



VIAVI Solutions

Útmutató száloptikai teszteléshez

1. kiadás

Útmutató száloptikai teszteléshez

1. kiadás

Írta

J. Laferrière

G. Lietaert

R. Taws

S. Wolszczak

Szerzők elérhetősége

VIAVI Solutions

34 rue Necker

42000 Saint-Etienne

Franciaország

Tel. +33 (0) 4 77 47 89 00

Fax +33 (0) 4 77 47 89 70



VIAVI Solutions

Tartalomjegyzék

1. fejezet: Fényátviteli alapelvek az optikai szálban	1
Optikai kommunikáció	2
Az optikai szál felépítése.....	2
Átviteli alapelvek.....	3
A fény terjedése	3
Sebesség.....	5
Sávszélesség	6
Száltípusok	6
Többmódusú szálak típusai.....	8
Egymódusú szál	9
Az egymódusú és többmódusú szálak áttekintése	13
Fényátvitel	14
Csillapítás	14
Diszperzió	17
Optikai reflexiós csillapítás.....	19
Nemlineáris hatások.....	21
Az átviteli hatások összegzése.....	24
Ajánlások és szabványok száloptikai rendszerekhez.....	25
Nemzetközi szabványok	25
Nemzeti szabványok	26
Száloptikai szabványok.....	26
Mérési szabványok.....	27
2. fejezet: Beiktatási csillapítás, reflexiós csillapítás, szálak jellemzése és kiegészítő eszközök.....	29
Optikai szál tesztelés	30
Átviteli tesztek.....	30
Arányszámok és mértékegységek	30
Mérési paraméterek.....	32
Terepi mérés	32
Optikai teszter családok	33
Fényforrások.....	33
Teljesítménymérők	34
Veszteségmérő műszerek (LTS).....	36
Csillapítók	38
Optikai csillapítási tartalék	38
Optikai reflexiós csillapítás mérők	40
Mini-OTDR és hibahelykeresők.....	43
Száljellemzők mérése	43
Egyéb teszteszközök	45
Felügyeleti rendszerek	48

3. fejezet: Optikai visszaszóródás mérő 50

OTDR bevezetés..... 51

Száljelenségek..... 52

Rayleigh-szórás és visszaszórás 52

Fresnel reflexió 54

OTDR technológia 55

Kibocsátó diódák..... 55

Fénykibocsátó diódák (LED) 56

Impulzusgenerátor használata lézergyűjtővel 57

Fotodiódák..... 58

Időalap és vezérlőegység 59

OTDR specifikáció 60

Dinamikatartomány..... 60

Holtzóna 62

Felbontás..... 65

Pontosság 66

Hullámhossz 66

4. fejezet: Az optikai visszaszóródás mérő (OTDR) használata 67

Bevezetés.....	68
Adatgyűjtés	68
Injektálási szint	68
OTDR hullámhossz.....	69
Impulzusszélesség	71
Érzékelési távolság	72
Átlagolás.....	72
Szálparaméterek.....	73
Mérés	74
Esemény értelmezés	74
OTDR mérések.....	76
Mérési módok	76
Merekség	78
Esemény veszteség.....	79
Reflexió	81
Optikai reflexió csillapítás	82
Mérési és anomáliák	84
Szellem jelenségek.....	84
Hegesztési erősítés	85
Kétirányú elemzés	86
Egy hipotetikus szakasz kétirányú elemzése	87
Az OTDR képességeinek kihasználása	89
Előtétszálak használata	89
Folytonosság ellenőrzése.....	90
Hibahely keresés.....	91
Effektív törésmutató	93
A kétirányú elemzés automatizálása	93
A visszacsatolásos mérési mód	94
OTDR elfogadási jegyzőkönyv készítő eszköz.....	95
Eredmények elemzése.....	95
Eredmények kondicionálása	97
Jegyzőkönyv generálás.....	98
Dokumentum nyomtatás.....	98



Fényátviteli alapelvek az optikai szálban

1. fejezet

Optikai kommunikáció

Egy optikai kommunikációs rendszer alapvető feladata a jelek optikai szálon történő továbbítása egy távoli vevőhöz. Az elektromos jeleket az adónál optikai jelekké alakítjuk, amelyeket a vevőnél az átvitelt követően visszaalakítunk elektromos jelekké. Az optikai átvitel számos előnnyel rendelkezik a többi módszerhez, mint pl. a hagyományos rézvezetékes vagy rádiós átvitelhez képest.

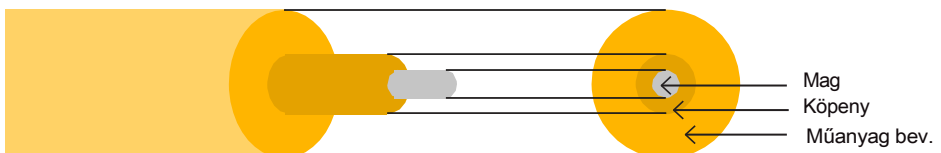
- A jel nagy távolságokra (200km) is továbbítható regenerálás nélkül.
- Az optikai átvitel érzéketlen az elektromágneses zavarokra, továbbá a szál elektromosan nem vezetőképes, így gyakorlatilag érzéketlen a rádiófrekvenciás zavarokra.
- A száloptikai rendszerek a rézvezetős és koax rendszereknél nagyobb kapacitásúak.
- A száloptikai kábel sokkal könnyebb és kisebb a rézvezetős kábeleknél. Ezért, az optikai kábelek jóval nagyobb számú szálát tartalmazhatnak azonos keresztmetszetben mint a rézvezetősök. Például egy optikai kábel 144 szálát is tartalmazhat.
- Az optikai szál megbízható, rendkívül rugalmas, és érzéketlen a kábelrengésekre.
- Az optikai szál garantált élettartama 25 év (a műholdas kommunikációs rendszereknél ez például csak 10 év).
- Az optikai szál üzemi hőmérséklete többféle lehet, de jellemzően $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ és $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ közötti.

Az optikai kommunikációs rendszer fényátvitelét három fő jellemző határozza meg:

1. **Csillapítás:** Ahogy a fény áthalad a szálon, az abszorpció, a szóródás és egyéb sugárzási veszteségek miatt veszít az optikai teljesítményéből. Egy bizonyos ponton túl a teljesítményszint annyira lecsökkenhet, hogy túl alacsony lesz ahhoz, hogy a vevő megkülönböztesse a háttérzajtól.
2. **Sávzélesség:** A fény többféle frekvenciájú lehet, a szál azonban behatárolja az átvihető legmagasabb és legalacsonyabb frekvenciát, és ezzel az információátviteli kapacitást is.
3. **Diszperzió:** Ahogy a fény áthalad a szálon, a fényimpulzusok szétterülnek vagy megnyúlnak, és ezzel magas átviteli sebesség, vagy nagy távolság esetén korlátozzák az információátviteli kapacitást.

Az optikai szál felépítése

Az optikai szál egy vékony üvegszálat tartalmaz, amelyet műanyag védőbevonat vesz körül. Az üvegszál két részből áll, a belső részből (mag) és az azt körülvevő rétegből (köpeny). A magba sugárzott fény a mag és a köpeny közötti teljes visszaverődés miatt követni fogja a szál fizikai nyomvonalát.



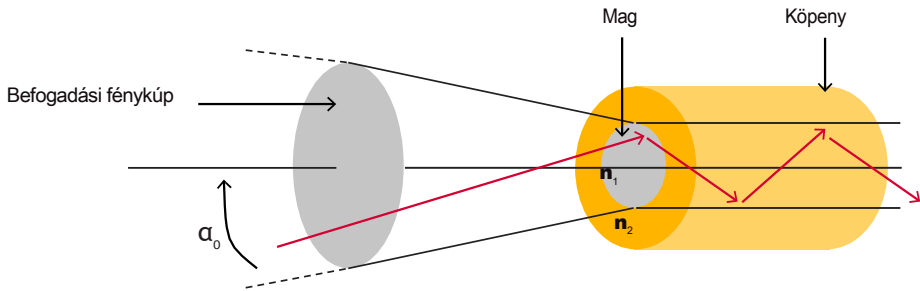
1. ábra Az optikai szál felépítése

Átviteli alapelvek

A fénysugár kis szögben lép be a szálba. A szál magjának fényfogadási képességét a numerikus apertúra (NA) határozza meg.

$$NA = \sin \alpha_0 \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

Az egyenletben az α_0 a maximális belépési szög (a visszaverődés és a törés közötti határ), az n_1 a mag törésmutatója, az n_2 a köpeny törésmutatója.



2. kép Fény injektálása a szálba

A befogadási fénykúp nagysága a definíció szerint $2\alpha_0$.

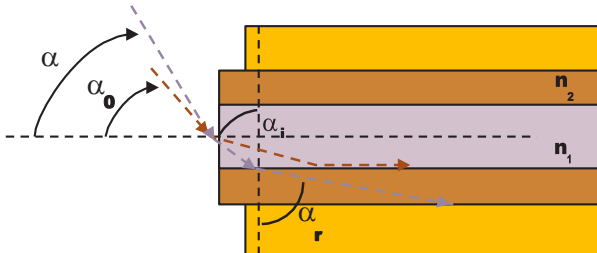
A fény terjedése

A fénysugár terjedése az optikai szálban a Snellius-Descartes törvény szerint történik. A szál befogadási kúpjába sugárzott fény egy része végighalad a szálban.

Fénytörés

A fénytörés jelensége a fénysugár irányának megváltozása egy eltérő törésmutatójú közegbe történő belépéskor. Ha $\alpha > \alpha_0$, akkor a fény teljes fénytörést szenved, nem tud továbbhaladni a magban.

$$n_1 \sin \alpha_i = n_2 \sin \alpha_r$$

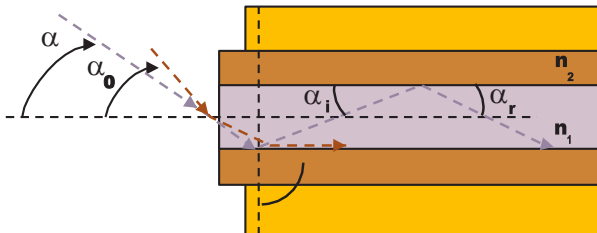


3. kép Fénytörés

Visszaverődés

A visszaverődés a fény irányának hirtelen megváltozása két, eltérő törésmutatójú átviteli közeg határán. Ebben az esetben a fény visszatér abba a közegbe, amelyből érkezett. Ha $\alpha < \alpha_0$, akkor a fény visszaverődik a közeg határról és továbbhalad a magban.

$$\alpha_i = \alpha_r$$



4. kép Fényvisszaverődés

Terjedési elv

A magba különböző szögben belépő fénysugarak eltérő utakon haladnak tovább. A magba nagyon alacsony szögben belépő sugarak relatív egyenes úton haladnak végig a szál magjának a közepén. A nagyobb szögben belépő sugarak vagy a mag külső szélén haladó sugarak hosszabb úton, hosszabb idő alatt haladnak át a szálon. Minden eltérő beesési szög és belépési pont által meghatározott út egy ún. módust hoz létre. Ahogy a módusok áthaladnak a szálon, bizonyos mértékben csillapítást szenvednek.

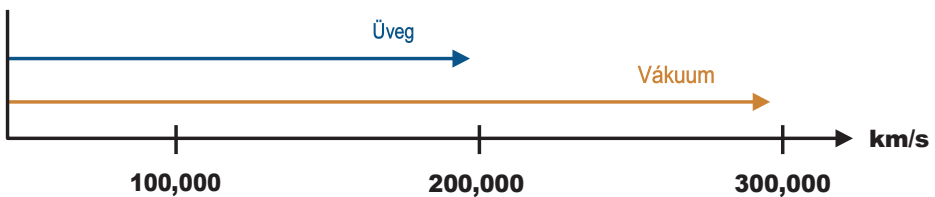
Sebesség

A fény terjedési sebességét egy adott közegben a közeg törésmutatója határozza meg. A törésmutató (n) egy mértékegység nélküli szám, amely a fény adott közegben való terjedési sebességének és a vákuumban való terjedési sebességének a hányadosa.

$$n = c/v$$

ahol az " n " a törésmutató, a " c " a fénysebesség vákuumban ($2,99792458 \times 10^8$ m/s) és a " v " a fény terjedési sebessége az adott közegben.

Az üveganyagok (pl. optikai szál) törésmutatója jellemzően 1,45 és 1,55 közötti érték. Minél nagyobb a törésmutató, a fény annál lassabban terjed a közegben.



5.kép A fény terjedési sebességének összehasonlítása különböző közegek esetén

Jellemző gyártói törésmutatók:

Corning LEAF

$n=1,468$ @1550 nm

$n=1,469$ @1625 nm

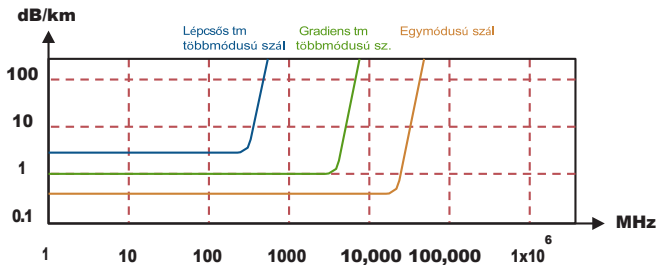
OFS TrueWave Reach

$n=1,471$ @1310 nm

$n=1,470$ @1550 nm

Sávszélesség

A sávszélesség az a frekvenciatartomány, amelyet az optikai szál képes átvinni. A sávszélesség meghatározza a csatorna maximális információátviteli sebességét, amellyel a szálon keresztül adott távolságra információ továbbítható. A sávszélesség mértékegysége MHz•km. Többmódusú szálban a sávszélességet jellemzően a módus diszperzió határolja be, amíg egy egymódusú szálban gyakorlatilag nincs sávszélesség korlát.

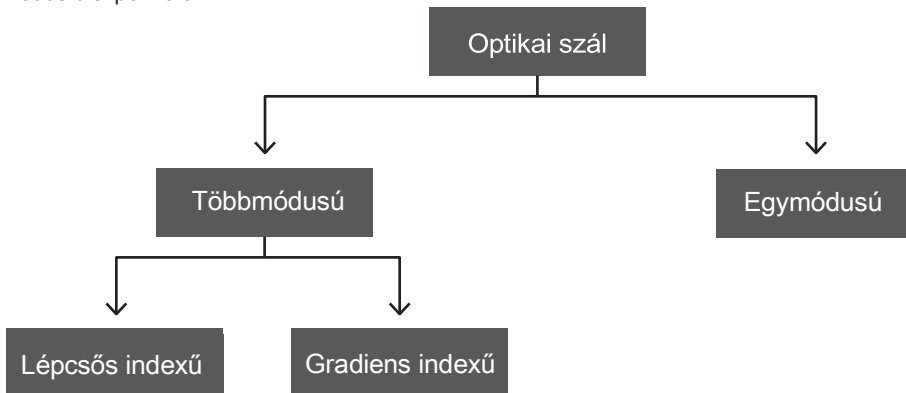


6.kép Különböző száltípusok jellemző sávszélesség értékei

Száltípusok

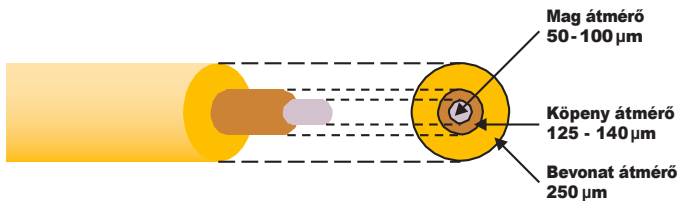
A szálak típusokba (egymódusú, többmódusú) sorolása a fényátviteli mód szerint történik. A szál típusát erősen meghatározza a mag és a köpeny átmérője.

A többmódusú szál, köszönhetően a nagy átmérőjű magjának, a fény átvitelét több úton (több módussal) is lehetővé teszi. Emiatt, a többmódusú kábel meglehetősen érzékeny a módus diszperzióra.



7. kép Üvegszálak típusai

A többmódusú szál legfőbb előnyei a könnyű injektálás, az egyszerű illesztés más szálakhoz, és az egyszerűbb csatlakozóba szerelés. Többmódusú szállal alacsonyabb költségű fényforrások (adók) használatára is lehetőség van, hátránya azonban a relatív magas csillapítás és a kis sávszélesség, amely az elérhető átviteli távolságot korlátozza. Emiatt a többmódusú szálakat főleg kis távolságokban használnak.



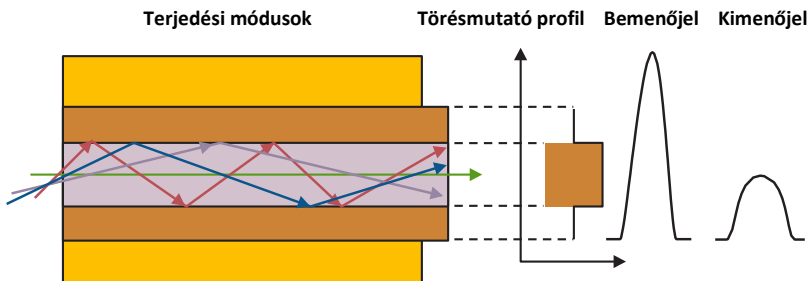
8. kép A többmódusú szál felépítése

Lépcsős indexű többmódusú szál

A lépcsős indexű (SI) többmódusú szál a mag és a köpeny közötti teljes visszaverődés segítségével továbbítja a fényt. A teljes mag törésmutatója egységes. A szál magjának minimális átmérője 50 vagy 62,5 μm , a köpeny átmérője 100 és 140 μm közötti, a numerikus apertúra pedig 0,2 és 0,5 közötti.

A lépcsős indexű szál hátránya a módus diszperzió által okozott alacsony sáv szélesség, amelynek mértékegysége $\text{MHz} \cdot \text{km}$. A $20 \text{ MHz} \cdot \text{km}$ sáv szélesség például azt jelenti, hogy a szál egy 20 MHz-es jelet 1 km, egy 10 MHz-es jelet 2 km, egy 40 MHz-es jelet 0,5 km stb. távolságra képes továbbítani.

A lépcsős indexű szálát műanyag védőbevonat veszi körül. Ezt a típust leggyakrabban olyan kistávolságú összeköttetésekhez használják, ahol a nagy csillapítás elfogadható.

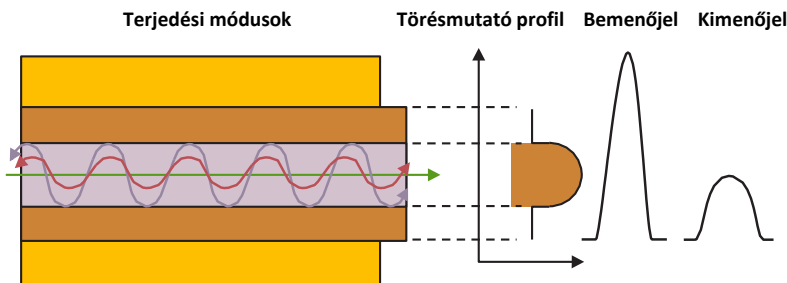


9. kép Fényterjedés a lépcsős indexű többmódusú szálban

Gradiens indexű többmódusú szál

A gradiens indexű (GI) többmódusú szál magjának törésmutatója nem egységes, a hossz tengelytől a köpeny felé haladva fokozatosan csökken. Ez a törésmutató változás arra készteti a fénysugarat, hogy szinuszos alakú úton haladjon a szálban.

A leghosszabb utat a legmagasabb rendű módusnak kell megtennie, de a mag hossz tengelytől távolabb eső, alacsonyabb törésmutatójú térfogatban a terjedési sebessége megnő. Így a gradiens indexű szálban a magasabb és alacsonyabb rendű módusok terjedési sebessége közötti különbség kisebb lesz, mint a lépcsős indexű többmódusú szálban.



10. kép Fényterjedés a gradiens indexű többmódusú szálban

Jellemző csillapítások gradiens indexű többmódusú szálban:

3 dB/km 850 nm-en

1 dB/km 1300 nm-en

Jellemző numerikus apertúra gradiens indexű mm. szálban: 0,2

Jellemző sáv szélesség-hossz szorzat gradiens indexű mm. szálban:

160 MHz.km 850 nm-en

500 MHz.km 1300 nm-en

Jellemző törésmutatók:

1,49 (62,5 μ m esetén, 850 nm-en)

1,475 (50 μ m esetén, 850 nm-en) és 1,465 (50 μ m esetén 1300 nm-en)

Többmódusú szálak típusai

A 50/125 μ m gradiens indexű többmódusú szálak jellemzőit az ITU-T G.651 szabvány definiálja. A többmódusú alkalmazások, mint pl. a Gigabit Ethernet (GigE) és a 10 GigE növekvő sáv szélesség igényének eredményeképp a definíció három különböző ISO kategóriát határoz meg.

Az ITU-T G.651 szabvány ISO kategóriáinak összehasonlítása

Szabvány	Típus	Hullámhossz	Felhasználás
G.651 ISO/IEC 11801:2002 (OM1)	Hagyományos, gradiens indexű, többmódusú szál	850 nm és 1300 nm	Adatátvitel hozzáférési hálózatokban
G.651 ISO/IEC 11801:2002 (OM2)	Hagyományos, gradiens indexű, többmódusú szál	850 nm és 1300 nm	Video- és adatátvitel hozzáférési hálózatokban
G.651 ISO/IEC 11801:2002 (OM3)	Lézerre optimalizált; gradiens indexű többmódusú szál; 50/125 μ m maximum	850nm-re optimalizálva	GigE és 10 GigE átvitel helyi hálózatokban (300 m-ig)

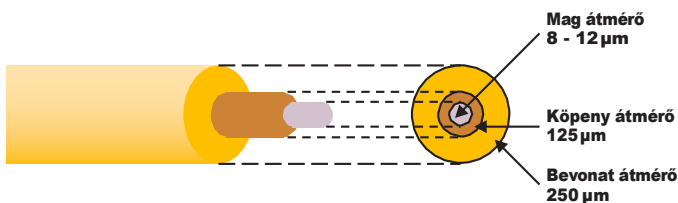
Egymódusú szál

Az egymódusú szál előnye a sáv szélesség és csillapítás tekintetében vett jobb teljesítmény. A csökkentett magátmérő csupán egy módus átvitelét teszi lehetővé, teljesen megszüntetve ezzel a módus diszperziót.

A megfelelő diszperzió kompenzáló összetevők használatával egy egymódusú szál 10 Gbit/s, 40 Gbit/s vagy még nagyobb sebességű átvitelre képes, nagy távolságokra. A rendszer kapacitása további, kissé eltérő hullámhosszú jelek injektálásával (hullámhossz-osztásos multiplexelés) tovább növelhető.

A hatásos becsatolás elérése érdekében a kis magátmérőjű egymódusú szálak általában költségesebb fényforrásokat és illesztő rendszereket igényelnek. Továbbá, a szálak összekapcsolása és csatlakozóval történő felszerelése is valamelyest körülményesebb. Mindezek ellenére, ha néhány kilométernél nagyobb távolságra vagy nagy sebességgel akarunk jeleket átvinni, az egymódusú szál használata a legjobb megoldás.

Az egymódusú szál jellemző méretei a mag tekintetében 8 - 12 μm , a köpeny esetén pedig 125 μm . A tipikus mag-köpeny szög 8.5°. Az egymódusú szál jellemző törésmutatója 1,465.



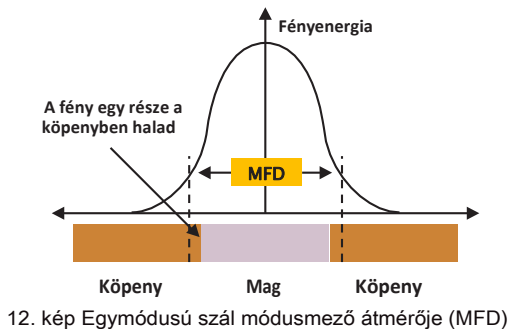
11. kép Az egymódusú szál felépítése

Mivel az egymódusú szál kis magátmérője korlátozza a módusok számát, a magban egy időben csak egy fénysugár halad.

Módusmező átmérő

Az egymódusú szál módusmező átmérője (MFD), a szál azon keresztmetszetéhez tartozó átmérő, amely keresztmetszeten a fényenergia jelentős része halad.

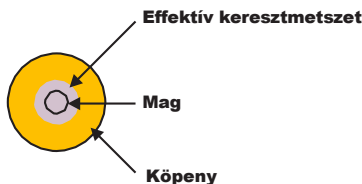
Az MFD mérete meghaladja a mag fizikai átmérőjét. Egy 8 μm -es szál MFD-je 9,5 μm is lehet. Ennek oka, hogy a fényenergia egy része a köpenyben halad.



A nagyobb módusmező átmérővel rendelkező kábelek kevésbé érzékenyek a kábelek összekötésekor esetlegesen előforduló oldalirányú illesztési hibára, azonban hajlamosabbak a nagyobb hajlítási csillapításra.

Effektív keresztmetszet

Az effektív keresztmetszet egy másik kifejezés a módusmező átmérőjének definiálására. Az effektív keresztmetszet a módusmező átmérőjével jellemzett keresztmetszet területe.



Az effektív keresztmetszet (és a módusmező átmérő) közvetlenül befolyásolja a becsatolt fény teljesítménysűrűségétől függő nemlineáris hatásokat. A nagyobb teljesítménysűrűség növeli a nemlineáris hatásokat.

Az effektív keresztmetszet befolyásolja a fény teljesítménysűrűségét a szálban. Azonos teljesítményszint mellett, egy kisebb effektív keresztmetszet nagyobb teljesítménysűrűséget eredményez. Nagyobb effektív keresztmetszet esetén a teljesítmény viszont jobban eloszlik, így a teljesítménysűrűség kevésbé lesz kritikus. Ezekből következik, hogy egy kisebb effektív keresztmetszetű szálban a teljesítménysűrűségtől függő nemlineáris hatások erősebben jelentkeznek.

Egy általános egymódusú szál effektív keresztmetszete körülbelül $80 \mu\text{m}^2$, míg egy kompenzáló szálé akár $30 \mu\text{m}^2$ is lehet. Az effektív keresztmetszet méretére gyakran utalást is találhatunk a szálak nevében, pl. Corning LEAF (large effective area fiber – nagy effektív keresztmetszetű szál).

Az egymódusú szálak típusai

Az egymódusú szálaknak többféle típusa létezik, amelyeket a csillapításuk, kromatikus diszperziójuk (CD) és polarizációs módus diszperziójuk (PMD) szerint csoportosíthatunk. Az egymódusú szálak osztályozásához az ITU-T egy szabványcsomagot adott ki.

Egymódusú optikai szálak és kábelek jellemzői

	Jellemző	Hullámhossz	Alkalmazások
G.652.A	Max. PMD = 0.5 ps/√km	1310 nm és 1550 nm régiók (O és C sáv)	Támogatja STM-16-ig a G.957-ben és a G.691-ben ajánlott alkalmazásokat, a 10 Gb/s-t 40 km-ig (Ethernet), és az STM-256-ot a G.693-hoz.
G.652.B	Maximális csillapítás 1625 nm-en megadva. Max. PMD = 0.2 ps/√km	1310 nm, 1550 nm, és 1625 nm régiók (O és C+L sávok)	Támogat bizonyos magasabb bit-rátájú alkalmazásokat egészen STM-64-ig a G.691 és a G.692 szerint, és egyes STM-256 alkalmazásokat is a G.693 és G.959.1 szerint. Alkalmazástól függően alkalmazkodás a kromatikus diszperzióhoz szükséges lehet.
G.652.C	Maximális csillapítás 1383 nm-en megadva (kisebb vagy egyenlő, mint 1310 nm). Max. PMD = 0.5 ps/√km	O-tól a C sávig	A G.652.A-hoz hasonló, de az a szabvány megengedi az átvitelt az 1360 és 1530nm közötti, kiterjesztett hullámhossz tartomány egyes részeiben. CWDM rendszerekhez.
G.652.D	Maximális csillapítás 1310-től 1625 nm-ig megadva. Maximális csillapítás 1383 nm-en megadva (kisebb vagy egyenlő, mint 1310 nm).	Széles lefedettség (O-tól az L sávig)	A G.652.B-hez hasonló, de az a szabvány megengedi az átvitelt az 1360 és 1530nm közötti, kiterjesztett hullámhossz tartomány egyes részeiben. CWDM rendszerekhez.

Eltolt diszperziójú egymódusú optikai szálak és kábelek jellemzői

	Jellemző	Hullámhossz	Alkalmazások
G.653.A	Nulla kromatikus diszperzió 1550 nm-en. 0.35 dB/km maximális csillapítás 1550 nm-en. Max. PMD = 0.5 ps/√km	1550 nm	Támogatja az 1550nm-es, magas bitrátájú alkalmazásokat, nagy távolságokra.
G.653.B	Ugyanaz, mint a G655.A, kivéve, hogy: Max. PMD = 0.2 ps/√km	1550 nm	2003-ban bemutatott, alacsony PMD-jú. Ez a szabvány támogatja a G.653-nál magasabb bitrátájú alkalmazásokat.

Nem nulla eltolt diszperziójú egymódusú optikai szálak és kábelek jellemzői

	Jellemző	Hullámhossz	Alkalmazások
G.655.A	A max. csillapítás csak 1550 nm-en van megadva. A G.655.B és G.655.C-nél alacsonyabb CD. Max.PMD=0.5 ps/√km	C sáv	Támogatja a DWDM átviteli (G.692) alkalmazásokat a C sávban, egészen 200GHz-es csatorna távolságig.
G.655.B	A max. csillapítás 1550 nm és 1625nm-en van megadva. A G.655.A-nál magasabb CD érték. Max. PMD = 0.5 ps/√km	1550 nm és 1625 nm régiók (C+L sávok)	Támogatja a DWDM átviteli (G.692) alkalmazásokat a C+L sávban, egészen 100GHz-es csatorna távolságig.
G.655.C	A max. csillapítás 1550 nm és 1625nm-en van megadva. A G.655.A-nál magasabb CD érték. Max. PMD = 0.2 G.655.A. Max- PMD = 0.2 ps/√km	Az O-tól a C sávig	A G.655.B-hez hasonló, de lehetővé teszi nagyobb távolságra a magasabb bitrátájú átviteli alkalmazásokat az STM-64/OC-192 (10 Gb/s)-hez. Használható STM-256/OC-568 (40 Gb/s)-hoz is.

