

ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ Τ.Ε.



Fiber To The Home. (FTTH).

Μετρήσεις οπτικών ινών με μηχανήμα
OTDR σε υπάρχον εταιρικό δίκτυο

ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Επιβλέπων Καθηγητής :

Ασαρίδης Ηλίας

Ο ΦΟΙΤΗΤΗΣ :

ΤΣΟΥΚΑΛΑΣ ΧΡΗΣΤΟΣ

ΑΜ: 1836

e-mail: tsoukxristos@hotmail.com

ΑΝΤΙΠΠΙΟ 2018

ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η εργασία αυτή η οποία γίνεται στα πλαίσια του οδηγού σπουδών του τμήματος Μηχανικών Πληροφορικής Τ.Ε. ΤΕΙ Δυτικής Ελλάδας που έχει έδρα στέγασης το Αντίρριο ,περιλαμβάνει τη θεωρητική μελέτη των οπτικών ινών καθώς και τη μελέτη του μηχανήματος OTDR .

Στο πρακτικό μέρος της εργασίας που αποτελεί το άλλο σκέλος για την ολοκλήρωση της, θα γίνουν μετρήσεις σε ένα εταιρικό δίκτυο, στη προκειμένη περίπτωση σε ένα τμήμα του δικτύου του ΟΤΕ στη Ναύπακτο έτσι ώστε να καταγραφούν και να αναλυθούν τα αποτελέσματα από αυτήν τη διαδικασία.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγή..... Σελίδα 8.

Κεφάλαιο Πρώτο

1.Ιστορική αναδρομή και εξέλιξη των οπτικών ινών.....Σελίδα 9.

1.1 Τύποι οπτικών ινών.....Σελίδα 10.

1.2 Γιατί οπτική ίνα.....Σελίδα 14.

1.3 Λειτουργία των οπτικών ινών.....Σελίδα 16.

1.3.1 Εξασθένιση.....Σελίδα 21.

1.3.2 Απορρόφηση και Σκέδαση.....Σελίδα 22.

1.3.3.Διασπορά και διεύρυνση οπτικών παλμών.....Σελίδα 23.

1.3.4.Χρωματική διασπορά.....Σελίδα 24.

1.3.4.1.Διασπορά κυματοδηγού.....Σελίδα 27.

1.3.4.2.Διασπορά υλικού.....Σελίδα 29.

1.3.4.3.Διασπορά τρόπων διάδοσης.....Σελίδα 32.

1.3.5 Διασπορά τρόπων πόλωσης.....Σελίδα35.

1.4 Εφαρμογές οπτικών ινών.....Σελίδα 36.

Κεφάλαιο Δεύτερο

2.Μελέτη και χρήση των δικτύων οπτικών ινών.....Σελίδα 37.

2.1 Τοπολογίες δικτύων οπτικών ινών.....Σελίδα 37.

2.2 Ανάπτυξη ενός δικτύου οπτικών ινών.....Σελίδα 40.

2.3 Μητροπολιτικά δίκτυα οπτικών ινώνΣελίδα 41.

Κεφάλαιο Τρίτο

3. Οπτικές διατάξειςΣελίδα 41.

3.1 Οπτικοί μεταδότες - Optical Transmitters.....Σελίδα 42.

3.2 Δίοδοι Εκπομπής Φωτός

Light Emitting Diodes (LED).....Σελίδα 43.

3.2.1 Δίοδοι επιφάνειας - SLED(Surface Emitting) και

Δίοδοι Ακμής- ELED(Edge Emitting).....Σελίδα 44.

3.2.2. Πηγές φωτός και αποδεκτή γωνία

(acceptable-angle).....Σελίδα 44.

3.2.3 Τεχνική παρεμβολή φωτός.....Σελίδα 45.

3.2.3.1 Τεχνική λείανσης του άκρου της ίνας

(rounded end fiber και taper and fiber).....Σελίδα 46.

3.2.3.2 Δίοδοι λέιζερ (Injection Laser diode-ILD).....Σελίδα 48.

3.2.3.3 Συστατικά στοιχεία ενός laser.....Σελίδα 50.

3.2.3.4 Ιδιότητες Δέσμης Laser.....Σελίδα 51.

3.2.3.5. Εφαρμογές των Laser.....Σελίδα 53.

3.3. Αναμεταδότες (Transponders).....Σελίδα 53.

3.4. Οπτικοί Ενισχυτές.....Σελίδα 54.

3.5. Ινο-Οπτικός Ενισχυτής Ερβίου (EDFA).....Σελίδα 55.

3.6 . Βασικές Παράμετροι.....Σελίδα 58.

3.7. Οπτικοί πολυπλέκτες- Αποπολυπλέκτες.....Σελίδα 60.

3.7.1 Συσκευές πολυπλεξίας/Απολπολυπλεξίας.....	Σελίδα 60.
3.8. Οπτικοί Διασταυρωτές.....	Σελίδα 63.
3.9. Δρομολόγηση Μήκους Κύματος.....	Σελίδα 64.
3.9.1 . Μεταγωγείς Μήκους Κύματος (Wavelength Switches).....	Σελίδα 65.
3.9.2. Μετατροπή Μήκους Κύματος.....	Σελίδα 66.

Κεφάλαιο Τέταρτο

4.Τεχνολογία (wavelength-division multiplexing - WDM.).....	Σελίδα 67.
4.1. Βασική λειτουργία της τεχνολογίας WDM.....	Σελίδα 68.
4.2.WDM σε δίκτυα οπτικών ινών.....	Σελίδα 69.
4.3. Πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (FDM).....	Σελίδα 69.
4.4. Πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου (TDM).....	Σελίδα 70.
4.5.Πολυπλεξία διαίρεσης κώδικα (CDM).....	Σελίδα 71.
4.6. Σύγκριση TDM-WDM.....	Σελίδα 71.
4.6.1 Σύγκριση FDM-WDM.....	Σελίδα 72.
4.6.2 Σύγκριση CDM-WDM.....	Σελίδα 72.
4.7. Δίκτυα WDM συνδέσμων από σημείο σε σημείο.....	Σελίδα 72.
4.8. WDM-PON.....	Σελίδα 73.

Κεφάλαιο πέμπτο

5. Εξοπλισμός και όργανα μετρήσεων.....	Σελίδα 75.
5.1. TORNADO CABLE BLOWING MACHINE.....	Σελίδα 75.
5.2. Γεννήτριες Ακουστικού σήματος.....	Σελίδα 76.
5.3. Όργανο μέτρησης Telecom	Σελίδα 77.
5.4. Φακός Lazer FLS - 241 UNIV.....	Σελίδα 78.
5.5. Μηχάνημα Fusion Splicer (Όργανο συγκόλλησης οπτικών ινών).....	Σελίδα 79.
5.5.1. Λειτουργία του Fusion Splicer.....	Σελίδα 80.
5.5.2. Συγκόλληση οπτικών ινών με καλά αποτελέσματα.....	Σελίδα 80.
5.5.3. Απώλειες κατά τη συγκόλληση των οπτικών ινών.....	Σελίδα 81.
5.5.4. Διαφορές στον τρόπο πεδίου.....	Σελίδα 82.
5.5.5. Διαφορετικά αριθμητικά ανοίγματα (NA).....	Σελίδα 82.
5.5.6. Διαφορετικές διαμέτροι πυρήνα.....	Σελίδα 83.
5.5.7. Διαφορετικές διαμέτροι μανδύα.....	Σελίδα 84.
5.5.8. Μη-κυκλικότητα πυρήνα ή/και μανδύα.....	Σελίδα 84.
5.5.9. Μη-ομοκεντρικότητα πυρήνα/μανδύα.....	Σελίδα 85.

Κεφάλαιο έκτο

6. Όργανο Μέτρησης Ανακλάσεων Οπτικής Ισχύος στο πεδίο του χρόνου- OTDR.	Σελίδα 85.
Optical Time Domain Reflectometer (OTDR).....	Σελίδα 86.
6.1 Λειτουργία του OTDR.....	Σελίδα 86.
6.2 Μέτρηση Απόστασης ίνας.....	Σελίδα 87.
6.3 Απώλεια Οπτικής Ισχύος – Εξασθένηση.....	Σελίδα 88.
6.3.1 Νεκρή Ζώνη.....	Σελίδα 89.
6.3.2 Εύρος παλμών.....	Σελίδα 89.

6.3.3 Δυναμική περιοχή.....Σελίδα 90.

Κεφάλαιο έβδομο

7.Ανάλυση μετρήσεων και γραφική απεικόνιση.....Σελίδα 90.

7.1Μετρησεις πρακτικής εξασκήσεις.....Σελίδα 91.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΕΙΣ.....Σελίδα 95.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ.

Σε αυτήν την εργασία θα γίνει λεπτομερής αναφορά στη χρήση των οπτικών ινών τόσο στην κατασκευή και τη χρήση τους σε δίκτυα επικοινωνιών καθώς και η χρήση του μηχανήματος OTDR, που αποτελεί βασικό δικτυακό εξοπλισμό όσο αφορά τέτοιου τύπου δίκτυα.

Ποιο συγκεκριμένα η ανάπτυξη των οπτικών ινών σαν μέσο μετάδοσης και μεταφοράς δεδομένων ,έχει γνωρίσει μεγάλη άνθηση τα τελευταία χρόνια. Πρόκειται για ένα καινοτόμο μέσο μετάδοσης που αποτελεί τη ποιό αξιόπιστη λύση λόγω της κατασκευαστικής ιδιομορφίας για παροχή πολυμεσικών και αλληλεπιδραστικών εφαρμογών τόσο σε επίπεδο κατασκευής και λειτουργίας δικτύων ,καθώς και σε υπηρεσίες προς τους τελικούς χρήστες. Όσο αφορά το OTDR πρόκειται για ένα όργανο που χρησιμοποιείτε ευρέως για τον έλεγχο ποιότητας εγκατεστημένων ή προς εγκατάσταση καλωδίων και τον ευρύτερο χαρακτηρισμό τους όσο αφορά τις απώλειες που εμφανίζουν κατά το μήκος τους. Στη συνέχεια γίνεται λεπτομερής αναφορά και ανάπτυξη των δύο προαναφερθέντων εννοιών που θα αναφέρουμε στα επόμενα κεφάλαια.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

1. Ιστορική αναδρομή και εξέλιξη των οπτικών ινών.

- Ήδη από τους ρωμαϊκούς χρόνους η χρήση του γυαλιού γίνεται ευρύτερη και παρουσιάζεται η μετατροπή του σε ίνες.
- Το 1790 οι Γάλλοι αδελφοί chappe εφεύραν τον πρώτο οπτικό τηλεγράφο. Ήταν ένα σύστημα που αποτελείται από φώτα τοποθετημένα σε πύργους. Κατά τον επόμενο .υπήρξε ραγδαία εξέλιξη στην οπτική επιστήμη. Στη δεκαετία του 1840 , οι φυσικοί Daniel Collodon και Jacques Babinet έδειξαν ότι το φώς θα μπορούσε να κατευθυνθεί κατά μήκος όπως οι πίδακες νερού στα σιντριβάνια. Το 1854 ο Βρετανός φυσικός John Tyndall έδειξε ότι το φώς θα μπορούσε να ταξιδέψει μέσα από ένα κυρτό ρεύμα νερού αποδεικνύοντας έτσι ότι ένα φωτεινό σήμα μπορεί να στραβώσει. Το απόδειξε αυτό με τη δημιουργία μιας δεξαμενής νερού με ένα σωλήνα που έτρεχε από τη μία πλευρά. Καθώς το νερό έρεε από τον αγωγό, έλαμψε ένα φώς μέσα στη δεξαμενή στη ροή του νερού. Καθώς έπεσε ένα τόξο φωτός ακολούθησε το νερό προς τα κάτω.
- Το 1880 ο William Wheeler επινόησε ένα σύστημα με φωτεινούς σωλήνες επενδυμένους με ανακλαστική επίστρωση. Χρησιμοποιώντας το φώς από μια ηλεκτρική λάμπα που είχε τοποθετήσει στο υπόγειο του και κατεύθυνε το φώς γύρω από το σπίτι του με σωλήνες. Οι γιατροί Roth και Reuss, της Βιέννης ,χρησιμοποίησαν λυγισμένες βέργες από γυαλί για να φωτίσουν κοιλότητες του σώματος το 1888. Ο Γάλλος μηχανικός Henryseint-Rene σχεδίασε ένα σύστημα με λυγισμένες ράβδους γυαλιού για την καθοδήγηση του φωτός.
- Το 1951 ο Holger Moeller έκανε αίτηση για δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για τις οπτικές ίνες στις οποίες πρότεινε επένδυση από γυαλί ή πλαστικό. Το λείζερ εισήχθη σαν ως αποτελεσματική πηγή φωτός. Το 1961 ο Snitzer δημοσίευσε μια θεωρητική περιγραφή της ενιαίας ίνας η οποία θα μπορεί να μεταφέρει το φώς με ένα μόνο τρόπο, κύμα-οδηγό.
- Το 1970 ο στόχος να καταστεί μια ίνα με εξασθένηση λιγότερο από 20db/Km επιτεύχθηκε από τους επιστήμονες στο Corning Glass Works .Η πρώτη σύνδεση μέσω οπτικών ινών έγινε από την αστυνομία του Dorset το

1975. Στα τέλη της δεκαετίας του 1970 και αρχές του 1980, τηλεφωνικές εταιρείες άρχισαν να χρησιμοποιούν ίνες εκτενώς για την αποκατάσταση των υποδομών των επικοινωνιών τους.

- Το 1991, οι Desurvire και Payne έφτιαξαν ενισχυτές οπτικών σημάτων που ήταν ενσωματωμένοι στο καλώδιο οπτικής ίνας. Το all-optic σύστημα θα μπορούσε να φέρει 100 φορές περισσότερες πληροφορίες από το καλώδιο με ηλεκτρονικούς ενισχυτές πρώτα καλώδια οπτικών ινών TPC-5 με οπτικούς ενισχυτές χρησιμοποιήθηκαν το 1996.

1.1 Τύποι οπτικών ινών.

Εισαγωγή στην τεχνολογία των οπτικών ινών: Τα καλώδια οπτικών είναι τα καλώδια των τηλεπικοινωνιών στα οποία το μέσο μετάδοσης δεν είναι μεταλλική αγωγοί αλλά υάλινοι κυματοδηγοί όπου τα μονοχρωματικά ηλεκτρομαγνητικά κύματα διαδίδονται εξαιτίας του φαινομένου της «ολικής ανάκλασης». Τα οπτικά ηλεκτρομαγνητικά κύματα παράγονται από τις μονοχρωματικές πηγές φωτός όπως τα leds, Lasers.

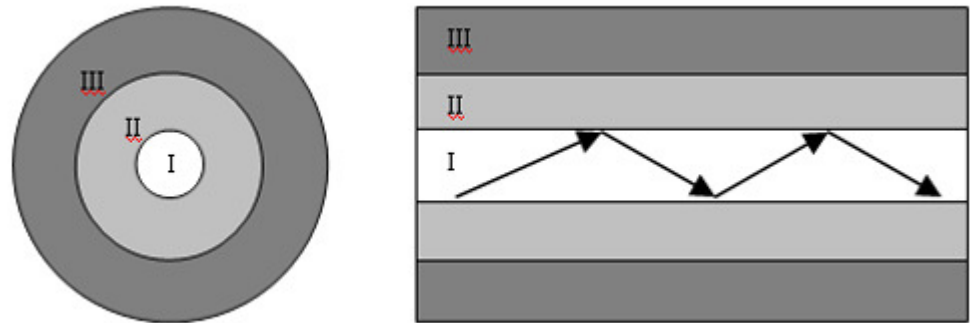
Τα καλώδια οπτικών ινών είναι τα ποιο προηγμένα τηλεπικοινωνιακά μέσα ενσύρματης μετάδοσης και χρησιμοποιούνται σε όλα τα σύγχρονα συστήματα τηλεπικοινωνιών δεδομένου ότι προσφέρουν ένα πολύ μεγάλο εύρος ζώνης, υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης και απόλυτη ανοσία ενάντια στις ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές παρέχοντας έτσι ασφαλή και γρήγορη μετάδοση χωρίς περιορισμούς απόστασης.

Δομή – λειτουργία οπτικών ινών : Οι οπτικές ίνες που χρησιμοποιούνται στις τηλεπικοινωνίες είναι κυρίως υάλινες (υπάρχουν και πλαστικές με πολύ περιορισμένη εφαρμογή), έχουν κυλινδρική μορφή και κατασκευάζονται από τρία ομόκεντρα στρώματα:

I. Πυρήνας ινών (Fibercore) από πυρίτιο (SiO_2) με προσμίξεις GeO_2 . Είναι η περιοχή όπου κυρίως διαδίδεται το οπτικό σήμα με διαδοχικές ολικές ανακλάσεις στην διαχωριστική επιφάνεια των περιοχών I & II. Η συγκεκριμένη γωνία πρόσπτωσης του φωτός μέσα στην ίνα (κρίσιμη γωνία) αλλά και η σχέση δεικτών διάθλασης των περιοχών I & II ($n_i > n_{ii}$) είναι απαραίτητες προϋποθέσεις για να συμβούν ολικές ανακλάσεις και διάδοση.

II.Περίβλημα ίνας (cladding) από καθαρό πυρίτιο (SiO₂).III.Πρωτεύουσαεπικάλυψη (coating) από συνθετικό ακρυλικό υλικό.

Αυτό το στρώμα παρέχει μηχανική προστασία στα υάλινα στρώματα I&II.



Στις οπτικές ίνες που απαρτίζουν ένα οπτικό καλώδιο ,ουσιαστικά υπάρχει και ένα τέταρτο ,εξωτερικό ,στρώμα που είναι το έγχρωμο μελάνι που εφαρμόζεται για την αναγνώριση των ινών, όπως φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα.

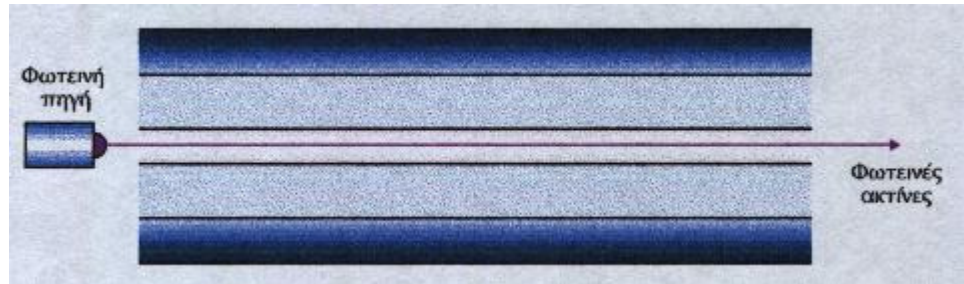
Τύποι οπτικών ινών :Με την πάροδο των ετών έχουν αναπτυχθεί πολλοί τύποι οπτικών ινών που ο κάθε ένας υποστηρίζει τις ιδιαίτερες απαιτήσεις διάφορων τηλεπικοινωνιακών εφαρμογών.

Οι οπτικές ίνες χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες ανάλογα με το αν υποστηρίζουν έναν ή πολλούς ρυθμούς μετάδοσης. **1.** Μονότροπες (single-mode) οπτικές ίνες και **2.** Πολύτροπες (multi-mode) οπτικές ίνες. Για όλους τους τύπους των οπτικών ινών υπάρχουν διεθνή πρότυπα στα οποία προδιαγράφονται τα χαρακτηριστικά μετάδοσης καθώς και τα γεωμετρικά, μηχανικά και άλλα χαρακτηριστικά των κυριότερων τύπων οπτικών ινών.

Μονότροπες (single-modeFiber Optics) οπτικές ίνες:

Στις μονότροπες οπτικές ίνες η διάμετρος της κεντρικής ίνας είναι πολύ μικρή και πλησιάζει το επίπεδο του μήκους κύματος του

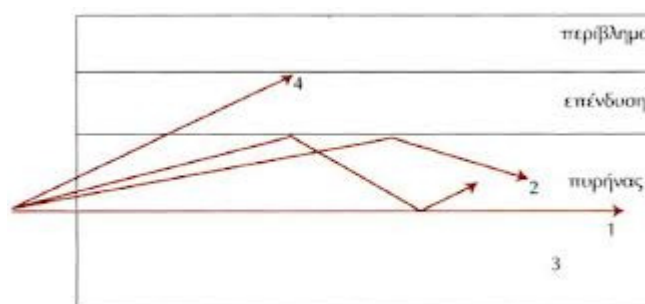
εκπεμπόμενου σήματος. Στην περίπτωση αυτή έχουμε μόνο ένα τρόπο μετάδοσης του οπτικού σήματος, τον αξονικό. Η πορεία των ακτινών σε μια τέτοια ίνα φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 1. Η κεντρική ίνα στις μονότροπες οπτικές ίνες έχει διάμετρο από 5μm έως 10μm με συνηθέστερη τιμή τα 8,3μm.



Σχήμα 1.1. Μονότροπη οπτική ίνα.

Πολύτροπες οπτικές ίνες (multi-mode Fiber Optics).

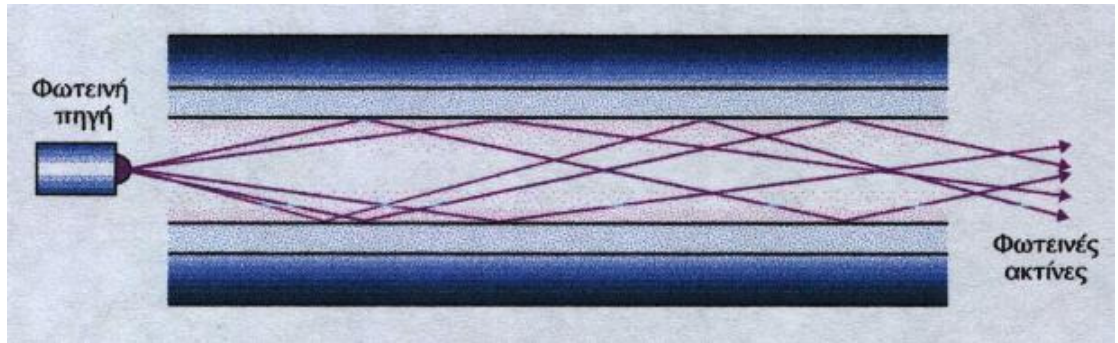
Στην κατηγορία αυτή των οπτικών ινών, το φως ταξιδεύει μέσα από τον πυρήνα ακολουθώντας διαφορετικές διαδρομές (ρυθμούς ή modes) οι οποίες εισέρχονται ή εξέρχονται από την ίνα υπό διάφορες γωνίες. Η μεγαλύτερη γωνία υπό την οποία το φως επιτρέπεται να μπει στην ίνα καθορίζει το αριθμητικό διάφραγμα/ άνοιγμα (numerical aperture- NA). Υπάρχουν δύο τύποι πολύτροπων ινών, οι οποίοι διακρίνονται από το προφίλ του δείκτη διάθλασης των πυρήνων τους και από τον τρόπο διάδοσης του φωτός μέσα από αυτούς. Στο σχήμα 1.2 απεικονίζεται μια τέτοια ίνα.



Σχήμα 1.2. Πολύτροπη οπτική ίνα.

Οπτική ίνα διακριτού δείκτη (step index).

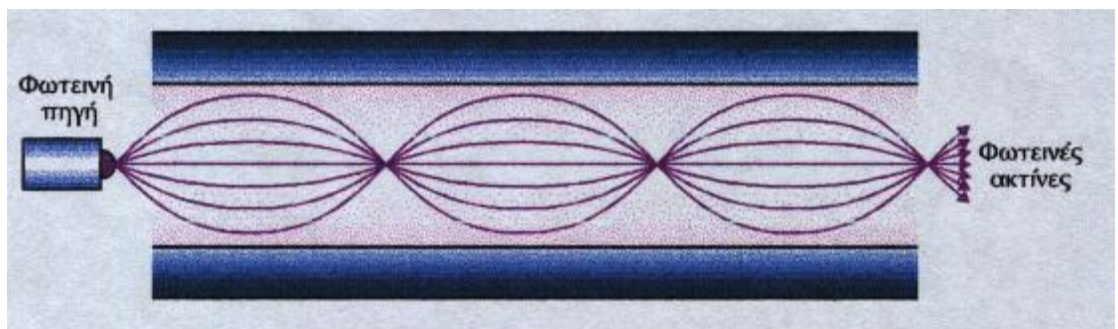
Στις ίνες αυτές συμβαίνει απότομη μεταβολή του δείκτη διάθλασης μεταξύ της κεντρικής ίνας και του υλικού επίστρωσης. Στην περίπτωση αυτή η πορεία των ακτινών παρουσιάζεται στο σχήμα1. 3.



Σχήμα1. 3.

Οπτική ίνα βαθμιαίου δείκτη(gradedindex).

Οι ίνες αυτές χαρακτηρίζονται από βαθμιαία μεταβολή του δείκτη διάθλασης του υλικού της κεντρικής ίνας. Συμβαίνει βαθμιαία μείωση όσο απομακρυνόμαστε από το κέντρο προς την εξωτερική επιφάνεια του γυαλιού. Όπως και στην παραπάνω περίπτωση η πορεία των ακτινών φαίνεται στο σχήμα1.4.



Σχήμα1.4.

Μετά και την ανάλυση των διάφορων τύπων οπτικών ινών που έγινε στο προηγούμενο κεφάλαιο, στη συνέχεια παρουσιάζεται ένας πίνακας με τα βασικά χαρακτηριστικά των κυριότερων τύπων οπτικών ινών ,πίνακας 1.

Χαρακτηριστικό	Μονότροπες οπτικές ίνες (Single-mode)				Πολύτροπες οπτικές ίνες (Multi-mode)		
	Standard step index	Low water peak	Non-zero Dispersion Shifted	Bending loss insensitive	Graded index 50/125 OM2	Graded index 50/125 OM3	Graded index 62.5/125
Πρότυπο	ITU-TG.652B	ITU-TG.652D	ITU-TG.655C	ITU-TG.657	ITU-TG.651	ISO/IEC 11801	IEC 60793-2
Διάμετρος πυρήνα	9μm	9μm	9μm	9μm	50μm	50μm	62.5μm
Διάμετρος περιβλήματος	125μm	125μm	125μm	125μm	125μm	125μm	125μm
Απόσβεση στα 850nm	NA	NA	NA	NA	2.5 dB/km	2.3 dB/km	2.7 dB/km
Απόσβεση στα 1300nm	NA	NA	NA	NA	0.7 dB/km	0.6 dB/km	0.7 dB/km
Απόσβεση στα 1310nm	0.35 dB/km	0.35 dB/km	0.40 dB/km	0.35 dB/km	NA	NA	NA
Απόσβεση στα 1383nm	NA	0.32 dB/km	0.40 dB/km	0.33 dB/km	NA	NA	NA
Απόσβεση στα 1550nm	0.20 dB/km	0.20 dB/km	0.22 dB/km	0.20 dB/km	NA	NA	NA
Απόσβεση στα 1625nm	NA	0.23 dB/km	0.24 dB/km	0.24 dB/km	NA	NA	NA
Χρωματική διασπορά 1285 – 1330 nm	< 3.5 ps/(nm.km)	< 3.5 ps/(nm.km)	NA	< 3.5 ps/(nm.km)	NA	NA	NA
Χρωματική διασπορά 1550 nm	< 18 ps/(nm.km)	< 18 ps/(nm.km)	NA	< 18 ps/(nm.km)	NA	NA	NA
Χρωματική διασπορά 1530 – 1565 nm	NA	NA	2.6 – 6.0	NA	NA	NA	NA
Χρωματική διασπορά 1565 – 1625 nm	NA	NA	4.0 – 8.9	NA	NA	NA	NA
Εύρος ζώνης στα 850nm	NA	NA	NA	NA	500Mhz.km	1500Mhz.km	200Mhz.km
Εύρος ζώνης στα 1300nm	NA	NA	NA	NA	500Mhz.km	500Mhz.km	500Mhz.km

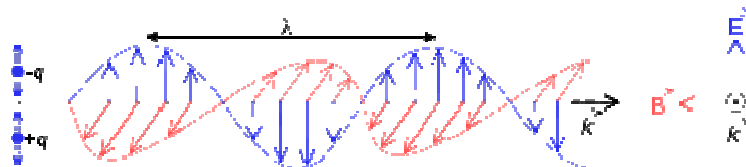
Πίνακας 1

1.2 Γιατί οπτική ίνα

Στο επόμενο κείμενο που ακολουθεί, γίνεται μια μικρή αναφορά για την εξέλιξη στο χώρο των τηλεπικοινωνιών που μπορεί να παρατηρήσει κάποιος που ανήκει στο χώρο αυτό.

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι η εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας στο χώρο υπό μορφή κυμάτων που ονομάζονται

ηλεκτρομαγνητικά. Τα κύματα αυτά είναι συγχρονισμένα ταλαντευόμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία τα οποία ταλαντώνονται σε κάθετα επίπεδα μεταξύ τους και κάθετα προς τη διεύθυνση διάδοσης. Διαδίδονται στο κενό με την ταχύτητα ίση με αυτή του φωτός ($c=299.792.458 \text{ m/s}$) αλλά και μέσα στην ύλη με λίγο μικρότερη ταχύτητα από αυτή του φωτός.



Σχήμα 1.5.

Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται η γραφική αναπαράσταση ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος.

Για την μετάβαση τώρα στην τεχνολογία των οπτικών ινών, μπορεί κάποιος να βγάλει τα συμπεράσματα του αρκεί να σκεφτεί κανείς πως για τη κατασκευή χάλκινων καλωδίων απαιτούνται μεγάλες ποσότητες χαλκού. Άρα με μια τέτοια σκέψη διαπιστώνουμε πώς μια χώρα που δεν παράγει χαλκό είναι εξαρτημένη από άλλες και έχει ως αποτέλεσμα, συνέπειές οικονομικού χαρακτήρα.

Ένα άλλο κριτήριο που μπορούμε να δούμε είναι και στη δυνατότητα που έχουν σαν μέσο μετάδοσης οι οπτικές ίνες, στη μετάδοση μεγάλου όγκου πληροφοριών.

Αυτό σημαίνει ότι ο στόχος για μεγαλύτερες ταχύτητες, μεγαλύτερος όγκος πληροφορίας κατέστησαν την εξέλιξη αυτή ως επιτακτική.

Και αυτό γίνεται γιατί:

Με τη βοήθεια μιας οπτικής ίνας μπορούμε να μεταφέρουμε ταυτόχρονα χωρίς παρεμβολές χιλιάδες τηλεφωνήματα, δεκάδες εκπομπές τηλεοπτικών καναλιών.

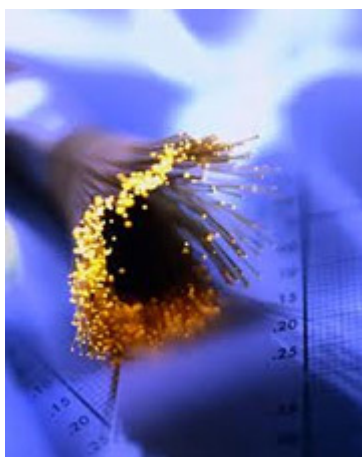
- Τα καλώδια των οπτικών ινών έχουν μικρότερες διαστάσεις και είναι πιο ελαφριά.
- Κατά τη μεταφορά των δεδομένων δεν έχουμε παράσιτα.

- Μπορούν να παραχθούν από κάθε χώρα με συνέπεια την απεξάρτησή της από χώρες που παράγουν χαλκό. Έτσι επιτυγχάνεται και τεχνολογική διάχυση. Στην Ελλάδα υπάρχουν εργοστάσια παραγωγής οπτικών ινών, δηλαδή επεξεργασίας του διοξειδίου του πυριτίου, με πρώτη ύλη την άμμο.

