

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

“Συγκόλληση οπτικών ινών με τη χρήση splicer
fujikura 60s και πειραματική μελέτη των
μηχανισμών εξασθένισης σε οπτικό δίκτυο με τη
χρήση OTDR και λογισμικού προσομοίωσης”

Επιβλέπων καθηγητής: Ηλίας Ασαρίδης

Μακρής Θεόδωρος ΑΜ: 1460

ΑΝΤΙΠΡΟ 2017

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της πτυχιακής εργασίας είναι η περιγραφή και εκτέλεση της διαδικασίας κοπής και συγκόλλησης οπτικών ινών καθώς και η περιγραφή και εκτέλεση των λειτουργιών classic otdr test, LTS(loss test set) και video inspection probe ενός optical time domain reflectometer με σκοπό την εξέταση των μηχανισμών εξασθένησης που λαμβάνουν χώρα σε ένα οπτικό δίκτυο και είναι δυνατό να εντοπιστούν από τον εν λόγω εξοπλισμό.

Για την διαδικασία κοπής και συγκόλλησης χρησιμοποιήθηκαν ο ct-30 high precision cleaver της fujikura, το 60s splicer της fujikura, θερμοσυστελλόμενα μανίκια 60mm, no-nik και miller fiber strippers και sc μονότροπες ίνες 9/125 angled physical contact.

Για την εκτέλεση της λειτουργίας classic otdr test χρησιμοποιήθηκαν το cma 5000 anritsu otdr, launch boxes μονότροπων ινών 200-500-1000 μέτρων τύπου sc physical contact στις προτεινόμενες ρυθμίσεις. Για την εκτέλεση της λειτουργίας loss test set χρησιμοποιήθηκαν επίσης τα παραπάνω launch boxes. Για την λειτουργία video inspection probe χρησιμοποιήθηκαν μονότροπες ίνες 9/125 τύπου sc και fc, ενδοσκοπική κάμερα της anritsu.

Όλο το πρακτικό μέρος της πτυχιακής(συγκολλήσεις, μετρήσεις) έλαβε χώρα εντός τους ιδρύματος στο αντίστοιχο του θέματος εργαστήριο οπτικών, με τον διαθέσιμο από το ίδρυμα εξοπλισμό.

ABSTRACT

The main purpose of this thesis is to describe and perform a fusion splicing operation and also describe and execute the “classic otdr test”, “loss test set” and “video inspection probe” applications of cma 5000 optical time domain reflectometer, examining the attenuation mechanisms which occur in a fiber optic network and can be traced and analyzed by the above hardware.

For the fusion splicing operation, the fujikura ct-30 high precision cleaver, fujikura 60s splicer, 60mm fusion splice sleeves, no-nik and miller strippers and 9/125 apc singlemode fiber have been used.

For the execution of the “classic otdr test”, launch boxes of 1000m and 500m upc single mode fiber have been put under test in the recommended from the distributor settings.

For the execution of the “loss test set”, the same launch boxes have been put under test.

For the execution of the “video inspection probe” application, sc upc, sc apc and fc upc connectors, anritsu inspection probe camera have been used.

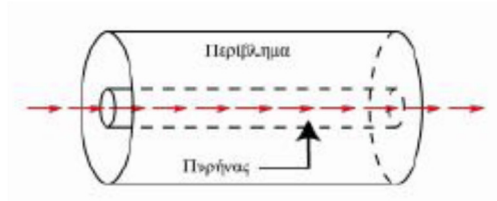
The practical part of this thesis (splices, measurements) has been performed inside the institute at the optics lab with the available institute equipment.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ.....	ΣΕΛ 6
1.2 ΣΥΖΕΥΞΗ ΦΩΤΟΣ ΣΤΗΝ ΟΠΤΙΚΗ ΙΝΑ.....	ΣΕΛ 9
1.3 ΤΥΠΟΙ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ.....	ΣΕΛ 11
1.4 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΕΞΑΣΘΕΝΙΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ.....	ΣΕΛ 15
2.ΟΠΤΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ.....	ΣΕΛ 25
3.ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΕΝΑ ΟΤDR(OPTICAL TIME DOMAIN REFLECTOMETER).....	ΣΕΛ 32
3.1 ΠΩΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙ ΕΝΑ ΟΤDR.....	ΣΕΛ 32
3.2 ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΕΝΑ ΟΤDR TRACE.....	ΣΕΛ 33
3.3 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΤΟ ΟΤDR.....	ΣΕΛ 34
3.3.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΤΩΝ 2 ΣΗΜΕΙΩΝ.....	ΣΕΛ 34
3.3.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΩΝ ΛΙΓΟΤΕΡΩΝ ΤΕΤΡΑΓΩΝΩΝ.....	ΣΕΛ 35
3.4 ΑΝΑΚΛΑΣΕΙΣ.....	ΣΕΛ 36
3.5 Η ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ ΣΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ.....	ΣΕΛ 37
3.6 ΟΤDR “GHOSTS”.....	ΣΕΛ 39
3.7 ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ.....	ΣΕΛ 40
3.7.1 ΧΡΩΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΣΤΟΥΣ ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ.....	ΣΕΛ 43
3.7.2 ADAPTORS.....	ΣΕΛ 44
4.CMA 5000(CLASSIC OTDR TEST).....	ΣΕΛ 45
4.1 LOSS TEST SET.....	ΣΕΛ 51
4.2 VIDEO INSPECTION PROBE.....	ΣΕΛ 54
5.SPLICER.....	ΣΕΛ 60
5.1 FUJIKURA 60S.....	ΣΕΛ 61
5.2 CT-30 CLEAVER.....	ΣΕΛ 61
5.3 FIBER STRIPPERS.....	ΣΕΛ 64
5.4 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ.....	ΣΕΛ 65
5.5 ΠΙΘΑΝΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ.....	ΣΕΛ 73
ΠΗΓΕΣ.....	ΣΕΛ 75

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ

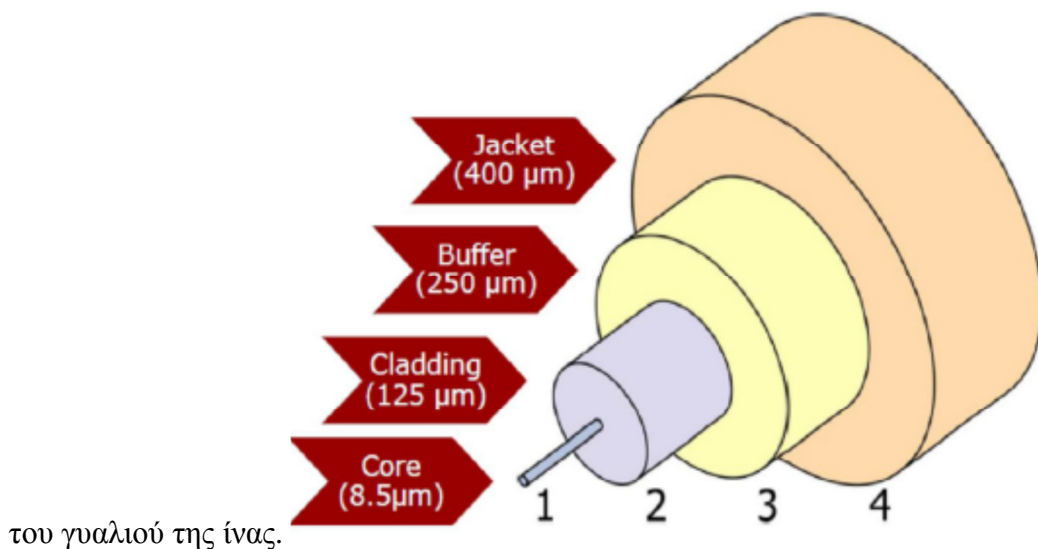
Οι οπτικές ίνες είναι το πλέον αξιόπιστο μέσο μετάδοσης των οπτικών συστημάτων. Είναι εύκαμπτες ίνες γυαλιού ή πλαστικού, λεπτές όσο μια ανθρώπινη τρίχα. Ουσιαστικά δεν είναι παρά κυλινδρικοί διηλεκτρικοί κυματοδηγοί που λειτουργούν στις συχνότητες της οπτικής περιοχής του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Μια τυπική οπτική ίνα αποτελείται από τρεις ομόκεντρους κυλίνδρους διηλεκτρικού υλικού.



Γράφημα οπτικής ίνας

Στο κέντρο της ίνας βρίσκεται ο πυρήνας, που είναι γυαλί υψηλού δείκτη διάθλασης.

Ο πυρήνας περιβάλλεται από υλικό χαμηλότερου δείκτη διάθλασης, το μανδύα ή περίβλημα. Το φως εγκλωβίζεται στον πυρήνα και διαδίδεται κατά μήκος της ίνας. Ο πυρήνας στην πραγματικότητα μεταφέρει το φως, ενώ το περίβλημα της ίνας ανακλά το φως πίσω στον πυρήνα. Η εξωτερική περιοχή της ίνας καλείται απομονωτής. Ο απομονωτής, τυπικά ένα πλαστικό υλικό, παρέχει προστασία και διατηρεί την αντοχή



του γυαλιού της ίνας.

Εγκάρσια τομή μονότροπης οπτικής ίνας

Η κυματοδήγηση του οπτικού σήματος επιτυγχάνεται και χωρίς την παρουσία του απομονωτή, που χρησιμοποιείται για να ελαττώσει της απώλειες λόγω κατασκευαστικών ατελειών της κεντρικής ίνας και για της προσδώσει μηχανική αντοχή.

Το υλικό κατασκευής τόσο του πυρήνα όσο και του μανδύα είναι συνήθως υψηλής καθαρότητας γυαλί (οξείδιο του πυριτίου SiO_2). Εκτός από το γυαλί μπορεί να χρησιμοποιηθεί και πολυμερές. Οι πολυμερείς οπτικές ίνες όμως παρουσιάζουν μεγαλύτερες απώλειες (>10 dB/km) και είναι κατάλληλες για ζεύξεις μικρών αποστάσεων. Άλλα είδη οπτικών ινών ενσωματώνουν χαλαζία ή καθαρή τιγμένη σιλικόνη και πλαστικό, όμως αυτές δεν χρησιμοποιούνται στις κοινά αποδεκτές υψηλής ποιότητας εφαρμογές.

Η διάδοση του φωτός μέσα σ' ένα μέσο καθορίζεται από τον δείκτη διάθλασης του μέσου n . Αν το φως διαδίδεται στο κενό με ταχύτητα $c_0=3 \times 10^8$ m/s, τότε σ' ένα υλικό μέσο θα διαδίδεται με ταχύτητα $c = \frac{c_0}{n}$. Ο δείκτης διάθλασης του πυρήνα που πρέπει να είναι υψηλότερος από τον δείκτη διάθλασης του μανδύα μπορεί να έχει σταθερή τιμή ή να μεταβάλλεται και συγκεκριμένα να μειώνεται ακτινικά καθώς πλησιάζουμε προς τα όριά του με το μανδύα. Τυπικές τιμές για τους δείκτες διάθλασης είναι από 1.50 έως 1.40.

Οι πιο σημαντικοί τύποι οπτικών ινών που χρησιμοποιούνται στις επικοινωνίες παρατίθενται παρακάτω. Ο πρώτος αριθμός αναπαριστά τη διάμετρο του πυρήνα σε μm ενώ ο αριθμός μετά την κάθετο είναι η διάμετρος του περιβλήματος.

1. Μονότροπες ίνες 9/125 μm (SM): ευρέως χρησιμοποιούμενες για υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων. Όλες οι ζεύξεις μεγάλων αποστάσεων (Long Haul Links) αλλά και οι οπτικοί μητροπολιτικοί δακτύλιοι χρησιμοποιούν μονότροπες ίνες. Συνδυάζονται, λόγω του πολύ μικρού πυρήνα τους, μόνο με πηγές Laser. Τα μήκη κύματος που χρησιμοποιούνται είναι τα 1310 nm και τα 1550 nm.

2. Πολύτροπες 62,5/125 μm (OM1): τα πρώτα LAN οπτικά δίκτυα υλοποιήθηκαν με ίνες αυτού του τύπου. Ο σχεδιασμός τους επιβάλλει τη χρήση τους σε συνδυασμό με πηγές LED με μήκος κύματος 850nm Υποστηρίζουν ρυθμούς μετάδοσης Fast Ethernet ή και Giga Ethernet όμως περιορίζονται από τις δυνατότητες των LEDs τα οποία έχουν μέγιστο ρυθμό διαμόρφωσης τα 622 Mbps.

3. Πολύτροπες 50/125 μm (OM2): Ευρέως χρησιμοποιούμενες. Συνδυάζονται Συνήθως με πηγές LED σε τοπικά δίκτυα. Μπορούν να υποστηρίξουν ρυθμούς μετάδοσης ως 1 Gbps (Gigabit Ethernet) αν η πηγή είναι laser. Τα χρησιμοποιούμενα μήκη κύματος είναι τα 850nm και τα 1300nm.

4. Πολύτροπες 50/125 μm Laser Optimized-LOMMF (OM3): Η έλευση των VCSELs (Vertical Cavity Surface-Emitting Lasers) σε συνδυασμό με τις OM3 ίνες οδήγησε σε τοπικά οπτικά δίκτυα που μπορούν να υποστηρίξουν ρυθμούς μετάδοσης 10 Gbps μέχρι και 550 μέτρα. Διαφέρουν από τις OM2 στο προφίλ του δείκτη διάθλασης τους.

Οι πιο σημαντικές διαφορές μονότροπων και πολύτροπων οπτικών ινών είναι οι παρακάτω:

1. Οι μονότροπες ίνες μπορούν να μεταδώσουν φως με μικρή παραμόρφωση παλμού σε μεγάλη απόσταση. Παρουσιάζουν όπως λέμε μικρότερη διασπορά του φωτεινού παλμού η οποία προκαλείται στις πολύτροπες ίνες από τις πολλαπλές οδεύσεις του φωτός κατά τη διάδοση του σ' αυτές.

2. Η μονότροπη ίνα παρουσιάζει χαμηλότερη εξασθένιση από την πολύτροπη και μεγαλύτερο γινόμενο εύρος ζώνης-απόστασης.

3. Οι μονότροπες ίνες μπορούν να κατασκευαστούν μόνο από γυαλί, (πυρίτιο – SiO_2) ενώ οι ίνες που μπορούν να κατασκευαστούν και από πολυμερή είναι αποκλειστικά πολλαπλού ρυθμού.

4. Οι μονότροπες ίνες, λόγω του πολύ μικρού πυρήνα τους, είναι δύσκολες στο χειρισμό τους σε αντίθεση με τις πολύτροπες.

5. Οι πολύτροπες ίνες είναι απλούστερες στην κατασκευή τους, άρα και φθηνότερες. Επίσης σε αντίθεση με τις μονότροπες συνδυάζονται με πηγές LED ή VCSEL οι οποίες είναι φθηνότερες από τις πηγές Laser για τις μονότροπες.

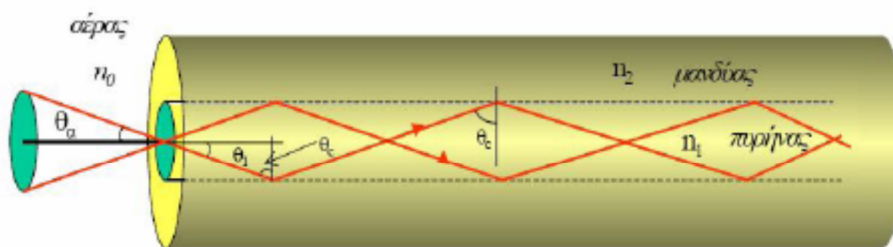
6. Ο πυρήνας της πολύτροπης ίνας είναι πολύ μεγαλύτερος από αυτόν της μονότροπης, επιτρέποντας εκατοντάδες ακτίνες φωτός να μετακινούνται μέσα από την ίνα ταυτόχρονα. Μεταφέρουν δηλαδή περισσότερο φως κάτι όμως που στις τηλεπικοινωνίες δεν αποτελεί πλεονέκτημα. Είναι όμως πλεονέκτημα για άλλου είδους εφαρμογές π.χ. ενδοσκόπια.

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας των οπτικών ινών και λόγω της ευρείας τους πλέον εμπορικής εφαρμογής έγινε η τυποποίησή τους από τις κατασκευαστικές εταιρείες και τους

οργανισμούς τυποποίησης (American National Standards Institute ANSI - Αμερικανικός Εθνικός Οργανισμός Προτύπων, European telecommunication Standards Institute ETSI - Ευρωπαϊκός Οργανισμός Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων).

1.2. ΣΥΖΕΥΞΗ ΦΩΤΟΣ ΣΤΗΝ ΟΠΤΙΚΗ ΙΝΑ

Γνωρίζουμε ότι για να έχουμε κυματοδηγήση πρέπει να ισχύει η συνθήκη της ολικής ανάκλασης στην ίνα. Δηλαδή, η προσπίπτουσα ακτίνα στην ενδοεπιφάνεια πυρήνα-μανδύα πρέπει να είναι ίση ή μεγαλύτερη της κρίσιμης γωνίας. Από τη γεωμετρία του σχήματος 1.2 βλέπουμε ότι αυτό συμβαίνει μόνο όταν η φωτεινή ακτίνα εισέλθει στην ίνα υπό γωνία μικρότερη της γωνίας θ_a . Ακτίνες φωτός που εισέρχονται στην ίνα εκτός του κώνου που καθορίζεται από την θ_a , προσπίπτουν στην ενδοεπιφάνεια πυρήνα-μανδύα υπό γωνία μικρότερη της κρίσιμης γωνίας θ_c και δεν μπορούν να συνεχίσουν τη διάδοσή τους κατά μήκος της ίνας. Αυτές οι ακτίνες προοδευτικά διαφεύγουν εκτός της οπτικής ίνας. Η γωνία θ_a λοιπόν θα είναι η μέγιστη γωνία που επιτρέπεται να έχει μια εισερχόμενη ακτίνα φωτός με τον άξονα της ίνας, ώστε να πληρεί τη συνθήκη της ολικής ανάκλασης και να περιοριστεί στο εσωτερικό της ίνας. Η γωνία αυτή ονομάζεται γωνία αποδοχής της ίνας. Ο αντίστοιχος τρισδιάστατος κώνος που σχηματίζεται από την θ_a ονομάζεται κώνος αποδοχής ή κρίσιμος κώνος (critical cone ή acceptance cone). Ο κώνος αποδοχής όπως θα δούμε και παρακάτω είναι σημαντικός παράγοντας στη διαδικασία της σύζευξης (εισαγωγής) του φωτός στην ίνα.



Σχήμα 1.2 Σύζευξη φωτός στην οπτική ίνα.

Θεωρώντας ότι η οπτική ίνα είναι κυλινδρική χωρίς ατέλειες και αποκλίσεις στη σύνθεσή της, η συμμετρία της γεωμετρίας του σχήματος 1.2 επιβάλλει η φωτεινή ακτίνα να εξέρχεται από το άλλο άκρο της ίνας με την ίδια γωνία με την οποία εισέρχεται. Με άλλα λόγια το φως εξέρχεται της οπτικής ίνας υπό μορφή κώνου με άνοιγμα ίσο με αυτό του κρίσιμου κώνου της ίνας. Για να υπολογίσουμε τη μέγιστη γωνία σύζευξης του φωτός (γωνία αποδοχής) θα θεωρούμε ότι το φως εισέρχεται από

τον αέρα (δείκτης διάθλασης $n_0 = 1$) στον πυρήνα της οπτικής ίνας (δείκτης διάθλασης n_1). Ο νόμος του Snell και η γεωμετρία του σχήματος 1.2 μας δίνουν:

$$n_0 \sin \theta_a = n_1 \sin \theta_1$$

Είναι όμως $\theta_1 = 90^\circ - \theta_c$, από το ορθογώνιο τρίγωνο του σχήματος. Έτσι

$$\sin \theta_a = \frac{n_1}{n_0} \sin \theta_c = \frac{n_1}{n_0} \sqrt{1 - \sin^2 \theta_c}$$

Θέτοντας $\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}$ παίρνουμε

$$NA = n_0 \sin \theta_a = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

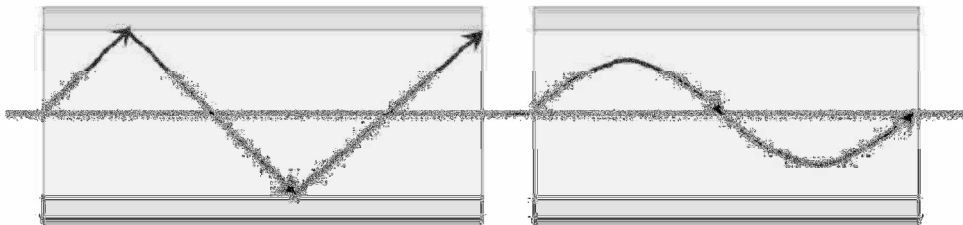
Η παράμετρος **NA** είναι μια από τις σημαντικότερες παραμέτρους της οπτικής ίνας. Ονομάζεται **αριθμητικό άνοιγμα** (numerical aperture) της ίνας και ουσιαστικά εκφράζει την ικανότητα σύζευξης φωτός στην οπτική ίνα αφού συνδέεται άμεσα με την γωνία αποδοχής θ_a . Περιγράφει δηλαδή την δυνατότητα συλλογής φωτός της ίνας ή της δέσμης οπτικών ινών. Όσο μεγαλύτερο το NA τόσο πιο εύκολη η εισαγωγή του φωτός στην ίνα άρα μεγαλύτερη και η ποσότητα φωτός που μεταφέρεται με αυτήν.

Για την εισαγωγή του φωτός μιας φωτεινής πηγής μέσα στην ίνα απαιτείται η χρήση μικροφακών. Δηλαδή φακών πολύ μικρών διαστάσεων και κατάλληλης καμπυλότητας ώστε να συλλέγουν τις αποκλίνουσες ακτίνες που εκπέμπονται από τη φωτεινή πηγή (laser ή LED) και να τις μετατρέπουν σε συγκλίνουσες με NA μικρότερο από το NA της ίνας. Επειδή το NA των πηγών LED είναι αρκετά μεγαλύτερο από αυτό των πηγών laser οι πρώτες δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν με μονότροπες ίνες που έχουν μικρή διάμετρο πυρήνα και άρα μικρό NA.

1.3. ΤΥΠΟΙ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

Ανάλογα με την κατανομή του δείκτη διάθλασης του υλικού σε κάθετη τομή στη διεύθυνση διάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, οι οπτικές ίνες διακρίνονται σε ίνες με βηματικό δείκτη διάθλασης (**step index fibers**) και σε ίνες με διαβαθμισμένο δείκτη διάθλασης (**graded index fibers**).

Στην πρώτη περίπτωση ο δείκτης διάθλασης του πυρήνα είναι σταθερός και ίδιος σε όλη την διατομή του, δημιουργώντας ένα σκαλοπάτι δείκτη διάθλασης στην διαχωριστική επιφάνεια πυρήνα - περιβλήματος. Αντίθετα, στην περίπτωση που έχουμε διαβαθμισμένο δείκτη διάθλασης, αυτός μεταβάλλεται κατά συνεχή τρόπο από το κέντρο της ίνας προς την περιφέρειά της, με την μέγιστη τιμή να παρουσιάζεται στο κέντρο της ίνας. Σαν αποτέλεσμα, στην πρώτη περίπτωση η ανάκλαση όλων των διαδιδόμενων κυμάτων γίνεται στην διαχωριστική επιφάνεια πυρήνα – περιβλήματος, ενώ στην δεύτερη η πορεία της ακτίνας είναι καμπυλόγραμμη.



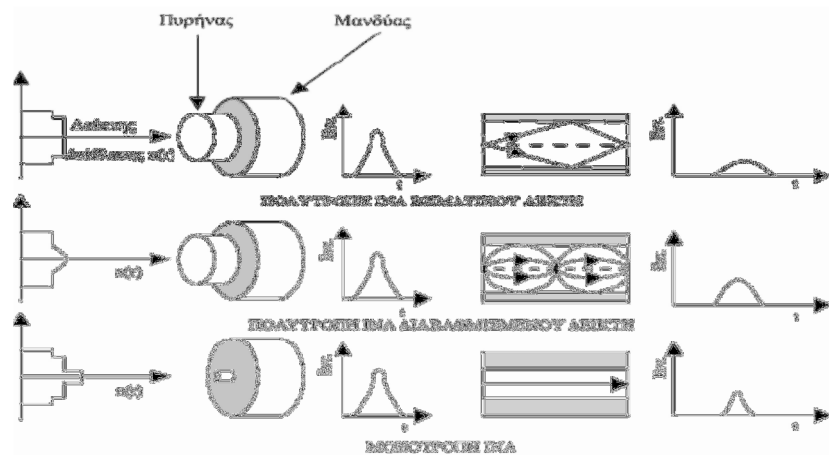
Πορεία ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων σε ίνα βηματικού δείκτη (αριστερά) και διαβαθμισμένου δείκτη (δεξιά)

Οι οπτικές ίνες βηματικού δείκτη διάθλασης ανάλογα με την διάμετρο του πυρήνα διακρίνονται σε μονότροπες (**Single mode-SMF**) και πολύτροπες (**Multi mode-MMF**).

Οι μονότροπες οπτικές ίνες έχουν πολύ μικρή διάμετρο (π.χ. 8-10 μm) και επιτρέπουν μία όδευση για το Η/Μ κύμα που διαδίδεται, έναν τρόπο διάδοσης όπως λέμε. Αντίθετα οι πολύτροπες έχουν πυρήνα μεγαλύτερης διαμέτρου (π.χ. 50-100 μm) και επιτρέπουν πολλαπλές οδεύσεις ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων ταυτόχρονα. Εξ ού και ο όρος

πολύτροπες, ο οποίος φυσικά αναφέρεται στο γεγονός ότι πολλές ακτίνες φωτός μεταφέρονται συγχρόνως μέσα από την ίνα. Οι τύποι των οπτικών ινών μπορούν να ταξινομηθούν σύμφωνα με τη δομή και την λειτουργία τους στους εξής:

1. Πολύτροπες με βηματικό δείκτη (Multi – mode step index).
2. Πολύτροπες με διαβαθμισμένο δείκτη (Multi – mode graded index).
3. Μονότροπες με βηματικό δείκτη (Single – mode step index).

