekonomik kapasitelerini belirlemek için önerilmiştir ve incelenmiştir.

Santralde başlayan fiber optik yolun uç noktasına dayanarak, bu halka şeklinde fiber (*Fiber-in-the-Loop*) (FITL) şebekelerinin, yani fiber optik abone erişme şebekelerinin, eve kadar fiber (*Fiber-to-the-Home*) (FTTH), sokağa kadar fiber (*Fiber-to-the-Curb*) (FTTC) veya ayağa kadar fiber (*Fiber-to-the-Pedestal*) (FTTP) gibi farklı isimleri vardır. Son iki durumda, geleneksel bakır kablolar bu uç noktalara bağlanacaktır. Son değişke, fiber optik abone erişim şebekesinin girişi için özellikle umut vericidir, çünkü teknik cihazların masrafları, birkaç bağlantılı abone hatları (lazer ve fiber paylaşımı) üzerinde dağıtılmıştır. Sivil işler için masraflara ek olarak, fiber optik tesis ve lazer ile fotodiyotları olan optoelektronik teknolojisi için masraflar, yerel şebekenin masrafları ile birlikte en önemlileridir.

Optik fiberler günümüzde geniş band uygulamaları için önemli avantajlar sağlamasına rağmen, fiber optik kabloların ayrı ayrı küçük iş yerlerinin ve özel müşterilerin arazilerine kadar genişletilmesi (FTTH), ancak optik çözüm geleneksel bakır teknolojisinden daha ucuz olduğunda (sadece telefon hizmetleri için kullanıldığı durumlarda bile) başlayacaktır. Bu arada, gelecek ihtiyaçlarına doğru yönelen bir FTTC çözümü gerekmektedir. Pasif optik şebeke (*passive optical network*) (PON) bu amaçla geliştirilmiştir, ve birkaç abone tarafından optik fiber ve elektrooptik dönüştürücüler gibi merkezi elemanların kullanımını sağlamaktadır. İsminden de anlaşıldığı gibi, böyle bir şebeke, optik muflar, ayırıcılar ve konnektörler ile fiber optik kablolar ve eklerden, yani sadece pasif optik elemanlardan meydana gelmiştir. Bir ya da daha çok dallanma elemanında ayırıcıların düzeni sebebiyle, bir PON’un yapısı yıldız şebekesine benzemektedir (Şekil 11.3).



Şekil.11.3 Pasif optik şebeke (PON)

CU-BK	Geniş band iletişimi için merkez ünite
CU-ID	Etkileşimli servisler için merkez ünite
ONI-SB	Dar band servisleri için optik şebeke ara yüzü
ONI-BK	Geniş band iletişimi için optik şebeke ara yüzü
ÜP	Elemanlar arasındaki bağlantı noktası

- 1 BK kablo başı
- 2 Yerel santral
- 3 Kablo dağıtım kutusu
- 4 Uzak ünite (DU)
- 5 Merkez ünite (CU)
- 6 Fiber optik ana kablosu
- 7 Fiber optik dağıtım kablosu
- 8 Simetrik bakır kablo
- 9 Koaksiyal bakır kablo
- 10 Fiber optik konnektör
- 11 Fiber optik bağlayıcı
- 12 Fiber optik kuplör

Pasif optik elemanlar, etkileşimli servisler ve geniş band dağıtım servisleri için merkezi üniteler (CU) ve uzak üniteler (DU), PON'un temel elemanlarını oluşturmaktadır.

CU'nun, elemanlar arasındaki bağlantı noktasında yerel santral ve CATV kablo başı ile PON'u uyarlama görevi vardır. Merkez üniteler, bir genel ana kablo yardımıyla sinyalleri, etkileşimli ve dağıtıcı servisler için farklı optik fiberler içinden kablo dağıtım kutusundaki pasif optik kuplörlerle iletmektedirler. Bu 1 : n kuplörleri giren ışık gücünü, düzgün bir

şekilde n çıkış yerlerinde ayırır. Sinyaller, bu dağıtım kutusundan dağıtım kablolarındaki ayrı ayrı optik fiberler yardımıyla uygun uzak ünitelere iletilmektedir. Çok aileli bir konutun bodrum katında veya sokağında bulunan uzak ünitelerde, elektrooptik dönüşüm oluşmaktadır. Sinyaller, oradan bakır çiftler ve koaksiyal kablolar yardımıyla 30 aboneye kadar ayrı ayrı abonelere dağıtılmaktadır.

PON aboneleri için gelecekteki FTTH çözümünü kolayca ve daha fazla sivil işler olmadan uygulamak için, abone saplama kabloları hibrit (karma) kablo olarak tasarlanmıştır (bir kablo kılıfı içerisinde bakır çift ve optik fiber). Uzak ünite, pasif optik şebekenin abone ucundaki son noktasıdır.

Etkileşimli servisler için, CU'dan ayrı ayrı DU'lara (yani abonelere doğru) sinyallerin iletimi, zaman bölmeli çoklama tekniği (time division multiplex) (TDM) ile uygulanmaktadır. Ters yönde bilgilerin iletimi daha zordur, çünkü abonelerin değişen coğrafi yeri değişen gecikme zamanlarına yol açmaktadır. Diğer yandan bütün aboneler, aynı optik fiber yardımıyla kablo dallanma kutusundaki pasif optik kuplör ve merkez ünite arasındaki ana kabloya erişebilmelidir. Bu yönde iletim için, çoklu erişimi olan çoklama tekniği (TDMA) (ayrıca uydu teknolojisinde de kullanılır) gerekmektedir. Bu teknik, sinyallerin gecikme zamanları açısından düzenli bir şekilde CU'ya gelmesini sağlamak için her abonenin erişme zamanını kontrol etmektedir.

PON'un ortami, tek-modlu optik fiberdir. Masraf sebeplerinden dolayı etkileşimli servisler, her optik fiberde her iki yönde (yani iki yönlü olarak), santrala doğru olan yönde 1300 nm ve ters yönde aboneye doğru 1550 nm kullanarak uygulanmaktadır. Yönleri ayırmak için gerekli olan optik filtrenin sadece düşük iletim kaybı vardır. Bu yüzden mesafe cezası, iki farklı optik fiberi olan çözüme kıyasla nispeten düşüktür. Uzaklık, genellikle seçilen iletim band genişliğine, yani abone sayısına ve iletilecek servis tipine bağlıdır. Bununla beraber, eklerin ve konnektörlerin sayısı ve optik fiberin zayıflama katsayısı da zayıflama miktarını etkilemektedir. TDMA metodu ile dengelenecek gecikme farkından dolayı, etkileşimli servislerin aralığı 10 km ile sınırlandırılmaktadır. Optik TV iletimi mesafesi yaklaşık 9 km'dir. Bütün abone hatlarının çoğu (%90) 4.5 km'den kısa olduğundan, her iki servisin iletimi için yeterli sistem marjinleri vardır.

Hem DU şeklindeki aktif şebeke uçlandırma cihazlarının hem bakır çiftler yardımıyla santral bataryasından önceden beslenen abone telefonlarının, arızaya karşı emniyetli bir güç kaynağına ihtiyaçları vardır. Fiber yardımıyla aboneye iletilmesi ve orada depolanması için ışıık şeklinde yeterli enerjiyi sağlayan önceden mevcut çözüm bulunmadığından, optik yerel erişim şebekelerindeki güç besleme problemi tekrar düşünölmelidir.

Abone hatlarının güç beslemesi için üç alternatif mümkündür: santraldan, yerel olarak ve abone tarafından.

Santral ve DU arasındaki mesafe kısa olduğunda, fiber optik kabloya paralel çekilen iletkenin çapı çok büyük olmadığı zaman, santral güç beslemesinden bir uzaktan güçlenme mümkündür.

Umumi güç şebekesine bir direkt bağlantı ile DU'ya yerel güç beslemesi durumunda, kaçınılmaz güç kesilmelerinde kullanmak için bir yedek batarya gerekmektedir. Bu, işlemin abonenin özel güç şebekesi tarafından beslendiğı durumlarda da gerekmektedir. Bu bataryalar, etkileşimli servislerin en az bir kaç saat işletilmesini sağlamalıdır.

Özet olarak, güç beslemesi için bu üç çözümden her birinin ideal olmadığı söylenebilir; yerel şebeke durumuna bağılı olarak bir seçim yapılması gerekmektedir.

11.4 LAN

Bölgesel şebeke (*local area networks*) (LAN), bir yandan çok kısa mesafeler boyunca çok yüksek bit oranları olan işlemci bağlantıları ile diğör yandan nispeten düşük bit oranları fakat çok uzun yol mesafeleri olan uzun mesafeli şebekeler arasında ayırım yapmak için çıkarılmıştır. Bir LAN'ın ayrı ayrı istasyonları, genellikle birbirinden 100 m ve birkaç kilometre arasındaki uzaklıklardadır, ve burada bit oranları birkaç 100 Mbit/s'ye ulaşabilir.

Bölgesel şebekeler için aşağıdaki tanımlama, standartlaştırma için Uluslararası Organizasyonun TC 97 çalışma grubu tarafından çıkartılmıştır:

“Bir bölgesel şebeke, birbiriyle bağlantılı bağımsız terminaller arasında bilginin bit düzeyinde seriler halinde iletilmesi için bir şebekedir. Kullanıcı ondan tamamen sorumludur ve bütünüyle onun malıdır”.

Almanya’da, farklı arsalar üzerindeki binaların birbirine bağlanması için Deutsche Telekom AG’den özel izin alınması gerekmektedir.

LAN sistemleri, genellikle topolojilerine, uygulama kriterlerine, ara yüzeylerine ve erişim metotlarına ve ayrıca iletim ortamlarına göre ayırt edilebilmektedir. Analog ve dijital teknolojiadaki çoğu uygulamaların aksine, bilgi genellikle veri paketlerinde dağıtılmaktadır ve telefon bağlantısı gibi atanan kanallar ile dağıtılmamaktadır; telefon bağlantısı için bir iletim kanalı konuşma süresince sürekli açıktır.

LAN uygulamaları, genellikle ofis iletişimlerinde (elektronik posta), kişisel bilgisayar (PC) şebekelerinde ve endüstride (örneğin işlem kontrolü için) kullanılmaktadır.

Telefon şebekelerinin kampüs bölgesinin dışındaki LAN için, farklı fiber optik kablo şebekeleri gereklidir.

ISDN ve LAN iletişim şebekeleri arasındaki gibi bir bağlantı, LAN için umumi şebekelere erişimi sağlayan geçit yolları (gateways) ile yapılabilmektedir.

İletim ortamının seçimi (bakır teller ve/veya optik fiberler), genellikle söz konusu olan sistemin teknik gereksinimlerine ve ekonomik verimine dayanmaktadır. Optik fiberler düşük zayıflamaları, yüksek band genişlikleri, abonelerin galvanik ayrılması, kesmelere karşı yüksek emniyetleri ve elektriksel bozukluklara duyarlılıklarından dolayı LAN uygulamaları için özellikle avantajlıdır.

Bu karakteristiklerin önemine dayanarak, sadece optik fiber teknolojisi ile karşılanabilen bazı yüksek bit oranlı uygulamalar vardır, örneğin banka ve sigorta şebekeleri, üniversite şebekeleri, tıbbi uygulamalar için şebekeler, CAD (computer aided design) (bilgisayar

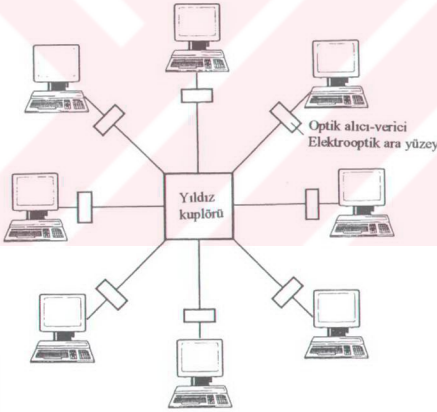
destekli tasarım) işlemlerinde ve tehlikeli bölgelerdeki şebekeler, askeri şebekelerde ve uygun pazarlar için şebekeler.

11.4.1 Şebekeler

LAN topolojilerinde (iletim yollarının bütünlüğü) üç şebeke tipi ayırt edilmiştir: yıldız, halka ve bara yapıları.

Yıldız Şebekeleri

Yukarıda yazılan sebeplerden dolayı, fiber optik kablolar yıldız şebeke konfigürasyonları (Şekil 11.4) için özellikle kullanışlıdır. Temel özellik Ethernet'e (IEEE 802.3 standardında belirtilen yerel veri şebekesi) göre belirlenmiştir.



Şekil 11.4 Yıldız sisteminin şematik gösterilişi

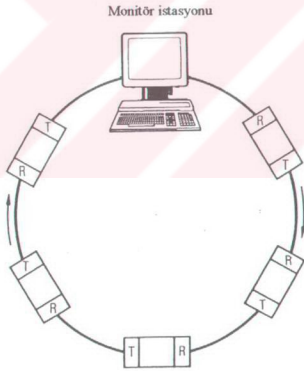
Tipik değerler, CSMA/CD (IEEE 802.3 standardında da anlatılan çatışma tespiti olan taşıyıcıyı dinleyen çoklu erişim) erişim metodu ile 10 Mbit/s'dir.

Böyle şebekelerin merkez noktalarında aktif yıldız kuplörleri bulunmaktadır; optik kablolar bunlardan, karşılık gelen terminallere ya da bir sonraki yıldız kuplörüne gitmektedirler.

