



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Οπτική ίνα και εφαρμογές"

"Fiber optics and applications"

ΦΟΙΤΗΤΗΣ:

ΣΤΑΥΡΟΠΟΥΛΟΣ ΜΑΡΙΟΣ (1102)

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΠΑΡΑΣΚΕΥΑΣ ΜΙΧΑΗΛ

ΠΑΤΡΑ 2022

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
ABSTRACT.....	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ	
1.1 Ιστορική αναδρομή.....	6
1.2 Ορισμός και επεξήγηση της οπτικής ίνας	8
1.3 Οι οπτικές ίνες στις ενσύρματες επικοινωνίες.....	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΟΠΤΙΚΗΣ ΙΝΑΣ	
2.1 Δομή οπτικής ίνας.....	14
2.2 Τύποι οπτικών ινών.....	15
2.3 Βασική αρχή λειτουργίας.....	19
2.4 Χαρακτηριστικά μεγέθη οπτικών ινών.....	20
2.5 Απώλεια σήματος στις οπτικές ίνες.....	23
2.6 Καλώδια οπτικών ινών.....	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΔΙΚΤΥΑ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ	
3.1 Εισαγωγή.....	34
3.2 Η επικοινωνία στα δίκτυα οπτικών ινών.....	35
3.3 Δομή δικτύου.....	36
3.4 Αρχιτεκτονική δικτύων οπτικών ινών.....	46
3.4.1 Ενεργό Οπτικό Δίκτυο (Active Optical Network, AON).....	49
3.4.2 Παθητικό Οπτικό Δίκτυο (Passive Optical Network, PON).....	50
3.4.3 Δίκτυα Fiber To The x.....	55
3.5 Προβλήματα κατά την μετάδοση μέσω οπτικών ινών.....	58
3.6 Πλεονεκτήματα οπτικών δικτύων σε σχέση με συμβατικά δίκτυα.....	61
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΟΠΤΙΚΗΣ ΙΝΑΣ	
4.1 Πεδία χρήσης οπτικών ινών	64
4.1.1 Τηλεπικοινωνίες.....	64
4.1.2 Υπολογιστές.....	65
4.1.3 Ιατρική επιστήμη.....	66
4.1.4 Μετρητική τεχνολογία.....	67
4.1.5 Συστήματα ελέγχου βιομηχανίας.....	68
4.1.6 Στρατιωτικές επικοινωνίες.....	69
4.1.7 Ασφάλεια και επιτήρηση.....	70

4.1.8 Διακόσμηση.....	71
4.2 Πλεονεκτήματα οπτικών ινών.....	72
4.3 Η ΔΕΗ και οι συνεργασίες στις τηλεπικοινωνίες.....	74
4.4 Ο εθνικός στόχος για ανάπτυξη οπτικής ίνας.....	74
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ.....	78
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	81

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η οπτική ίνα στις μέρες μας έχει ενεργό ρόλο στην ανάπτυξη της τεχνολογίας στα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα. Οι εφαρμογές της αυξάνονται με αλματώδη ρυθμό και η σημαντικότητά της την καθιστά αντικείμενο συνεχούς ερευνητικής μελέτης. Στο πλαίσιο αυτό εντάσσεται και η παρούσα πτυχιακή εργασία.

Στόχοι της αποτελούν η ανασκόπηση της αρχής λειτουργίας και της δομής της οπτικής ίνας, η αναφορά στα δίκτυα οπτικών ινών και στις τεχνολογίες τις οποίες χρησιμοποιείται, η παρουσίαση των εφαρμογών της και των μελλοντικών τάσεων και τεχνολογιών.

ABSTRACT

Fiber optics nowadays has an active role in the development of technology in telecommunication networks. Its applications are growing at a rapid pace and its importance makes it the subject of continuous research. This dissertation is part of this thesis.

Its objectives are to review the principle of operation and structure of fiber optics, to report on fiber optic networks and the technologies used, to present its applications and future trends and technologies.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

1.1 Ιστορική αναδρομή

Η καθοδήγηση του φωτός από τη διάθλαση, η αρχή που καθιστά την λειτουργία των οπτική ινών πιθανή, καταδείχθηκε αρχικά στο Λονδίνο το 1870, με τον ιρλανδό εφευρέτη John Tyndall που χρησιμοποιώντας μια υδάτινη φλέβα, που έρεε από ένα δοχείο προς ένα άλλο και μια δέσμη φωτός, απέδειξε ότι το φως ανακλάται εσωτερικά για να ακολουθήσει τη συγκεκριμένη διαδρομή της υδάτινης φλέβας.

Όπως απεικονίζει και η παρακάτω εικόνα, το απλό αυτό πείραμα ήταν το πρώτο βήμα της έρευνας για την κατευθυνόμενη εκπομπή φωτός.



Εικόνα 1.1: Πείραμα John Tyndall.

Ο William Wheeling κατοχύρωσε την μέθοδο μεταφοράς φωτός με την ονομασία «Φως διαμέσου σωλήνων» το 1880. Στη συνέχεια, 50 χρόνια αργότερα, ακολούθησε ο Heinrich Lamm κατασκευάζοντας την πρώτη δέσμη φωτός από διάφανες ίνες για να μεταφέρει μια ανάκλαση από νήμα λάμπας.

Το 1952, ο φυσικός Narinder Singh Kapany πραγματοποίησε πειράματα που οδήγησαν στην εφεύρεση της οπτικής ίνας, βασισμένη στις πρώτες μελέτες του Tyndall, όπου η ίνα γυαλιού είναι ντυμένη με μια διαφανή επένδυση για να προσφέρει έναν καταλληλότερο δείκτη διάθλασης.

Το 1965, Charles K. Kao και George A. Hockham της βρετανικής επιχείρησης Τυποποιημένα τηλέφωνα και καλώδια ήταν οι πρώτοι για να προτείνουν ότι η μειωμένη απόδοση των σύγχρονων ινών προκλήθηκε από τις προσμίξεις, οι οποίες θα

μπορούσαν να αφαιρεθούν. Σκέφτηκαν ότι η οπτική ίνα θα μπορούσε να είναι ένα πρακτικό μέσο για την επικοινωνία, εάν οι απώλειες θα μπορούσαν να μειωθούν κάτω από 20 dB ανά χιλιόμετρο.

Αυτό το επίπεδο μείωσης επιτεύχθηκε αρχικά το 1970, από τους ερευνητές Robert D. Maurer, Donald Keck, Peter C. Schultz, και Frank Zimar που εργάζονταν για τα αμερικανικά εργοστάσια γυαλιού Corning. Κατέδειξαν μια ίνα με οπτική απώλεια 17 dB ανά χιλιόμετρο, με προσμίξεις γυαλιού πυριτίου και τιτάνιο.

Μερικά έτη αργότερα παρήγαγαν μια ίνα χρησιμοποιώντας οξείδιο γερμανίου σαν υλικό πρόσμιξης πυρήνων και πέτυχαν απώλειες της τάξης των 4dB/Km. Σήμερα, οι μειώσεις στα οπτικά καλώδια είναι πολύ λιγότερες από εκείνες στα ηλεκτρικά χάλκινα καλώδια και οδηγούν στις μεγάλης απόστασης συνδέσεις ινών και στην ραγδαία ανάπτυξη του Διαδικτύου.

Η πιο ανθεκτική οπτική ίνα που χρησιμοποιείται σήμερα κατασκευάζεται από γυαλί και για τον πυρήνα και για τη θήκη και είναι επομένως λιγότερο επιρρεπής σε διαδικασίες φθοράς. Εφευρέθηκε από το Gerhard Bernsee το 1973 κοντά στη Γερμανία.

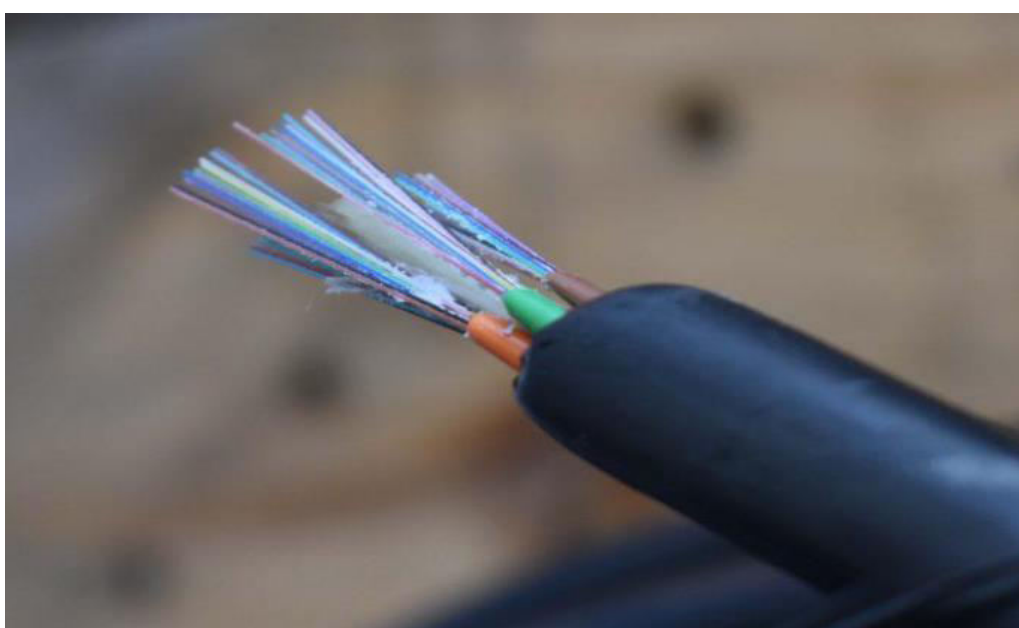
Η ραγδαία ανάπτυξη των οπτικών ινών φάνηκε με το πέρασμα του χρόνου όπου πολλοί ερευνητές προσπάθησαν να εξελίσσουν την νέα αυτή τεχνολογία καθώς πίστευαν στις δυνατότητες της, όπως μεταφορά μεγάλου όγκου δεδομένων με μικρές απώλειες σε μεγάλες αποστάσεις με μία πιο γρήγορη και αποτελεσματική μέθοδο. Οι προσπάθειες και τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Έτος	Μήκος κύματος (nm)	Ίνα	Ρυθμός μετάδοσης	Σχόλια
1976	800 nm	Πολύτροπη	45 Mbps	Αναμεταδότες ανά 10 Km
1980	1300 nm	Μονότροπη	1.7 Gbps	Αναμεταδότες ανά 50 Km
1989	1550 nm	Μονότροπη	10 Gbps	Αναμεταδότες ανά 80 Km Μονότροπο laser Ίνες ολισθημένης διασποράς
1990	1550 nm	Μονότροπη	N x 20 Gbps	Οπτικοί ενισχυτές Πολυπλεξία
2004			101 Gbps	Πολυπλεξία
2006			2,56 Tbps	160 km
Επόμενα 10-20 χρόνια			50-100 Tbps	

Εικόνα 1.2.: Πίνακας εξέλιξης οπτικών ινών.

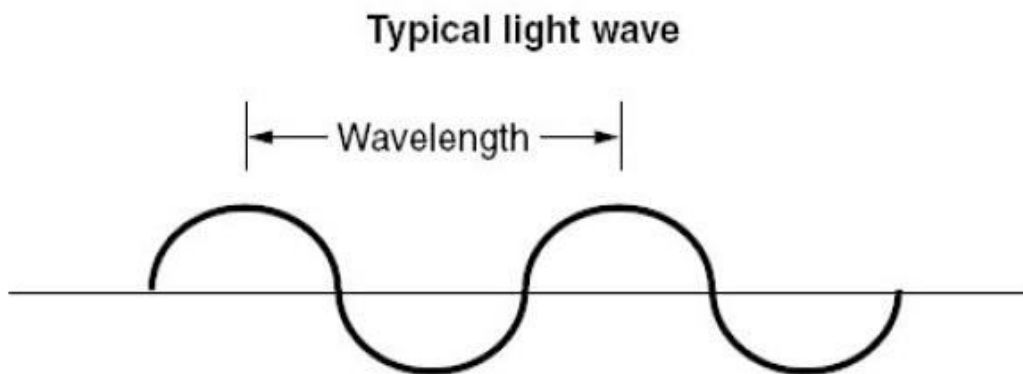
1.2 Ορισμός και επεξήγηση της οπτικής ίνας

Οι οπτικές ίνες είναι πολύ λεπτά πλαστικά ή γυάλινα νήματα με διάμετρο περίπου 8μm με τις οποίες μεταδίδονται ψηφιακά δεδομένα υπό τη μορφή φωτός. Συνήθως τα καλώδια είναι συγκεντρωμένα σε δέσμες, τα οπτικά καλώδια. Επίσης, το υλικό από το οποίο έχουν κατασκευαστεί επιτρέπει την διάδοση του φωτός στο εσωτερικό τους, έτσι μεταδίδονται φωτεινά σήματα σε μεγάλες αποστάσεις, συνήθως μέχρι και 50Km. Αυτά τα σήματα φωτός αντιπροσωπεύουν τα ηλεκτρικά σήματα τα οποία εμπεριέχουν ήχο, βίντεο ή πληροφορίες δεδομένων σε οποιονδήποτε συνδυασμό.



Εικόνα 1.3: Οπτική ίνα.

Οι οπτικές ίνες αποτελούν μια μέθοδο μετάδοσης πληροφοριών με την μορφή παλμών φωτός και γι' αυτό η τεχνολογία τους είναι πιο περίπλοκη από αυτήν των χάλκινων καλωδίων. Η φωτεινή πηγή είναι είτε laser είτε κάποιο είδος LED. Τα καλώδια οπτικών ινών χρησιμοποιούν συγκεκριμένα μήκη κύματος φωτός. Το μήκος κύματος μιας συγκεκριμένης πηγής φωτός είναι το μήκος, υπολογισμένο σε nanometers, μεταξύ δύο συνεχόμενων κορυφών ενός κύματος φωτός που εκπέμπει η πηγή.



Εικόνα 1.4: Τυπικός παλμός φωτός.

Η χρήση παλμών φωτός για μεταφορά πληροφοριών εξυπηρετεί τους ίδιους στόχους με το χάλκινο καλώδιο, που μεταφέρει ηλεκτρικά σήματα. Οποιοσδήποτε τύπος ηλεκτρικού σήματος που μπορεί να μετατραπεί σε παλμούς φωτός μπορεί να μεταδοθεί μέσα σε ένα καλώδιο οπτικών ινών.

Τα καλώδια οπτικών ινών έχουν παρόμοια συστατικά στην κατασκευή τους με τα χάλκινα καλώδια. Η κύρια διαφορά είναι ότι τα καλώδια οπτικών ινών χρησιμοποιούν γυαλί για μετάδοση παλμών φωτός, ενώ τα χάλκινα καλώδια χρησιμοποιούν κάποια μορφή χάλκινου αγωγού για μετάδοση ηλεκτρικών σημάτων. Τα καλώδια οπτικών ινών έχουν επίσης κάποια μορφή προστατευτικού μονωτικού υλικού που καλύπτει τις γυάλινες οπτικές ίνες και ένα περίβλημα που καλύπτει όλη την συγκρότηση του καλωδίου. Ορισμένα καλώδια οπτικών ινών περιλαμβάνουν μια θωράκιση καλωδίου. Οι θωρακίσεις είναι ένα προαιρετικό συστατικό και περιλαμβάνονται μόνο σε μερικούς τύπους καλωδίων οπτικών ινών.

1.3 Οι οπτικές ίνες στις ενσύρματες επικοινωνίες

Η ανάπτυξη νέων μορφών πληροφόρησης και η περαιτέρω βελτίωση των δυνατοτήτων των ήδη γνωστών μορφών καθίσταται στις μέρες μας ως επιτακτική ανάγκη καθώς είναι γεγονός ότι η τάση της ανθρωπότητας για συνεχή και γρήγορη πληροφόρηση αυξάνει σε καθημερινή βάση.

Χαρακτηριστική απόδειξη αυτής της ανάγκης είναι η ραγδαία εξάπλωση του Διαδικτύου που έχει εκπλήξει ακόμα και τους πιο αισιόδοξους αναλυτές. Πέρα όμως από την ραγδαία εξάπλωση η συνεχής αύξηση των χρηστών καθώς και του χρόνου χρήσης του Διαδικτύου αποτελούν τον βασικότερο λόγο για τις ραγδαίες αλλαγές, που

συμβαίνουν στην βιομηχανία των τηλεπικοινωνιών, καθώς η ανάγκη αυτή συντελεί στη συνεχή ανάπτυξη νέων τεχνολογιών και στην κατασκευή δικτύων με πολύ υψηλές ταχύτητες μετάδοσης.

Οι σημαντικότεροι παράγοντες, που έχουν συντελέσει στη συνεχή αναζωογόνηση αυτής της ανάγκης, είναι:

- Η εκπληκτική ανάπτυξη του Διαδικτύου (Internet) και του Παγκόσμιου Ιστού (World Wide Web) αναφορικά με τον αριθμό των χρηστών, αλλά κυρίως με το χρόνο χρήσης και κατ' επέκταση το εύρος ζώνης που αντιστοιχεί σε καθένα από αυτούς.
- Η συνεχής βελτίωση της παροχής υπηρεσιών με ταυτόχρονη ανάπτυξη εφαρμογών ιδιαίτερα φιλικών προς τους χρήστες όλων των ηλικιών και ιδιαιτεροτήτων.
- Η εμφάνιση εφαρμογών πολυμέσων και επικοινωνιών με ξεχωριστά και πολλές φορές πρωτοποριακά χαρακτηριστικά που κυριολεκτικά δίνουν νέες διαστάσεις σε ήδη υπάρχοντες μορφές διασκέδασης και ψυχαγωγίας.
- Η δυνατότητα ανάπτυξης εφαρμογών εμπορίου αλλά και αξιόπιστων υπηρεσιών ενημέρωσης και εξυπηρέτησης των χρηστών με υψηλά επίπεδα ασφάλειας και λειτουργικότητας.
- Οι υποσχέσεις των εταιριών για συνεχή βελτίωση του Διαδικτύου τόσο ως προς την αύξηση των ταχυτήτων μετάδοσης όσο και προς τις παρεχόμενες υπηρεσίες και τα επίπεδα ασφάλειας.
- Η αυξανόμενη ανάπτυξη τεχνολογιών ευζωνικής πρόσβασης, όπως για παράδειγμα η ψηφιακή συνδρομητική γραμμή (Digital Subscriber Line10DSL) και τα καλωδιακά modem, τα οποία μπορούν να προσφέρουν εύρος ζώνης της τάξης των μερικών Mb/s ανά χρήστη.
- Η συνεχής δικτύωση επιχειρήσεων με γραμμές μεταφοράς πολύ υψηλών ταχυτήτων. Τα δίκτυα αυτά χρησιμοποιούνται ευρέως είτε για εσωτερική αλληλοσύνδεση των διαφόρων τμημάτων της επιχείρησης, είτε για επικοινωνία διαφορετικών επιχειρήσεων μεταξύ τους.
- Η μείωση του κόστους παροχής εύρους ζώνης. Η μείωση αυτή είναι αποτέλεσμα αφενός της προόδου των τηλεπικοινωνιών, και αφετέρου της κατάργησης του μονοπωλίου μεμονωμένων παρόχων υπηρεσιών (service providers), ως αποτέλεσμα της απελευθέρωσης του χώρου. Η εισροή πολλών ακόμα χρηστών, σύμφωνα με τις

αναλύσεις, θα οδηγήσει σε ακόμα μεγαλύτερη μείωση του κόστους παροχής εύρους ζώνης.

- Οι αλλαγές στον τύπο της τηλεπικοινωνιακής κίνησης, καθώς τα τελευταία χρόνια τα δίκτυα κατακλύζονται από πληροφορίες δεδομένων. Μεγάλες τηλεπικοινωνιακές εταιρίες αναφέρουν ετήσια αύξηση στη μετάδοση δεδομένων της τάξης του 100%. Η αντίστοιχη αύξηση για τη μετάδοση φωνής είναι μόλις 10% ετησίως.

Η ανάγκη για όλο και μεγαλύτερη αύξηση των ταχυτήτων μετάδοσης, δηλαδή μεγαλύτερου εύρους συχνοτήτων, οδήγησε στην χρήση της οπτικής ίνας αντί του καλωδίου χαλκού. Η οπτική ίνα παρέχει σημαντικότερα πλεονεκτήματα σε σχέση με το απλό χάλκινο καλώδιο που χρησιμοποιείται εδώ και δεκαετίες στις ενσύρματες επικοινωνίες. Ορισμένα από αυτά τα πλεονεκτήματα αλλά και τα μειονεκτήματα είναι:

- Το τεράστιο εύρος ζώνης. Η οπτική ίνα παρέχει εύρος συχνοτήτων για μετάδοση περίπου ίσο με 25THz ή 25000GHz στην φασματική περιοχή του 1.5μm. Το εύρος αυτό είναι 1000 φορές μεγαλύτερο από ολόκληρο το διαθέσιμο φάσμα ραδιοσυχνοτήτων.
- Οι μικρές απώλειες κατά την διάδοση του σήματος. Η οπτική ίνα σε σχέση με το χάλκινο καλώδιο παρουσιάζει περιορισμένες απώλειες γεγονός που επιτρέπει την μετάδοση δεδομένων σε μεγάλες αποστάσεις χωρίς να είναι αναγκαία η ενδιάμεση ενίσχυση του σήματος. Αλλά ακόμα και στην περίπτωση που απαιτείται ενίσχυση και αναγέννηση του σήματος δεδομένων η διαδικασία λαμβάνει χώρα σπανιότερα.
- Χαμηλό κόστος. Η δημιουργία ενός καλωδίου οπτικών ινών είναι πιο συμφέρουσα οικονομικά, σε σχέση με ένα χάλκινο καλώδιο ίδιας απόστασης και δυνατοτήτων. Αυτό ωφελεί αρχικά τους παρόχους υπηρεσιών τηλεπικοινωνιών, οι οποίοι με μικρότερο κόστος παρέχουν ποιοτικές υπηρεσίες. Τελικά αυτό μειώνει και τις ανάγκες απόσβεσης εξόδων των παροχών, επομένως ωφελεί και τον καταναλωτή, που επιβαρύνεται με μικρότερες χρεώσεις για τις υπηρεσίες που χρησιμοποιεί.
- Μικρές απαιτήσεις σε ενέργεια. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι δεν παρατηρούνται σημαντικές απώλειες σήματος, καθώς και στον τρόπο μετάδοσης δεδομένων, δηλαδή με τη χρήση φωτεινής δέσμης, που απαιτεί πολύ μικρότερη κατανάλωση ενέργειας, σε σχέση με το ηλεκτρικό σήμα.
- Αμιγώς ψηφιακό σήμα, που εξασφαλίζει υψηλότερη ποιότητα επικοινωνίας και αποφυγή προβλημάτων που θα προέκυπταν σε μια αναλογική μετάδοση. Στον

κόσμο της ψηφιακής πληροφορίας, τα δεδομένα αναπαρίστανται από τους αριθμούς 0 και 1, οι οποίοι ονομάζονται bits. Το 0 ισοδυναμεί με την κατάσταση «κλειστό» και το 1 με την κατάσταση «ανοικτό». Μια ακολουθία 8 bits σχηματίζουν 1 ψηφιακή λέξη που λέγεται byte ή octet. Οι οπτικές ίνες μεταδίδουν τις φωτεινές αναλαμπές με υψηλή αξιοπιστία, μεταφέροντας τα bytes με πολύ μικρότερες αλλοιώσεις σε σχέση με αυτές ενός κοινού καλωδίου δικτύου, ή μιας ασύρματης σύνδεσης δεδομένων.

- Υψηλή διαθεσιμότητα, που οφείλεται κυρίως στην ανθεκτική κατασκευή των σύγχρονων οπτικών καλωδίων, που μειώνει στο ελάχιστο το ενδεχόμενο εξωτερικής ζημιάς.
- Μικρές διαστάσεις και βάρος, καθώς ένα μικρό και ελαφρύ καλώδιο οπτικών ινών, μεταφέρει πολύ περισσότερα δεδομένα από ένα μεγαλύτερο και πιο βαρύ χάλκινο καλώδιο. Έτσι, απαιτείται πολύ λιγότερος χώρος για την υλοποίηση ενός δικτύου οπτικών ινών.
- Τέλος στα πλεονεκτήματα συγκαταλέγονται και οι τεχνικές πολυπλεξίας που μπορούν να αυξήσουν σημαντικά την αποδοτικότητα της οπτικής ίνας επιτρέποντας την ταυτόχρονη μετάδοση πληροφορίας μέσω πολλών διαφορετικών καναλιών. Οι δύο τεχνικές πολυπλεξίας είναι η WDM(πολυπλεξία κατά μήκος κύματος) και OTDM (πολυπλεξία στο χρόνο).

Μειονεκτήματα που παρουσιάζουν οι οπτικές ίνες είναι οι παραμορφώσεις που μπορεί να υποστεί το μεταδιδόμενο οπτικό σήμα εξαιτίας φαινομένων διασποράς, μη γραμμικότητας και διπλοθλαστικότητας. Η επίδραση όμως αυτών των φαινομένων επιλύεται χρησιμοποιώντας συγκεκριμένη ίνα, για αντιστάθμιση της διασποράς, μειώνοντας την μεταδιδόμενη ισχύς, για τις μη γραμμικότητες και φροντίζοντας να μην τσαλακωθεί η ίνα κατά την εγκατάσταση της, για την διπλοθλαστικότητα.

Το εύρος ζώνης είναι αναμφισβήτητα ο βασικότερος λόγος εξάπλωσης της οπτικής ίνας παρά όλα αυτά δεν μπορούμε να αμελήσουμε και τα υπόλοιπα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει σαν καλώδιο. Το γεγονός όμως ότι η οπτική ίνα παρουσιάζει μεγάλο εύρος ζώνης και ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης (υπάρχουν αυτή την στιγμή εμπορικά διαθέσιμα συστήματα που λειτουργούν στα 10Gbps και σε λίγο καιρό θα υπάρχουν και τα αντίστοιχα στα 40Gbps) δεν σημαίνει ότι εν τέλει μπορούμε να έχουμε πρακτικά τέτοιους ρυθμούς. Ο λόγος είναι ότι σε κάθε κόμβο το οπτικό σήμα πρέπει να μετατρέπεται σε ηλεκτρικό και να

επεξεργάζεται καθώς δεν υπάρχει η δυνατότητα επεξεργασίας του στην οπτική μορφή. Αυτό προσθέτει σημαντική καθυστέρηση στην διαδικασία της μετάδοσης ενώ αν προσθέσουμε και το γεγονός ότι τα ηλεκτρονικά δεν μπορούν να δουλέψουν σε τόσο υψηλούς ρυθμούς οδηγούμαστε στην διαπίστωση ότι μένουν ανεκμετάλλευτες οι δυνατότητες που μας παρέχει η οπτική ίνα.

Για την αντιμετώπιση αυτού του σοβαρού προβλήματος η τεχνολογία προωθεί την δημιουργία και ανάπτυξη διατάξεων επεξεργασίας οπτικού σήματος σε ρυθμούς αντίστοιχους των ρυθμών μετάδοσης. Οι διατάξεις αυτές πρέπει να πραγματοποιούν όλες τις αναγκαίες ενέργειες που θα καθιστούν δυνατή την μετάδοση οπτικού σήματος χωρίς τη ενδιάμεση παρεμβολή ηλεκτρονικών. Οι διατάξεις αυτές θα παρέχουν δυνατότητες ενίσχυσης, αναγέννησης, μεταγωγής και επεξεργασίας του οπτικού σήματος. Απώτερος στόχος είναι η δημιουργία των αμιγώς οπτικών δικτύων, δηλαδή δικτύων όπου όλες οι λειτουργίες θα πραγματοποιούνται σε οπτικό επίπεδο εξασφαλίζοντας ταχύτητα και λειτουργικότητα. Αναφορικά ως προς αυτή κατεύθυνση έχει παρουσιαστεί μεγάλη εξέλιξη και τα δεδομένα είναι ενθαρρυντικά για το μέλλον.

Η εμφάνιση των φτηνών οπτικών ενισχυτών που παρουσιάζουν ικανοποιητικό κέρδος σε ένα αρκετά μεγάλο φάσμα συχνοτήτων καθώς και η ύπαρξη πολυπλεκτών/αποπολυπλεκτών σε συνδυασμό με διατάξεις αναγέννησης, μετατροπής μήκους κύματος αλλά και των πρώτων οπτικών πυλών που βασίζονται σε συμβολόμετρα αποτελούν την καλύτερη παρακαταθήκη για το μέλλον της φωτονικής τεχνολογίας. Σήμερα η έρευνα επικεντρώνεται στην δημιουργία και βελτίωση εκείνων των επιμέρους διατάξεων που στο μέλλον θα είναι η βάση για την δημιουργία των πρώτων αμιγώς οπτικών δικτύων.

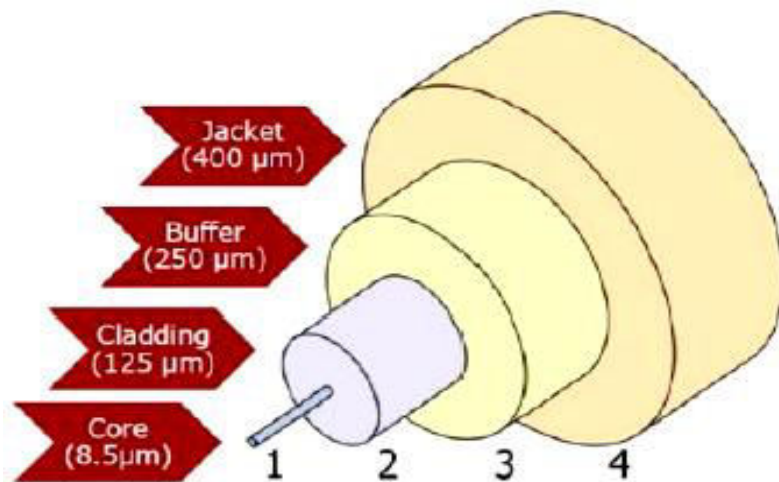
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΟΠΤΙΚΗΣ ΙΝΑΣ

2.1 Δομή οπτικής ίνας

Η οπτική ίνα έχει κάποια πολύ σημαντικά τεχνικά χαρακτηριστικά που καθορίζουν την λειτουργία της. Τα σημαντικότερα τεχνικά χαρακτηριστικά είναι η δομή της οπτικής ίνας, οι διαφορετικοί τύποι οπτικών ινών, η αρχή λειτουργίας της οπτικής ίνας και οι απώλειες σήματος που αυτές εμφανίζουν. Στις επόμενες ενότητες αναλύονται αυτά τα τεχνικά χαρακτηριστικά.

Οι οπτικές ίνες κατασκευαστικά είναι ίνες γυαλιού ή πλαστικού, συνήθως γυαλιού, εύκαμπτες, πολύ μικρού πάχους, μικρότερου από μια ανθρώπινη τρίχα. Είναι κατασκευασμένες από ένα διηλεκτρικό υλικό. Οι απλούστερες, οι μονότροπες οπτικές ίνες έχουν κυλινδρικό σχήμα αποτελούμενες από τρεις ομόκεντρους κυλίνδρους. Ένας τέταρτος κύλινδρος χρησιμοποιείται εξωτερικά για προστασία της οπτικής ίνας, ονομάζεται περίβλημα (jacket) και δεν παίζει κανένα ρόλο στην λειτουργία της. Ο πρώτος, ο εσωτερικός κύλινδρος ονομάζεται πυρήνας (core) της οπτικής ίνας. Είναι κατασκευασμένος από γυαλί υψηλού δείκτη διάθλασης, υψηλής καθαρότητας. Ο δεύτερος κύλινδρος που καλύπτει τον πυρήνα ονομάζεται μανδύας (cladding). Είναι κατασκευασμένος επίσης από γυαλί υψηλής καθαρότητας. Σπανιότερα κατασκευάζονται ο πυρήνας και ο μανδύας από πολυμερή γιατί εμφανίζουν υψηλότερες απώλειες έτσι είναι ικανά μόνο για ζεύξεις μικρών αποστάσεων. Τέλος, ο τρίτος κύλινδρος, εξωτερικά, πριν το περίβλημα, η οπτική ίνα καλύπτεται από τον απομονωτή (buffer) ένα πλαστικό υλικό. Μια οπτική ίνα έχει εξωτερική διάμετρο 4 δέκατων του χιλιοστού.

Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η δομή μιας τυπικής οπτικής ίνας. Το 1 είναι ο πυρήνας, το 2 ο μανδύας, το 3 ο απομονωτής και το 4 το περίβλημα.



Εικόνα 2.1: Δομή οπτικής ίνας.

2.2 Τύποι οπτικών ινών

Οι οπτικές ίνες διαχωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες. Τα κριτήρια κατηγοριοποίησης των οπτικών ινών είναι είτε ο τρόπος μετάδοσης του φωτός σε αυτές είτε το υλικό κατασκευής.

Ανάλογα με τον τρόπο μετάδοσης του φωτός

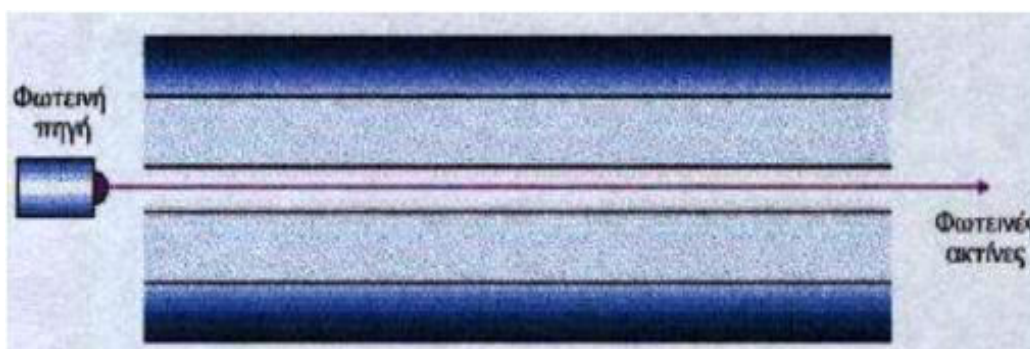
Οι οπτικές ίνες αναλόγως του τρόπου μετάδοσης του φωτός χωρίζονται σε μονότροπες (singlemode) ή πολύτροπες (multimode). Οι μονότροπες οπτικές ίνες υποστηρίζουν μόνο ένα τρόπο μετάδοσης του φωτός ενώ οι πολύτροπες υποστηρίζουν πέραν του ενός τρόπους μετάδοσης φωτός. Οι πολύτροπες οπτικές ίνες χωρίζονται σε δύο επιμέρους υποκατηγορίες, τις ίνες βηματικού δείκτη μεταβολής και τις ίνες βαθμιαίου δείκτη διάθλασης.



Εικόνα 2.2: Διατομές των οπτικών ινών μονότροπων και πολύτροπων.

Στις μονότροπες οπτικές ίνες το φως δεν μεταδίδεται με συνεχείς ανακλάσεις στην διεπιφάνεια πυρήνα μανδύα αλλά έχει μια ευθεία πορεία κατά μήκος του πυρήνα. Για να επιτευχθεί αυτή η μετάδοση του φωτός οι μονότροπες ίνες έχουν πολύ μικρές

διαμέτρους πυρήνα, μικρότερες των 10 μm . Αυτή την στιγμή οι μονότροπες οπτικές ίνες του εμπορίου έχουν διάμετρο 9 μm και συνδυάζονται μόνο με πηγές laser εξαιτίας της μικρής διαμέτρου. Τα μήκη κύματος του laser που χρησιμοποιούνται είναι τα 1310nm (στο αστικό δίκτυο) και 1550nm (σε υπεραστικό και υποβρύχιο δίκτυο). Χρησιμοποιούνται κυρίως για υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, σε όλες τις ζεύξεις μεγάλων αποστάσεων και στους οπτικούς μητροπολιτικούς δακτύλιους. Ακολουθώς βλέπουμε την μετάδοση της ακτινοβολίας μέσα από μια μονότροπη οπτική ίνα.

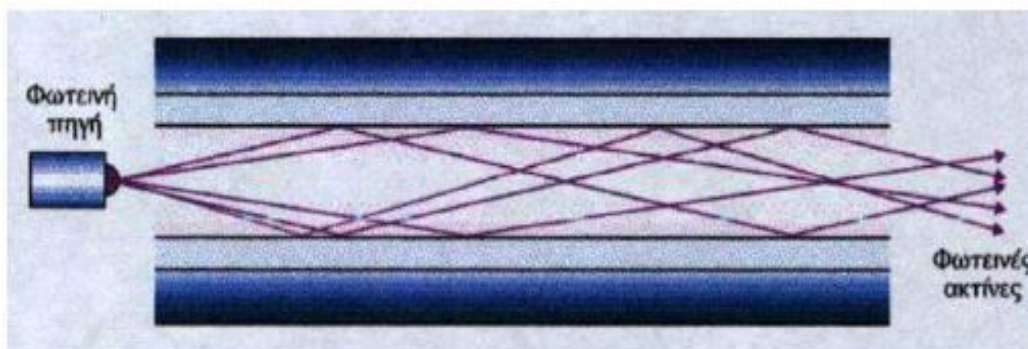


Εικόνα 2.3: Μονότροπη οπτική ίνα.

Οι πολύτροπες οπτικές ίνες βηματικού δείκτη μετάδοσης είναι οι απλούστερες οπτικές ίνες που υπάρχουν. Το φως σε αυτές τις οπτικές ίνες μπορεί να μεταδοθεί με διάφορους τρόπους. Η μικρότερη διαδρομή γίνεται με την κίνηση του φωτός στο κέντρο της οπτικής ίνας, χωρίς ανάκλαση, και ονομάζεται βασικός τρόπος μετάδοσης. Οι υπόλοιπες ακτίνες φωτός κινούνται ανακλώμενες στην διεπιφάνεια μανδύα – πυρήνα. Η ακτίνα με την μικρότερη γωνία ολικής ανάκλασης έχει την μεγαλύτερη διαδρομή. Όλες οι άλλες ακτίνες έχουν διαφορετικού μήκους διαδρομές ανάμεσα στην μικρότερη και την μεγαλύτερη.

Το αποτέλεσμα είναι οι ακτίνες φωτός να φτάνουν στην έξοδο της ίνας σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα και να προκαλούν παραμόρφωση του σήματος στον δέκτη η οποία ονομάζεται διασπορά τρόπου μετάδοσης. Όσο μεγαλύτερη είναι η διασπορά τόσο μειώνεται το διαθέσιμο εύρος ζώνης της οπτικής ίνας. Έχουν διαμέτρους από 100 έως και 970 μm . Μπορεί να είναι γυάλινες, με γυάλινο πυρήνα και πλαστικό μανδύα ή πλαστικές. Οι πολύτροπες οπτικές ίνες βηματικού δείκτη διάθλασης πλέον χρησιμοποιούνται σε απλές εφαρμογές εξαιτίας της μεγάλης διασποράς που εμφανίζουν.

Για εφαρμογές μεταφοράς δεδομένων έχουν αντικατασταθεί από τις ίνες βαθμιαίου δείκτη διάθλασης. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η μετάδοση φωτός σε μια πολύτροπη οπτική ίνα βηματικού δείκτη διάθλασης.



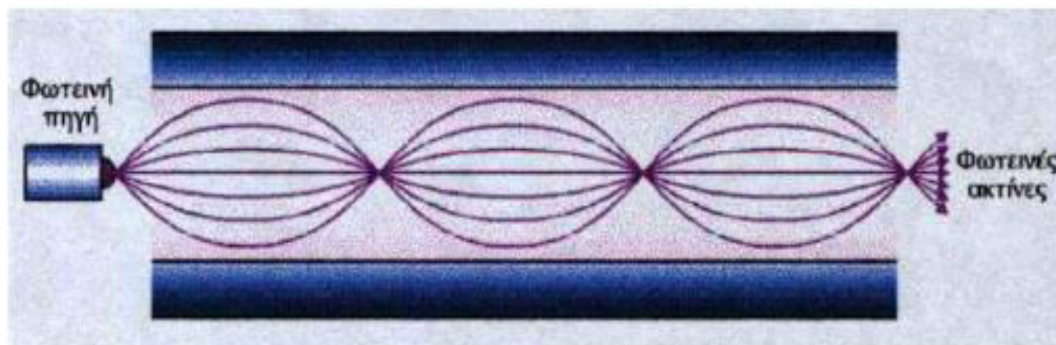
Εικόνα 2.4: Πολύτροπη οπτική ίνα βηματικού δείκτη διάθλασης.

Οι πολύτροπες οπτικές ίνες βαθμιαίου δείκτη διάθλασης είναι η εξέλιξη των πολύτροπων ινών με στόχο την μείωση της διασποράς. Κατασκευαστικά στις ίνες αυτές ο πυρήνας δεν είναι ενιαίος αλλά αποτελείται από στρώσεις διαφορετικής πυκνότητας άρα και διαφορετικού δείκτη διάθλασης. Συνέπεια αυτής της τροποποίησης του πυρήνα είναι η διάθλαση σε κάθε στρώση και όχι μόνο στην διεπιφάνεια πυρήνα – μανδύα.

Αποτέλεσμα αυτού είναι οι ακτίνες του φωτός να εμφανίζουν καμπύλες διαδρομές εξαιτίας των συνεχόμενων διαθλάσεων. Αυτό όμως δεν περιορίζει το μήκος της διαδρομής ώστε οι ακτίνες να φτάνουν με μικρότερη διασπορά στο τέλος της διαδρομής. Για αυτό τον λόγο οι στρώσεις του πυρήνα έχουν διαφορετική πυκνότητα. Οι στρώσεις προς το κέντρο του πυρήνα έχουν μεγαλύτερη πυκνότητα ενώ οι στρώσεις πλησιέστερα στον μανδύα έχουν μικρότερη πυκνότητα. Οι ακτίνες φωτός κινούνται γρηγορότερα στα υλικά μικρότερης πυκνότητας έτσι παρά το ότι εκτελούν μεγαλύτερη διαδρομή εντούτοις το κάνουν πιο γρήγορα.

Αυτό σημαίνει πως το χρονικό εύρος μεταξύ των ακτινών που κινούνται στο κέντρο του πυρήνα και αυτών που κινούνται στα άκρα του πυρήνα είναι μικρότερο σε σχέση με τις ίνες βηματικού δείκτη διάθλασης. Αυτό οδηγεί στην μείωση της διασποράς της ίνας. Ενδεικτικά ενώ η διασπορά μιας ίνας βηματικού δείκτη διάθλασης κυμαίνεται μεταξύ 15 και 30ns/km η διασπορά μιας ίνας βαθμιαίου δείκτη διάθλασης μειώνεται σε 1ns/km. Πρακτικά πλέον έχουν εξαφανίσει τις ίνες βηματικού δείκτη διάθλασης και είναι οι μόνες πολύτροπες ίνες που χρησιμοποιούνται.

Οι τυποποιημένες πολύτροπες ίνες βαθμιαίου δείκτη διάθλασης που υπάρχουν στην αγορά είναι διαμέτρων πυρήνα 50 μm , 62,5 μm και 85 μm . Χρησιμοποιούνται κυρίως σε οπτικές συνδέσεις μικρού μήκους, σε καλωδιώσεις τοπικών δικτύων και σε δίκτυα δομημένης καλωδίωσης. Παρακάτω βλέπουμε την μετάδοση του φωτός σε μια πολύτροπη οπτική ίνα βαθμιαίου δείκτη διάθλασης.



Εικόνα 2.5: Πολύτροπη οπτική ίνα βαθμιαίου δείκτη διάθλασης.

Ανάλογα με το υλικό κατασκευής

Οι οπτικές ίνες κατασκευάζονται από δύο κατηγορίες υλικών, από γυαλί και από πλαστικό. Προκύπτουν λοιπόν τρεις κατηγορίες οπτικών ινών αναλόγως του υλικού κατασκευής τους. Είναι οι γυάλινες οπτικές ίνες, οι πλαστικές οπτικές ίνες και οι οπτικές ίνες γυάλινου πυρήνα και πλαστικού μανδύα.

Οι γυάλινες οπτικές ίνες έχουν κατασκευασμένο τόσο τον μανδύα όσο και τον πυρήνα από γυαλί. Το γυαλί που χρησιμοποιείται είναι ένα συνθετικό γυαλί, οξείδιο του πυριτίου, υψηλής καθαρότητας. Συνήθως στο οξείδιο του πυριτίου προστίθενται προσμίξεις όπως φωσφόρο ή γερμάνιο στον πυρήνα για να αυξηθεί η διάθλαση ή φθόριο και βόριο στον μανδύα για να μειωθεί η διάθλαση. Η πλειοψηφία των οπτικών ινών που χρησιμοποιούνται στις τηλεπικοινωνίες είναι γυάλινες.

Οι πλαστικές οπτικές ίνες έχουν κατασκευασμένο τόσο τον πυρήνα όσο και τον μανδύα από πλαστικό. Αυτό οδηγεί σε πολύ χαμηλό κόστος αλλά και σε μεγάλη μείωση της απόδοσης καθώς παρουσιάζουν μικρό εύρος ζώνης, υψηλή ελάχιστη εξασθένιση και είναι ευαίσθητες σε θερμοκρασιακές μεταβολές. Κυρίως εφαρμόζονται σε εφαρμογές χαμηλών απαιτήσεων όπως τα τοπικά δίκτυα και οι εσωτερικές καλωδιώσεις κτιρίων.

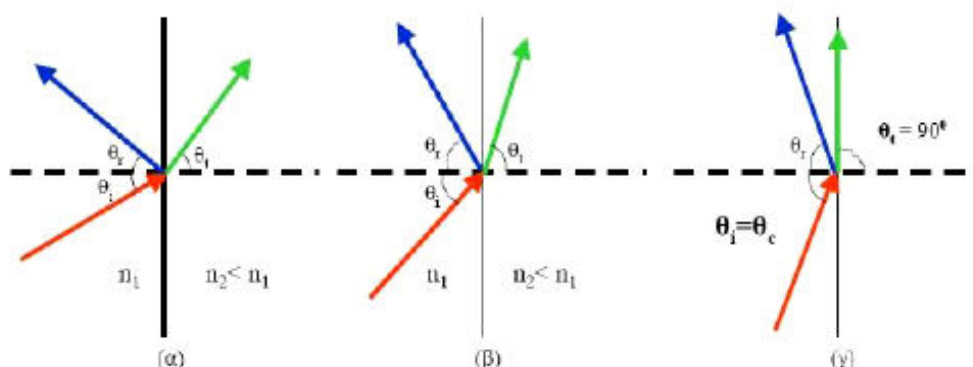
Οι οπτικές ίνες γυάλινου πυρήνα και πλαστικού μανδύα εμφανίστηκαν πριν τις πλαστικές οπτικές ίνες και είχαν ως στόχο την μείωση του κόστους των οπτικών ινών. Η χρήση του πλαστικού, χαμηλότερου κόστους, στον μανδύα, περιόριζε μεν κάπως

την απόδοση αλλά σε εφαρμογές χαμηλών απαιτήσεων τις καθιστούσε ιδανικές. Αργότερα όμως η εμφάνιση των πλαστικών οπτικών ινών, πυρήνα και μανδύα, ακόμη χαμηλότερου κόστους, εκτόπισε τις ίνες γυάλινου πυρήνα και πλαστικού μανδύα. Πλέον εφαρμογές βρίσκουν μόνο σε εξειδικευμένες χρήσεις όπως οι ενδοσκοπήσεις.

2.3 Βασική αρχή λειτουργίας

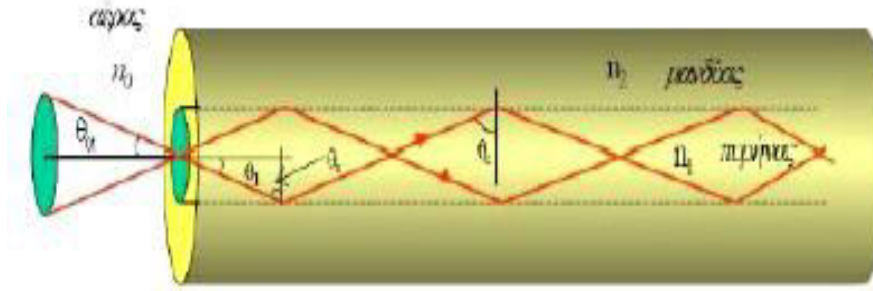
Η λειτουργία της οπτικής ίνας είναι πολύ απλή. Το φως διαδίδεται στο γυαλί του πυρήνα. Ο μανδύας ανακλά τις ακτίνες του φωτός πίσω στον πυρήνα μη επιτρέποντας τους επί της ουσίας να φύγουν από τον πυρήνα, παρά μόνο να συνεχίσουν την πορεία τους εντός του πυρήνα. Ο απομονωτής χρησιμοποιείται για να παρέχει προστασία και να αυξάνει την αντοχή του πυρήνα, του γυαλιού της ίνας, δεν είναι απαραίτητος για την λειτουργία της, βελτιώνει όμως την αντοχή και περιορίζει τις απώλειες της.

Στην ουσία λοιπόν το φαινόμενο της ολικής ανάκλασης περιγράφει πλήρως την λειτουργία της οπτικής ίνας. Για να εμφανιστεί το φαινόμενο της ολικής ανάκλασης υπάρχει μια κρίσιμη γωνία, η γωνία που προκύπτει από τον νόμο του Snell και είναι η ελάχιστη γωνία θ_c για την οποία εμφανίζεται η ολική ανάκλαση. Γωνίες μικρότερες της θ_c δεν επιτρέπουν την εμφάνιση ανάκλασης. Η κρίσιμη γωνία φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Στα δυο πρώτα σχήματα που η εικόνα είναι μικρότερη της κρίσιμης βλέπουμε ότι μέρος της ακτινοβολίας περνάει στο δεύτερο σώμα, στον μανδύα. Στην τρίτη εικόνα βλέπουμε ότι υπάρχει ολική ανάκλαση.



Εικόνα 2.6: Κρίσιμη γωνία για εμφάνιση φαινομένου ολικής ανάκλασης.

Η γωνία θ_c ορίζει ένα κώνο μέσα στον οποίο η ακτινοβολία μπορεί να ανακλαστεί στην διεπιφάνεια πυρήνα μανδύα. Ο κώνος αυτός ονομάζεται κώνος αποδοχής, έχει γωνία κορυφής την θ_a και φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 2.7: Σύζευξη φωτός και κώνος αποδοχής στην οπτική ίνα.

2.4 Χαρακτηριστικά μεγέθη οπτικών ινών

Εξασθένηση - Attenuation

Ως εξασθένηση ορίζεται η απώλεια οπτικής ισχύος κατά την κυματοδότηση και ανέρχεται σε 150 dB/km για τις πλαστικές ίνες ενώ μόνο 0,21 dB/km σε μονότροπες ίνες. Στο πίνακα 2.1 δίνονται χαρακτηριστικές τιμές εξασθένησης για μερικά είδη οπτικών ινών.

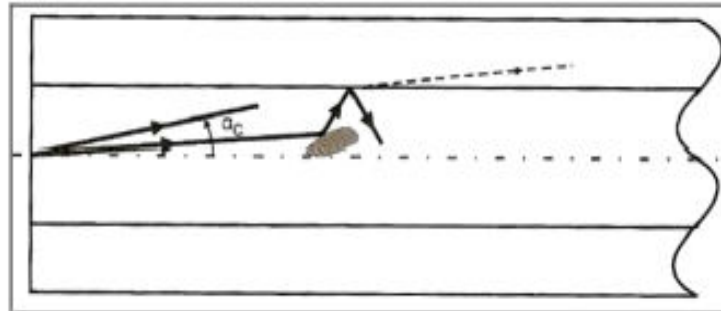
Είδος Ίνας	Διαστάσεις Πυρήνα/Μανδύα	Εξασθένηση (dB/km)
Μονότροπη	9/125	2 - 5 για $\lambda = 850$ nm 0,35 για $\lambda = 1300$ nm 0,21 για $\lambda = 1550$ nm
Πολύτροπη (βαθμιαίας μεταβολής)	50/125	4,00 για $\lambda = 850$ nm 2,50 για $\lambda = 1300$ nm
	62,5/125	6,00 για $\lambda = 850$ nm
Πολύτροπη (βηματικής μεταβολής)	85/125	7,00 για $\lambda = 850$ nm
	200/380	6,00 για $\lambda = 850$ nm
PCS (γυάλινου πυρήνα με πλαστικό μανδύα)	300/440	6,00 για $\lambda = 850$ nm
	200/350	10,00 για $\lambda = 790$ nm
	400/550 600/900	10,00 για $\lambda = 790$ nm 6,00 για $\lambda = 790$ nm
Πλαστική	750	150 για $\lambda = 650$ nm
	1000	200 για $\lambda = 650$ nm

Πίνακας 2.1: Εξασθένηση οπτικού σήματος συναρτήσει μήκους κύματος.

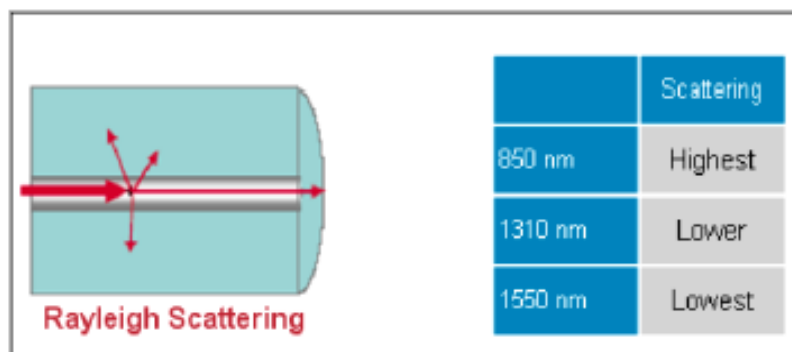
Σκέδαση - Scattering

Απώλειες οπτικής ενέργειας λόγω απωλειών στη βασική δομή της ίνας Σε χαμηλά μήκη κύματος εμφανίζεται η σκέδαση Raleigh, που οφείλεται στη μη κανονικότητα της κρυσταλλικής δομής της ίνας. Το φαινόμενο είναι αντιστρόφως ανάλογο της

τέταρτης δύναμης του μήκους κύματος ($1/\lambda^4$) Αρά όσο υψηλότερο το μήκος κύματος μετάδοσης τόσο περισσότερο ελαχιστοποιείται η απώλεια σκέδασης Raleigh.



Εικόνα 2.8: Φαινόμενο σκέδασης.



Εικόνα 2.9: Το φαινόμενο της σκέδασης εξαρτάται από το μήκος κύματος.

Ένα άλλο είδος σκέδασης οφείλεται στις ατέλειες της κυλινδρικής δομής της ίνας. Η σκέδαση αυτή ονομάζεται σκέδαση Mie. Τέτοιες απώλειες οφείλονται στη κοινή επιφάνεια πυρήνα/μανδύα, λόγω μικρών μεταβολών στους συντελεστές διάθλασης των υλικών, διαφοροποιήσεων της διαμέτρου πυρήνα κατά μήκος της ίνας και λόγω ύπαρξης μικρό φυσαλίδων. Οι απώλειες αυτές ελαχιστοποιούνται με βελτίωση στη διαδικασία κατασκευής

Εκτός από τα ανωτέρω δύο είδη γραμμικής σκέδασης υπάρχουν και φαινόμενα μη γραμμικής σκέδασης που εμφανίζονται κυρίως, όταν οι οπτικές ίνες δέχονται μεγάλα επίπεδα οπτικής ισχύος. Τα γνωστότερα είδη μη γραμμικής σκέδασης είναι η σκέδαση Brillouin και Raman.

Απορρόφηση – Absorption

Λόγω ύπαρξης ξένων μοριακών δομών στο διοξείδιο του πυριτίου κατά τη παραγωγή της οπτικής ίνας το φως απορροφάται από το υλικό μετάδοσης και η ενέργεια του μετατρέπεται σε θερμότητα.

Απώλειες λόγω κάμψης – Bending

Αν και οι οπτικές ίνες αποθηκεύονται τυλιγμένες σε ειδικά στροφεία μια ελάχιστη ακτίνα καμπυλότητας πέραν την οποίας μπορεί να προκαλέσει το σπάσιμο της ίνας. Οι κάμψεις έχουν δύο βασικές επιπτώσεις στις μονότροπες οπτικές ίνες

Επίδραση υδρογόνου και Ραδιενέργεια

Η εμφάνιση υδρογόνου οφείλεται στην εισχώρηση υγρασίας στο εσωτερικό του οπτικού καλωδίου. Το υδρογόνο εκλύεται είτε από την ηλεκτρολυτική επίδραση της υγρασίας στην μεταλλική δομή θωράκισης του καλωδίου είτε από χημική αποσύνθεση των υλικών του μανδύα. Η πρόσθετη εξασθένηση εμφανίζεται σωρευτικά. Το φαινόμενο αυτό είναι ιδιαίτερα αισθητό σε υποβρύχιες ζεύξεις. Επίσης η έκθεση των οπτικών ινών σε ραδιενεργά περιβάλλοντα τα οποία μπορεί να προκληθούν από πυρηνικά ατυχήματα προκαλεί την μοριακή τους αποσύνθεση με αποτέλεσμα να δημιουργούνται χρωματικά κέντρα απορρόφησης του οπτικού σήματος.

Διασπορά – Dispersion

Ως διασπορά ορίζεται η διαφορετική χρονική καθυστέρηση της διάδοσης των τμημάτων του φασματικού περιεχομένου του σήματος πληροφορίας (αναλογικό ή ψηφιακό ηλεκτρικό ή οπτικό) από το πομπό στο δέκτη. Στο ψηφιακό σήμα αυτό παρατηρείται ως μια διεύρυνση των παλμών από το πομπό στο δέκτη με αποτέλεσμα όσο μεγαλύτερη διασπορά έχουμε τόσο περισσότερο να μειώνεται ο ρυθμός μετάδοσης.

Διασπορά τρόπου μετάδοσης

Η διασπορά τρόπου μετάδοσης - modal dispersion εμφανίζεται μόνο σε πολύτροπες ίνες και οφείλεται στο γεγονός ότι το οπτικό σήμα διαδίδεται εντός της ίνας με παραπάνω του ενός τρόπον. Με άλλα λόγια, το οπτικό σήμα κατά την διάδοση του εντός της πολύτροπής ίνας διασπάται σε διαφορετικές ακτίνες φωτός οι οποίες ακολουθούν διαφορετικούς δρόμους τεθλασμένων γραμμών. Κατά συνέπεια κάθε διαδρομή έχει και διαφορετική ταχύτητα. Η τιμή της διασποράς του τρόπου μετάδοσης αυξάνει ανάλογα με το πλήθος των τρόπων μετάδοσης που υποστηρίζει ο κυματοδηγός. Άρα εξαρτάται κυρίως από το μέγεθος του πυρήνα.

Διασπορά υλικού (DM)

Η διασπορά υλικού - material dispersion ή χρωματική διασπορά - chromatic dispersion εμφανίζεται τόσο σε πολύτροπες όσο και σε μονότροπες ίνες, και οφείλεται στο γεγονός ότι ο συντελεστής διάθλασης του πυρήνα εξαρτάται και από το μήκος κύματος της οδηγούμενης ακτίνας φωτός. Όταν το οπτικό σήμα του πομπού

περιλαμβάνει περισσότερα από ένα μήκη κύματος τότε κάθε ένα από αυτά βλέπει διαφορετικό συντελεστή διάθλασης και το αντίστοιχο μεταφερόμενο μέρος του σήματος κινείται με διαφορετική ταχύτητα προκαλώντας διασπορά του οπτικού σήματος στο δέκτη. Πιθανόν το οπτικό σήμα να προέρχεται από τη σύνθεση διαφορετικών μηκών κύματος. Άλλωστε δεν υπάρχει ιδανική πηγή φωτός που να εκπέμπει φώς συγκεντρώνοντας την ισχύ του σε ένα και μόνο μήκος κύματος.

Διασπορά κυματοδηγού (DW)

Η διασπορά κυματοδηγού - waveguide dispersion οφείλεται στη διαφορετική ταχύτητα μετάδοσης μεταξύ πυρήνα και μανδύα, λόγω της μικρής μεταξύ τους διαφοράς ως προς το συντελεστή διάθλασης. Εμφανίζεται κυρίως σε μονότροπες ίνες, όπου ένα μεγάλο μέρος της κυματοδηγούμενης οπτικής ενέργειας διέρχεται από το μανδύα, ενώ είναι ασήμαντη στις πολύτροπες ίνες.

Συνολική διασπορά (D)

Ως συνολική διασπορά της μονότροπης ίνας ορίζουμε το άθροισμα της διασποράς υλικού και της διασποράς κυματοδηγού - total dispersion. Η συνολική διασπορά εξαρτάται τόσο από το μήκος κύματος της πηγής φωτός όσο και από το υλικό της ίνας.

2.5 Απώλεια σήματος στις οπτικές ίνες

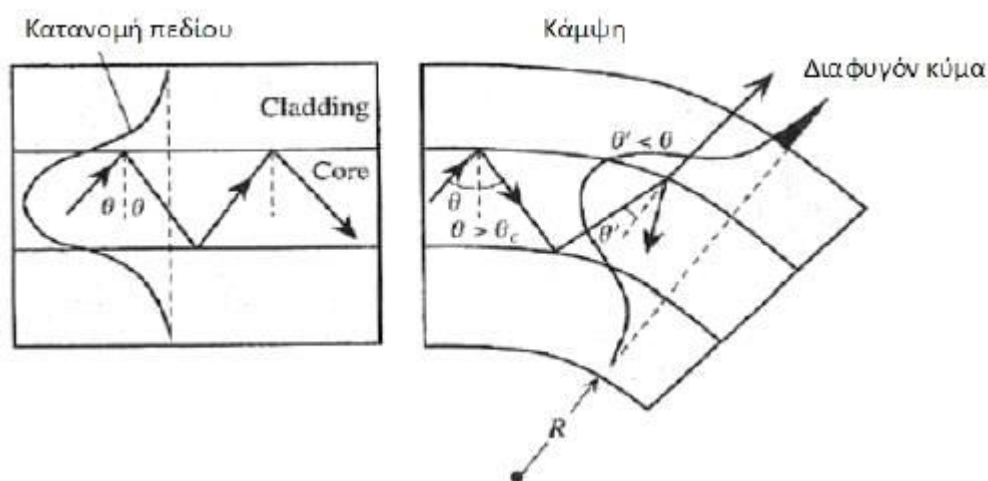
Οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται για να μεταφέρουν, διαμέσου ακτινών φωτός, σήματα από το ένα τους άκρο στο άλλο τους άκρο. Όπως σε κάθε μέσο μεταφοράς σημάτων έτσι και στις οπτικές ίνες υπάρχουν απώλειες οι οποίες οφείλονται σε πολλές αιτίες. Οι σημαντικότερες εξ αυτών είναι η εξασθένηση, η διασπορά και η απορρόφηση. Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται αυτές οι αιτίες.