A legutóbbi G.656 szabvány (06/2004) a G.655 kiterjesztése, kifejezetten az S, C és L sávokon történő átvitel magasabb hullámhossz tartományához.

Nem nulla eltolts diszperziójú átviteli szálak jellemzői

	Jellemző	Hullámhossz	Alkalmazások
G.656	A maximális csillapítás 1460 nm, 1550 nm, és 1625 nm-en megadva. A minimális CD érték 2 ps/nm.km, 1460 nm 1625 nm között. Max. PMD = 0.2 ps/√km	S, C, és L sávok	Támogatja a CWDM és DWDM rendszereket is az 1460 és 1625 nm-es tartományban.

Más szál típusok is léteznek, mint pl. a polarizációtartó egymódusú szál és műanyag szál, de ezekkel ez a dokumentum nem foglalkozik.

Az egymódusú és többmódusú szálak áttekintése

Az alábbi táblázat gyors összehasonlítást ad a többmódusú és az egymódusú szálakról.

Az egymódusú és többmódusú szálak áttekintése

	Többmódusú	Egymódusú
Szál költség	Magas	Kevésbé magas
Átviteli eszközök	Egyszerű és olcsó (LED)	Költségesebb (lézertiódia)
Csillapítás	Magas	Alacsony
Átviteli hullámhossz	850 nm - 1300 nm	1260 nm - 1640 nm
Felhasználás	Nagyobb mag, könnyebb kezelés	Bonyolultabb szálkötés
Távolságok	Helyi hálózatokhoz (<2 km)	Hozzáférési/közepes/nagy- távolságú hálózatokhoz (>200 km)
Sávzélesség	Korlátozott sávzélesség (10 Gb/s kis távolságra)	Közel végtelen sávzélesség (>1 Tb/s)
Összegzés	A szál drágább, de a hálózat kiépítése viszonylag olcsó.	Nagy teljesítményű, de drága hálózat.

Fényátvitel

Az optikai szálakon történő fényátvitelhez 3 fő összetevő szükséges: egy adó, egy vevő és az átviteli közeg, amelyben a kettő között a jelek haladnak. Az optikai szálak használata diszperziót és csillapítást okoz a rendszerben. A csillapítás növeli az adóval szembeni teljesítmény elvárást, a diszperzió pedig csökkenti az átviteli sáv szélességet.

Csillapítás

Ahogy a fény áthalad a szálon, csökken a teljesítményszintje. A csökkenés nagyságát dB-ben, vagy távolságarányos módon, dB/km-ben adjuk meg.

A szál spektrális csillapítása

A csillapítás két fő oka az abszorpció és a szórás.

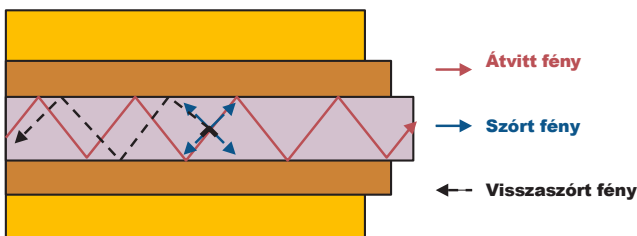
Abszorpció

A fényt a szál anyaga elnyeli, és az a molekuláris rezonancia által hővé alakul. A hidrogén és a hidroxid molekula rezonanciájának hullámhossza például 1244 és 1383 nm.

Rayleigh-szórás

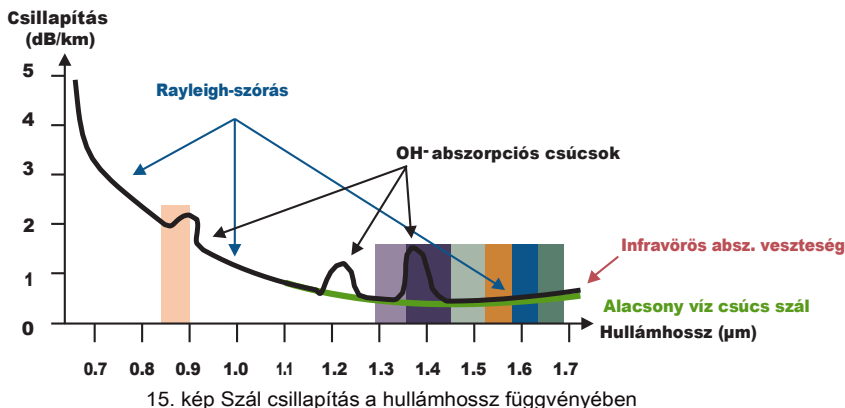
A szórás, és különösen a Rayleigh-szórás szintén hozzájárul a csillapításhoz. A szórás a fény energiáját minden irányban szétszórja, így a fény egy része kilép a magból. A szórt fény egy része az adó irányába szóródik vissza, ezt nevezzük visszaszórásnak.

Az előreszórás (Raman-szórás) és hátraszórás (Brillouin-szórás) két további szórási jelenség, amely az optikai anyagokban magas teljesítményszint mellett jelentkezik.



14. kép Szórási jelenségek a fényátvitel során

A csillapítás a szál típusa és a hullámhossz függvénye. Például, a Rayleigh-szórás a hullámhossz negyedik hatványával fordítottan arányos. Ha a szál abszorpciós spektrumát a lézer hullámhosszában ábrázoljuk, azonosíthatunk bizonyos jellemzőket. A következő ábra bemutatja a becsatolt fény hullámhossza és a teljes szálcsillapítás közötti összefüggést.



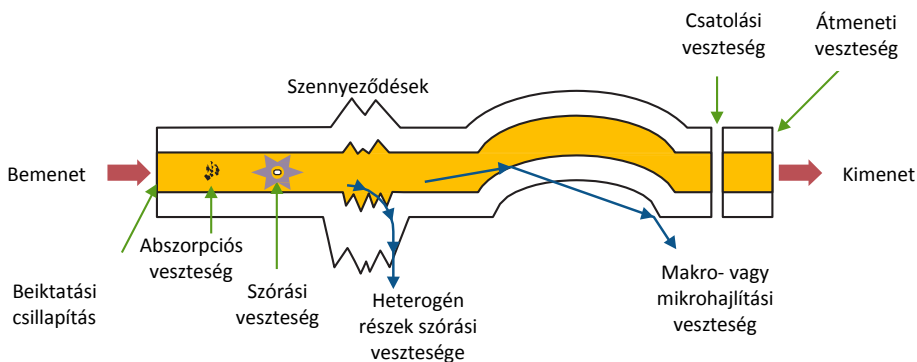
A fő átviteli hullámhosszak a csillapítási minimumoknál találhatók. Ezek a hullámhosszak telekommunikációs sávokként is ismertek. Az ITU-T G.692 szabvány további sávokat is definiál, amelyek a DWDM átviteli rendszerekhez vannak rendelve.

- **820-880 nm (1. sáv)**
- **0 sáv 1260-1360 nm (2. sáv)**
- **Esáv 1360-1460 nm**
- **L sáv 1565-1625 nm**
- **U sáv 1625-1675 nm**
- **S sáv 1460-1530 nm**
- **Csáv 1530-1565 nm (3. sáv)**

A görbén jelölt OH- abszorpciós csúcsok jelzik a szálban található hidrogén és hidroxid ionok elnyelési csúcsait 950 nm, 1244 nm és 1383 nm-en. Ezek az ionok a szálban jelen lévő vízből származnak, ami kémiai reakció következtében, a gyártási folyamat során vagy a levegő páratartalmából kerülhetnek a szálba. A normál egymódusú szálak esetén a víz csúcsok okozta csillapítás 1383nm környékén a legnagyobb. A gyártási folyamatok legutóbbi fejlesztéseinek köszönhetően sikerült kiküszöbölni az 1383nm-es víz csúcs jelenlétét. Az így készült szálakat alacsony víz csúcs szálak nevezzük. Ilyen szál például a Corning SMF-28e vagy a Lucent OFS AllWave.

Az összeköttetés veszteségeinek összetevői

Szálóptikai összeköttetésnél a teljes csillapítás megállapításához a szál saját csillapításán túl számításba kell vennünk az egyéb passzív összetevők hatásait és a csatlakoztatási veszteségeket is. Az adott hullámhosszon jelentkező csillapítás (vagy veszteség) a szálba becsatolt és a szálból kicsatolható teljesítmény aránya, általában decibelben (dB) kifejezve.



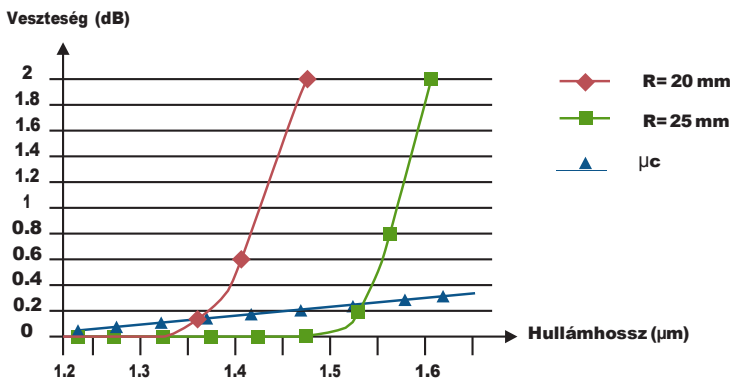
16. kép Összeköttetési veszteségek

Mikro- és makrohajlítások

A mikro- és makrohajlítások a telepített rendszerek gyakori problémaforrásai, mivel csillapítást okozhatnak.

Mikrohajlításnak nevezzük, amikor a mag eltér a tengelyétől. Ezt okozhatja gyártási hiba, fizikai behatás és környezeti változás (hőmérséklet, páratartalom vagy nyomás).

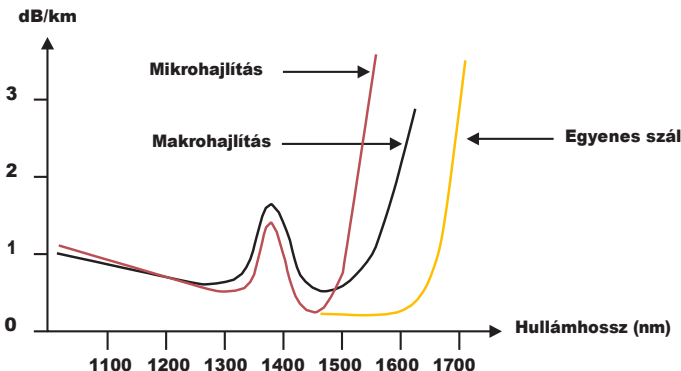
A makrohajlítás nagy sugarú hajlítást jelent (2mm vagy nagyobb sugárral). A hajlítási sugár (R) hatását a veszteségre a hullámhossz függvényében az alábbi ábra mutatja. Az “ μc ” görbe a hajlítás nélküli esetet mutatja.



17. kép A makrohajlítás hatása a veszteségre

Például, a 25mm sugárral hajlított szál vesztesége 1625nm-en 2dB, de 1550nm-en már csak 0,4dB.

A veszteség számításának másik módja a jellemző szál csillapítás hozzáadása (a megadott hullámhossz szerint - lásd alul) a hajlítási veszteséghez.



18. kép Jellemző csillapítások hajlított és egyenes szál esetén

A fenti ábrából látható, hogy az L (1565-1625 nm) vagy az U (1625-1675 nm) sáv használata esetén csillapítási teszt szükséges, egészen a legnagyobb hullámhosszig. Ehhez egy új teszteszköz kifejlesztésére került sor, 1625nm-es tesztelési képességgel. A legújabb OTDR műszerek már 1650 nm-es teszt lehetőséggel is rendelkeznek. Mivel a hálózati telepítések legfontosabb szálparaméterei a kötési veszteség, az összeköttetés vesztesége és az optikai reflexiós csillapítás (ORL), szükséges az ehhez használható teszteszköz beszerzése is.

Diszperzió

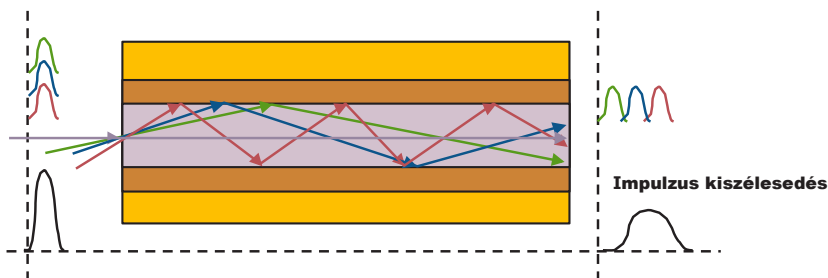
A jelátvitelt befolyásoló másik jelentős tényező a diszperzió. A diszperzió csökkenti az átvitelhez rendelkezésre álló sáv szélességet. A diszperzióknak három fő fajtája van: a módus diszperzió, a kromatikus diszperzió és a polarizációs módus diszperzió.



19. ábra A szál diszperzió típusai

Módus diszperzió

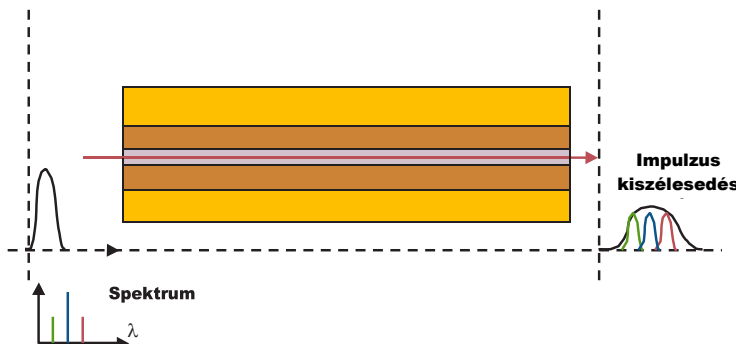
Módus diszperzió jellemzően többmódusú szálakban keletkezik. Amikor a numerikus apertúrán át egy nagyon rövid fényimpulzust csatolunk a szálba, az impulzus teljes energiája nem egy időben érkezik meg a szál másik végére. Ennek egyik oka, hogy terjedés során az energia különböző módusú rezgésekkel halad a szálban, különböző úthosszakon. Egy 50 μm magátmérőjű többmódusú szál több száz módot is lehetővé tehet. Ezt a fajta impulzus kiszélesedést nevezzük módus diszperzióknak vagy többmódusú diszperzióknak.



20. ábra Módus diszperzió lépcsős indexű többmódusú szálban

Kromatikus diszperzió

A kromatikus diszperzió (CD) oka, hogy a becsatolt fény különböző hullámhosszú összetevőkből áll. Az eltérő hullámhosszú összetevők eltérő sebességgel terjednek a szálban. Ezek a komponensek az eltérő sebességek miatt eltérő idő alatt érkeznek meg a szál másik végére, így az impulzus kiszélesedik, ami csökkenti a jel-zaj viszonyt, és növeli a bithibák számát.



21. ábra A fényforrás eltérő hullámhosszú összetevői által okozott kromatikus diszperzió

A kromatikus diszperziót három fő paraméter határozza meg:

1. A késleltetés az adott hullámhosszon (ps).
2. A ps/nm-ben kifejezett diszperziós együttható. Az együttható kifejezi az egyes összetevők kilométerenkénti késésének különbségét, az összetevők hullám-hossza közötti különbség függvényében (vagy az adott hullámhosszra vonatkozó, a távolság függvényében felrajzolt késés görbe meredekségét). Mértékegysége a ps/(nm•km).
3. A ps/(nm²•km)-ben kifejezett (S) diszperziós meredekség. A diszperziós meredekség kifejezi a diszperziós együttható értékének változását a hullámhossz függvényében (vagy az adott hullámhosszra vonatkozó, a távolság függvényében felrajzolt diszperzió görbe meredekségét).

Mind az (egy kilométerre standardizált) diszperziós együttható, mind a diszperziós meredekség függ a szál hosszától.

A létrejövő kromatikus diszperzió elsősorban a gyártási folyamattól függ. A különböző felhasználásokra készülő szálak pl. normál szál, eltolt diszperziójú szál és nem nulla eltolt diszperziójú szál tervezésekor a gyártók figyelembe veszik a CD hatásait.

Polarizációs módus diszperzió

A polarizációs módus diszperzió (PMD) az egymódusú szál egyik alapvető tulajdonsága, és befolyásolja az átviteli sebesség nagyságát. A PMD eredményeképp egy fényimpulzus két, egymáshoz képest 90 fokban polarizált összetevőjének terjedési sebessége eltérő lesz (lásd az alábbi ábrát). A PMD legfőbb okai a szál kör alakától való eltérése és a szádra ható külső fizikai behatások (mikrohajlítás, makrohajlítás, csavarodás, hőmérsékletváltozás).



22. ábra Polarizációs módus diszperzió (vagy differenciális csoportkésés)

A PMD meghatározható, mint az összes differenciális csoportkésés (DGD) pikoszekundumban (ps) mért középértéke. A PMD kifejezhető együttthatóként is, a távolság gyökére vonatkoztatva ps/ $\sqrt{\text{km}}$.

A PMD (a DGD középértéke) a szálon átvitt impulzus kiszélesedését okozza. Ez a jelenség torzítást okoz, és növeli az optikai rendszer bithiba arányát (BER). A PMD korlátozza a kapcsolat átviteli bitrátáját. Ezért, az átviteli bitráta korlát kiszámításához fontos tudnunk az optikai összeköttetés PMD értékét.

Optikai reflexiós csillapítás

Definíció

Az optikai reflexiós csillapítás (ORL) megadja a teljes optikai szakaszból visszaverődő fényteltjesítményt. Ebbe beletartozik a szálból visszaszóródó fény és az illesztésekből és lezárásokból visszavert fény is.

Az ORL értékét decibelben (dB) adjuk meg, nagysága a becsatolt és a visszavert fény hányadosának logaritmus.

$$\text{ORL} = 10 \log \frac{P_e}{P_r} \quad (\geq 0)$$

Az egyenletben a P_e a becsatolt, a P_r pedig a visszavert fényteltjesítmény Watt-ban (W) kifejezve.

Az alacsonyabb ORL szint csökkentheti bizonyos átviteli rendszerek teljesítményét, például drasztikusan ronthatja az analóg videojelek minőségét és ezzel együtt a képmínőséget.

Minél magasabb az ORL érték, annál alacsonyabb a visszavert teljesítmény, így annak a hatása is. Ezért egy 40dB-es ORL szint előnyösebb, mint egy 30dB-es. Fontos megjegyeznünk, hogy az ORL értékét egy pozitív dB számként fejezzük ki, de egy csatlakozó reflexióját például már negatív értékként.

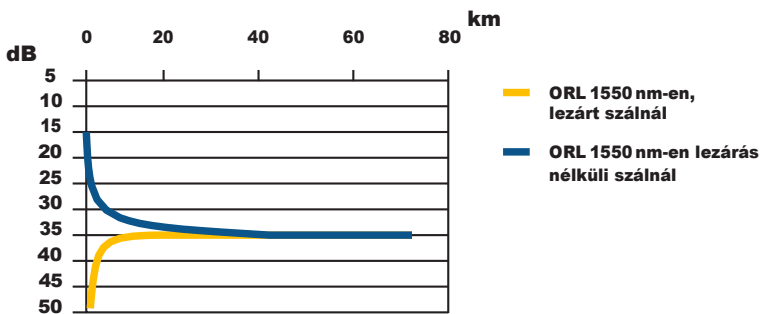
A távolsági, vagy csillapítási hatás

A teljes ORL értéket a visszaverődési esemény reflexiós értéke és az adó helyétől való távolsága határozza meg.

Ahogy a szálhossz növekszik, úgy nő a szál teljes visszaszórása, és csökken a szálvég reflexiója. Ezért, egy rövid összeköttetésnél, ahol nincs jelentős közbenső visszaverődési esemény, a teljes ORL-t elsősorban a szálvég reflexiója fogja meghatározni, mivel a rövid szál azt kevésbé csillapítja.

Egy hosszú szálnál a szálvég reflexióját a hosszabb szál nagyobb abszorpciója és visszaszórása jobban csillapítja, így a teljes ORL legjelentősebb összetevője a visszaszórt fény lesz.

A következő görbe a teljes ORL-t mutatja (visszaverődés és visszaszórás) egy lezárt szál (végponti visszaverődés nélkül) és egy lezárás nélküli szál (4% azaz -14db üveg-levegő visszaverődéssel) esetén. 40km-nél rövidebb összeköttetés esetén a lezárt és a lezárás nélküli szál ORL értékei között jelentős a különbség. Nagyobb távolságoknál azonban a két ORL érték gyakorlatilag megegyezik.



23. ábra ORL 1550nm-en a távolság függvényében lezárt és lezárás nélküli szálnál

A fentiekből látható, hogy az egyes visszaverődési események teljes ORL-re gyakorolt hatása nem csak a nagyságuktól függ, hanem az aktív adóeszköztől való távolságuktól is.

Magas ORL értékek hatásai

Ha a reflexió értéke túl magas (az ORL dB érték alacsony), a fény a lézerciódában rezonálhat, instabilitást okozva ezzel. A magas ORL érték ezen kívül más hatásokat is okozhat:

- Az adózaj növekedését, amely az analóg videorendszerekben (CATV) rontja a jel-zaj viszonyt, illetve digitális rendszerekben növeli a BER-t.
- Növeli a fényforrás interferenciáját, ami megváltoztatja a lézer középhullámhosszát és kimenő teljesítményét.
- Gyakoribbá teszi az adó meghibásodásokat.

A reflexió értékét csökkentő, illetve nemkívánatos hatásait mérséklő megoldások:

- Alacsony visszaverődésű csatlakozók, pl. 8 fokos, polírozott kontaktokkal (APC), magas visszaverődési csillapítású (HRL) csatlakozók vagy ultra polírozott kontaktok (UPC).
- Optikai leválasztók használata a lézer közelében, a visszaverődési szintek csökkentéséhez.

Nemlineáris hatások

A nemlineáris hatásokat elsősorban a magas teljesítményszint és a szál alacsony effektív keresztmetszete okozza. A teljesítményszint és az optikai csatornák számának növekedésével a nemlineáris hatások problémákat okozhatnak. Ezek az analóg hatások két kategóriába sorolhatók:

Törésmutatós jelenségek:

A szál törésmutatójának változásából eredő fázismoduláció típusok:

- Önfázis moduláció (SPM)
- Keresztfázis moduláció (XPM)
- Négyhullám-keverés (FWM)

Indukált szórási jelenségek: teljesítményvesztést okoznak

- Indukált Raman-szórás (SRS)
- Indukált Brillouin-szórás (SBS)

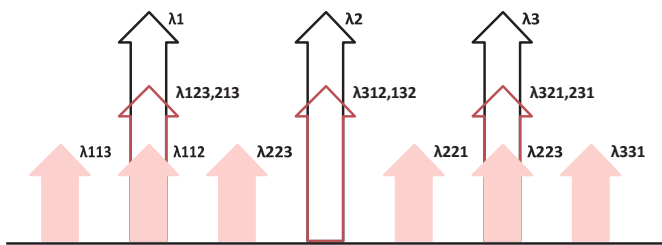
Törésmutatós jelenségek

A nemlineáris hatások a törésmutató nemlineáris részétől függenek, és magas jelszint esetén a törésmutató növekedését okozzák. Az EDFA mögött, a magas kimeneti szint nemlineáris hatásokat okozhat, pl. négyhullám-keverést (FWM), önfázis modulációt (SPM) és keresztfázis modulációt (XPM).

Négyhullám-keverés

A négyhullám-keverés egy olyan interferencia jelenség, amely három jelfrekvenciából nem kívánt jeleket, úgynevezett szellemcsatornákat hoz létre ($\lambda_{123} = \lambda_1 + \lambda_2 - \lambda_3$). Mivel három csatornából egy negyedik keletkezik, ezért hívjuk négyhullám-keveredésnek.

A fenti egyenlet alapján ezek a csatornák többféle módon is keveredhetnek. Továbbá, szükséges megjegyezni, hogy már mindössze két csatorna is képes egy harmadikat létrehozni.



24. ábra Jelek négyhullám-keverése a szálban

A magas jelszintek következtében, a valós csatornák számától függően, az FWM több szellemcsatornát is létrehozhat (amelyek némelyike átfedésben lehet valós csatornákkal is). Például, egy négycsatornás rendszerben 24 szellemcsatorna fog létrejönni, míg egy 16 csatornásban 1920. Emiatt az FWM az egyik leghátrányosabb jelenség a DWDM rendszerekben.

Eltolt diszperziójú szálakban, a nulla diszperziójú hullámhossz közelében, az 1550nm-es tartományban sugározva az FWM rendkívül nagy problémát jelent. Különböző hullámhosszok azonos sebességgel vagy csoportsebességgel, hosszú ideig, azonos fázisban haladva növelik az FWM hatását. Normál (nem eltolt diszperziójú) szálakban 1550nm körül jelen van egy bizonyos mértékű kromatikus diszperzió, aminek következtében az egyes hullámhosszok csoportsebességei eltérők lesznek. Ez csökkenti az FWM nemkívánatos hatásait. Az FWM hatások mellett rendszertelen csatornaközök használatával is csökkenthetők.

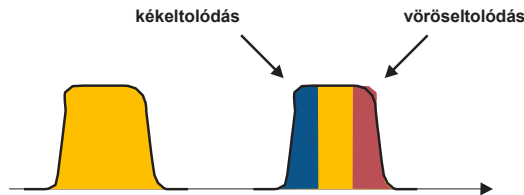
Önfázis moduláció

A önfázis moduláció (SPM) során a jel a saját fázisára van hatással, kiszélesedést okozva. Magas teljesítményszintek esetén, maga a fény okoz helyi törésmutató változást a szálban. Ez a Kerr-effektus. A jelenség időben változó fázist okoz a csatornában. Az időben változó törésmutató modulálja az átvitt hullámhossz(ak) fázisát, kiszélesítve ezzel az átvitt optikai impulzus hullámhossz spektrumát.

$$\Delta\Phi = \frac{2\pi}{\lambda} \times \frac{L}{S \times P}$$

Az egyenletben L az összeköttetés hossza, S a szál keresztmetszet, P az optikai teljesítmény.

A jelenség eredményeképp az impulzus vége a rövidebb hullámhosszok felé (kékeltolódás), az impulzus eleje pedig a hosszabb hullámhosszok felé (vöröseltolódás) tolódik el.



25. ábra Önfázis moduláció

Az SPM által okozott hullámhossz eltolódás pontosan a pozitív kromatikus diszperzió ellenkezője. Fejlett hálózati implementációkban az SPM használható a kromatikus diszperzió részleges kompenzálására.

Keresztfázis moduláció

Keresztfázis modulációról (XPM) akkor beszélünk, ha az egyik csatorna jele hatással van egy másik csatorna jelének fázisára. Az SPM-hez hasonlóan, az XPM is a Kerr-effektus hatásaként jön létre, XPM hatások azonban csak akkor jelentkeznek, ha ugyanazon a szálon egynél több csatornát továbbítunk. Az XPM-nél az SPM-mel megegyező hullámhossz eltolódások keletkeznek a másik csatorna impulzusaiban, spektrálisan kiszélesítve azokat.

Szórési jelenségek

A szórési jelenségeket a lézer jel molekuláris rezgéseken (optikai fononok) vagy indukált virtuális rácson történő szóródása során végbemenő folyamatok szerint csoportosíthatjuk.

Indukált Raman-szórás

Az indukált Raman-szórás (SRS) teljesítményt transzferál egy rövidebb hullámhosszú jelből egy nagyobb hullámhosszú jelbe. Az SRS-t a szálban a fényjelek rezgő molekulákkal (optikai fononokkal) való kölcsönhatása okozza. Ilyenkor a fény minden irányban szóródik. Az SRS hatásai akkor a legnagyobbak, ha a két jel hullámhossza között körülbelül 100nm (13.2THz) különbség van, például 1550 és 1650nm-es jelek esetén.

Indukált Brillouin-szórás

Az indukált Brillouin-szórás (SBS) egy teljesítményvesztést okozó visszaszórási jelenség. Nagyteljesítményű jelek esetén a fényhullámok periodikus változásokat okoznak a szál törésmutatójában. Ez egy indukált virtuális rácsként képzelhető el, amely a jeltől hanghullámként távolodik. Ekkor maga a jel szóródik, visszaverődve erről az indukált virtuális rácsról. Az SBS hatások csak akkor jönnek létre, ha csupán néhány csatornát viszünk át.

Az átviteli hatások összegzése

Az alábbi táblázat az egyes átviteli jelenségek és a velük járó negatív optikai telekommunikációs hatások összegzését tartalmazza.

Jelenség	Okok	Kritikus csatorna telj.	Hatások	Kompenzálás
Csillapítás	Anyag elnyelés /rendszer		Csökkenő teljesítmény szint, gyakoribb bithibák	Távolság csökkentése, tisztább szálanyag
Kromatikus diszperzió (CD)	Hullámhossz-függő csoportsebesség		Gyakoribb bithibák	Kompenzáló szál vagy modul (DCF/DCM) használata
Polarizációs módus diszperzió (PMD)	Polarizációfüggő differenciális csoportkézés		Gyakoribb bithibák	Alacsony PMD értékű szál, jobb nyomvonal, PMD kompenzátorok
Négyhullám-keverés (FWM)	Jelek közötti interferencia	10 mW	Teljesítményátadás az eredeti jelből más frekvenciákba, oldalsávok (harmonikusok) keletkezése, csatorna áthallás, gyakoribb bithibák	CD kompenzátoros szálak használata, változó csatornaközök alkalmazása
Önfázis moduláció (SPM) és kereszfázis moduláció (XPM)	Intenzitásfüggő törésmutató	10 mW	Spektrális kiszélesedés, impulzus összenyomódás (pozitív CD esetén), impulzus kiszélesedés (negatív CD esetén), csatorna áthallás, gyakoribb bithibák	CD kompenzátoros szálak használata

Jelenség	Okok	Kritikus csatorna telj.	Hatások	Kompenzálás
Indukált Raman-szórás (SRS)	A szál molekuláris szerkezetének és a jelnek a kölcsönhatása	1 mW	Alacsonyabb csúcsteljesítmény, csökkenő OSNR, optikai áthallás (különösen kétirányú WDM rendszerekben), gyakoribb bithibák	Gondos teljesítmény méretezés
Indukált Brillouin-szórás (SBS)	A jel és az akusztikus hullámok kölcsönhatása	5 mW	Jel instabilitás, alacsonyabb csúcsteljesítmény, csökkenő OSNR, optikai áthallás (különösen kétirányú WDM rendszerekben), gyakoribb bithibák	A fény spektrális kiszélesedése

Ajánlások és szabványok száloptikai rendszerekhez

Az optikai kábel jellemzőket és mérési módokat számos nemzeti és nemzetközi szabvány szabályozza. Alább ezek közül sorolunk fel néhányat, a lista azonban nem teljes. A kiadások változhatnak.