Star şebekeleri, taşınan servislerden bağımsız olan ve çok sayıda data veri fonksiyonlarının erişim ile ilgili uygulamasına izin veren, esnek olan bir topoloji sunmaktadır.

Halka Şebekeleri

Optik kablolar, halka şebekelerinde geniş çapta kullanılabilir. Sinyaller, ya alıcı istasyonuna varana kadar ya da verici paketi başlangıç noktasına dönene kadar istasyondan istasyona iletilmektedir. Sinyal her iletildiğinde yükseltilmektedir (Şekil.11.5). İşaret erişimi, iletim hakkının tayin metodu olarak kendini kabul ettirmiştir (IEEE 802.5'te standartlaştırılmıştır). Bu işaret, halka etrafında iletilir, işareti elinde bulundurana iletişim paketini iletme hakkı verilmektedir.



Şekil 11.5 Bir halka sisteminin şematik gösterilişi

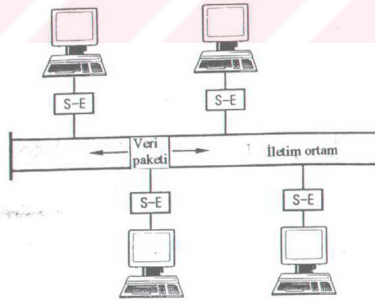
T Verici

R Alıcı

Bara Şebekeleri

Ethernet'e göre belirlenen işaret bandı sistemleri (base band systems), birçok uygulama için kendilerini kabul ettirmiştir. Bara sistemlerinde (Şekil 11.6), özel dengeli ve ayrıca koaksiyal bakır kablolar ve yolları uzatmak için fiber optik kablolar, iletim aracı olarak kullanılmaktadır. Veriler, koaksiyal kablodaki pasif bir kanca yardımıyla her iki yönde iletilmektedir ve her iki uca yansıtıcı olmayan uç rezistörler tarafından silinmektedir. Bu veri paketleri, alıcı ve verici adreslerini taşımaktadır ve adreste belirtilen istasyon(lar) tarafından okunmaktadır. Ofis sistemlerindeki erişim metodu, aşağıda bahsedilen CSMA/CD sistemidir. Endüstriyel uygulamalarda işaret barası kullanılmaktadır (IEEE 802.4'te standartlaştırılmıştır).

Bir istasyon ilettime başlamadan önce, o anda sinyallerin iletilip iletilmediğini öğrenmek için “dinler”. Durum böyle ise, o iletimin sonuna kadar bekler; aksi taktirde ilettime başlar. İletimin başlamasıyla istasyon, iletim kanalını “dinler”. Hemen hemen aynı zamanda ilettime başlayan başka bir istasyonun verileri ile çarpışma fark ederse iletimi keser ve daha sonra onu tekrarlar; bu, rastgele sayı üreticisi tarafından belirlenmektedir. Bu sistem, bütün istasyonların coğrafik konfigürasyonlarından bağımsız olarak, iletim ortamına eşit erişime sahip olmasını sağlamaktadır.



Şekil.11.6 Bara sisteminin şematik gösterilişi

Böyle şebekelerin sık kullanılan diğer bir uygulaması, kişisel bilgisayarların bağlanmasıdır; bu da şebekelerin LAN yardımıyla ortak belleklere, yazıcılara ve işlemci ünitelerine erişmesini sağlamaktadır.

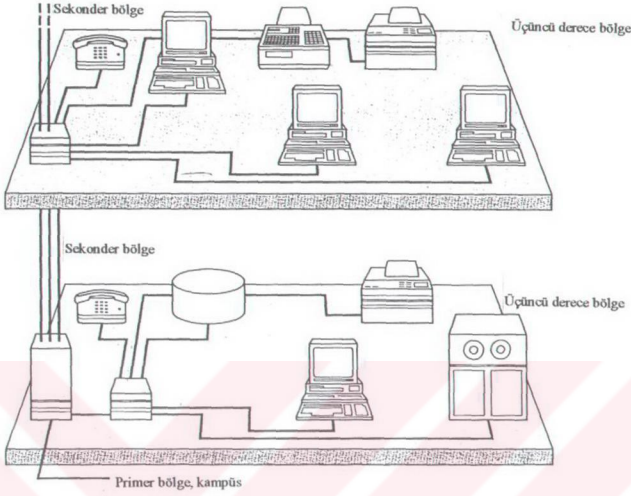
11.4.2 Kablo Döşeme Kavramları

Geçmişte, bina içinde ve bina dışında kablo döşenmesi, verilecek hizmetlere göre (ses, veri) planlanırdı. Sonuç, özel uygulama ihtiyaçlarını karşılamak için farklı fiber optik ve bakır kabloların sık sık birbirine paralel olarak tesis edilmesi olmuştur, fakat sonradan bu kablolar, modern iletişim dünyasının taleplerini karşılayamamıştır. Yüksek olmayan ilk yatırımın düşünülen daha düşük masrafları hesaplandığında, malzemelerin geniş depolanmasından doğan yüksek orta vadeli masrafların hesaplanmasına, tesisin daha zor belgelenmesine ve bakımına, ayrıca personel için ilk eğitime ve eğitimin geliştirilmesine yeteri kadar dikkat edilmemektedir.

Bunu aksine, yapısal kablo döşeme kavramları, sunulan hizmetten bağımsız olarak geleceğe yönelik bir uygulama çözümünü sunmaktadır. Standartlara uygundur, esnekler ve kablo, uç teknolojisi, tesis etme kolaylığı gibi bütün elemanlarda en yüksek iletişim teknolojisi standartlarını karşılayacak kadar yeterlidir.

Siemens, ICCS (*Integrated Communications Cabling System*) (entegre iletişim kablo döşeme sistemi) yapısal kablo döşeme sistemini geliştirmiştir. Bu sistemde, primer (belkemiği, kampüs), sekonder (belkemiği, bina ve üst katlar) ve üçüncü derece bölgesi (abone, ayrı ayrı katlar) arasında ayırım yapılmaktadır (Şekil 11.7).

Primer ve sekonder bölgelerde genellikle fiber optik kablolar kullanılmaktadır. Üçüncü derece bölgesinde genellikle, dengeli zırlı bakır kablolar veya alternatif olarak fiber optik kablolar kullanılmaktadır; bu sadece iki kablo tipinin gerekli olduğu anlamına gelir.



Şekil.11.7 Sadece 2 kablo tipi olan ICCS yapısal kablo döşeme sistemi
 Primer bölge: fiber optik kablolar. Sekonder bölge: fiber optik kablolar ve ICCS kabloları.
 Üçüncü derece bölge: ICCS kabloları

11.4.3 FDDI

Komünikasyon sektörü için elektronik ürünlerindeki yeni teknolojilerin gelişmesi ve fiber optik teknolojinin sürekli ilerlemesi, yüksek değerli uygulamalar için yerel şebekelerin tasarlanmasını mümkün kılmıştır.

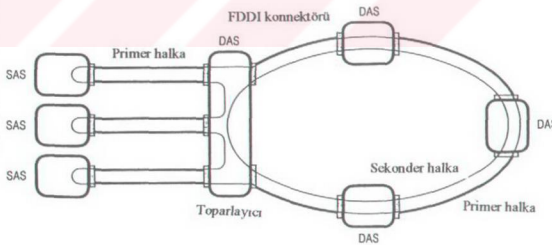
FDDI (fiber distributed data interface) (fiber dağıtılmış veri ara yüzeyi), fiber optik iletim ortamı için tasarlanan bir işaret ileme tekniğidir. Ethernet (10 Mbit/s) ve İşaret Halkasının (Token Ring) (4 ve 16 Mbit/s) aksine, 100 Mbit/s'lik iletim hızlarına izin verir ve bu yüzden yüksek hızlı bir fiber optik şebekedir.

Aşağıdakiler, bu yüksek hızlı tekniğin tipik karakteristikleridir:

- Olağanüstü iletim karakteristikleri ile minimum parazit hassasiyetini bir araya getiren fiber optik teknolojinin her yerde kullanılması,

- bel kemiği ve ön uç uygulamaları için yeterli kapasitesi olan 100 Mbit/s'lik nominal veri oranı,
- 200 km uzunluğunda bir fiber üzerinde 1000'e kadar fiziksel bağlantı seçeneği,
- yüksek yük ve aşırı yük bölgelerinde mükemmel iş çıkarma karakteristikleri ve işaret erişim prensibinin kullanımı ile şebeke erişiminin tarafsız denetimi,
- iki ters dönebilen fiber optik halkasını ve akıllı istasyon idaresini içeren hata toleranslı tasarım ve ayrıca
- abone erişim bölgesinde bakır kablo döşenmesinin isteğe bağlı kullanımı.

Bu yüzden FDDI, arzu edildiğinde tam bir şebeke oluşturmak için, geçmişte sık sık tesis edilmiş olan ve Ethernet (10 Mbit/s) veya İşaret Halkasını (4/16 Mbit/s) dayanan ada çözümlerini ve ayrıca ön uç denilen çözümleri (çalışma istasyonuna kadar 100 Mbit/s) birbirine bağlayabilmektedir.



Şekil.11.8 FDDI topolojisi

Kampüs bölgesinde (yani binalar arasında, primer bölge), bütün binalar üzerinde bir FDDI çift halkası bir şebeke olarak inşa edilmiştir. Çift bağlantı istasyonları (dual attachment stations) (DAS) ya da A sınıfı istasyonları denilen çift halkadaki istasyonlar (ana gövdeler,

köprüler/yönlendiriciler veya toparlayıcılar), her iki fiber optik halka ile bağlantılıdır ve bu yüzden bir bağlantı kesildiğinde bile işlemeye devam eder.

Kat dağıtım istasyonlarına (sekonder seviye) ve uçlandırma cihazlarına (üçüncü seviye) olan bağlantı, ağaç gibi bir yapı tarafından elde edilmektedir. Tek bağlantı istasyonları (single attachment stations) (SAS) veya B sınıfı istasyonlar denilen bu “ağaçlar”a olan bağlantı sadece primer halkasına direkt erişime sahiptir (Şekil 11.8).

Bu yolla, bütün şebekenin hata toleransını arttırmak mümkündür, çünkü bir B sınıfı istasyonun kesilmesi durumunda çift halka tam işlemeye devam eder. A sınıfı istasyonların az sayıda bulunması ve gereğinden fazla güç beslemesi veya optik köprüleme (optical bypass) gibi yardımcı cihazlar ile isteğe bağlı koruma, eğer iki DAS kesilirse FDDI halkasının iki ayrı halkaya ayrılma ihtimalini azaltmaktadır.

Ayrı binalardaki veya ayrı katlardaki alt şebekelere geçiş, köprüler veya yönlendiriciler tarafından sağlanmaktadır. Yerel Ethernet veya İşaret Halka şebekelerinin birbirine bağlanmasını mümkün kılar ve ayrıca WAN (wide area networks) (geniş bölge şebekeleri) bağlantıları için ara yüzey olarak bulunmaktadır.

Bir bel kemiği şebekesi olarak uygulamalara ilaveten, doksanlı yılların bilgisayarları ve uygulamalarının yeni üretilenleri, hiçbir klasik LAN teknolojisinin karşılayamayacağı veri oranlarını gerektirdiği sürece, FDDI en iyi çözüm olarak kabul edilecektir. Günümüzde bu uygulamalar için, üçüncü seviyedeki fiber optik teknolojiye ek olarak yüksek verimli bakır kablo döşenmesinin (örneğin ICCS = Entegre Komünikasyon Kablo Döşeme Sistemi) kullanılması mümkündür.

Modüler toparlayıcılar, aktif FDDI elemanları olarak gitgide önem kazanmaktadır. Sadece FDDI halkasına (A sınıfı ve B sınıfı) bağlantıları sağlamazlar, ayrıca farklı LAN teknolojilerini entegre ederek konfigürasyonda ve bölgesel şebekelerin internet işlerinde yüksek esnekliği sağlamaktadırlar. Bir entegre şebeke idaresi, bütün şebekenin bir istasyondan kontrolünü ve gözlenmesini sağlamaktadır.

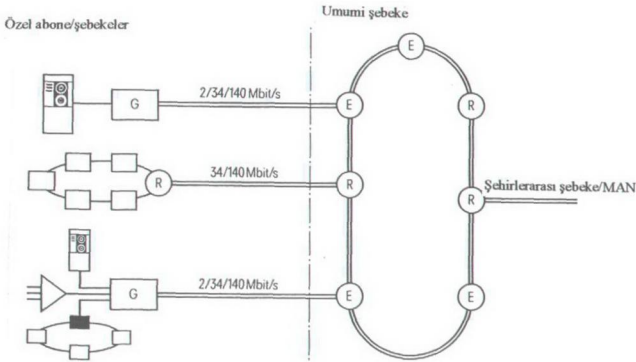
11.4.4 MAN ve görünüm

Bölgesel şebekeler, geçmişte 9.6, 64 veya 2048 kbit/s'lik özel devreler yada X.25 paket bağlantıları ile geniş bir bölge üzerinde bağlanmışlardır. Hem veri nakli hem de ses uygulamalarının iletimini karşılayabilen hızlı ve masraf etkili tam bir iletişim şebekesine ihtiyaç doğmuştur. Son yıllarda DQDB (distributed queue dual bus) (dağıtılmış kuyruk çift bara) tekniğini kullanan MAN (metropolitan area networks) (kent çapında şebeke), şebeke erişimi, iletimi ve santral için bu gereksinimleri karşılamak için tasarlanmıştır.