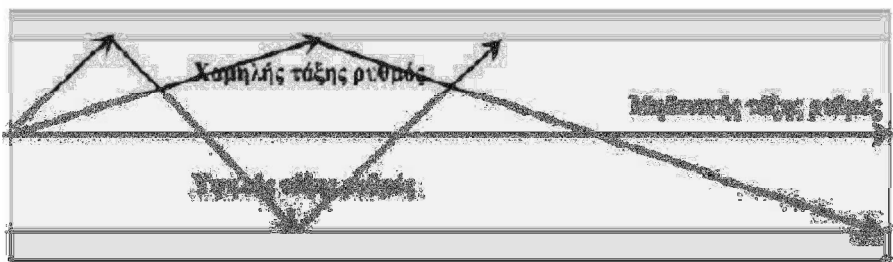


Οι τρεις βασικοί τύποι οπτικών ινών. Στην πρώτη στήλη το προφίλ του δείκτη διάθλασης ενώ στην τρίτη και στην πέμπτη οι εισερχόμενοι και οι εξερχόμενοι αντίστοιχα, παλμοί. Είναι φανερή η επίδραση των φαινομένων της εξασθένησης και της διασποράς τα οποία θα μελετηθούν αναλυτικά στη συνέχεια.

Ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα, ανάλογα με την γωνία εισόδου του σε μια οπτική ίνα και το μήκος κύματος του, θα ακολουθήσει διαφορετική πορεία διαδοχικών ανακλάσεων για να διαδοθεί. Κάθε οπτική ίνα, ανάλογα με τις διαστάσεις και τα χαρακτηριστικά της, μπορεί να υποστηρίξει και κάποιο αριθμό πορειών (τρόπων) διάδοσης ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Όμως, οι πολλαπλές ανακλάσεις πολλών διαφορετικών κυμάτων μέσα στην οπτική ίνα μπορούν να δημιουργήσουν συνθήκες συμβολής στο εσωτερικό της ίνας, με επιθυμητή την αποφυγή καταστροφικής συμβολής. Άρα η διάδοση μέσα στην οπτική ίνα δεν θα είναι εφικτή για όλες τις γωνίες εισόδου, και όπως αποδεικνύεται, για να υπάρχει ενισχυτική συμβολή, η γωνία εισόδου θα πρέπει να ικανοποιεί μια σχέση της μορφής:

$$\sin \theta_{in} = \frac{m \cdot \lambda}{4 \cdot n_1 \cdot a}$$

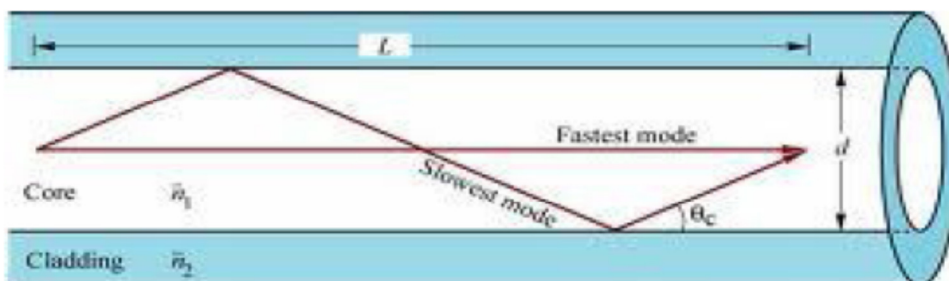
Όπου α η ακτίνα του πυρήνα της οπτικής ίνας και m ακέραιος που αντιστοιχεί στην τάξη του ρυθμού διάδοσης. Η γωνία εισόδου θ_{in} για κάθε m αντιστοιχεί σε μία διαφορετική πορεία μέσα από την οπτική ίνα και καθορίζει ένα διαφορετικό οπτικό τρόπο διάδοσης (mode). Για $m=0$ έχουμε τον μηδενικής τάξης ρυθμό που αντιστοιχεί σε ευθεία διάδοση. Για τους ρυθμούς χαμηλής τάξης, η γωνία εισόδου στην ίνα είναι μικρή και η γωνία ανάκλασης στη διαχωριστική επιφάνεια πυρήνα - περιβλήματος είναι αρκετά μεγάλη. Αντίθετα όσο αυξάνει το m τόσο αυξάνεται και η γωνία εισόδου στην ίνα, η γωνία ανάκλασης προσεγγίζει την οριακή και αυξάνεται ο αριθμός των ανακλάσεων που απαιτούνται για την διάδοση μέσα από την οπτική ίνα.



Πορεία των διαφόρων τάξεων ρυθμών σε μία οπτική ίνα

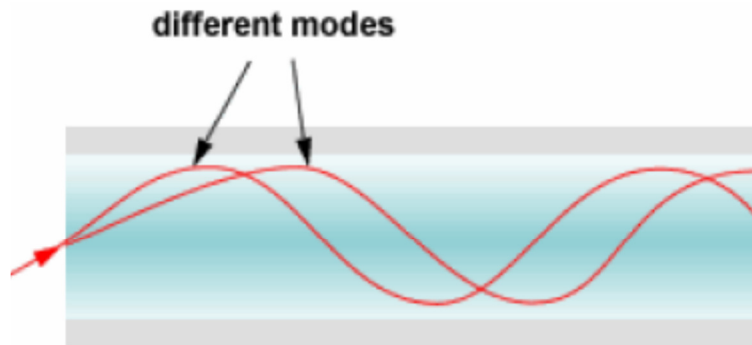
Αξίζει να σημειωθεί ότι μία μονότροπη ίνα επιτρέπει συνήθως τη διάδοση μόνο του ρυθμού διάδοσης μηδενικής τάξης, σε αντίθεση με μία πολύτροπη όπου επιτρέπεται η διάδοση πολλών ρυθμών ταυτόχρονα.

Στις πολύτροπες ίνες βηματικού δείκτη διάθλασης (step index) συμβαίνει απότομη μεταβολή του δείκτη διάθλασης μεταξύ της κεντρικής ίνας και του υλικού επίστρωσης. Στην περίπτωση αυτή η πορεία των ακτινών είναι αυτή που φαίνεται στο Σχήμα.



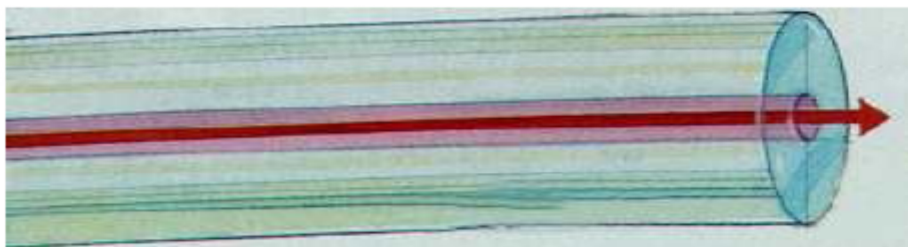
Πολύτροπη οπτική ίνα βηματικού δείκτη διάθλασης

Στις πολύτροπες ίνες διαβαθμισμένου δείκτη διάθλασης (graded index) έχουμε βαθμιαία μεταβολή του δείκτη διάθλασης του υλικού της κεντρικής ίνας. Συμβαίνει βαθμιαία μείωση όσο απομακρυνόμαστε από το κέντρο προς την εξωτερική επιφάνεια του γυαλιού. Σε μία τέτοια ίνα η πορεία των ακτινών είναι αυτή που φαίνεται στο Σχήμα.



Οπτική ίνα διαβαθμισμένου δείκτη διάθλασης. Λόγω του ακτινικά μεταβαλλόμενου δείκτη διάθλασης η αλλαγή πορείας των ακτινών γίνεται σταδιακά με αποτέλεσμα την καμπυλόγραμμη πορεία τους μέσα στην ίνα.

Στις μονότροπες οπτικές ίνες (single mode) η διάμετρος της κεντρικής ίνας είναι πολύ μικρή και πλησιάζει περίπου το επίπεδο του μήκους κύματος του εκπεμπόμενου σήματος. Στην περίπτωση αυτή, έχουμε έναν μόνο δυνατό τρόπο μετάδοσης του οπτικού σήματος, το οποίο φαίνεται στο Σχήμα.



Μονότροπη οπτική ίνα.

1.4. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΕΞΑΣΘΕΝΙΣΗΣ & ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ

Η εξασθένιση σήματος (ή απώλεια σήματος) σε μια οπτική ίνα ορίζεται ως ο λόγος της οπτικής ισχύος στην έξοδο της σε σχέση με τη ισχύ εισόδου και εκφράζεται σε dB/km.

Καθορίζει, κατά μεγάλο μέρος, τη μέγιστη απόσταση στην οποία απαιτείται αναγέννηση και ενίσχυση του σήματος. Η εξασθένιση της ισχύος του σήματος στο εσωτερικό της ίνας δίνεται από τη σχέση:

$$\frac{dP}{dz} = -aP$$

Όπου a είναι ο συντελεστής εξασθένισης και P η οπτική ισχύς του σήματος. Η λύση της παραπάνω διαφορικής εξίσωσης πρώτης τάξης είναι:

$$P_0 = P_i \cdot e^{-aL}$$

Όπου P_i η οπτική ισχύς εισόδου στην ίνα και P_0 η ισχύς εξόδου και L το μήκος της.

Συνήθως στις τηλεπικοινωνίες οπτικών ινών οι απώλειες εκφράζονται σε dB/Km και ο συντελεστής εξασθένισης γράφεται εναλλακτικά:

$$a(dB) = -\frac{10}{L} \log_{10} \frac{P_0}{P_i}$$

Διάφοροι μηχανισμοί είναι υπεύθυνοι για την εξασθένιση του σήματος στην οπτική ίνα και οφείλονται στην απορρόφηση του υλικού της ίνας, σε σκεδάσεις στο εσωτερικό της ίνας, στα σημεία συνενώσεων δύο οπτικών ινών (splices) και στους συνδετήρες (connectors).

I. Απορρόφηση (absorption). Τα ηλεκτρόνια ξένων προσμίξεων που υπάρχουν στο γυαλί της ίνας απορροφούν μέρος της μεταδιδόμενης οπτικής ισχύος. Ιδιαίτερα τα ιόντα OH^- , ευθύνονται για τις μεγάλες απώλειες των οπτικών ινών. Απώλειες απορρόφησης έχουμε ακόμα στην περιοχή του υπεριώδους λόγω του ίδιου του υλικού της ίνας και στο υπέρυθρο λόγω αλληλεπίδρασης των φωτονίων με τα ταλαντούμενα μόρια του πλέγματος του γυαλιού. Επίσης άλλοι εξωγενείς παράγοντες όπως ξένες προσμίξεις, ανομοιογένειες στη κατασκευή της ίνας συμβάλλουν στις απώλειες λόγω απορρόφησης.

II. Σκέδαση (Scattering). Με τον όρο αυτό χαρακτηρίζουμε τη διάχυση (σκόρπισμα) που υφίσταται η φωτεινή ακτινοβολία στο μανδύα καθώς διαδίδεται στον πυρήνα της ίνας. Οφείλεται σε ανωμαλίες στη σύνθεση του υλικού της ίνας που μπορεί να είναι είτε ξένες προσμείξεις (impurities) είτε κάποια σημειακή ανομοιογένεια του δείκτη διάθλασης. Όταν αυτές οι ανωμαλίες έχουν μέγεθος r αρκετά μικρότερο από το χρησιμοποιούμενο μήκος κύματος λ ($r < 0.1\lambda$), η σκέδαση ονομάζεται Rayleigh και έχει ισχυρή εξάρτηση από το μήκος κύματος. Συγκεκριμένα η σκέδαση-εξασθένηση είναι πολύ μεγαλύτερη στα μικρά μήκη κύματος γιατί είναι ανάλογη του $1/\lambda^4$. Αυτός ο τύπος σκέδασης είναι υπεύθυνος για τις απώλειες στις ίνες αλλά και για το μπλε χρώμα του ουρανού. Εκτός από τη σκέδαση Rayleigh άλλοι τύποι σκέδασης που όμως δεν παρατηρούνται στις οπτικές ίνες, είναι η σκέδαση Mie ($0.1\lambda < r < 10\lambda$) οι οποία έχει ασθενή εξάρτηση από το λ , αλλά και η σκέδαση Tyndall ($r > 10\lambda$) που δεν εξαρτάται από το λ και στην οποία οφείλεται το άσπρο χρώμα στα σύννεφα. Στις ίνες παρατηρούνται επίσης η σκέδαση Raman και η σκέδαση Brillouin που όμως ανήκουν στα μη γραμμικά φαινόμενα.

Η σκέδαση Rayleigh αποτελεί ένα βασικό μηχανισμό απώλειας ο οποίος προκαλείται από σημειακές μικροσκοπικές διακυμάνσεις της πυκνότητας. Οι διακυμάνσεις αυτές οδηγούν σε τυχαία διακύμανση του δείκτη διάθλασης, σε κλίμακα μικρότερη του οπτικού μήκους κύματος λ . Η σκέδαση του φωτός σε ένα τέτοιο μέσο είναι γνωστή ως σκέδαση Rayleigh. Η ενεργός διατομή της σκέδασης μεταβάλλεται συναρτήσει του λ^{-4} . Η συνεισφορά της σκέδασης Rayleigh μπορεί να μειωθεί σε επίπεδο κάτω από 0.01 dB/km για μήκος κύματος μεγαλύτερο από 3 μm .

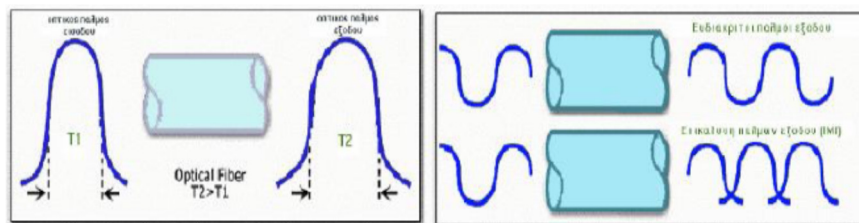
Ωστόσο, ένας θεμελιώδης εσωτερικός μηχανισμός απωλειών είναι οι απώλειες σκέδασης Raman, οι οποίες προκύπτουν από μικροσκοπικές διακυμάνσεις του δείκτη διάθλασης στον πυρήνα της οπτικής ίνας κατά τη διάρκεια της κατασκευής της. Οι διακυμάνσεις της πυκνότητας οδηγούν σε διακυμάνσεις στην τιμή του δείκτη διάθλασης του πυρήνα σε κλίμακα μικρότερη του οπτικού μήκους κύματος. Με την προσθήκη διαφόρων προσμίξεων στον πυρήνα αυξάνεται το ποσοστό των απωλειών σκέδασης Rayleigh μιας και το υλικό γίνεται όλο και πιο ανομοιογενές. Μια καλή προσέγγιση του συντελεστή σκέδασης Rayleigh δίνεται από τον τύπο :

$$a_s (dB/Km) = \frac{(0.75 + 66\Delta n_{Ge})}{\lambda^4}$$

όπου το λ μετριέται σε μm και το Δn_{Ge} είναι η διαφορά στην τιμή του δείκτη διάθλασης λόγω του γερμανίου στην ίνα. Τυπικές τιμές του a_s είναι 0.12-0.16 dB/km για $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$. Αυτές οι απώλειες περιορίζουν τελικά την απόσταση στην οποία μπορούν να μεταδοθούν σήματα και απαιτούν την ύπαρξη οπτικής ενίσχυσης.

Διασπορά και διεύρυνση οπτικών παλμών

Οι διάφοροι μηχανισμοί διασποράς στην οπτική ίνα έχουν σαν τελικό αποτέλεσμα τη διεύρυνση του πλάτους των φωτεινών παλμών καθώς αυτοί ταξιδεύουν στην ίνα. Το φαινόμενο αυτό παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.15 όπου παρατηρούμε ότι καθώς διευρύνεται το πλάτος ενός παλμού, κάποια στιγμή αλληλεπικαλύπτεται με γειτονικούς παλμούς και γίνεται δυσδιάκριτος στο δέκτη (Intersymbol Interference). Το αποτέλεσμα είναι η αύξηση του ρυθμού των λαθών. Έτσι λοιπόν η διασπορά των παλμών του σήματος περιορίζει το ρυθμό διακίνησης πληροφορίας (Bit Rate) στην οπτική ίνα, δηλαδή το εύρος ζώνης της ίνας που μπορεί να αξιοποιηθεί. Το μέγεθος τη διασποράς ενός παλμού εξαρτάται επίσης και από την απόσταση που ο παλμός διένυσε στην ίνα.



Σχήμα 1.15. Το φαινόμενο της διασποράς στις οπτικές ίνες

Στη συνέχεια θα εξετάσουμε αναλυτικά τους διάφορους μηχανισμούς που οδηγούν σε διασπορά των παλμών στις οπτικές ίνες. Επιγραμματικά αναφέρουμε ότι οι κυριότεροι μηχανισμοί είναι η χρωματική διασπορά, η διασπορά των τρόπων διάδοσης και η διασπορά των τρόπων πόλωσης.

I. Χρωματική διασπορά

Συναντάται σε όλους τους τύπους των οπτικών ινών και οφείλεται στο πεπερασμένο εύρος ζώνης της οπτικής πηγής που τροφοδοτεί την ίνα. Η οπτική πηγή μπορεί να είναι laser συνεχούς εκπομπής και φωτοдиодοι (Light Emitting Diodes – LED). Οι φωτοдиодοι (LED), λόγω των φτωχών αποτελεσμάτων της λειτουργίας τους (ευρύ φάσμα εκπομπής ασύμφωνου φωτός, χαμηλή οπτική ισχύς εξόδου), χρησιμοποιούνται κυρίως σε τηλεπικοινωνιακές ζεύξεις μικρών σχετικά αποστάσεων όπως τα τοπικά δίκτυα LAN. Η μεγάλη ώθηση στις οπτικές τηλεπικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων οφείλεται κυρίως στις ιδιότητες της διόδου laser. Οι προδιαγραφές των Laser είναι πιο αυστηρές σε σχέση με αυτές των LEDs, μια και το laser είναι μια διάταξη που ενισχύει το φως. Αυτό άλλωστε δηλώνει και το όνομά του που είναι το ακρωνύμιο της φράσης Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation – LASER. Πρακτικά, το laser είναι ένας οπτικός ταλαντωτής στο εσωτερικό του οποίου σχηματίζονται στάσιμα ηλεκτρομαγνητικά κύματα με άμεσο αποτέλεσμα, την έξοδο υψηλά σύμφωνης μονοχρωματικής ακτινοβολίας. Από την άλλη μεριά τα LED παρέχουν οπτική εκπομπή χωρίς μηχανισμούς ενίσχυσης (άρα μικρότερη ισχύ) και ασύμφωνη οπτική έξοδο.

Επειδή λοιπόν η φωτεινή πηγή (laser ή LED) δεν εκπέμπει μόνο μια συχνότητα αλλά ομάδα συχνοτήτων πεπερασμένου εύρους, (π.χ. LED με ονομαστικό λ στα 850nm στην πραγματικότητα εκπέμπει μήκη κύματος από 825-875nm) υπάρχουν διαφορετικές καθυστερήσεις στη διάδοση κάθε μιας συχνότητας (ή κάθε μήκος κύματος) αφού όπως θα δούμε στη συνέχεια αυτές ταξιδεύουν στην οπτική ίνα με διαφορετική ταχύτητα. Αυτές οι χρονικές καθυστερήσεις των διαφόρων συχνοτήτων στο άλλο άκρο του δέκτη έχουν σαν αποτέλεσμα τη χρονική διεύρυνση (διασπορά) του παλμού. Οι χρονικές αυτές καθυστερήσεις μπορεί να οφείλονται σε δύο διαφορετικούς παράγοντες: κατά πρώτον στις συγκεκριμένες ιδιότητες του υλικού του κυματοδηγού, και, κατά δεύτερον, στην επιλεκτική με τη συχνότητα κυματοδότηση της ίνας. Στην πρώτη περίπτωση έχουμε τη διασπορά υλικού Δt και στην δεύτερη τη διασπορά κυματοδηγού δW . Η συνολική διασπορά δ είναι το άθροισμα $\delta = \Delta t + \delta W$.

Διασπορά κυματοδηγού

Στην περίπτωση μονότροπης ίνας ο μοναδικός τρόπος διάδοσης συμπεριφέρεται ως εξής: Στα μικρά μήκη κύματος περιορίζεται σε μεγάλο βαθμό μέσα στον πυρήνα, στα μεσαία μήκη κύματος διαχέεται ελαφρά μέσα στο περίβλημα ενώ στα μεγάλα

μήκη κύματος διαχέεται σε μεγάλο βαθμό στο περίβλημα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση του χρόνου διάδοσης καθώς το μήκος κύματος αυξάνεται και αυτό γιατί ο δείκτης διάθλασης n του μανδύα είναι μικρότερος από του πυρήνα άρα η ταχύτητα των κυμάτων που διαδίδονται εκεί μεγαλύτερη. Δεν πρέπει να συγχέεται όμως αυτός ο μηχανισμός διασποράς με τον μηχανισμό διασποράς τρόπων διάδοσης που θα δούμε παρακάτω.

Ο μηχανισμός αυτός είναι γνωστός ως διασπορά κυματοδηγού. Η διασπορά κυματοδηγού εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οπτικής ίνας, και το μήκος κύματος και έχει ως αποτέλεσμα την διαπλάτυνση του διαδιδόμενου σήματος λόγω της διαφορικής χρονικής καθυστέρησης $\Delta\tau_{wg}$ των μηκών κύματος. Ένα μέτρο λοιπόν αυτής της διαπλάτυνσης που οφείλεται στη διασπορά κυματοδηγού, δίνεται από τη σχέση:

$$\Delta\tau_{wg} = -n_2 \cdot \Delta \cdot \frac{L}{c} \cdot \frac{\Delta\lambda}{\lambda} V_D$$

όπου V_D είναι η χαρακτηριστική παράμετρος διασποράς κυματοδηγού.

Η διασπορά κυματοδηγού συμβάλλει στη χρωματική διασπορά. Καθώς όμως εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οπτικής ίνας μπορεί να πάρει ελεγχόμενες τιμές με την κατάλληλη σχεδίαση και μπορεί να αντισταθμίσει την χρωματική διασπορά.

Το πρόβλημα της διασποράς εξαλείφεται πλήρως αν χρησιμοποιηθεί οπτική πηγή που να εκπέμπει σε ένα μόνο μήκος κύματος. Αυστηρά μονοχρωματικές πηγές βέβαια δεν υπάρχουν. Οι ευρέως χρησιμοποιούμενες φωτεινές πηγές Laser εκπέμπουν σε ένα φασματικό εύρος $\Delta\lambda$ από 1 έως 10 nm ενώ οι πηγές LEDs έχουν μεγαλύτερο φασματικό εύρος 50 – 100nm.

Σήμερα κατασκευάζονται πηγές με ακόμη μικρότερο εύρος και με αμελητέα χρωματική διασπορά, ωστόσο είναι πολύ ακριβές και χρησιμοποιούνται μόνο σε ζεύξεις μεγάλων αποστάσεων. Επιπλέον, ακόμη και μονοχρωματική πηγή να υπήρχε, μία διεύρυνση του φασματικού εύρους της είναι αναπόφευκτη λόγω της διαμόρφωσης που πρέπει να εφαρμοστεί για την μεταφορά του σήματος πληροφορίας.

Το ποσοστό διεύρυνσης των οπτικών παλμών εξαρτάται από την αρχική τους χρονική διάρκεια. Παλμοί με μικρή διάρκεια, έχουν μεγάλο εύρος ζώνης και επομένως η διασπορά θα κάνει πιο έντονη την παρουσία της. Επομένως, η σημασία του φαινομένου γίνεται εντονότερη όσο αυξάνει ο ρυθμός του οπτικού σήματος. Η διασπορά κυματοδηγού είναι παρούσα τόσο σε μονότροπη, όσο και σε πολύτροπη ίνα.

Διασπορά υλικού

Η διασπορά υλικού οφείλεται στο γεγονός ότι οι διάφορες φασματικές συνιστώσες του σήματος ταξιδεύουν στην ίνα με διαφορετικές ταχύτητες ομάδας v_g , όποτε, όταν διανύσουν L Km που είναι το μήκος της ίνας, φθάνουν στον δέκτη χρονικά καθυστερημένα.