Η εξασθένηση είναι ίσως η σημαντικότερη αιτία απώλειας σήματος ειδικά όσο αυξάνεται το μήκος της οπτικής ίνας. Εκφράζει την μείωση της οπτικής ισχύος, άρα και την απώλεια σήματος, μεταξύ της αρχής και του τέλους της οπτικής ίνας. Η σχέση αυτή είναι εκθετική κάτι που σημαίνει ότι η αύξηση του μήκους της οπτικής ίνας πολλαπλασιάζει την εξασθένηση. Η εξασθένηση οφείλεται σε πολλές αιτίες ενδογενείς και εξωγενείς. Σημαντικότερη όμως είναι μια ενδογενής αιτία, η σκέδαση του φωτός με κυριότερη την σκέδαση Rayleigh.

Σύμφωνα με την θεωρία που παρουσίασε ο Rayleigh κατά την κίνηση του φωτός στην οπτική ίνα είναι πιθανόν κάποιες ακτίνες να προσκρούσουν σε ανωμαλίες, κατασκευαστικές, με αποτέλεσμα να μην συνεχίσουν την πορεία τους κατά μήκος της

οπτικής ίνας αλλά να χαθούν. Η σκέδαση περιορίζεται σε ακτινοβολίες μεγάλου μήκους κύματος αλλά είναι αισθητή σε ακτινοβολίες μικρού μήκους κύματος. Από τις εξωγενείς αιτίες σημαντικότερες είναι οι κάμψεις της οπτικής ίνας (μικροκάμψεις ή μακροκάμψεις) οι οποίες δεν επιτρέπουν στο φως να συνεχίσει την ομαλή του πορεία και χάνετε.

Οι χαμηλότερες εξασθενήσεις, μετά από χρόνια μελετών έχουν προκύψει σε τρία «παράθυρα» της ακτινοβολίας φωτός, σε τρία μήκη κύματος. Αυτά είναι τα 850nm, τα 1300nm και τα 1550nm. Στην επόμενη εικόνα βλέπουμε την εξασθένηση ακτινοβολίας ελέω κάμψης της οπτικής ίνας. Βλέπουμε πως ένα κύμα της ακτινοβολίας μπορεί να διαφύγει από την οπτική ίνα εξαιτίας της κάμψης.



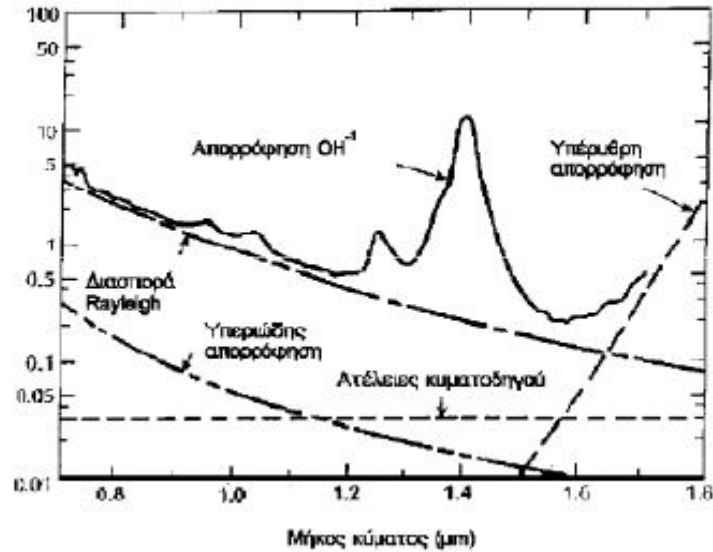
Εικόνα 2.10: Εξασθένηση σήματος οπτικής ίνας λόγω μακροσκοπικής κάμψης.

Η δεύτερη αιτία απωλειών σήματος στις οπτικές ίνες είναι η διασπορά. Η διασπορά συμβαίνει με τρεις τρόπους. Ο πρώτος τρόπος είναι η διασπορά τρόπου μετάδοσης η οποία εμφανίζεται στις πολύτροπες ίνες όπως ήδη έχει αναφερθεί σε προηγούμενη ενότητα, και οφείλεται στην αρχή λειτουργίας της ίνας. Πολλές φορές αναφέρεται και ως πολύτροπη διασπορά. Η διασπορά αυτή δεν μπορεί να εξαλειφτεί, μπορεί όμως να μειωθεί όπως παρουσιάστηκε στο αντίστοιχο κεφάλαιο με την χρήση πολύτροπων ινών βαθμιαίας διασποράς ή με την χρήση μονότροπων οπτικών ινών. Ο δεύτερος τρόπος είναι η διασπορά υλικού. Φωτεινή ακτινοβολία διαφορετικού μήκους κύματος, μεταδίδεται με διαφορετικές ταχύτητες ακόμη και στην ίδια διαδρομή κίνησης, στο ίδιο υλικό κίνησης, προκαλώντας απώλεια σήματος. Ο τρίτος τρόπος εμφάνισης διασποράς είναι η διασπορά κυματοδηγού.

Η κίνηση του φωτός και η διάθλασή του στα όρια πυρήνα μανδύα είναι η αρχή λειτουργίας της οπτικής ίνας. Αναλόγως της κατασκευής αυτής της περιοχής υπάρχουν ορισμένες ακτινοβολίες, ορισμένα μήκη κύματος τα οποία διασπείρονται. Τα μήκη κύματος είναι διαφορετικά ανά περίπτωση και εξαρτώνται από τον σχεδιασμό της περιοχής. Πολλές φορές η διασπορά κυματοδηγού και η διασπορά υλικού, λόγω του ότι εξαρτώνται από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας, αθροίζονται και ονομάζονται χρωματική διασπορά. Η πολύτροπη διασπορά είναι η κύρια αιτία διασποράς στις πολύτροπες ίνες ενώ η διασπορά υλικού είναι η κύρια αιτία διασποράς στις μονότροπες ίνες. Με σωστό σχεδιασμό της διεπιφάνειας πυρήνα μανδύα η διασπορά κυματοδηγησης μπορεί να έχει αντίθετα αποτελέσματα από την διασπορά υλικού έτσι να μειώσει εν τέλει τις απώλειες κάτι που συμβαίνει στην σχεδίαση μονότροπων οπτικών ινών.

Η απορρόφηση είναι η τρίτη αιτία απώλειας σήματος στις οπτικές ίνες. Σε αυτή την περίπτωση η ακτινοβολία καθώς κινείται εντός της οπτικής ίνας απορροφάται από αυτήν με αποτέλεσμα να χάνεται. Η απορρόφηση οφείλεται σε προσμίξεις που υπάρχουν στο οξειδίο του πυριτίου, στο γυαλί. Όσο μεγάλης καθαρότητας και αν είναι κάποιες προσμίξεις όπως ιόντα σιδήρου, χαλκού, νικελίου και υδροξύλια θα έχει. Εκτός των προσμίξεων όμως απορρόφηση ακτινοβολίας μπορεί να εμφανιστεί και εξαιτίας ταλάντωσης των μορίων του οξειδίου του πυριτίου λόγω συντονισμού με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας. Τα φαινόμενα αυτά είναι μεγαλύτερα για μήκη κύματος από 1700nm για αυτό και το τρίτο παράθυρο εμφανίζεται στα 1550nm.

Στην εικόνα που παρατίθεται ως επίλογος στην παρούσα ενότητα βλέπουμε τις συνολικές απώλειες σήματος στην οπτική ίνα. Εμφανίζονται οι κυριότερες απώλειες όπως η σκέδαση Rayleigh, η απορρόφηση και η διασπορά κυματοδηγού. Εκεί όπου αθροιστικά οι απώλειες είναι οι λιγότερες εμφανίζεται η μέγιστη ισχύς σήματος. Παρατηρούμε λοιπόν ότι η ισχύς του σήματος εμφανίζει τρία μέγιστα που αντιστοιχούν με μήκη κύματος κοντά στα 850nm, στα 1300nm και στα 1550nm. Τα μέγιστα αυτά συμπίπτουν με τα τρία παράθυρα που έχουν προαναφερθεί. Για αυτό τον λόγο λοιπόν προτιμούνται αυτές οι τρεις συχνότητες για την λειτουργία των οπτικών ινών.



Εικόνα 2.11: Απώλειες σήματος σε οπτικές ίνες.

2.6 Καλώδια οπτικών ινών

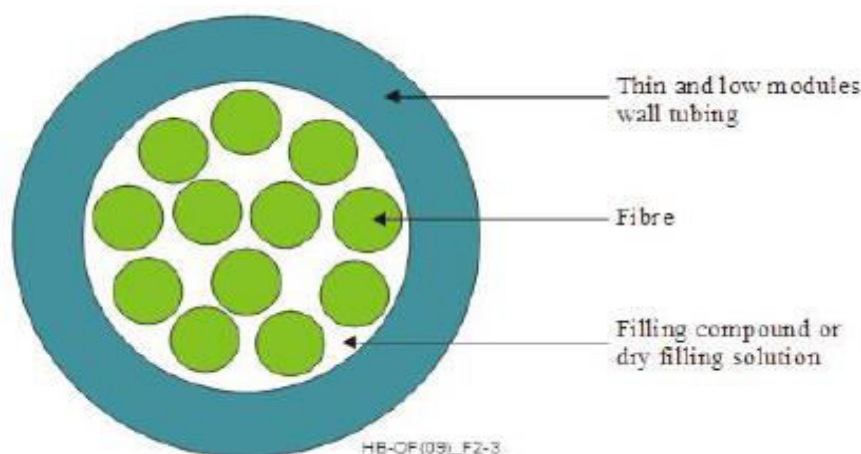
Ως καλώδιο εννοείται η δομή που περικλείει μια ή περισσότερες οπτικές ίνες διασφαλίζοντας τις λειτουργικές επιδόσεις τους στο περιβάλλον λειτουργίας του επί μακρόν. Το είδος του καλωδίου και η πολυπλοκότητα της δομής του εξαρτάται από την συγκεκριμένη εφαρμογή. Θα πρέπει όμως να αντέχει σε όλες τις πιθανές συνθήκες που ενδεχομένως θα αντιμετωπίσει κατά την διάρκεια της αποθήκευσης, εγκατάστασης και λειτουργίας του. Ως πιθανές συνθήκες νοούνται οι υψηλές θερμοκρασίες, ηλιακή ακτινοβολία, ψύχος, βροχή υγρασία, εφελκυσμός τάνυση κάμψη και στρέψη.

Κατασκευάζονται ώστε να προσφέρουν αντοχή και προστασία στην οπτική ίνα χωρίς να επηρεάζουν τα τεχνικά χαρακτηριστικά της. Ένα καλώδιο μπορεί να έχει είτε μια είτε περισσότερες οπτικές ίνες. Το καλώδιο που φέρει μια οπτική ίνα ονομάζεται καλώδιο κολλητού απομονωτή. Το καλώδιο που φέρει περισσότερες της μιας οπτικές ίνες ονομάζεται καλώδιο χαλαρού απομονωτή.

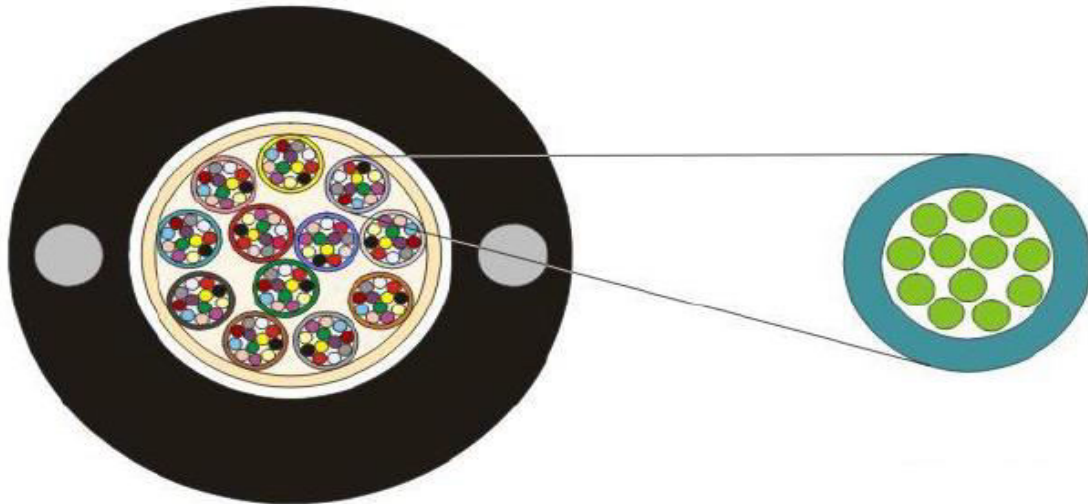
Η τυπική δομή των καλωδίων οπτικών ινών είναι πολύ συγκεκριμένη. Αποτελείται σε γενικές γραμμές από την οπτική ίνα, από μια ενίσχυση και από ένα εξωτερικό περίβλημα. Σε περιπτώσεις που απαιτείται υπάρχει εσωτερικός πυρήνας ενίσχυσης, υλικά περιορισμού διείσδυσης υγρασίας και ενισχυμένα περιβλήματα ώστε να παρέχουν αντοχή σε διάφορες περιστάσεις.

Τα καλώδια οπτικής ίνας κατά βάση έχουν δύο δομές, ανήκουν σε δύο κατηγορίες, στα καλώδια κολλητού απομονωτή και στα καλώδια χαλαρού απομονωτή. Μικροδιαφοροποιήσεις υπάρχουν αναλόγως του τύπου του καλωδίου. Έτσι λοιπόν το καλώδιο κολλητού απομονωτή έχει στο κέντρο του την οπτική ίνα, συνήθως με την δική της επίστρωση, χωρίς κάποια επιπλέον επίστρωση. Ακολουθεί η ενίσχυση και εν τέλει τοποθετείται το εξωτερικό περίβλημα. Τα καλώδια κολλητού απομονωτή μπορούν να χρησιμοποιηθούν και αυτούσια χωρίς άλλη επικάλυψη και ονομάζονται απλά καλώδια οπτικών ινών.

Τα καλώδια χαλαρού απομονωτή έχουν ένα εξωτερικό περίβλημα μέσα από το οποίο διέρχονται οπτικές ίνες χαλαρές. Οι χαλαροί σωλήνες που περιέχουν τις οπτικές ίνες στα άκρα τους σφραγίζονται με χρήση κάποιου ζελέ ώστε να μην διαπερνούνται από υγρασία σε περίπτωση που αυτό είναι απαραίτητο. Τα καλώδια χαλαρού απομονωτή σπάνια χρησιμοποιούνται αυτούσια. Συνήθως είναι μέρος σύνθετων καλωδίων με ένα στιβαρό εξωτερικό περίβλημα όπως παρουσιάζεται στην επόμενη ενότητα. Στην επόμενη εικόνα διακρίνουμε τα καλώδια χαλαρού απομονωτή. Στην δεύτερη εικόνα βλέπουμε πως πολλά καλώδια χαλαρού απομονωτή συνδυάζονται σε ένα σύνθετο καλώδιο με στιβαρό εξωτερικό περίβλημα.

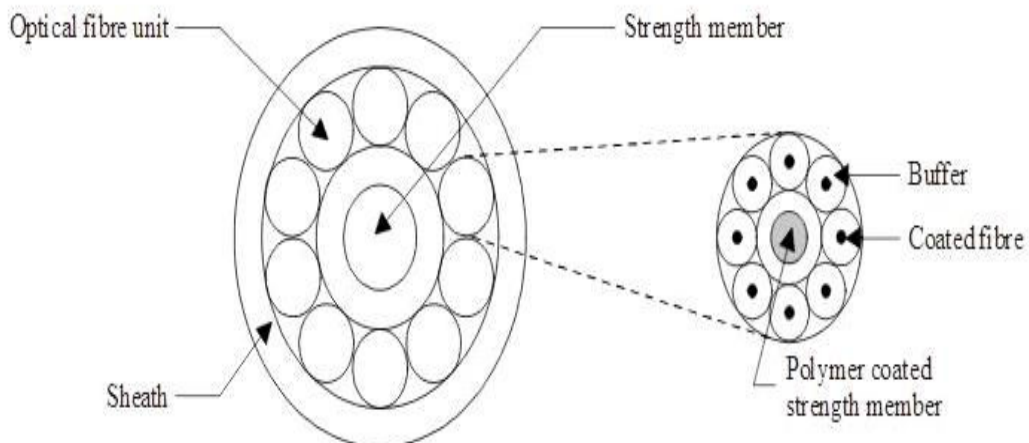


Εικόνα 2.12: Καλώδιο χαλαρού απομονωτή.



Εικόνα 2.13: Καλώδιο οπτικής ίνας αποτελούμενο από πολλά καλώδια χαλαρού απομονωτή.

Ο πυρήνας είναι ένα υλικό ενίσχυσης που χρησιμοποιείται όταν το τελικό καλώδιο έχει πέραν του ενός καλωδίου οπτικής ίνας, είτε κολλητού είτε χαλαρού απομονωτή. Ο πυρήνας αποτρέπει την συστρόφη των καλωδίων μεταξύ τους και ταυτόχρονα τα διατηρεί στην θέση τους αποτρέποντας την μεταξύ τους μηχανική φόρτιση. Ταυτόχρονα αυξάνει την αντοχή του καλωδίου σε εφελκυσμό. Συνήθως ο πυρήνας είναι κατασκευασμένος από πολυμερές υψηλής αντοχής. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η χρήση πυρήνα σε ένα σύνθετο καλώδιο. Παρατηρείται ότι ο πυρήνας χρησιμοποιείται τόσο στο μικρό επιμέρους καλώδιο όσο και στο μεγάλο σύνθετο καλώδιο.



Εικόνα 2.14: Χρήση πυρήνα σε καλώδιο οπτικών ινών.

Για την προστασία των καλωδίων από την υγρασία και το νερό, ιδιαίτερα στα καλώδια χαλαρού απομονωτή, χρησιμοποιούνται διάφορα μονωτικά υλικά. Τα κυριότερα από αυτά είναι διογκωτικές ταινίες, διογκωτική σκόνη και ένα διεισδυτικό μίγμα.

Συνηθέστερο όλων είναι το διεισδυτικό μίγμα το οποίο χρησιμοποιείται για να κλείσει τα κενά ανάμεσα στα επιμέρους καλώδια και τον πυρήνα ή ανάμεσα στον απομονωτή και τα χαλαρά καλώδια. Συνήθως έχει την μορφή ζελέ ώστε να μην επηρεάζει την ελευθερία κίνησης των καλωδίων στο εσωτερικό του απομονωτή και ταυτόχρονα να απομακρύνεται και να καθαρίζεται εύκολα ώστε να μπορεί το καλώδιο να συνδεθεί στην άκρη του.

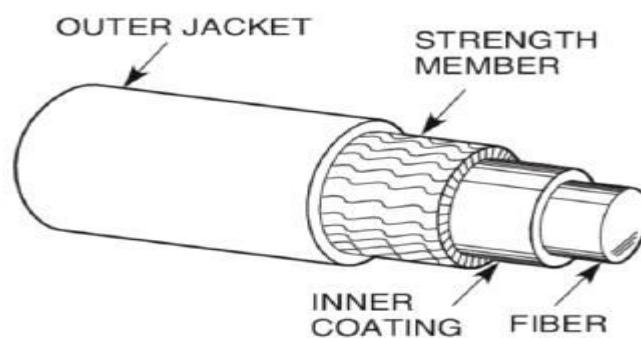
Το περίβλημα είναι η τελική επίστρωση του καλωδίου, είναι το τμήμα του καλωδίου που είναι εκτεθειμένο. Κατασκευάζεται από πλειάδα υλικών και μπορεί να έχει και εσωτερική ενίσχυση. Η επιλογή του υλικού, της διαμέτρου και της πιθανής ενίσχυσης του καλωδίου εξαρτάται από την εφαρμογή του. Υπάρχουν πάρα πολλοί τύποι περιβλημάτων. Συνηθέστεροι όλων είναι οι ακόλουθοι:

- Περιβλήματα με συνδυασμό μετάλλου, πλαστικού σε στρώσεις: Συνήθως τα περιβλήματα αυτά είναι ταινίες μεταλλικές όπου στο εσωτερικό τους έχουν μια πλαστική επίστρωση. Χρησιμοποιούνται για να παράξουν προστασία υγρασίας στο καλώδιο.
- Αμιγώς πλαστικά περιβλήματα: Κατασκευάζονται συνήθως από πολυαιθυλένιο ή PVC και δεν παρέχουν καμιά προστασία υγρασίας ενώ έχουν και μικρή αντοχή. Χρησιμοποιούνται σε απλές κοινές εφαρμογές.
- Πλαστικά περιβλήματα με εσωτερική ενίσχυση: Τα συγκεκριμένα περιβλήματα στο εσωτερικό τους έχουν στρώσεις από ενίσχυση. Η ενίσχυση αυτή μπορεί να είναι είτε μεταλλική (μορφή πλέξης μεταλλικών ινών) είτε συνθετική (πλέξη συνθετικών ινών όπως cenlar για παράδειγμα).
- Πλαστικά περιβλήματα με ενσωματωμένη μεταλλική ενίσχυση: Στα περιβλήματα αυτά δύο παράλληλα μεταλλικά στελέχη υπάρχουν κατά μήκος του περιβλήματος, ενσωματωμένα στο πλαστικό, προσφέροντας περαιτέρω αντοχή, ειδικά σε εφελκυστικά φορτία.
- Πλαστικά περιβλήματα με θωράκιση: Τα περιβλήματα αυτά χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές σε ιδιαίτερα δυσμενή περιβάλλοντα. Συνήθως, εξωτερικά από το πλαστικό περίβλημα υπάρχει μια πλέξη μεταλλικού σύρματος, είτε από ανοξείδωτο χάλυβα είτε από γαλβανισμένο χάλυβα. Με αυτό τον τρόπο αυξάνεται η αντοχή σε διάβρωση έτσι μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα καλώδια οπτικών ινών μέσα σε υγρά περιβάλλοντα (νερό, λύματα κλπ).

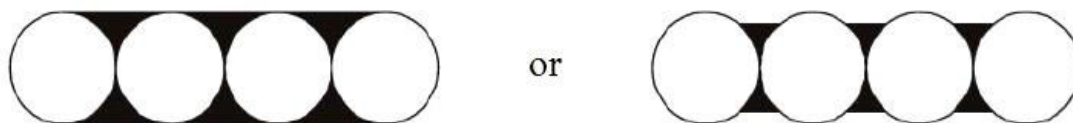
Τύποι καλωδίων

Καλώδια οπτικών ινών υπάρχουν σε διάφορες μορφές. Υπάρχουν εκατοντάδες διατάξεις καλωδίων αναλόγως της εφαρμογής της οπτικής ίνας. Τα συνηθέστερα καλώδια όμως μπορούν να διαχωριστούν σε πέντε κατηγορίες, τα απλά καλώδια και καλώδια ταινίες, τα καλώδια σφιχτού πακέτου, τα διαρρηγνύόμενα καλώδια, τα καλώδια χαλαρού σωλήνα και τα σύνθετα και υβριδικά καλώδια.

Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει τα απλά καλώδια και τα καλώδια κορδόνια. Σε αυτή την κατηγορία ένα καλώδιο αποτελείται από μια οπτική ίνα κολλητού απομονωτή και ονομάζεται απλό καλώδιο. Υπάρχει το ενδεχόμενο ένα καλώδιο όμως να αποτελείται από δύο συνδεδεμένα μεταξύ τους απλά καλώδια (σύνδεση στο περίβλημα) και τότε ονομάζεται καλώδιο κορδόνι. Τα καλώδια αυτά, λόγω της μικρής εξωτερικής τους αντοχής (έχουν μόνο ένα απλό περίβλημα καλωδίου) χρησιμοποιούνται κατά βάση για συνδέσεις. Δεν βρίσκουν πολλές άλλες εφαρμογές.



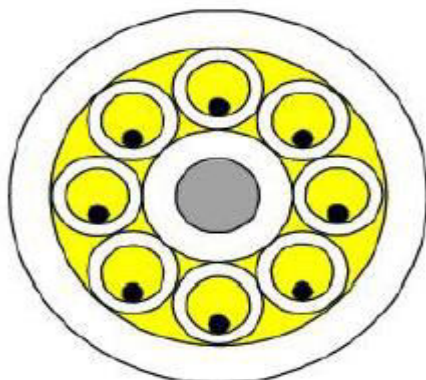
Εικόνα 2.15: Απλό καλώδιο οπτικής ίνας.



Εικόνα 2.16: Κορδέλα αποτελούμενη από 4 απλά καλώδια.

Η δεύτερη κατηγορία είναι τα καλώδια σφιχτού πακέτου. Στα καλώδια αυτά υπάρχει ένα εξωτερικό δεύτερο περίβλημα και μέσα τοποθετούνται καλώδια οπτικών ινών. Τα εσωτερικά καλώδια είναι χαλαρού απομονωτή. Πυρήνας στο κέντρο χρησιμοποιείται για την ενίσχυση της αντοχής του καλωδίου όπως και μονωτικό υλικό ή υλικό υψηλής αντοχής ανάμεσα στα καλώδια και το περίβλημα.

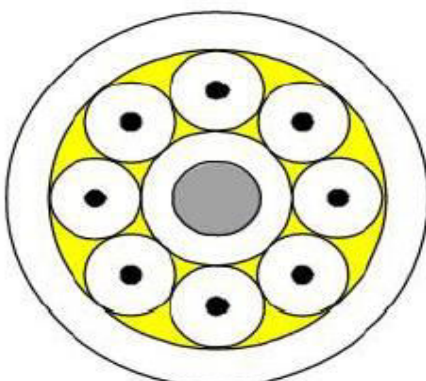
Τα καλώδια αυτά είναι υψηλής αντοχής, χρησιμοποιούνται σε περιβάλλοντα καταπόνησης και κατά βάση για να εκτελούν διαδρομές από ανάμεσα σε κυτία διασύνδεσης. Η χρήση καλωδίων χαλαρού απομονωτή συνεπάγεται ότι κάθε ίνα δεν έχει δικό της απομονωτή για αυτό και οι διασυνδέσεις γίνονται πάντα μέσα στα κυτία διασύνδεσης.



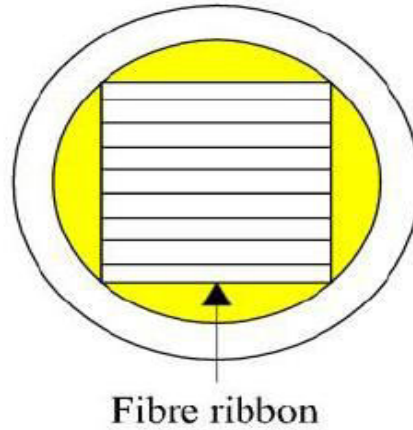
Εικόνα 2.17: Καλώδια σφιχτού περιβλήματος.

Η τρίτη κατηγορία καλωδίων οπτικών ινών είναι τα διαρρηγνύμενα καλώδια. Τα καλώδια αυτά ομοιάζουν με τα καλώδια της προηγούμενης κατηγορίας με μόνη διαφορά ότι στο εσωτερικό χρησιμοποιούνται οπτικές ίνες κολλητού απομονωτή. Αυτό σημαίνει ότι κάθε ίνα μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην έξοδο του καλωδίου κατευθείαν χωρίς την απαραίτητη ύπαρξη κυτίου διασύνδεσης. Αυτά είναι τα συνηθέστερα καλώδια που συναντούμε στην κατασκευή δικτύων και τα βλέπουμε να τερματίζουν με βύσματα κατευθείαν στις συσκευές που συνδέουν.

Φέρουν αυτή την ονομασία γιατί όταν διαρραγεί το εξωτερικό περίβλημα στην ουσία υπάρχουν πολλά ανεξάρτητα καλώδια οπτικών ινών. Στα διαρρηγνύμενα καλώδια μπορούν να τοποθετηθούν και κορδέλες καλωδίων αυξάνοντας περεταίρω τον αριθμό των οπτικών ινών που περιέχει το καλώδιο.



Εικόνα 2.18: Διαρρηγνύμενα καλώδια με περιεχόμενο απλού καλωδίου.

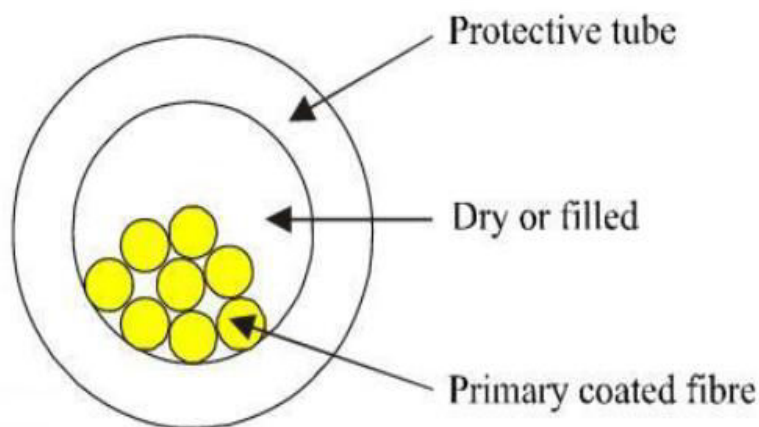


Εικόνα 2.19: καλώδια με ίνες σε μορφή κορδέλας.

Η τέταρτη κατηγορία είναι τα καλώδια χαλαρού σωλήνα. Σε αυτή την κατηγορία τα καλώδια της οπτικής ίνας τοποθετούνται χύδην σε ένα σωλήνα, συνήθως πλαστικό. Εντός του σωλήνα τοποθετούνται είτε καλώδια κολλητού απομονωτή ώστε να φέρουν κάποια προστασία είτε συνηθέστερα οπτικές ίνες με το δικό τους περίβλημα χωρίς καμία επιπλέον προστασία.

Στον σωλήνα αυτό διέρχεται πλήθος οπτικών ινών όμως η διάμετρός του είναι πολύ μεγαλύτερη από τον χώρο που καταλαμβάνουν οι οπτικές ίνες που διέρχονται μέσα από αυτόν. Αυτό επιτρέπει στις οπτικές ίνες να κινούνται ελεύθερα στο καλώδιο ακολουθώντας φυσικές διαδρομές με μικρότερες μηχανικές φορτίσεις.

Πολλές φορές, μετά την εγκατάσταση, στα άκρα του σωλήνα τοποθετείται υλικό ώστε να γεμίζει ο σωλήνας και να μην επιτρέπεται η διείσδυση νερού σε αυτόν. Τα καλώδια αυτά χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που απαιτείται υψηλότερη προστασία όπως για παράδειγμα σε περιπτώσεις ταφής των καλωδίων.

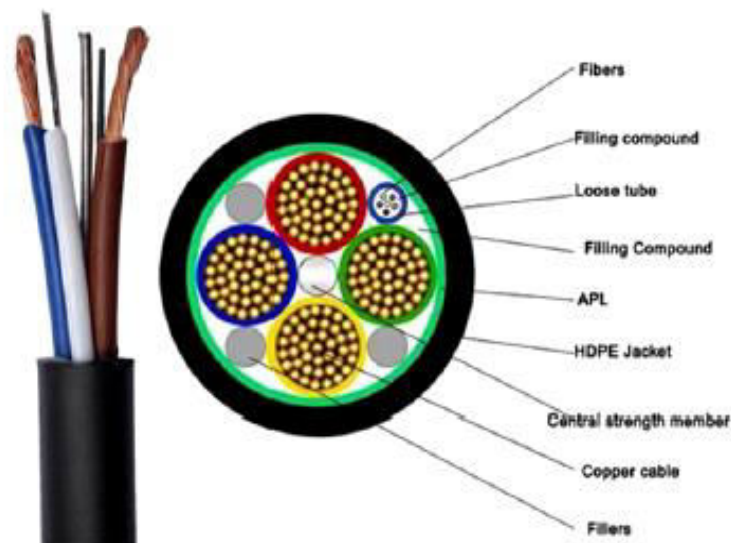


Εικόνα 2.20: Καλώδιο χαλαρού σωλήνα.