Συνεπώς μπορούμε να συμπεράνουμε <<ελεύθερα>> ότι από πλευρά παραγωγής (κόστος) και απόδοσης, όσο αφορά τη μεταγωγή και την ενσύρματη συνδεσιμότητα η μετάβαση στην οπτική ίνα είναι η αποδοτικότερη μέθοδος.

1.3 Λειτουργία των οπτικών ινών.

Μετά και από μια γενική αναφορά που έγινε στις προηγούμενες ενότητες όσο αφορά τις οπτικές ίνες στο υποκεφάλαιο θα δούμε ποιο αναλυτικά τη λειτουργία των ινών.



Τι είναι οι οπτικές ίνες λοιπόν; Οι **οπτικές ίνες**, είναι πολύ λεπτά νήματα από πλαστικό ή γυαλί, όπου από μέσα τους, μεταδίδονται ψηφιακά δεδομένα, υπό μορφή φωτός.

Ένα καλώδιο οπτικών ινών, περιέχει μέσα του 10άδες ή και 100άδες πολύ λεπτές τέτοιες οπτικές ίνες, σε διάμετρο, μικρότερη και από μία τρίχα!

Οι ταχύτητες μετάδοσης των δεδομένων μέσω των οπτικών ινών, αφού τα δεδομένα ταξιδεύουν υπό μορφή φωτός, είναι τεράστια(όσο η ταχύτητα του φωτός).

Επομένως ο τρόπος λειτουργίας των οπτικών ινών είναι ο εξής. Στο ένα άκρο της οπτικής ίνας, υπάρχει ο πομπός και στο άλλο, ο δέκτης.

Ο πομπός, μετατρέπει τα ψηφιακά δεδομένα ενός υπολογιστή, σε ψηφιακά κύματα φωτός.

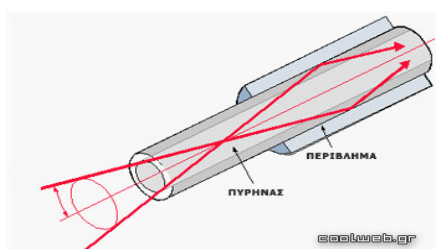
Ο δέκτης, αποκωδικοποιεί τα ψηφιακά κύματα φωτός, σε ψηφιακά δεδομένα.

Τα ψηφιακά κύματα φωτός, ταξιδεύουν με την ταχύτητα του φωτός μέσα από την οπτική ίνα, με διαδοχικές ανακλάσεις στα τοιχώματα της οπτικής ίνας.

Οι ανακλάσεις αυτές, γίνονται στα τοιχώματα, σε γωνία μικρότερη των 42 μοιρών, με αποτέλεσμα να λειτουργούν τα τοιχώματα σαν καθρέφτες.

Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **ολική ανάκλαση** και είναι η αιτία που τα κύματα φωτός μένουνε μέσα στην οπτική ίνα, συνεχίζοντας το ταξίδι τους μέχρι το άλλο άκρο, χωρίς να βγαίνουν-χάνονται έξω από την ίνα.

Σε αυτό συνεισφέρει και η δομή της. Το εσωτερικό μέρος της **οπτικής ίνας**, ονομάζεται πυρήνας και μέσω αυτού, ταξιδεύουν τα κύματα φωτός. Ο πυρήνας, είναι περιτυλιγμένος από μία άλλη στρώση πλαστικού - γυαλιού που ονομάζεται περίβλημα.



Το περίβλημα από τις **οπτικές ίνες**, είναι έτσι κατασκευασμένο, ώστε να κρατάει τα κύματα φωτός, με ολικές ανακλάσεις, μέσα στον πυρήνα και να συνεχίζουν το ταξίδι τους μέσω αυτού (του πυρήνα).

Το περίβλημα το πετυχαίνει αυτό, λόγω της διαφορετικότητας του υλικού από το οποίο είναι κατασκευασμένο, σε σχέση με το υλικό του πυρήνα.

Ανάκλαση και Διάθλαση.

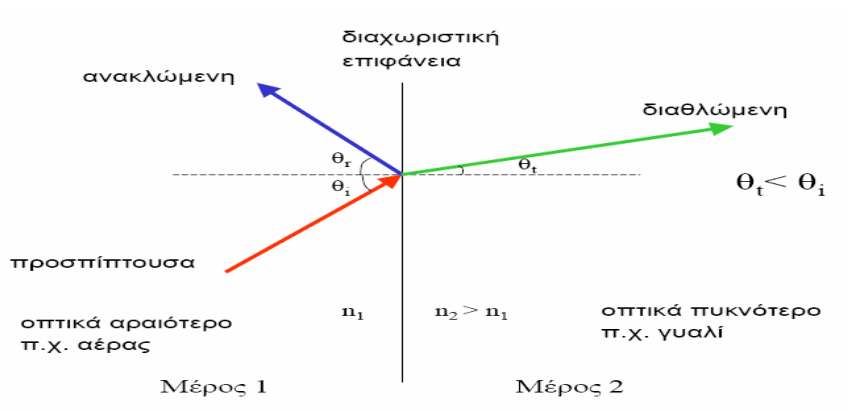
Το φως είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με κυματικά και σωματιδιακά χαρακτηριστικά. Τα τελευταία γίνονται πιο έντονα όταν αυξάνει η συχνότητα του. Για να κατανοήσουμε τις βασικές αρχές του οπτικού σήματος μέσω της οπτικής ίνας θα χρησιμοποιήσουμε τη γεωμετρική οπτική (σωματιδιακή προσέγγιση) όπου θεωρούμε το φως ως ακτίνες που διαδίδονται ευθύγραμμα. Τα δύο φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα σε μια τέτοια προσέγγιση είναι η ανάκλαση και η διάθλαση του φωτός. Αντίθετα για μια βαθύτερη ανάλυση της διάδοσης του φωτός στις οπτικές

ίνες απαιτείτε η αντιμετώπιση φωτός ως H/M κύμα. Σε μια τέτοια προσέγγιση λαμβάνουμε υπ' όψη και άλλα φαινόμενα.

Ανάκλαση και διάθλαση σε μια διαχωριστική επιφάνεια.

Θεωρούμε φωτεινή ακτίνα που προσπίπτει υπό γωνία θ_i σε μια επίπεδη διαχωριστική επιφάνεια δύο ιδανικών μέσων με δείκτες διάθλασης n_1 και n_2 αντίστοιχα (Σχήμα 1.6). Αυτό που συμβαίνει είναι ένα μέρος της φωτεινής ακτίνας να ανακλαστεί πίσω στο μέσο 1 και ένα μέρος της να διαδοθεί στο μέσο 2. Το δεύτερο φαινόμενο ονομάζεται διάθλαση του φωτός. Οι γωνίες ανάκλασης και διάθλασης με την κάθετο στην διαχωριστική επιφάνεια είναι θ_r και θ_t αντίστοιχα.

Εξετάζουμε πρώτα την περίπτωση το φως να διαδίδεται από ένα οπτικά αραιά μέσο σε ένα οπτικώς πυκνότερο δηλαδή από ένα μέσο με μικρό δείκτη διάθλασης σε ένα άλλο με μεγάλο δείκτη $n_2 > n_1$ π.χ. από τον αέρα στο γυαλί όπως φαίνετε στο σχήμα 1.6.



Σχήμα 1.6

Το σενάριο αυτό της του φωτός (από αραιό σε πυκνό) μας ενδιαφέρει μόνο κατά τη στιγμή της σύζευξης του φωτός στην οπτική ίνα δηλαδή κατά την είσοδο του φωτός στην ίνα και όχι κατά τη διάδοση του όντας αυτό στην οπτική ίνα. Οι φυσικοί νόμοι που διέπουν το φαινόμενο είναι δύο.

Νόμος της ανάκλασης. Η γωνία πρόσπτωσης είναι ίση με τη γωνία ανάκλασης $\theta_i = \theta_r$ και η ανακλώμενη ακτίνα βρίσκεται στο επίπεδο που καθορίζεται από την προσπίπτουσα ακτίνα και την κάθετο στη διαχωριστική επιφάνεια.

Νόμος της διάθλασης του Snell. Καθορίζει τη γωνία διάθλασης θ_t και δίνεται από τη σχέση .

$$n_1 \sin \theta_i = n_2 \sin \theta_t$$

ή

$$\frac{\sin \theta_i}{\sin \theta_t} = \frac{n_2}{n_1}$$

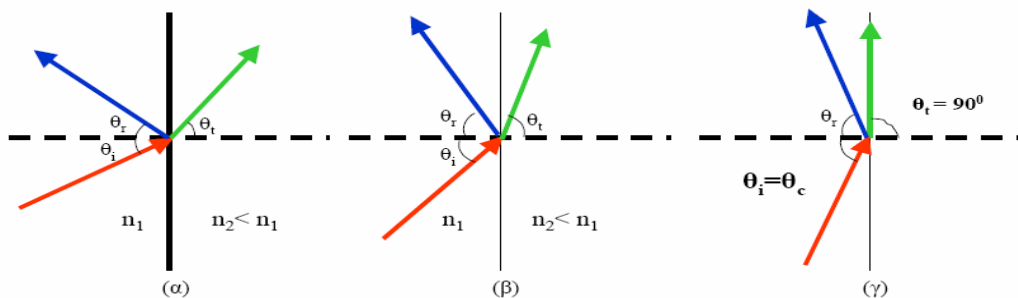
Παρατηρούμε ότι εφόσον έχουμε διάδοση φωτός από οπτικώς αραιότερο σε οπτικώς πυκνότερο ($n_2 > n_1$), είναι από το νόμο του Snell $\sin \theta_i > \sin \theta_t$ και συνεπώς η γωνία πρόσπτωσης είναι μεγαλύτερη από τη γωνία διάθλασης. Πάντα δηλαδή στη περίπτωση αυτή έχουμε διάδοση του φωτεινού σήματος και στο δεύτερο μέσο μετάδοσης.

Αντίθετα στην περίπτωση που το φως διαδίδεται από ένα οπτικά πυκνό μέσο σε ένα οπτικώς αραιότερο, δηλαδή $n_2 < n_1$, ισχύουν μεν και πάλι οι προηγούμενοι νόμοι του Snell αλλά τώρα παρατηρούμε τα εξής:

Επειδή $n_2 < n_1$ ο νόμος του Snell δίνει τώρα $\sin \theta_i < \sin \theta_t$ και συνεπώς η γωνία διάθλασης είναι μεγαλύτερη από τη γωνία πρόσπτωσης. Καθώς όμως η πρόσπτωση αυξάνεται για κάποια τιμή της $\theta_i \rightarrow 90^\circ$ η γωνία διάθλασης γίνεται $\theta_t = 90^\circ$. Δηλαδή η διαθλώμενη ακτίνα γίνεται παράλληλη με τη διαχωριστική επιφάνεια. Αυτή η γωνία πρόσπτωσης λέγεται κρίσιμη γωνία θ_{cr} . Αν η γωνία πρόσπτωσης γίνει μεγαλύτερη από την κρίσιμη $\theta_i > \theta_{cr}$ τότε δε υπάρχει καθόλου η διαθλώμενη ακτίνα (αφού η θ_t δεν μπορεί να γίνει μεγαλύτερη από 90° και ταυτόχρονα να βρίσκεται στο δεύτερο (σχήμα 1. 6). Το φαινόμενο αυτό αποκαλείται **ολική ανάκλαση**.

Συνοψίζοντας λοιπόν, μπορούμε να πούμε ότι για να συμβεί ολική ανάκλαση απαιτούνται δύο προϋποθέσεις. Πρώτον να έχουμε μετάβαση από οπτικό πυκνό σε οπτικά αραιό μέσο ($n_1 > n_2$) και δεύτερον, η γωνία πρόσπτωσης να είναι μεγαλύτερη από την κρίσιμη ($\theta_i > \theta_{cr}$).

Στο παρακάτω σχήμα, (σχήμα 1. 7) φαίνονται οι προσπίπτουσες ακτίνες φωτός από οπτικώς πυκνότερο σε οπτικώς αραιότερο μέσο (π.χ. γυαλί-αέρας).



Σχήμα1. 7.

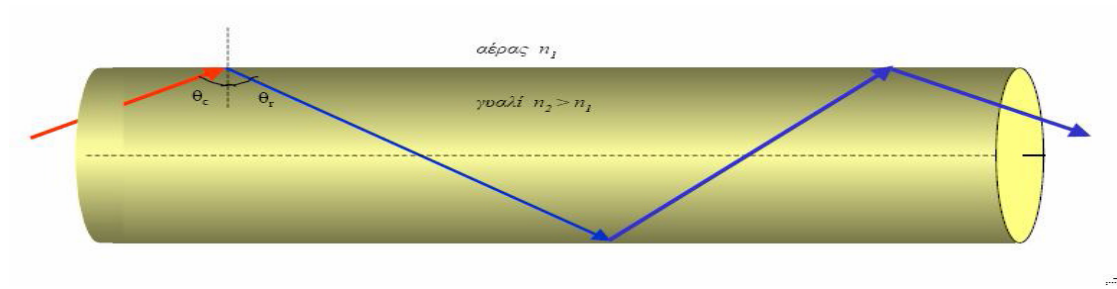
Στο παραπάνω σχήμα φαίνεται ότι καθώς η γωνία πρόσπτωσης αυξάνεται και πλησιάζει την κρίσιμη γωνία θ_c , η θ_t πλησιάζει τις 90° και φυσικά όταν $\theta_i = \theta_c$ είναι $\theta_t = 90^\circ$ (γ). Για $\theta_i > \theta_c$ συμβαίνει ολική ανάκλαση και υπάρχει μόνο η προσπίπτουσα και η ανακλώμενη ακτίνα. Από το νόμο του Snell για την περίπτωση (γ) του σχήματος 7 έχουμε, θέτοντας $\theta_t = 90^\circ$ και $\theta_i = \theta_c$ την έκφραση για την κρίσιμη

γωνία. $\sin \theta_c = \frac{n_2}{n_1}$ Το φαινόμενο της ολικής ανάκλασης είναι ο καθοριστικός λόγος

για την τεχνολογική αξιοποίηση των οπτικών ινών ως κυματοδηγών φωτεινών σημάτων στις τηλεπικοινωνίες. Όταν το φως που διαδίδεται, προσπέσει στη διαχωριστική επιφάνεια πυρήνα-μανδύα με γωνία μεγαλύτερη από τη κρίσιμη γωνία, θα υποστεί ολική ανάκλαση, δεν θα έχουμε πρακτικά διαρροή του σήματος στον αέρα (απώλειες) και θα συνεχίσει να διαδίδεται στο γυαλί. Αυτός είναι και ο λόγος φυσικά για τον οποίο ο δείκτης διάθλασης του πυρήνα της ίνας είναι ελαφρώς μεγαλύτερος από το δείκτη διάθλασης του μανδύα. Βέβαια ολική ανάκλαση θα μπορούσε να συμβεί ακόμα και σε μια γυμνή (χωρίς προστατευτικά πλαστικά) ίνα

που θα είχε σαν δείκτη διάθλασης και δε θα διαχωριζόταν σε πυρήνα και μανδύα σχήμα 1. 8.

Πράγματι θα μπορούσε να συμβεί ολική ανάκλαση στην διαχωριστική επιφάνεια γυαλιού ίνας ($n \approx 1,4$) – αέρας ($n = 1$), όμως για διάφορους λόγους η διαφορά των δύο δεικτών διάθλασης πρέπει να είναι μικρή.



Σχήμα 1. 8. Η καθοδήγηση του φωτεινού σήματος οφείλεται στο φαινόμενο της ολικής ανάκλασης.

1.3.1 Εξασθένηση.

Ένας από τους παράγοντες που επηρεάζουν την απόδοση των οπτικών ινών τόσο για τις απώλειες όσο και στον περιορισμό του εύρους ζώνης είναι η **εξασθένηση**.

Άρα ως εξασθένηση σήματος σε μια οπτική ίνα μπορεί να οριστεί ο λόγος της οπτικής ισχύος στην έξοδο της ίνας σε σχέση με την ισχύ στην είσοδο και εκφράζεται σε db/km.

Καθορίζει σε μεγάλο μέρος την απόσταση που απαιτείται για την ανάκτηση και ενίσχυση του σήματος. Η εξασθένηση της ισχύος του σήματος στο εσωτερικό της ίνας προκύπτει από τον τύπο:

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

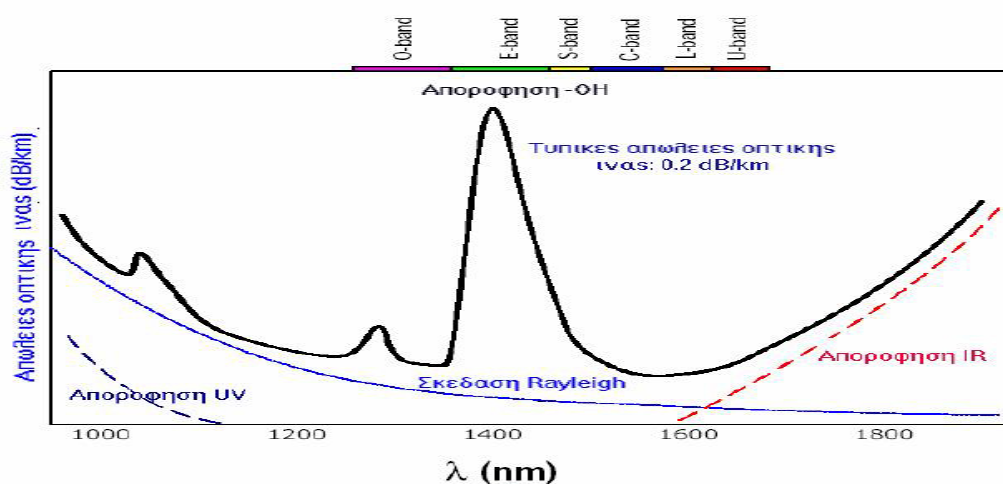
Όπου a είναι ο συντελεστής εξασθένησης και P είναι η οπτική ισχύς του σήματος. Λύνοντας την παραπάνω διαφορική εξίσωση προκύπτει .

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

Όπου P_1 είναι η οπτική ισχύς εισόδου στην ίνα το P_0 είναι η ισχύς εξόδου και L είναι το μήκος.

Συνήθως οι απώλειες στις τηλεπικοινωνίες εκφράζονται σε dB/km και ο συντελεστής εξασθένησης γράφεται εναλλακτικά.

Έτσι συμπεραίνουμε ότι διάφοροι μηχανισμοί είναι υπεύθυνη για την εξασθένηση του σήματος στην οπτική ίνα και οφείλονται στην απορρόφηση του υλικού της ίνας σε σκεδάσεις στο εσωτερικό της ίνας και στα σημεία σύνδεσης δύο οπτικών ινών.



Γράφημα 1.1 Ολική εξασθένηση σε μια οπτική ίνα.

1.3.2. Απορρόφηση και Σκέδαση.

- **Απορρόφηση(absorption).** Με τον όρο αυτό, εννοούμε τα ηλεκτρόνια που υπάρχουν που υπάρχουν στο γυαλί της ίνας, τα οποία προέρχονται από άλλες προσμίξεις και έχουν σαν αποτέλεσμα να απορροφούν μέρος της οπτικής ισχύος που μεταδίδεται. Τα ιόντα OH^- ευθύνονται σε μεγάλο βαθμό για τις απώλειες που δημιουργούνται. Απώλειες ακόμα παρατηρούμε και στην περιοχή του υπεριώδους λόγω της ιδιότητας του υλικού των ινών αλλά και στο υπέρυθρο λόγω της αλληλεπίδρασης των φωτονίων με τα μόρια του πλέγματος του γυαλιού,

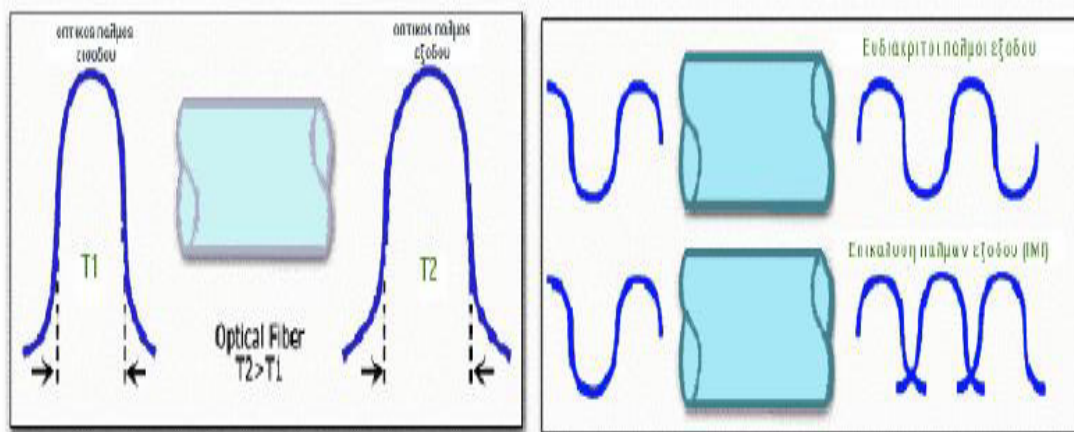
Κάποιοι άλλοι παράγοντες που μπορούν να οδηγήσουν σε απώλειες λόγω απορρόφησης μπορεί να είναι τόσο η ανομοιογένεια κατά την κατασκευή μιας ίνας όσο και κάποιες άλλες προσμίξεις.(γράφημα 1.1).

- **Σκέδαση(scattering)**.Ένα άλλο παράγοντα που πρέπει να λάβουμε υπόψη όσο αφορά το περιβάλλον των οπτικών ινών είναι και ο τρόπος που διαχέεται μια δέσμη φωτός στο μανδύα της ίνας καθώς διαδίδεται στο πυρήνα. Οφείλεται σε κάποιες διαφοροποιήσεις που τυχόν να υπάρχουν κατά τη κατασκευή του υλικού ή σε κάποια ανομοιογένεια στο δείκτη διάθλασης. Για να γίνει ποιο κατανοητή η παραπάνω περιγραφή θα πρέπει να ελέγξουμε αν οι παράγοντες που επηρεάζουν τη διάχυση μέσα στην ίνα έχουν μέγεθος μικρότερο από το μήκος κύματος ($r < 0.1\lambda$), που χρησιμοποιείτε τότε η σκέδαση χαρακτηρίζεται ως **Rayleigh** και εξαρτάται κατά πολύ από το μήκος κύματος .Υπάρχουν και άλλοι τύποι σκέδασης που εξαρτώνται λιγότερο από το λ όπως η σκέδαση **Mie**($0,1\lambda < r < 10\lambda$) και η **Tyndall**($r > 10\lambda$) που δεν εξαρτάται από το λ .Επίσης υπάρχουν και η **Raman** και η **Brillouin** σκέδαση αλλά ανήκουν στα μη γραμμικά φαινόμενα που θα αναφέρουμε ποιο κάτω. Στο γράφημα 1.1 μπορούμε να παρατηρήσουμε πως οι απώλειες μιας οπτικής ίνας εξαρτώνται από το μήκος κύματος που χρησιμοποιείται, οι περιοχές (o-band,S.C.L.U-band) βρίσκονται γύρω από τα μήκη κύματος 1.3 και 1.5 μm η ίνα στο σημείο αυτό παρουσιάζει μικρή εξασθένηση περιοχές που προαναφέραμε γνώστες ως και <φασματικά παράθυρα> χρησιμοποιούνται στην οπτική μετάδοση παράθυρα που διακρίνονται, των 13 μm με εύρος περίπου 12 THz και των 1.55 μm με εύρος περίπου 15THz χρησιμοποιούνται πλέον στα σημερινά συστήματα καθώς η τεχνολογία οδήγησε στη κατασκευή κατάλληλων φωτοπηγών κα φωτοφωρατών.

1.3.3.Διασπορά και διεύρυνση οπτικών παλμών

.Πρόκειται για ένα πολύ σημαντικό παράγοντα που επηρεάζει τη μετάδοση του σήματος στις οπτικές ίνες. Πρόκειται για τη διασπορά η οποία αποτελεί την ιδιότητα του φυσικού μέσου μετάδοσης. Οι οπτικές ίνες , και συγκεκριμένα οι μονότροπες , που χρησιμοποιούνται σε δίκτυα με μεγάλες ταχύτητες υπόκεινται σε **χρωματική διασπορά**, όπου θα αναφερθούμε στο παρακάτω κεφάλαιο η οποία προκαλεί διεύρυνση του παλμού και εξαρτάται από το μήκος κύματος. Μια άλλη περίπτωση διασποράς που εντοπίζουμε είναι και αυτή της πολωτικής κατάστασης (**polarization modedispersion-PDM**) όπου η διεύρυνση του παλμού εξαρτάται από την πόλωση. Μια τέτοια μεγάλης κλίμακας διεύρυνση των παλμών μπορεί να

προκαλέσει αυτό που αποκαλούμε (υπερχείλιση-overflow) των (timeslots) δηλαδή των χρονοθυρίδων που είναι για τα επιμέρους bits και για την επικάλυψη άλλων γειτονικών bits. Επομένως ένα πρόβλημα που μπορούμε να συναντήσουμε από τις τυχόν δυσκολίες διάκρισης του δέκτη γειτονικών bits είναι η αύξηση λανθασμένων bits στο γνωστό BER (BitErrorRate). Για να πετύχουμε τώρα την ποιότητα της μετάδοσης να διατηρηθεί όσο το δυνατόν σε υψηλά επίπεδα θα πρέπει να περιορίσουμε τη μέγιστη τιμή της χρονικής διασποράς σε ένα μικρό ποσοστό του ρυθμού bit στο σήμα που μεταδίδεται. Επομένως για να γίνει πιο κατανοητό το φαινόμενο που περιγράψαμε πιο πάνω αρκεί να παρατηρήσουμε το σχήμα 1.9, καθώς διευρύνεται το πλάτος ενός παλμού κάποια στιγμή αλληλεπικαλύπτεται με γειτονικούς παλμούς και γίνεται δυσδιάκριτος στο δέκτη με αποτέλεσμα να αυξάνεται ο ρυθμός των λαθών, άρα η διασπορά μπορεί να περιορίσει το ρυθμό διακίνησης της πληροφορίας δηλαδή το BitRate.



Σχήμα 1.9

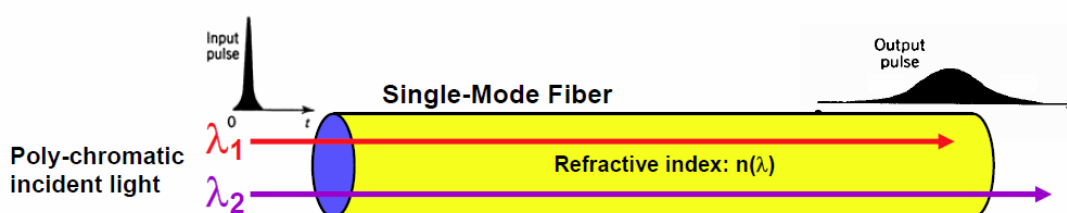
Το φαινόμενο που αποκαλούμε διασπορά στις οπτικές ίνες.

1.3.4.Χρωματική διασπορά

Γνωρίζουμε ότι φως διαδίδεται με μεγαλύτερη ταχύτητα στο κενό από 'τι σε ένα μέσο διάδοσης. Άρα η ταχύτητα διάδοσης του φωτός καθορίζεται από το δείκτη διάθλασης του μέσου διάδοσης. Έτσι λοιπόν θα έχουμε διαφορετικές ταχύτητες μετάδοσης στο εσωτερικό μιας ίνας και αυτό διότι που από τη στιγμή που ο δείκτης διάθλασης εξαρτάται από το μήκος κύματος του φωτός θα υπάρχουν και διαφορετικά μήκη κύματος που θα μεταδίδονται με διαφορετικές ταχύτητες.

Κατά γενικό συμπέρασμα λοιπόν η χρωματική διασπορά είναι η εξάρτηση του δείκτη διάθλασης από το μήκος κύματος του φωτός.

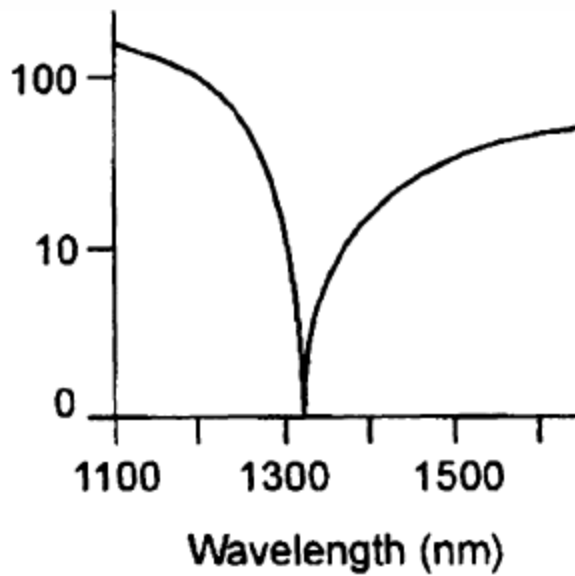
Χρησιμοποιώντας ως οπτική πηγή Laser με συνεχείς ροής φωτοδιόδοι (LED) όπου είναι φασματικά πολύ λεπτές αλλά δεν είναι μονοχρωματικές, αυτό σημαίνει ταυτόχρονα ότι οι εισερχόμενοι παλμοί θα έχουν διαφορετικές συνιστώσες μηκών κύματος με αποτέλεσμα να έχουμε διαφορετικές ταχύτητες οι οποίες είναι υπεύθυνες για τη διεύρυνση του παλμού. Από τα πιο αρνητικά χαρακτηριστικά της χρωματικής διασπορά είναι η ανάμειξη αργών μηκών κύματος ενός παλμού με τα πιο γρήγορα ενός γειτονικού παλμού προκαλώντας έτσι αλληλοπαρεμβολή των συμβόλων (*intersymbolinterference*) . Τη χρωματική διασπορά μιας οπτικής ίνας εκφράζεται σε $\text{psec}/(\text{nmKm})$ αναπαριστώντας τη διαφορετική χρονική καθυστέρηση ή το διαφορετικό χρόνο διάδοσης (σε psec), για μια πηγή με φασματικό εύρος 1 nm και μήκος οπτικής ίνας 1 Km εξαρτάται από τον τύπο της οπτικής ίνας και περιορίζει το ρυθμό bit την απόσταση μετάδοσης. Στο σχήμα 1.10 μπορούμε να διακρίνουμε τη χρωματική διασπορά σε μια μονότροπη οπτική ίνα.



Σχήμα 1.10.

Στο παραπάνω σχήμα παρατηρούμε ότι η χρωματική διασπορά είναι αποτέλεσμα δυο ειδών διασποράς, αυτής του υλικού και της διασποράς κυματοδηγού, και οι δυο αυτές μορφές έχουν σαν αποτέλεσμα διαφοροποιήσεις στις ταχύτητες διάδοσης.

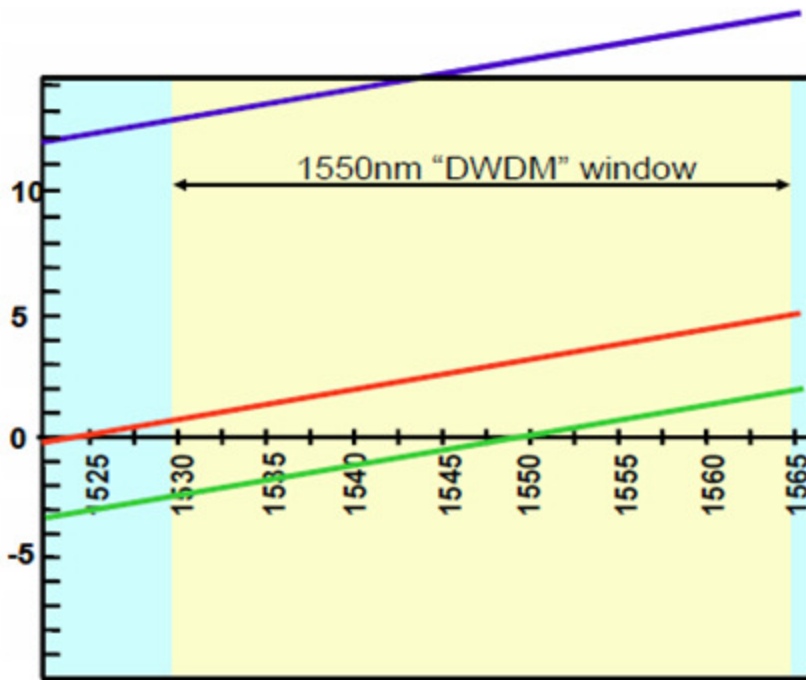
Σε ένα άλλο σχήμα μπορούμε να δούμε την επίδραση της μεταβολής του μήκους κύματος στην τιμή της χρωματικής διασποράς σχήμα 1.11.