Nemzetközi szabványok

A nemzetközi szabványok kidolgozásán két fő csoport dolgozik: az International Electrotechnical Commission és az International Telecommunication Union.

International Electrotechnical Commission

Az International Electrotechnical Commission (IEC) egy globális szervezet, ami mindenfajta villamos, elektromos és hozzájuk kapcsolódó technológiához dolgoz ki nemzetközi szabványokat. Ezek a szabványok szolgálnak a nemzeti szabványok alapjául.

Az IEC különböző műszaki bizottságokból áll, amelyek a vonatkozó szabványok meghatározásához az egyes alkalmazásokon belüli adott témákban dolgoznak ki dokumentumokat. A száloptikai területhez például a TC86 számú műszaki bizottság van hozzárendelve, amelyek albizottságai az SC86A, az SC86B és az SC86C bizonyos alterületekkel foglalkoznak:

- SC86A: Szálak és kábelek
- SC86B: Száloptikai csatlakoztató eszközök és passzív összetevők
- SC86C: Száloptikai rendszerek és aktív eszközök

International Telecommunication Union

Az International Telecommunication Union (ITU) egy nemzetközi szervezet, amely irányelveket, műszaki jellemzőket és specifikációkat határoz meg telekommunikációs rendszerekhez, hálózatokhoz és szolgáltatásokhoz, például száljellemzőket és mérési alkalmazásokat. Az ITU három különböző szektorból áll:

- Rádiókommunikációs szektor (ITU-R)
- Telekommunikációs szektor (ITU-T)
- Telekommunikációs fejlesztési szektor (ITU-D)

Nemzeti szabványok

European Telecommunications Standards Institute

A European Telecommunications Standards Institute (ETSI) telekommunikációs szabványokat határoz meg. Európában az ETSI a felelős az információs és kommunikációs technológiák (ICT) szabványosításáért. Ezek közé tartoznak a telekommunikációs, műsorszórási és az ezekhez kapcsolódó technológiák, mint például az intelligens szállítás és az orvosi elektronika.

Telecommunication Industries Association/Electronic Industries Alliance

A Telecommunication Industries Association/ Electronic Industries Alliance (TIA/EIA) az Amerikai Egyesült Államokra vonatkozó kiegészítő ajánlásokat fogalmaz meg. A TIA az American National Standards Institute (ANSI) által akkreditált szervezet, amely sokféle telekommunikációs termékhez fejleszt ipari szabványokat. A bizottságok és albizottságok szabványokat definiálnak száloptikához, felhasználói telepítésű eszközökhöz, hálózati eszközökhöz, vezeték nélküli és műholdas kommunikációhoz.

Fontos megjegyezni, hogy más országokban sok más egyéb szabványosító szervezet is működik.

Száloptikai szabványok

- IEC 60793-1 és -2: Optikai szálak (több részt tartalmaz)
- IEC 60794-1, -2, és -3: Optikai szálak kábelek
- G.651: 50/125 μm többmódusú, lépcsős indexű optikai szálak jellemzői
- G.652: Egymódusú optikai szálak és kábelek jellemzői
- G.653: Eltolt diszperziójú egymódusú optikai szálak és kábelek jellemzői
- G.654: Eltolt levágású egymódusú optikai szálak és kábelek jellemzői
- G.655: Nem-nulla eltolt diszperziójú egymódusú optikai szálak és kábelek jellemzői
- G.656: Nem-nulla eltolt diszperziójú szálak szélessávú átvitelhez

Mérési szabványok

Generikus mérési szabványok

- IEC 61350: Teljesítménymérő kalibráció
- IEC 61746: OTDR kalibráció
- G.650.1: Fogalom meghatározások és mérési módszerek egymódusú szálak lineáris és determinisztikus jellemzőihez
- G.650.2: Fogalom meghatározások és mérési módszerek egymódusú szálak nemlineáris és statisztikai jellemzőihez

PMD mérési szabványok

- G.650.2: Fogalom meghatározások és mérési módszerek egymódusú szálak nemlineáris és statisztikai jellemzőihez
- IEC 60793 1-48: Optikai szálak - 1-48 rész: Mérési módszerek és eljárások – polarizációs módus diszperzió
- IEC/TS 61941: Műszaki specifikáció egymódusú optikai szálak polarizációs módus diszperzió mérési módszereihez
- TIA/EIA-455 FOTP-124A: Interferometriás polarizációs módus diszperzió mérés egymódusú optikai szálakhoz és kábelekhöz
- TIA/EIA-455 FOTP-113: Polarizációs módus diszperzió mérés egymódusú optikai szálakhoz és kábelekhöz rögzített analízátorral
- TIA/EIA-455 FOTP-122A: Polarizációs módus diszperzió mérés egymódusú optikai szálakhoz és kábelekhöz Stokes paraméteres módszerrel
- TIA/EIA TSB-107: Irányelvek az optikai szálak kábelelek polarizációs módus diszperziójának statisztikai megállapításához
- TIA/EIA 455-196: Irányelvek egymódusú száloptikai összetevők és eszközök polarizációs módus méréseihez
- GR-2947-CORE: Generikus elvárások hordozható polarizációs módus diszperzió (PMD) mérő készülékekhez
- IEC-61280-4-4: Polarizációs módus diszperzió mérés telepített összeköttetésekhez

CD mérési szabványok

- G.650.1: Fogalom meghatározások és mérési módszerek egymódusú szálak és kábelek lineáris, determinisztikus jellemzőihez
- IEC 60793 1-42: Optikai szálak - 1-42 rész: Kromatikus diszperzió mérési módszerei
- IEC 61744: Kalibráció optikai szálak kromatikus diszperziómérő műszereihez
- TIA/EIA FOTP-168: Időalapú, spektrális csoportkésésen alapuló kromatikus diszperzió mérés lépcsős indexű többmódusú és egymódusú optikai szálakhoz
- TIA/EIA FOTP-169: Fázistolás alapú kromatikus diszperzió mérés egymódusú optikai szálakhoz
- TIA/EIA FOTP-175: Differenciális fázistolás alapú kromatikus diszperzió mérés egymódusú optikai szálakhoz.
- GR-761-CORE: Általános feltételek kromatikus diszperzió mérőműszereihez
- GR-2854-CORE: Általános feltételek száloptikai diszperzió kompenzátorokhoz



Beiktatási csillapítás, reflexiós csillapítás, szálak jellemzése és kiegészítő eszközök

2. fejezet

Optikai szál tesztelés

Egy optikai szál elemzéséhez a teljes élettartam során többféle mérés végrehajtása szükséges:

- Mechanikai mérések
- Geometriai mérések
- Optikai mérések
- Átviteli mérések

Az első három méréstípust a szál élettartama során jellemzően csak egyszer végezzük el, mivel ezekben normál esetben az idők során csak kisebb változások történnek. A használatba vétel előtt az optikai szálakon és kábeleken többféle mérést végzünk. Ezek közül sokat leírnak az EIA Fiber Optic Test Procedure (FOTP) javaslatai, az EN 188 000 dokumentum és az ITU-T G650 ajánlások.

Mechanikai mérések	Geometriai mérések	Optikai mérések	Átviteli mérések
Súrlódás	Koncentricitás	Törésmutató profil	Sávszélesség
Torzó	Hengeresség	Numerikus apertúra	Optikai teljesítmény
Hajlás	Magátmérő	Pont méret	Optikai veszteség
Hőmérséklet	Köpeny átmérő		Optikai reflexiós csill..
			Reflektometria
			Kromatikus diszperzió
			Polarizációs módus diszperzió
			Csillapítási profil

Átviteli mérések

Arányszámok és mértékegységek

A decibel (dB) gyakran használt arányszám az optikai hálózat elemeinek teljesítményvesztésére vagy erősítésére. A decibelérték a két összehasonlított teljesítményszint (Watt-ban kifejezett) arányának logaritmusának tízszerese.

$$dB = 10 \text{Log} \frac{P_1}{P_2}$$

A decibel arányszámot szintén gyakran használjuk (pl. lézerek vagy erősítők esetén) az átvitt jelek és a zaj viszonyának jellemzésére. A leggyakrabban használt arányok:

- a dBm-et a vizsgált teljesítmény 1mW-os referencia szinthez való viszonyítására használjuk. Ezzel abszolút teljesítményszintek adhatók meg. A számítást leíró egyenlet:

$$P(dBm) = 10 \text{Log} \frac{P_1}{1mW}$$

A P1 megadása mW-ban történik.

- a dBc a vivőhöz viszonyított dB érték. Ezt leggyakrabban az oldalsávok vivőhöz viszonyított teljesítményének a megadására használják. Például a -30 dBc azt jelenti, hogy az oldalsáv teljesítménye 30dB-lel alacsonyabb a vivőénél.
- a dBr egy referencia szinthez viszonyított dB érték. Ezt a vizsgált teljesítmény egy adott referenciaszinthez való viszonyítására használják.

Egy összetevő által okozott teljesítményveszteség a bemeneti és a kimeneti teljesítményszintek dB értékének kivonásával számítható ki.

$$\text{Veszteség (dB)} = P_{\text{out}} - P_{\text{in}}$$

Az alábbi táblázat megmutatja az egyes abszolút teljesítményszintek dBm-ben kifejezett megfelelőjét.

Abszolút teljesítmény (W)	Abszolút teljesítmény (dBm)
1 W	+30 dBm
100 mW	+20 dBm
10 mW	+10 dBm
5 mW	+7 dBm
1 mW	0 dBm
500 μ W	-3 dBm
100 μ W	-10 dBm
10 μ W	-20 dBm
1 μ W	-30 dBm
100 nW	-40 dBm

Az alábbi táblázat megmutatja a dB-ben kifejezett veszteségeknek megfelelő százalékos értékeket.

Veszteség (dB)	Veszteség (%)
-0,10 dB	2%
-0,20 dB	5%
-0,35 dB	8%
-1 dB	20%
-3 dB	50%
-6 dB	75%
-10 dB	90%
-20 dB	99%

Mérési paraméterek

A szál vagy a teljes rendszer minősítéséhez több kulcsfontosságú mérés elvégzése szükséges:

- Összeköttetési veszteség végponttól végpontig
- Egységnyi hosszra vetített csillapítás
- Kötések, csatlakozók és csatolók (események) veszteségei
- Szálhossz vagy távolság az eseménytől
- Szálvesztesség linearitása a hossz függvényében (csillapítási diszkontinuitások)
- Reflexió vagy optikai reflexiós csillapítás (ORL)
- Kromatikus diszperzió (CD)
- Polarizációs módus diszperzió (PMD)
- Csillapítási profil (AP)

Egyéb mérések, pl. sávzélesség szintén elvégezhetők. Bizonyos egyedi alkalmazások kivételével a többi mérés kisebb fontosságú.

Egyes mérések végrehajtásához a szál mindkét végéhez hozzá kell férnünk, másoknál a szál egyik vége is elegendő. Az egy szálvégről elvégezhető mérések terepi munka esetén különös figyelmet kapnak, mivel ezekkel időt és utazást takaríthatunk meg. Az optikai kábelek terepi tesztelése háromfajta mérést jelent: telepítési, karbantartási és helyreállítási méréseket.

Terepi mérés

A következő szakaszok az egyes terepi mérések listáját mutatják be. A lista azonban nem teljes, a mérési program a rendszer felépítésétől, kritikusságától, illetve az esetleges egyéb szerződéses feltételektől függ.

Telepítési mérések

Telepítés előtti ellenőrzések

Telepítés előtt szükséges a szál vizsgálata. Meg kell győződni róla, hogy a szállított kábel megfelel a kért specifikációnak (hossz, csillapítás, stb.), és hogy nem sérült szállítás közben.

Telepítési és beüzemelési mérések

A telepítés és beüzemelés során, annak érdekében, hogy a kábelkötések és lezárások minőségét (csillapítás, hely és visszaverődés) ellenőrizzük, és megállapítsuk a teljes rendszer adott feladatra való alkalmasságát (végpontok közti csillapítás, ORL), a méréseket végzünk. Ezen mérési eredmények összessége a későbbi karbantartáshoz is fontos dokumentációt alkot.

Karbantartási ellenőrzések

A karbantartási ellenőrzésekkel rendszeresen megbizonyosodunk arról, hogy a rendszer képességei nem romlottak. Ezek a mérések magukba foglalják a kábelcsillapítás, illetve az összeköttetések és lezárások csillapításainak és visszaveréseinek mérését. Egyes rendszerekben a karbantartási méréseket néhány havonta elvégzik, és az eredmények időbeli alakulása alapján figyelik az esetleges minőségromlás korai jeleit.

Nagykapacitású vagy kritikus rendszerek esetén akár néhány percenkénti automatikus teszteléssel is ellenőrizhető a rendszer állapota, és felderíthetők a hibák vagy azok közeledte.

Hibaelhárítás

Kábel helyreállítás során az első mérés a hiba okának és helyének megkeresésére irányul (adó, vevő, kábel vagy csatlakozó). A javítást követően a rendszer minőségének ellenőrzéséhez újabb méréseket végzünk. Ezen újabb mérések hasonlóak a telepítéskori mérésekhez.

Optikai teszter családok

Az optikai mérőműszerek egyik fő csoportja a kézi műszereké. A család műszerei képesek teljesítményszint, beiktatási veszteség (csillapítás) (IL), optikai reflexiós csillapítás (ORL), reflektometria, kromatikus diszperzió (CD) polarizációs módus diszperzió (PMD) és csillapítási profil mérésekre (AP).



26. ábra Kézi optikai mérőműszerek

Fényforrások

A fényforrás folyamatos hullámú, stabil energiájú kimenetet generál csillapítási mérésekhez. A fény forrása lehet LED vagy lézerdíoda, amelynek kimenetét automatikus erősítésszabályzás stabilizálja. Többmódusú szálak esetén a LED használata az általános, egymódusú szálaknál pedig a lézerezé.

A LED vagy lézer forrás kimenete opcionálisan adott frekvenciával modulálható (szaggatható) lehet. Ilyen esetben a teljesítménymérő beállítható az adott frekvenciára. Ezzel az eljárással a környezeti fény elnyomása javítható. Például bizonyos detektorok 2kHz-es modulált fényjellel is használhatók a kábel azonosítására és folytonosságának ellenőrzésére.

LED-ek és lézerek összehasonlítása

Jellemző	LED	Lézer
Kimeneti teljesítmény	A meghajtó árammal egyenesen arányos	A küszöb felett az árammal egyenesen arányos
Áram	Meghajtó áram: 50 - 100 mA (csúcs)	Küszöbáram: 5 - 40 mA
Csatolt teljesítmény	Mérsékelt	Magas
Sebesség	Kisebb	Nagyobb
Kimeneti minta	Magasabb	Alacsonyabb
Sávszélesség	Mérsékelt	Nagy
Elérhető hullámhosszok	0,66 – 1,65 μm	0,78 – 1,65 μm
Spektrális sávszélesség	Szélesebb (40 - 190 nm FWHM)	Keskenyebb (0.00001 - 10 nm FWHM)
Száltípus	csak többmódusú	egy- és többmódusú
Felhasználás	Egyszerűbb	Bonyolultabb
Élettartam	Hosszabb	Hosszú
Költség	Alacsony	Magas

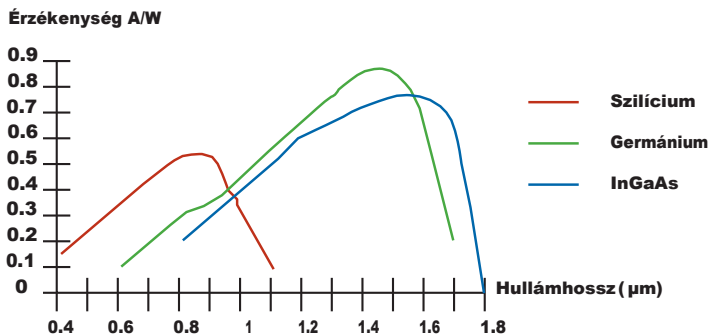
Teljesítménymérők

A teljesítménymérő alapvető mérőeszköz a száloptikai szakember műszerei között, és rendkívül fontos eszköz a telepítések és helyreállítások során.

A teljesítménymérő fő funkciója a fotodiódát érő teljesítmény nagyságának meghatározása. Az adott és vett teljesítmények mérése optikai teljesítménymérővel történik. Az adóteljesítmény méréséhez a műszert közvetlenül az adó kimenetére csatlakoztatjuk. A vételi teljesítmény méréséhez a műszert a száloptikai rendszerre kötjük. Ilyenkor az optikai vevő helyén mérjük a teljesítményszintet.

Detektor specifikáció

Jelenleg, a teljesítménymérők szilícium (többmódusú alkalmazásokhoz), germánium (egymódusú és többmódusú alkalmazásokhoz) és indium-gallium-arzenid (egymódusú és többmódusú alkalmazásokhoz) fotodiódákat használnak. Ahogy a következő ábrán látható, az InGaAs fotodiódák alkalmasabbak az 1625nm-es alkalmazásokhoz, mint a germániumok, mivel a Ge fotodiódák érzékenysége 1600nm felett meredeken csökken.



27. ábra A három leggyakoribb detektortípus érzékenységi görbéje

Az összetettebb teljesítménymérők egyéb opciókat is kínálhatnak, például hőmérséklet kompenzációt, eltérő hullámhosszokon történő kalibrációt, teljesítményszint mérést egy referencia bemenethez képest, csillapítás beiktatását, és nagyteljesítményű opciót.

Dinamikatartomány

A teljesítménymérővel szemben támasztott elvárások alkalmazásfüggők. Képesnek kell lenniük mérni az adó kimenetét (ellenőrizni a működést), és elég érzékenynek kell lenniük a távoli végponti vételi teljesítmény méréséhez. A nagytávolságú telefonos vagy kábel TV rendszerek akár +16dBm-es adókat és +30dBm-es erősítőket is használhatnak, miközben az optikai előerősítős rendszerekben a vételi szintek akár -36dBm-esek is lehetnek. Helyi hálózatokban az adási és vételi szintek azonban jóval alacsonyabbak.

A teljesítménymérő maximális és minimális bemeneti teljesítményének aránya a dinamikatartomány. Bár egy adott műszer dinamikatartománya korlátozott, a maximális mérhető teljesítményszint a műszer elé kapcsolt csillapítókval növelhető. Ezzel a vételi érzékenység romlik.

A nagyteljesítményű módhoz belső vagy külső csillapítás is használható. A belső csillapítások lehetnek fixek vagy kapcsolhatók.

A teljesítménymérőkkel szemben támasztott jellemző dinamikatartomány elvárások a következők:

+20 dBm-től -70 dBm-ig telefónia alkalmazásokhoz

+26 dBm-től -55 dBm-ig CATV alkalmazásokhoz

-20 dBm-től -60 dBm-ig LAN alkalmazásokhoz

Beiktatási csillapítás és visszavágás mérés

A teljes csillapítás mérésének legpontosabb módja, ha a szálba egy ismert nagyságú teljesítményt injektálunk, és megmérjük a szál másik végén kilépő teljesítményszintet. A beiktatási csillapítás mérésére az ITU-T G650.1 és az IEC 61350 által ajánlott fő eszközök a fényforrások és a teljesítménymérők. Ehhez a méréshez a szál mindkét végéhez hozzá kell fűznünk.

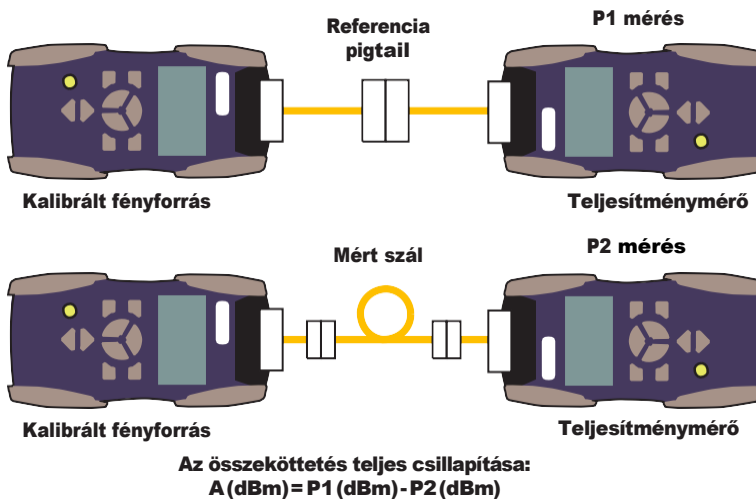
Visszavágásos (cut back) módszer

A legpontosabb mérési mód a cut back, azonban ez destruktív jellege miatt terepen nem elvégezhető, így telepítés és karbantartás során nem használható. A cut back mérés a szál teljes hosszának csillapítási mérésével kezdődik. Ezután a mért szál egy szakaszát a forrás felől visszavágjuk, és referenciául lemérjük annak csillapítását is. A két érték kivonásával megkapjuk a visszavágott szál csillapítását.

Beiktatási csillapítás mérés

A beiktatási csillapítás módszer egy nem destruktív módszer, amellyel egy szál, passzív összetevő vagy a teljes összeköttetés csillapítását mérhetjük. Ezzel a helyettesítési módszerrel közvetlenül egy forrás szál és egy referencia szál kimenetét mérjük. Ezután a mért szálát a rendszerhez csatlakoztatjuk, és megmérjük. A két mérési eredmény különbsége megadja a szál csillapítását.

Az első vagy referencia mérés célja, hogy amennyire csak lehet, ki tudjuk vonni a különböző patch kábelek által okozott veszteségek hatását.



28. ábra A beiktatási csillapítás méréssel két lépésből állapítható meg az összeköttetés vesztesége

Fontos megjegyeznünk, hogy a megfelelő becsatolási óvintézkedések betartása nélkül jelentős változékonyság léphet fel a mérés során.

Veszteségmérő műszerek (LTS)

A veszteségmérő műszerek (LTS) egy egybeépített teljesítménymérőből és egy fényforrásból állnak. A veszteségmérő egy nagy pontosságú műszer, amelyet a mért szál teljes veszteségének mérésére használunk. A méréseket általában mindkét irányban elvégzik, mivel az egyes irányok eredményei eltérhetnek egymástól.

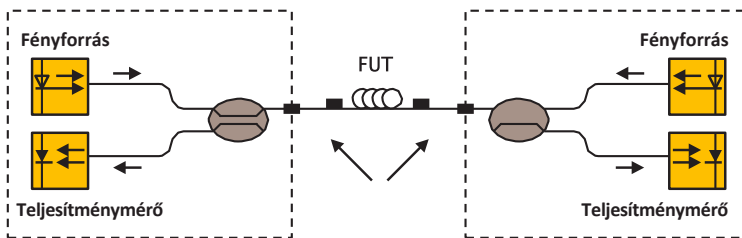
Például, a csatlók vagy mag illesztetlenségek csillapításai a terjedés irányától függően jelentősen eltérhetnek. A nagyobb pontosság érdekében, az összeköttetés minősítéséhez a két irány átlagát számítjuk ki.

Hagyományos fényforrások és teljesítménymérők esetén a kétirányú méréshez a műszereket vagy egyik végpontról a másikra kell szállítani, vagy mindkét végponton szükséges egy teljesítménymérő és egy fényforrás. Ez utóbbi esetben összesen 4 műszer szükséges. LTS használatával ugyanezek a mérések elvégezhetők két műszerrel, egy-egy darabbal a két végponton, szükségtelenné téve a műszerek szállítását.

Kétirányú veszteségmérők

Kétirányú veszteségmérővel a fényforrás és a teljesítménymérő ugyanarra a portra csatlakozik. Emellett a kétirányú LTS önálló műszerként is használható. A műszer saját fényforrását a bemenetre kötve független, gyors referenciamérések végezhetők el minden beépített hullámhosszra (loopback módszer).

Bár az egymás melletti (side-by-side) referenciamérési módszer pontosabb, ha a műszerek egymástól távol vannak, nem mindig megoldható az összehozásuk. Amikor a mérendő szálra két LTS-t csatlakoztatunk, a csillapítási mérést további teendők nélkül el tudjuk végezni mindkét irányban.



29. ábra Beiktatási csillapítás mérése két kétirányú veszteségmérővel

A legtöbb jelenlegi LTS már teljesen automatizált kétirányú mérést tesz lehetővé. Így a műszerek egyetlen gombnyomásra másodperceken belül elvégzik mindkét irány méréését, és teljes mérési jelentést generálnak. Az automatizált beiktatási csillapítás mérés gyors és pontos, valamint kisebb az oktatási igénye.

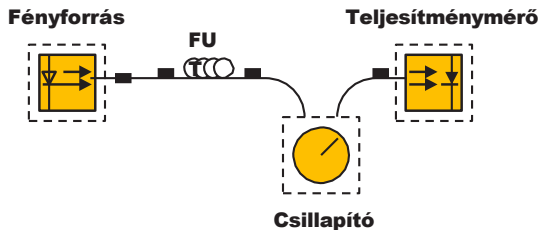


30. ábra Optikai veszteségmérők (OLTS)

Automatikus beiktatási csillapítás méréssel a lehetséges mérési hibák száma csökken, mivel ezeket általában a rossz vagy elvesztett referencia beállítások vagy a szál mérés közbeni kézi elmozdítása okozza.

Csillapítók

A száloptikai csillapító egy passzív optikai elem, amelynek az átmenő optikai teljesítmény csökkentése a feladata. A csillapító fix vagy változtatható csillapítást nyújt, és ideális eszköz az összeköttetés teljesítmény tartalékának vizsgálatára. A változtatható értékű csillapító egy fényforrás és egy teljesítménymérő segítségével a működési tartományán belül bármilyen csillapítási értékre beállítható.



31. ábra Optikai csillapító mérési felhasználása

Optikai veszteség büdzsé

Száloptikai hálózat telepítésekor figyelembe kell venni a hálózati topológiát és az eszközök specifikációit. A mérést igénylő egyik fő paraméter az optikai veszteség büdzsé, azaz az végpontok közti optikai összeköttetési veszteség.

Ennek számításához figyelembe kell venni a fényforrás, a detektor és az átviteli vonal tulajdonságait. Az összeköttetés magába foglalja a forrás-szál csatlakozási veszteséget, a szál csillapítási veszteségét és az egyéb beiktatott összetevők (csatlakozók, szálkötések, passzív elemek, stb.) veszteségét.

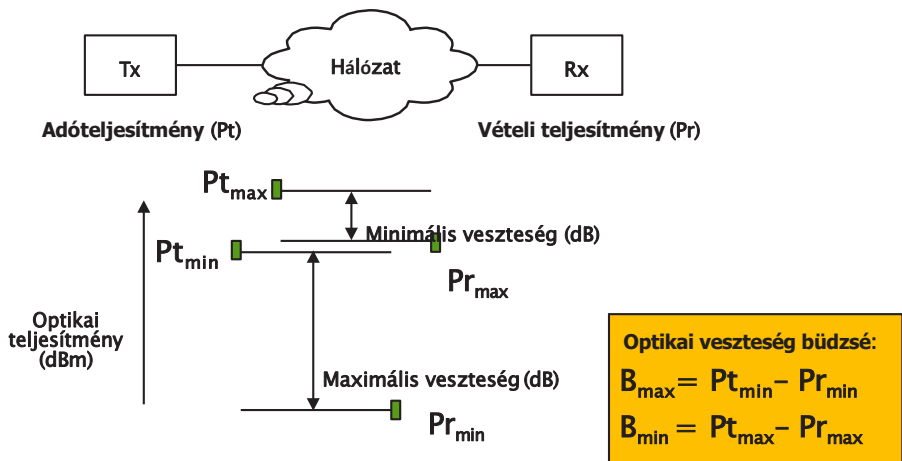
Az optikai összeköttetési veszteség a maximális és minimális értékek között található.

- A maximum érték annak a minimális adóteljesítménynek és minimális vételi teljesítménynek a hányadosa, ahol a kommunikáció még fenntartható.
- A minimum érték annak a maximális adóteljesítménynek és maximális vételi teljesítménynek a hányadosa, ahol a kommunikáció még fenntartható.

Példa egy többmódusú szállal épített tipikus rendszer specifikációjára:

- Adó optikai kimenő teljesítmény $-12 \text{ dBm} \pm 2 \text{ dBm}$
- Optikai vevő érzékenysége $\leq -27 \text{ dBm}$
- Optikai vevő dinamikataromány $\geq 18 \text{ dB}$

Az adó optikai kimenő teljesítménye maximum -10 dBm és minimum -14 dBm . Az optikai vevő érzékenysége megadja a minimális detektálható teljesítményszintet. Ebből, és az optikai vevő dinamikatarományából kiszámítható a maximális detektálható teljesítményszint ($-27 \text{ dBm} + 18 \text{ dB} = -9 \text{ dBm}$).



32. ábra Optikai veszteség büdzsé számítás

A fenti példánál az adó legkisebb optikai teljesítményéből (-14dBm) és a vevő érzékenységből (-27dBm) eredő érték 13 dBm.

Az optikai veszteség büdzsé figyelembe kell vegye a kábel és az eszközök teljesítménytartalékát. Ezek a tartalékok fedezetet nyújtanak az előregedés és az egyes környezeti tényezők által okozott hatások ellen (adóteljesítmény, vételi érzékenység változás, csatlakozók, szálkötések előregedése). A büdzsé kiszámításához az egyes összetevők tipikus csillapítási értékeit használjuk.