Τα σύνθετα και υβριδικά καλώδια είναι η πέμπτη κατηγορία καλωδίων οπτικών ινών. Είναι καλώδια τα οποία εμπεριέχουν συνδυασμό οπτικών ινών ή οπτικές ίνες και χάλκινους αγωγούς μέσα στο ίδιο περίβλημα. Ειδικότερα, σύνθετα ονομάζονται τα καλώδια που εμπεριέχουν οπτικές ίνες και αγωγούς στο ίδιο περίβλημα.

Υβριδικά ονομάζονται τα καλώδια που στο περίβλημα εμπεριέχουν οπτικές ίνες διαφορετικού τύπου, μονότροπες και πολύτροπες. Η δομή τους είναι αντίστοιχη των προηγούμενων με ενίσχυση και εξωτερικό περίβλημα. Στην αγορά οι δύο όροι πολλές φορές συγχέονται και αυτό οφείλεται στο ότι στο παρελθόν υβριδικά ονομάζονταν τα καλώδια τα οποία είχαν συνδυασμό χάλκινων αγωγών και οπτικών ινών με αποτέλεσμα πολλές βιομηχανίες να εξακολουθούν να ονομάζουν υβριδικά αυτά τα καλώδια.

Στην επόμενη εικόνα φαίνεται ένα σύνθετο καλώδιο που έχει 4 καλώδια χάλκινων αγωγών και ένα καλώδιο οπτικών ινών χαλαρού περιβλήματος.



Εικόνα 2.21: Σύνθετο καλώδιο οπτικών ινών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΔΙΚΤΥΑ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

3.1 Εισαγωγή

Τα οπτικά δίκτυα είναι δίκτυα τα οποία μεταφέρουν τις πληροφορίες με την χρήση οπτικών παλμών, παλμών από φως, ορατό ή μη, με μήκος κύματος από 0,4μm έως 3μm. Χρησιμοποιούνται έναντι των συμβατικών δικτύων μετάδοσης πληροφορίας με την χρήση ηλεκτρικού παλμού. Ο λόγος είναι ότι μπορούν να μεταφέρουν πολύ περισσότερο όγκο πληροφοριών με πολύ μικρότερες απώλειες.

Τα οπτικά δίκτυα μπορούν να στείλουν και να λάβουν, όχι μόνο πληροφορίες αναλογικής μορφής όπως είναι το video, αλλά επίσης μπορούν να μεταφέρουν πληροφορίες ψηφιακής μορφής όπως είναι για παράδειγμα τα δεδομένα υπολογιστών, αλλά και ψηφιοποιημένα σήματα ήχου ή video. Γενικά για να γίνει η μετάδοση της πληροφορίας σε ένα οπτικό σύστημα, αρχικά η πληροφορία κωδικοποιείται σε ηλεκτρικά σήματα, τα οποία μετατρέπονται σε οπτικά σήματα. Στη συνέχεια αυτά τα οπτικά σήματα ταξιδεύουν στην οπτική ίνα μέχρι να συναντήσουν έναν ανιχνευτή (photodetector) που τους δίνει πάλι την αρχική τους μορφή, δηλαδή τα μετατρέπει σε ηλεκτρικά σήματα. Ενώ στο τελευταίο στάδιο τα ηλεκτρικά αυτά σήματα αποκωδικοποιούνται σε πληροφορία με μορφή φωνής, βίντεο ή άλλων δεδομένων.

Το βασικό οπτικό σύστημα τηλεπικοινωνιών είναι ένα σύστημα μεταφοράς πληροφορίας που δεν διαφέρει σε τίποτα με το κλασσικό ηλεκτρικό σύστημα παρά μόνο στον τρόπο μετάδοσης της πληροφορίας. Σε αυτή την περίπτωση αντί η κωδικοποίηση της πληροφορίας να γίνεται διαμέσου έντασης ηλεκτρικού παλμού γίνεται διαμέσου έντασης ακτινοβολίας. Για αυτό τον λόγο η δομή του είναι πανομοιότυπη.

Οι οπτικές ίνες είναι λεπτές και διαφανείς ίνες, φτιαγμένες από γυαλί, και χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση του φωτός. Μια οπτική ίνα είναι ένας κυλινδρικός διηλεκτρικός κυματοδηγός που διαβιβάζει το φως κατά μήκος του άξονά του, με τη διαδικασία της ολικής εσωτερικής ανάκλασης. Η ίνα αποτελείται από έναν πυκνό πυρήνα, μέσω του οποίου μεταδίδεται το οπτικό σήμα στο τέρμα της ίνας. Όσο πιο στενός είναι ο πυρήνας, τόσο πιο γρήγορα μεταφέρεται το κύμα φωτός. Ο οπτικός πυρήνας περιβάλλεται από στρώμα γυάλινης επικάλυψης. Η επικάλυψη (cladding), η οποία περιβάλλει την οπτική ίνα κρατάει το φως στον πυρήνα, εμποδίζοντας το σήμα να διασκορπιστεί και να χάσει την ισχύ του. Αυτό επιτυγχάνεται καθώς ο δείκτης διάθλασης του πυρήνα είναι μεγαλύτερος από αυτόν της επένδυσης. Η επικάλυψη με

τη σειρά της περιβάλλεται από το εξωτερικό προστατευτικό υλικό, το οποίο προστατεύει την ίνα από τους περιβαλλοντικούς κινδύνους.

3.2 Η επικοινωνία στα δίκτυα οπτικών ινών

Τα περισσότερα από τα δεδομένα που στέλνονται σε ένα τοπικό δίκτυο (LAN) ταξιδεύουν με την μορφή ηλεκτρικών σημάτων. Ωστόσο οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούν το φως για την αποστολή δεδομένων. Επομένως για την σωστή επικοινωνία σε ένα δίκτυο που υπάρχουν και οπτικές ίνες και χάλκινα καλώδια θα πρέπει να υπάρχει κάποιος μηχανισμός που να μετατρέπει τον ηλεκτρισμό σε φως στην μία άκρη της ίνας και το φως σε ηλεκτρισμό στην άλλη άκρη της. Ο μηχανισμός που χρησιμοποιείται για να κάνει αυτή την μετατροπή είναι ο transmitter από την μία άκρη της ίνας και ο receiver από την άλλη άκρη της.

Ο transmitter λαμβάνει τα δεδομένα προς αποστολή από switches και routers. Αυτά τα δεδομένα είναι στην μορφή ηλεκτρικών σημάτων. Ο transmitter μετατρέπει τα ηλεκτρικά σήματα στους αντίστοιχους φωτεινούς παλμούς. Υπάρχουν δύο τύποι φωτεινών πηγών που χρησιμοποιούνται για την κρυπτογράφηση και για την αποστολή δεδομένων μέσω των καλωδίων:

1. Τα LED
2. Τα Laser

Τα LED παράγουν υπέρυθρο φως με μήκος κύματος των 850nm ή των 1310nm και χρησιμοποιούνται στα τοπικά δίκτυα με multimode ίνες. Τα Laser παράγουν μια λεπτή ακτίνα υπέρυθρου φωτός με μήκος κύματος που συνήθως κυμαίνεται μεταξύ των 1310-1550 nm και χρησιμοποιούνται στα WANs ή στα campus backbones με single-mode ίνες.

Κάθε μια από αυτές τις πηγές μπορεί να αναβοσβήνει πολύ γρήγορα για να στείλει δεδομένα (σε μορφή 1,0) σε υψηλό αριθμό bits ανά second. Στην άλλη άκρη της οπτικής ίνας βρίσκεται ο receiver. Ο receiver λειτουργεί κάπως σαν τις φωτοηλεκτρικές κυψέλες που υπάρχουν στα κομπιουτεράκια που τροφοδοτούνται με ηλιακή ενέργεια. Όταν το φως χτυπάει στον receiver αυτός παράγει ηλεκτρισμό. Η πρώτη δουλειά του receiver είναι να εντοπίσει τον φωτεινό παλμό που έρχεται από την ίνα. Έπειτα μετατρέπει τον φωτεινό παλμό πίσω στο αρχικό ηλεκτρικό σήμα που είχε εισαχθεί στον transmitter στην άλλη άκρη της ίνας. Τώρα που το σήμα είναι ξανά στην αρχική του μορφή είναι έτοιμο να αποσταλεί μέσω του χάλκινου καλωδίου σε κάθε

ηλεκτρονική συσκευή όπως ένας υπολογιστής, ένα switch ή ένας router. Οι ημιαγωγοί που χρησιμοποιούνται σαν δέκτες στις συνδέσεις των οπτικών ινών ονομάζονται p-intrinsic-n diodes (PIN photodiodes).

Τα PIN photodiodes σχεδιάζονται έτσι ώστε να είναι ευαίσθητα στα 850,1310 ή 1550 nm μήκη κύματος φωτός που παράγονται από τον transmitter στην άλλη άκρη της ίνας. Όταν δέχεται ένα χτύπημα από ένα παλμό φωτός στα παραπάνω μήκη κύματος τότε το PIN photodiode παράγει γρήγορα ένα ηλεκτρικό ρεύμα της σωστής τάσης για το δίκτυο και στιγμιαία σταματάει αυτή την παραγωγή όταν κανένα φως δεν χτυπάει πάνω του. Αυτό παράγει τις αλλαγές της τάσης που αναπαριστούν τα δεδομένα σε μορφή 0 και 1 στο χάλκινο καλώδιο.

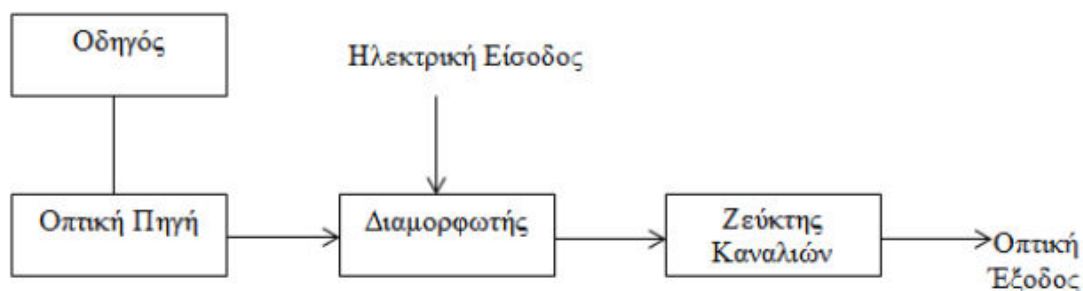
Οι σύνδεσμοι στις άκρες των ινών είναι συνδεδεμένοι έτσι ώστε οι ίνες να μπορούν να συνδεθούν στις πόρτες του transmitter και του receiver. Στις multimode οπτικές ίνες οι τύποι συνδέσμων που χρησιμοποιούνται πιο συχνά είναι οι Subscriber Connectors (SC) (ενώ στις single-mode ίνες χρησιμοποιούνται οι Straight Tip (ST) σύνδεσμοι.

Εκτός από τους transmitters, τους receivers, τους connectors και τις ίνες που είναι απαραίτητα σε ένα οπτικό δίκτυο συνήθως χρησιμοποιούνται και κάποιοι επαναλήπτες (repeaters). Οι επαναλήπτες είναι οπτικοί ενισχυτές που λαμβάνουν ένα αποδυναμωμένο φωτεινό παλμό που ταξιδεύει σε μεγάλες αποστάσεις και το επαναφέρουν στο αρχικό του σχήμα.

3.3 Δομή δικτύου

Οπτικός πομπός

Ο ρόλος του οπτικού πομπού είναι να μετατρέπει το ηλεκτρικό σήμα σε μια οπτική μορφή και να εισάγει το τελικό οπτικό σήμα μέσα στην οπτική ίνα η οποία χρησιμεύει σαν κανάλι επικοινωνίας. Τα βασικά μέρη ενός οπτικού πομπού είναι μια οπτική πηγή, ένας διαμορφωτής και ένας ζεύκτης με το τηλεπικοινωνιακό κανάλι.



Εικόνα 3.1: Τυπική διάταξη οπτικού πομπού.

Το κύκλωμα οδήγησης συνήθως αποτελείται από ένα τρανζίστορ και χρησιμοποιείται για να ανάβει και να σβήνει την πηγή φωτός σε πολύ μικρά χρονικά διαστήματα. Έτσι χρησιμοποιώντας το τρανζίστορ, μπορούμε να καταφέρουμε μια πολύ δυνατή πηγή φωτός να ανοίγει και να κλείνει στα χρονικά διαστήματα που εμείς επιθυμούμε. Πιο συγκεκριμένα, ο σκοπός των κυκλωμάτων οδήγησης είναι να παρέχουν ηλεκτρική ισχύ στην οπτική πηγή και να διαμορφώνουν την έξοδο του φωτός, σύμφωνα με το σήμα που πρόκειται να μεταδοθεί. Τα κυκλώματα αυτά είναι σχετικά απλά για τους πομπούς LED, αλλά γίνονται όλο και πιο περίπλοκα για οπτικούς πομπούς υψηλού ρυθμού μετάδοσης bit, οι οποίοι χρησιμοποιούν Laser με ημιαγωγούς, που πολώνονται κοντά στο επίπεδο κατωφλίου και έπειτα διαμορφώνονται μέσω ενός ηλεκτρικού σήματος, που εξαρτάται από το χρόνο. Επομένως, τα κυκλώματα οδήγησης έχουν σχεδιαστεί για να παρέχουν ένα σταθερό ρεύμα πόλωσης καθώς και ένα διαμορφωμένο ηλεκτρικό σήμα. Επιπλέον, συχνά χρησιμοποιείται ένας βοηθητικός βρόχος για να διατηρήσει τη μέση οπτική ισχύ.

Η οπτική πηγή μπορεί να είναι ένα LED ή ένα Laser. Τα οπτικά συστήματα επικοινωνίας συχνά χρησιμοποιούν οπτικές πηγές με ημιαγωγούς όπως για παράδειγμα φωτοδιόδους (LED) και Laser με ημιαγωγούς, λόγω των διάφορων πλεονεκτημάτων που προσφέρουν.

Μερικά από τα πλεονεκτήματα είναι το μικρό μέγεθος, η υψηλή απόδοση, η μεγάλη αξιοπιστία, η κατάλληλη περιοχή μηκών κύματος, η μικρή επιφάνεια εκπομπής σε σχέση με τις διαστάσεις του πυρήνα της οπτικής ίνας και η δυνατότητα άμεσης διαμόρφωσης σε σχετικά υψηλές συχνότητες και έτσι εξαλείφεται η ανάγκη χρήσης ενός εξωτερικού διαμορφωτή μέσα στον οπτικό πομπό. Η τεχνολογία Laser είναι πιο ακριβή και μπορεί να γίνει χρήση της για πιο μεγάλες αποστάσεις. Οι πομποί εκπέμπουν φως σε συγκεκριμένες κυματομορφές, δηλαδή αυτοί με τα LEDs εκπέμπουν σε εύρος 850 και 1310 nm με συχνότητα περίπου 200 MHz ενώ αυτοί με τα Laser εκπέμπουν σε εύρος 1310 ή 1550nm με συχνότητα περίπου 1 GHz. Οι ρυθμοί των δεδομένων που μπορούν να υποστηρίξουν οι σύγχρονοι πομποί είναι μέχρι 10 Gbps.

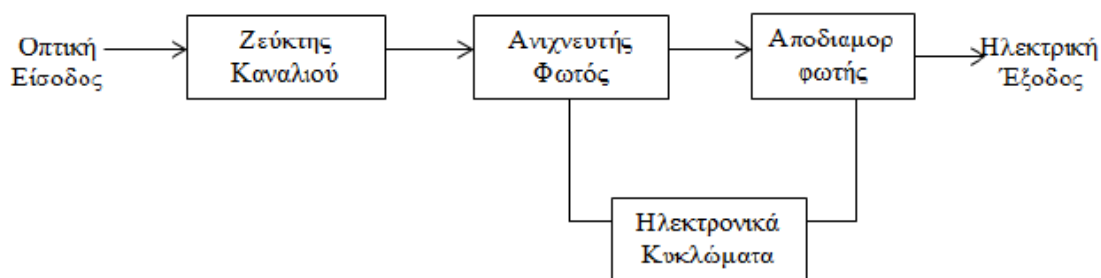
Παρόλο που μερικές φορές χρησιμοποιείται ένας εξωτερικός διαμορφωτής, στις περισσότερες περιπτώσεις παραλείπεται, αφού η έξοδος μιας οπτικής πηγής από ημιαγωγό μπορεί να διαμορφωθεί κατευθείαν αλλάζοντας το ρεύμα που τη διαρρέει.

Μία τέτοια τεχνική απλοποιεί τη σχεδίαση του πομπού και είναι γενικά αποδοτική ως προς το κόστος.

Τέλος, ο ζεύκτης καναλιών είναι τυπικά ένας μικροφακός που εστιάζει το οπτικό σήμα στο επίπεδο εισόδου της οπτικής ίνας με τη μέγιστη δυνατή απόδοση.

Οπτικός δέκτης

Ο ρόλος ενός οπτικού δέκτη είναι να μετατρέπει το οπτικό σήμα πάλι σε ηλεκτρικό και να ανακτά τις πληροφορίες που έχουν μεταδοθεί μέσω ενός οπτικού συστήματος. Το βασικό του εξάρτημα είναι ένας φωτοανιχνευτής που μετατρέπει το φως σε ηλεκτρικό παλμό μέσω του φωτοηλεκτρικού φαινομένου. Το ζητούμενο είναι το μήκος κύματος που αναγνωρίζει ο δέκτης να είναι παρόμοιο μ' αυτό που στάλθηκε από τον πομπό.



Εικόνα 3.2: Τυπική διάταξη οπτικού δέκτη.

Ο ζεύκτης εστιάζει το λαμβανόμενο οπτικό σήμα πάνω στο φωτοανιχνευτή. Σαν φωτοανιχνευτές χρησιμοποιούνται φωτοдиодοι ημιαγωγών λόγω της συμβατότητας τους με το συνολικό σύστημα. Ο ανιχνευτής φωτός είναι συνήθως ένα φωτοτρανζίστορ ή μια φωτοдиодο όπου μετατρέπει την φωτεινή ενέργεια σε ηλεκτρική ενέργεια.

Η σχεδίαση του αποδιαμορφωτή εξαρτάται από τον τύπο της διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται από το σύστημα οπτικών ινών. Η χρήση διαμορφώσεων FSK και PSK, που γενικά είναι κατάλληλες για σύμφωνα τηλεπικοινωνιακά συστήματα, απαιτεί ετερόδυνα ή ομόδυνα τεχνική αποδιαμόρφωσης. Τέτοιοι σύμφωνοι δέκτες έχουν πολλά εξαρτήματα και είναι σχετικά ακριβοί. Συχνά, το λαμβανόμενο σήμα είναι υπό μορφή οπτικών παλμών που αναπαριστούν το bit "1" ή το bit "0" και μετατρέπονται κατευθείαν σε ένα ηλεκτρικό ρεύμα. Η αποδιαμόρφωση γίνεται από ένα κύκλωμα λογικής επιλογής που αναγνωρίζει τα bit σαν "1" ή σαν "0" ανάλογα με το πλάτος του ηλεκτρικού ρεύματος. Η ακρίβεια του κυκλώματος λογικής επιλογής

εξαρτάται από το λόγο σήματος προς θόρυβο SNR, του ηλεκτρικού ρεύματος που παράγεται στο φωτοανιχνευτή.

Οι απαιτήσεις για έναν φωτοανιχνευτή είναι παρόμοιες με εκείνες μίας οπτικής πηγής. Θα πρέπει να έχει μεγάλη ευαισθησία, γρήγορη απόκριση, χαμηλό θόρυβο, χαμηλό κόστος και μεγάλη αξιοπιστία. Τέλος το μέγεθός του είναι συγκρίσιμο με το μέγεθος του πυρήνα της οπτικής ίνας.

Οπτικοί Ενισχυτές

Η παρουσία συσκευών ενίσχυσης οπτικού σήματος καθίσταται απαραίτητη λόγω της εξασθένησής του κατά τη μετάδοσή του μέσα από την ίνα. Πριν την ανάπτυξή τους, ο μόνος τρόπος να ενισχυθεί το σήμα ήταν μέσω ηλεκτρικής αναγέννησης, δηλαδή να μετατραπεί το οπτικό σήμα σε ηλεκτρικό, να ενισχυθεί, να επαναμετατραπεί σε οπτικό και ακολούθως να μεταδοθεί. Κάτι τέτοιο θα απαιτούσε μία ξεχωριστή συσκευή (regenerator - αναγεννητή) για κάθε μήκος κύματος. Αντιθέτως, ο οπτικός ενισχυτής μπορεί να ενισχύσει ταυτόχρονα όλα τα μήκη κύματος σε μια ίνα. Έτσι, το κόστος της ενίσχυσης μπορεί να κατανεμηθεί σε διάφορους χρήστες ή εφαρμογές.

Ένα πρόσθετο πλεονέκτημα είναι πως επειδή είναι αυστηρά οπτικές συσκευές, είναι ανεξάρτητες από πρωτόκολλο και ρυθμό μετάδοσης. Αυτό το γεγονός παρέχει ευελιξία στο ότι μια σύνδεση μπορεί να υποστηρίξει διάφορα πρωτόκολλα (ATM, SONET, PPP) με οποιονδήποτε ρυθμό μετάδοσης. Πρόκειται για μικρές σε μέγεθος συσκευές και με ελάχιστες απαιτήσεις σε ηλεκτρική ισχύ κάτι που αποτελεί πολύ σημαντικό πλεονέκτημα.

Επιπρόσθετα της χρήσης των συσκευών αυτών στις οπτικές συνδέσεις, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν και για την ενίσχυση της ισχύος του σήματος μετά από διαδικασίες πολύπλεξης/αποπολύπλεξης, οι οποίες προκαλούν απώλειες στο σύστημα. Ειδικά για την περίπτωση της τεχνολογίας WDM, η οποία επιβάλλει την εκπομπή υψήρρυθμων σημάτων και σε μεγάλες αποστάσεις, ο ιδανικός τύπος οπτικού ενισχυτή είναι ο Ινο-Οπτικός Ενισχυτής Ερβίου (Erbium-Doped Fiber Amplifier-EDFA).

- **Ινο-Οπτικός Ενισχυτής Ερβίου (EDFA)**

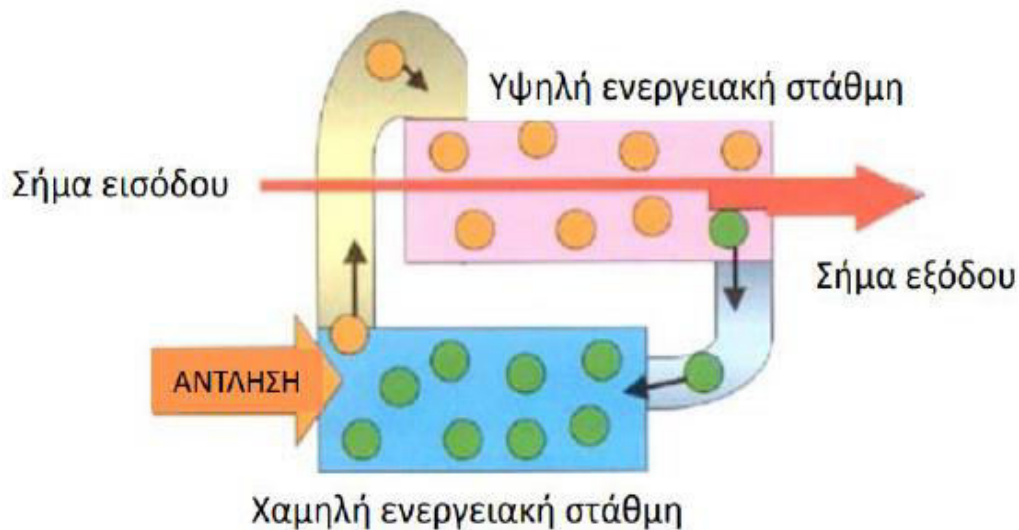
Οι οπτικοί ενισχυτές που χρησιμοποιούνται σήμερα στα ινοοπτικά δίκτυα είναι Ινο-Οπτικοί Ενισχυτές Ερβίου (Erbium-Doped Fibre Amplifiers - EDFAs). Το βασικό στοιχείο των ενισχυτών αυτών είναι μια οπτική ίνα, μήκους μερικών δεκάδων μέτρων, της οποίας ο πυρήνας είναι νοθευμένος με ιόντα Ερβίου. Όταν η ίνα αυτή

τροφοδοτηθεί με τη δέσμη ενός laser άντλησης (pump laser), με τη «μεσολάβηση» των ιόντων Ερβίου, ξεκινάει μια διεργασία «αναστροφής πληθυσμών», η οποία οδηγεί σε (αμιγώς οπτική) ενίσχυση των πολυπλεγμένων οπτικών σημάτων. Λόγω του ότι, στους συνήθεις EDFAs, η οπτική ενίσχυση, επιτελείται στην περιοχή 1525 - 1565 nm, οι ζεύξεις WDM λειτουργούν στο οπτικό παράθυρο των 1550 nm.

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

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

Όπως φαίνεται και στο σχήμα παρακάτω, η διεργασία άντλησης μπορεί να πραγματοποιηθεί και με laser μήκους κύματος 1480nm (τα φωτόνια «μεταφέρονται» απευθείας στην ενδιάμεση μετασταθή ζώνη). Πράγματι, lasers άντλησης 1480nm χρησιμοποιούνται στους ενισχυτές ίνας Ερβίου, προσφέροντας μεγαλύτερες ενισχύσεις αλλά και υψηλότερο θόρυβο.



Εικόνα 3.3: Λειτουργία ενισχυτή ερβίου.

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

Σε ότι αφορά τη θέση των οπτικών ενισχυτών σε μία ζεύξη WDM, διακρίνονται οι εξής περιπτώσεις:

- Ο οπτικός ενισχυτής χρησιμοποιείται ως ενισχυτής ισχύος (booster amplifier ή postamplifier) μετά την έξοδο του πολυπλέκτη, προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή ενίσχυση του σύνθετου (aggregate) οπτικού σήματος. Ο οπτικός ενισχυτής χρησιμοποιείται ως ενισχυτής γραμμής (in-line amplifier) για την ενίσχυση του σήματος σε τακτές αποστάσεις (συνήθως 80-120 km).
- Ο οπτικός ενισχυτής χρησιμοποιείται ως προενισχυτής (pre-amplifier) πριν την είσοδο του αποπολυπλέκτη, προκειμένου το οπτικό σήμα να αποκτήσει επαρκή ισχύ για τη διεργασία της αποπολυπλεξίας και τη λήψη των αποπολυπλεγμένων καναλιών από τους επιμέρους δέκτες.

Βασικές παράμετροι οπτικών ενισχυτών

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

- Κέρδος

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

- Κέρδος εύρους ζώνης

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

- Ισχύς σήματος εξόδου

Λόγω φαινομένων κορεσμού, το κέρδος μειώνεται όταν η ισχύς εισόδου ξεπερνά κάποια συγκεκριμένη τιμή. Στην περίπτωση αυτή ο ενισχυτής δεν είναι πια ενεργός και λέμε ότι βρίσκεται σε κατάσταση κορεσμού. Είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε το ποσό της ισχύος σήματος που μπορούμε να πάρουμε από κάποιον ενισχυτή για συγκεκριμένο επίπεδο άντλησης. Στα περισσότερα βιβλία η ισχύς εξόδου κορεσμού, ορίζεται ως η ισχύς σήματος εξόδου για την οποία το κέρδος μειώνεται κατά 3 dB από την τιμή που έχει καθορίσει ο κατασκευαστής. Οι κατασκευαστές συνήθως καθορίζουν το ποσό της ισχύος εξόδου που μπορεί να αποδώσει ένας ενισχυτής σε συνάρτηση της ισχύος σήματος εισόδου. Με χρήση μεγαλύτερων επιπέδων άντλησης μπορούμε να αυξήσουμε την ισχύ του σήματος εξόδου.

- Συντελεστής θορύβου

Κυριότερη συνιστώσα θορύβου είναι η ενισχυμένη αυθόρμητη εκπομπή, ASE. Κατά το φαινόμενο αυτό ένα διεγερμένο ιόν αποδιεγείρεται εξαναγκασμένα χωρίς την πρόσπτωση φωτονίου σήματος. Το ασύμφωνο φωτόνιο που παράγεται ενισχύεται κινούμενο και προς τα δυο τερματικά άκρα, με αποτέλεσμα στην έξοδο να έχουμε σήμα, άσχετο με το πραγματικό σήμα, που μπορεί να μην υπάρχει. Το σημαντικότερο μέγεθος που χρησιμοποιείται στην πράξη για το θορυβικό χαρακτηρισμό ενός οπτικού ενισχυτή είναι ο συντελεστής θορύβου N_f που δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

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

Ο συντελεστής θορύβου δίνει τη μεταβολή του σηματοθορυβικού λόγου κατά μήκος της ίνας. Καθώς ο ενισχυτής εισάγει πάντα πρόσθετο θόρυβο, είναι λογικό να αναμένουμε ότι ο N_f θα είναι πάντα μεγαλύτερος της μονάδας, δηλαδή η ίνα δε μπορεί να βελτιώσει τον SNR του σήματος. Μπορεί ναδειχτεί ότι για υψηλό σήμα εισόδου, η μεγαλύτερη πηγή θορύβου είναι ο όρος που προκύπτει από την αυθόρμητη εκπομπή ακτινοβολίας του ενισχυτή.

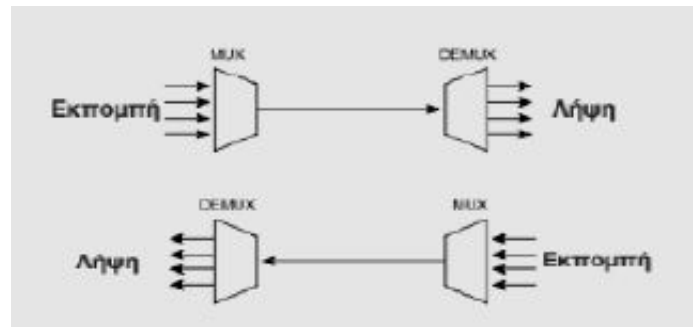
Τότε $N_f = 2n_{sp}$, όπου n_{sp} είναι ο συντελεστής αυθόρμητης εκπομπής. Είναι πολύ σημαντικό να γνωρίζουμε, ότι για ένα συγκεκριμένο σήμα εισόδου, υπάρχει ένα βέλτιστο ζεύγος (μήκος ίνας, ισχύς άντλησης) για το οποίο ο συντελεστής θορύβου παίρνει την ελάχιστη τιμή του. Αυξάνοντας το μήκος της ίνας και την ισχύ άντλησης θα έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της ASE προς την αντίθετη κατεύθυνση και τον κορεσμό του κέρδους στο μπροστινό μέρος όπου το σήμα είναι χαμηλό.