Σχήμα 1.11

Παρατηρούμε ότι η τιμή της χρωματικής διασποράς δεν είναι σταθερή. Αντιθέτως περνά από κάποιο μήκος κύματος ή από κάποια περιοχή μηκών κύματος στην οποία μηδενίζεται. Αυτό σημαίνει πως η διασπορά δεν μπορεί να εξαλειφτεί διότι μια πηγή laser παράγει πολλά μήκη κύματος στο φάσμα μιας ίνας.

Για να μειωθεί η χρωματική διασπορά στις οπτικές ίνες ανακαλύφθηκαν και άλλοι τύποι οπτικών ινών. Στους τύπους αυτούς συμπεριλαμβάνονται και οπτικές ίνες μετατοπισμένης διασποράς (dispersionshifted), όπου έχει πραγματοποιηθεί μετατόπιση του μήκους κύματος και παρατηρείται η ελάχιστη τιμή της χρωματικής διασποράς. Στο σχήμα 1.12 μπορούμε να δούμε τη μεταβολή του προφίλ της χρωματικής διασποράς για διάφορους τύπους οπτικών ινών.



Σχήμα 1.12

1.3.4.1. Διασπορά κυματοδηγού.

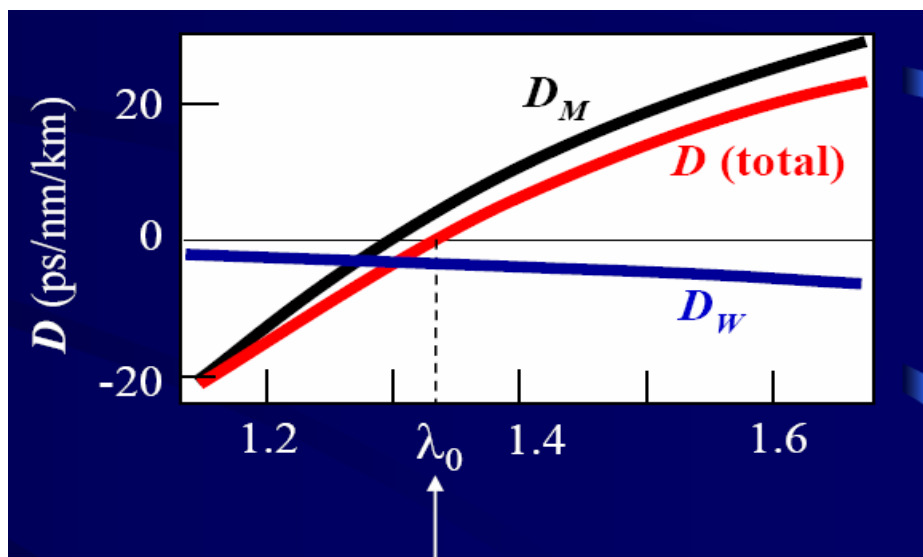
Η διασπορά κυματοδηγού χαρακτηρίζει τον τρόπο διάδοσης τόσο στις μονότροπες αλλά και σε πολύτροπες οπτικές ίνες. Δηλαδή ποιά συγκεκριμένα στη περίπτωση που το μήκος κύματος είναι μικρό η οπτική ισχύς περιορίζεται στον πυρήνα, σε διαφορετική περίπτωση όπου υπάρχουν μεσαία μήκη κύματος η οπτική ισχύς διαχέεται ελαφρά στο περίβλημα της ίνας και τέλος στα μεγάλα μήκη κύματος η οπτική ισχύς κυματοδηγείται στο μανδύα και όχι στον πυρήνα.

Αυτός ο μηχανισμός γνωστός και ως διασπορά κυματοδηγού έχει σαν αποτέλεσμα να μειώνεται ο χρόνος διάδοσης όταν αυξάνεται το μήκος κύματος διότι ο δείκτης διάθλασης η του μανδύα είναι μικρότερος από το δείκτη διάθλασης του πυρήνα με αποτέλεσμα η ταχύτητα με την οποία μεταδίδονται τα κύματα σε εκείνο το σημείο να είναι μεγαλύτερη. Η διασπορά κυματοδηγού επηρεάζει και τη χρωματική διασπορά καθώς εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά μιας οπτικής ίνας. Στη παρακάτω σχέση 1 βλέπουμε αυτό που περιγράψαμε προηγούμενος και από

το γράφημα 1.2 μπορούμε να μελετήσουμε καλύτερα τον παραπάνω μηχανισμό δηλαδή τη διασπορά κυματοδηγού.

Σχέση 1.

$$D_W = \frac{\lambda}{2\pi^2 n c} \frac{\partial}{\partial \lambda} \left(\frac{\lambda}{w^2} \right)$$



Γράφημα 1.2

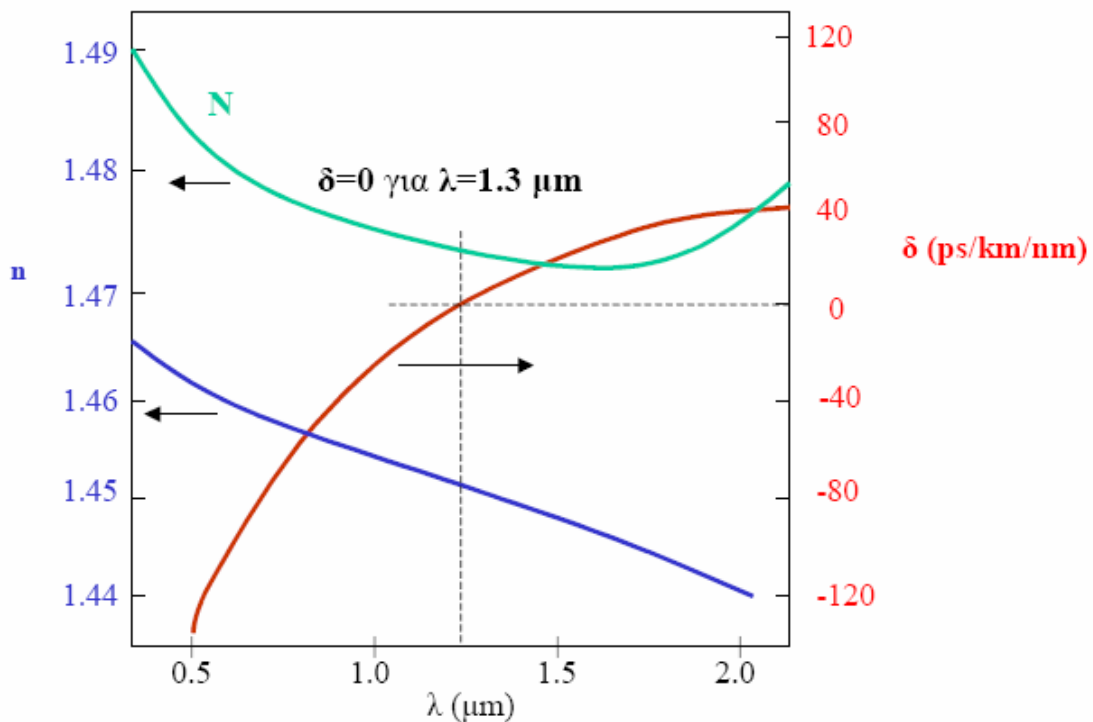
Τώρα πως μπορούμε να αντιμετωπίσουμε το πρόβλημα που καλείται διασπορά, ένας λογικός τρόπος σκέψης είναι να ποιά είναι η αιτία που γενικά όχι μόνο αναπαράγει αλλά και ενισχύει το πρόβλημα. Άρα το πρώτο πράγμα που γίνεται αντιληπτό είναι η παρουσία πολλών και διαφορετικών μήκων κύματος, επομένως θα πρέπει να εξαλείψουμε αυτό το παράγοντα χρησιμοποιώντας οπτικές πηγές που να εκπέμπουν σε ένα μόνο μήκος κύματος, αυτό κάπως δύσκολο διότι δεν υπάρχουν τέτοιες πηγές. Στη περίπτωση αυτή μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε πηγές Laser με εκπομπή σε ένα φασματικό εύρος ή και πηγές LEDs με μεγαλύτερο φασματικό εύρος.

1.3.4.2. Διασπορά υλικού.

Μια άλλη κατηγορία διασποράς που συναντάμε κατά τη μελέτη της τεχνολογίας των οπτικών ινών είναι και η διασπορά υλικού. Τι εννοούμε λοιπόν με τον όρο αυτό; Το πρώτο πράγμα που μπορούμε να κατανοήσουμε είναι ότι αναφερόμαστε σε διάφορες φασματικές συνιστώσες που περνούν μέσα από την ίνα με διαφορετικές ταχύτητες ομάδας V_g , οπότε όταν διανύσουν μια απόσταση L που συνήθως είναι και το μήκος της ίνας και μετριέται σε Km, οι συνιστώσες αυτές φτάνουν στο δέκτη καθυστερημένα. Για την καλύτερη κατανόηση τώρα της παραπάνω παραμέτρου θα πρέπει να πούμε ότι μια συνιστώσα συχνότητας F φτάνει στο άλλο άκρο της ίνας δηλαδή στο δέκτη μετά από κάποια χρονική στιγμή, που προκύπτει από τη σχέση $t = l/V_g$.

Άρα τη διεύρυνση του παλμού μπορούμε να την υπολογίσουμε αν θέσουμε ως εύρος ζώνης του παλμού $\Delta\lambda$ τότε μπορούμε να την υπολογίσουμε από τον παρακάτω τύπο :

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



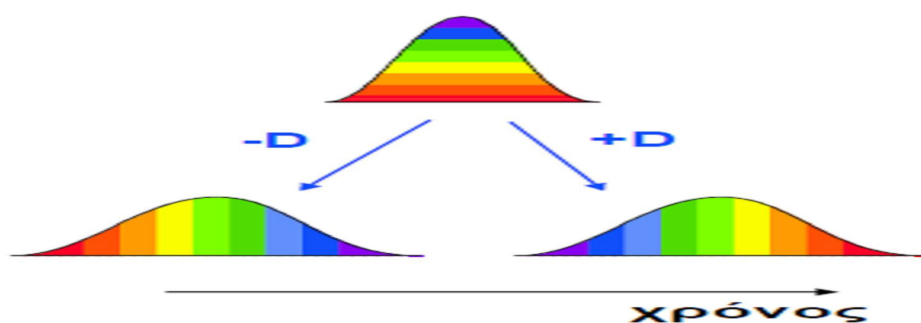
Στο σχήμα 1.13 παρατηρούμε τη μεταβολή του δείκτη διάθλασης n , του δείκτη διάθλασης N και του συντελεστή διασποράς D (δ στο σχήμα) συναρτήσεως του μήκους κύματος λ για μονότροπη ίνα.

D = Η παράμετρος αυτή μας δίνει τη διασπορά της ίνας ανά μονάδα μήκους της ίνας και ανά μονάδα μήκους κύματος και εκφράζεται σε μονάδες από τη σχέση $\frac{ps}{Km \cdot nm}$

Τώρα για να βρούμε το συντελεστή διασποράς υλικού D έχουμε :

$$Vg = \frac{c}{N} \text{ όπου } N = n - \lambda \cdot \frac{dn}{d\lambda}$$

Οπότε από το γράφημα 1.14 όπου βλέπουμε τη διασπορά υλικού για θετικές τιμές του D τα μεγαλύτερα μήκη κύματος (με κόκκινο χρώμα) είναι τα ταχύτερα από τα μικρότερα (ιώδες χρώμα) ενώ για αρνητικές τιμές τα μικρότερα μήκη κύματος είναι ταχύτερα.



Γράφημα 1.14.

Άρα από το παραπάνω σχήμα προκύπτει.

$$D = \frac{d \frac{1}{Vg}}{d\lambda} = \frac{1}{c} \cdot \frac{dN}{d\lambda} \Rightarrow D = \frac{\lambda}{c} \cdot \frac{d^2 n}{d^2 \lambda}$$

Άρα συμπεραίνουμε ότι η διασπορά υλικού Δt οφείλεται στην εξάρτηση του δείκτη διάθλασης $n=n(\lambda)$ από το μήκος κύματος (σχήμα 1.13). Το γεγονός αυτό μας δίνει

και την ταχύτητα ομάδας $V_g = V_g(\lambda)$ για κάθε χρωματική συνιστώσα που εξαρτάται από το μήκος κύματος λ .

Για την αντιμετώπιση του φαινομένου της χρωματικής (υλικού και κυματοδηγού) διασποράς, έχουν αναπτυχθεί διάφοροι τύποι μονότροπων οπτικών ινών. Οι κυριότεροι τύποι 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 επανόρθωση της διασποράς (Dispersion Compensation Fiber- DCF).**

Οπτική ίνα επίπεδης διασποράς (Dispersion Flattened Fiber-DFF).

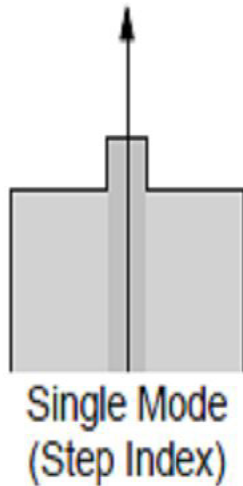
Πρόκειται για μονότροπες ίνες με μικρό συντελεστή διασποράς. Έχει μηδενική διασπορά στα 1310nm και σε αυτό το μήκος κύματος η διασπορά κυματοδηγού αντισταθμίζει τη διασπορά υλικού και με τον τρόπο αυτό έχουμε μηδενική χρωματική διασπορά.

Οπτική ίνα μετατοπισμένης διασποράς (Dispersion Shifted Fiber-DSF).

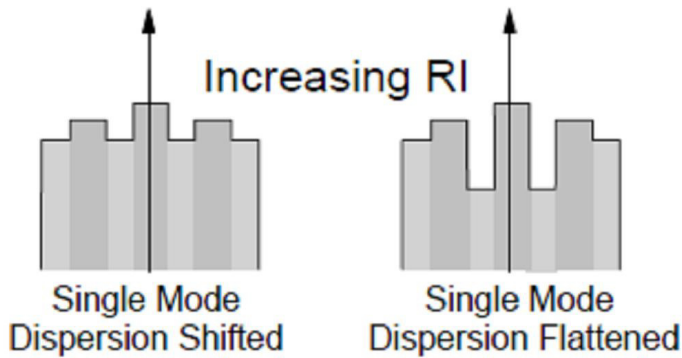
Οι οπτικές ίνες αυτής της κατηγορίας είναι σχεδιασμένες έτσι ώστε να παρουσιάζουν μηδενική διασπορά στα 1550nm. Η περιοχή αυτή των 1550nm παρέχει χαμηλή εξασθένηση σε σύγκριση με την περιοχή των 1310nm.

Οπτική ίνα επανόρθωσης της διασποράς (Dispersion Compensation Fiber- DCF).

Και τέλος οι ίνες αυτές έχουν μεγάλη τιμή στο συντελεστή διασποράς D σε αντίθεση με τις standard SMF αντισταθμίζοντας έτσι τη διασπορά που δημιουργείται από πολλά Km standard SMF. Στα παρακάτω σχήματα (σχήμα 1.15.1 1.15.2) παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των δεικτών διάθλασης για standard SMF DSF και DFF για μονότροπες οπτικές ίνες.



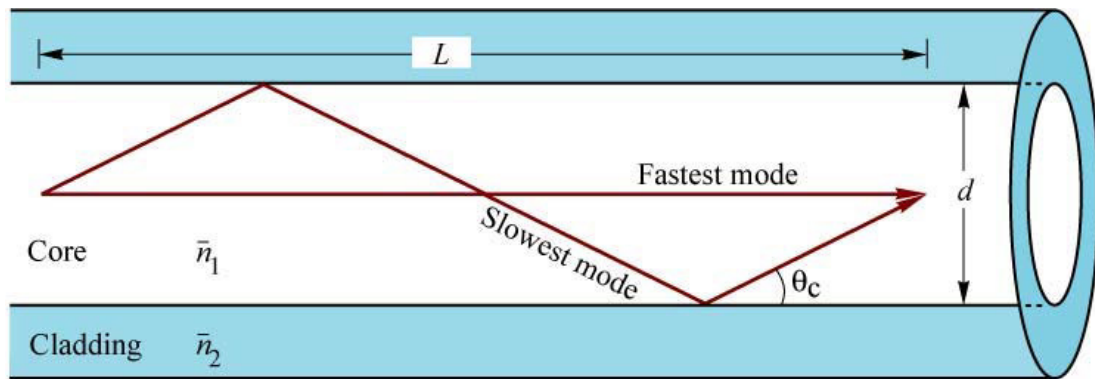
Σχήμα 1.15.1



Σχήμα 1.15.2

1.3.4.3 Διασπορά τρόπων διάδοσης.

Πρόκειται για μια άλλη κατηγορία διασποράς που συναντάμε περισσότερο σε πολύτροπες οπτικές ίνες. Η ενέργεια κάθε παλμού σε μια πολύτροπη οπτική ίνα διαχέεται με διαφορετικούς ρυθμούς που ανήκουν σε διαφορετικές ταχύτητες ομάδας. Ο κάθε ρυθμός διαδίδεται με διαφορετική ταχύτητα κάθε φορά συναντώντας διαφορετικό δείκτη διάθλασης κάθε φορά. Άρα αυτό που μπορούμε να συμπεράνουμε είναι ότι η διασπορά του τρόπου διάδοσης επηρεάζεται από την καθυστέρηση που μπορεί να υπάρχει μεταξύ των ρυθμών κατά τη διάδοσή τους. Παρακάτω θα δούμε τη μεταβολή του δείκτη διάθλασης και πως αυτή επηρεάζεται για τις κατηγορίες (κλιμακωτού, βαθμιαίου) δείκτη διάθλασης τόσο για πολυρρυθμικές και μονορρυθμικές οπτικές ίνες.



Σχήμα 1.16 Πολυρρυθμική ίνα κλιμακωτού δείκτη διάθλασης.

T_{\min} : Ελάχιστη καθυστέρηση που παρουσιάζεται κατά την αξονική διάδοση προκύπτει από.

$$T_{\min} = \frac{\text{distance}}{\text{velocity}} = \frac{L}{(c/n_1)} = \frac{Ln_1}{c}$$

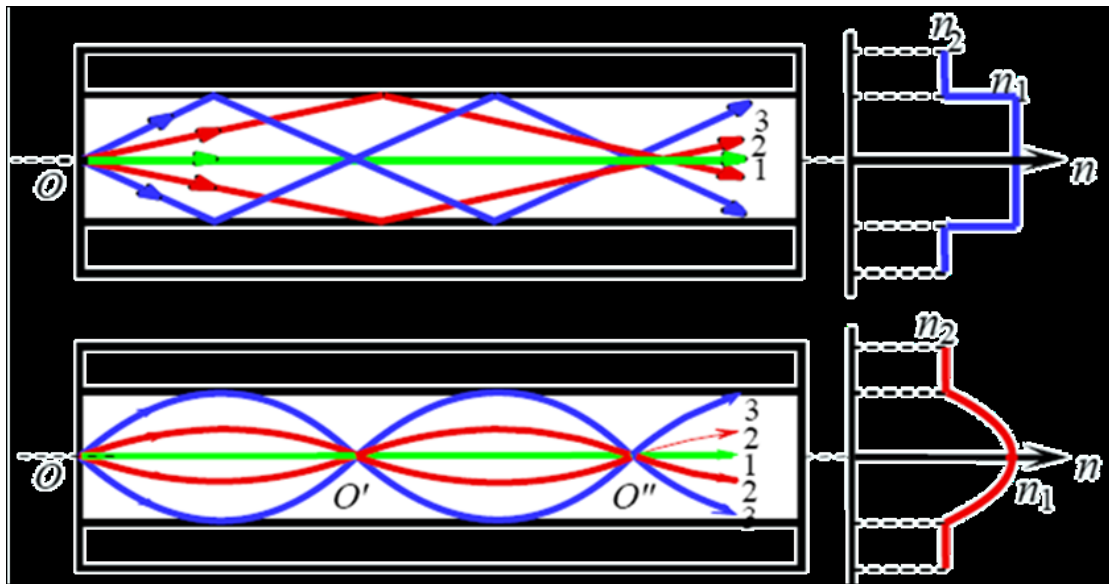
T_{\max} : Για μέγιστη καθυστέρηση του αργού ρυθμού έχουμε.

$$T_{\max} = \frac{L/\cos\theta}{c/n_1} = \frac{Ln_1}{c \cdot \cos\theta}$$

Εφαρμόζοντας το νόμο του **snell** μεταξύ πυρήνα και μανδύα $\sin\phi = \frac{n_1}{n_2} \cdot \cos\Theta_c$

και κάνοντας την αντικατάσταση έχουμε για $T_{\max} = \frac{Ln_1^2}{c \cdot n_2} \Rightarrow \delta T_s = T_{\max} - T_{\min}$

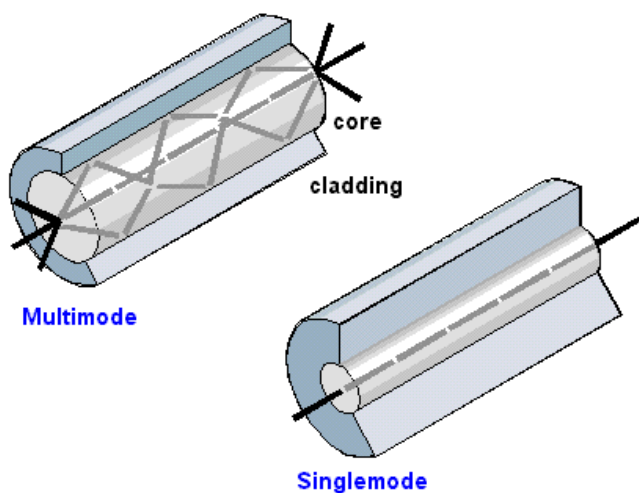
Άρα ως μέγιστη χρονική διαπλάτυνση έχουμε $\delta T_s = T_{\max} - T_{\min}$



Σχήμα 1.17.

Στη πρώτη εικόνα του σχήματος έχουμε ένα κλιμακωτού δείκτη διάθλασης και στην από κάτω εικόνα οπτική ένα δείκτη διάθλασης. Άρα από το παραπάνω σχήμα μπορούμε να συγκρίνουμε και να συμπεράνουμε ότι σε πολυρρυθμικές ίνες βαθμιαίου δείκτη είναι μικρότερη σε σχέση με μια ίνα με κλιμακωτό δείκτη.

Σε σχέση τώρα με τις πολυρρυθμικές οι μονορρυθμικές υπάρχει μόνο ένας τρόπος διάδοσης, όπου η κυματοδήγηση γίνεται κατά την αξονική διεύθυνση της ίνας (σχήμα 1.18).

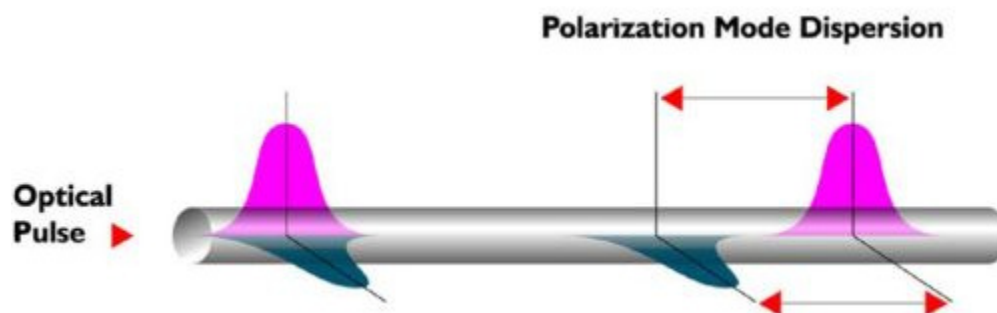


Σχήμα 1.18

Για τις πολύτροπες οπτικές ίνες η ισχύς ενός παλμού κατευθύνεται σε ίνες με σταθερούς δείκτες διάθλασης και διαμοιράζεται ανάλογα με τις διαστάσεις του πυρήνα, η διεύρυνση ενός παλμού οφείλεται και λόγω της διασπορά πλέον που υπάρχει στις χρονικές καθυστερήσεις που γίνονται σε μια τέτοιας κατηγορίας οπτική ίνα.

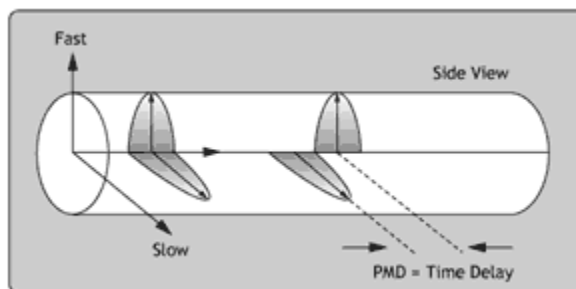
1.3.5 Διασπορά τρόπων πόλωσης.

Με τη διασπορά τρόπου πόλωσης (Polarization Mode Dispersion -PMD) παρατηρούμε τον τρόπο διάδοσης που αποτελείται από δύο καταστάσεις πόλωσης. Ποιό συγκεκριμένα η μικρή ασυμμετρία στα χαρακτηριστικά του πυρήνα έχει ως αποτέλεσμα τη διαφορά στους δείκτες διάθλασης των κάθετων αξόνων του πυρήνα (X,Y), αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οι δύο συνιστώσες πόλωσης του σήματος να ταξιδεύουν με διαφορετικούς δείκτες διάθλασης n_x και n_y και επομένως και με διαφορετική ταχύτητα κατά μήκος της ίνας, μια τέτοια κατάσταση μπορεί να χαρακτηριστεί **διπλοθλαστικότητα (birefringence)** και παρατηρώντας το σχήμα της εικόνας (1) βλέπουμε τις διαφορετικές ταχύτητες διάδοσης.



Εικόνα (1).

Έτσι συμπεραίνουμε λοιπόν ότι δυο συνιστώσες φθάνουν σε διαφορετικό χρόνο στην έξοδο της ίνας το αποτέλεσμα φαίνεται από την εικόνα (1.1).



Εικόνα(1.1).

1.4 Εφαρμογές οπτικών ινών .

Μετά και την ανάλυση που κάναμε στο κεφάλαιο 1 και στα υποκεφάλαια αναφορικά με την τεχνολογία των οπτικών ινών κατανοήσαμε πως οι οπτικές ίνες αποτελούν τη ποιό καινοτόμο τεχνολογία στο χώρο των τηλεπικοινωνιών καθώς χρησιμοποιούνται ως μέσο μετάδοσης και μεταφοράς τεράστιου όγκου πληροφοριών καλύπτοντας τις τεράστιες απαιτήσεις τόσο των απλών χρηστών όσο και μεγάλων τηλεπικοινωνιακών οργανισμών.

Οι οπτικές ίνες όπως αναφέραμε καλύπτουν σε μόνιμη βάση πολλές απαιτήσεις για γρήγορη και αποτελεσματικότερη μετάδοση δεδομένων χωρίς απώλειες σε σύγκριση με τα μέχρι σήμερα μέσα που χρησιμοποιούνται δείχνοντας με τον τρόπο αυτό ότι η εποχή και ο χώρος των οπτικών ινών μόλις άρχισε.

Πέρα όμως από τους τηλεπικοινωνιακούς χώρους χρήση των οπτικών ινών συναντάμε και σε άλλους νευραλγικούς τομείς όπως:

- εθνικές και διεθνείς τηλεφωνικές επικοινωνίες με καταποντισμό καλωδίων
- τοπικά δίκτυα ευρείας ζώνης
- ζεύξεις καλωδιακής τηλεόρασης
- ζεύξεις ραντάρ
- ζεύξεις στούντιο με τερματικά δορυφόρων
- μετάδοση σημάτων σε περιβάλλοντα ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών
- δίκτυα υπολογιστών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

2 .Μελέτη και χρήση των δικτύων οπτικών ινών.

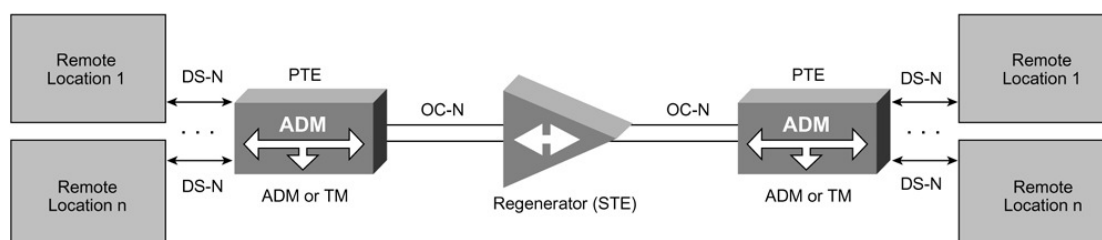
Τα τελευταία χρόνια τα δίκτυα οπτικών ινών έχουν μεγάλη εξέλιξη και ανάπτυξη, και αυτό γιατί βασίζονται κατά κύριο λόγο στην τεχνολογία των οπτικών ινών και στη δυνατότητα τους να παρέχουν εύρος ζώνης σε βαθμό που δεν μπορεί να ξεπεραστεί από κάποιο άλλο μέσο μετάδοσης. Από τους ποιο καθοριστικούς παράγοντες που καθιέρωσαν και την ραγδαία εξέλιξη των δικτύων αυτών ως καινοτόμο στο χώρο των τηλεπικοινωνιών είναι η μεγάλη κίνηση που παρατηρείται και αυξάνεται σε ανά μικρά χρονικά διαστήματα σε διάφορα κοινωνικά δίκτυα όπως το διαδίκτυο και ο παγκόσμιος ιστός . Στα δίκτυα αυτά τρέχουν πολλές υπηρεσίες ταυτόχρονος όσο αυξάνονται οι απαιτήσεις και ο αριθμός των χρηστών.

Συνδέσεις τύπου DSL παρέχουν εύρος ζώνης 1Mbps ανά χρήστη σε σύγκριση με τους ρυθμούς μετάδοσης των 56 και 128Kbps που συναντάμε σε PSTN και ISDN συνδέσεις.

Έτσι λοιπόν τα δίκτυα αυτά πέρα από τις δυνατότητες που προαναφέραμε ένα άλλο κριτήριο για την επιλογή τους και την υλοποίησή τους είναι και το οικονομικό κόστος διότι στο χώρο της ενσύρματης επικοινωνίας είναι η πιο καλή επιλογή.

2.1 Τοπολογίες δικτύων οπτικών ινών

point to point topology.

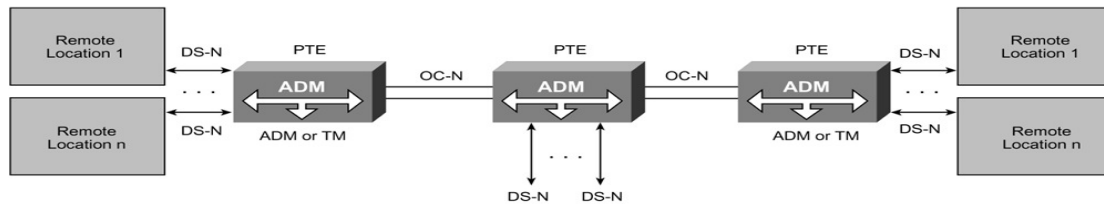


Εικόνα 2.

