



**ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**

---

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΠΤΙΚΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**

***ΜΑΘΗΜΑ:* ΟΠΤΙΚΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΚΑΙ ΟΠΤΙΚΑ  
ΔΙΚΤΥΑ -**

**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΟΤDR-  
FUSION SPLICER”**

***ΥΠ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:* ΔΗΜΗΤΡΗΣ ΣΥΒΡΙΔΗΣ**

**ΑΘΗΝΑ,  
ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2004**

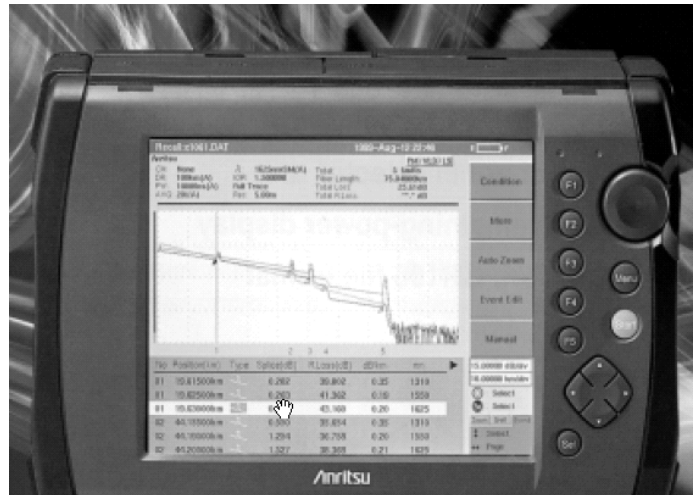


## Εργαστηριακή Άσκηση

Στοιχεία λειτουργίας και χρήσης ενός οργάνου  
**Optical Time Domain Reflectometer (OTDR)**  
(Όργανο Μέτρησης Ανακλάσεων Οπτικής Ισχύος στο πεδίο του χρόνου)

### Εισαγωγή

Το OTDR είναι ένα όργανο που χρησιμοποιείται ευρέως για τον έλεγχο ποιότητας εγκατεστημένων ή προς εγκατάσταση καλωδίων και τον ευρύτερο χαρακτηρισμό τους όσον αφορά τις απώλειες που εμφανίζουν κατά το μήκος τους. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμο στην διαδικασία εύρεσης σημείων που προκαλούν τη διακοπή μίας ζεύξης ή την υπερβολική υποβάθμισή της από πλευράς ισχύος. Ένα τυπικό OTDR εικονίζεται στο σχήμα 1.



Σχήμα 1. Φορητή Συσκευή OTDR

Συγκεκριμένα η χρησιμότητά τους αναδεικνύεται σε μια σειρά από μετρήσεις όπως:

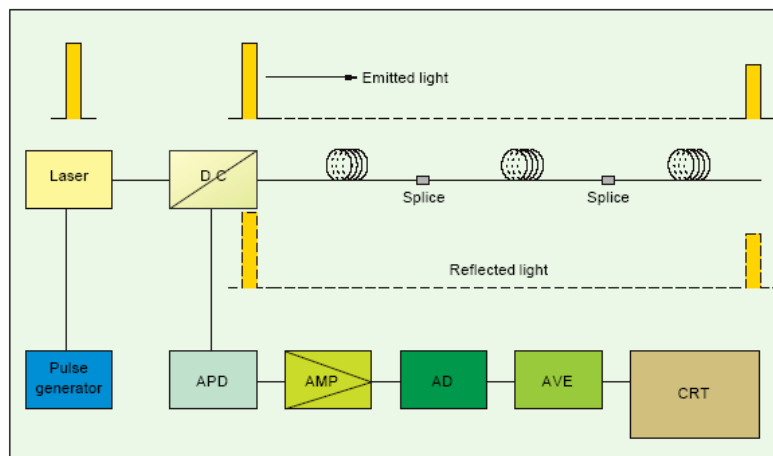
1. Μέτρηση αποστάσεων
2. Μέτρηση εξασθένησης οπτικών ινών, οπτικών ζεύξεων, συγκολλήσεων και συνδέσεων
3. Ανίχνευση τοπικών διαταραχών εξασθένησης
4. Μέτρηση ανακλάσεων σε συνδέσεις ή στο τέλος μίας οπτικής ζεύξης.

