

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ ΚΡΙΣΙΜΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΜΙΑΣ ΟΠΤΙΚΗΣ ΖΕΥΞΗΣ

ΧΡΥΣΑΝΘΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΑ (ΑΜ: 1850)

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΑΣΑΡΙΔΗΣ ΗΛΙΑΣ

ANTIPPIO

2017

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ.....9

1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

1.1.1 ΠΕΝΤΕ ΓΕΝΙΕΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

1.2 ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ - ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.3 Η ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΟΠΤΙΚΗΣ ΙΝΑΣ

1.4 ΕΙΔΗ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

1.5 ΟΙ ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ ΩΣ ΕΝΑ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟ ΚΑΝΑΛΙ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ.....31

2. ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΟΥΣ - ΕΙΣΑΓΩΓΗ

2.1 ΡΥΘΜΟΙ ΔΙΑΔΟΣΗΣ (MODES)

2.1.1. ΟΜΑΛΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΡΥΘΜΟΙ ΔΙΑΔΟΣΗΣ

2.1.2. ΡΥΘΜΟΣ LP₀₁- ΘΕΜΕΛΙΩΔΗΣ ΡΥΘΜΟΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΚΑΙ Η ΑΠΟΚΟΠΗ

2.2 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ ΑΝΟΙΓΜΑ

2.3 ΔΕΙΚΤΗΣ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ ΟΜΑΔΑΣ

2.4 ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΤΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΔΙΑΔΟΣΗΣ

2.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ

2.6. ΔΙΑΣΠΟΡΑ

2.6.1. INTERMODAL ΔΙΑΣΠΟΡΑ Ή MODAL ΔΙΑΣΠΟΡΑ

2.6.2. INTRAMODAL ΔΙΑΣΠΟΡΑ Ή ΧΡΩΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΣΠΟΡΑ

2.6.3. ΔΙΑΣΠΟΡΑ ΠΟΛΩΣΗΣ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ (PMD)

2.7 ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

2.8 ΠΟΛΥΤΡΟΠΗ ΙΝΑ ΜΕ ΟΡΘΟΓΩΝΙΟ ΠΡΟΦΙΛ ΔΕΙΚΤΗ

2.9 ΠΟΛΥΤΡΟΠΗ ΙΝΑ ΜΕ ΒΑΘΜΙΑΙΟ ΠΡΟΦΙΛ ΔΕΙΚΤΗ

2.10 ΜΟΝΟΤΡΟΠΗ ΙΝΑ ΜΕ ΟΡΘΟΓΩΝΙΟ ΠΡΟΦΙΛ ΔΕΙΚΤΗ

2.11 ΙΝΕΣ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΜΕΝΟΥ ΣΗΜΕΙΟΥ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ

2.12 ΣΥΝΗΘΗΣ ΙΝΑ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΜΕΝΟΥ ΣΗΜΕΙΟΥ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ

2.12.1 ΙΝΑ ΜΗ ΜΗΔΕΝΙΚΟΥ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΜΕΝΟΥ ΣΗΜΕΙΟΥ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ

2.12.2 ΙΝΕΣ ΜΕ ΣΥΝΕΧΕΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΟ ΦΑΣΜΑ 1280-1625(1700)

NM

2.12.3	ΙΝΑ ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗΣ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ	
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ.....	59
3.1	ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΣΤΙΣ ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ - ΕΙΣΑΓΩΓΗ	
3.1.2	ΕΞΑΣΘΕΝΙΣΗ	
3.1.3	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΛΟΓΩ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ	
3.1.4	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΛΟΓΩ ΣΚΕΔΑΣΗΣ	
3.1.5	ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΛΟΓΩ ΚΑΜΨΗΣ ΤΗΣ ΟΠΤΙΚΗΣ ΙΝΑΣ	
3.1.6	ΔΙΑΣΠΟΡΑ ΣΗΜΑΤΟΣ ΜΕΣΑ ΣΤΙΣ ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ	
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ	
	ΤΕΤΑΡΤΟ.....	65
4.1	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ	
4.1.1	ΜΕΓΑΛΟ ΕΥΡΟΣ ΖΩΝΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ	
4.1.2	ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΣΤΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΣΗΜΑΤΩΝ	
4.1.3	ΜΙΚΡΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	
4.1.4	ΜΙΚΡΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΑΙ ΒΑΡΟΣ	
4.2	ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ	
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ.....	69
5.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	
5.2	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ	
5.2.1	ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ	
5.2.2	ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	
5.2.3	ΣΤΡΑΤΙΩΤΙΚΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ	
5.2.4	ΨΗΦΙΑΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ (ISDN)	
5.2.5	ΙΑΤΡΙΚΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ	
5.2.6	ΑΛΛΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ	
	ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ.....	73
6.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	
6.2	ΤΥΠΟΙ ΟΠΤΙΚΩΝ ΚΑΛΩΔΙΩΝ	
6.3	ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΑΛΩΔΙΩΝ	
6.3.1	ΥΠΟΓΕΙΑ ΚΑΛΩΔΙΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ	
6.3.2	ΥΠΕΡΓΕΙΑ ΚΑΛΩΔΙΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ	
6.3.3	ΥΠΟΒΡΥΧΙΑ ΚΑΛΩΔΙΑ	
6.3.4	ΚΑΛΩΔΙΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ	
6.3.5	ΚΑΛΩΔΙΑ ΕΙΔΙΚΩΝ ΧΡΗΣΕΩΝ	

6.3.6 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΙΝΑΣ	
6.3.6 ΚΑΛΩΔΙΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ	
6.3.7 ΥΠΟΒΡΥΧΙΑ ΚΑΛΩΔΙΑ	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ.....	83
7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	
7.2 ΚΟΛΛΗΣΗ ΚΑΙ ΤΕΡΜΑΤΙΣΜΟΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ	
7.2.1 ΣΥΝΔΕΣΗ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ	
7.2.2 ΘΕΡΜΙΚΗ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ (FUSION SPLICING)	
7.2.3 ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ (MECHANICAL SPLICING).	
7.3 ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ (CONNECTORS)	
7.4 ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΣΥΓΧΩΝΕΥΣΗΣ	
7.4.1 ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ	
7.5 ΕΝΩΣΕΙΣ (JOINT CLOSURES)	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΩΟ.....	101
8.1 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ ΠΟΥ ΟΦΕΙΛΟΝΤΑΙ ΣΤΗΝ ΙΝΑ	
8.1.1 ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΙ ΠΥΡΗΝΑ	
8.1.2 ΔΙΑΔΟΡΕΤΙΚΕΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΙ ΜΑΝΔΥΑ	
8.1.3 ΜΗ ΚΥΚΛΙΚΟΤΗΤΑ ΠΥΡΗΝΑ Ή/ ΚΑΙ ΜΑΝΔΥΑ	
8.1.4 ΜΗ ΟΜΟΚΕΝΤΡΟΤΗΤΑ ΠΥΡΗΝΑ Ή/ΚΑΙ ΜΑΝΔΥΑ	
8.2 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΠΟΥ ΟΦΕΙΛΟΝΤΑΙ ΣΤΑ ΥΛΙΚΑ ΤΩΝ ΚΟΛΛΗΣΕΩΝ	
8.2.1. ΜΗ ΟΜΟΑΞΟΝΙΚΟΤΗΤΑ	
8.2.2 ΔΙΑΚΕΝΟ	
8.2.3 ΓΩΝΙΑΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	
8.2.4 ΚΑΘΑΡΟΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΚΟΛΛΗΣΗ	
8.3 ΑΛΛΑ ΑΙΤΙΑ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΚΟΛΛΗΣΗΣ	
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΑΤΟ.....	111
9.1 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ	
9.2 ΤΕΡΜΑΤΙΚΑ ΚΑΙ ΟΠΤΙΚΟΙ ΚΑΤΑΝΕΜΗΤΕΣ (LT – ODF)	
9.3 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ / ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	
9.4 Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ODTR	
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ	

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με αφορμή την ολοκλήρωση της πτυχιακής μου εργασίας καθώς και των σπουδών μου στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής Τ.Ε. θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όσους με βοήθησαν.

Αρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους καθηγητές μου, οι οποίοι σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου με εφοδίασαν με τις απαραίτητες γνώσεις, ώστε να ολοκληρώσω τις σπουδές μου με επιτυχία. Επιπροσθέτως, ένα μεγάλο ευχαριστώ στον επιβλέποντα καθηγητή μου, τον κύριο Ασαρίδη Ηλία, ο οποίος με καθοδήγησε στην εκπόνηση της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς, την οικογένειά μου για την ηθική, συναισθηματική και οικονομική υποστήριξή τους, καθώς και τους φίλους μου για την αμέριστη συμπαράσταση και υπομονή τους κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της πτυχιακής μου, αλλά και κατά τη διάρκεια των προπτυχιακών σπουδών μου.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα τελευταία χρόνια, η τεχνολογία των Οπτικών Επικοινωνιών κυριαρχεί στην ενσύρματη μεταφορά πληροφορίας. Τα οπτικά συστήματα επικοινωνίας χρησιμοποιούν ως φορέα φως ορατό ή μη (οπτική ζώνη του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος με μήκη κύματος 0.4μm-3μm). Το μέσο μεταφοράς της πληροφορίας που χρησιμοποιείται είναι πλέον πολύ λεπτές ίνες από γυαλί, αντί των κλασσικών χάλκινων γραμμών μεταφοράς.

Οι οπτικές ίνες (optical fibers) είναι κατάλληλα μέσα για να οδηγούν την οπτική δέσμη που μεταφέρει την πληροφορία σε ψηφιακή μορφή. Χωρίς την οπτική ίνα δεν θα υπήρχαν οι οπτικές επικοινωνίες, ενώ ακόμη και σήμερα τα υπάρχοντα οπτικά συστήματα δεν αξιοποιούν πλήρως τις δυνατότητές της. Ένα μεγάλο μέρος της σύγχρονης έρευνας αποσκοπεί στην ανάπτυξη νέων διατάξεων και τεχνικών για την πλήρη εκμετάλλευση των χαρακτηριστικών της.

Η παρούσα εργασία παρουσιάζει μια θεωρητική μελέτη βασισμένη στην πρόσφατη βιβλιογραφία των Οπτικών Ινών, των Οπτικών Ζεύξεων καθώς και των Κρίσιμων Παραμέτρων Αξιοπιστίας αυτών.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η ανάγκη των ανθρώπων για επικοινωνία είναι γνωστή. Ο λόγος, η πρώτη μορφή έκφρασης και επικοινωνίας αναπτύχθηκε και εξελίχθηκε ανά τους αιώνες παράλληλα με την εξέλιξη του ανθρώπινου είδους. Αρχικά υπήρχαν απλές μορφές επικοινωνίας με τα σήματα καπνού, τις φρυκτωρίες, το ταχυδρομείο. Στη σύγχρονη εποχή, το τηλέφωνο, το διαδίκτυο και τα δορυφορικά σήματα αποτελούν ένα δίκτυο επικοινωνίας που ακολουθεί σε ρυθμό ανάπτυξης τις απαιτήσεις για ταχύτητα διάδοσης και αξιοπιστία σε συνδυασμό με το χαμηλό κόστος.

Τα τελευταία χρόνια, το κύριο μέσο μετάδοσης πληροφορίας ήταν τα καλώδια κατασκευασμένα από χαλκό ή κράματα χαλκού. Ωστόσο, η παραγωγή του χαλκού πραγματοποιείται από λίγες χώρες παγκοσμίως, με αποτέλεσμα οι υπόλοιπες χώρες να πρέπει να τον αγοράζουν. Προκειμένου λοιπόν να μειωθεί το κόστος, οι ερευνητές κατέφυγαν στην αναζήτηση νέων λύσεων. Παράλληλα με την εξοικονόμηση χρήματος, είχε τεθεί και το ζήτημα της ασφάλειας και της μεταφοράς μεγαλύτερου όγκου πληροφοριών, καθώς ο χαλκός δεν ήταν το πλέον αξιόπιστο μέσο για τις τηλεπικοινωνίες. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την εφεύρεση των οπτικών ινών.

Σήμερα, η φωτεινή ενέργεια εξακολουθεί να διαδραματίζει κυρίαρχο ρόλο στις τηλεπικοινωνίες και κατ' επέκταση στην καθημερινή μας ζωή. Αν τα προηγούμενα χρόνια το φως μεταδιδόταν μέσω της ατμόσφαιρας, σήμερα αυτό έδωσε τη θέση του στο γυαλί και σε ειδικό ανακλαστικό υλικό που το περιβάλλει. Κάπως έτσι έχουν σχηματιστεί οι οπτικές ίνες, οι οποίες είναι σε θέση να μεταφέρουν πληροφορίες σε αποστάσεις πολλών χιλιομέτρων, αποτελώντας έτσι αναπόσπαστο κομμάτι των σύγχρονων τηλεπικοινωνιών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Η χρήση του φωτός για τη μεταφορά πληροφορίας δεν είναι ασφαλώς μία καινούργια ιδέα. Πολύ νωρίς ο άνθρωπος χρησιμοποίησε οπτικές τεχνικές, για να μεταδώσει πληροφορίες σε κοντινές ή μακρινές αποστάσεις. Από τα σήματα καπνού και αργότερα τον οπτικό τηλεγράφο, φτάνουμε στον ηλεκτρικό τηλεγράφο, το τηλέφωνο και τις ραδιοφωνικές ζεύξεις, στα μικροκύματα, τα ραντάρ, την τηλεόραση, τα τηλέτυπα και τις δορυφορικές επικοινωνίες. Όμως, σχετικά γρήγορα φάνηκε ότι τα ραδιοηλεκτρικά κύματα δεν θα επαρκούσαν για την κάλυψη των αναγκών της ανθρωπότητας, αφού η ζήτηση για τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες συνεχώς αυξανόταν. Το πρόβλημα του συνωστισμού των τηλεπικοινωνιακών καναλιών ήταν αδύνατο πλέον να ξεπεραστεί αξιοποιώντας το διαθέσιμο εύρος ζώνης από τα ραδιοηλεκτρικά κύματα. Έτσι, αρχίζουν οι προσπάθειες για την αξιοποίηση του τεράστιου εύρους ζώνης, που προσφέρει η οπτική περιοχή (υπέρυθρο, ορατό και υπεριώδες) του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. [5]

Το έναυσμα για τη χρήση του οπτικού φάσματος αποτελεί η ανακάλυψη του laser τη δεκαετία του 1960. Το laser είναι μία μονοχρωματική πηγή στην οπτική περιοχή, με σταθερά κυματικά χαρακτηριστικά, εξαιρετική πυκνότητα ακτινοβολίας, κατευθυντικότητα και με δυνατότητα διαμόρφωσης στις υψηλές συχνότητες.

Δεδομένου ότι αρχικά η τεχνολογία δεν διέθετε τις κατάλληλες διατάξεις διαμόρφωσης του φωτός, η κινητοποίηση των ερευνητών και των μηχανικών ήταν πρωτοφανής. Ανακαλύπτονται νέα υλικά και εξελίσσονται για τηλεπικοινωνιακή χρήση φωτοδίοδοι, φωτοτρανζίστορ, φωτο-FET και άλλα είδη φωτοπηγών, όπως οι φωτοεκπέμπουσες δίοδοι ή LED.

Τα πρώτα οπτικά συστήματα είναι ασύρματα. Οι ακτίνες laser ταξιδεύουν ελεύθερα στην ατμόσφαιρα χρησιμοποιώντας διατάξεις φακών εστίασης και καθρεπτών. Τα προβλήματα είναι πολλά, όπως η δυσκολία στην εστίαση της φωτεινής δέσμης, η εξάρτηση από την κατάσταση της ατμοσφαιράς και η απαραίτητη οπτική επαφή πομπού δέκτη. Έτσι, οι έρευνες στρέφονται στην ανακάλυψη ενός καταλλήλου μέσου μεταφοράς για το οπτικό φέρον. Στα τέλη της δεκαετίας του 1960, παρουσιάζεται στα

εργαστήρια της Αγγλικής Standard Telecommunications Labs ένα απλό οπτικό σύστημα που χρησιμοποιεί σαν μέσο μεταφοράς του οπτικού φέροντος συνεχή ίνα από γυαλί. Οι πρώτες οπτικές ίνες χρησιμοποιούνταν ήδη στην ιατρική, αλλά δεν ήταν κατάλληλες για χρήση στις τηλεπικοινωνίες. [7]

Εμφάνιζαν μεγάλη εξασθένιση της τάξης των 1000 dB/km, (δηλαδή η ισχύς του σήματος εξόδου είναι 10100 φορές μικρότερη από την ισχύ του σήματος εισόδου μετά από διαδρομή ενός km) τη στιγμή που τα ομοαξονικά καλώδια των συμβατικών ενσύρματων τηλεπικοινωνιακών συστημάτων εμφάνιζαν αντίστοιχα εξασθένιση της τάξης των 5-10 dB/Km. Οι κατασκευαστές με κατάλληλες τεχνικές (απομακρύνοντας τις διάφορες προσμείξεις και κυρίως τα ιόντα υδροξυλίου) περιορίζουν την εξασθένιση στα 20 dB/km. Μέχρι το 1975, η εξασθένιση έγινε 2 dB/Km και το 1980 0.25 dB/km (δηλαδή το οπτικό σήμα χάνει μόλις το 5% της ισχύος του μετά από διαδρομή ενός km!). Παράλληλα, η ανάπτυξη των νέων υλικών οδηγεί στην κατασκευή ημιαγωγικών πηγών laser και φωτοφωρατών με διαστάσεις συγκρίσιμες με τα χρησιμοποιούμενα μήκη κύματος 0.8 - 1.6 μm.

Σήμερα, η έρευνα οδηγεί με σταθερά βήματα στη μονολιθική ολοκλήρωση τους, άρα και στη μαζική παραγωγή τους κατά τα πρότυπα των ολοκληρωμένων ηλεκτρονικών κυκλωμάτων.

Η χρήση του φωτός για σκοπούς επικοινωνίας χρονολογείται από την αρχαιότητα. Οι περισσότεροι πολιτισμοί χρησιμοποίησαν σήματα φωτιάς και καπνού για να μεταβιβάσουν μία πληροφορία. Βασικά, η ίδια ιδέα χρησιμοποιήθηκε μέχρι το τέλος του 18ου αιώνα με σήματα από λάμπες, σήματα με σημαίες και άλλα αντικείμενα σηματοδότησης.

Με την έλευση του τηλεγράφου τη δεκαετία του 1830, το φως αντικαταστάθηκε από ηλεκτρισμό και άρχισε η εποχή των ηλεκτρικών επικοινωνιών. Η χρήση ενδιάμεσων σταθμών αναμετάδοσης επέτρεψε επικοινωνίες σε μεγάλες αποστάσεις. Στα τέλη του 19ου αιώνα και τις αρχές του 20ου, οι καπετάνιοι των πλοίων χρησιμοποιούσαν ειδικούς ισχυρούς φακούς, τους οποίους αναβόσβηναν σύμφωνα με τον κώδικα Μορς επικοινωνώντας άμεσα μεταξύ τους. Αυτός ο τρόπος επικοινωνίας χρησιμοποιήθηκε εν μέρει και στη ξηρά, παρ' όλο που εκείνη την εποχή οι πρώτες συσκευές ενσύρματης επικοινωνίας είχαν κάνει την εμφάνισή τους. [9]

Από τις προαναφερθείσες μορφές επικοινωνίας προκύπτουν τρία κοινά στοιχεία. Το πρώτο είναι ο αποστολέας του φωτεινού σήματος, το δεύτερο ήταν το μέσο μετάδοσης, δηλαδή ο αέρας, και το τρίτο ήταν ο παραλήπτης που το αποκωδικοποιούσε και το μετέτρεπε σε κατανοητή μορφή.

Φυσικά οι προαναφερθείσες μέθοδοι είχαν ως σημαντικότερο μειονέκτημα το πρόβλημα της ορατότητας.

Το φως μιας φωτιάς ή ενός τεχνητού μέσου δεν μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την επικοινωνία κατά τη διάρκεια της ημέρας, καθώς δεν μπορούσε κανείς να το ξεχωρίσει από το πολύ ισχυρότερο ηλιακό φως. Ακόμη και τη νύχτα όμως, διάφορες συνθήκες όπως η αυξημένη υγρασία ή η ομίχλη, μπορούσαν να καταστήσουν ανέφικτη την παρατήρηση του φωτεινού σήματος σε μεγάλη απόσταση.

Το 1966, το πρώτο επιτυχημένο τηλεγραφικό υπερατλαντικό καλώδιο μπήκε σε λειτουργία και είναι αρκετά ενδιαφέρον, ότι ο τηλεγράφος χρησιμοποίησε ουσιαστικά ένα ψηφιακό σχήμα μέσω δύο ηλεκτρικών παλμών διαφορετικής διάρκειας.

Η εφεύρεση του τηλεφώνου το 1876 έφερε μία μεγάλη αλλαγή, αφού ηλεκτρικά σήματα μεταδίδονταν με αναλογικό τρόπο μέσω ενός μεταβαλλόμενου ηλεκτρικού ρεύματος.

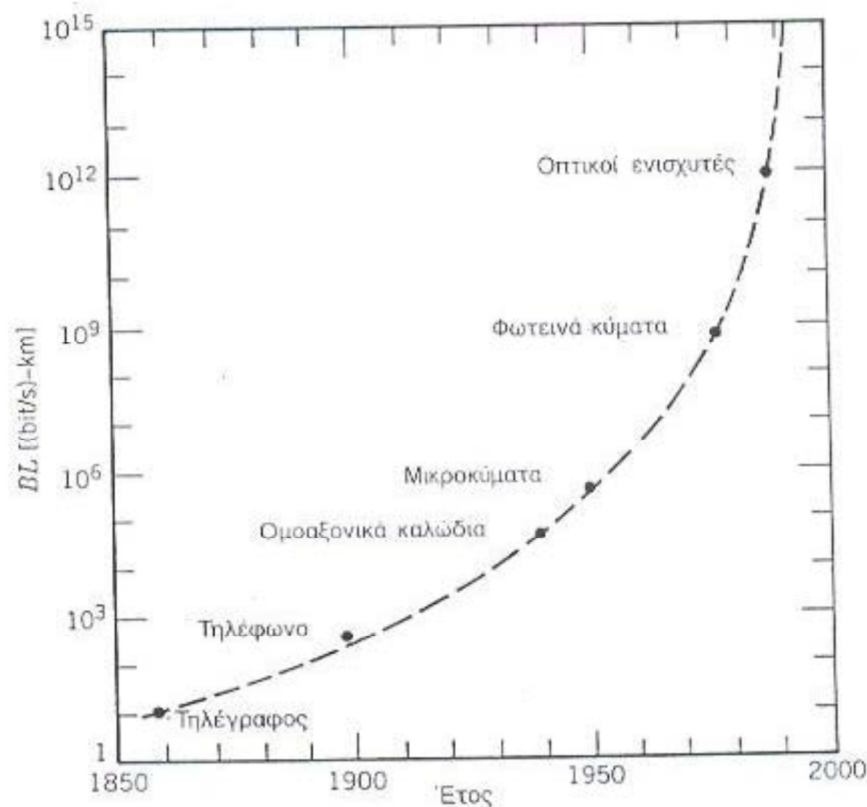
Τα συστήματα επικοινωνίας με αναλογικές τεχνικές κυριάρχησαν περίπου έναν αιώνα.

Η ανάπτυξη παγκόσμιων τηλεφωνικών δικτύων κατά τη διάρκεια του εικοστού αιώνα οδήγησε σε πολλές εφαρμογές σχεδίασης ηλεκτρικών συστημάτων επικοινωνίας.

Τα ζεύγη συρμάτων αντικαταστάθηκαν από ομοαξονικά καλώδια και αυξήθηκε σημαντικά η χωρητικότητα του συστήματος. Το εύρος ζώνης τέτοιων συστημάτων περιορίζεται από τις απώλειες των καλωδίων και αυτός ο περιορισμός οδήγησε στην ανάπτυξη μικροκυματικών συστημάτων επικοινωνίας, στα οποία χρησιμοποιήθηκε ένα ηλεκτρομαγνητικό φέρον κύμα. [11]

Η εφεύρεση του laser και η επίδειξή του το 1960 εστιάσθηκε στο να βρεθούν τρόποι για να χρησιμοποιηθεί το φως στις οπτικές επικοινωνίες. Το 1966 προτάθηκε ότι οι

οπτικές ίνες θα μπορούσαν να είναι η καλύτερη επιλογή, καθώς αυτές μπορούσαν να κυματοδηγήσουν το φως με ένα τρόπο παρόμοιο με εκείνο της κυματοδότησης των ηλεκτρονίων σε χάλκινα σύρματα. Το κύριο πρόβλημα ήταν οι μεγάλες απώλειες των οπτικών ινών. Η ταυτόχρονη ύπαρξη μιας συμπαγούς οπτικής πηγής και μιας οπτικής ίνας χαμηλών απωλειών οδήγησαν σε παγκόσμια προσπάθεια για την ανάπτυξη συστημάτων επικοινωνίας με οπτικές ίνες. Ένα προσόν αξιολόγησης που συχνά χρησιμοποιείται για τηλεπικοινωνιακά συστήματα είναι το γινόμενο ρυθμού των bit επί την απόσταση BL, όπου B είναι ο ρυθμός μετάδοσης των bit και L είναι η απόσταση του επαναλήπτη. Το *σχήμα 1.1* μας δείχνει πώς έχει αυξηθεί το γινόμενο BL μέσω τεχνολογικών εξελίξεων του τελευταίου αιώνα και ειδικά το τελευταίο ήμισυ του αιώνα.

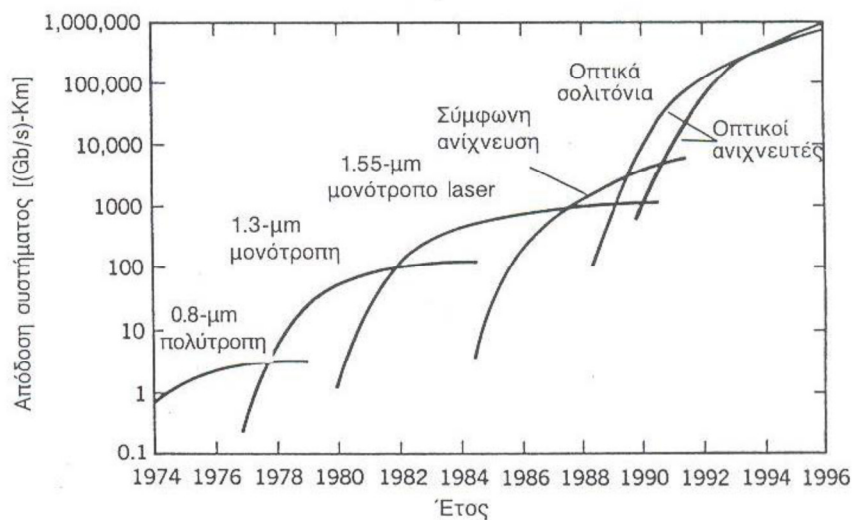


Σχήμα 1.1 Αύξηση του γινομένου ταχύτητας μετάδοσης bit επί απόστασης μεταξύ επαναληπτών κατά τη διάρκεια της περιόδου 1850-2000. Η εμφάνιση μιας νέας τεχνολογίας σημειώνεται με ένα μαύρο κύκλο.

1.1.1 ΠΕΝΤΕ ΓΕΝΙΕΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Η εμπορική ανάπτυξη των οπτικών συστημάτων επικοινωνίας ακολούθησε την έρευνα. Μετά από πολλές δοκιμές, η πρώτη-γενιά οπτικών συστημάτων που λειτουργούσε κοντά στα 0.8 μm έγινε εμπορικά διαθέσιμη το 1980. Κατά τη διάρκεια του 1970, η απόσταση μεταξύ επαναληπτών μπορούσε να αυξηθεί σημαντικά για τη λειτουργία των οπτικών συστημάτων σε μήκη κύματος στην περιοχή του 1.3 μm , όπου οι απώλειες των οπτικών ινών ήταν κάτω από 1db/km. Επιπλέον, οι οπτικές ίνες παρουσιάζουν ελάχιστη διασπορά σε αυτήν την περιοχή μήκους κύματος. Αυτό το γεγονός οδήγησε σε μεγάλη προσπάθεια για την ανάπτυξη laser. [13]

Η δεύτερη γενιά συστημάτων επικοινωνίας με οπτικές ίνες εμφανίστηκε πριν το 1980, αλλά ο ρυθμός μετάδοσης των συστημάτων αυτών περιορίστηκε κάτω από 100 Mb/s λόγω διασποράς σε πολύτροπες οπτικές ίνες. Αυτός ο περιορισμός ξεπεράστηκε με τη χρήση μονότροπων οπτικών ινών.



Σχήμα 1.2 Εξέλιξη στην τεχνολογία των επικοινωνιών με φως την περίοδο 1974-1996. οι διάφορες καμπύλες δείχνουν αύξηση στο γινόμενο ρυθμού των bits επί απόσταση, BL, για πέντε γενιές συστημάτων επικοινωνίας με οπτικές ίνες.

Η εισαγωγή των οπτικών συστημάτων τρίτης γενεάς που λειτουργούσαν στα 1.55 μm καθυστέρησε σημαντικά από μεγάλες διασπορές της ίνας κοντά στα 1.55 μm . Στη συνέχεια, λειτούργησε στα 2.5 Gb/s και εμφανίστηκε στο εμπόριο το 1990. Τέτοια συστήματα είναι ικανά να λειτουργούν σε ρυθμούς bit μέχρι 10 Gb/s. Η καλύτερη

απόδοση επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας οπτικές ίνες με ολίσθηση στη διασπορά μαζί με laser διαμήκους τρόπου μετάδοσης. Ένα μειονέκτημα των συστημάτων αυτής της γενιάς στα 1.55 μm είναι ότι το σήμα αναγεννάται περιοδικά με τη χρήση ηλεκτρονικών επαναληπτών που απέχουν μεταξύ τους αποστάσεις τυπικά περίπου 60 έως 80 km. Η απόσταση μεταξύ επαναληπτών μπορεί να αυξηθεί χρησιμοποιώντας ομόδυνα ή ετερόδυνα τεχνική φώρασης, αφού η χρήση της βελτιώνει την ευαισθησία του δείκτη.

Τέτοια συστήματα αναφέρονται σαν σύμφωνα συστήματα οπτικών επικοινωνιών. Τα δυναμικά τους πλεονεκτήματα αποδείχτηκαν σε πολλά πειράματα συστημάτων. Όμως, η εμπορική εισαγωγή αυτών των συστημάτων είχε καθυστερήσει λόγω της εμφάνισης των ενισχυτών οπτικών ινών το 1989.

Η τέταρτη γενιά οπτικών συστημάτων χρησιμοποιεί την οπτική ενίσχυση για αύξηση της απόστασης μεταξύ επαναληπτών και πολυπλεξία με διαίρεση του μήκους κύματος για αύξηση του ρυθμού μετάδοσης bit. Σε τέτοια συστήματα οι απώλειες οπτικών ινών αντισταθμίζονται περιοδικά με τη χρήση ενισχυτών οπτικών ινών με εμπλουτισμό με έρβιο, οι οποίοι τοποθετούνται σε αποστάσεις 60-100km. Τέτοιοι ενισχυτές αναπτύχθηκαν κατά τη δεκαετία του 1980 και διατέθηκαν στο εμπόριο το 1990. Αυτή η απόδοση έδειξε ότι ένα υποθαλάσσιο σύστημα μετάδοσης εξ' ολοκλήρου οπτικό και με ενισχυτές πάνω σε ένα οπτικό υποθαλάσσιο σύστημα μετάδοσης μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για διηπειρωτικές επικοινωνίες. [15]

Η πέμπτη γενιά συστημάτων επικοινωνίας με οπτικές ίνες ασχολούνται με την εύρεση λύσης στο πρόβλημα της διασποράς των οπτικών ινών. Οι οπτικοί ενισχυτές λύνουν το πρόβλημα των απωλειών, αλλά ταυτόχρονα κάνουν το πρόβλημα της διασποράς χειρότερο, αφού τα φαινόμενα διασποράς συσσωρεύονται λόγω πολλαπλών σταδίων ενίσχυσης. Παρόλο που η τεχνολογία της επικοινωνίας με οπτικές ίνες καλύπτει μόνο δύο δεκαετίες, έχει εξελιχθεί ραγδαία και έχει φθάσει σε ένα συγκεκριμένο στάδιο ωρίμανσης.

1.2 ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ - ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι οπτικές ίνες αποτελούν έναν υβριδικό τομέα. Ξεκινώντας σαν ένα εκμεταλλεύσιμο οπτικό προϊόν, οι οπτικές ίνες χρησιμοποιήθηκαν αρχικά σαν οπτικά μέρη. Στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκαν ως ένα νέο μέσο επικοινωνίας, και δανείστηκαν ιδέες και ορολογία από τις ηλεκτρονικές επικοινωνίες.

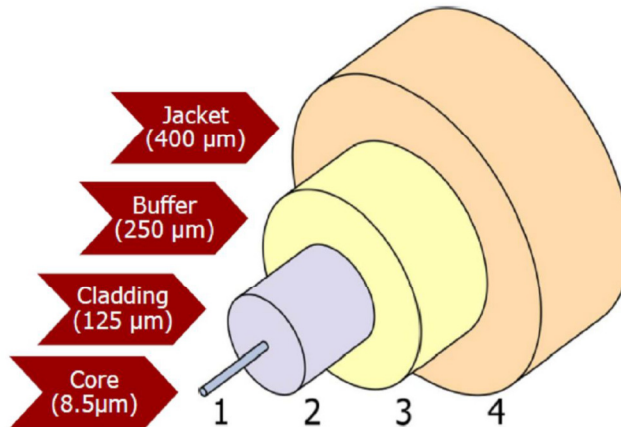
Πομποί και δεκτές μετατρέπουν σήματα από ηλεκτρικά σε οπτικά και αντιστρόφως. Όπως είναι γνωστό, τα καλώδια κατασκευάζονται από χαλκό ή κράματά του. Όμως ο χαλκός παράγεται σε λίγες μόνο χώρες του κόσμου. Έτσι οι υπόλοιπες χώρες είναι εξαρτημένες από αυτές που τον παράγουν.

Οι ερευνητές ωθήθηκαν στο να προτείνουν πιο συμφέρουσες εναλλακτικές λύσεις παρακινούμενοι και από την προσπάθεια ανεξάρτησης από τις χώρες παραγωγής χαλκού και από την προσπάθεια αποτροπής υποκλοπών στις τηλεπικοινωνίες, καθώς και μεταφοράς μεγαλύτερου όγκου πληροφοριών. Έτσι, οδηγήθηκαν στην κατασκευή οπτικών ινών. [17]

1.3 Η ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΟΠΤΙΚΗΣ ΙΝΑΣ

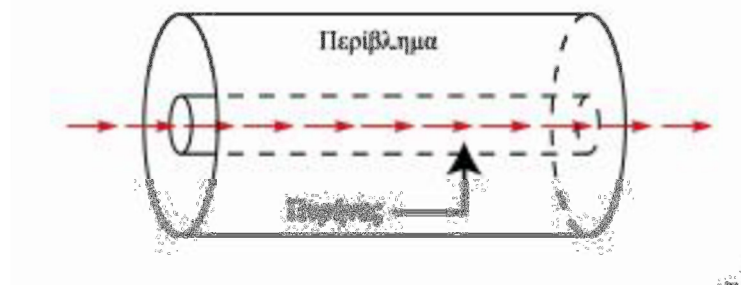
Οπτική ίνα είναι ένα σύγχρονο και ασύρματο μέσο μετάδοσης μηνυμάτων που μεταφέρει πληροφορίες με αρκετά γρήγορους ρυθμούς παρέχοντας εξυπηρέτηση στην επικοινωνία των απομακρυσμένων περιοχών σε μεγάλες αποστάσεις. Οι οπτικές ίνες είναι το πλέον αξιόπιστο μέσο μετάδοσης των οπτικών συστημάτων. Είναι εύκαμπτες ίνες γυαλιού ή πλαστικού, λεπτές όσο μια ανθρώπινη τρίχα. Ουσιαστικά, είναι κυλινδρικοί διηλεκτρικοί κυματοδηγοί που λειτουργούν στις συχνότητες της οπτικής περιοχής του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

Η οπτική ίνα έχει τη μορφή μιας λεπτής κλωστής κατασκευασμένης από silica (πυριτική ένωση) και είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε ο δείκτης διάθλασης (refractive index) του εσωτερικού τμήματος (core - πυρήνας) να είναι ελαφρώς μεγαλύτερος από αυτόν του εξωτερικού τμήματος (cladding - περίβλημα). Μια τυπική οπτική ίνα αποτελείται από τρεις ομόκεντρους κυλίνδρους διηλεκτρικού υλικού. [21]



Σχήμα 1.3. Εγκάρσια τομή μονότροπης οπτικής ίνας

Το υλικό κατασκευής τόσο του πυρήνα όσο και του μανδύα είναι συνήθως υψηλής καθαρότητας γυαλί (οξείδιο του πυριτίου-SiO₂). Εκτός από το γυαλί, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και πολυμερές. Οι πολυμερείς οπτικές ίνες όμως παρουσιάζουν μεγαλύτερες απώλειες (>10dB/km) και είναι κατάλληλες για ζεύξεις μικρών αποστάσεων.

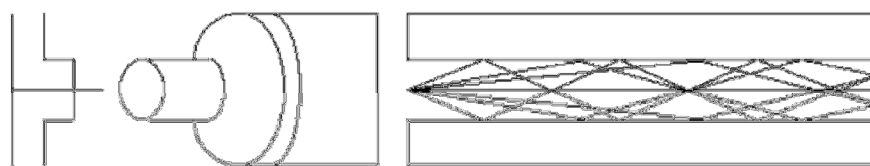


Σχήμα 1.4. Γράφημα οπτικής ίνας

Άλλα είδη οπτικών ινών ενσωματώνουν χαλαζία ή καθαρή τηγμένη σιλικόνη και πλαστικό. Όμως αυτές δεν χρησιμοποιούνται στις κοινά αποδεκτές υψηλής ποιότητας εφαρμογές.

Η διάδοση του φωτός μέσα σε ένα μέσο καθορίζεται από τον δείκτη διάθλασης του μέσου n . Αν το φως διαδίδεται στο κενό με ταχύτητα $c_0 = 3 \times 10^8$ m/s, τότε σε ένα υλικό μέσο θα διαδίδεται με ταχύτητα $c = c_0/n$. Ο δείκτης διάθλασης του πυρήνα που πρέπει να είναι υψηλότερος από τον δείκτη διάθλασης του μανδύα μπορεί να έχει σταθερή τιμή ή να μεταβάλλεται και συγκεκριμένα να μειώνεται ακτινικά καθώς

πλησιάζουμε προς τα όριά του με τον μανδύα. Τυπικές τιμές για τους δείκτες διάθλασης είναι από 1.50 έως 1.40.



Εικόνα 1.1 Αναπαράσταση ολικής ανάκλασης

Όταν το φως σχηματίζει γωνία που έχει τιμή μικρότερη από την τιμή μιας κρίσιμης γωνίας (critical angle) κατά την πρόσπτωσή του στην εσωτερική επιφάνεια του περιβλήματος, τότε το φως υφίσταται ολική ανάκλαση. Είναι δυνατόν όμως, αν η οπτική ίνα καμφθεί απότομα, η γωνία πρόσπτωσης να γίνει μεγαλύτερη της κρίσιμης γωνίας, με συνέπεια ένα μέρος του φωτός να κατευθυνθεί προς το περίβλημα (δηλαδή να μην έχουμε ολική ανάκλαση) που οδηγεί σε απώλεια ισχύος.

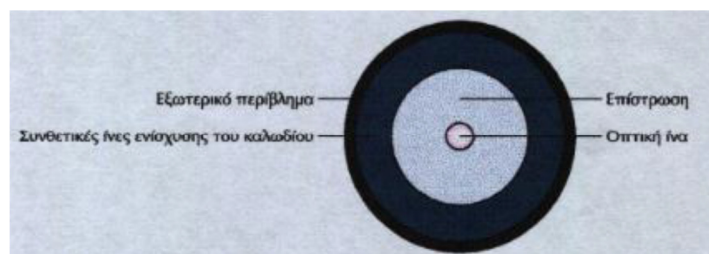
Το υλικό από το οποίο έχουν κατασκευαστεί επιτρέπει τη μετάδοση φωτός στο εσωτερικό τους, ενώ συνήθως τις συναντάμε συγκεντρωμένες κατά χιλιάδες σε δέσμες, που σχηματίζουν τα λεγόμενα οπτικά καλώδια. Επίσης, μεταδίδουν φωτεινά σήματα σε μεγάλες αποστάσεις με σχεδόν μηδενικές απώλειες. [2]

Η δομή ενός καλωδίου οπτικών ινών είναι τέτοια, ώστε να αποτρέπει τις εξωτερικές φθορές, αλλά και την απώλεια σήματος, που θα προέκυπτε κατά τη διαρροή της φωτεινής ακτινοβολίας στο εξωτερικό του. Αν κόψουμε στη μέση ένα οπτικό καλώδιο, θα συναντήσουμε, από το κέντρο προς το εξωτερικό του, τα παρακάτω τμήματα.

Πυρήνας: το τμήμα εκείνο της ίνας μέσα στο οποίο διαδίδονται τα οπτικά σήματα και το οποίο πάντοτε χαρακτηρίζεται ως περιοχή υψηλού δείκτη διάθλασης. Ο πυρήνας είναι στο κέντρο της ίνας και περιορίζεται από το περίβλημα.

Εσωτερική επένδυση: είναι το υλικό που αντανακλά εσωτερικά το φως, εκμηδενίζοντας παράλληλα το ποσοστό διαφυγής του στο εξωτερικό του καλωδίου.

Εξωτερική επένδυση: ανθεκτικό υλικό, που αποτελείται από καουτσούκ για μικρά καλώδια οικιακής χρήσης, ή από ατσάλι για μεγαλύτερα που χρησιμοποιούν οι εταιρείες σε εξωτερικό περιβάλλον. Προστατεύει το καλώδιο από ζημιές από τους διάφορους εξωτερικούς παράγοντες.



Σχήμα 1.5 Δομή ενός καλωδίου οπτικών ινών

Τα καλώδια οπτικών ινών είναι τα καλώδια τηλεπικοινωνιών στα οποία το μέσο μετάδοσης δεν είναι μεταλλικοί αγωγοί, αλλά υάλινοι οπτικοί κυματοδηγοί όπου τα μονοχρωματικά οπτικά ηλεκτρομαγνητικά κύματα διαδίδονται εξαιτίας του φαινομένου ολικής ανάκλασης. Τα οπτικά ηλεκτρομαγνητικά κύματα παράγονται από τις μονοχρωματικές πηγές φωτός όπως Led, Laser κ.λπ. [4]

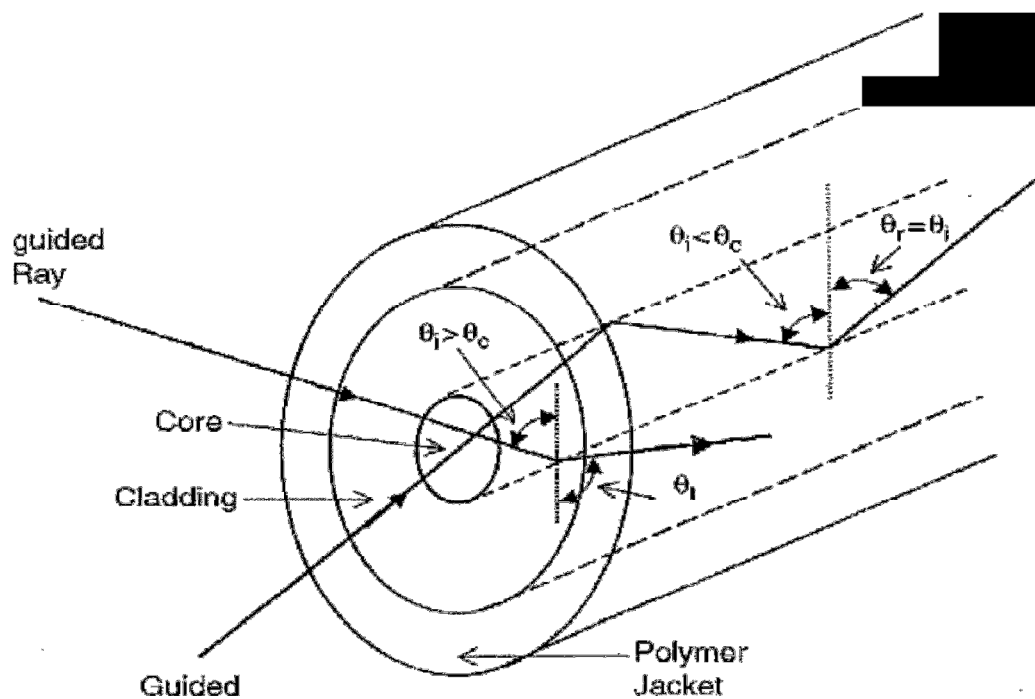
Είναι τα πιο προηγμένα τηλεπικοινωνιακά μέσα ενσύρματης μετάδοσης και χρησιμοποιούνται σε όλα τα σύγχρονα συστήματα τηλεπικοινωνιών δεδομένου ότι προσφέρουν ένα πολύ μεγάλο εύρος ζώνης, υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης και απόλυτη ανοσία ενάντια στις ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές παρέχοντας έτσι ασφαλή και γρήγορη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

Οι οπτικές ίνες μπορούν να κυματοδηγούν το φως εκμεταλλευόμενες την αρχή της ολικής εσωτερικής ανάκλασης. Έστω μια επαφή 2 διηλεκτρικών μέσων στην οποία ο δείκτης διάθλασης του ενεργού μέσου είναι μεγαλύτερος από τον δείκτη διάθλασης του μέσου στο οποίο ανακλάται το φως. Καθώς μεγαλώνει η γωνία θί, η θο φτάνει σε μια τιμή όπου όλη η εισερχόμενη ισχύς υφίσταται ολική ανάκλαση.