Οπτικοί Πολυπλέκτες-Αποπολυπλέκτες

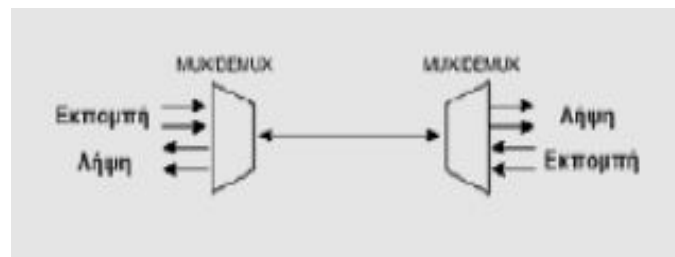
Οι συσκευές πολύπλεξης και αποπολύπλεξης επιτρέπουν το συνδυασμό των εισερχόμενων προς μετάδοση σημάτων (σημείο εκπομπής) ή το διαχωρισμό του οπτικού σήματος στα στοιχειώδη σήματα που το απαρτίζουν (σημείο λήψης) αντίστοιχα. Συνήθως οι παραπάνω λειτουργίες συνδυάζονται σε μία συσκευή, αν και σε κάποιες περιπτώσεις ο πολυπλέκτης και ο αποπολυπλέκτης είναι διαφορετικές συσκευές. Πολλές συσκευές πολύπλεξης-αποπολύπλεξης λειτουργούν χωρίς ηλεκτρική παροχή, δηλαδή είναι εντελώς παθητικά στοιχεία και συμπεριφέρονται σαν φίλτρα υψηλής επιλεκτικότητας, που συνδυάζουν και διαχωρίζουν τα μήκη κύματος

του οπτικού σήματος. Τα περισσότερα παθητικά στοιχεία λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο και όταν αντιστραφεί η φορά του οπτικού σήματος.

Οι διαδικασίες πολύπλεξης/αποπολύπλεξης διαφοροποιούνται ελαφρώς ανάλογα με το αν τα συστήματα μετάδοσης είναι μονόδρομης ή αμφίδρομης κατεύθυνσης (Unidirectional/Bidirectional Systems). Το γεγονός αυτό απεικονίζεται στις παρακάτω εικόνες:



Εικόνα 3.4: Εκπομπή/Λήψη σε Διαφορετικές Οπτικές Ύνες.



Εικόνα 3.5: Εκπομπή/Λήψη σε μία Οπτική Ύνα.

- Οπτικοί Πολυπλέκτες Προσθαφαίρεσης

Μια ειδική κατηγορία οπτικών πολυπλεκτών, αυτή των οπτικών πολυπλεκτών προσθαφαίρεσης (Optical Add/Drop Multiplexers-OADM's) κατέχει σημαντικότατο ρόλο στην προσπάθεια δημιουργίας εξολοκλήρου οπτικών δικτύων. Ο ρόλος τους είναι η εξαγωγή (dropping) από το σύνθετο (aggregate) οπτικό σήμα ή/και η εισαγωγή (adding) σε αυτό, ενός ή περισσοτέρων οπτικών καναλιών.

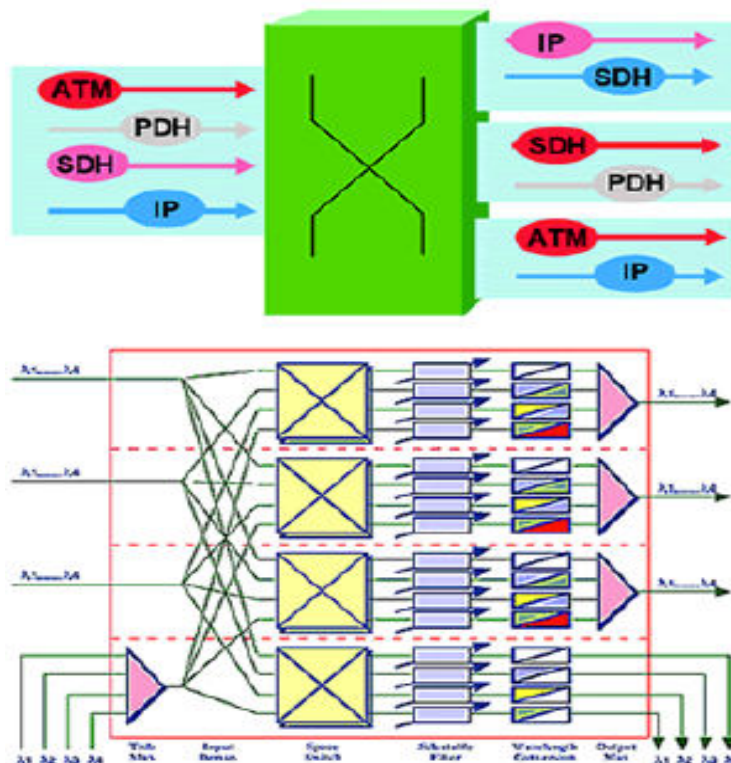
Ένας OADM μπορεί να εκτελέσει τις παραπάνω λειτουργίες απευθείας στο οπτικό επίπεδο (optical layer) χωρίς να υπάρχει η ανάγκη για εξαγωγή των ψηφιακών σημάτων από τα οπτικά κανάλια στο ηλεκτρικό επίπεδο. Η λειτουργία τους έχει πολλά κοινά σημεία με τις αντίστοιχες ADM/SONET διατάξεις, με τη βασική διαφορά-πλεονέκτημα της μη μετατροπής του οπτικού σήματος σε ηλεκτρικό πριν το διαχωρισμό. Η σημαντικότερη παράμετρος για έναν OADM είναι ο αριθμός των

καναλιών τα οποία μπορεί να εισάγει/εξάγει. Ανάλογα με τον κατασκευαστή, ο αριθμός αυτός ποικίλει από 4 έως 32.

Υπάρχουν δύο γενικοί τύποι των OADM's. Ο πρώτος τύπος είναι μια σταθερή συσκευή που είναι φυσικά διαμορφωμένη ώστε να εξαγάγει (drop) συγκεκριμένα και προκαθορισμένα μήκη κύματος καθώς εισάγει (add) άλλα. Ο δεύτερος τύπος είναι ικανός να επιλέγει δυναμικά ποια μήκη κύματος να εισάγει (add) και ποια να εξαγάγει (drop).

- Οπτικοί Διασταυρωτήρες

Ένας οπτικός διασταυρωτήρας (Optical Cross Connect – OXC) είναι μια διάταξη N οπτικών εισόδων και N οπτικών εξόδων, η οποία, στην πιο εξελιγμένη της μορφή, έχει τη δυνατότητα δρομολόγησης οπτικών καναλιών (στο οπτικό επίπεδο, χωρίς εξαγωγή των ψηφιακών σημάτων από τα οπτικά κανάλια στο ηλεκτρικό επίπεδο) από οποιαδήποτε είσοδο σε οποιαδήποτε έξοδο δυναμικά.



Εικόνα 3.6: Οπτικός διασταυρωτήρας.

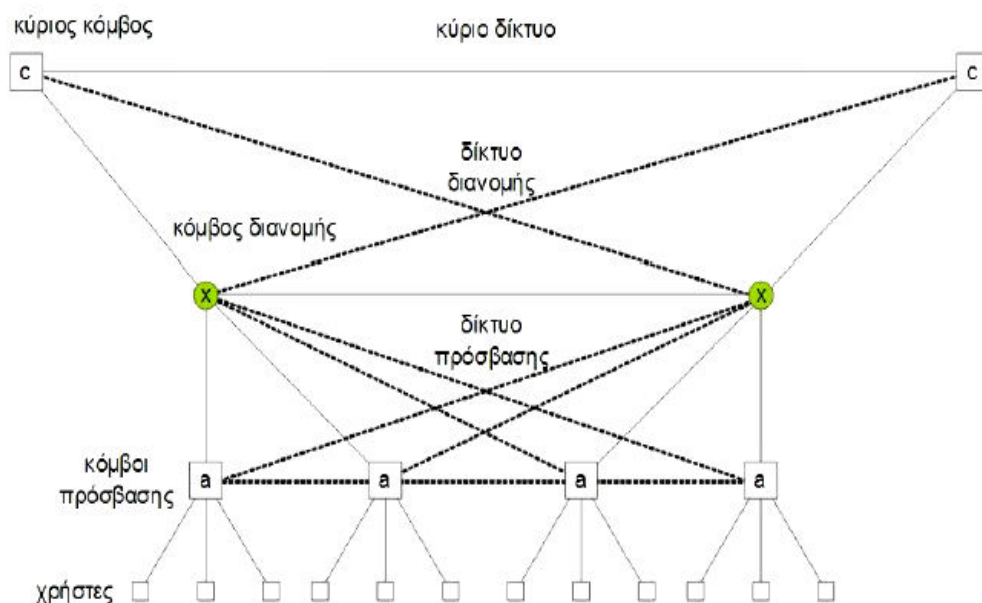
Στην οπτική περιοχή, όπου μπορούν να μεταδοθούν 40 οπτικά κανάλια από μία μόνο οπτική ίνα, απαιτείται ένα στοιχείο δικτύου να μπορεί να δέχεται διάφορα μήκη κύματος στις εισόδους του και να τα καθοδηγεί στις κατάλληλες εξόδους.

Για να πραγματοποιηθεί αυτό ο οπτικός διασταυρωτήρας (OXC) χρειάζεται τρεις δομικές μονάδες.

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

3.4 Αρχιτεκτονική δικτύων οπτικών ινών

Τα δίκτυα οπτικών ινών δομούνται με διάφορες τεχνικές όμως γενικά η αρχιτεκτονική τους μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι πανομοιότυπη και βασίζεται σε τέσσερα επιμέρους δίκτυα, το δίκτυο κορμού ή αλλιώς κύριο δίκτυο, το δίκτυο διανομής, το δίκτυο πρόσβασης και το δίκτυο χρηστών. Τα τρία πρώτα χρησιμοποιούνται για να συνδέουν τους κύριους κόμβους, τους κόμβους διανομής και τους κόμβους πρόσβασης ενώ το τελευταίο χρησιμοποιείται για την σύνδεση των τελικών χρηστών στο δίκτυο. Στην επόμενη εικόνα διακρίνεται ένα μητροπολιτικό δίκτυο οπτικών ινών και ακολούθως περιγράφεται η δομή και αναλύονται τα χαρακτηριστικά του.



Εικόνα 3.7: Αρχιτεκτονική ενός μητροπολιτικού οπτικού δικτύου τηλεπικοινωνιών.

Οι κύριοι κόμβοι του δικτύου συνδέονται με το κύριο δίκτυο, με το δίκτυο κορμού. Το δίκτυο αυτό μεταφέρει μεγάλους όγκους δεδομένων και συνήθως αποτελείται από ένα ενιαίο καλώδιο εκτός αν για οποιοδήποτε λόγο δεν μπορεί τεχνικά να γίνει αυτό. Οι κύριοι κόμβοι ενός μεγάλου οπτικού συστήματος τηλεπικοινωνιών συνήθως σχηματίζουν ένα δακτύλιο μέσα στον οποίο εμπεριέχουν το υπόλοιπο οπτικό δίκτυο.

Από τους κύριους κόμβους ξεκινάνε μικρότερα υποδίκτυα, τα δίκτυα διανομής τα οποία διανέμουν το οπτικό σήμα σε κόμβους στο εσωτερικό του δικτύου, στους κόμβους διανομής. Τα δίκτυα διανομής πρέπει απαραίτητως να συνδέονται με δύο κύριους κόμβους ή αν συνδέονται με ένα πρέπει να έχουν δύο διαφορετικές διαδρομές (μια άμεση και μια διαμέσου ενός άλλου δικτύου διανομής) για λόγους ασφάλειας και αξιοπιστίας του δικτύου. Στους κόμβους διανομής γίνεται και η διάκριση σε ενεργό ή παθητικό σήμα καθώς ο εξοπλισμός του κόμβου διανομής μπορεί να είναι είτε ενεργός είτε παθητικός.

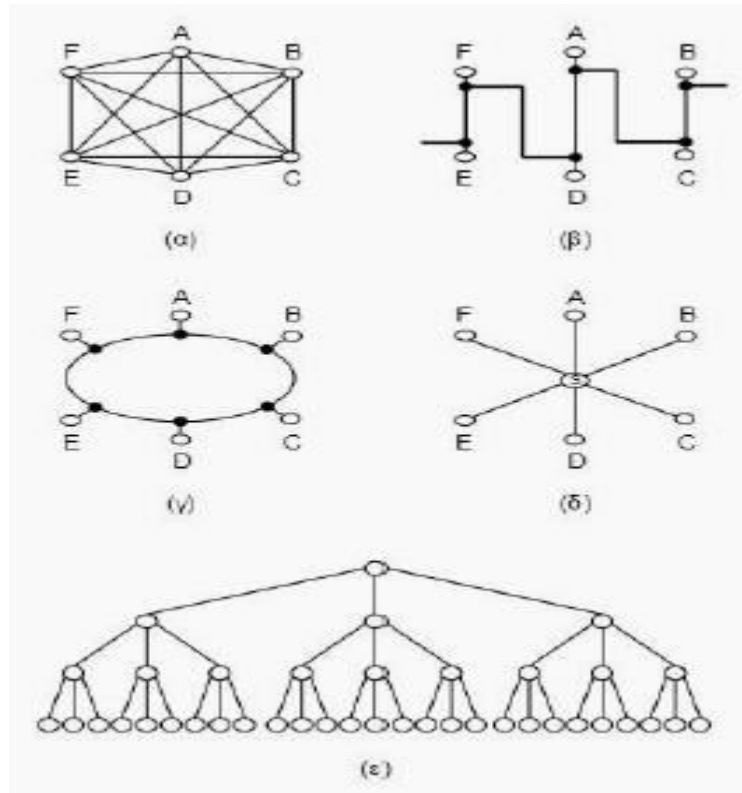
Ακολούθως, το δίκτυο πρόσβασης προσφέρει την σύνδεση των κόμβων διανομής με μικρότερους κόμβους εντός των γειτονιών ενός αστικού κέντρου. Οι μικρότεροι κόμβοι ονομάζονται κόμβοι πρόσβασης και διαμέσου αυτών θα διανεμηθεί το σήμα στους τελικούς χρήστες. Οι κόμβοι πρόσβασης συνδέονται και αυτοί με τουλάχιστον δύο κόμβους διανομής για λόγους αξιοπιστίας έτσι ώστε σε τυχούσα βλάβη στον ένα κόμβο διανομής να μπορούν να συνεχίσουν να τροφοδοτούνται από τον δεύτερο κόμβο διανομής.

Τέλος, το δίκτυο χρηστών χρησιμοποιείται για να μεταφέρει το οπτικό σήμα από τους κόμβους πρόσβασης στα κτίρια. Συνήθως σε αυτή την περίπτωση κάθε κτίριο λαμβάνει από μια μόνο διαδρομή, από ένα μόνο τοπικό κόμβο πρόσβασης το οπτικό σήμα. Το δίκτυο χρηστών κατά περίπτωση μπορεί να είναι υπόγειο και υπέργειο εν αντιθέσει με τα προηγούμενα τρία δίκτυα τα οποία είναι αποκλειστικά υπόγεια. Σε περίπτωση που η οπτική ίνα δεν φτάνει μέχρι τον τελικό χρήστη τότε το δίκτυο πρόσβασης καταλήγει σε τοπικές οπτικές μονάδες δικτύου στις οποίες το οπτικό σήμα μετατρέπεται σε ηλεκτρικό και μεταφέρεται στον χρήστη διαμέσου παραδοσιακών χάλκινων καλωδίων (τεχνολογία DSL).

Ένα μητροπολιτικό δίκτυο δεν μπορεί να τροποποιείται συνεχώς οπότε η αρχιτεκτονική του έχει κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά ώστε να εξασφαλίζουν την ικανοποιητική παροχή υπηρεσιών στους χρήστες για ένα εύλογο μεγάλο χρονικό διάστημα. Τα κύρια χαρακτηριστικά που πρέπει να εξασφαλίζει η αρχιτεκτονική ενός μητροπολιτικού δικτύου οπτικών ινών είναι τα παρακάτω:

- Να παρέχει την δυνατότητα εναλλακτικών συνδέσεων σε ένα πάροχο ώστε να εξασφαλίζει την αξιοπιστία του.
- Να επιτρέπει συνδέσεις βρόχων, αρτηριών ή αστέρα σε κάθε επιμέρους τμήμα του δικτύου.
- Να μπορεί διαμέσου του δικτύου να διανεμηθούν διαφορετικές υπηρεσίες από διαφορετικούς πάροχους.
- Να επιτρέπει την πολυπλεξία σε κάθε ένα από τα τέσσερα υποδίκτυα που το απαρτίζουν.
- Να είναι επεκτάσιμο σε όλα του τα επιμέρους τμήματα.
- Να έχει μειωμένο κόστος διαχείρισης και αποκατάστασης βλαβών.

Τα δίκτυα που περιλαμβάνονται στο μητροπολιτικό δίκτυο μπορούν να συνδεθούν με διάφορους τρόπους μεταξύ τους. Οι συνηθέστεροι τρόποι, οι συνηθέστερες αρχιτεκτονικές των δικτύων αυτών είναι ο βρόχος, η αρτηρία, ο αστέρας και το δέντρο. Το δίκτυο βρόχων αποτελείται από σταθμούς οι οποίοι συνδέονται με όλους τους άλλους σταθμούς του δικτύου. Το δίκτυο αρτηρίας (ή δακτυλίου) αποτελείται από σταθμούς που συνδέονται μεταξύ τους σε μια ευθεία γραμμή η οποία μπορεί να έχει αρχή και τέλος ή να σχηματίζει δακτύλιο. Το δίκτυο αστέρα σε ένα κοινό σταθμό συνδέονται πολλοί διαφορετικοί σταθμοί οι οποίοι δεν επικοινωνούν μεταξύ τους. Το δίκτυο δέντρου είναι ένα δίκτυο που αποτελείται από την σύνδεση πολλών δικτύων αστέρα ή αρτηρίας σχηματίζοντας μια δεντριτική μορφή. Στην επόμενη εικόνα φαίνονται αυτές οι διατάξεις δικτύων. Το α είναι ένα δίκτυο βρόχων, το β ένα δίκτυο αρτηρίας, το γ ένα δίκτυο αρτηρίας με μορφή δακτυλίου, το δ ένα δίκτυο αστέρα και το ε ένα δίκτυο δέντρου.



Εικόνα 3.8: Διατάξεις σύνδεσης κόμβων δικτύου.

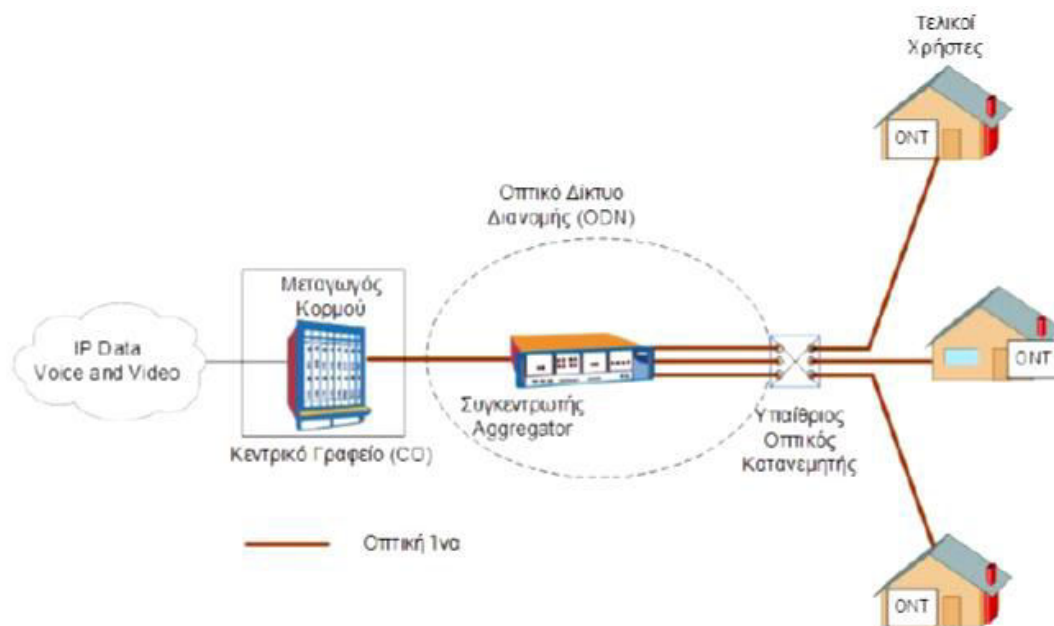
Στο μητροπολιτικό δίκτυο που είδαμε προηγουμένως συναντάμε όλες τις συνδέσεις. Καταρχήν από μόνο του είναι ένα δίκτυο δενδριτικής διάταξης. Το δίκτυο κορμού, το κύριο δίκτυο είναι ένα δίκτυο αρτηρίας (είναι συγκεκριμένα ένας δακτύλιος). Τα δίκτυα διανομής και πρόσβασης είναι δίκτυα κόμβων. Το δίκτυο χρηστών είναι δίκτυο αστέρα. Οπότε ένα τηλεπικοινωνιακό δίκτυο μπορεί να συνδυάζει και τις τέσσερις αρχιτεκτονικές.

3.4.1 Ενεργό Οπτικό Δίκτυο (Active Optical Network, AON)

Τα ενεργά οπτικά δίκτυα είναι από τις απλούστερες μορφές τηλεπικοινωνιακών δικτύων που υπάρχουν. Χρησιμοποιούν στους κόμβους διανομής ενεργό εξοπλισμό. Ενεργός εξοπλισμός ορίζεται ως ο εξοπλισμός που απαιτεί την ηλεκτρική του τροφοδοσία και εκτελεί δυναμικές εργασίες δρομολόγησης δεδομένων. Ο ενεργός εξοπλισμός του κόμβου διανομής συνδέεται κατευθείαν με τον χρήστη με μια οπτική ίνα, αποκλειστικά για δική του χρήση. Για να γίνει αυτό εφικτό όμως απαιτείται η ύπαρξη της τεχνολογίας τερματισμού της οπτικής ίνας στον χρήστη (οπτικό τερματικό δικτύου - ONT). Η αναγκαιότητα ύπαρξης οπτικής μονάδας δικτύου σε κάθε χρήστη

και η αναγκαιότητα τροφοδοσίας με ηλεκτρική ενέργεια του ενεργού εξοπλισμού είναι οι κυριότεροι λόγοι που τα ενεργά δίκτυα είναι η μειοψηφία στο σύνολο των οπτικών δικτύων.

Τα ενεργά οπτικά δίκτυα επιτρέπουν στον χρήστη να έχει μεγαλύτερο εύρος ζώνης στην διάθεσή του επιτρέποντάς τους να έχουν πρόσβαση σε περισσότερο υλικό. Ταυτόχρονα αυτό διευκολύνει σε υπερθετικό βαθμό την διαχείριση, την λειτουργία και την συντήρηση του δικτύου και καθιστά πιο εύκολη και άμεση την επίλυση προβλημάτων και βλαβών καθώς είναι αμέσως γνωστό πιο τμήμα του δικτύου έχει πρόβλημα. Επίσης η γνώση του κόμβου διανομής, του χρήστη και η μεταξύ τους διαδρομή επιτρέπει τον ακριβή υπολογισμό της απαιτούμενης ισχύος του σήματος ώστε να φτάσει στον χρήστη χωρίς προβλήματα. Η σύνδεση ενός σημείου (κόμβος διανομής) με ένα άλλο σημείο (χρήστης) έδωσε την ονομασία στην σύνδεση αυτή P2P (Point to Point). Συγκεκριμένα η σύνδεση ενεργού οπτικού δικτύου ονομάζεται P2P ενεργό καθώς όπως παρουσιάζεται παρακάτω υπάρχει και το παθητικό P2P. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η δομή ενός ενεργού οπτικού δικτύου.



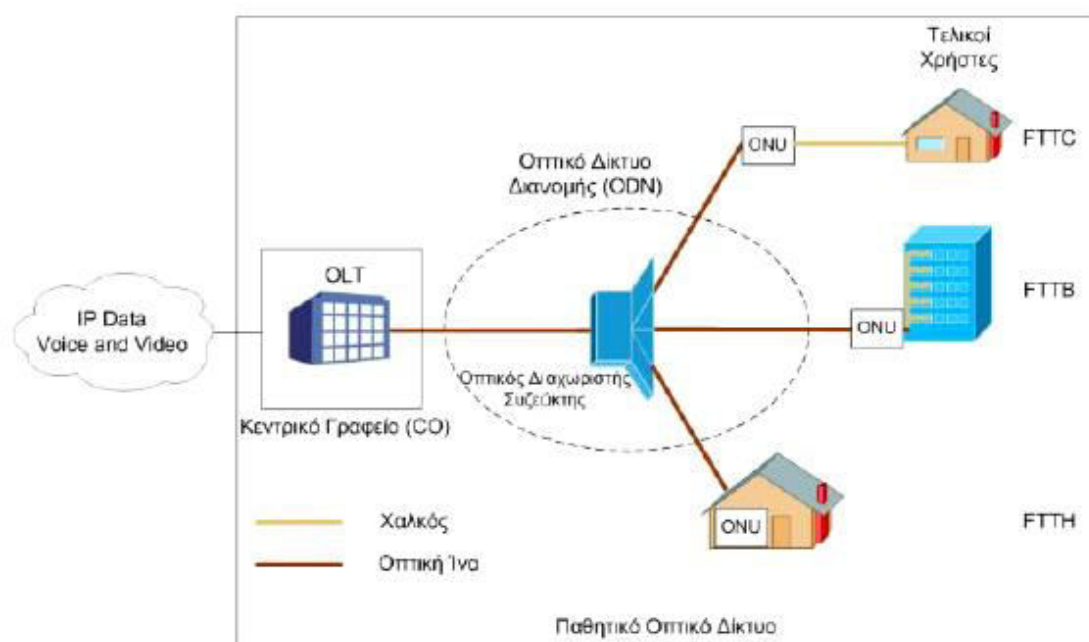
Εικόνα 3.9: Ενεργό οπτικό δίκτυο.

3.4.2 Παθητικό Οπτικό Δίκτυο (Passive Optical Network, PON)

Το παθητικό οπτικό δίκτυο φέρει αυτή την ονομασία γιατί στους κόμβους διανομής χρησιμοποιείται παθητικός εξοπλισμός, δηλαδή εξοπλισμός που λειτουργεί χωρίς να απαιτεί τροφοδοσία ηλεκτρικού ρεύματος. Τα παθητικά δίκτυα χρησιμοποιούν

τεχνικές διαμοιρασμού έτσι από μια οπτική ίνα τροφοδοτούνται πολλοί χρήστες. Ο διαμοιρασμός του σήματος γίνεται σε ένα οπτικό διαχωριστή που βρίσκεται στον κόμβο διανομής και έχει την δυνατότητα να διαχωρίσει το σήμα σε 32 διαφορετικά σήματα και με αυτό να τροφοδοτήσει 32 διαφορετικές οπτικές μονάδες ελέγχου.

Ακολούθως το σήμα από τις οπτικές μονάδες ελέγχου διαμοιράζεται στους χρήστες είτε με απλή σύνδεση χάλκινου καλωδίου είτε με οπτική ίνα (διατάξεις FTTx). Η διασύνδεση του χρήστη με το δίκτυο γίνεται είτε με οπτικές μονάδες δικτύου (ONU) είτε με οπτικά τερματικά δικτύου (ONT). Τα ONU χρησιμοποιούνται όταν η σύνδεση του χρήστη με το δίκτυο γίνεται μέσα στις τηλεπικοινωνιακές καμπίνες που υπάρχουν στα πεζοδρόμια. Τα ONT χρησιμοποιούνται όταν η οπτική ίνα φτάνει μέχρι τον χρήστη. Στην εικόνα παρακάτω φαίνεται ένα τυπικό παθητικό οπτικό δίκτυο.



Εικόνα 3.10: Παθητικό οπτικό δίκτυο.

Τα παθητικά οπτικά συστήματα είναι η πλειοψηφία στα συστήματα τηλεπικοινωνιών γιατί έχουν αρκετά πλεονεκτήματα. Καταρχήν η χρήση συστημάτων που δεν απαιτούν ύπαρξη ηλεκτρικής ενέργειας καθιστά τα συστήματα αυτά ανθεκτικότερα σε δύσκολες εξωτερικές συνθήκες (κλιματολογικές, χώρος διέλευσης κλπ.). Ταυτόχρονα η μη ύπαρξη ηλεκτρικής τροφοδοσίας περιορίζει τις απαιτήσεις συντήρησης του συστήματος περιορίζοντας και το κόστος συντήρησης. Ταυτόχρονα περιορίζεται και το κόστος εγκατάστασης γιατί μια μόνο οπτική ίνα χρησιμοποιείται από πολλούς χρήστες μέσω διαμερισμού του σήματος.

Τα παθητικά οπτικά δίκτυα έχουν μερικά πολύ σημαντικά τεχνικά χαρακτηριστικά. Ένα από αυτά τα χαρακτηριστικά είναι η δυνατότητα εύρους εκπομπής (broadcast) που επιτρέπει την χρήση τους για συστήματα καλωδιακής τηλεόρασης. Ένα άλλο είναι η δυνατότητα ύπαρξης αμφίδρομων υπηρεσιών (upstream – downstream).

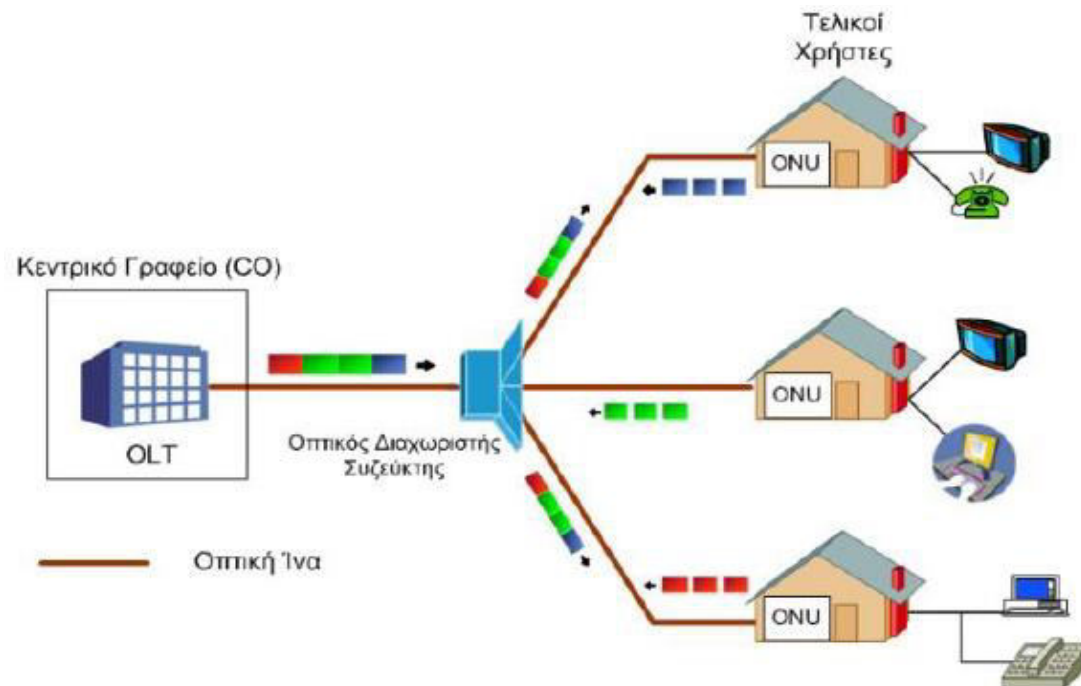
Σε αυτή την περίπτωση τα δίκτυα είναι ρυθμισμένα ώστε τα upstream οπτικά σήματα και τα downstream οπτικά σήματα τα οποία διακινούνται μέσω της ίδιας οπτικής ίνας να έχουν διαφορετικό μήκος κύματος για να μην μπερδεύονται μεταξύ τους. Συνήθως τα upstream οπτικά σήματα έχουν μήκος κύματος 1310nm, και τα downstream οπτικά σήματα έχουν μήκος κύματος 1490nm. Η εκπομπή βίντεο γίνεται σε ένα τρίτο μήκος κύματος, στα 1550nm. Ειδικά τα σήματα upstream τα οποία ξεκινάνε από πολλούς χρήστες και καταλήγουν σε μια οπτική ίνα, στο κεντρικό δίκτυο πρέπει να είναι συγχρονισμένα ώστε να μην αλληλεπικαλύπτονται. Ο συγχρονισμός αυτός συνήθως γίνεται με πολυπλεξία με διαίρεση χρόνου.

