

Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

21

ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥΣ

ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ : ΠΙΖΑΝΗΣ ΠΕΤΡΟΣ

ΚΑΓΙΩΡΓΗΣ ΘΑΝΑΣΗΣ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΣΙΝΙΟΡΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

Πίνακας Περιεχομένων

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
Ιστορία.....	7
Εφαρμογές	11
Επικοινωνία οπτικής ίνας.....	11
Αισθητήρες οπτικών ινών	12
Άλλες χρήσεις των οπτικών ινών	14
Αρχή λειτουργίας	17
Δείκτης διάθλασης.....	17
Συνολική εσωτερική αντανάκλαση.....	18
Πολύτροπες ίνες.....	19
Τύποι οπτικής ίνας	20
Μονότροπες ίνες.....	21
Μηχανισμοί της μείωσης.....	23
ΔΙΑΧΥΣΗ ΦΩΤΟΣ.....	24
Κατασκευή.....	29
Υλικά.....	29
Πυρίτιο	30
Γυαλί φθοριδίου	33
Γυαλί φωσφορικού άλατος.....	34
Chalcogenides	35
Διαδικασία	35
Επιστρώματα.....	38
Πρακτικά ζητήματα	40
Ελεύθερου χώρου σύζευξη.....	45
Θρυαλλίδα ινών	46
ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	48
ΟΙ ΜΟΝΑΔΕΣ NEPER ΚΑΙ BEL.....	49
ΑΠΟΛΥΤΗ ΣΤΑΘΜΗ	52
ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΟΓΚΟΥ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ.....	55
ΙΣΧΥΣ ΣΗΜΑΤΟΣ.....	57
ΕΥΡΟΣ ΖΩΝΗΣ ΔΙΕΛΕΥΣΗΣ.....	57

Τεχνολογικά Πεδία Εφαρμογών των Οπτικών Ινών	60
Ιατρικές Εφαρμογές	60
Τηλεπικοινωνίες	60
Συστήματα Αρχιτεκτονικού Φωτισμού	61
Προστατευτικός Φωτισμός και Συστήματα Πληροφόρησης	61
Βιομηχανικός Έλεγχος	61
Σύστημα οπτικών τηλεπικοινωνιών	62
Στοιχεία που απαρτίζουν ένα δίκτυο οπτικών ινών	63
Πομποί	63
Δέκτες	64
Σύνδεσμοι (connector)	65
Μόνιμοι σύνδεσμοι	66
Διακλαδωτές	66
ΟΠΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ	68
Η αρχή λειτουργίας της τεχνολογίας WDM	68
Η τεχνολογία DWDM	69
Η τεχνολογία CWDM	71
Τεχνολογία SONET/SDH	72
WDM ΔΙΚΤΥΩΣΗ	75
Η τεχνολογία «IP over SONET/SDH» και «IP over SONET/SDH over WDM»	76
Η τεχνολογία IP over WDM	80
ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΕΙΣ – ΟΡΙΣΜΟΙ FTTX	84
Κατηγοριοποίηση ως προς τη συμμετοχή του οπτικού σκέλους	84
FTTB	86
FTTP	86
FTTN/FTTCab- FTTC/FTTK	87
Κατηγοριοποίηση ως προς την τοπολογία της υποδομής πρόσβασης	87
“Point-to-Point” (P2P)	89
“Point-to-Multipoint” (PMP)	90
“Ring”	91
Κατηγοριοποίηση ως προς τις τεχνολογίες πρόσβασης (PON vs AON)	92
Τεχνολογίες PON	95
Τεχνολογίες Ethernet AON (L2 και L3)	99
Η χρήση P2P Ethernet	102

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ	103
Ορισμοί	103
Ειδικές απαιτήσεις οπτικής υποδομής	107
Απαιτήσεις για το κύριο δίκτυο	107
Απαιτήσεις για το δίκτυο διανομής	109
Απαιτήσεις για το δίκτυο πρόσβασης.....	110
Απαιτήσεις για το δίκτυο συγκέντρωσης (τελικών χρηστών).....	110
Υλικά.....	111
Φρεάτια.....	112
Σωληνώσεις.....	113
Κύριος κομβος.....	119
Κόμβος διανομής	120
Κόμβος Πρόσβαση	121
Τελικός Χρήστης.....	122
Άλλες γενικές απαιτήσεις.....	123
Αρχιτεκτονική ενός δικτύου οπτικών ινών	125
ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ - ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ	127

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μια οπτική ίνα είναι μια λεπτή, εύκαμπτη, διαφανής ίνα που ενεργεί ως κυματοδηγός, ή «ελαφρύς σωλήνας», για να διαβιβάσει το φως μεταξύ των δύο ακρών της ίνας. Ο τομέας της εφαρμοσμένων επιστήμης και της εφαρμοσμένης μηχανικής ενδιαφερόμενων για το σχέδιο και η εφαρμογή των οπτικών ινών είναι γνωστοί ως οπτικές ίνες. Οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται ευρέως στις fiber-optic επικοινωνίες, το οποίο επιτρέπει τη μετάδοση πέρα από τις μεγαλύτερες αποστάσεις και στα υψηλότερα εύρη ζώνης (ποσοστά στοιχείων) από άλλες μορφές επικοινωνίας. Οι ίνες χρησιμοποιούνται αντί των καλωδίων μετάλλων επειδή τα σήματα ταξιδεύουν κατά μήκος τους με τη λιγότερη απώλεια και είναι επίσης άνοσες στην ηλεκτρομαγνητική παρέμβαση. Οι ίνες χρησιμοποιούνται επίσης για το φωτισμό, και είναι τυλιγμένες στις δέσμες έτσι μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να φέρουν τις εικόνες, επιτρέποντας κατά συνέπεια την εξέταση στα σφιχτά διαστήματα. Οι ειδικά σχεδιασμένες ίνες χρησιμοποιούνται για ποικίλες άλλες εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένων των αισθητήρων και των λείζερ ινών.

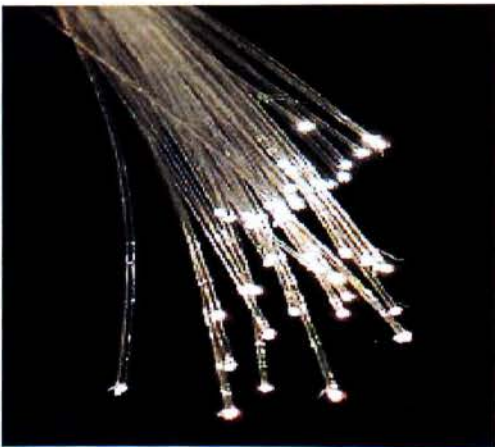
Η οπτική ίνα αποτελείται χαρακτηριστικά από έναν διαφανή πυρήνα που περιβάλλεται από ένα διαφανές υλικό επένδυσης με έναν χαμηλότερο δείκτη της διάθλασης. Το φως κρατιέται στον πυρήνα από τη συνολική εσωτερική αντανάκλαση. Αυτό αναγκάζει την ίνα για να ενεργήσει ως κυματοδηγός. Οι ίνες που υποστηρίζουν πολλούς πορείες διάδοσης ή εγκάρσιους τρόπους καλούνται πολλαπλού τρόπου ίνες (MMF), ενώ εκείνοι που μπορούν μόνο να υποστηρίξουν έναν ενιαίο τρόπο καλούνται single-mode ίνες (SMF). Οι πολλαπλού τρόπου ίνες έχουν γενικά μια μεγαλύτερη διάμετρο πυρήνων, και χρησιμοποιούνται για τις συνδέσεις επικοινωνίας κοντός-απόστασης και για τις εφαρμογές όπου η υψηλή δύναμη πρέπει να διαβιβαστεί. Οι Single-mode ίνες χρησιμοποιούνται για τις περισσότερες συνδέσεις επικοινωνίας πιο μακροχρόνιες από 1.050

μέτρα (πόδια 3.440).

Η ένωση των μηκών της οπτικής ίνας είναι πιο σύνθετη από το ενώνοντας ηλεκτρικό καλώδιο ή το καλώδιο. Οι άκρες των ινών πρέπει να διασπαστούν προσεκτικά, και να συνδεθούν έπειτα μαζί είτε μηχανικά είτε με το λιώσιμο τους μαζί με ένα ηλεκτρικό τόξο. Οι ειδικοί συνδετήρες χρησιμοποιούνται για να κάνουν τις μετακινούμενες συνδέσεις.

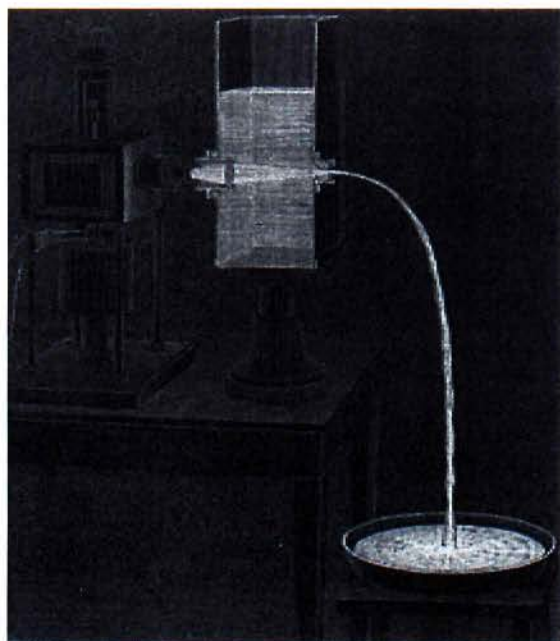


Ένα ακουστικό καλώδιο οπτικών ινών TOSLINK που φωτίζεται από τη μία πλευρά



Μια δέσμη των οπτικών ινών

Ιστορία



Ο Ντάνιελ Colladon περιέγραψε αρχικά αυτήν την «ελαφριά πηγή» ή το «ελαφρύ σωλήνα» σε ένα άρθρο 1842 που είχε το δικαίωμα στις αντανάκλασεις μιας ακτίνας του φωτός μέσα σε ένα παραβολικό υγρό ρεύμα. Αυτή η ιδιαίτερη απεικόνιση προέρχεται από ένα πιο πρόσφατο άρθρο από Colladon, το 1884.

Οι οπτικές ίνες, που χρησιμοποιούνται εν τούτοις εκτενώς στο μοντέρνο κόσμο, είναι μια αρκετά απλή και παλαιά τεχνολογία. Η καθοδήγηση του φωτός από τη διάθλαση, η αρχή που καθιστά τις οπτικές ίνες πιθανές, καταδείχθηκε αρχικά από το Ντάνιελ Colladon και Jacques Babinet in Παρίσι στο πρόωρο 1840s. Ο John Tyndall περιέλαβε μια επίδειξη από το στις δημόσιες διαλέξεις του στο Λονδίνο δωδεκάα έτη αργότερα. Το Tyndall έγραψε επίσης για την ιδιοκτησία της συνολικής εσωτερικής αντανάκλασης σε ένα εισαγωγικό βιβλίο για τη φύση του φωτός το 1870: «Όταν το φως περνά από τον αέρα στο νερό, η διαθλασμένη ακτίνα κάμπτεται προς τον κάθετο... Όταν η ακτίνα περνά από το νερό στον αέρα

κάμπτεται από τον κάθετο... Εάν η γωνία που η ακτίνα στο νερό εσωκλείει με την κάθετο στην επιφάνεια είναι μεγαλύτερη από 48 βαθμούς, η ακτίνα δεν θα εγκαταλείψει το νερό καθόλου:

Θα απεικονιστεί συνολικά στην επιφάνεια.... Η γωνία που χαρακτηρίζει το όριο όπου η συνολική αντανάκλαση αρχίζει καλείται περιοριστική γωνία του μέσου. Για το νερό αυτή η γωνία είναι $48^{\circ}27'$, για το γυαλί πυρόλιθου που είναι $38^{\circ}41'$, ενώ για το διαμάντι είναι $23^{\circ}42'$.»

Οι πρακτικές εφαρμογές, όπως ο στενός εσωτερικός φωτισμός κατά τη διάρκεια της οδοντιατρικής, εμφανίστηκαν νωρίς στο 20ο. Η μετάδοση εικόνας μέσω των σωλήνων καταδείχθηκε ανεξάρτητα από το ραδιοπειραματιστή Clarence Hansell και τον τηλεοπτικό πρωτοπόρο John Logie Baird στη δεκαετία του '20. Η αρχή χρησιμοποιήθηκε αρχικά για τις εσωτερικές ιατρικές εξετάσεις από το Heinrich Lamm στην επόμενη δεκαετία. Το 1952, ο φυσικός Narinder Singh Kapany πραγματοποίησε τα πειράματα που οδήγησαν στην εφεύρεση της οπτικής ίνας. Οι σύγχρονες οπτικές ίνες, όπου η ίνα υάλου είναι ντυμένη με μια διαφανή επένδυση για να προσφέρει έναν καταλληλότερο δείκτη διάθλασης, εμφανίστηκαν αργότερα στη δεκαετία. Η ανάπτυξη εστίασε έπειτα στις δέσμες ινών για τη μετάδοση εικόνας. Το πρώτο ημι-εύκαμπτο gastroscope οπτικών ινών κατοχυρώθηκε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας από το βασιλικό Hirschowitz, Γ. Wilbur Peters, και Lawrence E. Curtiss, ερευνητές στο Πανεπιστήμιο του Michigan, το 1956. Στο στάδιο της ανάπτυξης του gastroscope, Curtiss παρήγαγε τις πρώτες γυαλί-ντυμένες ίνες οι προηγούμενες οπτικές ίνες είχαν στηριχθεί στον αέρα ή τα μη πρακτικά έλαια και τα κεριά ως υλικό επένδυσης χαμηλός-δεικτών. Ποικίλες άλλες εφαρμογές μετάδοσης εικόνας ακολούθησαν σύντομα

Στους πρόσφατους - 19ος και νωρίς - 20ούς αιώνες, το φως καθοδηγήθηκε μέσω των καμμένων ράβδων γυαλιού για να φωτίσει τις κοιλότητες σωμάτων. Ο Αλέξανδρος Graham Bell έφηυρε ένα «Photophone» για να διαβιβάσει τα σήματα φωνής πέρα από μια οπτική

ακτίνα.

Το Jun-Ichi Nishizawa, ένας ιαπωνικός επιστήμονας στο πανεπιστήμιο Tohoku, πρότεινε επίσης τη χρήση των οπτικών ινών για τις επικοινωνίες το 1963, όπως δηλώνεται στο βιβλίο του που δημοσιεύθηκε το 2004 στην Ινδία. Το Nishizawa έφηυρε άλλες τεχνολογίες που συνέβαλαν στην ανάπτυξη των επικοινωνιών οπτικής ίνας, όπως η οπτική ίνα βαθμολογώ-δεικτών ως κανάλι για τη διαβίβαση του φωτός από τα λέιζερ ημιαγωγών. Ο Charles K. Kao και ο George A. Hockham των βρετανικών τυποποιημένων τηλεφώνων και των καλωδίων επιχείρησης (STC) ήταν οι πρώτοι για να προωθήσουν την ιδέα ότι η μείωση στις οπτικές ίνες θα μπορούσε να μειωθεί κάτω από 20 decibels ανά χιλιόμετρο (dB/km), επιτρέποντας στις ίνες για να είναι ένα πρακτικό μέσο για την επικοινωνία. Πρότειναν ότι η μείωση στις ίνες διαθέσιμες τότε προκλήθηκε από τις ακαθαρσίες, οι οποίες θα μπορούσαν να αφαιρεθούν, παρά τα θεμελιώδη φυσικά αποτελέσματα όπως η διασπορά. Αυτοί σωστά και συστηματικά θεωρητικοποιημένοι οι ιδιότητες ελαφρύς-απώλειας για τη οπτική ίνα, και επισημαίνοντας το σωστό υλικό για να κατασκευάσει τέτοιες ίνες - γυαλί πυριτίου με την υψηλή αγνότητα. Αυτή η ανακάλυψη οδήγησε σε Kao που απονέμεται το βραβείο Νόμπελ στη φυσική το 2009.

Η NASA χρησιμοποίησε τις οπτικές ίνες στη τηλεοπτική κάμερα που στάλη στο φεγγάρι. Τότε τέτοια χρήση στις κάμερες ήταν «ταξινομημένη εμπιστευτική» και μόνο εκείνοι με τη σωστή εκκαθάριση ασφάλειας ή εκείνοι που συνοδεύθηκαν από κάποιον με τη σωστή εκκαθάριση ασφάλειας επιτράπηκαν για να χειριστούν τις κάμερες.