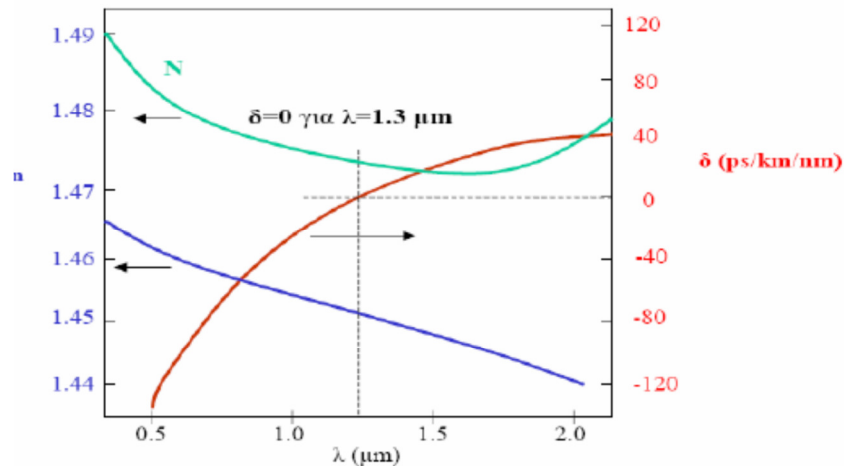
Μια φασματική συνιστώσα συχνότητας f φθάνει στο άκρο της ίνας μετά από χρόνο $t=L/v_g$. Αν $\Delta\lambda$ είναι το εύρος ζώνης του παλμού, τότε η διεύρυνση του παλμού θα είναι

$$\Delta t = \frac{dt}{d\lambda} \cdot \Delta\lambda = L \cdot \frac{d \frac{1}{v_g}}{d\lambda} \cdot \Delta\lambda \Rightarrow \Delta t = L \cdot D \cdot \Delta\lambda$$

Η παράμετρος D δίνει τη διασπορά της ίνας ανά μονάδα μήκους ίνας και ανά μονάδα μήκους κύματος και εκφράζεται σε μονάδες $\frac{ps}{Km \cdot nm}$. Χρησιμοποιώντας τη σχέση $v_g = \frac{c}{N}$,

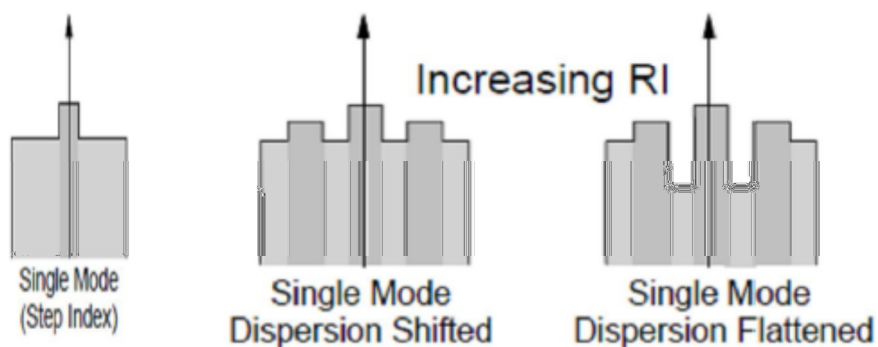
οπού $N = n - \lambda \cdot \frac{dn}{d\lambda}$, ο δείκτης διάθλασης ομάδας, έχουμε για τον συντελεστή διασποράς

$$\text{υλικού } D, D = \frac{d \frac{1}{v_g}}{d\lambda} = \frac{1}{c} \cdot \frac{dN}{d\lambda} \Rightarrow D = -\frac{\lambda}{c} \cdot \frac{d^2 n}{d\lambda^2}$$



Σχήμα 1.16. Σχηματική μεταβολή του δείκτη διάθλασης n , του δείκτη διάθλασης ομάδας N και του συντελεστή διασποράς D (δ στο σχήμα) συναρτήσει του μήκους κύματος λ για μονότροπη οπτική ίνα.

Με άλλα λόγια η διασπορά υλικού Δt , οφείλεται στην εξάρτηση του δείκτη διάθλασης $n=n(\lambda)$ από το μήκος κύματος (σχήμα 1.16). Το γεγονός αυτό μας δίνει και ταχύτητα ομάδας $v_g = v_g(\lambda)$, για κάθε χρωματική συνιστώσα που εξαρτάται από το μήκος κύματος λ . Για την αντιμετώπιση του συνολικού φαινομένου της χρωματικής (υλικού και κυματοδηγού) διασποράς έχουν δημιουργηθεί διάφοροι τύποι μονότροπων οπτικών ινών. Οι ίνες αυτές έχουν ιδιαίτερο προφίλ δείκτη διάθλασης (σχήμα 1.18) με το οποίο επιτυγχάνουν τη ρύθμιση της διασποράς κυματοδηγού και κατ' επέκταση της συνολικής διασποράς.



Σχήμα 1.18 Χαρακτηριστικά προφίλ δεικτών διάθλασης για Standard SMF, DSF και DFFμονότροπες ίνες.

Οι κυριότεροι τύποι οπτικών ινών που χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση της διασποράς είναι:

1. Η ίνα επίπεδης διασποράς (Dispersion Flattened Fiber - DFF)
2. Η ίνα μετατοπισμένης διασποράς (Dispersion Shifted Fiber - DSF)
3. Η ίνα επανόρθωσης της διασποράς (Dispersion Compensation Fiber-DCF)

Οι ίνες επίπεδης διασποράς DFF, είναι μονότροπες ίνες με πολύ μικρό συντελεστή διασποράς, περίπου 3 psec/nm/km, σε ένα ευρύ φάσμα μηκών κύματος από τα 1300-1700nm περίπου. Συνήθως, για τις standard μονότροπες ίνες η διασπορά είναι μηδενική στα 1310nm. Σε αυτό το μήκος κύματος η διασπορά κυματοδηγού αντισταθμίζει την διασπορά υλικού και έτσι η συνολική χρωματική διασπορά είναι μηδενική. Σε μικρότερα ή μεγαλύτερα μήκη κύματος όμως (850nm ή 1550nm)ο συντελεστής διασποράς παίρνει τιμές από -50 psec/km/nm έως και +20 psec/km/nm όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.16.

Οι ίνες μετατοπισμένης διασποράς DSF, έχουν σχεδιαστεί ώστε να παρουσιάζουν μηδενική διασπορά στα 1550nm και όχι στα 1310nm. Η περιοχή των 1550 nm είναι ιδιαίτερα ελκυστική στις οπτικές επικοινωνίες μια και προσφέρει το πλεονέκτημα της χαμηλότερης εξασθένησης σε σχέση με την περιοχή των 1310nm. Επιπλέον, σ' αυτό το μήκος κύματος μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε και οπτικούς ενισχυτές (EDFA) κάτι που είναι ιδιαίτερα σημαντικό για WDM ζεύξεις μεγάλων αποστάσεων.

Τέλος οι DCF είναι ίνες με μεγάλη τιμή του συντελεστή διασποράς D αλλά με αντίθετο πρόσημο σε σχέση με τις standard SMF ώστε να αντισταθμίζουν τη διασπορά που δημιουργείτε από πολλά km standard SMF. Σε ζεύξεις μακρινών αποστάσεων ανάμεσα σε μεγάλα τμήματα SMF παρεμβάλλονται μικρά τμήματα DCF τα οποία «μαζεύουν» ξανά τον παλμό που είχε απλώσει εξαιτίας της διάδοσης του στην ίνα.

II. Διασπορά των τρόπων διάδοσης

Όπως συνάγεται και από την ονομασία της, συναντάται μόνο σε πολύτροπες ίνες. Η ισχύς ενός παλμού, καθώς αυτός κυματοδηγείται σε οπτική ίνα με σταθερούς δείκτες διάθλασης, διαμοιράζεται ανάλογα με τις διαστάσεις του πυρήνα της σε περισσότερους από έναν τρόπους. Η διεύρυνση ενός παλμού λόγω της διασποράς των τρόπων διάδοσης οφείλεται ουσιαστικά στις διαφορετικές χρονικές καθυστερήσεις που υφίστανται οι διάφοροι τρόποι στην πολύτροπη οπτική ίνα. Για μια ίνα μήκους L

με σταθερό δείκτη διάθλασης πυρήνα (βηματικού δείκτη διάθλασης – Step Index), η διαπλάτυνση $\Delta\tau_{m(SI)}$ αποδεικνύεται ότι δίνεται από τη σχέση:

$$\Delta\tau_{m(SI)} = n_c \cdot \frac{L}{2 \cdot c_0} \cdot \Delta$$

Όπου n_c , ο δείκτης διάθλασης του πυρήνα, c_0 , η ταχύτητα του φωτός στο κενό και Δ , η σχετική διαφορά $\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$ των δεικτών διάθλασης πυρήνα-μανδύα.

Το πρόβλημα μετριάζεται με τη χρήση οπτικής ίνας, στην οποία ο δείκτης διάθλασης του πυρήνα δεν είναι σταθερός, αλλά μειώνεται ακτινικά μέχρι το περίβλημα (ίνα διαβαθμισμένου δείκτη διάθλασης - Graded Index). Με αυτό τον τρόπο σχεδόν εξισώνεται ο χρόνος διάδοσης των διαφόρων τρόπων. Για μια τέτοια ίνα η διαπλάτυνση $\Delta\tau_{m(GI)}$ δίνεται από τη σχέση:

$$\Delta\tau_{m(GI)} = n_c \cdot \frac{L}{4 \cdot c_0} \cdot \Delta^2$$

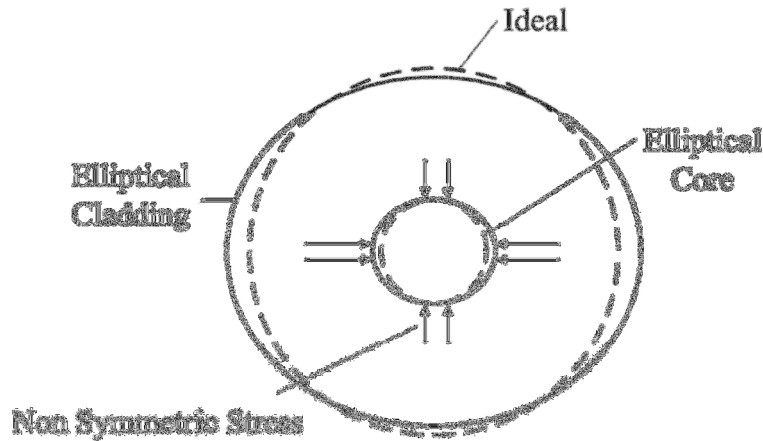
Όπως αναφέραμε η διασπορά των τρόπων διάδοσης παρατηρείται στις πολύτροπες ίνες. Η κατάσταση μπορεί να βελτιωθεί υιοθετώντας κατάλληλο προφίλ του δείκτη διάθλασης, κατασκευάζοντας δηλαδή ίνες διαβαθμισμένου δείκτη διάθλασης.

III. Διασπορά των τρόπων πόλωσης

Η διασπορά τρόπου πόλωσης (Polarization Mode Dispersion - PMD) οφείλεται στο γεγονός ότι κάθε τρόπος διάδοσης αποτελείται από δύο καταστάσεις πόλωσης (State Of Polarizations - SOPs) κάθετες μεταξύ τους. Υπό ιδανικές συνθήκες ο πυρήνας της ίνας είναι κυκλικός και οι δύο αυτές καταστάσεις πόλωσης διαδίδονται με την ίδια ταχύτητα. Στην πραγματικότητα όμως λόγω κατασκευής ή λόγω μηχανικών ή ακόμα και θερμικών φορτίων που δέχεται η ίνα, το σχήμα του πυρήνα δεν είναι τέλεια κυκλικό αλλά ελαφρά ελλειπτικό όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.19. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα η ίνα να έχει ελάχιστα διαφορετικό δείκτη διάθλασης για κάθε κατάσταση πόλωσης. Η ιδιότητα αυτή λέγεται διπλοθλαστικότητα (birefringence) και εμφανίζεται και σε κάποιους κρυστάλλους εκ φύσεως.

Φυσικά αυτό σημαίνει ότι οι δύο καταστάσεις πόλωσης που διαδίδονται στους δύο κάθετους μεταξύ τους άξονες θα έχουν και διαφορετικές ταχύτητες πράγμα που οδηγεί στην καθυστέρηση του αργού τρόπου πόλωσης σε σχέση με τον ταχύ. Η καθυστέρηση αυτή είναι γνωστή και ως διαφορική καθυστέρηση ομάδας (Differential Group Delay-DGD) και

έχει αποτέλεσμα τη διασπορά του παλμού όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.20. Τυπικές διαφορές στον δείκτη διάθλασης των δύο αξόνων είναι της τάξης του 10^{-5} πράγμα που σημαίνει ότι για μικρές αποστάσεις η καθυστέρηση είναι αμελητέα. Για δίκτυα πολλών χιλιομέτρων όμως ακόμα και αυτή η πολύ μικρή διαφορά μπορεί να δημιουργήσει μεγάλες σχετικά τιμές DGD.



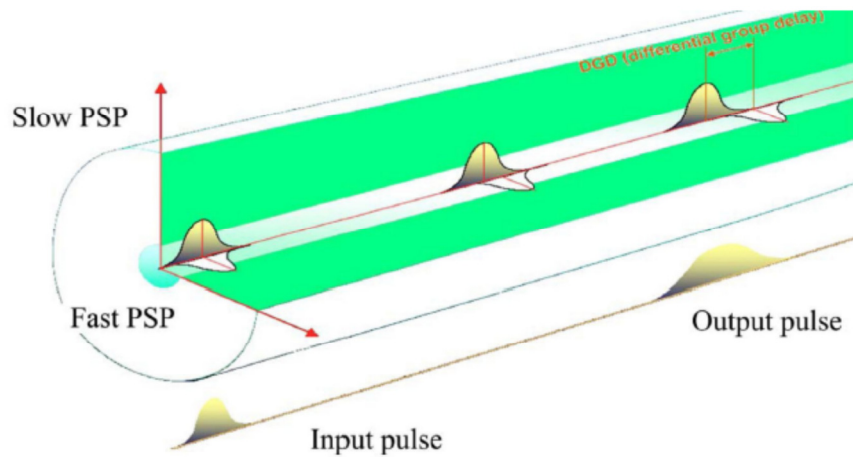
Σχήμα 1.19: Η ίνα λόγω μη συμμετρικών μηχανικών φορτίων αποκτά ένα ελαφρώς ελλειπτικό σχήμα.

Η σχέση που δίνει τη χρονική καθυστέρηση λόγω PMD είναι:

$$\Delta\tau = DPMD \cdot L$$

όπου L το μήκος της ίνας σε km και $DPMD$ ο συντελεστής διασποράς πόλωσης τυπικές τιμές του οποίου είναι της τάξης των $0,02\text{psec}/\text{km}^{1/2}$. Όπως προκύπτει για ίνα μήκους 25km επάγει DGD περίπου 0,1psec. Η τιμή αυτή είναι πολύ μικρή συγκρινόμενη με τη διασπορά που προκαλείται από τους υπόλοιπους μηχανισμούς. Όμως σε ζεύξεις μακρινών αποστάσεων και υψηλών ρυθμών μετάδοσης, μεγαλύτερους από 2.5 Gbps, δεν μπορεί να αγνοηθεί.

Πολύ σημαντικός είναι επίσης και ο θόρυβος που προκαλεί η διπλοθλαστικότητα στις ίνες. Στις συνηθισμένες ίνες, καθώς το H/M κύμα διαδίδεται, δε διατηρεί την πόλωση του. Αυτό συμβαίνει εξ αιτίας ατελειών στη σύνθεση και τη γεωμετρία της ίνας. Χωρίς να υπάρχει συνολικά απώλεια ενέργειας, ενέργεια μεταφέρεται από τον ένα άξονα πόλωσης στον άλλο.



Σχήμα 1.20: διασπορά παλμού σε ίνα λόγω της PMD

Για να αντιμετωπιστεί το φαινόμενο αυτό έχουν κατασκευαστεί ίνες με ειδική γεωμετρία (π.χ. ελλειπτικούς πυρήνες) και σύνθεση οι οποίες διατηρούν την πόλωση σταθερή χωρίς να υπάρχει μεταφορά ενέργειας από τη μια κατάσταση πόλωσης στην άλλη. Οι ίνες αυτές είναι γνωστές ως Polarization Maintaining Fibers – PMF. Η διατήρηση της SOP επιτυγχάνεται συνήθως κάνοντας τις ίνες έντονα διπλοθλαστικές ώστε οι δύο καταστάσεις πόλωσης να έχουν πολύ διαφορετικές ταχύτητες και άρα να απέχουν ικανή απόσταση ώστε να μην μπορεί να γίνει σύζευξη (μεταφορά ενέργειας) μεταξύ τους.

2. ΟΠΤΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

To LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) - Γενικά

Η ιστορία των laser ξεκίνησε στις αρχές του προηγούμενου αιώνα όταν, το 1917, ο Albert Einstein διατύπωσε την υπόθεση της ύπαρξης διαδικασίας της εξαναγκασμένης εκπομπής. Αυτός ήταν που έδειξε πως η διαδικασία της επαγομένης ή εξαναγκασμένης εκπομπής θα πρέπει να υπάρχει ώστε να εξισορροπεί σε θερμοδυναμική ισορροπία τις διαδικασίες της απορρόφησης και της αυτογενούς εκπομπής. Αυτή άλλωστε, είναι η βάση για ένα laser. Η λέξη laser είναι ακρωνύμιο για τις λέξεις : Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, δηλαδή ενισχυμένο φως μέσω εξαναγκασμένης εκπομπής ακτινοβολίας. Έτσι, η λέξη laser αναφέρεται τόσο στο φαινόμενο της ενίσχυσης της επαγομένης ακτινοβολίας όσο και στις αντίστοιχες διατάξεις.

Η πρώτη διάταξη laser με ορατό μήκος κύματος, ερυθρό για την ακρίβεια, ήρθε στο φως το 1960 όταν ο T.H. Maiman πραγματοποίησε ένα στερεάς κατάστασης laser ρουβιδίου. Αργότερα, μετά από μισό περίπου χρόνο, εμφανίστηκε και διάταξη laser He-Ne (ήλιο-νέο) από τον A.Javan. Το He-Ne laser με μήκος κύματος 1,15 μm ξεκίνησε έναν καινούριο κλάδο στην επιστήμη και στην τεχνολογία, τα laser αερίου ενεργού μέσου. Στις μέρες μας πολλοί τύποι laser είναι γνωστοί. Σύμφωνα με το ενεργό μέσο που ενισχύει την επαγόμενη ακτινοβολία κατηγοριοποιούνται σε laser αερίου, στερεάς κατάστασης (κρυστάλλων), ημιαγωγών, ρευστής χρωστικής ουσίας και ελευθέρων ηλεκτρονίων. Τα μήκη κύματος αυτών των laser καλύπτουν σχεδόν όλο το φάσμα από μικρά μήκη κύματος ~ 100 nm στο μακρινό υπεριώδες έως ~ 1 mm στο μικροκυματικό εύρος. Σε αυτό το σημείο πρέπει να προστεθεί πως και η ισχύς τους καλύπτει ένα πλατύ εύρος, από τα mW σε μικρά laser ημιαγωγών έως τα terawatt σε μεγάλες διατάξεις laser που χρησιμοποιούνται σε πειράματα πυρηνικής σύντηξης.

Αξίζει να σημειώσουμε πως το ακρωνύμιο laser υποδηλώνει ότι αναφέρεται σε μία διάταξη ενισχυτή. Μία τέτοια παρατήρηση όμως δεν θα ήταν τόσο ακριβής όσο ο χαρακτηρισμός της ως ταλαντωτής που είναι πιο εξηγηματικός ως προς τον τρόπο ενίσχυσης. Ωστόσο, μία πιο πλήρης περιγραφή θα ήταν δυνατή σε συνδυασμό με τα κύρια συστατικά στοιχεία ενός laser που είναι το ενεργό μέσο, η πηγή και ο τρόπος διέγερσης καθώς και το οπτικό αντηχείο και η σύνδεση του τελευταίου με την ενίσχυση και τις ιδιότητες της ακτινοβολίας. Αυτές όμως οι βασικές έννοιες για ένα laser θα παρουσιαστούν αναλυτικότερα στη συνέχεια αυτού του κεφαλαίου. Μία αυστηρή και ακριβής ανάλυση της φυσικής των laser είναι σχετικά δύσκολη, γι αυτό και η παρουσίασή της στο παρόν κεφάλαιο είναι απλοποιημένη.

Καταλήγοντας, παρόλο που οι εφαρμογές των laser είχαν ένα "αργό ξεκίνημα", μία μεγάλη ποικιλία εφαρμογών είναι πλέον ευρέως γνωστή στις μέρες μας. Από την μαζική επέλαση των laser εγγραφής και αναπαραγωγής ήχου έως τις εφαρμογές του στην βιομηχανία και την ιατρική (π.χ. νυστέρι YAG ή επέμβαση διόρθωσης της μυωπίας). Στις διάφορες αυτές εφαρμογές καθοριστικό ρόλο ορθής εφαρμογής έχουν διάφορες παράμετροι όπως είναι το μήκος κύματος λειτουργίας ενός laser, ο τρόπος λειτουργίας (συνεχής ή παλμικός) και κυριότερα η ισχύς που συνδέεται με τα ανωτέρω. Θα μπορούσε, λοιπόν, εύκολα να παρατηρηθεί ότι τα laser κατέχουν σήμερα ηγετικό ρόλο στην έρευνα, την τεχνολογία, την επιστήμη και σε πολλές άλλες εκφάνσεις της ανθρώπινης δραστηριότητας.

Ένα σύστημα laser αποτελείται από τα παρακάτω μέρη:

- Το ενεργό μέσο
- Το οπτικό αντηχείο
- Το μηχανισμό εξόδου
- Τρόποι άντλησης του ενεργού υλικού

Το ενεργό μέσο

Το ενεργό μέσο μπορεί να είναι στερεό, υγρό ή αέριο. Αποτελείται από ένα πλήθος ατόμων ή μορίων, τα οποία διεγείρονται σε μια ανώτερη ενεργειακά κατάσταση. Μέσω του μηχανισμού εξαναγκασμένης εκπομπής μπορούν να εκπέμψουν ακτινοβολία.

Το οπτικό αντηχείο

Το οπτικό αντηχείο, το οποίο αποτελείται από δυο κάτοπτρα, εξασφαλίζει και τον κλάδο ανάδρασης, μια απαραίτητη παράμετρο για την ύπαρξη δράσης laser. Το ένα από τα δυο κάτοπτρα έχει ανακλαστικότητα 100% και το άλλο <100% ώστε να επιτρέπει την έξοδο της ακτινοβολίας. Το μέρος της ακτινοβολίας που διαφεύγει από το δεύτερο καθρέπτη αποτελεί την ακτινοβολία laser. Τα δυο κάτοπτρα αναγκάζουν τα φωτόνια να εκτελούν πολλαπλές διαδρομές μέσα στην κοιλότητα και να εξαναγκάζουν τα άτομα που βρίσκονται σε διεγερμένες καταστάσεις να αποδιεγερθούν. Με αυτό τον τρόπο ενισχύεται η ακτινοβολία που κυκλοφορεί μέσα στη κοιλότητα και βγαίνει τελικά από αυτήν ενισχυμένη.

Μηχανισμός εξόδου

Το σύστημα εξόδου αποτελεί το ένα από τα δυο κάτοπτρα της κοιλότητας και συγκεκριμένα αυτό με τη μικρότερη ανακλαστικότητα <100%. Το μέρος της ακτινοβολίας που δεν ανακλάται εξέρχεται από τη κοιλότητα και αποτελεί την ακτινοβολία laser. Στα συνεχούς λειτουργίας laser το μεγαλύτερο μέρος της ακτινοβολίας παραμένει μέσα στη κοιλότητα και ελευθερώνεται μόνο ένα μικρό ποσοστό, ενώ στα παλμικά laser το

μεγαλύτερο μέρος εξέρχεται από τη κοιλότητα σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή με τη μορφή ενός παλμού.

Τρόποι άντλησης του ενεργού μέσου

Η διέγερση του ενεργού μέσου συχνά αναφέρεται και ως άντληση. Η διαδικασία της άντλησης είναι καθοριστικής σημασίας για την δημιουργία του φαινομένου laser αφού μέσω αυτής παρέχεται η απαιτούμενη ενέργεια ώστε τα άτομα του ενεργού μέσου να διεγερθούν και να προκληθεί η επιθυμητή αντιστροφή πληθυσμού. Αυτό επιτυγχάνεται με διάφορους τρόπους, οι οποίοι παρουσιάζονται στο σημείο αυτό.

- **Οπτική άντληση:** Η προσφερόμενη ενέργεια είναι υπό μορφή φωτονίων, τα οποία μπορεί να προέρχονται από λυχνίες ή από άλλο laser.

- **Ηλεκτρική διέγερση αερίου:** Η ηλεκτρική διέγερση χρησιμοποιείται συνήθως στις περιπτώσεις που το ενεργό μέσο είναι αέριο. Σε αυτή την περίπτωση ο ρόλος των ελεύθερων ηλεκτρονίων είναι μείζονος σημασίας. Αρχικά εφαρμόζεται υψηλή τάση στα άκρα του ενεργού μέσου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τα ηλεκτρόνια να επιταχύνονται λόγω του υψηλού δυναμικού. Κατά την κίνηση τους αυτή συγκρούονται με άτομα του αερίου και τα διεγείρουν, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται η αναστροφή πληθυσμών.

- **Διέγερση μέσω κρούσεων:** διεγείρεται το ένα είδος ατόμων και μετά αποδίδει την ενέργεια του στο άλλο μέσω κρούσεων.

- **Χημική διέγερση:** Κατά τη διέγερση αυτή η απαραίτητη ενέργεια προσφέρεται από χημική αντίδραση μεταξύ των ατόμων του μορίου.

- **Διέγερση με ηλεκτρικό ρεύμα:** Είναι μια μέθοδος που εφαρμόζεται στα laser ημιαγωγών. Το ηλεκτρικό ρεύμα που διαρρέει το ενεργό μέσο προκαλεί την επιθυμητή αντιστροφή πληθυσμών.

Ιδιότητες της δέσμης laser

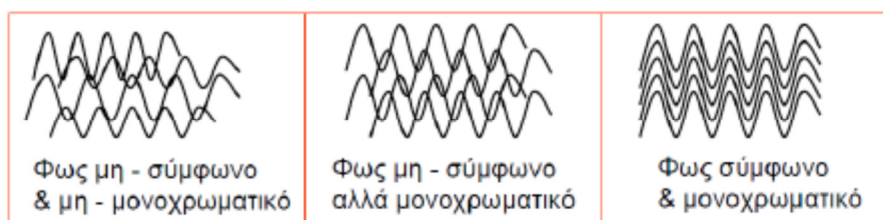
Η ακτινοβολία laser χαρακτηρίζεται από έναν υψηλό βαθμό:

- μονοχρωματικότητας
- συμφωνίας
- κατευθυντικότητας

-λαμπρότητας

Μονοχρωματικότητα: Η ιδιότητα αυτή οφείλεται στις ακόλουθες δύο περιστάσεις: α. στο ότι μόνο ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα συχνότητας f μπορεί να ενισχυθεί και β. αφού το σύστημα των δύο κατόπτρων σχηματίζει μία κοιλότητα συντονισμού, ταλάντωση μπορεί να συμβεί μόνο στις συχνότητες συντονισμού αυτής της κοιλότητας. Το γεγονός αυτό οδηγεί σε ένα εύρος γραμμής του laser που είναι συχνά πολύ στενότερο από το συνηθισμένο εύρος γραμμής της μετατόπισης $2 \rightarrow 1$ όπως αυτό παρατηρείται στην αυθόρμητη εκπομπή.