DQDB'ye dayanan MAN aşağıdaki karakteristiklere sahiptir (Şekil 11.9):

- Geniş alan (>100 km),
- yüksek bit oranları (34/45/140 Mbit/s),
- temel yapı: 2 bağımsız, ters dönebilen bara sistemi,
- hücre röle iletim yapısı,
- 255'e kadar düğüm ve maksimum 4000 abone,
- dinamik band genişliği atanması,
- ses ve verinin aynı anda iletimi,
- geniş band ISDN ile birlikte servis tümleştirilmesi.

Bir umumi şebeke için MAN şebeke topolojisi, bir hiyerarşide sıralanan iki benzer şebeke seviyesinden meydana gelmektedir. Hiyerarşinin üst seviyesi bir bara, bir papatya zincirli bara yada iki nokta arasındaki bağlantı ile oluşturulmaktadır.



Şekil.11.9 MAN-Yapısı (G geçit yolu, E kenar, R yönlendirici)

MAN'ın gerçek elemanı olan bu şebekeye kenarlar bağlanmaktadır. Hiyerarşinin alt seviyesinin erişim noktasıdır ve bu şebekede üst seviyedekilere benzer yapılar yardımıyla CAN (customer access networks) (müşteri erişim şebekeleri) abone şebekelerine erişim sağlamaktadırlar. Müşteri geçit yolları denilen CAN'ın düğümleri, müşterinin arazisine yerleştirilmiştir. LAN, özel şube santralleri ve çoklayıcılar onlarla bağlanabilir.

Bir MAN'ın kontrolü ve gözlenmesi, FDDI'da olduğu gibi bir merkez idare istasyonundan yapılmaktadır.

MAN'lar, geleceğe yönelik geniş band ISDN'nin tümleştirmelerinden dolayı, günümüz iletişim dünyasında önemli yer kazanmıştır. B-ISDN, asenkron transfer moduna (ATM) dayanmaktadır. Kent çapında şebekelerde iletim, sabit bağlantılar (datagram yapısı) olmadan yapılmaktadır, halbuki ATM iletimi bağlantılara yönelmiştir ve lojik kanallar yardımıyla yapılmaktadır, yani bilgi iletiminden önce kesin bir bağlantı kurulmaktadır. Verilerin iletim için paketlenildiği hücre yapısı, MAN ve ATM teknikleri için aynı olduğundan, her iki servis de bir bağlantısız besleme yardımıyla bağılayıcı bir şekilde bağlanabilmektedir. Bu, MAN'dan DQDB'ye dayanan gelecekteki şebeke yapılarına masraf etkili fiziksel göçün mümkün olduğu anlamına gelmektedir. Ayrıca, mikroelektronik sektöründeki hızlı gelişim Gbit/s bölgesinde frekansları olan gelecekteki

ATM sistemlerine izin verecektir ve günümüz iletişim dünyasının hayal edilemeyen boyutlara ulaşmasını sağlayacaktır.

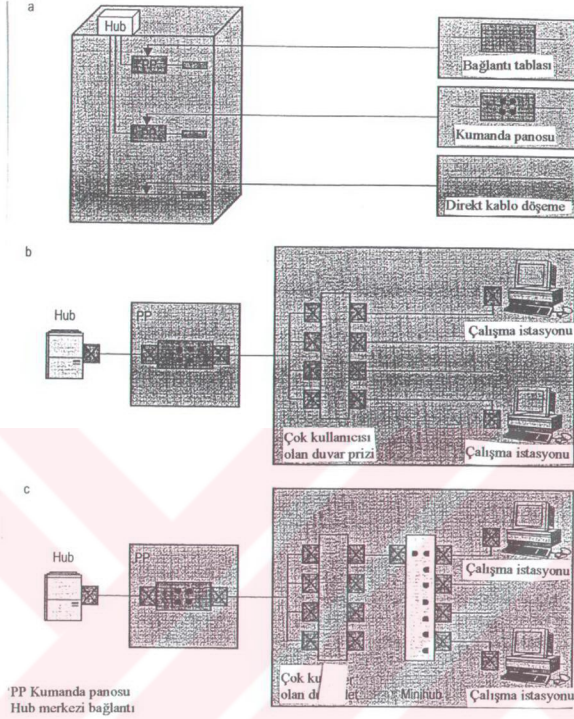
11.5 FTTD

Masaya kadar fiber (Fiber-to-the-desk) (FTTD), özellikle günümüzde standartlar fiber optik uygulamalar ve pasif şebeke elemanları için ayarlandığından, hızla çoğu modern ofislerdeki iletişim altyapılarının kabul edilen bir parçası kabul olmaktadır. Örneğin yapısal kablo döşeme standardı ISO/IEC 11801, Ethernet, İşaret Halkası ve optik fiberlere dayanan fiber dağıtılmış veri arayüzeyi (FDDI) için uygulamaları tanımlamaktadır. Ayrıca, ATM standardı (155 Mbit/s) benimsenmeye başlanmıştır ve 622 Mbit/s standardı tartışılmaktadır. Bu standartlar kendilerini kabul ettirdiğinde, fiber optik teknolojisine olan talep kesin olarak artacaktır.

Aynı zamanda, kat kablo döşeme uzunluğu, artık geçmişteki 90 m'lik sıkı gereksinime sınırlandırılmamaktadır ve yeni 30 m'lik inşaat bölgesi belirlenmektedir. Bu bölge içerisindeki bütün uygulamalar, tekrarlayıcısız tek bir araç ile iletilir: Çok modlu fiberler olan fiber optik kablo (Tablo 11.1). Bu, yeni çıkan ATM'ye ve çoklu ortam teknolojilerine (multimedia technology) olan göçü kolaylaştırmaktadır.

Tablo 11.1 Bina kablo döşemesi için tavsiyeler; kablo döşeme bölgeleri ve teknolojisi

Uygulama	Band Genişliği (Mbit/s)	Kat < 100 m		Bina < 300 m		Kampüs < 2000 m	
		Ortam	Teknoloji	Ortam	Teknoloji	Ortam	Teknoloji
10-İşaret F	10	MM	S	MM	S	MM	S
İşaret halkası	16	MM	S	MM	S	MM	S
100-İşaret F	100	MM	S	MM	S	MM	LE
FDDI	100	MM	S	MM	S	MM	LE
ATM/STM	52	MM	S	MM	S	MM	LE
	155	MM	S/LE	MM	S/LE	MM	SL/LE
	622	MM	SL/LE	MM	SL/LE	SM	LL
	1244	MM	SL	MM	SL	SM	LL
	2488	MM	SL	MM	SL	SM	LL
ATM	Asenkron transfer modu			S	LED (850 nm)		
FDDI	Fiber-dağıtılmış veri ara yüzeyi			SL	Lazer (850 nm)		
LE	Işık yayıcı diyet (1300 nm)			SM	Tek-modlu (9/125µm)		
LL	Lazer (1300 nm)			STM	Senkron transfer modu		
MM	Çok modlu (62.5/125µm)						



Şekil.11.10 Şebeke yapıları için kablo döşeme kavramları

- a) Merkezi kablo döşemesi
- b) Açık ofis kablo döşemesi
- c) Bölge kablo döşemesi

Daha büyük şebeke esnekliği ve saydamlığı

Genel olarak, standart yapı kablo döşemesi, dikey ve yatay alt sistemlerin terimleriyle tanımlanmıştır. Yatay kısmın son 90 m'sinde fiber optik kablo döşemesinin gerekmediği bilinen bir gerçektir. Özellikle günümüzde ISO, bakır kablolar yardımıyla veri iletim kapasiteleri için standartları koymuştur, örneğin 5 kategorisi, 100 MHz'lik bir kapasiteyi vermektedir. Buna rağmen, kullanıcıların planlayabileceği şebeke tasarım tipini seepsiz

bir şekilde sınırlandırılabilir. Fiber optik kablo döşemesi, yatay ve dikey kablo döşemesi arasındaki bu bölümün üstesinden gelebilir, çünkü çok modlu fiberler (300 m'lik bir mesafe üzerinde 0.3 dB'den az bir kayıp ve 2.5 Gbit/s'ye kadar destekleyecek band genişliği olan), bina içi kablo döşemesi için çok uygundur. Böylece, şebekeler kolay, esnek ve saydam bir şekilde inşa edilebilir. Şu üç görüş, özellikle geniş çapta kabul edilmiştir: Merkezi kablo döşemesi, açık ofis kablo döşemesi ve bölge kablo döşemesi.

Merkezi kablo döşemesi

Merkezi kablo döşemesi ile, bir bina içerisindeki bütün şebeke kullanıcıları bir merkez veri odasından yönetilmektedir (Şekil 11.10a). Çalışma istasyonları merkezi bağlantıdan (hub) 300 m'ye kadar uzaklıkta olabilir, bu yüzden bütün binaların %95'inden fazlasında bir merkezi veri odası, bütün yerel şebekeyi yeterli bir şekilde yönetebilir. Kablolar eklenmiş, telekomünikasyon dağıtım panosunda birbirine bağlanmış ya da merkezi bağlantıdan direkt olarak tesis edilmiş olabilir. Aynı ayrı katlarda ek elektronik cihazlar telekomünikasyon dağıtım panoları ve iletişim odaları yerine, bütün gereken bir pasif kumanda panosudur. Daha küçük ve daha az karmaşık olan merkezi kablo döşemesi, daha az ofis yeri kaplar ve air-conditioning ve elektrik için daha düşük işletme masrafları ile sonuçlanabilir.

Aktif elemanların çıkış yerleri daha elverişli bir şekilde kullanıldığından, bu yapı daha düşük kablo döşeme ve elektronik cihaz masraflarını sağlayabilir. Ayrıca, merkezi kablo döşemesi, şebeke esnekliğinin daha yüksek bir seviyesini vermektedir ve yönetilmesi ve bakımı açısından daha ucuzdur. Elektronik cihazların ve çalışma istasyonlarının yer değiştirmesi yerine, çalışma istasyonları, ana dağıtım gövdesinde sadece bağlantı kablolarının bağlanması ile belirli iş gruplarına atanabilir. Nispeten basit şebeke alt yapısı sayesinde, hatalar daha kolay bir şekilde belirlenebilir ve yok edilebilir.

Açık ofis kablo döşemesi

Çok kullanıcı duvar prizi (genelde en çok 12 kullanıcı bağlanabilen) (Şekil 11.10b) bir merkezi kablo döşeme yapısı, özellikle açık ofisler için çok uygundur. Sadece bir kablo,

çok kullanıcısı olan duvar prizine yatay olarak yönlendirildiğinden tesis etme masrafları daha düşüktür ve sonuçta kablo kanalı çok daha az yer tutar. Bağlantı kabloları, bölme duvarı üzerinde çok kullanıcısı olan prizden ayrı ayrı çalışma istasyonlarına yönlendirilmiştir. Fiber optik bağlantı kabloları, elektromanyetik uyuma problemlerine duyarlı olmadığından, bölme duvarları üzerinden çalışma istasyonlarına yönlendirilen güç besleme kabloları performanslarını engellemez. Fiber optik bağlantı kablolarının uzunluğunun, bu mesafeler için iletim kalitesinde hiçbir etkisi yoktur. Bir ofisteki bölme duvarları en sonunda çıkarılırsa bağlantı kablolarının yeniden şekillenmesi gerekebilir, fakat yeni yatay kablo döşenmesi gerekmeyecektir.

Bölge kablo döşenmesi

Bu yapıda, bakır şebeke için çalışma istasyonlarında bulunan şebeke kartları, fiber optik şebekeye tümleştirilmiştir. Bütün pasif şebeke, merkezi kablo döşenmesi ve fiber optik çok kullanıcı prizler ile inşa edilmiştir (Şekil 11.10c). Bir küçük merkezi bağlantı (minihub), optik fiber ve bakır şebeke kartları arasında köprü vazifesi görmesi için bir çıkışta tesis edilmiştir. Çalışma istasyonları, bu küçük merkezi bağlantı ile fiber optik şebekeye bağlanabilmektedir. Bakır şebeke kartı, sonunda fiber şebeke kartları (örneğin, ATM şebeke kartları) ile değiştirilirse, sadece küçük merkezi bağlantı çıkarılmaktadır ve çalışma istasyonları çok kullanıcı prize direkt olarak bağlanabilmektedir. Fiber optik şebeke önceden tesis edildiğinden, yeniden kablo döşenmesi gerekmemektedir. Bu açıdan bölge kablo döşenmesi, mevcut bakır şebeke kartlarındaki önceki yatırımları tehlikeye atmadan yüksek hızlı şebekelere olan göçü korumaktadır.

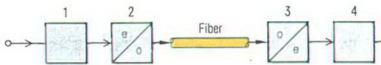
12 ELEKTROOPTİK SİNYAL DÖNÜŞTÜRÜLMESİ

Bir optik fiberde ışık sinyallerini iletmek için, elektrik sinyallerini optik sinyallere dönüştürmek amacıyla (ve tersi için) optik fiberin başında ve sonunda uygun verici ve alıcı elemanları gerekmektedir (Şekil 12.1). Verici tarafında, bir elektrik sinyali bir ışık kaynağının şiddetini ayarlar. Optik sinyal, optik fibere bağlanır ve alıcıya gelir; orada bir foto alıcı onu tekrar elektrik sinyaline dönüştürür.