- 0,2 dB/km egymódusú szál esetén 1550 nm-en
- 0,35 dB/km egymódusú szál esetén 1310 nm-en
- 1 dB/km többmódusú szál esetén 1300 nm-en
- 3 dB/km többmódusú szál esetén 850 nm-en
- 0,05 dB fúziós szálkötésre
- 0,3 dB mechanikus szálkötésre
- 0,5 dB csatlakozópárra
- 3,5 dB 2-es osztóhoz (3 dB osztási veszteség és 0,5 dB egyéb veszteség)

A teljes optikai veszteség büdzsé kiszámítása után a kábel telepíthető.

Példa egy tipikus optikai veszteség büdzsé számításra

Hálózat	Kistávolságú	Középes távolságú	Nagytávolságú
Távolság (km)	30	80	200
Szál vesztl. (dB/km) @ 1550 nm	0,25	0,22	0,19
Teljes szál veszteség (dB/km)	7,5	17,6	38
Szálkötések száma	15	40	50
Átlagos kötési veszteség	0,1	0,1	0,05
Teljes kötési veszteség	1,5	4	2,5
Csatlakozók száma	2	2	2
Átlagos csatlakozó veszteség	0,5	0,5	0,5
Teljes csatlakozó veszteség	1	1	1
TELJES VESZTESÉG	10	22,6	41,5

Optikai reflexiós csillapítás mérők

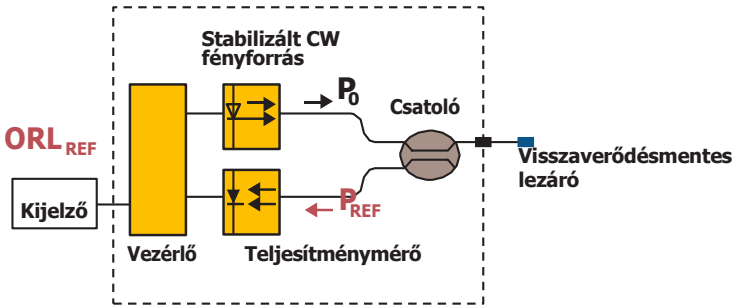
Az optikai reflexiós csillapítás (ORL) több módszerrel is mérhető. Leggyakrabban folyamatos hullámú optikai reflektométert (OCWR) vagy optikai visszaszóródás mérőt (OTDR) használunk.

OCWR módszer

OCWR használatakor a fényforrás egy ismert teljesítményű (P_0), folyamatos hullámú jelet küld a vizsgált szálba. A hullámhossznak amennyire csak lehet, meg kell közelítenie a leendő alkalmazás hullámhosszát. A visszaverődő jelet egy irányfüggő csatoló kapcsolja a teljesítménymérő bemenetére.

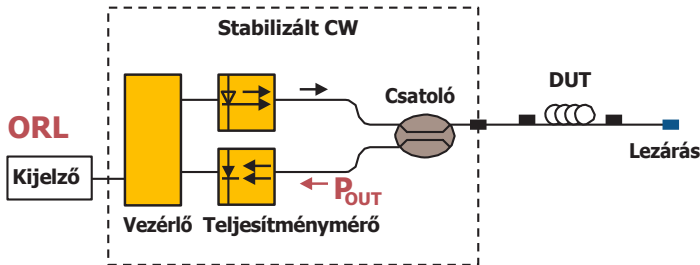
Az ORL OCWR-rel történő méréséhez két lépést kell elvégeznünk.

1. Egy optikai referencia-teljesítménymérést (háttér reflexiós csillapítás), amelyhez egy visszaverődésmentes (<-70dB) lezárást használunk. A visszaverődésmentes lezárást kiválthatjuk a szál csévetestre történő felcsavarásával (mandrel wrapping) vagy a szál törésmutatójához illeszkedő gél használatával.



33. ábra ORL referenciamérés OCWR módszerrel

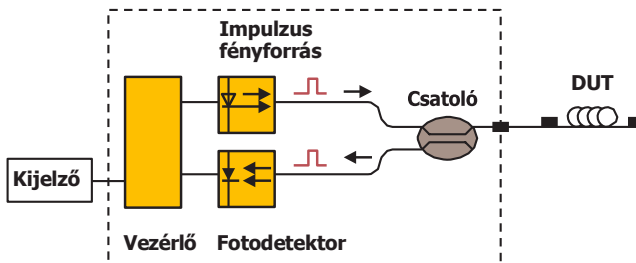
2. A referenciamérés után a csatolót a mérendő eszközhöz (DUT) csatlakoztatjuk. A méréshez a DUT gondos lezárása szükséges, hogy elkerüljük a levegő-üveg visszaverődést (-14 dB), mivel ez befolyásolná a mért ORL értéket. Az ORL kiszámítása a vizsgált eszköz optikai visszaverésének mérése után lehetséges.



34. ábra ORL mérés OCWR módszerrel

OTDR módszer

Az OTDR fényimpulzusokat küld a szálba, majd összegyűjti a visszaverődési információt és a Fresnel reflexiókat is.



35. ábra OTDR-os mérési elrendezés

Az ORL-t a szálba küldött impulzusszélesség és visszavert optikai teljesítmény alapján számítjuk.

$$\text{ORL (dB)} = 10\text{Log}\left(\frac{P_0 \Delta t}{\int P_r(z) \cdot dz}\right)$$

ahol P_0 az OTDR kimeneti teljesítménye, Δt az OTDR impulzusszélessége, $\int P_r(z) \cdot dz$ a teljes visszaverődés a szál hosszában.

Különbségek az OCWR és az OTDR módszer között

Az OTDR-os ORL mérés könnyebben elvégezhető, mint az OCWR-os, mivel ebben az esetben nincs szükség a referenciaképzésre. Az OTDR méréseket végző szakemberek körében az ORL érték de facto szabvánnyá válik. A VIAVI optikai teszt platformjai plusz értékkel bírnak az automatikus ORL mérésnek és OTDR görbe mérésnek köszönhetően. Az OTDR használata lehetővé teszi az ORL mérést a szál egy adott szakaszára vagy pontjára szűkítve is, így vizsgálható például csak egy adott csatlakozó visszaverése is.

Az OCWR módszer pontossága (kb. $\pm 0,5$ dB) azonban meghaladja az OTDR módszerét (kb. ± 2 dB), és lehetővé teszi rendkívül rövid szálak mérését is, például 1-2m-es patch kábeleket.

Az OCWR és OTDR összehasonlítása

Jellemző	OCWR	OTDR
Térbeli felbontás	Nem	Igen
Pontosság (tip.)	$\pm 0,5$ dB	± 2 dB
Dinamikatartom.	akár 70 dB	---
Jellemző alkalmazás	Teljes ORL és elszigetelt esemény mérések, szál telepítési és karbantartási eljárásokhoz	• Visszaverődési események térbeli felmérése és teljes ORL becslés telepítéskor • Tökéletes eszköz hibaelhárításhoz, amikor az egyes ORL összetevők forrásainak azonosítása szükséges
Erősségek	• Pontos • Gyors • Valós idejű eredményeket ad • Egyszerű és könnyű	• Lokalizálja a visszaverődési eseményeket • Egyvégpontos mérés
Gyengeségek	Manipuláció (referenciamérés szükséges)	• Pontosság • Hosszú adatgyűjtési idő

Mini-OTDR és hibahelykeresők

A '90-es évek elején újfajta műszerek váltak elérhetővé, amelyek az OTDR-rel megegyező alaptechnológiát használják. Ezek a mini-OTDR-ként ismert teszterek jellemzően akkumulátoros működésűek, és elég kompaktak ahhoz, hogy kézben szállíthatók legyenek.

A legegyszerűbb és legkorábbi kivitelek csupán hibahely meghatározásra voltak képesek, míg némelyikük ezen felül kezdetleges elemzéseket (csillapítás, csillapítási ráta, távolság és reflexió) is tudott végezni. A modern kivitelek már a mainframe OTDR-ek képességeit nyújtják, összetett elemzési (automatikus eseményérzékelés, eseménytáblázat, optikai reflexiók csillapítás, görbe rávetítés és kétirányú elemzés) és adattárolási képességekkel. Ezeket túl további funkciókkal is rendelkeznék (fényforrás, teljesítmény-mérés, talk set és vizuális hibahelykereső), és modulárisak, ami korábban csak a mainframe OTDR-ek sajátja volt.

A mini-OTDR népszerűvé vált a telepítés előtti és a karbantartási mérésekhez, ahol az egyszerű használat és a hordozhatóság rendkívül fontos.



36. ábra VIAVI T-BERD/MTS-2000 Mini-OTDR mérőműszer

Száljellemzők mérése

A legtöbb száljellemező-mérő platform moduláris, ami egy mainframe-ből, és különböző plug-in modulokból áll, amely utóbbiak utólag is hozzáadhatók a műszerhez, hogy az jobban megfeleljen a kívánt felhasználásnak. Ezek a műszerek általában a száljellemezők teljes körű mérésére is alkalmasak, beleértve a következő tesztek:

- Veszteségmérés
- Optikai reflexiós csillapítás (ORL)
- Optikai visszaszóródás mérés (OTDR)
- Polarizációs módus diszperzió (PMD)
- Kromatikus diszperzió (CD)
- Csillapítási profil (AP) vagy spektrális csillapítás (SA)



37. ábra VIAVI száljellemző-mérő platform

A száljellemző-mérő platformok részei a vezérlő, a kijelző, a kezelőszervek és egyéb opcionális modulok, mint például talk set, nyomtató és egyéb ki/bemeneti interfészek, modem, és merevlemez CD-ROM írási/olvasási lehetőséggel. A szükséges mérési képességek biztosításához a vezérlőhöz tesztmodulok csatlakoztathatók. A mérési mód függvényében az egyes tesztmodulok egy- vagy többféle mérési képességgel is rendelkezhetnek. Például egy tesztmodul CD/OTDR vagy AP/PMD mérési képességeket is nyújthat egyben, ezzel teljes száljellemzést téve lehetővé egyetlen kisméretű és könnyű egységgel.

A száloptikai összeköttetések elemzésének fő műszere az OTDR. Egy lézerforrásból és egy optikai detektorból áll, ami beállítható különböző hullámhosszokra és száltípusokra.

Nagysebességű (≥ 10 Gb/s) vagy rendkívül nagy távolságú rendszerek esetén a polarizációs módus diszperzió mérése is szükséges. A PMD mérésekhez többféle szabványos mód létezik, például a fix elemzős, az interferometriás vagy a Jones-Matrix elemzés. Mindegyik módszerhez szükség van a szál mindkét végéhez való hozzáférésre, amikor is a fényforrást a távoli végpontra csatlakoztatjuk.

A nagysebességű rendszerek másik fő korlátozó tényezője a kromatikus diszperzió. A CD mérésekhez is többféle szabványos mérési módszer létezik, ezek pl. a fázistolásos, a differenciális fázistolásos vagy az impulzuskéséses. Az impulzuskéséses módszer kivételével, a CD mérés végrehajtásához változtatható hullámhossz vagy széles spektrumú fényforrás szükséges. Az impulzuskéséses módszer egyvégpontos, ahol egy négyhullámhosszú OTDR működik CD elemzőként.

A csillapítási profil (AP) vagy a spektrális csillapítási profil mérés a lapos erősítésű hálózati összetevőket ellenőrzi. Az AP megoldás egy optikai spektrumanalizátort, egy szélessávú forrást (vagy szélessávú teljesítménymérőt) és egy változtatható fényforrást igényel.

Egyéb teszteszközök

Talk Set-ek

A talk set-ekkel hang vihető át a telepített optikai kábelben, így a szálakon dolgozó szakemberek a terepen is kommunikálhatnak egymással. Léteznek talk set-ek egymódusú és többmódusú alkalmazásokhoz is. A talk set-ekkel helyettesíthetők a mobil vagy földi telekommunikációs módok, amelyek nem mindig gazdaságosak vagy akár nem is tudnak működni az adott környezetben.

Vizuális hibahelykeresők

A vizuális hibahelykeresők (VFL-ek) vörös lézerek, amelyek bizonyos hibák szabad szemmel történő megkeresésére szolgálnak, akár 5km távolságig. A szálba látható fényt küldve, a szakemberek könnyen megtalálhatják a kábeltöréseket és túlzott hajlításokat, ahol a fény kilép a szálból. A VFL-ek különösen hasznosak patch kábelek, jumperek vagy rövid szálszakaszok folytonosságának vizsgálatára.



38. ábra Vizuális hibahelykereső

Továbbá, a VFL-ekkel szálhegesztésnél azonosíthatjuk az összekötendő szálakat, és OTDR-nél segíthetjük a holtzónában található hibák elemzését.

A legnépszerűbb VFL-ek HeNe forrással szereltek. A felhasználástól függően, a VFL-ek lehetnek 635nm-es, 650 nm-es vagy 670nm-esek, és ezen belül is lézerek vagy LED-esek.

- Nagyobb távolságra a 670 nm-es VFL-ek jobban használhatók
- A 635 nm-es VFL-ek nagyobb vizuális pontosságot adnak

Szálazonosítók

A szálazonosítók (fiber identifiers - FI) egymódusú szálak azonosíthatók, a rajtuk áthaladó optikai jelek érzékelésével. A nemdestruktív, makrohajlításos azonosítás lehetővé teszi, hogy a szálakat ne kelljen megszakítani. Az FI-k detektálni tudják a folyamatos hullámú jelet, az élő optikai átvitelt és a legtöbb 270Hz, 1kHz és 2KHz modulációjú jelet. Néhány modell LED-ekkel jelzi a szálban érzékelt forgalmat, annak irányát, és a modulált jeleket. Egyes FI-k képesek a szál relatív teljesítményét is mérni és kijelezni.



39. ábra Szálazonosító

Felcsatolható eszközök

A felcsatolható eszközökkel a szál megszakítása vagy megsértése nélkül végezhetünk teljesítményméréseket. Ezek az eszközök egy szabályozott sáv szálba csatolásával, a szálból kilépő fénytelsítmény alapján mérnek. Ezek a mérések elvégezhetők nem-intruzív módon (kis hajlítás) vagy intruzív módon (erős hajlítás).

Szálvizsgáló mikroszkópok

A szálvizsgáló mikroszkópok LED-es megvilágítással kiváló részletességű képet adnak a szálak sérüléseinek és szennyeződéseinek vizsgálatához. Egy jól elkészített csatlakozó egyenletes, polírozott, karcolásmentes felületű. A szálvizsgáló mikroszkópok használata erősen ajánlott optikai csatlakozók hibakereséséhez és a polírozott csatlakozási felületek vizsgálatához.



40. ábra Kézi szálvizsgáló mikroszkóp

Videós szálvizsgáló mikroszkópok

A videós szálvizsgáló mikroszkópokkal száloptikai lezárások vizsgálhatók. A LED-es fényforrással és CCD kamerával felszerelt eszköz a hardverekbe épített vagy csatlakozó panelbe rögzített csatlakozók vizsgálatára használható. A videós szálvizsgáló lehetővé teszi, hogy a csatlakozások ellenőrzéséhez ne kelljen a hardvert szétszerelni. Az eszközzel szálvégeket és pigtaileket is vizsgálhatunk.

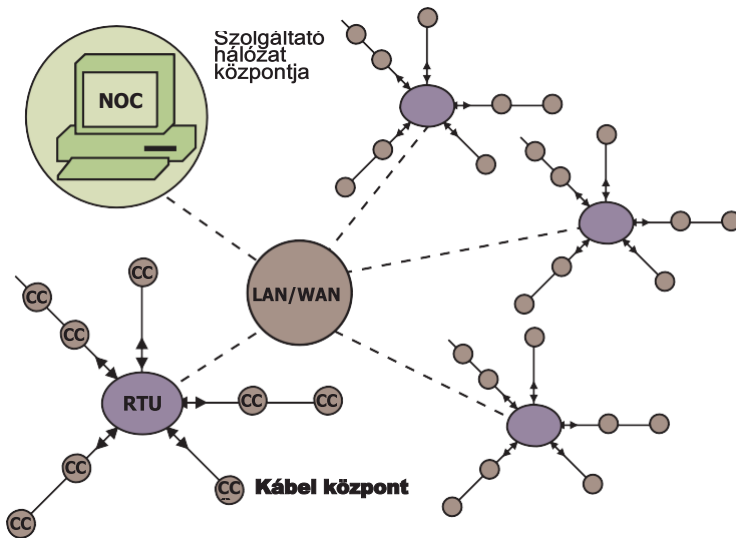


41. ábra Videós szálvizsgáló kézi kijelzővel

Felügyeleti rendszerek

A teszteszközök automatikus felügyeleti rendszerbe integrálhatók, és csatlakoztathatók egy hálózati üzemeltetési központhoz (network operation center - NOC). Egy ilyen rendszerrel a hálózat folyamatosan felügyelhető, és hibák fellépése esetén értesíteni tudja a szakembereket és a vezetőket.

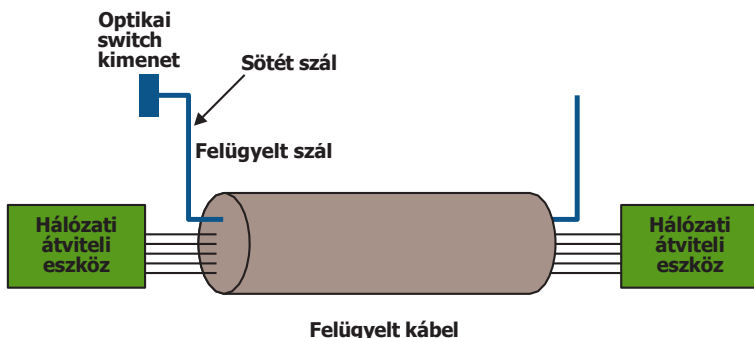
Használatával csökken a rendszerleállások ideje, a karbantartási és az üzemkimaradási költség, így az üzemeltető javítani tudja a szolgáltatásai minőségét, és költséghatékonyabb szolgáltatási szerződéseket köthet.



42. ábra Távfelügyeleti rendszer

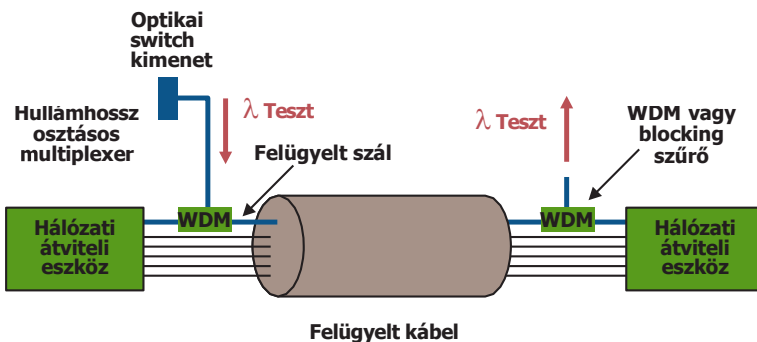
A felügyeleti rendszer egy központi irányítórendszerből és az optikai hálózat stratégiai pontjaira telepített távoli teszteszközökből (remote test unit - RTU) áll. Az RTU-k egy optikai switch-et tartalmaznak, amely az egyes szálak és az OTDR modul összekapcsolására szolgál.

A legtöbb hálózatüzemeltető kezdetben csak az összeköttetések katasztrofális hibáinak detektálására és leválasztására használt felügyeleti rendszert. Ilyenkor az RTU-t a többszál as összeköttetés egy vagy két nem használt (sötét) szálára kötötték. Így a katasztrofális hibák - például a teljes kábel átvágása – érzékelhetőkké váltak, és az összes szál at le lehetett kapcsolni.



43. ábra Összeköttetés felügyelete

Ha a teszteszközök az átviteltől eltérő hullámhosszon működnek, akkor hullámhossz-osztásos multiplexeléssel a távoli felügyelet az élő forgalmazással egyidejűleg is végezhető.



44. Összeköttetés üzem közbeni felügyelete

Optikai visszaszóródás mérő

3. fejezet

OTDR bevezetés

Az optikai visszaszóródás mérő (Optical Time Domain Reflectometer - OTDR) egy száloptikai mérőeszköz, amely optikai hálózatok és szálak mérésre szolgál. Az OTDR feladata az összeköttetés eseményeinek érzékelése, mérése és a helyük megállapítása.

Az OTDR egyik fő előnye, hogy egydimenziós "radarként" működik, így lehetővé teszi a szál teljes körű mérését egy végpontból. Az OTDR felbontása 4cm és 40m közötti.

Az OTDR használatával távolságtartománybeli információt kapunk az egyes visszaverődési és veszteségi eseményekről, így a szakemberek képszerű, permanens jelentéshez jutnak a vonal jellemzőiről.

Száljelenségek

Az OTDR elemzőképességének alapja a szálba becsatolt magas jelszintű fényből visszaverődő alacsony szintű jelek mérése. Ez a folyamat hasonlatos a radar működéséhez. Az OTDR működéséhez két optikai jelenséget használunk ki, a Rayleigh-szórást és a Fresnel reflexiót. A két jelenség közötti fő különbség a következő:

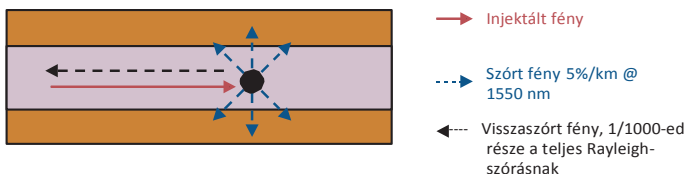
A Rayleigh-szórás a szál anyagának belső tulajdonságaiból ered, és a szál teljes hosszában jelen van. Mivel a Rayleigh-szórás a szálhossz mentén egyenletes nagyságú, a szórás diszkontinuitásainak segítségével azonosíthatók az összeköttetés egyes átviteli rendellenességei.

Ezzel szemben a Fresnel reflexiók pontszerű események, amik csak ott jönnek létre, ahol a szál levegővel vagy más, eltérő közeggel érintkezik, mint pl. mechanikus csatlakozásoknál, hegesztéseknél vagy egyéb kötésekénél.

Rayleigh-szórás és visszaszórás

Amikor a szálba injektálunk egy impulzust, a fotonok egy része a szál egyes mikroszkopikus részecskéin véletlenszerű irányokba visszaverődik. Ez a jelenség a Rayleigh-szórás, ami időbeli és amplitúdó információt szolgáltat a szál hosszán.

A fény egy része az impulzus terjedési irányával szemben verődik vissza, ezt hívjuk visszaszórásnak.



45. ábra Rayleigh-szórási és visszaszórási jelenségek a szálban

A 850, 1310 és 1550nm-es hullámhosszakon működő rendszerekben a legfőbb veszteség a szórási veszteség. Egy 1550nm-en működő egymódusú szál tipikus vesztesége 0,20 dB/km szórási együttható (α_s) mellett kb. az átvitt teljesítmény 5%-a kilométerenként.

A szál visszaszórási tényezője (S) megmutatja a visszaszórt és a szórt teljesítmény arányát. Az S jellemzően egyenesen arányos a numerikus apertúra (NA) négyzetével.

A szál szórási együtthatójától (α_s) és visszaszórási tényezőtől (S) függő optikai visszaszórási együttható (K) megmutatja a visszaszórt teljesítmény és a szálba injektált teljesítmény arányát. A szál 1 ns-os impulzusszélességre normalizált visszaszórási együtthatóját az alábbi egyenlet adja meg:

$$K_{ns} \text{ (dB)} = 10 \log K_s \text{ (-)} - 90 \text{ dB}$$

ahol a K_{ns} -80 dB, tehát az 1 ns impulzusszélességre normalizált visszaszórási teljesítmény -80dB-lel az injektált teljesítmény alatt van.

Fontos megjegyeznünk, hogy az 1 ns-nál -80dB-es együttható 1 μ s-ra átszámított megfelelője -50 dB.

$$K_{-s} \text{ (dB)} = K_{ns} \text{ (dB)} + 30 \text{ dB}$$

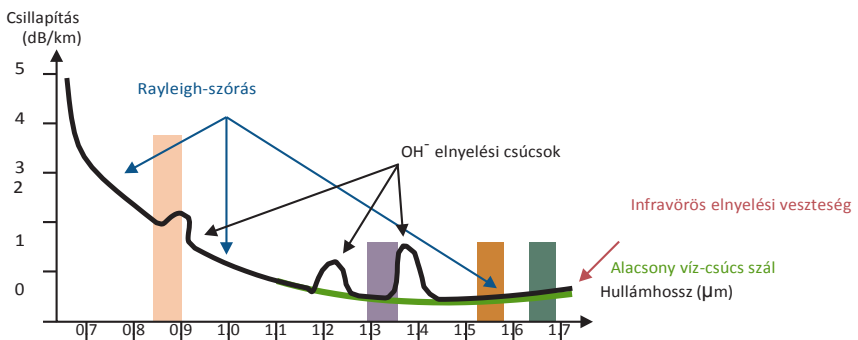
A Rayleigh-szórás jelenség hasonló ahhoz, mint amikor egy zseblámpával éjjel a ködbe világítunk. Ilyenkor a fénysugár a páracseppeken szóródik. A páracseppek nagyobb száma miatt, minél sűrűbb a köd, annál erősebb lesz a szóródás.

A visszaszórás nagysága függ a szálba küldött teljesítménytől P_0 , az impulzusszélességtől Δt (s), a visszaszórási együtthatótól $K(s-1)$, a távolságtól d (m) és a szál csillapításától (dB/km).

$$\text{Visszaszórás} = P_0 \cdot \Delta t \cdot K \cdot 10^{-\alpha d/5}$$

A szálban lévő szennyeződések ugyanígy növelik a visszaszórást, és ezáltal a szál kilométerenkénti csillapítását is. Az OTDR nagy pontossággal tudja mérni a visszaszórást, és annak a szál hossza mentén történő kis változásait is érzékeli.

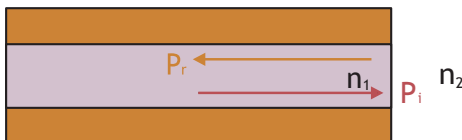
Míg a Rayleigh-szórás nagysága egy adott szál hossza mentén meglehetősen egységes, a különböző hullámhosszokon és gyártók szerint már nagy eltérések lehetnek (lásd alábbi ábra).



46. ábra Szálcsillapítás a hullámhossz függvényében

Fresnel reflexió

Fresnel reflexiónak nevezzük, amikor a fény két eltérő törésmutatójú anyag határáról visszaverődik. Ilyen határfelület létrejöhet szálillesztéseknél (csatlakozó vagy mechanikus kötés), lezárás nélküli szálvégeknél vagy szálszakadáskor.



47. ábra Fényvisszaverődési jelenség

Teljesítmény visszaverési tényező

A Fresnel reflexió nagysága a határfelület két oldalán lévő anyag törésmutatójának különbségétől függ. A visszavert fény teljesítményszintje a határfelület simaságától függ.

$$R = \frac{P_r}{P_i} = \frac{(n_1 - n_2)^2}{(n_1 + n_2)^2} ; \text{szál és levegő átmenet } R = 4\%$$

Visszaverődés

A visszaverődés vagy reflexió az összeköttetés egy optikai eleméről (csatlakozó vagy mechanikai kötés) visszaverődő fény mennyisége. dB-ben kifejezett nagysága a visszavert teljesítmény (P_r) és a szálba küldött teljesítmény (P_i) logaritmus aránya az adott pontban.

$$\text{Reflexió} = 10 \log P_r / P_i; \text{ dB-ben kifejezve } (\leq 0)$$

ahol P_r a visszavert teljesítmény (W), P_i a szálba küldött teljesítmény (W), n_1 és n_2 az anyagok törésmutatói.

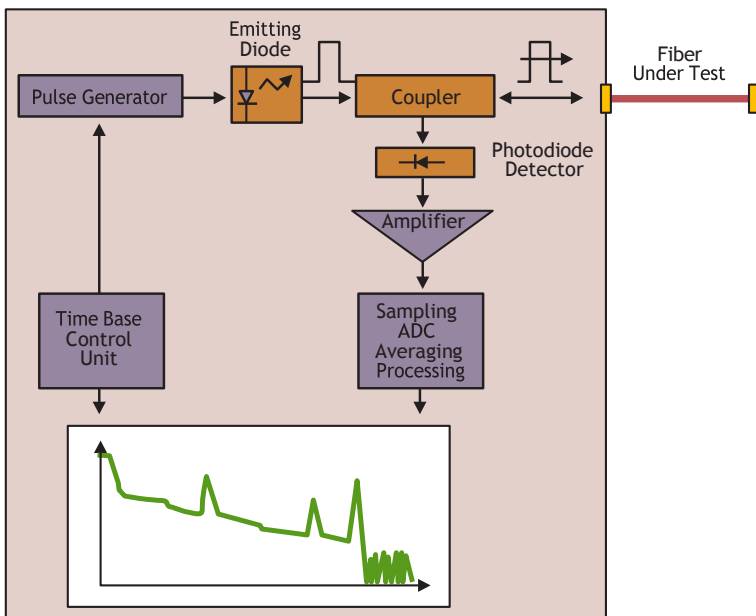
A szál-levegő átmenet elméleti reflexió értéke -14 dB. Ez akár négyezerszeresen meghaladhatja a visszaszórás értékét. Ez azt jelenti, hogy az OTDR-nak akár több nagyságrenddel eltérő teljesítményszintű jeleket is fel kell tudnia dolgozni. A csatlakozókon illesztett törésmutatójú gélt használva a Fresnel visszaverődés csökkenthető.

Az alábbi táblázat bemutatja a száloptikai átmenetek vagy szakadások jellemző reflexió értékeit.

Átmenet	Fresnel reflexió
Üveg-levegő	-14 dB
PC-PC csatlakozó	-35 dB-től -50 dB-ig
APC-APC csatlakozó	-55 dB-től -65 dB-ig

OTDR technológia

Az OTDR egy lézergyődióda és egy impulzusgenerátor segítségével fényt injektál a szálba. Egy csatolóval a visszatérő fényenergia elkülönítésre kerül a becsatolt jeltől, és a fotódiódára jut. Ezután a műszer az optikai jelet elektromos jellé alakítja, erősíti, mintavételezi, és megjeleníti a képernyőn.



48. ábra Az OTDR blokkvázlata

Kibocsátó diódák

A lézergyődiódák félvezető elemek, és elektromos áram hatására fényt hoznak létre. Ezen kibocsátó diódák a központi (vagy csúcs) hullámhossz, a spektrális sávszélesség vagy a kimeneti teljesítmény szerint kerülnek kiválasztásra.