### Αρχή Λειτουργίας του OTDR

Όπως φαίνεται και από το όνομα του οργάνου, το OTDR λειτουργεί με βάση τη διάδοση φωτός σε οπτική κατά τη διάρκεια συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος. Σχηματικά η λειτουργία του αποδίδεται στο σχήμα 2. Μία γεννήτρια σχετικά στενών ηλεκτρικών παλμών (π.χ. 0.01μs έως 0.1μs) παράγει τους παλμούς αυτούς ανά συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα. Οι παλμοί αυτοί οδηγούν μία διοδική πηγή Laser, η οποία παράγει μία διαμορφωμένη δέσμη

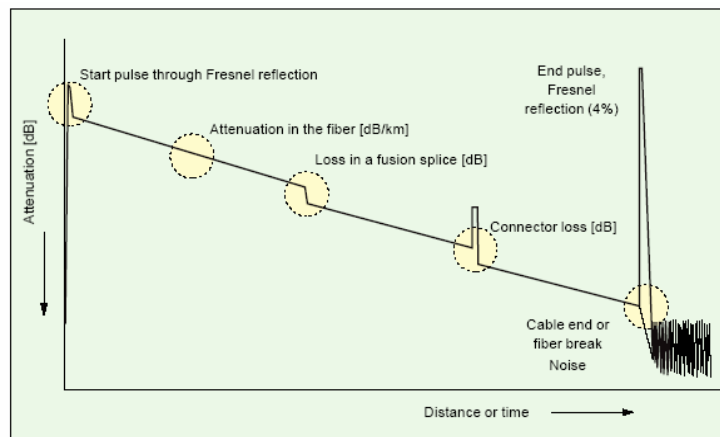


φωτός που στέλνεται μέσω ενός κατευθυντικού συζεύκτη στην οπτική ίνα. Λόγω των εγγενών ανωμαλιών που χαρακτηρίζουν την οπτική ίνα αλλά και λόγω ασυνεχειών (συνδετήρες, συγκολλήσεις, τέλος μίας ζεύξης) κατά τη διάδοση συγκεκριμένη ποσότητα φωτός θα επιστρέψει στο όργανο μέσω σκέδασης Rayleigh ή ανακλάσεων. Η επιστρεφόμενη δέσμη θα ανιχνευθεί από μία φωτοδίοδο χιονοστιβάδας (Avalanche Photodiode, APD) και το ηλεκτρικό σήμα που θα παραχθεί από αυτή ενισχύεται από ενισχυτική βαθμίδα και γίνεται αντικείμενο επεξεργασίας από εσωτερικό μικροϋπολογιστή. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται πολλές φορές και έτσι τα αποτελέσματα που προβάλλονται στην οθόνη του οργάνου προκύπτουν από στατιστική επεξεργασία. Η ισχύς του σήματος απεικονίζεται στον κάθετο άξονα του οργάνου και η απόσταση, που έχει υπολογισθεί από το χρόνο διάδοσης στον οριζόντιο.



Σχήμα 2. Σχηματική αναπαράσταση των βασικών δομικών στοιχείων της διάταξης OTDR

Το σύστημα συντεταγμένων απεικονίζεται μαζί με άλλα χρήσιμα στοιχεία στην οθόνη του οργάνου. Στο επόμενο σχήμα απεικονίζεται ένα πρότυπο της μέτρησης που διενεργεί το OTDR. Στην επόμενη παράγραφο θα δούμε με ποιο ακριβώς τρόπο μπορεί και εξάγει συμπεράσματα για τα διάφορα μεγέθη που καλείται να αξιολογήσει.



