



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ  
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ  
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ

**Τ.Ε.Ι. ΚΡΗΤΗΣ - ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**Σύνταξη εργαστηριακής άσκησης OTDR για το εργαστήριο  
Οπτοηλεκτρονική & Οπτικές Επικοινωνίες.**

Επιμέλεια: Κουρή Μαρία

Επιβλέπων Καθηγητής: Ανδρουλάκης Γεώργιος



**ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ - ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ**

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΠΤΟΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΟΠΤΙΚΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ OTDR**

ΧΑΝΙΑ,  
ΦΕΒΡΟΥΑΡΙΟΣ

## ***ΠΕΡΙΛΗΨΗ***

Ο σκοπός αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι η σύνταξη μιας εργαστηριακής άσκησης για την εξοικείωση των φοιτητών με τη συσκευή OTDR. Αρχικά παρατίθεται η βασική θεωρία της εξέτασης μονοδιάστατων οπτικών δικτύων με τη χρήση OTDR. Ακολούθως μελετώνται τα χαρακτηριστικά μονότροπων και πολύτροπων οπτικών ινών, καθώς και των απωλειών που εισάγουν οι μεταξύ τους μηχανικές συνδέσεις. Καταβλήθηκε προσπάθεια ώστε να γίνει σαφής η επίδραση σημαντικών παραμέτρων, όπως το μήκος κύματος και το εύρος παλμού.

## ***ABSTRACT***

The purpose of this thesis is to set up a lab experiment, intending to introduce students to the OTDR device. Starting from the basic theory of diagnosing simple one dimensional optical network by using OTDR, we then proceed with the actual experiment: Various single and multimode optical fibers are examined, as well as attenuation that their mechanical connections induce. Special effort has been put to expose the influence of important parameters such as the wavelength and the pulse width.

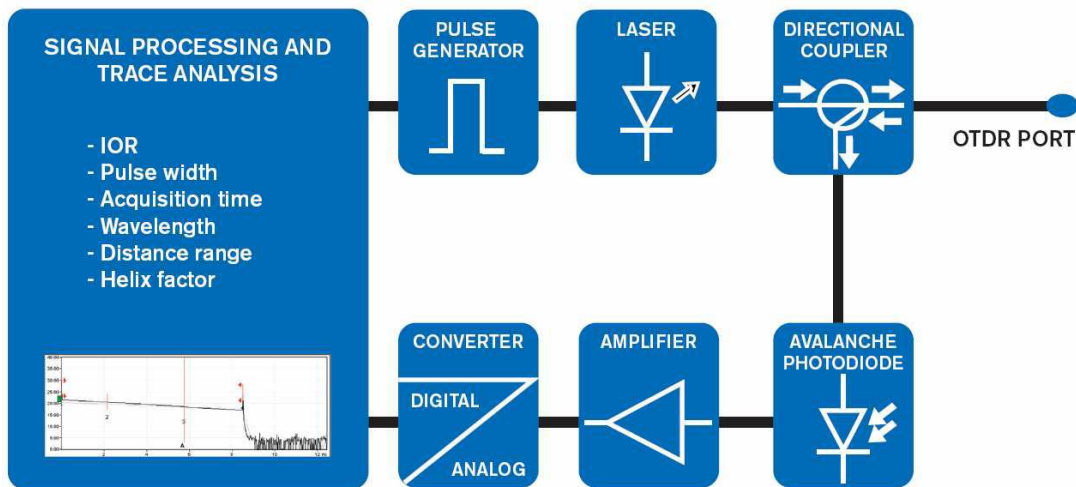
Στοιχεία λειτουργίας και χρήσης ενός οργάνου  
**Optical Time Domain Reflectometer (OTDR)**

### **Εισαγωγή**

Το OTDR (Optical Time Domain Reflectometer) είναι ένα όργανο μέτρησης οπτικών ανακλάσεων στο πεδίο του χρόνου. Μια συσκευή OTDR μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση του μήκους του οπτικού δικτύου και τον υπολογισμό της συνολικής εξασθένισης, συμπεριλαμβανομένων των απωλειών στις συγκολλήσεις και τους συνδετήρες. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης στον εντοπισμό σφαλμάτων και στον υπολογισμό των οπτικών απωλειών επιστροφής.

### **Αρχές λειτουργίας του OTDR**

Ένα OTDR λειτουργεί με βάση την διάδοση ενός οπτικού σήματος σε μια οπτική ίνα κατά τη διάρκεια συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος. Μια γεννήτρια παλμών παράγει παλμούς ανά τακτά χρονικά διαστήματα, οι οποίοι αποστέλλονται σε μια πηγή laser (σχήμα 1). Διαμέσου ενός κατευθυντικού ζεύκτη η δέσμη του laser διοχετεύεται στην οπτική ίνα. Λόγω των προσμίξεων που υπάρχουν σε μια οπτική ίνα αλλά και λόγω ασυνέχειας (συνδετήρες, συγκολλήσεις) μια ποσότητα φωτός θα ανακλαστεί και θα επιστρέψει πίσω στο όργανο. Αυτή η ποσότητα φωτός ανιχνεύεται από μια φωτοδίοδο η οποία μετατρέπει το οπτικό σήμα σε ηλεκτρικό και στη συνέχεια το σήμα αυτό θα ενισχυθεί και θα είναι έτοιμο για επεξεργασία από εσωτερικό μικροϋπολογιστή. Η διαδικασία που μόλις περιγράφηκε επαναλαμβάνεται αρκετές φορές ώστε να εξαλειφθούν κατά το δυνατό πιθανά στατιστικά σφάλματα. Το λογισμικό του OTDR αναλαμβάνει να βγάλει το μέσο όρο των μετρήσεων και αφού μετατρέψει το χρόνο σε μήκος, μας δίνει τη γραφική παράσταση της ανακλώμενης οπτικής ισχύος σε συνάρτηση με την απόσταση από την αρχή του δικτύου.



Σχήμα 1. Αναπαράσταση βαθμίδων ενός OTDR.

Η λειτουργία του OTDR βασίζεται σε 2 φυσικά φαινόμενα: Σκέδαση Rayleigh και ανακλάσεις Fresnel.