Η εικόνα 2 απεικονίζει την τοπολογία στην οποία μπορούμε να συνδέσουμε δυο σταθμούς .Ο αναγεννητής(Regenerator) που απεικονίζεται στη μέση του σχήματος

χρησιμοποιείτε όταν η απόσταση που θα καλύψει η ίνα, το οπτικό σήμα παρουσιάσει εξασθένηση.

point to multi point topology.



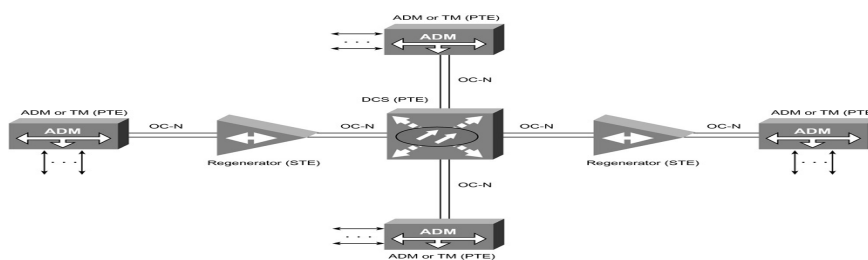
Εικόνα 2.1

Η τοπολογία της εικόνας 2.1 χρησιμοποιείται στη περίπτωση που έχουμε δυο σταθμούς και απαιτείτε η τοποθέτηση μεταξύ τους άλλων σταθμών στην περίπτωση διαχείρισης της πληροφορίας και ενίσχυσης του σήματος να φτάσει στον τελικό σταθμό.

Hub topology-Star topology

Εδώ έχουμε μια τοπολογία όπου υπάρχει ένας κεντρικός κόμβος ο οποίος είναι ο ρυθμιστής (controller). Οι ζεύξεις-links οι οποίες ενώνουν τους τερματικούς σταθμούς περνούν μέσα από το DCS (Distributed-Control-System) το οποίο είτε είναι DXC ή OXC.

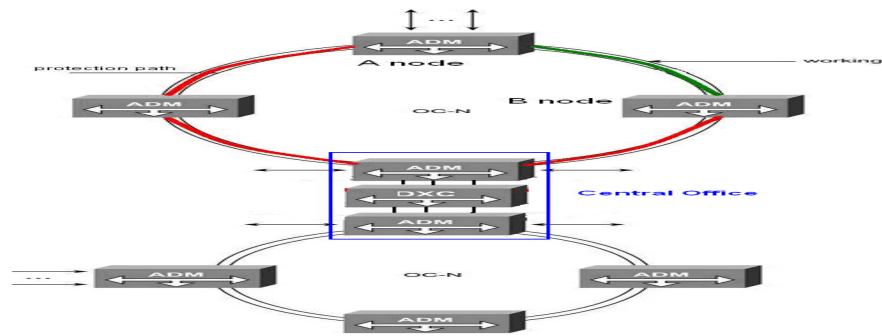
Μια τέτοια τοπολογία φαίνεται στην εικόνα 2.3.



Εικόνα 2.3

Ring Topology

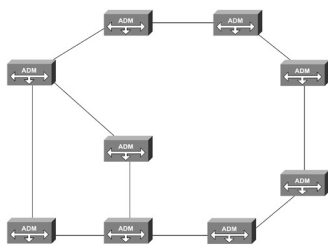
Πρόκειται για τοπολογία δακτυλίου ,επομένως έχουμε δυο εναλλακτικές διαδρομές μεταξύ αποστολέα-παραλήπτη πράγμα που αποτελεί και βασικό πλεονέκτημα αυτής της τοπολογίας .(Εικόνα 2.4)



Εικόνα 2.4

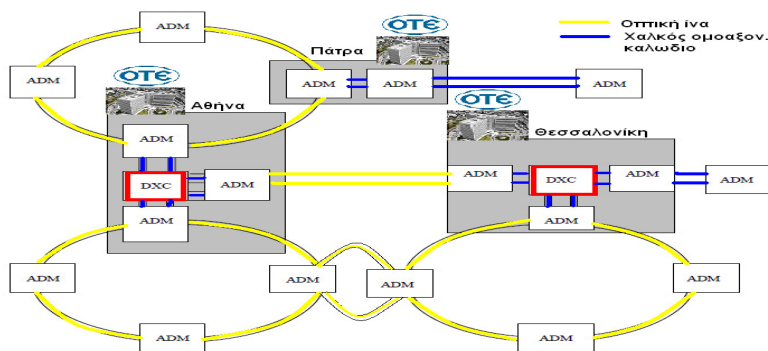
Mesh Topology

Σε αυτήν την τοπολογία υπάρχει σύνδεση μεταξύ διαφορετικών κόμβων, αλλά συναντάμε και ένα δακτύλιο ο οποίος συνδέει και άλλους κόμβους πράγμα που συνιστά την καλύτερη προστασία των δεδομένων. Στην τοπολογία της εικόνας 2.4 βλέπουμε τρεις δακτυλίους ο εσωτερικός από αριστερά και ο άλλος πάνω δεξιά και τον εξωτερικό που είναι και ο μεγαλύτερος.



Εικόνα 2.4

Και τέλος στην εικόνα 2.5 αναπαρίσται μια τοπολογία η οποία αποτελείται τόσο από οπτικούς δακτυλίους όσο και από συνδέσεις point to point.



Εικόνα 2.5

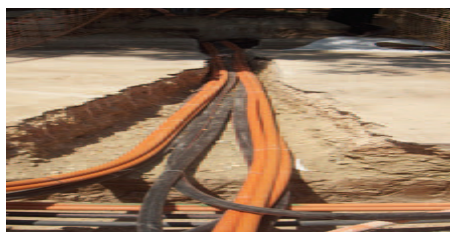
2.2 Ανάπτυξη ενός δικτύου οπτικών ινών.

Ίσως από τα ποιά σημαντικά κομμάτια κατά τη μελέτη των δικτύων οπτικών ινών είναι και αυτό της ανάπτυξης ενός τέτοιου δικτύου. Σε αυτήν εδώ την ενότητα θα αναπτύξουμε κάθε βήμα υλοποίησης, μέχρι την τελική δομή ενός δικτύου οπτικών ινών.



Ο σχεδιασμός ενός τηλεπικοινωνιακού δικτύου αποτελεί την ουσιαστική εγγύηση για την υλοποίηση του καθώς αποτελεί το αρχικό στάδιο της. Κατά το σχεδιασμό γίνεται προσπάθειά να αποφεύγονται προβλήματα που τυχόν να προκύψουν αν αυτός γινόταν μόνο πάνω σε θεωρητικά πρότυπα.

Μετά το σχεδιασμό το επόμενο που μπορούμε να κάνουμε κατά την ανάπτυξη του δικτύου είναι η μελέτη και η έρευνα του χώρου όπου θα τοποθετηθούν τα καλώδια, και τις περισσότερες φορές, είναι το υπέδαφος, με μια τεχνική που μπορούμε να την αποκαλέσουμε και ως **εδαφοέρευνα** με την οποία μπορούμε να αποφύγουμε τυχόν άλλες γραμμές τρίτων προσώπων που να βρίσκονται στο ίδιο σημείο, όλη διαδικασία γίνεται από σύγχρονα μηχανήματα και εξοπλισμό. Στη συνέχεια αρχίζει η σταδιακή μετάβαση στο πρακτικό μέρος της υλοποίησης του έργου όπου είναι η εκσκαφή και τοποθέτηση χάνδακα (προστατευτικό περίβλημα των ινών).



Ακολουθεί η τοποθέτηση και η συγκόλληση των καλωδίων των ινών καθώς και η τοποθέτηση διαφόρων κόμβων σε εξωτερικούς χώρους για την καλύτερη λειτουργία και έλεγχο του δικτύου.



Και τέλος με την ολοκλήρωση ενός τηλεπικοινωνιακού δικτύου οπωσδήποτε δε σημαίνει και τέλος της ενασχόλησης μας με αυτό. Καθώς η προγραμματισμένη περιοδική συντήρηση ,η άμεση αποκατάσταση βλαβών ,διακοπών , και οι απαιτήσεις για τυχόν επέκταση του δικτύου αποτελούν πρόκληση σε συνεχή βάση.

2.3 Μητροπολιτικά δίκτυα οπτικών ινών.

Το Μητροπολιτικό Δίκτυο είναι ένα δίκτυο οπτικών ινών που καλύπτει αποστάσεις από μερικές δεκάδες έως μερικές εκατοντάδες χιλιόμετρα, συνήθως στηρίζεται σε τεχνολογίες SDH/SONET, Ethernet και ATM. Το Μητροπολιτικό Δίκτυο συνδέει εκατοντάδες σημεία της πόλης με τα περισσότερα από αυτά να ανήκουν σε δημόσιες ή δημοτικές υπηρεσίες, νοσοκομεία, πανεπιστημιακά ιδρύματα, στρατιωτικές εγκαταστάσεις, βιομηχανίες, μεγάλες εταιρείες κτλ. Με αυτή την τοπολογία η κάθε πόλη και οι πολίτες της αποκτούν πρόσβαση στην ευρυζωνικότητα. Το πρώτο ορατό πλεονέκτημα είναι η δυνατότητα γρήγορων συνδέσεων στο διαδίκτυο σε ανταγωνιστικές τιμές και με αισθητή μείωση του κόστους των ήδη υπαρχόντων συνδέσεων (PSTN,ISDN,ADSL). Με τα Μητροπολιτικά Δίκτυα θα προκύψουν νέες πολυάριθμες εφαρμογές ικανές να αλλάξουν την ποιότητα υπηρεσιών, το χρόνο εξυπηρέτησης και την απόδοση των επιχειρήσεων.

Σημαντικά οφέλη θα υπάρξουν και στον τομέα της υγείας έχοντας τη δυνατότητα εξέτασης ασθενών από απόσταση, άμεση μεταφορά ιατρικών δεδομένων και καθοδήγηση του προσωπικού άμεσης βοήθειας κατά τη μεταφορά του ασθενή. Θα αλλάξουν τα δεδομένα στις επικοινωνίες με τα τηλεφωνικά κανάλια σε πολύ χαμηλότερο κόστος, τη δυνατότητα μετάδοσης φωνής μέσω διαδικτύου (Voice over IP) και τηλεδιασκέψεων (videoconference). Θα βοηθήσει στην ανάπτυξη των τοπικών επιχειρήσεων παρέχοντας τη δυνατότητα για γρήγορη αναζήτηση προϊόντων, ανταλλαγή πληροφοριών και πρόσβαση σε εξειδικευμένες βάσεις δεδομένων για αναζήτηση νόμων, δικαστικές αποφάσεις, και στατιστικά στοιχεία. Θα είναι πλέον εφικτή η Τήλε-εργασία δίνοντας τη δυνατότητα να εργάζεσαι από το σπίτι σου και να παρέχεις τις υπηρεσίες σου και σε εταιρίες που βρίσκονται σε άλλη πόλη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

3 Οπτικές Διατάξεις.

Πρόκειται για τα βασικότερα στοιχεία που χαρακτηρίζουν τη λειτουργία και το τρόπο μετάδοσης στο χώρο και την τεχνολογία τόσο των οπτικών ινών αλλά και των οπτικών δικτύων.

Άρα με τον όρο οπτικές διατάξεις καλούμαστε να αναλύσουμε τα ενεργά στοιχεία που συναντάμε στα σύγχρονα οπτικά δίκτυα τα οποία παρουσιάζονται και αναλύονται στη συνέχεια.

3.1 Οπτικοί μεταδότες - Optical Transmitters.

Δύο βασικές πηγές φωτός που χρησιμοποιούμε στα οπτικά δίκτυα και στις τηλεπικοινωνίες είναι οι :

-Οι δίοδοι Laser (injection Laser diode) και.

-Οι δίοδοι LED (Light Emitting Diode).

Οι παραπάνω δίοδοι που αναφέραμε, παρέχουν ικανοποιητική οπτική ισχύς η διαμόρφωση της οποίας επηρεάζεται από τη μεταβολή του ρεύματος εισόδου. Έχουν συμβατές διαστάσεις με αυτές των οπτικών ινών παρέχοντας παράλληλα μεγάλη αξιοπιστία λειτουργίας και μεγάλη διάρκεια ζωής.

Οι δύο τύποι πηγών που αναφέραμε πιο πάνω έχουν κάποιες διαφορές μεταξύ τους οι οποίες πολλές φορές παίζουν καθοριστικό παράγοντα κατά την επιλογή τους όπως είναι για παράδειγμα :

- Το μήκος κύματος που εκπέμπεται από τη πηγή θα πρέπει να είναι μέσα στο παράθυρο που εκπέμπει η ίνα.
- Η ισχύς του οπτικού σήματος θα πρέπει να είναι μεγάλη έτσι ώστε να καλύπτεται η απόστασή μέχρι το πρώτο ενισχυτή.
- Το εύρος μηκών κύματος στο οποίο εκπέμπει η πηγή δεν θα πρέπει να έχει μεγάλο πλάτος προκειμένου να μην δημιουργούνται φαινόμενα διασποράς περιορίζοντας έτσι την ταχύτητα μετάδοσης.
- Τέλος η διοχέτευση του παραγόμενου φωτός στην οπτική ίνα θα πρέπει να είναι αποτελεσματική.

3.2 Δίοδοι Εκπομπής Φωτός - Light Emitting Diodes (LED).

Μια δίοδος εκπομπής φωτός είναι μια συσκευή επαφής ημιαγωγού n-p η οποία εκπέμπει οπτική ακτινοβολία όταν πολωθεί κατά την ορθή φορά. Οι δίοδοι αυτού του τύπου χρησιμοποιούν επαφές n-p προκειμένου να εισάγουν ηλεκτρόνια και οπές στην ίδια περιοχή του ημιαγωγού προκειμένου να παραχθεί φως μέσω του φαινομένου της αυθόρμητης εκπομπής.

Τα LED χρησιμοποιούνται συνήθως ως πηγές φωτός σε πολύτροπες οπτικές ίνες με χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης και με μικρές αποστάσεις. Δεν επηρεάζονται από τη θερμοκρασία, και έχουν χαμηλότερο κόστος κατασκευής σε σχέση με τα laser (θα αναφερθούμε στη συνέχεια).

Το φως που εκπέμπεται από μια δίοδο είναι ανάλογο με την τάση που παρουσιάζεται στη δίοδο όταν αυτή είναι ορθά πολωμένη, πετυχαίνοντας έτσι με τα LED ταχύτητες της τάξης του 1Gigabit/sec.

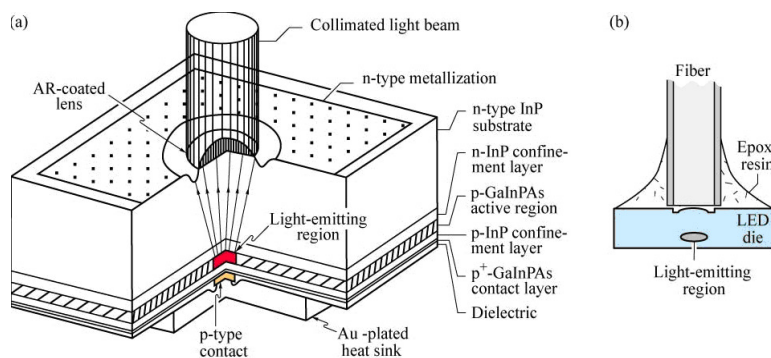
Στο πίνακα 3 βλέπουμε κάποια είδη ημιαγωγών που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή LED, και στην τελευταία γραμμή του πίνακα 3, είναι η κατηγορία ημιαγωγών που χρησιμοποιούμε στις οπτικές επικοινωνίες.

InGaN / GaN, ZnS	450–530nm
GaP:N	565nm
AlInGaP	590–620nm
GaAsP, GaAsP:N	610–650nm
InGaP	660–680nm
AlGaAs, GaAs	680–860nm
InGaAsP	1000–1700nm

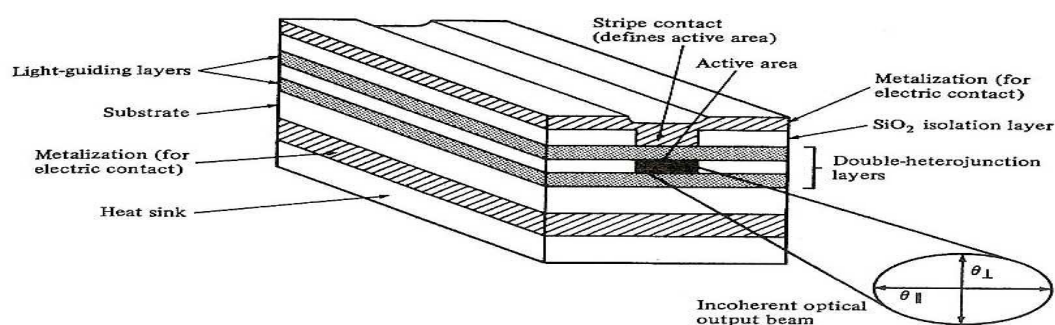
πίνακας 3.

3.2.1 Δίοδοι επιφάνειας - SLED(Surface Emitting) και Δίοδοι Ακμής-ELED(Edge Emitting)

Μια άλλη κατηγορία LED που συναντάμε στα οπτικά δίκτυα είναι και τα SLED, πρόκειται για διόδους επιφάνειας, στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 3) φαίνεται ο τρόπος σύνδεσης με την ίνα και η διαφορά με την ακτίνα φωτός που περνάει από την οπτική ίνα. Τη διάφορα αυτή την παρατηρούμε στην άλλη εικόνα (εικόνα 3.1) όπου η δέσμη φωτός στη πρώτη περίπτωση είναι ομοιόμορφη και στη δεύτερη βλέπουμε την κωνική μορφή που παίρνει πρόκειται για την άλλη κατηγορία που αναφέραμε τις διόδους ακμής, τα ELED.

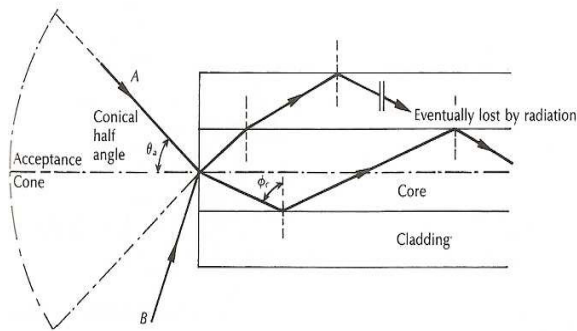


Εικόνα 3.1. Δίοδοι Ακμής ELED.



3.2.2. Πηγές φωτός και αποδεκτή γωνία (acceptable-angle)

- ❖ Ένα πολύ σημαντικό κριτήριο και από τα χαρακτηριστικότερα μιας πηγής φωτός είναι και η λεγόμενη **αποδεκτή γωνία** - acceptable angle. πρόσπτωσης της δέσμης φωτός της οποίας το κύμα διαθλάτε στο μανδύα και παίρνει τη μορφή οδηγούμενου κύματος.



Εικόνα 3.2.

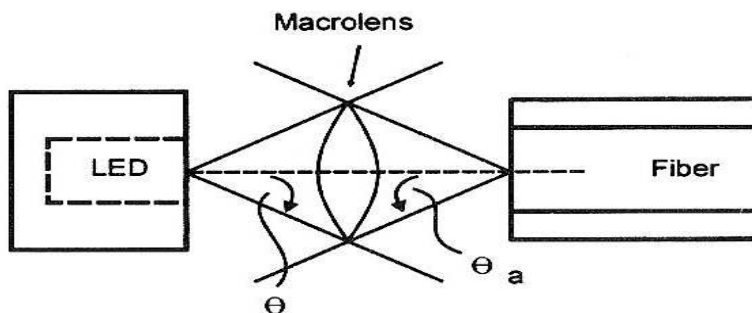
Στη παραπάνω εικόνα (εικόνα 3.2) οι δείκτες διάθλασης του πυρήνα και του μανδύα είναι n_1 και n_2 η αντίστοιχη γωνία ϕ_c , για να έχουμε ολική ανάκλαση προκύπτει από τη σχέση $\phi_c = \sin^{-1} \frac{n_2}{n_1}$,

- ✓ Έτσι η αποδεκτή γωνία θ πρόσπτωσης του οπτικού σήματος θα πρέπει να είναι εντός των ορίων $0 \leq \theta \leq \theta_\alpha$ όπου n_0 ο δείκτης διάθλασης του υλικού που παρεμβάλλεται μεταξύ της οπτικής πηγής φωτός και της ίνας.
- ✓ Σε πολύ κοντινή απόσταση μεταξύ LED και ίνας η μέγιστη ισχύς που μπορεί να συζευχθεί εντός της ίνας προκύπτει από τη σχέση

$$P_{coupled} = P_{ext} * NA^2$$

3.2.3 Τεχνική παρεμβολή φωτός.

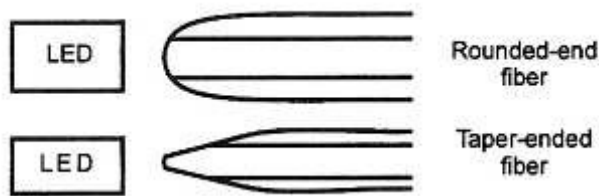
Μια άλλη τεχνική που εφαρμόζεται με σκοπό να συζευχθεί μεγαλύτερο ποσοστό εξερχόμενης ισχύος στην ίνα είναι και η παρεμβολή ενός φακού μεταξύ ίνας και πηγής φωτός, η τεχνική αυτή γνωστή και ως τεχνική παρεμβολής φακού αναπαριστάτε στη παρακάτω εικόνα. Εικόνα 3.3



Εικόνα 3.3 Τεχνική παρεμβολής φακού.

3.2.3.1 Τεχνική λείανσης του άκρου της ίνας (*rounded end fiber και taper and fiber*)

Πέρα από την τεχνική παρεμβολής φακού που αναφέραμε, ακόμα δύο τεχνικές παρουσιάζονται που έχουν και αυτές ως στόχο τη μεγαλύτερη είναι και η λείανση του άκρου της ίνας με δύο τρόπους *rounded end fiber* και *taper and fiber* (εικόνα 3.4).

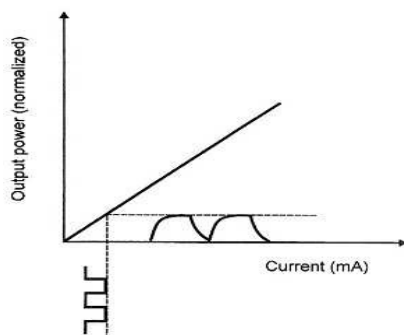


Εικόνα 3.4

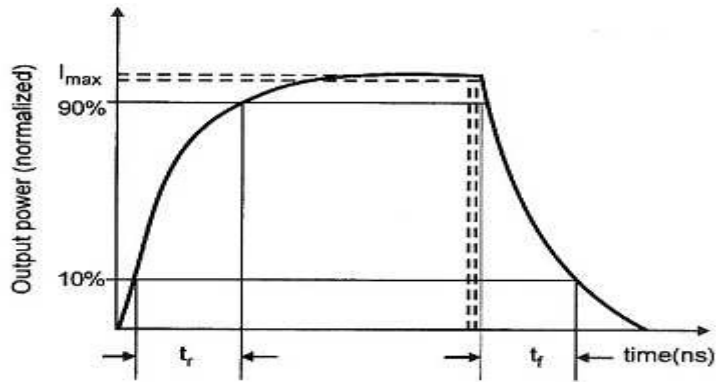
Άρα το εύρος διαμόρφωσης -Modulation Bandwidth [HZ] μας δίνει τη μέγιστη εναλλαγή ρεύματος εισόδου και άρα τη μέγιστη ροή πληροφορίας -bit rate. Το Bandwidth προκύπτει από τη παρακάτω σχέση.

$$BW = \frac{0.35}{t_r} [HZ]$$

Όπου t_r - rise time είναι ο χρόνος ανύψωσης (από 10% σε 90%) της παραγόμενης οπτικής ισχύς όταν το LED δεχθεί τετραγωνικό παλμό ρεύματος στην είσοδο του.



Γράφημα 3. Χαρακτηριστική εισόδου εξόδου πηγής φωτός.



Γράφημα 3.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά οπτικού παλμού.

Ο χρόνος ανύψωσης του LED είτε μπορεί να υπολογισθεί από τις κατασκευαστικές παραμέτρους ή μπορεί να μετρηθεί και να χρησιμοποιηθεί ως παράμετρος από τους κατασκευαστές .

Στο παρακάτω πίνακα μπορούμε να δούμε κάποια από τα χαρακτηριστικά LEDs καθώς και τεχνικά χαρακτηριστικά.(πίνακας 3.1).

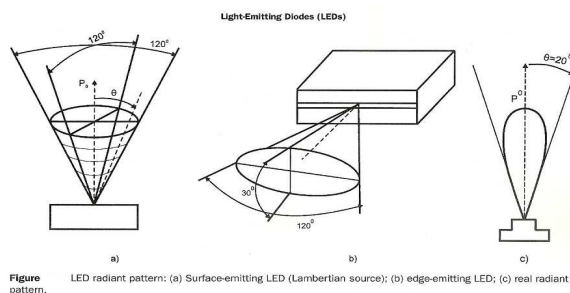
Table Typical characteristics of LEDs

Active material	Type	Radiating wavelength λ (nm)	Spectral width $\Delta\lambda$ (nm)	Output power into fiber (μW)	Forward current (mA)	Rise/fall time (ns)
AlGaAs	SLED	660	20	190–1350	20(min)	13/10
	ELED	850	35–65	10–80	60–100	2/2–6.5/6.5
GaAs	SLED	850	40	80–140	100	—
	ELED	850	35	10–32	100	6.5/6.5
InGaAsP	SLED	1300	110	10–50	100	3/3
	ELED	1300	25	10–150	30–100	1.5/2.5
	ELED	1550	40–70	1000–7500	200–500	0.4/0.4–12/12

Source: *Lightwave 1999 Worldwide Directory of Fiber-Optic Communications Products and Services*, March 31, 1999, pp. 58–61.

Πίνακας 3.1

Κλείνοντας το κεφάλαιο για τα LED , στην εικόνα(3.5) που ακολουθεί δίνετε το radiant pattern για τα δυο βασικά είδη LED που αναφέραμε...όπου στη παρακάτω εικόνα η θ είναι η γωνία στην οποία η ισχύς πέφτει κατά το ήμισυ.



Εικόνα 3.5

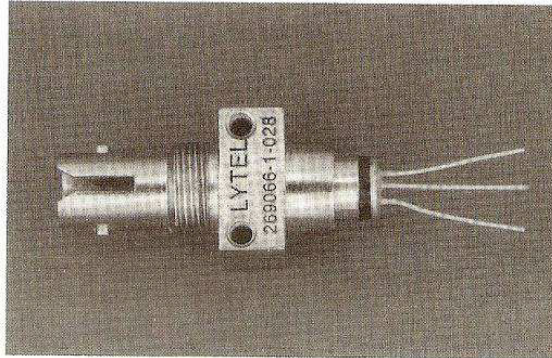
Features

- High coupled power, typically 15 μ W into 9 μ m fiber
- Wavelength centered at 1300 nm
- 0° to +65°C operating temperature
- Hermetically sealed package installed in industry standard ADMs
- High reliability

The AMP InGaAsP ELED product mounted in an ST style ADM offers high coupled power for digital fiber optic transmission applications.

Compatible with industry standards, this hermetically sealed AMP device is actively aligned for maximum coupled power and stable performance over all operating conditions.

The ST style assembly is suitable for both panel/bulkhead and PC board mounting.



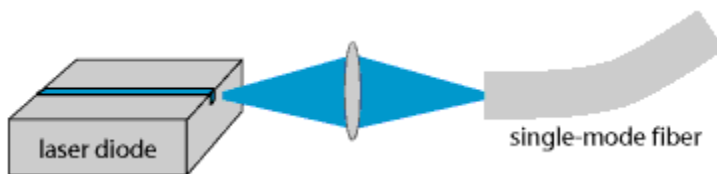
Specifications: 100mA Forward Current, 25°C

Parameter	Part No. Suffix	Test Conditions	Units	Min.	Typ.	Max.
Coupled power 9 μ m fiber	-1	—	μ W dBm	10 -20	15 -18	—
Wavelength	—	—	nm	1270	—	1330
Spectral FWHM	—	—	nm	—	85	100
Forward voltage	—	—	V	—	1.4	—
Capacitance	—	f=1MHz, 0V	pF	—	15	—

Εικόνα 3.6 .Αναπαράσταση ενός LED 1300nm και κάποια από τα χαρακτηριστικά του..

3.2.3.2 Δίοδοι λείζερ (Injection Laser diode - ILD).

Στα οπτικά δίκτυα η βασική πηγή φωτός είναι ο ημιαγωγός laser. Το laser τύπου ημιαγωγού χρησιμοποιείται ευρύτατα σε περιπτώσεις μονότροπης ίνας. Ο τρόπος λειτουργίας του laser έχει ως χαρακτηριστικό την εκπομπή φωτός προς δύο κατευθύνσεις, όπου η μία κατεύθυνση εστιάζει την ίνα μέσω κατόπτρου ενώ η άλλη πέφτει σε μια φωτοδίοδο η οποία είναι κατάλληλα στραμμένη για να μειωθούν οι ανακλάσεις προς την κοιλότητα του laser όπως φαίνεται και στην εικόνα 3.7.



Εικόνα 3.7 Σχηματικό Laser.

Τώρα στα βασικά χαρακτηριστικά των ημιαγωγών laser μπορούν να συμπεριληφθούν τα εξής :

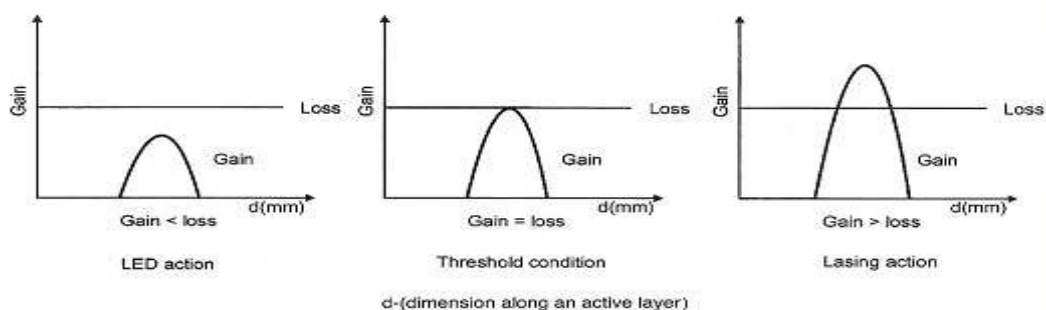
- ✓ Ικανοποιητική ισχύς εξόδου.

- ✓ Ο τρόπος και ο ρυθμός διαμόρφωσης του οπτικού σήματος για την αναπαράσταση των ψηφιακών δεδομένων .
- ✓ Η ακρίβεια στο μήκος κύματος που εκπέμπει.
- ✓ Το εύρος φάσματος προτιμάται να είναι όσο το δυνατόν περιορισμένο. Η ικανότητα για όσο το δυνατόν μονοχρωματική εκπομπή έτσι ώστε να ελαχιστοποιείτε η διασπορά αφενός και αφετέρου τη δυνατότητα να επιτρέπεται η παράθεση καναλιών πολλαπλών μηκών κύματος WDM.
- ✓ Το διάγραμμα κατευθυντικότητας της ισχύος εξόδου θα πρέπει η NA να είναι μικρότερη από αυτή της οπτικής ίνας.
- ✓ Χρόνος ζωής.
- ✓ Κόστος

Τώρα θα παρουσιάσουμε και κάποια πλεονεκτήματα από τη χρήση των laser έναντι των LED.

