

## LUCRARE DE LABORATOR REFLECTOMETRIA PE FIBRE OPTICE

### 1. Informații generale

Fibrele optice reprezintă mediul de transmisie (canalul de comunicare) cel mai răspândit pentru transmiterea informației prin intermediul luminii. Ele sunt utilizate pe scară largă în comunicațiile optice, unde permit transmisia pe distanțe mai lungi și la lățimi de bandă mai mari decât cablurile electrice sau undele radio. Fibrele optice au și marele avantaj față de orice alt ghid de transmisie de a fi imune la interferențe electromagnetice venite din exterior.

Fibra optică propriu-zisă constă dintr-un *miez* de secțiune circulară (Figura 1) și o *îmbrăcaminte* (*cladding*). În această regiune centrală are loc ghidarea fascicului luminos printr-un fenomen fizic numit *reflexie internă totală*. Pentru a nu se permite disiparea energiei către exterior, îmbrăcaminta trebuie să aibă un diametru de cel puțin  $100\mu\text{m}$  (comparabil cu grosimea unui fir de păr). Cele două straturi centrale au în majoritatea cazurilor o compoziție asemănătoare cu a sticlei. Fibrele ieftine (folosite în general la comunicații pe distanță scurtă) sunt făcute din plastic. Un al treilea strat, numit *buffer* (fabricat din materiale plastice), are rolul de a proteja structura interioară împotriva umidității sau ruperii și are un diametru de cel puțin  $250\mu\text{m}$ . Un al patrulea strat, numit *jacheta* fibrei, poate fi folosit atât pentru extra-protecția fibrei cât și pentru identificarea fibrei într-un cablu cu mai multe fibre optice (printr-un cod format din 24 de culori). Pentru aplicațiile de distanță scurtă în care fiecare cablu optic conține o singură fibră optică, culoarea jachetei arată tipul de fibră: multimod (portocaliu) sau monomod (galben).

Cele mai multe fibre optice au un diametru al îmbrăcăminții de  $125\mu\text{m}$  - în această valoare este inclus și diametrul miezului fibrei. Cele mai multe fibre multimodale utilizate în prezent au un diametru al miezului de  $62,5\mu\text{m}$  și majoritatea fibrelor monomodale un diametru al miezului de  $9\mu\text{m}$ . Prin urmare, dimensiunile listate pe cablurile optice vor apărea în mod normal ca  $62.5\mu\text{m}/125\mu\text{m}$  pentru fibrele-multimod și  $9\mu\text{m}/125\mu\text{m}$  pentru fibrele monomod.

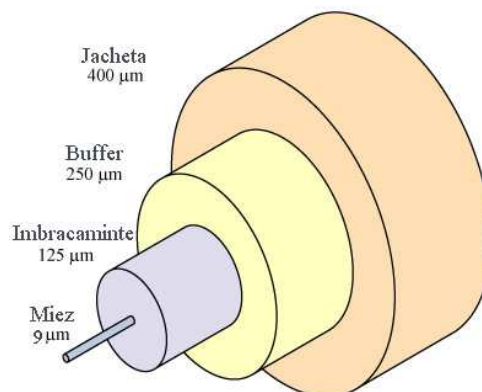


Figura 1 Structura fizică a unei fibre optice monomod. (commons.wikimedia.org)

## 2. Aparatura de specialitate în comunicațiile optice

Cele mai utilizate instrumente de lucru pentru inginerul care se ocupă de liniile de comunicații optice sunt OTDR-ul și aparatul de sudură a fibrei optice, cele care realizează diagnosticul, respectiv reparația fibrelor. OTDR-ul este folosit atât pentru identificarea caracteristicilor fibrei, cât și pentru detecția regiunilor defecte din fibră. Aparatul de sudură este folosit pentru realizarea de conexiuni fără pierderi, atunci când decidem înlocuirea sau prelungirea unui tronson de fibră.



a.



b.