Η σκέδαση Rayleigh είναι η ανάκλαση του φωτός από σωματίδια των οποίων το μέγεθος είναι αμελητέο σε σχέση με το μήκος κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Η σκέδαση αυτή είναι μιά διαδικασία στην οποία ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σκεδάζεται από ένα μικρό σφαιρικό όγκο(με διάμετρο μικρότερη του μήκους κύματος, τυπικά μέχρι  $(\lambda/10)$  μεταβλητού δείκτη διάθλασης. Στην περίπτωση των οπτικών ινών η σκέδαση του φωτός γίνεται από τις προσμίξεις που περιέχουν τα υλικά από τα οποία κατασκευάζονται. Το φως καθώς διαδίδεται μέσα στην οπτική ίνα εξασθενεί σκεδαζόμενο προς όλες τις κατευθύνσεις. Ένα σταθερό ποσοστό ανακλάται συνεχώς προς τα πίσω, λόγω:

1. Της ομοιογενούς κατανομής προσμίξεων κατά μήκος των οπτικών ινών.
2. Δεδομένου ότι κατά την σκέδαση Rayleigh, η ανακλώμενη ακτινοβολία είναι συμμετρική ως προς το κάθετο στην διεύθυνση πρόσπτωσης επίπεδο.

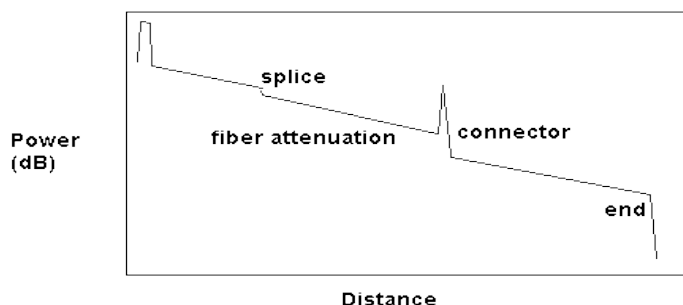
Η ανακλώμενη ακτινοβολία που ανιχνεύει το OTDR από μια συνεχή οπτική ίνα χωρίς ανωμαλίες απεικονίζεται στο ίχνος ως μια φθίνουσα ευθεία.

Οι ανακλάσεις Fresnel καθορίζουν την μορφή των παρεκκλίσεων στις οπτικές ίνες, οι οποίες συμβαίνουν κατά την διέλευση του φωτός από ένα υλικό με κάποιο δείκτη διάθλασης ,σε ένα άλλο υλικό με διαφορετικό δείκτη. Δεν έχουν συνεχή χαρακτήρα αλλά συμβαίνουν ως μεμονωμένα γεγονότα σε συγκεκριμένα σημεία του δικτύου.

## Ίχνος OTDR

Ίχνος είναι το διάγραμμα που βλέπουμε στην οθόνη του OTDR.(σχήμα 2). Οι άξονες του διαγράμματος είναι ισχύς (dB) προς μήκος (P-1). Αρχικά βλέπουμε μια μεγάλη ανάκλαση η οποία οφείλεται στη σύνδεση του OTDR με την οπτική ίνα. Οι ανακλάσεις Fresnel επικάθονται πάνω στη συνεχούς φθίνουσα ευθεία και οφείλονται σε splice, συνδετήρα (connector) και το τέλος της οπτικής ίνας το οποίο συμπίπτει με την αρχή της. Στην περίπτωση που στο δίκτυο υπάρχει ένωση δυο οπτικών ιών με διαφορετική εξασθένιση τότε στο αντίστοιχο ίχνος οι δυο ευθείες θα έχουν διαφορετική κλίση. Επίσης υπάρχει περίπτωση το ίχνος να μην δείξει εξασθένιση εκεί που υπάρχει ένωση των δυο οπτικών ιών αλλά κέρδος. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι η δεύτερη οπτική ίνα μπορεί να έχει μεγαλύτερο συντελεστή ανακλώμενης ακτινοβολίας οπότε παρόλο που οι δυο ίνες διαρρέονται από το ίδιο φως, η δεύτερη να στέλνει περισσότερη ανακλώμενη ισχύ στην φωτοδίοδο. Αν τοποθετήσουμε το OTDR στην άλλη άκρη του δικτυώματος τότε θα παρατηρήσουμε μεγάλη εξασθένιση. Για το λόγο αυτό τοποθετούμε το OTDR και στα δυο άκρα του δικτυώματος ώστε να αξιολογηθεί καλύτερα το δίκτυο.

### OTDR Display



Σχήμα 2. Ίχνος OTDR.

## Μέτρηση απόστασης ίνας

Με την χρήση ενός OTDR μπορεί να προσδιοριστεί το μήκος μιας οπτικής ζεύξης με ακρίβεια. Η μέτρηση αυτή είναι σημαντική για να προσδιοριστεί το σημείο διακοπής ζεύξης ή το σημείο εισαγωγής υψηλής εξασθένησης. Η μέτρηση μπορεί να προσδιοριστεί μέσω της παρακάτω σχέσης:

$$L = \frac{vt}{2} = \frac{ct}{2n} \quad (1)$$

Όπου  $v$  ταχύτητα ομάδας (η ταχύτητα που κινούνται οι περιβάλλουσες ενός Γκαουσιανού παλμού),  $t$  ο χρόνος που απαιτείται να διαδοθεί και να ανακλαστεί το φως πίσω στο όργανο,  $L$  το μήκος της οπτικής ίνας,  $c$  η ταχύτητα φωτός στο κενό και  $n$  ο δείκτης διάθλασης του πυρήνα της ίνας. Στην ουσία το όργανο μετράει το χρόνο διάδοσης και επιστροφής της φωτεινής δέσμης και έχοντας μια τιμή για τον δείκτη διάθλασης υπολογίζει το μήκος από τη σχέση (1).

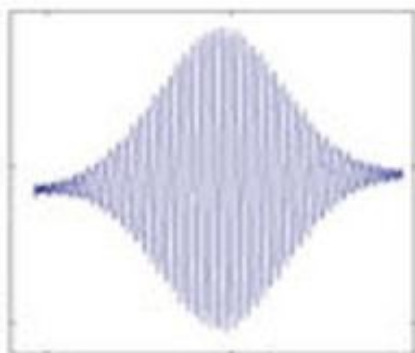
## Νεκρή ζώνη

Σαν νεκρή ζώνη (dead zone) ορίζεται η απόσταση (χρόνος)<sup>1</sup> κατά την οποία η φωτοδίοδος είναι κορεσμένη λόγω της μεγάλης ποσότητας ανακλώμενου φωτός. Το εύρος των νεκρών ζωνών συνδέεται άμεσα με τη διακριτικότητα (resolution) του οργάνου. Οι μικρές νεκρές ζώνες έχουν σημασία έτσι ώστε να εντοπιστούν τα κοντινά γεγονότα και να μετρηθούν οι απώλειές τους. Υπάρχουν δυο ειδών νεκρές ζώνες: οι νεκρές ζώνες γεγονότος και οι νεκρές ζώνες εξασθένησης.