- Το φασματικό εύρος τους είναι πολύ ποιο στενό-narrow. Σε σχέση με τα LED όπου το φασματικό εύρος αυξάνει όσο το εκπεμπόμενο μήκος κύματος μεγαλώνει.
- Τα εκπεμπόμενα φωτόνια που παράγονται από τα laser έχουν ορισμένη κατεύθυνση με αποτέλεσμα να είναι πιο αποδοτικά σε σχέση με αυτά των LED τα οποία κινούνται σε οποιαδήποτε κατεύθυνση
- Η ακτίνα φωτός που παράγεται από τα Laser είναι πολύ στενή σε σχέση με την ακτίνα των LED. .όπως βλέπουμε και στο γράφημα 3.2.
-

Ποσοστό απωλειών οπτικού σήματος σε σχέση με την ωφέλιμη ισχύς.



Γράφημα 3.2

- Τα φωτόνια που παράγονται είναι σε φάση δηλαδή να έχουμε εκπομπή φωτός συνεκτική-coherent.

🚦 Άρα από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι τα laser παρουσιάζουν στενό φασματικό εύρος ,υψηλή ισχύ, υψηλό βαθμό κατευθυντικότητας και συνεκτικότητα. Έτσι ένας από τους λόγους που χρησιμοποιούμε τα laser σε μακρινές αποστάσεις.

Κατηγορίες Laser.

Εδώ αναφέρουμε δύο βασικές κατηγορίες laser που χρησιμοποιούνται ευρέως ,και είναι τα μονολιθικά laser- Fabry-perot και τα laser κατανεμημένης ανάδρασης - D.F.B(distributed feedback).

Ένας δεύτερος τύπος laser είναι κατάλληλος για WDM διότι εκπέμπει μονοχρωματικό φώς .Επίσης έχει ικανοποιητικό λόγο σήματος προς θόρυβο, καλή γραμμικότητα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης .

3.2.3.3. Συστατικά στοιχεία ενός laser.

Ένα Laser αποτελείται από κάποια βασικά στοιχεία τα οποία είναι.

- **Το ενεργό μέσο.**
- **Το οπτικό στοιχείο.**
- **Τον μηχανισμό εξόδου,**
- **Τρόποι άντλησης του ενεργού υλικού.**

Το ενεργό μέσο αποτελεί το φυσικό μέσο το οποίο μπορεί να είναι σε υγρή, στερεή η και αέριο .Αποτελείται άτομα ή μόρια τα οποία διεγείρονται σε μια ανώτερη ενεργειακή κατάσταση.

Το οπτικό στοιχείο αποτελείται από δύο κάτοπτρα εξασφαλίζοντας τον κλάδο ανάδρασης .Το ένα από τα δυο έχει 100% αντανakλαστικότητα επιτρέποντας την έξοδο της ακτινοβολίας. Το μέρος της ακτινοβολίας που φεύγει από το δεύτερο καθρέφτη αποτελεί και την ακτινοβολία laser.

Ο μηχανισμός εξόδου στην ουσία είναι το σύστημα εξόδου όπου ένα από τα δύο κάτοπτρα ,και συγκεκριμένα αυτό ,με τη μικρότερη ανακλαστικότητα <100%. Το

υπόλοιπο μέρος της ακτινοβολίας εξέρχεται από την κοιλότητα και αποτελεί την ακτινοβολία laser. Επομένως παρατηρούμε ότι στην κατηγορία των laser συνεχούς λειτουργίας το μεγαλύτερο μέρος της ακτινοβολίας παραμένει μέσα στην κοιλότητα , ενώ στην άλλη κατηγορία, δηλαδή των παλμικών laser το μεγαλύτερο μέρος βγαίνει από την κοιλότητα σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή και με τη μορφή παλμού.

Τρόποι άντλησης του ενεργού μέσου.

Συχνά η διέγερση του ενεργού μέσου μπορεί να αναφερθεί και ως άντληση. Πρόκειται για μια σημαντική διαδικασία καθώς η διαδικασία της άντλησης είναι καθοριστική για τη δημιουργία του φαινομένου του laser καθώς μέσω αυτής παρέχεται η απαιτούμενη ενέργεια ώστε τα άτομα του ενεργού μέσου να διεγερθούν και να προκληθεί αντιστροφή πληθυσμού. η όλη αυτή διαδικασία γίνεται με τους παρακάτω τρόπους.

- **Οπτική άντληση** : Η προσφερόμενη ενέργεια είναι υπό μορφή φωτονίων ,οπού τα φωτόνια μπορεί να προέρχονται από λυχνίες ή laser.
- **Ηλεκτρική διέγερση αερίου**: Χρησιμοποιείται συνήθως στις περιπτώσεις όπου το ενεργό μέσο είναι αέριο. Καθοριστική σημασία παίζει ο ελεύθερος ρόλος των ηλεκτρονίων , καθώς η υψηλή τάση που εφαρμόζεται στα άκρα έχει σαν αποτέλεσμα την επιτάχυνση τους λόγω υψηλού δυναμισμού. Κατά την κίνηση τους συγκρούονται με άτομα του αερίου και τα διεγείρουν επιταχύνοντας έτσι την αναστροφή των πληθυσμών.

3.2.3.4 Ιδιότητες Δέσμης Laser.

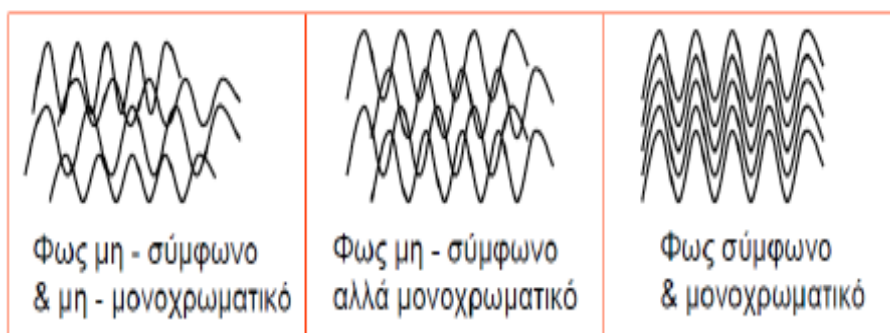
Μετά και από την περιγραφή του τρόπου λειτουργίας που έγινε παραπάνω όσο αφορά το φαινόμενο laser , η δέσμη laser χαρακτηρίζεται από έναν υψηλό βαθμό που σχετίζεται από :

- ✓ Μονοχρωματικότητας.
- ✓ Συμφωνίας.
- ✓ Κατευθυντικότητας.
- ✓ Λαμπρότητας.

Μονοχρωματικότητα : Πρόκειται για μία ιδιότητα η οποία οφείλεται στο γεγονός ότι ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα f συχνότητας μπορεί να ενισχυθεί και ότι το σύστημα των δύο κατόπτρων σχηματίζει μια κοιλότητα συντονισμού ,όπου 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 όπως παρατηρείτε στην αυθόρμητη εκπομπή.

Συμφωνία : Εάν θεωρήσουμε μια ακτινοβολία με τη μορφή δέσμης, τότε διακρίνουμε δύο τύπους συμφωνίας ,τη **χρονική** και τη **χωρική** συμφωνία .Όταν λέμε χρονική συμφωνία, εννοούμε την επιλογή σημείων με σταθερή διαφορά φάσης κατά μήκος της διάδοσης της φωτεινής δέσμης .ενώ στην περίπτωση της χωρικής συμφωνίας παίρνουμε πάλι σημεία με σταθερή διαφορά φάσης πάνω μέτωπο κύματος της ακτινοβολίας και κάθετα προς τη διεύθυνση διάδοσης της φωτεινής δέσμης, στο γράφημα(3.3) βλέπουμε τη σύγκριση με συμβατικές πηγές φωτός τη δέσμη φωτός , η δέσμη laser χαρακτηρίζεται από υψηλό βαθμό χωρικής και χρονικής συμφωνίας.



Γράφημα 3.3 Βαθμός συμφωνίας χρονικής και χωρικής.

Κατευθυντικότητα : Η διαδικασία αυτή είναι άμεσο επακόλουθο του γεγονότος ότι ενεργό υλικό τίθεται σε μια κοιλότητα συντονισμού. Στην ουσία μόνο ένα διαδεδομένο κατά μήκος της διεύθυνσης της κοιλότητας μπορεί να διατηρείται στην κοιλότητα.

Λαμπρότητα: Ορίζουμε την λαμπρότητα μιας δεδομένης πηγής ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων ως την ισχύ που εκπέμπει ανά μονάδα επιφάνειας και σταθεράς γωνίας .Γενικά το laser σε σχέση με τις συμβατικές πηγές φωτός , σχηματίζουν εικόνες πολύ υψηλής πυκνότητας ενέργειας που μεταφέρεται από την 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.

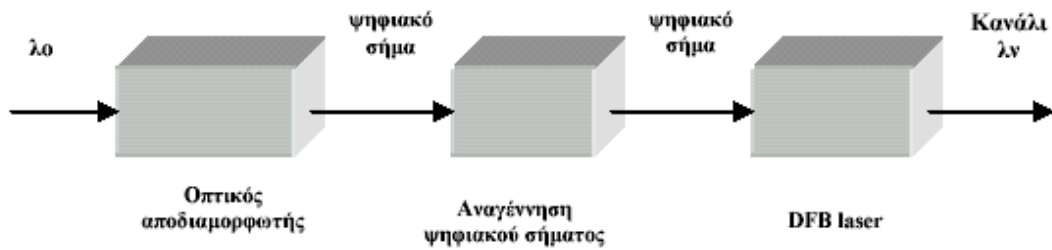
3.2.3.5. Εφαρμογές των Laser.

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 (τρισεπίστροφη απεικόνιση).
- Πολεμική βιομηχανία.

3.3. Αναμεταδότες (Transponders).

Η βασική τους ιδιότητα είναι να δημιουργούν οπτικά σήματα που να είναι συμβατά με την τεχνολογία WDM. Τα οπτικά σήματα που παρέχονται στους αναμεταδότες προέρχονται από αλλά οπτικά δίκτυα μη ικανοποιώντας τις ανάγκες των WDM συστημάτων. Επόμενος κάθε αναμεταδότης κάθε φορά που λαμβάνει ένα οπτικό σήμα εξάγει ένα ψηφιακό και αυτό γίνεται με την διαδικασία της ηλεκτροοπτικής αποδιαμόρφωσης, και έτσι το ψηφιακό σήμα που διαμορφώνεται δημιουργεί ένα laser του οποίου τα χαρακτηριστικά είναι συμβατά με αυτά της τεχνολογίας. Το laser που δημιουργείται είναι συνήθως τύπου κατανεμημένης ανάδρασης (**Distributed FeedBack - DFB**) και εκπέμπει, λόγω της τεχνολογίας κατασκευής του, σε προκαθορισμένες περιοχές μήκους κύματος. Στην εικόνα (3.7) μπορούμε να διακρίνουμε την δυνατότητα που μας δίνουν οι αναμεταδότες για να τοποθετήσουμε εξασθενητές για την για την προσαρμογή της οπτικής ισχύος για τις απαιτήσεις του πολυπλέκτη και των οπτικών ενισχυτών.



Εικόνα 3.7 Δομικό διάγραμμα αναμεταδότη.

Η χρήση τώρα των αναμεταδοτών μπορεί να αποφευχθεί με τρόπο όπου τα πρὸς πολυπλεξία οπτικά σήματα να είναι συμβατά με την ζεύξη WDM που θα αναπτυχθεί. Η ανάγκη για συμβατότητα μεταξύ των διατάξεων και συστημάτων, οδηγεί την ITU-T στην υιοθέτηση συγκεκριμένων μηκών κύματος στα οποία μπορεί να εκπέμψει ένας αναμεταδότης. Τέτοια μήκη κύματος και οι αντίστοιχες συχνότητες υλοποιούν ένα πλέγμα τιμών (πίνακας 3.2) με συχνότητα αναφοράς 193.100 GHz (1552.527 nm) και απόσταση μεταξύ των συχνοτήτων $\Delta f=100$ GHz ($\Delta \lambda=0,8\text{nm}$)

f (THz)	λ (nm)	f (THz)	λ (nm)	f (THz)	λ (nm)	f (THz)	λ (nm)	f (THz)	λ (nm)
197,100	1521,020								
197,000	1521,792	195,000	1537,400	193,000	1553,331	191,000	1569,597	189,000	1586,206
196,900	1522,565	194,900	1538,189	192,900	1554,137	190,900	1570,419	188,900	1587,046
196,800	1523,338	194,800	1538,978	192,800	1554,943	190,800	1571,242	188,800	1587,886
196,700	1524,113	194,700	1539,769	192,700	1555,750	190,700	1572,066	188,700	1588,728
196,600	1524,888	194,600	1540,560	192,600	1556,557	190,600	1572,891	188,600	1589,570
196,500	1525,664	194,500	1541,352	192,500	1557,366	190,500	1573,716	188,500	1590,414
196,400	1526,441	194,400	1542,145	192,400	1558,175	190,400	1574,543	188,400	1591,258
196,300	1527,218	194,300	1542,939	192,300	1558,986	190,300	1575,370	188,300	1592,103
196,200	1527,997	194,200	1543,733	192,200	1559,797	190,200	1576,199	188,200	1592,949
196,100	1528,776	194,100	1544,528	192,100	1560,609	190,100	1577,028	188,100	1593,796
196,000	1529,556	194,000	1545,325	192,000	1561,422	190,000	1577,858	188,000	1594,643
195,900	1530,337	193,900	1546,122	191,900	1562,235	189,900	1578,689	187,900	1595,492
195,800	1531,118	193,800	1546,919	191,800	1563,050	189,800	1579,520	187,800	1596,342
195,700	1531,901	193,700	1547,718	191,700	1563,865	189,700	1580,353	187,700	1597,192
195,600	1532,684	193,600	1548,517	191,600	1564,681	189,600	1581,187	187,600	1598,044
195,500	1533,468	193,500	1549,318	191,500	1565,499	189,500	1582,021	187,500	1598,896
195,400	1534,253	193,400	1550,119	191,400	1566,316	189,400	1582,856	187,400	1599,749
195,300	1535,038	193,300	1550,921	191,300	1567,135	189,300	1583,692	187,300	1600,603
195,200	1535,825	193,200	1551,723	191,200	1567,955	189,200	1584,529	187,200	1601,458
195,100	1536,612	193,100	1552,527	191,100	1568,775	189,100	1585,367	187,100	1602,314

Πίνακας 3.2 Πλέγμα συχνοτήτων (μηκών κύματος) κατά την ITU-T.

3.4 Οπτικοί Ενισχυτές.

Οι συσκευές αυτές είναι απαραίτητες για την ενίσχυση του οπτικού σήματος, κάνοντας την χρήση τους απαραίτητη, όταν το σήμα περνά μέσα από την οπτική ίνα. Πριν την εμφάνιση των οπτικών ενισχυτών η ενίσχυση του σήματος γινόταν μέσω της ηλεκτρικής αναγέννησης, με την αλληλομετατροπή του σήματος σε

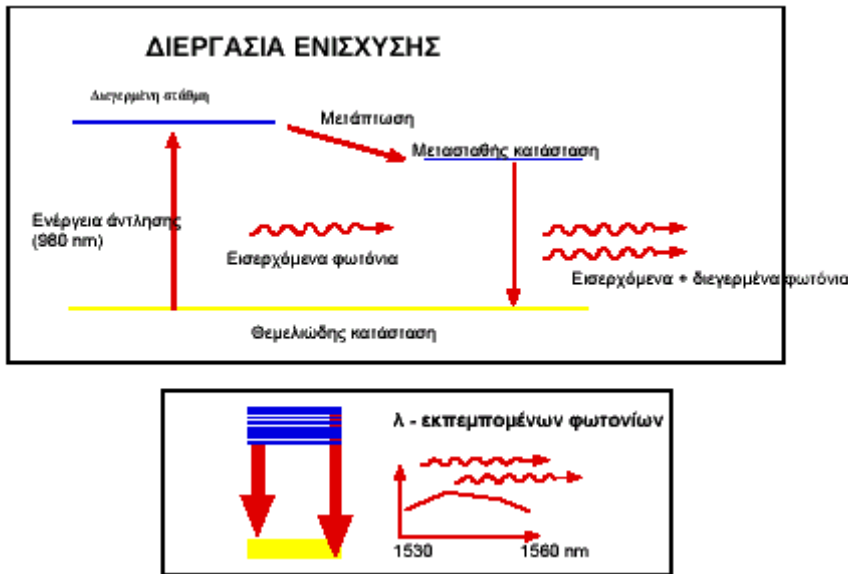
ηλεκτρικό και αντίστροφα έτσι ώστε να μεταδοθεί, η μέθοδος αυτή απαιτούσε μια ξεχωριστή συσκευή αναγεννητή (**regenerator**) για κάθε μήκος κύματος, σε αντίθεση με των οπτικό ενισχυτή που μπορεί να ενισχύει όλα τα μήκη κύματος ταυτόχρονα σε μία ίνα κατανέμοντας το κόστος ενίσχυσης σε διάφορους χρήστες και εφαρμογές.

Ένα άλλο πλεονέκτημα αυτών των διατάξεων είναι ότι λόγω της κατασκευαστικής φύσης είναι ανεξάρτητες από πρωτόκολλα και ρυθμούς μετάδοσης, παρέχοντας το πλεονέκτημα σε μία σύνδεση να υποστηρίζει διαφορετικά πρωτόκολλα και ρυθμό μετάδοσης, και εκτός των προηγούμενων πλεονεκτημάτων έχουν και χαμηλές απαιτήσεις σε ηλεκτρική ισχύς. Στη περίπτωση αυτών των συσκευών ακόμα, πάνω σε οπτικές συνδέσεις μπορούν να ενισχύουν το σήμα μετά από δραστηριότητες πολύπλεξης και αποπολυπλέξης ειδικά την τεχνολογία WDM η οποία επιβάλλει την εκπομπή υψήρουθμων σημάτων σε μεγάλες αποστάσεις.

3.5 Ινο-Οπτικός Ενισχυτής Ερβίου (EDFA).

Οι οπτικοί ενισχυτές που χρησιμοποιούνται σήμερα στα δίκτυα οπτικών ινών είναι οι Ινο-Οπτικοί Ενισχυτές Ερβίου (Erdium-Doped Fiber Amplifiers-EDFAs). Βασικό τους χαρακτηριστικό είναι ότι ο πυρήνας μιας ίνας είναι νοθευμένος με ιόντα Ερβίου. Όταν η ίνα τροφοδοτηθεί με τη δέσμη του laser άντλησης, με τη μεσολάβηση των ιόντων Ερβίου, ξεκινάει μια διεργασία <αναστροφής πληθυσμών> η οποία οδηγεί σε αμιγώς οπτική ενίσχυση των πολυπλεγμένων οπτικών σημάτων.

Ο μηχανισμός της οπτικής ενίσχυσης στους EDFAs απεικονίζεται στο σχήμα 3. Λόγω της παρουσίας των ιόντων Ερβίου στο υλικό της ίνας ενίσχυσης, δημιουργείται μια δομή τριών ενεργειακών ζωνών, με ενεργειακές διαφορές ΔE_{12} και ΔE_{31} , τέτοιες ώστε τα αντίστοιχα μήκη κύματος $\lambda_{12} = hc/\Delta E_{12}$ και $\lambda_{31} = hc/\Delta E_{31}$ να είναι ίσα με 980 nm και 1525 - 1565 nm αντίστοιχα. (Ως γνωστόν, ενεργειακή διαφορά ΔE αντιστοιχεί σε φωτόνια συχνότητας f (αντίστοιχα, μήκους κύματος $\lambda=c/f$), μέσω του τύπου $\Delta E = hf = hc/\lambda$, όπου h είναι η σταθερά του Plank).



Σχήμα 3. Μηχανισμός Οπτικής Ενίσχυσης Ερβίου.

Σχήμα 3. Μηχανισμός Οπτικής Ενίσχυσης Ερβίου.

Υπό την επίδραση της δέσμης του laser άντλησης ($\lambda_{12} = 980 \text{ nm}$), φωτόνια «μεταφέρονται» στην ανώτερη ζώνη, από την οποία «μεταπίπτουν» στην ενδιάμεση. Η ζώνη αυτή είναι μετασταθής (metastable) και, λόγω του μεγάλου χρόνου ημιζωής της ($\tau = 10 \text{ ms}$), προσφέρεται για τη «συσσώρευση» ηλεκτρονίων και τη δημιουργία κατάστασης «αναστροφής πληθυσμών» σε βάρος της βασικής ζώνης. Έτσι, μεταξύ της μετασταθούς και της βασικής ζώνης ξεκινάει μια διεργασία «εξαναγκασμένης εκπομπής» (lasing) η οποία έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία φωτονίων μικρών κύματος $\lambda = 1525\text{-}1565 \text{ nm}$ και την ενίσχυση του αρχικού οπτικού σήματος (που περιέχει τα πολυπλεγμένα κανάλια).

Επειδή αυτός ο μηχανισμός ενίσχυσης είναι ανεξάρτητος από το μήκος κύματος εντός μιας συγκεκριμένης φασματικής περιοχής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ενίσχυση σημάτων διαφορετικών μικρών κύματος στην ίδια οπτική ίνα. Έτσι, περισσότεροι τέτοιοι οπτικοί ενισχυτές μπορούν να συνδυαστούν σε σειρά για τη διάδοση του οπτικού σήματος μέσω μιας οπτικής ίνας για χιλιάδες χιλιόμετρα. Θα πρέπει να τονίσουμε ότι ο μέγιστος αριθμός ενισχυτών σε σειρά δεν πρέπει να υπερβαίνει τους έξι, λόγω θορύβου που εισάγουν και που ενισχύεται σε κάθε βαθμίδα. Επιπλέον, έχει διαπιστωθεί ότι οι οπτικοί ενισχυτές δουλεύουν ικανοποιητικά στο κομμάτι εκείνο του φάσματος στο οποίο

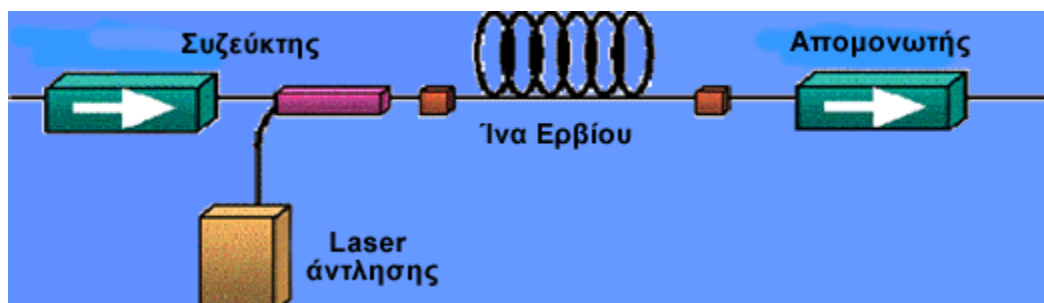
λειτουργούν τα συστήματα οπτικών ινών. Σε ό,τι αφορά τη θέση των οπτικών ενισχυτών σε μία ζεύξη WDM, διακρίνονται οι εξής περιπτώσεις:

Ο οπτικός ενισχυτής χρησιμοποιείται ως ενισχυτής ισχύος (booster amplifier ή postamplifier) μετά την έξοδο του πολυπλέκτη, προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή ενίσχυση του σύνθετου (aggregate) οπτικού σήματος.

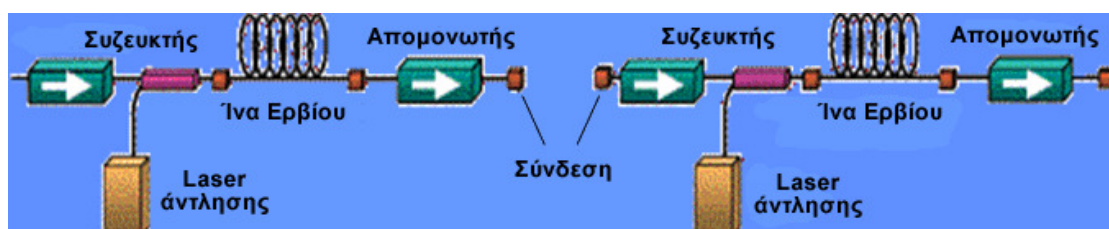
Ο οπτικός ενισχυτής χρησιμοποιείται ως ενισχυτής γραμμής (in-line amplifier) για την ενίσχυση του σήματος σε τακτές αποστάσεις (συνήθως 80-120 km).

Ο οπτικός ενισχυτής χρησιμοποιείται ως προενισχυτής (pre-amplifier) πριν την είσοδο του αποπολυπλέκτη, προκειμένου το οπτικό σήμα να αποκτήσει επαρκή ισχύ για τη διεργασία της αποπολυπλεξίας και τη λήψη των αποπολυπλεγμένων καναλιών από τους επιμέρους δέκτες.

Η βασική διάταξη ενός Ινο-Οπτικού Ενισχυτή Ερβίου φαίνεται στο σχήμα 3.1 . Στο σχήμα 3.2 φαίνεται η ενίσχυση με δύο βαθμίδες, η οποία επιτυγχάνει ενίσχυση με χαμηλό θόρυβο στην πρώτη βαθμίδα και μεγαλύτερη ενίσχυση στην δεύτερη.



Σχήμα 3.1 Βασική σχεδίαση Ινο -Οπτικού Ενισχυτή Ερβίου.



Σχήμα 3.2 Ενίσχυση με δύο βαθμίδες.

Το μειονέκτημα των EDFA είναι ότι λειτουργούν στο διάστημα 1530-1560 nm, ενώ η εξασθένιση του σήματος στην περιοχή 1500-1600nm είναι ελάχιστη. Ένα πρόσθετο πρόβλημα είναι ότι η απόσταση μεταξύ των διαφορετικών μηκών κύματος είναι πολύ μικρή, στο διάστημα 0.8-1.6nm, κάτι που προκαλεί crosstalk. Γι' αυτούς τους λόγους οδηγηθήκαμε στους Silica Erbium fiber-based Dual-band fiber amplifier (DBFA), οι οποίοι δρουν στο διάστημα 1528-1610nm. Οι DBFA ουσιαστικά είναι σαν τους EDFA με λειτουργία σε πρόσθετο διάστημα, κάτι που έχει αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με τους EDFA όπως το ότι φτάνουν στον κόρο πιο αργά και ότι εμφανίζουν λιγότερο θόρυβο.

3.6 Βασικές Παράμετροι.

Υπάρχουν αρκετές οπτικές παράμετροι που χαρακτηρίζουν ένα συγκεκριμένο οπτικό ενισχυτή. Για τον πρακτικό σχεδιασμό ενός οπτικού συστήματος είναι απαραίτητο να ληφθούν υπόψη οι παρακάτω παράμετροι:

- _ Κέρδος.
- _ Κέρδος εύρους ζώνης.
- _ Ισχύς σήματος εξόδου.
- _ Συντελεστής θορύβου.

Κέρδος

Το κέρδος ενός οπτικού ενισχυτή αναφέρεται από τον κατασκευαστή και δηλώνει τη διαφορά σε dB της ισχύος του σήματος εισόδου με τη ισχύ του σήματος εξόδου. Στον υπολογισμό του κέρδους συμπεριλαμβάνονται οι απώλειες από τον απομονωτή αλλά όχι οι απώλειες από την κόλληση του ενισχυτή στη γραμμή μετάδοσης του συστήματος. Σε εργαστηριακό περιβάλλον έχει επιτευχθεί κέρδος κοντά στα 50 dB. Οι συνηθισμένοι ενισχυτές που κυκλοφορούν στην αγορά παρέχουν κέρδος κοντά στα 30 dB.

Κέρδος εύρους ζώνης

Το κέρδος εύρους ζώνης μπορεί να οριστεί με διάφορους τρόπους. Η πιο σημαντική πληροφορία που μας παρέχει είναι η μέγιστη απόκλιση από το καθορισμένο κέρδος του ενισχυτή μέσα σε ένα συγκεκριμένο διάστημα μηκών κύματος. Τις περισσότερες φορές παρέχεται από τον κατασκευαστή ένα διάγραμμα του κέρδους του ενισχυτή σε συνάρτηση με το μεταδιδόμενο μήκος κύματος για συγκεκριμένη τιμή ισχύος εισόδου. Το διάγραμμα αυτό μας βοηθά να επιλέξουμε το κεντρικό μήκος κύματος στο οποίο θα μεταδίδει ο πομπός.

Ισχύς σήματος εξόδου

Λόγω φαινομένων κορεσμού, το κέρδος μειώνεται όταν η ισχύς εισόδου ξεπερνά κάποια συγκεκριμένη τιμή. Στην περίπτωση αυτή ο ενισχυτής δεν είναι πια ενεργός και λέμε ότι βρίσκεται σε κατάσταση κορεσμού. Είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε το ποσό της ισχύος .

Συντελεστής θορύβου

Κυριότερη συνιστώσα θορύβου είναι η ενισχυμένη αυθόρμητη εκπομπή, ASE. Κατά το φαινόμενο αυτό ένα διεγερμένο ιόν αποδιεγείρεται εξαναγκασμένα χωρίς την πρόσπτωση φωτονίου σήματος. Το ασύμφωνο φωτόνιο που παράγεται ενισχύεται κινούμενο και προς τα δυο τερματικά άκρα, με αποτέλεσμα στην έξοδο να έχουμε σήμα, άσχετο με το πραγματικό σήμα, που μπορεί να μην υπάρχει.

Το σημαντικότερο μέγεθος που χρησιμοποιείται στην πράξη για το θορυβικό χαρακτηρισμό ενός οπτικού ενισχυτή είναι ο συντελεστής θορύβου N_f που δίνεται από τον παρακάτω τύπο :

$$N_f = \frac{S / N_{\text{without amplifier}}}{S / N_{\text{with amplifier}}}$$

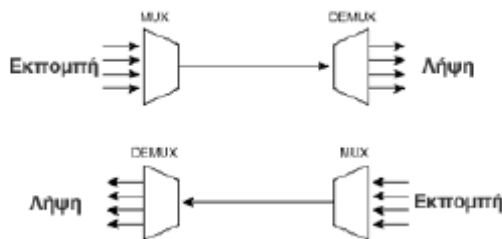
Ο συντελεστής θορύβου δίνει τη μεταβολή του σηματοθορυβικού λόγου κατά μήκος της ίνας. Καθώς ο ενισχυτής εισάγει πάντα πρόσθετο θόρυβο, είναι λογικό να αναμένουμε ότι ο N_f θα είναι πάντα μεγαλύτερος της μονάδας, δηλαδή η ίνα δε μπορεί να βελτιώσει τον SNR του σήματος. Μπορεί ναδειχτεί ότι για υψηλό σήμα εισόδου, η μεγαλύτερη πηγή θορύβου είναι ο όρος που προκύπτει από την αυθόρμητη εκπομπή ακτινοβολίας του ενισχυτή. Τότε $N_f = 2nsp$, όπου nsp είναι ο συντελεστής αυθόρμητης εκπομπής. Είναι πολύ σημαντικό να γνωρίζουμε, ότι για ένα συγκεκριμένο σήμα εισόδου, υπάρχει ένα βέλτιστο ζεύγος (μήκος ίνας, ισχύς

άντλησης) για το οποίο ο συντελεστής θορύβου παίρνει την ελάχιστη τιμή του. Αυξάνοντας το μήκος της ίνας και την ισχύ άντλησης θα έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της ASE προς την αντίθετη κατεύθυνση και τον κορεσμό του κέρδους στο μπροστινό μέρος όπου το σήμα είναι χαμηλό.

3.7 Οπτικοί πολυπλέκτες- Αποπολυπλέκτες.