Στην πράξη, το περίβλημα της ίνας είναι συνήθως κατασκευασμένο από διοξείδιο του πυριτίου. Η επιλογή του τύπου αυτού γυαλιού ικανοποιεί πολλά από τα κριτήρια για την κατασκευή οπτικών ινών.

Έχει χαμηλές οπτικές απώλειες και ο δείκτης διάθλασής του μπορεί να καθοριστεί επακριβώς στην ακτινική κατεύθυνση με ελάχιστες διακυμάνσεις στη διαμήκη κατεύθυνση. Επιπλέον, είναι χημικά ευσταθές και έχει μεγάλη μηχανική αντοχή. Ο πυρήνας της ίνας κατασκευάζεται συνήθως με την προσθήκη διάφορων στοιχείων όπως γερμάνιο, φώσφορο και αλουμίνιο, τα οποία αυξάνουν την τιμή του δείκτη διάθλασης.

Τέλος, ένα πολυμερές περίβλημα τοποθετείται πάνω από το διοξείδιο του πυριτίου ώστε να παρέχει μηχανική προστασία. Ο δείκτης διάθλασης του πολυμερούς είναι μεγαλύτερος από αυτόν του περιβλήματος έτσι ώστε να αποφεύγεται η κυματοδήγηση μέσα στο περίβλημα. [6]



Εικόνα 1.2: Σχηματική αναπαράσταση εγκάρσιας τομής οπτικής ίνας κατά την ολική εσωτερική ανάκλαση.

Το φως οδηγείται σύμφωνα με την αρχή της ανάκλασης, όπως αυτή ορίζεται από το νόμο της διάθλασης. Σύμφωνα με αυτή, όταν υπερβούμε την γωνία προσπτώσεως το φως ανακλάται στην επιφάνεια επαφής ενός πυκνού υλικού, όπως το νερό, και ενός αραιού υλικού, όπως ο αέρας.

Στην περίπτωση των οπτικών ινών, η κεντρική ίνα έχει υψηλότερο συντελεστή διάθλασης από αυτό της επίστρωσης. Βασική προϋπόθεση για να συμβεί ολική ανάκλαση είναι αφενός ο δείκτης διάθλασης του εξωτερικού υλικού να είναι μικρότερος από αυτόν του εσωτερικού και αφετέρου η γωνία πρόσπτωσης της ακτίνας να είναι μεγαλύτερη από κάποια τιμή που ονομάζεται «κρίσιμη γωνία».

Οι οπτικές ίνες είναι κατασκευασμένες από γυαλί ή πλαστικό με εξαιρετικά μικρή διάμετρο η οποία δεν ξεπερνάει τα 8μm. Αν ανατρέξουμε στην καθημερινότητά μας θα διαπιστώσουμε ότι το μέγεθος αυτό είναι πάρα πολύ μικρό αφού είναι μικρότερο από μια τρίχα. Επίσης, είναι διαφανείς και εύκαμπτες. [8]

Κατασκευάζονται από εξαιρετικά καθαρό γυαλί, διότι έτσι επιτυγχάνεται η αντανάκλαση του φωτός προς τον άξονά τους κρατώντας το στο εσωτερικό τους. Με τις ακτίνες laser, ένα σήμα είναι εύκολο μέσω των οπτικών ινών να μεταδοθεί σε απόσταση μεγαλύτερη από 50χλm χωρίς ενδιάμεση ενίσχυση. Συγκρίνοντας τα χάλκινα καλώδια με τις οπτικές ίνες συμπεραίνουμε ότι είναι πιο αποδοτικές, καθώς με ένα μόνο ζεύγος οπτικών ινών μπορούν να πραγματοποιηθούν ταυτόχρονα εκατοντάδες τηλεφωνικές συνδιαλέξεις.

Οι οπτικές ίνες που είναι κατασκευασμένες από πλαστικό λειτουργούν καλύτερα όταν τα μήκη των κυμάτων τα οποία μεταφέρουν κυμαίνονται στο οπτικό φάσμα. Ωστόσο, οι οπτικές αυτές ίνες δεν είναι τόσο διαυγείς όσο αυτές που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά υπέρυθρων κυμάτων, οι οποίες είναι φτιαγμένες από γυαλί. Τέλος, σε εξέλιξη βρίσκονται και οπτικές ίνες που είναι φτιαγμένες από αλλά υλικά που μπορούν να μεταδώσουν φως που βρίσκεται σε μήκη κύματος πάνω από τα υπέρυθρα. [9]

Η ιδέα της διέλευσης του φωτός μέσα από διηλεκτρικούς κυματοδηγούς ήταν γνωστή από τις αρχές του 20ου αιώνα. Πρωτοπόρος της ιδέας αυτής μπορεί να θεωρηθεί ο φυσικός Debye, ο οποίος με την επιστημονική του εργασία «Ηλεκτρομαγνητικά κύματα κατά μήκους κυλινδρικών διηλεκτρικών» (το 1910), απέδειξε θεωρητικά ότι ένα κυλινδρικό διηλεκτρικό μπορεί να παγιδεύσει μέσα του ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία την οποία εξαναγκάζει να οδεύει κατά μήκος του άξονά του.

Το φαινόμενο αυτό γίνεται εύκολα αντιληπτό αν φωτίσουμε το ένα άκρο μιας γυάλινης κυλινδρικής ράβδου με μια φωτεινή πηγή . Θα παρατηρήσουμε τότε ότι από το άλλο άκρο θα εξέλθει φως το οποίο, κάτω από τις τυχαίες συνθήκες που επικρατούν, θα έχει μικρότερη ένταση από την ένταση που παρέχει απευθείας η φωτεινή πηγή.

Οι συνθήκες που καθορίζουν τη διέλευση του φωτός μέσα από τη γυάλινη ράβδο, και γενικά μέσα από ένα κυλινδρικό οπτικό κυματοδηγό, έχουν σχεδόν εντοπισθεί και έχουν σχέση τόσο με τη φύση και τη δομή του κυματοδηγού όσο και με τη γεωμετρία αυτού. Έτσι, από τα μέσα της δεκαετίας του '50 άρχισε να αναπτύσσεται συστηματικά η τεχνολογία των διηλεκτρικών οπτικών κυματοδηγών, οι οποίοι πλέον έχουν αποκτήσει συγκεκριμένη μορφή.

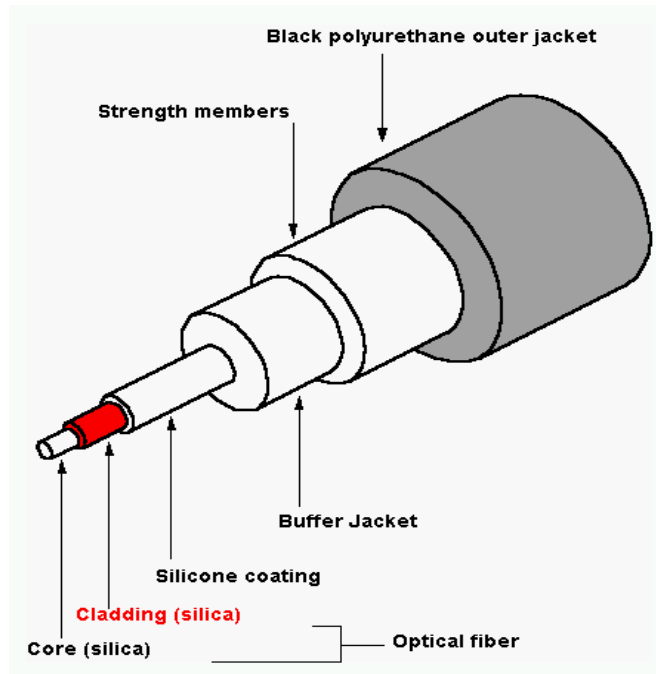
Με τον όρο «οπτικός κυματοδηγός» εννοούμε ένα σύστημα το οποίο αποτελείται από μια διαφανή κυλινδρική ράβδο (πυρήνας) με δείκτη διάθλασης n_1 , της οποίας η κυλινδρική επιφάνεια περιβάλλεται από άλλο διαφανές υλικό (μανδύας) που έχει δείκτη διάθλασης n_2 και γενικά ισχύει ότι $n_1 > n_2$.

Στις πρακτικές όμως εφαρμογές η διάμετρος της κυκλικής βάσης ενός οπτικού κυματοδηγού είναι συνήθως μικρότερη από 1 mm και το μήκος του μπορεί να φθάσει τα μερικά χιλιόμετρα. Έτσι, έχουμε πλέον ένα οπτικό κυματοδηγό με μορφή ίνας.
[10]

Η χρήση των οπτικών ινών στις επικοινωνίες άρχισε το 1966 όταν ακόμη οι επιδόσεις τους ήταν πολύ χαμηλές και συγκεκριμένα η εξασθένιση της ακτινοβολίας μέσα σε αυτές ξεπερνούσε τα 1000 db/km. Ενδεικτικά αναφέρουμε εδώ ότι οι οπτικές ίνες που κατασκευάζονται σήμερα παρουσιάζουν εξασθένιση σήματος κάτω από 1db/km για ακτινοβολίες με μήκη κύματος από 800-900nm. Η εξασθένιση αυτή μπορεί να φθάσει τα 0.2 db/km όταν πλέον κατασκευασθούν φωτοεκπομποί με μήκη κύματος περίπου 1.3μm .

Η βασική αρχή της οπτικής ίνας είναι η μεταφορά του φωτός από μια σταθερή πηγή σε οποιοδήποτε σημείο επιθυμούμε και αυτό στηρίζεται στο φαινόμενο της ανάκλασης. Για τον λόγο αυτό, κάθε οπτική ίνα επικαλύπτεται από ένα ή περισσότερα στρώματα εξαιρετικά λεπτά. Κάθε εξωτερικό στρώμα της έχει

μικρότερο δείκτη διάθλασης σε σχέση με το αμέσως προηγούμενο. Το ίδιο φαινόμενο παρατηρείται ακόμα και όταν η επικάλυψη της οπτικής ίνας είναι μια. Η ίνα όμως, προκειμένου να μην είναι εκτεθειμένη σε πιθανές καταστροφές, είναι τοποθετημένη σε ένα εξωτερικό περίβλημα το οποίο την κάνει ανθεκτική. [12]



Σχήμα 1.6: Οπτική ίνα

Όπως γίνεται φανερό από τα παραπάνω, κάθε οπτική ίνα αποτελείται από πέντε μέρη. Η κεντρική γυάλινη κυλινδρική ίνα, που ονομάζεται πυρήνας και είναι το τμήμα στο οποίο διαδίδεται το φως. Ο πυρήνας περιβάλλεται από τον μανδύα, ο οποίος έχει σαν στόχο να παγιδεύει το φως μέσα στον πυρήνα. Το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένο είναι το ίδιο με αυτό του πυρήνα αλλά με μικρότερο δείκτη διάθλασης.

Ο μανδύας περιβάλλεται από ένα buffer, υλικό το οποίο συχνά είναι πλαστικό. Το υλικό αυτό βοηθάει στην προστασία του πυρήνα και του μανδύα από πιθανές ζημιές. Στις οπτικές ίνες εξωτερικού χώρου εκχύνεται ένα ζελέ (silicone coating) για να παρέχεται προστασία από το νερό.

Το τελευταίο μέρος είναι το περίβλημα (outer jacket) που προστατεύει την ίνα από γδαρσίματα, διαλυτικές ουσίες και άλλες επικίνδυνες για την ίνα καταστάσεις.

1.4 ΕΙΔΗ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

Τα καλώδια οπτικών ινών περιέχουν από 1 έως 36 οπτικές ίνες. Τα πιο συνηθισμένα είναι τα καλώδια με ζυγό αριθμό οπτικών ινών για την επικοινωνία των full-duplex κυκλωμάτων. Θα ξεχωρίσουμε δυο τύπους οπτικών ινών ως προς την κατασκευή τους.

Στην πρώτη περίπτωση, έχουμε σε κάθε οπτική ίνα και εξωτερικά από την επίστρωση συνθετικές ίνες και εξωτερικό μονωτικό περίβλημα. Μέσα στο καλώδιο υπάρχουν πολλές τέτοιες ίνες, όπου η κάθε ίνα αποτελεί και ένα ξεχωριστό καλώδιο. Μέσα στο καλώδιο περιέχονται εκτός από καλώδια οπτικών ινών και καλώδια, τα οποία χρησιμεύουν για ενίσχυση και στρογγυλοποίηση του όλου σχήματος. Τέλος, όλα αυτά τα καλώδια περικλείονται από εξωτερικό περίβλημα. Αυτή η κατασκευή είναι γνωστή σαν Tight Buffer. [4]

Παρόμοιας κατασκευής είναι τα εύκαμπτα καλώδια που χρησιμοποιούμε για τη σύνδεση με τον ενεργό εξοπλισμό (Optical patch cords). Αυτά αποτελούνται από δυο καλώδια ενωμένα στο εξωτερικό τους, το κάθε ένα από τα οποία περιέχει οπτική ίνα από πλαστικό.

Στη δεύτερη περίπτωση, έχουμε τις οπτικές ίνες με την επίστρωση τους να είναι τοποθετημένες ελεύθερα μέσα στο καλώδιο και περικλείονται από εξωτερικό περίβλημα, αφού πρώτα τοποθετηθεί μέσα στο καλώδιο επίστρωση από συνθετικές ίνες για την ανθεκτικότητα του καλωδίου. Αυτή η κατασκευή είναι γνωστή σαν Loose Buffer.

Τα καλώδια οπτικών ινών, τα οποία συνήθως περιέχουν δεσμίδες οπτικών ινών, χρησιμοποιούνται κυρίως από τους τηλεπικοινωνιακούς οργανισμούς για επίγειες και υποθαλάσσιες συνδέσεις μεγάλων αποστάσεων, αντικαθιστώντας τόσο τις γραμμές ομοαξονικών καλωδίων όσο και τις επίγειες και δορυφορικές μικροκυματικές ζεύξεις. Τα τελευταία χρόνια έχουν ποντισθεί πολλά καλώδια οπτικών ινών με χωρητικότητα, η οποία ξεπερνά τα 30.000 κυκλώματα φωνής για τη διασύνδεση ηπειρών.

Τέτοια παραδείγματα αποτελούν: 1) το καλώδιο BSFOCS που εκτείνεται στην περιοχή της Μαύρης θάλασσας και συνδέει τη Βουλγαρία, την Ουκρανία και τη

Ρωσία, 2) το καλωδιακό σύστημα SEA - ME - WE 3 (South East Asia - Middle East - West Europe) που ξεκινά από τη Δυτική Ευρώπη (Γερμανία, Μεγάλη Βρετανία), περνά από τα στενά του Γιβραλτάρ στη Μεσόγειο (Ιταλία, Ελλάδα, Κύπρος), συνεχίζει από τα στενά του Σουέζ προς την Ασία (Ινδία, Σιγκαπούρη) και χωρίζεται σε δύο μέρη, με το ένα άκρο να καταλήγει στην Ιαπωνία και το άλλο στην Αυστραλία και 3) το καλώδιο ADRIA-1, που συνδέει την Ελλάδα (Κέρκυρα), την Αλβανία (Dürres) και την Κροατία (Dubrovnik).

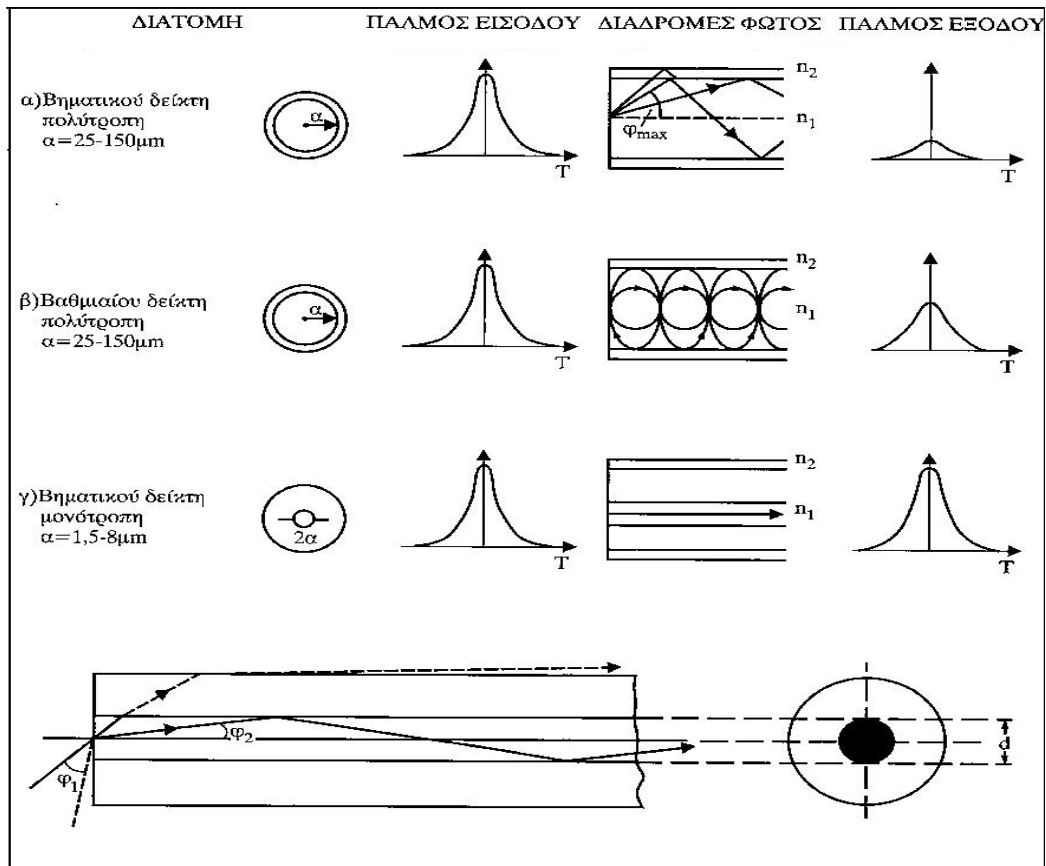
Οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται επίσης από ιδιωτικές εταιρίες σε τοπικά δίκτυα, σε πανεπιστημιακά δίκτυα κορμού, σε δίκτυα ευρείας περιοχής, σε δίκτυα καλωδιακής τηλεόρασης, σε εφαρμογές με υψηλές απαιτήσεις σε ασφάλεια μετάδοσης, όπως οι στρατιωτικές και, τέλος, σε βιομηχανικές εφαρμογές, όπου υπάρχει υψηλός βιομηχανικός θόρυβος, στον οποίο οι οπτικές ίνες παρουσιάζουν ανοσία. [16]

Οι τύποι των οπτικών ινών είναι τρεις και κατατάσσονται με βάση τον τρόπο με τον οποίο διαδίδεται το φως στην οπτική ίνα. Η ακτίνα φωτός διαδίδεται σαν ηλεκτρομαγνητικό κύμα κατά μήκος της ίνας. Τα δυο αυτά στοιχεία του σχηματίζουν μοτίβα τα οποία ονομάζονται τρόποι ή ρυθμοί (modes). Μια ίνα που έχει έναν τρόπο διάδοσης ονομάζεται μονότροπη και εάν έχει πολλούς τρόπους διάδοσης ονομάζεται πολύτροπη. Ο αριθμός των modes είναι πάντα ακέραιος αριθμός.

Τα είδη των οπτικών ινών μπορούν να ταξινομηθούν σύμφωνα με τη δομή και τη λειτουργία τους. Οι οπτικές ίνες διακρίνονται σε τρεις τύπους (Σχήμα 1.7 παρακάτω):

1. Πολύτροπες με βηματικό δείκτη
2. Πολύτροπες με βαθμιαίο δείκτη
3. Μονότροπες με βηματικό δείκτη

Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται οι τύποι των οπτικών ινών και ο τρόπος μετάδοσης των φωτεινών ακτίνων. [18]



Σχήμα 1.7: Τύποι οπτικών ινών

Υπάρχουν δυο βασικοί τύποι οπτικών ινών: Η πολύτροπη και η μονότροπη ίνα. Η πολύτροπη ίνα ήταν ο πρώτος τύπος που εμπορευματοποιήθηκε. Ο πυρήνας της είναι πολύ μεγαλύτερος από αυτόν της μονότροπης ίνας επιτρέποντας εκατοντάδες ακτίνες φωτός να μετακινούνται μέσα από αυτήν ταυτόχρονα. Αντιθέτως, η μονότροπη ίνα έχει πολύ μικρότερο πυρήνα. Το γεγονός ότι ένας μεγάλος πυρήνας θα επέτρεπε ένα μεγάλο εύρος ζώνης ή μεγαλύτερη μεταβίβαση πληροφοριών είναι κάτι το οποίο δεν συμβαίνει. Οι μονότροπες ίνες είναι καλύτερες στο να συγκρατούν την πιστότητα κάθε παλμού φωτός για μεγαλύτερες αποστάσεις και παρουσιάζουν μικρότερη διασπορά που προκαλείται από πολλαπλές ακτίνες. Ακόμα, η μονότροπη ίνα παρουσιάζει χαμηλότερη εξασθένηση από την πολύτροπη, με μειονέκτημα τον μικρή διαμέτρου πυρήνα, ο οποίος κάνει την σύζευξη του φωτός στον πυρήνα δύσκολη.

Οι πολύτροπες ίνες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε ίνες βηματικού και διαβαθμιαίου δείκτη. Ο όρος πολύτροπες αναφέρεται στο γεγονός ότι πολλές ακτίνες φωτός μεταφέρονται συγχρόνως μέσα από την ίνα. Ο μεγαλύτερης διαμέτρου

πυρήνας αυξάνει την ευκολία σύζευξης και γενικά, οι πολύτροπες ίνες μπορούν να συζευκτούν με χαμηλότερου κόστους πηγές φωτός. Παρ' όλα αυτά, η πολύτροπη διασπορά είναι μειονέκτημα και η εξασθένιση είναι μεγάλη.

Η ίνα βαθμιαίου δείκτη έχει παραβολικό δείκτη διάθλασης και είναι μεγαλύτερος στο κέντρο. Οι ακτίνες του φωτός δεν ακολουθούν ευθείες γραμμές, αλλά ακολουθούν έναν ελικοειδή δρόμο και ο δείκτης διάθλασης ελαττώνεται συνεχώς.

Απόσταση διάδοσης του φωτός σε μια οπτική ίνα

Η απόσταση που μπορεί να διανύσει το φως μέσα σε μια οπτική ίνα εξαρτάται κυρίως από τη δομή και το σχήμα τους (πολύτροπες ή μονότροπες). Κατά την διάδοση του φωτός στην οπτική ίνα παρατηρείται εξασθένιση, η οποία οφείλεται κυρίως στους εξής λόγους:

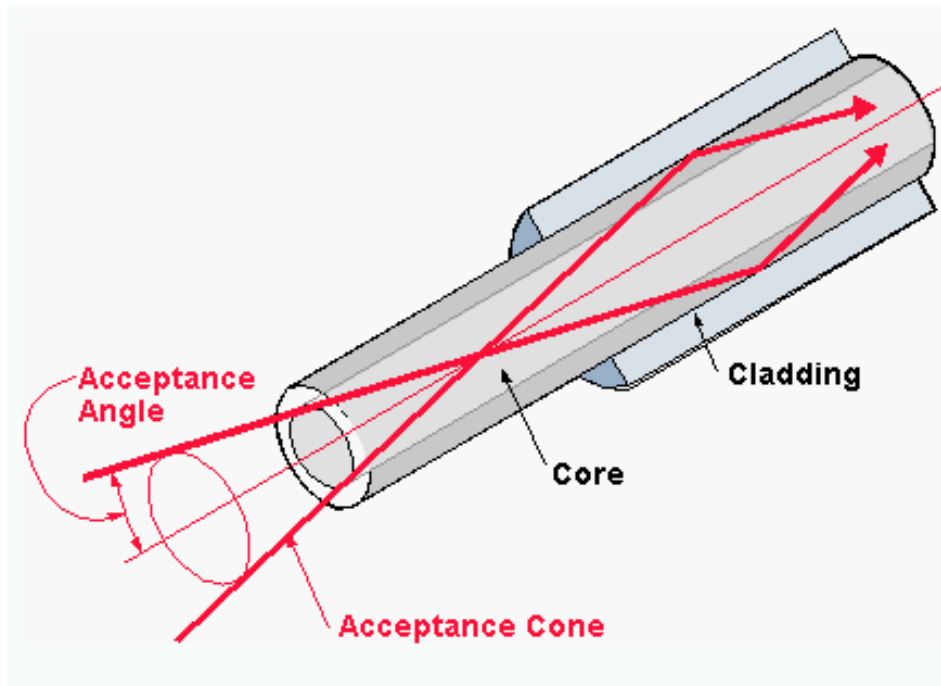
- 1) Εξαιτίας της απορρόφησης, η οποία εξαρτάται από τις προσμίξεις που υπάρχουν στο γυαλί.
- 2) Λόγω μεγάλης καμψής της οπτικής ίνας.
- 3) Λόγω συνδέσεων της οπτικής ίνας, το φως εγκλωβίζεται στον μανδύα και διασκορπίζεται.
- 4) Λόγω διακυμάνσεων της διαμέτρου του πυρήνα από κατασκευαστικό σφάλμα.

Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας για την ποιότητα μιας οπτικής ίνας είναι η καθαρότητα του γυαλιού του πυρήνα. Αν υποθέσουμε ότι ήταν κατασκευασμένος από ένα κοινό γυαλί, η διάδοση του φωτός δεν θα μπορούσε να ξεπεράσει το ένα μέτρο. Ο λόγος λοιπόν που το φως έχει την δυνατότητα να μεταφέρεται σε απόσταση πολλών χιλιομέτρων με ελάχιστες απώλειες είναι η καθαρότητα του πυρήνα.

Το οπτικό σήμα προκειμένου να διαδοθεί μέσω μιας οπτικής ίνας ξεκινά από μια πηγή LED (Light Emitting Diode) ή από μια πηγή LASER (Light Amplification by Stimulated Emission off Radiation). Οι οπτικές ίνες είναι κατασκευασμένες να μεταφέρουν μήκη κύματος από 800nm μέχρι 1500nm.

Στις πολύτροπες οπτικές ίνες, λόγω της μεγάλης διαμέτρου του πυρήνα, επιτρέπεται η ταυτόχρονη είσοδος πολλών ακτίνων φωτός. Για να επιτύχουμε όμως την είσοδο μιας

δέσμης στην οπτική ίνα απαραίτητη προϋπόθεση είναι η γωνία τους να ανήκει στο αριθμητικό φάσμα ανοίγματος της ίνας (γωνία πρόσπτωσης). Έπειτα, η δέσμη λόγω του μεγέθους του πυρήνα έχει τη δυνατότητα να ακολουθήσει αρκετά μονοπάτια (modes). Αντιθέτως, για μια μονότροπη ίνα η ακτίνα φωτός διαδίδεται μέσω ενός μόνο mode.



Σχήμα 1.8: Είσοδος δεσμών φωτός σε μια πολύτροπη ίνα.

Η βασική αρχή ενός καλωδίου οπτικής ίνας που χρησιμοποιείται για τη δικτύωση είναι ότι αποτελείται από δύο οπτικές ίνες οι οποίες εγκλείονται σε διαφορετικές θήκες. Ο λόγος για τον οποίο είναι έτσι κατασκευασμένες είναι ότι έχουμε μονόδρομη μεταφορά δεδομένων. Αν υποθέσουμε δηλαδή ότι έχουμε τις συσκευές A και B, οι οποίες θέλουν να ανταλλάξουν δεδομένα, η μία από τις δύο ίνες θα χρησιμοποιηθεί για τη μεταφορά από την A στην B, ενώ η άλλη για τη μεταφορά από την B στην A. Με την τεχνολογία αυτή επιτυγχάνεται full duplex επικοινωνία, δηλαδή ταυτόχρονη επικοινωνία των δύο συσκευών.

Χρήση των οπτικών ινών

Οι οπτικές ίνες παρέχουν μεγάλη ποικιλία ως προς τον τρόπο χρήσης τους. Αρχικά, βρίσκουν εφαρμογή στην κατασκευή φωτεινών επιγραφών για διακόσμηση και

φωτισμό. Οι συγκεκριμένες ίνες είναι κυρίως πλαστικές, μεγάλης διαμέτρου και χαμηλής καθαρότητας. Μια άλλη πολύ σημαντική εφαρμογή τους, είναι η χρήση τους στον ιατρικό τομέα, καθώς το ενδοσκόπιο κατασκευάστηκε με σκοπό να κάνει ορατές ορισμένες εσωτερικές περιοχές του σώματος μας.

Η σημαντικότερη όμως χρήση των οπτικών ινών ανήκει στον κλάδο των τηλεπικοινωνιών, καθώς έφερε την επανάσταση για αυτές. Με την βοήθεια μιας οπτικής ίνας μας δίνεται η δυνατότητα να μεταφέρουμε ταυτόχρονα χιλιάδες τηλεφωνήματα, δεκάδες τηλεοπτικές εκπομπές, μεγάλο αριθμό δεδομένων και το μάλιστα χωρίς παρεμβολές και παράσιτα.

Τέλος, η χρήση τους εμφανίζεται και σε σύγχρονα επιστημονικά όργανα, όπως ανιχνευτές πίεσης, θερμοκρασίας και παραμορφώσεων. Συνοψίζοντας λοιπόν, οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται από ιδιωτικές εταιρίες σε τοπικά δίκτυα, σε πανεπιστημιακά δίκτυα κορμού, σε δίκτυα ευρείας περιοχής, σε δίκτυα καλωδιακής τηλεόρασης, σε εφαρμογές με υψηλές απαιτήσεις σε ασφάλεια μετάδοσης, όπως οι στρατιωτικές και τέλος, σε βιομηχανικές εφαρμογές, όπου υπάρχει υψηλός βιομηχανικός θόρυβος, στον οποίο οι οπτικές ίνες παρουσιάζουν ανοσία.

Αρχή λειτουργίας των οπτικών ινών

Κατά την επινόηση των καλωδίων οπτικών ινών, οι κατασκευαστές τους είχαν έναν σημαντικό στόχο: να μην υπάρχει διαρροή φωτός στο εξωτερικό ενός καλωδίου, κάτι που θα είχε ως αποτέλεσμα την απώλεια ισχύος και πολλά ακόμη προβλήματα. Για τον λόγο αυτό έπρεπε να βρεθεί ένας τρόπος ώστε όλη η φωτεινή ενέργεια να παραμένει στο εσωτερικό του καλωδίου και να φτάνει δίχως εξασθένηση στον προορισμό της. Η αρχή λειτουργίας ενός οπτικού καλωδίου είναι η ολική εσωτερική αντανάκλαση και βασίζεται στο γεγονός ότι όταν το φως αντανακλάται εξολοκλήρου σε έναν κλειστό εσωτερικό χώρο, μπορεί να ταξιδεύει σε μεγάλες αποστάσεις χωρίς να μειώνει την ένταση του.

Ως εκ τούτου, σε ένα οπτικό καλώδιο η δεσμίδα των οπτικών ινών περικλείεται σε ειδικό υλικό που αντανακλά εσωτερικά όλο το φως, εξασφαλίζοντας έτσι δύο πράγματα:

- 1) Την ολική εσωτερική αντανάκλαση που θα επιτρέψει στην πληροφορία να φθάσει αναλλοίωτη σε μεγάλες αποστάσεις.
- 2) Την αποφυγή διαρροής φωτός στο εξωτερικό του καλωδίου.

Για το λόγω αυτό, το φως διοχετεύεται στο εσωτερικό της οπτικής ίνας υπό συγκεκριμένη γωνία, ώστε να επιτευχθεί η κατάλληλη αντανάκλαση που θα αποτρέψει τη διαρροή φωτεινής ενέργειας.

Μέχρι να φθάσει στον προορισμό της, η φωτεινή δέσμη συνήθως πραγματοποιεί χιλιάδες ή και εκατομμύρια αντανάκλασεις στο εσωτερικό της οπτικής ίνας.

Πάντως οι απώλειες ισχύος της φωτεινής ενέργειας είναι σε κάθε περίπτωση αναπόφευκτες, ακόμη και κατά την ολική εσωτερική αντανάκλαση του φωτός και παρατηρούνται κυρίως κατά τη μετάδοση των δεδομένων σε αποστάσεις πολλών χιλιομέτρων. Αυτό οφείλεται σε μικρές ατέλειες του μέσου μεταφοράς που είναι το γυαλί. Η καθαρότητα του γυαλιού δεν φθάνει ποτέ το 100%, με αποτέλεσμα η ισχύς του φωτός να εξασθενεί λόγω απορρόφησής του. Ανάλογα με το πάχος του καλωδίου, οι απώλειες μπορούν να φθάσουν ακόμη και το 20% ανά χιλιόμετρο. Ωστόσο με κάποια σύγχρονα καλώδια, έχουν μειωθεί στο 5-10%. [19]

1.5 ΟΙ ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ ΩΣ ΕΝΑ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟ ΚΑΝΑΛΙ

Ο ρόλος του τηλεπικοινωνιακού καναλιού είναι να μεταφέρει το οπτικό σήμα από τον πομπό στον δέκτη χωρίς να το παραμορφώνει. Τα περισσότερα συστήματα οπτικών κυμάτων χρησιμοποιούν οπτικές ίνες σαν τηλεπικοινωνιακό κανάλι επειδή οι οπτικές ίνες μπορούν να μεταδώσουν το φως με σχετικά μικρές απώλειες ισχύος.

Οι απώλειες οπτικής ίνας είναι φυσικά ένα σπουδαίο θέμα για τη σχεδίαση, επειδή αυτές καθορίζουν και την απόσταση μεταξύ επαναληπτών για ένα σύστημα επικοινωνίας μεγάλης απόστασης με οπτικές ίνες. Ένα άλλο σπουδαίο θέμα στη σχεδίαση είναι η διασπορά στις οπτικές ίνες που οδηγεί στο άπλωμα των οπτικών παλμών μέσα στην οπτική ίνα. Αν οι οπτικοί παλμοί εξαπλωθούν σημαντικά έξω από την περίοδο του bit που αντιπροσωπεύουν, το εκπεμπόμενο σήμα είναι αρκετά υποβαθμισμένο. Τελικά, είναι αδύνατο να ξαναπάρουμε το αρχικό σήμα με μεγάλη ακρίβεια.

Το πρόβλημα είναι περισσότερο έντονο στην περίπτωση των πολύτροπων οπτικών ινών, αφού οι παλμοί απλώνουν γρήγορα λόγω διαφορετικών ταχυτήτων που σχετίζονται με τους διαφορετικούς τρόπους μετάδοσης μέσα στην οπτική ίνα. Αυτός είναι και ο λόγος που στα περισσότερα τηλεπικοινωνιακά συστήματα οπτικών ινών χρησιμοποιούμε μονότροπες ίνες.

Επίσης, ένα δεύτερο είδος διασποράς, η διασπορά του υλικού, οδηγεί και αυτή στο άπλωμα των παλμών. Αυτή η διασπορά είναι αρκετά μικρή για να γίνει αποδεκτή στις περισσότερες εφαρμογές και μπορεί να μειωθεί περισσότερο ελέγχοντας το φασματικό εύρος της οπτικής πηγής. [21]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

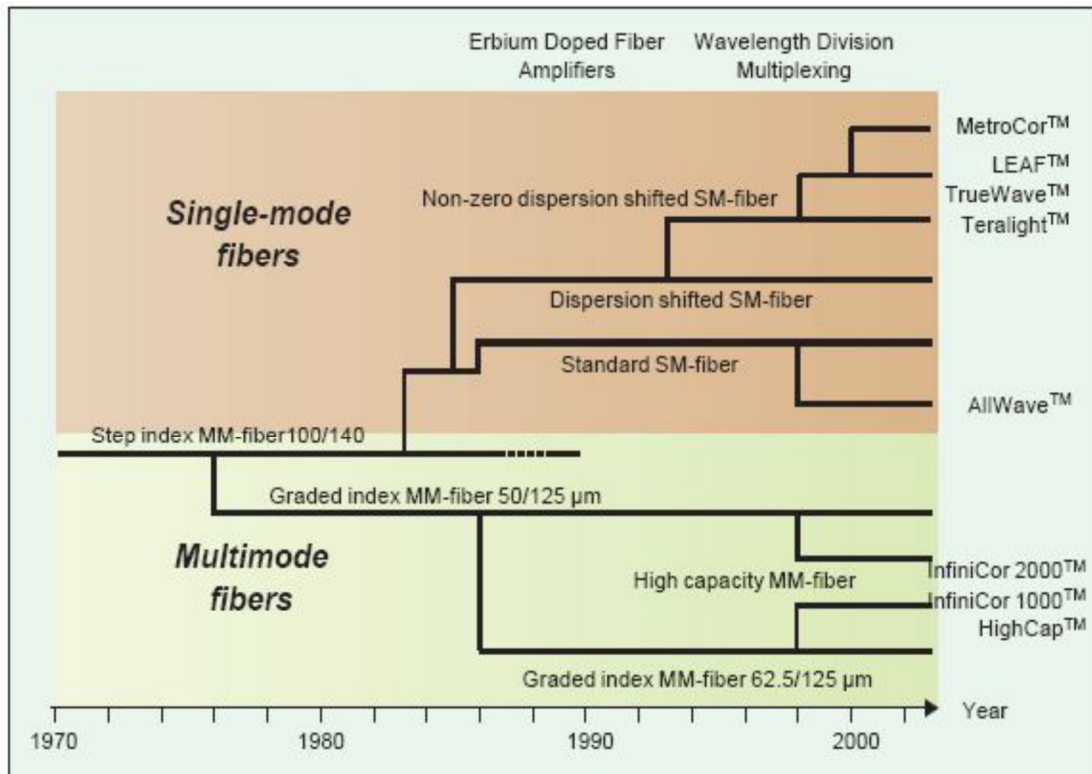
2. ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΤΟΥΣ - ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Από το 1970 που κατασκευάστηκε η πρώτη οπτική ίνα χαμηλής εξασθένησης από την Corning είναι συνεχής η προσπάθεια των κατασκευαστών για παραγωγή ινών καλύτερης ποιότητας. Οι ίνες που παράγονται σήμερα έχουν εξαιρετικά μικρές τιμές εξασθένησης. Η διασπορά των ινών εξαρτάται από τον τύπο συστήματος στον οποίο χρησιμοποιούνται. Το εύρος ζώνης μετάδοσης των μονότροπων ινών έχει αυξηθεί έτσι ώστε να μεγαλώσει ο αριθμός των μηκών κύματος που μπορούν να διαδοθούν μέσα σε μια μονότροπη ίνα. Στις μέρες μας, η τιμή των καλωδίων οπτικής ίνας ανά μέτρο είναι μικρότερη από εκείνη ενός χάλκινου καλωδίου. [5]

Η τυποποίηση των οπτικών ινών στις μέρες μας είναι αρκετά ευρεία. Ακόμα και μέσα στην κατηγορία ενός προτύπου υπάρχει μεγάλη ποικιλία τύπων ινών. Το γεγονός αυτό επιτρέπει στους κατασκευαστές να αναπτύξουν ο καθένας τις δικές του διαφορετικές ίνες μέσα στο πλαίσιο ενός προτύπου. Κάτι τέτοιο βέβαια σημαίνει ότι μπορεί να υπάρξει πρόβλημα συμβατότητας μεταξύ ινών διαφορετικών κατασκευαστών. Ενδεικτικά:

- Τυπική μονότροπη ίνα (σχεδόν όλα τα σύγχρονα οπτικά δίκτυα)
- Ίνα μετατοπισμένου σημείου διασποράς (ξεπερασμένη στις μέρες μας)
- Ίνα μη μηδενικού μετατοπισμένου σημείου διασποράς Truwave TM (Lucent) ή Teralight TM (Alcatel) (χρήση με πολυπλέκτες διαχωρισμού μήκους κύματος)
- Ίνα μη μηδενικού μετατοπισμένου σημείου διασποράς με μεγάλη αποτελεσματική περιοχή LEAF TM (χρήση με πολυπλέκτες διαχωρισμού μήκους κύματος και laser μεγάλης ισχύος, Corning Inc.)
- Ίνα με συνεχές χρησιμοποιούμενο φάσμα 1285 – 1625 nm, Allwave TM (Lucent)
- Ίνα καθαρού πυριτίου χωρίς προσμείξεις και χαμηλή εξασθένησης για υποβρύχια συστήματα (Sumitomo)
- Πολύτροπη ίνα με πυρήνα 50 μm
- Πολύτροπη ίνα με πυρήνα 62.5 μm

- Ίνες ερβίου (ίνα ενίσχυσης)
- Ίνες τιτανίου (αύξηση δύναμης)
- Βελτιστοποιημένες πολύτροπες ίνες laser, InfiniCor™ (Corning Inc)
HiCap™ (Plasma Optical Fiber)

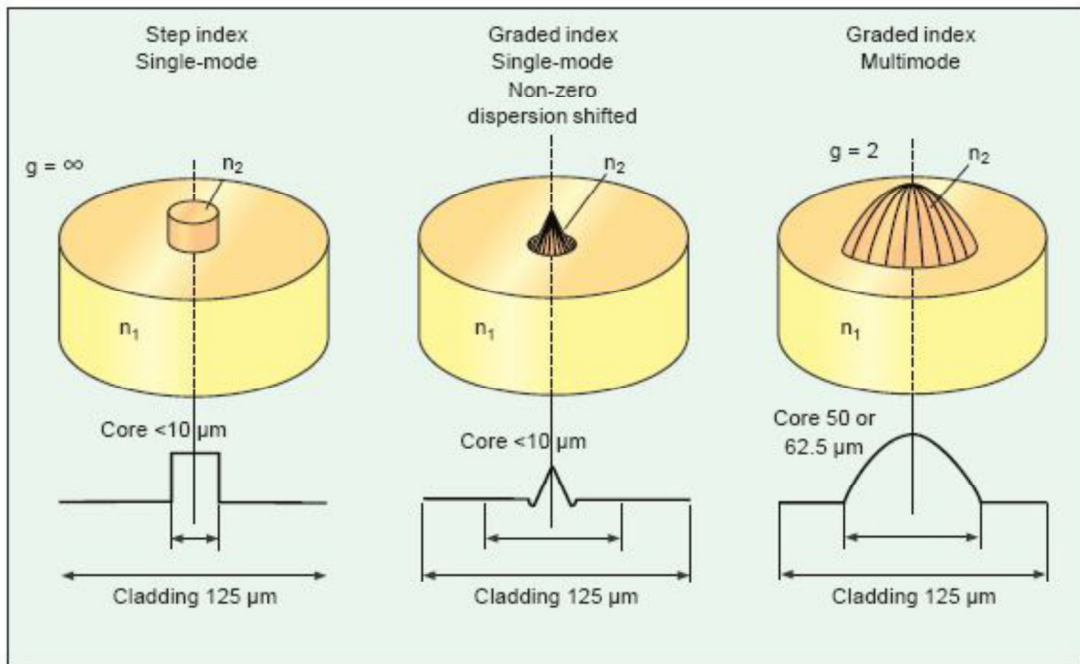


Εικόνα 2.1: Η εξέλιξη της οπτικής ίνας

Αν θεωρήσουμε το δείκτη διάθλασης ενός οπτικού κυματοδηγού σαν συνάρτηση της ακτίνας του, τότε μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τον όρο «προφίλ δείκτη» για να περιγράψουμε, το πώς άγεται το φως μέσα στον κυματοδηγό. Το προφίλ δείκτη παρουσιάζει το πώς αλλάζει η τιμή του δείκτη από τον κεντρικό άξονα του κυματοδηγού προς την περιφέρειά του ή την επένδυσή του. Το φως θα άγεται ή/και θα διαθλάται σύμφωνα με το παραπάνω προφίλ. Ο δείκτης διάθλασης δίνεται ως συνάρτηση της ακτίνας :

$$n = n(r)$$

Ο τρόπος μετάδοσης του φωτός μέσα σε κυματοδηγό εξαρτάται από το προφίλ του δείκτη διάθλασης.