---

<sup>1</sup> Στον κόσμο των OTDR ο χρόνος μεταφράζεται σε απόσταση.  
 $c=3 \times 10^8$  m/s

## Εύρος παλμών



Η νεκρή ζώνη περιορίζεται σε μέγεθος αν οι παλμοί που εκπέμπονται από το OTDR είναι στενού εύρους. Αυτό εξηγείται λόγω του ότι οι μεγάλοι εύρους παλμοί έχουν μεγάλη ενέργεια, με συνέπεια μεγάλη πισοσκεδαζόμενη ισχύς και έτσι η φωτοδίοδος είναι κορεσμένη για περισσότερο χρόνο. Μειονέκτημα μιας τέτοιας ρύθμισης είναι ότι οι παλμοί στενού εύρους δεν διαδίδονται σε μεγάλες αποστάσεις και μειώνουν την απόκριση του οργάνου στις αποστάσεις αυτές. Η σωστή ρύθμιση επιτυγχάνεται από την αυτόματη λειτουργία οργάνου κατά την οποία επιλέγεται το κατάλληλο εύρος παλμών με όσο δυνατόν την καλύτερη απόδοση του οργάνου.

## Δυναμικό εύρος

Η παράμετρος που καθορίζει την μέγιστη απώλεια που μπορεί να μετρηθεί από τη μέγιστη ανακλώμενη ισχύ μέχρι κάποιο επίπεδο θορύβου.

Το μέγιστο μήκος ενός οπτικού δικτύου που μπορεί να μετρήσει το OTDR:

$$\text{Εμβέλεια(km)} = \frac{\text{δυναμικό εύρος(dB)}}{\text{εξασθένιση(dB/km)}} \cdot$$

Όσο περισσότερα εξαρτήματα όπως συνδετήρες, διαχωριστές, και ζεύξεις έχει το δίκτυο τόσο το δυναμικό εύρος του OTDR μειώνεται. Επιλέγεται OTDR με δυναμικό εύρος με 5-8 dB μεγαλύτερο από τις αναμενόμενες απώλειες του δικτυώματος που πρόκειται να διαγνωστεί.



## Μήκος κύματος

Τα μήκη κύματος που χρησιμοποιούνται είναι τα καθιερωμένα που χρησιμοποιούνται και στις οπτικές επικοινωνίες. Η επιλογή αυτών των μηκών κύματος βασίζεται στην παρατήρηση ότι στα 850, 1300 και 1550nm οι απώλειες ελαχιστοποιούνται. Οι απώλειες αυτές οφείλονται στην σκέδαση Rayleigh, με ισχυρή εξάρτηση από το μήκος κύματος ( $\sim \lambda^{-4}$ ), αλλά και στην απορρόφηση από υδρατμούς που βρίσκονται μέσα στις οπτικές ίνες. Για δεδομένο δυναμικό εύρος, όσο μεγαλύτερο το μήκος κύματος τόσο μεγαλύτερη απόσταση θα διανύσει ο παλμός.

## Συμβουλές για αποδοτική χρήση του OTDR

- Η ελάττωση της νεκρής ζώνης επιτυγχάνεται με την χρήση βραχέων παλμών.
- Χρησιμοποιώντας μεγάλο αριθμό επαναλήψεων έχουμε πιο ομαλά διαγράμματα.
- Για τον χαρακτηρισμό μιας ζεύξης οι μετρήσεις μπορούν να χωριστούν σε στάδια. Π.χ. Για τον χαρακτηρισμό του πρώτου άκρου της ζεύξης χρησιμοποιούμε στενούς παλμούς για να εξαλειφθούν οι νεκρές ζώνες όσο το δυνατόν περισσότερο. Για το χαρακτηρισμό του μήκους της ζεύξης χρησιμοποιούμε ευρείς παλμούς ,ανθεκτικούς στις απώλειες. Έτσι έχουμε έναν ακριβή καθορισμό της ζεύξης σε όλο το μήκος της.

## ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟ ΜΕΡΟΣ

**Αντικείμενο :** Αντικειμενικός σκοπός της άσκησης είναι η εξοικείωση με το όργανο OTDR καθώς και η μελέτη του ίχνος απλών μονοδιάστατων οπτικών δικτυωμάτων. Το OTDR του εργαστηρίου παρουσιάζεται στην παρακάτω εικόνα.



Συσκευή OTDR

## ΣΚΟΠΟΣ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Στο πείραμα που πρόκειται να πραγματοποιήσουμε θα προσδιορίσουμε τα χαρακτηριστικά (μήκος-απώλειες) των ακόλουθων οπτικών ινών καθώς και τις απώλειες που εισάγουν οι μεταξύ τους μηχανικές συνδέσεις. Χρηιαστήκαμε το όργανο OTDR, 4 οπτικές ίνες και έναν μηχανικό connector.

Οι οπτικές ίνες που χρησιμοποιούμε είναι:











Δύο μονότροπες με διάμετρο πυρήνα 9 $\mu$ m, διάμετρο περιβλήματος 125 $\mu$ m και μήκος 1km.

Μία πολύτροπη με διάμετρο πυρήνα 62,5 $\mu$ m, διάμετρο περιβλήματος 125 $\mu$ m και μήκος 36m.

Μία πολύτροπη με διάμετρο πυρήνα 50 $\mu$ m, διάμετρο περιβλήματος 125 $\mu$ m και μήκος 530m.