Οι συσκευές πολύπλεξης και αποπολύπλεξης επιτρέπουν το συνδυασμό των εισερχόμενων σημάτων που είναι στην είσοδο και είναι για μετάδοση, καθώς και το διαχωρισμό των οπτικών σημάτων στα στοιχειώδη σήματα που τα απαρτίζουν. Συνήθως αυτές οι λειτουργίες συνδυάζονται σε μια συσκευή ,πολλές τέτοιες συσκευές λειτουργούν χωρίς ηλεκτρική ενέργεια λειτουργώντας ως παθητικά στοιχεία μέσα στο δίκτυο και συμπεριφέρονται σαν φίλτρα , διαχωρίζοντας τα μήκη κύματος του οπτικού σήματος.

Για τις διαδικασίες τόσο της πολύπλεξης και αποπολύπλεξης υπάρχει διαφοροποίηση ανάλογα με τα συστήματα μετάδοσης είναι μονόδρομης ή αμφίδρομης κατεύθυνσης (Unidirectional/Bidirectional Systems) και αυτό το παρατηρούμε στα παρακάτω σχήματα στο γράφημα 3.4.



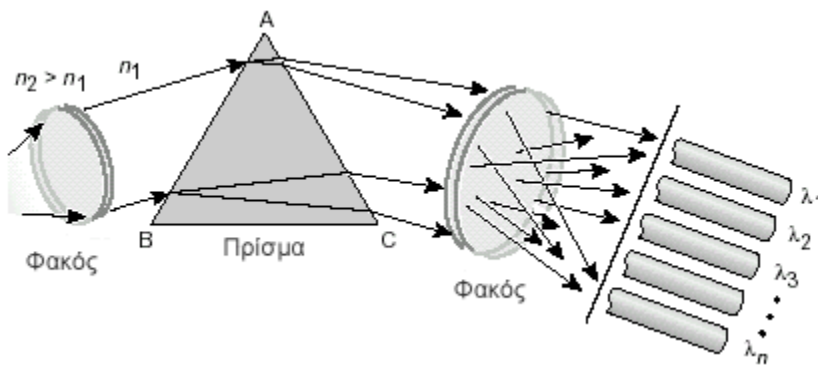
Εκπομπή/Λήψη σε διαφορετικές οπτικές ίνες.



Γράφημα 3.4 Εκπομπή/Λήψη σε ίδιες ίνες.

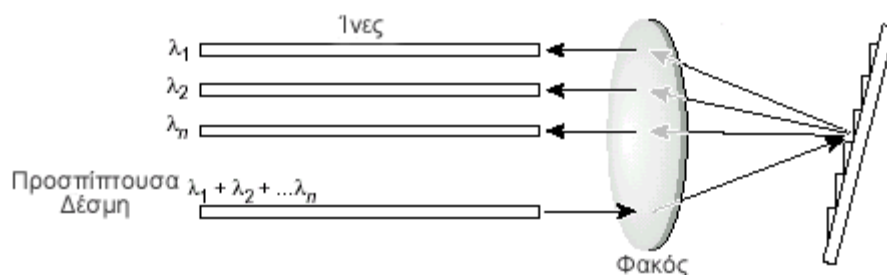
3.7.1 Συσκευές πολύπλεξης/Αποπολυπλεξίας.

Οι τεχνικές αυτές όπως απεικονίζονται παρακάτω , και οι διατάξεις που χρησιμοποιούν είναι οι ίδιες διατάξεις που μπορούν να χρησιμοποιηθούν αντίστροφα για την πολύπλεξη πολλών μηκών κύματος σε μια οπτική ίνα. Στο σχήμα 3.3 βλέπουμε μια απλή τεχνική πολυπλεξίας-αποπολυπλεξίας όπου βασίζεται στη χρήση ενός πρίσματος , μια παράλληλη ακτίνα του πολυχρωματικού φωτός προσπίπτει στην επιφάνεια ενός πρίσματος και κάθε μήκος κύματος διαθλάται με διαφορετική οπτική γωνία, πρόκειται για το φαινόμενο αντίστοιχο της ανάλυσης του φωτός όπου ένας φακός εστιάζει κάθε μήκος κύματος στο σημείο εισαγωγής ανεξάρτητος οπτικής ίνας .



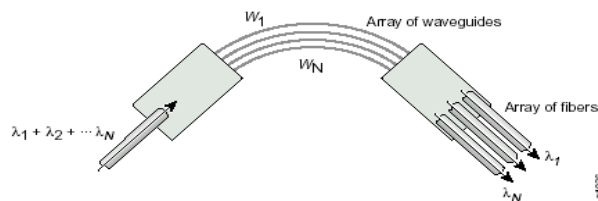
Σχήμα 3.3. Διάταξη Αποπολυπλεξής με χρήση πρίσματος(Prism Refraction Demultiplexing).

Όταν μια πολυχρωματική πηγή φωτός προσπίπτει σε οπτικό φράγμα κάθε μήκος κύματος ανακλάται με διαφορετική γωνία ,χρησιμοποιώντας ένα φακό μπορούμε να συλλέξουμε τα μήκη κύματος να τα στρέψουμε πάνω σε μεμονωμένες οπτικές ίνες (σχήμα 3.4).



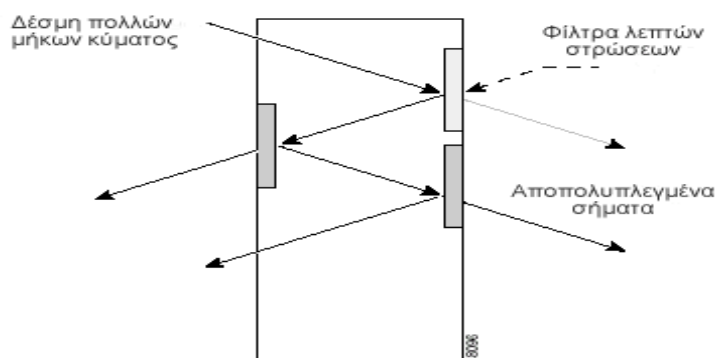
Σχήμα 3.4 Κυματοδηγός πλέγματος περίθλασης (Waveguide Grating Diffraction).

Η τεχνική του πλέγματος κυματοδηγών (AWG) είναι επίσης βασισμένη στις αρχές της συμβολής του φωτός. Μια συσκευή AWG, που πολλές φορές καλείται οπτικός κυματοδηγός δρομολόγησης ή κυματοδηγός δρομολόγησης πλέγματος, αποτελείται από μια σειρά κυματοδηγών -κυρτών καναλιών- με σταθερή διαφορά στο μήκος μετάδοσης (σχήμα 3.5).



Σχήμα 3.5. Πλέγμα Κυματοδηγών (Arrayed Waveguide Grating-AWG).

Μια διαφορετική τεχνική χρησιμοποιεί φίλτρα υψηλής επιλεκτικότητας σε συσκευές που ονομάζονται φίλτρα λεπτών στρώσεων ή φίλτρα παρεμβολής πολλαπλών στρωμάτων. Με τον προσδιορισμό θέσης των φίλτρων, που αποτελούνται από λεπτές στρώσεις διαφορετικού συντελεστή διάθλασης, τα μήκη κύματος μπορούν να αποπολυπλεχτούν (σχήμα 3.6).



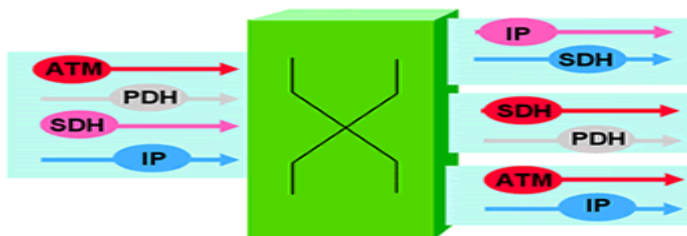
Σχήμα 3.6. Φίλτρα πολλαπλών στρωμάτων (Multilayer Interference Filters).

Οι τεχνικές AWG και των φίλτρων πολλαπλών στρωμάτων φαίνεται να υπερτερούν. Η τεχνική των φίλτρων παρεμβολής προσφέρει υψηλή σταθερότητα και απομόνωση

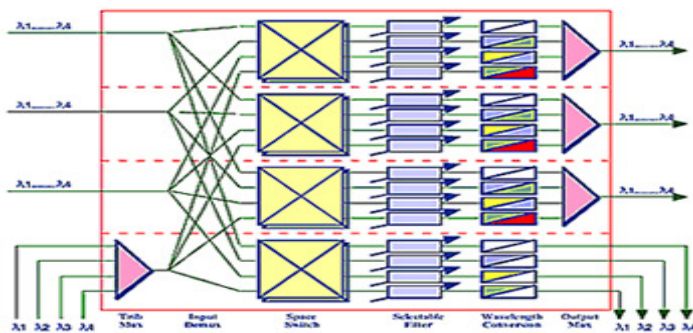
μεταξύ των καναλιών με ικανοποιητικό κόστος, έχοντας ωστόσο μεγάλες απώλειες παρεμβολής του συστήματος (insertion losses). Η τεχνική AWG έχει ως βασικότερο πλεονέκτημα τη δυνατότητα σχεδιασμού ώστε οι διαδικασίες πολύπλεξης/αποπολύπλεξης να πραγματοποιούνται ταυτόχρονα. Επιπλέον, είναι κατάλληλη όταν απαιτείται μεγάλος αριθμός καναλιών, ενώ εμφανίζει χαμηλότερες απώλειες παρεμβολής (insertion losses). Το βασικό μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι η θερμοκρασιακή ευαισθησία των διατάξεών της, καθιστώντας την έτσι ακατάλληλη για ορισμένα περιβάλλοντα.

3.8 Οπτικοί Διασταυρωτές.

Ένας οπτικός διασταυρωτής (Optical Cross Connect – OXC) είναι μια διάταξη N οπτικών εισόδων και N οπτικών εξόδων, η οποία, στην πιο εξελιγμένη της μορφή, έχει τη δυνατότητα δρομολόγησης οπτικών καναλιών (στο οπτικό επίπεδο, χωρίς εξαγωγή των ψηφιακών σημάτων από τα οπτικά κανάλια στο ηλεκτρικό επίπεδο) από οποιαδήποτε είσοδο σε οποιαδήποτε έξοδο και μάλιστα δυναμικά. Η σημασία μιας τέτοιας διάταξης, για την ανάπτυξη ευέλικτων όλο-οπτικών δικτύων (all-optical networks) είναι προφανής.



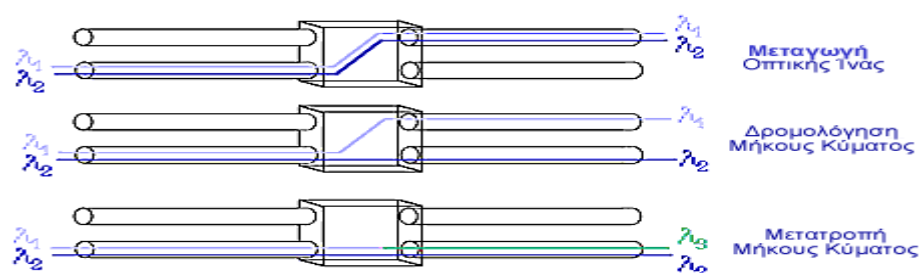
Σχήμα 3.7. Οπτικός Διασταυρωτής.



Σχήμα 3.8. Οπτικός Διασταυρωτής (Block διάγραμμα).

Στην οπτική περιοχή, όπου μπορούν να μεταδοθούν 40 οπτικά κανάλια από μία μόνο οπτική ίνα, απαιτείται ένα στοιχείο δικτύου να μπορεί να δέχεται διάφορα μήκη κύματος στις εισόδους του και να τα καθοδηγεί στις κατάλληλες εξόδους. Για να πραγματοποιηθεί αυτό ο οπτικός διασταυρωτήρας (ΟΧC) χρειάζεται τρεις δομικές μονάδες (σχήμα 3.7).

- Μεταγωγή οπτικής ίνας (fiber switching) – Η ικανότητα να καθοδηγούνται όλα τα μήκη κύματος από μια οπτική ίνα εισόδου σε μια διαφορετική οπτική ίνα εξόδου.
- Δρομολόγηση μήκους κύματος (wavelength switching) – Η ικανότητα δρομολόγησης συγκεκριμένων μήκων κύματος από μια οπτική ίνα εισόδου σε πολλαπλές οπτικές ίνες εξόδου.
- Μετατροπή μήκους κύματος (wavelength conversion) – Η ικανότητα μετατροπής επαναχρωματισμού των εισερχόμενων μήκων κύματος και η μετάδοση τους με άλλη συχνότητα στην έξοδο.



Σχήμα 3.9. Δομικές μονάδες ΟΧC.

Αν και επί του παρόντος, δεν διατίθενται οπτικοί διασταυρωτήρες από τους κατασκευαστές, αρκετές εταιρείες έχουν ανακοινώσει τη μελλοντική διάθεση των πρώτων σχετικών προϊόντων. Στα ερευνητικά εργαστήρια, έχουν δοκιμαστεί και δοκιμάζονται διάφορες τεχνικές με ελπιδοφόρα αποτελέσματα. Κύριοι στόχοι, στις προσπάθειες αυτές, είναι η μείωση του χρόνου διασταύρωσης (cross-connection time), σήμερα της τάξης των 2

– 30 ms (ανάλογα με την χρησιμοποιούμενη τεχνική), η μείωση των απωλειών

παρεμβολής (insertion losses) και η επίτευξη υψηλής (80 dB) διακαναλικής απομόνωσης(interchannel isolation) για την αποφυγή αλληλοπαρεμβολών

3.9 Δρομολόγηση Μήκους Κύματος.

Ένα οπτικό δίκτυο περιλαμβάνει δρομολογητές μήκους κύματος (wavelength switches) και τελικούς κόμβους που συνδέονται ανά ζεύγη. Οι μεταγωγείς δρομολόγησης μήκους κύματος (wavelength-routing switches) διασυνδέονται μέσω οπτικής ίνας. Παρόλο που κάθε σύνδεση μπορεί να υποστηρίξει πολλά σήματα, απαιτείται κάθε ένα από αυτά να έχει ξεχωριστό μήκος κύματος. Οι δρομολογητές (routers) μεταδίδουν το σήμα στο ίδιο μήκος κύματος με το οποίο το λαμβάνουν. Ένα πλήρως οπτικό wavelength-routed δίκτυο είναι ένα δίκτυο το οποίο μεταφέρει δεδομένα από τον ένα σταθμό στον άλλο γίνεται καμία οπτική ή ηλεκτρική μετατροπή.

3.9.1 Μεταγωγείς Μήκους Κύματος (Wavelength Switches).

Οι μεταγωγείς μήκους κύματος (wavelength switches) χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες :

- **Μη επαναδιαμορφώσιμος** μεταγωγέας: Αυτού του είδους οι μεταγωγείς, για κάθε θύρα εισόδου και κάθε μήκος κύματος μεταδίδουν προς ένα καθορισμένο σύνολο θυρών εξόδου στο ίδιο μήκος κύματος. Αυτό δε μπορεί να αλλάξει από τη στιγμή που θα διαμορφωθεί η διάταξη μεταγωγής. Τα δίκτυα που περιέχουν μόνο τέτοιους μεταγωγείς ονομάζονται μη-επαναδιαμορφώσιμα δίκτυα.

- **Επαναδιαμορφώσιμος** ανεξάρτητος από το μήκος κύματος μεταγωγέας: Αυτού του είδους οι μεταγωγείς έχουν μια σχέση εισόδου-εξόδου που μπορεί να αλλάξει δυναμικά. Αυτή η σχέση δεν εξαρτάται από το μήκος κύματος του σήματος, δηλαδή υπάρχουν καθορισμένα σύνολα θυρών εξόδου όπου μπορεί να μεταδοθεί ένα εισερχόμενο σήμα.

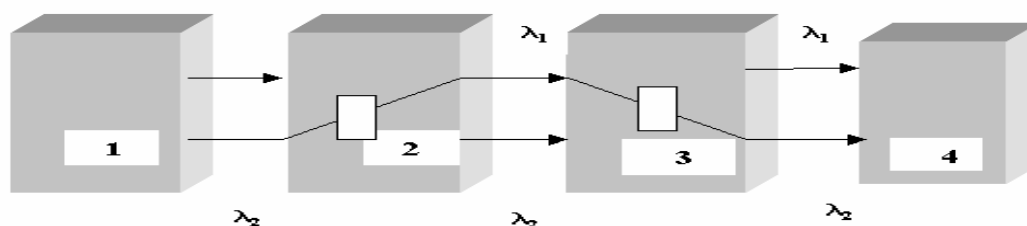
- **Επαναδιαμορφώσιμος** εξαρτώμενος από το μήκος κύματος μεταγωγέας: Αυτού του είδους οι μεταγωγείς συνδυάζουν τα χαρακτηριστικά των δύο πρώτων κατηγοριών. Είναι επίσης γνωστά ως γενικευμένοι (generalized) μεταγωγείς, και εκτός από το ότι μπορούν να αλλάξουν δυναμικά, η σχέση

εισόδου-εξόδου είναι συνάρτηση του μήκους κύματος του εισερχόμενου σήματος.

Οι επαναδιαμορφώσιμοι μεταγωγείς είναι πεπερασμένου βαθμού, ενώ οι μη-επαναδιαμορφώσιμοι μπορεί και να μην είναι. Αυτό σημαίνει ότι η πολυπλοκότητα ενός μη-επαναδιαμορφώσιμου δικτύου μπορεί να αγνοηθεί, καθώς δεν είναι σταθερού βαθμού. Αντίθετα, η πολυπλοκότητα ενός διαμορφώσιμου δικτύου είναι ισχυρά εξαρτημένη από το βαθμό περιορισμού.

3.9.2 Μετατροπή Μήκους Κύματος.

Έστω ότι το δίκτυο παρουσιάζει την εικόνα του σχήματος 3.10. Τα μήκη κύματος λ_1 και λ_2 που φαίνονται είναι ελεύθερα μεταξύ των κόμβων 1, 2 και 3 αντίστοιχα. Υπάρχουν δύο μετατροπείς μήκους κύματος, ένας στον κόμβο 2 και ο άλλος στον κόμβο 3. Στην συγκεκριμένη περίπτωση δεν είναι δυνατή η δημιουργία διαδρομής από τον κόμβο 1 στον κόμβο 4 χωρίς μετατροπή, επειδή τα διαθέσιμα μήκη κύματος είναι διαφορετικά για κάθε σύνδεση.



Σχήμα 3.10. Μετατροπή μήκους κύματος.

Θα μπορούσαμε λοιπόν να επιλύσουμε αυτό το πρόβλημα μετατρέποντας το μήκος κύματος, που χρησιμοποιούν τα δεδομένα που φτάνουν από τον κόμβο 1 στον 2, από λ_1 σε λ_2 , στη σύνδεση των κόμβων 2 και 3. Αυτή η τεχνική καλείται μετατροπή μήκους κύματος. Λειτουργικά, ένα τέτοιο δίκτυο μοιάζει με δίκτυο μεταγωγής κυκλωμάτων. Για οποιοδήποτε μοντέλο οπτικής δρομολόγησης, πρέπει να γίνεται όσο το δυνατόν αποδοτικότερη χρήση του διαθέσιμου εύρους ζώνης. Οι μετατροπείς μήκους κύματος προτάθηκαν ως λύση γι' αυτό το πρόβλημα, και παρέχουν βελτίωση της τάξης 10%-40% στην αξιοποίηση μέσω επαναχρησιμοποίησης, όταν υπάρχουν λίγα διαθέσιμα μήκη κύματος.

Υπάρχουν οι ακόλουθες δυνατότητες μετατροπής μήκους κύματος:

- Καμία μετατροπή: δεν γίνεται μετατροπή μήκους κύματος.
- Πλήρης μετατροπή: κάθε αλλαγή μήκους κύματος είναι δυνατή και επομένως τα κανάλια μπορούν να συνδεθούν ανεξάρτητα από τα διαθέσιμα μήκη κύματος.
- Μερική μετατροπή: η αλλαγή μήκους κύματος είναι περιορισμένη και δεν είναι δυνατός ο συνδυασμός όλων των καναλιών.
- Σταθερή μετατροπή: είναι προκαθορισμένες οι αλλαγές μήκους κύματος, που μπορούν να γίνουν μεταξύ των καναλιών.
- Αραιή μετατροπή: το δίκτυο περιέχει τόσο κόμβους που υποστηρίζουν πλήρη μετατροπή όσο και κόμβους που δεν υποστηρίζουν μετατροπή. Μολατούτα, η μετατροπή μήκους κύματος έχει πολύ υψηλό κόστος ως τεχνολογία και δεν είναι ρεαλιστική η θεώρηση, ότι όλοι οι κόμβοι του δικτύου θα έχουν τη δυνατότητα μετατροπής του μήκους κύματος. Επομένως, εξετάζεται περισσότερο η περίπτωση που δεν υφίσταται πλήρης μετατροπή. Οι συχνότερες περιπτώσεις που συναντώνται στη βιβλιογραφία είναι η αραιή και η περιορισμένη.

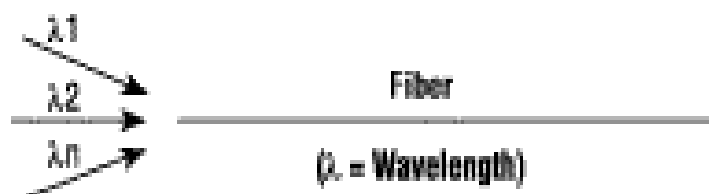
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

4. Τεχνολογία (wavelength-division multiplexing - WDM.)

Στις επικοινωνίες οπτικών ινών το wavelength-division multiplexing ή WDM (Πολυπλεξία με Διαίρεση Μήκους Κύματος) ονομάζεται η τεχνολογία κατά την οποία μπορούμε να συνδυάσουμε έναν αριθμό πολλών οπτικών σημάτων σε μία ενιαία οπτική ίνα χρησιμοποιώντας διαφορετικά μήκη κύματος (πχ τα χρώματα) του φωτός laser. Κάθε μια από αυτές τις ακτίνες μεταφέρει διαφορετική ροή δεδομένων και η πολυπλεξία τους οδηγεί σε πολλαπλάσιο εύρος ζώνης μετατρέποντας μια οπτική ίνα σε πολλαπλές ιδεατές ίνες, που κάθε μια λειτουργεί σε διαφορετικό μήκος κύματος. Αυτή η τεχνολογία επιτρέπει αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ χρηστών μιας δέσμης οπτικών ινών καθώς και τον πολλαπλασιασμό της παραγωγικής ικανότητας. Ο όρος WDM εφαρμόζεται συνήθως σε έναν οπτικό μεταφορέα (που συνήθως περιγράφεται από το μήκος κύματος του).

4.1. Βασική λειτουργία της τεχνολογίας WDM.

Τα συστήματα WDM στηρίχτηκαν πάνω στο γεγονός ότι σε κάθε οπτική ίνα κάθε οπτικό σήμα που διαδίδεται έχει μια συγκεκριμένη συχνότητα. Έτσι είναι δυνατόν χρησιμοποιώντας την ίδια οπτική ίνα να περάσουν περισσότερα από ένα διαφορετικά οπτικά σήματα (εικόνα 4).



Εικόνα 4.

Το WDM έχει την δυνατότητα να εκμεταλλεύεται το μεγαλύτερο μέρος του εύρους ζώνης (bandwidth) που μπορεί να προσφέρει η οπτική ίνα. Για παράδειγμα, εκατοντάδες κανάλια των 10Gb/s μπορούν να μεταδοθούν από την ίδια ίνα, αν η μεταξύ τους απόσταση μειωθεί στα 40-50 GHz . Η έννοια εκδόθηκε για πρώτη φορά το 1970 και το 1978 τα πρώτα WDM συστήματα ξεκίνησαν να κατασκευάζονται στο εργαστήριο. Τα πρώτα WDM συστήματα μπορούσαν να συνδυάσουν μόνο δύο σήματα. Τα σύγχρονα συστήματα μπορούν να διαχειριστούν μέχρι και 160 σήματα και μπορεί να βελτιώσει ένα βασικό σύστημα των 10Gbit/s, πάνω από μία δέσμη ινών, σε ένα σύστημα που φτάνει τα 1.6Tbit/s.

Τα συστήματα WDM είναι αρκετά δημοφιλή ανάμεσα στις εταιρείες τηλεπικοινωνιών γιατί τους επιτρέπουν να μεγαλώνουν τη χωρητικότητα του δικτύου χωρίς να είναι αναγκαία η χρήση περισσότερων ινών. Με τη χρήση των συστημάτων WDM και οπτικών ενισχυτών μπορεί το ίδιο δίκτυο να χρησιμοποιείται για πολλές γενιές τεχνολογικής ανάπτυξης, απλά αναβαθμίζοντας τους πολυπλέκτες και αποπολυπλέκτες σε κάθε άκρο μπορούμε να επεκτείνουμε τη χωρητικότητα μιας συγκεκριμένης σύνδεσης.

4.2 . WDM σε δίκτυα οπτικών ινών.

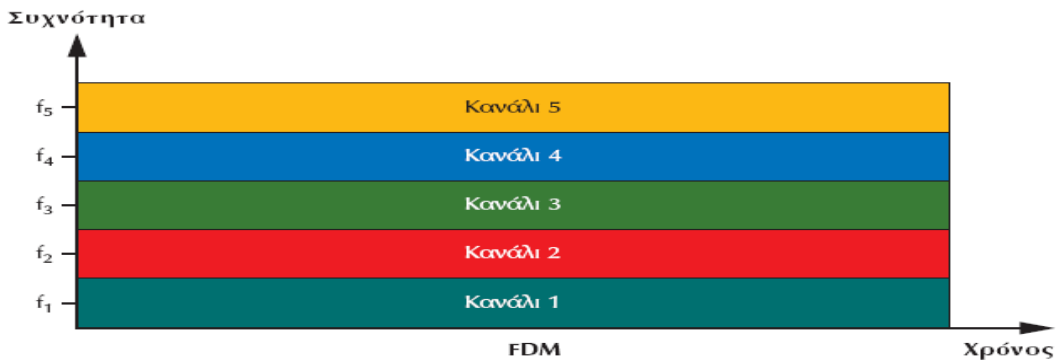
Η χρήση της πολυπλεξίας με διαίρεση μήκους κύματος (WDM) στα δίκτυα οπτικών ινών προσφέρει σημαντική αύξηση στη χωρητικότητά τους και γι' αυτό κρίνεται απαραίτητη ειδικά για τα δίκτυα κορμού και μεγάλων αποστάσεων. Με το WDM επιτυγχάνεται η χρήση πολλαπλών οπτικών σημάτων, που έχουν ελαφρώς διαφορετικά μήκη κύματος για τη μετάδοση διάφορων ανεξάρτητων ροών πληροφορίας ταυτόχρονα μέσα στην ίδια ίνα. Παρ' όλο που οι ερευνητές ξεκίνησαν να μελετούν την WDM τη δεκαετία του 1970, στα επόμενα χρόνια φάνηκε ότι ήταν ευκολότερο να υλοποιηθούν υψηλότερης ταχύτητας ηλεκτρονικές και οπτικές διατάξεις από το να αναπτυχθούν πολυπλοκότερα συστήματα που κάνουν χρήση WDM. Ωστόσο, η τεχνολογία WDM απέκτησε μεγάλη δημοτικότητα στις αρχές του 1990 καθώς οι ηλεκτρονικές διατάξεις έφτασαν σε κάποιο όριο διαμόρφωσης και οι εξοπλισμοί υψηλής μετάδοσης γινόντουσαν ολοένα πολυπλοκότεροι και πιο ακριβοί.

Μια τάση που υπάρχει στην υλοποίηση των WDM συστημάτων είναι η συνεχής προσπάθεια να γεμίσει μια στενή ζώνη εύρους με όσο το δυνατόν περισσότερα και κοντινότερα μήκη κύματος. Αυτό αναφέρεται ως «πυκνή» πολυπλεξία με διαίρεση μήκους κύματος (DWDM). Οι κυματομορφές (ή οπτικές συχνότητες) σε ένα DWDM σύνδεσμο πρέπει να τοποθετούνται σε κατάλληλη θέση, ώστε να αποφεύγεται από τα γειτονικά κανάλια η παρεμβολή από τον ένα στον άλλο, κάτι που οδηγεί σε θόρυβο στο οπτικό σήμα. Σε ένα οπτικό σύστημα, αυτή η παρεμβολή μεταξύ γειτονικών καναλιών μπορεί να προέλθει από το γεγονός ότι η κεντρική κυματομορφή της διόδου του λέιζερ καθώς και άλλων λειτουργικών χαρακτηριστικών των οπτικών στοιχείων μπορούν να αλλάξουν με τη θερμοκρασία και την πάροδο του χρόνου. Αυτό έχει ως συνέπεια το οπτικό σήμα να απλώνει ή να παρασύρεται φασματικά.

4.3. Πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (FDM).

- **Πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (FDM):** Η πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (frequency-domain-multiplexing FDM) είναι τεχνολογία

για την μετάδοση αναλογικών σημάτων. Η γραμμή επικοινωνίας χωρίζεται σε κανάλια, όπου σε κάθε κανάλι περνάει ένα σύνολο συχνοτήτων. Ταυτόχρονα γίνεται και η μετάδοση σημάτων στα κανάλια που έχουν καθοριστεί. Παράδειγμα πολυπλεξίας διαίρεσης συχνότητας αποτελούν οι μεταδόσεις ραδιοφωνικών και τηλεοπτικών σταθμών. Ο κάθε σταθμός εκπέμπει σε μια συγκεκριμένη συχνότητα / κανάλι / ζώνη (εικόνα 4).



4.4. Πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου (TDM).

- Η πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου (TDM):** Στην πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου (time-division-multiplexing) η γραμμή επικοινωνίας χωρίζεται σε χρονοθυρίδες. Σε κάθε χρονική περίοδο, που διαρκεί η χρονοθυρίδα, μια μόνο γραμμή εισόδου επιτρέπεται να στέλνει δεδομένα. Αυτό γίνεται τόσο γρήγορα που μας δίνει την αίσθηση ότι στέλνουν δεδομένα όλες οι γραμμές εισόδου μαζί (εικόνα 4.1) .



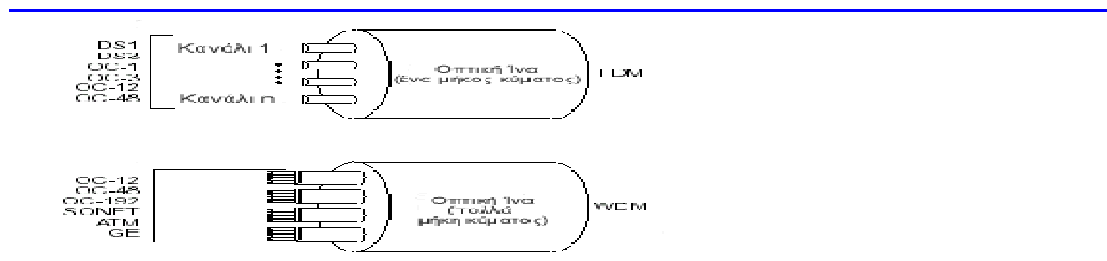
Εικόνα 4.1

4.6. Πολυπλεξία διαίρεσης κώδικα (CDM).

Πολυπλεξία διαίρεσης κώδικα(CDM): Η πολυπλεξία διαίρεσης κώδικα αναφέρεται στην ψηφιακή τεχνολογία η οποία χρησιμοποιεί τεχνικές εξάπλωσης φάσματος. Αντίθετα με το TDM, το CDM μπορεί να χρησιμοποιεί όλο το φάσμα που του διατίθεται. Οι μεμονωμένες συνομιλίες κωδικοποιούνται με μια ψευδοτυχαία ψηφιακή ακολουθία. Το CDM παρέχει σταθερά καλύτερη ικανότητα για επικοινωνίες φωνής και δεδομένων σε σχέση με άλλες εμπορικές τεχνολογίες κινητής τηλεφωνίας, επιτρέποντας σε περισσότερους συνδρομητές να συνδεθούν ανά πάσα στιγμή.