Τα παθητικά οπτικά δίκτυα έχουν τρεις αρχιτεκτονικές δικτύου, το δέντρο την αρτηρία και τον δακτύλιο. Συνηθέστερα χρησιμοποιείται η διάταξη του δέντρου καθώς περιορίζει τις μεταβολές του σήματος.

Τα παθητικά οπτικά δίκτυα έχουν αναπτυχθεί ιστορικά σε τέσσερις τεχνολογίες, σε τέσσερα πρότυπα τα οποία έχουν τυποποιηθεί από την ομάδα εργασίας FSAN (Full Services Access Network, ο σύνδεσμος των μεγαλύτερων παρόχων των ΗΠΑ δημιούργησε αυτή την ομάδα) και από το ινστιτούτο IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers). Κάθε ένα από τα πρότυπα αυτά θα μπορούσε να είναι από μόνο του ένα θέμα μιας εργασίας παρόλα αυτά περιληπτικά κάποια στοιχεία για αυτά τα τέσσερα πρότυπα παρουσιάζονται παρακάτω:

- ATM (APON). Είναι η πρώτη τεχνολογία η οποία χρησιμοποιήθηκε σε παθητικά δίκτυα και το μεγαλύτερο τμήμα της υπάρχουσας υποδομής βασίζεται στο πρότυπο αυτό. Παρείχαν δύο μήκη κύματος, ένα για λήψη και ένα άλλο για αποστολή δεδομένων.
- Broadband PON (BPON). Είναι η μετεξέλιξη των ATM και έλαβαν αυτή την ονομασία γιατί είχαν την δυνατότητα να μεταδώσουν και βίντεο μέσω της ευρυεκπομπής που τα χαρακτηρίζει. Αυτό έγινε εφικτό με την εισαγωγή ενός τρίτου μήκους κύματος που χρησιμοποιείται αποκλειστικά για την παροχή υπηρεσιών βίντεο. Το μεγάλο τους πλεονέκτημα είναι ότι χρησιμοποιούσαν την υποδομή της τεχνολογίας ATM έτσι δεν απαιτούνταν μεγάλα κόστη μετεξέλιξης.

- Gigabit PON (GPON). Είναι ένα νέο σύστημα το οποίο έρχεται να καλύψει τις ανάγκες για μεγαλύτερα εύρη ζώνης για τους χρήστες. Χρησιμοποιεί πολλές λειτουργίες και έχει πολλά πανομοιότυπα χαρακτηριστικά με το BPON ώστε να είναι συμβατό μαζί του. Έχει την δυνατότητα να υποστηρίζει έως και 32 χρήστες ανά ίνα σε μια μεταξύ τους απόσταση έως και 20 χιλιόμετρα. Η μορφή του φαίνεται στην επόμενη εικόνα.

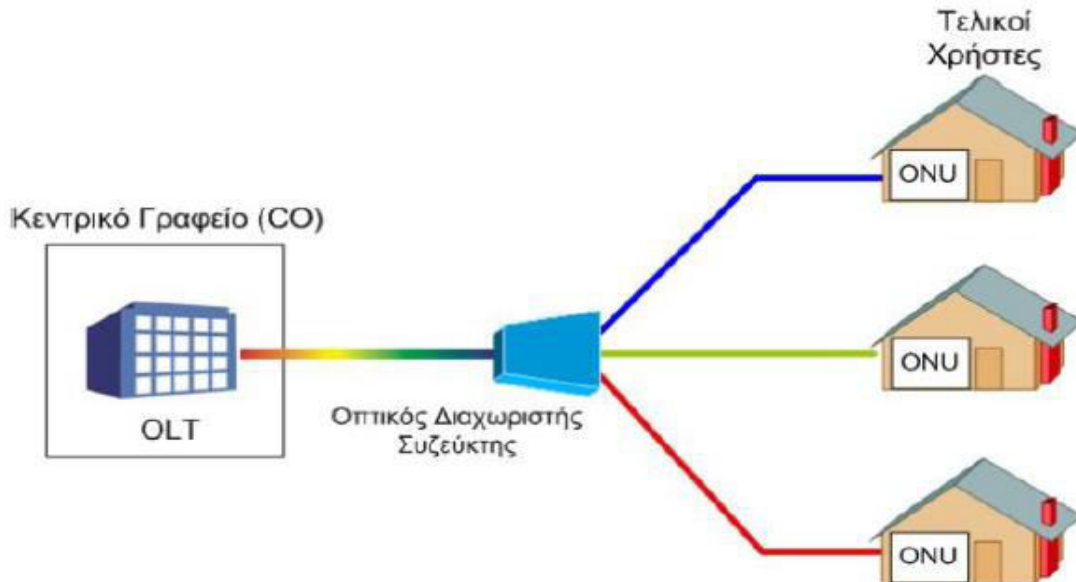


Εικόνα 3.11: Παθητικό οπτικό δίκτυο GPON.

- Ethernet PON (EPON). Τα παθητικά οπτικά συστήματα που βασίζονται στην τεχνολογία Ethernet ονομάζονται EPON και αναπτύχθηκαν από την IEEE εν αντιθέσει με όλα τα προηγούμενα που αναπτύχθηκαν από την FSAN. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν την τεχνολογία Ethernet που προϋπάρχει για άλλες χρήσεις και είναι μια τεχνολογία χαμηλού κόστους.

Μια εντελώς ανεξάρτητη κατηγορία παθητικών συστημάτων είναι τα WDM-PON. Όλα τα προηγούμενα παθητικά συστήματα χρησιμοποιούσαν πολυπλεξία με διαίρεση χρόνου (TDM) για την μετάδοση του σήματος ώστε αυτά τα σήματα να μην μπερδεύονται. Τα WDM παθητικά συστήματα χρησιμοποιούν πολυπλεξία με διαίρεση μήκους κύματος (WDM). Αυτό συνεπάγεται ότι κάθε χρήστης κάνει upstream και downstream σε διαφορετικό μήκος κύματος. Τα συστήματα αυτά παρέχουν

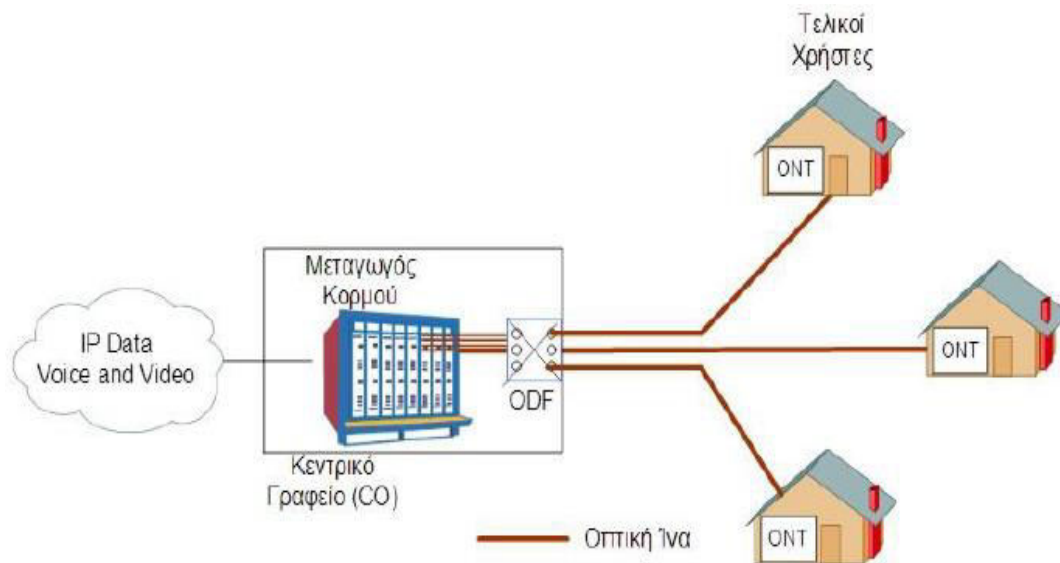
μεγαλύτερα εύρη ζώνης από τα προηγούμενα αλλά μπορούν να χρησιμοποιηθούν από μερικές δεκάδες χρηστών λόγω της πολυπλεξίας διαίρεσης μήκους κύματος. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται ένα παθητικό οπτικό δίκτυο WDM.



Εικόνα 3.12: Παθητικό οπτικό σύστημα WDM.

Τέλος, υπάρχει άλλη μια κατηγορία παθητικών οπτικών συστημάτων τα point to point (P2P). Τα συστήματα αυτά, όπως και τα ενεργά P2P, συνδέουν τον πάροχο με τον χρήστη με μια οπτική ίνα αποκλειστικά για δική του χρήση. Υπάρχει η δυνατότητα η εγκατάσταση να αποτελείται από δύο οπτικές ίνες, μια για το upstream και μια για το downstream.

Το παθητικό σύστημα P2P επιτρέπει στον χρήστη να χρησιμοποιεί το μέγιστο δυνατό εύρος ζώνης από όλες τις τεχνολογίες. Επίσης έχει το ισχυρότερο σήμα κάτι που επιτρέπει δίκτυο να φτάνει σε απόσταση έως και 80km. Το πρόβλημα του όμως είναι το κόστος γιατί τώρα η ίνα δεν μοιράζεται από πολλούς χρήστες. Έτσι για να καλυφθούν οι ίδιοι χρήστες απαιτούνται περισσότερες οπτικές ίνες κάτι που αυξάνει τόσο το κόστος εγκατάστασής όσο και το κόστος διαχείρισης και συντήρησης του κτιρίου. Στην επόμενη εικόνα διακρίνεται ένα παθητικό σύστημα P2P.



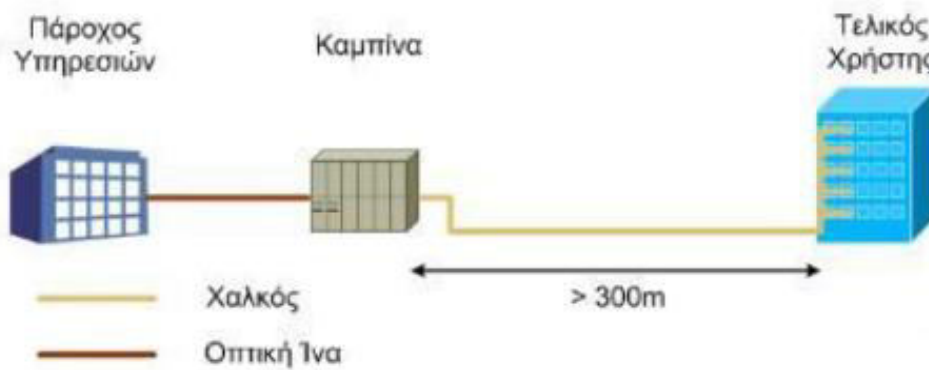
Εικόνα 3.13: Παθητικό οπτικό σύστημα P2P.

3.4.3 Δίκτυα Fiber To The x

Δίκτυα Fiber To The x (FTTx) ονομάζονται όλα τα δίκτυα τα οποία φέρουν οπτική ίνα προς αντικατάσταση μέρους ή ακόμη και όλου του μεταλλικού τμήματος που χρησιμοποιείται στο τελευταίο σκέλος του δικτύου. Ως τελευταίο σκέλος του δικτύου ορίζεται το σκέλος το οποίο φτάνει στον καταναλωτή και θεωρείται πως διαστασιολογικά είναι μικρότερο από 1 μίλι. Για αυτό διεθνώς ονομάζεται Last mile telecommunication. Στο σκέλος αυτό ακόμη και σήμερα επικρατούν οι τεχνολογίες xDSL. Η οπτική ίνα πλησιάζει όμως όλο και περισσότερο αρχίζοντας να εξαλείφει ή να περιορίζει τα συμβατικά χάλκινα καλώδια.

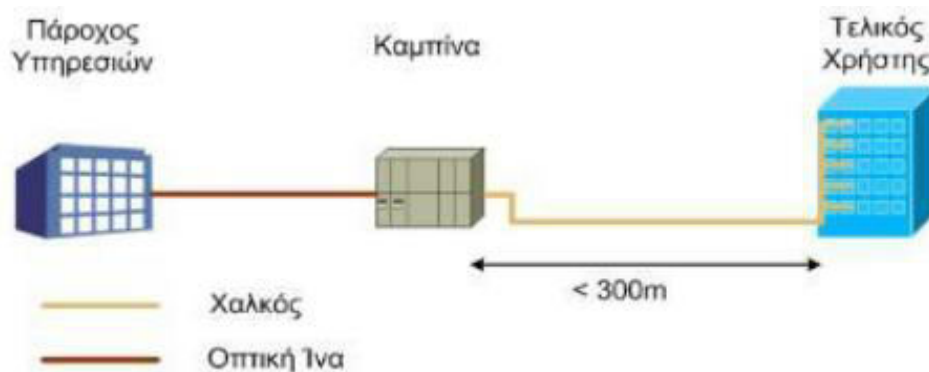
Οι τεχνολογίες Fiber To The x διαφέρουν λοιπόν στο γράμμα που τελειώνει η ονομασία τους, το «x», και επί της ουσίας προσδιορίζει τον χώρο που σταματά η οπτική ίνα και ξεκινάει το καλώδιο χαλκού. Κριτήριο διαχωρισμού λοιπόν είναι το μήκος του χάλκινου καλωδίου που χρησιμοποιείται από το τέλος της οπτικής ίνας μέχρι τον χρήστη. Οι συνηθέστερες διατάξεις είναι τέσσερες, οι ακόλουθες:

- FTTN (Fiber To The Neighborhood). Στην διάταξη αυτή η οπτική ίνα φτάνει μέχρι την γειτονιά δηλαδή το καλώδιο που χρησιμοποιείται από εδώ και πέρα έχει μήκος μεγαλύτερο των 300 μέτρων και φτάνει έως και το ένα μίλι. Επιτρέπει συνδέσεις με ταχύτητες της τάξεως των 100Mbps. Στην εικόνα παρακάτω φαίνεται ένα δίκτυο FTTN.



Εικόνα 3.14: Δίκτυο FTTH.

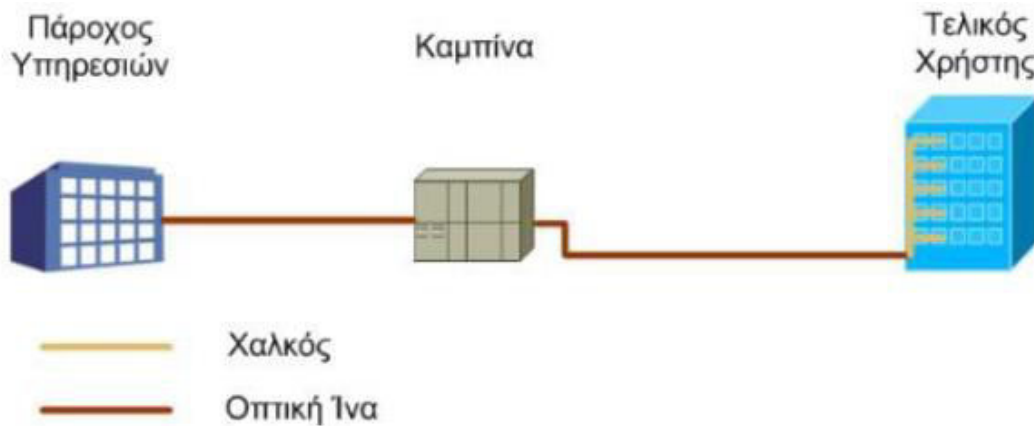
- FTTC (Fiber To The Cure ή Fiber To The Cabinet)/ Στην διάταξη αυτή η οπτική ίνα φτάνει μέχρι την τηλεπικοινωνιακή καμπίνα που βρίσκεται στο πεζοδρόμιο. Ακολούθως χρησιμοποιείται το χάλκινο καλώδιο για την σύνδεση του χρήστη το οποίο όμως έχει μήκος μικρότερο των 300 μέτρων. Στην ουσία η απόσταση καμπίνας και χρήστη είναι αυτή που το διακρίνει σε σχέση με το FTTH. Η διάταξη FTTC επιτρέπει ταχύτητες της τάξεως του 1Gbps. Στην επόμενη εικόνα διακρίνεται ένα δίκτυο FTTC.



Εικόνα 3.15: Δίκτυο FTTC.

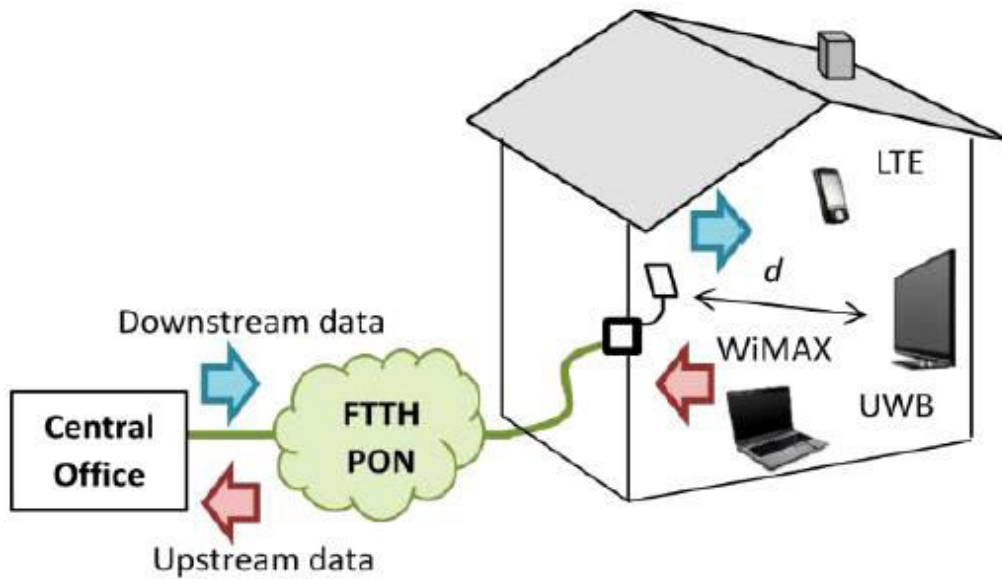
- FTTB (Fiber To The Building). Στην διάταξη αυτή η οπτική ίνα φτάνει και τερματίζει στο κτίριο που βρίσκονται οι χρήστες. Ακολούθως γίνεται διαμοιρασμός του στους χρήστες. Το χάλκινο καλώδιο λοιπόν περιορίζεται σε μήκος τέτοιο όσο απαιτείται από την δόμηση του κτιρίου επιτρέποντας πρακτικά απεριόριστη μεταφορά δεδομένων. Το σύστημα αυτό συνήθως χρησιμοποιείται σε μεγάλες επιχειρήσεις όπου το καλώδιο της οπτικής ίνας τερματίζει εντός της

επιχείρησης και γίνεται διαμοιρασμός σε όλους τους χρήστες της επιχείρησης. Αυτό έγινε γιατί πολλές φορές ήταν δύσκολη η περαιτέρω αλλαγή των χάλκινων καλωδίων εντός της επιχείρησης, συνήθως γιατί ήταν εγκατεστημένα μέσα στο κέλυφος του κτιρίου. Είναι μια πρόδρομη μορφή του δικτύου FTTH που ακολουθεί. Για αυτό και πολλές φορές αναφέρεται στην βιβλιογραφία και ως Fiber To The Business. Παρακάτω διακρίνεται ένα δίκτυο FTTB.



Εικόνα 3.16: Δίκτυο FTTB.

- FTTH (Fiber To The Home). Είναι η τελευταία εξέλιξη στην τεχνολογία των επικοινωνιών σε τοπικό επίπεδο. Πλέον το δίκτυο της οπτικής ίνας τερματίζει κατευθείαν στον χρήστη καταργώντας τα καλώδια χαλκού. Σε αυτά τα δίκτυα το τερματικό της οπτικής ίνας είναι ιδιοκτησίας του συνδρομητή πλέον και όχι του παρόχου. Σε αυτή την διάταξη εξασφαλίζεται η μεγαλύτερη δυνατή χωρητικότητα του δικτύου και κατά συνέπεια η μεγαλύτερη ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται το δίκτυο FTTH.



Εικόνα 3.17: Δίκτυο FTTH.

3.5 Προβλήματα κατά την μετάδοση μέσω οπτικών ινών

Σε γενικές γραμμές οι απώλειες που επιτυγχάνονται στις οπτικές ίνες είναι της τάξης των 0.2-0.3 db/km και το σήμα μπορεί να ταξιδέψει από 80 έως 140 χλμ. χωρίς να χρειαστεί αναγέννηση. Το συνολικό εύρος ζώνης που μπορεί να επιτευχθεί θεωρητικά, με χρήση προηγμένων μορφών πολυπλεξίας, είναι της τάξης των 300 THz. Αντίθετα στο ομοαξονικό καλώδιο, εμφανίζονται απώλειες της τάξης των 1000 db/km, για αυτό και χρειάζεται πολύ συχνότερα ενίσχυση, και το εύρος ζώνης που μπορεί να μεταφερθεί είναι της τάξης του 1 GHz.

Τα καλώδια οπτικών ινών μειώνουν και αυξάνουν την ένταση του φωτός για να παρουσιάσουν τα δυαδικά 0 και 1 στις μεταδόσεις δεδομένων. Η δύναμη του φωτεινού σήματος δεν εξασθενεί τόσο πολύ όσο η δύναμη του ηλεκτρικού σήματος σε παρόμοιες αποστάσεις. Τα οπτικά σήματα δεν επηρεάζονται από τον ηλεκτρικό θόρυβο και οι οπτικές ίνες δεν χρειάζεται να γειωθούν εκτός και αν η εξωτερική προστασία τους περιέχει κάποιο μεταλλικό υλικό.

Τα καλώδια οπτικών ινών δεν επηρεάζονται από τις πηγές εξωτερικών θορύβων που προκαλούν προβλήματα στα χάλκινα καλώδια επειδή το εξωτερικό φως δεν μπορεί να εισέλθει στην ίνα. Τα υλικά που καλύπτουν την ίνα δεν επιτρέπουν να μπαίνει ή να βγαίνει φως από αυτήν. Αυτό σημαίνει πως στις ίνες δεν έχουμε προβλήματα με το crosstalk όπως στα χάλκινα καλώδια. Επίσης, η ποιότητα των οπτικών συνδέσμων είναι τόσο καλή που τα πρόσφατα πρότυπα για το gigabit και για το 10 gigabit

Ethernet καθορίζουν αποστάσεις μεταφοράς που υπερβαίνουν τις παραδοσιακές αποστάσεις των 2 χιλιομέτρων των κλασικών Ethernet. Η μεταφορά μέσω οπτικών ινών επιτρέπει στο πρωτόκολλο Ethernet να χρησιμοποιείται στα MANs και WANs.

Παρά το γεγονός ότι οι οπτικές ίνες είναι οι καλύτερες από όλα τα μέσα μετάδοσης στο να μεταφέρουν μεγάλες ποσότητες δεδομένων σε μεγάλες αποστάσεις, αυτό δεν σημαίνει ότι δεν παρουσιάζουν και προβλήματα. Όταν το φως ταξιδεύει μέσω της ίνας μερική από την ενέργεια του χάνεται. Όσο πιο μακριά ταξιδεύει το φως μέσα στην ίνα τόσο περισσότερη ενέργεια χάνει το σήμα. Αυτή η εξασθένιση (attenuation) του σήματος συμβαίνει για διάφορους λόγους περιλαμβάνοντας και την ίδια την φύση της ίνας. Ο πιο σημαντικός λόγος είναι το scattering (διασκορπισμός). Ο διασκορπισμός του φωτός μέσα στην ίνα συμβαίνει εξαιτίας των μικροσκοπικών μη ομοιόμορφων μέσα στην ίνα που αντανακλούν και διασκορπίζουν μερική από την ενέργεια του φωτός.

Η απορρόφηση (absorption) αποτελεί μία ακόμα αιτία για την αποδυνάμωση της ενέργειας του φωτός. Όταν οι ακτίνες φωτός χτυπάνε σε μερικές χημικές ακαθαρσίες μέσα στην ίνα αυτές απορροφούν ένα μέρος της ενέργειας. Αυτή η ενέργεια φωτός μετατρέπεται σε ένα μικρό σύνολο θερμικής ενέργειας. Η απορρόφηση κάνει το σήμα φωτός πιο αδύναμο.

Η διασπορά (dispersion) του φωτός επίσης μειώνει τις αποστάσεις μετάδοσης σε μια ίνα. Η διασπορά είναι ο τεχνικός όρος του διασκορπισμού των φωτεινών παλμών καθώς ταξιδεύουν μέσω της ίνας. Όταν μερικά μήκη κύματος φωτός ταξιδεύουν σε ελάχιστα διαφορετικές ταχύτητες μέσα στο γυαλί σε σχέση με άλλα τότε δημιουργείται η χρωματική διασπορά. Αυτό συμβαίνει γιατί ένα πρίσμα διαχωρίζει τα μήκη κύματος του φωτός.

Σε μια ιδανική περίπτωση που μια πηγή LED ή Laser παράγει φως μίας μόνο συχνότητας τότε η χρωματική διασπορά δεν αποτελεί πλέον πρόβλημα. Δυστυχώς τα lasers και ειδικά τα LEDs παράγουν μια ποικιλία από μήκη κύματος και έτσι η χρωματική διασπορά ελαττώνει την απόσταση μεταφοράς μέσω μιας οπτικής ίνας. Αν το σήμα μεταφέρεται σε μεγάλη απόσταση τότε αυτό που αρχικά είναι ένας δυνατός παλμός καταλήγει να απλώνεται, να διαχωρίζεται και να σκοτεινιάζει με αποτέλεσμα όταν φτάνει στον παραλήπτη αυτός να μην μπορεί να ξεχωρίσει ένα 0 από ένα 1.

Προβλήματα κατά την σύνδεση

- Απώλειες λόγω διαφορετικής διαμέτρου πυρήνα

Αν το φως ταξιδεύει από ένα πυρήνα με μεγαλύτερη διάμετρο σε ένα πυρήνα με μικρότερη διάμετρο τότε όπως παρατηρούμε και στο παρακάτω σχήμα αρκετή από την ενέργεια του φωτός μπορεί να χαθεί.

- Απώλειες Πλευρικής Μετατόπισης

Οι σύνδεσμοι οπτικών ινών είναι σχεδιασμένοι έτσι ώστε να ευθυγραμμίζουν καλώδια οπτικών ινών επάνω στους κεντρικούς τους άξονες. Όταν ο άξονας μιας ίνας δεν ευθυγραμμίζεται πλήρως με τον άξονα της άλλης ίνας, υπάρχουν απώλειες. Οι απώλειες συσχετίζονται με τον βαθμό της απόλειας ευθυγράμμισης ανάμεσα στους δύο άξονες.

- Απώλειες διαχωρισμού άκρων

Δύο οπτικές ίνες που χωρίζονται από ένα διάκενο αέρα θα έχουν σαν αποτέλεσμα απώλεια σήματος. Όσο μεγαλύτερο είναι το διάκενο, τόσο μεγαλύτερη είναι η απώλεια. Ο βαθμός απόλειας είναι μικρότερος από τα 0.5db όταν οι άκρες των ινών χωρίζονται από μια απόσταση ίση με την διάμετρο των πυρήνων τους.

- Απώλειες γωνιαίας απόλειας ευθυγράμμισης

Όταν τα άκρα των δύο οπτικών ινών είναι κάθετα, τότε οι ακτίνες φωτός θα εισέρχονται επιτυχώς στο άλλο καλώδιο. Αν οι επιφάνειες των δύο καλωδίων οπτικών ινών είναι υπό γωνία, τότε οι ακτίνες φωτός θα ανακλώνται στην επιφάνεια του δεύτερου καλωδίου οπτικών ινών.

- Απώλειες από ανωμαλίες επιφάνειας

Μια σημαντική αιτία δημιουργίας μεγάλης εξασθένησης στα καλώδια οπτικών ινών είναι η λανθασμένη εγκατάστασή τους. Αν η ίνα τεντώνεται ή διπλώνεται πολύ σκληρά μπορεί να προκληθούν μικροσκοπικές ρωγμές μέσα στον πυρήνα που θα διασκορπίζουν τις ακτίνες φωτός. Άλλες ανωμαλίες επιφάνειας είναι διάφορα σκαλίσματα, ξυσίματα, αγκάθια και κοψίματα.

- Απώλειες από κάμψη της ίνας

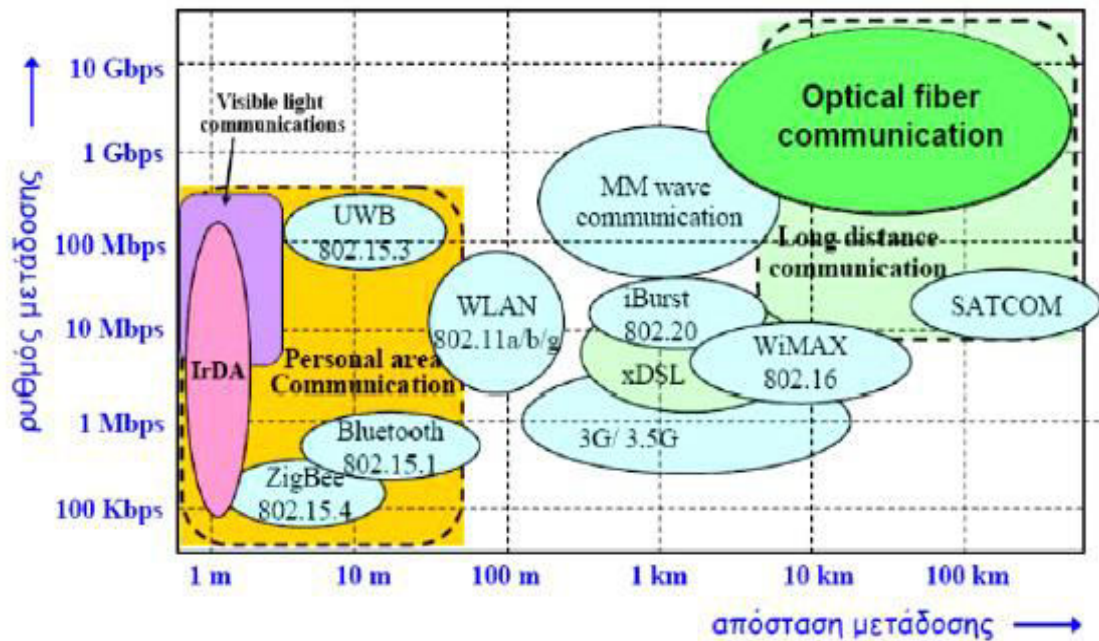
Η κάμψη της ίνας σε μια πάρα πολύ σφιχτή καμπύλη μπορεί να αλλάξει την προσπίπτουσα (incident) γωνία των φωτεινών ακτινών που χτυπάνε στα σύνορα του πυρήνα και της επικάλυψης. Τότε η προσπίπτουσα γωνία της ακτίνας θα γίνει μικρότερη από την κριτική γωνία που απαιτείται για ολική εσωτερική διάθλαση . Εκτός από την διάθλαση γύρω από την κάμψη της ίνας μερικές ακτίνες φωτός θα διαθλασθούν μέσα στην επικάλυψη και θα χαθούν. Όσο πιο απότομη είναι η κάμψη της ίνας τόσο μεγαλύτερη είναι και η απώλεια.