Figura 2 Aparatele utilizate uzual în reparația liniilor de comunicații optice: a. Aparatul de sudură fotografiat în timpul workshopului de sudura pe fibra de la Universitatea din Pitesti, b. OTDR-ul (commons.wikimedia.org)

**2.1. Sudarea fibrei optice.** Aparatul de sudură prin fuziune (Figura 2.a) este cel mai performant instrument folosit pentru realizarea de conexiuni în sistemele optice de comunicații. Înainte de fixarea celor două capete de fibră optică în aparatul de sudura, trebuie să fie eliminate toate straturile protectoare (jacheta și bufferul de polimeri) de pe fibra optică cu ajutorul unor clești dezizolanți. După curățarea tuturor reziduurilor cu ajutorul unei comprese imbibată în alcool, fibrele sunt plasate pe două suporturi de fixare. Capetele lor trebuie să fie scindate (tăiate), cu un tăietor de precizie (cleaver) pentru realizarea a două suprafețe (secțiuni transversale) paralele. Imediat după aceea, fibrele trebuie să fie introduse (cu tot cu suporturile) în aparatul de sudură. Îmbinarea este de obicei verificată prin ecranul de vizualizare mărită. Aparatul folosește motoare fine pentru a alinia în cele din urmă cele două fibre și emite o scânteie mică între doi electrozi pentru arderea ultimelor urme de praf și umezeală. Imediat după aceea este generată o scânteie mai mare, care ridică temperatura peste punctul de topire a sticlei, realizând așașadar sudura permanentă a celor două capete de fibră. Locația și energia scânteii sunt atent controlate, astfel încât miezul și învelișul să nu se amestece reciproc. O estimare a pierderilor prin lipitura astfel realizată este generată prin metode optice, prin direcționarea luminii prin învelișul fibrei de pe o parte și măsurarea scurgerii luminii de cealaltă parte. Pierderile tipice cauzate de astfel de suduri se situează sub 0,1dB.

O altă aplicație a sudurii pe fibră, în afara celei de înlocuire a segmentelor defecte sau prelungire a unui tronson de fibră, este adăugarea de conectori la capetele unei fibre optice. Pentru a cupla fibra la un dispozitiv de emisie/recepție sau la un repetor este întotdeauna nevoie de un conector specific tipului respectiv de dispozitiv. Toți conectorii disponibili pot fi cumpărați sub formă de *pigtail*, adică sub forma unei fibre optice scurte care la un capăt are

conectorul dorit. Celălalt capăt al fibrei pigtail, fiind liber, poate fi sudat cu ușurință la terminalul fibrei optice pe care dorim să o cuplăm la dispozitivul de emisie/recepție respectiv. Tipurile de conectori cele mai uzuale în prezent sunt arătate în Figura 3.



Figura 3 Conectori uzuali în comunicațiile pe fibră optică.

**2.2. Măsurarea caracteristicilor unei fibre.** Caracterizarea unei fibre se face folosind un Reflectometru Optic in Domeniul Timp (OTDR - Optical Time Domain Reflectometer). Folosind un asemenea aparat putem măsura pierderile pe toată lungimea fibrei, dimensiunile fibrei, distanța până la diferiți conectori, etc. Pentru a realiza aceste măsurători, putem conecta aparatul la oricare dintre capetele fibrei. OTDR-ul generează pe fibră o serie de pulsuri luminoase și măsoară la același capăt radiația împrăștiată înapoi de fibră (prin difuzie Rayleigh). Graficul pe care-l afișează urmărește variația luminii împrăștiată înapoi, în funcție de timp. Timpul corespunde unei anumite distanțe, calculată în funcție de viteza de propagare a luminii pe fibră. La emisie OTDR-ul folosește un laser, iar la recepție un fotodetector. O oglindă semi-transparentă separă brațul pe care se găsește laserul de cel pe care se găsește fotodetectorul. Din păcate izolarea celor două brațe nu este perfectă, iar din această cauză fotodetectorul este orbit temporar de pulsul pe care laserul îl generează. În cele câteva fracțiuni de secundă necesare fotodetectorului să-și recapete sensibilitatea, lumina împrăștiată de fibră nu poate fi analizată (Figura 4, zona A). Acest timp corespunde unei distanțe  $D_z$  parcursă de lumină pe fibră, distanță numită în literatura de specialitate zonă moartă (*dead zone*). O problemă asemănătoare este cauzată de reflexia luminii la nivelul primului conector (cel dintre OTDR și fibră). Impulsul returnat de această conexiune va genera un *spike* pe graficul OTDR-ului și va bloca pentru puțin timp reacția fotodetectorului, prelungind zona moartă inițială (Figura 4, A). După ce fotodetectorul se stabilizează, vom putea observa scăderea cu timpul a radiației împrăștiată de fibră (Figura 4, B). Ultimul spike de pe graficul OTDR-ului (Figura 4, C) corespunde reflexiei la celălalt capăt al fibrei. Tot ce urmează după acest ultim spike este zgomot și trebuie ignorat (Figura 4, D).