Εικόνα 2.2: Γραφική παράσταση της μεταβολής του δείκτη διάθλασης στον πυρήνα τριών διαφορετικών τύπων οπτικής ίνας.

Ο δείκτης διάθλασης μέσα σε μια ίνα μπορεί να περιγραφεί από τον παρακάτω μαθηματικό τύπο. Η βασική χρήση του τύπου είναι για πρακτικές εφαρμογές, ειδικά για εφαρμογές με πολύτροπες ίνες.

$$n(r) = n_2 \left[1 - \Delta \left(\frac{r}{a} \right)^g \right]$$

Ενώ για την επένδυση του πυρήνα, δηλαδή τον μανδύα της οπτικής ίνας, ισχύει ότι ο δείκτης διάθλασης παραμένει σταθερός και ίσος με n_1 . Για τον παραπάνω τύπο ισχύει:

n_2 = ο δείκτης διάθλασης του πυρήνα της ίνας

Δ = η σχετική διαφορά στους δείκτες διάθλασης μεταξύ πυρήνα και μανδύα (επένδυσης) $\{\Delta = (n_2 - n_1) / n_2\}$

r = απόσταση από τον κεντρικό άξονα της ίνας σε μm

a = η ακτίνα του πυρήνα σε μm

g = προφίλ δείκτη

n_1 = ο δείκτης διάθλασης του μανδύα

Ο όρος Δ συνδέεται με το αριθμητικό άνοιγμα (NA) ή με τους δείκτες διάθλασης n_1 , n_2 ως εξής:

$$\Delta = \frac{NA^2}{2n_2^2} = \frac{n_2^2 - n_1^2}{2n_2^2} \approx \frac{n_2 - n_1}{n_2} \approx \frac{\Delta n}{n} \quad \text{for } \Delta \ll 1$$

Για το προφίλ δείκτη «g» υπάρχουν κάποιες ειδικές περιπτώσεις που αξίζει να αναφέρουμε:

$g = 1$ για τριγωνικό προφίλ δείκτη

$g = 2$ για παραβολικό προφίλ δείκτη

$g = \infty$ για ορθογώνιο βηματικό προφίλ δείκτη

Μόνο στην τελευταία περίπτωση ο δείκτης διάθλασης είναι σταθερός $n(r) = n_2$ για όλη τη διάμετρο του πυρήνα. Στις άλλες περιπτώσεις, ο δείκτης διάθλασης αλλάζει βαθμιαία από τον κεντρικό άξονα του πυρήνα προς τον μανδύα. Τα προφίλ στα οποία ο δείκτης διάθλασης αλλάζει ονομάζονται βαθμιαία προφίλ δείκτη. Ο πιο συνηθισμένος τύπος βαθμιαίου προφίλ δείκτη είναι για $g = 2$ (παραβολικό), ο οποίος μας δίνει ουσιαστικά μια τέλεια αγωγήμη πολύτροπη ίνα. [15]

2.1 ΡΥΘΜΟΙ ΔΙΑΔΟΣΗΣ (MODES)

Οι ρυθμοί διάδοσης αποτελούν μαθηματικές και φυσικές μεθόδους περιγραφής της διάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων σε ένα αυθαίρετο μέσο. Στη μαθηματική τους μορφή, η θεωρία των ηλεκτρομαγνητικών ρυθμών διάδοσης προέρχεται από τις εξισώσεις Maxwell. Ο James Clark Maxwell ήταν ένας μεγάλος Σκοτσέζος μαθηματικός και φυσικός που έζησε στα τέλη του 19ου αιώνα. Με τις εξισώσεις του ο Maxwell έδειξε ότι η ηλεκτρική και η μαγνητική ενέργεια αποτελούν δύο μορφές

της ίδιας ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας. Οι εξισώσεις του επίσης έδειξαν ότι η διάδοση ακολουθεί αυστηρούς κανόνες και οι ίδιες εξισώσεις αποτελούν τη βάση της θεωρίας του ηλεκτρομαγνητισμού. [19]

Ένας ρυθμός διάδοσης τελικά είναι μια δεκτή λύση των εξισώσεων Maxwell. Για λόγους ευκολίας, ένας ρυθμός διάδοσης μπορεί να περιγραφεί σαν μια δυνατή κατεύθυνση που μπορεί να ακολουθήσει ένα κύμα φωτός, όπως μέσα σε μια ίνα. Ο αριθμός των δυνατών ρυθμών διάδοσης ή αλλιώς των ενεργειακών διευθύνσεων που μπορούν να υπάρξουν μέσα σε μια οπτική ίνα μπορεί να είναι ένας μέχρι και εκατοντάδες χιλιάδες. Ο ακριβής αριθμός των δυνατών ρυθμών διάδοσης που μπορεί να υποστηρίξει μια ίνα, μπορεί να καθοριστεί από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της ίνας και από τις οπτικές παραμέτρους της.

Ένας συγκεκριμένος ρυθμός διάδοσης θα μεταφέρει και ένα χαρακτηριστικό ποσό ενέργειας. Οι οπτικές ίνες που χρησιμοποιούνται σήμερα μπορεί να υποστηρίξουν μόνο ένα ρυθμό μετάδοσης (μονότροπες ίνες) ή να υποστηρίξουν αρκετές εκατοντάδες ρυθμούς διάδοσης (πολύτροπες ίνες). Όταν το φως εισέρχεται σε μια ίνα (κοντά στην πηγή φωτός), οι διάφοροι τρόποι θα μεταφέρουν πολύ μεγάλο ή πολύ μικρό ποσό ενέργειας ανάλογα με το φως που εισέρχεται. Ανάλογα με το μονοπάτι διάδοσης, η ενέργεια θα μεταφερθεί και θα διαχωριστεί στους διάφορους ρυθμούς διάδοσης (mode coupling) μέχρι ο καθένας από αυτούς να μεταφέρει το δικό του χαρακτηριστικό ποσό ενέργειας. Όταν το φως φτάσει στο παραπάνω στάδιο, δημιουργείται και διατηρείται μια ισορροπία μεταξύ των ρυθμών διάδοσης.

Σε πλαστική ίνα η ισορροπία αυτή λαμβάνει χώρα μετά από 1 – 2m ίνας. Σε μια εξαιρετικής ποιότητας γυάλινη ίνα η ισορροπία λαμβάνει χώρα μετά από αρκετές εκατοντάδες μέτρα μέχρι και ένα χιλιόμετρο. Το γεγονός αυτό έχει σαν αποτέλεσμα δυσκολίες στη μέτρηση και πιστοποίηση δικτύων οπτικών ινών, θέμα το οποίο θα μελετήσουμε πιο αναλυτικά στο κεφάλαιο «Όργανα μετρήσεων οπτικών ινών και πιστοποίηση σε μονότροπα δίκτυα».

2.1.1. ΟΜΑΛΟΠΟΙΗΜΕΝΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΡΥΘΜΟΙ ΔΙΑΔΟΣΗΣ

Ένα σημαντικό μέτρο διάκρισης των διαφορετικών τύπων οπτικών ινών είναι η ομαλοποιημένη συχνότητα (V) και ο αριθμός των ρυθμών διάδοσης (N). Αν:

a = ακτίνα πυρήνα [μm]

NA = αριθμητικό άνοιγμα

λ = μήκος κύματος [μm]

k = αριθμός μηκών κύματος φωτός ανά μήκος 2π

Η ομαλοποιημένη συχνότητα δίνεται από τον τύπο:

$$V = 2\pi \frac{a}{\lambda} NA = k \cdot a \cdot NA$$

Ο αριθμός των ρυθμών διάδοσης που μπορούν να περάσουν μέσα από τον πυρήνα μιας ίνας εξαρτάται από την παράμετρο V και για μια ίνα βηματικού δείκτη μπορεί να προσεγγιστεί από τον τύπο:

$$N \approx \frac{V^2}{2} \cdot \frac{g}{g+2}$$

Για μια ίνα με βηματικό δείκτη και $g = \infty$, ο αριθμός N των ρυθμών διάδοσης μπορεί να προσεγγιστεί από τον τύπο:

$$N \approx \frac{V^2}{2}$$

Για μια ίνα με βαθμιαίο δείκτη και $g = 2$ (συνήθης ίνα παραβολικού βαθμιαίου δείκτη) ο αριθμός N προσεγγίζεται από τον τύπο:

$$N \approx \frac{V^2}{4}$$

Αν θέλουμε να μειώσουμε τον αριθμό των ρυθμών διάδοσης, άρα κατ' επέκταση την παράμετρο V , μία ή περισσότερες από τις παρακάτω παραμέτρους πρέπει να μεταβληθούν:

- να μικρύνει η διάμετρος του πυρήνα
- να μικρύνει το αριθμητικό άνοιγμα
- να μεγαλώσει το μήκος κύματος του φωτός

Κάνοντας αλλαγές σε μία ή περισσότερες από τις παραπάνω παραμέτρους, μπορεί να δημιουργηθεί μια μονότροπη ίνα. Οι αλλαγές αυτές όμως συνοδεύονται από ένα πλήθος περιπλοκών. Για παράδειγμα, μια ελάττωση του αριθμητικού ανοίγματος θα προκαλέσει προβλήματα στο ποσό του φωτός που εισέρχεται στην ίνα, γεγονός που σημαίνει ότι το NA πρέπει να είναι όσο το δυνατό μεγαλύτερο. Άλλος ένας παράγοντας είναι η εξασθένηση μέσα σε γυαλί πυριτίου για διάφορα μήκη κύματος (επιλογή μήκους κύματος διάδοσης). Τελικά, είναι δυσκολότερο και οικονομικά ασύμφορο να κατασκευάσουμε διοδικά Laser, LED και φωτοδιόδους που μπορούν να λαμβάνουν μεγαλύτερα μήκη κύματος. [13]

2.1.2. ΡΥΘΜΟΣ LP01 – Ο ΘΕΜΕΛΙΩΔΗΣ ΡΥΘΜΟΣ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΚΑΙ Η ΑΠΟΚΟΠΗ

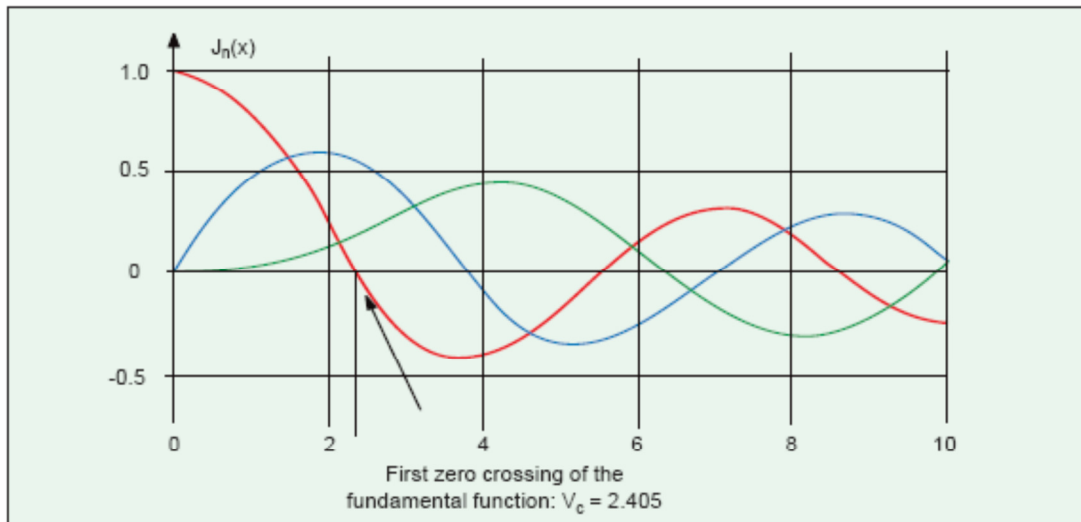
Μέσα σε μια ίνα με βηματικό προφίλ δείκτη ($g = \infty$), για να εξασφαλίσουμε μετάδοση φωτός με ένα και μοναδικό τρόπο, το θεμελιώδη ρυθμό διάδοσης, πρέπει $V \leq 2.405 = V_c$. Μια ίνα που ικανοποιεί τον προηγούμενο περιορισμό ονομάζεται μονότροπη ίνα.

Η σταθερά $V_c = 2.405$ αποτελεί την τιμή χ , η οποία λαμβάνεται όταν ο θεμελιώδης ρυθμός διάδοσης της συνάρτησης Bessel $J_0(x)$ μηδενίζεται για πρώτη φορά. Οι συναρτήσεις Bessel μοιάζουν με μειωμένες καμπύλες ημιτόνου και είναι συνηθισμένο εργαλείο για την περιγραφή της μετάδοσης κυμάτων σε κυλινδρικούς συμμετρικούς κυματοδηγούς όπως το ομοαξονικό καλώδιο, κενούς κυματοδηγούς (μικροκύματα) και οπτικές ίνες.

Στη σταθερά V_c , το c δηλώνει το μήκος κύματος αποκοπής. Αν θέλουμε να υπολογίσουμε το μήκος κύματος αποκοπής, η τιμή της V_c πρέπει να υπολογιστεί για

το προφίλ δείκτη της ίνας που θα χρησιμοποιήσουμε. Για μονότροπη ίνα ισχύει $V_c = 2.405$. Το μήκος κύματος αποκοπής δίνεται από τον τύπο:

$$\lambda_c = \pi \frac{2a}{V_c} NA = \pi \frac{2a}{2.405} \cdot NA$$



Εικόνα 2.3: Γραφική παράσταση συνάρτησης Bessel για μήκη κύματος μεγαλύτερα ή ίσα με το λ_c μόνο ένας ρυθμός μπορεί να διαδίδεται μέσα στον κυματοδηγό.

Μια οπτική ίνα μεταφέρει φως σε αυτά τα μήκη κύματος ως μονότροπη ίνα. Είναι σημαντικό να κατανοήσουμε ότι η αποκοπή είναι επίσης συνάρτηση διαφόρων γεωμετρικών μεταβλητών. Κάτω από πραγματικές συνθήκες οι μεταβλητές αυτές επηρεάζουν.

Για αυτό το λόγο οι κατασκευαστές οπτικών ινών και καλωδίων συνήθως καθορίζουν τη θεωρητική αποκοπή, την αποκοπή της οπτικής ίνας και την αποκοπή του καλωδίου. Η αποκοπή καλωδίου είναι η μικρότερη και εγγύαται μονότροπη λειτουργία όταν ικανοποιούνται συγκεκριμένες προϋποθέσεις. [1]

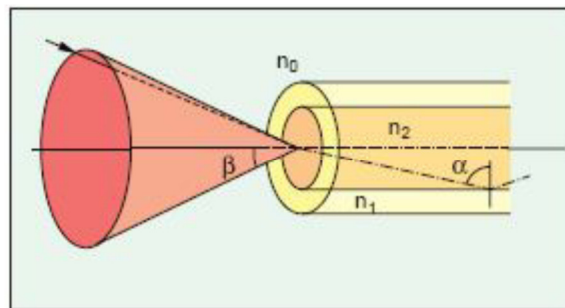
Επίσης, πρέπει να θυμόμαστε ότι όλοι οι ρυθμοί διάδοσης, συμπεριλαμβανομένου και του θεμελιώδη ρυθμού, στην πραγματικότητα (μέσω πόλωσης) αποτελούνται από δύο ρυθμούς διάδοσης, οι οποίοι ταλαντώνονται κάθετα μεταξύ τους.

2.2 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ ΑΝΟΙΓΜΑ

Όταν το φως εισέρχεται σε μια οπτική ίνα, διαθλάται σε σχέση με τον κεντρικό άξονα δημιουργώντας μια κάπως μεγαλύτερη τιμή για την γωνία πρόσπτωσης, τη γωνία αποδοχής. Η τιμή του ημιτόνου της γωνία αποδοχής ονομάζεται αριθμητικό άνοιγμα (NA) και υπολογίζεται σαν συνάρτηση των δεικτών διάθλασης των δυο υλικών:

$$\sin \beta = \sqrt{n_2^2 - n_1^2}$$

Στην πραγματικότητα, το άνοιγμα μέσω του οποίου εισέρχεται το φως μέσα στην ίνα είναι τριών διαστάσεων. Έτσι, η γωνία αποδοχής είναι η γωνία ενός κώνου που ονομάζεται κώνος αποδοχής.



Εικόνα 2.4: Ο κώνος αποδοχής μιας ίνας

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ ΑΝΟΙΓΜΑ ΓΙΑ ΙΝΑ ΜΕ ΒΑΘΜΙΑΙΟ ΠΡΟΦΙΛ ΔΕΙΚΤΗ

Λόγω του ότι ο δείκτης διάθλασης σε μια ίνα με βαθμιαίο προφίλ δείκτη αλλάζει σε σχέση με την απόσταση από τον κεντρικό άξονα της ίνας $n(r)$, η γωνία αποδοχής του φωτός που εισέρχεται στην ίνα αλλάζει επίσης. Έτσι, η γωνία αποδοχής δίνεται με συνάρτηση της απόστασης r από τον παρακάτω τύπο:

$$\sin \beta(r) = \sqrt{n_2^2(r) - n_1^2} = NA \sqrt{1 - \left(\frac{r}{a}\right)^2} \leq NA$$

Αυτό σημαίνει ότι η γωνία αποδοχής πλησιάζει πολύ τον κεντρικό άξονα της ίνας, καθώς μειώνεται βαθμιαία η τιμή προς τον μανδύα. Για μια συγκεκριμένη ίνα βαθμιαίου προφίλ δείκτη όπως στο προηγούμενο παράδειγμα, το αριθμητικό άνοιγμα δίνεται από τον τύπο:

$$NA = n_2 \sqrt{2 \cdot \Delta} = 1.46 \sqrt{2 \cdot 0.01} \approx 0.206$$

Η παραπάνω τιμή δίνει τη μέγιστη τιμή της γωνίας αποδοχής β_{\max} (η γωνία πλησιάζει πολύ τον άξονα της ίνας):

$$\sin \beta_{\max} = NA \approx 0.206; \Rightarrow \beta_{\max} \approx 12^\circ$$

Με μια πιο ενδελεχή μελέτη μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι μια ίνα με βαθμιαίο προφίλ δείκτη και διάμετρο 50 μm δέχεται μόνο τη μισή ποσότητα φωτός από εκείνη που θα δεχόταν μια ίνα με την ίδια διάμετρο αλλά με βηματικό προφίλ δείκτη.

Η κατανομή των ρυθμών μετάδοσης είναι τέτοια, ώστε οι χαμηλής τάξης ρυθμοί να διαδίδονται κοντά στον κεντρικό άξονα, οι υψηλής τάξης ρυθμοί να διαδίδονται κοντά στον μανδύα, ενώ κάποιοι ρυθμοί να χάνονται μέσα στον μανδύα. [12]

Οι τελευταίοι ρυθμοί ονομάζονται ρυθμοί διαρροής. Οι ρυθμοί διαρροής κατά έναν βαθμό ακτινοβολούνται και κατά έναν άλλον διαδίδονται μέσα στην ίνα.

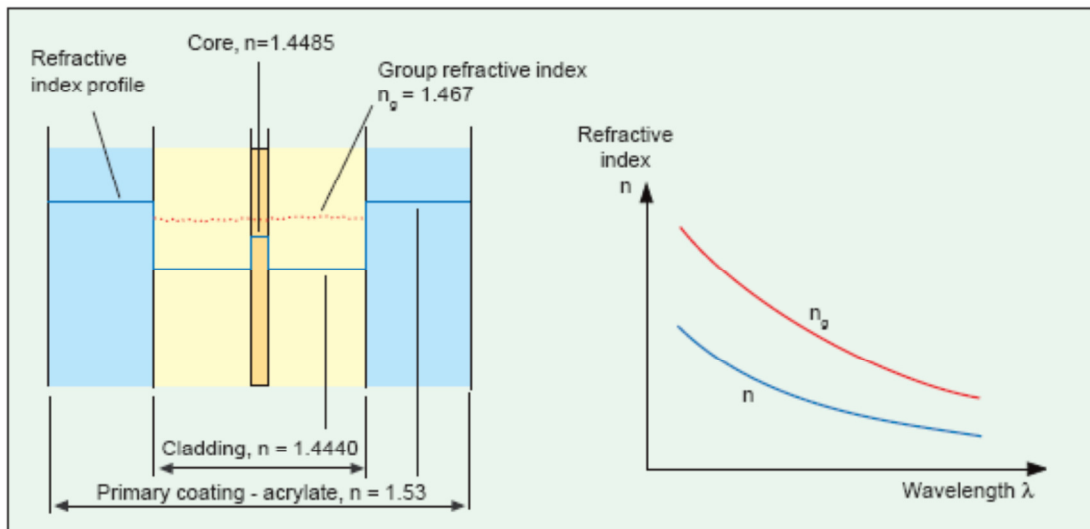
2.3 ΔΕΙΚΤΗΣ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ ΟΜΑΔΑΣ

Οι τιμές των δεικτών διάθλασης που βρίσκουμε στους πίνακες ή σε διάφορες λίστες αναφέρονται σε συγκεκριμένα υλικά. Σε μια οπτική ίνα συνδυάζονται δύο ή περισσότεροι τύποι γυαλιού και στη συνέχεια χρησιμοποιείται acrylate ως βασικό επίστρωμα. Οι δείκτες διάθλασης των υλικών αυτών διαφέρουν ελάχιστα μεταξύ τους (συνήθεις τιμές είναι για τον πυρήνα 1.4485, για τον μανδύα 1.444 και για το βασικό επίστρωμα acrylate 1.53). Όταν ένας παλμός φωτός μεταδίδεται μέσα σε ένα μέσο, χρησιμοποιείται μια διαφορετική παράμετρος, η οποία ονομάζεται δείκτης διάθλασης ομάδας. Για μια τυπική ίνα για την οποία οι δείκτες διάθλασης πυρήνα, μανδύα και βασικού επιστρώματος διαφέρουν ελάχιστα μεταξύ τους, ο δείκτης διάθλασης ομάδας θα είναι κάπως μεγαλύτερος από εκείνον του πυρήνα. Το παραπάνω γεγονός πρέπει να το έχουμε πάντα στο μυαλό μας όταν χρησιμοποιούμε ένα οπτικό όργανο όπως το OTDR, αφού η λειτουργία του βασίζεται στη μέτρηση της ταχύτητας του φωτός μέσα

στο εξεταζόμενο μέσο. Η ταχύτητα κάθε παλμού φωτός μέσα σε μια ίνα δίνεται από τον τύπο:

$$v = \frac{c}{n_g} \Rightarrow n_g = \frac{c}{v}; \quad n_g = n - \lambda \frac{dn}{d\lambda}$$

Όπου v είναι η ταχύτητα του παλμού του φωτός μέσα στην ίνα, c η ταχύτητα του φωτός στο κενό και n_g είναι ο δείκτης διάθλασης ομάδας της ίνας.



Εικόνα 2.5: Προφίλ δείκτη διάθλασης για μια ίνα με βασικό επίστρωμα, συμπεριλαμβανομένου και του δείκτη διάθλασης του acrylate.

Το διάγραμμα παριστάνει τον δείκτη διάθλασης και τον δείκτη διάθλασης ομάδας συναρτήσει του μήκους κύματος που χρησιμοποιείται.

2.4 ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΤΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΔΙΑΔΟΣΗΣ

Ο όρος διάμετρος πεδίου τρόπου $2w_0$ εισήχθη στην οπτική ινών για να περιγράψει την ακτινική διάδοση του θεμελιώδους ρυθμού διάδοσης LP01 μέσα σε μια ίνα. Για να παραχθεί μια ίνα με χαμηλή εξασθένηση (step index fiber) ή αλλιώς μια ίνα με βηματικό προφίλ δείκτη που επιτρέπει τη διάδοση του θεμελιώδους ρυθμού μόνο σε μήκη κύματος μεγαλύτερα από 1200 nm, η διάμετρος του πεδίου του ρυθμού διάδοσης $2w_0$ μειώνεται στα 9 μm περίπου.

Μια ίνα που επιτρέπει τη διάδοση μόνο του θεμελιώδους ρυθμού διάδοσης ονομάζεται μονότροπη ίνα.

2.5 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ

Το φαινόμενο της χρωματικής διασποράς στο παράθυρο των 1550nm μειώθηκε δραματικά με τη χρήση της ίνας μετατοπισμένης διασποράς. Ένα μεγάλο μειονέκτημα της ίνας αυτής είναι ότι με τη χρήση της μειώνεται η αποτελεσματική περιοχή του πυρήνα. Η περιοχή αυτή αποτελεί το κομμάτι του πυρήνα που οδηγεί το φως μέσα στην ίνα και σχετίζεται αλλά δεν ισούται με τη διάμετρο του πεδίου του ρυθμού διάδοσης. Η αποτελεσματική περιοχή μιας συνηθισμένης μονότροπης ίνας είναι περίπου 80 μm^2 και για μια αντίστοιχη ίνα μετατοπισμένης διασποράς είναι 55 μm^2 . Με τη χρήση των νέων laser υψηλής ισχύος μετάδοσης και των ενισχυτών EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifiers) η εισερχόμενη ισχύς στο σύστημα δημιούργησε αρκετά ανεπιθύμητα μη γραμμικά φαινόμενα. Γύρω στο 1996, οι μεγάλοι κατασκευαστές οπτικών ινών εισήγαγαν τις ίνες μη μηδενικού μετατοπισμένου σημείου διασποράς. [21]

2.6. ΔΙΑΣΠΟΡΑ

Το φως που ταξιδεύει μέσα σε ένα κυματοδηγό θα υποστεί παραμόρφωση. Το εκπεμπόμενο φως θα διευρυνθεί στο πεδίο του χρόνου. Στον τομέα της οπτικής ινών το παραπάνω φαινόμενο ονομάζεται διασπορά. Υπάρχουν δυο διαφορετικά είδη διασποράς:

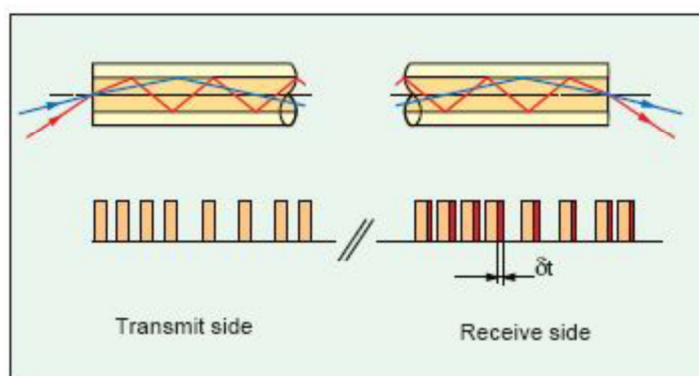
- 1) Η intermodal διασπορά που εμφανίζεται στις πολύτροπες ίνες (modal)
- 2) Η intramodal διασπορά (χρωματική) που εμφανίζεται στις μονότροπες και στις πολύτροπες ίνες

2.6.1. INTERMODAL ΔΙΑΣΠΟΡΑ Ή MODAL ΔΙΑΣΠΟΡΑ

Ένας παλμός φωτός που διαδίδεται μέσα σε μια πολύτροπη ίνα πρέπει να θεωρείται ως ένας μεγάλος αριθμός υποπαλμών, ο καθένας με τη χαρακτηριστική του γωνία πρόσπτωσης μέσα στην ίνα. Το μήκος της ακτίνας διαδρομής διαφέρει λόγω των γωνιών πρόσπτωσης και διάθλασης. Έτσι, οι παλμοί φωτός που διαδίδονται ταυτόχρονα θα φτάσουν στο τέλος της ίνας σε ελάχιστα διαφορετικούς χρόνους. Το γεγονός αυτό μπορεί να περιγραφεί ως διεύρυνση του παλμού (κατά τη διάρκεια

διάδοσής του μέσα στην ίνα), λόγω αύξησης της διάρκειας του. Το φαινόμενο αυτό περιορίζει αρκετά τις τηλεπικοινωνίες οπτικών ινών.

Για παράδειγμα, ας θεωρήσουμε ότι φως διαδίδεται μέσα σε οπτική ίνα μήκους 1 km σε χρόνο 5 μ s. Για το συγκεκριμένο παράδειγμα, η διαφορά χρόνου θα είναι $\delta t = 50$ ns. Η χρονική καθυστέρηση κάθε ρυθμού διάδοσης παραμορφώνει το σήμα. [19]



Εικόνα 2.6: Λόγω του ότι οι διαφορετικοί τρόποι ακολουθούν διαφορετικές διαδρομές μέσα στην ίνα, ένας παλμός διευρύνεται ανάλογα με το μήκος της ίνας.

Η modal διασπορά προκαλεί τα προβλήματα :

- 1) Μείωση του εύρους μετάδοσης (Mbit/s)
- 2) Μείωση της απόστασης μετάδοσης

Υπάρχει ένας φυσικός τρόπος μείωσης της modal διασποράς μέσα σε μια ίνα. Ο κάθε ρυθμός διάδοσης μεταφέρει ενέργεια από και προς κάποιον άλλον. Οι ρυθμοί χαμηλής τάξης (ρυθμοί με μικρή γωνία ως προς τον κεντρικό άξονα) μετατρέπονται σε ρυθμούς υψηλής τάξης (μεγάλη γωνία ως προς τον κεντρικό άξονα) μετά τη μεταφορά ενέργειας. Το mode coupling, όπως ονομάζεται το προηγούμενο φαινόμενο, λαμβάνει χώρα περισσότερο σε σημεία μη καθαρότητας του πυρήνα, σε κολλήσεις (splices) και σε απότομα λυγίσματα της οπτικής ίνας. Στις σύγχρονες ίνες, ήταν δυνατό να μειώσουμε το mode coupling βελτιώνοντας την ποιότητα της ίνας. Σαν αποτέλεσμα έχουμε την ουσιαστική αδρανοποίηση του παράγοντα διαφοράς χρόνου δt . Η διαφορά αυτή δεν αυξάνεται γραμμικά με την αύξηση του μήκους της ίνας, αλλά σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$\delta t \approx \sqrt{\text{fiber length}(L)}$$

Η modal διασπορά μπορεί να αδρανοποιηθεί πλήρως μειώνοντας τη διάμετρο του πυρήνα, έτσι ώστε να διαδίδεται μέσα στην ίνα μόνο ένας ρυθμός, ο θεμελιώδης (μονότροπη οπτική ίνα).

2.6.2. INTRAMODAL ΔΙΑΣΠΟΡΑ Ή ΧΡΩΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΣΠΟΡΑ

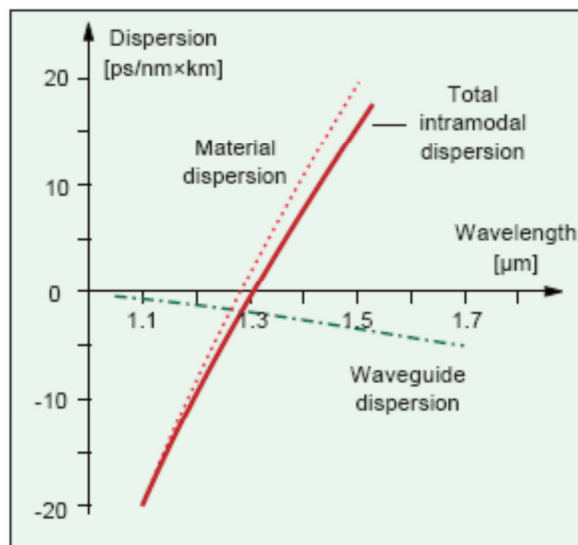
Ακόμα και αν αδρανοποιηθεί πλήρως η modal διασπορά, επιτρέποντας μόνο στο θεμελιώδη ρυθμό να μεταδίδεται μέσα στην ίνα (μονότροπη), θα συνεχίσει να υπάρχει διασπορά του συγκεκριμένου ρυθμού. Η παραμόρφωση αυτού του τύπου ονομάζεται χρωματική διασπορά μαζί με διασπορά πόλωσης ρυθμού μετάδοσης. Η χρωματική διασπορά μέσα σε μια μονότροπη ίνα συνίσταται από τη διασπορά υλικού και τη διασπορά κυματοδηγού.

Η διασπορά υλικού και κυματοδηγού τείνουν να αλληλοαναιρούνται σε μήκη κύματος κοντά στα 1310 nm, όπου η χρωματική διασπορά θεωρείται μηδέν. Για μικρότερα μήκη κύματος η χρωματική διασπορά είναι αρνητική, ενώ για μεγαλύτερα μήκη κύματος είναι θετική. Η διασπορά υλικού μπορεί να διορθωθεί μόνο αν αλλάξουμε τη σύσταση του γυαλιού στον πυρήνα και στο μανδύα της ίνας. Η διασπορά κυματοδηγού οφείλεται στο προφίλ δείκτη διάθλασης του κυματοδηγού και μπορεί να διορθωθεί μόνο αλλάζοντας αυτό το προφίλ.

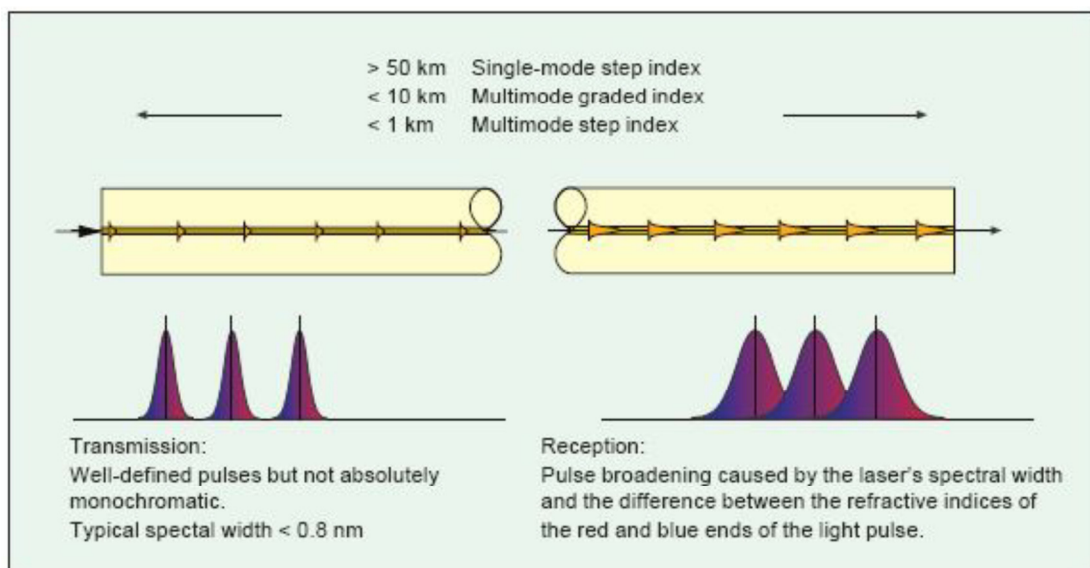
Ο πρωτεύον λόγος εμφάνισης του φαινομένου της χρωματικής διασποράς είναι η πηγή διάδοσης του φωτός. Τα laser δεν είναι 100% μονοχρωματικά, γεγονός που σημαίνει ότι κάθε παλμός που διαδίδεται περιέχει φως, το οποίο ξεφεύγει από το κόκκινο και μπλε όριο (άνω και κάτω όριο) του φάσματος του συγκεκριμένου μήκους κύματος που χρησιμοποιείται.

Ο παράγοντας αυτός καλείται φασματικό εύρος και για εμβέλεια μήκους κύματος 1 – 1.5 μm, μια δίοδος laser έχει φασματικό εύρος 0.1 – 1 nm, ενώ ένα LED 50 – 100 nm. Η χρωματική διασπορά είναι μηδέν ή περίπου μηδέν κοντά στα 1310 nm για μια συνηθισμένη μονότροπη ίνα. Η ελάχιστη εξασθένηση της ίνας λαμβάνει χώρα γύρω στα 1550 nm. Το γεγονός αυτό οδήγησε στην κατασκευή ειδικών ινών, των οποίων

το σημείο μηδενισμού της χρωματικής διασποράς έχει μετατοπιστεί σε μεγαλύτερα μήκη κύματος.



Εικόνα 2.7: Η χρωματική διασπορά είναι το άθροισμα της διασποράς υλικού και κυματοδηγού



Εικόνα 2.8: Διεύρυνση παλμού λόγω διασποράς. Σε μονότροπη ίνα εμφανίζονται η χρωματική διασπορά και η διασπορά πόλωσης τρόπου μετάδοσης PMD. Σε πολύτροπη ίνα η modal διασπορά προκαλεί κατά κύριο λόγο τη διεύρυνση του παλμού.

2.6.3. ΔΙΑΣΠΟΡΑ ΠΟΛΩΣΗΣ ΤΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ (PMD)

Η μονότροπη διάδοση δεν είναι ποτέ στην πραγματικότητα μονότροπη. Υπάρχουν πάντα δυο ρυθμοί διάδοσης, όπως έχουμε αναφέρει σε προηγούμενο κεφάλαιο. Όταν το φως εισέρχεται στην ίνα από το laser, τα πεδία αυτά είναι σύγχρονα και κάθετα μεταξύ τους. Κάθε ένα από αυτά τα πεδία έχει διαφορετική πόλωση. [17]

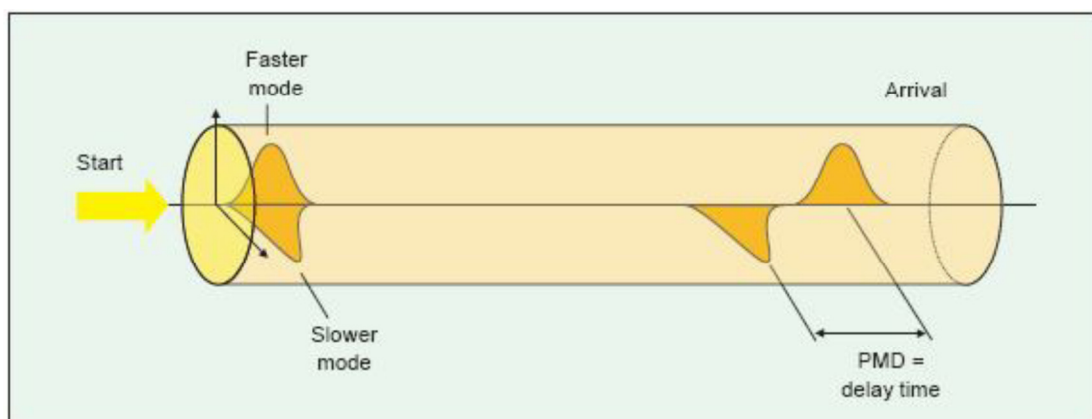
Η διαφορά μεταξύ των χρόνων άφιξης στο τέρμα της ίνας των δύο αυτών ρυθμών διαφορετικής πόλωσης, ονομάζεται διασπορά πόλωσης του ρυθμού μετάδοσης ή PMD και είναι της τάξης των psec. Μετρώντας για ένα χιλιόμετρο ο παράγοντας PMD μιας ίνας έχει μονάδα ps / $\sqrt{\text{km}}$. Αυτό συμβαίνει λόγω του mode coupling. Κάποιες από τις πρώτες οπτικές ίνες και κάποιες ίνες χαμηλής ποιότητας που κατασκευάζονται ακόμα και σήμερα έχουν παράγοντα PMD μέχρι και 6 ps / $\sqrt{\text{km}}$ ενώ ίνες υψηλής ποιότητας έχουν παράγοντα μικρότερο από 0.2.

Οι οργανισμοί τυποποίησης προτείνουν ο παράγοντας PMD μιας ίνας να μην ξεπερνά το 1/10 της περιόδου bit. Αυτό μεταφράζεται σε μέγιστο PMD 40 ps για σύστημα 2.5 Gbit/s και 10 ps για σύστημα 10 Gbit/s. Για μια ζεύξη 400 km οι τιμές PMD είναι:

- 1) $40/\sqrt{400} = 2 \text{ ps} / \sqrt{\text{km}}$ για σύστημα 2.5 Gbit/s
- 2) $10/\sqrt{400} = 0.5 \text{ ps} / \sqrt{\text{km}}$ για σύστημα 10 Gbit/s

Η τιμή 0.5 είναι η τυποποιημένη τιμή που απαιτείται για οπτικά καλώδια ζεύξης.

Νέες απαιτήσεις για υψηλότερα bit rate θα είναι 0.1 για σύστημα 40 Gbit/s.



Εικόνα 2.9: Διεύρυνση παλμού λόγω PMD

2.7 ΜΗ ΓΡΑΜΜΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

Η ισχύς εισόδου μιας ίνας έχει αυξηθεί σημαντικά στις μέρες μας. Η ανακάλυψη των οπτικών ενισχυτών σε συνδυασμό με την ταυτόχρονη μετάδοση πολλών μηκών κύματος έκανε πιο έντονη την εμφάνιση φαινομένων όπως τα μη γραμμικά φαινόμενα, καθώς αυτά εμφανίζονται αποκλειστικά σε υψηλά επίπεδα ισχύος. Τα μη γραμμικά φαινόμενα χωρίζονται σε δυο κατηγορίες :

- 1) Διεγερόμενη σκέδαση
- 2) Διακυμάνσεις του δείκτη διάθλασης

Τα επίπεδα ισχύος στα οποία εμφανίζονται τα μη γραμμικά φαινόμενα ονομάζονται «κατώτατα όρια». Δε θα μελετήσουμε τα φαινόμενα αυτά σε βάθος, δεν είναι μέσα στους στόχους της εργασίας, εκτός από το φαινόμενο μείξης τεσσάρων κυμάτων που αποτελεί το πρώτο φαινόμενο που πρέπει να αντιμετωπίσουμε όταν έχουμε να κάνουμε με πολυπλεξία μήκους κύματος.

Διεγερόμενη σκέδαση Brillouin, SBC

Η διεγερόμενη σκέδαση Brillouin είναι η αλληλεπίδραση μεταξύ ακουστικών κυμάτων και κυμάτων φωτός μέσα στην οπτική ίνα. Κάποιο ποσοστό του διαδιδόμενου φωτός διαδίδεται ξανά προς τα πίσω, με αποτέλεσμα να κλέβει ισχύ από το εμπρός διαδιδόμενο φως. Έτσι, μειώνεται η ισχύς που φτάνει στον δέκτη. Η SBC εμφανίζεται για ισχύ εισόδου 6 – 20 dBm.