Központi hullámhossz

A központi hullámhossz az a hullámhossz, amelyen a forrás a legnagyobb teljesítményt bocsátja ki. Ennek meg egyeznie a szükséges mérési hullámhosszal, pl. 850 nm, 1300 nm, 1310 nm, 1550 nm és 1625 nm vagy 1650 nm-rel. A központi hullámhossz megadása általában tűréssel együtt történik, ami leggyakrabban ± 30 nm és ± 3 nm közötti (bizonyos szabályzott hőmérsékletű lézereknél).

Spektrális sávszélesség

A dióda fénykibocsátása egy, a központi hullámhossz körüli hullámhossz tartományban történik. Ennek a tartománynak a szélessége a forrás spektrális sávszélessége.

Kimeneti teljesítmény

A legjobb eredmények érdekében célszerű a forrás teljesítményének lehető legnagyobb részét

a szálba csatolni, így biztosítható, hogy a vevőoldalon rendelkezésre álljon a detektáláshoz szükséges teljesítmény.

Az OTDR-okban a kibocsátó diódák két fő típusát használjuk, a LED-eket és a lézerdiódákat.

Fénykibocsátó diódák (LED-ek)

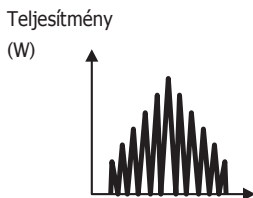
A fénykibocsátó dióda (LED) egy félvezető eszköz, amely egy viszonylag keskeny spektrumban bocsát ki fényt. A LED működése az elektrolumineszcencia egy formáján alapul. Általánosságban a LED-ek a lézereknél kisebb teljesítményűek és olcsóbbak. A LED-eket többnyire többmódusú OTDR alkalmazásokban (850 és 1300 nm) használjuk.

Lézerdiódák

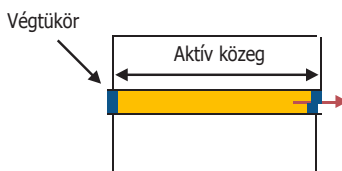
A lézer (fényerősítés indukált fénykibocsátás útján) egy olyan optikai forrás, amely koherens sugárban bocsát ki fotonokat. A lézerfény egy keskeny sugárban kibocsátott egyhullámhosszú sugárzás.

Fabry-Perot lézer

A Fabry Perot (FP) lézer az OTDR-ekben leggyakrabban használt lézerforrás. Költséghatékony, és magas kimeneti teljesítményszint jellemzi. Legfőképp egymódusú, 1310 nm, 1550 nm, és 1625 vagy 1650 nm-es alkalmazásokban használjuk. Az FP lézerek több, diszkrét hullámhosszon sugároznak, 5 és 8 nm közötti spektrális sávszélességgel.



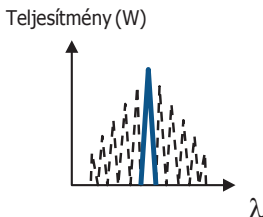
49. ábra Az FP lézer spektruma



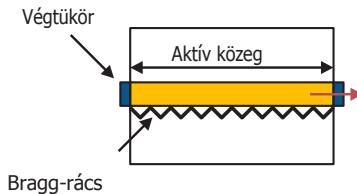
50. ábra Az FP lézer felépítése

Elosztott visszacsatolású lézer

Az elosztott visszacsatolású lézerek (distributed feedback (DFB) laser) sokkal precízebbek, mint az FP lézerek, kimeneti teljesítményük azonban elmarad azokétól. Az FP lézerek sok felharmonikust bocsátanak ki 5 és 8nm-en belül, a DFB lézerek azonban gyakorlatilag csak egy fő hullámhosszon sugároznak, <0.1 nm-es spektrális sávszélességgel.



51. ábra A DFB lézer spektruma



52. ábra ADFB lézer felépítése

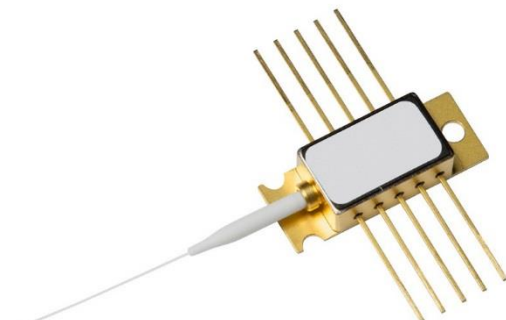
A DFB lézer felépítése szinte megegyezik a FP lézerével, a különbség annyi, hogy a DFB-nél a két végtükör között egy Bragg-rács is található.

Jellemző	LED-ek	Lézerek
Kimeneti teljesítmény	A meghajtó árammal egyenesen arányos	A küszöbérték felett az árammal egyenesen arányos
Áram	Meghajtó áram: 50 - 100 mA (csúcs)	Küszöbáram: 5 - 40 mA
Csatolt teljesítmény	Mérsékelt	Magas
Sebesség	Kisebb	Nagyobb
Kimeneti minta	Magasabb	Alacsonyabb
Sávszélesség	Kisebb	Nagyobb
Elérhető hullámhosszok	0,66 – 1,65 μm	0,78 – 1,65 μm
Spektrális sávszélesség	Szélesebb (40 - 190 nm FWHM)	Keskenyebb (0.00001 - 10 nm FWHM)
Száltípus	Csak többmódusú	Egy- és többmódusú
Felhasználás	Egyszerűbb	Bonyolultabb
Élettartam	Hosszabb	Hosszú
Költség	Alacsony	Magas

Impulzusgenerátor használata lézerdiódával

Egy lézerdiódát egy impulzusgenerátor vezérel, amely erős fényimpulzusokat (10 mW - 1 W) küld a száalba. Az impulzusok szélessége nagyságrendileg 2 ns-től 20 μs -ig terjedhet, gyakoriságuk néhány kHz. Az impulzusszélességet a szakember választhatja ki a mérési igényeknek megfelelően. Az ismétlési sebességet az előző impulzus visszaérkezése korlátozza, új impulzus csak az előző visszaérkezését követően küldhető ki. A mért száalba lépés előtt a fény áthalad egy elosztón/csatolón.

Az OTDR megméri az impulzus kiküldése és visszaérkezése közötti időt, ezért hívjuk visszaszórásos időalapú mérésnek. A visszaszórt és a visszavert jel teljesítményét folyamatosan mintavételezzük. Minden vett minta egy adatpont, ami a visszaérkezési időpontja és amplitúdója alapján egy függvényben megjeleníthető.



53. ábra Egy lézer komponens
(a Lumentum Operations LLC képe)

Ezt követően az OTDR az idő információt a felhasználó által megadott szál-törésmutató alapján távolság információvá konvertálja.

A felhasználó által megadott törésmutató nagysága fordítottan arányos a fény terjedési sebességével a szálban. Ezután az OTDR a távolság információt megjeleníti a kijelzőn. Az OTDR az időből adódó távolságértéket megfigyeli, mivel a visszaérkező impulzus a valós távolságot kétszer tette meg (oda-vissza). Ha a felhasználó rosszul adja meg a törésmutatót, akkor az OTDR mérési eredményei sem lesznek pontosak.

A terjedési sebesség vagy csoportkésés a szálban:

$$V = c/n \approx 3 \cdot 10^8 / 1,5 = 2 \cdot 10^8 \text{ m/s}$$

ahol V a csoportkésés, c a fénysebesség vákuumban ($2,99792458 \times 10^8 \text{ m/s}$), n pedig a törésmutató. Az OTDR idő-távolság átváltás (oda-vissza):

$$L = V \cdot t/2 = \frac{c \cdot t}{2 \cdot n} = 10^8 \cdot t$$

ahol L a távolság (m), V a csoportkésés, t az impulzusszélesség (s), a fénysebesség vákuumban ($2,99792458 \times 10^8 \text{ m/s}$), n pedig a törésmutató.

Például: 10 ns impulzusszélességnél, $L = 10^8 \times 10 \text{ ns} = 1 \text{ m}$

Fotodiódák

Az OTDR fotodiódákat kifejezetten úgy tervezték, hogy képesek legyenek a visszaszórt gyenge fény érzékelésére, amelynek szintje a lézerdíóda fényének csupán 0.0001%-a is lehet. A nagy érzékenység mellett a fotodiódáknak tudniuk kell érzékelni a viszonylag nagy teljesítményű visszavert fényt is. Ez a nagy szintkülönbség nehézségeket okozhat az OTDR mérési eredmények elemzése során.

Ahhoz, hogy a használt impulzusszélességeknek és jelszinteknek megfeleljen, a fotodióda és az erősítő áramkörök sávszélességének, érzékenységének, linearitásának és dinamikatartományának kiválasztása nagy gondosságot igényel.

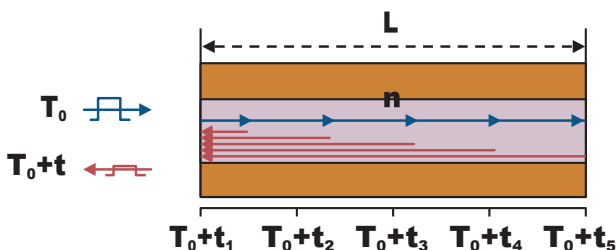


54. ábra Fotodióda példák
(a Lumentum Operations LLC képe)

Időalap és vezérlőegység

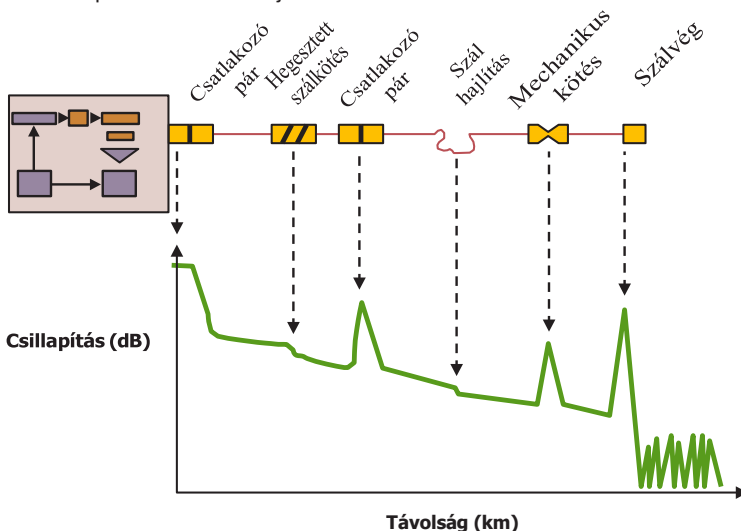
A vezérlőegység az OTDR agya. Beolvassa az adatpontokat, elvégzi az átlagolási számításokat, meghatározza a belőlük eredő logaritmikus görbét az idő függvényében, majd megjeleníti az eredményeket a kijelzőn.

Az időalap szabályozza az impulzusszélességet, a frekvenciát és a mintavételezést. Több impulzus átfuttatásával javítható a jel-zaj viszony és az eredő görbe pontossága. Mivel a zaj véletlenszerű, egy adott távolságra lévő pont méréséhez az OTDR több adatpontot gyűjt be és átlagol. Ez lehetővé teszi a zaj hatásának csökkentését, így az eredmény pontosabban megközelíti az adott pont valós visszaszórását és visszaverését. Az OTDR akár 128,000 adatpontot is felvehet, és több ezer impulzust is kiküldhet. Hogy ezekkel a feladatokkal megbirkózzon, és gyors elemzésekkel szolgálhasson a szakembereknek, az OTDR-hez nagyteljesítményű processzor szükséges.



55. ábra OTDR impulzus visszaverődések

Az OTDR a dB-ben számított csillapítást a függőleges, a kilométerben (vagy lábban) mért távolságot a vízintes tengelyen jeleníti meg. A mért szál visszaverődési görbéjének megrajzolásához a műszer nagyszámú mérési pont adatait használja fel.



56. ábra Tipikus OTDR görbe

OTDR specifikáció

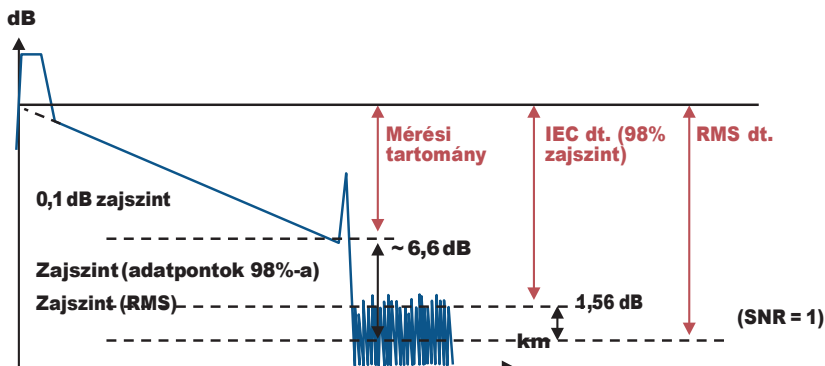
Dinamikatartomány

Az OTDR egyik legfontosabb jellemzője a dinamikatartomány, mivel ez határozza meg a műszer által mérhető maximális szálhosszt. Így meghatározza azt is, hogy az adott műszer alkalmas-e a vizsgált hálózat mérésére. Minél magasabb a dinamikatartomány, annál kedvezőbb a jel-zaj viszony, pontosabb a csillapítási görbe, és jobb az eseményérzékelés. A dinamikatartomány meghatározása viszonylag nehéz, mivel nincs minden gyártóra vonatkozó, szabványosított mérési módja.

A dinamikatartomány definíciói

A dinamikatartomány megadható a visszaszórási görbe közeli szálvégre extrapolált pontja (az extrapolált görbe és a teljesítmény tengely metszéspontja) és a szálvégi alapzaj maximumának különbségeként. A dinamikatartományt dB-ben fejezzük ki. Mérése kb. három percig tart, és az eredményeket átlagoljuk.

A referencia zajszinttől függően, a dinamikatartománynak többféle definíciója létezik. A különböző definíciók szerint számított értékek nem feltétlenül összehasonlíthatók.



57. ábra A különböző dinamikatartomány definíciók

IEC (a zajszint adatpontjainak 98%-a)

A dinamikatartomány meghatározásának egyik módszere az, ahol a zaj felső szintjét úgy határozzuk meg, hogy az a dinamikatartomány felső határa, amibe a zaj adatpontjainak 98%-a még belesik. Ezt a definíciót az International Electrotechnical Commission (IEC) IEC 61746 szabványa is támogatja, és ez a meghatározás a Telcordia ajánlása is egyben.

RMS

Az RMS (root mean square) dinamikatartomány számítási módszer szerint (amit SNR=1-ként is említenek) a dinamikatartomány a visszaszórási görbe közeli szálvégre extrapolált pontja (az extrapolált görbe és a teljesítmény tengely metszéspontja) és a zajszint négyzetes középértéke közti különbség. Ha a zaj Gauss-eloszlást követ, akkor 1.56dB kivonásával az RMS érték átszámítható az IEC 61746 definíció szerinti értékre.

N=0.1 dB

Ez a definíció támpontot ad a szakembereknek az OTDR korlátainak megítéléséhez 0,1dB zajszint mellett. A különbség az $N=0,1$ és az $SNR=1$ (RMS) módszer által számított eredmények között 6,6 dB. Ez azt is jelenti, hogy egy 28 dB ($SNR=1$) dinamikatartományú OTDR egy 0,1dB szintű száleseményt 21,4dB dinamikatartománnyal tud mérni.

Szálvég érzékelés

A szálvég érzékelés (end detection) alapján meghatározott dinamikatartomány nagysága az egy irányra számított különbség a szálkezdeti 4%-os Fresnel reflexió felső szintje és az RMS zajszint között. Az így számított érték kb. 12dB-lel magasabb az IEC értéknél.

Telcordia mérési tartomány

Az OTDR Telcordia szerinti mérési tartománya az a maximális csillapítás (egyirányú), amit az optikai kimenet és a mért esemény közé helyezve a műszer még pontosan azonosítani tudja az eseményt. Négyféle ilyen tartomány határozható meg:

Szálkötési veszteség mérési tartománya

Szálcscillapítási együtttható mérési tartománya

Nem visszaverő szálvég mérési tartománya

Visszaverő szálvég mérési tartománya

4% Fresnel reflexió

Ez a dinamikatartomány meghatározási mód inkább echometrikus mint reflektometrikus módszer. Értéke az a maximális távolság, amelyről a műszer még érzékelni tudja a távoli szálvéget. Ez a zaj csúcserősségénél 0,3dB-el magasabb minimumértéket vehet fel.

Bármelyik zajdefiníciót is használjuk, a dinamikatartomány csupán az OTDR görbe két szintje (a maximális jelszint és az alapzaj) közötti csillapítást adja meg. Minél közelebb van a jel az alapzajhoz, annál zajosabbá válik.

Az egyes definíciók dinamikatartomány értékei különböző mérési feltételek szerint is megadhatók.

Jellemző érték

Ez a gyártott OTDR-ok valós, átlagos dinamikatartománya. Ez a katalógusban specifikált értékhez képest tipikusan kb. 2dB-lel jobb.

Specifikált érték

A gyártó által megadott minimális dinamikatartomány, amit a műszer mindenképp teljesít.

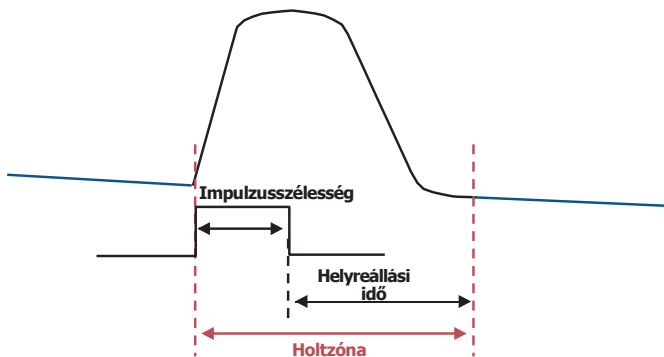
Hőmérséklet tartományra vagy szobahőmérsékletre megadott érték

A normáltól eltérő magas vagy alacsony hőmérsékleteken a dinamikatartomány jellemzően 1 dB-lel csökken.

Holtzóna

Mi a holtzóna?

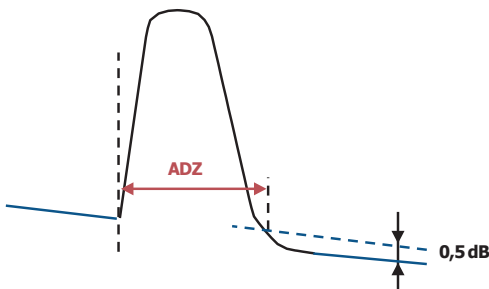
Az OTDR feladata az összeköttetés teljes hosszából visszaverődő fény mérése. Ezen visszaverődések teljesítményszintje sokkal alacsonyabb, mint az injektált impulzusé. A visszatérő jelet vevő fotodióda is ehhez az alacsony jelszinthez lett kiválasztva. Amikor a visszaverődés nagysága jelentősen meghaladja a szokásos mérési szintet (pl. a mérőimpulzus injektálása közben), a fotodióda telítésbe megy át. A telítést okozó jel megszűnése után a fotodiódának még némi időre van szüksége a telítésből való visszatéréshez. Ezen idő alatt a visszaverődések pontos mérése nem lehetséges. A szálszakasz, amit ezen jelenség ideje alatt (impulzusszélesség + dióda helyreállási idő) nem tudunk megfelelően mérni a holtzóna.



58. ábra OTDR holtzóna

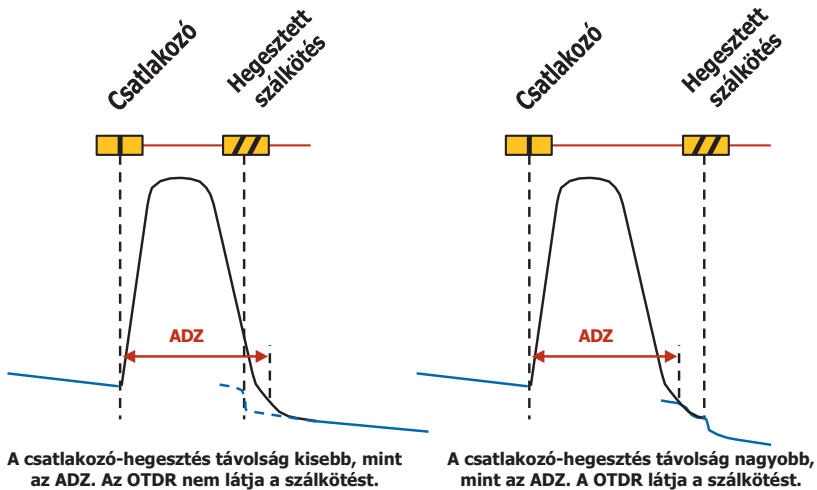
Csillapítási holtzóna (Attenuation Dead Zone - ADZ)

Az IEC 61746 szabvány szerint az adott visszaverődési vagy csillapítási eseményre definiált holtzóna az esemény utáni azon szakasz, ahol a megjelenített görbe a zavartalan visszaszórási görbétől a függőleges DF értéknél (általában 0,5 vagy 0,1dB) nagyobb mértékben eltér. A Telcordia erre -30dB reflexiós értéket és 0,1dB veszteséget specifikál, és megad néhány helyet. Általánosságban, minél magasabb az OTDR-ba visszaverődő teljesítmény, annál nagyobb a csillapítási holtzóna.



59. ábra A csillapítási holtzóna mérése

A csillapítási holtzóna nagysága és helye függ az impulzusszélességtől, az első visszaverődési esemény reflexió értékétől, veszteségétől és a távolságától. Az ADZ megmutatja a visszaverődési esemény utáni minimális távolságot, amit követően egy nemreflektív esemény (pl. szálkötés) már ismét vizsgálható.



60. ábra ADZ és minimális távolság mérések

Kis impulzusszélességek esetén az ADZ nagyságát leginkább a fotodióda helyreállási ideje határozza meg, ilyenkor az ADZ hossza akár ötször-hatszor nagyobb lehet mint az impulzusé. Nagyobb impulzusszélességeknél az impulzus hossza lesz a domináns tényező. Elég hosszú impulzusok esetén, az ADZ hossza gyakorlatilag meg fog egyezni az impulzusével. Az OTDR-ra specifikált csillapítási holtzóna értéket általában a legkisebb impulzusszélességre értik.

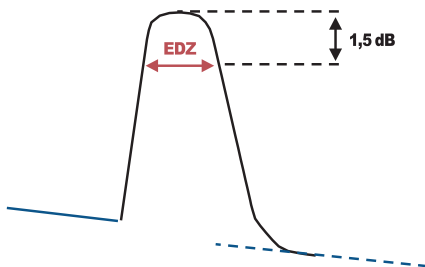
A Telcordia kétféle ADZ-t definiál: csatlakozási (front end) holtzónát és hálózati holtzónát. Kezdetben az OTDR csatlakozások erősen reflektívek voltak. Ez az gyakran okozott a hálózati visszaverődések által okozottnál is nagyobb holtzónát közvetlenül az OTDR előtt. Manapság az OTDR csatlakozások már alacsony visszaverődésűek, ezért nincs jelentős különbség a front end holtzóna és a hálózati holtzónák nagysága között.

Ha az OTDR előtti holtzóna túl nagy, az eredményekre gyakorolt hatása indítókábellel csökkenthető.

Esemény holtzónák

Visszaverődési események

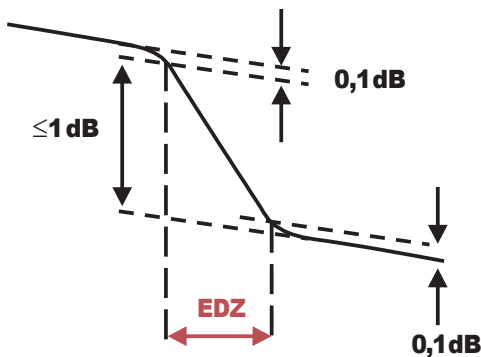
Egy visszaverődési esemény holtzónája visszaverődési görbe azon két pontja közti különbség, amelyek az esemény nem telített csúcsának két oldalán helyezkednek el, attól 1,5dB-el alacsonyabban (vagy FWHM-nél).



61. ábra Visszaverődési esemény holtzónája (EDZ)

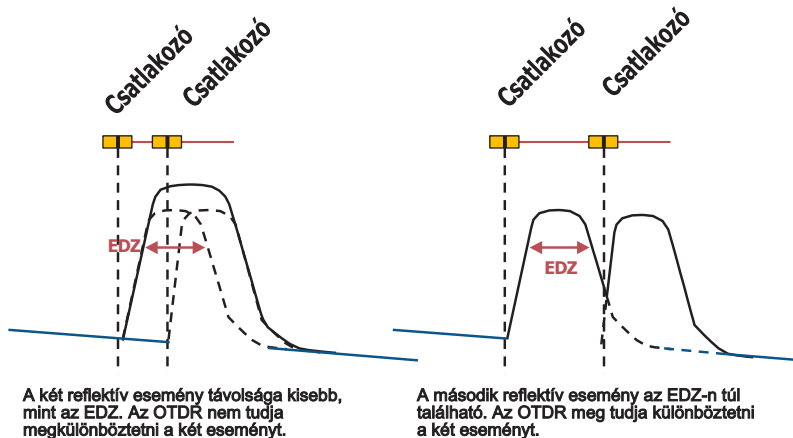
Nem-reflektív események

Egy nem-reflektív esemény holtzónája az a tartomány, amely az esemény intenzitásgörbéjén a az esemény kezdeti értékének 0,1 dB-el csökkentett és végértékének 0,1dB-el növelt pontjai között (melyek intenzitás különbsége ≤ 1 dB) található.



62. ábra Nem-reflektív esemény holtzónája (EDZ)

Az esemény holtzóna függ az impulzusszélességtől, így mértéke rövidebb impulzusokkal csökkenthető. A front end holtzóna eredményekre gyakorolt hatása indítókábelrel csökkenthető.



63. ábra Esemény holtzónák és csatlakozók megkülönböztetés az OTDR által

Az esemény holtzóna a két esemény közötti azon minimális távolság, amelynél azok már megkülönböztethetők. Ilyenkor az események elkülöníthetők, de veszteségük pontos nagysága még nem mérhető.

Felbontás

A felbontási paramétereknek négy fő típusa van: kijelző (kurzor), veszteség (szint), mintavételezési (adatpont) és távolság.

Kijelző felbontás

Kétféle kijelző felbontási érték létezik, a leolvasási és a kurzor. A leolvasási felbontás a kijelzett érték minimális felbontása. Például egy 0,031 dB-ként kijelzett csillapítási érték leolvasási felbontása 0,001 dB. A kurzor felbontás a minimális távolság- vagy csillapításérték két kijelzett pont között. Egy jellemző kurzor felbontás érték 1 cm vagy 0,001 dB.

Veszteség felbontás

A veszteség felbontást alapvetően az adatgyűjtő rendszer határozza meg. Nagysága a legkisebb teljesítménykülönbség, ami még mérhető. Értéke jellemzően 0,01 dB.

Mintavételezési felbontás

A mintavételezési (vagy adatpont) felbontás a minimális különbség, ami két adatpont között fennállhat. Ez a felbontás az impulzusszélességtől és az érzékelési távolságtól függően cm-nél is kisebb lehet. Általánosságban, minél több értéket felvehetnek az adatpontok, annál jobb a felbontás. Egy nagyfelbontású OTDR jellemző mintavételezési felbontása kb. 1cm.

Távolság felbontás

A távolság felbontás nagyon hasonló a mintavételezési felbontáshoz. Az OTDR eseményhely-meghatározási képessége leginkább a mintavételezési felbontáson múlik. Ha az OTDR csak 4cm-nek megfelelő időközönként mintavételez, akkor az események helyét is legfeljebb csak ilyen pontossággal tudja megállapítani. A mintavételezési felbontáshoz hasonlóan, a távolság felbontás is az impulzusszélesség és az érzékelési távolság függvénye. Ez az érték nem tévesztendő össze a távolságmérési pontossággal, amit alább részletezünk.

Pontosság

Linearitás (Csillapítási pontosság)

Az adatgyűjtő rendszer linearitása meghatározza, hogy a mért optikai szint és elektromossá alakított jelének nagysága mennyire felel meg egymásnak a teljes tartományban. A legtöbb OTDR $\pm 0,05$ dB/dB csillapítási pontossággal rendelkezik. Néhány OTDR eléri a $\pm 0,03$ dB/dB pontosságot. Ha egy OTDR nem lineáris, akkor egy hosszú szál esetén a szakaszvesztés értékek jelentősen változhatnak.

Távolságmérési pontosság

A távolságmérési pontosság a következő paraméterek függvénye:

Csoportindex

Egy törésmutató érték csak egy adott hullámhossz esetén pontos. A szálban terjedő különböző hullámhosszokra érvényes törésmutató a csoportindex, ettől eltérhet. Az OTDR távolságmérési pontosságát a csoport törésmutató eltérései befolyásolják.

Időalap hiba

Az időalap hibát a kvarc időmérő áramkör pontatlansága okozza, ennek mértéke általában 10^{-4} és 10^{-5} másodperc közötti. Az időalap hibából eredő távolsághiba kiszámításához az időalap hiba százalékos értékét meg kell szorozni a mért távolsággal.

Távolsághiba

A VIAVI T-BERD/MTS-8000 OTDR jellemző, eredő távolsághibája:

$$\pm 1 \times 10^{-5} \times \text{távolság} \pm 1 \text{ m} \pm \text{mintavételezési felbontás} \pm \text{csoportindex bizonytalanság}$$

Hullámhossz

Az OTDR különböző diszkrét hullámhosszokon mér. A jelenlegi leggyakoribb mérési hullámhosszok többmódusú szál esetén 850 és 1300 nm, egymódusú szál esetén pedig 1310, 1550 és 1625 vagy 1650 nm. Élő forgalomnál, távoli felügyeletre az 1625 nm-es lézertiódás adó használható. Az 1625 vagy 1650 nm-es hullámhosszt azért használjuk, hogy elkerüljük az interferenciát 1310 és 1550 nm körüli forgalommal.