Για να αποφευχθούν οι πολύ απότομες κάμψεις της ίνας, η ίνα, τοποθετείτε σε ένα είδος σωλήνα που ονομάζεται interdicting. Το interdicting βοηθάει σημαντικά στην προστασία της ίνας και διευκολύνει στο τράβηγμα την ίνα χωρίς την ανησυχία για δημιουργία κάποιας κάμψης σε αυτήν.

3.6 Πλεονεκτήματα οπτικών δικτύων σε σχέση με συμβατικά δίκτυα

Τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα οπτικών ινών πλέον έχουν αρχίσει να επικρατούν και η τάση είναι η εξαφάνιση των συμβατικών δικτύων, κάτι που στα μητροπολιτικά κέντρα αναμένεται να γίνει μέσα στην επόμενη δεκαετία. Ο λόγος που τα δίκτυα οπτικών ινών επικρατούν των συμβατικών δικτύων είναι ο αριθμός των πλεονεκτημάτων που παρουσιάζουν. Συγκεκριμένα τα πλεονεκτήματα των οπτικών δικτύων μπορούν να συμπυκνωθούν στα παρακάτω σημεία.

- Το εύρος ζώνης είναι πολύ μεγαλύτερο, της τάξεως των 10Gpbs το οποίο μπορεί να αυξηθεί ακόμη περισσότερο με τις τεχνικές πολυπλεξίας μήκους κύματος. Μπορεί να φτάσει σε ένα τυπικό οπτικό δίκτυο τα 1,6Tbps. Ανά κανάλι μπορεί να μεταφερθούν έως και 448 Gbit/s κάτι που συνεπάγεται ταυτόχρονη εξυπηρέτηση δυο τρισεκατομμυρίων τηλεφωνικών κλήσεων ανά δευτερόλεπτο.
- Οι απώλειες σήματος στα οπτικά δίκτυα είναι πολύ μικρότερες σε σχέση με τα συμβατικά δίκτυα. Αυτό επιτρέπει λήψη καλύτερου σήματος από τους χρήστες σε πολύ μεγαλύτερες αποστάσεις που όπως έχουμε δει στις προηγούμενες ενότητες μπορούν να φτάσουν και τα 80 χιλιόμετρα (χωρίς ενίσχυση). Στην εικόνα που ακολουθεί φαίνονται οι τεχνολογίες δικτύων τηλεπικοινωνιών. Στον ένα άξονα είναι η απόσταση μετάδοσης και στον άλλο άξονα ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων. Τα οπτικά δίκτυα βρίσκονται στην βέλτιστη θέση, μέγιστης απόστασης και μέγιστου ρυθμού.



Εικόνα 3.18: Ρυθμός μετάδοσης και απόσταση μετάδοσης δεδομένων διάφορων τεχνολογιών.

- Επίσης εξαιτίας της χαμηλής απώλειας σήματος απαιτούνται πολύ λιγότεροι ενισχυτές κάτι που διευκολύνει την διαχείριση του δικτύου και περιορίζει τα ενδεχόμενα βλαβών.
- Η μη ύπαρξη χάλκινων καλωδίων στα οπτικά δίκτυα (ή η περιορισμένη χρήση τους σε μικρά μήκη) περιορίζει τις μαγνητικές παρεμβολές στο δίκτυο που μπορεί να αυξάνουν το θόρυβο και να οδηγούν ακόμη και σε μεταβολή του σήματος.
- Δεδομένου του ότι η πρώτη ίνα είναι κατασκευασμένη είτε από πολυμερές είτε από γυαλί, υλικά τα οποία είναι κακοί αγωγοί της ηλεκτρικής ενέργειας, τα οπτικά δίκτυα παρέχουν μεγαλύτερη ασφάλεια καθώς δεν υπάρχει το ενδεχόμενο της ηλεκτροπληξίας.
- Η ακτινοβολία που διέρχεται στις οπτικές ίνες είναι σε τέτοια μήκη κύματος που δεν είναι επιβλαβής για τον άνθρωπο ειδικότερα και για το περιβάλλον γενικότερα.
- Τα οπτικά δίκτυα είναι πολύ μικρότερα σε μέγεθος καθώς οι οπτικές ίνες είναι μικρές σε διάμετρο και εμφανίζουν πολύ μεγάλη χωρητικότητα δεδομένων. Αυτό επιτρέπει ευκολότερο σχεδιασμό και διαχείριση των δικτύων αυτών και περιορίζει το κόστος τους.

- Τα οπτικά δίκτυα είναι πολύ ασφαλή σε θέματα υποκλοπών. Η ροή φωτεινής ακτινοβολίας δεν δημιουργεί ηλεκτρομαγνητικά πεδία έτσι δεν μπορεί να υποκλαπεί κατά την διαδρομή της. Έτσι αν εξασφαλίζεται η ασφάλεια στον πάροχο και στον χρήστη τότε το οπτικό δίκτυο δεν υποκλέπεται.
- Τα οπτικά δίκτυα δεν χρησιμοποιούν καθόλου ηλεκτρικά σήματα. Σε ένα μεγάλο εύρος τους, ειδικά στις συνδέσεις προς τους χρήστες, δεν φέρουν καθόλου ενισχυτές. Αυτό συνεπάγεται ότι δεν χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια σε αυτό το σκέλος τους. Συνέπεια αυτού είναι να έχουν πολύ χαμηλότερες απαιτήσεις κατανάλωσης ενέργειας έτσι είναι πιο οικονομικά από πλευράς κόστους λειτουργίας και πιο φιλικά προς το περιβάλλον.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΟΠΤΙΚΗΣ ΙΝΑΣ

4.1 Πεδία χρήσης οπτικών ινών

Οι οπτικές ίνες έχουν βρει πάρα πολλές εφαρμογές την τελευταία 20ετία όταν άρχισαν να παράγονται μαζικά με αποτέλεσμα το κόστος τους να είναι προσιτό. Η διάδοση του φωτός στο εσωτερικό τους επέτρεψε στους επιστήμονες να δημιουργήσουν χιλιάδες εφαρμογές οι οποίες φέρουν οπτικές ίνες.

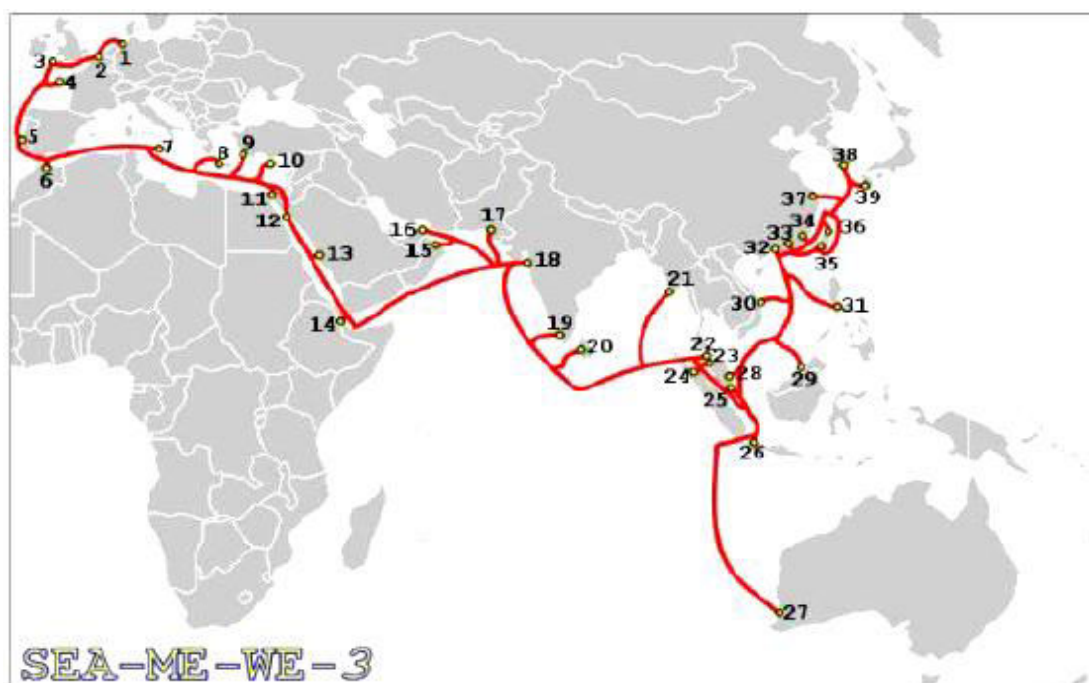
Χρησιμοποιούνται ευρέως για την φωταγωγήση καταστημάτων αλλά και έργων τέχνης, για τον φωτισμό πισινών, σε συστήματα αρχιτεκτονικού φωτισμού καθώς επίσης και για βιομηχανικό έλεγχο. Μεγάλη εφαρμογή, επίσης, βρίσκουν και σε συστήματα οικονομικών υπηρεσιών, σε τοπικά και μητροπολιτικά δίκτυα, αλλά κυρίως στην ιατρική και στις τηλεπικοινωνίες. Οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται σε σύγχρονα επιστημονικά όργανα ανίχνευσης παραμορφώσεων, πίεσης, θερμοκρασίας (ηφαιστειών και πυρηνικών αντιδραστήρων), καθώς και άλλων μεγεθών.

Μελλοντικά οι αεροναυπηγοί προσανατολίζονται στην κατασκευή αεροσκαφών τα οποία, αντί για μεταλλικό περίβλημα, θα έχουν περίβλημα από οπτικές ίνες και πολυμερή. Έτσι μέσω των οπτικών ινών ο πιλότος θα ενημερώνεται συνεχώς για την κατάσταση του αεροσκάφους του, για την πίεση που δέχεται, τη θερμοκρασία σε κάθε σημείο του, για κάποια πιθανή παραμόρφωση κτλ. Θα κατασκευαστούν δηλαδή αεροσκάφη με “δέρμα” που αισθάνεται.

4.1.1 Τηλεπικοινωνίες

Οι τηλεπικοινωνίες είναι ο τομέας που έχει αποκομίσει τα σημαντικότερα κέρδη από την χρήση των οπτικών ινών. Αυτή την στιγμή οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται σε ποσοστό μεγαλύτερο του 90% στα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα μεγάλων αποστάσεων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα το καλώδιο SEA-ME-WE το οποίο έχει ποντιστεί, ξεκινάει από τον Ατλαντικό ωκεανό, περνάει από την Μεσόγειο και την Ερυθρά θάλασσα και κινείται σε όλο τον Ινδικό ωκεανό συνδέοντας τις χώρες της Δυτικής Ευρώπης, τις χώρες της Μεσογείου, τις Αραβικές χώρες, τις χώρες της κεντρικής Ασίας, και καταλήγει σε μια διακλάδωση που εκτείνεται ως την Αυστραλία και σε μια δεύτερη που φτάνει στην Κορέα και την Ιαπωνία. Στην εικόνα στο τέλος της ενότητας βλέπουμε την διαδρομή αυτής της οπτικής ίνας η οποία έχει συνολικό μήκος 39000 χιλιόμετρα και έχει την ικανότητα να μεταφέρει 480Gbps ανά ζευγάρι οπτικής ίνας.

Πέραν από τα δίκτυα μεγάλων αποστάσεων τα οπτικά δίκτυα πλέον επικρατούν με ποσοστό μεγαλύτερο του 50% και στα τοπικά οπτικά δίκτυα. Και με τον όρο τοπικά οπτικά δίκτυα εννοούμε τα μητροπολιτικά δίκτυα, δίκτυα εντός των κρατών, των περιφερειών, των αστικών κέντρων. Επιπλέον τα οπτικά δίκτυα, διαμέσου της αρχιτεκτονικής FTTH άρχισαν να καταργούν τα συμβατικά τηλεπικοινωνιακά δίκτυα φτάνοντας μέχρι τον τελικό χρήστη. Μπορεί το ποσοστό εφαρμογής των οπτικών ινών στο τελευταίο μίλι των τηλεπικοινωνιακών συνδέσεων να είναι μικρό, ακόμη επικρατούν οι συνδέσεις xDSL παρόλα αυτά η αύξησή του γίνεται με ραγδαίους ρυθμούς. Τέλος, η τελευταία τηλεπικοινωνιακή εφαρμογή είναι η χρήση τους για την παροχή καλωδιακής τηλεόρασης στους χρήστες. Μάλιστα υπάρχει η δυνατότητα συνδυαστικών πακέτων FTTH και καλωδιακής τηλεόρασης.



Εικόνα 4.1: Δίκτυο οπτικής ίνας SEA-ME-WE.

4.1.2 Υπολογιστές

Οι υψηλής ταχύτητας ζεύξεις οπτικών ινών επιτρέπουν γρήγορη εκπομπή δεδομένων από το κέντρο στις απομακρυσμένες περιοχές. Οι ικανότητες εύρους ζώνης των ινών επιτρέπουν τη λειτουργία ενός τοπικού δικτύου σύνδεσης υπολογιστών, που λειτουργεί σε υψηλούς ρυθμούς δεδομένων. Οι εφαρμογές στους υπολογιστές υπάγονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες.

Περιφερειακή αλληλοσύνδεση και οργάνωση τοπικού δικτύου σύνδεσης υπολογιστών. Και στους δυο τομείς οι κρίσιμες παράμετροι των ινών περιλαμβάνουν αναισθησία σε ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές, υψηλό εύρος ζώνης και κάλυψη μεγάλης απόστασης. Το χαμηλό κόστος εγκατάστασης και η ευχέρεια της αναβάθμισης είναι επίσης σπουδαίοι παράγοντες.

Όσον αφορά τα περιφερειακά των υπολογιστών, οι ίνες συνδέουν ένα υπολογιστή με άλλους υπολογιστές και τους υπολογιστές σε έξυπνους αισθητήρες. Στα τοπικά δίκτυα σύνδεσης υπολογιστών η χρήση των ινών είναι πιο εκτεταμένη.

Ένα τοπικό δίκτυο σύνδεσης υπολογιστών (LAN) είναι ένα ηλεκτρονικό δίκτυο επικοινωνιών, το οποίο αλληλοσυνδέει εξοπλισμό, όπως υπολογιστές, εκτυπωτές (printers), εξυπηρετητές τηλεφωτογραφικών συστημάτων (Faxservers), διαμορφωτές-αποδιαμορφωτές (modems) και σχεδιογράφους (plotters) σε μια περιορισμένη γεωγραφική περιοχή, όπως ένα κτίριο με γραφεία ή μια μονάδα εργασίας. Όλος ο εξοπλισμός μπορεί να επικοινωνεί με έναν άλλο εξοπλισμό μέσα στο τοπικό δίκτυο. Κάθε σημείο προσαρμογής είναι ένας κόμβος. Κάθε κόμβος είναι ένα προστιθέμενο σημείο, ικανό να στέλνει και να λαμβάνει πληροφορίες από τους άλλους κόμβους. Η χρήση των οπτικών ινών είναι μια ελκυστική προσέγγιση για τα τοπικά δίκτυα σύνδεσης H/Y για δυο λόγους. Επεκτείνει τις αποστάσεις μεταβίβασης και προσφέρει απαλλαγή από τις ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές.

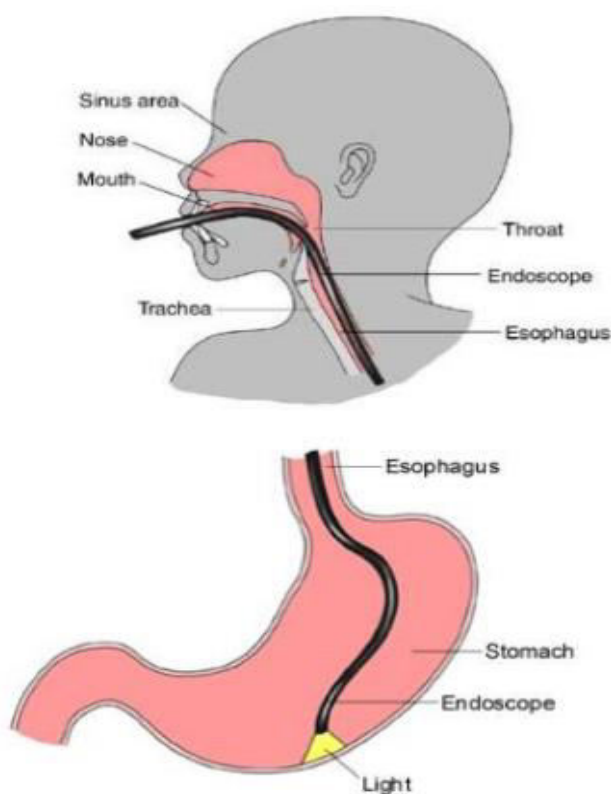
4.1.3 Ιατρική επιστήμη

Ένα άλλο πεδίο χρήσης των οπτικών ινών είναι η ιατρική. Στην επιστήμη της ιατρικής υπάρχουν πολλά σημεία τα οποία είναι απρόσιτα στην ανθρώπινη όραση και με κάποιο τρόπο πρέπει να εξεταστούν. Το όργανο που εκτελεί αυτές τις εξετάσεις ονομάζεται ενδοσκόπιο και είναι η κυριότερη εφαρμογή της οπτικής ίνας στο ιατρικό πεδίο.

Το ενδοσκόπιο είναι ένα ιατρικό εργαλείο το οποίο αποτελείται από ένα λεπτό εύκαμπτο σωλήνα ο οποίος διεισδύει στο σώμα του ασθενούς από το στόμα, την μύτη ή τον πρωκτό. Στην άκρη του σωλήνα υπάρχει μια κάμερα η οποία καταγράφει εικόνα από την προς εξέταση περιοχή. Επίσης υπάρχει μια λάμπα η οποία φωτίζει την περιοχή αυτή έτσι ώστε η εικόνα που καταγράφει η κάμερα να είναι ευκρινής. Η ανάγκη διέλευσης φωτός και εικόνας ταυτόχρονα από το καλώδιο κατέστησε τις οπτικές ίνες ιδανικές για την εφαρμογή αυτή. Έτσι με ένα καλώδιο που περιέχει αρκετές οπτικές

ίνες γίνεται η μεταφορά του φωτός προς την περιοχή εξέτασης (μια οπτική ίνα) και η μεταφορά της εικόνας από την περιοχή εξέτασης (υπόλοιπες οπτικές ίνες). Ο αριθμός των οπτικών ινών που καταλήγουν από την κάμερα στον χρήστη είναι σημαντικός καθώς καθορίζει τον όγκο δεδομένων που μπορεί να καταγραφεί από την κάμερα άρα και την λεπτομέρεια, την ανάλυση της εικόνας που λαμβάνει ο χειριστής. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η χρήση του ενδοσκοπίου για την εξέταση στο στομάχι.

Πέραν του ενδοσκοπίου οι οπτικές ίνες βρίσκουν και άλλες εφαρμογές στην ιατρική. Χρησιμοποιούνται για παράδειγμα στην οφθαλμιατρική για την μεταφορά φωτός με συστήματα προσαρμογής στο κεφάλι του ιατρού. Χρησιμοποιούνται στην οδοντιατρική σε κάμερες στόματος οι οποίες απεικονίζουν τα δόντια του ασθενούς. Χρησιμοποιούνται από χειρουργούς οι οποίοι χειρουργούν με laser ώστε να μεταφέρουν την ακτινοβολία laser από τον πομπό στο σημείο της εγχείρησης. Με την εξέλιξη της ιατρικής επιστήμης αναμένεται να βρουν ακόμη περισσότερες χρήσεις.

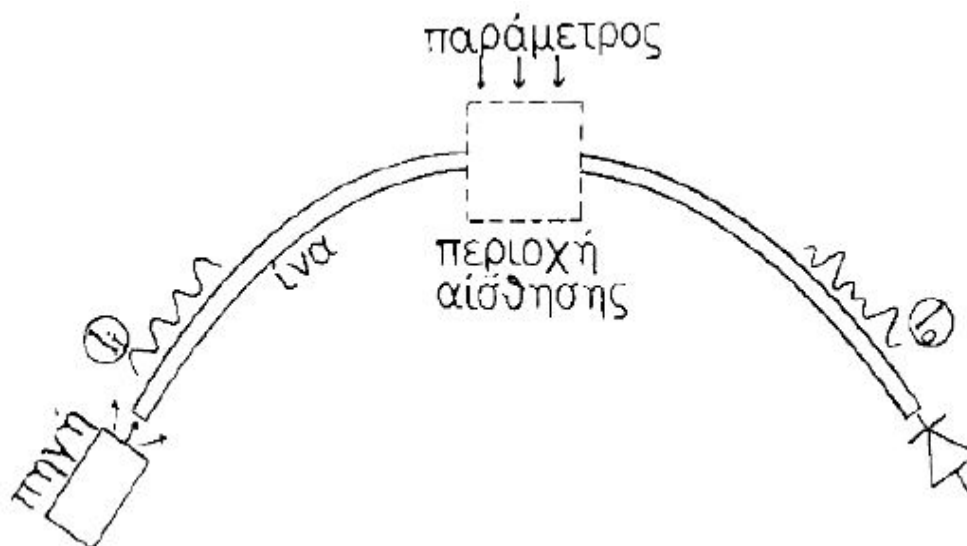


Εικόνα 4.2: Χρήση ενδοσκοπίου οπτικής ίνας για εξέταση στο στομάχι.

4.1.4 Μετρητική τεχνολογία

Οι αισθητήρες οπτικών ινών είναι η εξέλιξη της τεχνολογίας τον τομέα της μετρητικής – διαγνωστικής τεχνολογίας. Είναι οι αισθητήρες οι οποίοι χρησιμοποιούν την ακτινοβολία που φτάνει σε αυτούς από μια οπτική ίνα για να μετρήσουν την μεταβολή της τιμής ενός μεγέθους.

Η λειτουργία τους σε γενικές γραμμές είναι πανομοιότυπη. Φως από ένα πομπό, διαμέσου μιας οπτικής ίνας διέρχεται από την περιοχή μέτρησης, διαμορφώνεται αναλόγως της επίδρασης της προς μέτρηση παραμέτρου, εισέρχεται σε μια δεύτερη οπτική ίνα και καταλήγει στον ανιχνευτή. Η προς μέτρηση παράμετρος συνήθως διαμορφώνει την ακτινοβολία κατά ένταση ή κατά φάση. Αυτές τις διαμορφώσεις, τις τροποποιήσεις από την αρχικά εκπεμπόμενη ακτινοβολία, αντιλαμβάνεται ο ανιχνευτής και τις μετατρέπει σε μέτρηση. Στο παρακάτω διάγραμμα παρατηρούμε την δομή ενός απλού αισθητήρα οπτικών ινών.



Εικόνα 4.3: Τυπική δομή αισθητήρα οπτικών ινών.

Έχουν αναπτυχθεί διάφοροι τύποι αισθητήρων οπτικών ινών οι οποίοι χρησιμοποιούνται για μετρήσεις. Οι σημαντικότεροι τύποι είναι ο αισθητήρας μιας οπτικής ίνας, ο αισθητήρας δύο οπτικών ινών, ο αισθητήρας μια οπτικής ίνας διπλού πυρήνα και ο αισθητήρας πολλαπλής συμβολής. Κάθε τύπος έχει πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που τον καθιστούν ιδανικό για συγκεκριμένες εφαρμογές.

Οι αισθητήρες οπτικών ινών χρησιμοποιούνται για να μετρήσουν πλειάδα μεγεθών. Τέτοια μεγέθη είναι η θερμοκρασία, το μαγνητικό πεδίο, η περιστροφή (γυροσκόπιο), η πίεση ακουστικών κυμάτων (υδρόφωνο), η χημική σύσταση και άλλα.

4.1.5 Συστήματα ελέγχου βιομηχανίας

Οι εφαρμογές συστημάτων ελέγχου βρίσκουν χρήση σε διάφορες βιομηχανίες. Για παράδειγμα σε μονάδες χημικής βιομηχανίας, η μεταβίβαση με οπτικές ίνες ανιχνεύει τις φυσικές και χημικές παραμέτρους που αλλάζουν κατά τη διάρκεια μιας χημικής επεξεργασίας και ενεργοποιεί τους μηχανισμούς ελέγχου.

Επειδή οι οπτικοί ανιχνευτές είναι μικροί και ανεπηρέαστοι σε πολλά δυσμενή περιβάλλοντα, μπορούν να τοποθετηθούν σε περισσότερες από μια τοποθεσίες και να συνδεθούν σε σειρά με σύρμα για να παρέχουν σταθερή παρακολούθηση κατά τη διάρκεια της χημικής επεξεργασίας. Σε αεροδιαστημικές εφαρμογές το μικρό βάρος των οπτικών ινών και η αναισθησία σε ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές ραδιοσυχνότητας (EMI/RFI) έχουν αντικαταστήσει τα βαριά καλώδια χαλκού, που είναι ευαίσθητα σε ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές.

Προβλέπονται μελλοντικές εφαρμογές στην παρακολούθηση κρίσιμων ελέγχων για αεροπλάνα κατά τη διάρκεια πτήσης τους. Η μεταβίβαση με οπτικές ίνες έχει ήδη χρησιμοποιηθεί σε φωτεινούς πίνακες οργάνων αυτοκινήτων, αλλά η χρήση ανιχνευτών σε συστήματα ελέγχου είναι σε εξέλιξη. Αυτοί οι ανιχνευτές θα μπορούσαν να ελέγχουν τα φώτα, την εκπομπή καυσαερίων, τη λειτουργία του σπινθηριστή πυροδότησης ή την ανάφλεξη μίγματος αυτοκινήτου.

Τα συστήματα ελέγχου radar και τα συστήματα ελέγχου κυκλοφορίας που αλληλοσυνδέουν τα σήματα κυκλοφορίας και τον έλεγχο κυκλοφοριακής ροής, ήδη χρησιμοποιούνται και οι περισσότερες περιοχές εγκαθιστούν τέτοια συστήματα παρακολούθησης στις εθνικές οδούς.

4.1.6 Στρατιωτικές επικοινωνίες

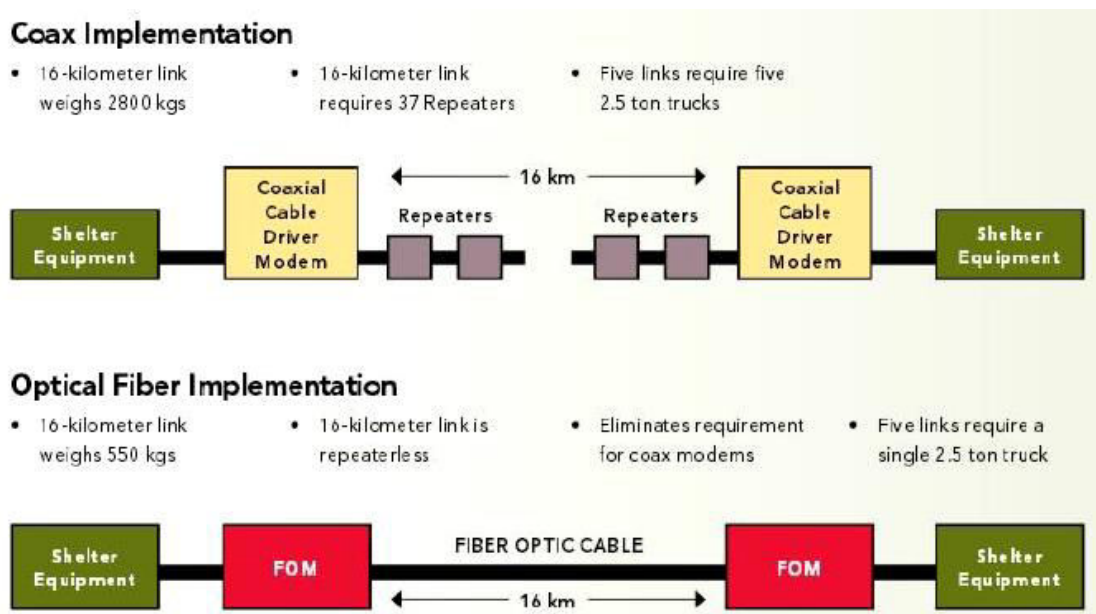
Οι στρατιωτικές χρήσεις των οπτικών ινών είναι ευρείας κλίμακας. Χρησιμοποιούνται σε τηλεπικοινωνιακά συστήματα, σε οπτικά συστήματα, σε αισθητήρες, σε radar, σε μη επανδρωμένα οχήματα μεταξύ άλλων.

Η κυριότερη χρήση των οπτικών ινών στον στρατό, και η πιο σημαντική, είναι στα συστήματα τηλεπικοινωνιών. Πέραν όλων των πλεονεκτημάτων των οπτικών τηλεπικοινωνιακών δικτύων που παρουσιάστηκαν ο στρατός ενδιαφέρεται για τα οπτικά δίκτυα εξαιτίας της ασφάλειας που προσφέρουν. Έχει ήδη καταγραφεί η αιτία που το οπτικό σήμα το οποίο διέρχεται της ίνας δεν μπορεί να υποκλαπεί. Αυτό επιτρέπει στον στρατό να δημιουργήσει συστήματα επικοινωνιών ασφαλή και αξιόπιστα, να μεταφέρει πληροφορίες χωρίς να υπάρχει ο κίνδυνος να υποκλαπούν

από κάποιον, παρά μόνο με την παρουσία κατασκόπου. Έτσι τα δίκτυα οπτικών ινών είναι ασφαλέστερα και απλούστερα αφού δεν απαιτούν κρυπτογράφηση.

Για αυτό τον λόγο ο στρατός δεν χρησιμοποιεί τις οπτικές ίνες μόνο για μεταφορά δεδομένων σε μακρινές αποστάσεις. Τις χρησιμοποιεί ακόμη και για επικοινωνία σε μικρές αποστάσεις γιατί του εξασφαλίζουν την ασφάλεια που απαιτεί. Μάλιστα σε δίκτυα μικρών αποστάσεων, μικρότερων των 20 χιλιομέτρων, δεν απαιτείται καν η χρήση ενισχυτών όπως έχουμε παρουσιάσει με αποτέλεσμα να είναι πολύ απλούστερα τα δίκτυα επικοινωνιών.

Ήδη το 1989 στην Αμερική βρίσκεται σε παραγωγή το σύστημα COMM/SEC, το πρώτο μη κρυπτογραφημένο σύστημα τηλεπικοινωνιών. Η μελέτη τέτοιων συστημάτων επικοινωνίας είχε ξεκινήσει από το 1981. Στην επόμενη εικόνα φαίνεται η πολύ απλή δομή ενός στρατιωτικού τηλεπικοινωνιακού δικτύου και τα αναγράφονται τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει σε σχέση με ένα δίκτυο αποτελούμενο από συμβατικό καλώδιο.



Εικόνα 4.4: Σύγκριση συμβατικού με οπτικό τηλεπικοινωνιακό δίκτυο στρατιωτικής χρήσης.

4.1.7 Ασφάλεια και επιτήρηση

Το γεγονός, ότι αυτά τα συστήματα δεν εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητική ενέργεια, κάνει τις τεχνικές μη εισβαλουσών υποκλοπών άχρηστες. Η μεταβίβαση με οπτικές ίνες μεταφέρει την επιτήρηση εικόνας και φωνής και συγχωνεύει τις ζεύξεις δεδομένων όπως το RS-232, το RS-485 και τον έλεγχο προσπέλασης. Η περιμετρική ασφάλεια, η

παρακολούθηση στις σήραγγες στις εθνικές οδούς, η αεροπορική ασφάλεια και ο έλεγχος εισόδου χρησιμοποιούν οπτικές ίνες με άριστα αποτελέσματα.