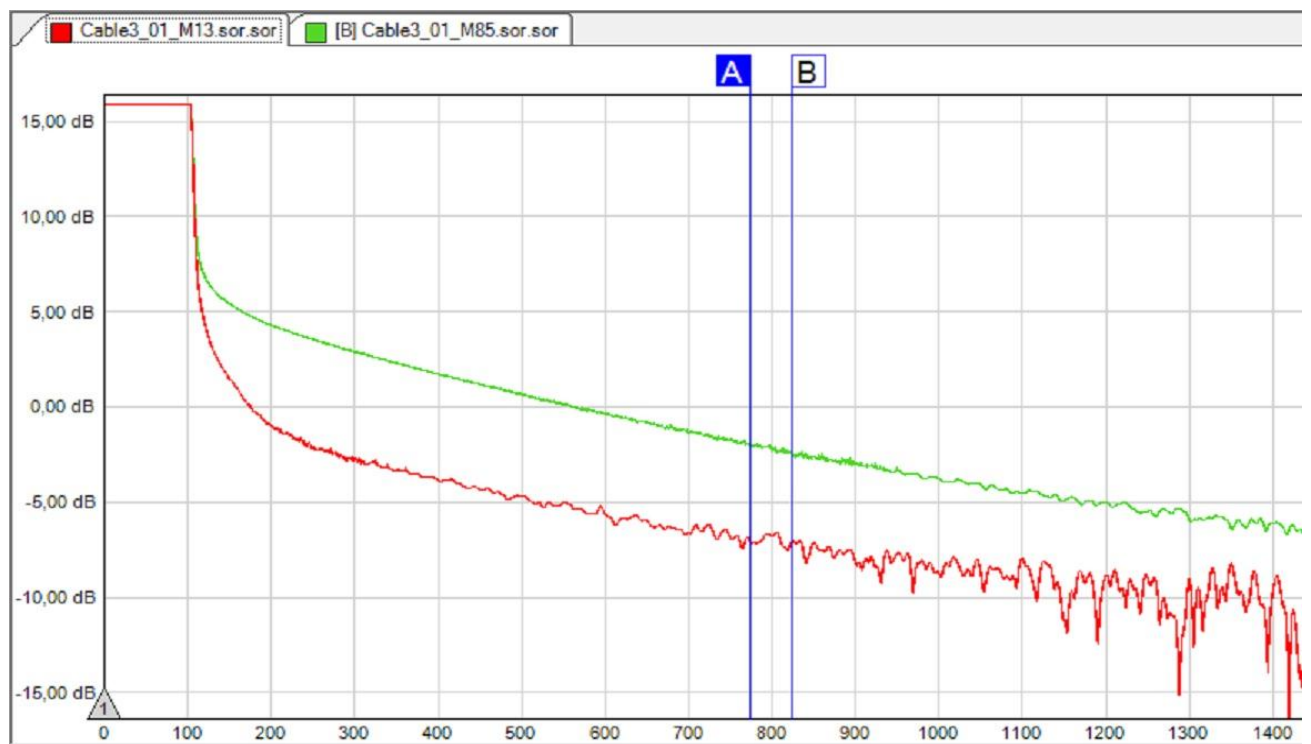
Παρακάτω παρατίθεται ένας συνοπτικός πίνακας των βασικών λειτουργιών του OTDR.

Σχήμα 3. Πίνακας

| KEY SYMBOL  | KEY NAME                | KEY FUNCTION   |
|---|-------------------------|--|
|    | Power                   | Ανοίγει και κλείνει το όργανο  |
|    | VFL laser               | ON 2Hz - Press and hold (approx. 2 sec.) LED will flash<br>ON CW - Press and hold (approx. 4 sec.) LED will be solid<br>OFF - Press and hold (approx. 1 sec.) LED should be OFF  |
|    | Menu                    | Πρόσβαση στο menu του οργάνου  |
|    | Left and Right Tab keys | Αλλάζει την προηγούμενη ή επόμενη καρτέλα στο menu   |
|    | Arrow keys              | έχουν αρκετές ιδιότητες: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Στις καρτέλες Home Page, Files and Main Menu χρησιμοποιούνται για την περιήγηση ή την αλλαγή παραμέτρων.</li> <li>• Για την μετακίνηση των κερσόρων στην ταμπέλα Trace</li> <li>• Αλλάζουν το επίπεδο του zoom οριζόντια ή κάθετα</li> </ul> |
|  | Enter                   | έχουν αρκετές ιδιότητες: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Στην καρτέλα Main Menu πατώντας το εμφανίζεται υπομενού εάν υπάρχει</li> <li>• Στην καρτέλα Trace πατώντας το γίνεται εναλλαγή μεταξύ [A] και [B] κέρσορα</li> </ul>   |
|  | Back                    | Πατώντας το μια ή περισσότερες φορές για να γυρίσετε στο προηγούμενο μενού   |
|  | Test                    | Ξεκινά ή σταματά μια μέτρηση   |
|  | Save                    | Αποθηκεύει τα τρέχων αποτελέσματα  |
|  | Soft keys               | Η ετικέτα που εμφανίζεται στην οθόνη πάνω από κάθε πλήκτρο δείχνει την τρέχουσα χρήση κάθε πλήκτρο λειτουργίας   |

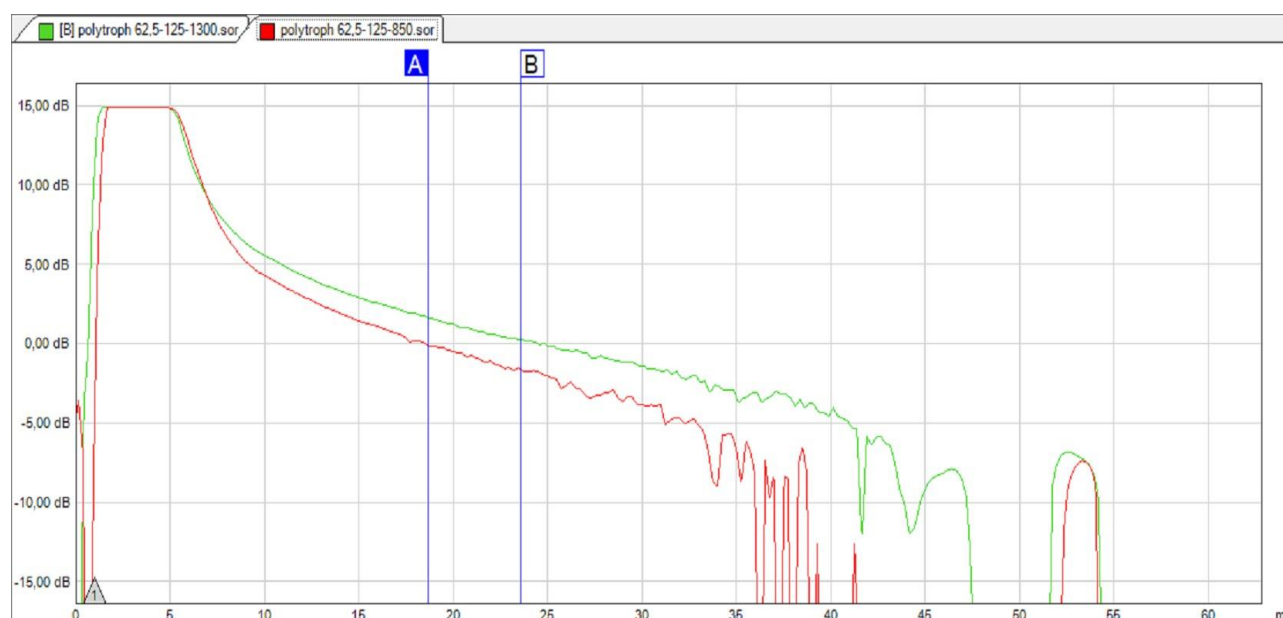
Για την καλύτερη εποπτεία των αποτελεσμάτων μεταφέρουμε το ίχνος από το OTDR στον υπολογιστή μας και το μελετάμε με την χρήση του προγράμματος Trace.Net. Η διαδικασία που ακολουθούμε είναι η εξής: Αφού αποθηκεύσουμε το ίχνος που θέλουμε στο OTDR ανοίγουμε το πρόγραμμα και πατάμε Open και ανοίγουμε το αποθηκευμένο ίχνος. Έπειτα με την χρήση των κουμπιών για ζουμ και το κουμπί που μας κάνει την εναλλαγή των κερσόρων A-B βλέπουμε αριστερά τις πληροφορίες που χρειαζόμαστε για το συγκεκριμένο ίχνος. (Στον υπολογιστή του εργαστηρίου χρησιμοποιούνται τα Windows XP το πρόγραμμα που θα χρησιμοποιηθεί είναι το TRM.)