Διεγερόμενη σκέδαση Raman, SRS

Η διεγερόμενη σκέδαση Raman είναι η αλληλεπίδραση μεταξύ του φωτός και των δονήσεων των μορίων της ίνας. Η SRS σκεδάζει φως και προς τα εμπρός και προς τα πίσω. Η μετάδοση ισχύος προς τα πίσω μπορεί να μηδενιστεί χρησιμοποιώντας έναν οπτικό απομονωτή. Η SRS εμφανίζεται για ισχύ εισόδου μεγαλύτερη από 27 dBm, δηλαδή κοντά στο 1 W. Η διεγερόμενη σκέδαση Raman αποτελεί σημαντικότερο πρόβλημα για την μετάδοση μέσω μίας οπτικής ίνας αλλά εμφανίζεται, όπως προαναφέραμε, αποκλειστικά όταν η ισχύς εισόδου είναι αρκετά υψηλή (περίπου 1 W). Τέτοια πάντως επίπεδα ισχύος στην είσοδο της οπτικής ίνας θεωρούνται υπερβολικά υψηλά ιδιαίτερα για τις μονότροπες ίνες. Για αυτό η διεγερόμενη

σκέδαση Raman υπό φυσιολογικές συνθήκες δεν εμφανίζεται σε ένα δίκτυο οπτικών ινών. Σε αντίθεση με τη σκέδαση Raman, η σκέδαση Brillouin εμφανίζεται για χαμηλότερη ισχύ εισόδου, αλλά η επίδραση της δεν είναι τόσο σημαντική. Γενικώς, καλό είναι η ισχύς εισόδου να μην ξεπερνάει τα 6 dBm, για να αποφεύγονται τα μη γραμμικά φαινόμενα που εμφανίζονται όταν το διαδιδόμενο σήμα έχει υψηλή ισχύ. [6]

Self phase modulation, SPM (αυτοδιαμόρφωση φάσης)

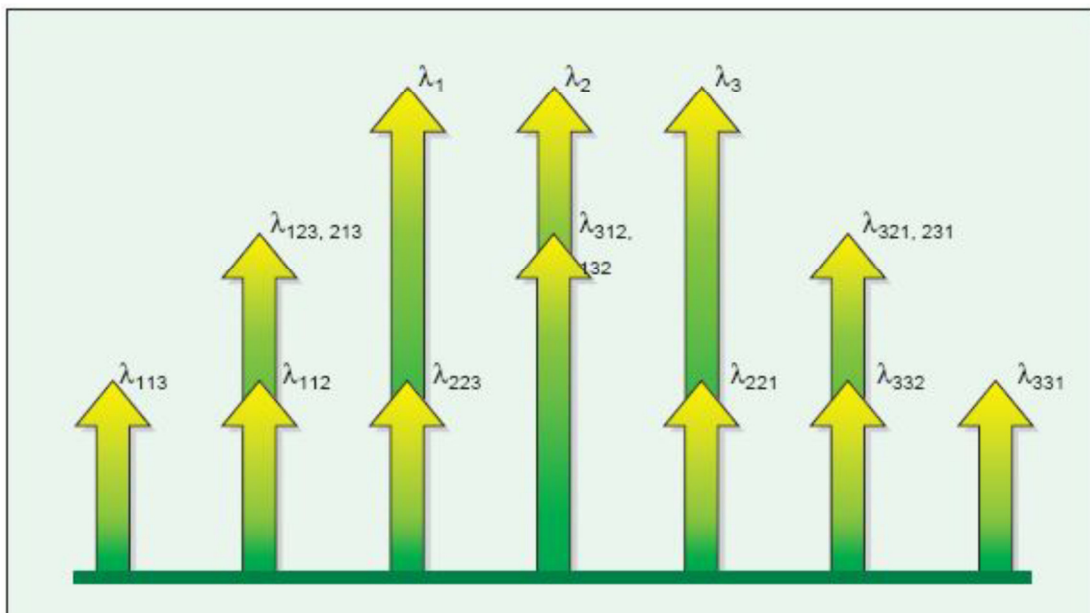
Η SPM περιγράφει την επίδραση που έχει ένας παλμός φωτός στην ίδια του τη φάση. Η ίδια η ισχύς του διαδιδόμενου παλμού μπορεί να μεταβάλλει τον δείκτη διάθλασης της ίνας μέσα στην οποία διαδίδεται ο παλμός με διαφορετικό τρόπο για τα διάφορα μήκη κύματος. Ο μεταβαλλόμενος δείκτης διάθλασης διαμορφώνει τη φάση του μεταδιδόμενου κύματος. Το φαινόμενο αυτό οδηγεί στην διεύρυνση το φάσματος του διαδιδόμενου παλμού. Αν είναι αρκετά μεγάλη αυτή η διεύρυνση μπορεί να επικαλυφθούν κανάλια σε συστήματα DWDM. Η SPM εμφανίζεται για ισχύ εισόδου μεγαλύτερη από 5 dBm. Η αυτό-διαμόρφωση φάσης είναι ένα αρκετά σύνηθες φαινόμενο στα οπτικά δίκτυα που χρησιμοποιούν μονοτροπικές ίνες. Πέρα από την φασματική διεύρυνση του παλμού, η αυτοδιαμόρφωση φάσης μπορεί να προκαλέσει και έντονη παραμόρφωση της μορφής του παλμού. Η επίδραση του φαινομένου της αυτοδιαμόρφωσης γίνεται πιο έντονη καθώς αυξάνεται η ισχύς. Οπότε κρίνεται αναγκαίο κατά την διάδοση ενός παλμού μέσα από την οπτική ίνα τα επίπεδα ισχύος του να μην ξεπερνάνε αυτά στα οποία αρχίζει να εμφανίζεται το φαινόμενο της αυτοδιαμόρφωσης φάσης.

Cross phase modulation, XPM (ετεροδιαμόρφωση φάσης)

Η XPM σχετίζεται αρκετά με την SPM. Η SPM περιγράφει την επίδραση που έχει ένας παλμός στον εαυτό του, ενώ η XPM περιγράφει την επίδραση που έχει ένας παλμός στους παλμούς άλλων καναλιών. Η SPM μπορεί να εμφανιστεί σε μονοκάναλα και πολυκάναλα συστήματα, ενώ η XPM εμφανίζεται μόνο σε πολυκάναλα συστήματα. Η XPM εμφανίζεται για ισχύ εισόδου μεγαλύτερη από 5 dBm, ενώ η επίδρασή της είναι ίδια με την SPM. Συνήθως, το φαινόμενο της ετεροδιαμόρφωση φάσης εμφανίζεται στις πολύτροπες ίνες που διαδίδονται κύματα με διαφορετικά μήκη κύματος. [12]

Μείξη τεσσάρων κυμάτων

Ένα από τα πιο σοβαρά μη γραμμικά φαινόμενα είναι η μείξη τεσσάρων κυμάτων. Εμφανίζεται όταν πολλαπλά σήματα μεταδίδονται ταυτόχρονα. Τα σήματα αυτά αναμειγνύονται με αποτέλεσμα να παράγουν νέα κανάλια που μπορούν να κλέψουν ισχύ από τα ήδη υπάρχοντα κανάλια και να τα επικαλύψουν. Στην παρακάτω εικόνα παριστάνεται το εν λόγω φαινόμενο για 3 κανάλια λ_1 , λ_2 και λ_3 που ισαπέχουν μεταξύ τους. Οι συντελεστές μείξης εμφανίζονται διότι τα κανάλια (μήκη κύματος) ισαπέχουν μεταξύ τους σε αυτό το παράδειγμα. Έτσι, κάποια από τα σήματα που δημιουργούνται επιδρούν στα ήδη υπάρχοντα κανάλια. Το φαινόμενο της μείξης των τεσσάρων κυμάτων εμφανίζεται για ισχύ εισόδου μεγαλύτερη από 0 dBm.



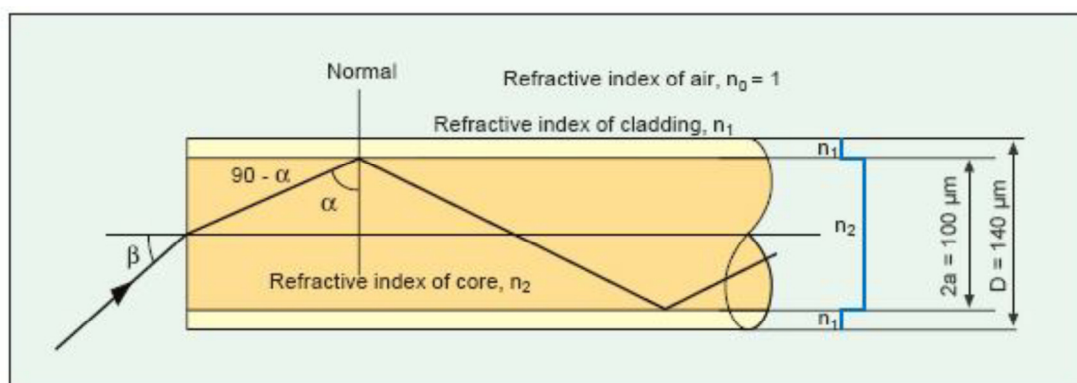
Εικόνα 2.10: Λόγω του ότι τα κανάλια (μήκη κύματος) λ_1 , λ_2 και λ_3 ισαπέχουν μεταξύ τους

Σε αυτό το παράδειγμα, κάποια από τα σήματα που δημιουργούνται επιδρούν στα ήδη υπάρχοντα κανάλια. Ο αριθμός των καναλιών (κυμάτων) που δημιουργούνται υπολογίζεται από τον τύπο: $\frac{1}{2} (N^3 - N^2)$, όπου N είναι ο αριθμός των αρχικών καναλιών. Για ένα σύστημα με 3 κανάλια, δημιουργούνται 9 κανάλια σύμφωνα με τον τύπο, ενώ για ένα σύστημα με 16 κανάλια δημιουργούνται 1920. Η διαδικασία μείξης τεσσάρων κυμάτων αποτελεί πολύ σοβαρό ζήτημα για το μήκος κύματος μηδενικής διασποράς, αφού έρχεται σε πλήρη αντίθεση με την προσπάθειά μας να κρατήσουμε τη διασπορά στο ελάχιστο.

2.8 ΠΟΛΥΤΡΟΠΗ ΙΝΑ ΜΕ ΟΡΘΟΓΩΝΙΟ ΠΡΟΦΙΛ ΔΕΙΚΤΗ

Αν χρησιμοποιήσουμε μια ίνα με ορθογώνιο προφίλ δείκτη (πλαστική ίνα ή ίνα με κρυσταλλικό πυρήνα και πλαστικό μανδύα) για τη μετάδοση φωτός χρησιμοποιώντας τον παράγοντα ολικής ανάκλασης, πρέπει ο δείκτης διάθλασης του πυρήνα να είναι μεγαλύτερος από τον δείκτη διάθλασης του μανδύα. Αν ο δείκτης διάθλασης του πυρήνα είναι σταθερός σε όλη την ακτίνα του πυρήνα, η ίνα ονομάζεται ίνα βηματικού δείκτη (step index). Η εικόνα 2.11 παρουσιάζει το προφίλ δείκτη (μπλε) και τη διάθλαση σε μια ίνα με βηματικό προφίλ δείκτη.

Αυτού του είδους η ίνα είναι εύκολο να κατασκευαστεί, αλλά λόγω των σχετικά χαμηλών δυνατοτήτων μετάδοσης που παρουσιάζει, χρησιμοποιείται μόνο για μετάδοση πληροφοριών σε μικρές αποστάσεις. Παρακάτω δίνονται οι παράμετροι για δυο τυπικές ίνες βηματικού δείκτη.



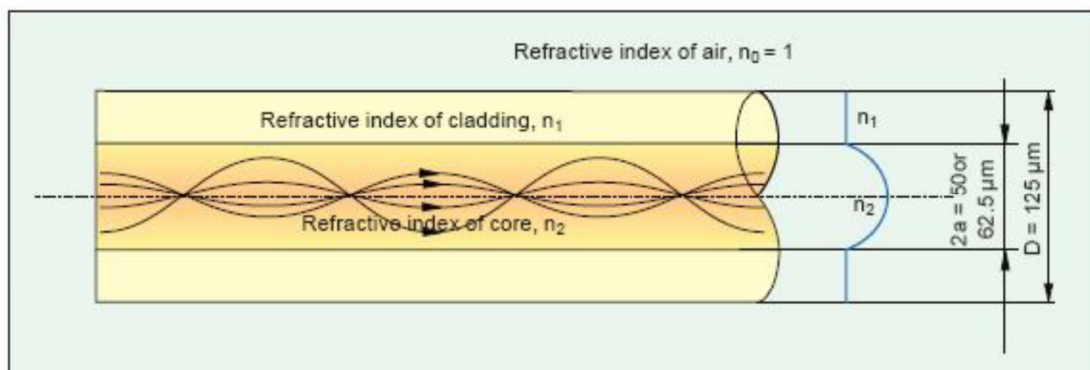
Εικόνα 2.11: Ενεργειακό μονοπάτι σε πολύτροπη ίνα με βηματικό δείκτη. Παρατηρούμε ότι η γωνία $(90^\circ - \alpha) < \beta$

2.9 ΠΟΛΥΤΡΟΠΗ ΙΝΑ ΜΕ ΒΑΘΜΙΑΙΟ ΠΡΟΦΙΛ ΔΕΙΚΤΗ

Όπως αναφέρθηκε και πριν, μια πολύτροπη ίνα με ορθογώνιο προφίλ δείκτη μεταδίδει ταυτόχρονα ένα μεγάλο αριθμό τρόπων. Κάθε ένας από αυτούς τους τρόπους έχει διαφορετικό μήκος διαδρομής μέσα στην ίνα. Έτσι, κάθε ένας φτάνει στο τέλος της ίνας σε ελάχιστα διαφορετικό χρόνο (modal διασπορά). Η modal διασπορά μπορεί να μειωθεί αισθητά, αν ο δείκτης διάθλασης μεταβάλλεται από το κέντρο του πυρήνα προς τον μανδύα. Ο δείκτης διάθλασης μεταβάλλεται παραβολικά, έτσι ώστε να παρουσιάζει μέγιστο στο κέντρο του πυρήνα και ελάχιστο

στο σημείο ένωσης του πυρήνα με τον μανδύα. Μια ίνα της οποίας ο δείκτης διάθλασης μεταβάλλεται παραβολικά με $g = 2$ ονομάζεται ίνα βαθμιαίου δείκτη.

Στην εικόνα 2.12 έχουν σχεδιαστεί τέσσερα κύματα (ρυθμοί). Το ένα διαδίδεται κατά μήκος του κεντρικού άξονα, όπου ο δείκτης διάθλασης είναι μέγιστος. Επίσης, φαίνονται δύο κύματα υψηλής τάξης και ένα χαμηλής τάξης. Το φως που διανύει τη μεγαλύτερη απόσταση μέσα στην ίνα είναι αυτό που ταξιδεύει μέσα στο γυαλί με χαμηλό δείκτη διάθλασης, με συνέπεια να ταξιδεύει γρηγορότερα αν και διανύει τη μεγαλύτερη απόσταση. Όσο η μεταβολή του δείκτη διάθλασης μιας ίνας πλησιάζει την παραβολική μεταβολή, τόσο πιο πολύ μειώνεται η modal διασπορά. Η διασπορά σε μια πολύτροπη ίνα με βαθμιαίο δείκτη προκαλεί διαφορά χρόνου μικρότερη από 1 nsec σε μήκος ίνας 1 km. [9]



Εικόνα 2.12: Διαδρομή φωτός μέσα σε πολύτροπη ίνα με βαθμιαίο δείκτη διάθλασης

Τα κύματα φωτός διαδίδονται στο εσωτερικό της ίνας ακολουθώντας ελικοειδή κίνηση. Η modal διασπορά οφείλεται στη διαφοροποίηση του δείκτη από το ιδανικό παραβολικό προφίλ. Διαφοροποιήσεις όπως η τιμή του g και η σχετική διαφοροποίηση δείκτη διάθλασης εξαρτώνται από το μήκος κύματος. Οι πολύτροπες ίνες γενικά χρησιμοποιούνται σε εσωτερικά δίκτυα. Η μεγαλύτερη διάμετρος του πυρήνα επιτρέπει ευκολότερη σύνδεση της ίνας στον εξοπλισμό μετάδοσης. Η ίνα αυτή χρησιμοποιείται σε δίκτυα δεδομένων, σε εφαρμογές αισθητήρων και ικανοποιεί τις απαιτήσεις των FDDI δικτύων (Fiber Distributed Data Interface). Γενικά, όταν αναφερόμαστε σε πολύτροπη ίνα, θα εννοούμε πολύτροπη ίνα με βαθμιαίο δείκτη. Αυτές οι ίνες μπορεί να χρησιμοποιηθούν για μήκη κύματος 850 nm και 1300 nm ή σε εφαρμογές διπλού παραθύρου.

2.10 ΜΟΝΟΤΡΟΠΗ ΙΝΑ ΜΕ ΟΡΘΟΓΩΝΙΟ ΠΡΟΦΙΛ ΔΕΙΚΤΗ

Συνήθως, οι μονότροπες ίνες χρησιμοποιούνται σε ζεύξεις επικοινωνιών μεγάλων αποστάσεων. Για μια συνηθισμένη μονότροπη ίνα η διασπορά εμφανίζεται στα 1310 nm και η μικρότερη εξασθένηση στα 1550 nm. Αν συνδυαστούν οι παράμετροι: Τιμή αποκοπής και Διάμετρος πεδίου ρυθμού μετάδοσης, μπορούμε να έχουμε έναν παράγοντα που χαρακτηρίζει την ευαισθησία της ίνας στο λύγισμα. Υψηλή τιμή αποκοπής και μικρή διάμετρος πεδίου ρυθμού μετάδοσης μας δίνουν μια ίνα αρκετά ανθεκτική στο λύγισμα. Η εικόνα 12 μας δείχνει τη διαδρομή του φωτός μέσα σε μια συνηθισμένη μονότροπη ίνα και το προφίλ δείκτη διάθλασής της. Τυπικές παράμετροι μιας μονότροπης ίνας είναι οι παρακάτω.

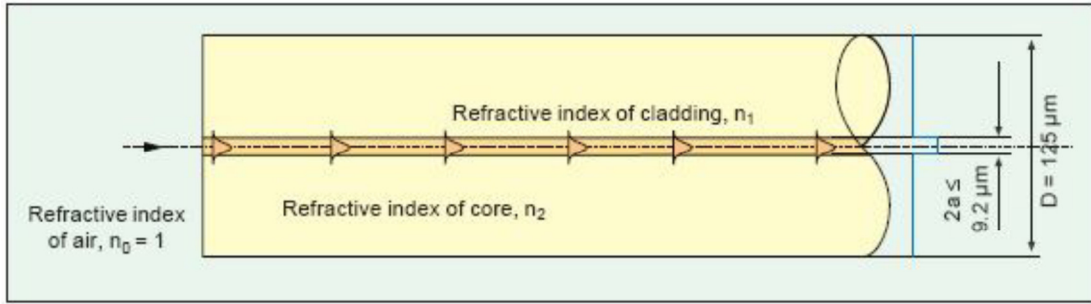
Μια ίνα με τις παραπάνω παραμέτρους παρουσιάζει αριθμητικό άνοιγμα $NA = 0.11$, το οποίο δίνει γωνία αποδοχής $\beta = 6^\circ$. Δεν είναι μόνο η διάμετρος του πυρήνα μιας μονότροπης ίνας που είναι μικρότερη από εκείνη της πολύτροπης. [11]

Το αριθμητικό άνοιγμα, όπως και η γωνία αποδοχής, είναι αρκετά μικρότερα σε μια μονότροπη ίνα. Οι προηγούμενοι τρεις παράγοντες δυσκολεύουν αρκετά την εισαγωγή φωτός μέσα στη μονότροπη ίνα.

Το μήκος κύματος αποκοπής για την ίνα του προηγούμενου παραδείγματος μπορεί να υπολογιστεί από τον παρακάτω τύπο:

$$\lambda_c = \pi \frac{2a}{V_c} NA = \pi \frac{9.2}{2.405} \cdot 0.11 \approx 1322 \text{ [nm]}$$

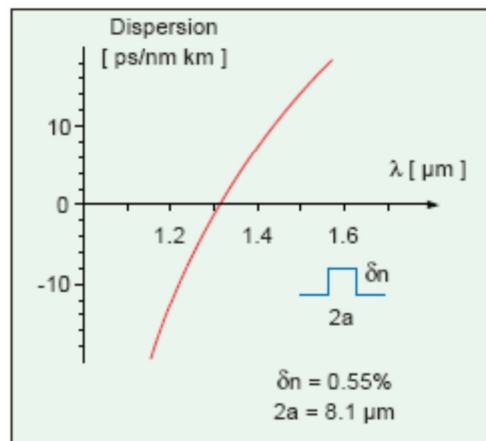
Ο προηγούμενος υπολογισμός παρουσιάζει την τιμή αποκοπής της ίνας. Ίνες που αποτελούν καλώδια οπτικών ινών θα έχουν χαμηλότερο μήκος κύματος αποκοπής, την τιμή αποκοπής του καλωδίου.



Εικόνα 2.13: Διαδρομή ενέργειας μέσα σε μια ιδανική μονότροπη ίνα

Φως με το παραπάνω μήκος κύματος (λ_c) ή με μεγαλύτερο μπορεί να διαδοθεί μέσα στην οπτική ίνα μόνο με τον θεμελιώδη τρόπο μετάδοσης. Οι μη μετατοπισμένου σημείου διασποράς ίνες (συνηθισμένη μονότροπη ίνα) βγήκαν στο εμπόριο το 1983. Από τότε οι κατασκευαστές βελτιώνουν συνεχώς τις γεωμετρικές παραμέτρους και τις παραμέτρους μετάδοσης αυτών των ινών.

Η εικόνα 2.14 παρουσιάζει το προφίλ δείκτη για μια συνηθισμένη μονότροπη ίνα (μπλε) τύπου βηματικού δείκτη με διαφορά δn των δεικτών διάθλασης πυρήνα και μανδύα. Η διασπορά κυματοδηγού και υλικού αλληλοαναιρούνται για μήκη κύματος λίγο μετά τα 1300 nm, έτσι ώστε η ολική (χρωματική) διασπορά να είναι μηδενική.



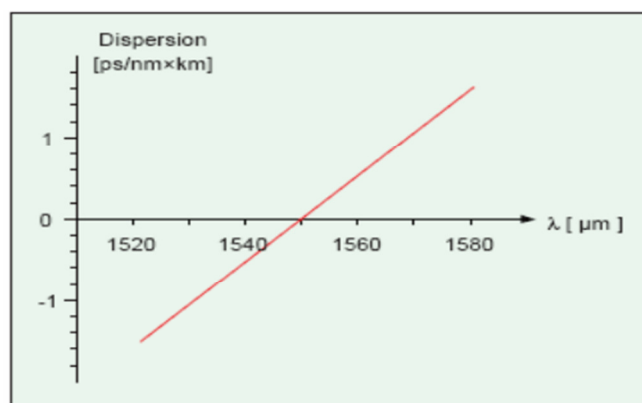
Εικόνα 2.14: Η χρωματική διασπορά σε μια συνηθισμένη μονότροπη ίνα για μήκη κύματος από 1150 μέχρι 1600 nm

2.11 ΊΝΕΣ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΜΕΝΟΥ ΣΗΜΕΙΟΥ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ

Για μια πλειάδα εφαρμογών, όπως ζεύξεις μεγάλου μήκους (και χαμηλής εξασθένησης), συστήματα με EDFA (Erbium Doped Amplifiers) και συστήματα με πολυπλέκτες διαχωρισμού μήκους κύματος, είναι απαραίτητο να μετατοπίσουμε το σημείο μηδενικής διασποράς σε άλλα μήκη κύματος (σχετικά κοντά στα 1550nm). Ίνες με το προηγούμενο χαρακτηριστικό ονομάζονται ίνες μετατοπισμένου σημείου διασποράς. Όταν μετατοπίζουμε το σημείο μηδενικής διασποράς από τα 1310 στα 1550 nm έχουμε σαν αποτέλεσμα την παραγωγή μιας ίνας με χαμηλότερη εξασθένηση και διασπορά. Η μετατόπιση του μηδενικού σημείου διασποράς επιτυγχάνεται με αλλαγή του προφίλ δείκτη διάθλασης της ίνας. [7]

Χρησιμοποιώντας την παραπάνω διαδικασία μπορούμε να φτιάξουμε μια ίνα με σημείο μηδενικής διασποράς σε μια περιοχή μήκους κύματος 1530 – 1565 nm.

2.12 ΣΥΝΗΘΗΣ ΙΝΑ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΜΕΝΟΥ ΣΗΜΕΙΟΥ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ



Εικόνα 2.15: Χρωματική διασπορά για μια ίνα μετατοπισμένου σημείου διασποράς

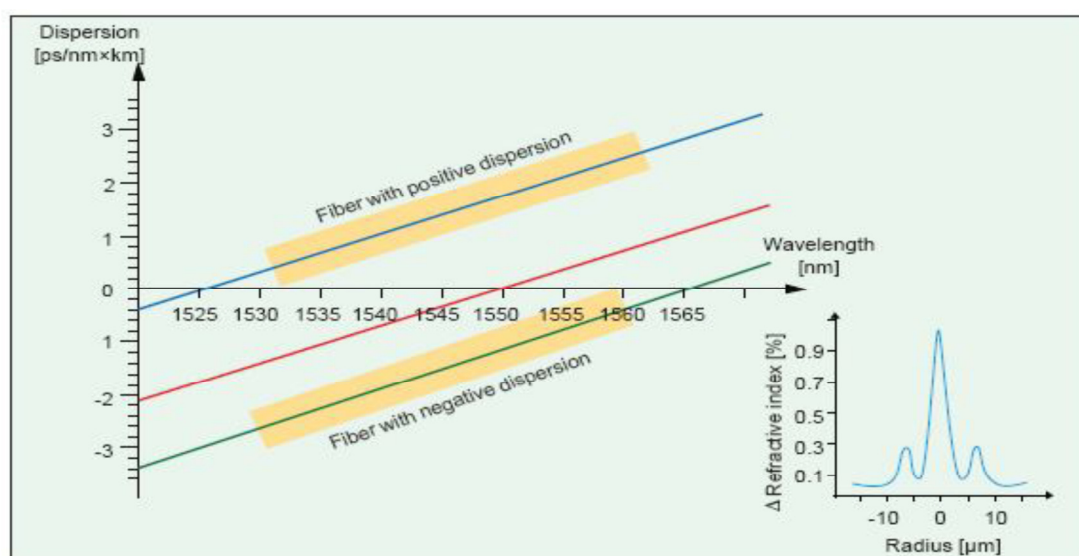
Η πρώτη ίνα μετατοπισμένου σημείου διασποράς εμφανίστηκε στα μέσα της δεκαετίας του '80 και παρουσίαζε μηδενική διασπορά στα 1550 nm. Η μετατόπιση του σημείου μηδενισμού επιτυγχανόταν μετατρέποντας το προφίλ δείκτη του πυρήνα σε τριγωνικό ή δημιουργώντας δύο σκαλοπάτια στον δείκτη διάθλασης του μανδύα. Η ίνα αυτή έχει το μεγάλο μειονέκτημα να παρουσιάζει μη γραμμικά φαινόμενα κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες. Η παλιά ίνα μετατοπισμένου σημείου διασποράς δε

μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα συστήματα με πολυπλέκτες διαχωρισμού μήκους κύματος (1993). Η συνήθης ίνα του παραπάνω τύπου θεωρείται πια ξεπερασμένη και έχει αντικατασταθεί στα νέα συστήματα με ίνες μη μηδενικού μετατοπισμένου σημείου διασποράς.

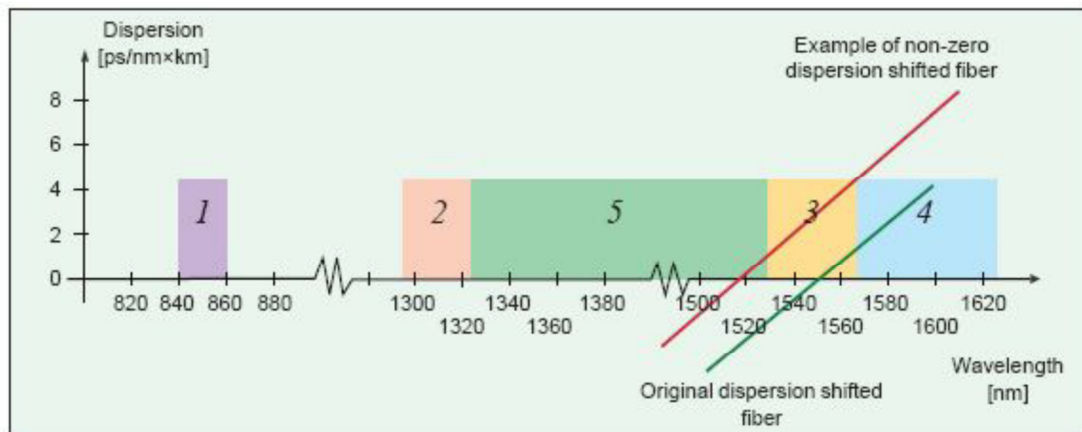
2.12.1 ΙΝΑ ΜΗ ΜΗΔΕΝΙΚΟΥ ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΜΕΝΟΥ ΣΗΜΕΙΟΥ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ

Για να ικανοποιηθεί η αυξημένη ζήτηση για εύρος ζώνης μετάδοσης, τα σημερινά συστήματα επικοινωνιών χρησιμοποιούν όλο και μεγαλύτερα bit rate.

Από τα πρώτα στάδια ανάπτυξης των οπτικών ινών έχουν πραγματοποιηθεί πειράματα για τη χρήση συγκεκριμένων μηκών κύματος που θα μπορούσαν να μεταφέρουν πολλαπλά κανάλια πληροφορίας, ώστε να πολλαπλασιαστεί η χωρητικότητα των οπτικών ινών. Οι ίνες μη μηδενικού μετατοπισμένου σημείου διασποράς χρησιμοποιήθηκαν αρχικά σε συστήματα DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) στο τρίτο παράθυρο, 1530 – 1565 nm. Σήμερα αρχίζουν και χρησιμοποιούνται και τα παράθυρα τέσσερα και πέντε για τέτοιου τύπου ίνες. Έτσι, υπάρχουν πολλά είδη τέτοιου τύπου ινών με διαφορετικές τιμές διασποράς και αποτελεσματικής περιοχής. Δυο παραδείγματα δίνονται στην εικόνα 2.16. [19]



Εικόνα 2.16: Η γραφική παράσταση παρουσιάζει δυο διαφορετικούς τύπους ίνας μη μηδενικού μετατοπισμένου σημείου διασποράς σε σύγκριση με μια ίνα μετατοπισμένου σημείου διασποράς (κόκκινο). Επίσης, συμπεριλαμβάνεται και το προφίλ του δείκτη διάθλασης.



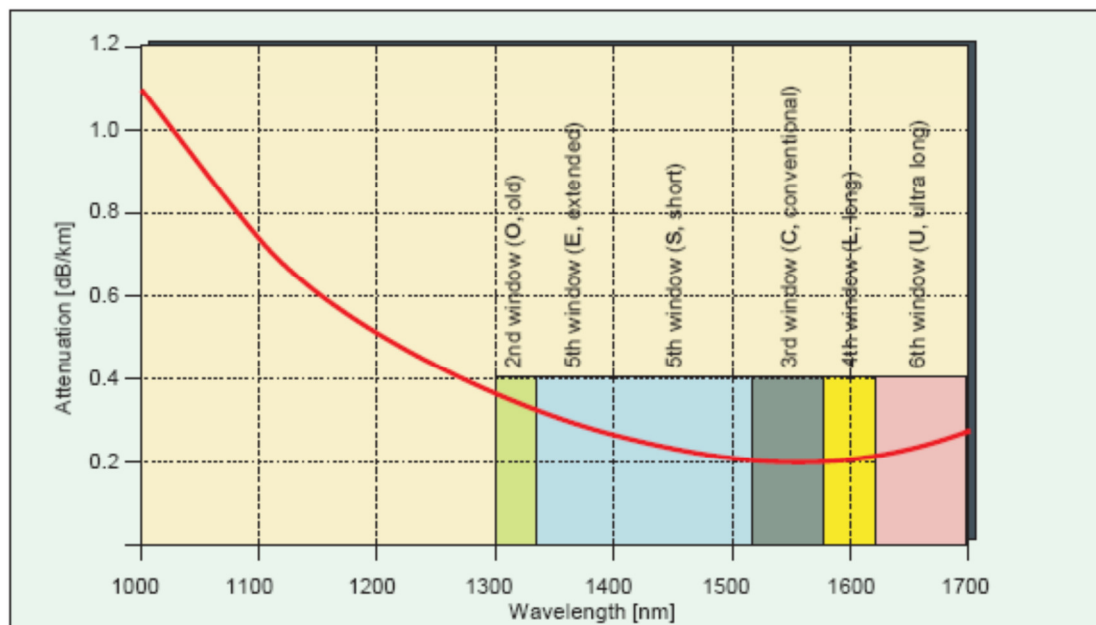
Εικόνα 2.17: Η γραφική παράσταση παρουσιάζει τη διασπορά μιας ίνας μη μηδενικού μετατοπισμένου σημείου διασποράς και μιας μετατοπισμένου σημείου διασποράς.

Νέες τεχνικές άνοιξαν δυο νέα παράθυρα (4 και 5) για WDM. Το παράθυρο 3 χρησιμοποιείται εδώ και χρόνια για συστήματα DWDM. Μη γραμμικά φαινόμενα, όπως η μείξη τεσσάρων κυμάτων, μπορούν να περιοριστούν χρησιμοποιώντας ίνες με μικρή διασπορά αποφεύγοντας το σημείο μηδενισμού. Οι συνήθεις ίνες μετατοπισμένου σημείου διασποράς δε μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συστήματα WDM και σε συστήματα υψηλού bit rate που παρουσιάζουν έντονα μη γραμμικά φαινόμενα, χωρίς να χρησιμοποιηθούν ιδιαίτερες τεχνικές μέθοδοι. Σε αντίθεση με τις ίνες που αναφέραμε προηγουμένως, οι ίνες μη μηδενικού μετατοπισμένου σημείου διασποράς μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε τέτοια συστήματα για μήκη κύματος 1530–1565 nm όπου παρουσιάζουν διασπορά 2 – 6 ps / nm * km. Με τέτοιου τύπου ίνες έχουν διαδοθεί αρκετές εκατοντάδες κανάλια των 2.5 ή 10 Gbit/s σε αποστάσεις πολλών χιλιομέτρων.

2.12.2 ΙΝΕΣ ΜΕ ΣΥΝΕΧΕΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΟ ΦΑΣΜΑ 1280-1625 (1700) NM

Μια νέου τύπου ίνα αναμένεται να ανοίξει ένα νέο παράθυρο για μετάδοση. Αυτό το νέο παράθυρο θα ενώνει το παράθυρο των 1310 nm με αυτό των 1550 nm και θα δίνει τη δυνατότητα χρήσης παραπάνω από 100 nm εύρους ζώνης σε σχέση με την τυπική μονότροπη ίνα. Σε αυτήν την ίνα, η ολική εξασθένηση στο φασματικό εύρος 1285-1625 nm είναι μικρότερη από 0.4 dB. Χρησιμοποιώντας ίνες τέτοιου τύπου μπορούμε να παρέχουμε ταυτόχρονα διάφορα είδη υπηρεσιών. Για παράδειγμα, η ίδια

ίνα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για WDM αναλογικό video στο νέο πέμπτο παράθυρο (1350 – 1450 nm) και για μετάδοση πληροφοριών DWDM με bit rate κοντά στα 2.5 Gbit/s στην περιοχή των 1450 nm.



Εικόνα 2.18: Εξασθένιση σε συνάρτηση με το μήκος κύματος για μια ίνα συνεχούς χρησιμοποιούμενου φάσματος (1285 – 1625 nm)

2.12.3 ΙΝΑ ΑΝΤΙΣΤΑΘΜΙΣΗΣ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ

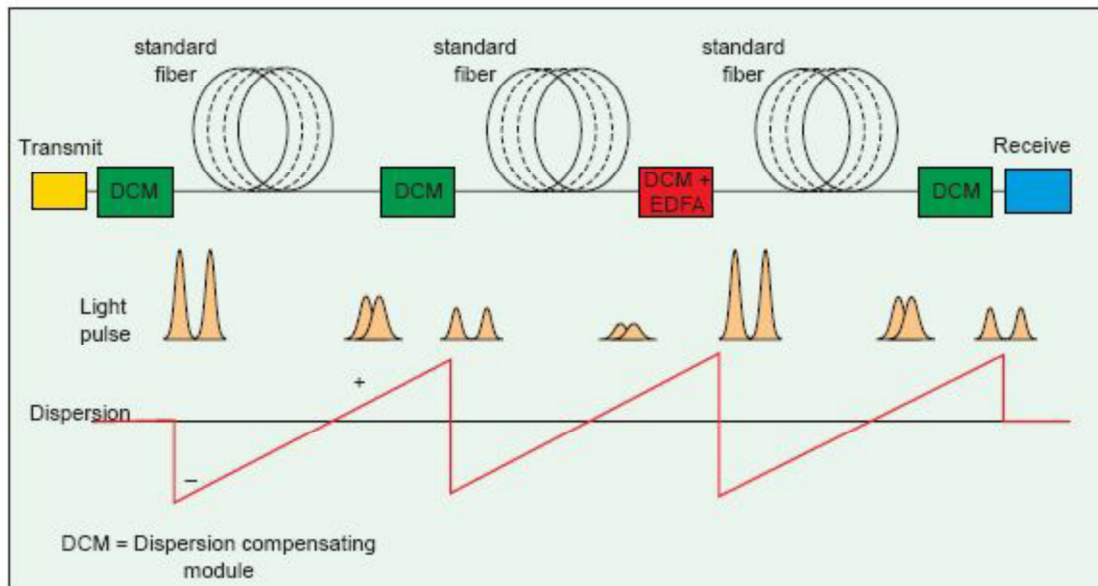
Όπως αναφέραμε και νωρίτερα σε αυτό το κεφάλαιο, είναι οικονομικά ασύμφορο να χρησιμοποιήσουμε ίνα μετατοπισμένου σημείου διασποράς σε δίκτυα μεγάλων αποστάσεων. Συνδυάζοντας τυπικές μονότροπες ίνες, ενισχυτές με ίνες ερβίου EDFA (Erbium Doped Fiber Amplifier) και ίνες αντιστάθμισης διασποράς μπορούμε να πετύχουμε μεγάλες αποστάσεις μετάδοσης και πολύ υψηλές ταχύτητες με αρκετά μικρό κόστος. Ένα σοβαρό μειονέκτημα είναι ότι οι ενισχυτές ίνας ερβίου μεταδίδουν για μήκη κύματος κοντά στα 1550 nm, γεγονός που (τουλάχιστον για το άμεσο μέλλον) αποκλείει τη μετάδοση στα 1310 nm. Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει τις παραμέτρους μιας τυπικής μονότροπης ίνας και μιας ίνας αντιστάθμισης διασποράς. [21]

Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε από τον παρακάτω πίνακα, η ίνα αντιστάθμισης διασποράς παρουσιάζει αρκετά υψηλή αρνητική τιμή διασποράς για μήκη κύματος

κοντά στα 1550 nm. Χρησιμοποιώντας μεθόδους αντιστάθμισης διασποράς με ίνες αντιστάθμισης ή με συνδυασμό ινών αντιστάθμισης και ενισχυτών EDFA σε οπτικά συστήματα, μπορούμε να χρησιμοποιούμε καλώδια ινών μεγάλου μήκους χωρίς να λαμβάνουν χώρα σημαντικά φαινόμενα διασποράς. Το μόνο μειονέκτημα της ίνας αντιστάθμισης διασποράς είναι ότι παρουσιάζει αρκετά υψηλή τιμή εξασθένησης (0.60 dB/km).

Type of fiber	Dispersion at 1550 nm [ps/nm × km]	Attenuation at 1550 nm [dB/km]
Standard single-mode fiber	17 - 18	0.18 - 0.21
Dispersion compensating fiber	(-65) - (-90)	0.56 - 0.60

Το γεγονός αυτό, όμως, μπορεί να αντισταθμιστεί με τη χρήση ενισχυτών EDFA. Η τυπική μονότροπη ίνα βηματικού προφίλ δείκτη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μεγάλες αποστάσεις χωρίς την ανάγκη επαναληπτών. Τα παλιά συστήματα οπτικών ινών μπορούν να αναβαθμιστούν για λειτουργία σε υψηλά bit rate και καλύτερη απόδοση με προσθήκη πολυπλεκτών διαχωρισμού μήκους κύματος.



Εικόνα 2.19: Οι μέθοδοι αντιστάθμισης διασποράς μπορούν να εφαρμοστούν στην αρχή και στο τέλος μιας ζεύξης μετάδοσης. Κατά προτίμηση συνδυάζονται με ενισχυτές EDFA.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

3.1 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΣΤΙΣ ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ (Transmission Characteristics of Optical Fibers)- ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στις παραγράφους που προηγήθηκαν αναφερθήκαμε απλά στους μηχανισμούς μεταφοράς της οπτικής ακτινοβολίας μέσα στις οπτικές ίνες. Εδώ, πρέπει να επισημάνουμε ότι η απόδοση των μηχανισμών αυτών δεν φτάνει το 100%, εξαιτίας των διαφόρων φαινομένων που αναπτύσσονται από την αλληλεπίδραση της οπτικής ακτινοβολίας με αυτή καθαυτή την οπτική ίνα. Τα φαινόμενα αυτά μπορεί να είναι η απορρόφηση και η σκέδαση της ακτινοβολίας από τον πυρήνα, καθώς και η διασπορά (αλλοίωση) των σημάτων που διαδίδονται μέσα στην οπτική ίνα. Επίσης, η κάμψη της οπτικής ίνας συνοδεύεται πάντοτε με απώλειες οπτικής ισχύος. Τα φαινόμενα αυτά έχουν σαν τελικό αποτέλεσμα την εξασθένηση της οπτικής ακτινοβολίας.

Οι απώλειες που παρουσιάζουν οι οπτικές ίνες είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας μιας και καθορίζει τη μέγιστη απόσταση διάδοσης του σήματος χωρίς παραμόρφωση (ή την απόσταση μεταξύ των αναμεταδοτών). Συγκριτικά με τις πλαστικές, οι γυάλινες οπτικές ίνες παρουσιάζουν πολύ χαμηλότερες απώλειες.

Παρακάτω αναλύονται οι παράγοντες οι οποίοι συμβάλουν στις απώλειες των γυάλινων οπτικών ινών.

3.1.2 ΕΞΑΣΘΕΝΙΣΗ (Attenuation)

Οι ολικές απώλειες ισχύος μέσα σε μια οπτική ίνα εκφράζονται συνήθως με τον όρο εξασθένηση ανά μονάδα μήκους και μετρώνται σε decibel ανά km. Υπενθυμίζουμε εδώ ότι ο όρος decibel χρησιμοποιείται για τη σύγκριση επιπέδων ισχύος. Στην περίπτωση μας, η μια ισχύς είναι η ισχύς P_1 με την οποία η οπτική ακτινοβολία εισέρχεται στην οπτική ίνα, ενώ η άλλη είναι η ισχύς P_0 της ακτινοβολίας που εξέρχεται, το δε μέτρο της σύγκρισης εισέρχεται διά την ισχύ που εξέρχεται. [7]

Συγκεκριμένα, το μέτρο A της εξασθένησης δίνεται από τη σχέση:

Αν η εξασθένηση αυτή προήλθε σε μήκος L της οπτικής ίνας, τότε το μέτρο A_l

της εξασθένισης ανά μονάδα μήκους οπτικής ίνας θα δίνεται από τη σχέση:

Έτσι, αν μετά από 1 km οπτικής ίνας η εξερχόμενη ισχύς είναι το ένα χιλιοστό της εισερχόμενης οπτικής ισχύος ($P_0=0.001P_1$), τότε οι απώλειες που έχει υποστεί το διαδιδόμενο σήμα θα είναι 30 Db.

Πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι η εξασθένιση ενός σήματος μέσα σε οπτική ίνα εξαρτάται δραστικά από το μήκος κύματος της οπτικής ακτινοβολίας που μεταφέρει το σήμα. Την εξάρτηση αυτή θα προσπαθήσουμε να εξηγήσουμε στις παραγράφους που ακολουθούν.