Σχήμα 3. Απλοποιημένο διάγραμμα από OTDR

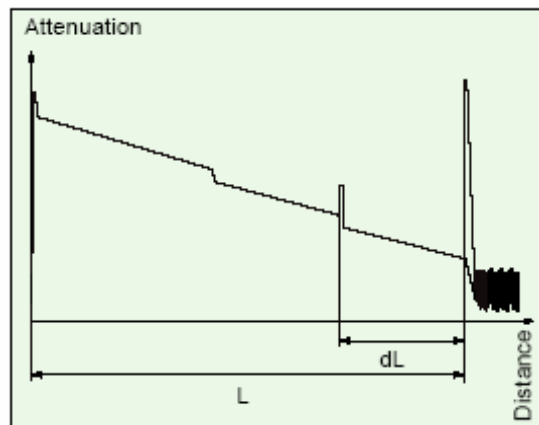


### Μέτρηση Απόστασης ίνας

Με τη χρήση ενός OTDR είναι δυνατό να προσδιοριστεί το μήκος μιας οπτικής ζεύξης με ιδιαίτερα υψηλή ακρίβεια. Η μέτρηση αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική επίσης για να προσδιορισθεί σημείο διακοπής μιας ζεύξης, ή εισαγωγής υψηλής εξασθένησης. Η μέτρηση επιτυγχάνεται έμμεσα μέσω της παρακάτω σχέσης:

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

όπου  $v$  η ταχύτητα διάδοσης του φωτός στην οπτική ίνα,  $t$  ο χρόνος που απαιτείται να διαδοθεί και να ανακλαστεί το φως πίσω στο όργανο,  $L$  το μήκος της οπτικής ίνας,  $c$  η ταχύτητα του φωτός στο κενό και  $n$  ο δείκτης διάθλασης του πυρήνα της οπτικής ίνας. Στην ουσία το όργανο μετράει το χρόνο διάδοσης και επιστροφής της φωτεινής δέσμης και έχοντας μία τιμή του δείκτη διάθλασης  $n$  υπολογίζει το μήκος με βάση τη σχέση (1). Είναι λοιπόν προφανές ότι η σωστή επιλογή δείκτη διάθλασης παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην ακρίβεια της μέτρησης.



Σχήμα 4. OTDR καμπύλη και η χρήση της για τον υπολογισμό μήκους ζεύξης

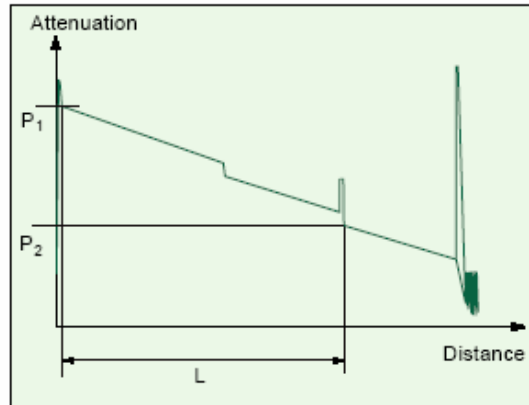
### Απώλεια Οπτικής Ισχύος – Εξασθένηση

Η απώλεια οπτικής ισχύος σε ένα διάστημα μπορεί να υπολογιστεί αφαιρώντας τα επίπεδα ισχύος των δύο σημείων που ορίζουν το διάστημα με βάση την απλή σχέση.

$$A = P_1 - P_2 \text{ (dB)} \quad (2)$$

Η εξασθένηση αντίστοιχα υπολογίζεται διαιρώντας με το αντίστοιχο διάστημα

$$\alpha = \frac{P_1 - P_2}{L} \text{ (dB/km)} \quad (3)$$

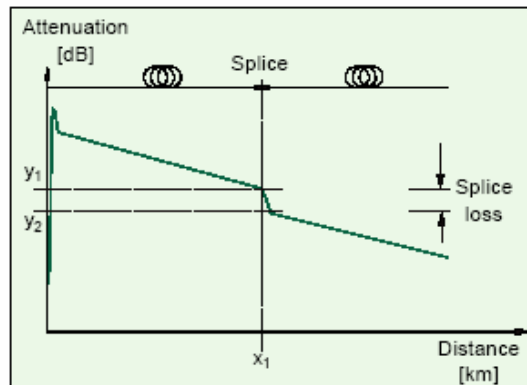


Σχήμα 5. OTDR καμπύλη και η χρήση της για τον υπολογισμό της εξασθένησης στην ζεύξη