Το κρίσιμο όριο μείωσης 20 dB/km επιτεύχθηκε αρχικά το 1970, από τους ερευνητές Robert Δ. Maurer, Donald Keck, Peter Γ. Schultz, και Frank Zimar που εργάζονται για τα αμερικανικά εργοστάσια γυαλιού Corning κατασκευαστών γυαλιού, τώρα Corning που ενσωματώθηκε. Κατέδειξαν μια ίνα με τη μείωση 17 dB/km με τη νάρκωση του γυαλιού πυριτίου με το τιτάνιο. Μερικά έτη αργότερα παρήγαγαν μια ίνα με μόνο τη

μείωση 4 dB/km χρησιμοποιώντας το διοξείδιο γερμανίου ως υλικό πρόσμιξης πυρήνων. Τέτοιος χαμηλός - η μείωση ανήγγειλε μέσα τις τηλεπικοινωνίες οπτικής ίνας. Το 1981, η General Electric παρήγαγε τα λιωμένα πλινθώματα χαλαζία που θα μπορούσαν να συρθούν στα σκέλη οπτικών ινών 25 μίλια (40 χλμ) πολύ.

Η μείωση στα σύγχρονα οπτικά καλώδια είναι πολύ λιγότερο απ' ό, τι στα ηλεκτρικά χάλκινα καλώδια, που οδηγούν στις μεγάλης απόστασης συνδέσεις ινών με τις αποστάσεις επαναληπτών 70-150 χιλιομέτρων (43-93 mi). Ο έρβιο-ναρκωμένος ενισχυτής ινών, που μείωσε το κόστος των μεγάλης απόστασης συστημάτων ινών με τη μείωση ή την εξάλειψη των οπτικός-ηλεκτρικός-οπτικών επαναληπτών, συναναπτύχτηκε από τις ομάδες που οδηγήθηκαν από το Δαβίδ Ν. Payne του πανεπιστημίου Southampton και του Emmanuel Desurvire στα εργαστήρια κουδουινών το 1986. Η πιο γερή οπτική ίνα χρησιμοποιούμενη συνήθως σήμερα χρησιμοποιεί το γυαλί και για τον πυρήνα και για τη θήκη και είναι επομένως λιγότερες επιρρεπείς σε διαδικασίες γήρανσης. Εφευρέθηκε από το Gerhard Bernsee του γυαλιού Schott στη Γερμανία το 1973.

Το 1991, ο αναδυόμενος τομέας των φωτονιακών κρυστάλλων οδήγησε στην ανάπτυξη της ίνας φωτονιακός-κρυστάλλου που καθοδηγεί το φως από τη διάθλαση από μια περιοδική δομή, παρά από τη συνολική εσωτερική αντανάκλαση. Οι πρώτες φωτονιακές ίνες κρυστάλλου έγιναν διαθέσιμες στο εμπόριο το 2000. Οι φωτονιακές ίνες κρυστάλλου μπορούν να φέρουν την υψηλότερη δύναμη από τις συμβατικές ίνες και οι μήκος κύματος-εξαρτώμενες ιδιότητές τους μπορούν να χειριστούν για να βελτιώσουν την απόδοση.

Εφαρμογές

Επικοινωνία οπτικής ίνας

Η οπτική ίνα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέσο για τις τηλεπικοινωνίες και τη δικτύωση επειδή είναι εύκαμπτη και μπορεί να συσσωρευθεί ως καλώδια. Είναι ιδιαίτερα συμφέρον για τις υπεραστικές επικοινωνίες, επειδή το φως διαδίδει μέσω της ίνας με λίγη μείωση έναντι των ηλεκτρικών καλωδίων. Αυτό επιτρέπει στις μεγάλες αποστάσεις για να εκταθεί με λίγους επαναλήπτες. Επιπλέον, τα φωτεινά σήματα ανά-καναλιών που διαδίδουν στην ίνα έχουν διαμορφωθεί στα ποσοστά τόσο υψηλά όπως 111 gigabits ανά δευτερόλεπτο από NTT, αν και 10 ή 40 Gbit/s είναι χαρακτηριστικό στα επεκταμένα συστήματα. Κάθε ίνα μπορεί να φέρει πολλά ανεξάρτητα κανάλια, κάθε ένας χρησιμοποιώντας ένα διαφορετικό μήκος κύματος του φωτός (μήκος κύματος-τμήμα που πολλαπλασιάζει (WDM)). Το καθαρό ποσοστό στοιχείων (ποσοστό στοιχείων χωρίς υπερυψωμένες ψηφιολέξεις) ανά ίνα είναι το ποσοστό στοιχείων ανά-καναλιών που μειώνεται από τα γενικά έξοδα FEC, που πολλαπλασιάζονται με τον αριθμό καναλιών (συνήθως μέχρι ογδόντα στα εμπορικά πυκνά WDM συστήματα από το 2008 [αναπροσαρμογή]). Το τρέχον αρχείο ποσοστού στοιχείων εργαστηριακών οπτικών ινών, που κατέχουν τα εργαστήρια κουδουινών σε Villarcieux, Γαλλία, πολλαπλασιάζει 155 κανάλια, κάθε ένα που φέρνει 100 Gbit/s πέρα από μια ίνα 7000 χλμ. Η Nirron εταιρία τηλεγράφων και τηλεφώνων έχει διαχειριστεί επίσης 69.1 Tbit/s πέρα από μια ενιαία ίνα 240 χλμ (πολλαπλασιάζοντας 432 κανάλια, που εξισώνουν σε 171 Gbit/s ανά κανάλι). Τα εργαστήρια κουδουινών έσπασαν επίσης ένα ανά δευτερόλεπτο εμπόδιο χιλιομέτρου 100 Petabit (15.5 Tbit/s πέρα από μια ενιαία ίνα 7000 χλμ).

Για τις σύντομες εφαρμογές απόστασης, όπως η δημιουργία ενός δικτύου

μέσα σε ένα κτίριο γραφείων, η fiber-optic τηλεγράφιση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να σώσει το διάστημα στους αγωγούς καλωδίων. Αυτό είναι επειδή μια ενιαία ίνα μπορεί συχνά να φέρει το πολύ περισσότερο στοιχείο από πολλά ηλεκτρικά καλώδια, όπως 4 ζευγάρι γάτα-5 τηλεγράφιση Ethernet. [η ασαφής] ίνα είναι επίσης άνοση στην ηλεκτρική παρέμβαση δεν υπάρχει καμία λογομαχία μεταξύ του σήματος στα διαφορετικά καλώδια και καμίας επανάληψης του περιβαλλοντικού θορύβου. Τα μη-θωρακισμένα καλώδια ινών δεν διευθύνουν την ηλεκτρική ενέργεια, η οποία κάνει την ίνα μια καλή λύση για την προστασία του εξοπλισμού επικοινωνιών που βρίσκεται στα περιβάλλοντα υψηλής τάσης όπως οι εγκαταστάσεις ηλεκτρικής παραγωγής, ή η επικοινωνία μετάλλων κτίζει τις επιρρεπείς σε απεργίες αστραπής. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν στα περιβάλλοντα όπου οι εκρηκτικοί καπνοί είναι παρόντες, χωρίς κίνδυνο της ανάφλεξης. Η υποκλοπή τηλεφωνικών συνδιαλέξεων είναι δυσκολότερη έναντι των ηλεκτρικών συνδέσεων, και υπάρχουν ομόκεντρες διπλές ίνες πυρήνων που θεωρούνται την βρύση-απόδειξη.

Αισθητήρες οπτικών ινών

Οι ίνες έχουν πολλές χρήσεις στην τηλεπισκόπηση. Σε μερικές εφαρμογές, ο αισθητήρας είναι ο ίδιος μια οπτική ίνα. Σε άλλες περιπτώσεις, η ίνα χρησιμοποιείται για να συνδέσει έναν μη-fiber-optic αισθητήρα με ένα σύστημα μέτρησης. Ανάλογα με την εφαρμογή, η ίνα μπορεί να χρησιμοποιηθεί λόγω του μικρού μεγέθους της, ή του γεγονότος ότι καμία ηλεκτρική δύναμη δεν απαιτείται στη μακρινή θέση, ή επειδή πολλοί αισθητήρες μπορούν να πολλαπλασιαστούν κατά μήκος του μήκους μιας ίνας με τη χρησιμοποίηση των διαφορετικών μηκών κύματος του φωτός για κάθε αισθητήρα, ή με την αντίληψη της χρονικής καθυστέρησης καθώς το φως περνά κατά μήκος της ίνας μέσω κάθε αισθητήρα. Η χρονική καθυστέρηση μπορεί να καθοριστεί χρησιμοποιώντας μια συσκευή όπως οπτικό reflectometer χρόνος-περιοχών.

Οι οπτικές ίνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αισθητήρες για να μετρήσουν την πίεση, τη θερμοκρασία, την πίεση και άλλες ποσότητες με την τροποποίηση μιας ίνας έτσι ώστε η ποσότητα που μετριέται διαμορφώνει το χρόνο έντασης, φάσης, πόλωσης, μήκους κύματος ή διέλευσης του φωτός στην ίνα. Οι αισθητήρες που ποικίλλουν την ένταση του φωτός είναι οι απλούστεροι, δεδομένου ότι μόνο μια απλοί πηγή και ένας ανιχνευτής απαιτούνται. Ένα ιδιαίτερα χρήσιμο χαρακτηριστικό γνώρισμα τέτοιων αισθητήρων οπτικών ινών είναι ότι μπορούν, αν είναι απαραίτητο, να παρέχουν τη διανεμημένη αντίληψη πέρα από τις αποστάσεις μέχρι ενός μέτρου. Οι εξωγενείς αισθητήρες οπτικών ινών χρησιμοποιούν ένα καλώδιο οπτικής ίνας, κανονικά πολλαπλού τρόπου, για να διαβιβάσουν το διαμορφωμένο φως από είτε έναν οπτικό αισθητήρα μη-ινών, είτε έναν ηλεκτρονικό αισθητήρα που συνδέεται με μια οπτική συσκευή αποστολής σημάτων. Ένα σημαντικό όφελος των εξωγενών αισθητήρων είναι η δυνατότητά τους να φθάσουν στις θέσεις που είναι ειδήλλως απρόσιτες. Ένα παράδειγμα είναι η μέτρηση της θερμοκρασίας μέσα στις αεριωθούμενες μηχανές αεροσκαφών με τη χρησιμοποίηση μιας ίνας για να διαβιβάσει την ακτινοβολία σε ένα πυρόμετρο ακτινοβολίας που βρίσκεται έξω από τη μηχανή. Οι εξωγενείς αισθητήρες μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν με τον ίδιο τρόπο να μετρηθεί η εσωτερική θερμοκρασία των ηλεκτρικών μετασχηματιστών, όπου οι ακραίοι ηλεκτρομαγνητικοί τομείς παρόντες καθιστούν άλλες τεχνικές μέτρησης αδύνατες. Οι εξωγενείς αισθητήρες χρησιμοποιούνται για να μετρήσουν τη δόνηση, την περιστροφή, τη μετατόπιση, την ταχύτητα, την επιτάχυνση, τη ροπή, και το στρίψιμο. Μια στερεάς κατάστασης έκδοση του γυροσκοπίου που χρησιμοποιεί την παρέμβαση του φωτός έχει αναπτυχθεί. Το γυροσκόπιο οπτικών ινών (FOG) δεν έχει κανένα κινούμενο μέρος και εκμεταλλεύεται την επίδραση Sagnac για να ανιχνεύσει τη μηχανική περιστροφή.

Ένας κοινής χρήσης για τους αισθητήρες οπτικών ινών είναι στα προηγμένα συστήματα ασφαλείας ανίχνευσης παρείσφρυσης, όπου το φως διαβιβάζεται κατά μήκος του οπτικών ινών καλωδίου αισθητήρων, το οποίο τοποθετείται σε μια τηλεγράφηση φρακτών, σωληνώσεων ή επικοινωνίας, και το επιστρεφόμενο σήμα ελέγχεται και αναλύεται για τις διαταραχές. Αυτό το επιστροφής σήμα υποβάλλεται σε επεξεργασία ψηφιακά για να προσδιορίσει εάν υπάρχει μια διαταραχή, και εάν μια παρείσφρυση έχει εμφανιστεί ένας συναγερμός προκαλείται από το σύστημα ασφαλείας οπτικών ινών.

Άλλες χρήσεις των οπτικών ινών

Οι ίνες χρησιμοποιούνται ευρέως στις εφαρμογές φωτισμού. Χρησιμοποιούνται ως ελαφριοί οδηγοί στις ιατρικές και άλλες εφαρμογές όπου φωτεινός ελαφρύς πρέπει να λαμβθεί σε έναν στόχο χωρίς μια σαφή πορεία οπτικής επαφής. Σε μερικά κτήρια, οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται στο φως του ήλιου διαδρομών από τη στέγη σε άλλα μέρη του κτηρίου (δείτε τη non-imaging οπτική). Ο φωτισμός οπτικής ίνας χρησιμοποιείται επίσης για τις διακοσμητικές εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένων των σημαδιών, της τέχνης, και των τεχνητών χριστουγεννιάτικων δέντρων. Οι οπτικές ίνες χρήσης μπουτίκ Swarovski για να φωτίσουν το κρύσταλλό τους επιδεικνύουν από πολλές διαφορετικές γωνίες μόνο υιοθετώντας μια πηγή φωτός. Η οπτική ίνα είναι ένα εγγενές μέρος του ελαφρύς-διαβιβάζοντας συγκεκριμένου προϊόντος οικοδόμησης, LiTraCon. Η οπτική ίνα χρησιμοποιείται επίσης στην οπτική απεικόνιση. Μια συνεπής δέσμη των ινών χρησιμοποιείται, μερικές φορές μαζί με τους φακούς, για μια μακριά, λεπτή συσκευή απεικόνισης αποκαλούμενη ενδοσκόπιο, το οποίο χρησιμοποιείται στα αντικείμενα άποψης μέσω μιας μικρής τρύπας. Τα ιατρικά ενδοσκόπια χρησιμοποιούνται για τις ελάχιστα της εισβολής διερευνητικές ή χειρουργικές διαδικασίες (ενδοσκόπηση). Τα βιομηχανικά ενδοσκόπια (δείτε fiberscope ή ενδοσκόπιο)

χρησιμοποιούνται για να επιθεωρήσουν τίποτα σκληρά που φθάνει, όπως το εσωτερικό αεριωθούμενων μηχανών. Στη φασματοσκοπία, οι δέσμες οπτικής ίνας χρησιμοποιούνται για να διαβιβάσουν το φως από ένα φασματόμετρο σε μια ουσία που δεν μπορεί να τοποθετηθεί μέσα το ίδιο στο φασματόμετρο, προκειμένου να αναλυθεί η σύνθεσή της. Ένα φασματόμετρο αναλύει τις ουσίες με να αναπηδήσει το φως μακριά και μέσω τους. Με τη χρησιμοποίηση των ινών, ένα φασματόμετρο μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα αντικείμενα μελέτης που είναι πάρα πολύ μεγάλα για να εγκαταστήσουν μέσα, ή τα αέρια, ή τις αντιδράσεις που εμφανίζονται στα σκάφη πίεσης. Μια οπτική ίνα που ναρκώνεται με ορισμένα στοιχεία σπάνιας γης όπως το έρβιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέσο κέρδους ενός λέιζερ ή ενός οπτικού ενισχυτή. Οι Rare-earth ναρκωμένες οπτικές ίνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να παρέχουν την ενίσχυση σημάτων με να συνδέσουν ένα σύντομο τμήμα της ναρκωμένης ίνας σε μια κανονική (undoped) γραμμή οπτικής ίνας. Η ναρκωμένη ίνα αντλείται οπτικά με ένα δεύτερο μήκος κύματος λέιζερ που συνδέεται στη γραμμή εκτός από το κύμα σημάτων. Και τα δύο μήκη κύματος του φωτός διαβιβάζονται μέσω της ναρκωμένης ίνας, η οποία μεταφέρει την ενέργεια από το δεύτερο μήκος κύματος αντλιών στο κύμα σημάτων. Η διαδικασία που προκαλεί την ενίσχυση είναι υποκινημένη εκπομπή. Οι οπτικές ίνες που ναρκώνονται με έναν μοχλό μετατόπισης μήκους κύματος χρησιμοποιούνται για να συλλέξουν το φως σπινθηροβολήματος στα πειράματα φυσικής. Η οπτική ίνα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παρέχει ένα χαμηλό επίπεδο της δύναμης (περίπου ένα Watt) στην ηλεκτρονική που τοποθετείται σε ένα δύσκολο ηλεκτρικό περιβάλλον. Τα παραδείγματα αυτού είναι ηλεκτρονική στα μεγάλης ισχύος στοιχεία κεραιών και τις συσκευές μέτρησης που χρησιμοποιούνται στον εξοπλισμό μετάδοσης υψηλής τάσης.