Συμφωνία: Εάν θεωρήσουμε μία ακτινοβολία που διαδίδεται υπό τύπο μίας δέσμης τότε μπορούμε να διακρίνουμε δύο τύπους συμφωνίας, τη χρονική και τη χωρική συμφωνία. Αναφερόμαστε σε χρονική συμφωνία όταν παίρνουμε σημεία με σταθερή διαφορά φάσης κατά μήκος της διάδοσης της φωτεινής δέσμης, ενώ μιλάμε για χωρική συμφωνία όταν παίρνουμε σημεία με σταθερή διαφορά φάσης επάνω στο μέτωπο κύματος της ακτινοβολίας και κάθετα προς την διεύθυνση διάδοσης της φωτεινής δέσμης. Σε σύγκριση με τις συμβατικές πηγές φωτός, η δέσμη laser χαρακτηρίζεται από υψηλό βαθμό συμφωνίας τόσο χωρικής όσο και χρονικής σχήμα 2.3.



Σχήμα 2.3. Βαθμός συμφωνίας χωρικής και χρονικής.

Κατευθυντικότητα: Αυτή η ιδιότητα είναι άμεσο επακόλουθο του γεγονότος ότι ενεργό υλικό τίθεται σε μια κοιλότητα συντονισμού. Στην ουσία μόνο ένα κύμα διαδιδόμενο κατά μήκος της διεύθυνσης της κοιλότητας (ή σε μία διεύθυνση πολύ κοντά σε αυτή) μπορεί να διατηρείται στην κοιλότητα.

Λαμπρότητα: ορίζουμε την λαμπρότητα μια δεδομένης πηγής ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων ως την ισχύ που εκπέμπει ανά μονάδα επιφάνειας και στερεάς γωνίας. Γενικά τα laser συγκρινόμενα με τις συμβατικές πηγές φωτός σχηματίζουν εικόνες πολύ μεγαλύτερης

λαμπρότητας λόγω της πολύ υψηλής πυκνότητας ενέργειας που μεταφέρεται από την πολύ υψηλής κατευθυντικότητας δέσμη τους. Αντίθετα, επειδή η ενέργεια μιας συμβατικής πηγής έχει ισότροπο χαρακτήρα, η ποσότητα που μπορούμε να συλλέξουμε σε καθορισμένη διεύθυνση είναι ανάλογη της στερεάς γωνίας που σχηματίζεται από την πηγή και την επιφάνεια πρόσπτωσης. Ο φωτισμός τους θα είναι πάντα μικρότερος ή το πολύ ίσος με την ισχύ εκπομπής της πηγής.

Καταλήγοντας, αξίζει να σημειωθεί ότι τα χαρακτηριστικά της λαμπρότητας, της κατευθυντικότητας και της μονοχρωματικότητας των πηγών laser είναι άρρηκτα συνδεδεμένα με την υψηλή συμφωνία που παρουσιάζει η ακτινοβολία τους.

Εφαρμογές των Laser

Οι τέσσερις ιδιότητες της ακτινοβολίας Laser την καθιστούν μοναδική σε μια πληθώρα εφαρμογών, καθώς δίνουν τη δυνατότητα ελεγχόμενης συμβολής (λόγω της καθορισμένης φάσης) και μεγάλης συγκέντρωσης ενέργειας σε μικρό χώρο. Ορισμένοι από τους τομείς όπου τα Laser χρησιμοποιούνται σήμερα είναι:

- Ιατρική (με εκμετάλλευση του γεγονότος ότι τα διαφορετικά μήκη κύματος απορροφώνται διαφορετικά από τους διάφορους ιστούς), για θεραπεία γλαυκώματος, κοπή και καυτηρίαση ιστών κοκ.
- Βιομηχανία, για μεγάλης ακρίβειας κατεργασία επιφανειών κλπ.
- Ευθυγράμμιση.
- Τηλεμετρία (επίγεια και μη).
- Τηλεπικοινωνίες.
- Μετεωρολογία και προστασία περιβάλλοντος (ανίχνευση ατμοσφαιρικών ρύπων).
- Ολογραφία (τρισεδιάστατη απεικόνιση).
- Πολεμική βιομηχανία.

2.1 Το LED (Light Emitting Diode) - Γενικά

Η δίοδος εκπομπής φωτός είναι μία ημιαγωγός δίοδος που εκπέμπει φως όταν ηλεκτρικό ρεύμα εφαρμόζεται με εμπρόσθια ορθή πόλωση (forward-biased) προς τη συσκευή, όπως ακριβώς και σε ένα απλό κύκλωμα. Το αποτέλεσμα είναι μια μορφή ηλεκτροφωταύγειας, όπου ασυνεχές και στενού φάσματος φως εκπέμπεται από το πέρασμα p-n σε ένα συμπαγές υλικό. Τα LED χρησιμοποιούνται ευρέως ως φωτεινές

ενδείξεις για ηλεκτρονικές συσκευές και όλο και περισσότερο σε εφαρμογές με απαιτήσεις όπως σε φακούς και φωτισμούς χώρων.

Η πρώτη γνωστή αναφορά συμπαγούς διόδου εκπομπής φωτός έγινε το 1970 από τον Βρετανό πειραματιστή H. J. Round του Marconi Labs, όταν παρατήρησε φωταύγεια παραγόμενη από ένα κρύσταλλο πυριτίου, ενώ χρησιμοποιούσε έναν ανιχνευτή μαγνητικού πεδίου (cats' whiskers sensor). Ο Ρώσος Oleg Vladimirovich Losev δημιούργησε το πρώτο LED στα μέσα της δεκαετίας του 1920. Η ερευνά του αν και διανεμήθηκε σε Ρωσικά, Γερμανικά και Βρετανικά επιστημονικά περιοδικά αγνοήθηκε και δεν βρήκε πρακτική εφαρμογή για αρκετές δεκαετίες. Ο Rubin Braunstein του Radio Corporation of America ανέφερε υπεριώδεις εκπομπές από αρσενικούχο γάλλιο (GaAs) και από άλλα κραμάτα ημιαγωγικών υλικών το 1955. Ο Braunstein παρατήρησε υπεριώδεις εκπομπές παραγόμενες από απλές σε δομή διόδους χρησιμοποιώντας κράματα GaSb, GaAs, InP και Ge-Si σε θερμοκρασία δωματίου στους 77 βαθμούς Kelvin. Το πρώτο πρακτικά ορατού φάσματος (κόκκινο) LED δημιουργήθηκε το 1962 από τον Nick Holonyak Jr., ενώ δούλευε στην General Electric Company. Ο Holonyak θεωρείται ο πατέρας της διόδου εκπομπής φωτός. Ο M. George Craford, ένας πρώην απόφοιτος φοιτητής του Holonyak, εφήυρε το πρώτο κίτρινο LED και το 10 φορές πιο δυνατό κόκκινο και το κόκκινο-πορτοκαλί LED το 1972. Η τεχνολογία αυτή αποδείχτηκε να έχει σημαντικές εφαρμογές σε αλφαριθμητικές οθόνες και εντάχθηκε η εφαρμογή της στα πρώιμα φορητά κομπιουτεράκια.

Ένα LED είναι συνήθως μια μικρή περιοχή (μικρότερη από 1 mm^2) φωτεινής πηγής, συχνά με φακό τοποθετημένο στην κορυφή του chip για να διαμορφώσει την ακτινοβολία του και να συμβάλει στην αντανάκλαση. Το χρώμα του εκπεμπόμενου φωτός εξαρτάται από την σύνθεση και την κατάσταση του ημιαγωγικού υλικού που χρησιμοποιείται και μπορεί να είναι υπέρυθρο, ορατό ή υπεριώδες.

Το χρώμα του φωτός που εκπέμπεται εξαρτάται από την χημική σύσταση του ημιαγωγικού υλικού που χρησιμοποιείται, και μπορεί να είναι υπεριώδες, ορατό ή υπέρυθρο. Η βασική αρχή των LED είναι μια επαφή p-n η οποία πολώνεται ορθά για να εγχείει ηλεκτρόνια και οπές μέσα στις p- και n- πλευρές αντίστοιχα. Το εγχεόμενο φορτίο μειονότητας επανασυνδέεται με το φορτίο πλειονότητας στην περιοχή απογύμνωσης ή στην ουδέτερη περιοχή. Σε ημιαγωγούς αμέσου διάκενου η επανασύνδεση οδηγεί σε εκπομπή φωτός αφού η ακτινοβόλα επανασύνδεσης κυριαρχεί σε υλικά υψηλής ποιότητας.

3.ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΕΝΑ otdr(optical time domain reflectometer)

Το otdr χρησιμοποιείται για τον έλεγχο της ακεραιότητας ενός καλωδίου οπτικής ίνας. Είναι ικανό να αναγνωρίσει συγκολλήσεις, να μετρήσει μήκος ίνας και να εντοπίσει σφάλματα. Συνήθως το otdr χρησιμοποιείται για να δημιουργηθεί μια εικόνα(trace) του καλωδίου οπτικής ίνας όταν γίνεται η αρχική εγκατάστασή του, με αυτόν τον τρόπο καθίσταται δυνατό να υπάρξουν συγκρίσεις στο μέλλον με νέα traces και να εντοπιστούν τυχόν προβλήματα. Με αυτόν τον τρόπο είναι εύκολη η ανάλυση των traces καθώς με την αρχειοθέτησή τους υπάρχει μόνιμα υλικό για σύγκριση.

Τα otdr καθίστανται πιο αποτελεσματικά όταν οι μετρήσεις τους γίνονται σε οπτικές ίνες μεγαλύτερες των 250 μέτρων ή εγκαταστάσεις οπτικών ινών με συγκολλήσεις. Τα otdr δεν χρησιμοποιούνται για μέτρηση απωλειών ισχύος εισαγωγής (insertion loss $IL(dB)=10\log_{10}(P_t/P_r)$) σε οπτική ίνα-η οποία μέτρηση γίνεται από τις μεθόδους(modes)οπτικού ελέγχου πηγής(fiber optic test source) και μετρητή ισχύος(power meter).Τα otdr δείχνουν που οι οπτικές ίνες τερματίζουν και ελέγχουν την ποιότητα της ίνας, τις συνδέσεις στο οπτικό δίκτυο και τις συγκολλήσεις. Φυσικά τα traces χρησιμοποιούνται για επίλυση προβλημάτων, αφού είναι ικανά να δείξουν τυχόν σπασίματα στην ίνα όταν συγκρίνονται με άλλα αρχειοθετημένα.

3.1 ΠΩΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΕΙ ΕΝΑ OTDR

Αντίθετα με τις πηγές(sources) και τους μετρητές ισχύος(power meters) τα οποία μετρούν απώλειες στο οπτικό δίκτυο άμεσα, το otdr λειτουργεί έμμεσα. Η πηγή και ο μετρητής ισχύος αναπαριστούν τον πομπό και τον δέκτη της οπτικής σύνδεσης, έτσι ώστε η μέτρηση να σχετίζεται άμεσα με τις πραγματικές απώλειες του συστήματος. Το otdr χρησιμοποιεί ένα οπτικό φαινόμενο της ίνας έτσι ώστε να μετρήσει έμμεσα τις απώλειες.

Τον μεγαλύτερο ρόλο σε απώλειες οπτικής ίνας συνήθως τον παίζει η σκέδαση. Σε μια ίνα το φως σκεδάζεται σε όλες τις κατευθύνσεις, συμπεριλαμβανομένης και της κατεύθυνσης προς τα πίσω (στην πηγή). Το otdr χρησιμοποιεί το σκεδαζόμενο φως προς την πηγή για να κάνει μετρήσεις μαζί με ανακλώμενο φως από connectors ή συγκολλήσεις.

Το otdr αποτελείται από έναν πομπό laser μεγάλης ισχύος ο οποίος στέλνει έναν οπτικό παλμό στην ίνα. Σκεδαζόμενο προς την πηγή φως και ανακλώμενο φως γυρίζει στην πηγή από την ίνα και κατευθύνεται σε έναν πολύ ευαίσθητο δέκτη μέσω ενός κατευθυντικού καθρέφτη(prism coupler). Για κάθε μέτρηση το otdr στέλνει έναν πολύ ισχυρό οπτικό παλμό και μετρά το φως που έρχεται πίσω σε ένα χρονικό διάστημα. Καθ' όλη τη χρονική διάρκεια της μέτρησης το φως που "βλέπει" το otdr είναι το φως που σκεδάζεται προς τα πίσω εκείνη τη χρονική στιγμή από τον οπτικό παλμό που περνά από μια συγκεκριμένη περιοχή της ίνας. Ο οπτικός παλμός μπορεί να παρομοιασθεί με μια "οπτική πηγή" δημιουργημένη από την σκέδαση η οποία ελέγχει όλη την ίνα μεταξύ του εαυτού της και του otdr καθώς κινείται μέσα στην ίνα. Εφόσον μπορούμε να καλιμπράρουμε την ταχύτητα με την οποία ταξιδεύει ο οπτικός παλμός μέσα στην ίνα από τον δείκτη διάθλασης του γυαλιού στον πυρήνα της ίνας, το otdr μπορεί να συσχετίζει το τι "βλέπει" στο σκεδαζόμενο φως σε συγκεκριμένη περιοχή της ίνας. Συνεπώς μπορεί να δημιουργήσει ένα γράφημα με την ποσότητα του σκεδαζόμενου φωτός σε οποιοδήποτε σημείο κατά μήκος της ίνας.

Σε αυτές τις μετρήσεις πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν οι υπολογισμοί του χρόνου και των απωλειών, καθώς το φως φεύγει από την πηγή και γυρίζει πίσω ο χρόνος πρέπει να κοπεί στην μέση, όπως και οι απώλειες αφού το φως "βλέπει" τις απώλειες διπλές.

Η ποσότητα φωτός η οποία σκεδάζεται πίσω στην πηγή είναι αναλογική με την ποσοστό σκέδασης στην ίνα. Όταν χρειαζόμαστε περισσότερο σκεδαζόμενο φως για να έχουμε πιο ακριβείς μετρήσεις, αυξάνουμε την ισχύ εκπομπής οπτικού παλμού ή το πλάτος του οπτικού παλμού ή εκπέμπουμε περισσότερους παλμούς και παίρνουμε μέσες τιμές από τα σήματα επιστροφής.

Τα otdr συνήθως χρησιμοποιούνται με ένα καλώδιο εκκίνησης και ίσως ένα καλώδιο δέκτη. Το καλώδιο εκκίνησης, αναφερόμενο και ως "σιγαστήρας παλμού", επιτρέπει στο otdr να σταθεροποιηθεί μετά την εκπομπή του οπτικού παλμού και

παρέχει έναν connector αναφοράς για τον πρώτο connector του καλωδίου υπό έλεγχο για να καθορίσει τις απώλειές του. Το καλώδιο δέκτη μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην άλλη άκρη της ίνας υπό έλεγχο και επιτρέπει μετρήσεις σχετικές με τον connector της άλλης άκρης.

3.2 ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΣΧΕΤΙΚΑ ΜΕ ΕΝΑ OTDR TRACE

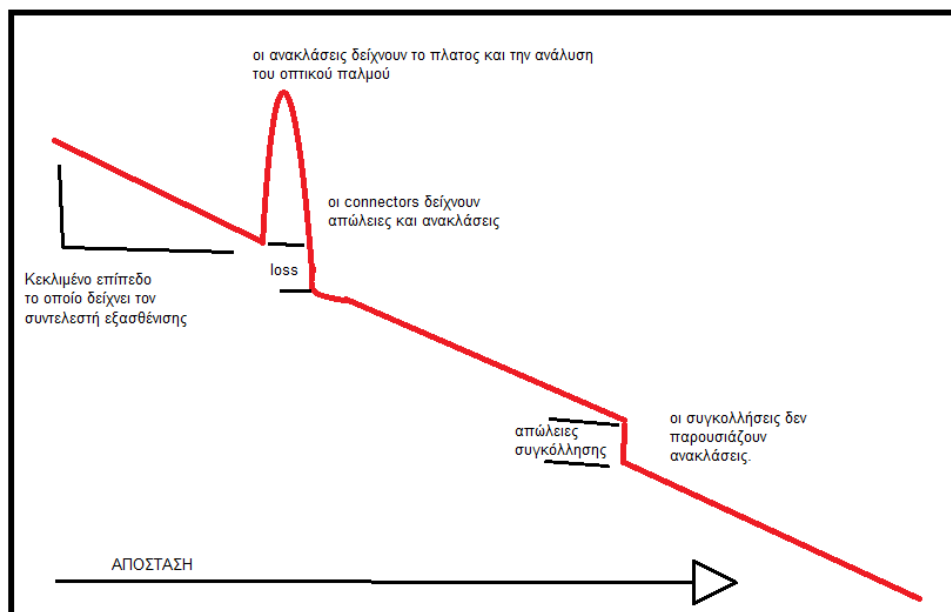
Το κεκλιμένο επίπεδο ενός trace δείχνει τον συντελεστή εξασθένησης της ίνας και είναι καλιμπραρισμένο σε dB/Km. Για να μετρηθεί η εξασθένηση στην ίνα, πρέπει να χρησιμοποιηθεί ίνα μεγάλου μήκους χωρίς παραμορφώσεις σε κανένα από τα δύο άκρα της ανάλυσης του otdr ή την υπερφόρτωση λόγω μεγάλων ανακλάσεων. Αν η ίνα δείχνει μη γραμμική σε ένα από τα δύο άκρα και ειδικά κοντά σε μια ανάκλαση όπως πχ κοντά σε έναν connector, καλό είναι να αποφεύγουμε εκείνο το τμήμα κατά την μέτρηση απωλειών.

Οι connectors και τα splices(συγκολλήσεις) αποκαλούνται “events” στην τεχνική ορολογία του otdr. Και τα δύο παρουσιάζουν απώλειες, αλλά οι connectors και οι μηχανικές συγκολλήσεις θα δείξουν μια ανάκλαση. Το ύψος της ανάκλασης θα υποδεικνύει το ποσοστό ανάκλασης στο συγκεκριμένο event, εκτός και αν είναι τόσο μεγάλη που θα υπερφορτώσει τον δέκτη. Σε αυτή την περίπτωση η κορυφή της ανάκλασης θα είναι επίπεδη με μία “ουρά” στο τέλος της καταδεικνύοντας υπερφόρτωση του δέκτη.

Κάποιες φορές, οι απώλειες ενός fusion splice(συγκόλληση με θερμότητα) θα είναι τόσο μικρές που δεν θα εντοπίζονται από το otdr. Αυτό είναι καλό για στο σύστημα αλλά μπορεί να μπερδέψει τον τεχνικό, καθώς είναι πολύ σημαντικό να γνωρίζει τα ακριβή μήκη όλων των ινών στο δίκτυο.

Οι ανακλώμενοι οπτικοί παλμοί μπορούν να δείξουν την ανάλυση του otdr. Είναι αδύνατον να εντοπίσει δυο events τα οποία είναι κοντύτερα από το πλάτος του παλμού. Γενικά πλατύτεροι παλμοί χρησιμοποιούνται για να βλέπουμε μακρύτερα μέσα στην ίνα και πιο στενοί παλμοί όταν χρειαζόμαστε καλύτερη ανάλυση, παρότι περιορίζουν την απόσταση στην οποία μπορεί να “δει” το otdr.

3.3 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΤΟ OTDR



ΑΝΑΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΚΛΑΣΙΚΗΣ OTDR ΜΕΤΡΗΣΗΣ

3.3.1 ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΤΩΝ 2 ΣΗΜΕΙΩΝ

Το OTDR μετρά την απόσταση και τις απώλειες μεταξύ των δύο δεικτών. Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό των απωλειών κατά μήκος της ίνας, του συντελεστή εξασθένησης και απώλειες λόγω connector και συγκολλήσεων.

Για την συγκεκριμένη μέθοδο, τοποθετούμε τους δείκτες του otdr στα δύο άκρα της περιοχής που θέλουμε να πάρουμε την

μέτρηση. Το otdr θα υπολογίσει την διαφορά απόστασης μεταξύ των δύο δεικτών καθώς και την διαφορά ισχύος στα σημεία που οι δείκτες τέμνουν το trace υπολογίζοντας έτσι τις απώλειες σε dB. Τελικώς θα υπολογίσει τον συντελεστή απωλειών της ίνας διαιρώντας απώλειες με απόσταση και θα δώσει τα αποτελέσματα σε dB/Km.

Προκειμένου να πάρουμε μια καλής ποιότητας μέτρηση, είναι απαραίτητο να πάρουμε την μέτρηση σε ένα σχετικά μεγάλο τμήμα της ίνας, έτσι ώστε να έχουμε ένα καλό σημείο αναφοράς. Μικρότερες αποστάσεις τείνουν να παρουσιάζουν λιγότερες απώλειες, και η πιθανότητα η μέτρηση να είναι αναξιόπιστη θα είναι μεγαλύτερη. Συνίσταται επίσης σε αυτή την περίπτωση να αποφεύγονται μετρήσεις κοντά σε events όπως connectors και συγκολλήσεις καθώς το otdr θα χρειάζεται κάποιον χρόνο σταθεροποίησης μετά από αυτά, ειδικά αν είναι ανακλαστικά, κάνοντας το trace μη γραμμικό.

3.3.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΩΝ ΛΙΓΟΤΕΡΩΝ ΤΕΤΡΑΓΩΝΩΝ

Το otdr υπολογίζει την απόσταση και τις απώλειες μεταξύ των 2 δεικτών αλλά υπολογίζει και την πιο “ταιριαστή γραμμή” μεταξύ τους με την μέθοδο των “λιγότερων τετραγώνων” έτσι ώστε να μειώσει τον θόρυβο. Όταν οι δείκτες έχουν τοποθετηθεί σε ένα τμήμα του trace με πολύ θόρυβο το εργαλείο εξασθένησης των λιγότερων τετραγώνων(2pt-LSA) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να υπολογίσει τις απώλειες σε dB μεταξύ των δεικτών.



Η παραπάνω σύγκριση γίνεται μεταξύ της μεθόδου των 2 σημείων και των λιγότερων τετραγώνων έτσι ώστε να γίνει σαφέστερη η περιγραφή που δόθηκε, τα γκρι σημεία ή κενά που φαίνονται πάνω στους δείκτες δείχνουν μια μέση τιμή του θορύβου. Παρατηρείται ότι στην μέθοδο των 2 σημείων οι απώλειες υπολογίζονται βάση 2 ευθείων γραμμών οι οποίες τοποθετούνται ορθογώνια των δεικτών καθώς και οι δείκτες σε απόσταση που ιδανικά ισαπέχει από το κέντρο της

συγκόλλησης, μετρήσεις απωλειών σε connectors ή συγκολλήσεις με κάποια ανάκλαση μοιάζουν πολύ μεταξύ τους, εκτός στο ότι στον connector παρατηρείται μια κορυφή προκαλούμενη από την σκέδαση προς τα πίσω. Στην μέθοδο των λιγότερων τετραγώνων οι γραμμές αυτές τοποθετούνται σε ευθεία γραμμή σε σχέση με το trace καθώς και οι δείκτες τοποθετούνται σε μεγαλύτερη απόσταση από το event το οποίο περιλαμβάνει τις απώλειες

και στις 2 μεριές του συνδετήρα ή της συγκόλλησης. Τα περισσότερα otdr υπολογίζουν τις απώλειες με αυτή τη μέθοδο δημιουργώντας 2 traces κι από τις 2 πλευρές του event μένοντας έτσι ανεπηρέαστο από το μήκος της ίνας. Η μαθηματική μέθοδος που αποκαλείται “least squares approximation (lsa)” χρησιμοποιείται από πολλά otdr και στην αναπαράσταση και στα μενού. Ρυθμίζοντας το lsa χρησιμοποιούμε πολλαπλούς δείκτες-έναν στην κορυφή του trace, 2 στα άκρα του event και 2 για να καθορίσουμε τα τμήματα που έγινε η lsa ανάλυση. Αυτά τα τμήματα θα πρέπει να είναι μεγάλα σε μήκος τόσο όσο να είναι εφικτή μια μέτρηση υψηλής ανάλυσης, αλλά όχι τόσο μεγάλα που να πλησιάζουν

άλλα events.

3.4 ΑΝΑΚΛΑΣΕΙΣ

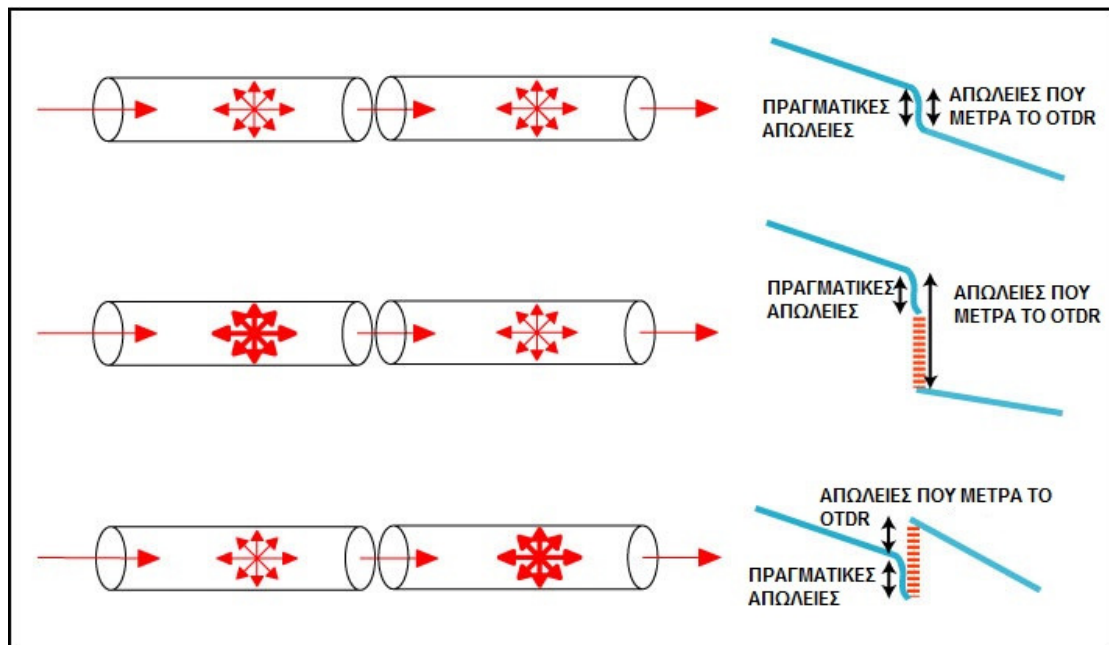
Σε μια ανάκλαση το otdr μετρά την ποσότητα φωτός που γυρίζει από την σκέδαση προς τα πίσω και τις ανακλάσεις που προκύπτουν από connectors και

συγκολλήσεις. Η ποσότητα φως καθορίζεται από τις διαφορές στον δείκτη διάθλασης, από την σύνθεση του γυαλιού της ίνας ή από αέρα μεταξύ ινών μετά από συγκόλληση κυρίως μετά από μηχανικές συγκολλήσεις.