Yarı iletken teknolojisinde kullanılan elektrooptik dönüştürücüler için periyodik sistemin üçüncü (Al, Ga, In), dördüncü (Si, Ge) ve beşinci (P, As) grubunun kimyasal elementleri çok faydalı olmuştur (Tablo 3.1). Bu III, IV ve V yarı iletkenlerinin alaşımları özellikle önemlidir; bunlar, çoğunlukla uygun şebekelerle InP veya GaAs taban tabakasına uygulanabilen (yani, her iki kristalin aynı şebeke sabitine sahip olmasından dolayı) dördü (dört misli) bileşikler InGaAsP ve GaAlAsP ve üçlü (üç misli) bileşikler InGaAs ve GaAlAs'tır.

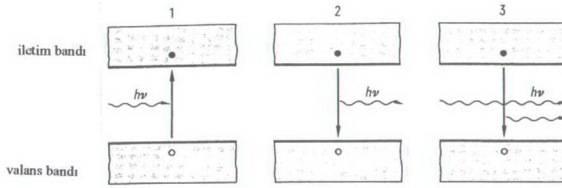
Yarı iletkenlerin, birbirinden E_g enerji boşluğu ile ayrılan *valans bandı* ve *iletim bandı* denilen, elektronlar için iki enerji bölgesi vardır (Şekil 12.2).

Ayrıca, bu bileşiklerin kompozisyonu, elemanların fonksiyonu için gerekli olan optimum band boşluklarını ve kırılma katsayılarını sağlamak için seçilmiştir. Katmanların tam kalınlığı ve düzgün homojenliği, epitaksi metoduyla sağlanmaktadır (düzgün şekilde dizilmiş kristal büyümesi). Üç metod ayırt edilebilir: Sıvı fazında epitaksi (liquid phase epitaxy) (LPE), metal oksit buhar fazında epitaksi (metal oxide vapor phase epitaxy) (MOVPE) ve moleküler ışın epitaksi (molecular beam epitaxy) (MBE/MOMBE). Bunlardan genellikle son iki metot uygulanmaktadır.



Şekil 12.1 Bir optik fiber iletim sisteminin şematik gösterilişi

1 Modülatör	3 Alıcı	e elektro
2 Verici	4 Demodülatör	o optik



Şekil 12.2 Bir yarı iletkendeki elektrooptik etkileşimler

- | | |
|-------------------------|--------------|
| 1 Emme | $h\nu$ Foton |
| 2 Kendiliğinden emisyon | • Elektron |
| 3 Uyarıcı emisyon | ○ Delik |

Yarı iletkende yayılan bir foton, enerjisini $h\nu$ ($h = 6.62608 \cdot 10^{-8}$ Js Planck'ın sabiti ve ν ışık frekansıdır) valans bandındaki bir elektrona bırakır, ve böylece onu daha yüksek enerjili iletim bandına yükseltir. İşlem sırasında foton kaybolur ve elektron valans bandında pozitif delik diye bilinen bir dolu olmayan nokta bırakır. Bu, elektrooptik etkileşimlerden biridir: emme.

İletim bandında, elektronların dengeli dağılımından fazlası varsa, elektronlar valans bandının deliklerine kendiliğinden geriye düşebilir. Böylece, her elektron için yarı iletken bir foton yayılır. Bu işlem, aşırı yük taşıyıcılarının yayılıcı tekrar birleştirilmesi olarak bilinmektedir, çünkü bu işlemde, fazla elektronlar ve delikler birleşmektedir. Buna kendiliğinden emisyon ya da luminesans (ışıldama) denmektedir.

Uyarıcı emisyonlar, yarı iletkenlerdeki fotonlar, aşırı yük taşıyıcılarının radyant olarak tekrar birleşmesine sebep olduğunda (yani, fotonların emisyonunu uyardığında) oluşmaktadır. Bu durumda önemli olan, yayılan radyosunun (ışınım) onu uyaran radyasyonla faz ve dalga boyunda aynı olmasıdır.

Bu üç işlem, bir tanesi baskın çıkıp teknik olarak kullanılabilir olduğunda aynı anda oluşmaktadır. Fotodiyot emme işleminden, ışık yayan diyot kendiliğinden emisyon ve lazer diyonu uyarıcı emisyonlardan yararlanmaktadır.

Ayrıca, elektrik akımının elektronlar (negatif yüklü parçacıklar) tarafından iletildiği yarı

iletkenlere *n-tipi yarı iletkenler* denildiğine dikkat etmek önemlidir. Bunun aksine, genellikle elektriği deliklerin (*pozitif yüklü taşıyıcılar*) ilettiği az elektronu olan yarı iletkenlere *p-tipi yarı iletkenler* denilmektedir. Bir p-tipi yarı iletkeni ve bir n-tipi yarı iletkeni olan iki katmanın kombinasyonu (yani, bir *pn bağlantısı*), bir diyodu oluşturmaktadır.

12.1 Vericiler

Fotonların yayılması için, kendiliğinden ya da uyarıcı emisyonu elde etmek için aşırı yük taşıyıcıları yarı iletkenin içine sokulmalıdır. Bu, yük taşıyıcılarının bir pn-bağlantısı yardımıyla enjekte edilmesiyle sağlanabilir. Eğer pn-bağlantısı ileri yönde işletilirse, fotonları yaymak için “kullanılabilen” ek elektronlar p-katmanına ve ek delikler n-katmanına enjekte edilmektedir.

Yük taşıyıcılarının enjeksiyon işlemi, onu takip eden emisyon ile birlikte *enjeksiyon luminansı* olarak adlandırılmaktadır. Bu, vericilerde (emetörlerde) uygulanmaktadır, örneğin LED’ler ve lazer diyotları.

12.1.1 LED

Kendiliğinden emisyon ile ışık yayan yarı iletken bir diyoda ışık yayan diyot (light emitting diode) (LED) denilmektedir.

Elektrik akımını ışığa dönüştürme kalitesi, yarı iletken diyodunda pn-bağlantısından geçen yük taşıyıcılarının sayısına (GaAs için tipik olarak %0.5 - 1.0) bağlı olarak birim zaman başına yayılan foton sayısını belirten dış *quantum verimi* tarafından anlatılmaktadır.

Sıcaklık arttıkça quantum verimi azaldığından, tekrar birleştirme bölgesinin ısınmasından kaçınılmalıdır; yani, LED’in uygun bir yapısı ile uygun bir ısı dağılımı sağlanmalıdır.

Yayılan ışığın dalga boyu da LED’in işletilmesi için önemlidir. Genellikle, *E_g* enerji boşluğu tarafından belirlenir, burada aşağıdaki ilişki uygulanmaktadır.

$$\lambda = hc / Eg$$

λ μm olarak dalga boyu

Eg eV olarak enerji boşluğu

$$hc = 1.2398$$

$$1 \text{ eV} = 1.60218 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

Galyum arsenit (GaAs) diyotlarında Eg değeri için 1,43 eV kullanılmaktadır ve burada λ için 0.87 μm değeri (oda sıcaklığında) kullanılmaktadır. İndium fosfit (InP) için $Eg = 1.35 \text{ eV}$ 'dir, ve buna karşılık gelen dalga boyu değeri $\lambda = 0.92 \mu\text{m}$ 'dir.

Bir LED'in spektral genişliği $\Delta\lambda$, yaklaşık olarak dalga boyunun λ karesi ile orantılıdır, bu yüzden daha uzun dalga boylarında çok artmaktadır.

Bir LED'in cevap süresi, diğer bir önemli karakteristiktir. Diyodun yükselme süresine bağlıdır. Aşırı yük taşıyıcılarının ortalama ömürleri, akımı kapattıktan sonra ışık emisyonunu belirleyen faktördür. Diyot, bu sınırın altında, enjeksiyon akımındaki değişimleri takip edemez. Tipik minimum ömürler birkaç nanosaniyeliktir, bu, 100 MHz'lik bir modülasyon band genişliğine karşılık gelmektedir.

Yükselme süresi ve quantum verimi, deliklerin yoğunluğuna bağlı olduğundan ikisi aynı zamanda optimize edilemez. Özellikle "hızlı" LED'ler, enjeksiyon akımına bağlı olarak daha az foton yaymaktadır.

Yapı ve Karakteristikler

Aşağıda, birçok ihtimal için üç LED örneği ele alınmaktadır. Bunlar:

$\lambda \approx 900 \text{ nm}$ için düzlemsel GaAs diyodu

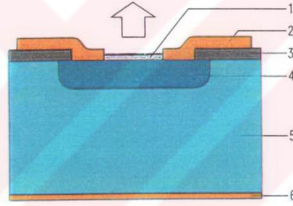
$\lambda \approx 830 \text{ nm}$ için yüksek ışımalı AlGaAs/GaAs diyodu

$\lambda \approx 1310 \text{ nm}$ için yüksek ışımalı InGaAsP/InP diyodu.

Tablo 12.1'de tipik değerler verilmektedir.

Tablo 12.1 LED'lerin karakteristikleri

		Tip LED	Yüksek ışımalı LED	Yüksek ışımalı LED
Dalga boyu	nm	900	830	1310
Spektral genişlik	nm	40	40	120
Yarı iletken malzeme		GaAs	AlGaAs/ GaAs	InGaAsP/ InP
Yapı		Düzlemsel	Çift heteroyapı	Çift heteroyapı
Emisyon		Kendiliğinden	Kendiliğinden	Kendiliğinden
50 μm 'lık çekirdek çapı olan bir OWG içine beslenen ışık gücü	μW	5	20	20
Maksimum bit oranı	Mbit/s	5	60	100



Şekil 12.3 Bir tek düzleme yayılı GaAs diyodunun yapısının şematik gösterilişi.

- 1 Antiyansımaya coating
- 2 p - kontağı
- 3 Al_2O_3 izolasyonu
- 4 p - GaAs (yayılmış)
- 5 n - GaAs (taban tabakası)
- 6 n - kontağı

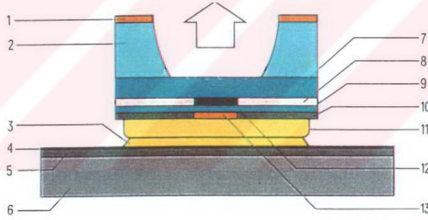
900 nm civarındaki dalga boyları için GaAs diyodu

GaAs diyodu, verici diyotlarının en basit yapısına sahiptir (Şekil 12.3). Diyot, üst tarafında 200 μm kalınlığında bir p-bölgesi ile n-GaAs taban tabakasından oluşmaktadır. Genellikle p-bölgesinde üretilen kızıl ötesi ışığın p-yüzeyinde yayılan kısmı optik fiberi beslemek için kullanılmaktadır.

830 nm civarındaki dalga boyu için yüksek ışımalı AlGaAs/GaAs diyodu (Burrus tipi)

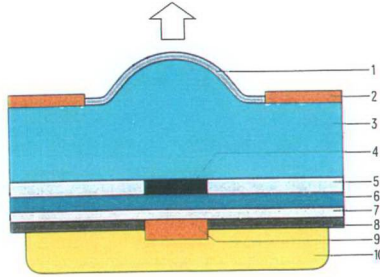
Diyot, küp şeklinde yarı iletken kristalden meydana gelmektedir. Farklı kalınlıkları ve katkı maddeleri olan üç AlGaAs katmanından meydana gelen bir çift heteroyapısı, bir n-katkılı GaAs taban tabakasında epitaksial olarak yapılmıştır. Aşağıya doğru yönelmiş epitaksial katmanlar ve soğutucu olarak araya giren bir altın civata ile diyot, bir iletken kontağı ve SiO_2 izolasyonu ile bir silikon yongasına lehimlenmektedir. Diyot kristalinin alt tarafında bir Al_2O_3 izolasyon katmanı, küçük yüzey alanı ile p-kontagına akım akışını sınırlandırmaktadır.

Üstündeki AlGaAs örtü katmanının kalınlığı ve özellikle katkılama seviyesi, akımın ölçülebilir bir şekilde dağılmaması için seçilmiştir. Sonuç, aktif AlGaAs örtü katmanının, p-kontagındakinden biraz daha büyük çapı olan bir alanda emisyonu uyarılmalıdır; böylece arzu edilen küçük emisyon alanı elde edilmiş olur (Şekil 12.4).



Şekil 12.4 Yüksek ışımalı AlGaAs/GaAs diyodunun yapısının şematik gösterilişi

- | | | |
|----------------------------|--|---------------------------------------|
| 1 n-kontak | 7 n- $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$ | 10 Al_2O_3 izolasyonu |
| 2 n-GaAs (taban tabakası) | 8 p- $\text{Al}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{As}$
(aktif katman) | 11 Soğutucu |
| 3 Lehim | 9 p- $\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{As}$
(izoleli katman) | 12 Işık yayan bölge |
| 4 İletken tel | | 13 Küçük çaplı p-kontak |
| 5 SiO_2 izolasyon | | |
| 6 Silikon yonga | | |



Şekil 12.5 Yüksek ısımalı InGaAsP/InP diyodunun yapısının şematik gösterilişi.