4.6. Σύγκριση TDM-WDM.

Η μέθοδος πολυπλεξίας TDM πολυπλέκει τα σήματα σε έναν ενιαίο ρυθμό μετάδοσης και τα μεταδίδει με ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος μέσω της οπτικής ίνας. Το WDM μπορεί να πάρει πολλά οπτικά σήματα ταυτόχρονα σε συγκεκριμένο μήκος κύματος και να τα πολυπλέξει χρησιμοποιώντας μία μόνο οπτική ίνα. Εδώ παρατηρείται μία ομοιότητα μεταξύ WDM και FDM, όπου κάθε σήμα μεταδίδεται σε διαφορετική συχνότητα, αλλά επειδή στα WDM οι συχνότητες είναι πολύ μεγαλύτερες και ανήκουν στο οπτικό φάσμα αναφερόμαστε σε μήκη κύματος και όχι σε συχνότητες. Διαφορές των δύο συστημάτων πολυπλεξίας φαίνονται και στο παρακάτω σχήμα (σχήμα 4).



Σχήμα 4.

4.6.1 Σύγκριση FDM-WDM.

Η βασική ιδέα πίσω από τις δύο αυτές μεθόδους πολυπλεξίας είναι η ίδια. Παρόλα αυτά η βασική διαφορά τους είναι το ότι τα WDM μπορούν να πολυπλέξουν μόνο οπτικά σήματα ενώ τα FDM χρησιμοποιούνται στην πολυπλεξία αναλογικών σημάτων.

4.6.2 Σύγκριση CDM-WDM.

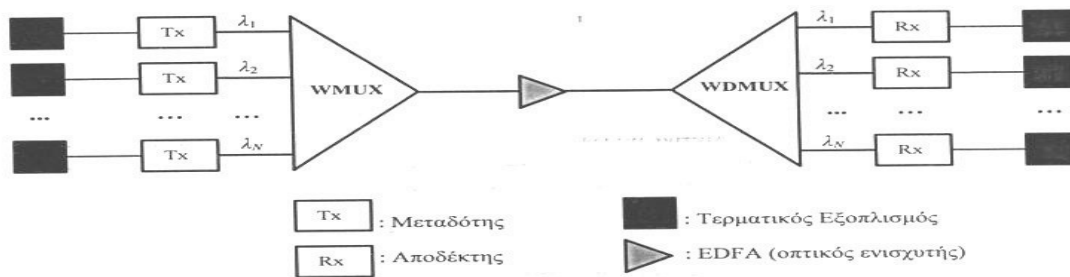
Τα συστήματα CDM έχουν όλα το κοινό χαρακτηριστικό της διανομής ενέργειας πάνω από ένα κανάλι σε συνεχή ή διακεκομμένη ζώνη μήκους κύματος καθώς στα WDM κάθε κανάλι γίνεται από ένα μήκος κύματος και έτσι μπορεί και εκμεταλλεύεται το μεγαλύτερο δυνατό εύρος ζώνης.

4.7. Δίκτυα WDM συνδέσμων από σημείο σε σημείο.

Το πρώτο βήμα προς τη διεύρυνση της τεχνολογίας WDM στην υπάρχουσα υποδομή πρώτης γενιάς είναι φυσικά η αναβάθμιση των απλών μεμονωμένων συνδέσεων σε WDM συνδέσεις από σημείο σε σημείο (WDM point to point link). Ωστόσο σε αυτή τη κατηγορία οι WDM σύνδεσμοι διασυνδέονται μέσω μη οπτικού δηλαδή ηλεκτρονικού εξοπλισμού. Εξαιτίας της τεχνικής WDM οι δυο κόμβοι που επικοινωνούν μέσω κάθε συνδέσμου WDM είναι ικανοί να ανταλλάξουν δεδομένα χρησιμοποιώντας πολλαπλά διαφορετικά κανάλια (μήκη κύματος) ταυτόχρονα. Αυτό επιτρέπει σε κάθε κόμβο να έχει πολλές θύρες εισόδου/εξόδου. Η επικοινωνία μέσω της οπτικής ίνας θα μπορούσε να είναι διπλής κατεύθυνσης ή εναλλακτικά θα μπορούσαμε να έχουμε έναν WDM από σημείο σε σημείο σύνδεσμο διπλής οπτικής ίνας όπου η κάθε ίνα θα χρησιμοποιούνταν αποκλειστικά για τη ροή δεδομένων σε μια κατεύθυνση. Εδώ και κάποια χρόνια οι περισσότεροι από τους κορυφαίους φορείς παροχής υπηρεσιών δικτύου στην Βόρεια Αμερική, την Ευρώπη και την Ιαπωνία έχουν αρχίσει να επενδύουν πολλά χρήματα για να ακολουθήσουν αυτή τη τάση αναβάθμισης σε WDM συνδέσμους.

Τα κυριότερα γεγονότα που οδηγούν σε αυτή την επιλογή είναι οι διαρκώς αυξανόμενες απαιτήσεις σε εύρος ζώνης από τους πελάτες τους και το ότι οι WDM σύνδεσμοι από σημείο σε σημείο φαίνεται να αποτελούν την πιο οικονομικά αποδοτική λύση σε σύγκριση με άλλες επιλογές για την επιθυμητή αύξηση της χωρητικότητας.

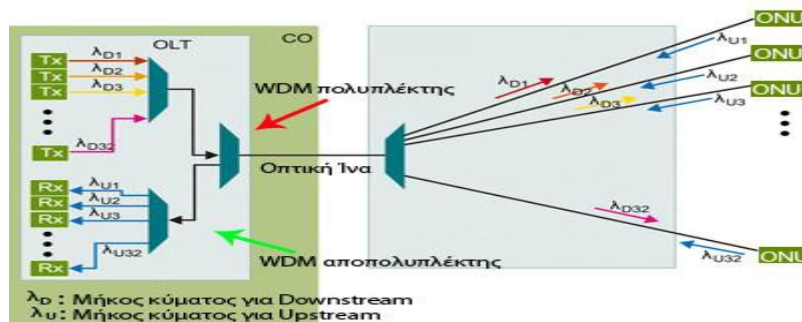
Γενικά ένας WDM σύνδεσμος αποτελείται από τα ακόλουθα στοιχεία τα περισσότερα από τα οποία φαίνονται στο σχήμα που ακολουθεί (σχήμα 4.1).



Σχήμα 4.1. Παράδειγμα WDM συνδέσμου από σημείο σε σημείο.

4.8. WDM-PON.

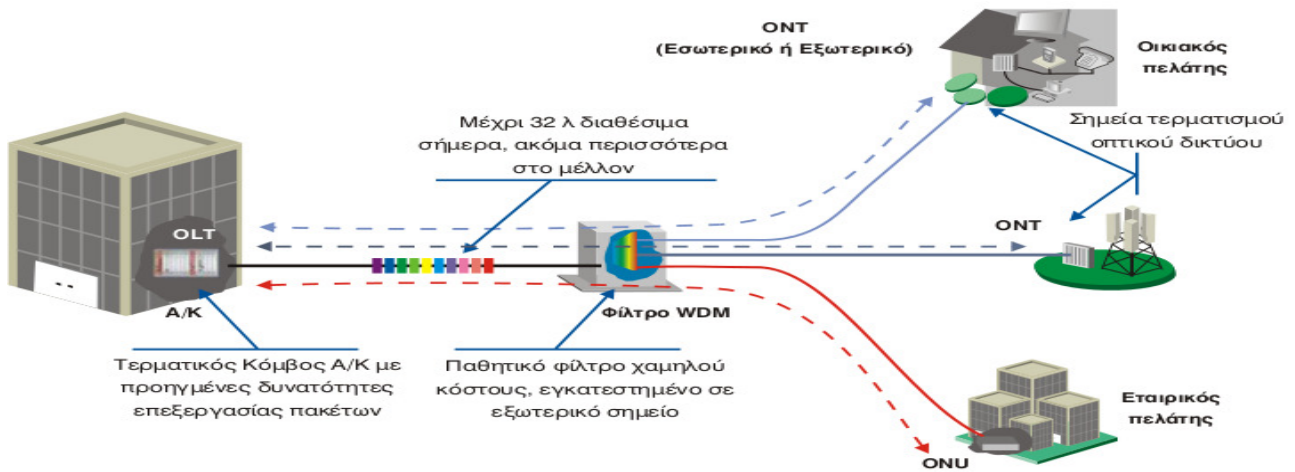
Βασική ιδέα γύρω από τα WDM-PONs (Wavelength Division Multiplexing PONs) είναι ότι μπορούν να δημιουργηθούν εικονικές συνδέσεις Σημείο προς Σημείο. Χρησιμοποιούνται πολλαπλά μήκη κύματος ώστε να διαχωρίσουν τα ONUs σε διαφορετικά εικονικά δίκτυα τα οποία είναι μέρος ενός ενιαίου συστήματος. Είναι ιδιαίτερος αξιοσημείωτο το γεγονός ότι το WDM-PON είναι ένας μη τυποποιημένος τύπος δικτύου, κάτι που σημαίνει ότι μπορεί να εφαρμοστεί με πολλές παραλλαγές. Έτσι εκτός από την παραπάνω λειτουργία, τα μήκη κύματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν συγκεντρωτικά μέσω πολυπλεξίας, παρέχοντας μεγάλη απόδοση και λιγότερες καθυστερήσεις στα ONUs. Επίσης σύμφωνα με κάποιες ερμηνείες, στα WDM-PONs υπάρχει μόνο ένα μήκος κύματος για κάθε ONU, ενώ σύμφωνα με άλλες, παραπάνω από ένα μήκη κύματος προς οποιαδήποτε κατεύθυνση μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα WDM-PON. Η εικόνα 4.2 αναπαριστά ένα WDM-PON δίκτυο. Παρατηρούμε ότι υπάρχουν διαφορετικά μήκη κύματος για Downstream και διαφορετικά για Upstream. Η πολυλεξία πραγματοποιείται από έναν πολυπλέκτη, και αντίστροφα η αποπολυπλεξία από έναν WDM-αποπολυπλέκτη.



Εικόνα 4.2.

Η Τεχνολογία WDM PON είναι ότι πιο σύγχρονο υπάρχει σήμερα διαθέσιμο στον τομέα της οπτικής δικτύωσης. Με την τεχνολογία WDM PON εξοικονομείται μεγάλος αριθμός οπτικών ινών, ενώ παράλληλα εξαλείφονται οι διάφοροι περιορισμοί που συναντούνται στα αντίστοιχα συστήματα TDM PON. Εξάλλου, αυξάνεται σημαντικά η περιοχή κάλυψης του δικτύου, ενώ προσφέρονται αυξημένες δυνατότητες κλιμάκωσης και υψηλού επιπέδου ασφάλεια δεδομένων, από ένα πραγματικά ολοκληρωμένο δίκτυο οικιακών και εταιρικών υπηρεσιών. Σε ένα σύστημα WDM PON, ένα απλό μήκος κύματος ξεκινά από το Αστικό Κέντρο και ανακατευθύνετε προς τον τελικό χρήστη μέσω ενός παθητικού οπτικού δρομολογητή που βρίσκεται εγκατεστημένος εξωτερικά, κατά μήκος της ενδιάμεσης διαδρομής. Σε αντίθεση με τα συστήματα TDM PON, τα μήκη κύματος είναι ανεξάρτητα μεταξύ τους καθώς εκχωρούνται κάθε φορά σαν να επρόκειτο για μοναδικές ζεύξεις σημείου προς σημείο. Με τον τρόπο αυτό, ένα μήκος κύματος μπορεί να χρησιμοποιείται για οικιακές υπηρεσίες και να έχει ταχύτητα 100 Mbps, ενώ ταυτόχρονα ένα άλλο μπορεί να λειτουργεί στο 1Gbps εξυπηρετώντας εταιρικές ανάγκες. Ο παθητικός οπτικός δρομολογητής μπορεί να χειριστεί σήμερα μέχρι και 32 μήκη κύματος,(εικόνα 4.3) ενώ στο μέλλον ο αριθμός αυτός αναμένεται να αυξηθεί στα 128.Γενικά, η τεχνολογία WDM PON υποστηρίζει συνδέσεις σημείο προς σημείο, διατηρώντας παράλληλα την ανεξαρτησία μεταξύ των μηκών κύματος κατά μήκος ολόκληρης της διαδρομής.

Στην Εικόνα 4.3 φαίνεται ένα νέο στοιχείο με το όνομα ONT(Optical Network Terminal) είναι παρόμοιο με το ONU και χρησιμοποιείται για να τερματίσει μια οπτική ίνα και να αποπολυπλέξει το οπτικό σήμα σε τηλεφωνία, internet και λοιπές υπηρεσίες.



Εικόνα 4.3

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

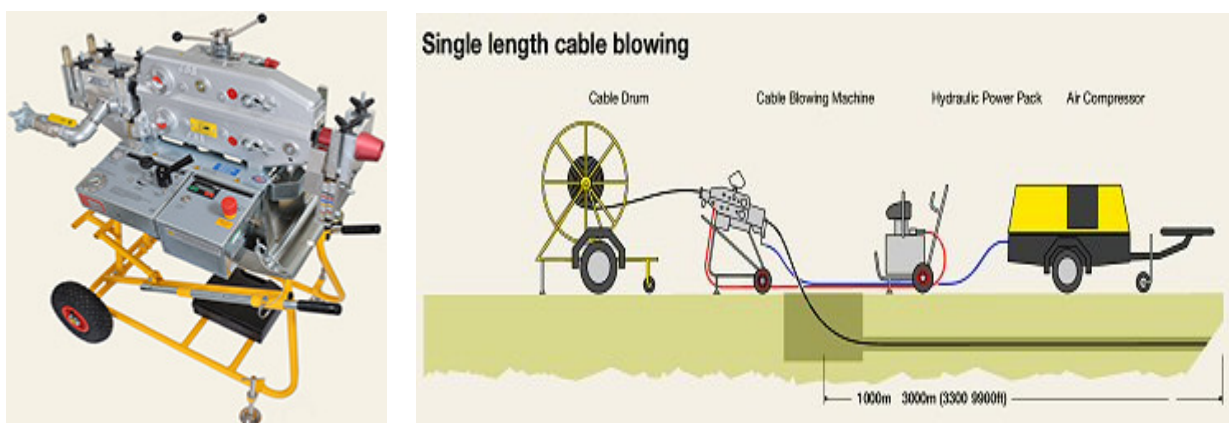
5. Εξοπλισμός και όργανα μετρήσεων.

Λόγο της ραγδαίας εξέλιξης που σημειώνεται στα δίκτυα οπτικών ινών, τόσο σε επίπεδο μετάδοσης δεδομένων αλλά και σε επίπεδο εξοπλισμού κάνει αναγκαία την χρήση και ύπαρξη κατάλληλου δικτυακού εξοπλισμού που αποτελείται από διάφορα όργανα και μηχανήματα τα οποία θα αναφέρουμε ποιό κάτω.

5.1 TORNADO CABLE BLOWING MACHINE

Πρόκειται για ένα μηχάνημα που χρησιμοποιείται για την εμφύσηση και εγκατάσταση καλωδίων οπτικών ινών. Το tornado cable blowing machine και ο τρόπος λειτουργίας του αποτελούν ένα ασφαλές και ταχύτερο εγκατάστασης καλωδίων οπτικών ινών. Χρησιμοποιεί συμπιεσμένο αέρα για να ωθήσει το καλώδιο

των οπτικών ινών μέσα στον αγωγό, παρέχοντας ομοιόμορφη κατανομή της δυνάμεως της έλξης κατά μήκος του αγωγού. Επιπλέον, το καλώδιο ελέγχεται από ένα υδραυλικό σύστημα ζώνης, παρέχοντας τόσο ομαλό έλεγχο κατά την παρακολούθηση της εγκατάστασης. Σε συνδυασμό των τεχνικών αυτών παρέχεται μια ασφαλή και βελτιστοποιημένη μέθοδο εγκατάστασης καλωδίων οπτικών ινών, επεκτείνοντας έτσι την εγκατάσταση των καλωδίων χρησιμοποιώντας λιγότερο εργατικό προσωπικό.



Εικόνα 5. Μηχάνημα TORNADO CABLE BLOWING MACHINE.

5.2 Γεννήτριες Ακουστικού σήματος

Χρησιμοποιούνται από τεχνίτες στα τηλεφωνικά δίκτυα, καθώς επίσης και όπου αλλού απαιτείται γρήγορος και εύκολος εντοπισμός ζεύγους τηλεφωνικών καλωδίων.

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

- Ο ανιχνευτής είναι σχεδιασμένος για ταυτοποίηση και εύρεση καλωδίων και αγωγών ανάμεσα σε άλλους αγωγούς
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με οποιαδήποτε γεννήτρια ακουστικού σήματος
- Ρυθμιζόμενη ένταση ηχητικής ειδοποίησης για οποιοδήποτε περιβάλλον εργασίας

- Πλήκτρο ενεργοποίησης – απενεργοποίησης για την αποφυγή αποφόρτισης της μπαταρίας
- Λειτουργεί με τροφοδοσία αλκαλικής μπαταρίας 9V με διάρκεια ζωής 100 ωρών



Εικόνα 5.1 Γεννήτριες Ακουστικού σήματος.

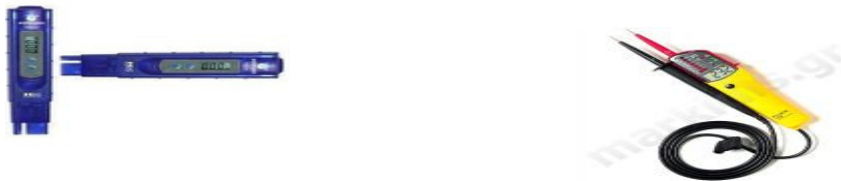
5.3 Όργανο μέτρησης Telecom .

Είναι το χαρακτηριστικότερο δείγμα της νέας γενιάς οργάνων μέτρησης Telecom, καθώς συνδυάζει τις υψηλές δυνατότητες μετρήσεων με την μεγάλη αντοχή. Ανθεκτική κατασκευή, κατάλληλη για χρήση ακόμα και στις πιο σκληρές συνθήκες. Ενισχυμένο με την τεχνολογία DropSafe™, που εκτός της εργονομίας, προσφέρει αδιάβροχη λειτουργία και λειτουργικότητα ακόμα και μετά από πτώση από ύψος 3 μέτρων. Η τεχνολογία DataSafe™ επιτρέπει την απρόσκοπτη μέτρηση μιας "live" ADSL γραμμής, χωρίς να επηρεάζει τη λειτουργία της. Προσφέρει τη δυνατότητα "hands-free" επικοινωνίας με ενσωματωμένο ηχείο, προηγμένες λειτουργίες ελέγχου υψηλής/χαμηλής τάσης και χαμηλού (μΑ) ρεύματος, που αναγράφονται στο υψηλής ευκρίνειας LED display.

Η λειτουργία ελέγχου "Always-on" απλοποιεί την διαδικασία ελέγχου. Απλώς συνδέστε το με το σημείο ελέγχου και ξεκινήστε άμεσα τις μετρήσεις. Μερικά από τα βασικά χαρακτηριστικά των οργάνων αυτών αναφέρονται παρακάτω :

Χαρακτηριστικά Οργάνου μέτρησης:

- Πληκτρολόγιο "χαμηλού προφίλ" με προστατευτικό κάλυμα.
- Προειδοποίηση χαμηλής μπαταρίας.
- Δυνατότητα αναβάθμισης S/W.
- Ένδειξη "mute".
- Ένδειξη πολικότητας.
- Tone / Pulse.
- Redial.
- Προστασία από υψηλή τάση.
- Speed dial.
- Λειτουργία με ρεύμα ή/και μπαταρία.
- Αδιάβροχη και ανθεκτική (Heavy-duty) κατασκευή.
- Ενσωματωμένο μεγάλο "κλιπ" ζώνης.



Εικόνα 5.2 Όργανα μέτρησης.

5.4 Φακός Lazer FLS - 241 UNIV.

Η FLS-240 Pocket Pal Visual Fault Locator είναι μια απλή λύση για τον εντοπισμό διαλείμματα, κάμψεις, ελαττωματικά σύνδεσμοι ή ενώσεις, καθώς και άλλες αιτίες της απώλειας σήματος. Μπορεί να ανιχνεύσει βλάβες σε αποστάσεις έως 5 km. Οι FLS-240 εντοπίζει οπτικά σφάλματα, δημιουργώντας ένα φωτεινό κόκκινο λάμψη κατά την ακριβή τοποθεσία του σφάλματος για μονότροπες ή πολύτροπες οπτικές ίνες.



Εικόνα 5.3. Φακός Laser FLS-241 UNIV.

Στιβαρός Σχεδιασμός

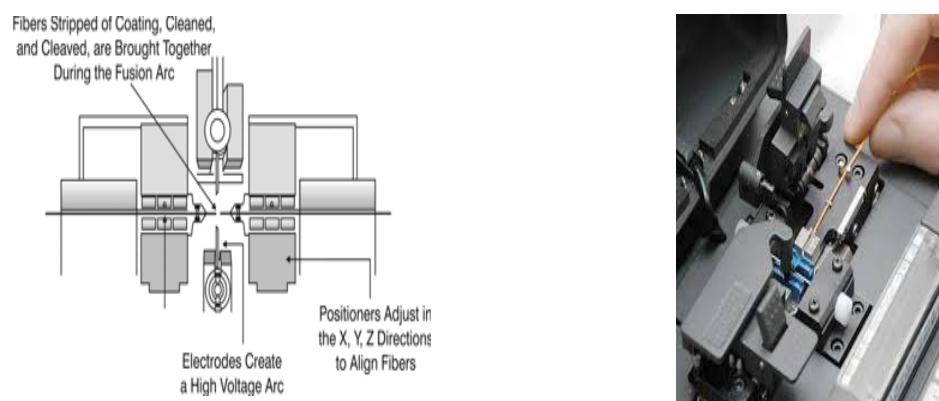
Λόγω του μικρού μεγέθους του, ελαφρύ και απλό, αλλά δοκιμασμένη σχεδίαση, το Pocket Pal μπορεί να σας συνοδεύει παντού. Στην τσέπη σας ή θήκη ζώνης, να FLS-240 σας για τα πιο απαιτητικά περιβάλλοντα. Για να εξασφαλιστεί η ανθεκτικότητα, διαθέτει σφραγίδες από καουτσούκ, ένα πλήρως κλειστό κεφάλι λείζερ και μια μακράς διάρκειας διακόπτη On / Off. Έχει δοκιμαστεί ώστε να παρέχουν αξιόπιστη λειτουργία κάτω από εντατική χρήση και σκληρές συνθήκες.

Κόστος-Αποτελεσματική

Εξαιρετικά υψηλή απόδοση του FLS-240 Pocket Pal του εγγυάται παρατεταμένη λειτουργία με δύο τυπικές αλκαλικές μπαταρίες AAA, παρέχοντας συνήθως 50 ώρες συνεχούς λειτουργίας. Διατιμημένος για να φιλοξενήσει τις πιο σφιχτή προϋπολογισμούς, η FLS-240 Pocket Pal είναι μια πραγματικά προσιτή λύση για τον εντοπισμό σφαλμάτων σε OTDR νεκρές ζώνες. Η αποτελεσματικότητά του δικαιολογεί την αγορά ένα για ακριβώς για κάθε τεχνικό ινών.

5.5 Μηχάνημα Fusion Splicer (Όργανο συγκόλλησης οπτικών ινών).

Ο συγκολλητής χρησιμοποιείται για τη δημιουργία χαμηλών απωλειών συνδέσεων οπτικών ινών μέσω τήξης ώστε να επιτυγχάνεται η όσο το δυνατόν καλύτερη συνέχεια μίας ζεύξης. Η σωστή λειτουργία ενός fusion splicer προϋποθέτει την ύπαρξη κάποιων συνθηκών. Οι συνθήκες αυτές αφορούν τον τύπο των οπτικών ινών που θα τοποθετηθούν (single mode, multi mode, κτλ), τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά αυτών, την απόσταση μεταξύ τους, την καθαρότητά τους κτλ. Η διάταξη λειτουργίας ενός συγκολλητή απεικονίζεται στο παρακάτω(εικόνα 5.4).



Εικόνα 5.4. Σχηματική διάταξη του λειτουργικού μέρους ενός τυπικού fusion splicer.

5.5.1 Λειτουργία του Fusion Splicer.

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

5.5.2 Συγκόλληση οπτικών ινών με καλά αποτελέσματα.

Υπάρχουν αρκετές απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιούνται ώστε να είμαστε σε θέση να υλοποιήσουμε μία καλή συγκόλληση.

α) Ποιότητα της ίνας: Ο τερματισμός της ίνας πρέπει να είναι κάθετος στον διαμήκη άξονα της ίνας. Ο τερματισμός της ίνας πρέπει να είναι επίπεδος χωρίς ανομοιομορφίες. Εάν οι παραπάνω συνθήκες δεν ικανοποιούνται ο πυρήνας θα παραμορφωθεί κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης.

β) Οι πυρήνες των ινών προς συγκόλληση δεν πρέπει να είναι έκκεντροι.

γ) Κατά τη διάρκεια της σύντηξης οι ίνες πρέπει να οδηγούνται η μία προς την άλλη. Το πλησίασμα της μία ίνας προς την άλλη πρέπει να είναι περίπου 2-3 μm μεγαλύτερο από το κενό που είχαν οι δύο ίνες πριν ξεκινήσει η τήξη τους. Αν το πλησίασμα είναι μεγαλύτερο ή μικρότερο από την παραπάνω απόσταση τότε οι πυρήνες θα παραμορφωθούν.

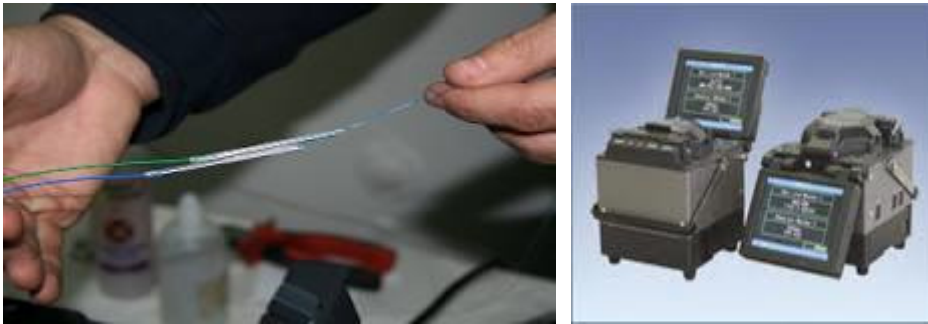
δ) Ο τερματισμός της κάθε ίνας πρέπει να είναι απόλυτα καθαρός. Οποιαδήποτε σκόνη μπορεί να προκαλέσει πρόβλημα.

ε) Πρέπει να γίνει πολύ καλή ευθυγράμμιση μεταξύ των ινών.

Βήματα διαδικασίας συγκόλλησης

1. Απογύμνωση των ινών από το μανδύα (50mm περίπου).
2. Καθαρισμός των ινών.
3. Κάθετη κοπή των τερματισμών των ινών με **fiber cleaver** (στα 10mm περίπου).
4. Τοποθέτηση των ινών στις κατάλληλες θέσεις.

5. Ρύθμιση της απόστασης μεταξύ των δύο ινών (Μόνο για splicers που δεν το ρυθμίζουν αυτοματοποιημένα).
6. Εφαρμογή επιπλέον καθαρισμού του τερματισμού των οπτικών ινών (Μόνο για splicers που δεν το ρυθμίζουν αυτοματοποιημένα).
7. Δημιουργία τόξου για τη συγκόλληση ινών.



Εικόνα 5.5. Συγκόλληση οπτικών ινών.

5.5.3 Απώλειες κατά τη συγκόλληση των οπτικών ινών.

Οι απώλειες αυτές χωρίζονται σε δυο κατηγορίες:

- Απώλειες που οφείλονται στην ίνα.
- Απώλειες που οφείλονται στα υλικά των κολλήσεων / connectors.

Απώλειες που οφείλονται στην ίνα

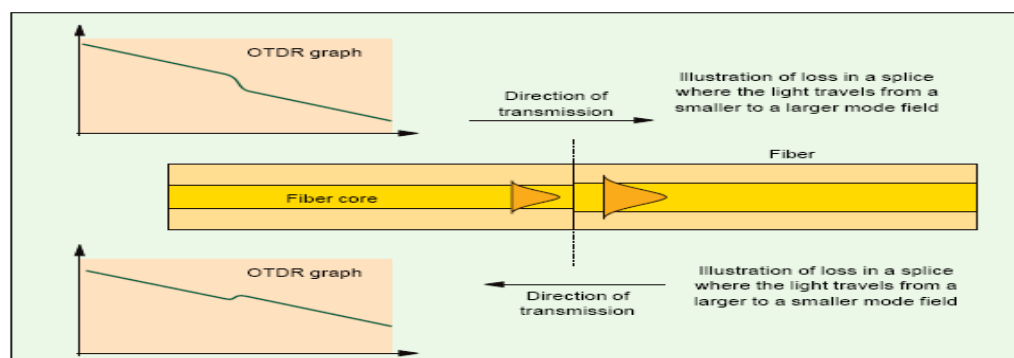
Κατά την κατασκευή οπτικών ινών, επιτρέπονται μικρές αποκλίσεις στις τιμές των παραμέτρων τους, αφού είναι σχεδόν αδύνατο να φτιαχτούν δυο πανομοιότυπες ίνες. Οι αποκλίσεις αυτές είναι της τάξης των 10^{-3} mm, ακόμα όμως και τόσο μικρές αποκλίσεις συμβάλουν στη δημιουργία απωλειών κατά την (fusion) κόλληση των ινών. Μια ιδανική ίνα θα παρουσιάζει εξασθένηση κοντά στα 0.16 dB/km θεωρητικά (1550 nm). Στην πραγματικότητα η εξασθένηση μιας ίνας πολύ καλής ποιότητας

πλησιάζει τα 0.20 dB/km στα 1550 nm (λόγω της σκέδασης Rayleigh και της IR απορρόφησης). Οι απώλειες που οφείλονται στην ίνα προκαλούνται από τους παρακάτω παράγοντες:• Διαφορές στον τρόπο πεδίου.

- Διαφορετικά αριθμητικά ανοίγματα (NA).
- Διαφορετικές διαμέτροι πυρήνα.
- Διαφορετικές διαμέτροι μανδύα.
- Μη-κυκλικότητα πυρήνα ή/και μανδύα.
- Μη-ομοκεντρικότητα πυρήνα/μανδύα.

5.5.4 Διαφορές στον τρόπο πεδίου

Αν η διάμετρος του πυρήνα της ίνας μετάδοσης είναι διαφορετική από εκείνη της ίνας του δέκτη, ο τρόπος πεδίου θα γίνει πιο ευρύς ή πιο στενός. Το γεγονός αυτό θα προκαλέσει εξασθένιση του φωτός [πολλές φορές διακρίνεται σαν ενίσχυση του σήματος κατά τη μια κατεύθυνση, όταν παίρνουμε μετρήσεις με ένα OTDR (Optical Time Domain Reflectometer).



Σχήμα 5. . Οι μετρήσεις των απωλειών σε ένα οπτικό δίκτυο – σε κολλήσεις μεταξύ ίνων με διαφορετικούς τρόπους πεδίου – μπορεί να έχουν απροσδόκητες τιμές.