### Μέτρηση της Εξασθένησης σε μία συγκόλληση ή ένα συνδετήρα

Όπως φαίνεται στα προηγούμενα σχήματα, στην οθόνη του OTDR φαίνεται πώς εξασθενεί η ισχύς σε ένα τμήμα οπτικής ζεύξης. Αν η ζεύξη περιέχει συγκολλήσεις ή συνδέσεις, αυτές θα εμφανιστούν σαν «γόνατα» στην καμπύλη, όπως και στο σχήμα. Η απώλεια της συγκόλλησης ή της σύνδεσης μπορεί να προσδιοριστεί μετρώντας την υποβάθμιση της ισχύος στα δύο σημεία του «γονάτου».

$$A(\text{συγκόλλησης}) = y_1 - y_2 \quad (4)$$



Σχήμα 6. Μέθοδος δύο σημείων για τον υπολογισμό απωλειών σε συγκόλληση

### Ρυθμίσεις ενός OTDR

Οι σωστές ρυθμίσεις ενός OTDR παίζουν σημαντικό ρόλο στην εξαγωγή αξιόπιστων μετρήσεων. Χαρακτηριστικά κρίσιμης σημασίας είναι τα παρακάτω:

#### 1. Νεκρή Ζώνη

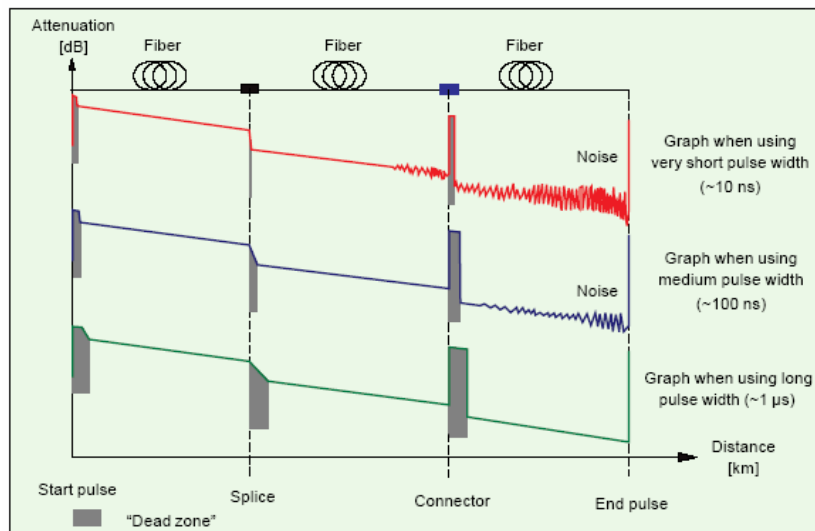
Κάθε συγκόλληση ή συνδετήρας προκαλούν μία παρενόχληση στο διαδιδόμενο και ανακλώμενο οπτικό σήμα. Αυτού του είδους η επίδραση επιβάλλει μία ζώνη συγκεκριμένου μήκους μετά την ένωση για την οποία δεν είναι δυνατό να μελετήσουμε το οτιδήποτε. Για



παράδειγμα η συγκόλληση που βρίσκεται στο εσωτερικό ενός κατανεμητή (Optical Distribution Frame) δεν είναι δυνατό να ανιχνευθεί από ένα OTDR, αφού πριν από αυτή υπάρχει ο συνδετήρας που ενώνει την οπτική ίνα με τον κατανεμητή. Επίσης για μία οπτική ίνα που έχει συγκολληθεί δύο φορές σε απόσταση μερικών μέτρων (έως 3m) δεν είναι δυνατή η διάκριση των δύο συγκολλήσεων από το όργανο. Αντί αυτών θα φανεί μία συγκόλληση της οποίας οι συνολικές απώλειες είναι το άθροισμα των επιμέρους απωλειών.