3.1.3 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΛΟΓΩ ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗΣ (Absorption Losses)

Η απορρόφηση είναι ένας μηχανισμός απωλειών που σχετίζεται με το υλικό σύνθεσης και τη διαδικασία κατασκευής της οπτικής ίνας, και συντελεί στον διασκορπισμό ενός μέρους της οπτικής ισχύος που μεταφέρεται. Η απορρόφηση αυτή μπορεί να οφείλεται στο υλικό της οπτικής ίνας (ενδογενής απορρόφηση), αλλά και σε ανεπιθύμητες προσμίξεις, οι οποίες υπάρχουν σε πολύ μικρή συγκέντρωση μέσα στο υλικό κατασκευής της οπτικής ίνας (εξωγενής απορρόφηση).

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι σε μια ιδανική οπτική ίνα θα συμβαίνει μόνο ενδογενής απορρόφηση της ακτινοβολίας και μάλιστα θα πρέπει να σημειώσουμε ότι σε μια πολύ μεγάλη περιοχή του οπτικού φάσματος, που αρχίζει από το υπεριώδες και φθάνει μέχρι το μακροϋπέρυθρο, το μέτρο της απορρόφησης αυτής εξαρτάται μόνο από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας.

Συγκεκριμένα, στην περιοχή αυτή του φάσματος έχουμε δύο κύριους μηχανισμούς ενδογενούς απορρόφησης από τους οποίους ο ένας συμβαίνει στην περιοχή του υπεριώδους και οφείλεται κυρίως στις εξαναγκασμένες διεγέρσεις και μετακινήσεις των ηλεκτρονίων μέσα στο υλικό της οπτικής ίνας, ενώ ο άλλος μηχανισμός συμβαίνει στην περιοχή του υπέρυθρου και οφείλεται στην αλληλεπίδραση των φωτονίων με τα μόρια του υλικού της οπτικής ίνας.

Παρατηρούμε ότι στη λειτουργική φασματική περιοχή των οπτικών ινών (0.8μm-1.7μm) η απορρόφηση αυτή παρουσιάζει ελάχιστο. Το αντίθετο ακριβώς συμβαίνει στην περίπτωση της εξωγενούς απορρόφησης της οπτικής ακτινοβολίας, η οποία είναι αναπόφευκτη στις οπτικές ίνες του εμπορίου.

Από την κατασκευή τους οι ίνες αυτές περιέχουν προσμίξεις άλλων στοιχείων, κυρίως μετάλλων, οι οποίες αν και έχουν πολύ μικρή συγκέντρωση προκαλούν σχετικά μεγάλη εξωγενή απορρόφηση.

Πέραν όμως από την ύπαρξη των μεταλλικών ιόντων, μέσα στη δομή της οπτικής ίνας υπάρχουν και ιόντα OH⁻ που προκαλούν τοπικά μέγιστη απορρόφηση στα μήκη κύματος 0.72μm, 0.95μm και 1.38 μm. [19]

3.1.4 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΛΟΓΩ ΣΚΕΔΑΣΗΣ (Linear Scattering Losses)

Η θεωρητική μελέτη που κάναμε στην προηγούμενη παράγραφο απέδειξε ότι το αριθμητικό άνοιγμα NA μιας οπτικής ίνας εξαρτάται μόνο από τους δείκτες διάθλασης του πυρήνα και του μανδύα. Στη πραγματικότητα όμως, πειραματικές μετρήσεις έδειξαν ότι η παράμετρος NA σε οπτική ίνα πολλαπλού ρυθμού επηρεάζεται και από το μήκος αυτής. Έτσι, μια οπτική ίνα με μήκος 2m μπορεί να έχει NA= 0,37. Ενώ όταν το μήκος της είναι 1 Km τότε NA = 0.3. Το παράξενο αυτό φαινόμενο οφείλεται στο γεγονός ότι ένα μέρος της οπτικής ισχύος ή όλη η οπτική ισχύς που διαδίδεται με κάποιο ρυθμό μεταφέρεται γραμμικά σε άλλο ρυθμό διάδοσης μεγαλύτερης τάξης.

Αυτό έχει σαν συνέπεια η οπτική ισχύς που διαδίδεται με το μέγιστο ρυθμό να μεταφέρεται σταδιακά στον μανδύα και όσο μεγαλώνει το μήκος της οπτικής ίνας να χάνεται από τον πυρήνα. Ο μηχανισμός αυτός ονομάζεται γραμμική σκέδαση και έχει σαν τελικό αποτέλεσμα την εξασθένιση της οπτικής ακτινοβολίας.

Η γραμμική σκέδαση μπορεί να ταξινομηθεί σε δύο τύπους. Στον πρώτο τύπο ανήκει η σκέδαση Rayleigh η οποία οφείλεται κυρίως σε μικρής έκτασης ανομοιογένειες του δείκτη διάθλασης και της πυκνότητας του πυρήνα της οπτικής ίνας.

Η σκέδαση αυτή εκτείνεται προς όλες τις διευθύνσεις και η παράμετρος γ_l που την εκφράζει είναι ανάλογη με το αντίστροφο της τέταρτης δύναμης του μήκους κύματος,

Ο τύπος της σκέδασης οφείλεται κυρίως σε γεωμετρικές ανομοιογένειες στη δομή της οπτικής ίνας των οποίων οι διαστάσεις είναι της τάξης του μήκους κύματος της ακτινοβολίας που διαδίδεται. Οι ανομοιογένειες αυτές εμφανίζονται κατά μήκος της οπτικής ίνας και μπορεί να είναι διαταραχές στη διάμετρο του πυρήνα καθώς και ανωμαλίες στη διαχωριστική επιφάνεια πυρήνα-μανδύα. Η σκέδαση που δημιουργείται κάτω από τις συνθήκες αυτές καλείται σκέδαση Mie.

3.1.5 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΛΟΓΩ ΚΑΜΨΗΣ ΤΗΣ ΟΠΤΙΚΗΣ ΙΝΑΣ (Fiber Bend Losses)

Οι απώλειες αυτές εμφανίζονται στις περιπτώσεις εκείνες όπου η οπτική ίνα εξαναγκάζεται σε κάμψη. Για την περιγραφή των απωλειών αυτών θεωρούμε μια οπτική ίνα της οποίας ένα μέρος είναι ευθύγραμμο ενώ το υπόλοιπο είναι σε κάμψη.

Και μια μεσημβρινή οπτική ακτίνα, η οποία διαδίδεται μέσα σε αυτή. Παρατηρούμε ότι αν στο ευθύγραμμο τμήμα της ίνας οι γωνίες εσωτερικής ανάκλασης είναι ϕ_1 , τότε οι γωνίες ανάκλασης στην περιοχή της κάμψης θα είναι ϕ_2 και μάλιστα θα ισχύει $\phi_2 > \phi_1$. Από την παρατήρηση αυτή προκύπτει ότι αν η γωνία ϕ_1 είναι πλησίον της οριακής γωνίας ολικής εσωτερικής ανάκλασης ϕ_c , τότε στην περιοχή της κάμψης η γωνία πρόσπτωσης της ακτίνας στη διαχωριστική επιφάνεια πυρήνα-μανδύα θα είναι μικρότερη από τη γωνία ϕ_c και ως εκ τούτου ένα μέρος της θα διαθλασθεί στον μανδύα και θα χαθεί.

Με άλλα λόγια, οι μέγιστοι ρυθμοί διάδοσης σε μια οπτική ίνα πολλαπλού ρυθμού θα υφίστανται εξασθένηση στις περιοχές που αυτή έχει υποστεί κάμψη, και μάλιστα όσο πιο μικρή είναι η ακτίνα καμπυλότητας της ίνας, τόσο πιο πολλοί ρυθμοί θα υφίστανται εξασθένηση. [6]

3.1.6 ΔΙΑΣΠΟΡΑ ΣΗΜΑΤΟΣ ΜΕΣΑ ΣΤΙΣ ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ (Dispersion)

Για την κατανόηση του φαινομένου της διασποράς εξετάζουμε το παρακάτω παράδειγμα. Θεωρούμε μια γυάλινη οπτική ίνα που έχει διάμετρο πυρήνα 100μm και μια οπτική ακτινοβολία που διαδίδεται μέσα σε αυτή. Όσο πιο μικρό είναι το μήκος κύματος της ακτινοβολίας σε σχέση με τη διάμετρο του πυρήνα, τόσο πιο πολλοί ρυθμοί διαδίδονται μέσα στην οπτική ίνα, και μάλιστα τα μήκη των διαδρομών που διανύουν μέχρι να εξέλθουν είναι διαφορετικά μεταξύ τους.

Πράγματι, αν το μήκος της οπτικής ίνας είναι 1 km, η οπτική ακτίνα που διαδίδεται παράλληλα με τον άξονα θα διανύσει διάστημα 1 km, ενώ η οπτική ακτίνα που διαδίδεται με διαδοχικές ανακλάσεις στις οποίες η γωνία πρόσπτωσης στη διαχωριστική επιφάνεια είναι π.χ. 85°, το συνολικό διάστημα που διανύει μέχρι να εξέλθει από την οπτική ίνα θα είναι κατά 3,8 μέτρα μεγαλύτερο. Έτσι, αν στην οπτική ίνα που μελετάμε εισέλθει ένας στιγμιαίος παλμός (εύρος παλμού μηδέν sec), αυτός θα εξέλθει με εύρος 20n sec. Αν το μήκος της οπτικής ίνας είναι 2 Km, το εύρος του εξερχόμενου σήματος θα είναι 40nsec. Το φαινόμενο αυτό καλείται διασπορά παλμών και είναι πολύ σημαντικό γιατί είναι δυνατόν κατά τη μεταφορά ψηφιακών σημάτων να έχουμε φαινόμενα επικάλυψης ή και συμβολής δύο διαδοχικών σημάτων.

Έτσι, σε κάθε οπτική ίνα ανάλογα με το μήκος της πρέπει να ορίζουμε και ένα όριο στην ταχύτητα μεταφοράς δεδομένων. Στο παράδειγμα που αναφέραμε για να μην έχουμε επικάλυψη δύο διαδοχικών παλμών στην έξοδο της οπτικής ίνας πρέπει οι στιγμιαίοι παλμοί στην είσοδο να απέχουν χρονικά μεταξύ τους περισσότερο από 20nsec όταν το μήκος της ίνας είναι 1 Km, ή περισσότερο από 40 nsec όταν το αντίστοιχο μήκος είναι 2Km. Οι χρόνοι αυτοί αντιστοιχούν σε ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων 50 Mbits/sec και 25Mbits/sec. Βέβαια, πρέπει να αναφέρουμε εδώ ότι επειδή οι παλμοί που εισάγονται δεν είναι ακαριαίοι αλλά έχουν κάποιο εύρος, οι παραπάνω ρυθμοί θα είναι μικρότεροι. [19]

Από το παράδειγμα προκύπτει ότι το πρόβλημα της διασποράς των παλμών θα περιορίζεται στο ελάχιστο στις οπτικές ίνες με ένα μόνο ρυθμό. Ένα άλλο χαρακτηριστικό που κάνει τις οπτικές ίνες να διαφέρουν δραστικά από τα συμβατικά

ομοαξονικά καλώδια είναι η εξασθένιση του σήματος σε σχέση με την συχνότητα του σήματος. Παρατηρούμε ότι η εξασθένιση αυτή στις οπτικές ίνες είναι και μικρή και σταθερή, σε αντίθεση με τα ομοαξονικά καλώδια όπου αυτή αυξάνεται απότομα .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

4.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

Σύμφωνα με αυτά που αναφέραμε στις προηγούμενες παραγράφους προκύπτει ότι οι οπτικές ίνες, ακόμη και σήμερα, είναι δυνατόν να αποτελέσουν ένα σημαντικό ανταγωνιστή των συμβατικών καλωδίων στον τομέα των τηλεπικοινωνιών.

Η παρατήρηση αυτή ενισχύεται κατά πολύ παραθέτοντας εν συντομία τα κυριότερα πλεονεκτήματα των οπτικών ινών στις τηλεπικοινωνίες.

4.1.1 ΜΕΓΑΛΟ ΕΥΡΟΣ ΖΩΝΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ

Οι οπτικές ίνες είναι κυματοδηγοί της οπτικής ακτινοβολίας που εκπέμπεται στην περιοχή του υπέρυθρου και με συχνότητες γύρω από τα 10¹⁴ Hz (ή 105 GHz).

Στις υψηλές αυτές συχνότητες είναι δυνατό να μεταφερθούν σήματα με πολύ μεγάλο εύρος ζώνης διαμόρφωσης (modulation bandwidth). [3]

Συγκριτικά, αναφέρουμε ότι στα συμβατικά χάλκινα καλώδια το εύρος αυτό περιορίζεται στα 100 MHz για αποστάσεις μετάδοσης μέχρι μερικά χιλιόμετρα, ενώ στα συστήματα με οπτική ίνα το εύρος αυτό μπορεί να φτάσει τα 5 GHz για αποστάσεις μετάδοσης μέχρι 10 Km και σε μερικές εκατοντάδες MHz για αποστάσεις πάνω από 10 Km χωρίς ενδιάμεσους ενισχυτές σήματος.

4.1.2 ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΣΤΗ ΜΕΤΑΦΟΡΑ ΣΗΜΑΤΩΝ

Από τη φύση των οπτικών ινών αλλά και από την κατασκευή των καλωδίων οπτικών ινών προκύπτει ότι είναι αδύνατη η παρεμβολή του μεταφερόμενου οπτικού σήματος από εξωτερικά ηλεκτρομαγνητικά πεδία και ηλεκτρομαγνητικούς παλμούς.

Έτσι, σε αντίθεση με τα συμβατικά χάλκινα καλώδια, η επικοινωνία με οπτικές ίνες δεν επηρεάζεται από ένα ηλεκτρικά θορυβώδες περιβάλλον. Επίσης, από το γεγονός ότι η οπτική ακτινοβολία δεν εξέρχεται από τον μανδύα της οπτικής ίνας προκύπτουν τα παρακάτω ενδιαφέροντα στοιχεία :

A. Σε δέσμη οπτικών ινών το οπτικό σήμα που μεταφέρεται σε κάθε οπτική ίνα δεν επηρεάζεται από τις άλλες οπτικές ίνες.

B. Δεν υπάρχει δυνατότητα συνακρόασης.

Γ. Ένα σήμα που μεταφέρεται με οπτική ίνα δεν είναι δυνατό να ανιχνευθεί από ανεπιθύμητο αποδέκτη χωρίς την απόσυρση οπτικής ενέργειας από την ίνα.

Όμως, κάθε τέτοια προσπάθεια γίνεται αμέσως αντιληπτή.

Προκύπτει λοιπόν ότι οι οπτικές ίνες παρέχουν μεγαλύτερη ασφάλεια στην μεταφορά πληροφοριών και δεδομένων σε σχέση με τα συμβατικά χάλκινα καλώδια.

Για τον λόγο αυτόν, οι οπτικές ίνες παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον και για στρατιωτικές αλλά και τραπεζικές εφαρμογές.

4.1.3 ΜΙΚΡΕΣ ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ ΚΑΙ ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Όπως ήδη έχουμε αναφέρει, οι οπτικές ίνες παρουσιάζουν πολύ μικρή εξασθένηση στα μεταφερόμενα σήματα σε σχέση με τα καλύτερα χάλκινα καλώδια.

Πράγματι, σήμερα οι οπτικές ίνες που μπορούν να κατασκευαστούν παρουσιάζουν εξασθένηση μέχρι και $0,20 \text{ dB/Km}$. Έτσι, κατά τη σύνδεση με οπτικές ίνες δύο περιοχών που βρίσκονται σε μεγάλη απόσταση μεταξύ τους απαιτούνται λιγότεροι ενδιάμεσοι ενισχυτές σήματος σε σχέση με μια συμβατική καλωδιακή σύνδεση.

Η δυνατότητα αυτή προσφέρει τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

A. Δεν αλλοιώνεται πολύ το μεταφερόμενο σήμα από τις συνεχείς ενδιάμεσες ενισχύσεις. Με τους λιγότερους ενδιάμεσους ενισχυτές, η αξιοπιστία του σήματος αυξάνεται σε σχέση με τα συμβατικά χάλκινα καλώδια. [19]

B. Ελαττώνεται το κόστος και η πολυπλοκότητα του συστήματος.

Οι δυνατότητες αυτές, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι η αξιοπιστία των οπτικών εξαρτημάτων παραμένει ίδια για χρονική διάρκεια 20-30 χρόνων, καθιστούν τα συστήματα οπτικών ινών ένα προσιτό και αξιόπιστο τηλεπικοινωνιακό σύστημα.

4.1.4 ΜΙΚΡΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΑΙ ΒΑΡΟΣ

Η διάμετρος των οπτικών ινών που χρησιμοποιούνται συνήθως στις τηλεπικοινωνίες δεν είναι μεγαλύτερη από τη διάμετρο μιας ανθρώπινης τρίχας. Γι' αυτό ακόμα και όταν οι ίνες αυτές καλύπτονται από τα προστατευτικά πλαστικά ή άλλα περιβλήματα, το καλώδιο που προκύπτει έχει μικρότερη διάμετρο αλλά και βάρος από τα αντίστοιχα χάλκινα καλώδια.

Επίσης, τα καλώδια οπτικών ινών είναι ευλύγιστα, συμπαγή και ανθεκτικά. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω πλεονέκτημα, τα καλώδια οπτικών ινών είναι γενικά περισσότερο προσιτά σε συνθήκες αποθήκευσης, μεταφοράς, χειρισμού και εγκατάστασης από ό,τι τα συμβατικά χάλκινα καλώδια.

Για να γίνει αντιληπτό το πλεονέκτημα αυτό αναφέρουμε το εξής παράδειγμα:

Ένα ζεύγος οπτικών ινών εξυπηρετεί 1920 κυκλώματα. Κατά συνέπεια, ένα καλώδιο με 12 ζεύγη οπτικών ινών εξυπηρετεί 23040 κυκλώματα. Το καλώδιο αυτό έχει διάμετρο 22mm, ζυγίζει 0,5 kgf/m και κοστίζει περίπου 3.5 ευρώ/m .

Αντίθετα, ένα χάλκινο καλώδιο με τις ίδιες ακριβώς απαιτήσεις έχει πολύ μεγαλύτερη διάμετρο, ζυγίζει περίπου 90 kgf/m και κοστίζει 220 ευρώ /m.

4.2 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

Παρά τα σημαντικά πλεονεκτήματα των οπτικών ινών, υπάρχουν δύο βασικά μειονεκτήματα, τα οποία χαρακτηρίζουν επίσης και τα συμβατικά καλώδια (καλώδια χαλκού και ομοαξονικά) και τα οποία θα πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη κατά τον σχεδιασμό των τηλεπικοινωνιακών δικτύων:

- 1) Η τοποθέτηση συμβατικών ή καλωδίων οπτικών ινών απαιτεί την εκσκαφή του εδάφους, γεγονός το οποίο συνεπάγεται υψηλό κόστος και σημαντικό χρόνο εγκατάστασης.

- 2) Η διασύνδεση μεταξύ απομακρυσμένων σημείων και μεταξύ οικισμών που βρίσκονται σε ορεινές περιοχές, είναι πρακτικά αδύνατη με οπτικές ίνες. Σε αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιούνται είτε ασύρματα ραδιοδίκτυα είτε δορυφορικά συστήματα, αν και χρησιμοποιούνται σήμερα υποβρύχιες οπτικές ίνες για τη διασύνδεση νησιωτικών περιοχών, με ιδιαίτερα όμως υψηλό κόστος.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι οπτικές ίνες έχουν πάρα πολλές εφαρμογές. Οπτικές ίνες μεγάλης διαμέτρου και μικρής καθαρότητας (συνήθως πλαστικές) χρησιμοποιούνται στην κατασκευή φωτεινών επιγραφών, στη διακόσμηση και στον φωτισμό που τοποθετείται στις πισίνες. Έτσι, αποτρέπεται ο κίνδυνος ηλεκτροπληξίας. Δέσμη οπτικών ινών (με μια μόνο λάμπα) φωτίζει πολλές προθήκες καταστημάτων ή πολλούς πίνακες ζωγραφικής στις γκαλερί, ώστε να εξοικονομείται ηλεκτρική ενέργεια.

Με τη βοήθεια των οπτικών ινών μπορούμε να παρατηρήσουμε αντικείμενα απρόσιτα σε άμεση παρατήρηση. Έτσι, κατασκευάστηκε το ενδοσκόπιο, όργανο που χρησιμοποιείται στην Ιατρική για να κάνει ορατές ορισμένες εσωτερικές περιοχές του σώματός μας. Παρόμοια συστήματα χρησιμοποιούνται από τους μηχανικούς για να εντοπίσουν βλάβες στο εσωτερικό των μηχανών.

Το βασικό χαρακτηριστικό των οπτικών ινών είναι η ταυτόχρονη μεταφορά του φωτός από μία μόνο φωτεινή πηγή σε πολλά σημεία. Θα μπορούσαν να συγκριθούν με τα ηλεκτροφόρα καλώδια, αλλά με μία σημαντική διαφορά: δεν μεταφέρουν ρεύμα και ούτε βέβαια θερμότητα, ενώ παράλληλα φιλτράρουν τις υπεριώδεις ακτίνες (U.V.) και μέρος των υπέρυθρων (I.R.) ακτίνων. Τουλάχιστον οι γυάλινες οπτικές ίνες, γιατί κυκλοφορούν και χαμηλότερης ποιότητας συνθετικές οπτικές ίνες. Έτσι, οι οπτικές ίνες καθίστανται θαυμάσια λύση για τον φωτισμό σημείων.

Ακόμη χρησιμοποιούνται από μεγάλους τηλεπικοινωνιακούς οργανισμούς και κυρίως σε υποθαλάσσιες επικοινωνίες για σύνδεση ηπείρων με μεγάλες αποστάσεις προσφέροντας καλύτερου επιπέδου επικοινωνία από αυτήν των γραμμών ομοαξονικών καλωδίων, των επίγειων και δορυφορικών μικροκυματικών ζεύξεων. Η χωρητικότητα των υποθαλάσσιων οπτικών ινών ξεπερνά τα 30.000 κυκλώματα φωνής.

Τα πιο γνωστά είναι:

- Το καλωδιακό σύστημα SEA-ME-WE3 που συνδέει Νοτιοανατολική Ασία, Μέση Ανατολή και Δυτική Ευρώπη,
- το καλωδιακό σύστημα BSFOCS που συνδέει Μαύρη Θάλασσα, Βουλγαρία, Ουκρανία, Ρωσία και
- το καλωδιακό σύστημα ADRIA-1 που συνδέει Κέρκυρα, Αλβανία, και Κροατία.

Η πιο σημαντική εφαρμογή των οπτικών ινών αφορά τις ψηφιακές (digital) τηλεπικοινωνίες στις οποίες η χρήση τους έφερε την επανάσταση. Με τη βοήθεια μιας ίνας μεταφέρονται ταυτόχρονα και χωρίς παρεμβολές χιλιάδες τηλεφωνήματα, δεκάδες εκπομπές τηλεοπτικών καναλιών και μεγάλος αριθμός δεδομένων υπολογιστών. Επίσης, οι διαστάσεις των καλωδίων των οπτικών ινών και το βάρος τους είναι πολύ μικρότερα από τα αντίστοιχα του χαλκού. Λόγου χάρη, ένα καλώδιο οπτικών ινών μπορεί να αντικαταστήσει ένα χάλκινο καλώδιο περίπου δεκαπλάσιας διαμέτρου και τριανταπλάσιου βάρους. Επιπλέον, κατά τη μεταφορά των πληροφοριών δεν υφίστανται παράσιτα και είναι πολύ δύσκολη η υποκλοπή (τοποθέτηση κοριού) ή η συνακρόαση. Δεν χρειάζεται γείωση. Τέλος, μπορούν να παραχθούν από κάθε χώρα με συνέπεια την ανεξάρτησή της από χώρες που παράγουν χαλκό. Έτσι, επιτυγχάνεται και τεχνολογική διάχυση.

5.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

Στις μέρες μας, οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται σε πολλούς τομείς της επιστήμης και της τεχνολογίας. Στην παράγραφο αυτή αναφέρονται μερικές γενικές και ειδικές χρήσεις των οπτικών ινών.

5.2.1 ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

Το μεγάλο εύρος ζώνης και η χαμηλή απόσβεση σήματος που παρέχουν οι οπτικές ίνες δίνουν σε αυτές μεγάλη ευελιξία στη μετάδοση σημάτων, καθώς επίσης και τη δυνατότητα χρήσης καλωδίων οπτικών ινών μεγάλου μήκους (περίπου 200km), χωρίς ενδιάμεσες αναγεννητικές βαθμίδες σήματος. Επίσης, το μικρό μέγεθος των καλωδίων αυτών διευκολύνει σε περιπτώσεις που υπάρχει πρόβλημα χώρου. [21]

5.2.2 ΜΕΤΑΛΛΟΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Για τη μεταφορά δεδομένων απαιτούνται γρήγορες ταχύτητες και λιγότεροι περιορισμοί στην απόσταση που μπορούν να τοποθετηθούν οι υπολογιστές και οι περιφερειακές τους συσκευές. Οι οπτικές ίνες με το μεγάλο εύρος ζώνης και τις χαμηλές αποσβέσεις ανταποκρίνονται πλήρως αυτές τις απαιτήσεις.

5.2.3 ΣΤΡΑΤΙΩΤΙΚΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ

Η αυξημένη ασφάλεια που παρέχουν τα καλώδια οπτικών ινών σε περίπτωση υποκλοπής αποτελεί και το κύριο πλεονέκτημα για τις στρατιωτικές εφαρμογές. Επίσης, το μικρό βάρος, το μεγάλο εύρος ζώνης, η χαμηλή απόσβεση και η δυνατότητα των οπτικών ινών να λειτουργούν σε δύσκολες συνθήκες τις καθιστούν ιδανικές για να χρησιμοποιούνται σε αεροπλάνα, στρατιωτικά οχήματα, πολεμικά πλοία, πυραύλους κ.λπ.

5.2.4 ΨΗΦΙΑΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ (I.S.D.N)

Η δυνατότητα μετάδοσης σημάτων μέσα από οπτικές ίνες μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εγκατάσταση οπτικών δικτύων ευρείας ζώνης ικανών να μεταδίδουν τα σήματα όλων των υπαρχόντων και των μελλοντικών υπηρεσιών επικοινωνιών διαμέσου μιας μόνο οπτικής συνδρομητικής γραμμής. Οι υπηρεσίες αυτές μπορεί να περιλαμβάνουν:

- 1) Τηλεφωνικές υπηρεσίες
- 2) Οπτικές απεικονίσεις
- 3) Καταγραφή στοιχείων
- 4) Τηλεφωνική συνδιάλεξη με έγχρωμη εικόνα
- 5) Καλωδιακή τηλεόραση
- 6) Στερεοφωνικά προγράμματα
- 7) Τέλεξ και φαξ
- 8) Μετάδοση δεδομένων

5.2.5 ΙΑΤΡΙΚΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ

Οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται στην ιατρική με συνεχώς αυξανόμενο ρυθμό. Σαν παράδειγμα μπορεί να αναφερθεί η χρήση οπτικών ινών με μεγάλη διάμετρο πυρήνα για ενδοσκόπηση στο ανθρώπινο σώμα με τη μετάδοση οπτικών σημάτων.

5.2.6 ΑΛΛΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ

Εκτός από τις εφαρμογές που αναφέρθηκαν παραπάνω, οι οπτικές ίνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε συστήματα ελέγχου, διεύθυνσης δικτύων, παραγωγής και διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, σε κτήρια και οικίες για συστήματα ασφαλείας με κλειστό κύκλωμα τηλεόρασης, σε συσκευές και όργανα σαν ειδικά αισθητήρια (π.χ. πίεσης, θερμοκρασίας, μαγνητικού πεδίου, ηλεκτρικού ρεύματος, ραδιενέργειας κ.λπ.). Επίσης, αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συσκευές μετάδοσης σημάτων ηλεκτρονικών οργάνων και τέλος, σε συστήματα ελέγχου αυτοκινητοδρόμων και σιδηροδρόμων, αεροπλάνα, πλοία, αυτοκίνητα, σιδηροδρόμους και άλλα οχήματα.

[19]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

ΚΑΛΩΔΙΑ – ΣΥΖΕΥΞΗ – ΕΛΕΓΧΟΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

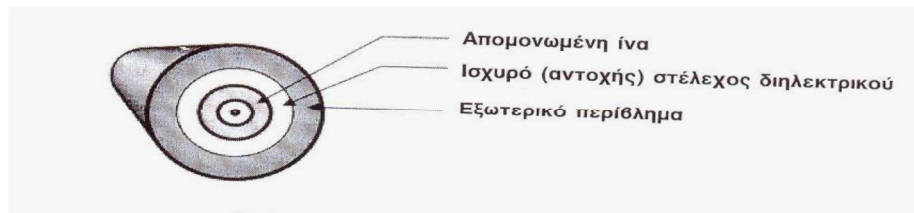
6.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο παρόν κεφάλαιο θα ασχοληθούμε με τα καλώδια των οπτικών ινών, τους τρόπους σύζευξής τους, αλλά και τους βασικούς ελέγχους που πραγματοποιούνται κατά την εγκατάσταση ενός οπτικού δικτύου. Όσον αφορά στα καλώδια, πέρα από την αναφορά των βασικών κατηγοριών, θα εστιάσουμε και στις ιδιαιτερότητές τους που επιβάλλονται κυρίως από τη φύση του υλικού της ίνας. Στην παράγραφο για τις συνδέσεις των οπτικών ινών θα δούμε τις δύο βασικές κατηγορίες σύνδεσης, τις μόνιμες συνδέσεις (splices) και τις μη μόνιμες συνδέσεις, οι οποίες πραγματοποιούνται με διάφορους τύπους συνδετήρων (connectors). Τέλος, η ενότητα που αφορά στον έλεγχο του δικτύου κατά την εγκατάστασή του θα αφιερωθεί κυρίως στο οπτικό ανακλασίμετρο (Optical Time Domain Reflectometer – OTDR).

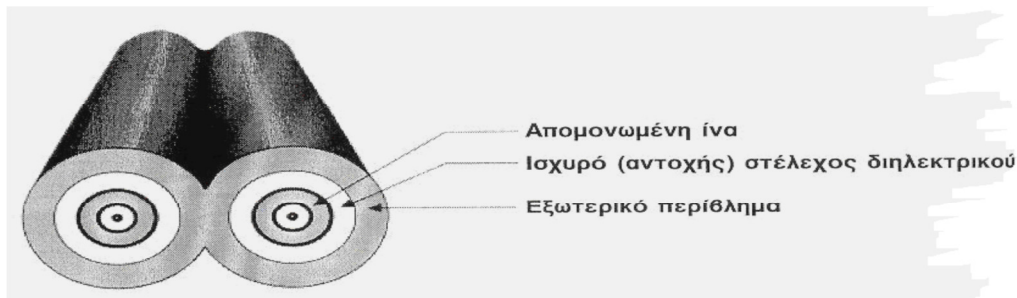
Όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο, οι διαστάσεις της ίνας είναι πολύ μικρές (cladding 125μm). Επίσης, το γυαλί από το οποίο είναι κατασκευασμένες έχει μικρή μηχανική αντοχή. Το περίβλημα μιας ίνας, λοιπόν, θα πρέπει να εξασφαλίζει την ακεραιότητα αυτού του πολύ ευαίσθητου μέσου. Φυσικά, θα πρέπει να προστατεύει την ίνα και από εξωτερικούς παράγοντες που ανάλογα με το περιβάλλον εγκατάστασης μπορεί να ποικίλουν. Τέτοιοι παράγοντες είναι η υψηλή θερμοκρασία, η υγρασία, οι πιθανές μηχανικές καταπονήσεις, αλλά ακόμη και έντομα ή τρωκτικά. [18]

6.2 ΤΥΠΟΙ ΟΠΤΙΚΩΝ ΚΑΛΩΔΙΩΝ

Το απλό καλώδιο που απεικονίζεται στο *σχήμα 6.1* είναι στρογγυλό με μία απλή ίνα στο κέντρο. Διπλά καλώδια είναι καλώδια με δύο ίνες και είναι σε σχήμα κυκλικό ή σφιχτοδεμένα καρδιοειδώς εμφανισιακά και μοιάζουν σαν ηλεκτρικό καλώδιο, όπως απεικονίζεται στο *σχήμα 6.2*.



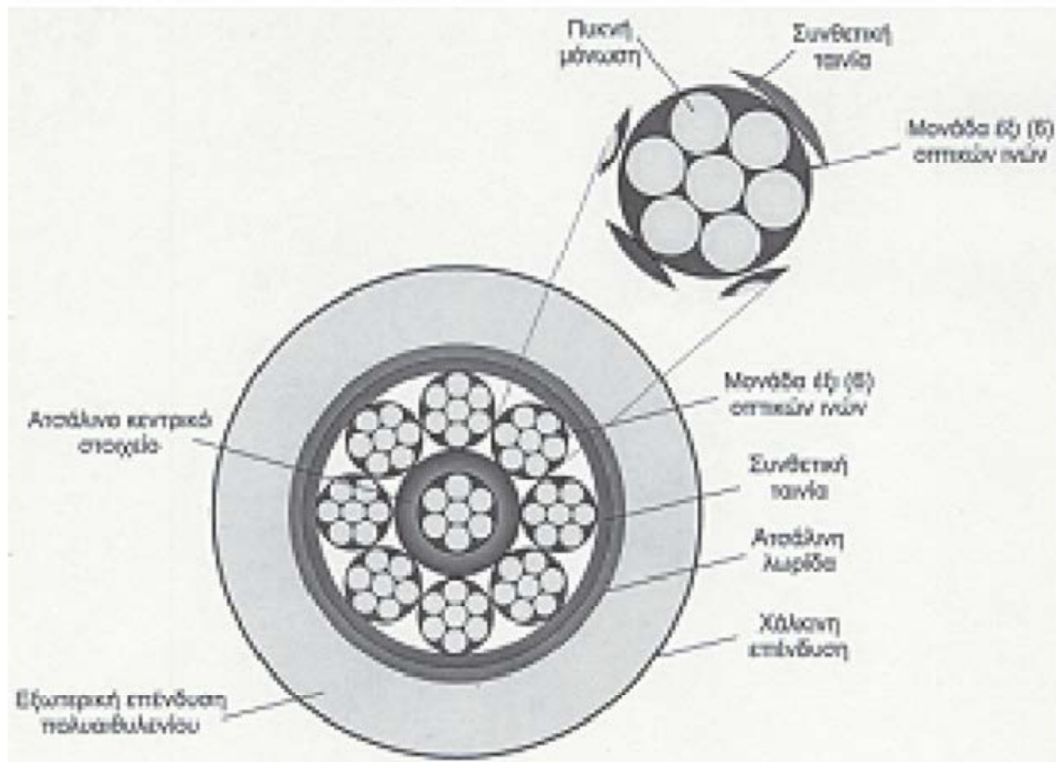
Σχήμα 6.1 Κατασκευή μονόδρομου καλωδίου



Σχήμα 6.2 Κατασκευή σφιχτοδεμένου καρδιοειδώς αμφίδρομου καλωδίου

Τα περισσότερα πολύπλοκα καλώδια χρησιμοποιούνται σε διάφορες κατηγορίες περιλαμβάνοντας τα καλώδια διακλάδωσης, τα σύνθετα, και τα υβριδικά. Τα καλώδια διακλάδωσης καλούνται επίσης και καλώδια πυλών, γιατί οι ίνες τους είναι πακεταρισμένες μέσα στο καλώδιο σαν μία μονότροπη ίνα ή υποκαλώδια πολλών οπτικών ινών. Αυτό επιτρέπει οι ξεχωριστές ίνες να μπορούν να προσπελαστούν χωρίς την ανάγκη ειδικού μπαλώματος για να τερματίσουν τις πολλές ίνες. Το σχήμα 6.3 δείχνει μία κάθετη τομή ενός τυπικού καλωδίου διακλάδωσης.

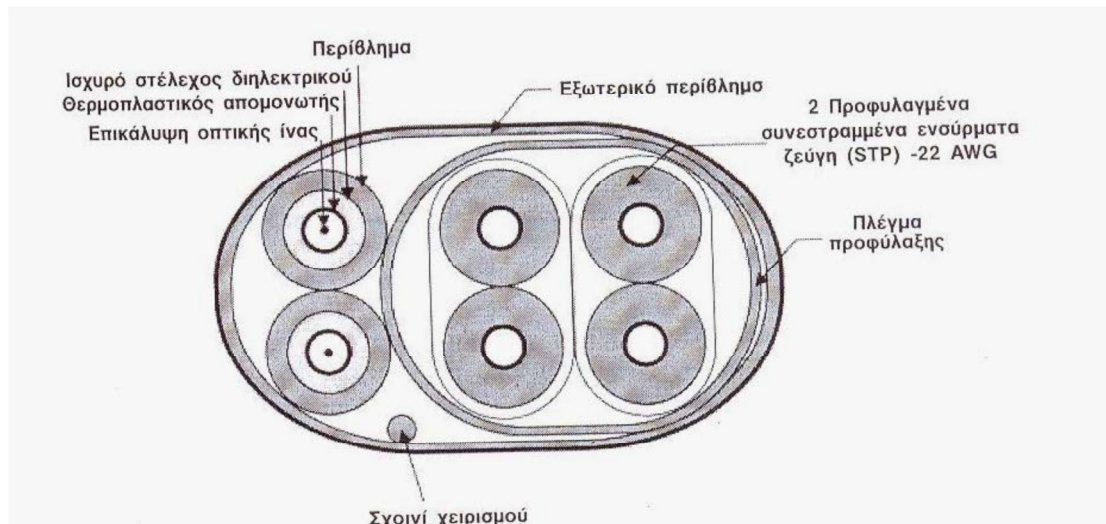
Υπάρχουν μερικές διαφωνίες στην παραγωγή των καλωδίων σύμφωνα με τον ακριβή προσδιορισμό των σύνθετων και των υβριδικών καλωδίων. Για χάρη αυτής της αναφοράς, τα σύνθετα καλώδια θα οριστούν σαν ανάμεικτα καλώδια μονότροπης και πολύτροπης ίνας. Η έκφραση υβριδικά καλώδια θα χρησιμοποιηθεί για να περιγράψει ένα καλώδιο, το οποίο ενσωματώνει πολλαπλές οπτικές ίνες με επιχαλκωμένα καλώδια. [17]



Σχήμα 6.3 Τομή κατασκευής καλωδίου πολλαπλών ινών

Και τα σύνθετα καλώδια και τα υβριδικά καλώδια έχουν το πλεονέκτημα του χρόνου και του χαμηλού κόστους. Πολλαπλά καλώδια που είναι ξεχωριστά θα πάρουν πολύ χρόνο να εγκατασταθούν.

Όμως, αυτά τα καλώδια κατασκευάζονται για μια ειδική εφαρμογή, όπως τη σύγκλιση των βίντεο, ραδιοφώνων, και τη μεταφορά δεδομένων. Τα υβριδικά καλώδια μπορούν να μεταφέρουν ηλεκτρικά σήματα και χρησιμοποιούνται σε ευρείας ζώνης δίκτυα. Το σχήμα 6.4 δείχνει ένα τυπικό υβριδικό καλώδιο.



Σχήμα 6.4 Κατασκευή υβριδικού καλωδίου

6.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΑΛΩΔΙΩΝ

Τα καλώδια των οπτικών ινών, λοιπόν, κατηγοριοποιούνται ανάλογα με το περιβάλλον στο οποίο προορίζονται να εγκατασταθούν.

6.3.1 ΥΠΟΓΕΙΑ ΚΑΛΩΔΙΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ

Τα υπόγεια καλώδια εξωτερικού χώρου χρησιμοποιούνται σε μεγάλες ή μεσαίες αποστάσεις και μπορεί να περιέχουν ως και 100 περίπου μονότροπες οπτικές ίνες ή συνδυασμό μονότροπων και πολύτροπων ινών. Τα καλώδια αυτά έχουν πολύ καλή προστασία κατά της υγρασίας και περιέχουν και στέλεχος για μηχανική αντοχή. Επίσης, συχνά είναι και θωρακισμένα ή τοποθετούνται σε ατσάλινους σωλήνες.

6.3.2 ΥΠΕΡΓΕΙΑ ΚΑΛΩΔΙΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ

Τα καλώδια αυτά πρέπει να έχουν ισχυρή αντοχή σε εφελκυσμό. Συνήθως, έχουν ένα ξεχωριστό μέλος, το οποίο επιφορτίζεται τις τάσεις που ασκούνται στο καλώδιο.

6.3.3 ΥΠΟΒΡΥΧΙΑ ΚΑΛΩΔΙΑ

Το υποθαλάσσιο περιβάλλον είναι το λιγότερο φιλικό για τα καλώδια λόγω της μεγάλης πίεσης που ασκεί το υπερκείμενο νερό αλλά και άλλων παραγόντων. Το θαλασσινό νερό π.χ. δεν είναι ότι καλύτερο για τα περιβλήματα των καλωδίων. Τα υποβρύχια καλώδια περιέχουν συνήθως μικρότερο αριθμό ινών (6 –20) ενώ συχνά

περιλαμβάνουν και ζεύγη χαλκού για την τροφοδοσία των ηλεκτρικών αναγεννητών του σήματος.

6.3.4 ΚΑΛΩΔΙΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ

Τα καλώδια εσωτερικού χώρου έχουν συνήθως δύο πολύτροπες οπτικές ίνες και μήκος που δεν ξεπερνά τα 300 μέτρα. Στα καλώδια αυτά δεν υπάρχει η ισχυρή θωράκιση που υπάρχει στα καλώδια εξωτερικού χώρου. Όμως, χρειάζεται να έχουν κάποια προστασία για τα τρωκτικά που πιθανώς να υπάρχουν και σε εσωτερικούς χώρους. Επίσης, πρέπει να είναι πιο εύκαμπτα για να είναι ευκολότερη η εγκατάστασή τους. Τέλος, μια πολύ σημαντική παράμετρος είναι και το υλικό του περιβλήματος, το οποίο δεν πρέπει να παράγει τοξικούς καπνούς όταν καίγεται. Τα καλώδια αυτά συνήθως τερματίζονται με συνδετήρες.

6.3.5 ΚΑΛΩΔΙΑ ΕΙΔΙΚΩΝ ΧΡΗΣΕΩΝ

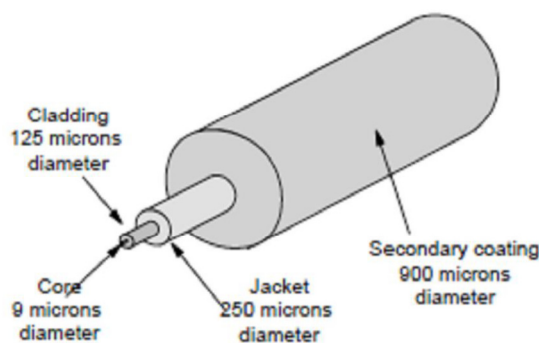
Υπάρχουν κάποιες εφαρμογές των οπτικών ινών που απαιτούν το καλώδιο να έχει κάποια ειδικά χαρακτηριστικά. Για παράδειγμα, τα καλώδια οπτικών ινών που τοποθετούνται στα αεροπλάνα, τα οποία πρέπει να εξασφαλίζουν τη σωστή λειτουργία του μέσου μετάδοσης σε ακραίες θερμοκρασίες από -65° ως και 200° Κελσίου, αλλά ταυτόχρονα να είναι και όσο γίνεται ελαφρύτερα.

Επίσης, καλώδια που τοποθετούνται σε χώρους με επικίνδυνα χημικά. Τα περιβλήματα τέτοιων τύπων καλωδίων χρησιμοποιούν εξειδικευμένες τεχνικές ανάλογα με την περίπτωση. [18]

6.3.6 ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΙΝΑΣ

Το πρώτο στάδιο προστασίας των οπτικών ινών (Primary Coated Optical Fiber-PCOF) τοποθετείται κατά την κατασκευή της ίνας. Είναι συνήθως χρωματισμένο πλαστικό περίβλημα διαμέτρου 250 μ m και είναι γνωστό ως jacket. Μερικές φορές, πριν από το jacket υπάρχει και άλλο πλαστικό (buffer) για καλύτερη μηχανική αντοχή. Οι PCOF δεν προορίζονται για τελικούς χρήστες, αλλά χρησιμοποιούνται συνήθως σε εργαστήρια.