Ritkábban ugyan, de más mérési hullámhosszok is előfordulnak:

- A 1244 és 1383 nm-es hullámhosszokkal csillapítási méréseket végezhetünk a szál elnyelési csúcseinak közelében. A nagy veszteségei miatt az 1244 nm-es hullámhosszt már nem használják, helyette az 1383 nm a preferált.
- Az 1420, 1450 és 1480 nm-es hullámhosszokat a Raman erősítésű rendszerekben használják.
- Az 1490 nm-es hullámhossza FTTH rendszerekhez használható.

Néhány OTDR kijelzi ugyan a méréshez használt pontos lézer hullámhosszt, de általában csak a jellemző hullámhosszt jelenítik meg.



Az optikai visszaszóródás mérő (OTDR) használata

4. fejezet

Bevezetés

Az OTDR sokoldalú és széles körben alkalmazható. Fontos, hogy az alkalmazásnak megfelelő OTDR-t használjuk. A közelmúlt moduláris fejlesztéseinek köszönhetően egyes OTDR-ok, mint például a VIAVI T-BERD®/MTS család, rugalmasan konfigurálható, így a család tagjaival szinte bármilyen hálózat, legyen az egymódusú vagy többmódusú, kis- vagy nagytávolságú tesztelhető.

Az OTDR mérés két fő lépésből áll:

Adatgyűjtés: Az OTDR begyűjti az adatokat, majd számszerűen vagy grafikusán megjeleníti azokat.

Mérés: A szakember elemzi az adatokat, majd az eredmények alapján eldönti, hogy menti vagy kinyomtatja őket, vagy továbblép a következő szál adatgyűjtésére.

Adatgyűjtés

A legtöbb korszerű OTDR automatikus konfigurációval rendelkezik, amelynek során teszt impulzusok kiküldésével automatikusan kiválasztja az adott szál vizsgálatához leginkább megfelelő mérési paramétereket. Az automatikus konfigurációnál a kezelőnek elég kiválasztania a hullámhosszt, az átlagolási időt és a szálparamétereket.

Az OTDR beállítása három módon történhet:

Az operátor egyszerűen elfogadhatja az automatikus OTDR konfiguráció során beállított paramétereket.

Az operátor elvégeztetheti a műszerrel az automatikus konfigurációt, majd ha szükségesnek ítéli, bizonyos paramétereket módosít benne.

A tapasztalt szakemberek kihagyhatják az automatikus konfigurációt, és maguk adhatják meg az adatgyűjtés minden paraméterét.

Többmódusú szálakból álló kábelek tesztelésénél az egyik szál mérése során automatikus konfigurációval beállított paramétereket általában elmentik, és a kábel többi szálát is aszerint mérik. Ez jelentősen lerövidíti az adatgyűjtési időt, és mivel a mérések azonos paraméterek szerint történnek, eredményeik könnyen összehasonlíthatók.

A következőkben az egyes adatgyűjtési paramétereket és az OTDR görbére gyakorolt hatásait tárgyaljuk.

Injektálási szint

Az injektálási szint az OTDR által a mért szálba csatolt fény teljesítményszintje. Minél magasabb az injektálási szint, annál nagyobb a dinamikataromány. Ha az injektálási szint alacsony, akkor az OTDR görbe zajos lesz, és romlik a mérési pontosság. A mérési pontosság romlásának fő okozója általában a rossz indítási feltételekből eredő alacsony injektálási szint. Az injektálási szint csökkenését leggyakrabban a csatlakozó felületeken lévő szennyeződések és rossz minőségű patch kábelek okozzák.

A fentiek miatt kiemelten fontos, hogy a rendszerben lévő csatlakozási pontok szennyeződésmentesek legyenek. Egymódusú rendszerekben 10 μm -nél is kisebb magátmérőjű szálak esetén egy 4 μm -es szennyeződés (kb. a cigarettafüst szemcsemérete) is nagymértékben csökkentheti az injektálási szintet.

A kereskedelemben elérhető optikai rendszerekhez való tisztítókészletek, az alapszintűektől kezdve, amelyek izopropil alkoholos tisztítóoldatot, Joseph papírt, sűrített levegős spray-t, impregnált törőkendőt tartalmaznak, egészen a legösszetettebbek tisztító rendszerekig, mint pl. a VIAVI CleanBlast™. Ha szennyezett csatlakozókat köt az OTDR-ra, azok megkarcolhatják az OTDR csatlakozófelületeit is, tartós indítási képességromlást okozva ezzel.

Néhány OTDR, mint pl. a T-BERD/MTS család, az adatgyűjtés során valós időben méri az injektálási szintet, és oszlopdiagramos formában, relatív skálázással (jótól rossz értékig) kijelzi.

Az injektálási szint relatív értékének megállapításához az OTDR a szál első, rövid szakaszát figyeli, megméri az impulzusból visszaszóródó jelet, és összehasonlítja a várt értékkel. Néha előfordulhat, hogy az OTDR az injektálási szintet nem elfogadhatóként jelzi ki, miközben az valójában megfelelő. Ilyen akkor történhet, ha elosztó vagy csillapító van a rendszerben az OTDR közelében. Ekkor a visszaszóródás alacsonyabb lehet a vártnál. Az injektálási szint az impulzusszélességgel növekszik, az OTDR azonban mindig az aktuális impulzusszélességhez igazítja az injektálási oszlopdiagram skáláját. Ezért, a skála minden impulzusszélesség esetén helyes, és az impulzusszélesség növelésével a rossz injektálási szint nem változik jóra.

OTDR hullámhossz

Egy optikai rendszer viselkedése hullámhosszfüggő. A rendszer a különböző hullámhosszokon különböző veszteségi jellemzőket mutat, és a különböző hullámhosszokon a szálkötési veszteségek is eltérhetnek.

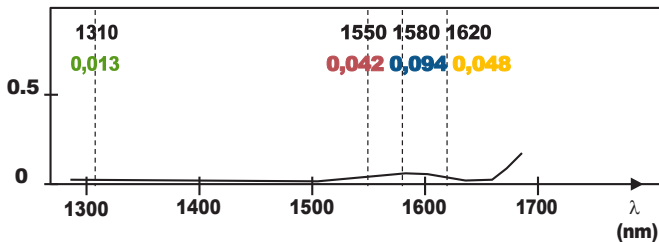
Általánosságban az adott szálát azon a hullámhosszon kell mérni, amelyen forgalmazni fog. Többmódusú rendszereknél leggyakrabban 850 és/vagy 1300 nm-t, egymódusúakban 1310 és/vagy 1550 nm-t használunk.

Ha csak egy hullámhosszon mérünk, a következőket kell figyelembe venni:

1. Azonos dinamikatarománynál, ugyanazon szál esetén, az alacsonyabb csillapítás miatt 1550 nm-rel messzebbre láthatunk, mint 1310 nm-rel.
- 0,35 dB/km veszteség 1310 nm-en kb. 1 dB elvesztést jelent 3 kilométerenként.
 - 0,2 dB/km veszteség 1550 nm-en kb. 1 dB elvesztést jelent 5 kilométerenként.
2. Az egymódusú kábel módusmező átmérője 1550 nm-en nagyobb, mint 1310-nm-en, és 1625 nm-en nagyobb, mint 1550-nm-en. A nagyobb módusmező átmérők kevésbé érzékenyek a szálkötések oldalirányú ofsztetjére, de érzékenyebbek a szálhajlítási sugárra.
- Az 1550 nm érzékenyebb a makro szálhajlításokra, mint az 1310 nm.
 - Egy 250 szálkötést vizsgáló Corning tanulmány kimutatta, hogy eltolt diszperziójú szálaknál, 1310 nm-rel mérve jellemzően 0,02dB-lel magasabb csatlakozási és szálkötési veszteségeket kapunk, mint 1550 nm-rel.

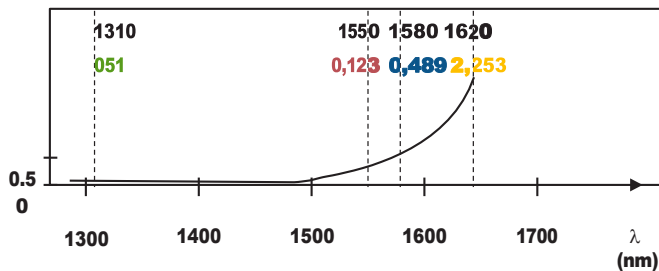
Mérés 1310/1550 nm-től 1625 nm-ig

Veszteség
(dB)



37,5 mm-es hajlítási sugar hatása

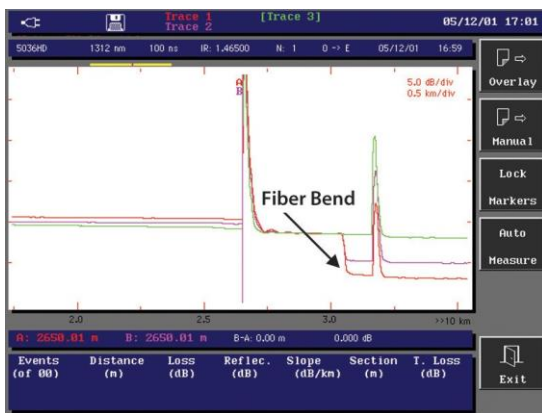
Veszteség
(dB)



30 mm-es hajlítási sugar hatása

64. ábra A szálhajítás hatása

Az OTDR ideális műszer az összeköttetésben található hajlítások megkeresésére. Alább a zöld görbe az 1310 nm-es mérés, az ibolyaszínű az 1550 nm-es, a piros pedig az 1625 nm-es.



65. ábra Az OTDR szálhajlítást jelez 3040m távolságban, 1550 és 1625 nm-rel mérve

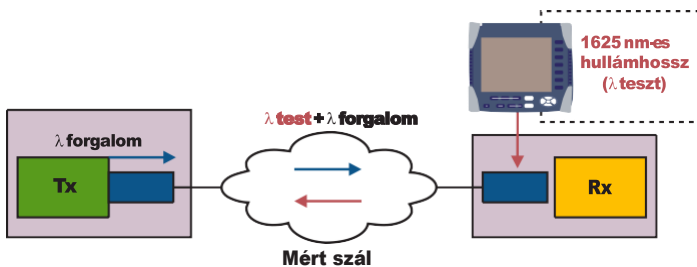
A hajlítás hatása nem új jelenség. Amikor az 1310 nm-en túl az 1550 nm-es hullámhossz széles körű használatba került, gyakran végeztek kifejezetten a hajlítások hatásának különbségeit vizsgáló méréseket. Hogy a hajlítások hatása a szálkötési hullámhosszfüggő hatásoktól elkülöníthető legyen, a szálkötések különböző hullámhosszokon történő előzetes vizsgálata is szükséges volt.

Most, hogy az OTDR mérésekhez már az 1625 nm-es hullámhosszt is használjuk, ugyanezen változók elemzése ismét szükséges.

Mikor mérjük az összeköttetést 1625 vagy 1650 nm-en?

A hálózatokat nem mindig szükséges 1625, vagy újonnan 1650 nm-en tesztelni. Ez általában három fő esetben szükséges.

1. Meglévő hálózatok fejlesztései: Különösen fontos az L vagy az U sávban történő működésre továbbfejlesztendő DWDM hálózatok esetén.
2. Új hálózatok telepítései: Korszerű teszteszközök használatával az 1625 (vagy 1650) nm-es teszt plusz időigénye az 1310/1550 nm-es mérésekhez képest elhanyagolható. Emiatt a legtöbb telepítő cég már mindhárom hullámhosszon ellenőrzi a hálózatot, akkor is ha egyelőre csak a rövidebbeken tervez átvitelt, mivel így a jövőbeli esetleges fejlesztések beüzemelésekor idő takarítható meg.



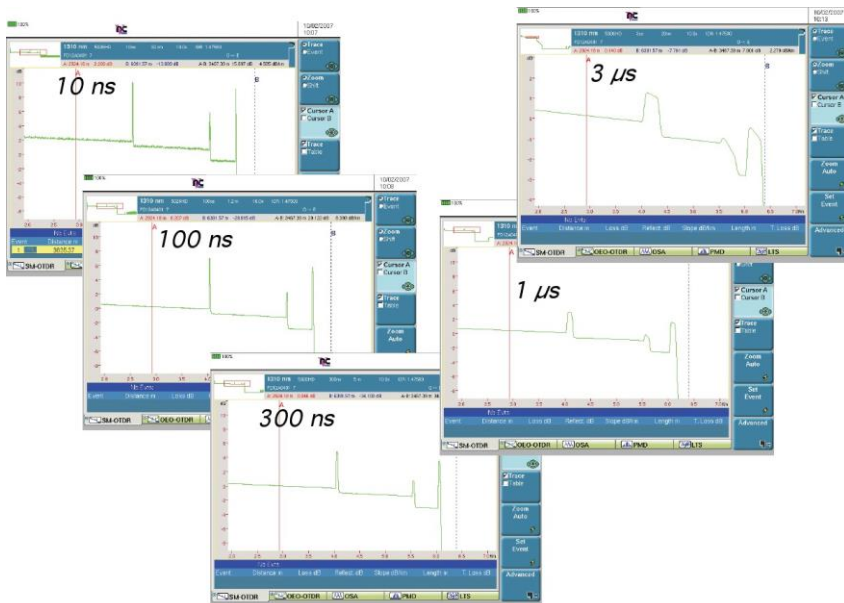
66. ábra Terjedéssel szembeni üzem közbeni mérés 1625 nm-en

3. Üzem közbeni mérések: Ez mindenfajta távoli száltesztelő rendszer közismert mérési módja. Az L sávon kívül működő, vagy tipikus PON hálózatok esetén, ha a hálózat végpontjain szabad porttal rendelkező csatló található, akkor 1625nm-en a terjedési iránnyal szembeni mérések végezhetők az 1310/1490/1550 nm-es átvitel zavarása nélkül. Amennyiben 1625 nm-en is élő forgalom van, az új OTDR-ek képesek 1650 nm-en is mérni. A terjedési iránnyal szembeni mérések egyik példája lézerforrással ellentétes oldalról végzett OTDR teszt. Nagy teljesítményszintű átviteli rendszerek esetén a mérési hullámhossz Raman-szórással szembeni kompenzálása szükséges.

Impulzusszélesség

Az OTDR impulzusszélességével szabályozhatjuk a szálba injektált fény mennyiségét. Minél hosszabb az impulzus, annál több a becsatolt fény. Minél több a becsatolt fény, annál nagyobb a szálból az OTDR-ba visszaszóró vagy visszaverődő fény mennyisége.

Nagyobb impulzusszélességgel messzebbre láthatunk a szálban. Az impulzusszélesség növelésével azonban a holtzónák mérete is nő. Ha a holtzónák csökkentése a cél, akkor az impulzusszélesség csökkentése a célszerű.



67. ábra Szálmérések különböző impulzusszélességekkel

Az impulzus tartamát idő és hossz alapján is meg lehet adni. Időben általában a nanoszekundum nagyságrendet használjuk. Az impulzus hossza a szálaban az alábbi egyenlettel számítható ki:

$$D = \frac{cT}{2n}$$

ahol c a fénysebesség vákuumban (2,99792458x10⁸ m/s), T az impulzus időtartama ns-ban, n pedig a szál (közeg) törésmutatója.

Ha egy 100 ns-os impulzus az adott közegben 10m hosszú, akkor az egyéb impulzushosszak:

Impulzusszélesség időben	5 ns	10 ns	100 ns	1 μs	10 μs	20 μs
Impulzus fizikai hossza	0,5m	1 m	10 m	100 m	1 km	2 km

68. ábra Impulzusok fizikai hossza a szálaban

Érzékelési távolság

Az OTDR érzékelési távolsága az a maximális távolság, amelyből még adatokat tud gyűjteni. Minél nagyobb a kívánt érzékelési távolság, annál messzebbre kell jutnia az impulzusoknak a szálaban. A távolságnak általában a távoli végpont távolságának kétszeresét adják meg. Helytelen megválasztása esetén a görbe valótlan jelenségeket is mutathat, pl. ún. szellemeket.

Átlagolás

Az OTDR extrém alacsony optikai teljesítményszinteken működik (akár csupán 100 foton / méter a szálaban). Átlagoláskor a műszer az egyes pontokat többször is megméri, majd az eredményeket átlagolja, ezzel javítva a jel/zaj viszonyt.

A szakember a mérések számával, azaz az átlagolási idő megadásával irányítja az OTDR átlagolási folyamatát. Minél hosszabb az átlagolási idő vagy minél nagyobb az átlagolt mérések száma, annál kisebb lesz egy véletlenszerű zaj hatása a mért görbére.

Az átlagolási idő (mérésszám) és a jel/zaj viszony javulása közötti összefüggés a következő egyenlet írja le:

$$\Delta \text{SNR} = 5 \text{Log}_{10} \sqrt{N}$$

ahol az N a két összehasonlított átlagolási idő aránya.

Megjegyzés: Az egyenletben a zaj eloszlását véletlenszerűnek tekintettük.

Például, a dinamikatartomány háromperces átlagolási idő esetén 1,2 dB-lel javul az egyperces átlagoláshoz képest.

Az átlagolási idő növelése a mintavételek számának növekedésén keresztül javítja a jel/zaj viszonyt, azonban ezzel egy időben a méréshez szükséges idő is növekszik. A fenti egyenletből az is látható, hogy a mintavételezési időt bizonyos szint fölé növelni már nem érdemes, mert a javulás az időigényhez képest elenyészővé válik. Például az átlagolási idő négyszeresére növelésével a dinamikatartomány már csak +1,5 dB-lel javul.

Szálparaméterek

A szál bizonyos paraméterei befolyásolják az OTDR eredményeket.

Törésmutató

A mért közeg törésmutatója (n) közvetlen hatással van a távolságmérésekre. Mielőtt két távolságmérés eredményét összehasonlítanánk, meg kell győződnünk róla, hogy azokat a megfelelő törésmutatóval végeztük. Ha optikai szálak esetén a gyártó által megadott törésmutató értéket használjuk, akkor biztosak lehetünk benne, hogy az OTDR távolságmérései a szálra vonatkozóan pontosak lesznek.

Hibakeresés során a szakemberek a kábel hosszát az OTDR segítségével határozzák meg. A szál és a kábel hossza azonban nem azonos. Eltérést okoz buffercsőben lévő extra szálhossz, és a buffercső nem egyenes (hélixes) nyomvonala a kábelben. A szálhossz és a kábelhossz aránya a hélix tényező. Ennek nagysága a kábelben található szálak számától, a kábel felépítésétől és a gyártójától függ.

Ha a gyártó meg is adja a hélix tényezőt, még annak pontatlansága is jelentős mérési hibát okozhat. Ezért általában javasolt egy hasonló felépítésű kábel ismert hosszúságú szakaszát megmérni, és ezáltal meghatározni a kábel effektív törésmutatóját. Ezzel a törésmutatóval az OTDR már közvetlenül a valós kábelhossz szerinti távolságértékeket tudja kijelzeni.

Visszaszórási együttható

A visszaszórási együttható (K) megadja az OTDR-nak az adott szál relatív visszaszórási szintjét. A visszaszórási együttható beállítása a gyárban történik, és a kezelő általában nem módosítja ezt. Az együttható nagysága befolyásolja a reflexió és optikai reflexiók csillapítás mérési eredményeit.

Míg az alapfeltételezés szerint a visszaszórási együttható nagysága a szál hossza mentén egységes, kisebb eltérések mégis előfordulhatnak az egyes szálszakaszok között. Ez mérési rendellenességeket okozhat, mint például látszólag erősítéssel bíró szálszakaszok jelentését.

Jellemző visszaszórási együtthatók 1 ns impulzushossz és különböző száltípusok esetén:

Szabványos egymódusú szál

- 79 dB 1310 nm-en
- 81 dB 1550 nm-en
- 82 dB 1625 nm-en

Szabványos többmódusú szál

- 70 dB 850 nm-en
- 75 dB 1300 nm-en

Mérés

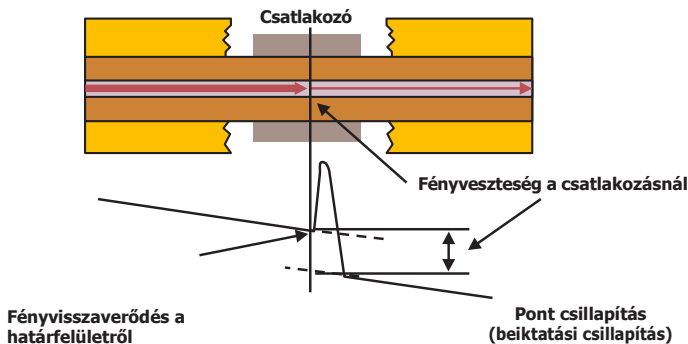
A legtöbb korszerű OTDR teljesen automatikusan végzi a méréseket, elenyésző operátori adatbevitellel.

Események

Általánosságban kétféle eseményt különböztetünk meg: reflektív és nem-reflektív.

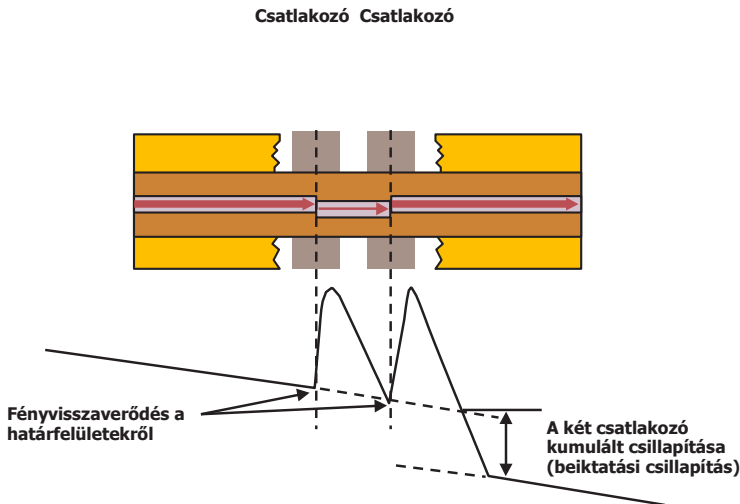
Reflektív események

A reflektív eseményeket a szál folytonosságai hibái okozzák, ott, ahol hirtelen változás történik a törésmutatóban. Ilyen helyek a száltörések, a csatlakozási felületek, a mechanikai szálkötések vagy a lezáratlan szálvégek. A csatlakozók reflektív vesztesége jellemzően 0,5 dB. Mechanikai szálkötéseknél a veszteség tipikusan 0,1 – 0,2 dB.



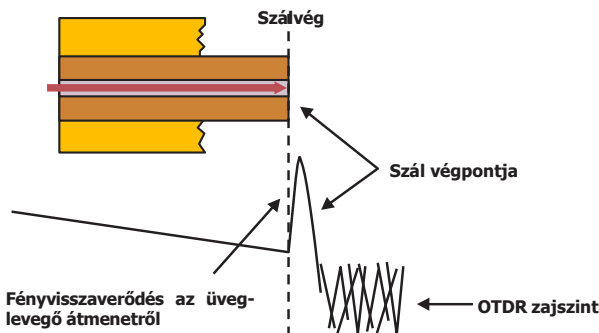
69. ábra Reflektív esemény egy csatlakozónál

Ha két reflektív esemény nagyon közel van egymáshoz, akkor az OTDR-nak nehézséget okozhat a két veszteség elkülönítése. Ilyenkor a két esemény együttes vesztesége kerül kijelzésre. Ez jellemzően rövid szálak, pl. jumperek mérésekor következhet be.



70. ábra Két, egymáshoz közeli visszaverődési esemény

Szálvég esetén, a visszaverődési esemény egészen a zajszintig csökken, így a csillapítás nem kerül kiszámításra.



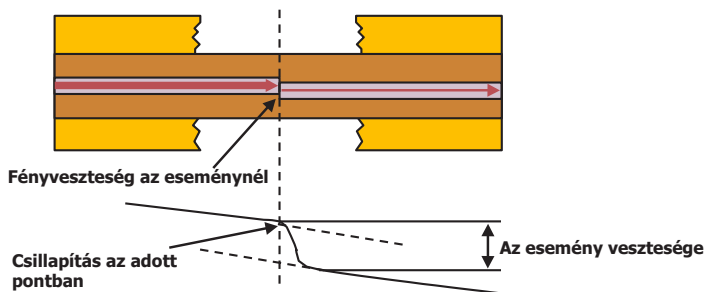
71. ábra Visszaverődési esemény a szálvégnél

A szálvégek nem-reflektív eseményeket is okozhatnak. Ilyenkor reflexió nem mérhető.

Nem-reflektív események

Ahol nincs diszkontinuitás a szálban, ott nem-reflektív események jöhetnek létre. Ezek általában szálkötési veszteségek illetve a makrohajlítási veszteségek. A szálkötési veszteség jellemző értéke a szálhegesztőtől és kezelőjétől függően 0,02 dB – 0,1 dB.

Nem-reflektív eseményeknél a csillapítás erősítésnek is tűnhet, emelkedésként megjelenve az OTDR görbén.



72. ábra Nem-reflektív esemény

OTDR mérések

OTDR-ral a következő mérések végezhetők:

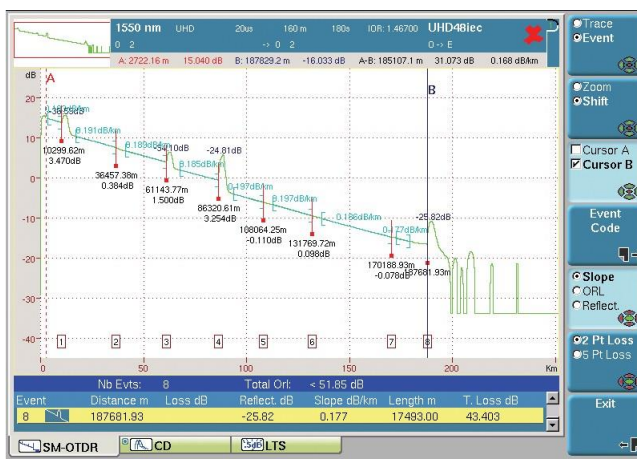
- Minden eseménynél: távolság, veszteség, reflexió
- Minden szakaszakra: szakaszhossz, szakasz veszteség (dB), szakasz veszteség ráta (dB/km), és szakasz optikai reflexió csillapítás (ORL)
- A teljes, lezárt rendszerre: összeköttetés hossz, teljes összeköttetés veszteség (dB) és teljes ORL

Mérési módszerek

Az OTDR lehetővé teszi a szál három különböző módon történő mérését: teljesen automata, félautomata és kézi. A kezelő ezen módszerek keverékét is használhatja.

Teljesen automata mérés

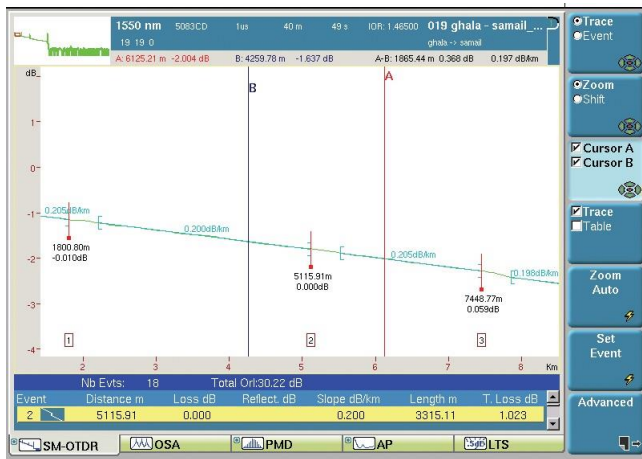
Teljesen automata mérés esetén az OTDR minden eseményt, szakaszt és szálvéget automatikusan, a saját mérési algoritmus szerint vizsgál.



73. ábra Automatikus eseményérzékelés a VIAVI T-BERD/MTS platformon

Félautomata mérés

Félautomata méréskor az OTDR megméri és jelenti az összes olyan hely eseményeit, amit marker jelöl. A markerek elhelyezése történhet manuálisan vagy automatikusan.



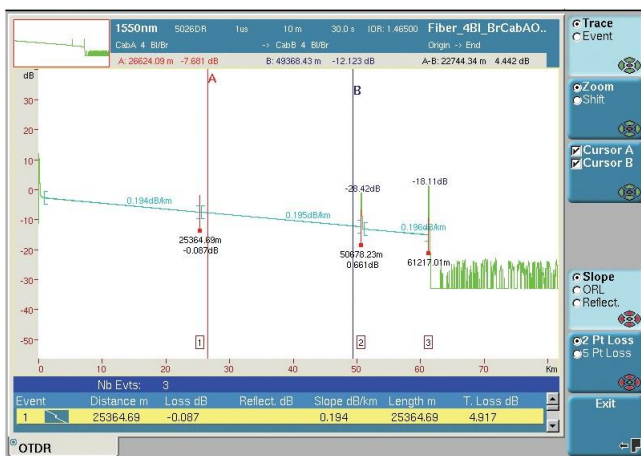
74. ábra Félautomata eseményérzékelés a VIAVI T-BERD/MTS platformon

A félautomata mérési funkció különösen szálszakaszok elfogadási vizsgálatánál (pl. szálhegesztés után) lehet hasznos, amikor is a kezelő teljes körűen megméri az adott szakasz minden eseményét. Az automatikus mérés nem fog nulla csillapítású nem-reflektív eseményeket megjeleníteni, de ha az adott helyre félautomata módban markert helyezünk, akkor jelentést kapunk a nulla veszteségű eseményről is.

A görbe számítógépes szoftverrel, pl. a VIAVI OFS-100-zal történő további elemzése lehetővé teszi a szakasz kétirányú elemzését. A félautomata mérési funkció fix markerhelyekkel történő használata biztosítja a konzisztens eseményszámot, akár szálát, akár mérési irányt váltunk teszt közben.

Kézi mérés

Még részletesebb elemzésekhez vagy különleges körülményekhez a kézi mérési mód használatával a kezelő teljes mértékben irányíthatja a mérést. Ilyenkor, az OTDR eseménymérésének irányításához, a kezelő kettő vagy több kurzort helyez a szárlra. A mért paramétertől függően akár 5 kurzor elhelyezése is szükséges lehet. Bár ez a legkörülményesebb mérési mód, használata néha mégis elkerülhetetlen, léteznek ugyanis különleges konstrukciójú szálszakaszok, amelyek vizsgálata automata módban jóval bonyolultabb lenne.