## 2. Εύρος παλμών

Η «νεκρή ζώνη» μπορεί να περιοριστεί σε μέγεθος αν οι παλμοί που εκπέμπονται από το OTDR είναι όσο το δυνατό στενότερου εύρους. Δυστυχώς μία τέτοια ρύθμιση δεν είναι άμοιρη μειονεκτημάτων, μιας και οι στενοί παλμοί δεν είναι δυνατό να διαδίδονται για μεγάλες αποστάσεις. Σ' αυτή την περίπτωση λοιπόν περιορίζεται η ικανότητα του οργάνου για τον καθορισμό χαρακτηριστικών στις μεγάλες αποστάσεις. Συμπερασματικά, οι μεγάλοι εύρους παλμοί είναι κατάλληλοι (>1μs) για το χαρακτηρισμό μίας οπτικής ζεύξης μεγάλης σχετικά απόστασης (>40Km), με τίμημα την μεγέθυνση της νεκρής ζώνης. Αντίθετα οι στενοί παλμοί αυξάνουν τη διακριτική ικανότητα του οργάνου, μειώνοντας το μήκος της νεκρής ζώνης, αλλά ταυτόχρονα λόγω της ευαισθησίας τους, μειώνουν την απόκριση του οργάνου στις μεγάλες αποστάσεις. Συνήθως η σωστή ρύθμιση επιτυγχάνεται από την αυτόματη λειτουργία που διαθέτουν σαν επιλογή σχεδόν όλα τα εμπορικά διαθέσιμα όργανα. Η αυτόματη λειτουργία επιλέγει το σωστό εύρος παλμών με κριτήριο την όσο το δυνατόν καλύτερη απόδοσή του για τον ικανοποιητικό καθορισμό όλων των χαρακτηριστικών της ζεύξης.



Σχήμα 8. Διαγράμματα μεταβάλλοντας το εύρος του παλμού.

## 3. Δυναμική περιοχή

Η δυναμική περιοχή του OTDR καθορίζεται από το πόσο ισχυρή είναι η οπτική πηγή του οργάνου και ταυτόχρονα από το πόσο ευαίσθητη είναι η φωτοδίοδος χιονοστιβάδας (APD) που λαμβάνει το ανακλώμενο οπτικό σήμα. Όσο αυξάνεται η ισχύς και η ευαισθησία του πομπού και του δέκτη αντίστοιχα, τόσο το όργανο θεωρείται πληρέστερο, αφού αποδίδει τα χαρακτηριστικά της ζεύξης με μεγάλη ακρίβεια για μεγαλύτερες αποστάσεις. Η δυναμική