Το δεύτερο στάδιο προστασίας (Secondary Coated Optical Fibers–SCOF) περιλαμβάνει ένα ακόμα πλαστικό περίβλημα, χωρίς ιδιαίτερα μηχανικά χαρακτηριστικά. Τοποθετείται για να είναι πιο εύκολος ο χειρισμός της ίνας, σε περίπτωση που θα χρειαστεί να τερματιστεί σε κάποιον συνδετήρα. Το πάχος μιας SCOF είναι 900 μm δηλαδή λίγο μικρότερο από 1 χιλιοστό.



Σχήμα 6.5: Μονότροπη SCOF

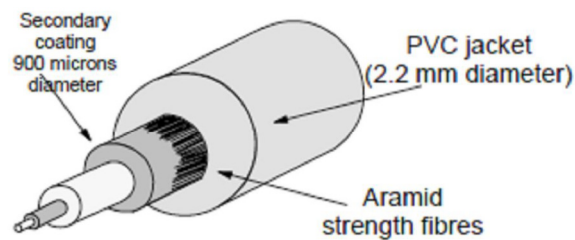
Υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι καλωδίων, τα καλώδια σφιχτής δομής (tight buffered cables), τα καλώδια χαλαρού σωλήνα (loose tube cables) και τα καλώδια χαλαρού σωλήνα με gel (loose tube with gel filler). Στα πρώτα περιέχονται ίνες (ή ίνα) με προστασία δευτέρου σταδίου (SCOF). Το εξωτερικό περίβλημα του καλωδίου συγκρατεί τις ίνες σε μια σφιχτή δομή. Τέτοιου τύπου κατασκευές χρησιμοποιούνται κυρίως σε καλώδια εσωτερικού χώρου. Στα καλώδια χαλαρού σωλήνα ένας μικρός αριθμός PCOF, συνήθως 1-8, τοποθετούνται σε έναν πλαστικό σωλήνα (PVC) διαμέτρου περίπου 6 χιλιοστών. [16]

Το περίβλημα συγκρατεί τις ίνες, ώστε αυτές να είναι ελεύθερες να κινούνται μέσα σε αυτό. Το πλεονέκτημα αυτού του τύπου είναι ότι οι ίνες δεν δέχονται τα φορτία εφελκυσμού και κάμψης του περιβλήματος. Τέλος, τα καλώδια χαλαρού σωλήνα με gel είναι όπως και αυτά του προηγούμενου τύπου, αλλά περιέχουν και gel στο εσωτερικό του πλαστικού σωλήνα. Το gel προστατεύει από την υγρασία αλλά και από τον τραυματισμό των ινών μεταξύ τους.

Παλαιότερα χρησιμοποιούνταν παράγωγα πετρελαίου για gel. Τα gel αυτά όμως παρουσίαζαν μεγάλη μεταβολή στο ιξώδες τους με την αλλαγή της θερμοκρασίας, κάτι που προκάλούσε πολλά προβλήματα. Έτσι, αντικαταστάθηκαν από gel σιλικόνης

αρχικά και έπειτα από συνθετικά, τα οποία έχουν ιξώδες ανεξάρτητο της θερμοκρασίας.

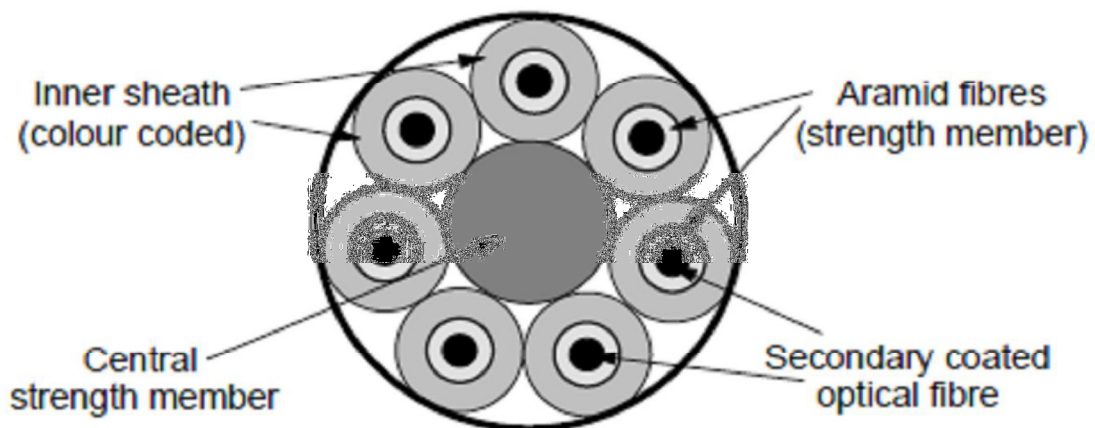
Τα περισσότερα υπόγεια καλώδια εξωτερικού χώρου είναι τύπου χαλαρού σωλήνα με gel. Τα καλώδια εσωτερικού χώρου είναι συνήθως σφιχτής δομής. Μετά την SCOF περιέχουν ένα περίβλημα από ίνες Αραμιδίου (σύντμηση των λέξεων αρωματικό πολυαμίδιο), οι οποίες δίνουν στο καλώδιο επιπλέον μηχανική αντοχή αλλά και θερμική μόνωση. Το εξωτερικό περίβλημα είναι από PVC.



Σχήμα 6.6: Tight Buffered cable μονού πυρήνα (μια ίνα)

Τέτοιου τύπου καλώδια χρησιμοποιούνται συνήθως σε μόνιμες καλωδιώσεις, αλλά για προσωρινές συνδέσεις (fly cables) και υπάρχουν και διπλού πυρήνα που στην ουσία είναι δύο καλώδια μονού πυρήνα κολλημένα.

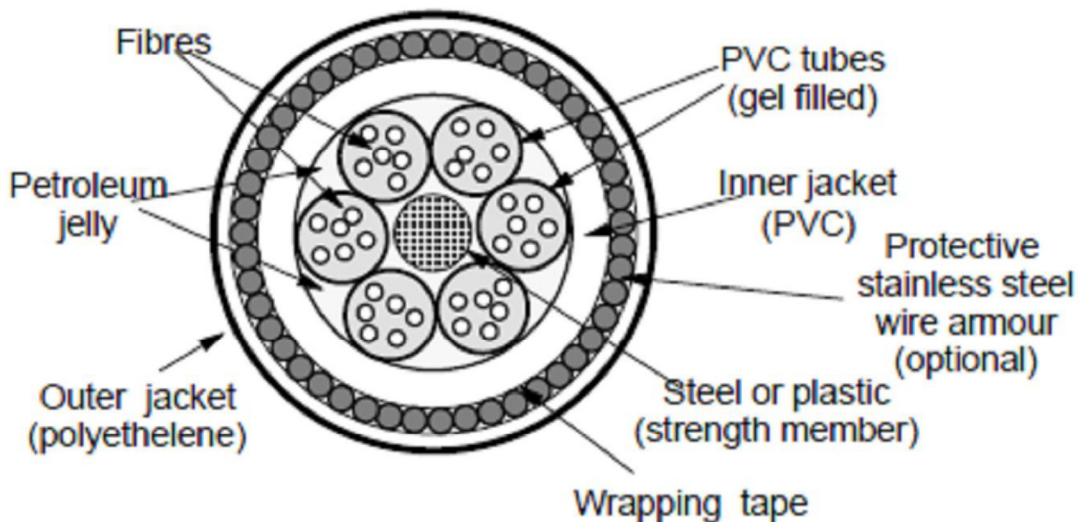
Στην κατακόρυφη καλωδίωση χρησιμοποιούνται συνήθως καλώδια που περιέχουν 12 καλώδια μονού πυρήνα, τα οποία υποστηρίζονται από ένα κεντρικό πλαστικό στέλεχος, το οποίο απορροφά το μηχανικό φορτίο που δέχονται οι ίνες από το ίδιο τους το βάρος.



Σχήμα 6.7: Καλώδιο riser tight buffered που περιέχει 7 καλώδια μονού πυρήνα.

6.3.6 ΚΑΛΩΔΙΑ ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΥ ΧΩΡΟΥ

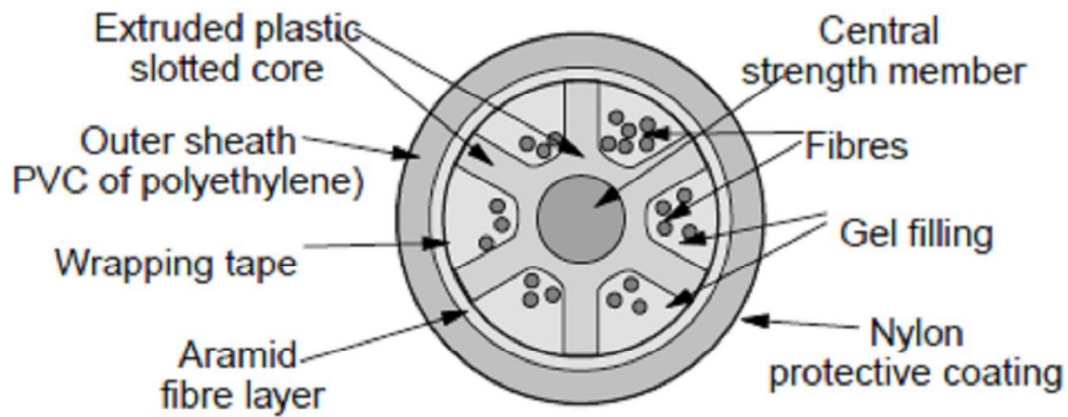
Στην τυπική του μορφή ένα υπόγειο καλώδιο εξωτερικού χώρου αποτελείται από 6 καλώδια χαλαρού σωλήνα με gel υποστηριζόμενα από ένα κεντρικό στέλεχος για αύξηση της μηχανικής αντοχής. Περιφερειακά μπορεί να υπάρχει μεταλλική θωράκιση για προστασία από εξωγενείς παράγοντες. Ένα τέτοιο καλώδιο φαίνεται στο *σχήμα 6.8*. Το κεντρικό στέλεχος είναι από πλαστικό, ενώ η προαιρετική περιφερειακή θωράκιση είναι από ατσάλι. Πολλές φορές μάλιστα, αν και έχει μεγαλύτερο κόστος, τοποθετείται ανοξειδωτο ατσάλι, το οποίο εξασφαλίζει ότι η εξωτερική θωράκιση δεν θα σκουριάσει σε περίπτωση που το εξωτερικό περίβλημα καταστραφεί σε κάποιο σημείο.



Σχήμα 6.8 Εγκάρσια τομή ενός υπόγειου καλωδίου εξωτερικού χώρου.

Τα καλώδια loose tube περικλείονται από έναν σωλήνα PVC, ο οποίος συμπληρώνεται και αυτός με gel. Έπειτα, τοποθετείται η μεταλλική θωράκιση και τέλος το εξωτερικό περίβλημα από πολυαιθυλένιο. Συνήθως, τα καλώδια αυτά περιέχουν 6 loose tube καλώδια που το καθένα περιέχει 6 ίνες άρα συνολικά 36 ίνες. [12]

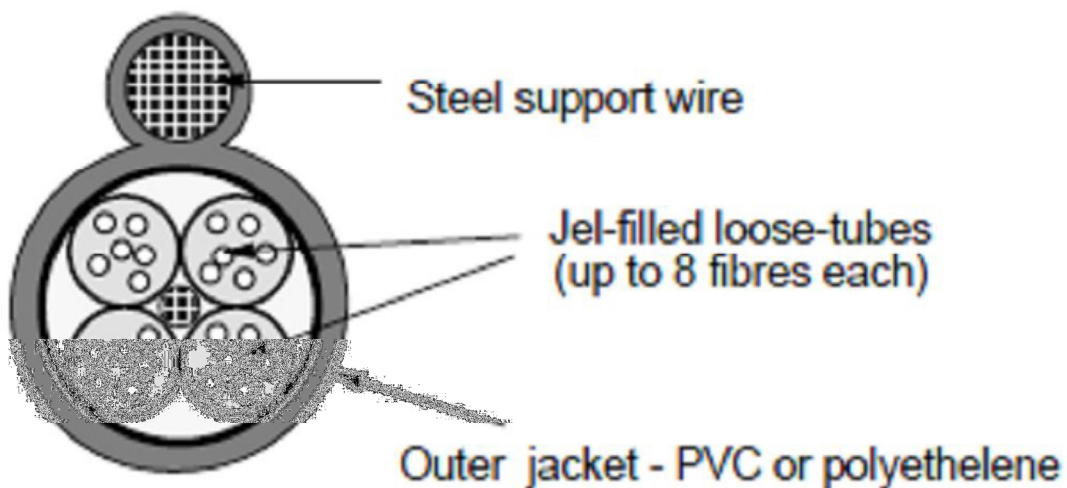
Μπορεί όμως να περιέχονται και 12 loose tube καλώδια με 8 ίνες το καθένα, οπότε το καλώδιο μεταφέρει 96 ίνες. Επίσης, εάν υπάρχει ανάγκη για τροφοδοσία κάποιων συσκευών, τότε κάποιες ίνες σε ένα από τα loose tube καλώδια μπορούν να αντικατασταθούν από χαλκό.



Σχήμα 6.9: Ένας άλλος τύπος καλωδίου εξωτερικού χώρου.

Ένας άλλος τύπος εξωτερικού υπόγειου καλωδίου φαίνεται στο σχήμα 6.9. Σε αυτόν τον τύπο καλωδίου το κεντρικό πλαστικό στέλεχος έχει σχήμα γκραναζιού και στους αύλακες του τοποθετούνται οι ίνες και gel. Έπειτα, τοποθετούνται ίνες αραμιδίου και τέλος το εξωτερικό περίβλημα από PVC ή πολυαιθυλένιο.

Τέλος, τα υπέργεια καλώδια εξωτερικού χώρου έχουν δομή παρόμοια με αυτήν των υπόγειων, αλλά περιλαμβάνουν ένα επιπλέον μεταλλικό στέλεχος παραπλεύρως της βασικής κατασκευής, το οποίο επιφορτίζεται τις τάσεις που ασκούνται στα σημεία ανάρτησης τους. Ένα τέτοιο καλώδιο φαίνεται στο σχήμα 6.10.



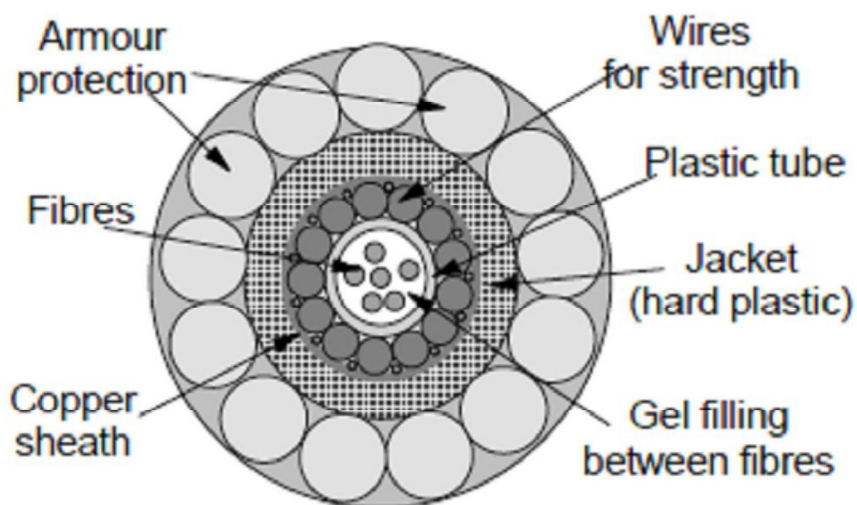
Σχήμα 6.10: Υπέργειο (aerial) καλώδιο.

6.3.7 ΥΠΟΒΡΥΧΙΑ ΚΑΛΩΔΙΑ

Υπάρχει ένας διαχωρισμός των υποβρύχιων καλωδίων σε υποβρύχια καλώδια μικρού βάθους και μεγάλου βάθους. Ο διαχωρισμός αυτός υπάρχει γιατί η πόντιση καλωδίων σε μικρά βάθη συνεπάγεται τη λήψη μέτρων προφύλαξης που δεν υπάρχουν κατά την πόντιση σε μεγάλα βάθη.

Ένα καλώδιο το οποίο είναι ποντισμένο σε βάθος μικρότερο των 1.000 μέτρων δεν είναι σε ασφαλές περιβάλλον, αφού κινδυνεύει από άγκυρες πλοίων, μηχανότρατες, συρτές ψαράδικων κ.α. Έτσι, τα υποβρύχια καλώδια μικρού βάθους έχουν καλύτερη θωράκιση και συνήθως θάβονται σε ένα μικρού βάθους χαντάκι στον βυθό. Αντίθετα, τα καλώδια μεγάλου βάθους δεν αντιμετωπίζουν τέτοιου είδους κινδύνους, για αυτό και οι εταιρείες που ποντίζουν καλώδια επιλέγουν η όδευση των καλωδίων να γίνεται στο μεγαλύτερο μέρος της σε μεγάλα βάθη.

Τα υποβρύχια καλώδια μεταφέρουν μικρότερο αριθμό ινών (4–20) σε σχέση με τα υπόγεια καλώδια λόγω της ισχυρότερης θωράκισης που χρειάζονται για να αντιμετωπίσουν την πίεση του νερού. Στο κέντρο τους υπάρχει ένα καλώδιο loose tube με gel, το οποίο περιβάλλεται από έναν πλαστικό σωλήνα εξωτερικά του οποίου υπάρχουν καλώδια (χωρίς ίνα) για να ενισχύσουν τη μηχανική αντοχή του. Η δομή αυτή τοποθετείται σε μια χάλκινη θήκη, η οποία με τη σειρά της περιβάλλεται από σωλήνα κατασκευασμένο από σκληρό πλαστικό. Τέλος, το καλώδιο θωρακίζεται εξωτερικά.



Σχήμα 6.11: Εγκάρσια τομή ενός υποβρύχιου καλωδίου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

7.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται οι διάφορες μέθοδοι κόλλησης και τερματισμού (με connectors) οπτικών ινών. Για να συνδέσουμε τα διάφορα μέρη ενός οπτικού δικτύου επικοινωνιών, πρέπει να κολλήσουμε και να τερματίσουμε τα καλώδια οπτικών ινών και να ενώσουμε τους πομπούς και τους δέκτες.

7.2 ΚΟΛΛΗΣΗ ΚΑΙ ΤΕΡΜΑΤΙΣΜΟΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

Οι κατασκευαστές συνήθως παράγουν καλώδια ινών με προκαθορισμένα μήκη 2, 4 και 6 km. Μόνο για δίκτυα μικρών αποστάσεων είναι εφικτό να χρησιμοποιήσουμε ένα καλώδιο μήκους 2-6 km. Σε δίκτυα μεγάλων αποστάσεων χρησιμοποιούνται πολλαπλά καλώδια μήκους 2-6 km, τα οποία ενώνονται μεταξύ τους με συγκεκριμένες τεχνικές κόλλησης. Οι τεχνικές αυτές έχουν σαν αποτέλεσμα δύο είδη κολλήσεων.

Μόνιμη κόλληση

1. Fusion splicing: Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται κυρίως σε δίκτυα μεγάλων αποστάσεων και οι ίνες λιώνουν και στη συνέχεια συνδέονται.
2. Mechanical splicing: Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται σε μικρού μήκους εσωτερικά δίκτυα.

Ημιμόνιμη κόλληση

Αυτός ο τύπος κόλλησης χρησιμοποιείται σε δίκτυα των οποίων οι χρήστες κινούν τον εξοπλισμό τους συνεχώς ή σε δίκτυα τα οποία ανανεώνονται συνέχεια π.χ. LAN.

Για μεγάλες αποστάσεις απαιτείται συνήθως ενίσχυση του οπτικού σήματος. Η διαδικασία αυτή επιτελείται από ενισχυτές που ονομάζονται επαναλήπτες. Η λειτουργία ενός συνηθισμένου επαναλήπτη βασίζεται στη μετατροπή του οπτικού σήματος σε ηλεκτρικό. [5] Το ηλεκτρικό σήμα ενισχύεται με χρήση διαφόρων ηλεκτρονικών κυκλωμάτων και στη συνέχεια μετατρέπεται ξανά σε οπτικό. Ένας νέος τύπος επαναλήπτη είναι οι ενισχυτές ίνας ερβίου (Erbium doped fiber

amplifiers). Οι επαναλήπτες αυτού του τύπου ενισχύουν το οπτικό σήμα χωρίς να το μετατρέψουν σε ηλεκτρικό. Οι οπτικές ίνες τερματίζονται σε κάθε επαναλήπτη με τη χρήση connectors.

7.2.1 ΣΥΝΔΕΣΗ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

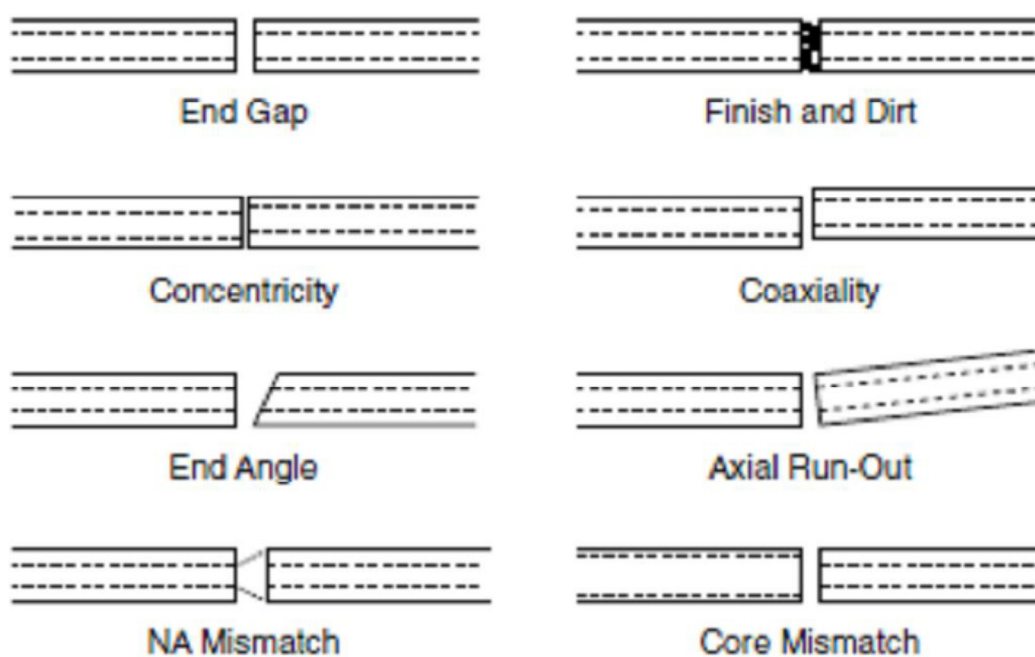
Όπως και στα συνηθισμένα δίκτυα χάλκινων καλωδίων, έτσι και στα οπτικά δίκτυα χρησιμοποιούνται κολλήσεις και connectors. Για να δημιουργηθεί μια κόλληση σε ένα οπτικό δίκτυο, πρέπει δύο ίνες διαμέτρου 125 μm να ευθυγραμμιστούν με πολύ μεγάλη ακρίβεια. Η ευθυγράμμιση αυτή επιτυγχάνεται με τη μέθοδο fusion splicing ή με μηχανικό τρόπο. Στις μέρες μας, τα fusion κολλητήρια είναι αυτόματα και τερματίζουν τις ίνες με connectors για ευκολότερη τοποθέτηση.

Στις περισσότερες Ευρωπαϊκές χώρες, οι συνηθέστερες εγκαταστάσεις που καλούνται να περατώσουν οι μηχανικοί αποτελούν προεκτάσεις ήδη υπαρχόντων οπτικών δικτύων μεγάλων αποστάσεων. Καθώς η οπτική τεχνολογία φτάνει όλο και πιο κοντά στον κοινό χρήστη, τα δίκτυα παίρνουν τη μορφή «νησιών» (LANs, καλωδιακή τηλεόραση κ.λπ.).

Οι κατασκευαστές χρησιμοποιούν διάφορους τύπους υλικών και εξοπλισμού, για αυτόν τον λόγο πρέπει να είναι πλήρως καθορισμένα τα χαρακτηριστικά των δικτύων νησιών (ως προς τις διαστάσεις, τους connectors και το λοιπό εξοπλισμό), ώστε να μην εμφανίζονται προβλήματα στη μελλοντική αντικατάσταση εξοπλισμού και στην επικοινωνία αυτών των δικτύων μεταξύ τους.

Η σύνδεση οπτικών ινών είναι, σε αντίθεση με τη σύνδεση χάλκινων αγωγών, μια χρονοβόρα σύνθετη και λεπτή διαδικασία. Υπάρχουν δύο βασικοί τρόποι σύνδεσης οπτικών ινών. Οι μόνιμες συνδέσεις (splices) και η σύνδεση με συνδετήρα (connector). Στις πρώτες, η συγκόλληση των ινών μεταξύ τους πραγματοποιείται είτε με μηχανικό τρόπο (Mechanical splicing) είτε με θερμικό (Fusion splicing) και οι απώλειες του σήματος είναι πολύ μικρές. Στις συνδέσεις με συνδετήρες, οι απώλειες είναι μεγαλύτερες, αλλά πλεονεκτούν φυσικά στον τομέα της ευελιξίας. Δύο είναι οι βασικές παράμετροι οι οποίες θα χαρακτηρίσουν μια σύνδεση. [5]

Η μηχανική αντοχή της σε κάμψη ή εφελκυσμό και η απώλειες του σήματος που επιφέρει. Οι απώλειες μπορεί να συμβαίνουν για πολλούς και διάφορους λόγους, όμως συνηθέστερες αιτίες απωλειών είναι η κακή ευθυγράμμιση των ινών, η παρουσία αέρα ή ξένων σωμάτων ανάμεσα στις ίνες, αλλά και η ατελής λείανση των επιφανειών που έχουν συγκολληθεί. Στο *σχήμα 7.1* φαίνονται κάποιες περιπτώσεις κακής σύνδεσης.



Σχήμα 7.1: Διάφορες περιπτώσεις κακής σύνδεσης ινών

Στις μέρες μας, περίπου μισό εκατομμύριο τηλεφωνικές συνομιλίες μπορεί να περνούν ταυτόχρονα από μια κόλληση ή έναν οπτικό connector. Για τον λόγο αυτόν υπάρχουν αυστηρές απαιτήσεις όσον αφορά στις κολλήσεις και τους connectors στα οπτικά δίκτυα:

- Ευκολία εγκατάστασης. Ο τερματισμός οπτικών καλωδίων με connectors πρέπει να επιτυγχάνεται με χρήση σχετικά φθηνού εξοπλισμού και να μην αποτελεί μια ιδιαίτερα χρονοβόρα διαδικασία.
- Χαμηλή εξασθένηση. Ένα οπτικό δίκτυο παρουσιάζει πολύ χαμηλή εξασθένηση εντός των καλωδίων. Το ίδιο πρέπει να ισχύει και για τις κολλήσεις και τους

connectors. Οι περισσότερες fusion κολλήσεις παρουσιάζουν εξασθένηση μικρότερη από 0.08dB, ενώ οι connectors μικρότερη από 0.5dB.

- Ευκολία στη χρήση και ανθεκτικότητα. Είναι απαραίτητο οι πολλαπλές συνδέσεις/αποσυνδέσεις ενός connector σε ένα rack π.χ. να μην επηρεάζουν αισθητά την εξασθένησή του.
- Οικονομία. Μια fusion κόλληση στοιχίζει λιγότερο από 1\$, παρ' όλα αυτά απαιτείται μεγάλη επένδυση χρημάτων για τεχνικό εξοπλισμό. Η τιμή μιας μηχανικής κόλλησης είναι περίπου δεκαπλάσια και ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται είναι πολύ φθηνότερος σε σχέση με τον προηγούμενο.

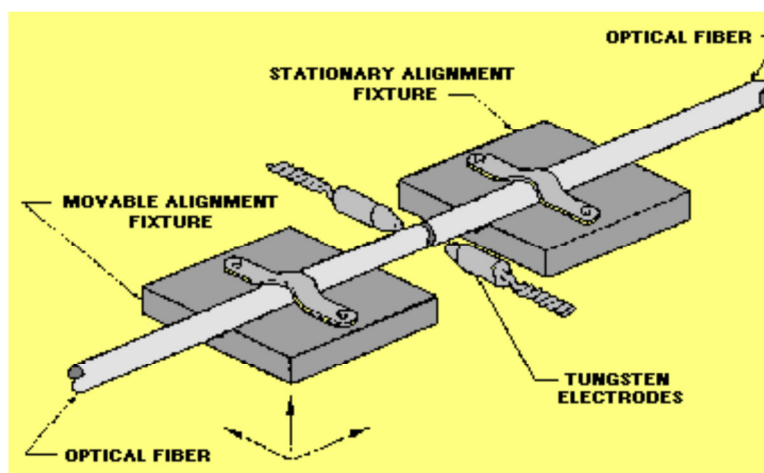
Από τα παραπάνω διαφαίνεται ο λόγος για τον οποίο η μέθοδος κόλλησης fusion χρησιμοποιείται κατά κόρον σε δίκτυα μεγάλων αποστάσεων που απαιτείται μηχανική ποιότητα και χαμηλή εξασθένηση. Η μέθοδος μηχανικών κολλήσεων εφαρμόζεται κυρίως σε indoor δίκτυα όπως τα LANs. Σε γενικές γραμμές, μια fusion κόλληση είναι καλύτερη από μια μηχανική. Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι η μέθοδος μηχανικής κόλλησης οπτικών καλωδίων έχει σχεδόν εγκαταλειφθεί λόγω του αυξημένου κόστους και της μεγάλης εξασθένησης που παρουσιάζεται.

Στις συμβατικές γραμμές μεταφοράς που χρησιμοποιούνται στις ραδιοσυχνότητες και τα μικροκύματα και για τις οπτικές ίνες η σύνδεση δύο οπτικών ινών αποτελεί ένα σοβαρό τεχνολογικό πρόβλημα. Διακρίνονται δύο ειδών συνδέσεις μεταξύ δύο οπτικών ινών: α) συνδέσεις μόνιμης ένωσης, οι οποίες διακρίνονται σε συνδέσεις συγκόλλησης και σε μηχανικές συνδέσεις, και β) συνδέσεις με συνδετήρες οπτικών ινών.

Για τον α) τύπο σύνδεσης έχουμε κατά κανόνα μια μόνιμη σύνδεση μεταξύ των ινών, ενώ στη β) περίπτωση έχουμε συνδετήρες που μπορούν να κουμπώσουν και να ξεκουμπώσουν.

7.2.2 ΘΕΡΜΙΚΗ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ (FUSION SPLICING)

Η θερμική συγκόλληση πραγματοποιείται με ειδικά μηχανήματα που λέγονται splicers. Τα splicers φέρουν δύο ακίδες-ηλεκτρόδια που δημιουργούν στο διάκενό τους ηλεκτρικό τόξο. Η θερμοκρασία που αναπτύσσεται τοπικά είναι περίπου 1.100 °C και λιώνει τα άκρα των ινών, οι οποίες στην συνέχεια έρχονται σε επαφή και συγκολλούνται. Τα σύγχρονα splicer έχουν τη δυνατότητα να ευθυγραμμίζουν αυτόματα τις ίνες, μειώνοντας σημαντικά το χρόνο συγκόλλησης.



Σχήμα 7.2: Αρχή λειτουργίας fusion splicer.

Η διαδικασία ξεκινά με την απογύμνωση (stripping) των ινών από τα προστατευτικά περιβλήματα τους. Κατόπιν, οι ίνες κόβονται με ειδικούς κοπτήρες (cleavers) για να έχουν όσο γίνεται πιο επίπεδη επιφάνεια και κάθετη στον διαμήκη άξονα τους. Στη συνέχεια, καθαρίζονται με διάλυμα αιθυλικής αλκοόλης και τοποθετούνται στο splicer.

Τα περισσότερα σύγχρονα μηχανήματα έχουν ενσωματωμένα μικροσκόπια και χρησιμοποιούν διάφορες τεχνικές για να ευθυγραμμίζουν τις ίνες. Η ευθυγράμμιση των ινών είναι ο βασικότερος παράγοντας για μια επιτυχημένη συγκόλληση με μικρές απώλειες.

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας είναι και η ποιότητα των επιφανειών που συγκολλούνται. Οι επιφάνειες πρέπει να είναι όσο γίνεται πιο καθαρές και επίπεδες. Για αυτόν τον λόγο, πριν τη δημιουργία της συγκόλλησης ένα ηλεκτρικό τόξο μικρότερης ισχύος (prefusion) καθαρίζει τις επιφάνειες από ατέλειες που

δημιουργήθηκαν κατά την κοπή τους. Επίσης, το περιβάλλον στο οποίο γίνεται η συγκόλληση πρέπει να είναι ελεγχόμενο και σχετικά προστατευμένο, κυρίως από τη σκόνη.

Τέλος, σημαντική επίδραση στη συγκόλληση έχει και η ισχύς του ηλεκτρικού τόξου της ένωσης. Αυτή η ισχύς ανιχνεύεται από το OTDR και φαίνεται στο ίχνος σαν μια μικρή κορυφή πριν την ηλεκτρική εκκένωση μεγάλης έντασης. Έχει σαν αποτέλεσμα την τήξη μεγάλου μέρους των ινών και οδηγεί σε μια πιο ανθεκτική συγκόλληση. Όμως, υστερεί σε οπτικές ιδιότητες γιατί χαλάει η ομοιομορφία του δείκτη διάθλασης. Αντίθετα, ηλεκτρικές εκκενώσεις μικρότερης έντασης δημιουργούν ενώσεις με καλύτερες οπτικές ιδιότητες (μικρότερες απώλειες, μικρότερες οπισθοσκεδάσεις), αλλά και με μικρότερη μηχανική αντοχή.

Γενικά, μια αποδεκτή θερμική συγκόλληση έχει απώλειες περίπου 0.1 dB, μικρότερες από της μηχανικές συγκολλήσεις ή τους συνδετήρες, όχι όμως αμελητέα για τα δεδομένα των οπτικών ινών αφού ισοδυναμεί με τις απώλειες που επιφέρει ένα 500 m.

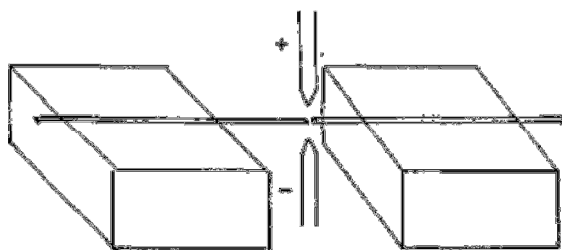
Παρ' όλα αυτά, με τα σύγχρονα splicer μπορούν να γίνουν και συγκολλήσεις με μικρότερες απώλειες. Επίσης, κάποια splicer έχουν τη δυνατότητα να κάνουν ταυτόχρονα πολλές συγκολλήσεις για μέχρι και 12 ίνες.



Σχήμα 7.3: Σύγχρονο splicer από την Ericsson

Αρχή σύνδεσης με συγκόλληση

Η διάταξη που χρησιμοποιείται για το σκοπό φαίνεται στο σχήμα 7.4. Οι δύο ίνες που τα τερματικά τους επίπεδα έχουν λειανθεί κατάλληλα τοποθετούνται στα δύο έδρανα έτσι που να συμπίπτουν οι άξονές τους. Με την χρήση μηχανισμού μικρομετακίνησης, οι δύο ίνες τοποθετούνται σε κατάλληλη απόσταση μεταξύ τους. Στη συνέχεια, εφαρμόζεται η διαφορά δυναμικού στα ηλεκτρόδια με τα οποία αρχίζει το βολταϊκό τόξο, ώστε να επιτευχθεί η συγκόλληση των δύο ινών με την τήξη των άκρων τους. [19]



Σχήμα 7.4 Συγκόλληση με βολταϊκό τόξο

7.2.3 ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ (MECHANICAL SPLICING)

Οι μηχανικές συγκολλήσεις, σε αντίθεση με τις θερμικές, δεν είναι χρονοβόρες ούτε απαιτούν ειδικό εξοπλισμό υψηλού κόστους. Είναι όμως και ποιοτικά κατώτερες καθώς παρουσιάζουν μεγαλύτερες απώλειες από τις θερμικές. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε συγκολλήσεις πολύτροπων ινών που οι ευθυγράμμιση είναι πιο εύκολη και οι απαιτήσεις μικρότερες.

Κατά τη διαδικασία της μηχανικής συγκόλλησης οι ίνες κόβονται, όπως και στην θερμική συγκόλληση, με cleavers. Στη συνέχεια, αφού γίνει ο υποτυπώδης καθαρισμός τους ευθυγραμμίζονται και πραγματοποιείται η συγκόλλησή τους.

Η ευθυγράμμιση κατά την μηχανική συγκόλληση δεν απαιτεί την ευθυγράμμιση των πυρήνων αλλά μόνο του μανδύα των ινών. Αυτό έχει ως συνέπεια να υπάρχουν ατέλειες για αυτό άλλωστε έχουμε και μεγαλύτερες απώλειες σε αυτού του είδους τις συγκολλήσεις. Αυτές οι ατέλειες οφείλονται σε πιθανή εκκεντρότητα του πυρήνα σε σχέση με τον μανδύα, αλλά και στο ελαφρώς ελλειπτικό σχήμα που εκ κατασκευής πολλές φορές έχουν οι ίνες. Επίσης, πολλές φορές οφείλονται και στην ανοχή των εξαρτημάτων που χρησιμοποιούνται για την ευθυγράμμιση. Τα εξαρτήματα αυτά είναι μικροί γυάλινοι σωλήνες (tubes) στους οποίους τοποθετούνται τα άκρα των ινών που θα συγκολληθούν. Η συγκόλληση γίνεται με εποξική ρητίνη.

Η εποξική ρητίνη είναι ρευστή κόλλα με κατάλληλο δείκτη διάθλασης, παρόμοιο με αυτόν της ίνας, και τοποθετείται στην επιφάνεια της μιας ίνας. Είναι όμως και αυτή ένας παράγοντας που συμβάλλει στις αυξημένες απώλειες των μηχανικών συγκολλήσεων λόγω του ελαφρώς διαφορετικού δείκτη διάθλασής της, αλλά και του διαφορετικού συντελεστή θερμικής διαστολής σε σχέση με τις ίνες. [5]



Σχήμα 7.5: Mechanical splicing tubes. Το πρώτο από τα αριστερά χρησιμοποιείται σε fusion splicing. Οι σωλήνες μηχανικής συγκόλλησης έχουν συνήθως και μία μικρή οπή για να μπορεί να διαφεύγει η περίσσεια κόλλας.

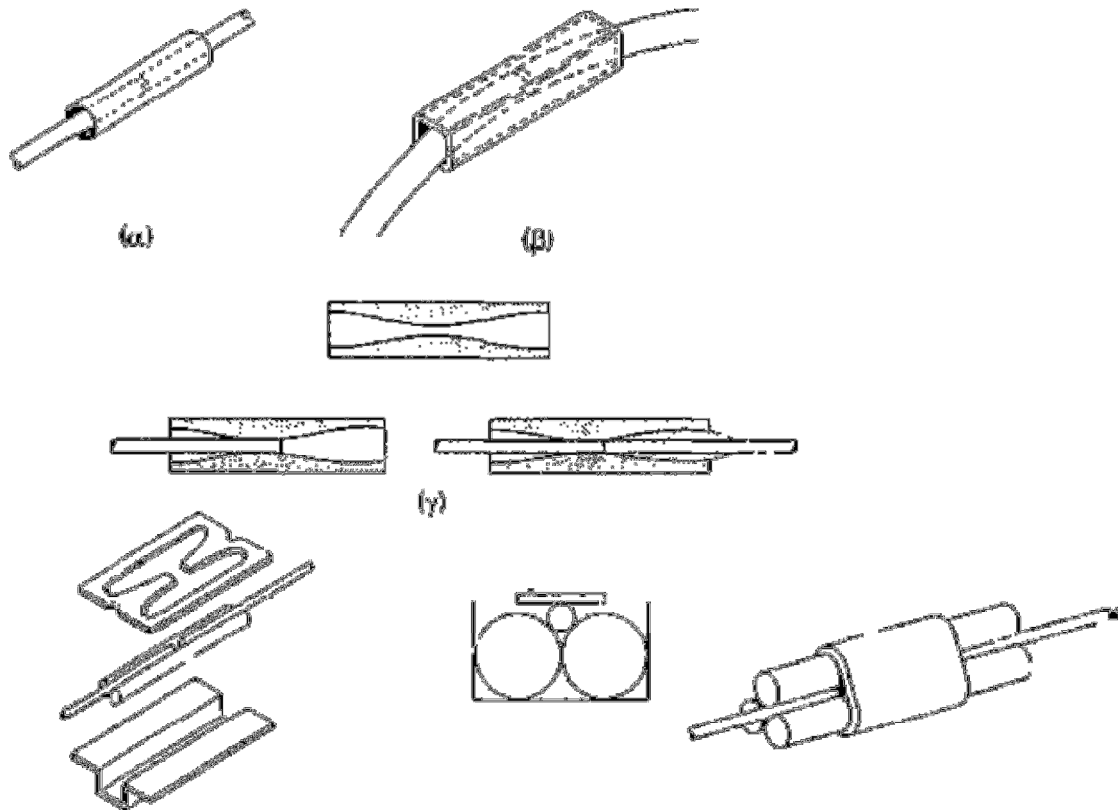
Αρχή σύνδεσης με Μηχανική συγκόλληση

Έχουν αναπτυχθεί διάφορες μηχανικές μέθοδοι για τη σύνδεση οπτικών ινών. Στο σχήμα 7.6 δείχνουμε διάφορους τύπους μηχανικών συνδέσεων για οπτικά καλώδια που περιέχουν μία οπτική ίνα.

Στη σύνδεση τύπου (α) χρησιμοποιείται κενός σωλήνας που η διάμετρος του μόλις επιτρέπει την είσοδο της οπτικής ίνας. Οι οπτικές ίνες τοποθετούνται μέσα στον σωλήνα και η σύνδεση σταθεροποιείται με εποξική ρητίνη που εξασφαλίζει προσαρμογή για τον δείκτη διάθλασης.

Ένας άλλος τρόπος σύνδεσης με κενό σωλήνα είναι αυτός που φαίνεται στο σχήμα (β), όπου χρησιμοποιείται ένας υπερμεγεθυμένος τετραγωνικής διατομής σωλήνας. Στην περίπτωση αυτή, οι ίνες τοποθετούνται ταυτόχρονα και από τις δύο πλευρές και κάμπτονται στο ίδιο επίπεδο, οπότε έχουμε συνάντηση των δύο τερματικών επιπέδων. Η σύνδεση πάλι χρησιμοποιείται με εποξική ρητίνη.

Μία εναλλακτική μέθοδος μηχανικής σύνδεσης είναι η χρήση κενών σωλήνων από γυαλί Pyrex που έχει χαμηλότερο σημείο τήξης από το γυαλί της οπτικής ίνας. Τοποθετώντας πάλι την οπτική ίνα μέσα στον κενό σωλήνα και θερμαίνοντας το γυαλί Pyrex δημιουργείται μία σύνδεση όπως φαίνεται στο σχήμα (γ).



Σχήμα 7.6 Διάφοροι μέθοδοι μηχανικής σύνδεσης οπτικών ινών

7.3 ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ (CONNECTORS)

Οι συνδετήρες χρησιμοποιούνται όταν δεν θέλουμε να είναι μόνιμη η σύνδεση των ινών, όταν δηλαδή θέλουμε να υπάρχει δυνατότητα σύνδεσης και αποσύνδεσης. Σχετικά παραδείγματα είναι η σύνδεση των ινών με συσκευές, η σύνδεση οπτικού καλωδίου σε επιτοίχια πρίζα ή οπτικά patch panels. Οι συνδετήρες υστερούν σε σχέση με τις μόνιμες συνδέσεις στις απώλειες. Απώλειες έως και 1dB είναι αποδεκτές για συνδετήρες αν και υπάρχουν συνδετήρες με μικρότερες απώλειες.