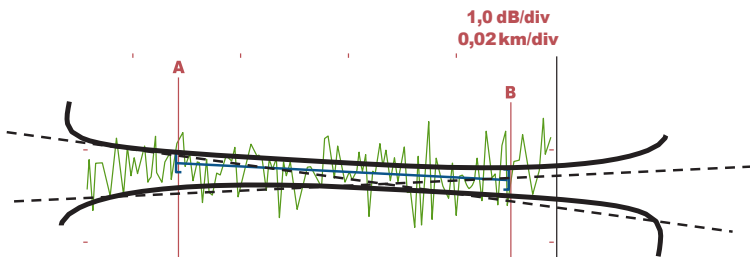


75. ábra. Kézi mérés az A és B kurzorokkal

Meredekség

A meredekség vagy másképpen a szál lineáris csillapítása (dB/km-ben) a kétpontos vagy a legkisebb négyzetek közelítési (least squares approximation – LSA) módszerével mérhető. Az LSA módszer megpróbálja meghatározni azt a mérési vonalat, amely a legjobban illeszkedik a gyűjtött adatpontokra.

Az LSA módszer a legpontosabb mód a szál csillapításának mérésére, de folytonos szálszakaszt, bizonyos minimális számú adatpontot, és viszonylag tiszta, zajmentes visszaszórt jelet igényel.



76. ábra Kétpontos mérés az A és B kurzorok között

A meredekség (dB/km) standard szórása a következőktől függ:

- A helyi zajszinttől (és eloszlásától)
- Az LSA módszer által használt adatpontok számától

A szakaszvesztesség kifejezhető dB-ben vagy dB/km-ben. A jellemző veszteségértékek 1550 nm-nél: 0,17 – 0,22 dB/km, 1310 nm-es egymódusú rendszereknél 0,30 – 0,35 dB/km, 1300nm-es többmódusú rendszereknél 0,5 – 1,5 dB/km, 850 nm-es rendszereknél pedig 2 – 3,5 dB/km.

Esemény veszteség

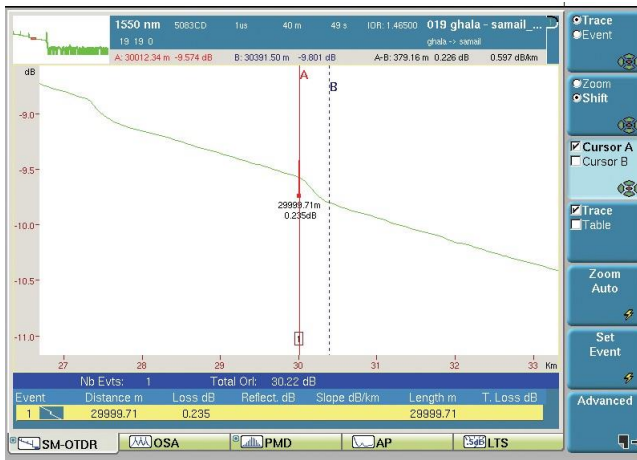
Kézi mérésnél kétféleképp mérhetünk esemény veszteséget: a kétpontos vagy az ötpontos módszerrel.

Kétpontos módszer

A kétpontos módszernél a kezelő az egyik kurzort az esemény előtti lineáris visszaszórási szintre mozgatja, a másikat az esemény utáni lineáris visszaszórási szintre. Az esemény vesztesége a két kurzor által mért szintek különbsége.

Ez a módszer reflektív és nem-reflektív eseményekhez is használható. A módszer pontossága attól függ, hogy a kezelő mennyire pontosan tudja a kurzorokat a megfelelő helyre mozgatni. A mért értékeket befolyásolhatja a nagy maradékszaj. Ha a görbe nagyon zajos vagy tüskés, akkor a kezelőnek meg kell próbálnia a kurzorokat olyan pozícióba mozgatni a görbén, ahol éppen nem egy tüskére vagy egy beszakadásra esnek. Ez az eljárás gyakorlatilag a görbe vizuális átlagolása.

Ha kétpontos méréssel vizsgálunk egy pontszerű eseményt, például egy szálkötést, akkor nem szabad elfelejtenünk, hogy ilyenkor az esemény mért veszteségéhez a kurzorok közötti szálszakasz vesztesége is hozzáadódik.



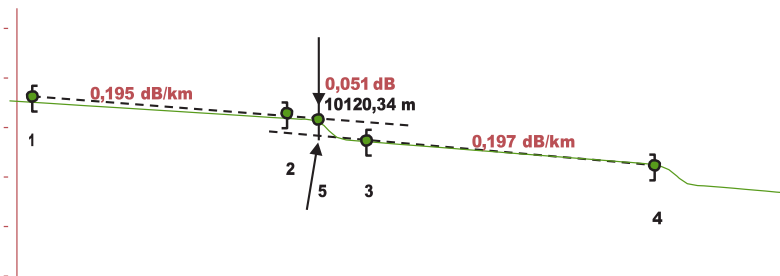
77. ábra A legkisebb négyzetek közelítési módszere

Ötpontos módszer

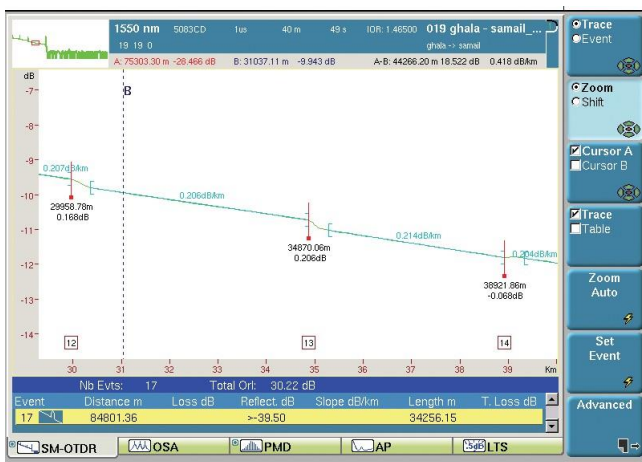
Az ötpontos módszerrel csökkenthetjük az esemény előtti és utáni szálszakasz zajának mérési eredményre gyakorolt hatását. Ez a legkisebb négyzetek közelítési módszerének szálszakaszra történő alkalmazásával érhető el. A módszer minimalizálja a szálszakasz veszteségnek esemény veszteségként elszámolt részét.

Az ötpontos módszer megvalósításához a szoftver az öt kurzor helyét felhasználva extrapolálja az esemény előtti és utáni száladatokat, és végrehajtja a veszteség nulla távolságú mérését az esemény helyén. Ezzel a módszerrel reflektív és nem-reflektív események is mérhetők.

A kezelő először elvégze egy meredekségmérést a görbe esemény előtti és utáni lineáris visszaszórású szakaszán. A mérés ötödik pontját közvetlenül az esemény előtt kell felvenni, ahol a görbe hirtelen eltérül. A veszteség mérése ezen a ponton történik. Az ötpontos módszer jóval pontosabb a kétpontosnál, mivel az OTDR a két lineáris visszaszórási szint különbségét hasonlítja össze.



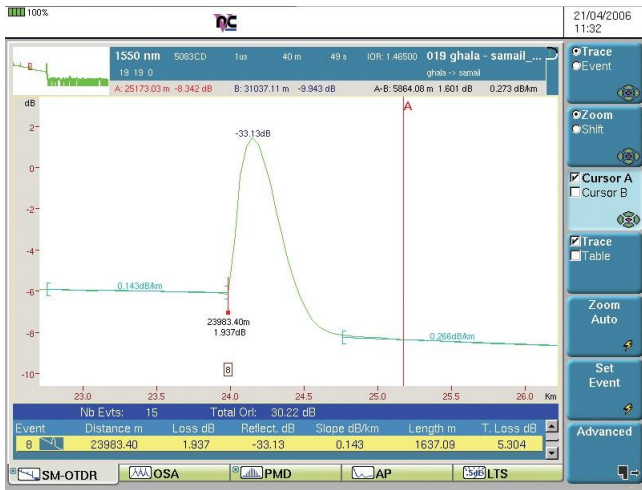
78. ábra Ötpontos mérési módszer alkalmazása



79. ábra Ötpontos mérési módszer

Reflexió

Egy esemény reflexió's értéket a visszavert teljesítmény és a beeső teljesítmény aránya a szálszakasz egy adott pontján. A reflexió kifejezése dB-ben történik. Egy kisebb negatív érték magasabb visszaverődést jelent, mint egy nagyobb negatív érték. Például a -33 dB-es reflexió nagyobb, mint a -60 dB-es. A nagyobb reflexió magasabb csúcsként jelenik meg a mérési görbén.



80. ábra Reflexió mérés

A visszaverődés nagysága egy csatlakozónál, törésnél vagy szálkötésnél a szál és a vele érintkező közeg (levegő, másik szál, tm. illesztett gél) törésmutatóinak arányától és a határfelület geometriájától függ.

A legtöbb mechanikus szálkötéshez törésmutató illesztő gélét használunk, hogy csökkentsük a törésmutatók közti eltérést. A kisebb eltérések kisebb visszaverődést okoznak. Néhány OTDR képes a visszaverődés automatikus mérésére, ha az egyik kurzort közvetlenül a visszaverődés elé, a másikat pedig a visszaverődés csúcsára állítjuk, és megnyomjuk a megfelelő gombot.

Optikai reflexiók csillapítás

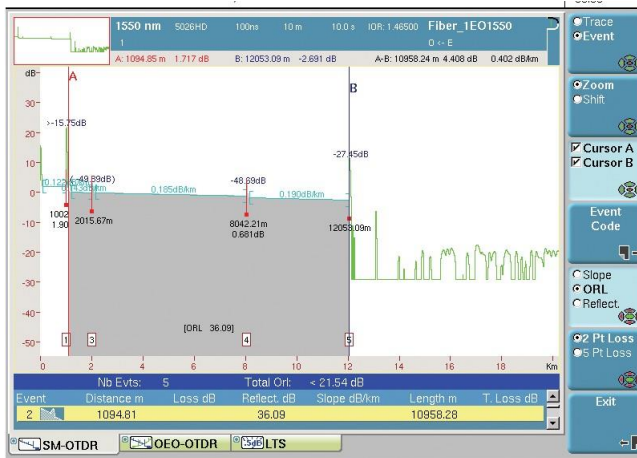
A nagy teljesítményű OTDR-ok automatikusan mérni és jelenteni tudják a teljes összeköttetés optikai reflexiók csillapítását (ORL). Az ORL mérése kézi módban is lehetséges, így az összeköttetés egyes szakaszai külön is vizsgálhatók, és azonosítható a legnagyobb ORL-t okozó szakasz.

ORL mérése OTDR-rel

Az OTDR által vett fény és az injektált impulzus alapján megállapítható az összeköttetés hosszában visszaverődő teljesítmény nagysága. Ennek a teljesítménynek az integrálásával lehetővé válik a teljes visszaverődés és ORL érték megállapítása.

$$ORL = 10 \log \left[\frac{(P_0 \times \Delta t)}{(\int P_r(z) dz)} \right]$$

ahol P_0 az OTDR kimeneti teljesítménye, Δt az OTDR impulzusszélessége és $\int P_r(z) dz$ a teljes visszavert és visszaszórt teljesítmény integrálja a szálszakasz (teljes vagy részleges) hossza mentén.



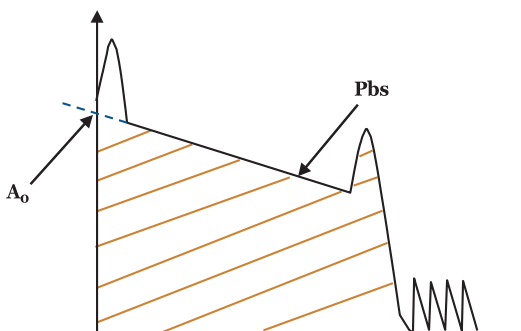
81. ábra Optikai szál összeköttetés ORL mérése

A teljes ORL kiszámításán túl, a kezelő az OTDR-rel meghatározhatja a visszaverődést okozó események helyét, megmérheti nagyságukat, és részleges (a szál egy bizonyos szakaszára korlátozott) ORL mérést végezhet.

82 Útmutató száloptikai teszteléshez

Teljes ORL mérés

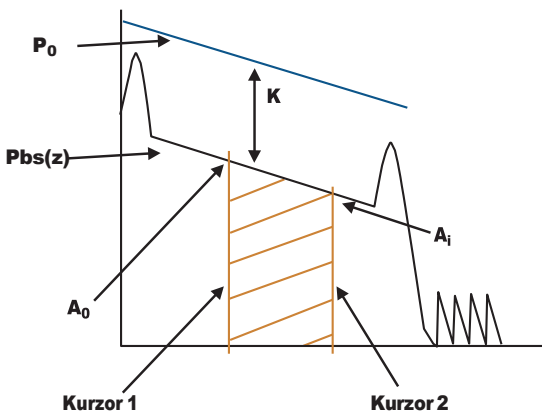
OTDR-os méréskor a teljes ORL automatikusan megállapításra kerül. Ez tartalmazza a csatlakozókról és szálvégekről visszaverődött fényt. Annak érdekében, hogy az OTDR front-end reflexióját (A_0) ebből kivonhassuk, a visszaszórási szintet (P_{bs}) a szál kezdetére extrapoláljuk.



82. ábra Teljes ORL mérés

Szakasz ORL mérés

Lehetséges az OTDR görbe csupán egy adott részének ORL mérése is. Mivel a visszaszórt szint (P_{bs}) ismert, a beérkező teljesítményszint (A_0) a Kurzor 1 pozíciójának megfelelő. Ezután a műszer integrálja az A_0 és A_i közötti területet, ahol A_i a mért szakasz végén lévő Kurzor 2-nél mérhető teljesítmény.



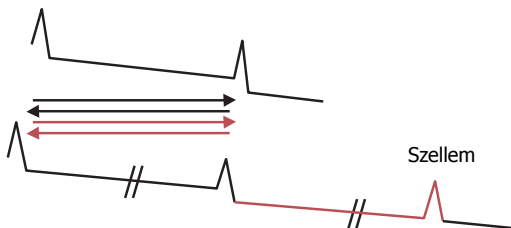
83. ábra Szakasz ORL mérés

Mérési termékek és anomáliák

Alkalmanként, a visszaszórási görbén váratlan eredmények és események jelennek meg.

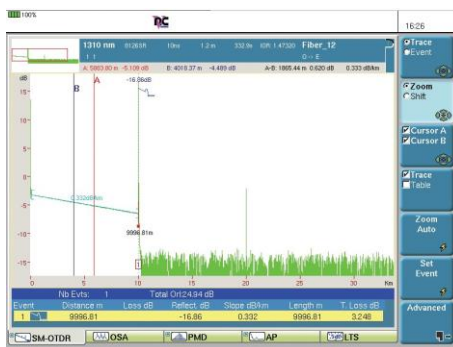
Szellemek

A görbén időről időre hamis Fresnel reflexiók, szellemek figyelhetők meg. A szellemek eredhetnek a szál egy erős reflektív eseményéből, amely nagy mennyiségű fényt ver vissza az OTDR-ba, vagy az adatgyűjtési hibás beállításából.



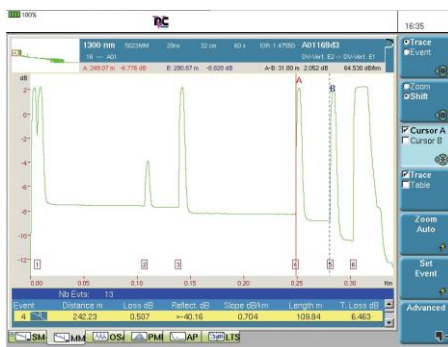
84. ábra Szellemek az OTDR görbén

A szellemek mindkét esetben azonosíthatók, mivel ilyenkor a jel veszteség nélkül áthalad az eseményen. Az első esetben, a szellem távolsága az erős visszaverődési esemény OTDR-től mért távolságának egész számú többszöröse.



85. ábra

Szellem a jel zajában



86. ábra

Szellem az OTDR görbén

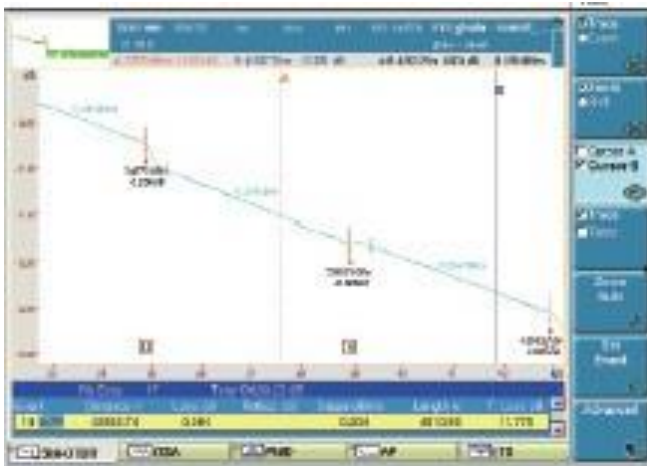
A visszaverődés csökkentésére a visszaverődési ponton illesztett törésmutatójú gél használható, valamint az impulzusszélesség csökkentésével, csillapító közbeiktatásával vagy az OTDR csökkentett teljesítmény opciójának (néhány OTDR kínál ilyet) bekapcsolásával az injektált fény szintje csökkenthető, ami magával vonja a visszaverődési szint csökkenését is.

Ha a szellemet okozó esemény a szál végén található, akkor a szál végét néhány menettel pl. egy ceruzára felcsavarva, a visszaverődés jelentősen csökkenthető, ami által a szellem is megszűnhet. Ennek a módszernek a neve mandrel wrap.

A felcsévéeléséhez válasszon a szálnak vagy kábelnek megfelelő olyan átmérőjű tárgyat, amely nem okozza annak károsodását. A túlzott meghajlítás megelőzése érdekében nem javasolt a szálát a megfelelő csévetest nélkül, kézzel meghajlítani.

Szálkötési erősítés

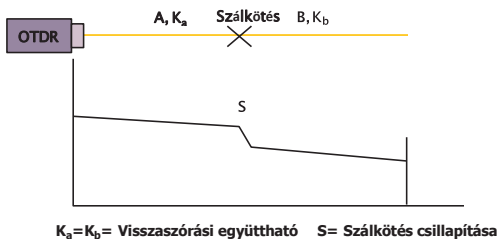
Fontos megemlíteni, hogy a szálkötési veszteséget az OTDR indirekt módon számítja, a visszaszórt jelből merített információk alapján. A számításnál az OTDR feltételezi, hogy a szál visszaszórási együtthatója a szál hossza mentén állandó. Ha a valóságban nem ez a helyzet, akkor a mérések pontatlanok lehetnek. Erre gyakori példa a látszólag erősítéssel rendelkező szálkötések esete. Bár a visszaszórási állandó pontatlansága meglehetősen kicsi, ma már lehetséges olyan alacsony veszteségű szálkötéseket készíteni, hogy az mégis erősítésnek tűnjön csillapítás helyett.



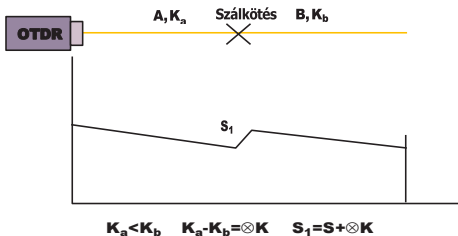
87. ábra Szálkötési erősítés az OTDR görbén

Szálkötési erősítés elmélete

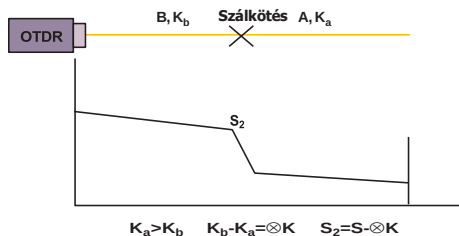
Ha különböző módusmező átmérőjű (magátmérő stb.) szálakat kötünk össze, az eredő OTDR görbe a valóságnál magasabb visszaszórási szintet mutathat.



88. ábra Normális szálkötés



89. ábra Pozitív A - B szálkötés



90. ábra Negatív B – A szálkötés

Ez a jelenség akkor jön létre, ha a többmódusú rendszerben két eltérő típusú vagy visszaszórási együtthatójú szálát kötünk össze.

A kétirányú vagy átlagos szálkötési veszteség (S) kiszámítása:
$$S = \frac{S_1 + S_2}{2}$$

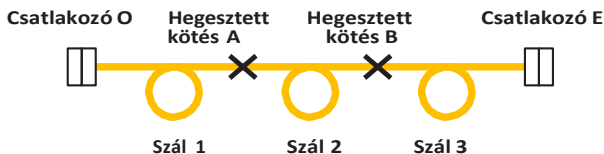
Kétirányú elemzés

Ismert tény, hogy passzív erősítő nem létezik, és a szálkötések sem okozhatnak erősítést a rendszerben, az OTDR azonban néha erősítésnek méri ezeket a kötéseket, amit az összekötött szálak eltérő visszaszórási együtthatója okoz. Az eltérő visszaszórási együtthatók nem mindig okoznak látszólagos erősítést, azonban a szálkötés veszteségmérési eredményét még ilyenkor is megfigyelhetjük.

A kétirányú elemzéssel a visszaszórási együtthatók eltérései által okozott negatív mérési hatások minimalizálhatók. Ezt a módszert akkor használjuk, ha nagyon pontos alapadatokra van szükségünk a szálkötésekről, például átvételkor vagy beüzemeléskor.

A kétirányú elemzés módszere a következőkön alapul: ha a két összekötött szál visszaszórási együtthatója között eltérés van, akkor az általa okozott eltérés a mérés irányától függően különböző lesz. Ez a különbség abban fog megmutatkozni, hogy a szálkötés az egyik irányból mérve az erősítésnek, a másik irányból mérve pedig veszteségnek fog látszani. Ez az eltérés mindkét mérési irány esetén hozzáadódik a valós értékhez, így ha mindkét irányból megmérjük a kötés csillapítását és átlagoljuk azt, akkor a visszaszórási együtthatók által okozott különbség kioltódik, és az eredmény a valós csillapítás lesz.

A kétirányú elemzést és annak számításait alább részletezzük. A valóságban ezeket egyes szoftveres alkalmazások elvégzik helyettünk, pl. a VIAVI FiberTrace vagy a FiberCable. Ezek a szoftverek sokkal összetettebb szakaszokon is el tudják végezni a kétirányú elemzést, mint amit itt bemutatunk.



91. ábra A szakasz felépítése

Egy hipotetikus szakasz kétirányú mérése

Az alábbi hipotetikus szakasz három hegesztett szálból áll, amelyek az O és E jelű csatlakozók között helyezkednek el. A szálak relatív visszaszórási profilja az alább látható. Ebben a példában a szál veszteségét egyelőre figyelmen kívül hagyjuk, hogy megmutathassuk, hogy ha a teljes szakasz számos pontján mintavételezzük a visszaszórási együtthatót, akkor az együttható a második, középső szakaszon magasabb lesz.



92. ábra A szakasz visszaszórási profilja

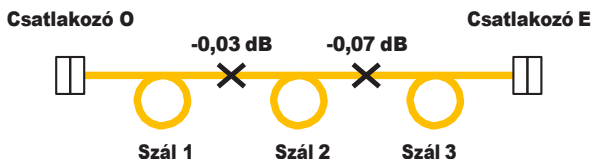
Például, a visszaszórási eltérés nagyságát az OTDR 0,05dB-ben jeleníti meg. Ne feledjük, hogy ez a második szálba történő belépéskor erősítésnek, a második szálból való kilépéskor pedig csillapításnak fog látszani.



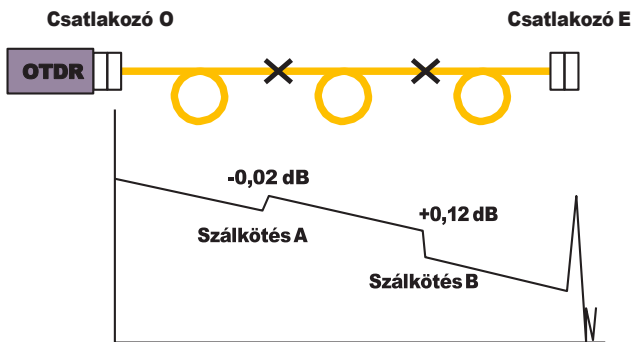
93. ábra Látszólagos csillapítás/erősítés a szálkötéseknél a visszaszórási együtthatók eltérései miatt

A szakasz szálkötései hegesztéssel készültek, ennek vesztesége az A jelű kötésnél -0,03dB, a B jelű kötésnél -0,07dB. Ezen példa tárgyalásánál a negatív előjel veszteséget jelent.

A következő ábra mutatja az OTDR által észleltetket:

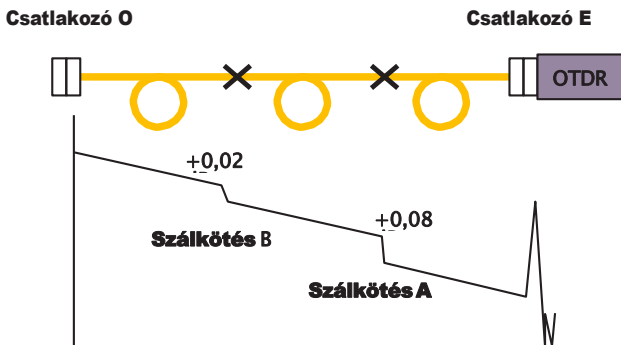


94. ábra Valós szálkötési veszteség



95. ábra OTDRmérés az O és E csatlakozók között (O->E)

Amikor az O jelű csatlakozótól mérünk az E jelű felé, akkor az A kötés 0,02dB erősítést mutat (a valós -0,03dB veszteség és a visszaszórás miatti látszólagos 0,05dB erősítés összegét). A B kötés látszólag -0,12dB veszteséggel fog rendelkezni (a valós -0,07dB veszteség és a visszaszórás miatti látszólagos -0,05dB veszteség összegével).



96. ábra OTDRmérés az E és O csatlakozók között (O->E)

Ezután a megismételjük a mérést az ellenkező irányban (az E jelű csatlakozótól, az O jelű felé). A B jelű kötés most az OTDR görbe bal oldalán lesz, az A jelű pedig a jobb oldalán. Ekkor az A jelű kötés látszólag -0,08dB veszteségű lesz (a valós -0,03 dB veszteség és a visszaszórás miatti látszólagos -0,05dB veszteség összege), a B jelű pedig látszólag -0,02 dB veszteségű (a valós -0,07 dB veszteség plusz a visszaszórás miatti látszólagos 0,05 dB erősítés összege).

A két mérés eredményeit az alábbi táblázatban foglaltuk össze. Az táblázatban az eredménypárokat összeadtuk, majd hogy megkapjuk a valós veszteséget, kettővel osztva átlagoltuk a két irány összeadott értékeit.

OTDR					
	O->E	E->O	Összeg	Átlag	Valós vesztl.
Szálkötés A	-0,02	0,08	0,06	0,03	0,03
Szálkötés B	0,12	0,02	0,14	0,07	0,07

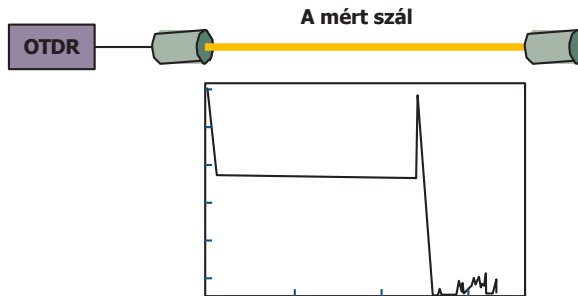
Az eredmények így már a pontos, valós veszteséget mutatják.

Az OTDR képességeinek kihasználása

Indítókábelek használata

Elfogadási mérés indító- és fogadókábelek nélkül

Az OTDR lehetővé teszi a szakemberek számára az összeköttetés végpontjai között található összetevők minősítését. Azonban amennyiben az OTDR közvetlenül a közeli végponti csatlakozóra kapcsolódik, és a távoli végpont teljesen nyitott, akkor sem a közeli, sem a távoli végpont csatlakozója nem vizsgálható a műszerrel. Ilyenkor nem áll rendelkezésre visszaszórási referencia jel, ezért a végponti veszteségek megállapítása sem lehetséges.

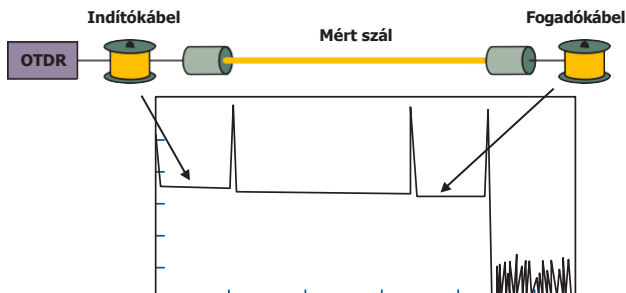


98. ábra Elfogadási mérés indító- és fogadókábelek nélkül

A probléma kiküszöbölésére egy szálszakaszt köthetünk az OTDR és a közeli végponti csatlakozó közé, illetve egy másikat a távoli végponti csatlakozóra.

Elfogadási mérés indító- és fogadókábelekkel

Az adott hosszúságú szálat tartalmazó indító- és fogadókábeleket a mért szakasz végpontjaira kötve a végpont csatlakozói minősíthetővé válnak. Az indító- és fogadókábelek hossza a mért összeköttetéstől függ, többmódusú link mérés esetén általában 300 és 500m közötti, egymódusú link esetén jellemzően 1000 és 2000m közötti. Rendkívül nagy távolságú összeköttetések esetén akár 4000m-es kábelre is szükség lehet. A szükséges pontos hossz nagyban függ az OTDR csillapítási holtzónájától is, ami az impulzusszélesség függvénye. Minél nagyobb az impulzusszélesség, annál hosszabb kábelek kellenek.



99. ábra Elfogadási mérés indító- és fogadókábelekkel

Az indító- és fogadókábelek csatlakoztatása után az OTDR-rel megmérhetjük a kábelek közti összeköttetést, az indító- és fogadókábeleket is beleértve. A csatlakoztatott plusz szálak lehetővé teszik, hogy a végponti csatlakozók minkét oldaláról megmérjük a visszaszórást, így megállapíthatjuk a csatlakozók veszteségeit és a reflexiót is. Ezáltal a vizsgált összeköttetés, a csatlakozókkal együtt teljes körűen minősíthető.