Μια αυξανόμενη τάση στις θέες σιδήρου για τα όπλα, είναι η χρήση των σύντομων κομματιών της οπτικής ίνας για τα σημεία αυξήσεων αντίθεσης,

που γίνονται κατά τέτοιο τρόπο ώστε το περιβαλλοντικό φως που αφορά το μήκος της ίνας συγκεντρώνεται στην άκρη, που καθιστά τα σημεία ελαφρώς φωτεινότερα από τα περίχωρα. Αυτή η μέθοδος ο συνηθέστερα χρησιμοποιείται στις μπροστινές θέες, αλλά πολλοί κατασκευαστές προσφέρουν τις θέες που χρησιμοποιούν τις οπτικές ίνες στις μπροστινές και οπίσθιες θέες. Οι θέες οπτικών ινών μπορούν τώρα να βρεθούν στα περίστροφα, τουφέκια, και κυνηγετικά όπλα, και ως aftermarket εξαρτήματα και ως αυξανόμενος αριθμός πυροβόλων όπλων εργοστασίων.



Μπροστινή θέα οπτικών ινών σε ένα πυροβόλο όπλο χεριών



Light reflected from optical fiber illuminates exhibited mode

Αρχή λειτουργίας

Μια οπτική ίνα είναι ένας κυλινδρικός διηλεκτρικός κυματοδηγός (nonconducting κυματοδηγός) που διαβιβάζει το φως κατά μήκος του άξονά του, με τη διαδικασία της συνολικής εσωτερικής αντανάκλασης. Η ίνα αποτελείται από έναν πυρήνα που περιβάλλεται από ένα στρώμα επένδυσης, και τα δύο από το οποίο αποτελούνται από τα διηλεκτρικά υλικά. Για να περιορίσει το οπτικό σήμα στον πυρήνα, ο δείκτης διάθλασης του πυρήνα πρέπει να είναι μεγαλύτερος από αυτός της επένδυσης. Το όριο μεταξύ του πυρήνα και της επένδυσης μπορεί είτε να είναι απότομο, στην ίνα βήμα-δεικτών, είτε βαθμιαίος, στην ίνα βαθμολογώ-δεικτών.

Δείκτης διάθλασης

Ο δείκτης της διάθλασης είναι ένας τρόπος τη ταχύτητα του φωτός σε ένα υλικό. Ελαφριά ταξίδια ο γρηγορότερα σε ένα κενό, όπως το μακρινό διάστημα. Η πραγματική ταχύτητα του φωτός σε ένα κενό είναι περίπου 300.000 χιλιόμετρα (186 χιλιάδες μίλια) ανά δευτερόλεπτο. Ο δείκτης της διάθλασης υπολογίζεται με τη διαίρεση της ταχύτητας του φωτός σε ένα κενό με τη ταχύτητα του φωτός σε κάποιο άλλο μέσο. Ο δείκτης της διάθλασης ενός κενού είναι επομένως 1, εξ ορισμού. Η χαρακτηριστική αξία για την επένδυση μιας οπτικής ίνας είναι 1.46. Η αξία πυρήνων είναι χαρακτηριστικά 1.48. Όσο μεγαλύτερος ο δείκτης της διάθλασης, τα πιο αργά ελαφριά ταξίδια σε εκείνο το μέσο. Από αυτές τις πληροφορίες, μια καλή εμπειροτεχνική μέθοδος είναι ότι το σήμα που χρησιμοποιεί τη οπτική ίνα για την επικοινωνία θα ταξιδεψει περίπου σε 200 εκατομμύριο μέτρα ανά δευτερόλεπτο. Ή για να το βάλει ένας άλλος τρόπος, στο ταξίδι 1000 χιλιόμετρα στην ίνα, το σήμα θα διαρκέσει 5 χιλιοστά του δευτερολέπτου που διαδίδουν. Κατά συνέπεια ένα τηλεφώνημα που φέρεται από την ίνα μεταξύ του Σίδνεϊ και της Νέας Υόρκης, μια απόσταση 12000 χιλιομέτρου, σημαίνει ότι υπάρχει μια απόλυτη ελάχιστη

καθυστέρηση 60 χιλιοστών του δευτερολέπτου (ή γύρω στο 1/16th ενός δευτερολέπτου) μεταξύ όταν μιλά ένας επισκέπτης όταν ακούει άλλος. (Φυσικά η ίνα σε αυτήν την περίπτωση θα ταξιδεψει πιθανώς μια μακρύτερη διαδρομή, και θα υπάρξουν πρόσθετες καθυστερήσεις λόγω της μετατροπής εξοπλισμού επικοινωνίας και της διαδικασίας και τη φωνή επάνω στην ίνα).

Συνολική εσωτερική αντανάκλαση

Όταν το ελαφρύ ταξίδι σε ένα πυκνό μέσο χτυπά ένα όριο σε μια απότομη γωνία (μεγαλύτερη από τη «κρίσιμη γωνία» για το όριο), το φως θα απεικονιστεί εντελώς. Αυτή η επίδραση χρησιμοποιείται στις οπτικές ίνες για να περιορίσει το φως στον πυρήνα. Ελαφριά ταξίδια κατά μήκος της ίνας που αναπηδά πέρα δώθε μακριά του ορίου. Επειδή το φως πρέπει να χτυπήσει το όριο με μια γωνία μεγαλύτερη από την κρίσιμη γωνία, ανάψτε μόνο που εισάγει την ίνα μέσα σε μια ορισμένη σειρά των γωνιών μπορεί να ταξιδεψει κάτω από την ίνα χωρίς να διαρρεύσει έξω. Αυτή η σειρά των γωνιών καλείται κώνο αποδοχής της ίνας. Το μέγεθος αυτού του κώνου αποδοχής είναι μια λειτουργία της διαφοράς δείκτη διάθλασης μεταξύ του πυρήνα της ίνας και της επένδυσης.

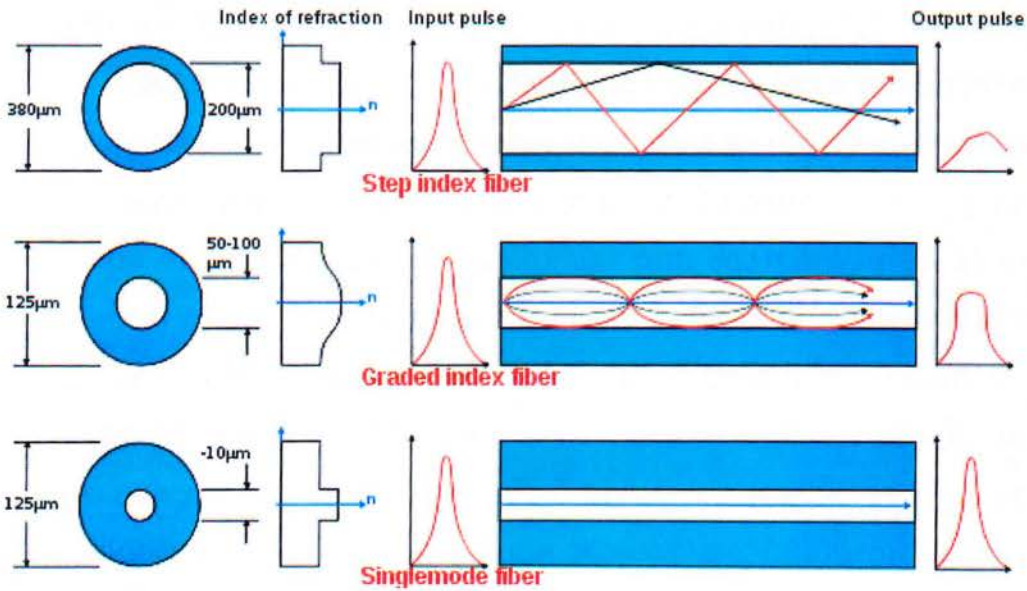
Στους απλούστερους όρους, υπάρχει μια μέγιστη γωνία από τον άξονα ινών στον οποίο ανάψτε μπορεί να εισαγάγει την ίνα έτσι ώστε θα διαδώσει, ή ταξίδι, στον πυρήνα της ίνας. Το ημίτονο αυτής της μέγιστης γωνίας είναι το αριθμητικό άνοιγμα (NA) της ίνας. Η ίνα με ένα μεγαλύτερο NA απαιτεί τη λιγότερη ακρίβεια για να συνδέσει και να λειτουργήσει με από την ίνα με ένα μικρότερο NA. Η Single-mode ίνα έχει ένα μικρό NA.

Πολύτροπες ίνες

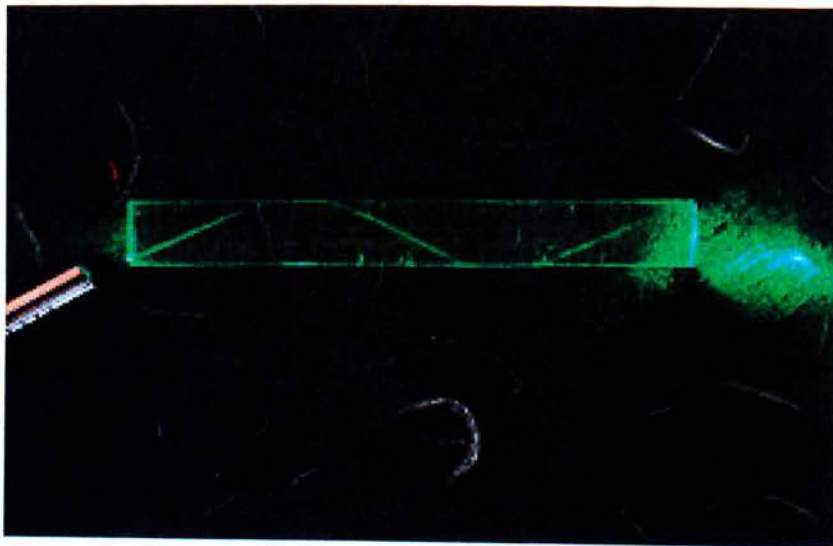
Η ίνα με τη μεγάλη διάμετρο πυρήνων (μεγαλύτερη από 10 μικρόμετρα) μπορεί να αναλυθεί από τη γεωμετρική οπτική. Τέτοια ίνα καλείται πολλαπλού τρόπου ίνα, από την ηλεκτρομαγνητική ανάλυση (δείτε κατωτέρω). Σε μια πολλαπλού τρόπου ίνα βήμα-δεικτών, οι ακτίνες του φωτός καθοδηγούνται κατά μήκος του πυρήνα ινών από τη συνολική εσωτερική αντανάκλαση. Οι ακτίνες που συναντούν το όριο πυρήνας-επένδυσης σε μια υψηλή γωνία (που μετριέται σχετικά με μια γραμμή κανονική στο όριο), μεγαλύτερο από την κρίσιμη γωνία για αυτό το όριο, απεικονίζονται εντελώς. Η κρίσιμη γωνία (ελάχιστη γωνία για τη συνολική εσωτερική αντανάκλαση) καθορίζεται από τη διαφορά στο δείκτη της διάθλασης μεταξύ των υλικών πυρήνων και επένδυσης. Οι ακτίνες που συναντούν το όριο σε μια χαμηλή γωνία διαθλιούνται από τον πυρήνα στην επένδυση, και δεν μεταβιβάζουν το φως και ως εκ τούτου πληροφορίες κατά μήκος της ίνας. Η κρίσιμη γωνία καθορίζει τη γωνία αποδοχής της ίνας, που αναφέρεται συχνά ως αριθμητικό άνοιγμα. Ένα υψηλό αριθμητικό άνοιγμα επιτρέπει στο φως για να διαδώσει κάτω από την ίνα στις ακτίνες και κοντά στον άξονα και στις διάφορες γωνίες, που επιτρέπουν την αποδοτική σύζευξη του φωτός στην ίνα. Εντούτοις, αυτό το υψηλό αριθμητικό άνοιγμα αυξάνει το ποσό διασποράς δεδομένου ότι οι ακτίνες στις διαφορετικές γωνίες έχουν τα διαφορετικά μήκη πορειών και επομένως παίρνουν τους διαφορετικούς χρόνους να διαβεί η ίνα.

Στην ίνα βαθμολογώ-δεικτών, ο δείκτης της διάθλασης στον πυρήνα μειώνεται συνεχώς μεταξύ του άξονα και της επένδυσης. Αυτό αναγκάζει τις ελαφριές ακτίνες για να κάμψει ομαλά καθώς πλησιάζουν την επένδυση, παρά να απεικονίσουν απότομα από το όριο πυρήνας-επένδυσης. Οι προκύπτουσες καμμένες πορείες μειώνουν την πολλαπλών διαδρομών διασπορά επειδή οι υψηλές ακτίνες γωνίας περνούν περισσότερο μέσω της περιφέρειας χαμηλός-δεικτών του πυρήνα, παρά το κέντρο υψηλός-δεικτών. Το σχεδιάγραμμα δεικτών επιλέγεται για να

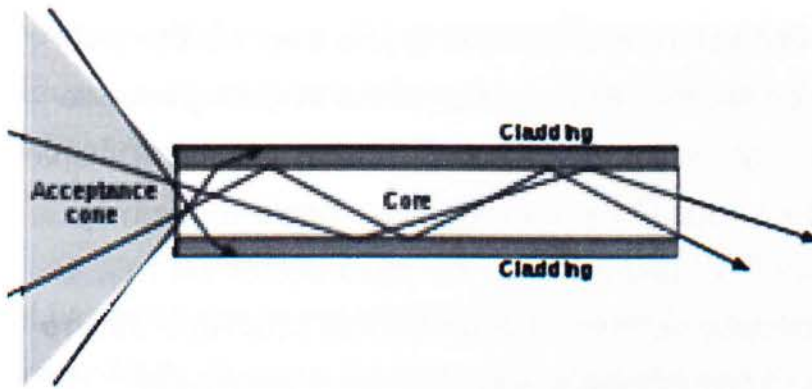
ελαχιστοποιήσει τη διαφορά στις αξονικές ταχύτητες διάδοσης των διάφορων ακτίνων στην ίνα. Αυτό το ιδανικό σχεδιάγραμμα δεικτών είναι πολύ στενό σε μια παραβολική σχέση μεταξύ του δείκτη και της απόστασης από τον άξονα.



Τύποι οπτικής ίνας



Ένα λέιζερ που αναπηδά κάτω από μια ακρυλική ράβδο, που επεξηγεί τη συνολική εσωτερική αντανάκλαση του φωτός σε μια πολλαπλού τρόπου οπτική ίνα.

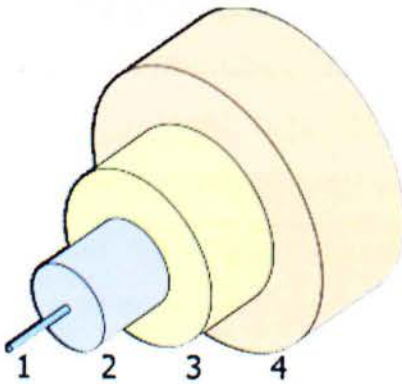


Η διάδοση του φωτός μέσω μιας πολλαπλού τρόπου οπτικής ίνας.

Μονότροπες ίνες

Η ίνα με μια διάμετρο πυρήνων λιγότερο από περίπου δέκα φορές το μήκος κύματος του φωτός διάδοσης δεν μπορεί να διαμορφωθεί χρησιμοποιώντας τη γεωμετρική οπτική. Αντ' αυτού, πρέπει να αναλυθεί ως ηλεκτρομαγνητική δομή, από τη λύση των εξισώσεων του Maxwell όπως μειώνεται στην ηλεκτρομαγνητική εξίσωση κυμάτων. Η ηλεκτρομαγνητική ανάλυση μπορεί επίσης να απαιτηθεί για να καταλάβει τις συμπεριφορές όπως το στίγμα που εμφανίζονται όταν διαδίδει το συνεπές φως στην πολλαπλού τρόπου ίνα. Σαν οπτικό κυματοδηγό, η ίνα υποστηρίζει έναν ή περισσότερους περιορισμένους εγκάρσιους τρόπους από τους οποίους ανάψτε μπορεί να διαδώσει κατά μήκος της ίνας. Η ίνα που υποστηρίζει μόνο έναν τρόπο καλείται *single-mode* ή *mono-mode* ίνα. Η συμπεριφορά της πολλαπλού τρόπου ίνας μεγάλος-πυρήνων μπορεί επίσης να διαμορφωθεί χρησιμοποιώντας την εξίσωση κυμάτων, η οποία δείχνει ότι τέτοια ίνα υποστηρίζει περισσότερους από έναν τρόπους διάδοσης (ως εκ τούτου το όνομα). Τα αποτελέσματα τέτοιας διαμόρφωσης της πολλαπλού τρόπου ίνας συμφωνούν περίπου με τις προβλέψεις της γεωμετρικής οπτικής, εάν ο πυρήνας ινών είναι αρκετά μεγάλος να υποστηρίξει περισσότερο από μερικούς τρόπους.