Αρχικά θα εξετάσουμε κάθε μία από τις οπτικές ίνες με το OTDR, ξεκινώντας από τις μονότροπες. Ανοίγουμε το όργανο, πατάμε το πλήκτρο menu και εισάγουμε τις ακόλουθες ρυθμίσεις. Στην καρτέλα Test στο υπομενού Mode επιλέγουμε Expert, στο Test Port επιλέγουμε Single-mode, στο Setup επιλέγουμε Manual, στο Range βάζουμε 1km (αυτό το μήκος αναγράφεται στην οπτική ίνα που θα εξετάσουμε), στο Pulse και για τα δύο μήκη κύματος επιλέγουμε 1μs εύρος παλμού και στο Time βάζουμε 60sec. Τοποθετούμε την οπτική ίνα στην δεξιά είσοδο του οργάνου με το σύμβολο SM (Single Mode) και πατάμε το πλήκτρο Test. Το ίχνος που λαμβάνουμε είναι το εξής:



Σχήμα 4: Ίχνος μονότροπων ινών

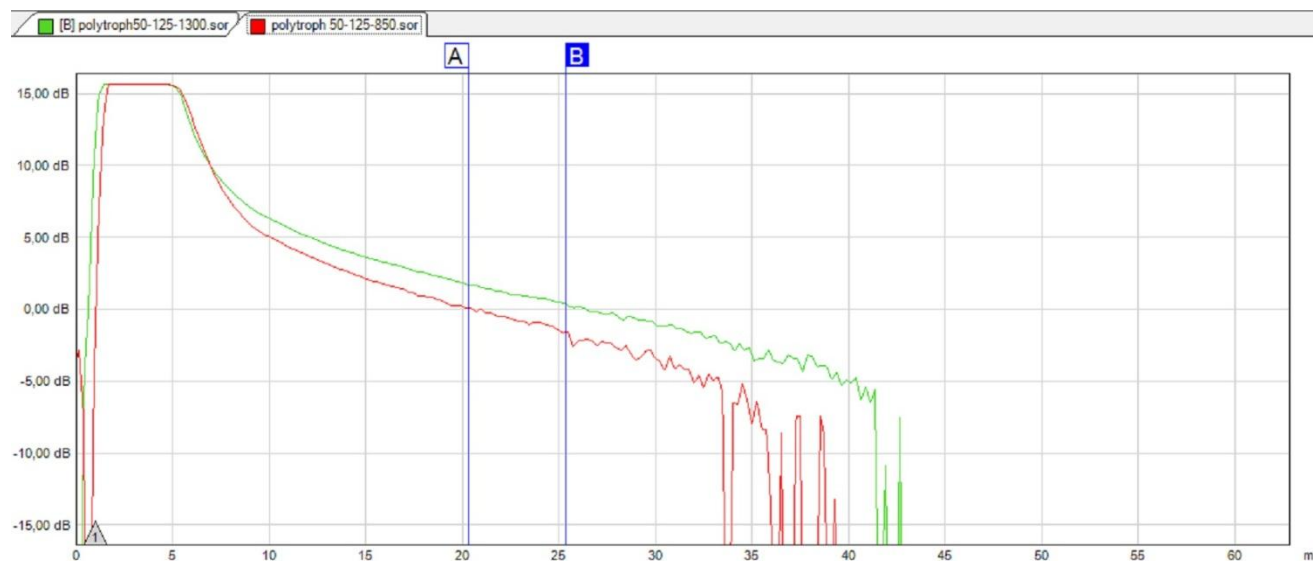
Με κόκκινη γραμμή παριστάνεται το ίχνος σε μήκος κύματος 1310 nm και με πράσινο το ίχνος σε μήκος κύματος 1500nm. Μεταξύ των κερσόρων βλέπουμε την εξασθένιση της οπτικής ίνας όπως έχουμε αναφέρει παραπάνω. Παρατηρούμε ότι για μήκος 50m η απώλεια ισχύος είναι της τάξεως των 0,64dB. Άρα για το 1km είναι 12,8dB. Στη συνέχεια θα εξετάσουμε τις πολύτροπες, ξεκινώντας από την οπτική ίνα με διάμετρο 62,5 μm. Οι αλλαγές που θα κάνουμε στο OTDR είναι: στο υπομενού Test Port επιλέγουμε Multimode, στο Range βάζουμε 0,3km, στο Pulse επιλέγουμε 30ns εύρος παλμού και στο Time βάζουμε 60sec. Την οπτική ίνα θα την τοποθετήσουμε στην αριστερή είσοδο του οργάνου με το σύμβολο MM (Multi Mode). Πατάμε Test.



Σχήμα 5: Ίχνος πολύτροπης ίνας 62,5/125.