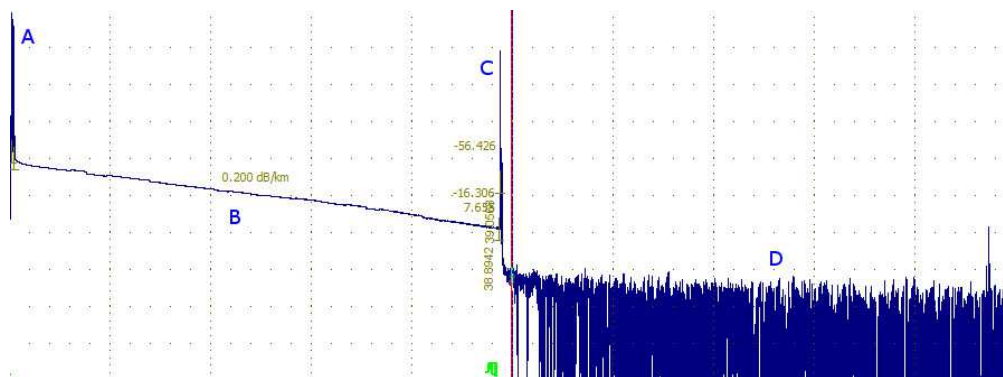


Figura 4 Caracteristica unei fibre, văzută pe OTDR (Figură realizată cu programul uOTDR)

### **2.2.1. Calibrarea**

Correspondența între timpul după care OTDR-ul primește un impuls înapoi și distanța pe fibră până la locul unde a avut loc reflexia este realizată prin intermediul indicelui de refracție  $n$  al fibrei. Rezultă că OTDR-ul trebuie să cunoască indicele de refracție al fibrei cu suficientă precizie pentru a ne indica distanțele până în punctele unde au loc reflexii pe fibră. Dacă presupunem că valorile indicelui de refracție al fibrei noastre diferă de valorile standard aflate în memoria OTDR-ului, putem face o calibrare a aparatului pentru cazul tipului nostru de fibră. Pentru aceasta scoatem o anumită distanță de fibră din cablul ei de protecție și îi măsurăm cu precizie lungimea. Atenție! Măsurătoarea trebuie realizată direct pe fibră, fiindcă lungimea cablului optic diferă adesea de lungimea mai mare a fibrelor pe care le conține. Fixăm apoi cursorul OTDR-ului la o distanță egală cu lungimea fibrei și conectăm fibra la aparat. Ultimul spike de pe caracteristica OTDR-ului corespunde reflexiei la capătul fibrei și trebuie să se suprapună cu poziția pe care am fixat cursorul. În caz că nu se întâmplă aceasta, reglăm cu finețe valoarea indicelui de refracție până ce spike-ul de final ajunge să coincidă cu poziția cursorului.

### **2.2.2. Putere vs Rezoluție**

Rezoluția aparatului (capacitatea de a distinge două discontinuități apropiate în fibră ca fiind separate) este invers proporțională cu lățimea pulsului laser pe care OTDR-ul îl emite pe fibră.