Η ανάλυση κυματοδηγού δείχνει ότι η ελαφριά ενέργεια στην ίνα δεν είναι εντελώς περιορισμένη στον πυρήνα. Αντ' αυτού, ειδικά στις *single-mode* ίνες, ένα σημαντικό μέρος της ενέργειας στο συνδεδεμένο τρόπο ταξιδεύει στην επένδυση ως παροδικό κύμα. Ο πιο κοινός τύπος *single-mode* ίνας έχει μια διάμετρο πυρήνων 8-10 μικρόμετρων και σχεδιάζεται για τη χρήση στις κοντινές υπέρυθρες ακτίνες. Η δομή τρόπου εξαρτάται από το μήκος κύματος του φωτός χρησιμοποιούμενου, έτσι ώστε αυτή η ίνα υποστηρίζει πραγματικά έναν μικρό αριθμό πρόσθετων τρόπων στα ορατά μήκη κύματος. Η πολλαπλού τρόπου ίνα, από τη σύγκριση, κατασκευάζεται με τις διαμέτρους πυρήνων τόσο μικρές όπως 50 μικρόμετρα και τόσο μεγάλες όσο οι εκατοντάδες των μικρόμετρων. Η ομαλοποιημένη συχνότητα B για αυτήν την ίνα πρέπει να είναι λιγότερο από την πρώτη μηδέν από τη λειτουργία Bessel J_0 (περίπου 2.405).



Η δομή μιας χαρακτηριστικής *single-mode* ίνας.

1. Πυρήνας: διάμετρος 8 μm
2. Επένδυση: $\text{dia } 125 \mu\text{m}$.
3. Απομονωτής: $\text{dia } 250 \mu\text{m}$.
4. Σακκι: $\text{dia } 400 \mu\text{m}$.

Ειδικής χρήσης ίνα

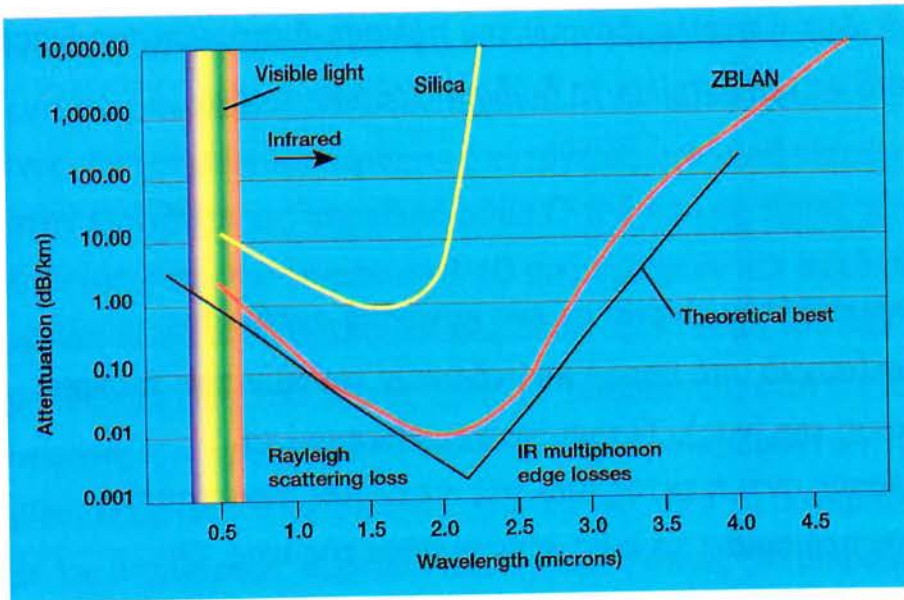
Κάποια ειδικής χρήσης οπτική ίνα κατασκευάζεται με ένα μη-κυλινδρικό στρώμα πυρήνων ή/και επένδυσης, συνήθως με μια ελλειπτική ή

ορθογωνική διατομή. Αυτοί περιλαμβάνουν την πόλωση-διατήρηση της ίνας και της ίνας με σκοπό να καταστείλει τη διάδοση τρόπου στοών ψιθυρίσματος.

Η ίνα φωτονιακός-κρυστάλλου γίνεται με ένα κανονικό σχέδιο της παραλλαγής δεικτών (συχνά υπό μορφή κυλινδρικών τρυπών που τρέχουν κατά μήκος του μήκους της ίνας). Τέτοια ίνα χρησιμοποιεί τα αποτελέσματα διάθλασης αντί ή εκτός από της συνολικής εσωτερικής αντανάκλασης, για να περιορίσει το φως στον πυρήνα της ίνας. Οι ιδιότητες της ίνας μπορούν να προσαρμοστούν σε μια ευρεία ποικιλία των εφαρμογών.

Μηχανισμοί της μείωσης

Η μείωση στις οπτικές ίνες, επίσης γνωστή ως απώλεια μετάδοσης, είναι η μείωση της έντασης της φωτεινής ακτίνας (ή του σήματος) όσον αφορά την απόσταση που διανύεται μέσω ενός μέσου μετάδοσης. Οι συντελεστές μείωσης στις οπτικές ίνες χρησιμοποιούν συνήθως τις μονάδες dB/km μέσω του μέσου λόγω σχετικά του υψηλού - ποιότητα της διαφάνειας των σύγχρονων οπτικών μέσων μετάδοσης. Το μέσο είναι συνήθως μια ίνα του γυαλιού πυριτίου που περιορίζει τη συναφή ελαφριά ακτίνα στο εσωτερικό. Η μείωση είναι ένας σοβαρός παράγοντας που περιορίζει τη μετάδοση ενός ψηφιακού σήματος στις μεγάλες αποστάσεις. Κατά συνέπεια, πολλή έρευνα έχει πάει και στον περιορισμό της μείωσης και στη μεγιστοποίηση της ενίσχυσης του οπτικού σήματος. Η εμπειρική έρευνα έχει δείξει ότι η μείωση στη οπτική ίνα προκαλείται πρώτιστα και από τη διασπορά και από την απορρόφηση.



Ελαφριά μείωση από ZBLAN και πυριτίου τις ίνες

ΔΙΑΧΥΣΗ ΦΩΤΟΣ

Η διάδοση του φωτός μέσω του πυρήνα μιας οπτικής ίνας είναι βασισμένη στη συνολική εσωτερική αντανάκλαση του lightwave. Οι τραχιές και ανώμαλες επιφάνειες, ακόμη και στο μοριακό επίπεδο, μπορούν να αναγκάσουν τις ελαφριές ακτίνες για να απεικονιστούν στις τυχαίες κατευθύνσεις. Αυτό καλείται διάχυτη αντανάκλαση ή διασπορά, και χαρακτηρίζεται χαρακτηριστικά από τη ευρεία ποικιλία των γωνιών αντανάκλασης.

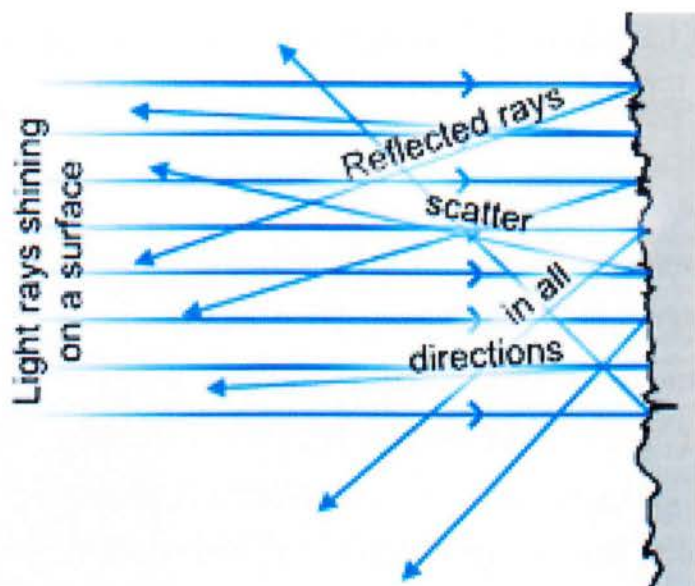
Η ελαφριά διασπορά εξαρτάται από το μήκος κύματος του διασποράς του φωτός. Κατά συνέπεια, τα όρια στις χωρικές κλίμακες της διαφάνειας προκύπτουν, ανάλογα με τη συχνότητα του συναφούς ελαφρύς-κύματος και της φυσικής χωρικής κλίμακας διάστασης (ή) του διασκορπίζοντα κέντρου, το οποίο είναι χαρακτηριστικά υπό μορφή κάποιου συγκεκριμένου μικροδομικού χαρακτηριστικού γνωρίσματος. Δεδομένου ότι το ορατό φως έχει ένα μήκος κύματος της διαταγής ένα micrometre (ένας

εκατομμυριοστός ενός μετρητή) τα διασκορπίζοντας κέντρα θα έχουν τις διαστάσεις σε μια παρόμοια χωρική κλίμακα.

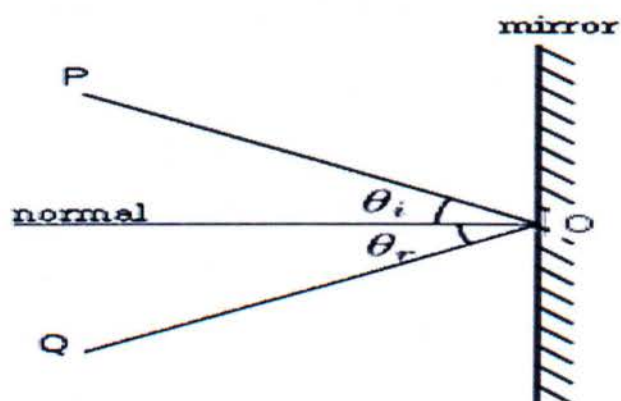
Κατά συνέπεια, η μείωση προκύπτει από την ασυνάρτητη διασπορά του φωτός στις εσωτερικές επιφάνειες και τις διεπαφές. (Στα πολυ)κρυστάλλινα υλικά όπως τα μέταλλα και η κεραμική, εκτός από τους πόρους, οι περισσότερες από τις εσωτερικές επιφάνειες ή τις διεπαφές είναι υπό μορφή ορίων σιταριού που χωρίζουν τις μικροσκοπικές περιοχές της κρυστάλλινης διαταγής. Πρόσφατα έχει αποδειχθεί ότι όταν μειώνεται το μέγεθος του διασκορπίζοντας κέντρου (ή του ορίου σιταριού) κάτω από το μέγεθος του μήκους κύματος του διασποράς του φωτός, η διασπορά δεν εμφανίζεται πλέον σε οποιαδήποτε σημαντική έκταση. Αυτό το φαινόμενο έχει δώσει αφορμή για την παραγωγή των διαφανών κεραμικών υλικών.

Ομοίως, η διασπορά του φωτός στην οπτική ποιοτική ίνα υάλου προκαλείται από τις μοριακές παρατυπίες επιπέδων (συνθετικές διακυμάνσεις) στη δομή γυαλιού. Πράγματι, μια Σχολή Διαλογισμού ανάδυσης είναι ότι ένα γυαλί είναι απλά η περιοριστική περίπτωση ενός πολυκρυσταλλικού στερεού. Μέσα σε αυτό το πλαίσιο, «οι περιοχές» που εκθέτουν τους διάφορους βαθμούς περιορισμένου φάσματος διαταγής γίνονται οι δομικές μονάδες και των μετάλλων και των κραμάτων, καθώς επίσης και γυαλιά και κεραμική. Διανέμονται και μεταξύ και μέσα σε αυτών των περιοχών οι μικροδομικές ατέλειες που θα παράσχουν τις ιδανικότερες θέσεις για το περιστατικό της ελαφριάς διασποράς. Αυτό το ίδιο φαινόμενο βλέπει ως ένας από τους περιοριστικούς παράγοντες στη διαφάνεια των θόλων πυραύλων υπέρυθρων ακτίνων.

Στις υψηλές οπτικές δυνάμεις, η διασπορά μπορεί επίσης να προκληθεί με τις μη γραμμικές οπτικές διαδικασίες στην ίνα.



Διάχυτη αντανάκλαση



Specular αντανάκλαση

Απορρόφηση UV-Vis-IR

Εκτός από την ελαφριά διασπορά, η απώλεια μείωσης ή σημάτων μπορεί επίσης να εμφανιστεί λόγω της εκλεκτικής απορρόφησης των συγκεκριμένων μηκών κύματος, κατά τρόπο παρόμοιο με αυτόν αρμόδιο για την εμφάνιση του χρώματος. Οι αρχικές υλικές εκτιμήσεις περιλαμβάνουν και τα ηλεκτρόνια και τα μόρια ως εξής:

1) Στο ηλεκτρονικό επίπεδο, εξαρτάται από εάν τα τροχιακοί ηλεκτρονίων χωρίζονται κατά διαστήματα (ή «κβαντοποιημένος») έτσι ώστε μπορούν να απορροφήσουν ένα κβάντο του φωτός (ή του φωτονίου) ενός συγκεκριμένου μήκους κύματος ή συχνότητα στην υπεριώδη ακτίνα (UV) ή τις ορατές σειρές. Αυτό είναι τι δίνει αφορμή για το χρώμα.

2) Στο ατομικό ή μοριακό επίπεδο, εξαρτάται από τις συχνότητες των ατομικών ή μοριακών δονήσεων ή των χημικών δεσμών, πώς στενός-συσκευασμένος τα άτομα ή τα μόριά του είναι, και εάν τα άτομα ή τα μόρια εκθέτουν ή όχι τη μεγάλης ακτίνας διαταγή. Αυτοί οι παράγοντες θα καθορίσουν την ικανότητα του υλικού που μεταδίδει τα πιο μακροχρόνια μήκη κύματος στις υπέρυθρες (IR), μακρινές σειρές IR, ραδιοφώνων και μικροκυμάτων.

Το σχέδιο οποιασδήποτε οπτικά διαφανούς συσκευής απαιτεί την επιλογή των υλικών που βασίζονται στη γνώση των ιδιοτήτων και των περιορισμών του. Τα χαρακτηριστικά απορρόφησης δικτυωτού πλέγματος [αποσαφήνιση που απαιτείται] που παρατηρούνται στις περιοχές χαμηλότερης συχνότητας (μέσο IR στη far-infrared σειρά μήκους κύματος) καθορίζουν το όριο διαφάνειας μακρής-μήκους κύματος του υλικού. Είναι το αποτέλεσμα της διαλογικής σύζευξης μεταξύ των κινήσεων των θερμικά προκληθεισών δονήσεων των ιδρυτικών ατόμων και των μορίων του στερεού δικτυωτού πλέγματος και η συναφής ελαφριά ακτινοβολία κυμάτων. Ως εκ τούτου, όλα τα υλικά είναι οριακά με τον περιορισμό των

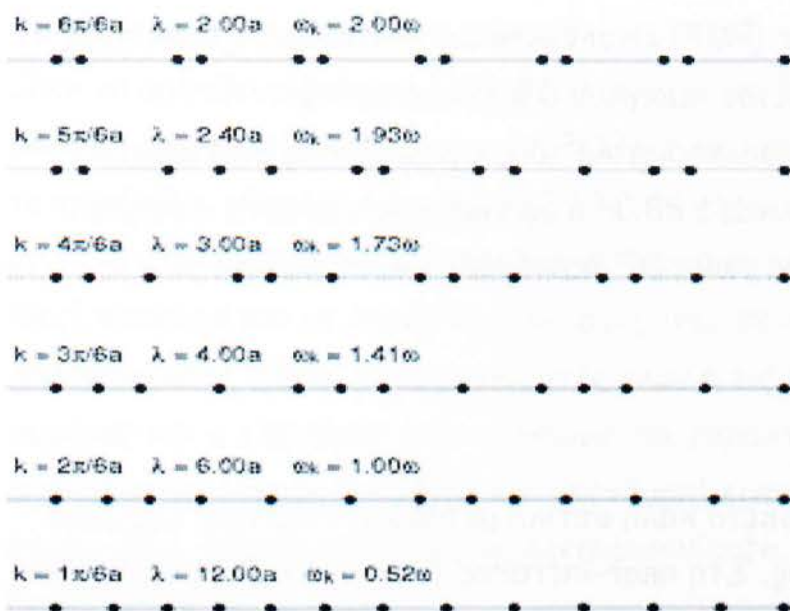
περιοχών της απορρόφησης που προκαλείται από τις ατομικές και μοριακές δονήσεις (δεσμός-τέντωμα) far-infrared ($>10 \mu\text{m}$).