Παρατηρούμε δύο γεγονότα στην αρχή και το τέλος του ίχνους τα οποία οφείλονται στη μηχανική σύνδεση με το OTDR και στο πέρας της οπτικής ίνας αντίστοιχα. Με κόκκινο παριστάνεται το μήκος κύματος 850nm και με πράσινο το μήκος κύματος 1300nm. Για απόσταση κερσόρων 5m έχουμε εξασθένιση 1,5dB σε μήκος κύματος 850nm και 1,39dB σε μήκος κύματος 1300nm. Αντικαθιστώντας την με την άλλη πολύτροπη οπτική ίνα και αλλάζοντας το range σε 500m και το εύρος

παλμού σε 100ns (λόγω μεγαλύτερου μήκους της οπτικής ίνας), έχουμε το παρακάτω ίχνος.



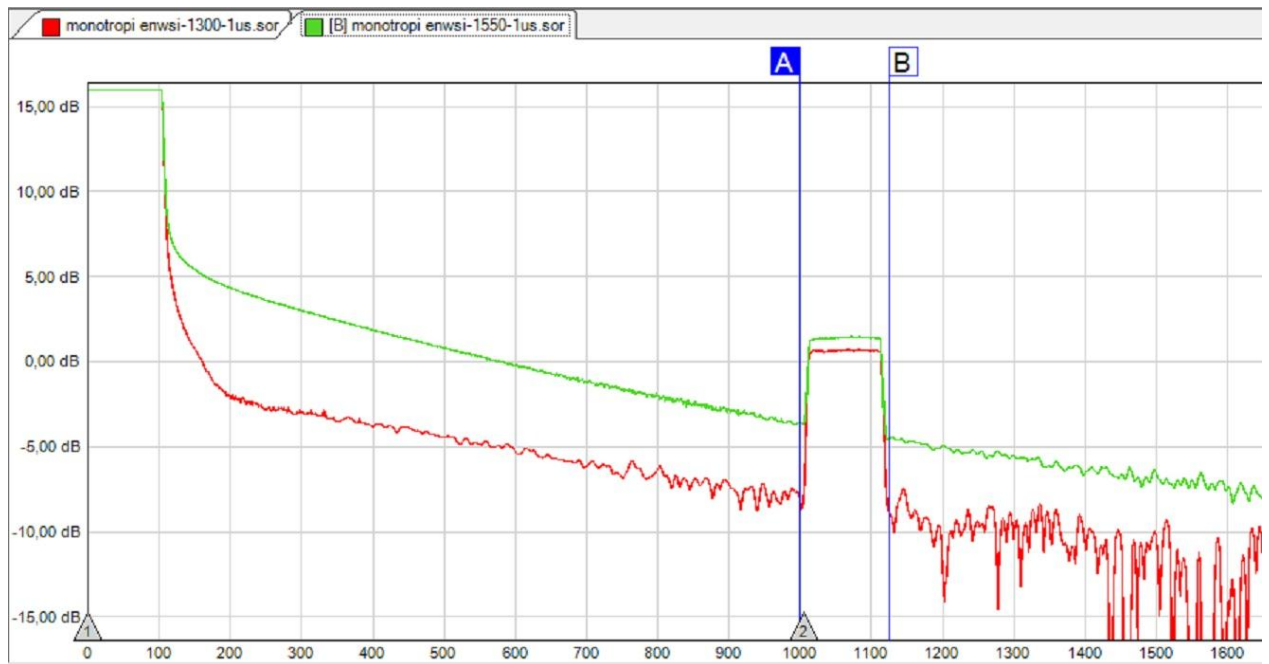
Σχήμα 6. Ίχνος πολύτροπης 50/125.

Με κόκκινο παριστάνεται το μήκος κύματος 850nm και με πράσινο το μήκος κύματος 1300nm. Παρατηρούμε μεγάλη ανάκλαση που οφείλεται στο τέλος της οπτική ίνας . Για απόσταση 5m μεταξύ A-B κερσόρων έχουμε απώλεια ισχύως 1,31dB για το μήκος κύματος 1300nm και 1,66dB για μήκος κύματος 850nm.

Στη συνέχεια θα μελετήσουμε τις ανά δύο μηχανικές ενώσεις των οπτικών ινών. Ξεκινάμε με τις μονότροπες. Αφού τις ενώσουμε μεταξύ τους με μηχανικό connector (βλ. σχήμα), τοποθετούμε την άκρη της μιας στην δεξιά είσοδο του οργάνου και κάνουμε τις εξής ρυθμίσεις. Στην καρτέλα Test στο υπομενού Mode επιλέγουμε Expert, στο Test Port επιλέγουμε Single-mode, στο Setup επιλέγουμε Manual, στο Range βάζουμε 2km, στο Pulse και για τα δύο μήκη κύματος επιλέγουμε 1us εύρος παλμού και στο Time βάζουμε 60sec.