Fontos megjegyeznünk, hogy az indító- és fogadókábelnek illeszkednie kell a mért szál fajtájához (típus, magátmérő, stb.), valamint a csatlakozóknak is jó minőségűeknek kell lenniük.

Az indító- és fogadókábelek használata az OTDR mérés során lehetővé teszi a következők hatékony elvégzését:

- Beiktatási csillapítás pontos mérése az összeköttetés távoli végponti csatlakozóin
- Az összeköttetés minden összetevőjének az OTDR csatlakozójánál keletkező holtzónán kívültre tolása
- Többmódusú rendszerekben javítja a modális egyensúlyt, így a mérések pontosabbak lesznek
- Lehetővé teszi a kezelő számára az összeköttetésbe injektált szint szabályozását

Folytonosság ellenőrzése

Néha többszálás kábel telepítésekor a kezelőnek meg kell győződnie róla, hogy a kábel a két hozzáférhető végpont között folytonos. A folytonosság ellenőrzéséhez mindkét irányból OTDR mérés végezhető. A görbe által képviselt kábelhossz meghatározására egyoldali OTDR mérés lehetséges. Ne feledjük, hogy az egyes szálak hosszai az eltérő hosszúságú buffercsövek és hélix geometria miatt a kábelen belül néhány méterrel is eltérhetnek. Meglehetősen bonyolult, ha ugyan nem lehetetlen, egy kábelen belüli rövidebb szálát megkülönböztetni egy kicsivel hosszabb, ám a kábelvég előtt egy méterrel eltört száltól.

A folytonosság ellenőrizhető egy egyszerűbb, nem teljes kétirányú OTDR mérést igénylő módon is. Ehhez vagy mindkét szálvéghez való hozzáférés vagy két kezelő szükséges, akik kommunikálni tudnak egymással.

A méréshez csatlakoztassuk az OTDR-t a kábel egyik szálának (1. szál) végéhez. Állítsuk az OTDR-t Real Time módba, és figyeljük meg a mért görbe kijelzett hosszát. Ha a hossz jóval kisebb a vártnál, akkor a szál szakadt.

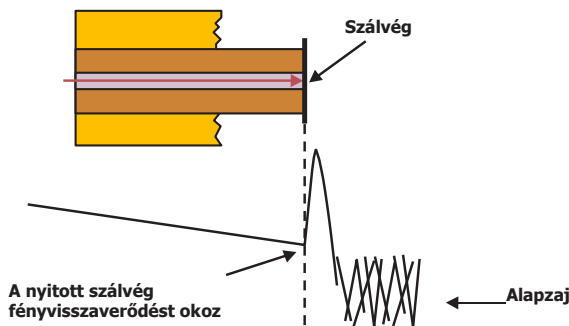
Ha a mért hossz körülbelül megfelelő, a következőket kell tenni:

- Ha nem látható a lezárás nélküli szálvéget jelző végtüske, akkor az egyik szakember a szálvéget egyenesen elvágja. A végtüskének ekkor meg kell jelennie. Ha ez nem történik meg, akkor a szakember nem a megfelelő szálat fogja, vagy a szál a kábelvég közelében szakadt.
- Ha a végtüske látható, akkor a szakember a szál túlsó végét illesztett törésmutatójú gélbe vagy alkoholba mártja, vagy felcsavarja egy csévetestre (mandrel wrap). Ennek csökkentenie kell a csúcs nagyságát. Ha ez nem történik meg, akkor szakember nem a megfelelő szálat fogja, vagy a szál a kábelvég közelében szakadt.

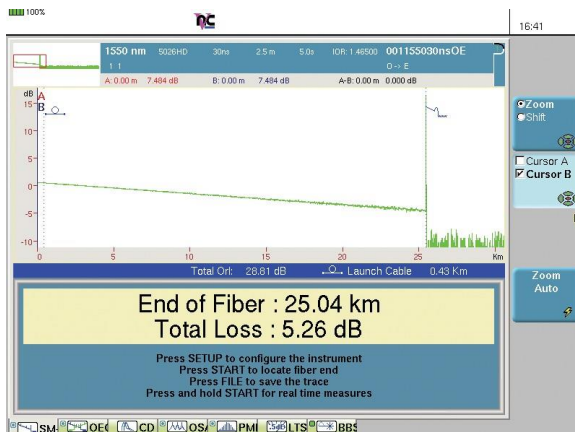
Hibahely keresés

Az OTDR rendkívül hatékony hibahelykereső eszköz. A hibahely-megállapítás pontossága a mérés gondos elvégzésétől és a rendszerdokumentáció (kábeljellemzők) pontosságától függ. A hibahelykeresés összetett téma, amely egész tanfolyamokat is képes kitölteni, azonban a folyamat már néhány fontos ajánlás betartásával sokkal pontosabbá és hatékonyabbá tehető.

A kábelszakadások részlegesek vagy teljesek (katasztrofális) lehetnek. A szakadások leggyakoribb oka a nem megfelelő körültekintéssel végzett földmunkák által okozott sérülés. A szakadások több, mint 40%-át ez okozza. Ilyen sérülés esetén elegendő a megközelítőleges hibahely meghatározás, mivel a sérülés pontos helye a helyszínen már könnyen megtalálható. Az egyéb szakadások, például a lőfegyverek (vadászat) vagy rágcsálók által okozottak megtalálásához már pontosan meg kell tudnunk állapítani a hiba helyét. Ilyenkor az OTDR sok időt és pénzt takaríthat meg.



100. ábra Szakadás vagy szálvég helye



101. ábra Hibahely meghatározás OTDR-rel

A kábelsérülésből eredő szálszakadás lehet erősen reflektív vagy nem-reflektív. Az erősen visszaverő szakadás helyét általában sokkal könnyebb meghatározni. Ezért több szál szakadása esetén célszerű több szálát is megmérni, mert ha találunk köztük erősen reflektívet, akkor a szakadás helyét pontosabban meg tudjuk határozni. Ha a szakadás nem reflektív, akkor általában a legjobb megoldás, ha az OTDR szoftverével, automatikus módban állapítjuk meg a szakadás helyét. A szemre történő kézi kurzor elhelyezés ilyenkor nagyon pontatlan lehet.

Ehhez célszerű az OTDR távolságkijelzését az effektív törésmutatóra kalibrálni. Hiába tudja az OTDR egy 10 km-es szakaszon 5m-es pontossággal megállapítani a helyet, a szál törésmutatóját használva az effektív törésmutató helyett akár 600m-es eltérés is lehet az eltérés.

Egy alternatív helymegállapítási mód, ha a szakadás helyét mindkét kábelvégről megmérjük, és a kapott eredmények hányadosával megszorozzuk a teljes szakaszhosszt. Így ha rossz is a törésmutatónk, viszonylag pontosan megállapíthatjuk a hiba helyét.

Fontos ismernünk a felcsévélt kábelszakaszok helyét. Ha az OTDR 1800 méternél jelzi a szakadást, de közben az egyik aknában egy 200m-es kábeltekercs van a vonalban, akkor a szakadás a nyomvonal mentén ennyivel közelebb lesz hozzánk.

Föld felett vezetett kábel esetén azt is figyelembe kell vennünk, hogy az oszlopok közötti kábelhossz a belógás miatt nagyobb, mint az oszlopok közti távolság. Ilyenkor, a szakadás távolságának megállapítása után ezt célszerű figyelembe venni, vagy amennyiben erről nem áll adat rendelkezésre, a keresést a kábel hosszjelzései alapján lehet elvégezni.

A szakadás helyét mindig a legjobb egy ismert pozíciójú, a szakadáshoz közelebbi eseményhez viszonyítva megállapítani. Így javítható a mérés pontossága.

Effektív törésmutató

Az esemény távolságát az OTDR időmérés alapján állapítja meg. A műszer mért időt a számára megadott törésmutató alapján konvertálja távolságvértékké.

Ha a szál gyártó által megadott törésmutató értéke rendelkezésre áll, akkor a kezelő ezt az OTDR-ba beállíthatja, ezzel pontosítva az optikai távolság mérését.

A legtöbb kábelkivitelnél a benne haladó szál hossza nagyobb, mint magáé a kábelé. Ezt okozhatja a buffercső laza szálvezetése, vagy a kábelben belüli buffercsövek vagy szalagok térbeli hélix formát követő nyomvonala. Ezen hatások miatt a szálhossz jóval meghaladhatja a kábel hosszát.

Bizonyos esetekben, különösen hibahely meghatározásánál szükséges lehet az OTDR szálhossz helyett kábelhosszra való kalibrálása. Ezt úgy tehetjük meg, ha törésmutatónak a kábel effektív törésmutatóját adjuk meg az OTDR-nek.

Ennek értékét kétféleképp állapíthatjuk meg.

Az effektív törésmutató kiolvasható a kábel adatlapjából, vagy két esemény valós (L_{eff}) és az OTDR által érzékelt távolságát ismerve, a kezelő az OTDR által a mérés során használt törésmutatóból ki tudja számítani azt:

Optikai távolság a két ismert esemény között: (L_{opt})

A műszer által a méréshez használt törésmutató: (RI_{opt})

Az effektív törésmutató (RI_{eff}) meghatározásának egyenlete:

$$RI_{\text{eff}} = (L_{\text{opt}} \times RI_{\text{opt}}) / L_{\text{eff}}$$

Bizonyos OTDR-eknél, mint pl. a VIAVI T-BERD/MTS platformnál, az RI_{eff} a görbéről is megállapítható, ha kurzorokkal kiválasztjuk a két ismert eseményt, és addig módosítjuk a törésmutatót, míg a megjelenített távolság meg nem felel a kábelhossz szerinti távolságnak.

Az összeköttetés első dokumentálásakor célszerű használni az OTDR megjegyzés rögzítő funkcióját, amellyel az egyes eseményekhez vagy fájlokhoz megjegyzéseket fűzhetünk. Az elmentett földrajzi vagy GPS adatok a későbbi hibakeresésekhez nagyon hasznosak lehetnek. Hibahely keresés során semmi sem helyettesítheti a megfelelő, részletes rendszer dokumentációt.

A kétirányú elemzés automatizálása

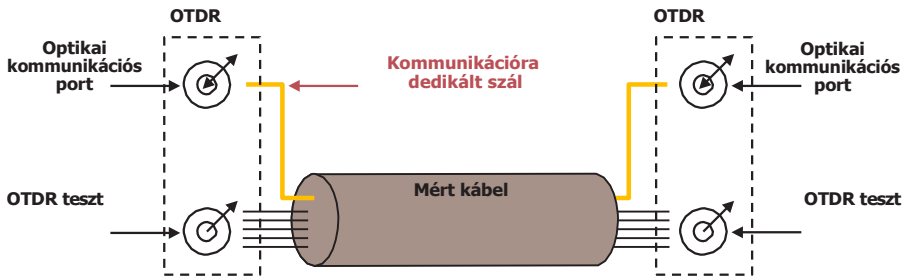
A szálak számával a mérési idő is nő. A telepítés felgyorsításához nagy segítséget nyújtanak a teljesen automatikus teszteszközök, mint pl. egy automatikus kétirányú OTDR.

Az automatikus kétirányú OTDR funkció sok, a hagyományos kétirányú OTDR elemzéssel járó problémát megold. Az automatikus megoldás a következő képességekkel bír:

- Elvégzi a szálfolytonosság mérést, hogy ellenőrizze, mindkét tesztet ugyanazt a szálát méri
- Hibamentes működést nyújt, mivel eltérés esetén áttölti a master OTDR mérési beállításait a slave OTDR-ba is
- A slave OTDR-ral gyűjtött adatokból generált görbét átküldi a master OTDR-ba
- A master OTDR-ral gyűjtött adatokból generált görbét átküldi a slave OTDR-ba

- Kétirányú mérést végez mindkét egységen
- Az eredményeket egy vagy két fájlba menti

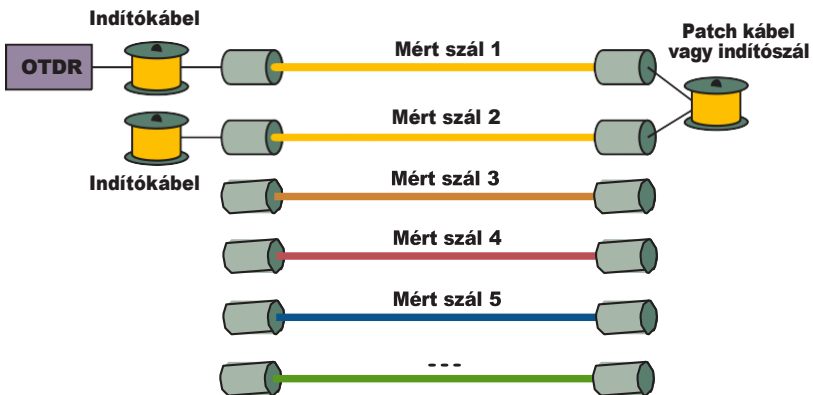
A kétirányú elemzési folyamat teljesen automatikus, és az összes teszt eredmény azonnal elérhető mindkét egységen. A példátlan adatgyűjtési sebesség és a teljesen automatikus kétirányú képességek jelentősen lerövidítik a méréshez szükséges időt.



102. ábra Automatikus kétirányú OTDR mérési konfiguráció

Visszairányítós mérési mód

A visszairányítós mód használatával a kétirányú méréshez egy OTDR is elegendő. Ilyenkor adatgyűjtés csak az egyik (a közeli) szálvégen történik. Mivel egy adatgyűjtéssel két szálát vizsgálunk egyszerre, az adatgyűjtési idő a felére csökken. Ehhez a módszerhez egy-egy szakember szükséges a link mindkét végén. A távoli végponti szakember végzi az előremenő és a visszatérő szálak összekötését indítószállal, patch kábellel vagy szálkötéssel.



103. ábra Egy loopback mérés, szál 1 mérés O->E, szál 2 mérés E->O irányban

Az eredmények pontossága érdekében, hogy a jegyzőkönyv csak a mért kábel adatait tartalmazza, a visszafordítási végen lévő szálkötési pont, patch kábel vagy indítószál eredményeit ki kell vennünk az eredménytáblázatból.

OTDR elfogadási jegyzőkönyv készítés

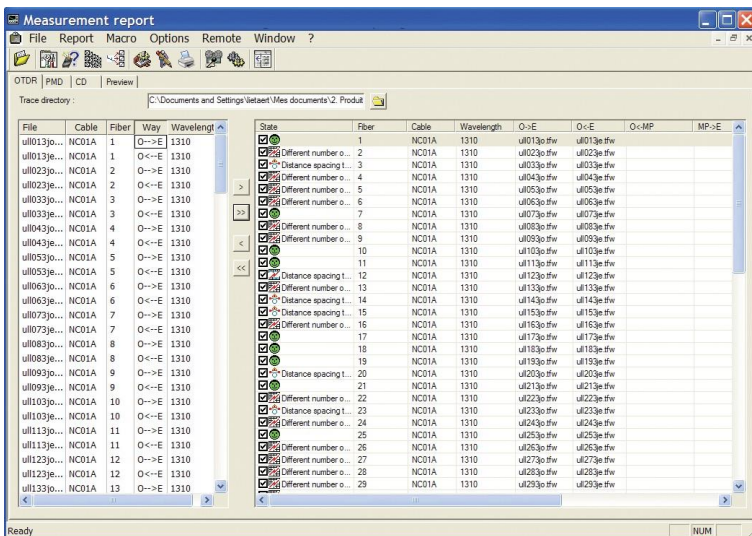
Az elfogadási jegyzőkönyv elkészítéséhez a terepen gyűjtött adatokat összesíteni kell. Az elfogadási jegyzőkönyv könnyen értelmezhető szakszerű jelentés a vevő számára az összeköttetés jellemzőiről. Elkészítéséhez a szakemberek a mérési eredményeket kábelek, összeköttetés szakaszok, szálkötési veszteség, beiktatási csillapítás, hullámhossz és egyéb tényezők szerint táblázatokba rendezik.

Az OTDR jegyzőkönyv készítési folyamat négy lépésből áll: eredmények elemzése, eredmények kondicionálása, jegyzőkönyv összeállítás és nyomtatás.

Eredmények elemzése

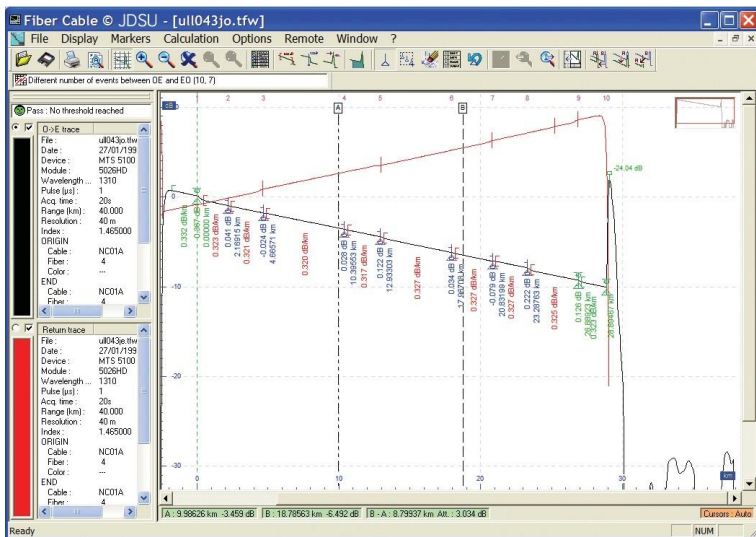
Az eredményeket egy számítógépre töltjük, és ott rendezzük őket. Az OTDR görbékhez való közvetlen hozzáféréssel a jelentéskészítő szoftver automatikusan, minden hullámhosszra összegzi az O->E és E->O mérési irányok eredményeit.

Ennek során a szakember egy egyszerű módszer szerint halad, a kábel és szálonosítókat következetesen használva. Az O->E jelöli az egyik mérési irányt, az E->O a másikat. A jegyzőkönyvet készítő személy egy képernyőn hozzáfér a kábel összes száláról végzett kétirányú mérés minden adatához.



104. ábra Mérési eredmények kezelése a VIAVI FiberCables szoftverrel

Az események helyét a két irány OTDR görbéi alapján beállítva egy sablon készíthető.



105. ábra Kéttirányú elemzés a VIAVI FiberCable szoftverrel

Ezt követően a sablon a többi szál értékeléséhez referenciaként használható. Ez biztosítja, hogy a kábel minden szála azonos formátumban kerüljön kiértékelésre, azonos eseményekkel.

File	Cable	Fiber	Way	Wavelength	State	Fiber	Cable	Wavelength	O->E	O->E	O->MP	MP->E
u0103jo...	NC01A	1	O->E	1310	✓	1	NC01A	1310	u0103jo.thw	u0103jo.thw		
u0103je...	NC01A	1	O-<E	1310	✓	2	NC01A	1310	u0203jo.thw	u0203jo.thw		
u0203jo...	NC01A	2	O->E	1310	✓	3	NC01A	1310	u0303jo.thw	u0303jo.thw		
u0203je...	NC01A	2	O-<E	1310	✓	4	NC01A	1310	u0403jo.thw	u0403jo.thw		
u0303jo...	NC01A	3	O->E	1310	✓	5	NC01A	1310	u0503jo.thw	u0503jo.thw		
u0303je...	NC01A	3	O-<E	1310	✓	6	NC01A	1310	u0603jo.thw	u0603jo.thw		
u0403jo...	NC01A	4	O->E	1310	✓	7	NC01A	1310	u0703jo.thw	u0703jo.thw		
u0403je...	NC01A	4	O-<E	1310	✓	8	NC01A	1310	u0803jo.thw	u0803jo.thw		
u0503jo...	NC01A	5	O->E	1310	✓	9	NC01A	1310	u0903jo.thw	u0903jo.thw		
u0503je...	NC01A	5	O-<E	1310	✓	10	NC01A	1310	u1003jo.thw	u1003jo.thw		
u0603jo...	NC01A	6	O->E	1310	✓	11	NC01A	1310	u1103jo.thw	u1103jo.thw		
u0603je...	NC01A	6	O-<E	1310	✓	12	NC01A	1310	u1203jo.thw	u1203jo.thw		
u0703jo...	NC01A	7	O->E	1310	✓	13	NC01A	1310	u1303jo.thw	u1303jo.thw		
u0703je...	NC01A	7	O-<E	1310	✓	14	NC01A	1310	u1403jo.thw	u1403jo.thw		
u0803jo...	NC01A	8	O->E	1310	✓	15	NC01A	1310	u1503jo.thw	u1503jo.thw		
u0803je...	NC01A	8	O-<E	1310	✓	16	NC01A	1310	u1603jo.thw	u1603jo.thw		
u0903jo...	NC01A	9	O->E	1310	✓	17	NC01A	1310	u1703jo.thw	u1703jo.thw		
u0903je...	NC01A	9	O-<E	1310	✓	18	NC01A	1310	u1803jo.thw	u1803jo.thw		
u1003jo...	NC01A	10	O->E	1310	✓	19	NC01A	1310	u1903jo.thw	u1903jo.thw		
u1003je...	NC01A	10	O-<E	1310	✓	20	NC01A	1310	u2003jo.thw	u2003jo.thw		
u1103jo...	NC01A	11	O->E	1310	✓	21	NC01A	1310	u2103jo.thw	u2103jo.thw		
u1103je...	NC01A	11	O-<E	1310	✓	22	NC01A	1310	u2203jo.thw	u2203jo.thw		
u1203jo...	NC01A	12	O->E	1310	✓	23	NC01A	1310	u2303jo.thw	u2303jo.thw		
u1203je...	NC01A	12	O-<E	1310	✓	24	NC01A	1310	u2403jo.thw	u2403jo.thw		
u1303jo...	NC01A	13	O->E	1310	✓	25	NC01A	1310	u2503jo.thw	u2503jo.thw		
u1303je...	NC01A	13	O-<E	1310	✓	26	NC01A	1310	u2603jo.thw	u2603jo.thw		
						27	NC01A	1310	u2703jo.thw	u2703jo.thw		
						28	NC01A	1310	u2803jo.thw	u2803jo.thw		
						29	NC01A	1310	u2903jo.thw	u2903jo.thw		

106. ábra Azonos sablon alkalmazása az összes szálra VIAVI FiberCable szoftverben

Ha szükséges, a sablonhoz szöveges információ fűzhető. Ennek során minden eseményhez szöveges megjegyzés fűzhető (akna, árokkeresztezés, híd, GPS koordináták vagy más fizikai tájékoztató pont). Ezt az információt csak egyszer kell felvinni a sablonra, utána minden szárra átmásolható.

Eredmények kondicionálása

Ha minden szárra kétirányú teszteredménye minden hullámhosszra elkészült, ideje azokat kábel dokumentációvá egyesíteni. A hagyományos módszerekkel ez volt legtöbb időt igénylő lépés, mivel ilyenkor minden adatot egy táblázatba kellett exportálni és megformázni.

Ilyen nagy mennyiségű adat feldolgozása előtt fontos azokat ellenőrizni. Egyes szoftverek esetén ehhez jegyzőkönyv előnézet funkció érhető el. Ez hasznos funkció a táblázatba rendezett egyes száradatok megtekintésére. A kezelő így minden szárra végiglépkedhet, megjelenítheti az OTDR görbéket, az esemény táblázatokat, és megtekintheti a táblázatba rendezett adatok előnézetét.

Information	Loss (dB)	Splice (dB/km)	Reflectance (dB)	Span (km)	PMD	CD
NC... 1	0.033	0.256	-0.041	0.107	0.013	0.018
NC... 2	0.021	0.285	0.028	0.157	0.019	0.012
NC... 3	0.027	0.331	-0.012	0.159	0.010	0.010
NC... 4	0.031	0.365	-0.059	0.153	0.038	0.012
NC... 5	0.023	0.184	0.103	0.143	0.046	0.050
NC... 6	0.045	0.376	-0.157	0.110	0.047	0.035
NC... 7	0.031	0.137	-0.010	0.063	0.007	0.018
NC... 8	0.026	0.473	-0.004	0.234	-0.010	-0.003
NC... 9	0.015	0.238	-0.015	0.112	0.013	0.013
NC... 10	0.023	0.469	0.228	0.348	0.016	0.021
NC... 11	0.031	0.384	0.121	0.252	0.043	0.040
NC... 12	0.028	0.372	-0.050	0.161	0.065	0.059
NC... 13	0.028	0.317	0.032	0.175	0.085	0.079
NC... 14	0.025	0.372	0.101	0.237	0.009	0.016
NC... 15	0.023	0.550	0.169	0.359	-0.009	0.006
NC... 16	0.026	0.400	-0.025	0.187	0.018	0.016
NC... 17	0.023	0.134	0.069	0.101	0.024	0.038
NC... 18	0.024	0.407	-0.153	0.127	0.082	0.071
NC... 19	0.033	0.381	0.237	0.309	-0.003	0.021
NC... 20	0.022	0.470	-0.019	0.226	-0.007	-0.001
NC... 21	0.011	0.366	0.112	0.239	-0.001	0.003

107. ábra Jegyzőkönyv előnézet a VIAVI FiberCable szoftverben

Jegyzőkönyv generálás

Az adatok összesítése, előzetes megtekintése és ellenőrzése után a következő lépés a jegyzőkönyv táblázatkezelővel történő létrehozása. A kezelő itt kiválaszthatja az elfogadási jegyzőkönyvhöz szükséges táblázatokat.

- Kábel és munka információ
- Szakaszhossz
- Kétirányú szálkötési veszteség
- Végcsatlakozó reflexió és beiktatási csillapítás
- Veszteség végponttól végpontig
- Beiktatási csillapítás (csillapítás tesztkészlettel)
- Optikai reflexió csillapítás (veszteség tesztkészlettel)
- 1310/1550 nm veszteség összehasonlítás
- Tartományon kívüli veszteség értékek

Dokumentum nyomtatás

Bár az eredmények már összeállításra kerültek, azok szakszerű kábel jegyzőkönyvvé alakításához még további munkára van szükség.

Az egyes hullámhosszokon mért veszteségeket összehasonlító és a tartományon kívüli veszteségeket összegző táblázatok hasznosak a telepítés potenciális problémáinak (pl. mechanikai terhelés: 1310/1550nm összehasonlítása) azonosításához.

Ennél a pontnál, a nyomtatás előtt a szakember megjegyzéseket rögzíthet a szállal, a kábellel vagy a teszt paraméterekkel kapcsolatban. Ez a szintű szerkeszthetőség lehetővé teszi a jegyzőkönyvkészítőnek, hogy a megszokottnál jobb, részletesebb dokumentumot készítsen a vevőnek.

Slope table at 155mm (dB Aeq)

Face number	Height 1	DO	Aug	DO	Aug	Height 2	DO	Aug	DO	Aug	Height 3	DO	Aug	DO	Aug	Height 4	DO	Aug	DO	Aug	Height 5	DO	Aug	DO	Aug	
1	0.30	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.20	0.20	0.49	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.50	0.20	0.20	0.49	0.14	0.20	0.20	0.49	0.20	0.14	0.20	0.20
2	0.30	0.14	0.14	0.20	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.50	0.14	0.14	0.20	0.14	0.20	0.20	0.49	0.20	0.14	0.20	0.20
3	0.30	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.50	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.20	0.14	0.20
4	0.30	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.50	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.20	0.14	0.20
5	0.30	0.14	0.20	0.20	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.50	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.20	0.14	0.20	0.20
6	0.30	0.14	0.20	0.20	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.50	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.20	0.14	0.20	0.20
7	0.30	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.50	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.20	0.14	0.20	0.20
8	0.30	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.50	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.20	0.14	0.20	0.20
9	0.30	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.50	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.20	0.14	0.20	0.20
10	0.30	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.50	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.20	0.14	0.20	0.20
11	0.30	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.50	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.20	0.14	0.20	0.20
12	0.30	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.50	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.20	0.14	0.20	0.20
13	0.30	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.50	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.20	0.14	0.20	0.20
14	0.30	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.50	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.20	0.14	0.20	0.20
15	0.30	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.50	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.20	0.14	0.20	0.20
16	0.30	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.50	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.20	0.14	0.20	0.20
17	0.30	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.50	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.20	0.14	0.20	0.20
18	0.30	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.50	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.20	0.14	0.20	0.20
19	0.30	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.50	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.20	0.14	0.20	0.20
20	0.30	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.50	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.20	0.14	0.20	0.20
21	0.30	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.50	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.20	0.14	0.20	0.20
22	0.30	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.50	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.20	0.14	0.20	0.20
23	0.30	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.50	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.20	0.14	0.20	0.20
24	0.30	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.50	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.20	0.14	0.20	0.20
25	0.30	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.50	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.20	0.14	0.20	0.20
26	0.30	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.50	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.20	0.14	0.20	0.20
27	0.30	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.50	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.20	0.14	0.20	0.20
28	0.30	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.50	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.20	0.14	0.20	0.20
29	0.30	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.50	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.20	0.14	0.20	0.20
30	0.30	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.50	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.20	0.14	0.20	0.20
31	0.30	0.14	0.14	0.14	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.50	0.14	0.14	0.20	0.14	0.14	0.14	0.14	0.20	0.14	0.20	0.20

DonnerAhs

Page 13/17

108. ábra Személyre szabott elfogadási jegyzőkönyv

Ez a dokumentum az Elsinco Budapest Kft. által került fordításra. Amennyiben észrevétele van, vagy hibát vél felfedezni, jelezze nekünk e-mail címünkön, vagy telefonon.

Elérhetőségeink:

ELSINCO Budapest Kft.

Cím: 1136 Budapest, Pannónia u. 8.

Telefon: +36 1 339-0000

E-mail: office@elsinco.hu



Kapcsolat **+1 844 GO VIAVI**
(+1 844 468 4284)

A legközelebbi VIAVI
képviselő elérhetőségét
megtalálhatja:
viavisolutions.com/contacts

© 2018 VIAVI Solutions, Inc.

A dokumentumban szereplő
termék specifikáció és leírás
külön értesítés nélküli
változtatásának jogát fenntartjuk.

fiberguide1-bk-fop-tm-ae
30149054 902 0518