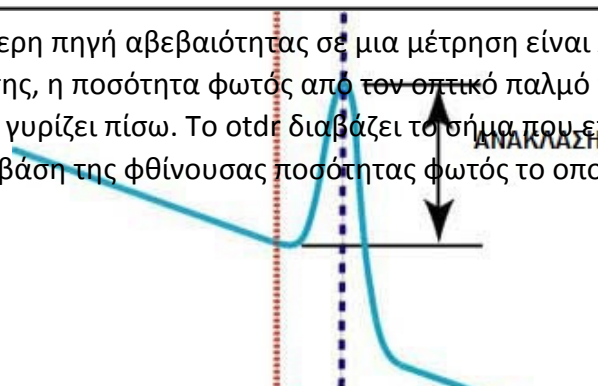
Η συγκεκριμένη διαδικασία είναι αρκετά περίπλοκη περιλαμβάνοντας τις βασικές λειτουργίες του otdr, το επίπεδο σκέδασης και την ισχύ που περιέχεται σε μια κορυφή ανάκλασης. Όπως σε όλες τις μετρήσεις σκέδασης προς τα πίσω, υπάρχει μεγάλη αβεβαιότητα για την ποιότητα της αλλά έχει το πλεονέκτημα να δείχνει που βρίσκονται όλα τα events που παράγουν ανακλάσεις.

Κυρίως οι ανακλάσεις είναι πρόβλημα των connectors λόγω της ανάκλασης Fresnel όπου το φως περνά μέσα από αλλαγή του συντελεστή διάθλασης στην διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ της ίνας και του αέρα. Οι connectors έχουν διάφορους περιδέσμους έτσι ώστε να μειωθεί η ανάκλαση ενώ στις μηχανικές συγκολλήσεις χρησιμοποιείται ένα ειδικό τζελ. Σωστά εκτελεσμένες θερμικές συγκολλήσεις αναμένεται να έχουν μηδενική ανάκλαση και συνήθως η ένδειξη ανάκλασης σε τέτοιες περιπτώσεις σημαίνει ατελή συγκόλληση, φυσαλίδα αέρα ή άλλου είδους ατέλεια. Επιλέγοντας την μέτρηση ανάκλασης και τοποθετώντας τον 2^ο δείκτη στο κέντρο της κορυφής και τον 1^ο δείκτη στην αρχή του event το otdr θα μετρήσει την ανάκλαση.

3.5 Η ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑ ΣΤΙΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

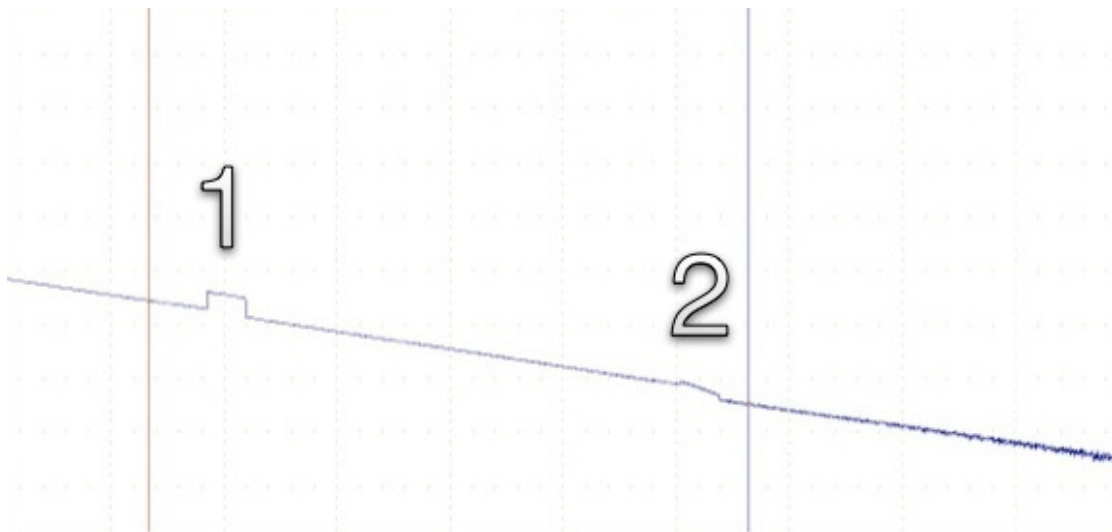


Η κυριότερη πηγή αβεβαιότητας σε μια μέτρηση είναι λειτουργία του συντελεστή σκέδασης, η ποσότητα φως από τον οπτικό παλμό που εκπέμπεται και λόγω σκέδασης γυρίζει πίσω. Το otdr διαβάζει το σήμα που επιστρέφει και υπολογίζει τις απώλειες βάση της φθίνουσας ποσότητας φως το οποίο “βλέπει” να γυρίζει πίσω.



Το φως που σκεδάζεται πίσω για την μέτρηση δεν είναι μια σταθερά. Είναι μια συνάρτηση της εξασθένησης της ίνας και της διαμέτρου του πυρήνα. Στις ίνες που παρουσιάζουν μεγάλη εξασθένηση το γυαλί που υπάρχει στον πυρήνα σκεδάζει περισσότερο φως.

Αν 2 ίνες είναι παρόμοιες πχ τα 2 μέρη της ίνας μετά από συγκόλληση τότε η σκέδαση θα είναι η ίδια και στα 2 μέρη, οπότε το $otdr$ θα μετρήσει τις πραγματικές απώλειες συγκόλλησης. Αν όμως οι 2 ίνες είναι διαφορετικές, άρα και οι συντελεστές σκέδασης, θα προκαλέσουν διαφορετικά ποσοστά φωτός τα οποία θα σταλούν πίσω στο $otdr$. Αν η 1^η ίνα έχει μεγαλύτερη εξασθένηση από την 2^η μετά την σύνδεση, το ποσοστό φωτός από τον οπτικό παλμό θα μειωθεί, άρα και οι απώλειες που θα μετρηθούν θα περιλαμβάνουν τις πραγματικές απώλειες συν τις απώλειες λόγω σφάλματος το οποίο προκλήθηκε από τα χαμηλά επίπεδα σκέδασης, κάνοντας τις απώλειες να δείχνουν μεγαλύτερες απ' ότι είναι. Κοιτάζοντας αντίθετα από μια ίνα με λιγότερη εξασθένηση σε μια με περισσότερη, θα παρατηρήσουμε ότι τα ποσοστά σκέδασης αυξάνονται, κάνοντας τις απώλειες που μετρήσαμε μικρότερες απ' ότι πραγματικά είναι. Στην πραγματικότητα αν η αλλαγή στην σκέδαση είναι μεγαλύτερη από την απώλεια συγκόλλησης, θα παρουσιαστεί ένας "gainer".



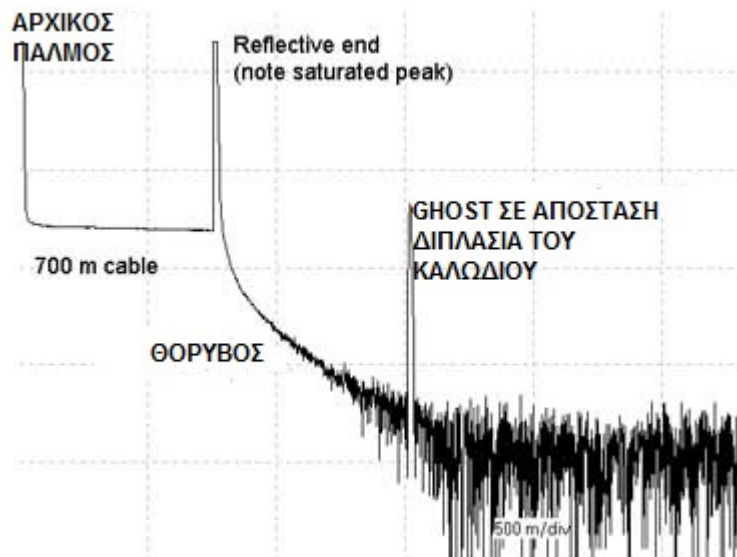
Στην παραπάνω εικόνα παρουσιάζεται το πώς φαίνονται οι gainers σε μια πραγματική εγκατάσταση. Ο 1^{ος} gainer είναι σε μια συγκόλληση και βρίσκεται σε έναν τομέα της ίνας με μεγάλο ποσοστό σκέδασης, ενώ στην 2^η περίπτωση παρουσιάζονται μεγάλες απώλειες. Το 1^ο event δείχνει ένα ακόμα σημαντικό ζήτημα για τους gainers-ότι δεν υπάρχουν μόνο ενισχύσεις αλλά και εξασθενίσεις. Ένας gainer στην αντίθετη κατεύθυνση παρουσιάζει απώλειες-η ίδια διαφορά στον συντελεστή σκέδασης που προκαλεί ενίσχυση στην μία κατεύθυνση, προκαλεί εξασθένηση στην άλλη, το οποίο μπορεί να προκαλέσει σημαντικά προβλήματα στην διαδικασία συγκόλλησης αν διενεργηθεί τεστ μόνο από την μία κατεύθυνση. Στην

κατεύθυνση που παρουσιάζει εξασθένιση, η εξασθένιση που παρουσιάζει το $otdr$ θα είναι πάντα η πραγματική εξασθένιση συν τη διαφορά στον συντελεστή σκέδασης, άρα ακόμα κι αν οι απώλειες από μια συγκόλληση είναι πολύ μικρές, οι μετρήσιμες απώλειες θα είναι μεγαλύτερες. Γεγονός που μπορεί να προκαλέσει προβλήματα αν προσπαθήσουμε να ξανακάνουμε συγκόλληση για να διορθώσουμε το πρόβλημα, διότι η μέτρηση θα είναι πάντα λάθος και θα δείχνει μεγάλες απώλειες.

Ακόμη ένας καλός τρόπος να καταλάβουμε ότι οι απώλειες που φαίνονται από συγκόλληση είναι αβέβαιες είναι το 2^ο event. Φαίνεται από την πολύ μεγαλύτερη καμπύλη που έχει η ανηφορική κλίση σε εκείνον τον τομέα της ίνας. Συμπερασματικά καλό είναι να μετράμε και από τις 2 πλευρές του trace έτσι ώστε να βλέπουμε αν η κατεύθυνση προκαλεί φαινόμενα ενίσχυσης-εξασθένισης ή υψηλής εξασθένισης-μικρότερης εξασθένισης ή το αντίθετο.

Ενώ ο λόγος που συμβαίνει αυτό το φαινόμενο θα υπάρχει πάντα, μπορούμε να αποφύγουμε λάθη ,μετρώντας τις απώλειες και από τις 2 πλευρές και παίρνοντας τους μέσους όρους από τις μετρήσεις, ο οποίος είναι και ο μόνος τρόπος για μέτρηση απωλειών συγκολλήσεων με αξιόπιστα αποτελέσματα.

3.6 OTDR “GHOSTS”



Αν παίρνουμε μετρήσεις σε “κοντά” καλώδια με connectors υψηλής ανάκλασης, είναι πολύ πιθανό να συναντήσουμε “ghosts”. Τα ghosts προκαλούνται από το ανακλώμενο φως του τελικού connector το οποίο ανακλάται μπρος-πίσω στην ίνα μέχρι να εξασθενήσει σε επίπεδο θορύβου.

Τα ghosts μπορούν να μπερδέψουν κάποιον ο οποίος θα νομίσει ότι βλέπει κάποιο event με ανάκλαση, το οποίο όμως δεν υπολογίζει απώλειες. Αν βρεθεί event με ανάκλαση στο trace σε σημείο που δεν θα έπρεπε να υπάρχει καμία σύνδεση, αλλά η σύνδεση από το καλώδιο εκκίνησης στο καλώδιο υπό μέτρηση παρουσιάζει υψηλά επίπεδα ανάκλασης, καλό είναι να κοιτάξουμε για ghosts σε διάφορες περιοχές κατά μήκος του καλωδίου εκκίνησης ή του καλωδίου υπό μέτρηση. Σε πολύ κοντά καλώδια πολλαπλές ανακλάσεις μπορούν να προκαλέσουν σύγχυση. Σε κοντά καλώδια μπορεί το ghost να μοιάζει με σπάσιμο της ίνας αλλά μπορεί συνήθως να αναγνωρισθεί γιατί οι αποστάσεις θα είναι δυσανάλογες (πχ event στα 60 μέτρα ενώ το καλώδιο είναι 40). Τα ghosts μπορούν να αποφευχθούν μειώνοντας τις ανακλάσεις πχ χρησιμοποιώντας ειδικό υγρό για καλύτερο τσίριασμα μεταξύ του καλωδίου εκκίνησης και του καλωδίου υπό μέτρηση.

3.7 ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ

Κατά την διάρκεια της εξέλιξης της τεχνολογίας οπτικών ινών έχουν παρουσιαστεί αρκετοί τύποι connector από τις εταιρίες κατασκευής. Κάθε ένας από αυτούς προσπαθούσε να είναι καλύτερος γενικά ή και ειδικά με διαφορές στις απώλειες, το κόστος ή να δίνει λύση σε κάποιο άλλο πρόβλημα. Οι περισσότεροι είναι plugs τύπου male με μία εξοχή η οποία κρατά και ευθυγραμμίζει την ίνα και χρησιμοποιούν ειδικούς adaptors για να συνδεθούν μεταξύ τους .

Οι πιο ευρέως χρησιμοποιούμενες είναι:

ST



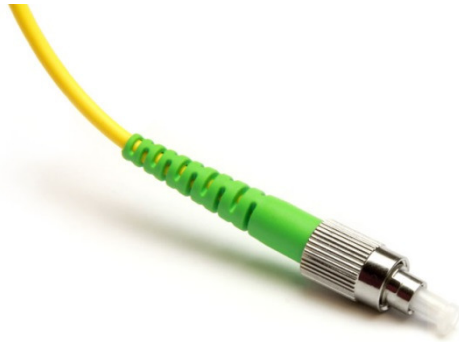
Ίσως ο πιο διάσημος τύπος connector για multimode δίκτυα. Έχει κυλινδρική βάση και έναν μακρύ κεραμικό ή πολυμερή δακτύλιο των 2.5mm να κρατά την ίνα. Οι περισσότεροι δακτύλιοι είναι κεραμικοί αλλά υπάρχουν και μεταλλικοί ή πλαστικοί. Λόγω του ότι οι ST έχουν ελατήριο στη βάση τους, πρέπει να ελέγχεται πάντα αν κουμπώνουν καλά. Αν παρατηρούνται μεγάλες απώλειες καλό είναι να τους ξανασυνδέουμε.

SC



Οι SC connectors έχουν βάση με κλιψάκι και δακτύλιο επίσης 2.5mm και κουμπώνουν και βγαίνουν με ένα απλό σπρώξιμο/τράβηγμα. Είναι ευρέως διαδεδομένοι για την άψογη απόδοσή τους κι ενώ αρχικά δεν χρησιμοποιήθηκαν πολύ καθώς είναι 2 φορές πιο ακριβοί από τους ST, ενώ πλέον η διαφορά είναι ελάχιστη στο κόστος.

FC



Οι FC ήταν από τους πιο διαδεδομένους και πιο συνήθεις single mode connectors. Έχουν βιδωτή βάση και κεραμικό η αστάλινο δακτύλιο 2.5mm από. Θέλει προσοχή πριν βιδωθούν ο δακτύλιος να έχει μπει τέλεια. Πλέον έχουν αντικατασταθεί από SC ή LC.

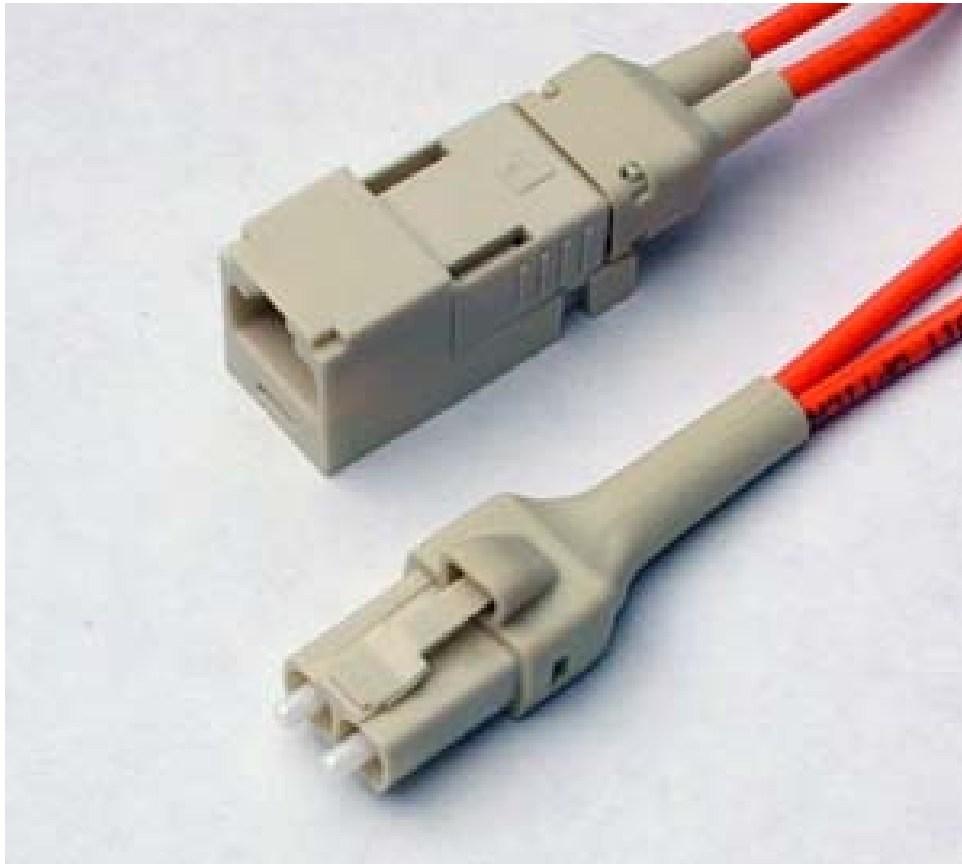
LC



Οι LC είναι αρκετά μικρότεροι από τους προηγούμενους, μισοί σε σχέση με τους SC. Ο κεραμικός δακτύλιός τους είναι 1.25 mm. Πολύ καλή απόδοση με μεγάλη χρήση σε μονότροπες ίνες.

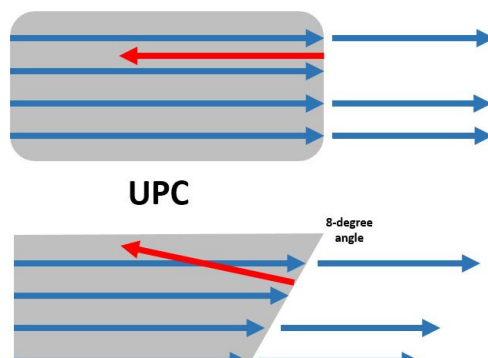
Οι ST/FC/SC connectors έχουν ίδιου μεγέθους δακτύλιο για να ζευγαρώνουν μεταξύ τους με adaptors, το οποίο είναι ιδιαίτερα χρήσιμο στις μετρήσεις.

Άξιοι αναφοράς είναι και οι connectors duplex όπως ο παρακάτω Orti-jack σχεδιασμένος γύρω από 2 ST δακτυλίους.



3.7.1 ΧΡΩΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΣΤΟΥΣ ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ

Οι χρωματικές διαφορές καταδεικνύουν διαφορά στον τρόπο επαφής της ίνας είτε με τον adaptor πηγής είτε με adaptor μεταξύ 2 ινών. Οι τρόποι επαφής είναι 2 UPC-ultra physical contact και APC-angled physical contact. Οι apc connectors είναι φτιαγμένοι έτσι ώστε η άκρη τους να παρουσιάζει κλίση 8 μοιρών και έχουν χαρακτηριστικό χρώμα το πράσινο, ενώ οι upc connectors είναι φτιαγμένοι έτσι ώστε η άκρη τους να είναι επίπεδη με ελάχιστη κλίση για καλή ευθυγράμμιση του πυρήνα και έχουν χαρακτηριστικό χρώμα το μπλέ. Η κύρια διαφορά τους είναι στις ανακλάσεις. Με upc όποια ποσότητα ανακλώμενου φωτός προκύπτει ανακλάται απευθείας πίσω στην πηγή σε ευθεία γραμμή. Με APC το ανακλώμενο φως που προκύπτει ανακλάται πίσω στην πηγή υπό γωνία αντίθετα του εξερχόμενου ευθεία φωτός. Αυτό προκαλεί διαφορές στο return loss, οι οποίες υπολογίζονται ως το ανακλώμενο φως που παρουσιάζεται με αρνητική τιμή dB. Οι τιμές return loss που συνίστανται για UPC είναι -50dB ή μεγαλύτερες και για APC -60dB ή μεγαλύτερες.



Κάθε μια από τις 2 κατηγορίες δεν μπορεί να συνδεθεί με την άλλη κι ας είναι ίδιου τύπου connectors, δηλαδή μπορεί να έχουμε 2 SC connectors έναν APC και έναν UPC, μεταξύ τους δεν μπορούν να συνδεθούν και η κάθε κατηγορία έχει δικούς της adaptors. Επίσης πρέπει να προσέχουμε τα adaptors της πηγής και του power meter να είναι κατάλληλα και για τις 2 κατηγορίες.

Connector Boot	Meaning	Comment
Blue	Physical contact (PC), 0°	Mostly used for SM fiber but also used for PM fiber also
Green	Angle Polished (APC), 8°	Not available for multimode fiber
Black	Physical Contact (PC), 0°	50 μm Multimode fiber connectors
Grey	Physical Contact (PC), 0°	connectors
White		ectors
Red		to connect manpumps

3.7.2 ADAPTORS

Οι adaptors είναι εξαρτήματα με τα οποία γίνεται το ζευγάριμα 2 ινών.



Υπάρχουν για όλους σχεδόν τους τύπους connector simplex και duplex με κοινό μέγεθος δακτυλίου πχ ST/FC/SC έχουν όλοι 2.5mm μέγεθος.

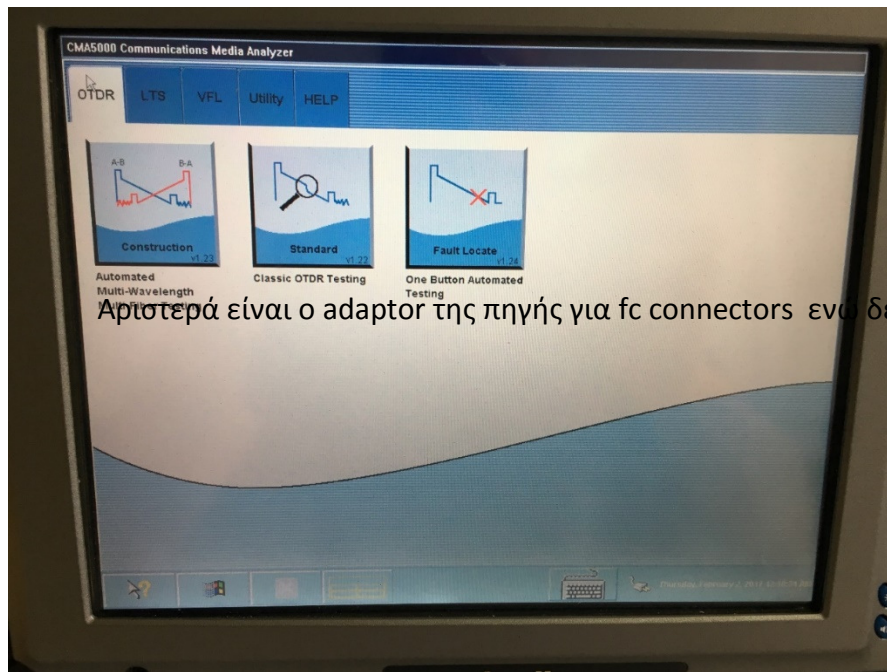
4.CMA 5000

CLASSIC OTDR TEST

Η βασική λειτουργία του otdr η οποία έχει περιγραφεί παραπάνω.