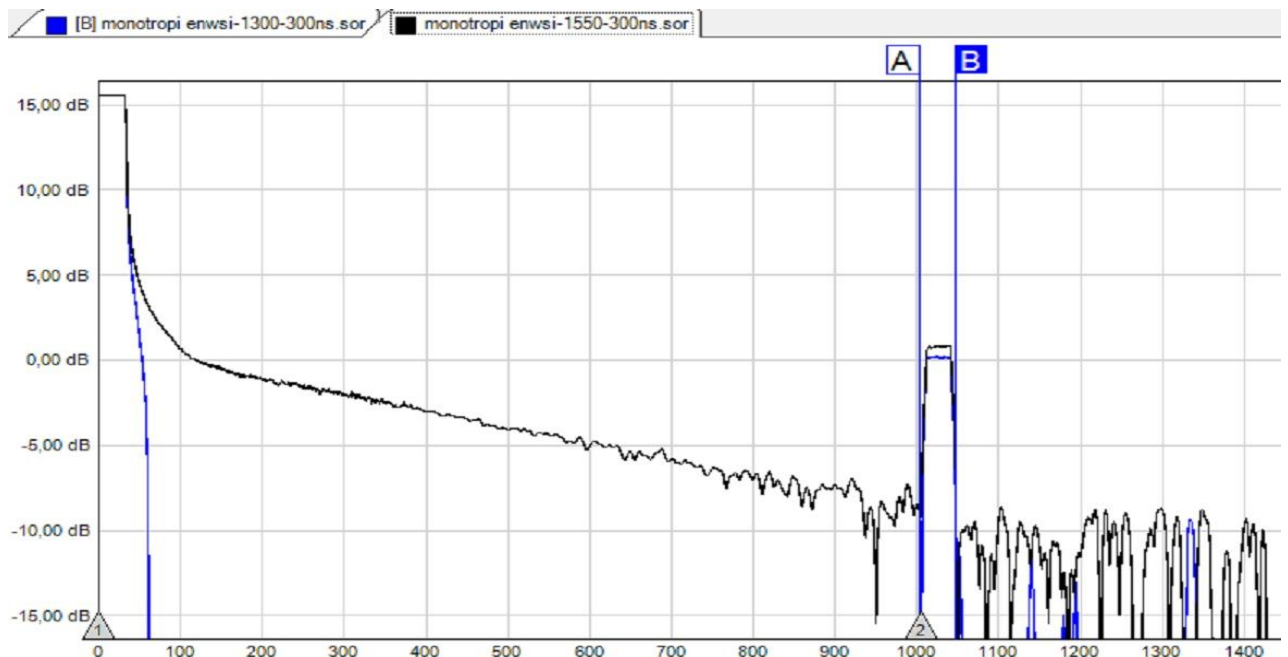


Σχήμα: μηχανικός connector.



Σχήμα 7. Ίχνος ένωσης μονότροπων ινών.

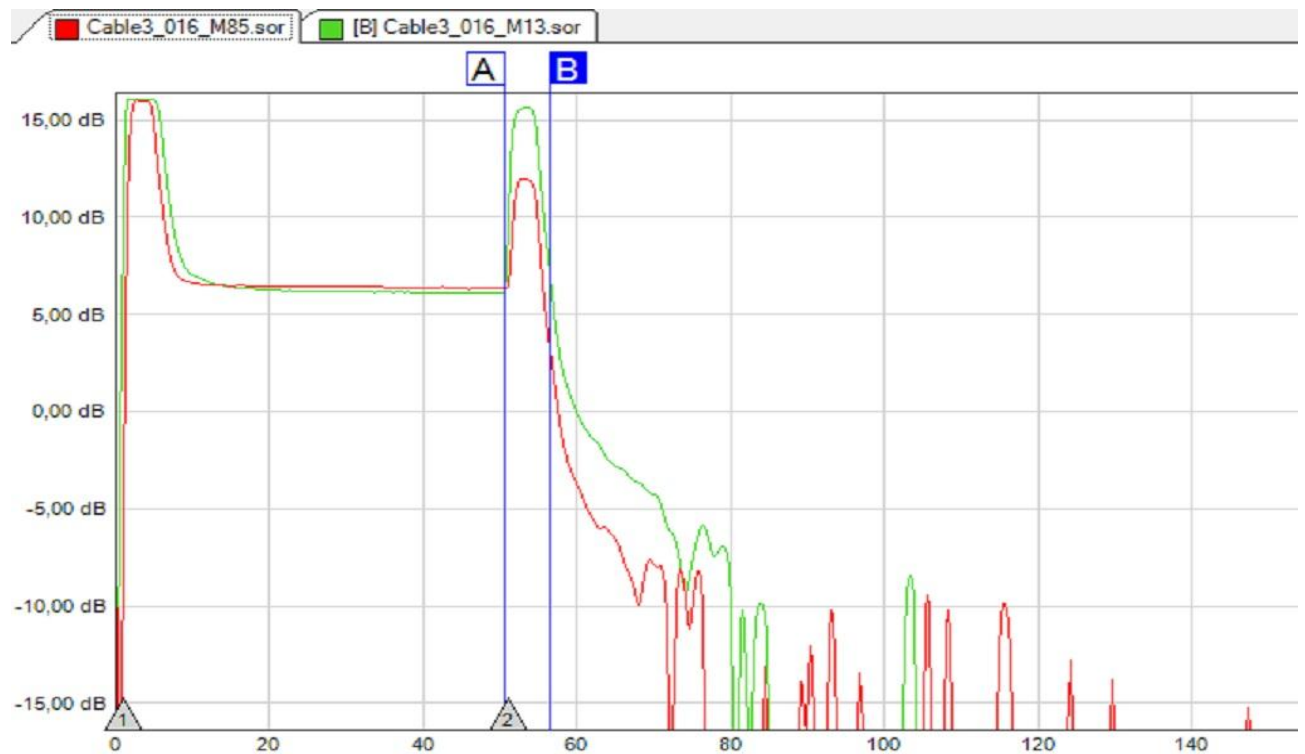
Παρατηρούμε ότι στο 1km έχουμε μια μεγάλη ανάκλαση, η οποία οφείλεται στην μηχανική ένωση των οπτικών ινών. Η απώλεια ισχύος είναι 0,95dB. Επίσης παρατηρούμε ότι στο μήκος κύματος 1300nm ο θόρυβος εμφανίζεται πριν από τα 2km και αυτό σχετίζεται με την σκέδαση Rayleigh. Γνωρίζουμε από την θεωρία πως η σκέδαση Rayleigh είναι αντιστρόφως ανάλογη με το  $\lambda^4$ , άρα καθώς ελατώνεται το μήκος κύματος αυξάνεται η σκέδαση. Αλλάζοντας το εύρος παλμού από 1us σε 300ns βλέπουμε:



Σχήμα 8. Ίχνος ένωσης μονότροπων ινών.

Και εδώ παρατηρούμε μια ανάκλαση στο 1km, που είναι η μηχανική σύνδεση των ινών, με απώλεια -1,11dB. Η αρνητική απώλεια οφείλεται στην διαφορετική εξασθένιση που έχουν οι οπτικές ίνες. Συγκεκριμένα η δεύτερη οπτική ίνα έχει μεγαλύτερο συντελεστή ανακλώμενης ακτινοβολίας οπότε παρόλο που οι δυο ίνες διαρρέονται από το ίδιο φως, η δεύτερη στέλνει περισσότερη ανακλώμενη ισχύ στην φωτοδίοδο.