Κατά συνέπεια, η απορρόφηση πολυ-ρηοση εμφανίζεται όταν αλληλεπιδρούν ταυτόχρονα δύο ή περισσότερα ρηοσης για να παραγάγουν τις ηλεκτρικές στιγμές διπόλων με τις οποίες η συναφής ακτινοβολία μπορεί να συνδέσει. Αυτά τα δίπολα μπορούν να απορροφήσουν την ενέργεια από τη συναφή ακτινοβολία, που φθάνει σε μια μέγιστη σύζευξη με την ακτινοβολία όταν η συχνότητα είναι ίση με το θεμελιώδη παλμικό τρόπο του μοριακού διπόλου (π.χ. δεσμός Si-o) far-infrared, ή μια από τις αρμονικές της.

Η εκλεκτική απορρόφηση του υπέρυθρου φωτός (IR) από ένα ιδιαίτερο υλικό εμφανίζεται επειδή η επιλεγμένη συχνότητα του φωτεινού κύματος ταιριάζει με τη συχνότητα (ή ένα πολλαπλάσιο ακέραιων αριθμών της συχνότητας) στην οποία τα μόρια εκείνου του υλικού δονούνται.

Δεδομένου ότι τα διαφορετικά άτομα και τα μόρια έχουν τις διαφορετικές φυσικές συχνότητες της δόνησης, θα απορροφήσουν επιλεκτικά τις διαφορετικές συχνότητες (ή τις μερίδες του φάσματος) του υπέρυθρου φωτός (IR).

Η αντανάκλαση και η μετάδοση των φωτεινών κυμάτων εμφανίζονται επειδή οι συχνότητες των φωτεινών κυμάτων δεν ταιριάζουν με τις φυσικές ηχηρές συχνότητες της δόνησης των αντικειμένων. Όταν το φως IR αυτών των συχνοτήτων χτυπά ένα αντικείμενο, η ενέργεια είτε απεικονίζεται είτε διαβιβάζεται.



Κανονικοί τρόποι δόνησης σε ένα κρυστάλλινο στερεό.

Κατασκευή

Υλικά

Οι οπτικές ίνες γυαλιού σχεδόν πάντα γίνονται από το πυρίτιο, αλλά μερικά άλλα υλικά, όπως fluoro-zirconate, fluoroaluminat, και τα γυαλιά chalcogenide καθώς επίσης και τα κρυστάλλινα υλικά όπως το σάπφειρο, χρησιμοποιούνται για τις υπέρυθρες ακτίνες μακρής-μήκους κύματος ή άλλες εξειδικευμένες εφαρμογές. Τα γυαλιά πυριτίου και φθοριδίου έχουν συνήθως τους διαθλαστικούς δείκτες περίπου 1.5, αλλά μερικά υλικά όπως τα chalcogenides μπορούν να έχουν τους δείκτες τόσο υψηλούς όπως 3. Χαρακτηριστικά η διαφορά δεικτών μεταξύ του πυρήνα και της επένδυσης είναι λιγότερο από ένα τοις εκατό.

Οι πλαστικές οπτικές ίνες (POF) είναι συνήθως πολλαπλού τρόπου ίνες βήμα-δεικτών με μια διάμετρο πυρήνων 0.5 χιλιοστών ή μεγαλύτερες. POF έχει χαρακτηριστικά τους υψηλότερους συντελεστές μείωσης από τις ίνες γυαλιού, 1 dB/m ή υψηλότερος, και αυτή η υψηλή μείωση περιορίζει τη σειρά των POF-βασισμένων συστημάτων.

Πυρίτιο

Το πυρίτιο εκθέτει την αρκετά καλή οπτική μετάδοση πέρα από ένα ευρύ φάσμα των μηκών κύματος. Στη near-infrared (κοντά στο IR) μερίδα του φάσματος, ιδιαίτερα περίπου 1.5 μm, το πυρίτιο μπορεί να έχει εξαιρετικά - χαμηλή απορρόφηση και διασκορπίζοντας απώλειες της διαταγής 0.2 dB/km. Μια υψηλή διαφάνεια στην περιοχή 1.4 μm επιτυγχάνεται με τη διατήρηση μιας χαμηλής συγκέντρωσης των ομάδων υδροξυλίου (OH). Εναλλακτικά, μια υψηλή συγκέντρωση OH είναι καλύτερη για μετάδοση στην υπεριώδη (UV) περιοχή.

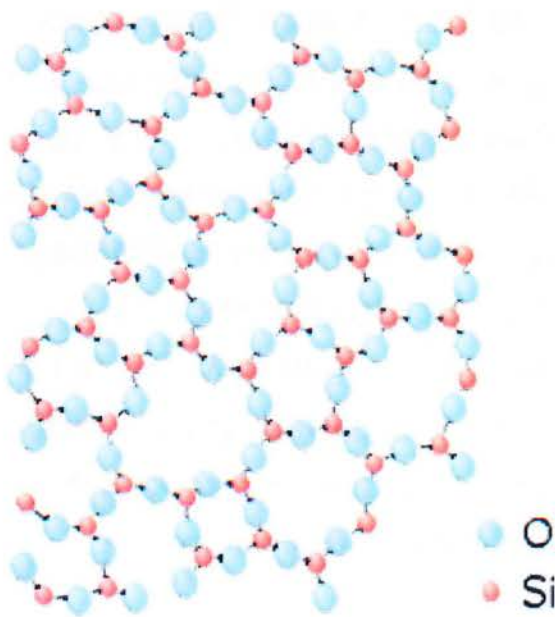
Το πυρίτιο μπορεί να συρθεί στις ίνες στις εύλογα υψηλές θερμοκρασίες, και έχει μια αρκετά ευρεία σειρά μετασχηματισμού γυαλιού. Ένα άλλο πλεονέκτημα είναι ότι η τήξη που συνδέει και που διασπά των ινών πυριτίου είναι σχετικά αποτελεσματική. Η ίνα πυριτίου έχει επίσης την υψηλή μηχανική δύναμη και ενάντια στο τράβηγμα και ακόμη και στην κάμψη, υπό τον όρο ότι η ίνα δεν είναι πάρα πολύ παχιά και ότι οι επιφάνειες είναι πανέτοιμες κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας. Ακόμη και η απλή διάσπαση (σπάσιμο) των ακρών της ίνας μπορεί να παρέχει ωραία στις επίπεδες επιφάνειες την αποδεκτή οπτική ποιότητα. Το πυρίτιο είναι επίσης σχετικά χημικά αδρανές. In particular, δεν είναι υγροσκοπικό (δεν απορροφά το νερό).

Το γυαλί πυριτίου μπορεί να νάρκωθεί με τα διάφορα υλικά. Ένας σκοπός είναι να αυξηθεί ο δείκτης διάθλασης (π.χ. με το διοξείδιο γερμανίου (GeO_2) ή το οξείδιο αλουμινίου (Al_2O_3)) ή σε χαμηλότερο αυτό (π.χ. με το τριοξείδιο φθορίου ή βορίου (B_2O_3)). Η νάρκωση είναι επίσης δυνατή με τα λείζερ-ενεργά ιόντα (παραδείγματος χάριν, σπάνιες γη-νάρκωμένες ίνες) προκειμένου να ληφθούν οι ενεργές ίνες που χρησιμοποιούνται, παραδείγματος χάριν, στους ενισχυτές ινών ή τις εφαρμογές λείζερ. Και ο πυρήνας και η επένδυση ινών νάρκωνονται χαρακτηριστικά, έτσι ώστε η ολόκληρη συνέλευση (πυρήνας και επένδυση) είναι αποτελεσματικά η ίδια ένωση (π.χ. ένα aluminosilicate, germanosilicate, phosphosilicate ή borosilicate ένα γυαλί).

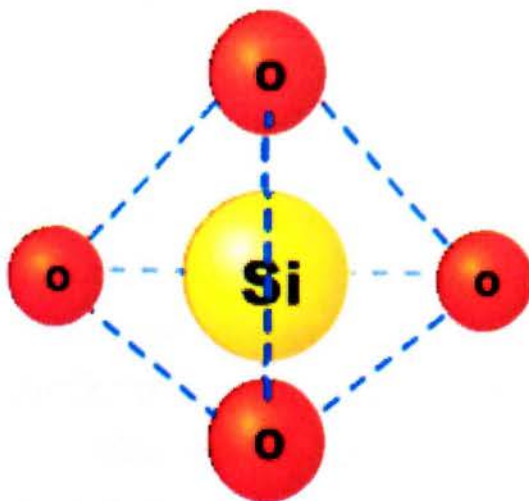
Ιδιαίτερα για τις ενεργές ίνες, το καθαρό πυρίτιο τα ιόντα δεν είναι συνήθως ένα πολύ κατάλληλο γυαλί οικοδεσποτών, επειδή εκθέτει μια χαμηλή διαλυτότητα για σπάνιας γης. Αυτό μπορεί να οδηγήσει στην απόσβεση των αποτελεσμάτων λόγω της συγκέντρωσης των ιόντων υλικού πρόσμιξης. Το Aluminosilicates είναι αποτελεσματικότερο από αυτή την άποψη.

Η ίνα πυριτίου εκθέτει επίσης μια υψηλή μεγάλη μονάδα για την οπτική ζημία. Αυτή η ιδιοκτησία εξασφαλίζει μια χαμηλή τάση για τη laser-induced διακοπή. Αυτό είναι σημαντικό για τους ενισχυτές ινών όταν χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση των σύντομων σφυγμών.

Λόγω αυτών των ιδιοτήτων οι ίνες πυριτίου είναι το υλικό της επιλογής σε πολλές οπτικές εφαρμογές, όπως οι επικοινωνίες (εκτός από τις πολύ σύντομες αποστάσεις με την πλαστική οπτική ίνα), τα λείζερ ινών, οι ενισχυτές ινών, και οι fiber-optic αισθητήρες. Οι μεγάλες προσπάθειες που έχουν τεθεί εμπρός στην ανάπτυξη των διάφορων τύπων ινών πυριτίου έχουν αυξήσει περαιτέρω την απόδοση τέτοιων ινών πέρα από άλλα υλικά.



Η άμορφη δομή του υαλώδους πυριτίου (SiO₂). Καμία μεγάλης ακτίνας διαταγή δεν είναι παρούσα, εντούτοις υπάρχει τοπική διαταγή όσον αφορά τη tetrahedral ρύθμιση των ατόμων οξυγόνου (O) γύρω από τα άτομα (Si) πυριτίου.



Tetrahedral δομική μονάδα του πυριτίου (SiO₂).

Γυαλί φθοριδίου

Το γυαλί φθοριδίου είναι μια κατηγορία οπτικών ποιοτικών γυαλιών μη-οξειδίων που αποτελείται από τα φθορίδια των διάφορων μετάλλων. Λόγω του χαμηλού ιξώδους τους, είναι πολύ δύσκολο να αποφευχθεί εντελώς η κρυστάλλωση επεξεργασμένος το μέσω της μετάβασης γυαλιού (ή σύροντας την ίνα από το λειωμένο μέταλλο). Κατά συνέπεια, αν και τα γυαλιά φθοριδίου βαρύ μετάλλου (HMFG) εκθέτουν την πολύ χαμηλή οπτική μείωση, είναι όχι μόνο δύσκολο να κατασκευαστούν, αλλά είναι αρκετά εύθραυστα, και έχουν τη φτωχή αντίσταση στην υγρασία και άλλες περιβαλλοντικές επιθέσεις. Η καλύτερη ιδιότητά τους είναι ότι στερούνται τη ζώνη απορρόφησης που συνδέεται με την ομάδα υδροξυλίου (OH) ($3200-3600\text{ cm}^{-1}$), η οποία είναι παρούσα σχεδόν σε όλα τα οξειδιο-βασισμένα στον γυαλιά.

Ένα παράδειγμα ενός γυαλιού φθοριδίου βαρύ μετάλλου είναι η ομάδα γυαλιού ZBLAN, που αποτελείται από το ζirkόνιο, το βάριο, lanthanum, το αλουμίνιο, και τα φθορίδια νατρίου. Η κύρια τεχνολογική αίτησή τους είναι ως οπτικοί κυματοδηγοί και με επίπεδη και μορφή ινών. Είναι συμφέροντες ειδικά στη μέσος-υπέρυθρη ($2000-5000\text{ NM}$) σειρά.

Το HMFGs ήταν αρχικά επικριμένο για τις εφαρμογές οπτικής ίνας, επειδή οι εγγενείς απώλειες μιας ίνας μέσος-IR μπόρεσαν σε γενικές γραμμές να είναι χαμηλότερες από εκείνοι των ινών πυριτίου, οι οποίες είναι διαφανείς μόνο μέχρι περίπου $2\text{ }\mu\text{m}$. Εντούτοις, τέτοιες χαμηλές απώλειες δεν πραγματοποιήθηκαν ποτέ στην πράξη, και το εύθραυστο και το υψηλό κόστος των ινών φθοριδίου τις έκαναν λιγότερο από ιδανικές ως αρχικούς υποψηφίους. Αργότερα, η χρησιμότητα των ινών φθοριδίου για τις διάφορες άλλες εφαρμογές ανακαλύφθηκε. Αυτοί περιλαμβάνουν τη φασματοσκοπία μέσος-IR, τους αισθητήρες οπτικών ινών, thermometry, και την απεικόνιση. Επίσης, οι ίνες φθοριδίου μπορούν να

χρησιμοποιηθούν για την καθοδηγημένη lightwave μετάδοση στα μέσα όπως (γρανάτης γττρία-αλουμίνας) τα λέιζερ YAG σε 2.9 μm, όπως απαιτείται για τις ιατρικές εφαρμογές (π.χ. οφθαλμολογία και οδοντιατρική).

Γυαλί φωσφορικού άλατος

Το γυαλί φωσφορικού άλατος αποτελεί μια κατηγορία οπτικών γυαλιών που αποτελείται από μεταρροσφαιτες των διάφορων μετάλλων. Αντί του SiO_4 tetrahedra που παρατηρείται στα γυαλιά πυριτικών αλάτων, η δομική μονάδα για αυτό το γυαλί προηγούμενο είναι pentoxide φωσφόρου (P_2O_5), το οποίο κρυσταλλώνει με τουλάχιστον τέσσερις διαφορετικές μορφές. Η πιο εξοικειωμένη πολυμορφία (δείτε τον αριθμό) περιλαμβάνει τα μόρια P_4O_{10} .

Τα γυαλιά φωσφορικού άλατος μπορούν να είναι συμφέροντα πέρα από τα γυαλιά πυριτίου των ιόντων για τις οπτικές ίνες με μια υψηλή συγκέντρωση της νάρκωσης σπάνιας γης. Ένα μίγμα του γυαλιού φθοριδίου και του γυαλιού φωσφορικού άλατος είναι fluoro-phosphate γυαλί.



Το P_4O_{10} cage-like η δομή-βασική δομική μονάδα για το γυαλί φωσφορικού άλατος.

Chalcogenides

Τα στοιχεία έκτης ομάδας-στοιχεία στην ομάδα 16 του περιοδικού πίνακα-ιδιαίτερα θείου (S), σελήνιο (Se) και (Te) τελλούριο-αντιδρούν με περισσότερα ηλεκτροθετικά στοιχεία, όπως το ασήμι, στη μορφή chalcogenides. Αυτές είναι εξαιρετικά ευπροσάρμοστες ενώσεις, δεδομένου ότι μπορούν να είναι κρυστάλλινες ή άμορφες, μεταλλικές ή ημιαγωγικές, και αγωγοί των ιόντων ή των ηλεκτρονίων.