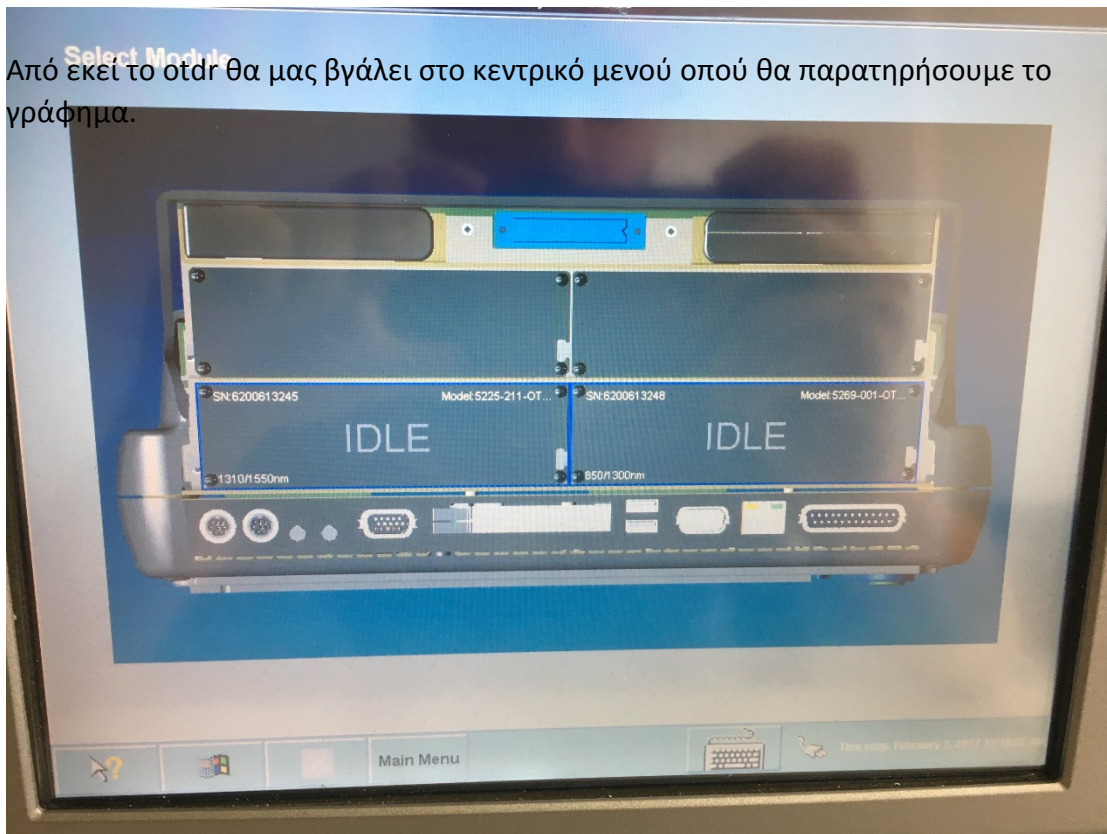
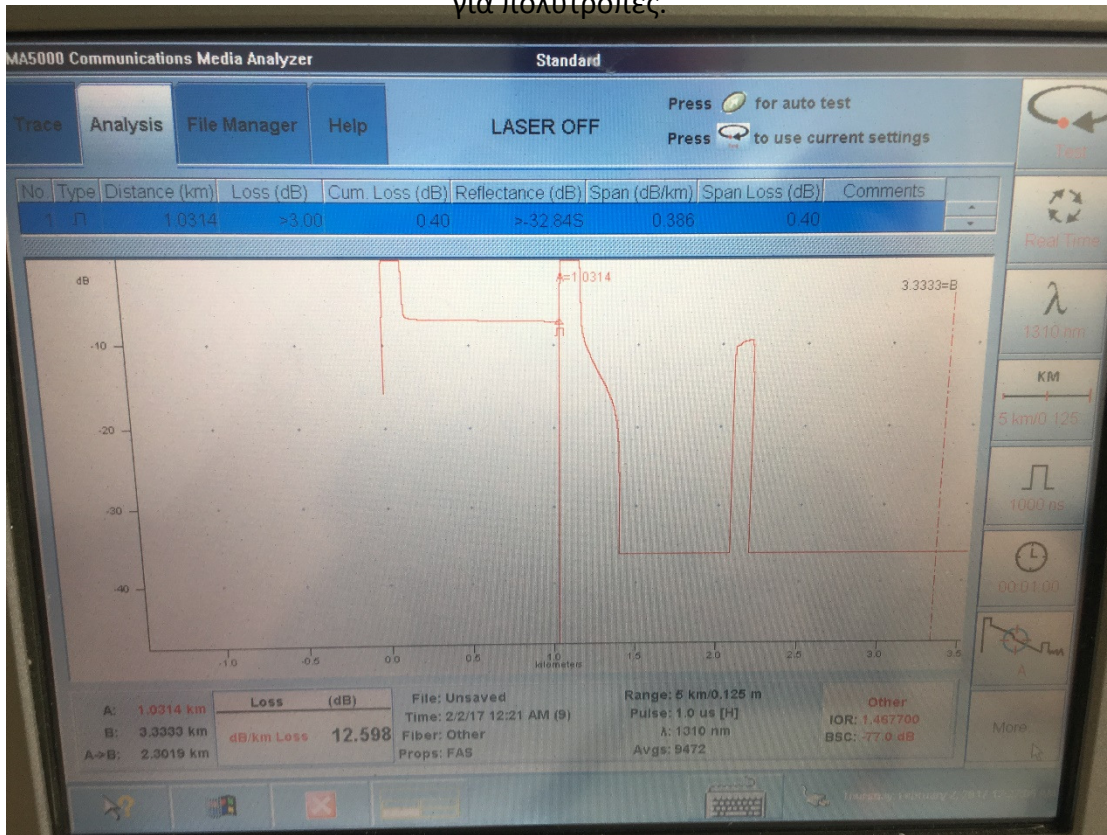
Τοποθετούμε την ίνα που θέλουμε να μετρήσουμε στην πηγή/source όπως αναγράφεται και πάνω στο otdr(Αριστερό ταμπλό μονότροπες δεξί πολύτροπες).Προσέχουμε να έχουμε τοποθετήσει στην πηγή τον σωστό adaptor ανάλογα με τον connector της ίνας μας(fc/sc).





Από το μενού του otdr επιλέγουμε την εικόνα που γράφει standard-classic otdr testing.

Στην συνέχεια μας εμφανίζεται η εικόνα επιλογής πηγής,στα αριστερά όπως κοιτάζουμε την οθόνη του otdr βρίσκεται η πηγή για μονότροπες ίνες ενώ στα δεξιά για πολύτροπες.



Στο επάνω μέρος έχει το κεντρική καρτέλα trace που είναι η αρχικά επιλεγμένη πριν κάνουμε την μέτρηση. Δίπλα της στην καρτέλα Analysis υπάρχουν όλες οι πληροφορίες για το trace μετά την μέτρηση. Στο file manager αποθηκεύουμε τα trace, αλλάζουμε όνομα ή φορτώνουμε προηγούμενες μετρήσεις.

Από κάτω παρατηρούμε έναν πίνακα με τις πληροφορίες μετά την μέτρηση όπως πχ απόσταση, απώλειες κτλπ.

Στο κάτω μέρος, ακριβώς κάτω από το trace αναγράφονται οι δείκτες A, B τα km που έχουν τοποθετηθεί καθώς και η μεταξύ τους απόσταση.

Δίπλα τους αναγράφονται οι απώλειες με την επιλογή που έχουμε θέσει πχ (dB/km loss, 2pt loss, optical return loss κτλπ). Μετά οι πληροφορίες αρχείου, οι ρυθμίσεις που έχουμε θέσει (μήκος κύματος, παλμός κτλπ), ενώ τέλος κάτω δεξιά αναγράφονται ο IOR (index of refraction) δείκτης διάθλασης και η BSC (backscatter coefficient) σταθερά σκέδασης Rayleigh.

Στην δεξιά πλευρά της οθόνης είναι τα tabs που επιλέγουμε μήκος κύματος, resolution, range και την ώρα που θα χρειαστεί το otdr να κάνει την μέτρηση.

Οι προτεινόμενες είναι:

Loss: dB/km.

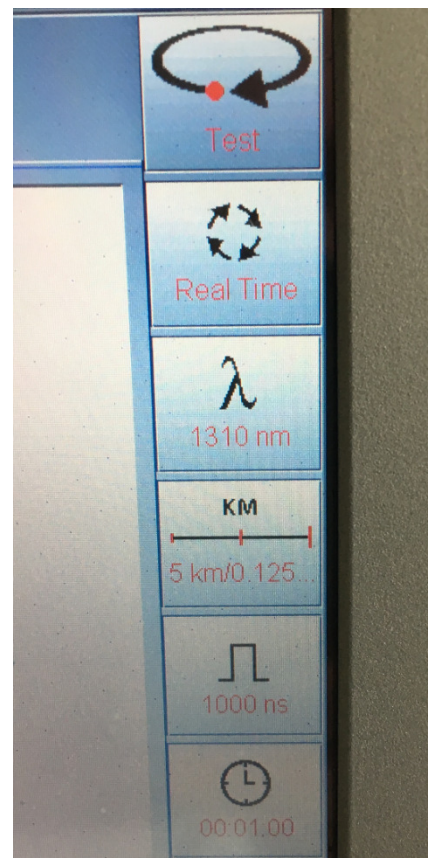
Averaging time: 1min

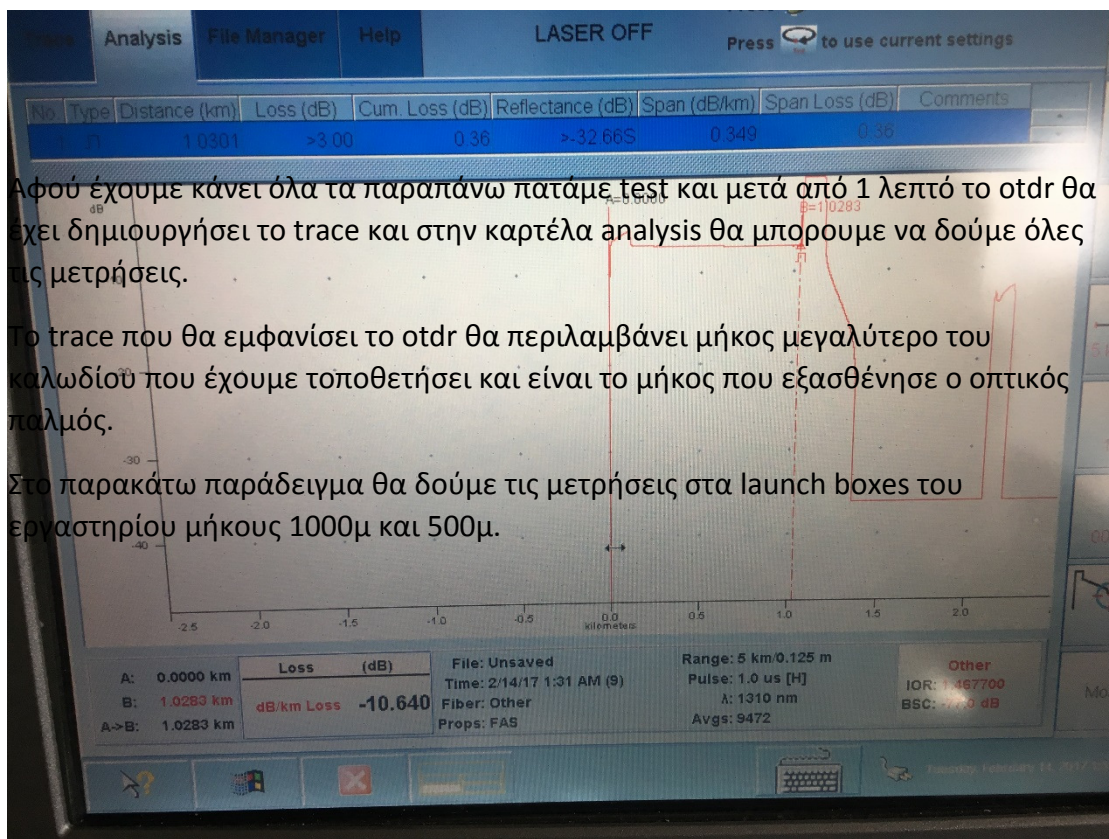
Pulsewidth: 1000ns (όσο πιο μικρή

Ίνα τόσο στενότερο παλμό).

Πατώντας στο tab KM επιλέγουμε

Resolution το μεγαλύτερο δυνατό και range το μικρότερο δυνατό (ακολουθώντας τον κανόνα μήκους ίνας +25%).



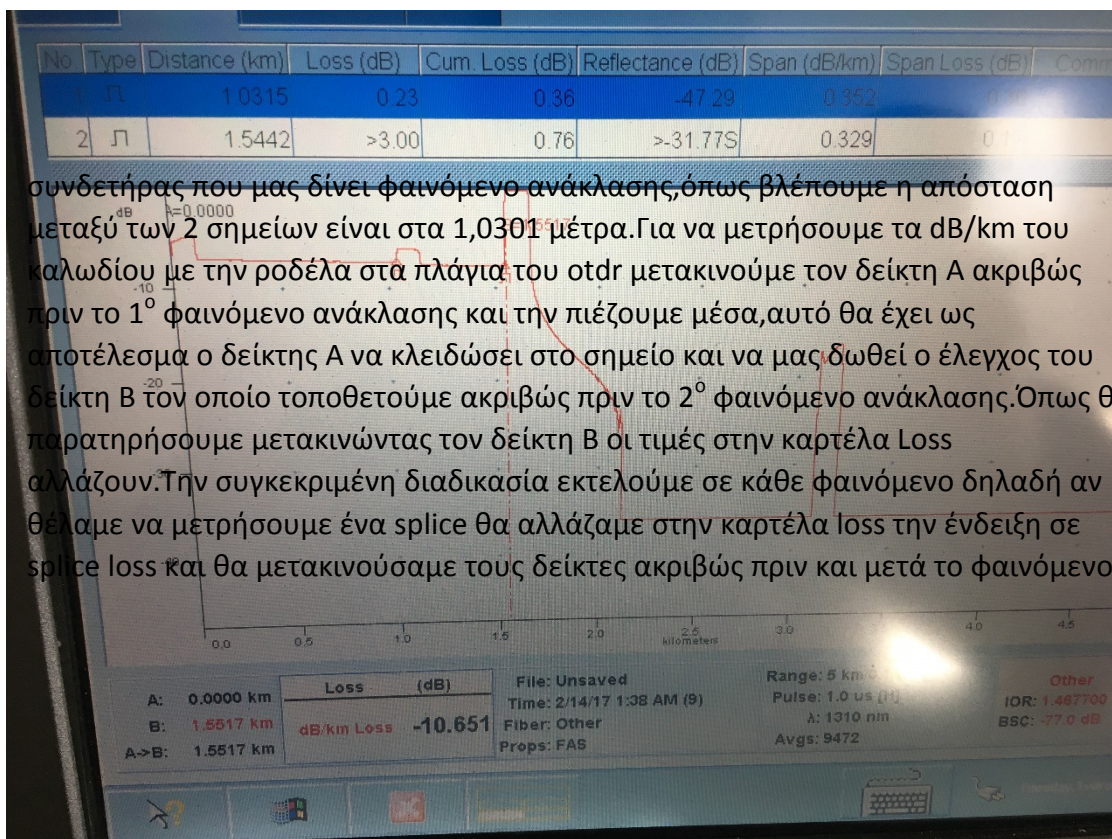


Αφού έχουμε κάνει όλα τα παραπάνω πατάμε test και μετά από 1 λεπτό το otdr θα έχει δημιουργήσει το trace και στην καρτέλα analysis θα μπορούμε να δούμε όλες τις μετρήσεις.

Το trace που θα εμφανίσει το otdr θα περιλαμβάνει μήκος μεγαλύτερο του καλωδίου που έχουμε τοποθετήσει και είναι το μήκος που εξασθένησε ο οπτικός παλμός.

Στο παρακάτω παράδειγμα θα δούμε τις μετρήσεις στα launch boxes του εργαστηρίου μήκους 1000μ και 500μ.

Αρχικά βλέπουμε το trace του launch box μήκους 1000μ. Στο σημείο του δείκτη A είναι ο συνδετήρας που έχουμε συνδέσει στην πηγή και το καταλαβαίνουμε από την 1^η ανάκλαση. Στο σημείο του δείκτη B είναι το τέλος του καλωδίου και ο 2^{ος}



συνδετήρας που μας δίνει φαινόμενο ανάκλασης, όπως βλέπουμε η απόσταση μεταξύ των 2 σημείων είναι στα 1,0301 μέτρα. Για να μετρήσουμε τα dB/km του καλωδίου με την ροδέλα στα πλάγια του οtdr μετακινούμε τον δείκτη A ακριβώς πριν το 1^ο φαινόμενο ανάκλασης και την πιέζουμε μέσα, αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα ο δείκτης A να κλειδώσει στο σημείο και να μας δωθεί ο έλεγχος του δείκτη B τον οποίο τοποθετούμε ακριβώς πριν το 2^ο φαινόμενο ανάκλασης. Όπως θα παρατηρήσουμε μετακινώντας τον δείκτη B οι τιμές στην καρτέλα Loss αλλάζουν. Την συγκεκριμένη διαδικασία εκτελούμε σε κάθε φαινόμενο δηλαδή αν θέλαμε να μετρήσουμε ένα splice θα αλλάζαμε στην καρτέλα loss την ένδειξη σε splice loss και θα μετακινούσαμε τους δείκτες ακριβώς πριν και μετά το φαινόμενο.

Στην παραπάνω εικόνα βλέπουμε το launch box 1000μ που χρησιμοποιήθηκε και προηγουμένως συνδεδεμένο με έναν sc-upc adaptor με το launch box 500μ του εργαστηρίου. Όπως βλέπουμε τώρα στο trace υπάρχουν 3 φαινόμενα ανακλάσεων, το 1^ο φαινόμενο στον δείκτη A στα 0 km το 2ο στα 1000μ που είναι ο adaptor και το

3^ο στα 1557km βρίσκεται ο δείκτης B και το τέλος του launch box 500 μέτρων. Όπως βλέπουμε και οι απώλειες δεν επηρεάστηκαν σε σημαντικό βαθμό που σημαίνει ότι ο συνδετήρας και οι connectors της σύνδεσης είναι καθαροί και σε καλή κατάσταση.

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

-Αν θέλουμε να μετρήσουμε καλώδιο μικρότερο των 200 μέτρων στο οποίο το otdr δεν μπορεί να κάνει καλή ανάλυση και trace ενδείκνυται να χρησιμοποιήσουμε ένα launch cable και να τα ενώσουμε με adaptor.

-Αν στη ανάλυση του reflectance μας βγάζει δίπλα από την αριθμητική τιμή το σύμβολο ">" σημαίνει ότι η ανάκλαση που μετρήθηκε μάλλον είναι μικρότερη από την πραγματική και συνήθως στο trace θα παρατηρούμε επίπεδη κορυφή στην ανάκλαση.

-Αν στην ανάλυση μας βγάζει δίπλα από την αριθμητική τιμή το σύμβολο "S" σημαίνει ότι η ανάκλαση που μετρήθηκε είναι κοντά στο ανώτατο όριο που μπορεί να μετρήσει ο δέκτης.

-Τα 2 προηγούμενα συμβαίνουν γιατί υπάρχει ηλεκτρονικός περιορισμός, ο οποίος βοηθά στην "ανάρρωση" μετά από ένα event με ανάκλαση αλλά επίσης μπορεί να επιρρεάσει μια ανάκλαση να φαίνεται μικρότερη.

-Το span δείχνει την διαφορά απωλειών στο παρόν event με το προηγούμενο.

-Επίσης χρήσιμες μετρήσεις είναι οι ORL(optical return loss). Όπου μετακινούμε τους δείκτες ακριβώς πριν(αριστερά) και ακριβώς μετά το event ανάκλασης. Τέλος από το μενού στα δεξιά της οθόνης μας more στο κάτω μέρος και calculate orl.

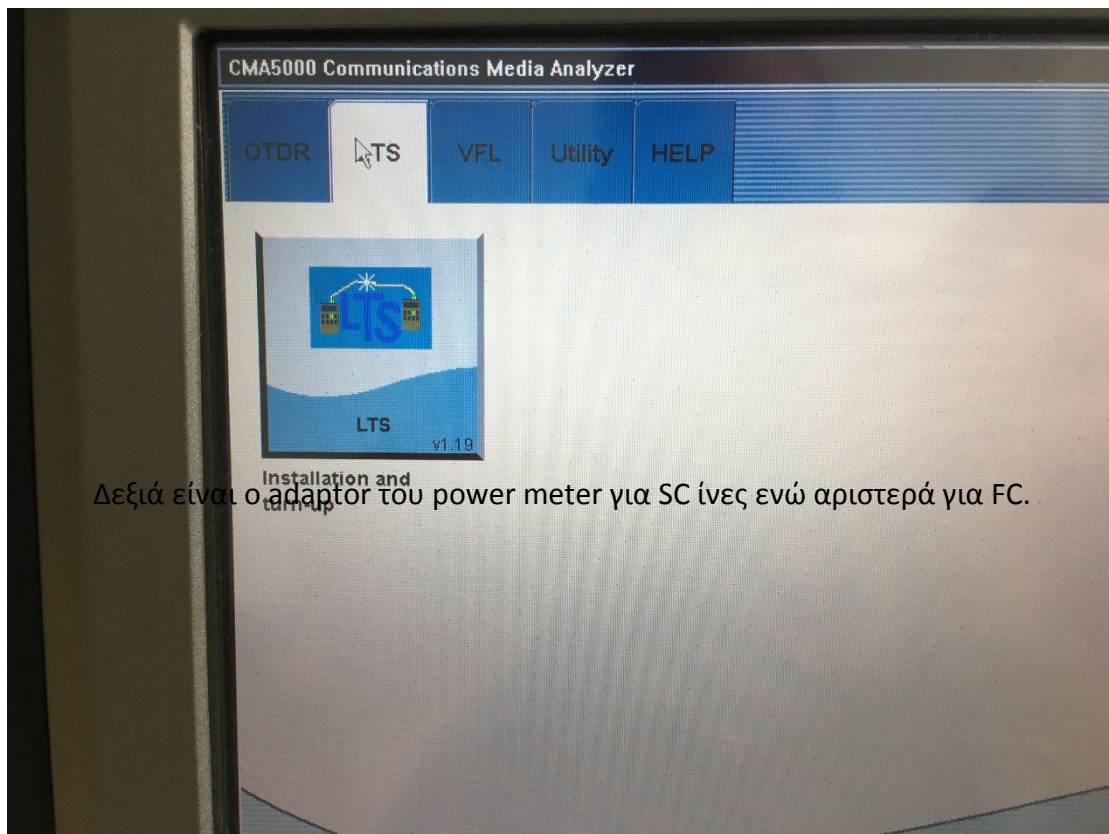
2prt loss:όπου θα μετρήσει απώλειες στην απόσταση μεταξύ των δεικτών A-B.

Splice loss:Όπου τοποθετούμε του δείκτες ακριβώς πριν και ακριβώς μετά το event συγκόλλησης για αν δούμε τις απώλειες του.

4.1 LTS(Loss Test Set)

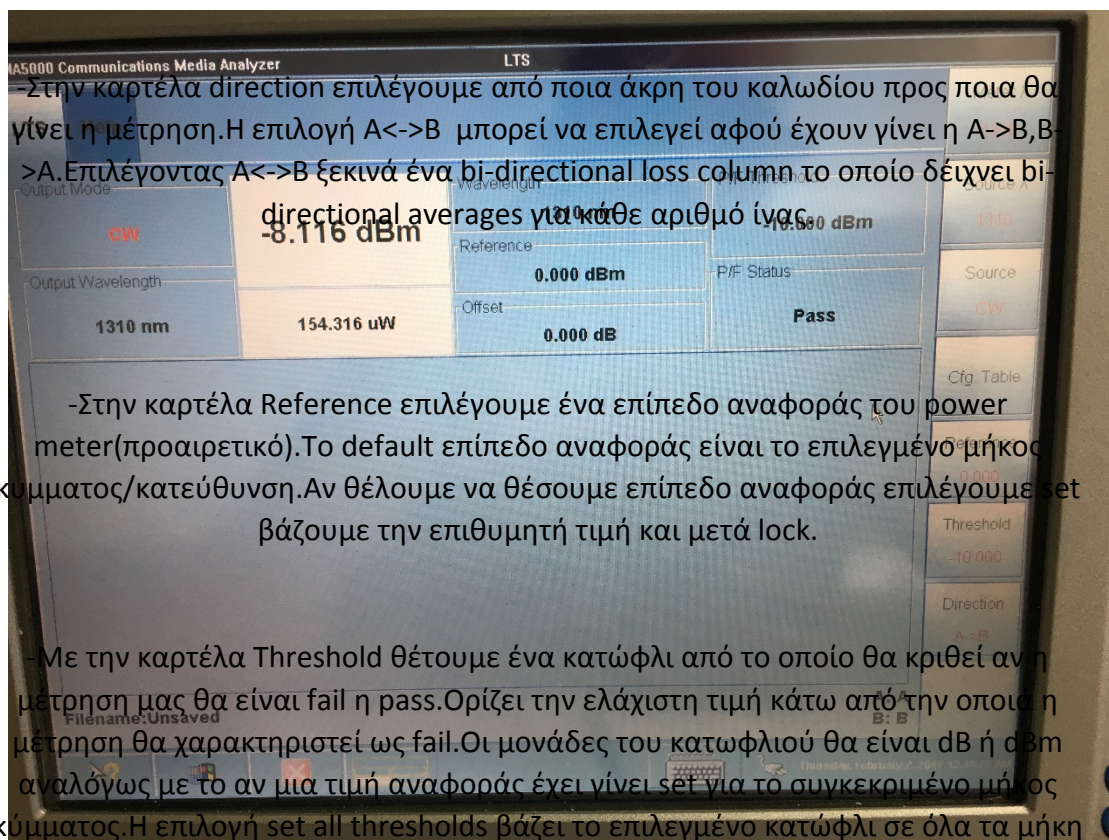
Το LTS χρησιμοποιείται για μετρήσεις οπτικής ισχύος μεταξύ πηγής/source και power meter σε περιοχές από -60dB έως +10dB. (Insertion loss $IL(dB)=10\log_{10}(P_t/P_r)$).

Βεβαιωνόμαστε ότι η μία άκρη του καλωδίου είναι στην πηγή και η άλλη στο power meter το οποίο βρίσκεται δίπλα στην πηγή με τους κατάλληλους adaptors για τους connectors της ίνας που θέλουμε να μετρήσουμε.



Για να ξεκινήσουμε την εφαρμογή του lts από το αρχικό μενού πάμε στην καρτέλα LTS και ξεκινάμε την εφαρμογή LTS.