Επίσης, λόγω της αρκετά σύνθετης διαδικασίας που ακολουθείται για την τοποθέτηση συνδετήρα σε ίνα, είναι προτιμότερο αυτή να διεξάγεται σε ελεγχόμενο περιβάλλον π.χ. στον χώρο του κατασκευαστή και όχι στο πεδίο. Αυτό βέβαια δε σημαίνει ότι η τοποθέτηση του συνδετήρα δε μπορεί να γίνει στο πεδίο εργασίας.

Η σύνδεση ινών με συνδετήρες υπερτερεί όμως στην ευελιξία αφού οι συνδέσεις αυτές δεν είναι μόνιμες οπότε μπορούν να συνδεθούν και να αποσυνδεθούν πολλές φορές, συνήθως 500 ως 1000. Για αυτόν τον λόγο, η αντοχή ενός συνδετήρα στην επαναληψιμότητα είναι βασική παράμετρος κατά τη σχεδίαση και κατασκευή του.

Μια άλλη πρόκληση στην κατασκευή συνδετήρων είναι και η μικρή ανοχή που πρέπει να έχουν όσον αφορά στις διαστάσεις τους. Ειδικά το ferrule, δηλαδή ο κεραμικός σωλήνας που χρησιμεύει για να συγκρατεί το απογυμνωμένο κομμάτι της ίνας. Έτσι, ενώ οι συνδετήρες χάλκινων καλωδίων επιδεικνύουν ανοχή περίπου 1 mm, η ανοχή των συνδετήρων οπτικών καλωδίων πρέπει να είναι της τάξης του μικρόμετρου, λόγω προφανώς των μικρών διαστάσεων της ίνας. [9]

Φυσικά, η κατασκευή μηχανικών εξαρτημάτων με τόσο μικρά όρια ανοχής δεν είναι απλή διαδικασία. Υπάρχουν πάρα πολλοί τύποι συνδετήρων κατάλληλοι για διάφορες χρήσεις και για διάφορους τύπους ινών. Άλλοι στερεώνονται βιδωτά (screw type), άλλοι με κλιπ (snap type) και άλλοι bayonet. Όλοι όμως βασίζονται τη λειτουργία τους στη φυσική επαφή των επιφανειών των ινών και αυτό το επιτυγχάνουν συνήθως με ένα ελατήριο το οποίο πιέζει τις ίνες μεταξύ τους. Όσο πιο ισχυρή είναι αυτή η πίεση, τόσο πιο καλή είναι η φυσική επαφή των επιφανειών χωρίς παρουσία στρώματος αέρα ανάμεσα τους και συνεπώς, τόσο μικρότερες και οι απώλειες της σύνδεσης.

Επίσης, πολλές φορές οι ίνες στους συνδετήρες έχουν επιφάνειες επαφής (endfaces) που δεν είναι κάθετες στον διαμήκη άξονα της ίνας, αλλά σχηματίζουν κάποια μικρή γωνία (συνήθως 8ο ή 9ο) με την κάθετο. Η τεχνική αυτή είναι γνωστή ως Angle Polished Connection (APC) και εξασφαλίζει μικρότερες ανακλάσεις στις συνδέσεις, άρα καλύτερα χαρακτηριστικά. Μπορεί να εφαρμοσθεί σε διάφορους τύπους συνδετήρων.

Όσοι συνδετήρες είναι angle polished έχουν πράσινο χρώμα ή κάποιο πράσινο διακριτικό στο κυρίως σώμα τους και φέρουν την ονομασία “τύπος συνδετήρα/APC” (π.χ. FC απλός, και FC/APC με Angle Polished). Παρακάτω παρατίθενται οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι τύποι συνδετήρων και τα βασικότερα χαρακτηριστικά τους.

Συνδετήρας τύπου FC. Ονομάστηκε έτσι από τα αρχικά των λέξεων Ferrule Connector ή Fiber Channel. Είναι βιδωτός με διάμετρο ferrule 2,5mm. Χρησιμοποιείται στις τηλεπικοινωνίες, σε συσκευές μετρήσεων (OTDR, Powermeters), στα laser κ.α. Η χρήση του γίνεται ολοένα και λιγότερο συχνή.



Εικόνα 7.1: Συνδετήρας τύπου FC

Συνδετήρας τύπου MIC. Οι Media Interface Connectors είναι τύπου snap με διάμετρο ferrule 2,5mm. Χρησιμοποιούνται σε δίκτυα οπτικών δακτυλίων FDDI (Fiber distributed data interface).



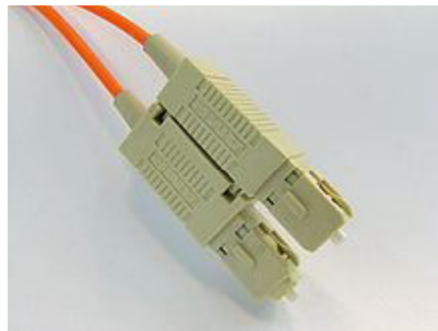
Εικόνα7.2: Συνδετήρας τύπου MIC

Συνδετήρες τύπου LC. Η ονομασία προέκυψε από τα αρχικά των λέξεων Local Connector (ή Lucent Connector από το όνομα της εταιρείας που τους κατασκεύασε). Είναι και αυτοί snap type με διάμετρο ferrule 1,25mm. Λόγω του μικρού μεγέθους τους χρησιμοποιούνται όπου υπάρχει πυκνή διάταξη συνδέσεων π.χ. συστήματα WDM.



Εικόνα7.3: Συνδετήρας τύπου LC

Συνδετήρες τύπου SC. Οι Standard Connectors ή Square Connectors είναι οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενοι σε τηλεπικοινωνιακές εφαρμογές. Είναι snap type με διάμετρο ferrule 2,5mm.



Εικόνα 7.4: Συνδετήρες τύπου SC

Συνδετήρες τύπου ST. Οι ST/BFOC (Straight Tip/ Bayonet Fiber Optic Connector) είναι τύπου Bayonet με διάμετρο ferrule 2,5mm. Χρησιμοποιούνται κυρίως με πολύτροπες ίνες, ενώ είναι πολύ σπάνια η χρήση τους σε συνδυασμό με μονότροπες. Ένα μειονέκτημα τους είναι ότι δεν διατίθενται σε ST/APC.



Εικόνα 7.5: Συνδετήρες τύπου ST

Σε άλλες συνηθισμένες μεθόδους μηχανικής σύνδεσης χρησιμοποιούνται συστήματα μηχανικών στηρίξεων. Η πιο συνηθισμένη μέθοδος είναι αυτή όπου οι δύο ίνες που επιθυμείται η σύνδεση τοποθετούνται μέσα σε ένα κανάλι. Για την προσαρμογή του δείκτη διάθλασης χρησιμοποιείται πάλι εποξική ρητίνη.

Η κατασκευή συνδετήρων που μπορούν να αποσυνδέονται είναι πολύ πιο δύσκολη από τις μόνιμες συνδέσεις. Αυτό συμβαίνει διότι οι αυστηρές προδιαγραφές που πρέπει να τηρούνται στις οπτικές συνδέσεις πρέπει επίσης να ικανοποιούνται και στην περίπτωση των συνδετήρων που έχουν την ιδιότητα να συνδέονται και να αποσυνδέονται πολλές φορές. Η σχεδίαση και η κατασκευή των οπτικών συνδετήρων πρέπει να γίνεται λαμβάνοντας υπόψη τις προδιαγραφές που πρέπει να τηρούνται σε ό,τι αφορά στην ευθυγράμμιση των οπτικών ινών που επιθυμείται να πραγματοποιηθεί η σύνδεση.

Επιπρόσθετα, ο οπτικός συνδετήρας πρέπει να παρέχει ικανοποιητική προστασία στο άκρο της οπτικής ίνας και να συνδέεται εύκολα στις ίνες. Η μηχανική σταθερότητα και αντοχή του συνδετήρα επίσης πρέπει να λαμβάνονται υπόψη.

Έκτος από τη σύνδεση ινών μεταξύ τους, στην πράξη παρουσιάζεται το πρόβλημα της σύνδεσης της οπτικής ίνας με πηγές LED ή LASER και του φωτοφωρατή.

7.4 ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΣΥΓΧΩΝΕΥΣΗΣ

Οι συγκολλήσεις είναι προσωρινές συνδέσεις μεταξύ των ινών. Τυπικά, η συγκόλληση χρησιμοποιείται συνήθως για να ενώσει καλώδια στο εξωτερικό κτιρίων. Οι συνδετήρες γενικά χρησιμοποιούνται στο τέλος των συνδέσεων στο εσωτερικό κτιρίων. Οι συγκολλήσεις προσφέρουν χαμηλότερη εξασθένηση και ανάκλαση από ό,τι οι συνδετήρες.

Η συγκόλληση συγχώνευσης είναι η ένωση των άκρων δύο ινών και η θέρμανσή τους έως ότου λιώσουν μαζί και αναμιχθούν. Αυτό κανονικά επιτυγχάνεται με μια συσκευή η οποία ελέγχει προσεκτικά την ευθυγράμμιση των δύο ινών, έτσι ώστε η απώλεια να διατηρείται σε χαμηλό επίπεδο.

Οι συσκευές αυτές είναι σχετικά ακριβές και συνήθως περιλαμβάνουν ένα ηλεκτρικό τόξο συγκόλλησης, διάταξη ευθυγράμμισης, φωτογραφική μηχανή ή μικροσκόπιο, ώστε να υπερμεγεθύνεται η ευθυγράμμιση 50 φορές ή περισσότερο, και εργαλεία που ελέγχουν την οπτική ισχύ που διαπερνά τις ίνες πριν αλλά και μετά τη συγκόλληση.

[13]

7.4.1 ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ

Οι μηχανικές συγκολλήσεις ενώνουν δύο ίνες συνδέοντάς τες μέσα σε μια άλλη κατασκευή ή επικολλώντας τις ίνες μεταξύ τους. Γενικά, ο εξοπλισμός που απαιτείται ώστε να κάνουμε μια μηχανική συγκόλληση είναι λιγότερο ακριβός σε κόστος από ό,τι το μηχάνημα τήξης.

Οι μηχανικές συγκολλήσεις μπορούν να έχουν λίγο μεγαλύτερη απώλεια και η οπισθοανάκλαση να αποτελεί αίτιο περισυλλογής, αλλά το ζελέ με δείκτη ισοδυναμίας μπορεί να μειώσει τα μειονεκτήματα. Η μηχανική συγκόλληση ίνας είναι η πιο απλή μορφή συγκόλλησης. Περιλαμβάνει την τοποθέτηση των δύο άκρων των ινών μέσα ένα πολύ λεπτό σωληνάριο.

Κατά τη μέθοδο κόλλησης με τρεις ράβδους, χρησιμοποιούνται μεταλλικοί ράβδοι με διάμετρο τέτοια ώστε όταν οι ίδιες τοποθετούνται, το κανάλι που δημιουργείται να έχει ακριβώς την ίδια διάμετρο με εκείνη της ίνας που πρόκειται να κολληθεί. Για να παραμένουν οι ράβδοι ενωμένες χρησιμοποιείται ελαστικό υλικό.

Μετά από τη γέμιση του καναλιού με κατάλληλο έλαιο, οι ίνες πλησιάζουν μεταξύ τους δημιουργώντας μια ημιμόνιμη μηχανική κόλληση. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται για άμεσες κολλήσεις οργάνων πάνω στο σύστημα. Η κόλληση που προκύπτει παρουσιάζει απώλειες κοντά στα 0.2 dB.

Η μηχανική κόλληση καλωδίων που περιέχουν κορδέλες ινών είναι μια αρκετά περίπλοκη διαδικασία. Τα τελειώματα από όλες τις ίνες καθαρίζονται και

αφαιρούνται από το πρωτεύον και δευτερεύον κάλυμμα. Στη συνέχεια, οι ίνες τοποθετούνται απέναντι ανάμεσα σε δύο πλάκες σιλικόνης (μία πλάκα έχει αυλακώσεις τύπου V). [14] Στη συνέχεια, τα κενά γεμίζονται με ειδικό έλαιο και οι ίνες πλησιάζουν μεταξύ τους. Τέλος, αφού ολοκληρωθούν οι κολλήσεις, οι πλάκες σιλικόνης τοποθετούνται η μία πάνω στην άλλη (κατά αυτόν τον τρόπο μπορούν να κολληθούν μέχρι και 12x12 ίνες).

Τα προβλήματα που προκύπτουν στις ημιμόνιμες κολλήσεις είναι διαφορετικά από εκείνα που προκύπτουν στους άλλους τύπους κολλήσεων. Είναι απαραίτητο για μια ημιμόνιμη κόλληση να μπορούμε να συνδέουμε και να αποσυνδέουμε τις ίνες πολλές φορές χωρίς να εμφανίζονται απώλειες. Αυτό σημαίνει ότι είναι απαραίτητη η αυξημένη ακρίβεια και η ανθεκτικότητα σε τέτοιου είδους κολλήσεις (ειδικά για μονότροπες ίνες). Οι απώλειες για τις ημιμόνιμες κολλήσεις είναι όμοιες με αυτές που αναφέρθηκαν παραπάνω για τους άλλους τύπους κολλήσεων. Μερικές ιδιαίτερες απαιτήσεις για τις ημιμόνιμες κολλήσεις αναφέρονται παρακάτω:

- Ειδική προστασία από σκόνη και υγρασία
- Ομοκεντρικότητα (πολύ μεγάλη ακρίβεια)
- Ικανότητα κόλλησης να αντέχει διαμήκεις δυνάμεις χωρίς να αύξηση απωλειών
- Ικανότητα σύνδεσης και αποσύνδεσης της κόλλησης
- Μεγάλη αντοχή

7.5 ΕΝΩΣΕΙΣ (JOINT CLOSURES)

Μια προστατευτική ένωση για εξωτερικά καλώδια οπτικών ινών πρέπει :

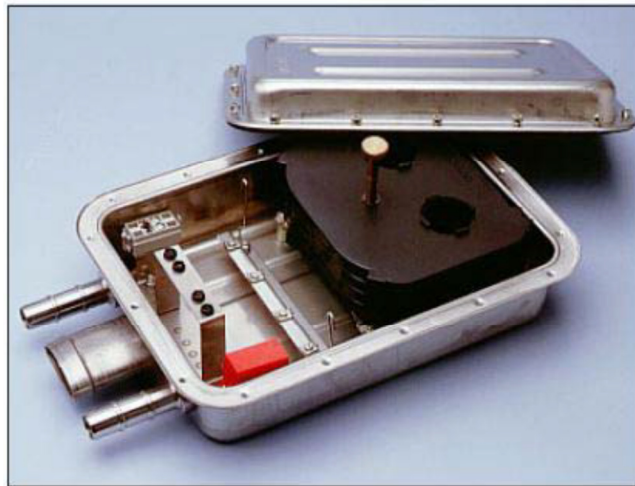
- 1) Να είναι εύκολη στην εγκατάστασή της
- 2) Να είναι εύκολη στο άνοιγμα και το κλείσιμό της
- 3) Να παρέχει πολύ καλό επίπεδο μηχανικής προστασίας
- 4) Να παρέχει την ίδια προστασία για ενισχυμένα και μη καλώδια
- 5) Να παρέχει την ίδια προστασία για καλώδια διαφορετικών μεγεθών
- 6) Να προστατεύει καλώδια σε σωλήνες, θαμμένα καλώδια και εναέρια καλώδια

Τύποι ενώσεων

Παρακάτω παρουσιάζονται μερικοί από τους τύπους ενώσεων που κυκλοφορούν στο εμπόριο.

NCD 503.

Η ένωση αυτή κατασκευάζεται από ανοξείδωτο ατσάλι και προστατεύει έναντι των οξέων. Σε τέτοιες ενώσεις μπορούν να χωρέσουν τυπικά έως 6 οδηγοί οπτικών ινών των 12 ινών ο καθένας.



Εικόνα 7.6 Ένωση τύπου NCD 503

NCD 504.

Η ένωση αυτή είναι παρόμοια με την παραπάνω, με μόνη διαφορά το γεγονός ότι κατασκευάζεται από πλαστικό υλικό (Noryl).



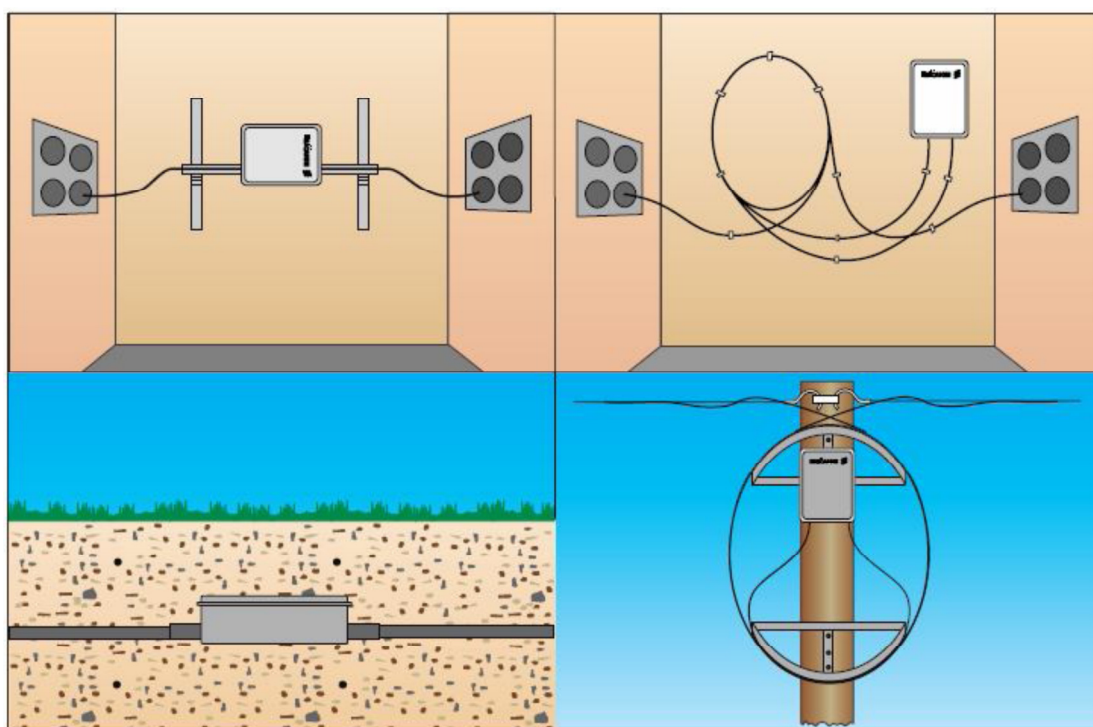
Εικόνα 7.7 Ένωση τύπου NCD 504

NCD 505 1004.

Η ένωση αυτή είναι μια μικρή οπτικοηλεκτρονική ένωση που μπορεί να χειριστεί έως και 4 καλώδια και 48 κολλήσεις οπτικών ινών. Η ένωση περιλαμβάνει ένα εξωτερικό πλαστικό κέλυφος και 2 κλείστρα στα άκρα της. Καθένα από τα 2 κλείστρα έχει εισόδους για 2 καλώδια. [19]



Εικόνα 7.8 Ένωση τύπου NCD 505 1004



Εικόνα 7.9 Διαφορετικοί τρόποι εγκατάστασης οπτικών ενώσεων

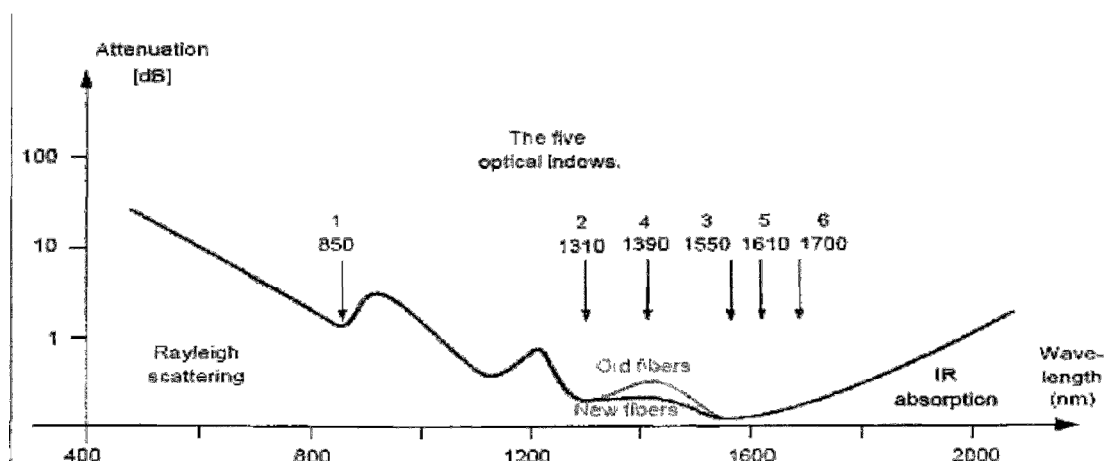
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΩΟ

8.1 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΣΥΝΔΕΣΣΕΩΝ ΠΟΥ ΟΦΕΙΛΟΝΤΑΙ ΣΤΗΝ ΙΝΑ

Κατά την κατασκευή οπτικών ινών, επιτρέπονται μικρές αποκλίσεις στις τιμές των παραμέτρων τους αφού είναι σχεδόν αδύνατο να φτιαχτούν δύο 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.

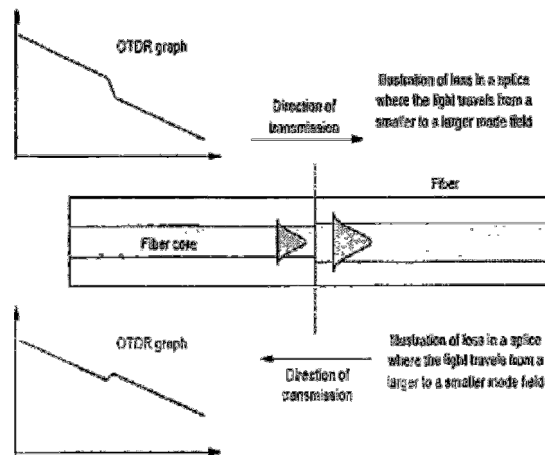
Μια ιδανική ίνα θα παρουσιάζει εξασθένηση κοντά στα 0.16 dB/km θεωρητικά (1550 nm). Στην πραγματικότητα, η εξασθένηση μιας ίνας πολύ καλής ποιότητας πλησιάζει τα 0.20 dB/km στα 1550 nm (λόγω της σκέδασης Rayleigh και της IR απορρόφησης). Οι απώλειες που οφείλονται στην ίνα προκαλούνται από τους παρακάτω 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



Εικόνα 8.1 Γραφική παράσταση της εξασθένησης μιας ίνας από σιλικόνη σε συνάρτηση με το μήκος κύματος μετάδοσης.

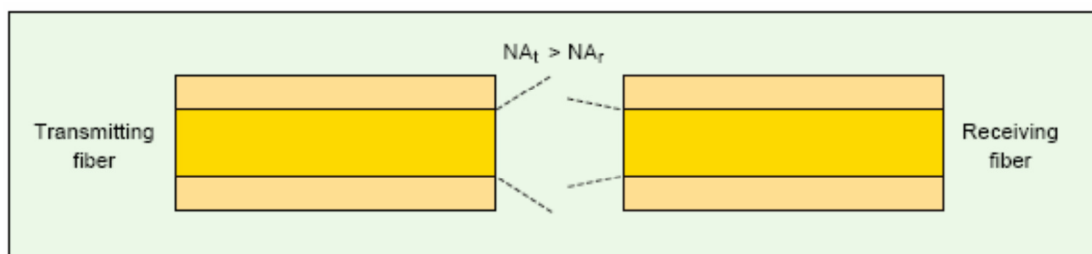
Αν η διάμετρος του πυρήνα της ίνας μετάδοσης είναι διαφορετική από εκείνη της ίνας του δέκτη, ο τρόπος πεδίου θα γίνει πιο ευρύς ή πιο στενός. Το γεγονός αυτό θα προκαλέσει εξασθένηση του φωτός και διακρίνεται σαν ενίσχυση του σήματος κατά τη μια κατεύθυνση όταν παίρνουμε μετρήσεις με ένα OTDR.



Εικόνα 8.2 Σχηματική απεικόνιση απωλειών

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

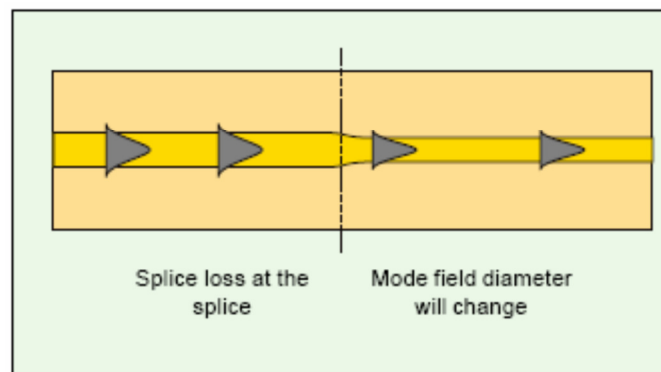
$$Απώλεια_{NA} = 10 \log_{10} \left(\frac{NA_r}{NA_t} \right)^2$$



Εικόνα 8.3 Σχηματική αναπαράσταση απωλειών όταν $NA_t > NA_r$

8.1.1 ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΙ ΠΥΡΗΝΑ

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



Εικόνα 8.4 Όταν συνδέονται ίνες με διαφορετικές διαμέτρους πυρήνα, παρουσιάζονται απώλειες και αλλάζει η διάμετρος του τρόπου πεδίου του παλμού φωτός

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

$$\text{Απώλειες}_{\text{dB}} (\text{multimode}) = -10 \log_{10} \left(\frac{\theta_r}{\theta_t} \right)^2$$

Όπου θ_r και θ_t , είναι οι διαμέτροι πυρήνα των ιών που συνδέονται.

$$\text{Απώλειες}_{\text{dB}} (\text{single-mode}) = -20 \log_{10} \left(\frac{2w_1 w_2}{w_1^2 + w_2^2} \right)$$

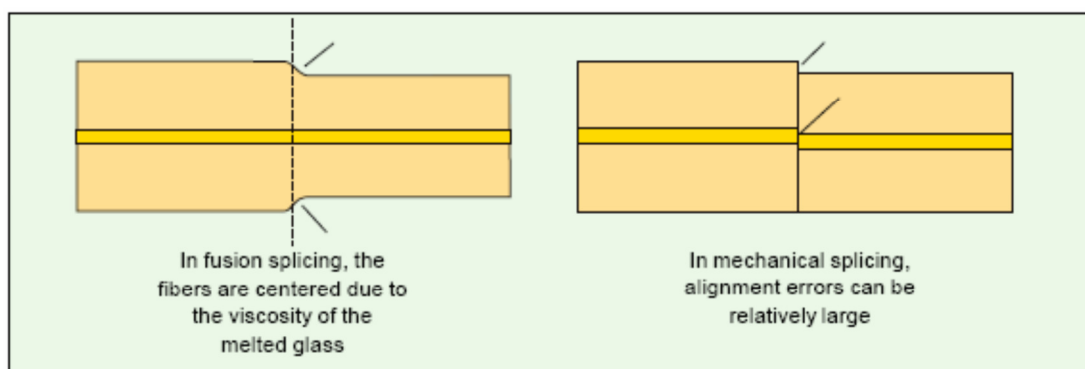
Όπου w_1 και w_2 , είναι οι διαμέτροι των τρόπων πεδίου των ιών που συνδέονται.

8.1.2 ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΙ ΜΑΝΔΥΑ

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 μm μπορεί να κολληθεί με μια άλλη διαμέτρου 127 μm .

Με τη μέθοδο κόλλησης fusion οι ίνες ευθυγραμμίζονται αρκετά καλά. Για μηχανικές και για ημιμόνιμες κολλήσεις διαφορά διαμέτρων όπως η παραπάνω μπορεί να προκαλέσει δραματική αύξηση των απωλειών (ειδικά στις μονότροπες ίνες).

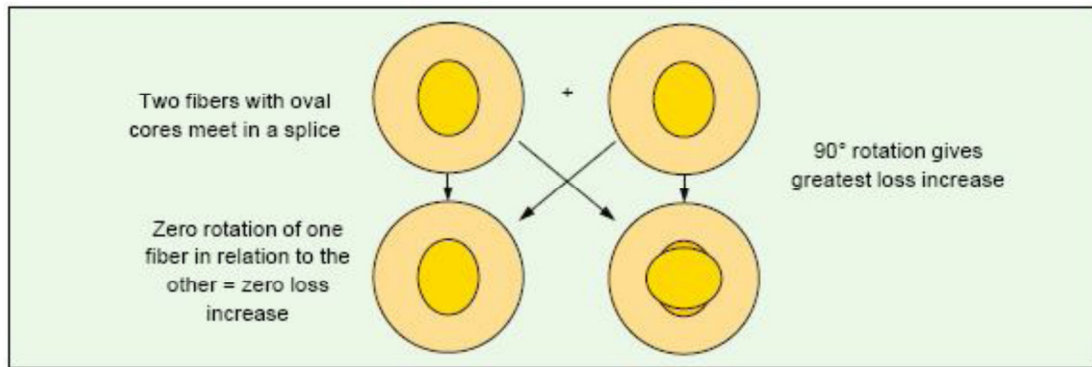
Όσο μεγαλώνει η διαφορά μεταξύ των διαμέτρων, τόσο αυξάνονται και οι απώλειες. Με ανοχή $125\pm 2\mu\text{m}$ οι μέγιστη απώλεια είναι 1.4 dB. Αν η ανοχή μειωθεί στα $125\pm 1\mu\text{m}$, η μέγιστη απώλεια είναι περίπου 0.7 dB. Όταν συνδέονται καλώδια που περιέχουν μονότροπες ίνες με connectors, πραγματοποιούνται αρκετά τεστ ευθυγράμμισης ώστε να μειωθούν όσο το δυνατόν γίνεται οι απώλειες. [19]



Εικόνα 8.5 Η διαφοράς στις διαμέτρους μανδύα προκαλούν μεγαλύτερες απώλειες στις μηχανικές κολλήσεις παρά στις fusion.

8.1.3 ΜΗ ΚΥΚΛΙΚΟΤΗΤΑ ΠΥΡΗΝΑ Ή/ΚΑΙ ΜΑΝΔΥΑ

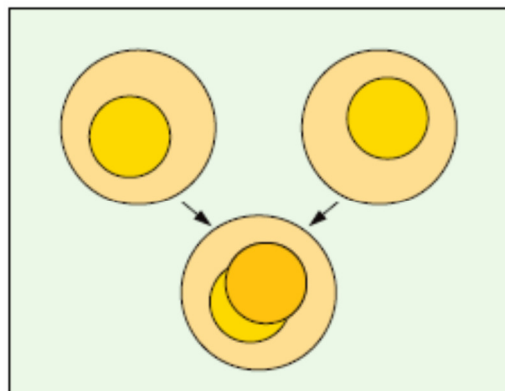
Η μη κυκλικότητα του πυρήνα και του μανδύα έχουν σχεδόν την ίδια επίδραση με τις διαφορές στις διαμέτρους πυρήνα. Το φαινόμενο αυτό είναι ιδιαίτερα εμφανές σε ημιμόνιμες κολλήσεις. Η παρακάτω εικόνα είναι άκρως κατατοπιστική.



Εικόνα 8.6 Η μη κυκλικότητα του πυρήνα επηρεάζει τις απώλειες σε μια κόλληση

8.1.4 ΜΗ ΟΜΟΚΕΝΤΡΙΚΟΤΗΤΑ ΠΥΡΗΝΑ Ή/ΚΑΙ ΜΑΝΔΥΑ

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



Εικόνα 8.7 : Παρουσίαση της κόλλησης δυο ιών, των οποίων οι πυρήνες δεν είναι ομόκεντροι

8.2 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΠΟΥ ΟΦΕΙΛΟΝΤΑΙ ΣΤΑ ΥΛΙΚΑ ΤΩΝ ΚΟΛΛΗΣΕΩΝ/ CONNECTORS

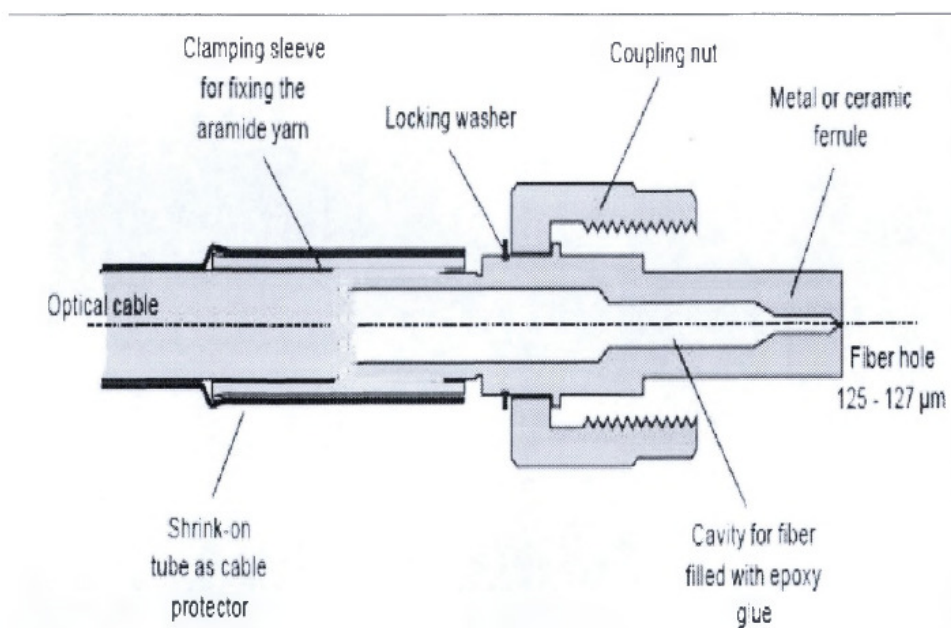
Όταν δύο ίνες συνδέονται, η κόλληση θα συνεισφέρει κατά κάποιον τρόπο στην αύξηση της εξασθένισης. Η αύξηση της εξασθένισης λόγω κολλήσεων μειώνεται στο ελάχιστο, όταν οι κολλήσεις πραγματοποιούνται με τη μέθοδο fusion, καθαρίζονται προσεκτικά και κόβονται με ακρίβεια.

Σύγχρονα κολλητήρια, όπως το Ericsson FSU 975, πετυχαίνουν γωνία κοπής 90° και εξαιρετικό καθαρισμό της ίνας πριν την κόλληση. Αν όλες οι παραπάνω παράμετροι είναι τέλειες, τότε μια κόλληση fusion δεν εισάγει περαιτέρω εξασθένηση στο σύστημα.

Οι παρακάτω παράγοντες απωλειών που οφείλονται σε connectors/ κολλήσεις αναφέρονται κυρίως σε ημιμόνιμες και μηχανικές κολλήσεις (και λιγότερο σε fusion κολλήσεις):

- Μη ομοαξονικότητα
- Διάκενο
- Γωνιακή απόκλιση
- Καθαρότητα επιφάνειας κόλλησης (μόνο σε ημιμόνιμες κολλήσεις)

Για να διευκολυνθεί η κατανόηση των παραπάνω παραγόντων απωλειών παρουσιάζονται στην επόμενη εικόνα τα βασικά μέρη ενός connector. [12]



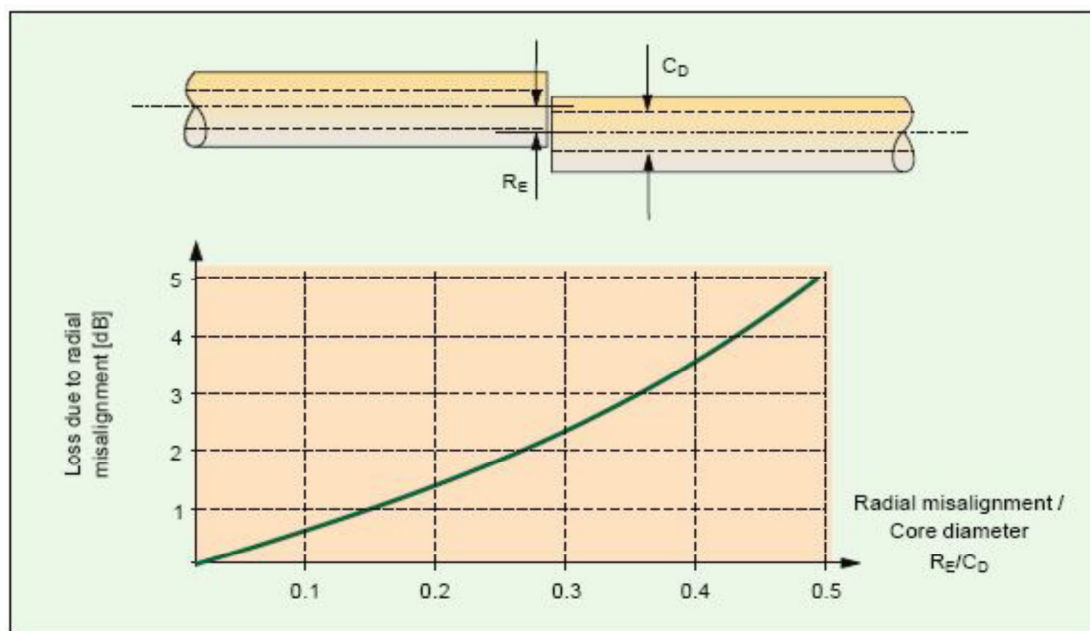
Εικόνα 8.8 Σχηματική απεικόνιση τα βασικά μέρη ενός connector.

8.2.1 ΜΗ ΟΜΟΑΞΟΝΙΚΟΤΗΤΑ

Ένας connector πρέπει να κατασκευάζεται με μεγάλη ακρίβεια. Η σπή από την οποία θα περάσει η ίνα πρέπει να βρίσκεται ακριβώς στο κέντρο του συνεκτικού δακτυλίου

(ferrule). Η οπή αυτή θα πρέπει να έχει την ίδια ακριβώς διάμετρο με την ίνα και ο συνεκτικός δακτύλιος θα πρέπει να έχει την ίδια διάμετρο με την υποδοχή που θα τοποθετηθεί. Η ακρίβεια πρέπει να είναι της τάξης των 1-2 mm. Για να μην υπάρχουν διαφορές μεταξύ της ίνας και της παραπάνω οπής, κάθε connector θα πρέπει να ελέγχεται σε σχέση με την ίνα που θα χρησιμοποιηθεί. Ο έλεγχος αυτός είναι αρκετά χρονοβόρος, αλλά άκρως απαραίτητος. Η ακτινική απόκλιση R_E εκφράζεται σε συνάρτηση με τη διάμετρο του πυρήνα της ίνας C_D .

Στην επόμενη εικόνα 8.9 παρατηρείται ότι 10% μη ομοκεντρικότητα προκαλεί σχεδόν 0.5 dB απώλεια. Για μια μονότροπη ίνα, 10% μη ομοκεντρικότητα αντιστοιχεί σε 1 μm που σημαίνει ότι απαιτείται ακρίβεια 0.5 μm για κάθε connector. Μια κόλληση μεταξύ πολύτροπων ινών 62.5/125 μm πρέπει να έχει ακρίβεια $\pm 3\mu\text{m}$ για να μην υπερβαίνουν οι απώλειες τα 0.5 dB.

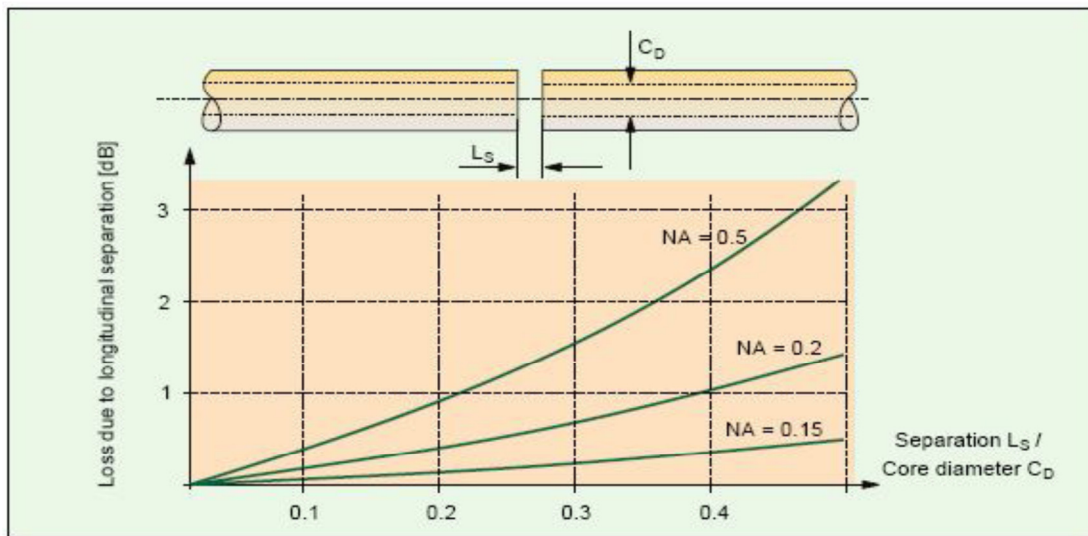


Εικόνα 8.9 Γραφική παράσταση των απωλειών σε έναν connector με μη ομοκεντρικότητα μεταξύ των δύο ινών.

8.2.2 ΔΙΑΚΕΝΟ

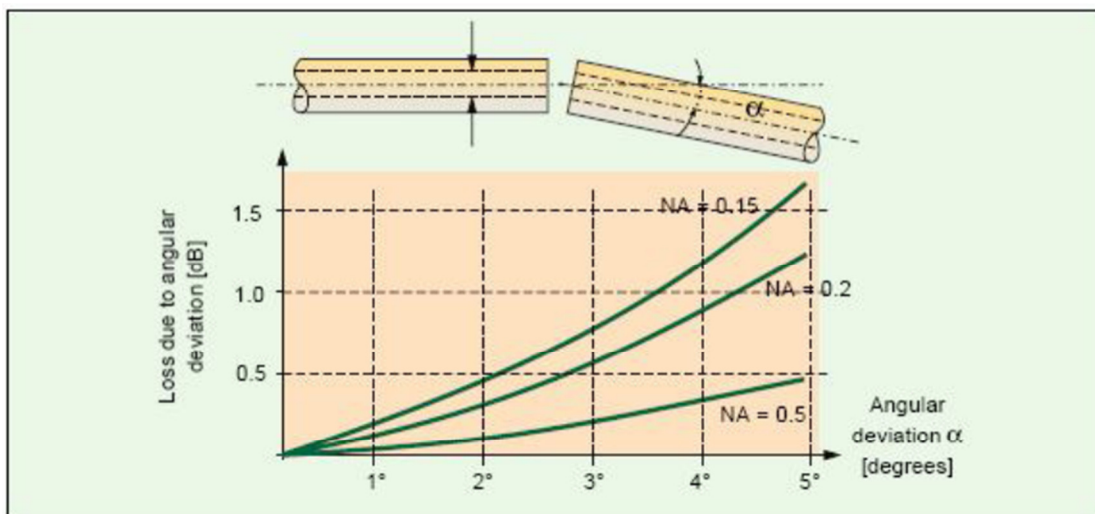
Συνήθως, το διάκενο μεταξύ των δύο άκρων των ινών είναι περίπου 1-2 mm. Η αύξηση των απωλειών σχετίζεται άμεσα με το κλάσμα του διακένου LS προς τη διάμετρο του πυρήνα C_D και με το αριθμητικό άνοιγμα της ίνας. Αύξηση του NA για σταθερό διάκενο έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση των απωλειών. Οι σύγχρονοι

connectors περιέχουν κάποια μορφή ελατηρίου στον συνεκτικό δακτύλιο, έτσι ώστε οι ίνες να συνταιριάζονται άψογα μεταξύ τους, χωρίς να υπάρχει κίνδυνος να υποστούν ζημιές. Το διάκενο επίσης αυξάνει την ανάκλαση Fresnel στην επιφάνεια διασύνδεσης. Η ανάκλαση αυτή είναι της τάξης των -14 dB αν υπάρχει διάκενο αέρα μεταξύ των δύο άκρων. Χρησιμοποιώντας έλαια με δείκτη διάθλασης πολύ κοντά σε εκείνο των άκρων των ινών για να γεμίσει το διάκενο, η ανάκλαση Fresnel μειώνεται δραματικά. [7]



Εικόνα 8.10 Γραφική παράσταση των απωλειών που οφείλονται στο διάκενο

8.2.3 ΓΩΝΙΑΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ



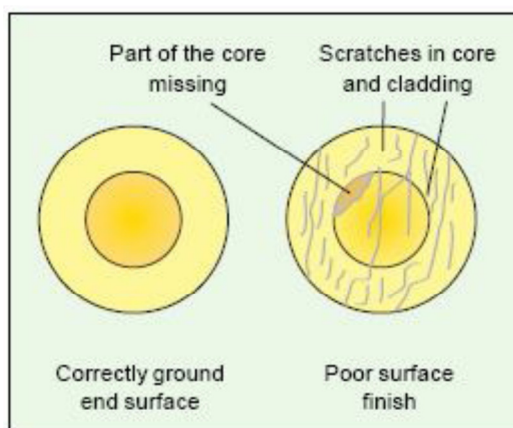
Εικόνα 8.11 Γραφική παράσταση των απωλειών που οφείλονται στη γωνιακή απόκλιση μεταξύ των τελειωμάτων των ινών.