Distanța până la care poate un puls ajunge pe fibră (în așa fel încât reflexia lui să poată fi detectată de OTDR la întoarcere) este direct proporțională cu puterea pulsului emis. Puterea pulsului laser este însă direct proporțională cu lățimea sa. Ceea ce înseamnă că atunci când dorim să sondăm regiuni depărtate pe fibra optică, vom fi nevoiți să folosim pulsuri laser puternice, ceea ce va reduce automat și rezoluția măsurătorii.

### **2.2.3. Lungimea de undă**

OTDR-ul poate folosi mai multe lungimi de undă pentru măsurare, și fiecărei lungimi de undă îi va corespunde o caracteristică diferită a fibrei. De exemplu, măsurarea unei fibre monomod la 1550nm implică mai puține pierderi pe unitatea de lungime decât măsurarea ei la 850nm sau 1300nm. Atenție doar că în cazul în care este nevoie să faceți calibrarea OTDR-ului, aceasta trebuie realizată pentru fiecare lungime de undă la care veți face măsurarea.

### **2.2.4. Plasarea cursorului**

Pentru a citi corect distanța până la un punct de reflexie de pe fibră (până la un conector de exemplu) trebuie plasat cursorul în primul punct de inflexiune al graficului, în punctul în care acesta schimbă direcția. Nu trebuie plasat cursorul pe maximul local (ce urmează punctului de inflexiune) pentru a afla distanța, dar este importantă și valoarea pe care o obținem pentru acest maxim la calcularea coeficientului de reflexie.

### 2.2.5. Tipuri de pierderi

În funcție de proveniența pierderilor, putem identifica diverse formațiuni grafice pe caracteristica returnată de OTDR:

P0. Pierderile cauzate de atenuarea în fibră: sunt egale cu panta graficului vizualizat pe OTDR, calculată în regiunile unde nu există alte tipuri de pierderi (Figura 4, B).

P1. Pierderi în conectori: sunt caracterizate printr-o reflexie importantă și o coborâre mare între nivelul graficului înainte și cel de după reflexie (cel puțin 0,5dB). Amprenta unei astfel de pierderi este prezentată în Figura 5.A.

P2. Pierderi în sudurile mecanice: sunt asemănătoare cu pierderile în conectori (Figura 5.A) dar au un salt mai mic (aproximativ 0,3dB) între nivelul de dinainte și nivelul de după reflexie. De asemenea, spike-ul ce caracterizează reflexia este mai mic comparativ cu spike-urile obținute în conectori.

P3. Pierderi în sudurile cu fuziune: sunt caracterizate de o coborâre ușoară (sub 0,1 dB) între nivelul de dinainte și cel de după sudură, însă fără prezența spike-ului caracteristic unei reflexii (comun tuturor celorlalte tipuri de pierderi). Acest tip de pierderi este prezentat în Figura 5.C.

P4. Pierderi fantomă: se caracterizează printr-o reflexie ce imită reflexia în conectori, însă la care nivelul de după reflexie este identic cu nivelul de dinainte de reflexie (dacă avem grijă să compensăm pierderile cauzate de coeficientul de atenuare al fibrei).

P5. Pierderile la capătul fibrei: Sunt reprezentate de ultimul spike de reflexie, cel de dinainte de zona de zgomot (Figura 4, C). La fibrele la care ieșirea nu este făcută direct în aer, ci într-un gel antireflex, pierderile la capătul fibrei nu vor prezenta spike-ul de reflexie caracteristic, ci doar o atenuare lină către nivelul de zgomot.