- | | |
|--|--------------------------------------|
| 1 Antiyansınma coating | 6 p-InP |
| 2 n-kontak | 7 p-InGaAsP |
| 3 n-InP (taban tabakası) | 8 Al_2O_3 izolasyonu |
| 4 Işık yayan bölge
(çap $\varnothing$ 25-30 μm) | 9 p-kontak (çap 25-30) |
| 5 InGaAsP | 10 Soğutucu |

GaAs taban tabakasına doğru yukarıya yayılan kızılötesi ışık, optik fiberi beslemek için kullanılmaktadır. Bu radyasyon, aktif katmanda ancak az miktarda kendiliğinden emilir, çünkü bu katman çok incedir, ve GaAs taban tabakasında birkaç mikrometre içerisinde tamamen emilmesine rağmen yukarıdaki AlGaAs katmanından emilmeden geçer. Bu yüzden, p-kontakının üzerinde konsantrik olarak dizilen bir kuyu, emisyon bölgesinin yukarısında GaAs taban tabakasında oyulmaktadır. n-kontak, kalan GaAs maddesine uygulanır. Bu yapının, küçük yüzey alanı olan p-kontak yardımıyla nispeten az ışık yayan bir yüzey meydana getirebilme avantajı vardır.

1310 nm civarındaki dalga boyları için yüksek ısımalı InGaAsP/InP diyotları

“İkinci pencere”nin verici diyotları için (1300 nm), üçlü yarı iletken AlGaAs’dan dörtlü yarı iletken InGaAsP ve InP taban tabakası kristallerine bir madde değişimi yapılmalıdır. Temel olarak, dörtlü yüksek ısımalı diyotların yapısı (Şekil 12.5), AlGaAs/GaAs diyotlarının yapısına karşılık gelmektedir.

InGaAsP'tan yapılan bir yarı iletken, 1300 nm'lik bir dalga boyunda yayılır ve InP'ye uygundur. Böylece, verici diyotları için çok etkin olan çift heteroyapısı tekrar gerçekleştirilebilir; burada InP “engel” rolünü almaktadır. InGaAsP'nin p-katkılı katmanı, kontak katmanı olarak işlemektedir. Taban tabakası maddesi, ışığın optik fiberlere beslenmesini arttırmak için entegre mercek şekli almaktadır.

12.1.2 Lazer diyodu

Bir lazer diyodu, uyarıcı emisyonu kullanan bir radyasyon kaynağıdır (Şekil 12.2'ye bakınız). Lazer, radyasyonun uyarıcı emisyonu ile ışık artırılmasının (*light amplification by stimulated emission of radiation*) kısaltılmışıdır. Yüksek akım yoğunluğu ile, kuvvetli bir uyarıcı emisyonu meydana gelmesi için lazerdeki iletim bandında çok fazla yüklü taşıyıcılar üretilmektedir. Bir foton çıktından bu amplifikasyon etkisi bir optik rezonatör ile artırılır; bu rezonatör genellikle kısmen şeffaf paralel iki düzlem aynadan oluşmaktadır. Lazer diyodundaki bu ayna yüzeyleri, yarı iletken kristalin bölünmesi ile oluşan ve bir ek koruyucu katmanı ile sağlanan tabii kristal yüzeyleridir.

Bir LED ve bir lazer diyodu arasındaki farkı belirtmek için, Şekil 12.6 bir tipik ışık akımı karakteristik eğrisini göstermektedir. Diyot akımı arttıkça, kristaldeki ışık amplifikasyonunun zayıflama ve radyasyondan doğan kayıplarının ortalandığı bir eşiğe erişilmektedir. Bu eşğin üzerinde, kuvvetli lazer emisyonu başlar. Geniş spektral dağılımı olan LED'lerin aksine, lazer işlemindeki emisyon bir ya da sadece birkaç spektral hatta daralır (Şekil 12.7).

Bir verici spektrumunun genişliği, genellikle yarı maksimumdaki tam genişlik (full width at half maximum) (FWHM) $\Delta\lambda$ olarak ya da tam ortalama karakök (full root mean square) (FRMS) genişliği $\Delta\lambda_{\text{FRMS}}$ olarak verilmektedir, burada Gauss şekilli bir spektrum için aşağıdaki ilişki geçerlidir:

$$\Delta\lambda = \sqrt{\ln 4} \Delta\lambda_{\text{FRMS}} \approx 1.18 \times \Delta\lambda_{\text{FRMS}}$$

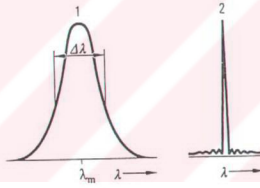
ya da

$$\Delta\lambda_{\text{FRMS}} \approx 0.85 \times \Delta\lambda$$

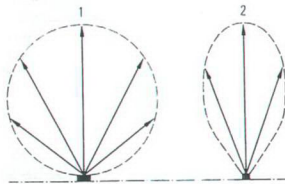
Bir LED'in emisyonunun aksine, bir lazer diyodun radyasyonu uyarıcı emisyonundan dolayı uzayda eş evrelidir. Radyasyon ışını, LED'inkinden dikkat çekecek şekilde daha dardır, ve bu özellikle optik fibere etkili ışık beslemesini kolaylaştırmaktadır (Şekil 12.8).



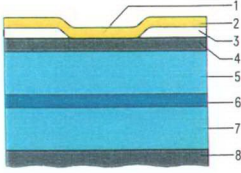
Şekil 12.6 Bir lazer diyodunun ışık-akım karakteristiği



Şekil 12.7 (1) bir LED'in ve (2) bir lazer diyodunun emisyonunun spektral dağılımı



Şekil 12.8 (1) bir LED'in ve (2) bir lazer diyodunun emisyonunun uzaydaki dağılımı



Şekil 12.9 Bir oksit şeritli lazerin yapısı

- 1 Kontak penceresi
- 2 Metalizasyon (TiPtAu)
- 3 Oksit maske (Al_2O_3)
- 4 İzoleli katman (p-GaAs)
- 5 Sıralandırma katmanı (p-GaAlAs)
- 6 Aktif katman (GaAs)
- 7 Sıralandırma katmanı (n-GaAlAs)
- 8 Taban tabakası (n-GaAs)

Yapı ve Karakteristikler

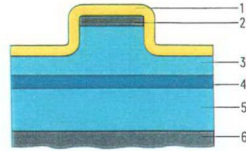
Lazer diyotları, lazerdeki dalga boyunun yanal sınırlandırması tipi ile tanımlanan yapılarına göre iki aileye ayrılabilir. Her aileden birçok tipin örneği olarak bir lazer diyodu tarif edilecektir.

Kazanca Yönelik Lazer Diyotlar (Gain Guided Laser Diodes) (GLD) (Şekil 12.9)

Örnek

800'den 900 nm'ye kadar olan dalga boyu aralığı için GaAlAs/GaAs oksit şeritli lazer.

Enjekte edilen taşıyıcıların aktif şeridindeki yoğunluğu, kırılma katsayısının bir yanal profil şeklini almasına sebep olur, ve bu, özellikle çok dar şerit genişliklerinde yanal olarak sınırlandırılan temel modun kararlı yönlendirilmesini sağlamaktadır. Bu kırılma katsayısı profili, kazanç olarak da bilinen optik amplifikasyon profiline karşılık gelmektedir. Bu yüzden bu ailenin lazer diyotları, kazanca yönelik lazer diyotlar olarak da bilinmektedir.



Şekil 12.10 Bir MCRW lazerinin yapısı

- 1 Metalizasyon (TiPtAu)
- 2 İzoleli katman (InP)
- 3 Sıralandırma katmanı (InP)
- 4 Aktif katman (InGaAsP)
- 5 Sıralandırma katmanı (n-InP)
- 6 Taban tabakası (n-InP)

Katsayıya Yönelik Lazer Diyotlar (Index Guided Laser Diodes) (ILD) (Şekil. 12.10)

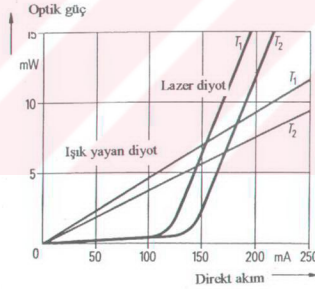
Örnek

1300'den 1600 nm'ye kadar olan dalga boyu aralığı için GaInAsP/InP-MCRW (Metal clad ridge waveguide) (metal kaplamalı sağrı dalga boyu) lazeri.

Kendi yapılarında dalga kılavuzları bulunan lazer diyotlarına, katsayıya yönelik lazer diyotlar (ILD) denmektedir, çünkü sürekli kırılma katsayı profilleri vardır.

Şekil 12.11, bir LED ve bir lazer diyodundaki optik güç ve akım üzerindeki sıcaklık etkisini göstermektedir.

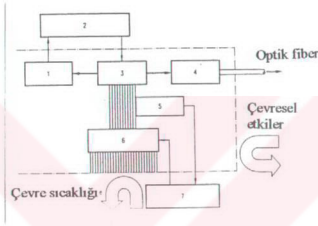
Tablo 12.2, dijital optik iletim için lazer diyotlarının bazı tipik değerlerini ve karakteristiklerini (25°C'de) vermektedir.



Şekil 12.11 $T_1 = 25^\circ\text{C}$ ve $T_2 = 60^\circ\text{C}$ 'de bir lazer diyodunun ve ışık yayan diyodun ışık-akım karakteristikleri

Tablo 12.2 Lazer diyotların karakteristikleri

				Tip	
				LD	LD-MCRW
Dalga boyu		nm		840	1305
Spektral genişlik		nm		3.5	3.5
Yarı iletken malzeme				GaAl/GaAs	InGaAsP/InP
Yapı				Çift hetero	Çift hetero
Emisyon				Eş evreli	Eş evreli
Bir OWG'ye Beslenen	Çekirdek çapı 50 μm	mW		1	3
ışık gücü	Mod alan çapı 10 μm	mW		–	1.5
Maksimum bit oranı		Mbit/s		565	1200



Şekil 12.12 Bir lazer modülünün modüler tasarımın şematik gösterilişi

- | | | |
|---------------------------------|----------------|----------------------|
| 1 Kontrol diyodu | 3 Lazer diyodu | 6 Peltier soğutucusu |
| 2 Elektriksel kontrol ve tahrik | 4 Optik uyum | 7 Sıcaklık kontrolü |
| | 5 Termistör | |

DFB Lazeri

Lazer diyotları, LED'lerden çok daha dar bir dalga boyu aralığında ışık yaymasına rağmen, optik veri iletimindeki özel uygulamalar için (örneğin çok yüksek bit oranları için), eş evreli iletim için veya amplitüd modülasyonlu televizyon sinyali iletimi için, tek frekanslı lazerlere ihtiyaç vardır. Bu amaçla, lazerin salınımının boyuna (eksenel) modlarının tam olarak kontrol edilmesi ve böylece dalga boyu dağılımının sınırlandırılması gerekmektedir.

Boyuna mod sayısının azaltılması için bir metot, lazerin aktif katmanına bir periyodik yapının entegre edilmesidir; bu yapı lazerin radyasyon alanına dinamik olarak bağlanabilmektedir. Lazerin iki ayna yüzeyi arasında bir rezonatör bölgesinde, lazer ışığını bir ileri bir geri yansıtan genel kullanımdaki Fabry-Perot lazerlerinin aksine,

dağıtılmış-geri beslemeli (*distributed-feedback*) (DFB) lazerler; ışığın sadece belirli dalga boylarında yansıtılması için yarı iletken taban tabakasında bir seri dalga şeklindeki yükseklikleri kullanmaktadır ve böylece sadece bir rezonans dalga boyunu kuvvetlendirmektedir. Bir DFB lazerinin spektral genişliği 1 nm'den daha küçüktür (Bölüm 10.1.1).

Bir C^3 lazeri (*cleaved-coupled-cavity-laser*) (yarıklı-kuplajlı-kavite-lazeri), lazerin modlarının sadece bir boyuna moda sınırlanmasını mümkün kılmaktadır. Bir hava boşluğu tarafından optik olarak bağlanmış, elektronik olarak ayrılmış iki Fabry-Perot lazerinden oluşmaktadır. Sadece, iki rezonatörü ortak olan bu dalga boyları yükseltilecektir, ve böylece tek renkli çok yüksek bir ışık ışıını üretilmektedir. Bu C^3 lazerleri teknik olarak, normal bir yarı iletken lazer diyodunun, bir kristal yüzey boyunca uç yüzeyleri paralel olacak şekilde bölünmesiyle üretilmektedir.

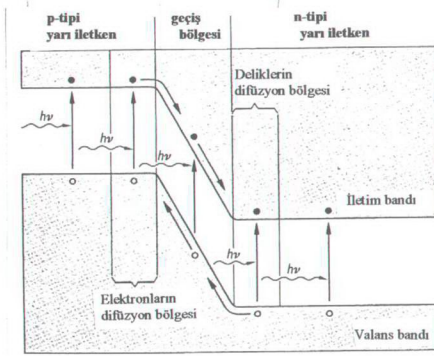
Lazer Modülü

Lazer diyotlarının pratik işletimi birçok fonksiyonel grubu gerektirmektedir. Bunlar, izolasyonlu bir muhafazada yerleştirilmektedir. Bütün ünite, lazer modülü diye adlandırılmaktadır.

Şekil 12.12, lazer modülünü şematik olarak göstermektedir. Modüler tasarım, lazer diyodunun iletim yoluna kolayca uyuşmasını temin etmektedir.

Optik uyuma, modülde oluşmaktadır, yani kısa fırça bağlantı teli optimal olarak diyodun yayma yüzeyine bağlanır (fiber dizilişi gereklidir) ve modülün izolasyonunu koruyarak dışarıya beslenir.