Η γωνιακή απόκλιση μεταξύ των δύο ινών που πρόκειται να συνδεθούν, αποτελεί μια από τις σημαντικότερες παραμέτρους της διαδικασίας κόλλησης. Μετά την κοπή και τον καθαρισμό της άκρης της ίνας, πρέπει να σχηματίζεται γωνία 90° ως προς τον κεντρικό άξονά της. Όσο αυξάνεται η γωνιακή απόκλιση από τις 90° αυξάνονται και οι απώλειες. Είναι σημαντικό να παρατηρηθεί ότι σχετικά μικρό ΝΑ αυξάνει τις απώλειες που οφείλονται στη γωνιακή απόκλιση.

8.2.4 ΚΑΘΑΡΟΤΗΤΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΚΟΛΛΗΣΗΣ

Το πρώτο βήμα στη διαδικασία καθαρισμού της επιφάνειας κόλλησης είναι να απομακρυνθούν όλα τα υπολείμματα κόλλας και να δοθεί το τελικό σχήμα. Στη συνέχεια, η επιφάνεια γυαλίζεται ώστε να μην υπάρχουν μικρές γρατζουνιές.

Αν παραμείνουν μικρές ατέλειες στην επιφάνεια μέρος του διαδιδόμενου φωτός θα διασκορπίζεται, με αποτέλεσμα να μη φτάνει στο συνεκτικό δακτύλιο και να αυξάνονται οι απώλειες. [19]



Εικόνα 8.12 Όταν η επιφάνεια δεν έχει καθαριστεί άριστα παρουσιάζονται απώλειες στην κόλληση.

8.3 ΑΛΛΑ ΑΙΤΙΑ ΑΠΩΛΕΙΩΝ ΚΟΛΛΗΣΗΣ

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 δίνεται προσοχή σε παράγοντες όπως το NA και η διάμετρος πυρήνα και μανδύα να διαφέρουν το λιγότερο δυνατόν.

Μια ίνα για να κολληθεί πρέπει πρώτα να προετοιμαστεί κατάλληλα. Αρχικά, αφαιρείται κάθε πρωτεύον επίστρωμα με ειδικά εργαλεία γύμνωσης. Στη συνέχεια, η ίνα πλένεται με καθαρή αλκοόλη ή ισοπροπανόλη και τελικά κόβεται.

Το τελείωμα της ίνας, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, πρέπει να σχηματίζει γωνία 90° με τον κεντρικό άξονα. Τα σύγχρονα κολλητήρια έχουν ενσωματωμένο σύστημα για τη μέτρηση της γωνίας κοπής. Αποκλίσεις που ξεπερνούν την τιμή της 1° δεν επιτρέπονται. [17]



Εικόνα 8.13 Η ποιότητα του κόφτη που χρησιμοποιείται μπορεί συχνά να προσδιορίσει την ποιότητα μιας κόλλησης. Ένας κόφτης οπτικών ινών καλής ποιότητας, κόβει την οπτική ίνα υπό γωνία 90° χωρίς να δημιουργεί μικροατέλειες. Οι παραπάνω κόφτες κατασκευάζονται από τις εταιρίες Sumitomo (αριστερά) και Ericsson (δεξιά). Ο πρώτος κόφτης χρησιμοποιείται και για κοπή κορδελών ινών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΑΤΟ

9.1 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΤΩΝ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

Με την έναρξη της ευρείας χρήσης των οπτικών ινών για μετάδοση σημάτων, προέκυψε η ανάγκη καθορισμού τυποποιημένων διαδικασιών μέτρησης των λειτουργικών χαρακτηριστικών των οπτικών ινών.

α) Μέτρηση της εξασθένησης σε οπτικές ίνες

Η μέθοδος μέτρησης της εξασθένησης βασίζεται στη σύγκριση της εξασθένησης σε δύο ίνες. Σαν πηγή χρησιμοποιείται συμβατική πηγή φωτός με θερμαινόμενο νήμα. Το φως διαμορφώνεται κατά πλάτος μηχανικά με ένα περιστρεφόμενο μηχανικό διαμορφωτή.

β) Μέτρηση της διασποράς σε οπτικές ίνες

Για τη μέτρηση της διασποράς στις οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται δύο μέθοδοι που βασίζονται στην απόκριση στο πεδίο του χρόνου και της συχνότητας. Εξετάζουμε τις δύο μεθόδους ξεχωριστά:

Μέτρηση στο πεδίο του χρόνου

Η πηγή Laser διαμορφώνεται από ένα ταχύ διαμορφωτή. Η διάρκεια των εκπεμπόμενων παλμών είναι 100-400 ps. Το παλμικό οπτικό σήμα διαιρείται σε δύο δέσμες. Η μία δέσμη ανιχνεύεται από ένα φωτοφωρατή χιονοστιβάδας. Το σήμα αυτό χρησιμοποιείται σαν αναφορά σε ένα παλμογράφο δειγματοληψίας. Ο δεύτερος κλάδος της δέσμης οδηγείται στην ίνα και αφού ταξιδέψει σε όλο το μήκος αυτής, ανιχνεύεται από ένα φωτοφωρατή χιονοστιβάδας. Το σήμα της φώρασης παρατηρείται από τον παλμογράφο δειγματοληψίας.

Μέτρηση στο πεδίο των συχνοτήτων

Η οπτική ίνα διεγείρεται από μια πηγή LASER που διαμορφώνεται κατά πλάτος. Η διαμόρφωση είναι ημιτονική με συχνότητα που μεταβάλλεται με τον χρόνο.

γ) Μέτρηση των ανακλάσεων στο πεδίο του χρόνου

Βασίζεται στην αρχή ραντάρ, δηλαδή την εκπομπή οπτικών παλμών στην οπτική ίνα και στην συνέχεια στην παρατήρηση στον άξονα του χρόνου των ανακλώμενων σημάτων από την οπτική ίνα. Η έξοδος από ένα παλμικό LASER εισάγεται στην οπτική ίνα μέσα από ένα διαιρέτη ισχύος. Το σήμα που διαδίδεται στην οπτική ίνα υφίσταται ανακλάσεις στα σημεία ασυνέχειας.

δ) μετρήσεις του δείκτη διάθλασης σε οπτικές ίνες

Υπάρχουν τρεις μέθοδοι μέτρησης:

Μέθοδος συμβολομετρίας

Χρησιμοποιούνται συμβολομετρικά μικροσκόπια με τη βοήθεια των οποίων μετρείται ο αριθμός των κροσσών που έχουν μετατοπιστεί στο κέντρο της ίνας.

Μέθοδος παρατήρησης του εγγύς πεδίου

Χρησιμοποιείται μια διάταξη ώστε η οπτική ίνα να φωτίζεται από μια συμβατική πηγή ακτινοβολίας για να διεγερθούν όλοι οι ρυθμοί με το ίδιο ποσοστό ισχύος.

Μέθοδος σκέδασης της ακτινοβολίας

Στη μέθοδο αυτή η ίνα φωτίζεται κάθετα στον άξονα της από μια σύμφωνη πηγή ακτινοβολίας. Καταγράφοντας την ένταση της συσκευαζόμενης ισχύος είναι δυνατόν να μετρηθεί η κατανομή του δείκτη διάθλασης. [17]

9.2 ΤΕΡΜΑΤΙΚΑ ΚΑΙ ΟΠΤΙΚΟΙ ΚΑΤΑΝΕΜΗΤΕΣ (LT – ODF)

Τα εξαρτήματα αυτά αποτελούν το interface (διεπαφή) μεταξύ του εξοπλισμού μετάδοσης και του δικτύου οπτικών ινών. Η κύρια λειτουργία τους είναι η οργάνωση και ο τερματισμός της ίνας στο σημείο που η ίνα από τον εξοπλισμό μετάδοσης συναντά την ίνα από το δίκτυο πρόσβασης.

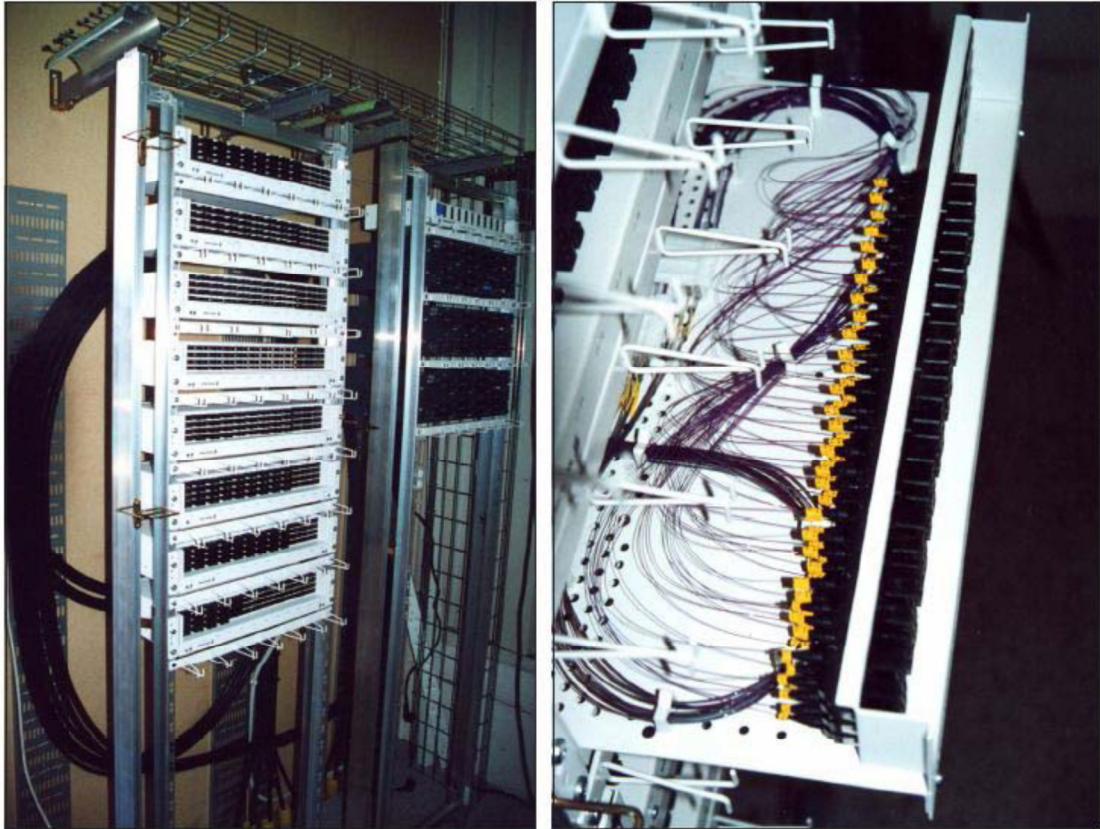
LT, ODF και FDF

Τα εξαρτήματα αυτά τοποθετούνται κυρίως όταν έχουμε δύο εισερχόμενα καλώδια πολλών ινών με ένα σύνολο 48 ινών. Σε περίπτωση μονότροπων οπτικών ινών, τα εξαρτήματα αυτά παραδίδονται τερματισμένα από πριν με ένα συγκεκριμένο μήκος ελεύθερου καλωδίου (καθορίζεται από τον αγοραστή) και είναι έτοιμα προς τοποθέτηση μαζί με τον εξοπλισμό για τη μετάδοση. Οι ίνες τερματίζονται με διάφορους τύπους συνδετήρων (FC/PC ή FC) ή με συνδετήρες πολλών ινών MT ή MTRJ. [15]



Εικόνα 9.1 Προτερματισμένο ODF

Τα εξαρτήματα αυτά μπορούν να εισαχθούν σε racks των 19 ιντσών. Με τον τρόπο αυτό μπορούν να τραβηχτούν προς τα έξω σε περίπτωση που θέλουμε να εργαστούμε πάνω στον ίδιο καταναεμητή.



Εικόνα 9.2 Παράδειγμα rack κατανομιστών που μπορεί να εξυπηρετήσει τον τερματισμό ακόμα και 2.000 οπτικών ινών.

9.3 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ – ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Προκειμένου να είναι κατάλληλη η χρήση μιας οπτικής ίνας ή ενός συστήματος οπτικής ίνας για μία μετάδοση εκτελούνται διάφορες βασικές μετρήσεις.

- Οπτική απώλεια σύνδεσης από άκρη σε άκρη
- Ποσοστό εξασθένησης ανά μονάδα μήκους
- Συμβολή εξασθένησης στις συνδέσεις - συνδετήρες
- Μήκος της ίνας ή της απόστασης σε ένα συμβάν
- Γραμμικότητα της απώλειας ίνας ανά μονάδα μήκους
- Συντελεστής ανάκλασης
- Χρωματική διασπορά X
- Διασπορά τρόπου πόλωσης X
- Καμπύλη εξασθένησης

- Εύρος ζώνης

Κάποιες άλλες μετρήσεις είναι συχνά λιγότερο σημαντικές, εκτός από μερικές συγκεκριμένες εφαρμογές. Μερικές μετρήσεις απαιτούν πρόσβαση μόνο στο ένα άκρο. Οι τεχνικές μέτρησης με απαίτηση πρόσβασης μόνο σε ένα άκρο είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρουσες για τον τομέα εφαρμογών, διότι αυτές οι μετρήσεις μειώνουν το χρόνο που ξοδεύεται για το ταξίδι από το ένα άκρο του καλωδίου στο άλλο.

9.4 Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΟDTR

Ένα OTDR συνδυάζει μια πηγή laser και έναν ανιχνευτή laser προκειμένου να παρέχει μια εικόνα του εσωτερικού της οπτικής ίνας. Η πηγή στέλνει ένα σήμα στην ίνα που και ο ανιχνευτής λαμβάνει το φως που ανακλάται από τα διάφορα στοιχεία του δικτύου. Αυτό παράγει μια καμπύλη σε μια γραφική παράσταση με βάση το σήμα που λαμβάνεται και έναν πίνακα συμβάντων, ο οποίος περιέχει πληροφορίες για καθετί που υπάρχει πάνω στο οπτικό δίκτυο. Το σήμα που στέλνεται είναι ένας στενός παλμός που μεταφέρει ένα ορισμένο ποσό ενέργειας.

Ένας χρονομετρητής υπολογίζει με ακρίβεια τον χρόνο διάδοσης του παλμού, ο οποίος στη συνέχεια μετατρέπεται σε απόσταση γνωρίζοντας τα χαρακτηριστικά της συγκεκριμένης ίνας. Καθώς ο παλμός ταξιδεύει κατά μήκος της ίνας, ένα μέρος της ενέργειας επιστρέφει στον ανιχνευτή εξαιτίας της ανάκλασης από τις συνδέσεις και της ίδιας της ίνας. Όταν ένας παλμός επιστρέφει ολοκληρωτικά στον ανιχνευτή, άλλος ένας στέλνεται μέχρι να ολοκληρωθεί η συλλογή δεδομένων.

Αυτό σημαίνει ότι γίνονται πολλές μετρήσεις διαδοχικά η μία μετά την άλλη και υπολογίζοντας την μέση τιμή τους προκύπτει μια καλύτερη εικόνα των συμβάντων πάνω στην οπτική ίνα. Μόλις ολοκληρωθεί η συλλογή δεδομένων, πραγματοποιείται η επεξεργασία τους προκειμένου να υπολογιστεί η απόσταση, η εξασθένιση και το μέγεθος της ανάκλασης σε κάθε συμβάν, όπως επίσης και ο υπολογισμός του συνολικού μήκους, της συνολικής εξασθένισης και το ORL της οπτικής ίνας. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της χρήσης ενός OTDR είναι ότι απαιτείται μόνο ένα άτομο για να τεκμηριώσει ή να ελέγξει ένα δίκτυο. [9]

Το όργανο αυτό εξαπολύει συρμό οπτικών παλμών μέσα στην υπό εξέταση ίνα. Επίσης, είναι δυνατή η εξαγωγή φωτός από το ίδιο σημείο της ίνας, το οποίο σκεδάζεται και ανακλάται κατά την αντίθετη κατεύθυνση μετάδοσης του σήματος σε σημεία της οπτικής ίνας, όπου ο δείκτης διάθλασης μεταβάλλεται (παρόμοια λειτουργία με ένα ηλεκτρονικό time-domain reflectometer που υπολογίζει τις ανακλάσεις, οι οποίες παρουσιάζονται λόγω μεταβολών στην εμπέδηση του καλωδίου που μελετάται). Η ισχύς των παλμών που επιστρέφουν υπολογίζεται και μελετάται ως συνάρτηση του χρόνου, ενώ αναπαρίσταται γραφικά ως συνάρτηση του μήκους της οπτικής ζεύξης.

Μια συσκευή OTDR μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση του μήκους της οπτικής ζεύξης και τον υπολογισμό της συνολικής εξασθένησης, συμπεριλαμβανομένων των απωλειών στις κολλήσεις και τους συνδετήρες. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης στον εντοπισμό σφαλμάτων, όπως κάποιο σπάσιμο της οπτικής ίνας, και στον υπολογισμό των οπτικών απωλειών επιστροφής.

Πέραν των ειδικών οπτικών και ηλεκτρονικών διατάξεων που περιέχουν, οι συσκευές OTDR χαρακτηρίζονται από σημαντική υπολογιστική ισχύ και δυνατότητα γραφικής αναπαράστασης πειραματικών αποτελεσμάτων, ώστε να μπορούν να παρέχουν ικανοποιητικά επίπεδα αυτοματισμού στις δοκιμές που χρησιμοποιούνται. Ωστόσο, η σωστή χρήση και επεξήγηση των πειραματικών αποτελεσμάτων μιας συσκευής OTDR απαιτεί ακόμη ειδική εκπαίδευση σε τεχνικό επίπεδο αλλά και εμπειρία.

Οι συσκευές OTDR χρησιμοποιούνται συνήθως στον χαρακτηρισμό των απωλειών και του μήκους μιας οπτικής ίνας καθώς αυτή περνά από τα στάδια της αρχικής παραγωγής, το σχηματισμό καλωδίων, την αποθήκευσή της γύρω από ειδικά τύμπανα, την τοποθέτησή της και την ένωσή της με ήδη υφιστάμενες ίνες. Το τελευταίο στάδιο δοκιμής της οπτικής ίνας που έχει εγκατασταθεί σε ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα είναι και το πιο ενδιαφέρον, αφού μπορεί να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα σε ζεύξεις υπερβολικά μεγάλων αποστάσεων ή σε μικρή περιοχή ίνας όπου έχουν συμβεί πολλές κολλήσεις ή σε ίνες που έχουν διαφορετικά οπτικά χαρακτηριστικά και συνδέονται μεταξύ τους.

Τα αποτελέσματα των πειραματικών δοκιμών με τη συσκευή OTDR συνήθως αποθηκεύονται με προσοχή σε περίπτωση μελλοντικού σφάλματος στην ίνα. Τα

σφάλματα αυτά μπορεί να αποβούν πολύ ακριβά τόσο από πλευράς κόστους για την επισκευή τους, όσο και από πλευράς απώλειας υπηρεσιών. [17]

Οι συσκευές OTDR χρησιμοποιούνται επίσης πολύ συχνά για την ανεύρεση σφαλμάτων σε εγκατεστημένα συστήματα. Στην περίπτωση αυτή, η αναφορά στα αποτελέσματα του OTDR κατά την εγκατάσταση του συστήματος είναι πολύ χρήσιμη, ώστε να καθοριστούν με μεγάλη ακρίβεια οι περιοχές στις οποίες έχουν γίνει αλλαγές. Κατά συνέπεια, η χρήση μιας συσκευής OTDR χρειάζεται έναν έμπειρο χειριστή, ο οποίος είναι σε θέση να κρίνει με ορθότητα τις απαραίτητες ρυθμίσεις στο όργανο για να εντοπισθεί με ακρίβεια η αιτία του προβλήματος που έχει προκύψει. Μάλιστα, σε περιπτώσεις μεγάλων αποστάσεων, πολλών κολλήσεων ή ενώσεων σε μικρές αποστάσεις και σε δίκτυα PON, ο έμπειρος χειρισμός είναι καθοριστικής σημασίας.

Οι συσκευές OTDR είναι διαθέσιμες στο εμπόριο σε ποικιλία υποδοχών οπτικών ινών και μηκών κύματος, ώστε να μπορούν να χρησιμοποιούνται στις δοκιμές των πιο συνηθισμένων τύπων διατάξεων. Γενικότερα, οι δοκιμές με ένα όργανο OTDR σε μεγάλα μήκη κύματος όπως 1550 nm ή 1625 nm, μπορούν να πραγματοποιηθούν για τον χαρακτηρισμό της εξασθένησης της ίνας που προκαλείται από την ίδια την οπτική ίνα σε αντίθεση με τις περισσότερο κοινές απώλειες λόγω συγκολλήσεων ή ενώσεων.

Το οπτικό δυναμικό εύρος ενός OTDR περιορίζεται από τον συνδυασμό της ισχύος εξόδου των οπτικών παλμών, του εύρους των οπτικών παλμών, την ευαισθησία εισόδου (input sensitivity) και τον χρόνο εξέλιξης του σήματος.

Ένας πιο ευρύς παλμός laser μπορεί να βελτιώσει τη δυναμική περιοχή και την ακρίβεια υπολογισμού της εξασθένησης εις βάρος της ακρίβειας σε απόσταση. Για παράδειγμα, με τη χρήση ενός παλμού μεγάλου εύρους είναι εφικτό να μετρήσουμε την εξασθένηση του σήματος σε απόσταση μεγαλύτερη των 100 km, αν και στην περίπτωση αυτή ένα οπτικό γεγονός μπορεί να εμφανίζεται για πάνω από 1 km.

Το σενάριο αυτό είναι πολύ χρήσιμο για το συνολικό χαρακτηρισμό μιας ζεύξης, αλλά θα μπορούσε να είναι λιγότερο σημαντικό στην περίπτωση που προσπαθούμε να αναγνωρίσουμε λάθη. [16]

Ένας παλμός μικρού εύρους θα μπορούσε να βελτιώσει την ακρίβεια της απόστασης σε οπτικά γεγονότα, αλλά θα μείωνε το υπολογιστικό εύρος και την ανάλυση των υπολογισμών εξασθένησης της ίνας. Το φαινομενικό μήκος μετρήσεως ενός οπτικού γεγονότος αναφέρεται ως νεκρή ζώνη (dead zone).

Η νεκρή ζώνη του OTDR είναι ένα πολύ ενδιαφέρον θέμα για τους χειριστές. Η ζώνη αυτή χωρίζεται σε δύο κατηγορίες. Από τη μια, η «νεκρή ζώνη γεγονότος» σχετίζεται με ένα διακριτό, ανακλαστικό οπτικό γεγονός. Στην περίπτωση αυτή, ο υπολογισμός της νεκρής ζώνης εξαρτάται από τον συνδυασμό του παλμικού εύρους και το μέγεθος της ανάκλασης. Από την άλλη, η «νεκρή ζώνη εξασθένησης» σχετίζεται με ένα μη ανακλαστικό φαινόμενο. Σε αυτήν την περίπτωση, ο υπολογισμός της νεκρής ζώνης εξαρτάται και πάλι από τον συνδυασμό των παλμικών ευρών .

Ο μεγάλος χρόνος εξέλιξης του οπτικού σήματος αυξάνει την ευαισθησία του OTDR με τον κατά μέσο όρο υπολογισμό της εξόδου στον δέκτη. Η ευαισθησία αυξάνεται με την τετραγωνική ρίζα του χρόνου μετάδοσης του οπτικού σήματος. Συμπερασματικά, αν ο χρόνος μετάδοσης αυξάνεται κατά 16 φορές, η ευαισθησία αυξάνεται κατά έναν παράγοντα 4. Το γεγονός αυτό θέτει και ένα όριο ευαισθησίας, με χρόνους μετάδοσης από δευτερόλεπτα μέχρι μερικά λεπτά.

Το δυναμικό εύρος ενός OTDR χαρακτηρίζεται συνήθως ως το επίπεδο εξασθένησης όπου το μετρούμενο σήμα χάνεται στα επίπεδα του θορύβου ανίχνευσης για έναν συγκεκριμένο συνδυασμό παλμικού εύρους και χρόνου μετάδοσης σήματος. Αυτός ο αριθμός είναι εύκολο να συναχθεί με την μελέτη του ίχνους εξόδου του OTDR και είναι πολύ χρήσιμος για συγκρίσεις, όμως δεν είναι τόσο χρήσιμος πρακτικά, αφού σε αυτό το σημείο οι μετρούμενες τιμές είναι τυχαίες. [17]

Για τον λόγο αυτόν λοιπόν, το πρακτικό εύρος τιμών μέτρησης είναι μικρότερο, ανάλογα με την ακρίβεια που επιδιώκεται για τον υπολογισμό της εξασθένησης. Όταν χρησιμοποιούμε ένα OTDR για να υπολογίσουμε την εξασθένηση που παρουσιάζεται σε πολλαπλές ενώσεις οπτικών ινών, το ίχνος εξόδου μπορεί να δείξει εσφαλμένα ότι μια σύνδεση παρουσιάζει κέρδος αντί για απώλειες.

Ο λόγος που γίνεται αυτό είναι ότι οι γειτονικές οπτικές ίνες μπορεί να έχουν διαφορετικούς συντελεστές σκέδασης κατά την αντίθετη κατεύθυνση μετάδοσης του

σήματος, οπότε η δεύτερη κατά σειρά ίνα ανακλά περισσότερο φως σε σύγκριση με την πρώτη ίνα με την ίδια ποσότητα φωτός να περνά από αυτές. Εάν το OTDR τοποθετηθεί στο άλλο άκρο του οπτικού αυτού ζεύγους, θα καταγράψει αφύσικα μεγάλες απώλειες στην οπτική αυτή ένωση.

Ωστόσο, αν τα δύο σήματα συνδυαστούν στη συνέχεια, θα λάβουμε τη σωστή τιμή εξασθένησης. Για το λόγο αυτό, μια συνήθης πρακτική με τα OTDR είναι να υπολογίζουμε και να συνδυάζουμε τις τιμές εξασθένησης και από τα δύο άκρα της οπτικής ζεύξης, ώστε να λάβουμε πιο ακριβείς μετρήσεις των απωλειών στις ενώσεις και της συνολικής εξασθένησης.

Η θεωρητική ακρίβεια υπολογισμού της απόστασης ενός OTDR είναι εξαιρετική, μιας και βασίζεται σε ειδικό software και ρολόι κρυστάλλων με εγγενή ακρίβεια καλύτερη του 0.01%. Η τυπική ακρίβεια υπολογισμού του μήκους του οπτικού καλωδίου περιορίζεται στο 1% μόλις, αφού το μήκος του καλωδίου δεν είναι το ίδιο με το μήκος της οπτικής ίνας. Επίσης, η ταχύτητα του φωτός μέσα στην οπτική ίνα είναι γνωστή με μικρή ακρίβεια και οι δείκτες του μήκους του καλωδίου έχουν και αυτοί με τη σειρά τους μικρή ακρίβεια (0.5%-1 %).

Τα περισσότερα σύγχρονα OTDR εκτελούν πλήρως αυτόματα τις μετρήσεις με περιορισμένη ανάγκη επέμβασης από τον χειριστή. Ένα OTDR μπορεί να κάνει τις ακόλουθες μετρήσεις. [15]

Για κάθε συμβάν:

- Θέση απόστασης
- Απώλεια
- Συντελεστής ανάκλασης

Για κάθε τμήμα της ίνας:

- Μήκος κύματος
- Απώλεια τμήματος
- Ρυθμός απώλειας τμήματος
- Οπτική απώλεια καταστροφής του τμήματος

Για πλήρες τερματισμένο σύστημα:

- Μήκος συνδέσεων
- Συνολική απώλεια συνδέσεων
- ORL της σύνδεσης

Το OTDR επιτρέπει στους τεχνικούς να εκτελούν τις μετρήσεις ινών με τρεις διαφορετικούς τρόπους:

Αυτόματη λειτουργία

Χρησιμοποιώντας την αυτόματη λειτουργία το όργανο εντοπίζει και μετρά όλα τα συμβάντα, τα τμήματα και τα άκρα των ινών αυτόματα χρησιμοποιώντας έναν εσωτερικό αλγόριθμο. [17]

Ημιαυτόματη λειτουργία

Όταν επιλέγεται η ημιαυτόματη λειτουργία, το OTDR μετράει και αναφέρει ένα συμβάν σε κάθε θέση που έχει τοποθετηθεί ένας δείκτης. Αυτοί οι δείκτες μπορούν να τοποθετηθούν αυτόματα ή με το χέρι.

Χειροκίνητη λειτουργία

Για ακόμη πιο λεπτομερή ανάλυση, οι τεχνικοί ελέγχουν πλήρως τη λειτουργία μέτρησης με το χέρι. Σε αυτήν την περίπτωση, ο τεχνικός τοποθετεί δύο ή περισσότερους δρομείς στην οθόνη προκειμένου να ελεγχθεί ο τρόπος που μετρά το συμβάν. Ανάλογα με την παράμετρο που μετριέται, ο τεχνικός μπορεί να χρειαστεί να τοποθετήσει μέχρι και πέντε δρομείς προκειμένου να εκτελεστεί μια μέτρηση.

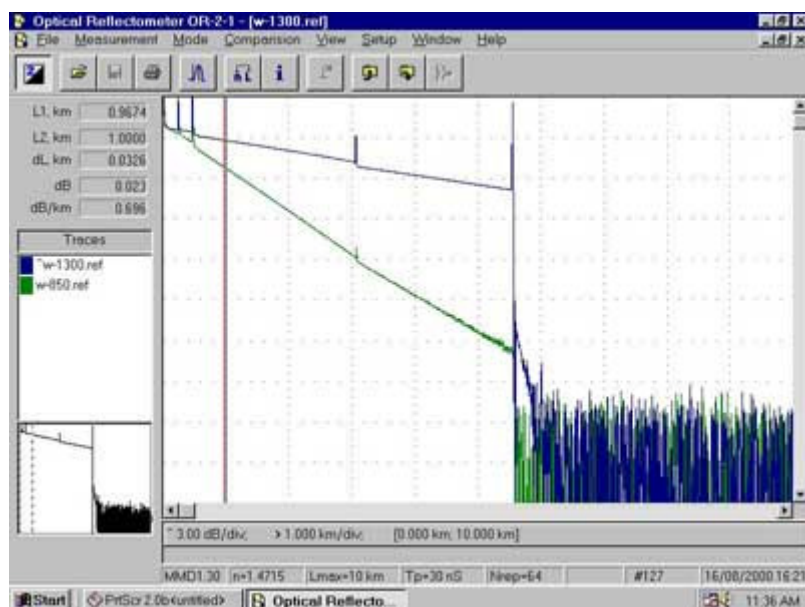
Υπάρχουν πολλές πληροφορίες στην οθόνη ενός OTDR. Ο οριζόντιος άξονας δείχνει μήκος σε KM ενώ ο κάθετος απώλεια σε dB. Η κλίση του ίχνους δίνει τον συντελεστή εξασθένησης στην ίνα σε dB/Km.

Για να μετρηθεί ο συντελεστής εξασθένησης σε ένα καλώδιο οπτικής ίνας χρειάζεται ένα αρκετά μακρύ καλώδιο και στη μέτρηση να μην υπάρχουν παραμορφώσεις στα άκρα (που οφείλονται είτε στην διακριτική ικανότητα (resolution) του οργάνου είτε σε υπερφόρτωση λόγω ισχυρών αντανακλάσεων). Αν η ίνα δείχνει σημάδια μη

γραμμικότητας σε κάποιο από τα άκρα, ειδικά κοντά σε ανακλάσεις π.χ. από συνδετήρες, τότε δεν πρέπει να συμπεριληφθεί εκείνη η περιοχή στον υπολογισμό των απωλειών. [16]

Στη γλώσσα των OTDR, οι συνδετήρες και οι συγκολλήσεις αναφέρονται ως γεγονότα (events). Και τα δύο εμφανίζουν απώλεια, ειδικά όμως οι συνδετήρες και οι μηχανικές συγκολλήσεις παρουσιάζουν και μια τοπική κορυφή, η οποία οφείλεται σε ανάκλαση και ξεχωρίζει τα γεγονότα αυτά από τις συγκολλήσεις σύντηξης (fusion splices), οι οποίες παρουσιάζουν μόνο απώλεια.

Το ύψος των κορυφών δείχνει το ποσό της ανάκλασης στο γεγονός, εκτός αν είναι τόσο ισχυρή που να οδηγεί το όργανο στον κόρο (saturation). Σε αυτήν την περίπτωση, η κορυφή θα έχει ένα πλάτος στην άκρη της καθώς και μια ουρά στο μακρινό άκρο. Το πλάτος της κορυφής δείχνει την ανάλυση του οργάνου σε μήκος και το πόσο κοντινά γεγονότα μπορεί να αναγνωρίσει.

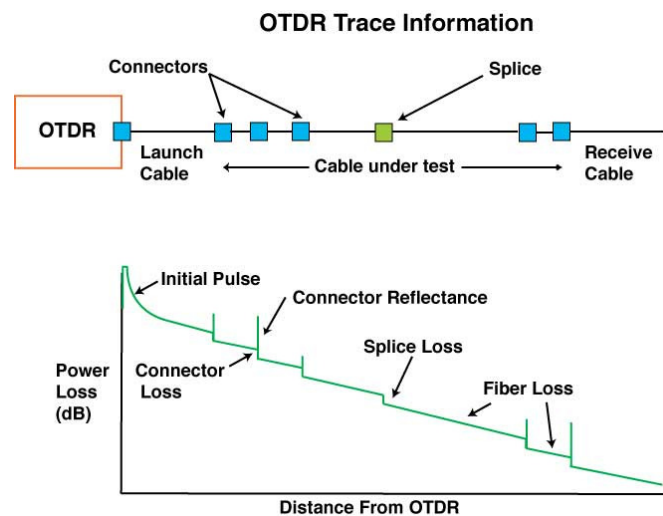


Εικόνα 9.3 Απόδοση Οθόνης OTDR.

Η περιορισμένη δυνατότητα ενός OTDR να βλέπει σε μικρές αποστάσεις, κάνει τη χρήση του δύσκολη σε τοπικά δίκτυα και σε κτιριακές εγκαταστάσεις που τα μήκη αντιστοιχούν σε μερικές εκατοντάδες μέτρα.

Ένα OTDR δεν έχει τη διακριτική ικανότητα να αναδείξει γεγονότα σε κοντά καλώδια και είναι πολύ πιθανό να δείχνει ανακλάσεις που δεν υπάρχουν όντως σε συνδετήρες, τόσο συχνά που να μπερδεύει τον χειριστή. [17]

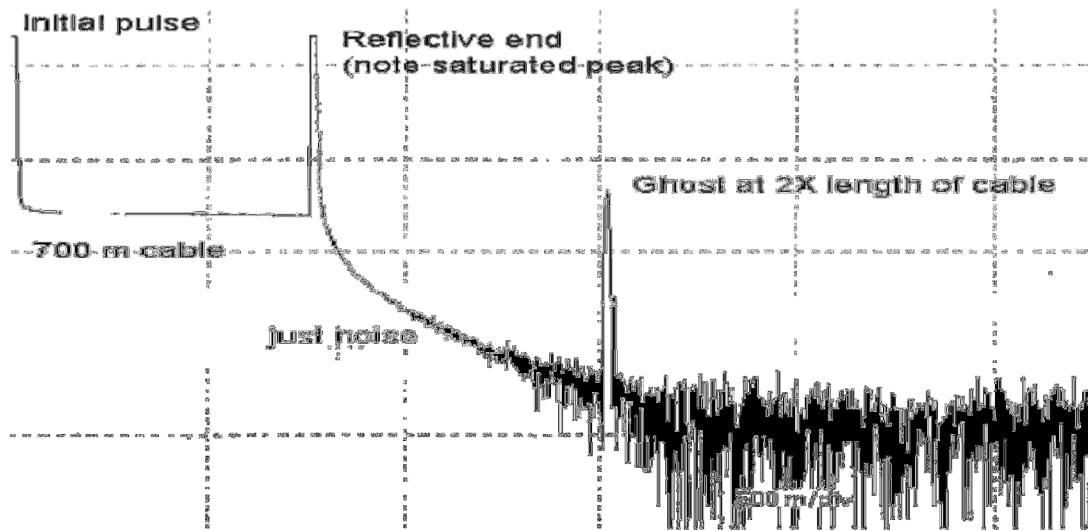
Για τη σωστή λειτουργία ενός συστήματος οπτικών ινών είναι σημαντικό να υπάρχει αρκετή οπτική ισχύς, όχι όμως υπερβολικά πολλή. Η χαμηλή ισχύς έχει σαν αποτέλεσμα ο δέκτης να μην μπορεί να αναγνωρίσει το σήμα. Η υπερβολική ισχύς μπορεί να υπεροδηγήσει τον δέκτη και να δημιουργήσει σφάλματα.



Εικόνα 9.4: OTDR Trace Information

Οι ψεύτικες ανακλάσεις Fresnel, τα φαντάσματα, στο ίχνος μπορούν να παρατηρηθούν κατά διαστήματα. Τα φαντάσματα αυτά μπορούν να είναι το αποτέλεσμα ενός ισχυρού αντανακλαστικού συμβάντος στην ίνα που προκαλεί ένα μεγάλο ποσό ανακλώμενου φωτός που στέλνεται πίσω στο OTDR, μια ανακριβής ρύθμιση κλίμακας.

Και στις δύο περιπτώσεις, το φάντασμα μπορεί να προσδιοριστεί δεδομένου ότι καμία απώλεια δεν υφίσταται όπως τα περάσματα σημάτων μέσω αυτού του συμβάντος. Στην πρώτη περίπτωση, η απόσταση που το φάντασμα εμφανίζεται κατά μήκος του ίχνους είναι ένα πολλαπλάσιο της απόστασης του ισχυρού ανακλαστικού συμβάντος από το OTDR. [15]



Εικόνα 9.5 Σχηματική απεικόνιση φαντασμάτων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ChongFu, Z. Kun, Q. and Bo, X. (2007). “*Passive optical networks based on optical CDMA: Design and system analysis*”, Chinese Science Bulletin, Vol. 52, No. 1, pp. 118-126
2. David, R.G. *Ένας πρακτικός οδηγός* Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ. Θεσσαλονίκη
3. Govind, P., A. *Συστήματα επικοινωνιών με οπτικές* Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ. Θεσσαλονίκη
4. Hadjifotiou, T., Grace, D., Tuomi. I. (2005). *BROADBAND in Europe for All: A Multidisciplinary Approach. Second report on the multitechnological analysis of the ‘broadband for all’ concept, focus on the listing of multi-technological key issues and practical roadmaps on how to tackle these issues.*
5. Keiser, G. (2003). *Optical Communication Essentials*. New York: McGraw – Hill Professional.
6. Keiser, G. (2006). *FTTX Concepts and Applications*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
7. Kramer, G., Pesavento, G. (2002). “Ethernet Passive Optical Network (EPON) Building a Next-Generation Optical Access Network”, *IEEE Communications Magazine*, pp. 66- 73
8. Kuran M., Tugcu, T. (2007). “*A survey on emerging broadband wireless access technologies*”, Elsevier, *Computer Networks*, vol. 51, no. 11, pp. 3013-3046.
9. Αβραμίδη, Μ., Λαθούρας, (2012). Μ. *Fiber To The Home (FTTH) -Μετρήσεις Οπτικών Ινών με μηχανήμα OTDR σε καταναλωτή οπτικού δικτύου*. Πτυχιακή Εργασία. Τμήμα Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων και Δικτύων. Α.ΤΕΙ Μεσολογίου
10. Αλεξανδρή, Α., "ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ", Εκδόσεων "ΙΩΝ"
11. Βενιέρης, Ι., Στ. (2003). «*Δίκτυα Ευρείας Ζώνης*», Εκδόσεις Τζιόλα,
12. Βενιέρης, Ι., Στ. Νικολούζου, Ε. (2003). «*Τεχνολογίες Διαδικτύου*», Εκδόσεις Τζιόλα,
13. Γαλανάκης Μ., (2009). *Χρήση OTDR & ενίσχυση Raman σε μητροπολιτικές ζεύξεις μονότροπων οπτικών ινών*. Διπλωματική Εργασία. Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών. Πάτρα

14. Γαλανάκης, Ν.(2008). *Ανάλυση και ανάπτυξη Μεθόδων Σχεδίασης Οπτικών Ευρυζωνικών Δικτύων Νέας Γενιάς* Διπλωματική Εργασία. Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Υπολογιστών. ΕΜΠ, Αθήνα
15. Γεωργίου, Γ.(2012). *Μελέτη και σχεδίαση πομποδέκτη μέσω μιας οπτικής ίνας*. Πτυχιακή Εργασία. Τμήμα Αυτοματισμού Α.ΤΕΙ Πειραιά
16. Γκότσης, Σ., Πουλόπουλος, Γ., (2010). *Αξιολόγηση Τμήματος Μητροπολιτικού Δικτύου Οπτικών Ινών Πελοποννήσου ,Μοντελοποίηση και Προτάσεις για Τυχόν Βελτιώσεις του* . Πτυχιακή Εργασία. Τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής & Πολυμέσων. Α.ΤΕΙ Κρήτης.
17. Καψάλης, Χ., Π. Κωστής. *Κεραίες ασύρματης ζεύξης* Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ
18. Κώτσος, Β., (2001). «*Συστήματα επικοινωνιών με οπτικές ίνες*», Εκδόσεις Τζιόλα, Αθήνα
19. Λαγογιάννης, Γ., Αλεξόπουλος Α. (2015). *Τηλεπικοινωνίες και Δίκτυα Υπολογιστών*. Εκδ 9. ISBN: 978-618-82021-0-8
20. Μεντεσίδης, Ν., Γιαλαμπρινός, Σ. (2010). *Δίκτυα Οπτικών Ινών και Τεχνολογίες FTTH*. Πτυχιακή Εργασία. Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών Α.ΤΕΙ Καβάλας
21. Ουζουνόγλου, Ν., Κ.. *Τηλεπικοινωνίες οπτικών ινών*. Εκδόσεις ΣΥΜΕΩΝ

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

ΙΤΥ. Υπηρεσίες Προώθησης Ευρυζωνικότητας. Άρθρα για την ευρυζωνικότητα.
Διαθέσιμο στο: <http://broadband.cti.gr/el/evrizonikotita/evrizonikotita.php>.

<http://images.yourdictionary.com/fiber-optics-glossary>

<http://images.yourdictionary.com/fiber-optics-glossary>

http://broadband.cti.gr/el/evrizonikotita/fiber_optics.php

<http://users.sch.gr/moikonom/tesyd/index.html>

<http://mainpump.com/news/roadbuilding/3377.htm>

<http://www.sharpconcretecutters.co.nz/microtrenching.html>

<http://www.adslgr.com/forum/attachment.php?attachmentid=77473&d=1285337420>

<http://www.adslgr.com/forum/attachment.php?attachmentid=77471&d=1285337420>

http://broadband.cti.gr/el/news/read_news.php?id=3127

<http://www.fiberoptics.gr/diafora/ThessPolis2005Mic.JPG>

<http://www.graybar.com/applications/energy-solutions/intelligent-utility/corning/ftth>