Διαδικασία

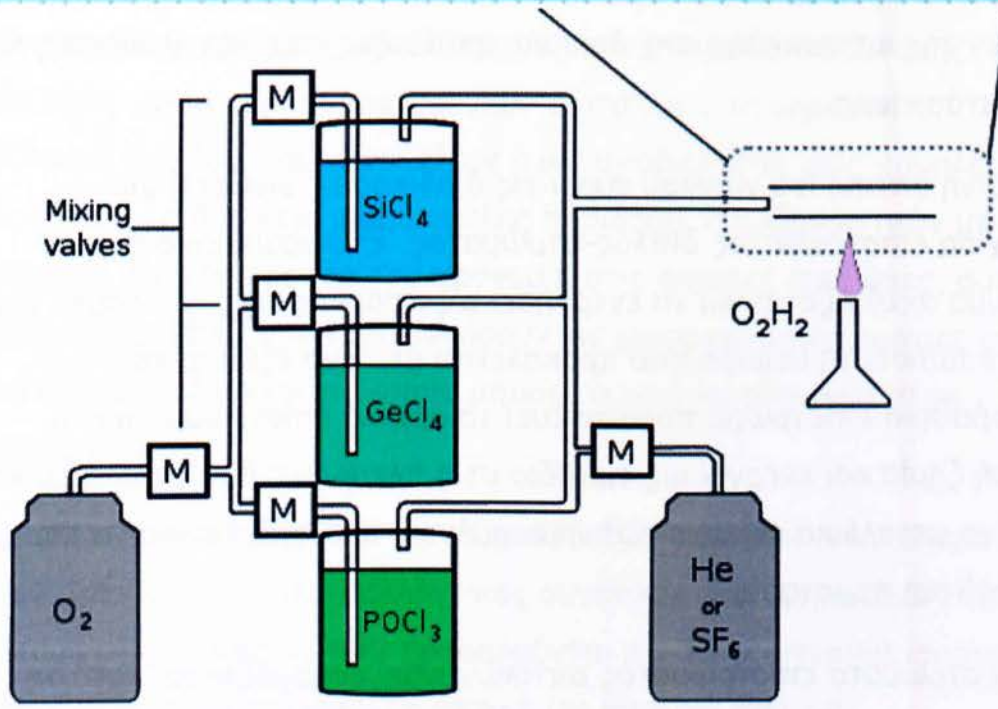
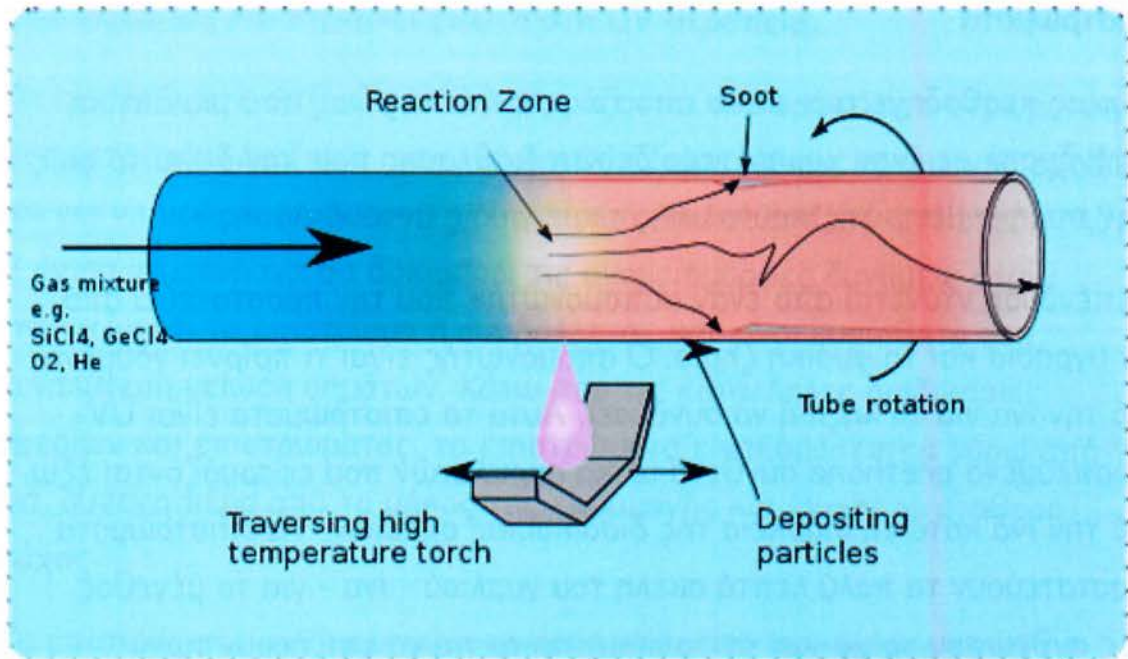
Οι τυποποιημένες οπτικές ίνες γίνονται με πρώτα να κατασκευάσουν έναν μεγάλης διαμέτρου προσχηματισμό, με ένα προσεκτικά ελεγχόμενο σχεδιάγραμμα δείκτη διάθλασης, και έπειτα να τραβήξουν τον προσχηματισμό για να διαμορφώσουν τη μακριά, λεπτή οπτική ίνα. Ο προσχηματισμός γίνεται συνήθως με τρεις μεθόδους απόθεσης χημικού ατμού: εσωτερική απόθεση ατμού, εξωτερική απόθεση ατμού, και αξονική απόθεση ατμού.

Με την εσωτερική απόθεση ατμού, ο προσχηματισμός αρχίζει ως κοίλο σωλήνα γυαλιού περίπου 40 εκατοστόμετρα (16 μέτρα) πολύ, ο οποίος τοποθετείται οριζόντια και περιστρέφεται αργά σε έναν τόρνο. Τα αέρια όπως το τετραχλωρίδιο πυριτίου (SiCl_4) ή το τετραχλωρίδιο γερμανίου (GeCl_4) εγχέονται με το οξυγόνο στο τέλος του σωλήνα. Τα αέρια θερμαίνονται έπειτα με τη βοήθεια ενός εξωτερικού καυστήρα υδρογόνου, που φέρνει τη θερμοκρασία του αερίου μέχρι το 1900 K (1600 °C, 3000 °F), όπου τα tetrachlorides αντιδρούν με το οξυγόνο στα μόρια πυριτίου ή germania προϊόντων (διοξείδιο γερμανίου). Όταν οι όροι αντίδρασης επιλέγονται για να επιτρέψουν αυτήν την αντίδραση να εμφανιστούν στη φάση αερίου σε όλο τον όγκο σωλήνων, σε αντίθεση με τις προηγούμενες τεχνικές όπου η αντίδραση εμφανίστηκε μόνο στην επιφάνεια γυαλιού, αυτή η τεχνική καλείται τροποποιημένη απόθεση χημικού ατμού. Το συσσωμάτωμα μορίων οξειδίων έπειτα για να διαμορφώσει τις μεγάλες

αλυσίδες μορίων, οι οποίες καταθέτουν στη συνέχεια στους τοίχους του σωλήνα ως αιθάλη. Η απόθεση οφείλεται στη μεγάλη διαφορά στη θερμοκρασία μεταξύ του πυρήνα αερίου και του τοίχου που αναγκάζει το αέριο για να ωθήσει τα μόρια εξωτερικά (αυτό είναι γνωστό ως *thermophoresis*). Ο φανός διαβαίνει έπειτα πάνω-κάτω το μήκος του σωλήνα για να καταθέσει το υλικό ομοιόμορφα. Αφότου έχει φθάσει ο φανός στο τέλος του σωλήνα, παρουσιάζεται έπειτα πίσω στην αρχή του σωλήνα και τα κατατεθειμένα μόρια λειώνουν έπειτα για να διαμορφώσουν ένα στερεό στρώμα. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου έχει κατατεθεί ένα ικανοποιητικό ποσό υλικού. Για κάθε στρώμα η σύνθεση μπορεί να τροποποιηθεί με την ποικιλία της σύνθεσης αερίου, με συνέπεια τον ακριβή έλεγχο των τελειωμένων οπτικών ιδιοτήτων της ίνας.

Στην εξωτερική απόθεση ατμού ή την αξονική απόθεση ατμού, το γυαλί διαμορφώνεται από την υδρόλυση φλογών, μια αντίδραση στην οποία το τετραχλωρίδιο πυριτίου και το τετραχλωρίδιο γερμανίου οξειδώνονται από την αντίδραση με το νερό (H_2O) σε μια οξυhydrogen φλόγα. Στην εξωτερική απόθεση ατμού το γυαλί κατατίθεται επάνω σε μια στερεά ράβδο, η οποία αφαιρείται πριν από την περαιτέρω επεξεργασία. Στην αξονική απόθεση ατμού, μια κοντή ράβδος σπόρου χρησιμοποιείται, και ένας πορώδης προσχηματισμός, το ο οποίος μήκος δεν περιορίζεται από το μέγεθος της ράβδου πηγής, ενισχύεται στο τέλος του. Ο πορώδης προσχηματισμός παγιώνεται σε έναν διαφανή, στερεό προσχηματισμό με τη θέρμανση σε περίπου 1800 K (1500 °C, 2800 °F).

Ο προσχηματισμός, εντούτοις που κατασκευάζεται, τοποθετείται έπειτα σε μια συσκευή γνωστή ως πύργος σχεδίων, όπου η άκρη προσχηματισμών θερμαίνεται και η οπτική ίνα εξάγεται ως σειρά. Με τη μέτρηση του επακόλουθου πλάτους ινών, η ένταση στην ίνα μπορεί να ελεγχθεί για να διατηρήσει το πάχος ινών.



Απεικόνιση της τροποποιημένης διαδικασίας απόθεσης χημικού ατμού (μέσα)

Επιστρώματα

Το φως «καθοδηγείται» κάτω από τον πυρήνα της ίνας από μια οπτική «επένδυση» με έναν χαμηλότερο δείκτη διάθλασης που παγιδεύει το φως στον πυρήνα μέσω της «συνολικής εσωτερικής αντανάκλασης.»

Η επένδυση ντύνεται από έναν «απομονωτή» που την προστατεύει από την υγρασία και τη φυσική ζημία. Ο απομονωτής είναι τι παίρνει γδυμένο από την ίνα για τη λήξη ή να συνδέσει. Αυτά τα επιστρώματα είναι UV-θεραπευμένα urethane σύνθετα υλικά ακρυλατών που εφαρμόζονται έξω από την ίνα κατά τη διάρκεια της διαδικασίας σχεδίων. Τα επιστρώματα προστατεύουν τα πολύ λεπτά σκέλη του γυαλιού - ίνα - για το μέγεθος ενός ανθρώπου τρίχα-και επιτρέπουν σε το για να επιζήσουν των ακαμψιών της κατασκευής, της δοκιμής απόδειξης, της τηλεγράφησης και της εγκατάστασης.

Η σημερινή οπτική ίνα γυαλιού σύρει τις διαδικασίες υιοθετεί μια προσέγγιση επιστρώματος διπλός-στρώματος. Ένα εσωτερικό αρχικό επίστρωμα σχεδιάζεται για να ενεργήσει ως απορροφητής κλονισμού για να ελαχιστοποιήσει τη μείωση που προκαλείται με. Ένα εξωτερικό δευτεροβάθμιο επίστρωμα προστατεύει το αρχικό επίστρωμα από τη μηχανική ζημία και ενεργεί ως εμπόδιο στις πλευρικές δυνάμεις. Μερικές φορές ένα μεταλλικό στρώμα τεθωρακισμένων προστίθεται για να παρέχει την πρόσθετη προστασία.

Αυτά τα στρώματα επιστρώματος οπτικών ινών εφαρμόζονται κατά τη διάρκεια της ίνας σύρουν, με τις ταχύτητες πλησιάζοντας 100 χιλιόμετρα ανά ώρα (60 mph). Τα επιστρώματα οπτικών ινών εφαρμόζονται χρησιμοποιώντας τη μια από δύο μεθόδους: υγρός--ξηράνετε, στο οποίο η ίνα περνά μέσω μιας αρχικής εφαρμογής επιστρώματος, η οποία είναι έπειτα UV θεραπευμένη, κατόπιν μέσω της δευτεροβάθμιας εφαρμογής επιστρώματος που θεραπεύεται στη συνέχεια και υγρός--υγρός, στο οποίο η ίνα περνά και μέσω των αρχικών και δευτεροβάθμιων εφαρμογών

επιστρώματος και πηγαίνει έπειτα στη UV θεραπεία.

Τα επιστρώματα οπτικών ινών εφαρμόζονται στα ομόκεντρα στρώματα για να αποτρέψουν τη ζημία στην ίνα κατά τη διάρκεια της εφαρμογής σχεδίων και για να μεγιστοποιήσουν τη δύναμη και *microbend* την αντίσταση ινών. Η άνισα ντυμένη ίνα θα δοκιμάσει τις ανομοιόμορφες δυνάμεις όταν επεκτείνεται το επίστρωμα ή συμβάλλεται, και είναι ευαίσθητο στη μεγαλύτερη μείωση σημάτων. Κάτω από τις κατάλληλες διαδικασίες σχεδίων και επιστρώματος, τα επιστρώματα είναι ομόκεντρα γύρω από την ίνα, συνεχή πέρα από το μήκος της εφαρμογής και έχουν το σταθερό πάχος.

Τα επιστρώματα οπτικών ινών προστατεύουν τις ίνες γυαλιού από τις αρχές που θα μπορούσαν να οδηγήσουν στην υποβάθμιση δύναμης. Ο συνδυασμός υγρασίας και γρατσουινιών επιταχύνει τη γήρανση και την επιδείνωση της δύναμης ινών. Όταν η ίνα υποβάλλεται στις χαμηλές πιέσεις κατά τη διάρκεια μιας μεγάλης περιόδου, η κούραση ινών μπορεί να εμφανιστεί. Με την πάροδο του χρόνου ή στις ακραίες συνθήκες, αυτοί οι παράγοντες συνδυάζουν να αναγκάσουν τις μικροσκοπικές ρωγμές στην ίνα υάλου για να διαδώσουν, το οποίο μπορεί τελικά να οδηγήσει στην αποτυχία ινών.

Τρία βασικά χαρακτηριστικά των κυματοδηγών οπτικών ινών μπορούν να επηρεαστούν από τις περιβαλλοντικές συνθήκες: δύναμη, μείωση και αντίσταση στις απώλειες που προκαλούνται με. Τα εξωτερικά επιστρώματα οπτικών ινών προστατεύουν τη οπτική ίνα γυαλιού από τις περιβαλλοντικές συνθήκες που μπορούν να έχουν επιπτώσεις στην τη μακροπρόθεσμη διάρκεια της ίνας απόδοση και. Στο εσωτερικό, τα επιστρώματα εξασφαλίζουν την αξιοπιστία του μεταφοράς του σήματος και η βοήθεια ελαχιστοποιεί τη μείωση λόγω.

Πρακτικά Ζητήματα

Καλώδια οπτικής ίνας



Ένα καλώδιο οπτικής ίνας

Στις πρακτικές ίνες, η επένδυση είναι συνήθως ντυμένη με ένα σκληρό στρώμα απομονωτών ρητίνης, το οποίο μπορεί να περιβληθεί περαιτέρω από ένα στρώμα σακακιών, συνήθως γυαλί. Αυτά τα στρώματα προσθέτουν τη δύναμη στην ίνα αλλά δεν συμβάλλουν στις οπτικές ιδιότητες οδηγών κυμάτων του. Οι άκαμπτες συνελεύσεις ινών βάζουν μερικές φορές το ελαφρύς-απορροφώντας («σκοτάδι») γυαλί μεταξύ των ινών, για να αποτρέψουν το φως που διαρρέει από μια ίνα από την είσοδο άλλης. Αυτό μειώνει τη λογομαχία μεταξύ των ινών, ή μειώνει τη φλόγα στις εφαρμογές απεικόνισης δεσμών ινών.

Τα σύγχρονα καλώδια έρχονται σε μια ευρεία ποικιλία του τυλίγματος και του τεθωρακισμένου, που σχεδιάζεται για τις εφαρμογές όπως ο άμεσος ενταφιασμός στις τάφρους, απομόνωση υψηλής τάσης, διπλής χρήσης ως ηλεκτροφόρα καλώδια, [όχι στην παραπομπή που δίνεται] εγκατάσταση στον αγωγό, που μαστιγώνει στους εναέριους τηλεφωνικούς πόλους, την υποβρύχια εγκατάσταση, και την εισαγωγή στις στρωμένες οδούς. Το κόστος των μικρών πόλος-τοποθετημένων ίνα-αρίθμηση καλωδίων έχει

μειωθεί πολύ λόγω της υψηλής ζήτησης για την ίνα στις εγχώριες (FTTH) εγκαταστάσεις στην Ιαπωνία και τη Νότια Κορέα.

Το καλώδιο ινών μπορεί να είναι πολύ εύκαμπτο, η απώλεια αλλά της παραδοσιακής ίνας αυξάνεται πολύ εάν η ίνα κάμπτεται με μια ακτίνα μικρότερη από περίπου 30 χιλ. Αυτό δημιουργεί ένα πρόβλημα όταν κάμπτεται το καλώδιο γύρω από τις γωνίες ή την πληγή γύρω από ένα στροφίο, καθιστώντας τις εγκαταστάσεις FTTX πιο περίπλοκες. «Οι ίνες Bendable», απευθυνόμενος προς την ευκολότερη εγκατάσταση στα οικογενειακά περιβάλλοντα, έχουν τυποποιηθεί ως ITU-T G.657. Αυτός ο τύπος ίνας μπορεί να καμφθεί με μια ακτίνα τόσο χαμηλή όπως 7.5 χιλ. χωρίς δυσμενή αντίκτυπο. Οι ακόμα περισσότερες bendable ίνες έχουν αναπτυχθεί. Η ίνα Bendable μπορεί επίσης να είναι ανθεκτική στη χάραξη ινών, στην οποία το σήμα σε μια ίνα ελέγχεται λαθραία με την κάμψη της ίνας και την ανίχνευση της διαρροής.