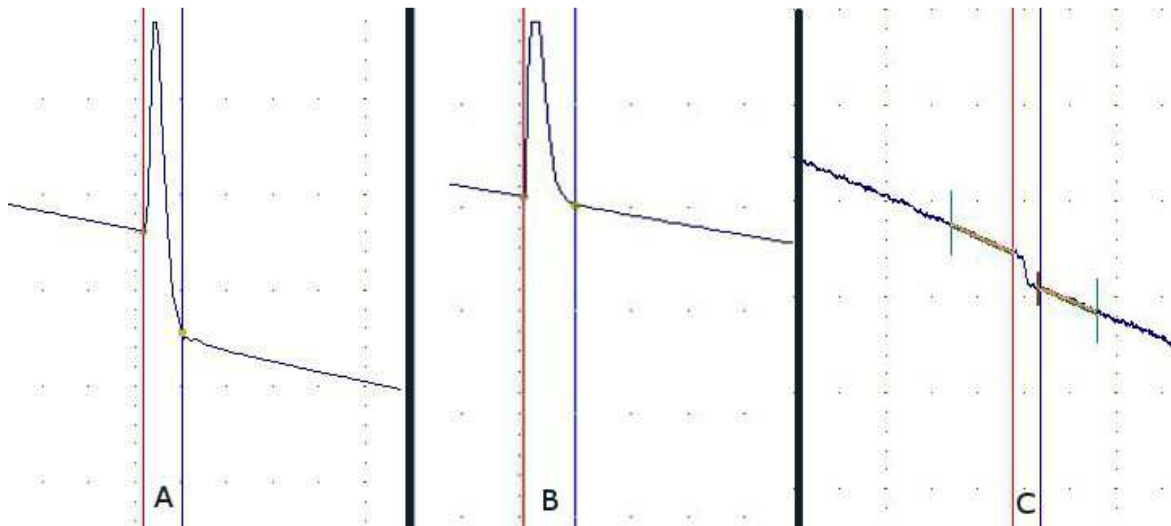


Figura 5 Ampretele diferitelor tipuri de pierderi văzute pe OTDR: A – pierderi în conectori, B – pierderi fantomă, C – pierderi prin sudură. Figurile sunt realizate cu simulatorul uOTDR.

### 2.2.6. Simulatorul uOTDR

Ar fi foarte scump și uneori practic imposibil antrenarea viitorilor ingineri în comunicații optice pe un set suficient de numeros de fibre optice pe care să le putem găsi în laborator. Pentru a veni în sprijinul acestei dificultăți, s-a creat aplicația freeware „uOTDR Simulator”, care, pe lângă posibilitatea oferită de orice alt OTDR de a măsura fibre reale (prin cuplarea la calculator a unui echipament hardware specific), oferă și o bază suficient de mare de caracteristici înregistrate ale unor fibre măsurate anterior. Caracteristicile nu sunt înregistrate sub forma unui grafic, ci sub formă de date neprelucrate, care sunt analizate doar la încărcare de către soft. Aplicația citește fișierul în același fel cum ar face-o cu fluxul de date pe care le-ar primi dacă în momentul acela ar face diagnosticul unei fibre optice folosind echipamentul său hardware dedicat.

### 2.2.7. Metode de măsură a pierderilor

Fiecarui tip de pierderi prezentat în Secțiunea 2.2.5 îi corespunde o anumită metodă de măsură optimă, din arsenalul metodelor oferite de OTDR-uri. Simulatorul uOTDR oferă aceleași metode de măsură a pierderilor ca și alte aparate hardware din clasa lui, fiecare metodă având propria iconiță în meniul softului (Figura 6).

Toate metodele de măsură se bazează pe calculul diferenței între amplitudinea unei corespunzătoare cursorului din stânga și cea corespunzătoare cursorului din dreapta. Pentru a fixa poziția cursorului din stânga se face cu mouse-ul click stânga, iar pentru a fixa poziția cursorului din dreapta se face cu mouse-ul click dreapta. Cea mai precisă metodă de măsură este metoda de măsură prin interpolare exterioară (a treia iconiță din meniul din Figura 6). Este singura metodă de măsură capabilă să elimine efectul atenuării în fibră, atunci când vrem să calculăm pierderile în conectori sau suduri.