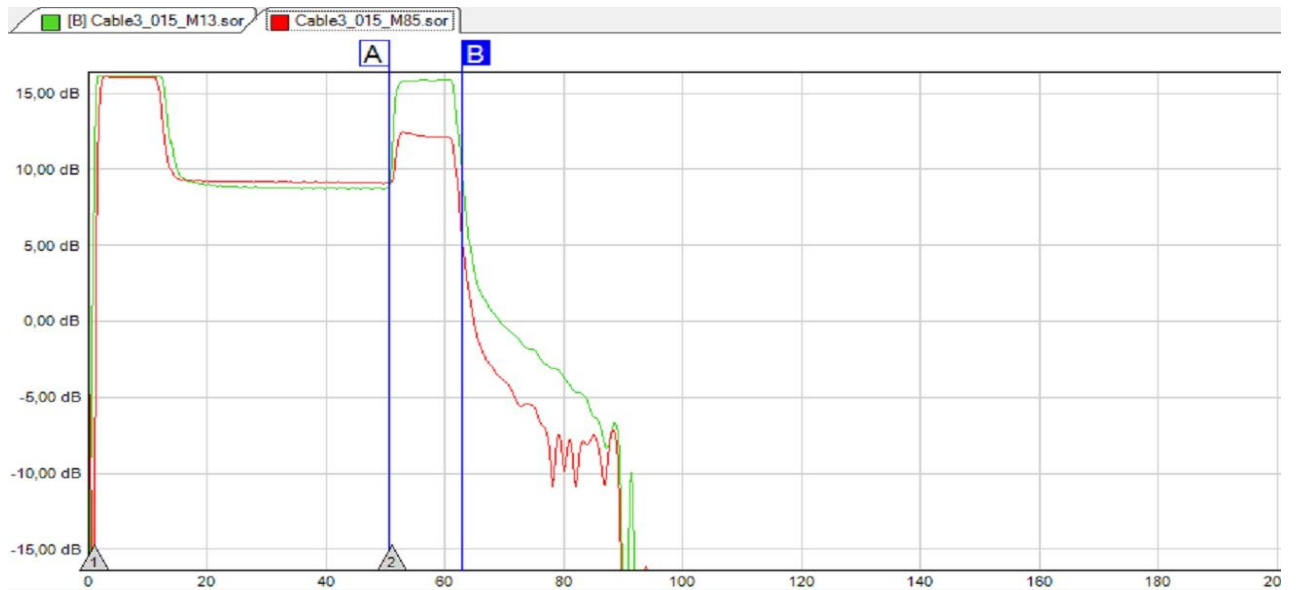
Έπειτα ενώνουμε τις πολύτροπες οπτικές με μηχανικό connector (πρώτη η ίνα 62,5/125 και δεύτερη η ίνα 50/125). Τοποθετούμε την άκρη της πρώτης στην αριστερή είσοδο του οργάνου και κάνουμε τις εξής ρυθμίσεις. Στην καρτέλα Test στο υπομενού Mode επιλέγουμε Expert, στο Test Port επιλέγουμε Multimode, στο Setup επιλέγουμε Manual, στο Range βάζουμε 1km, στο Pulse και για τα δύο μήκη κύματος επιλέγουμε 30ns εύρος παλμού και στο Time βάζουμε 60sec.



Σχήμα 9. Ίχνος ένωσης πολύτροπων ινών.

Στο ίχνος αυτό παρατηρούμε ότι για το μήκος κύματος 1300nm έχουμε μια ανάκλαση στα 50,7 m και η απώλεια ισχύος -1,85dB οφειλόμενη και αυτή στην μηχανική ένωση των ινών. Για το μήκος κύματος 850 nm έχουμε ανάκλαση στα 52 m με απώλεια -0,38dB. Αλλάζοντας το εύρος παλμού από 30ns σε 100ns βλέπουμε:





Σχήμα 10. Ίχνος ένωσης πολύτροπων ινών.

Παρομοίως με πριν για το μήκος κύματος 1300nm έχουμε μια ανάκλαση στα 52 m με εξασθένιση 0,9 dB και για το μήκος κύματος 850 nm έχουμε ανάκλαση στα 51m με εξασθένιση 3,89 dB.

Στα ίχνη ένωσης πολύτροπων ινών παρατηρούμε επίσης ότι μετά την αμέσως μετά την ανάκλαση λόγω ένωσης η καμπύλη έχει διαφορετική κλίση. Αυτό είναι αναμενόμενο λόγω της διαφορετικής εξασθένισης που έχουν οι οπτικές ίνες που ενώσαμε.

## ΕΡΩΤΗΜΑΤΑ

1. Με βάση τις ρυθμίσεις που κάναμε πιο πάνω, πάρτε τις δικές σας μετρήσεις και εξηγήστε τι παρατηρείτε.
2. Εξηγήστε τις διαφορές που βλέπετε στα ίχνη όταν αλλάζετε το εύρος παλμού. Που οφείλονται;
3. Γιατί στα διαφορετικά μήκη κύματος έχουμε διαφορετική εξασθένιση;

## Βιβλιογραφία

- Κοκιαντώνης Π. (2010) *ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ ΚΑΙ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ*, (<http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/stef/sdfp/2011/KokiantonisPanagiotis/attached-document-1295615093-102115-4788/Kokiantonis2011.pdf>) (σελ. 60-66)
- Συβρίδης Δ. (2004) *ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΟΤDR-FUSION SPLICER* ([http://www.docstoc.com/docs/35982664/Optical-Time-Domain-Reflectometer-\(OTDR\)](http://www.docstoc.com/docs/35982664/Optical-Time-Domain-Reflectometer-(OTDR)))
- Γαλανάκης Μ. (2009) *ΧΡΗΣΗ ΟΤDR & ΕΝΙΣΧΥΣΗ RAMAN ΣΕ ΜΗΤΡΟΠΟΛΙΤΙΚΕΣ ΖΕΥΞΕΙΣ ΜΟΝΟΤΡΟΠΩΝ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ* ([http://nemertes.lis.upatras.gr/dspace/bitstream/123456789/2566/3/Nimertis\\_Galanakis\(ele\).pdf](http://nemertes.lis.upatras.gr/dspace/bitstream/123456789/2566/3/Nimertis_Galanakis(ele).pdf))
- Ανδρουλάκης Γ. (2009) *ΜΕΛΕΤΗ-ΕΛΕΓΧΟΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΖΕΥΞΕΩΝ ΜΕΣΩ ΟΤDR, σημειώσεις εργαστηρίου.*
- ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ
  1. <http://www.youtube.com/watch?v=JqNEE4Y59nA>
  2. [http://www.youtube.com/watch?v=4jz7d\\_lvhF8&feature=related](http://www.youtube.com/watch?v=4jz7d_lvhF8&feature=related)
  3. [http://www.jimhayes.com/OTDR/otdrs\\_a.htm](http://www.jimhayes.com/OTDR/otdrs_a.htm)
  4. <http://www.bismon.com/downloadpdf/M200-OTDR%20User%20Guide%202011.pdf>