Στις αρχές της δεκαετίας του '90 οι απαιτήσεις της αεροπορικής ασφάλειας έγιναν πιο αυστηρές, απαιτώντας συστήματα προσπέλασης με κάρτες-κλειδιά, για να προβάλλεται η είσοδος όλου του προσωπικού. Αυτά τα συστήματα υλοποιούν την οπτική παρακολούθηση και την προσπέλαση δεδομένων σε όλες τις πύλες. Η κάρτα ενός εργαζομένου θα μπορούσε να προσπελάσει μια πύλη, μόνο αν η οπτική εικόνα που μεταβιβάζεται από αυτή την πύλη σε ένα κέντρο ελέγχου ταιριάζει με την εικόνα των αποθηκευμένων δεδομένων σε έναν υπολογιστή. Οι αποστάσεις που είναι περιπλεγμένες, ειδικά σε μεγαλύτερα αεροδρόμια, κάνουν τις οπτικές ίνες την καλύτερη επιλογή γι' αυτά τα συστήματα.

4.1.8 Διακόσμηση

Μια εφαρμογή των οπτικών ινών, διαφορετική από τις προηγούμενες είναι η διακόσμηση. Οι οπτικές ίνες έχουν την δυνατότητα μεταφοράς ακτινοβολίας διαφορετικού μήκους κύματος κάτι που τους επιτρέπει να μεταφέρουν φως διαφορετικού χρώματος. Έτσι ένα καλώδιο που έχει αρκετές οπτικές ίνες μέσα μπορεί να μεταφέρει αρκετές ακτινοβολίες με διαφορετικό μήκος κύματος και χρώμα.

Αυτή ακριβώς την δυνατότητα των οπτικών ινών εκμεταλλεύονται οι διακοσμητές για να μεταφέρουν φως διαφόρων χρωματικών αποχρώσεων στα σημεία που θέλουν να διαμορφώσουν.

Στο άκρο των οπτικών ινών τοποθετούνται διάφορα αξεσουάρ όπως για παράδειγμα σποτάκια ή κρύσταλλα τα οποία διαφοροποιούν το αισθητικό αποτέλεσμα. Αυτό επιτρέπει την δημιουργία πάρα πολλών διακοσμητικών εφέ όπως για παράδειγμα οι έναστρες οροφές, οι πολυέλαιοι, οι κρυφοί φωτισμοί, ή σήμανση και πάρα πολλά άλλα που μπορεί να φανταστεί ο διακοσμητής.

Πέραν της ικανότητας μεταφοράς ακτινοβολίας διαφορετικού χρώματος οι οπτικές ίνες έχουν ακόμη μερικά χαρακτηριστικά τα οποία τις καθιστούν ιδανικές για διακόσμηση. Καταρχήν εμφανίζουν χαμηλή κατανάλωση, ειδικά όσες έχουν πομπό LED. Κατά δεύτερον δεν μεταφέρουν υπεριώδη ακτινοβολία άρα δεν φθείρουν αντικείμενα μεγάλης αξίας όπως πίνακες τέχνης και αρχαία ευρήματα. Κατά τρίτον μεταφέρουν φως και όχι ηλεκτρικό ρεύμα έτσι μπορούν να χρησιμοποιηθούν με ασφάλεια σε μέρη που επικρατεί το υδάτινο στοιχείο όπως στις πισίνες ή στα ενυδρεία.

Στην επόμενη εικόνα βλέπουμε την δημιουργία ενός εφέ σε πισίνα με χρήση οπτικών ινών στο βάθος της πισίνας.



Εικόνα 4.5: Διακόσμηση πισίνας με χρήση φωτός από οπτικές ίνες.

4.2 Πλεονεκτήματα οπτικών ινών

Η υψηλή διείσδυση της τεχνολογίας των οπτικών ινών στις σύγχρονες τηλεπικοινωνίες δεν είναι τυχαία, αλλά αντίθετα οφείλεται στον μεγάλο αριθμό πλεονεκτημάτων της, τα οποία συνοψίζονται στα εξής:

1. Χαμηλό κόστος

Η δημιουργία ενός καλωδίου οπτικών ινών είναι πιο συμφέρουσα οικονομικά, σε σχέση με ένα χάλκινο καλώδιο ίδιας απόστασης και δυνατοτήτων. Αυτό ωφελεί αρχικά τους πάροχους υπηρεσιών τηλεπικοινωνιών, οι οποίοι με μικρότερο κόστος παρέχουν ποιοτικές υπηρεσίες. Τελικά αυτό μειώνει και τις ανάγκες απόσβεσης εξόδων των παρόχων, επομένως ωφελεί και τον καταναλωτή, που επιβαρύνεται με μικρότερες χρεώσεις για τις υπηρεσίες που χρησιμοποιεί.

2. Υψηλό bandwidth

Ξεπερνά κατά εκατοντάδες φορές αυτό ενός κοινού καλωδίου. Οι υψηλές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων, εξασφαλίζουν ταχύτητες της τάξεως των Gbps, που με τη σειρά τους προσφέρουν αστραπιαία διαμεταγωγή δεδομένων και αξιόπιστες υπηρεσίες τηλεφωνίας μέσω πρωτοκόλλου IP.

3. Μικρή εξασθένιση του σήματος

Χάρη στην υψηλή ποιότητα του γυαλιού που χρησιμοποιείται ως μέσο μετάδοσης. Ακόμη και αν υπάρξει εξασθένιση σήματος, αυτό ενισχύεται πολύ εύκολα μέσω των κατάλληλων ενισχυτών.

4. Μικρές απαιτήσεις σε ενέργεια.

Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι δεν παρατηρούνται σημαντικές απώλειες σήματος, καθώς και στον τρόπο μετάδοση δεδομένων, δηλαδή με τη χρήση φωτεινής δέσμης, που απαιτεί πολύ μικρότερη κατανάλωση ενέργειας, σε σχέση με το ηλεκτρικό σήμα.

5. Αμιγώς ψηφιακό σήμα

Αυτό εξασφαλίζει υψηλότερη ποιότητα επικοινωνίας και αποφυγή προβλημάτων που θα προέκυπταν σε μια αναλογική μετάδοση. Στον κόσμο της ψηφιακής πληροφορίας, τα δεδομένα αναπαρίστανται από τους αριθμούς 0 και 1, οι οποίοι ονομάζονται bits. Το 0 ισοδυναμεί με την κατάσταση «κλειστό» και το 1 με την κατάσταση «ανοικτό». Μια ακολουθία 8 bits σχηματίζουν 1 ψηφιακή λέξη που λέγεται byte ή octet. Οι οπτικές ίνες μεταδίδουν τις φωτεινές αναλαμπές με υψηλή αξιοπιστία, μεταφέροντας τα bytes με πολύ μικρότερες αλλοιώσεις σε σχέση με αυτές ενός κοινού καλωδίου δικτύου, ή μιας ασύρματης σύνδεσης δεδομένων.

6. Υψηλή διαθεσιμότητα

Οφείλεται κυρίως στην ανθεκτική κατασκευή των σύγχρονων οπτικών καλωδίων, που μειώνει στο ελάχιστο το ενδεχόμενο εξωτερικής ζημιάς.

7. Μικρές διαστάσεις και βάρος

Ένα μικρό και ελαφρύ καλώδιο οπτικών ινών, μεταφέρει πολύ περισσότερα δεδομένα από ένα μεγαλύτερο και πιο βαρύ χάλκινο καλώδιο. Έτσι, απαιτείται πολύ λιγότερος χώρος για την υλοποίηση ενός δικτύου οπτικών ινών.

4.3 Η ΔΕΗ και οι συνεργασίες στις τηλεπικοινωνίες

Ο τομέας των τηλεπικοινωνιακών δικτύων υποδομής είναι, μέχρι στιγμής η «αχίλλειος πτέρνα» στην ψηφιακή πορεία της χώρας, καθώς διαχρονικά η Ελλάδα έχει στον συγκεκριμένο τομέα από τους χαμηλότερες βαθμολογίες στην ψηφιακή αξιολόγηση στην Ευρώπη των 27. Παρά το γεγονός ότι έχουν εξαγγελθεί και υλοποιούνται σταδιακά επενδύσεις των τριών κύριων παρόχων κινητής τηλεφωνίας, τον ΟΤΕ, τη Vodafone και την WIND, η οποία ανήκει εξ ολοκλήρου στην BC Partners μέσω της United Group, ο ρυθμός κάλυψης της χώρας με δίκτυα οπτικών ινών μέχρι τον τελικό καταναλωτή πρέπει να επιταχυνθεί.

Είναι χαρακτηριστικό ότι η ΔΕΗ, ο ΑΔΜΗΕ και ο ΔΕΔΔΗΕ ακολουθούν το δρόμο των μεγάλων Ευρωπαϊκών Διαχειριστών Μεταφοράς Ενέργειας, που δημιουργούν Δίκτυα Ανοιχτής Πρόσβασης (open access fiber) στις χώρες τους, όπου υπάρχουν περισσότεροι «παίκτες» στις αγορές αυτές από την Ελλάδα. Χαρακτηριστικά είναι δύο επιτυχημένα παραδείγματα το πρώτο στην Ιταλία με την Open Fiber και τη SIRO στην Ιρλανδία, η οποία είναι κοινοπραξία της κρατικής εταιρείας ηλεκτρισμού ESB και της Vodafone.

Το ισχυρό πλεονέκτημα της ΔΕΗ για μελλοντικές συνεργασίες με τους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους είναι η δυνατότητα παροχής υποδομών για μεταφορά υπηρεσιών υπερψηλών ταχυτήτων σχεδόν σε κάθε σπίτι και επιχείρηση σε όλη τη χώρα. Αν και υπάρχουν οι αναμενόμενες επιφυλάξεις της αγοράς τηλεπικοινωνιών για την έγκαιρη υλοποίηση του Δικτύου Οπτικών Ινών της ΔΕΗ σε σχέση με το ρυθμό ολοκλήρωσης των επενδύσεων οπτικών ινών από τις εταιρείες Cosmote, WIND-Nova και Vodafone, η ολοκλήρωση της πρώτης φάσης του Δικτύου της ΔΕΗ προβλέπει την αξιοποίηση του εναερίου δικτύου του ΔΕΔΔΗΕ μήκους 242 χιλιάδων χιλιομέτρων, αλλά και των κέντρων μέσης και χαμηλής τάσης που είναι κατανομημένα στη χώρα.

Σχετικά με το θέμα αυτό υπάρχουν σχετικές αποφάσεις του Διοικητικού Συμβουλίου της ΔΕΗ για την αξιοποίηση του δικτύου μέσης και χαμηλής τάσης του ΔΕΔΔΗΕ με την ανάπτυξη δικτύου οπτικών ινών αρχικής αξίας 15 εκατ. ευρώ.

4.4 Ο εθνικός στόχος για ανάπτυξη οπτικής ίνας

Στις 9 Μαρτίου 2021, η Ευρωπαϊκή Επιτροπή παρουσίασε το όραμά της και τις προοπτικές για τον ψηφιακό μετασχηματισμό της Ευρώπης. Πρότεινε μια «Ψηφιακή

Ποξίδα» για την «Ψηφιακή Δεκαετία» της Ευρωπαϊκής Ένωσης, έως το 2030, η οποία περιλαμβάνει την ανάπτυξη ασφαλών και βιώσιμων ψηφιακών υποδομών προκειμένου να μπορέσει να υποστηριχθεί η ανάπτυξη των ψηφιακών δεξιοτήτων των Ευρωπαίων πολιτών, ο ψηφιακός μετασχηματισμός των επιχειρήσεων και η ψηφιακή διακυβέρνηση στις χώρες-μέλη.

Για τις ψηφιακές αυτές υποδομές, ετέθησαν δύο στόχοι σχετικοί με τη συνδεσιμότητα:

- Η ανάπτυξη 5G ασύρματων δικτύων.
- Η ανάπτυξη Gigabit σταθερών δικτύων, που αφορά κατά κύριο λόγο την ανάπτυξη δικτύων πρόσβασης οπτικών ινών (Fiber to the Home – FTTH και Fiber to the Premises – FTTP).

Τα δίκτυα πρόσβασης οπτικών ινών προσφέρουν πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλες τεχνολογίες δικτύων, όπως μεγαλύτερες ταχύτητες, χαμηλότερες καθυστερήσεις (latencies), μικρότερο κόστος ανά μονάδα ταχύτητας (ευρώ/Mbps) και μεγαλύτερη αξιοπιστία, ενώ αποτελούν ταυτόχρονα την τεχνολογικά ασφαλέστερη και την πλέον αποδεδειγμένη στο πεδίο (field proven) τεχνολογία σταθερών δικτύων με σαφές μελλοντικό/τεχνολογικό πλάνο περαιτέρω ανάπτυξης (25/50 Gbps GPON). Δίκτυα πρόσβασης οπτικών ινών έχουν αναπτυχθεί ευρύτατα στην περιοχή της Ασίας – Ειρηνικού, στη Βόρεια Αμερική, ενώ ταχύτατα αναπτύσσονται και στη Λατινική Αμερική, κυρίως στη Βραζιλία, στο Μεξικό και στην Αργεντινή.

Σύμφωνα με την IDATE Digiworld, ο αριθμός των ενεργών χρηστών δικτύων πρόσβασης οπτικών ινών σε όλο τον κόσμο εκτιμάται ότι φτάνει σήμερα τα 773 εκατ., ενώ προβλέπεται να ξεπεράσει τα 974 εκατ. το 2025. Αντίστοιχα το 2022 σε επίπεδο κάλυψης (homes passed), τα δίκτυα πρόσβασης οπτικών ινών φτάνουν σε 1,1 δισ. νοικοκυριά, ενώ το 2025 αναμένεται να προσεγγίζουν τα 1,4 δισ. νοικοκυριά.

Στην Ευρώπη, η ανάπτυξη των δικτύων πρόσβασης οπτικών ινών κάνει επίσης πραγματικά βήματα προόδου, αλλά στην ήπειρό μας οι οπτικές ίνες πρέπει να ανταγωνιστούν τα ώριμα (και ικανά) δίκτυα χαλκού που διαθέτουν και εξακολουθούν να χρησιμοποιούν οι Ευρωπαίοι πάροχοι.

Σύμφωνα πάλι με εκτιμήσεις της IDATE, ο αριθμός των χρηστών δικτύων πρόσβασης οπτικών ινών το 2022 στην Ευρωπαϊκή Ένωση και στο Ηνωμένο Βασίλειο θα φτάσει τα 71 εκατ., ενώ το 2025 θα ξεπεράσει τα 103 εκατ. –σημαντικά υψηλότερη ανάπτυξη δηλαδή σε σχέση με τον αντίστοιχο παγκόσμιο μέσο όρο– και η κάλυψη (homes passed) από 127 εκατ. το 2022 θα φτάσει τα 169 εκατ. το 2025.

Στην Ελλάδα, πριν από μόλις τρία χρόνια, η κάλυψη (homes passed) χρηστών από δίκτυα πρόσβασης οπτικών ινών αντιστοιχούσε σε κάτι λιγότερο από το 1%. Σήμερα έχουμε ξεπεράσει κατά πολύ το 10%, ενώ για τα επόμενα 2-3 χρόνια αναμένουμε η χώρα μας να είναι είτε η ταχύτερα αναπτυσσόμενη αγορά στην Ευρώπη, είτε μία από τις δυο ή τρεις ταχύτερα αναπτυσσόμενες αγορές.

Η κλιματική αλλαγή είναι μια παγκόσμια πρόκληση και η ανάπτυξη μιας οικονομίας χαμηλών εκπομπών CO₂ μια κορυφαία προτεραιότητα παγκοσμίως. Για τον σκοπό αυτό, 189 χώρες έχουν προσχωρήσει στη Συμφωνία του Παρισιού για την κλιματική αλλαγή και η Ευρωπαϊκή Ένωση στοχεύει να γίνει η πρώτη κλιματικά ουδέτερη ήπειρος έως το 2050. Για να επιτευχθεί αυτό, οι εκπομπές αερίων θα πρέπει να μειωθούν τουλάχιστον κατά 55% έως το 2030, σε σύγκριση με τα επίπεδα του 1990. Η ανάγκη για μείωση του αποτυπώματος CO₂ των Τεχνολογιών Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών καθίσταται αναγκαιότητα, και προς την κατεύθυνση αυτή η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU) έχει θέσει ως στόχο για το 2030 τη μείωση των εκπομπών CO₂ των ΤΠΕ κατά περισσότερο από 45%.

Ολα αυτά ευθυγραμμίζονται πλήρως με τους φιλόδοξους εθνικούς στόχους για την ενέργεια και το κλίμα και η υιοθέτηση (και εξάπλωση) των δικτύων οπτικών ινών στη χώρα δεν αφορά «απλά» την ανάπτυξη της ευρυζωνικότητάς μας, αλλά την ολοκλήρωση του ευρύτερου στρατηγικού σχεδιασμού για τον μετασχηματισμό της Ελλάδας σε μια σύγχρονη ευρωπαϊκή χώρα «νέας γενιάς».

Τα ευρυζωνικά δίκτυα συνεισφέρουν σημαντικά στο αποτύπωμα άνθρακα των ΤΠΕ. Το 2020, για παράδειγμα, η συνεισφορά αυτή εκτιμάται ότι ήταν της τάξης του 20%-35% του συνολικού ενεργειακού αποτυπώματος του κλάδου.

Σε σχέση με τα συμβατικά δίκτυα που στηρίζονται στον χαλκό, τα δίκτυα οπτικών ινών είναι περισσότερο φιλικά προς το περιβάλλον, επιτυγχάνοντας εξαιρετικά χαμηλότερες εκπομπές CO₂. Πρόσφατη έρευνα στη Γερμανία έδειξε ότι η μέση ετήσια κατανάλωση ενέργειας ανά χρήστη δικτύου τεχνολογίας πρόσβασης χαλκού VDSL2 είναι, σε σχέση με τα δίκτυα οπτικών ινών GPON και XG-PON, μέχρι και 16 φορές υψηλότερη, ενώ η εταιρεία Telefónica αναφέρει ότι ήδη, από τη σταδιακή κατάργηση των δικτύων χαλκού και τη μετάβαση σε δίκτυα πρόσβασης οπτικών ινών, έχει επιτύχει περίπου 60% εξοικονόμηση ενέργειας στη λειτουργία των δικτύων της.

Η επιτάχυνση της ανάπτυξης δικτύων πρόσβασης οπτικών ινών απαιτεί σημαντικές ρυθμιστικές παρεμβάσεις. Προτεραιότητες αποτελούν:

- Κλείσιμο του δικτύου χαλκού (copper switch off).

- Ανάπτυξη οπτικών ινών σε κτίρια και όχι στους δρόμους.
- Χαμηλές τιμές/προσβάσιμες υπηρεσίες.

Τα δίκτυα οπτικών ινών αποτελούν καταλύτη για έναν βιώσιμο ενεργειακό σχεδιασμό και μπορούν να συμβάλουν καθοριστικά στη μείωση του αποτυπώματος άνθρακα της ευρυζωνικής μας πρόσβασης. Για την Ελλάδα, που «τρέχει» μία από τις πιο φιλόδοξες ατζέντες στην Ευρώπη για την ενεργειακή μετάβαση, τις ΑΠΕ και το κλίμα, οι οπτικές ίνες αποτελούν το απαραίτητο «συμπλήρωμα» της εθνικής στρατηγικής για τους στόχους της «ψηφιακής δεκαετίας 2030» αλλά και του ευρωπαϊκού «Green Deal».

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΤΑΣΕΙΣ

Οι οπτικές ίνες και τα οπτικά δίκτυα είναι όροι που σιγά σιγά διεισδύουν στην καθημερινότητά μας. Αποτέλεσμα της αύξησης των οπτικών δικτύων είναι η βελτίωση των παρεχομένων υπηρεσιών μεταφοράς δεδομένων, κάτι ιδιαίτερα σημαντικό στις μέρες μας.

Η ταχύτατη μετάδοση δεδομένων αποτελεί σήμερα μια επιτακτική ανάγκη, τόσο σε μια σύνδεση Internet υψηλής ταχύτητας, όσο και για την υλοποίηση των τηλεφωνικών συνδέσεων Voice over IP. Η καλύτερη πρόταση για την κάλυψη των υψηλών σημερινών αναγκών σε bandwidth, δεν είναι άλλη από τη χρήση ενός δικτύου οπτικών ινών.

Οι οπτικές ίνες μεταδίδουν φωτεινά σήματα σε μεγάλες αποστάσεις με μηδενικές σχεδόν απώλειες, ενώ η ταχύτητα μετάδοσης πλησιάζει αυτή με την οποία διαδίδεται το φως.

Η πρόβλεψη του μέλλοντος υπήρξε πάντοτε μια πρόκληση. Πρώτα ας δούμε τις κύριες τάσεις που επηρεάζουν στην βιομηχανία των οπτικών ινών:

1. Επέκταση σε μαζικές αγορές
2. Μείωση κόστους
3. Καλύτερη εκπαίδευση των εν δυνάμει χρηστών
4. Μικροσκοπική κατασκευή
5. Ανταγωνιστικές τεχνολογίες
6. Συσκευές μαζικής παραγωγής
7. Πρότυπα
8. Νέα υλικά
9. Εκλέπτυνση τεχνολογίας
10. Νέα τεχνολογία

Οι κύριες ωθήσεις στην βιομηχανία οπτικών ινών σήμερα καλύπτονται από τα πρώτα τέσσερα θέματα ως το έβδομο και εξαρτώνται από τα ιδιαίτερα προϊόντα και την αγορά που αυτά αναφέρονται. Οι περισσότεροι που ασχολούνται με τα προγνωστικά για το μέλλον εστιάζουν τις σκέψεις τους στον αριθμό δέκα, τις νέες τεχνολογίες. Η αλήθεια είναι ότι τα θαύματα της σημερινής έρευνας, τα ερευνητικά εργαστήρια δεν μπορούν ουσιαστικά να επηρεάσουν την βιομηχανία οπτικών ινών για μια τουλάχιστον δεκαετία.

Τα θέματα ένα και δύο πηγαίνουν μαζί. Οι τιμές θα μπορούσαν να είναι χαμηλές αν πραγματοποιούνταν μεγάλοι όγκοι (προϊόντων), αλλά μεγάλοι όγκοι δεν μπορούν να πραγματοποιηθούν μέχρι να χαμηλώσουν οι τιμές. Για παράδειγμα, πολύ μεγάλες, καλά χρηματοδοτούμενες εταιρείες οπτικών ινών χρεοκόπησαν στις αρχές του 1990 διακυβεύοντας την εφαρμογή των οπτικών ινών στην κατοικία (FTTH: Fiber-to-the-home) που επρόκειτο να ανυψωθεί σε κάθε στιγμή, όμως αυτό δεν συνέβη, και μέχρι τώρα δεν έχει συμβεί.

Σύμφωνες επικοινωνίες έχουν ήδη κοινοποιηθεί σαν το μέλλον των οπτικών ινών. Στο σύστημα αυτό, ο πομπός του laser εκπέμπει φως σε μια συχνότητα που είναι διαμορφωμένη χρησιμοποιώντας διαμόρφωση πλάτους συχνότητας ή φάσης, από το σήμα. Στο σήμα που λαμβάνεται στο τέλος, το φως είναι αναμειγμένο με το φως από ένα δεύτερο laser και η ενδιάμεση συχνότητα ανιχνεύεται και μετατρέπεται σε ένα σήμα εξόδου. Η διάταξη αποφεύγει το θόρυβο που συναντάται με άμεση ανίχνευση, κάνοντας το δέκτη ευαίσθητο σε ασθενή σήματα, τα οποία με τη σειρά τους αυξάνουν την επιτρεπτή οπτική απώλεια μεταξύ του πομπού και του δέκτη. Η μεγαλύτερη ευαισθησία σε σύμφωνες επικοινωνίες θα επέτρεπε πολύ μεγαλύτερους ρυθμούς δεδομένων από τις μη σύμφωνες επικοινωνίες που χρησιμοποιούνται σήμερα. Αυξημένη ευαισθησία σημαίνει ότι ο δέκτης απαιτεί λιγότερα φωτόνια φωτός για την ανίχνευση του οπτικού σήματος.

Ένα πρόβλημα που παρουσιάζεται στην διάταξη αυτού του είδους μετάδοσης είναι ότι η σημερινή ηλεκτρονική δεν μπορεί να τρέξει αρκετά γρήγορα για να λάβει το πλήρες πλεονέκτημα της τεχνικής. Ωστόσο θα συνεχίσει να αναπτύσσεται χρόνο με το χρόνο λαμβάνοντας μικρά πλεονεκτήματα των βελτιώσεων στα ηλεκτρονικά εξαρτήματα και άλλα μέρη της τεχνολογίας. Σαν αποτέλεσμα, το προσφερόμενο όριο των σύμφωνων επικοινωνιών θα μειωθεί.

Μια τεχνική που έχει εκθειαστεί για χρόνια σαν η επόμενη μεγάλη πρόοδος είναι η εξωτερική διαμόρφωση. Ένας εξωτερικός διαμορφωτής είναι σαν ένας ηλεκτρονικός καταστολέας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη διαμόρφωση του φωτός που τον διαπερνάει. Τα περισσότερα συστήματα gigabit του σήμερα χρησιμοποιούν άμεση διαμόρφωση laser. Οι εξωτερικοί διαμορφωτές είναι υποθετικά ανώτεροι διότι εξαλείφουν τα δυσάρεστα προβλήματα των laser όπως το τσιτσίρισμα των laser και το κουδούνισμα.

Ακόμη, ένας πομπός οπτικών ινών που χρησιμοποιεί εξωτερική διαμόρφωση απαιτεί ένα laser και έτσι πάντα θα κοστίζει περισσότερο να δημιουργηθεί από ένα άμεσα

διαμορφωμένο σύστημα. Όταν οι εξωτερικοί διαμορφωτές εισήχθησαν για πρώτη φορά, οι πομποί άμεσης διαμόρφωσης ήταν μάλλον περιορισμένοι. Αντί να υπερισχύσουν στην αγορά με αιφνίδιο και θυελλώδη τρόπο, οι εξωτερικοί διαμορφωτές δημιούργησαν ανταγωνισμό που οδήγησαν τα συστήματα άμεσης διαμόρφωσης να βελτιωθούν. Οι εξωτερικοί διαμορφωτές χρησιμοποιούνται αποκλειστικά στους πομπούς laser πολύ υψηλής ισχύος, και η έρευνα συνεχίζεται.

Ολοκληρωμένα οπτικά συστήματα τα οποία μπορούν ευρέως να αποδοθούν σε δύο τεχνολογίες σίγουρα θα παίξουν ένα σημαντικό μέρος στο μέλλον των οπτικών ινών. Η πρώτη τεχνολογία είναι η ολοκλήρωση των εκπομπών φωτός και οι ανιχνευτές πάνω σε υπόστρωμα που κρατάει μερικά ή όλα τα κυκλώματα επεξεργασίας σήματος. Αυτό έχει προωθηθεί σαν τρόπος για το μέλλον για σχεδόν μια δεκαετία αλλά πρέπει ακόμη το 1% της αγοράς. Η αιτία είναι ότι η επίδοση δεν είναι ψηλά ως το επίπεδο που μπορεί να επιτευχθεί με τα υπάρχοντα εξαρτήματα. Η διαδικασία έχει επίσης αποφέρει προβλήματα που έχουν οδηγήσει ψηλά το κόστος και το κόστος ανάπτυξης είναι υψηλό. Ίσως αυτά τα εμπόδια υπερνικηθούν στο μέλλον αλλά αυτή η τεχνολογία πρέπει να υπερπηδήσει την φθίνουσα καμπύλη τιμής που τώρα ακολουθείται από διακεκριμένα οπτικά και ηλεκτρονικά σχέδια.

Το δεύτερο είδος των ολοκληρωμένων οπτικών συστημάτων είναι η δημιουργία οπτικών διαχωριστών και WDM'S σε απλό υπόστρωμα. Αυτό διαφέρει σημαντικά από τις οπτικές τεχνικές συσσώρευσης που χρησιμοποιούνται στις περισσότερες συσκευές. Η τεχνολογία αυτή μαστίζεται από την επίδοση και προβλήματα παραγωγής. Καθώς οι δυσκολίες παραγωγής υπερνικούνται αυτά τα IOC'S θα γίνουν ουσιαστικά στα υψηλής ταχύτητας δίκτυα που φτιάχνουν την πληροφορία αυτοκινητόδρομοι μεγάλης ταχύτητας.

Το μέλλον των οπτικών ινών θα είναι σίγουρα εκπληκτικό. Σημαντική νέα τεχνολογία θα είναι μάλλον μικρές τροποποιήσεις της υπάρχουσας τεχνολογίας, αλλά αυτές οι τεχνολογίες που είναι ακόμη στα εργαστήρια μπορούν ακόμη να ξεπηδήσουν σαν νέες πραγματοποιήσιμες εφαρμογές. Εκείνες οι οποίες θα δημιουργήσουν πραγματικές αλλαγές στη βιομηχανία με βεβαιότητα είναι εκείνες οι οποίες θα προσφέρουν καλύτερες επιδόσεις και χαμηλότερο κόστος από τις υπάρχουσες και ανταγωνιστικές τεχνολογίες. Όπως στις περισσότερες περιπτώσεις, ο χρόνος θα δείξει.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Agrawal, G.P., Συστήματα Επικοινωνιών με Οπτικές Ύνες, Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 2001.
- [2] Dutton, H., Understanding Optical Communications, 1999.
- [3] Girard, A., FTTx PON Technology and Testing, EXFO Electro-Optical Engineering Inc., Καναδάς, 2005.
- [4] Hayes, J., Εγχειρίδιο Οπτικών Ινών, Εκδόσεις Ίων, 1999.
- [5] Hecht, J., Understanding Fiber Optics, 2005.
- [6] Johnson M., Optical fibers, cables and systems, ITU-T Handbook, 2009.
- [7] Khare, R.P., Fiber Optics and Optoelectronics, 2004.
- [8] Roger, L. Freeman, Fiber Optic Systems for Telecommunications, John Wiley and Sons, Νέα Υόρκη, 2002.
- [9] Αβραμόπουλος, Η., Συστήματα Μετάδοσης και Δίκτυα Οπτικών Ινών, Σημειώσεις Μαθήματος, Photonics Communications Research Laboratory, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Αθήνα, 2018.
- [10] Αλεξανδρή, Α., Οπτικές Ύνες, Εκδόσεις Ίων, 2002.
- [11] Αλεξανδρή, Α., Οπτοηλεκτρονική, Εκδόσεις Τζιόλα, 2η έκδοση, 2015.
- [12] Αλεξόπουλος, Α., Λαγογιάννης, Γ., Τηλεπικοινωνίες και Δίκτυα Υπολογιστών, Εκδόσεις Γιαλός, Αθήνα, 2012.
- [13] Γαλανάκης, Ν., Αναλυση και αναπτυξη σχεδιασης οπτικων ευρυζωνικων δικτυων νέας γενιάς.
- [14] Ευθυμίου, Χ., Εισαγωγή Στις Οπτικές Επικοινωνίες, Εκδόσεις ΤΕΙ Σερρών, 2011.
- [15] Κονοφάος, Ν., Σημειώσεις Οπτοηλεκτρονικής, 2011.
- [16] Κουρής, Σ., Φυσική των λέιζερ [ηλεκτρ. βιβλ.], Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών, Αθήνα, 2015.
Διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net/11419/5366>
- [17] Μαρκασιώτης Ι., Δίκτυα Υπολογιστών, Εκδόσεις Β.Γκιούρδας, 2005.
- [18] Παγιατάκης, Γ. Κ., Ινοοπτικές Επικοινωνίες, Εκδόσεις Τζιόλα, 2004.
- [19] Σιμσερίδης, Κ., Κβαντική οπτική και lasers [ηλεκτρ. βιβλ.], Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών, Αθήνα, 2015.
Διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net/11419/2108>