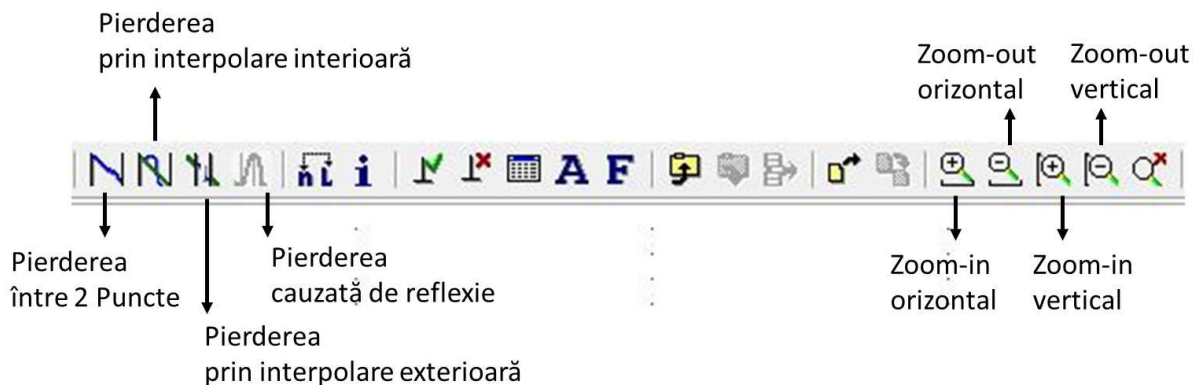


Figura 6 Meniul softului de simulare a reflectometriei prin fibră (uOTDR)

### 3. Desfășurarea lucrării

- 3.1. Deschideți în programul uOTDR toate fișierele din Folderul „Parameter Demos”. Acest folder conține un set de 25 de măsurători efectuate asupra aceleiași fibre, dar variind diferiți parametri ai OTDR-ului. De exemplu, deschizând fișierele denumite „avg\*.sor” (unde simbolul \* ține locul oricărui șir de caractere) vom putea observa ce se întâmplă când variem numărul de măsurători  $N_{av}$  pe care OTDR-ul trebuie să le facă înainte de a afișa rezultatul (prin mediere). Ce parametri au fost variați în seturile de fișiere  $n*.sor$ ,  $pw*.sor$ ,  $r*.sor$ , respectiv  $w*.sor$  și ce efect au acești parametri asupra măsurătorilor?
- 3.2. Deschideți fișierul „FTTx Traces/FTTxdownstream.sor”. Identificați și calculați pierderile cauzate de toți conectorii prezenți pe fibră folosind atât metoda „celor 2 puncte” cât și metoda „interpolării exterioare”. Care dintre ele este mai precisă și de ce?
- 3.3. Deschideți fișierul „Traces/3km-mm.sor”. Identificați al câtelea spike de pe grafic corespunde unei pierderi fantomă.
- 3.4. Deschideți fișierul „Traces/3x250cbl.sor”. Cum credeți că arată montajul experimental care a produs această caracteristică? Măsurați coeficienții de atenuare de-a lungul circuitului.
- 3.5. Deschideți fișierul „Traces/01\_15\_150km.sor”. Măsurați pierderile în sudura realizată pe fibră la distanța 25.2km față de OTDR. Câți km are fibra în total?
- 3.6. Deschideți fișierul „Traces/nec\_43a.sor”. Ce coeficient de atenuare are fibra pe tronsonul [25km, 50km]? Imaginându-ne o fibră infinită având acest coeficient de atenuare, după ce distanță de propagare pe fibră radiația luminoasă va avea jumătate din intensitatea ei la începutul fibrei?

### 4. Intrebări generale

- 4.1. Ce formulă utilizează OTDR-ul pentru a face corespondența între timpul după care acesta primește un impuls înapoi și distanța pe fibră până la locul unde a avut loc reflexia impulsului?
- 4.2. Pentru a detecta cu precizie locul de pe fibră unde apare un defect se folosește un dispozitiv non-invaziv numit „presă frigorifică”. Aceasta este pusă în proximitatea locului unde detectăm defectul și vedem pe caracteristica OTDR-ului dacă semnătura specifică presei apare înainte sau după semnătura specifică defectului. Pe ce principiu funcționează această presă?
- 4.3. Dacă indicele de refracție este setat greșit, care anume din indicațiile OTDR-ului va fi greșită?
- 4.4. La care lungime de undă oferă reflectometria cea mai bună precizie pentru caracterizarea unei fibre monomod?