Από εκεί θα μας βγάλει στο μενού επιλογής ταμπλό πηγής και power meter όπως και στο classic otdr test όπου δεξιά είναι για πολύτροπες και αριστερά για μονότροπες. Αφού επιλέξουμε πηγή και power meter θα βρεθούμε στο κεντρικό μενού της εφαρμογής.



-Προσέχουμε η περιοχή Power Meter στο IIS να είναι σε dBm, αν διαβάζει dBm διαλέγουμε την καρτέλα reference για να μας ανοίξει το μενού επιλογών και από εκεί επιλέγουμε clear, έτσι ώστε να καθαρίσει τον τρέχοντα αριθμό αναφοράς και να κάνει reset σε dBm.

-Επιλέγουμε το meter και το source μήκος κύματος να έχουν την ίδια τιμή (Αν και συνήθως όταν αλλάζουμε την πηγή το meter αλλάζει αυτόματα).

-Έπειτα επιλέγουμε στην πηγή CW (continuous wave) για να ενεργοποιηθεί και το αφήνουμε για 5 λεπτά να σταθεροποιηθεί.

-Το επίπεδο μέτρησης θα πρέπει να ταιριάζει με το επίπεδο εξόδου που προδιαγράφεται για την πηγή τυπικά γύρω στα -10dBm για πολύτροπες και -8dBm για μονότροπες.

-Επιλέγουμε reference->lock για να κλειδώσει την τιμή αναφοράς.

-Επιλέγουμε source->off.

-Αλλάζουμε τις άκρες του καλώδιου μεταξύ τους σε πηγή και power meter.

-Έπειτα πάλι source->CW.

-Αν η απώλεια που δίνει το καλώδιο είναι κολό και θα παρέχει αξιοπιστή μέτρηση.

4.2 Video Inspection Probe (Ενδοσκοπική κάμερα)

Το νιρ είναι μία εφαρμογή που με την βοήθεια ενδοσκοπικής κάμερας ελέγχει το εσωτερικό των connectors και δημιουργεί προφίλ απαιτήσεων του χρήστη όσον αφορά γρατσουνιές, ρυτίδες, σπασίματα στο εσωτερικό του connector. Η συγκεκριμένη εφαρμογή είναι πολύ χρήσιμη καθώς για τις περισσότερες λάθος ή

“κακές” μετρήσεις ευθύνονται κακής ποιότητας connectors.

Για να ξεκινήσουμε την εφαρμογή ανοίγουμε το πορτάκι πάνω από τις πηγές και τα power meter όπου εκεί έχει τις υποδοχές για usb 0,1.

Μέσα στο κουτί του otdr υπάρχει ένα μαύρο βαλιτσάκι όπου εκεί βρίσκεται η κάμερα.

Συναρμολογούμε την κάμερα έτσι ώστε να μπορεί να συνδεθεί με το usb.

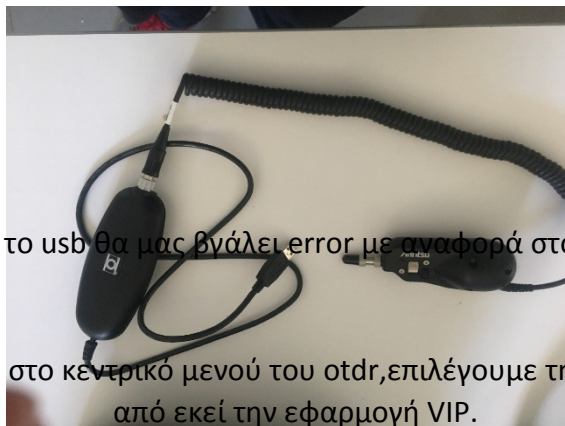


Και στη συνέχεια τη συνδέουμε σε μία από τις 2 διαθέσιμες usb θύρες.

Έπειτα παίρνουμε το usb flash που υπάρχει μέσα στο βαλιτσάκι και το συνδέουμε στην εναπομείνουσα usb θύρα δίπλα στο usb της κάμερας.

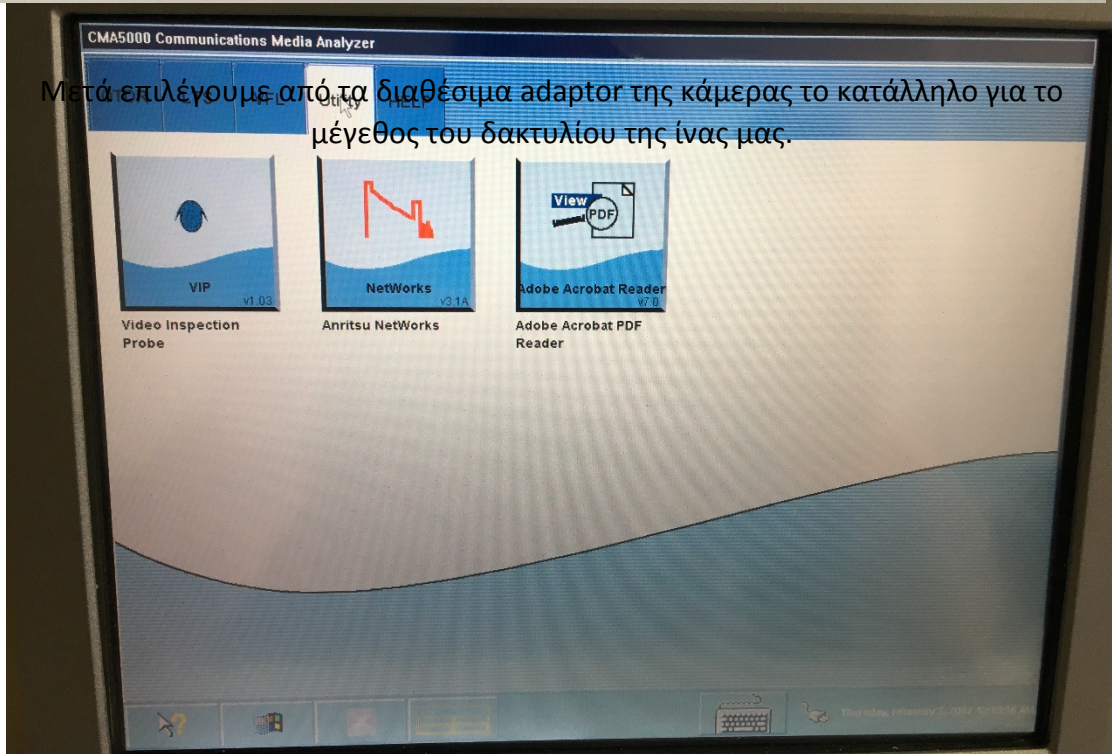
Αν ξεχάσουμε το usb θα μας βγάλει error με αναφορά στο hardware lock.

Στη συνέχεια πάμε στο κεντρικό μενού του otdr, επιλέγουμε την καρτέλα utility και από εκεί την εφαρμογή VIP.



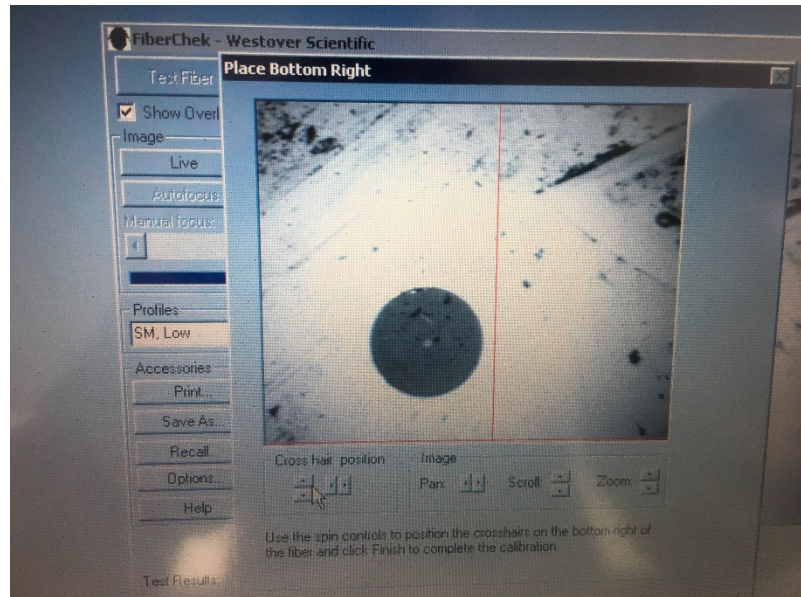
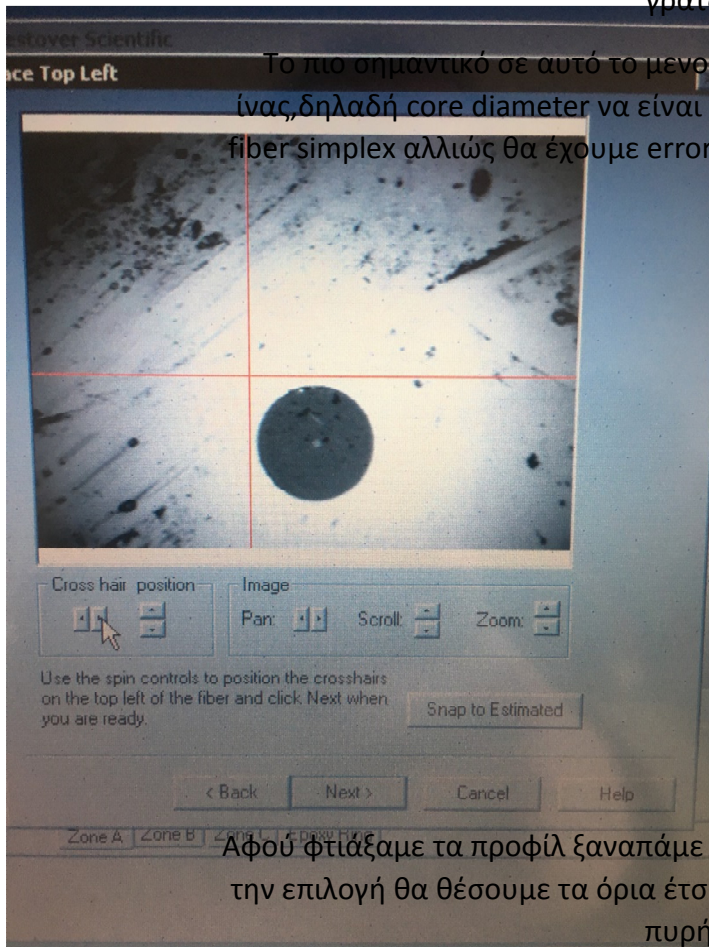


Μετά επιλέγουμε από τα διαθέσιμα adaptors της κάμερας το κατάλληλο για το μέγεθος του δακτυλίου της ίνας μας.

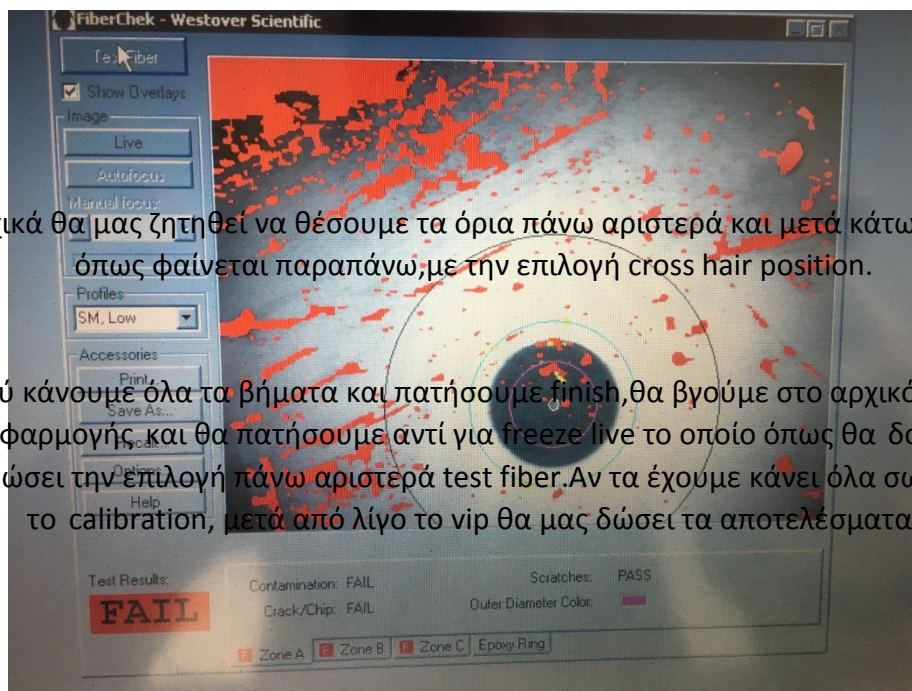


Στο μενού των προφίλ έχουμε πάρα πολλές επιλογές από το πόσες γρατζουνιές,σπασίματα,ρύποι είναι ανεκτοί,το πόσο μεγάλες θα είναι αυτές οι γρατζουνιές κτλπ.

Το πιο σημαντικό σε αυτό το μενού είναι να επιλέξουμε σωστά τον τύπο της ίνας,δηλαδή core diameter να είναι σε σωστή επιλογή πχ single mode 9.0um και fiber simplex αλλιώς θα έχουμε errors(η επιλογή ribbon είναι για καλώδια ταινία).

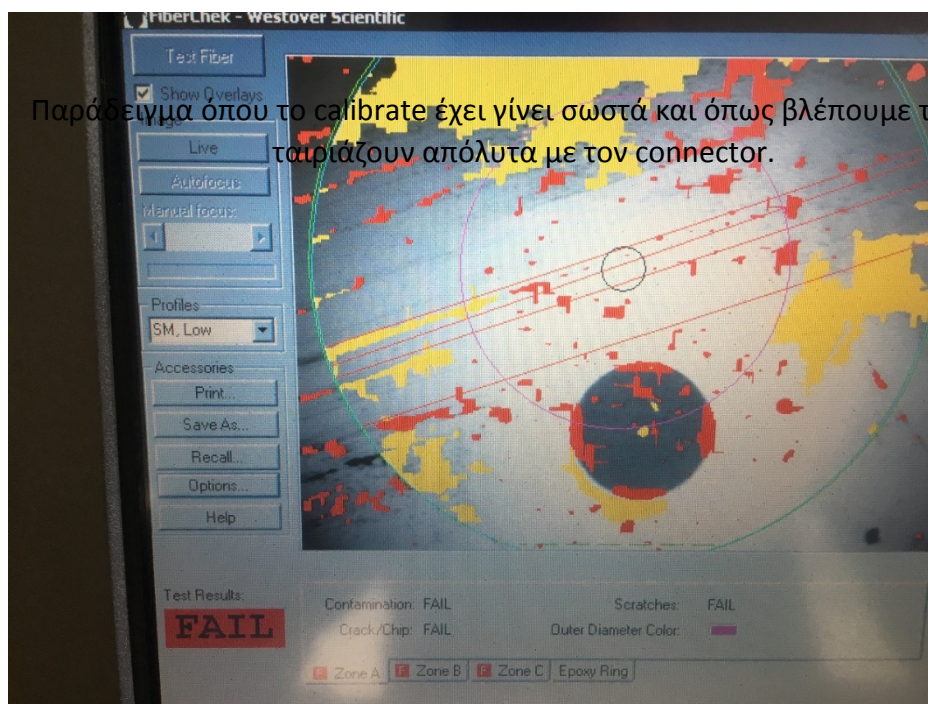


Αφού φτιάξαμε τα προφίλ ξαναπάμε στα options και επιλέγουμε calibrate. Σε αυτή την επιλογή θα θέσουμε τα όρια έτσι ώστε να καταλάβει το λογισμικό που είναι ο πυρήνας της ίνας.



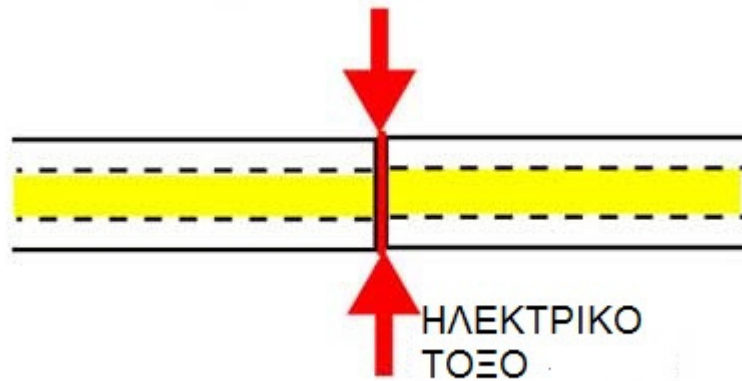
Αρχικά θα μας ζητηθεί να θέσουμε τα όρια πάνω αριστερά και μετά κάτω δεξιά όπως φαίνεται παραπάνω, με την επιλογή cross hair position.

Αφού κάνουμε όλα τα βήματα και πατήσουμε finish, θα βγούμε στο αρχικό μενού της εφαρμογής και θα πατήσουμε αντί για freeze live το οποίο όπως θα δούμε θα μας δώσει την επιλογή πάνω αριστερά test fiber. Αν τα έχουμε κάνει όλα σωστά και το calibration, μετά από λίγο το vip θα μας δώσει τα αποτελέσματα.



Παράδειγμα όπου το calibrate έχει γίνει σωστά και όπως βλέπουμε τα όρια ταιριάζουν απόλυτα με τον connector.

Παράδειγμα με κακό calibration όπου τα όρια είναι αρκετά μακριά από τον πυρήνα.



Οι μαρκαρισμένες περιοχές ανάλογα με το χρώμα είναι γρατζουνιές και ρύποι εντός του connector.

Το pass ή το fail είναι αποτελέσματα που προκύπτουν από τα προφίλ απαιτήσεων που έχει θέσει ο χρήστης.

5.SPLICER

Το fusion splice είναι η διαδικασία συγκόλλησης με θερμότητα μεταξύ 2 ινών με τη χρήση ηλεκτρικού τόξου. Η διαδικασία αυτή είναι η πιο δημοφιλής όσον αφορά τις συγκολλήσεις καθώς έχει τις λιγότερες απώλειες και μικρότερες ανακλάσεις, παρέχοντας και την πιο ισχυρή και αξιόπιστη ένωση μεταξύ των ινών.

Οι μονότροπες ίνες είναι εύκολο να συγκολληθούν ενώ οι πολύτροπες πιο δύσκολο λόγω του πλατύτερου πυρήνα με πολλές στρώσεις γυαλί το οποίο παράγει διαφορές στο προφίλ των ινών με αποτέλεσμα να είναι δύσκολο να ταιριάξουν, ειδικά αν διαφέρει ο κατασκευαστής ή ο τύπος της ίνας.

Γενικά υπάρχουν 3 τύποι συγκολλήσεων, το single fiber fusion splice με το οποίο θα ασχοληθούμε, το ribbon splice όπου ειδικοί splicers συγκολλούν ολόκληρα καλώδια συνήθως των 12 ινών. Και τέλος το mechanical splicing ή μηχανική συγκόλληση όπου με την χρήση διάφορων κυλινδρικών σωληνακίων, ειδικών τζελ οι ίνες ευθυγραμμίζονται και κρατούνται ενωμένες.



5.1 FUJIKURA 60S

Ο συγκεκριμένος splicer είναι σχεδιασμένος για συγκολλήσεις ινών με βάση τη σιλίκονη. Χρησιμοποιεί τεχνολογία core alignment PAS (profile alignment system) κατά την οποία οι 2 προς συγκόλληση ίνες αναπαριστούνται και από τις 2 πλευρές ορθογώνια. Από φωτογραφίες βιντεοκάμερας το λογισμικό αναγνωρίζει τον πυρήνα

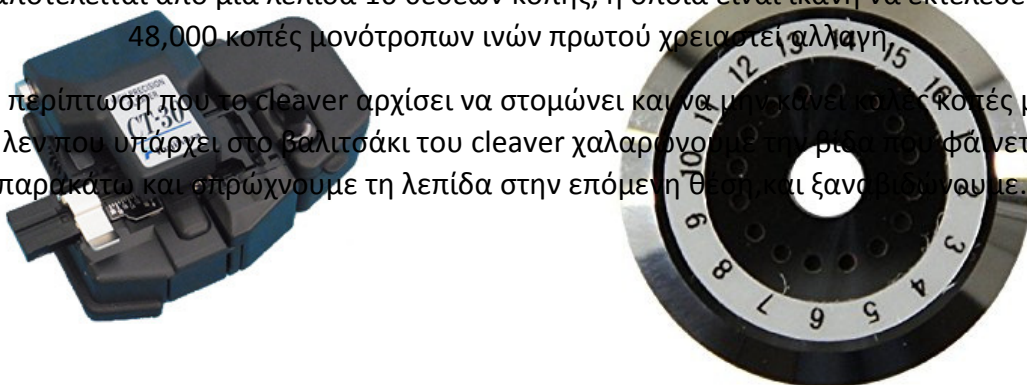
και ευθυγραμμίζει τις ίνες αυτόματα. Το λογισμικό δίνει μία εκτίμηση απωλειών μετά τη συγκόλληση η οποία για για μονότροπες ίνες διαρκεί περίπου 9 δευτερόλεπτα.

5.2 CT30 CLEAVER



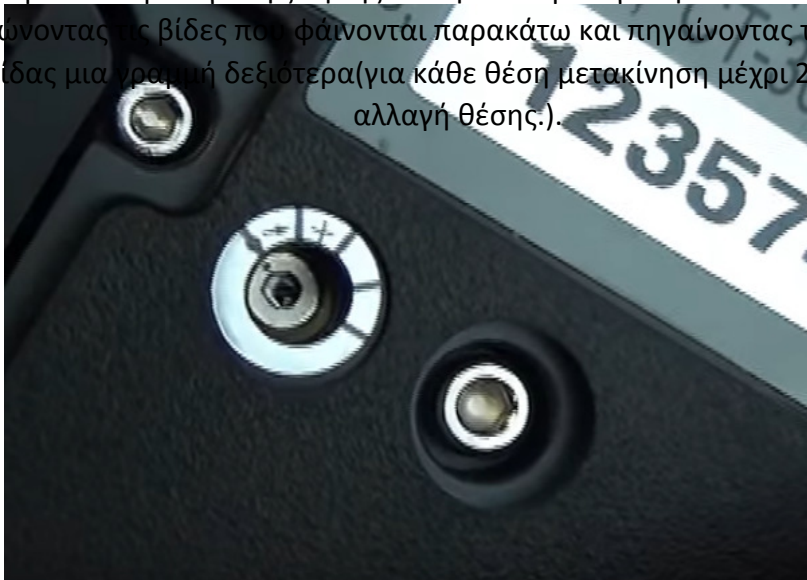
Ο CT30 cleaver είναι το εργαλείο με το οποίο κόβουμε τις ίνες έτσι ώστε να απομακρύνουμε το σημείο με το προβλήμα (σπάσιμο, φυσαλίδα κλπ) και να γίνει η συγκόλληση με μεγαλύτερη ακρίβεια καθώς όσο πιο ακριβές κόψιμο έχουμε στην άκρη της ίνας τόσο πιο εύκολα ευθυγραμμίζεται με την αντίστοιχή της. Είναι από τα πιο σημαντικά εργαλεία καθώς το κόψιμο της ίνας είναι ίσως ο πιο σημαντικός παράγοντας για μια υψηλής ποιότητας συγκόλληση. Το συγκεκριμένο cleaver αποτελείται από μια λεπίδα 16 θέσεων κοπής, η οποία είναι ικανή να εκτελέσει 48,000 κοπές μονότροπων ινών πρωτού χρειαστεί αλλαγή.

Σε περίπτωση που το cleaver αρχίσει να στομώνει και να μην κάνει πολλές κοπές με το λεν που υπάρχει στο βαλιτσάκι του cleaver χαλαρώνουμε την βελτινή φαίνεται παρακάτω και απλώνουμε τη λεπίδα στην επόμενη θέση και ξαναβάζουμε.



Βεβαιωνόμαστε ότι για κάθε νέα θέση η οποία κόβει πρώτη φορά στο κάτω μέρος του cleaver η βίδα που φαίνεται παρακάτω είναι όπως στη φωτογραφία, δηλαδή η μικρή τελίτσα που φαίνεται είναι ευθυγραμμισμένη με την πρώτη γραμμή.

Η συγκεκριμένη ρύθμιση έχει να κάνει με το ύψος της λεπίδας το οποίο αν είναι καινούρια η θέση κοπής πρέπει η τελίτσα της βίδας να ευθυγραμμίζεται με την 1^η γραμμή της ένδειξης. Αν η θέση παρουσιάσει φαινόμενα στόμωσης μπορούμε για να παρατείνουμε λίγο τη ζωή της να σηκώσουμε λίγο την λεπίδα. Αυτό γίνεται χαλαρώνοντας τις βίδες που φαίνονται παρακάτω και πηγαίνοντας την τελίτσα της κάτω βίδας μια γραμμή δεξιότερα (για κάθε θέση μετακίνηση μέχρι 2 γραμμές δεξιά αλλαγή θέσης.).





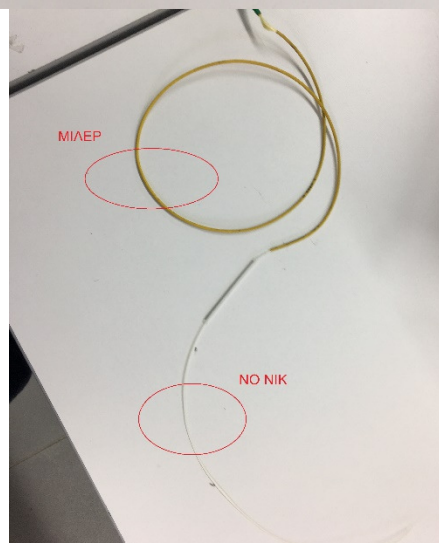
5.3 FIBER STRIPPERS

Οι strippers είναι τα εργαλεία με τα οποία απογυμνώνουμε την ίνα, στην παραπάνω εικόνα ο 1^{ος} από αριστερά είναι τύπου No-Nik και τον χρησιμοποιούμε για να απομακρύνουμε τον εσωτερικό μανδύα της ίνας. Ενώ ο δεξιά stripper είναι τύπου μίλερ και χρησιμοποιείται για το εξωτερικό μανδύα και για την απομάκρυνση των υπολειμμάτων σιλκόνης στην ίνα.