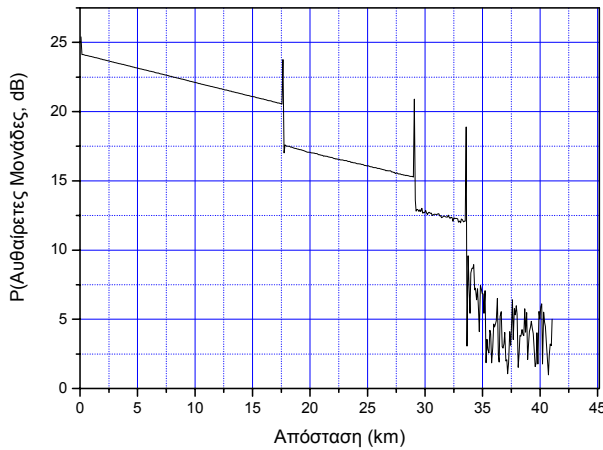
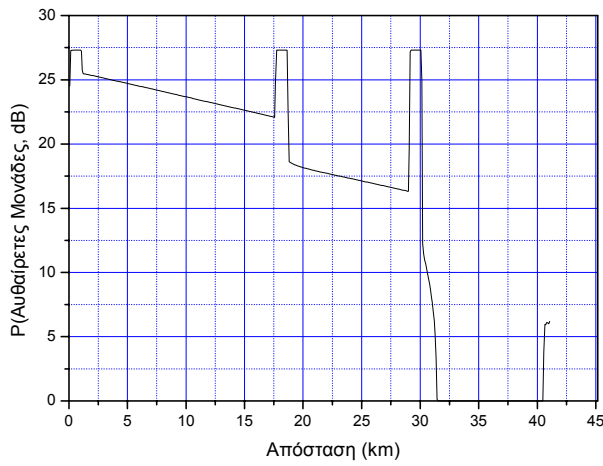
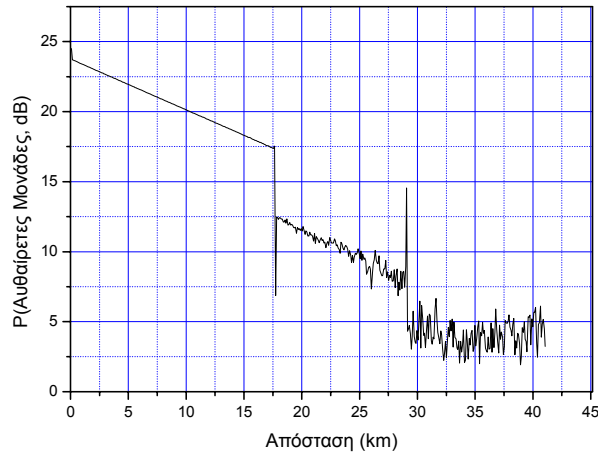
περιοχή ενός τυπικού OTDR επιτρέπει την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων για αποστάσεις μέχρι 100Km, η οποία θεωρείται επαρκής για το χαρακτηρισμό των σημερινών οπτικών ζευξιών. Η δυναμική περιοχή σε αυτή την περίπτωση μπορεί να προσδιοριστεί ποσοτικά σκεπτόμενοι ότι 100Km εισάγουν 35dB απωλειών στο μήκος κύματος των 1310nm. Αν συμπεριληφθούν άλλα 5dB απωλειών λόγω συγκολλήσεων και συνδέσεων στον καταναμητή, συμπεραίνουμε ότι η δυναμική περιοχή πρέπει να είναι ίση με 40dB. Επίσης αν αναλογιστούμε ότι το σήμα που στέλνουμε θα υποστεί τη διαδικασία δύο φορές από το ένα άκρο της ζεύξης στο άλλο (αρχικά διαδιδόμενο και κατόπιν ανακλώμενο), τότε συμπεραίνουμε ότι η δυναμική περιοχή πρέπει να είναι 80dB, αριθμός ιδιαίτερα υψηλός και είναι δυνατό να επιτευχθεί για μικρό εύρος παλμών.

#### Μερικές συμβουλές για την αποδοτική χρήση ενός OTDR

- ❖ Η σμίκρυνση της «νεκρής ζώνης» επιτυγχάνεται με τη χρήση στενών παλμών
- ❖ Η ελαχιστοποίηση του θορύβου στη μέτρηση (σχήμα) επιτυγχάνεται με ευρύτερους παλμούς.
- ❖ Πιο ευκρινή διαγράμματα επιφέρει η χρήση της επιλογής στατιστικής επεξεργασίας (averaging)
- ❖ Για απόλυτο χαρακτηρισμό μίας ζεύξης, μπορεί να πραγματοποιηθεί μέτρηση σε στάδια ανάλογα με το τι επιθυμούμε να ανιχνεύσουμε. Π.χ. αν μας ενδιαφέρει ο ακριβής χαρακτηρισμός του πρώτου άκρου της, χρησιμοποιούμε στενούς παλμούς για την όσο το δυνατό εξάλειψη των «νεκρών ζωνών». Σε δεύτερη προσέγγιση για το χαρακτηρισμό του μήκους της χρησιμοποιούμε ευρείς παλμούς, ανθεκτικούς στις απώλειες. Έτσι η πραγματοποίηση της μέτρησης σε περισσότερα από ένα στάδια, συμβάλλει στον ακριβή καθορισμό των ιδιοτεροτήτων της ζεύξης σε όλο το μήκος της.