Ένα άλλο σημαντικό χαρακτηριστικό γνώρισμα του καλωδίου είναι καλώδιο που αντιστέκεται ενάντια στην οριζόντια εφαρμοσμένη δύναμη. Καλείται τεχνικά ανώτατη εκτατή δύναμη καθορίζοντας πόση δύναμη μπορεί ισχύων για το καλώδιο κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης μιας περιόδου.

Οι εκδόσεις καλωδίων οπτικών ινών της Ανατολίας τηλεπικοινωνιών ενισχύονται με τα νήματα aramid ή τα νήματα γυαλιού ως ενδιάμεσο μέλος δύναμης. Στους εμπορικούς όρους, η χρήση των νημάτων γυαλιού είναι οικονομικώς πιο αποδοτική ενώ καμία απώλεια στη μηχανική διάρκεια του καλωδίου. Τα νήματα γυαλιού προστατεύουν επίσης τον πυρήνα καλωδίων από τα τρωκτικά και τους τερμίτες.

Λήξη και να συνδέσει



Συνδετήρες του ST στην πολλαπλού τρόπου ίνα.

Οι οπτικές ίνες συνδέονται με τον τερματικό εξοπλισμό με τους συνδετήρες οπτικής ίνας. Αυτοί οι συνδετήρες είναι συνήθως ενός σταθεράς μορφής όπως FC, το Sc, το ST, LC, ή MTRJ.

Οι οπτικές ίνες μπορούν να συνδεθούν ο ένας με τον άλλον με τους συνδετήρες ή με να συνδέσουν, δηλ., ενώνοντας δύο ίνες για να διαμορφώσουν μαζί έναν συνεχή οπτικό κυματοδηγό. Γενικά αποδεκτό συνδετικός τη μέθοδο είναι να συνδέσει τήξης τόξων, το οποίο λειώνει τις άκρες ινών μαζί με ένα ηλεκτρικό τόξο. Για τις γρηγορότερες εργασίες στερέωσης, μια «μηχανική συναρμογή» χρησιμοποιείται.

Να συνδέσει τήξης γίνεται με ένα εξειδικευμένο όργανο που λειτουργεί χαρακτηριστικά ως εξής: Οι δύο άκρες καλωδίων στερεώνονται μέσα σε μια περίφραξη συναρμογών που θα προστατεύσει τις συναρμογές, και οι

άκρες ινών είναι γδυμένες του προστατευτικού πολυμερούς επιστρώματός τους (καθώς επίσης και του πιό εύρωστου εξωτερικού σακακιού, εάν παρόν). Οι άκρες διασπιούνται (περικοπή) με έναν μπαλτά ακρίβειας για να τις κάνουν την κάθετο, και τοποθετούνται στους ειδικούς κατόχους splicer. Η συναρμογή επιθεωρείται συνήθως μέσω μιας ενισχυμένης οθόνης εξέτασης για να ελέγξει ότι διασπά πριν και μετά από τη συναρμογή. Splicer χρησιμοποιεί τις μικρές μηχανές για να ευθυγραμμίσει τα πρόσωπα τελών μαζί, και εκπέμπει έναν μικρό σπινθήρα μεταξύ των ηλεκτροδίων στο χάσμα για να καψει από τη σκόνη και την υγρασία. Κατόπιν splicer παράγει έναν μεγαλύτερο σπινθήρα που αυξάνει τη θερμοκρασία επάνω από το σημείο τήξης του γυαλιού, που λιώνει τις άκρες μαζί μόνιμα. Η θέση και η ενέργεια του σπινθήρα ελέγχονται προσεκτικά έτσι ώστε ο λειωμένοι πυρήνας και η επένδυση δεν αναμιγνύουν, και αυτό ελαχιστοποιεί την οπτική απώλεια. Μια εκτίμηση απώλειας συναρμογών μετριέται από splicer, με την κατεύθυνση του φωτός μέσω της επένδυσης σε μια πλευρά και τη μέτρηση του φωτός διαρρέοντας από την επένδυση στην άλλη πλευρά. Μια απώλεια συναρμογών κάτω από 0.1 DB είναι χαρακτηριστική. Η πολυπλοκότητα αυτής της διαδικασίας καθιστά να συνδέσει ινών δυσκολότερη από συνδετική το καλώδιο χαλκού.

Οι μηχανικές συναρμογές ινών σχεδιάζονται για να είναι γρηγορότερες και ευκολότερες να εγκαταστήσουν, αλλά υπάρχει ακόμα η ανάγκη για το, προσεκτικούς καθαρισμό και τη διάσπαση ακρίβειας. Οι άκρες ινών ευθυγραμμίζονται και διατηρούνται τη συνοχή από ένα ακριβείας μανίκι, χρησιμοποιώντας συχνά ένα σαφές πήκτωμα δείκτης-ταιριάσματος που ενισχύει τη μετάδοση του φωτός πέρα από την ένωση. Τέτοιες ενώσεις έχουν χαρακτηριστικά την υψηλότερη οπτική απώλεια και είναι λιγότερο γερές από τις συναρμογές τήξης, ειδικά εάν το πήκτωμα χρησιμοποιείται. Όλοι που συνδέουν τις τεχνικές περιλαμβάνουν τη χρήση μιας περιφραξης στην οποία η συναρμογή τοποθετείται για την προστασία κατόπιν.

Οι ίνες ολοκληρώνονται στους συνδετήρες έτσι ώστε το τέλος ινών είναι κρατημένο στο τέλος πρόσωπο ακριβώς και ασφαλώς. Ένας fiber-optic συνδετήρας είναι βασικά ένα άκαμπτο κυλινδρικό βαρέλι που περιβάλλεται από ένα μανίκι που κρατά το βαρέλι στην υποδοχή ζευγαρώματός του. Ο μηχανισμός ζευγαρώματος μπορεί να είναι «ώθηση και να χτυπήσει», «στροφή και σύρτης» («ξιφολόγχη»), ή βίδα-μέσα (περασμένος κλωστή). Ένας χαρακτηριστικός συνδετήρας εγκαθίσταται με την προετοιμασία του τέλους ινών και την παρεμβολή του στο οπίσθιο τμήμα του σώματος συνδετήρων. Η Quick-set κόλλα χρησιμοποιείται συνήθως έτσι η ίνα κρατιέται ασφαλώς, και μια ανακούφιση πίεσης εξασφαλίζεται στο οπίσθιο τμήμα. Μόλις θέσει η κόλλα, το τέλος της ίνας είναι γυαλισμένο σε έναν καθρέφτη τελειώνει. Τα διάφορα σχεδιαγράμματα στιλβωτικής ουσίας χρησιμοποιούνται, ανάλογα με τον τύπο ίνας και της εφαρμογής. Για τη single-mode ίνα, οι άκρες ινών είναι χαρακτηριστικά γυαλισμένες με μια μικρή κυρτότητα, έτσι ώστε όταν ζευγαρώνουν τους συνδετήρες την αφή ινών μόνο στους πυρήνες τους. Αυτό είναι γνωστό ως στιλβωτική ουσία «φυσικών επαφών» (PC). Η κυρτή επιφάνεια μπορεί να γυαλιστεί διαγωνίως, για να κάνει μια «ψαρευμένη σύνδεση φυσικών επαφών» (APC). Τέτοιες συνδέσεις έχουν την υψηλότερη απώλεια από τις συνδέσεις PC, αλλά την πολύ μειωμένη πίσω αντανάκλαση, επειδή το φως που απεικονίζει από την ψαρευμένη επιφάνεια διαρρέει από τον πυρήνα ινών η προκύπτουσα απώλεια στη δύναμη σημάτων είναι γνωστή ως απώλεια χάσματος. APC οι άκρες ινών έχουν τη χαμηλή πίσω αντανάκλαση ακόμα και όταν αποσυνδεμένος.

Στη δεκαετία του '90, που ολοκληρώνει τα καλώδια οπτικών ινών ήταν πολύ εργασία - εντατική. Ο αριθμός μερών ανά συνδετήρα, στίλβωση των ινών, και η ανάγκη να φούρνος-ψηθεί ο εποξικός σε κάθε συνδετήρα έκαναν τη λήξη των καλωδίων οπτικών ινών πολύ δύσκολων. Σήμερα, πολλοί διαφορετικοί συνδετήρες είναι στην αγορά και προσφέρουν έναν ευκολότερο, λιγότερη εργασία - εντατικός τρόπος τα καλώδια. Μερικοί από τους δημοφιλέστερους συνδετήρες έχουν γυαλιστεί ήδη από το εργοστάσιο

και περιλαμβάνουν ένα πήκτωμα μέσα στο συνδετήρα και τη βοήθεια εκείνων των δύο βημάτων εκτός από τα χρήματα στην εργασία ειδικά στα μεγάλα προγράμματα. Διασπάστε γίνεται σε ένα απαραίτητο μήκος προκειμένου να πάρει καθώς στενός στο γυαλισμένο κομμάτι ήδη μέσα στο συνδετήρα, με το πήκτωμα που περιβάλλει το σημείο όπου το δύο κομμάτι συναντά μέσα στο συνδετήρα πολύ λίγη ελαφριά απώλεια εκτίθεται.

Ελεύθερου χώρου σύζευξη

Είναι συχνά απαραίτητο να ευθυγραμμιστεί μια οπτική ίνα με μια άλλη οπτική ίνα, ή με μια οπτικοηλεκτρονική συσκευή όπως μια εκπέμπουσα φως δίοδος, μια δίοδος λείζερ, ή ένας διαμορφωτής. Αυτό μπορεί να περιλάβει είτε προσεκτικά να ευθυγραμμίσει την ίνα και την τοποθέτηση της σε επαφή με τη συσκευή, είτε μπορεί να χρησιμοποιήσει έναν φακό για να επιτρέψει πέρα από ένα κενό αέρα. Σε μερικές περιπτώσεις το τέλος της ίνας είναι γυαλισμένο σε μια κυρτή μορφή που σχεδιάζεται για να επιτρέψει σε το για να ενεργήσει ως φακός.

Σε ένα εργαστηριακό περιβάλλον, ένα γυμνό τέλος ινών συνδέεται χρησιμοποιώντας ένα σύστημα έναρξης ινών, το οποίο χρησιμοποιεί έναν αντικειμενικό φακό μικροσκοπίων για να στρέψει το ελαφρύ πούπουλο σε ένα λεπτό σημείο. Ένα στάδιο μεταφράσεων ακρίβειας (micro-positioning πίνακας) χρησιμοποιείται για να κινήσει το φακό, την ίνα, ή τη συσκευή για να επιτρέψει στην αποδοτικότητα συζεύξεων για να βελτιστοποιηθεί. Οι ίνες με έναν συνδετήρα στο τέλος καθιστούν αυτήν την διαδικασία πολύ απλούστερη: ο συνδετήρας είναι απλά συνδεδεμένος με έναν προ-ευθυγραμμισμένο fiberoptic κατευθυντήρα, που περιέχει έναν φακό που είτε ακριβώς τοποθετείται όσον αφορά την ίνα, ή είναι διευθετήσιμος. Για να επιτύχουν την καλύτερη αποδοτικότητα εγχύσεων στη single-mode ίνα, η κατεύθυνση, η θέση, το μέγεθος και η απόκλιση της ακτίνας πρέπει όλες να βελτιστοποιηθούν. Με τις καλές ακτίνες, η αποδοτικότητα ένωσης 70

90% μπορεί να επιτευχθεί.

Με τις κατάλληλα γυαλισμένες *single-mode* ίνες, η εκπεμπόμενη ακτίνα έχει σχεδόν τέλειο έναν γκαουσιανό μορφή-ακόμα και μακριά τομέας-εάν ένας καλός φακός χρησιμοποιείται. Ο φακός πρέπει να είναι αρκετά μεγάλος να υποστηρίξει το πλήρες αριθμητικό άνοιγμα της ίνας, και δεν πρέπει να εισαγάγει τις παρεκκλίσεις στην ακτίνα. Οι ασφαιρικοί φακοί χρησιμοποιούνται χαρακτηριστικά.

Θρυαλλίδα ινών

Στις υψηλές οπτικές εντάσεις, επάνω από 2 μεγαβάτ ανά τετραγωνικό εκατοστόμετρο, όταν υποβάλλεται μια ίνα σε έναν κλονισμό ή ειδάλλως ξαφνικά βλάπτεται, μια θρυαλλίδα ινών μπορεί να εμφανιστεί. Η αντανάκλαση από τη ζημία ατμοποιεί την ίνα αμέσως πριν από το σπάσιμο, και αυτή η νέα ατέλεια παραμένει αντανάκλαστική έτσι ώστε η ζημία διαδίδει πίσω προς τη συσκευή αποστολής σημάτων σε 1-3 μέτρα ανά δευτερόλεπτο (4-11 km/h, 2-8 mph). Το ανοικτό σύστημα ελέγχου ινών, που εξασφαλίζει ασφάλεια ματιών λέιζερ σε περίπτωση σπασμένης ίνας, μπορεί επίσης αποτελεσματικά να σταματήσει τη διάδοση της θρυαλλίδας ινών. Στις καταστάσεις, όπως τα υποθαλάσσια καλώδια, όπου τα επίπεδα υψηλής δύναμης να χρησιμοποιηθούν χωρίς την ανάγκη για τον ανοικτό έλεγχο ινών, μια συσκευή προστασίας «θρυαλλίδων ινών» στη συσκευή αποστολής σημάτων μπορεί να σπάσει το κύκλωμα για να αποτρέψει οποιαδήποτε ζημία.

Ανάλογα με το είδος της εφαρμογής τα καλώδια οπτικών ινών κατατάσσονται σε :

- *Εναέρια*: καλώδια που κρέμονται από τηλεφωνικούς στύλους. Αποτελούν λύση χαμηλού κόστους,

που χρησιμοποιείται ευρύτατα στο εξωτερικό (κυρίως Η.Π.Α) αλλά όχι στην χώρα μας

- *Υπόγεια άμεσης ταφής* : καλώδια που θάβονται στο έδαφος.
- *Υπόγεια σωληνώσεως* : καλώδια που τοποθετούνται σε πλαστικές σωληνώσεις

(σωλήνες ή υποσωλήνια) με εφελκυσμό ή με τεχνική εμφύσησης αέρα.

- *Υποβρύχια* : καλώδια για υποθαλάσσιες ζεύξεις.

Ανάλογα με το είδος του οπλισμού τους κατατάσσονται σε:

- *Εξ ολοκλήρου διηλεκτρικά* : Δεν φέρουν μεταλλικά στοιχεία, και χρησιμοποιούνται

σε κεραυνόπληκτες περιοχές ή σε διαδρομές, που είναι παράλληλες με γραμμές

υψηλής τάσης σε μεγάλο μήκος. Τοποθετούνται πάντα σε πλαστικές σωληνώσεις

για μηχανική προστασία.

- *Θωρακισμένα* : Φέρουν μεταλλικό οπλισμό, που μπορεί να είναι ταινία αλουμινίου

(φράγμα υγρασίας), πτυχωτός χαλύβδινος σωλήνας, ή ένα ή περισσότερα πλέγματα

από ατσάλουρμα (για προστασία από επίθεση αρουραίων και σε υποβρύχια καλώδια)

. Η μεταλλική θωράκιση πρέπει πάντοτε να γειώνεται, ενώ θα πρέπει να διασφαλίζεται

η συνέχειά της σε όλη την διαδρομή.

ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ

Στην τηλεπικοινωνιακή πρακτική, εκείνο που συνήθως ενδιαφέρει είναι όχι τόσο η απόλυτη τιμή των μεγεθών σε ένα σημείο του τηλεπικοινωνιακού συστήματος, όσο η σχέση της τιμής αυτής με την τιμή που έχει το ίδιο αυτό μέγεθος σε ένα άλλο σημείο ή ακόμα η σχέση μεταξύ δύο διαφορετικών τιμών του μεγέθους στο ίδιο σημείο.

Κατά κανόνα, οι σχέσεις αυτές εκφράζονται με τον λογάριθμο του λόγου των τιμών του μεγέθους αυτού στα δύο σημεία ή στο ίδιο σημείο, ανάλογα. Ο σκοπός που χρησιμοποιούμε το λογάριθμο του λόγου των μεγεθών και όχι απλώς τον λόγο τους είναι ότι η χρήση των λογαρίθμων παρουσιάζει πολλά πλεονεκτήματα. Τα πιο βασικά από αυτά είναι τα εξής:

1. Τα μεγέθη που χρησιμοποιούμε συνήθως μεταβάλλονται εκθετικά, επομένως οι λογάριθμοι των λόγων τους μεταβάλλονται πια γραμμικά.
2. Οι αριθμητικές πράξεις μεταξύ των λογαρίθμων των λόγων των μεγεθών απλοποιούνται σε σχέση με τους απλούς λόγους και από πολλαπλασιασμούς και διαιρέσεις γίνονται απλές προσθέσεις και αφαιρέσεις.
3. Οι τιμές ενός μεγέθους στα διάφορα σημεία ενός συστήματος μετάδοσης διαφέρουν συνήθως κατά πολλές τάξεις. Έτσι με την χρήση των λογαρίθμων αποφεύγεται η χρησιμοποίηση πολύ μεγάλων ή πολύ μικρών μεγεθών.