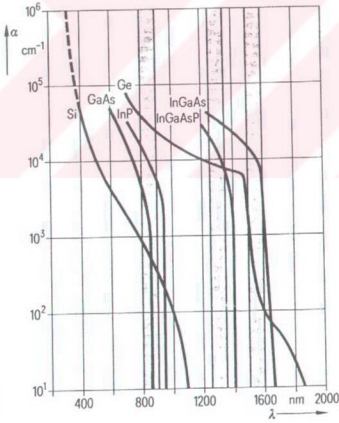
Sıcaklık kontrolü için fonksiyonel grup özellikle önemlidir. Peltier soğutucuları (diğerleri arasında), bu amaçla kullanılmaktadır.



Şekil 12.13 Ters-polarize fotdiyodunun işletilmesi

$h\nu$ foton

- Elektron
- Delik



Şekil 12.14 Yarı iletken maddelerin λ dalga boyunun bir fonksiyonu olarak α emme katsayısı.

12.2 Detektörler

Bir fotodiyot, yarı iletkenlerdeki ışık ışınlarının emme etkisinden yararlanmaktadır. Bu etkide, E_g enerji boşluğundakinden daha yüksek bir enerji seviyesinde olan bir enerji yüklü fotonun ışın yayması, bir çift elektron deliğini serbest bırakır (ışık üretme etkisinin tersi) ve elektriği taşımak için kullanılır.

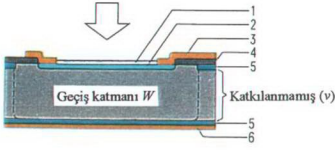
Teoride, yarı iletken pn-bağlantıları sadece ışık enjeksiyonu ile taşıyıcıları uyarmak için değil (Bölüm 12.1.1), ayrıca geçiş katmanının elektrik alanında ayırma ile optik olarak uyarılmış yük taşıyıcılarını ortaya çıkarmak için (yani, ışığı almak için) kullanılabilir. Şekil.12.13, bu işlemin şematik gösterilişini vermektedir. Hem pn-bağlantısındaki geçiş katmanında üretilen yük taşıyıcıları hem “difüzyon bölgesindeki” yük taşıyıcıları ortaya çıkarılabilir. İlk durumda, üretilen iki yük taşıyıcısı geçiş katmanında elektrik alan tarafından hemen ayrılmasına rağmen, ikinci durumda az sayıdaki yük taşıyıcısının, geçiş katmanı tarafından çekilip karşıındaki nötr yarı iletken bölgesine nakledilmesinden önce pn-bağlantısına yayılması gerekmektedir. Bu iki işlemden dolayı, dış devrede bir elektrik akımı akmaktadır.

Böyle alıcılarının üretimi için, silikon ve germanyum veya III-IV-V bileşikler en sık kullanılanlardır. Şekil 12.14, λ dalga boyunun bir fonksiyonu olarak en sık kullanılan yarı iletken maddelerin emme katsayısını α göstermektedir.

Şekil 12.14’te, 1000 nm’nin altındaki aralık için Si’nin en uygun olduğu görülebilmektedir. Daha yüksek dalga boyları için Ge daha avantajlıdır. 1300’den 1600 nm’ye kadar olan aralıkta InGaAs ya da InGaAsP, fotodiyot maddesi olarak çok uygundur.

12.2.1 PIN fotodiyodu

Düşük emme katsayıları olan yarı iletkenlerde, p ve n-tipi yarı iletkenler arasına katılanmamış bir yarı iletken katmanının (i-bölgesi, katılanmamış) sokulması, radyasyonun emilmesi için bölgeyi genişletmektedir. Bu, PIN denilen fotodiyottur.



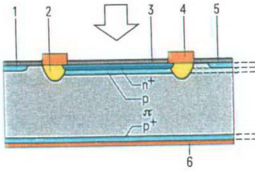
Şekil 12.15 PIN fotodiyodunun tasarımının şematik gösterilişi

- 1 Si_3N_4
- 2 p^+
- 3 p-kontağı
- 4 SiO_2
- 5 n^+
- 6 n-kontağı

Tablo 12.3 Alıcı diyotların karakteristikleri

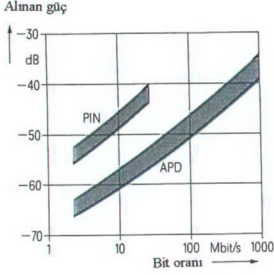
Tip	Dalga boyu (nm)	Yarı iletken madde	Yapı	Amplifikasyon	Spektral Hassasiyet (A/W)
PIN-PD	500-1000	Si	Düzlemsel/PIN	—	0.5 – 0.8
APD	500-1000	Si	Düzlemsel	$\times 10^3$ 'dan $\times 100^3$ 'e	0.5 – 0.8
PIN-PD	1000-1500	Ge	Mesa/Düzlemsel	—	0.5 – 0.8
APD	1000-1500	Ge	Mesa/Düzlemsel	$\times 10$	0.5 – 0.8
PIN-PD	1000-1600	InGaAs/InP	Mesa/Düzlemsel	—	0.5 – 0.8
APD	1000-1600	InGaAs/InP	Mesa/Düzlemsel	$\times 10^3$ 'dan $\times 50^3$ 'ye	0.5 – 0.8

Mesa İçinde bir elektrodun diğerlerine göre çok küçük yapıldığı transistör tipi.



Şekil 12.16 Silikon çığ (avalanche) fotodiyodunun tasarımının şematik gösterilişi

- 1 p^+ (kanal sonu)
- 2 n-koruyucu halka
- 3 Si_3N_4
- 4 n-kontağı
- 5 SiO_2
- 6 p-kontağı



Şekil 12.17 Bir PIN fotodiyodunun ve APD' nin hassasiyeti

1100 nm'ye kadar dalga boyları için silikon fotodiyotlar

Şekil 12.15, $p^+ n$ yapısı olan bir diyodun tasarımını şematik olarak göstermektedir, burada n , i-bölgesinin n-iletken olduğunu belirtir. Kıızıl ötesi ışık, p-bölgesinden diyota girer; yansıma kayıplarını önlemek için yüzeyinde Si_3N_4 coating'i vardır.

Alan etkili transistörler (Field effect transistor) (FET), PIN fotodiyotlarının hassasiyetini arttırmak için kullanılabilir. Bu hibrit tasarımlı PIN-FET modülleri, çok yüksek hassasiyeti sağlayabilmektedir.

Tablo 12.3, fotodiyotların karakteristiklerini vermektedir.

12.2.2 APD fotodiyotları

Elektrik alandaki yük taşıyıcılarının hızlandırılması, darbeli iyonlaşma ile daha çok yük taşıyıcısı oluşturacak kadar yüksek hızlara ulaştığında, çok kuvvetli bir fotoelektrik akımı meydana gelmektedir. Bu işleme çığ etkisi ile kırılma olayı denmektedir ve ortaya çıkan fotodiyoda APD (avalanche photodiode) (çığ fotodiyodu) denilmektedir.

1100 nm'ye kadar dalga boyları için silikon p^+n fotodiyodu (APD)

Temel olarak, yukarıda anlatılan PIN fotodiyodu p^+n fotodiyodu olarak da işletilebilir. Çığ etkisi ile kırılma için gerekli olan yüksek alan kuvvetini sağlamak için gereken gerilim çok yüksektir.

Bir APD'nin tasarımı Şekil.12 16'da gösterilmektedir. Bu diyotlar, teknik sebeplerden dolayı sadece p^+n tasarımıyla üretilmektedir.

Şekil 12.17, 10^{-19} 'luk bir bit hata oranındaki silikon PIN fotodiyodu ve APD'si olan alıcıların hassasiyetinin karşılaştırılmasını göstermektedir.

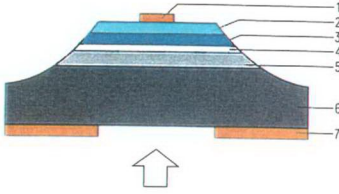
1300 nm için InGaAs/InP p^+n fotodiyotları

Bu diyodun tasarımı, şematik olarak Şekil 12.8'de gösterilmiştir. PIN diyodunda olduğu gibi, ışına taban tabakasında oluşmaktadır; bununla beraber, pn-bağlantısı InGaAs emme katmanında değil InP katmanında bulunmaktadır. Sonuç olarak, bir yüksek elektrik alan gücü bölgesi, n⁺ InP katmanında oluşmaktadır; burada p^+n etkisi ile kırılma olayı daha hızlı bir şekilde sağlanmaktadır. Fotonlar tarafından üretilen delikleri toplamak için InGaAs katmanında bir düşük alan gücü oluşturmak yeterlidir.

1300 nm'deki dalga boyu aralığı için diğer diyotlar şunlardır:

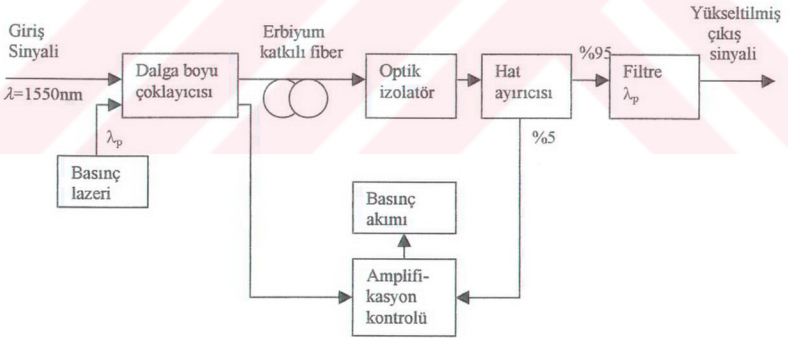
- üretilmesi nispeten kolay bir APD olan germanyum p^+n fotodiyotları,
- bir InGaAs/InP fotodiyodunun bir GaAs-FET ile kombinasyonu.

Tablo 12.3, APD'lerin karakteristiklerini vermektedir.



Şekil 12.18 Bir InGaAs/InP çıkış fotodiyodunun tasarımının şematik gösterilişi

- 1 n-kontak
- 2 n^+ -InP
- 3 n - $\text{In}_{0.53}\text{Ga}_{0.47}\text{As}$
- 4 n -InP
- 5 p^+ -InP
- 6 p^+ -InP-taban tabakası
- 7 p-kontak



Şekil 12.19 Erbiyum katkılı fiber amplifikatörün şematik gösterilişi

12.3 Optik Fiber Amplifikatörleri

Erbiyum katkılı optik fiberlerin kullanılmasıyla özellikle 1550 nm civarındaki dalga boyu aralığında optik sinyallerin direkt amplifikasyonu için bir metot geliştirilmiştir. Kimyasal elementlerin periyodik sisteminde 68. Element olan erbiyum, nadir toprak elementleri grubunda bir lantanittir (Tablo 3.1). Erbiyum katkılı bir çekirdeği olan 10 m uzunluğundaki bir optik fiber, EDFA (*erbium-doped fiber amplifier*) (erbiyum katkılı fiber amplifikatörü) olarak kullanılması için yeterlidir.

Aşağıdaki gibi işlemektedir:

Yükseltilecek olan optik sinyal, 1550 nm'lik dalga boyunda dalga boyu çoklayıcısına gelmektedir (Bölüm 13.2) ve $\lambda_p = 980$ veya 1480 nm'lik bir dalga boyundaki pompalama ışığı da bağlanmaktadır (Şekil 12.19). Her iki sinyal üst üste gelir ve iletim sinyalinin fotonların indüklenmiş emisyonu tarafından yükseltildiği erbiyum katkılı fibere girmektedir. Kendiliğinden emisyonlardan oluşan gürültüyü gidermek için bir optik izolatör, erbiyum katkılı fiberin arkasına yerleştirilmektedir. Bir hat ayırıcısı kullanılarak, enerjinin %95'i çıkışa yönlendirilmektedir ve %5'i ters bağlanarak amplifikasyonu ayarlamak için kullanılmaktadır. λ_p dalga boyu için bir filtre, pompalama ışığının çıkış optik fiberine girmesini önlemektedir.

10 dB'den 30 dB'e kadar yükseltmeler mümkündür. Düşük kuplaj kayıplarına ek olarak, amplifikatörün lineer davranışı özellikle avantajlıdır. Bu yüzden, optik fiber amplifikatörü analog sinyaller için uygundur; örneğin analog TV sinyallerinin dağıtımında, optik amplifikasyonu olmayan bir sisteme kıyasla yaklaşık 10dB'lik bir gelişmeye ulaşılabilir. Bu, aralığın ikiye katlanması veya 1:10'luk bir ayırma oranının artışı demektir, yani yaklaşık 10 misli aboneye hizmet edilebilir. Yaklaşık 20 dB'lik tam optik amplifikasyonun uygulanabildiği dijital sinyal iletimi için daha büyük avantajlar bile elde edilebilmektedir. Ayrıca, optik amplifikasyon yol kısımlarının kaskat bir şekilde (ard arda) bağlanması mümkündür. Diğer karakteristikler yüksek çıkış gücü, düşük ses karışması ve polarizasyondan bağımsız bir amplifikasyondur.

13. FİBER OPTİK ELEMANLAR

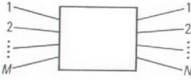
Fiber optik kablolar ek olarak, fiber optik elemanların bir veya birkaç optik fiberi bağlamak ya da uçlandırmak için pasif eleman olarak optik iletim yolları için büyük önemi vardır. Pasif fiber optik elemanlara örnek olarak kuplörler ve konnektörleri gösterebiliriz (Bölüm 10.4).

Bilgi, bir optik fiber ya da birkaç verici yardımıyla her iki yönde iletileceği ve alıcılar bir optik şebeke yapısında birleştirileceği zaman, optik kuplörler gereklidir. Kuplörler çoklu prizlerdir, yani ışığın içeri ve dışarı bağlanacağı en az üç optik çıkışı vardır.