#### Ερωτήσεις

1. Να εξηγήσετε για ποιο λόγο η μέτρηση του μήκους και των απωλειών μίας ζεύξης εξαρτάται από τη συχνότητα λειτουργίας της οπτικής πηγής του OTDR.
2. Μετρήσατε το μήκος μίας οπτικής ζεύξης με τη βοήθεια ενός OTDR, και το βρήκατε ίσο με  $L=4980\text{m}$  έχοντας ρυθμίσει το δείκτη διάθλασης του πυρήνα να είναι ίσος με  $N=1.46$ . Πόσο περιμένετε να αλλάξει η τιμή του μήκους, αν μεταβάλλετε το δείκτη στην τιμή  $N=1.47$ .
3. Γνωρίζετε ότι σε μία οπτική ίνα υπάρχουν δύο συγκολλήσεις σε απόσταση 10m. Σε ποια τιμή κατά μέγιστο πρέπει να καθορίσετε το εύρος των παλμών που εκπέμπει η πηγή του OTDR, ώστε να ανιληφθεί το όργανο και τις δύο συγκολλήσεις. (Υπόδειξη: Θεωρείστε ότι για να ανιληφθεί το όργανο τις δύο ασυνέχειες, θα πρέπει οριακά το εμπρός μέτωπο του παλμού να συναντήσει τη δεύτερη ασυνέχεια αφού το πίσω μέτωπο έχει διέλθει από την πρώτη). Για τους υπολογισμούς σας θεωρείστε ότι ο δείκτης διάθλασης του πυρήνα της ίνας είναι  $N=1.46$ .
4. Τα παρακάτω σχήματα είναι αποτελέσματα μετρήσεων διαφορετικών οπτικών ζευξιών με τη χρήση OTDR.



Παρατηρώντας τα τρία σχήματα

1. Να πείτε ποιο είναι το μήκος κύματος λειτουργίας της οπτικής πηγής του OTDR σε κάθε περίπτωση.
2. Να χαρακτηρίσετε πλήρως τις ζεύξεις με βάση τα διαγράμματα (υπόδειξη: να αναφέρετε το πλήθος των τμημάτων και το μήκος τους, τι είδους ασυνέχειες παρατηρείτε και να προσδιορίσετε τις κατά τόπους απώλειες).
3. Να αναφέρετε σε ποιες από τις μετρήσεις που αποτυπώνονται στα διαγράμματα θα αλλάζετε κάποια παράμετρο και για ποιο λόγο;

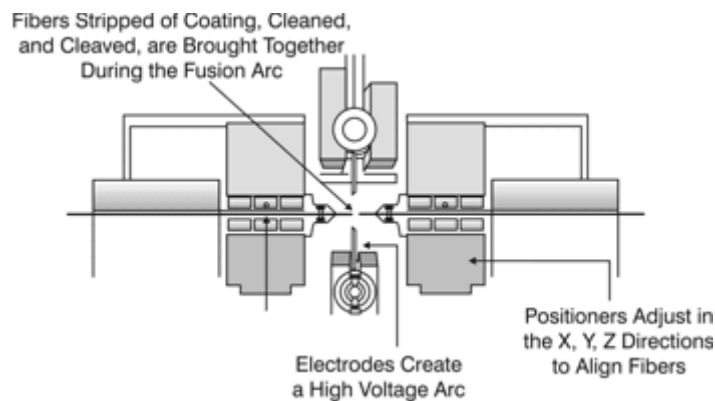




Στοιχεία λειτουργίας και χρήσης ενός οργάνου  
**Fusion Splicer**  
(Όργανο συγκόλλησης οπτικών ινών)

### Εισαγωγή

Ο συγκολλητής χρησιμοποιείται για τη δημιουργία χαμηλών απωλειών συνδέσεων οπτικών ινών μέσω τήξης ώστε να επιτυγχάνεται η όσο το δυνατόν καλύτερη συνέχεια μίας ζεύξης. Η σωστή λειτουργία ενός fusion splicer προϋποθέτει την ύπαρξη κάποιων συνθηκών. Οι συνθήκες αυτές αφορούν τον τύπο των οπτικών ινών που θα τοποθετηθούν (single mode, multi mode, κτλ), τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά αυτών, την απόσταση μεταξύ τους, την καθαρότητά τους κτλ. Η διάταξη λειτουργίας ενός συγκολλητή απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 1. Σχηματική διάταξη του λειτουργικού μέρους ενός τυπικού fusion splicer