5.4 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ

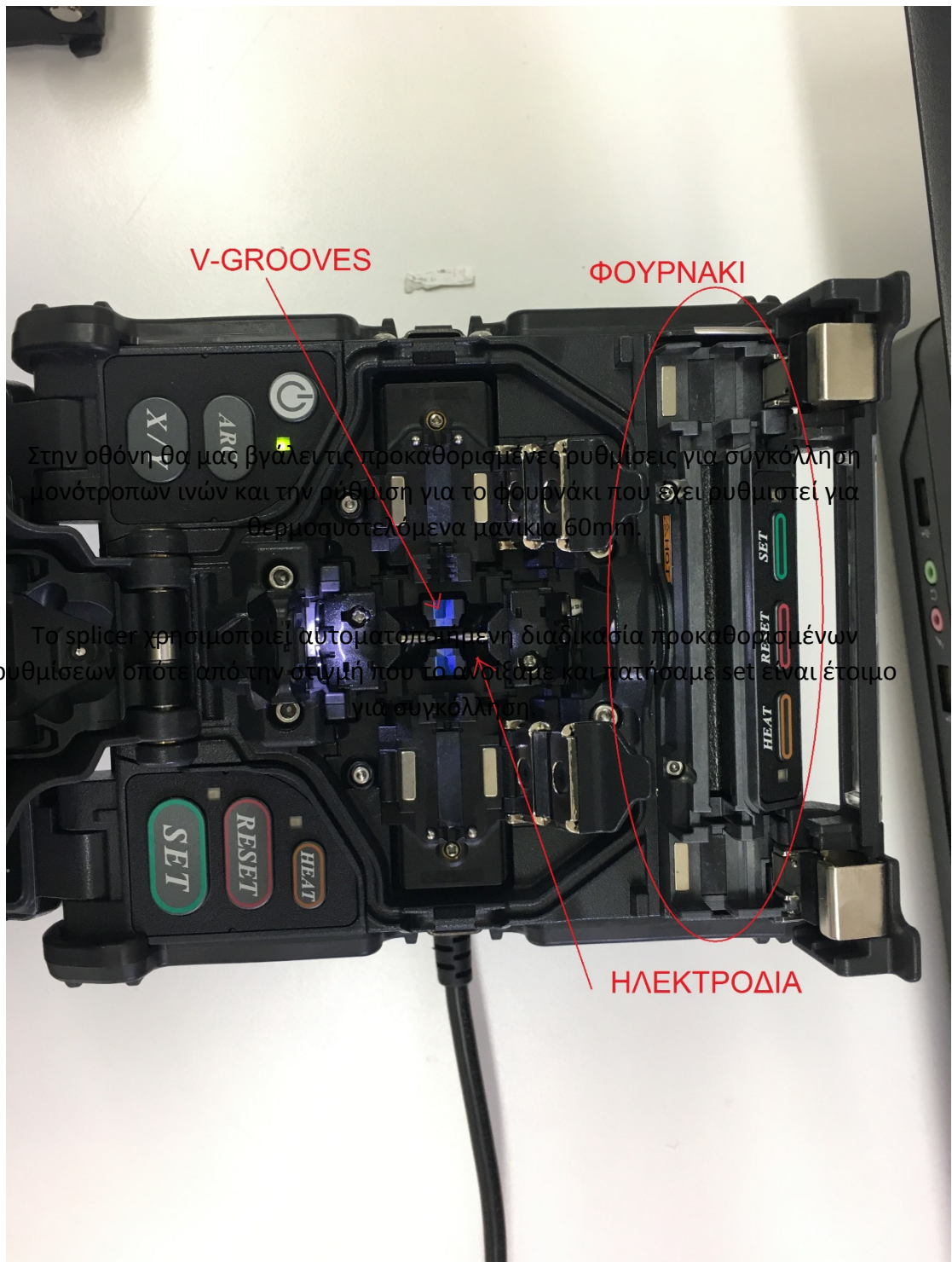
Βάζουμε την μπαταρία στον splicer η οποία μπαίνει στο κάτω μέρος του μηχανήματος και τον συνδέουμε στην πρίζα.

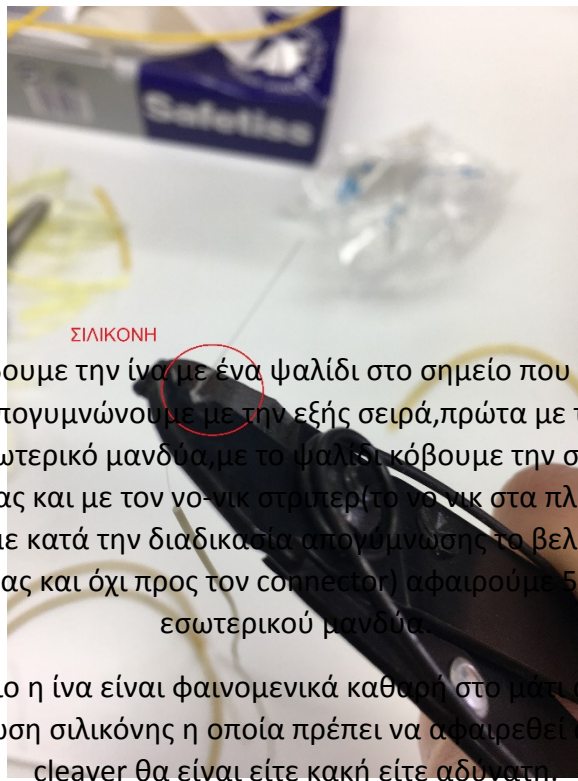


Επαναφορτιζόμενη Μπαταρία splicer



Στη συνέχεια ανοίγουμε τον splicer από το κουμπι εκκίνησης και μόλις ανοίξει πλήρως πατάμε set. Έπειτα ανοίγουμε το καπάκι έτσι ώστε να είναι όπως στην εικόνα.

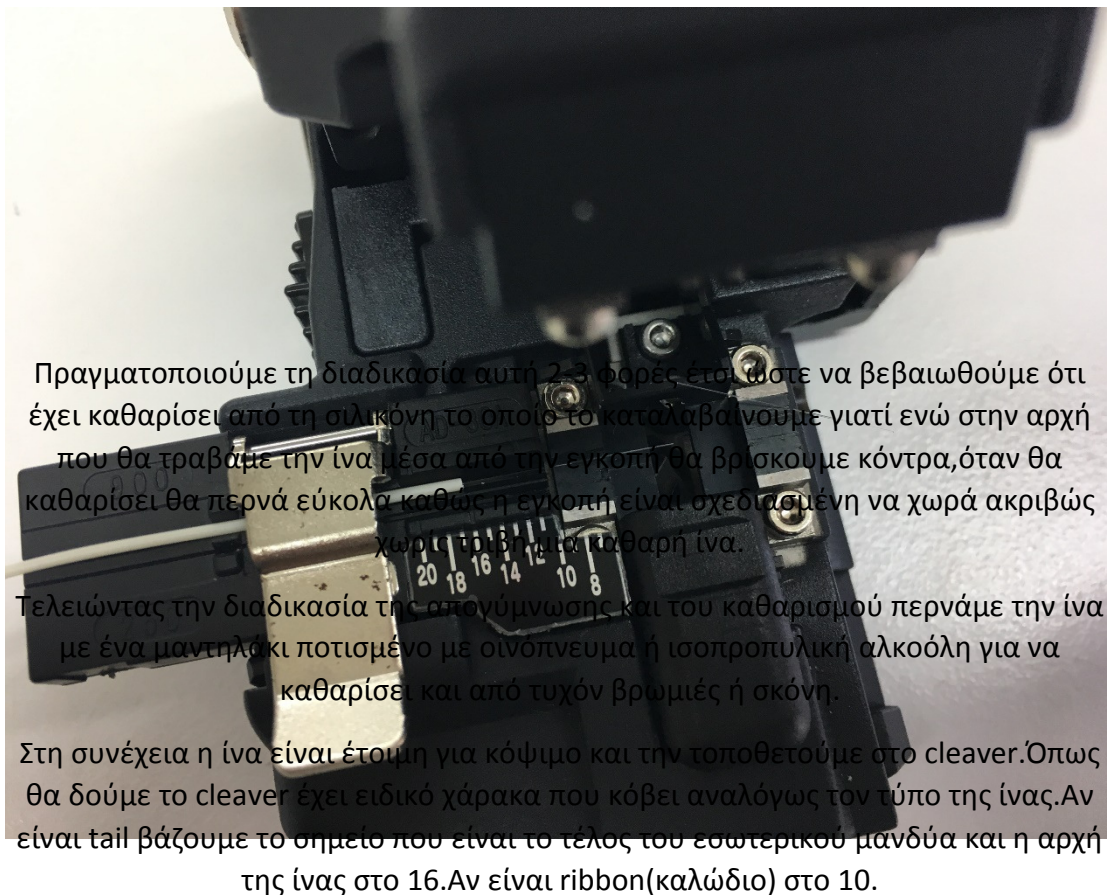




Ξεκινώντας κόβουμε την ίνα με ένα ψαλίδι στο σημείο που θέλουμε και στη συνέχεια την απογυμνώνουμε με την εξής σειρά, πρώτα με το μιλερ στριπερ βγάζουμε τον εξωτερικό μανδύα, με το ψαλίδι κόβουμε την στρώση από τρίχες εντός της ίνας και με τον νο-νικ στριπερ (το νο-νικ στα πλάγια έχει ένα βελάκι, προσέχουμε κατά την διαδικασία απογυμνώσης το βελάκι να κοιτάει προς την άκρη της ίνας και όχι προς τον κόπτερο) αφαιρούμε 5-6 εκατοστά του εσωτερικού μανδύα.

Σε αυτό το στάδιο η ίνα είναι φαινομενικά καθαρή στο μάτι αλλά συνήθως θα υπάρχει μια στρώση σιλικόνης η οποία πρέπει να αφαιρεθεί. Αλλιώς η κοπή στο cleaver θα είναι είτε κακή είτε αδύνατη.

Για να αφαιρέσουμε την σιλικόνη βάζουμε την ίνα στην εγκοπή του μιλερ στριπερ και κρατώντας το στριπερ σταθερό τραβάμε προσεκτικά κατά μήκος την ίνα έτσι ώστε να μην σπάσει και αφαιρούμε σιγά σιγά την στρώση σιλικόνης.

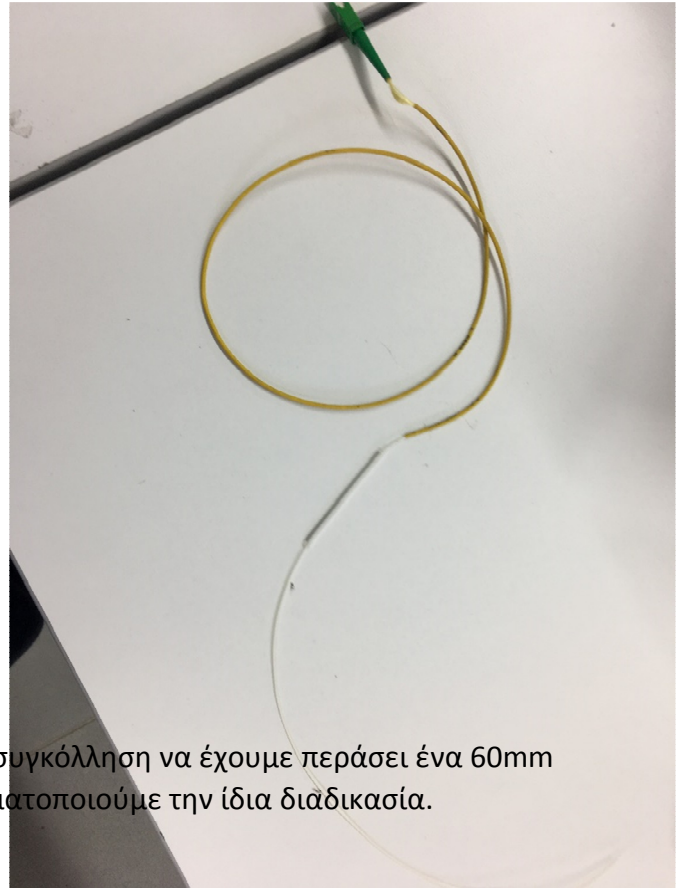
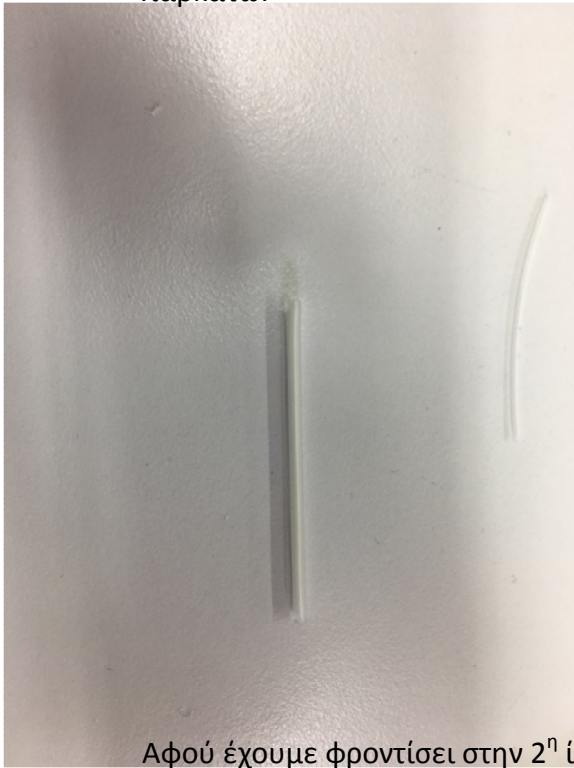


Πραγματοποιούμε τη διαδικασία αυτή 2-3 φορές έτσι ώστε να βεβαιωθούμε ότι έχει καθαρίσει από τη σιλκόνη το οποίο το καταλαβαίνουμε γιατί ενώ στην αρχή που θα τραβάμε την ίνα μέσα από την εγκοπή θα βρισκουμε κόντρα, όταν θα καθαρίσει θα περνά εύκολα καθώς η εγκοπή είναι σχεδιασμένη να χωρά ακριβώς χωρίς τριβή μια καθαρή ίνα.

Τελειώνοντας την διαδικασία της απογύμνωσης και του καθαρισμού περνάμε την ίνα με ένα μαντηλάκι ποτισμένο με οινόπνευμα ή ισοπροπυλική αλκοόλη για να καθαρίσει και από τυχόν βρωμιές ή σκόνη.

Στη συνέχεια η ίνα είναι έτοιμη για κόψιμο και την τοποθετούμε στο cleaver. Όπως θα δούμε το cleaver έχει ειδικό χάρακα που κόβει αναλόγως τον τύπο της ίνας. Αν είναι tail βάζουμε το σημείο που είναι το τέλος του εσωτερικού μανδύα και η αρχή της ίνας στο 16. Αν είναι ribbon(καλώδιο) στο 10.

Η διαδικασία αυτή γίνεται διότι όταν η ίνα θα τοποθετηθεί στα *v grooves* θα πρέπει να προεξέχει συγκεκριμένο μέρος της ίνας προς τα ηλεκτρόδια. Όπως φαίνεται παρακάτω.



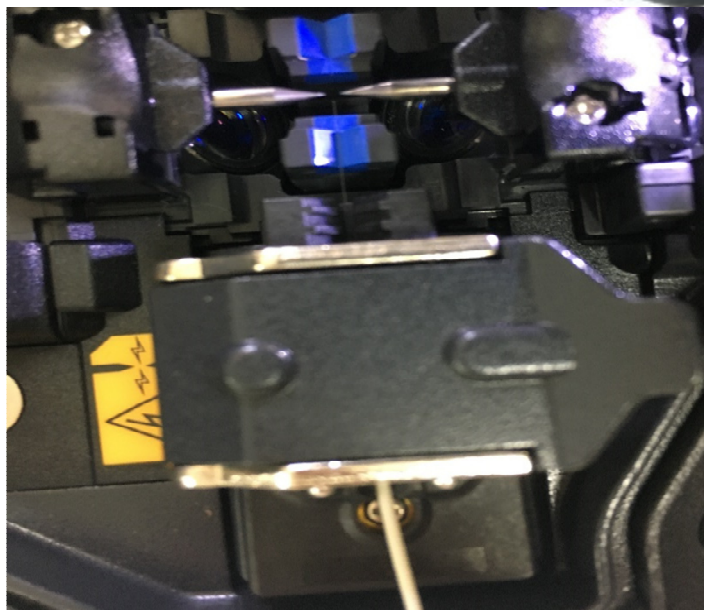
Αφού έχουμε φροντίσει στην 2^η ίνα προς συγκόλληση να έχουμε περάσει ένα 60mm θερμοσυστελόμενο μανίκι πραγματοποιούμε την ίδια διαδικασία.

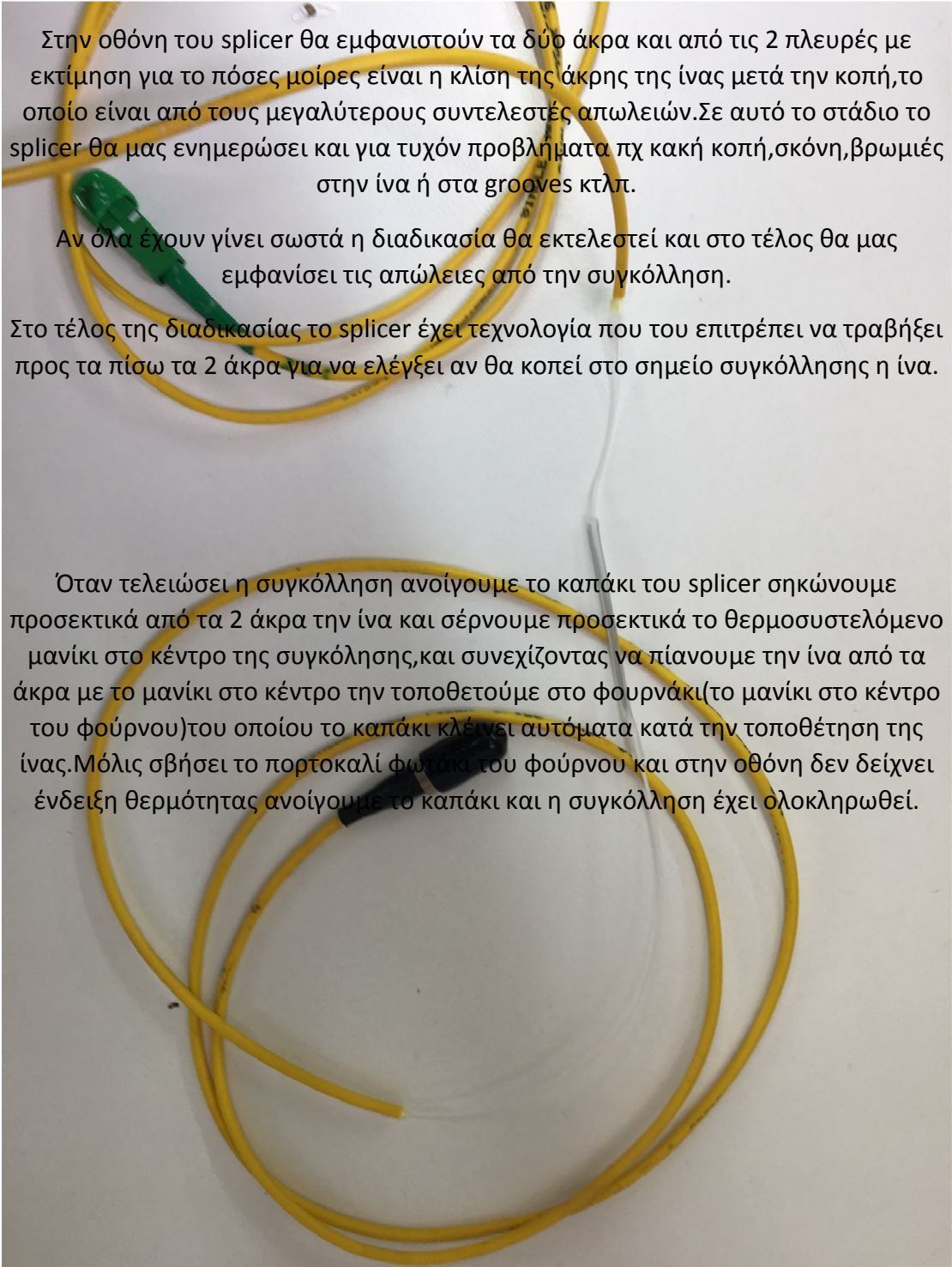


Αφού έχουμε κόψει και τα δύο άκρα, τα τοποθετούμε στα v-grooves και τα σταθεροποιούμε όπως στην εικόνα.



Αφού έχουμε φροντίσει το καπάκι από το φουρνάκι να είναι ανοιχτό, κλείνουμε το καπάκι του splicer και η διαδικασία ξεκινά αυτόματα.



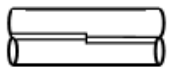

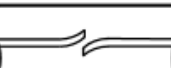
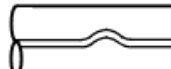
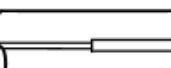

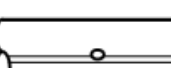






Στην οθόνη του splicer θα εμφανιστούν τα δύο άκρα και από τις 2 πλευρές με εκτίμηση για το πόσες μοίρες είναι η κλίση της άκρης της ίνας μετά την κοπή, το οποίο είναι από τους μεγαλύτερους συντελεστές απωλειών. Σε αυτό το στάδιο το splicer θα μας ενημερώσει και για τυχόν προβλήματα πχ κακή κοπή, σκόνη, βρωμιές στην ίνα ή στα grooves κτλπ.

Αν όλα έχουν γίνει σωστά η διαδικασία θα εκτελεστεί και στο τέλος θα μας εμφανίσει τις απώλειες από την συγκόλληση.

Στο τέλος της διαδικασίας το splicer έχει τεχνολογία που του επιτρέπει να τραβήξει προς τα πίσω τα 2 άκρα για να ελέγξει αν θα κοπεί στο σημείο συγκόλλησης η ίνα.

Όταν τελειώσει η συγκόλληση ανοίγουμε το καπάκι του splicer σηκώνουμε προσεκτικά από τα 2 άκρα την ίνα και σέρνουμε προσεκτικά το θερμοσυστελόμενο μανίκι στο κέντρο της συγκόλλησης, και συνεχίζοντας να πιάνουμε την ίνα από τα άκρα με το μανίκι στο κέντρο την τοποθετούμε στο φουρνάκι (το μανίκι στο κέντρο του φούρνου) του οποίου το καπάκι κλείνει αυτόματα κατά την τοποθέτηση της ίνας. Μόλις σβήσει το πορτοκαλί φωτάκι του φούρνου και στην οθόνη δεν δείχνει ένδειξη θερμότητας ανοίγουμε το καπάκι και η συγκόλληση έχει ολοκληρωθεί.

	Κακό ταίριασμα πυρήνα, οφείλεται σε σκόνη στα grooves ή σε σπάσιμο/κακό κόψιμο στην άκρη της ίνας.
	Μετά την συγκόλληση ο πυρήνας εμφανίζει κλίση, οφείλεται σε σκόνη/κακή τοποθέτηση στα grooves ή κακό κόψιμο.
	Καθόλου ταίριασμα πυρήνων, οφείλεται σε σκόνη ή κακή τοποθέτηση στα grooves.
	Καμπύλη στον πυρήνα, είτε γιατί η άκρη της ίνας έχει σπάσιμο/κακή κοπή, το prefuse power είναι πολύ χαμηλά ή το prefuse time πολύ λίγο.
	MFD Mismatch Μη ταίριασμα λόγω διαφοράς διαμέτρου σημαίνει ότι το Arc power είναι χαμηλό. Από τις ρυθμίσεις το αυξάνουμε.
	Περίπτωση καύσης μπορεί να συμβεί είτε από κακή κοπή ή κακό καθαρισμό της ίνας.
<u>5.5 ΠΙΘΑΝΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ</u>	
	Φυσαλίδα, οφείλεται σε κακή κοπή της άκρης της ίνας, χαμηλό prefuse power ή χαμηλό prefuse time.
	Διαχωρισμός, οφείλεται σε χαμηλό prefuse power ή πολύ μικρό prefuse time. Ενδείκνυται να αυξήσουμε το prefuse time και power ή να εκτελέσουμε motor calibration.
	Πολύ παχιά ίνα, ενδείκνυται μείωση της επιλογής overlap και εκτέλεση motor calibration.
	Πολύ λεπτή ίνα, είτε λόγω χαμηλού arc power ή κάποιων παραμέτρων των επιλογών του arc. Εκτέλεση arc calibration. Αύξηση prefuse power και time.
	Μαύρη γραμμή λόγω χαμηλού prefuse power ή time

Αναφορές σε motor overrun δεξιά ή αριστερά σημαίνει πως η ίνα έχει τοποθετηθεί λάθος στα grooves ή πολύ μακριά από τα ηλεκτρόδια. Σε περίπτωση που δεν βγάζει μια από τις δυο ή και τις δυο ίνες στη οθόνη υπάρχει περίπτωση βλάβης της κάμερας ή βρωμιά στην κάμερα.

Γενικά το splicer είναι πολύ ανθεκτικό και τα περισσότερα προβλήματα θα σημαίνουν λάθος στην διαδικασία, κακή κοπή αν η άκρη έχει πολύ στραβή γωνία μετά την κοπή, βρωμιά και σκόνη στην ίνα ή στα grooves, κακή τοποθέτηση.

ΠΗΓΕΣ

- 1.Govind P. Agrawal, "Συστήματα Επικοινωνιών Με Οπτικές Ίνες", The institute of optics university of Rochester, New York, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ 4^η έκδοση 2015.
- 2.The Fiber Optic Association Inc., <http://www.thefoa.org> .
- 3.Jim Hayes, The Fiber Optics Technician's Manual, Published by Delmar 2005.
- 4.BELDEN, <http://www.belden.com> .