Dalga boyundan bağımsız ve dalga boyu-seçici kuplör olarak uygulamalarına göre sınıflandırılmaktadır.

13.1. Dalga Boyundan Bağımsız Kuplörler

$M \times N$ kuplörleri, M optik dalga kılavuzları ile N farklı dalga kılavuzlarını bir fiber optik iletim şebekesindeki bir noktada optik olarak bağlamak için kullanılmaktadır (Şekil 13.1). Bu kuplörler, belirli bir dalga boyu aralığında optik fiberlerin hemen hemen dalga boyundan bağımsız bağlantılarını sağlamaktadır.

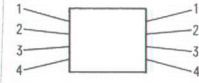


Şekil 13.1 $M \times N$ kuplörü

Bu genel $M \times N$ kuplörlerine ek olarak, aşağıdaki özel tasarımlar kullanılmaktadır:

$$M = N$$

Eşit sayıda giriş ve çıkış kapıları olan bu düzene yıldız kuplörü veya karıştırıcısı denmektedir, örneğin 4×4 yıldız kuplörü (Şekil 13.2).



Şekil 13.2 4×4 yıldız kuplörü

$M = 1, N$ belirsiz

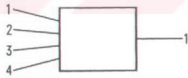
Tek giriş ve birkaç çıkış kapısı olan bu konfigürasyon, ayırıcı, ağaç ya da dallanma kuplörü olarak bilinmektedir, örneğin 1×4 ayırıcısı (Şekil 13.3).



Şekil 13.3 1×4 ayırıcısı

M belirsiz, $N = 1$

Bu konfigürasyon, önceki konfigürasyonun aynadaki görüntüsüdür. Birkaç giriş kapısı, bir çıkış kapısı ile bağlanmaktadır. Buna birleştirici denmektedir, örneğin $4:1$ birleştiricisi (Şekil 13.4).



Şekil 13.4 4×1 birleştiricisi

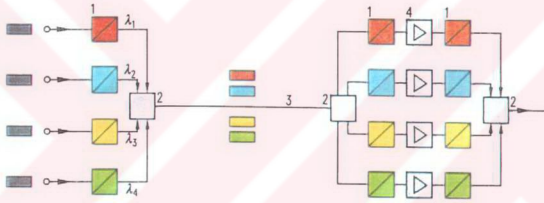
Fiber optik kuplörlerin üretilme teknikleri açısından, eritilmiş konik fiber kuplörleri ve düzlemsel dalga kılavuzu kuplörleri arasında ayırım yapılmaktadır.

Eritilmiş konik fiber kuplörü, en yaygın kullanılanıdır. Onları üretmek için, optik fiberler eritilmektedir ve birkaç milimetre çekilmektedir. Böylece bir optik fiberin mod alanı diğerinin üstüne biner ışık bağlanmış olur.

Düzlemsel teknik, farklı bir kuplaj olanağı sunmaktadır. Bu, camdaki iyon değişiminin kullanılması ile elde edilmektedir; burada bir dalga kılavuzunda ışığın yönlendirilmesi için uygun olan bir kırılma yapısı oluşturulur. Düzlemsel dalga kılavuzlarının yeniden üretilebilme ve dalga boyundan bağımsız olma avantajları vardır.

13.2 Dalga Boyu – Seçici Kuplörleri

Dalga boyu – seçici kuplörü (Şekil 13.5), kısa mesafeler için ve tekrarlayıcısız yollar için bir konfigürasyondur. Farklı dalga boyları olan bir elektrooptik dönüştürücü bunun için kullanılmaktadır. Bunun yaydığı ışık gücü, bir optik olarak seçici kuplör tarafından birleştirilmektedir. İletim için tek bir optik fiber yeterlidir. Burada uygulanan metoda, *dalga boyu bölmeli çoklaması* (wavelength division multiplexing) (WDM) denmektedir.



Şekil 13.5 Dalga boyu bölmeli çoklama (WDM)

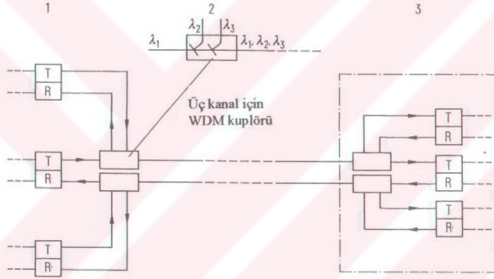
- 1 Elektrooptik dönüştürücü
- 2 WDM kuplörü

- 3 Optik fiber
- 4 Yeniden üretici

Tek ve iki yönlü WDM kuplörleri vardır. Tek yönlü WDM kuplörü ile sinyaller, bir optik fiber yardımıyla farklı dalga boylarında aynı yönde iletilmektedir; iki yönlü WDM kuplörü ile, zıt yönde de iletilmektedir. Dalga boyu bölmeli çoklayıcıları / multipleks ayırıcılarının hepsi sürekli bir optik fiberi içermektedirler. Işık yolunda, iletici bir dielektrik katman (parazit filtresi) vardır. Parazit filtresinin yansıma dalı yardımıyla bir ya da daha çok optik fiber, sürekli optik fiber ile bağlanmaktadır. Uç noktalarında, konnektörler veya fırça telleri yardımıyla optik fiberlere erişilebilmektedir.

Kanal aralıkları, ışık yayan diyotlar için 400 nm’de ve lazer diyodu olan sistemler için 40 ya da 50 nm’dedir. WDM kuplörlerinin iletimi zayıflatması hesaba katılmalıdır; örneğin üç kapılı bir WDM (iki kanal) için 0.8-1dB’dir. Bu kuplörler, iki nokta arasındaki bağlantılara kıyasla yol uzunluklarını kısaltırlar. Zayıflama için planlama yapılırken, farklı dalga boylarının farklı zayıflamalarla sonuçlandığı hesaba katılmalıdır, yani planlama için en az avantajlı değer kılavuz olmalıdır. WDM kuplörleri, tek-modlu ve çok modlu fiberlerle (dereceli katsayı profili) kullanmak için uygundur.

Şekil 13.6, WDM kuplörü uygulaması için bir örnek göstermektedir.



Şekil 13.6 Üç kanal için WDM kuplörlerinin uygulanması ile bir geniş bantlı iletişim şebekesinde abone erişme hattı

1 Abone

2 WDM kuplörü

T Verici

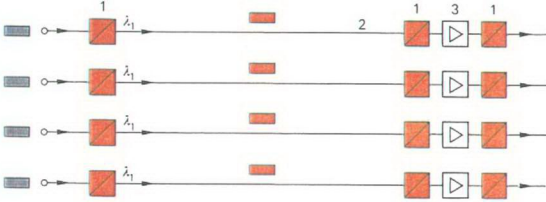
3 Santral

R Alıcı

WDM'ye ek olarak, birkaç elektrik sinyalinin bir istasyondan diğerine aynı anda iletilmesi için başka olanaklar vardır:

- Optik fiber çoklaması (Şekil 13.7). Bu teknikte, her sinyal bir optik fibere ve bir dalga boyuna atanmıştır.
- Zaman bölmeli çoklama (Şekil 13.8). bu durumda birkaç sinyal, elektrooptik dönüşümden sonra bir optik fiber yardımıyla bir dalga boyunda iletilen bir karma

sinyal vermesi için elektriksel olarak oraya sokulmaktadır. Bu, optik fiberde daha yüksek bir band genişliği gerektirmektedir.



Şekil 13.7 Optik fiber çoklaması

1 Elektrooptik dönüştürücü 2 Optik fiber 3 Yeniden üretici



Şekil 13.8 Zaman bölmeli çoklama

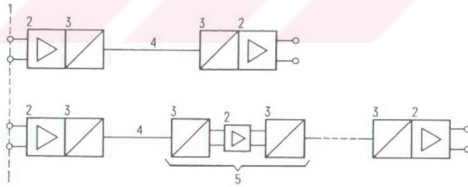
1 Elektrooptik dönüştürücü 2 Optik fiber 3 Yeniden üretici

14 OPTİK İLETİM İÇİN SİSTEMLER

Optik iletim sistemleri, elektrik sinyallerinin bir optik fiber yardımıyla iletilmesi için kullanılmaktadır. Elemanları, yolun başlangıcındaki ışık vericisi olarak bir elektrooptik dönüştürücü, gerçek fiber optik iletim yolu ve yolun sonundaki ışık alıcısı olarak optoelektrik dönüştürücüdür. Metalik iletkenleri olan sistemlerde olduğu gibi, yolun başında ve sonunda hat uçlandırma üniteleri vardır; aralarında bulunan üniteler, analog iletimi için tekrarlayıcılar ve dijital iletimi için yeniden üretici tekrarlayıcılarıdır (Şekil 14.1). Bu geniş konu hakkında daha çok bilgi edinmek isteyen okurlar özel literatüre başvurmalıdır.

Optik ve elektrik iletim sistemleri *aynı* elektrik ara yüzlerine sahiptir. Böylece, optik fiber teknolojisinin gelmesinin önemli bir amacı olan, özellikle mevcut sistemlere daha çok entegre olması sağlanmış olur.

İletim metodu olarak, dijital teknoloji de optik fiberler için kendini kabul ettirmiştir, çünkü çok çeşitli kaynaklardan (telefon-veri şebekeleri, v.s) bit oranlarının serbest kombinasyonunu sağlamaktadır. Analog sinyal iletiminin önemi, optik fiber teknolojisinin gelmesiyle gitgide azalmaktadır ve sadece özel uygulamalar için kullanılmaktadır.



Şekil 14.1 Yeniden üretici olmayan (yukarıda) ve yeniden üretici tekrarlayıcısı olan (aşağıda) optik iletimin temel elemanları

- | | |
|---------------------|--------------------------------|
| 1 Elektrik ara yüzü | 4 Optik fiber |
| 2 Yeniden üretici | 5 Yeniden üretici tekrarlayıcı |
| 3 Dönüştürücü | |
- } hat uçlandırma ünitesi

14.1 Dijital İletim Teknolojisi

Dijital iletim teknolojisinin en önemli fonksiyonları, analog sinyallerin (genellikle ses) dijitalleştirilmesi, dijital sinyallerin çoklaması ve bu dijital sinyallerin iletimidir; örneğin optik dalga kılavuzları yardımıyla. Dijital teknolojinin gelmesiyle, şartlar telefon, telex, veri iletimi ve telefaks gibi servislerin entegre edilmesi için oluşmuştur.

ITU-T'de, belirli bit oranları olan iletim sistemleri bu amaçla kurulmuştur (Tablo 14.1).

Tablo 14.1 Dijital sinyaller için iletim sistemleri

Hemen Hemen Senkronize Dijital Hiyerarşi	
64 kbit/s kanallarının sayısı	Mbit/s olarak bit oranı (yaklaşık)
30	2
120	8
480	34
1920	140
7680	565 ¹⁾
Senkronize Dijital Hiyerarşi	
STM seviyesi ²⁾	Mbit/s olarak bit oranı (yaklaşık)
STM-1	155
STM-4	622
STM-16	2488

¹⁾ Bu bir ITU-T hiyerarşi seviyesi değildir.

²⁾ Senkronize nakil modülü

➤ PDH (*Plesiochronous Digital Hierarchy*) (Hemen Hemen Senkronize Dijital Hiyerarşi) PCM30 sistemi, bu hiyerarşinin en alt seviyesinde iletim yapmaktadır. Bu sistemde, 64 kbit/s olan 30 telefon kanalı, 2048 kbit/s'lik bir bit oranı ile birleştirilmiştir. Kısaca, 2 Mbit/s sinyallerinin iletimi için sistemler diye adlandırılırlar. PDH, 1960'lı yıllardan beri yürürlükte olan bir standarttır ve Deutsche Telekom AG ile bütün dünyada birçok posta servisi tarafından kullanılmaktadır.

➤ SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*) (Senkronize Dijital Hiyerarşi)

STM-1 seviyesi, bu hiyerarşinin temel seviyesidir. SDH seviyeleri, dijital sinyallerin taşıma kapasitesini sağlamaktadır; örneğin PDH hiyerarşisinden. SDH nispeten yeni bir standarttır (1988 yılında ITU-T tarafından kurulmuştur) ve buna dayanan sistemler şimdi şebekelere girmektedirler. Ünsersal olarak uygulanabilmelerinden dolayı SDH sistemleri

(Bölüm 14.1.2), gelişen iletim şebekelerinde sık sık kullanılacaktır. Uzun vadede PDH teknolojisinin yerini alacaklardır.

Not

Bit oranı aşağıdaki gibi anlatılabilir:

Orijinal analog sinyalleri, örnekleme frekansı en yüksek sinyal frekansının en az iki misli büyük olduğunda, örnekleme ile oluşan darbelerden tekrar kazanılabilir. Telefon ses frekans aralığı 3400 Hz'e kadar yükseldiğinden ve ek kapasitenin filtreler için yedeklenmesi gerektiğinden, 4000 Hz ve 2×4000 Hz'lik bir örnekleme frekansına izin verilmeye karar verilmiştir; bu böylece 8000 Hz'i vermektedir. Her darbeyi 8 bit olan bir sözcüğe kodlayarak, her ayrı telefon sinyali için kullanılabilen bit oranı elde edilir, yani $8 \text{ kHz} \times 8 \text{ bit} = 64 \text{ kbit/s}$. PCM30 sistemlerinin bit oranı $64 \text{ kbit/s} \times 32 = 2048 \text{ kbit/s}$ 'dir.