5.5.5 Διαφορετικά αριθμητικά ανοίγματα (NA)

Παρουσιάζονται απώλειες όταν το αριθμητικό άνοιγμα της ίνας μετάδοσης είναι μεγαλύτερο από εκείνο της ίνας του δέκτη. Μέρος του φωτός που διαδίδεται θα χαθεί στο μανδύα της ίνας του δέκτη. Για την παραπάνω περίπτωση ($NA_t > NA_r$), οι απώλειες δίνονται από τον επόμενο τύπο :

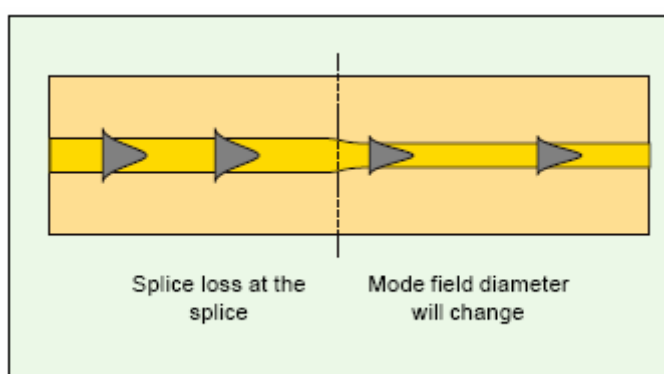
$$Attenuation_{NA} = 10 \log_{10} \left(\frac{NA_r}{NA_t} \right)^2$$

Αν και συνιστάται να χρησιμοποιούνται πανομοιότυπες ίνες για τις κολλήσεις, πολλές φορές είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθούν ίνες από διαφορετικό κατασκευαστή, διαφορετικού τύπου ακόμα και διαφορετικού μεγέθους. Συνήθως αλλαγές τέτοιου τύπου έχουν καταστρεπτικές συνέπειες για το τελικό αποτέλεσμα. Σε περίπτωση τέτοιων αλλαγών θα πρέπει να προσέχουμε παράγοντες όπως το NA και η διάμετρος πυρήνα/μανδύα να διαφέρουν το λιγότερο δυνατό.

5.5.6 Διαφορετικές διαμέτροι πυρήνα.

Όταν η διάμετρος της ίνας μετάδοσης είναι μεγαλύτερη από εκείνη της ίνας του δέκτη, παρουσιάζονται απώλειες, αφού μέρος του φωτός μεταφέρεται στο μανδύα της ίνας του δέκτη. Οι διαφορετικές διαμέτροι πυρήνα επηρεάζουν και τη διάμετρο του τρόπου πεδίου (Σχήμα 5.1).

Όταν συνδέονται ίνες με διαφορετικές διαμέτρους πυρήνα, παρουσιάζονται απώλειες και αλλάζει η διάμετρος του τρόπου πεδίου του παλμού φωτός.



Σχήμα 5.1.

Οι απώλειες λόγω της συνάντησης σε μια κόλληση δυο ινών με διαφορετικές διαμέτρους πυρήνα δίνονται από τον παρακάτω τύπο :

$$\text{Attenuation}_{\odot} (\text{multimode}) = -10 \log_{10} \left(\frac{\varnothing_r}{\varnothing_t} \right)^2$$

Όπου \varnothing_r και \varnothing_t είναι οι διαμέτροι πυρήνα των ινών που συνδέονται

$$\text{Attenuation}_e \text{ (single-mode)} = -20 \log \left(\frac{2 w_1 w_2}{w_1^2 + w_2^2} \right)$$

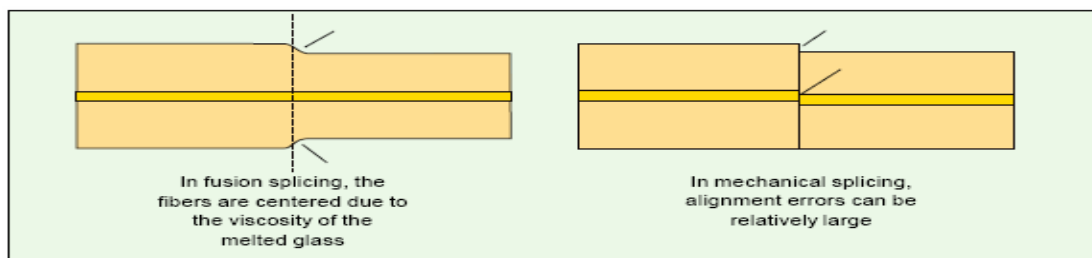
Όπου w_1 και

w_2 είναι οι διαμέτροι των τρόπων πεδίου των ινών που συνδέονται.

5.5.7 Διαφορετικές διαμέτροι μανδύα.

Στη βιομηχανία παραγωγής ινών, η ανοχή (σύμφωνα με την ITU) για τη διάμετρο του μανδύα μιας ίνας είναι $\pm 2 \mu\text{m}$. Αυτό σημαίνει ότι μια ίνα με διάμετρο $125 \mu\text{m}$ μπορεί να κολληθεί με μια άλλη διαμέτρου $127 \mu\text{m}$. Με τη μέθοδο κόλλησης fusion οι ίνες ευθυγραμμίζονται αρκετά καλά. Για μηχανικές και για ημι-μόνιμες κολλήσεις, διαφορά διαμέτρων όπως η παραπάνω μπορεί να προκαλέσει δραματική αύξηση των απωλειών (ειδικά στις μονότροπες ίνες). Όσο μεγαλώνει η διαφορά μεταξύ των διαμέτρων τόσο αυξάνονται και οι απώλειες. Με ανοχή $125 \pm 2 \mu\text{m}$ οι μέγιστη απώλεια είναι 1.4 dB .

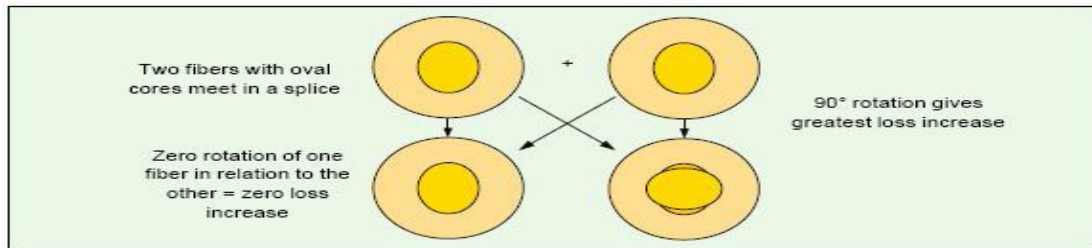
Αν η ανοχή μειωθεί στα $125 \pm 1 \mu\text{m}$ η μέγιστη απώλεια είναι περίπου 0.7 dB . Όταν συνδέονται καλώδια που περιέχουν μονότροπες ίνες με connectors, πραγματοποιούνται αρκετά τεστ ευθυγράμμισης ώστε να μειωθούν όσο το δυνατόν γίνεται οι απώλειες.



Σχήμα 5.2. Η διαφορά στις διαμέτρους μανδύα προκαλούν μεγαλύτερες απώλειες στις μηχανικές κολλήσεις παρά στις fusion.

5.5.8 Μη-κυκλικότητα πυρήνα ή/και μανδύα.

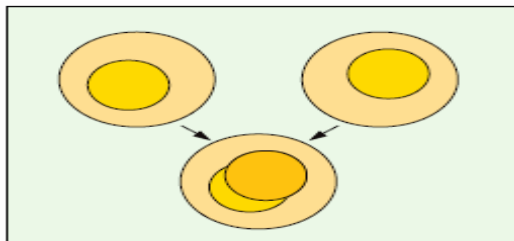
Η μη κυκλικότητα του πυρήνα και του μανδύα έχουν σχεδόν την ίδια επίδραση με τις διαφορές στις διαμέτρους πυρήνα. Το φαινόμενο αυτό είναι ιδιαίτερα εμφανές σε ημι-μόνιμες κολλήσεις. Το παρακάτω σχήμα(5.3) είναι άκρως κατατοπιστικό.



Σχήμα 5.3. Η μη κυκλικότητα του πυρήνα επηρεάζει τις απώλειες σε μια κόλληση.

5.5.9 Μη-ομοκεντρικότητα πυρήνα/μανδύα.

Ο πυρήνας μιας ίνας πρέπει να βρίσκεται ακριβώς στο κέντρο της. Η μη ομοκεντρικότητα αυξάνει τις απώλειες σε μια κόλληση σχήμα 5.4.



Σχήμα 5.4. Παρουσίαση της κόλλησης δυο ινών, των οποίων οι πυρήνες δεν είναι ομόκεντροι.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

6. Όργανο Μέτρησης Ανακλάσεων Οπτικής Ισχύος στο πεδίο του χρόνου-OTDR.

Optical Time Domain Reflectometer (OTDR).

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

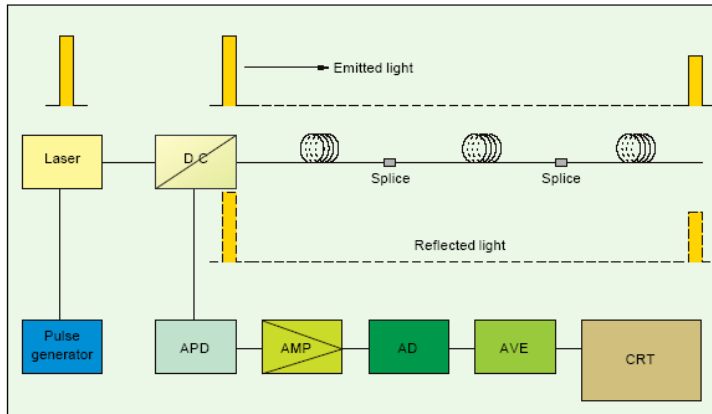


Εικόνα 6. Οπτική αναπαράσταση του οργάνου OTDR.

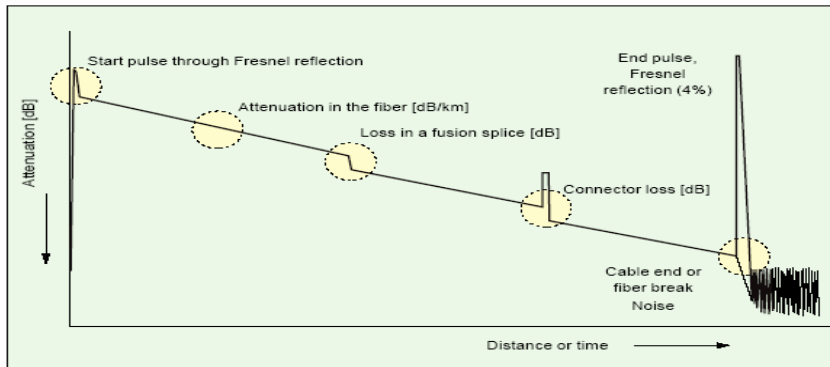
6.1 Λειτουργία του OTDR.

Όπως φαίνεται και από το όνομα του οργάνου, το OTDR λειτουργεί με βάση τη διάδοση φωτός σε οπτική κατά τη διάρκεια συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος. Σχηματικά η λειτουργία του αποδίδεται στο σχήμα 6. Μία γεννήτρια σχετικά στενών ηλεκτρικών παλμών (π.χ. 0.01μs έως 0.1μs) παράγει τους παλμούς αυτούς ανά συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα. Οι παλμοί αυτοί οδηγούν μία διοδική πηγή laser, η οποία παράγει μία διαμορφωμένη δέσμη φωτός που στέλνεται μέσω ενός κατευθυντικού συζεύκτη στην οπτική ίνα. Λόγω των εγγενών ανωμαλιών που χαρακτηρίζουν την οπτική ίνα αλλά και λόγω ασυνεχειών (συνδετήρες, συγκολλήσεις, τέλος μίας ζεύξης) κατά τη διάδοση συγκεκριμένη ποσότητα φωτός θα επιστρέψει στο όργανο μέσω σκέδασης Rayleigh ή ανακλάσεων. Η επιστρεφόμενη δέσμη θα ανιχνευθεί από μία φωτοδίοδο χιονοστιβάδας (Avalanche Photodiode, APD) και το ηλεκτρικό σήμα που θα παραχθεί από αυτή ενισχύεται από ενισχυτική βαθμίδα και γίνεται αντικείμενο επεξεργασίας από εσωτερικό μικροϋπολογιστή. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται πολλές φορές και έτσι τα αποτελέσματα που προβάλλονται στην οθόνη του οργάνου προκύπτουν από στατιστική επεξεργασία. Η ισχύς του σήματος απεικονίζεται στον κάθετο άξονα του οργάνου και η απόσταση, που έχει υπολογισθεί από το χρόνο διάδοσης στον οριζόντιο άξονα.

Σχήμα 6. Αναπαράσταση των δομικών στοιχείων του οργάνου OTDR.



Στο σχήμα 6.1 απεικονίζεται το σύστημα συντεταγμένων μαζί με άλλα χρήσιμα στοιχεία στην οθόνη του οργάνου.



Σχήμα 6.1. Απεικόνιση απλοποιημένου διαγράμματος OTDR.

6.2 Μέτρηση Απόστασης ίνας.

Χρησιμοποιώντας το OTDR μπορούμε να προσδιορίσουμε το μήκος μίας οπτικής ζεύξης με ιδιαίτερα υψηλή ακρίβεια. Η μέτρηση αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική, ιδιαίτερα όταν θέλουμε να προσδιορίσουμε το σημείο διακοπής μίας ζεύξης. Η μέτρηση που αναφέραμε παραπάνω μπορεί να προκύψει από την εφαρμογή του

$$\text{τύπου : } L = \frac{v \cdot t}{2} = \frac{c \cdot t}{2 \cdot n}$$

Όπου :

v : Η ταχύτητα διάδοσης του φωτός στην οπτική ίνα

t : Ο χρόνος που απαιτείται να διαδοθεί και να ανακλαστεί το φως πίσω στο όργανο

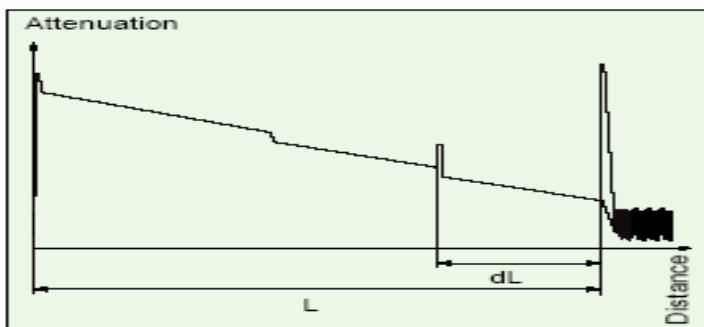
L: Το μήκος της οπτικής ίνας,

c: Η ταχύτητα του φωτός στο κενό και n ο δείκτης διάθλασης του πυρήνα της οπτικής ίνας.

n: Ο δείκτης διάθλασης.

Επομένως το όργανο μετράει το χρόνο διάδοσης και επιστροφής της φωτεινής δέσμης και έχοντας μία τιμή του δείκτη διάθλασης n υπολογίζει το μήκος με βάση το παραπάνω τύπο. Είναι λοιπόν προφανές ότι η σωστή επιλογή δείκτη διάθλασης παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην ακρίβεια της μέτρησης

Σχήμα 6.2. Καμπύλη και η χρήση της για τον υπολογισμό μήκους ζεύξης.



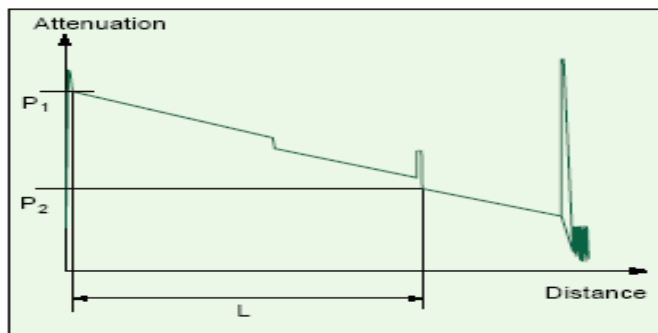
6.3 Απώλεια Οπτικής Ισχύος – Εξασθένηση.

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

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

Η εξασθένηση αντίστοιχα υπολογίζεται διαιρώντας με το αντίστοιχο διάστημα:

$$\alpha \left(\frac{\text{dB}}{\text{Km}} \right) = \frac{P_1 - P_2}{L}$$



Σχήμα 6.3. Καμπύλη και η χρήση της για τον υπολογισμό της εξασθένησης στην ζεύξη

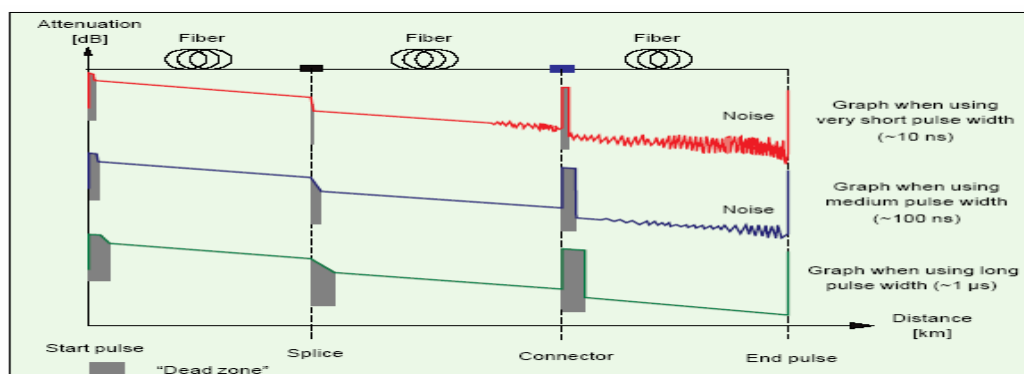
6.3.1 Νεκρή Ζώνη.

Κάθε συγκόλληση ή συνδετήρας προκαλούν μία παρενόχληση στο διαδιδόμενο και ανακλώμενο οπτικό σήμα. Αυτού του είδους η επίδραση επιβάλλει μία ζώνη συγκεκριμένου μήκους μετά την ένωση για την οποία δεν είναι δυνατό να μελετήσουμε το οτιδήποτε. Για παράδειγμα η συγκόλληση που βρίσκεται στο εσωτερικό ενός κατανεμητή (Optical Distribution Frame) δεν είναι δυνατό να ανιχνευθεί από ένα OTDR, αφού πριν από αυτή υπάρχει ο συνδετήρας που ενώνει την οπτική ίνα με τον κατανεμητή. Επίσης για μία οπτική ίνα που έχει συγκολληθεί δύο φορές σε απόσταση μερικών μέτρων (έως 3m) δεν είναι δυνατή η διάκριση των δύο συγκολλήσεων από το όργανο. Αντί αυτών θα φανεί μία συγκόλληση της οποίας οι συνολικές απώλειες είναι το άθροισμα των επιμέρους απωλειών.

6.3.2 Εύρος παλμών.

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

διαθέσιμα όργανα. Η αυτόματη λειτουργία επιλέγει το σωστό εύρος παλμών με κριτήριο την όσο το δυνατόν καλύτερη απόδοσή του για τον ικανοποιητικό καθορισμό όλων των χαρακτηριστικών της ζεύξης.



Σχήμα 6.4. Διαγράμματα μεταβάλλοντας το εύρος του παλμού.

6.3.3 Δυναμική περιοχή.

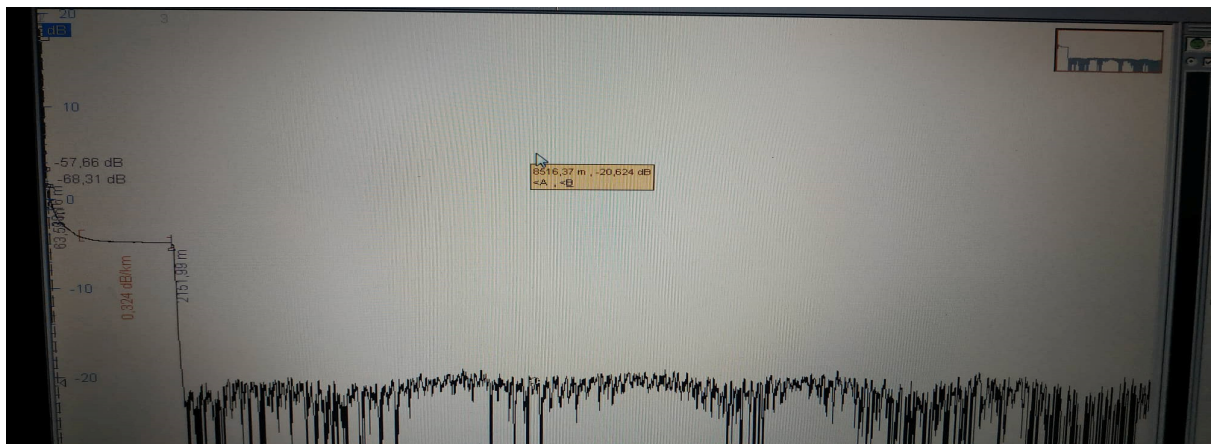
Η δυναμική περιοχή του OTDR καθορίζεται από το πόσο ισχυρή είναι η οπτική πηγή του οργάνου και ταυτόχρονα από το πόσο ευαίσθητη είναι η φωτοδίοδος χιονοστιβάδας (APD) που λαμβάνει το ανακλώμενο οπτικό σήμα. Όσο αυξάνεται η ισχύς και η ευαισθησία του πομπού και του δέκτη αντίστοιχα, τόσο το όργανο θεωρείται πληρέστερο, αφού αποδίδει τα χαρακτηριστικά της ζεύξης με μεγάλη ακρίβεια για μεγαλύτερες αποστάσεις. Η δυναμική περιοχή ενός τυπικού OTDR επιτρέπει την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων για αποστάσεις μέχρι 100Km, η οποία θεωρείται επαρκής για το χαρακτηρισμό των σημερινών οπτικών ζεύξεων. Η δυναμική περιοχή σε αυτή την περίπτωση μπορεί να προσδιορισθεί ποσοτικά σκεπτόμενοι ότι 100Km εισάγουν 35dB απωλειών στο μήκος κύματος των 1310nm. Αν συμπεριληφθούν άλλα 5dB απωλειών λόγω συγκολλήσεων και συνδέσεων στον καταναμητή, συμπεραίνουμε ότι η δυναμική περιοχή πρέπει να είναι ίση με 40dB. Επίσης αν αναλογιστούμε ότι το σήμα που στέλνουμε θα υποστεί τη διαδικασία δύο φορές από το ένα άκρο της ζεύξης στο άλλο (αρχικά διαδιδόμενο και κατόπιν ανακλώμενο), τότε συμπεραίνουμε ότι η δυναμική περιοχή πρέπει να είναι 80dB, αριθμός ιδιαίτερα υψηλός και είναι δυνατό να επιτευχθεί για μικρό εύρος παλμών.

Κεφάλαιο έβδομο

7.1 Μετρήσεις πρακτικής εξάσκησης.

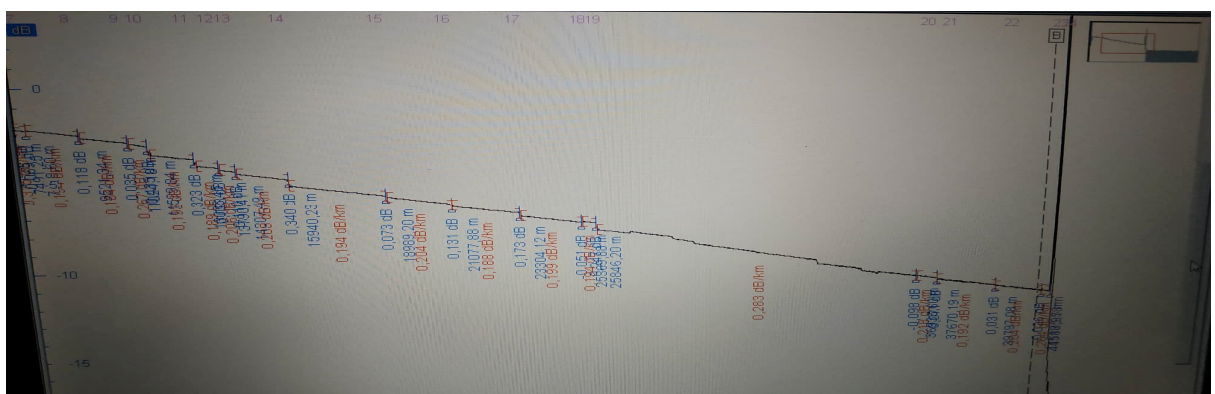
Κατά την διάρκεια της πρακτικής μου εξάσκησης στο τεχνικό τμήμα του ΟΤΕ στην Ναύπακτο με την χρήση του οργάνου OTDR πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω μετρήσεις οπτικών ινών μεταξύ δυο κέντρων.

Μέτρηση 1^η



Εικόνα 7.1.

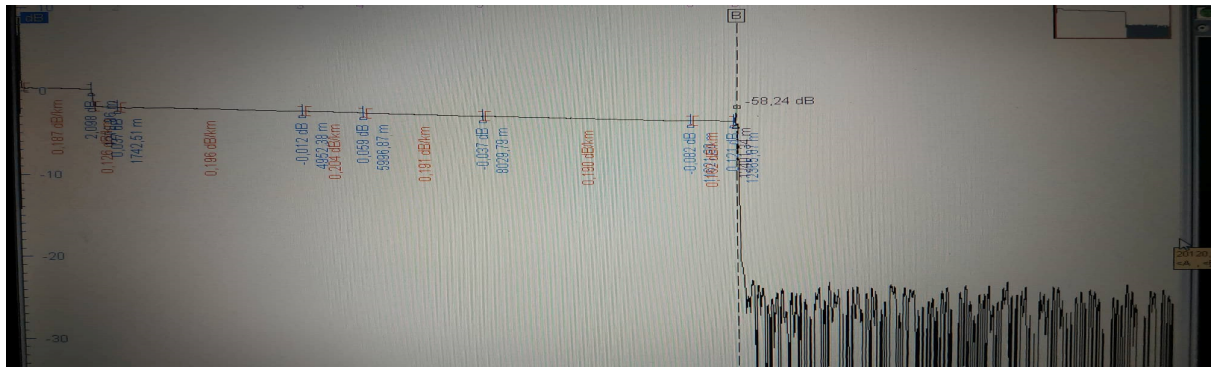
Στην εικόνα 7.1 βλέπουμε την διακοπή της ίνας στα 2.151,99 μέτρα που οφείλεται από εξωτερικό παράγοντα (εργασίες που έκοψαν την ίνα). Επίσης βλέπουμε και τον θόρυβο.



Εικόνα 7.2.

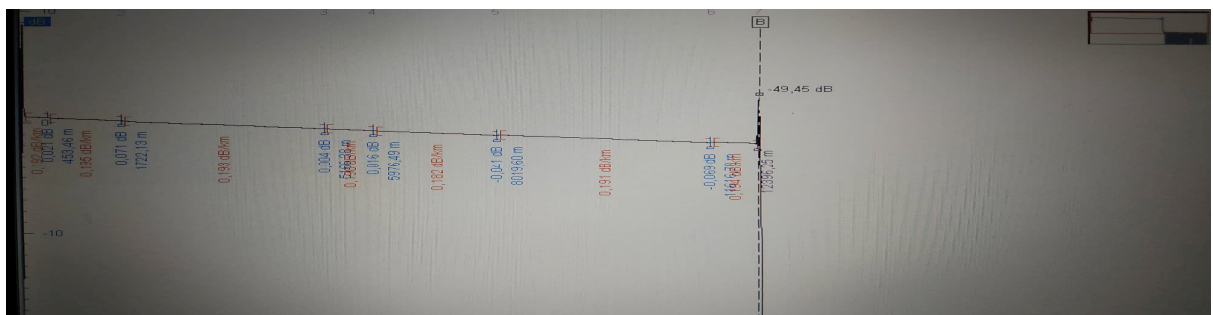
Στην εικόνα 7.2 βλέπουμε την αποκατάσταση βλάβης της ίνας. Η οπτική ίνα δεν παρουσιάζει σταθερή απώλεια. Επίσης βλέπουμε την ολική απόσβεση (total loss) 12,968dB/Km.

Μέτρηση 2^η



Εικόνα 7.3.

Στην εικόνα 7.3 βλέπουμε μια βλάβη οπτικής ίνας που οφείλεται από τσάκιση στα 12.401,25 μέτρα. Έχει μεγάλη απόσβεση (total loss) 4,507 dB/Km.



Εικόνα 7.4.

Στην εικόνα 7.4 βλέπουμε την αποκατάσταση της βλάβης. Η οπτική ίνα δεν παρουσιάζει σταθερή απώλεια σε όλο το μήκος της. Έχει μικρά reak που μπορούμε να τα ερμηνεύουμε ως μικρές ατέλειες η προσμίξεις στην οπτική ίνα. Η απόσβεση της ίνας είναι 2,309 dB/Km

✓ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ✓ Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών Και Μηχανικών Υπολογιστών , Αθήνα, Ιούνιος 2008, Νικόλαος Γαλανάκης ,Διπλωματική Εργασία: Ανάλυση Και Ανάπτυξη Μεθόδων Σχεδίασης Οπτικών Ευζωνικών Δικτύων Νέας Γενιάς
- ✓ http://artemis.cslab.ntua.gr/el_thesis/artemis.ntua.ece/DT2008-0092/DT2008-0092.pdf
- ✓ Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης , Πολυτεχνική Σχολή Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών Και Μηχανικών Υπολογιστών Τομέας Τηλεπικοινωνιών, Θεσσαλονίκη, Μάρτιος 2010, Κωνσταντίνος Ε. Τσουκας ,Διπλωματική Εργασία: Μετρήσεις Και Προσομοίωση Σύγχρονων Τηλεπικοινωνιακών Δικτύων.
- ✓ Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών Και Μηχανικών Η/Υ Εργαστήριο Φωτονικών Επικοινωνιών, Συστήματα Μετάδοσης Και Δίκτυα Οπτικών Ινών .
- ✓ Φωτονική Τεχνολογία Για Τηλεπικοινωνίες, Ηρακλής Αβραμόπουλος, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών Και Μηχανικών Η/Υ.
- ✓ Τμήμα Η.Υ. Συστημάτων Τ.Ε.Ι. Πειραιά Πτυχιακή Εργασία : Πολυπλεξία Με Διάρθρωση Μήκους Κύματος Εφαρμογές Σε Μητροπολιτικά Δίκτυα, Τζιουμακης Η. Αθανάσιος.
- ✓ Τμήμα Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών Και Πληροφορικής Της Πολυτεχνικής Σχολής Του Πανεπιστημίου Πατρών, Ιούλιος 2008 ,Χ. Ι. Μπουρας, , Μάθημα Ευρυζωνικές Τεχνολογίες.
- ✓ <http://ru6.cti.gr/bouras/lessons.php?id=5&action=general>
- ✓ Οπτικές ίνες. Αλέξανδρος Αλεξανδρής. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΦ. Τ.Ε.Ι ΘΕΣ/ΝΙΚΗΣ.
- ✓ Εργαστηριακές σημειώσεις και σημειώσεις οπτικών από τον κύριο Ασαρίδη.
- ✓ **Χρήστος Ευθυμίου MSc Photonics**
- ✓ Τ.Ε.Ι. ΣΕΡΡΩΝ Τμήμα Πληροφορικής & Επικοινωνιών 2011
- ✓ Εισαγωγή Στις Οπτικές Επικοινωνίες
- ✓ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
- ✓ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΗΛΕΚΤΡΟΤΕΧΝΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ
- ✓ «ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΦΩΤΟΣ ΣΕ EXCIMER LASER»

- ✓ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
- ✓ ΤΟΛΗ ΓΕΩΡΓΙΟΥ του ΕΥΘΥΜΙΟΥ
- ✓ ΦΟΙΤΗΤΗ ΤΟΥ ΤΜΗΜΑΤΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ
- ✓ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

- ✓ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ
- ✓ ΤΜΗΜΑ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ & ΠΟΛΥΜΕΣΩΝ
- ✓ ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
- ✓ Αξιολόγηση Τμήματος Μητροπολιτικού Δικτύου Οπτικών Ινών Πελοποννήσου ,
- ✓ Μοντελοποίηση και Προτάσεις για Τυχόν Βελτιώσεις του.