### Τρόπος-αρχή λειτουργίας

Η διαδικασία της συγκόλλησης σε ένα fusion splicer επιτυγχάνεται με την εφαρμογή υψηλής τάσης σε δύο ακίδες και ως εκ τούτου τη δημιουργία τόξου που λιώνει τις δύο ίνες τοπικά. Σε μία οπτική ίνα λόγω της διαφορετικότητας του υλικού του πυρήνα σε σχέση με αυτό του μανδύα ισχύουν διαφορετικές θερμοκρασίες τήξης για το κάθε υλικό και εν προκειμένω η θερμοκρασία τήξης του πυρήνα είναι χαμηλότερη αυτής του μανδύα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο πυρήνας της ίνας να είναι αρκετά πιο μαλακός από το μανδύα κατά τη διάρκεια της τήξης και έτσι να επιτυγχάνεται η συγκόλληση μεταξύ δύο ινών ενώ παράλληλα ο μανδύας τους να παραμένει ανεπηρέαστος.

**Απαιτήσεις για συγκόλληση με καλά αποτελέσματα:** Υπάρχουν αρκετές απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιούνται ώστε να είμαστε σε θέση να υλοποιήσουμε μία καλή συγκόλληση.

#### α) Ποιότητα της ίνας:

- Ο τερματισμός της ίνας πρέπει να είναι κάθετος στον διαμήκη άξονα της ίνας.
- Ο τερματισμός της ίνας πρέπει να είναι επίπεδος χωρίς ανομοιομορφίες.

Εάν οι παραπάνω συνθήκες δεν ικανοποιούνται ο πυρήνας θα παραμορφωθεί κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης.



- β) Οι πυρήνες των ινών προς συγκόλληση δεν πρέπει να είναι έκκεντροι.
- γ) Κατά τη διάρκεια της σύντηξης οι ίνες πρέπει να οδηγούνται η μία προς την άλλη. Το πλησίασμα της μία ίνας προς την άλλη πρέπει να είναι περίπου 2-3  $\mu\text{m}$  μεγαλύτερο από το κενό που είχαν οι δύο ίνες πριν ξεκινήσει η τήξη τους. Αν το πλησίασμα είναι μεγαλύτερο ή μικρότερο από την παραπάνω απόσταση τότε οι πυρήνες θα παραμορφωθούν.
- δ) Ο τερματισμός της κάθε ίνας πρέπει να είναι απόλυτα καθαρός. Οποιαδήποτε σκόνη μπορεί να προκαλέσει πρόβλημα.
- ε) Πρέπει να γίνει πολύ καλή ευθυγράμμιση μεταξύ των ινών.

#### Βήματα διαδικασίας συγκόλλησης

1. Απογύμνωση των ινών από το μανδύα (50mm περίπου).
2. Καθαρισμός των ινών.
3. Κάθετη κοπή των τερματισμών των ινών με **fiber cleaver** (στα 10mm περίπου).
4. Τοποθέτηση των ινών στις κατάλληλες θέσεις.
5. Ρύθμιση της απόστασης μεταξύ των δύο ινών (Μόνο για splicers που δεν το ρυθμίζουν αυτοματοποιημένα).
6. Εφαρμογή επιπλέον καθαρισμού του τερματισμού των οπτικών ινών (Μόνο για splicers που δεν το ρυθμίζουν αυτοματοποιημένα).
7. Δημιουργία τόξου για τη συγκόλληση ινών.

#### Ερωτήσεις

1. Τι περιμένετε να συμβεί αν προσπαθήσουμε να συγκολλήσουμε δύο διαφορετικούς τύπους οπτικών ινών π.χ. μία ίνα single mode και μία multi mode;
2. Ποιοι παράγοντες επηρεάζουν τις απώλειες μίας συγκόλλησης μεταξύ δύο ινών;
3. Προτείνετε τρόπους μέτρησης απωλειών μίας συγκόλλησης μεταξύ δύο ινών.