Daha yüksek kanal sayısı olan sistemler 8, 34, 140 veya 565 Mbit/s'lik bit oranlarını iletmektedir; PCM30 çoklama ünitesinin 2 Mbit/s sinyaline dayanmaktadır ve dijital sinyal çoklama üniteleri ile oluşmaktadır.

SDH için temel yapı STM-1'dir, 125 μs 'lik aralıklarla tekrarlanmaktadır ve 2430 sekizlik (octet) bir toplamın ilave ve yararlı yük kısımlarına (kullanılabilen bilgi kısmı) bölünmektedir. Bunlar için bit oranı $2430 \times 8 \times 8000 \text{ bit/s} = 155.520 \text{ Mbit/s}$ 'dir.

Yararlı yük kısmı, dört farklı seviyede konteyneri kabul edebilir. Bu seviyeler, Kuzey Amerika ve Avrupa hiyerarşilerinin her ikisinde de 1.5/2, 6, 34/35 ve 140 Mbit/s'lik hemen hemen senkronize bit oranlarına uymaktadır (Tablo 14.2). İlave kısım, STM sinyalinin iç idaresi için bilgi içermektedir ve ayrıca şebeke gözetiminin ve şebeke kontrolünün (şebeke idare bilgisi) iletim kapasitesini sağlamaktadır.

Daha yüksek STM seviyeleri, ilk seviyenin tümleşik çok katlıları olarak tanımlanmıştır.

Bütün bahsedilen PDH ve SDH hiyerarşi seviyeleri için, fiber optik iletim için uygun hat uçlandırma üniteleri vardır.

14.1.1 PDH sistemleri

Dijital sinyaller, 2, 8, 34, 140 veya 565 Mbit/s'lik adımlarda iletim için birleştirilmiştir. Örneğin, zaman bölmeli çoklama metodu ile, 2 Mbit/s seviyesinde 30'a kadar telefon konuşması ve 34 Mbit/s seviyesinde 480'e kadar telefon konuşması iletelebilmektedir. Şebeke seviyesine uygun belirli karakteristikleri olan, belirli hiyerarşi seviyeleri her iki şebeke seviyesi (yerel ve uzun mesafe) için tespit edilmiştir.

Yerel şebeke

Yerel şebekelerde 34 Mbit/s ve 140 Mbit/s sistemleri kullanılmaktadır. Optik yerel şehir içi kablolar yardımıyla birbirine bağlanmıştır. Bunlar, sadece birkaç kilometrelik nispeten kısa yol uzunlukları olan noktadan noktaya bağlantılar olduğundan, uzun mesafe şebekesine kıyasla daha az karmaşık olan sistemler kullanılabilmektedir. Örneğin, yeniden üreticili tekrarlayıcılar gerekmemektedir.

Uzun mesafe şebekesi

Bölgesel ve ulusal şebekelere bölünmüş olan iletişim sistemi (şehirlerarası şebeke) için, bu şebeke yapısına göre inşa edilen optik fiber sistemleri kullanılmaktadır, yani uzun yol kısımlarının bağlanması. Bu yüzden, yerel şebekedeki sistemlerin aksine, gerekli olan yeniden üreticili tekrarlayıcıların ve kontrol ünitelerinin eklenmesine uygun teknik boyutları vardır.

Bu optik fiber sistemlerin gerçekleştirilmesi için önemli bir ön şart, uygun optik vericilerin ve alıcıların bulunabilmesi idi. Optik verici modülleri ve PIN – FET diyotları (Bölüm 12.2.1) sık sık alıcı modülleri olarak kullanıldığından, lazer diyotları (Bölüm 12.1.2) böyle uygulamalar için sık sık kullanılmaktadır. İşletme dalga boyları 1300 nm'dir. Tek-modlu optik fiberler, iletim için kullanılmaktadır.

Bölgesel uzun mesafe şebekesinde 34 Mbit/s ve 140 Mbit/s en sık kullanılanlardır. Çok uzun mesafeleri ve çok yüksek kapasite gereksinimi olan ulusal şehirlerarası şebekede 140 Mbit/s veya 565 Mbit/s sistemleri genellikle kullanılmaktadır.

14.1.2 SDH sistemleri

1990 yılından beri Deutsche Telekom AG, 622 Mbit/s (SLA 4) ve 2488 Mbit/s (SLA 16) iletim kapasitesi olan senkronize hat cihazlarını şebekesine getirmektedir. Bunlar, ilk olarak uzun mesafe şebekesinde 565 Mbit/s'lik sistemlerin yerini almaktadır. SLA 4 ve SLA 16, hem PDH hem SDH sinyallerini iletebildiğinden, mevcut bir PDH şebekesine entegre olduklarında karışıklıklar doğmamaktadır. Senkronize ara yüzeyleri olan şebeke elemanları (örneğin çoklayıcılar, çapraz konnektörler) daha yaygın bir şekilde kullanıldıkça, bu senkronize hat cihazları, bölgesel ve yerel şebekelerde de kullanılabilecektir.

14.1.3 SLA 4 ve SLA 16'nın bulunduğu sistemlerin örnekleri

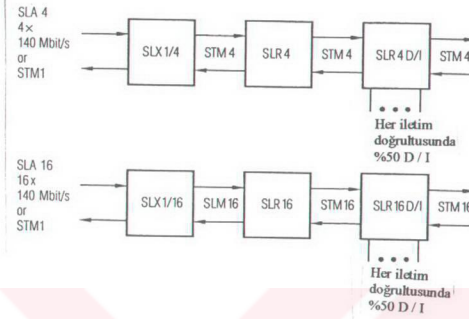
Bütün optik hat cihazı çeşitlerine bir örnek olarak, senkronize hat cihazları SLA 4 ve SLA 16 daha yakından incelenmiştir.

Bu sistem ailesi aşağıdaki fonksiyonel üniteleri sunmaktadır:

Senkronize hat çoklayıcıları SLX 1/4 ve SLX 1/16, senkronize hat yeniden üreticileri SLR 4 ve SLR 16 ve ayrıca senkronize dallanma yeniden üreticileri SLR 4D/I ve SLR 16D/I (Şekil 14.2).

Tek-modlu optik fiberler (ikinci ya da üçüncü optik penceresinde) üzerinde kısa ya da uzun bağlantılar için optik hat ara yüzeyleri bulunmaktadır. Ara yüzeyler, senkronize 155 Mbit/s ve hemen hemen senkronize 140 Mbit/s sinyalleri için birbirinden bağımsız olarak çevrilebilir. İnme ve binme (drop and insert) (D/I) yeniden üreticileri, iletilen ana bit akış yolundaki 140 ya da 155 Mbit/s sinyallerine direkt erişim sunmaktadır.

Gözetim kavramı, CCITT tavsiyelerine uymaktadır ve yerel göstergeler ve ayrıca telekomünikasyon idare şebekesi (telecommunications management network) (TMN) için ara yüzler birleştirilmiştir.



Şekil 14.2 SDH sistemleri SLA 4 ve SLA 16

DI İnme/binme
 SLA Senkronize hat cihazı
 SLR Senkronize hat yeniden üreticisi
 SLX Senkronize hat çoklayıcısı
 STM Senkronize nakil modülü

Tablo 14.2 Avrupa, Kuzey Amerika ve Japon bit oranlarının karşılaştırılması

	Bit oranları (Yaklaşık) (Mbit/s)							
Avrupa	—	2	—	8	—	34	—	140
A.B.D.	1.5	—	6	—	—	45	—	135 (190)
Japonya	1.5	—	6	—	32	—	—	100
								565 ¹⁾
								405 ¹⁾
								400 ¹⁾
								565 ¹⁾
								—

¹⁾ Bu durumda ITU-T tavsiyesi yoktur.

14.1.4 Optik fiber sistemlerinde uluslararası eğilimler

Avrupa'da dijital sistemler, optik fiberlerle iletim için kendilerini kabul ettirmişlerdir. Genel olarak kullanılan PDH 2, 8, 34 ve 140 Mbit/s sistemlerine ek olarak, yeni SDH sistemleri önem kazanmaya başlamıştır. Bu sistemler, 155 Mbit/s (STM-1), 622 Mbit/s (STM-4) ve 2488 Mbit/s (STM-16) olan bit oranlarını iletmektedirler. İletim teknik fonksiyonlarına (hat uçlandırma üniteleri ve yeniden üreticiler) ek olarak, bir yeni sekronize, boyuta yönelik çoklama tekniği ile nispeten daha yüksek bit oranlarında

sinyaller oluşturmak için, ilk senkronize hiyerarşik bit oranının (155 Mbit/s, yani STM-1) 4, 6 ya da 10 sinyalli kombinasyonu için entegre edilmiş çoklama fonksiyonlarını sunmaktadır. Sistemler, genellikle 1300 nm'lik dalga boyu aralığında işlemektedir. 1550 nm civarındaki dalga boyları, özellikle şehirlerarası şebekede önem kazanmaktadır; bu şehirlerarası şebekede gitgide artan mesafelerin elde edilmesi önemli bir masraf faktörüdür. optik amplifikatörlerin ortaya çıkarılması (Bölüm 12.3) bu bağlamda incelenmelidir, çünkü birkaç yüz kilometrelik mesafeleri tekrarlayıcı olmadan sağlamaktadırlar.

Oluklu çekirdek kabloların (Bölüm 9.1) kullanıldığı Japonya ve diğer birkaç ülke hariç, dolgu gevşek tamponu olan fiber optik kablolar, yalnızca tek-modlu fiberlerin (9/125 μm) kullanıldığı umumi telekomünikasyon şebekelerinde iletim ortamı olarak kendilerini kabul ettirmişlerdir.

Avrupa'nın dışında, Kuzey Amerika'daki ve Japonya'daki gelişmeler önemlidir. Avrupa'da senkronize dijital hiyerarşinin, yeni iletim sistemlerinin gelişmesine önemli bir etkisi olduğu gibi, A.B.D.'de bu hiyerarşi, SONET denilen senkronize optik şebekeler (*synchronous optical network*) için yeni bir standart oluşturmuştur. Bu standart, SDH'nin temelini oluşturmuştur ve 155 Mbit/s'den daha yüksek olan aynı bit oranlarını tanımlamıştır. A.B.D.'de 45 Mbit/s'de bir senkronize hiyerarşik seviyesinin (STS-1 ve OC-1) ortaya çıkmasından dolayı, karşılık gelen bit oranları için diğer isimler görülmektedir (Tablo 14.2). Örneğin, bir STS-3 (senkronize nakil sinyali) (*synchronous transport signal*), bir OC-3'e (optik taşıyıcı) (*optical carrier*) karşılık gelmektedir.

2.5 Gbit/s'ye kadar bit oranları olan mevcut sistemlerin kapasitesi arttırılacaktır; böylece birkaç yıl içerisinde 10 Gbit/s (STM-64) için sistemler beklenebilir.

A.B.D.'de optik fiberler gevşek tamponlarda, şerit teknolojisinde ve özel uygulamalar için oluklu çekirdek kablolarında kullanılmaktadır.

14.2 Analog İletim Teknolojisi

Fiber optik sistemler, temel olarak dijital sinyallerin iletimi için tasarlanmıştır; bununla beraber analog iletim için bazı uygun uygulamalar bulunmaktadır. Bu, kablolu televizyon şebekelerindeki video iletimi için ve parazite karşı korunması için geçerlidir.

Bir analog optik fiber sistemi seçildiğinde, modülasyon metoduna özellikle dikkat edilmelidir. Bu durumda en önemli kriterler (zayıflama ve optik fiberin kullanılabilen band genişliğine ek olarak) optik vericinin ve alıcının gürültü seviyeleri ve verici diyotlarının karakteristik eğrisindeki kablo düğümünden doğan lineer olmayan distorsiyondur. Işığın direkt genlik modülasyonu ile, ışık gücünün zaman eğrisi elektrik sinyalinin zaman eğrisi ile doğru orantılıdır. Bu tip modülasyon ile iyi gürültü ve lineerlik karakteristiklerini elde etmek teknik olarak karmaşık olduğundan, *frekans modülasyonu* en sık uygulananıdır; bu, her türlü parazite karşı duyarlı olmayan bir sinyal gürültü oranı olan bir metottur.

KAYNAKLAR

Mahlke, G. ve Gössing, P., (1997), Fiber Optic Cables (Fundamentals, Cable Engineering, Systems Planning), Siemens Aktiengesellschaft.

Özbalkan, N., (1994), Elektronik-Elektroteknik Bilgi İşlem Terimleri Sözlüğü, Bilim Yayınları, Ankara.

Sankur, D. ve İstefanopulos, Y., (1997), Elektrik-Elektronik Bilgisayar Mühendisliği Terimleri Sözlüğü, Boğaziçi Üniversitesi Yayınları.

Weik, M.H., (1981), Fiber Optics and Lightwave Communications Standard Dictionary, Van Nostrand Reinhold Company.

Redhouse Sözlüğü İngilizce-Türkçe, (1981), Redhouse Yayınevi, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

Doğum tarihi	24.6.1975	
Doğum yeri	İstanbul	
Lise	1989-1992	Fenerbahçe Lisesi
Lisans	1992-1996	Yıldız Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi Elektrik Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans	1996-1999	Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Mühendisliği Anabilim Dalı Elektrik Mühendisliği Programı
Çalıştığı kurumlar	1997-1998	AKTAŞ Elektrik
	1998-1999	Önder İnş. ve Elek. Taah. Tic.