ΟΙ ΜΟΝΑΔΕΣ NEPER ΚΑΙ BEL

Τα λογαριθμικά μέτρα που αναφέρουμε είναι βέβαια αδιάστατα μεγέθη, παρ' όλα αυτά για την μέτρηση τους έχουν καθοριστεί μονάδες, όπως συμβαίνει και για άλλα αδιάστατα μεγέθη (π.χ. τις γωνίες).

Οι μονάδες αυτές είναι το Neper (Np) και το Bel (B), που ορίζονται ως εξής:

• Η μονάδα (Np) ορίζεται σαν ο φυσικός (νεπέρειος) λογάριθμος του λόγου δύο τάσεων ή δύο εντάσεων ρεύματος:

$$n_u = \ln \frac{U_1}{U_2} Np \quad \text{ή} \quad n_i = \ln \frac{I_1}{I_2} Np$$

Κατ' επέκταση ορίζεται σαν Np και ο φυσικός λογάριθμος της τετραγωνικής ρίζας του λόγου δύο ισχύων:

$$n_p = \ln \sqrt{\frac{P_1}{P_2}} Np \quad \text{ή} \quad n_p = \ln \left(\frac{P_1}{P_2} \right)^{\frac{1}{2}} Np \quad \text{ή} \quad n_p = \frac{1}{2} \ln \frac{P_1}{P_2} Np$$

Οι αριθμοί n_u, n_i, n_p γίνονται ίσοι μεταξύ τους όταν αναφέρονται όλοι στις ίδιες ηλεκτρικές καταστάσεις του ίδιου καταναλωτή, αφού τότε ισχύει:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{U_1/R}{U_2/R} = \frac{U_1}{U_2} \quad \text{και} \quad \sqrt{\frac{P_1}{P_2}} = \sqrt{\frac{U_1^2/R}{U_2^2/R}} = \frac{U_1}{U_2}$$

Στην πράξη, χρησιμοποιούνται και τα εξής υποπολλαπλάσια του Np :

- 1decineper (dNp) = 10^{-1} Np

$$- 1 \text{centineper(cNp)} = 10^{-2} \text{Np}$$

- Η μονάδα (B) ορίζεται σαν ο δεκαδικός λογάριθμος του λόγου δύο ισχύων :

$$n_p = \log \frac{P_1}{P_2} \text{ B}$$

όπου P_1 και P_2 είναι ηλεκτρικές ή οπτικές ισχύς.

Στην πράξη όμως η μονάδα αυτή δεν χρησιμοποιείται και αντί γι' αυτήν χρησιμοποιείται το υποπολλαπλάσιό της

$$1 \text{ decibel(dB)} = 10^{-1} \text{B}$$

Συνεπώς η σχέση των δύο ισχύων σε dB θα είναι:

$$n_p = 10 \log \frac{P_1}{P_2} \text{ B}$$

Κατ'επέκταση ορίζεται σαν dB και το εικοσαπλάσιο του δεκαδικού λογαρίθμου του λόγου των δύο τάσεων ή δύο εντάσεων ρεύματος:

$$n_u = 20 \log \frac{U_1}{U_2} \text{ B} \quad \text{ή} \quad n_i = 20 \log \frac{I_1}{I_2} \text{ B}$$

Είναι φανερό και πάλι ότι οι αριθμοί n_u, n_i, n_p γίνονται ίσοι όταν αναφέρονται σε ηλεκτρικές καταστάσεις του ίδιου καταναλωτή.

Η σχέση μεταξύ της μονάδας Np και της μονάδας dB βγαίνει εύκολα ανδαιρέσουμε κατά μέλη τις παρακάτω σχέσεις:

$$\frac{n_{(Np)}}{n_{(dB)}} = \frac{\frac{1}{2} \ln \frac{P_1}{P_2}}{10 \log \frac{P_1}{P_2}} = \frac{\ln \frac{P_1}{P_2}}{20 \log \frac{P_1}{P_2}} = \frac{2,3 \log \frac{P_1}{P_2}}{20 \log \frac{P_1}{P_2}} = \frac{2,3}{20} = 0,115$$

άρα : $n_{(Np)}=0,115n_{(dB)}$ και $n_{(dB)}= 1/0,115n_{(Np)}=8,7n_{(Np)}$

Δηλαδή, για $n_{(Np)}= 1 Np$ είναι $n_{(dB)} = 8,7 dB$ $1 Np = 8,7dB$

και για $n_{(dB)}= 1dB$ είναι $n_{(Np)}= 0,115 Np$ $1 dB= 0.115 Np$

Παρατηρούμε ότι η οπτική ισχύ που παρουσιάζεται σε μία οπτοηλεκτρονική διάταξη είναι διαφορετική από την ηλεκτρική τάση σε ένα δέκτη μετά την λειτουργία της ανίχνευσης. Εδώ η οπτική ακτινοβολία έχει μετατραπεί σε ηλεκτρικό ρεύμα από τον ανιχνευτή. Η σχέση μεταξύ της οπτικής ισχύος P και του ρεύματος I του ανιχνευτή είναι:

$$I = P * r$$

Όπου r είναι ο συντελεστής απόκρισης ενός ανιχνευτή σε Amp/Watt. Τυπικοί ανιχνευτές PIN πυριτίου έχουν συντελεστές απόκρισης της τάξης των 0,4 A/W σε μία περιοχή μήκους κύματος των 900nm. Εφόσον το ρεύμα του ανιχνευτή είναι απευθείας ανάλογο προς την εισερχόμενη οπτική ισχύ, η σχέση του dB γίνεται:

$$dB = 10 \log \frac{P_1}{P_2} = 10 \log \frac{I_1/r}{I_2/r} = 10 \log \frac{I_1}{I_2}$$

Αυτή η σχέση είναι διαφορετική και πιο συγκεκριμένα έχει την μισή τιμή από τις προηγούμενες εξισώσεις του ρεύματος σε dB. Αυτό δείχνει την προέλευση της μεταβολής, όταν χρησιμοποιούμε μονάδες dB για την μετατροπή οπτικών σε ηλεκτρικές σχέσεις.

Με βάση αυτήν τη σχέση, μία αλλαγή a dB σε μία στάθμη οπτικής ισχύος θα προκαλέσει μία διαφορά $2a$ dB σε ένα λόγο τάσης σε ηλεκτρικά

συστήματα. Αυτό είναι ένα σημαντικό γεγονός, εφόσον σε πολλά ηλεκτρικά συστήματα μία αρχική παράμετρος είναι ο λόγος σήματος προς θόρυβο (SNR), ο οποίος παρουσιάζεται σε μονάδες dB τάσης. Επομένως μία οπτική συνδεσμολογία, η οποία δέχεται μία επιπρόσθετη απώλεια οπτικής ισχύος 2 dB κατά την παρεμβολή ενός συνδετήρα, θα υποστεί ελάττωση 4 dB στο λόγο σήματος προς θόρυβο της τάσης στην έξοδο του ανιχνευτή.

ΑΠΟΛΥΤΗ ΣΤΑΘΜΗ

Όπως είδαμε, τόσο το B όσο και το N_r , από τον ορισμό τους δεν είναι μονάδες κάποιου μεγέθους, αλλά εκφράζουν απλώς το λόγο δύο ομοειδών μεγεθών, δηλαδή την σχέση μεταξύ δύο τυχαίων τιμών ενός ηλεκτρικού ή οπτικού μεγέθους.

Είναι όμως δυνατόν οι «σχετικές» αυτές μονάδες να εκφράσουν την απόλυτη τιμή των μεγεθών, να γίνουν δηλαδή «απόλυτες», αν η μία από της δύο τιμές του λόγου δεν είναι τυχαία, αλλά ορισμένη που λαμβάνεται σαν μονάδα μετρήσεως.

Έτσι καθιερώθηκαν σαν μοναδιαίες τιμές τάσεως, εντάσεως και ισχύος τα 0,775 V, 1,29mA και 1mW αντίστοιχα. Επομένως:

- η απόλυτη στάθμη της τυχαίας τάσεως u είναι:

$$n_u = \ln \frac{U}{0,775V} Np_u \quad \text{ή} \quad n_u = 20 \log \frac{U}{0,775V} dB_u$$

- η απόλυτη στάθμη της τυχαίας εντάσεως I είναι:

$$n_i = \ln \frac{I}{1,29mA} Np_i \quad \text{ή} \quad n_i = 20 \log \frac{I}{1,29mA} dB_i$$

- η απόλυτη στάθμη της τυχαίας ισχύος P είναι:

$$n_p = \frac{1}{2} \ln \frac{P}{1mW} Np_p \quad \text{ή} \quad n_p = 10 \log \frac{P}{1mW} dB_p$$

Οι δείκτες u , i , p που χαρακτηρίζουν τις απόλυτες στάθμες, φανερώνουν ότι η σύγκριση γίνεται ως προς την μοναδιαία τιμή του αντίστοιχου μεγέθους. Μερικές τυπικές τιμές ισχύος σε σχέση με το dB δίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Ισχύς P σε W	100	10	1	0,1	0,01	0,001	0,0001
Τιμή του dBm	+20	+10	0	-10	-20	-30	-40

(ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥΣ ΣΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ ΤΩΝ ΚΩΝΣΤΑΝΤΑΚΟΠΟΥΛΟΣ ΣΤΑΥΡΟΣ και ΝΙΚΟΛΑΚΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ)

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας των οπτικών ινών και την ευρεία πλέον εφαρμογή τους, δημιουργήθηκαν τυποποιήσεις από τις εταιρείες κατασκευής τους, αλλά και από τους οργανισμούς τυποποίησης. Οι πιο γνωστές μορφές είναι αυτές που ανήκουν στο PDS της AT&T, στο FDDI της ANSI, στο SONET της Bellcore και ECSA και στο Cabling System Type 5 της IBM. Αναλυτικά τα χαρακτηριστικά της κάθε τυποποίησης είναι:

- **PDS (AT&T)**

Το PDS(Premises Distribution System) είναι το πλήρες καλωδιακό σύστημα της AT&T. Το καλώδιο που χρησιμοποιείται στο PDS είναι multimode με διάμετρο πυρήνα της ίνας 62,5μm και του περιβλήματος 125μm. Για λόγους συντομίας οι διάμετροι πυρήνα-περιβλήματος αναφέρονται ως 62,5/125. Ως εκπομπό χρησιμοποιεί φωτεινή πηγή LED και έχει την δυνατότητα να διανύσει 2,2Km χωρίς αναγεννητή.

- **FDDI (ANSI)**

Το FDDI(Fiber Distributed Data Interface) καθορίζει οπτικές ίνες multimode με τρεις τύπους διαμέτρων : 50/125, 62,5/125 και 85/125. Χρησιμοποιεί LED για πηγή και διανύει μέχρι 2 Km χωρίς αναγεννητή. Ο τυποποιημένος ρυθμός μετάδοσης στο FDDI είναι 100Mbits. Επιπλέον εκτός από το φυσικό επίπεδο προσδιορίζει και λειτουργίες ανώτερων επιπέδων, όπως πρωτόκολλα επικοινωνίας κλπ.

- **SONET (Bell core)**

Το SONET (Synchronous Optical NETwork) είναι ένα πρότυπο εκμετάλλευσης οπτικών ινών στις τηλεπικοινωνίες, καθώς θέτει τις βάσεις για ένα ολοκληρωμένο δίκτυο, που θα αποτελείται μόνο από οπτικές ίνες. Οι ίνες που χρησιμοποιεί είναι μονοmode με διαμέτρους 8,5/125 και πηγή LASER. Φτάνει μέχρι και 30 Km απόσταση χωρίς αναγεννητή.

- **Cabling System Type 5 (IBM)**

Το καλωδιακό σύστημα της IBM διαθέτει το καλώδιο τύπου 5, που είναι οπτική ίνα step index fibre, διαμέτρου 100/140 και πηγής LED. Φτάνει και αυτό τα 2 Km χωρίς αναγεννητή

ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΟΓΚΟΥ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ

Η επιτρεπόμενη ζώνη διέλευσης, δηλαδή η ζώνη συχνοτήτων που ορίζεται από την ελάχιστη και την μέγιστη συχνότητα που μπορεί να διαδοθεί μέσα από ένα τηλεπικοινωνιακό κανάλι, χαρακτηρίζει και τον ρυθμό της ψηφιακής πληροφορίας που μπορεί να διαδοθεί (τον όγκο της πληροφορίας στη μονάδα του χρόνου). Η χωρητικότητα ενός καναλιού μετάδοσης της πληροφορίας εξαρτάται από:

1. τον αριθμό των σταθμών του δισδιδομένου σήματος
2. την παρουσία υποστρώματος λευκού θορύβου (White Noise), δηλαδή θορύβου με ομοιόμορφη κατανομή σ' όλο το φάσμα μετάδοσης.

Η χωρητικότητα (C) σε όγκο πληροφορίας ενός καναλιού ψηφιακής μετάδοσης που εκφράζεται σε Bits/sec σχετίζεται με το εύρος της επιτρεπόμενης μπάντας (B) σε Ηz και των σταθμών (L) του σήματος (π.χ. το δυαδικό σήμα είναι ένα σήμα δύο σταθμών 0 και 1) με την έκφραση:

$$C = 2B \log L$$

Η παραπάνω έκφραση ισχύει με προϋπόθεση την απουσία λευκού θορύβου γεγονός που είναι εφικτό μέχρι ενός σημείου στα κανάλια PCM.

Παρ' όλο που φαίνεται ότι η χωρητικότητα ενός καναλιού θα μπορούσε να αυξηθεί απεριόριστα, αυξάνοντας τις στάθμες του προς μετάδοση σήματος, αυτό στην πράξη είναι αδύνατο. Ο λόγος βρίσκεται στην δυσκολία κωδικοποίησης και αποκωδικοποίησης ενός σήματος πολλών σταθμών και στην δυσχέρεια του δέκτη να «ανιχνεύσει» ένα τόσο μεγάλο αριθμό σταθμών.

Η χωρητικότητα (C) ενός καναλιού παρουσία λευκού θορύβου N (dB) και με εύρος της επιτρεπόμενης μπάντας B , δίνεται από την σχέση:

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$

όπου S/N είναι ο λόγος σήματος προς θόρυβο, επομένως οι σχετικές στάθμες (ισχύος) σήματος και θορύβου καθορίζουν αποφασιστικά τον όγκο της μεταδιδόμενης πληροφορίας.

ΙΣΧΥΣ ΣΗΜΑΤΟΣ

Τα οπτικά τηλεπικοινωνιακά συστήματα γενικό δουλεύουν σε χαμηλή ισχύ, επειδή και οι συνηθισμένες οπτικές πηγές είναι χαμηλής ισχύος, αλλά κυρίως γιατί είναι δύσκολο να συζευχθεί και να κυματοδηγηθεί στην ίνα οπτική ισχύς μεγαλύτερη από 1mW. Αυτό δεν αποτελεί κατ' ανάγκη και μεγάλο μειονέκτημα, αν λάβουμε υπ' όψη την μικρή απόσβεση που παρουσιάζουν τα οπτικά καλώδια. Οι επιτρεπόμενες απώλειες ισχύος ανάμεσα σε πομπό και δέκτη -αναγεννητή είναι της τάξης των 40 dB, για να έχουμε αποδεκτές τιμές πιθανότητας λάθους ψηφίου ή λόγου σήματος προς θορύβου.

Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι τυπικές τιμές στάθμης πομπών LASER είναι $0 \div -5$ dB, ενώ τυπικές τιμές ευαισθησίας λήψης δεκτών είναι $-25 \div -35$ dB. Επομένως η συνολική ενδιάμεση απόσβεση του φορέα μετάδοσης (οπτική ίνα) είναι από 20 dB έως 35 dB. Οι κατασκευαστές τερματικών διατάξεων προτείνουν η ενδιάμεση απόσβεση στην πράξη να είναι 2-3 dB μικρότερη της μεγίστης επιτρεπόμενης (περιθώριο ασφαλείας).

Σε περιπτώσεις μεγάλων αποστάσεων, που δεν είναι εύκολο να τοποθετηθούν αναγεννητές (κυρίως περιπτώσεις υποβρυχίων ζεύξεων), χρησιμοποιούνται πομποί ισχυρότεροι (Hi Power) και ενισχυτές του σήματος εκπομπής (Booster). Σήμερα στην Ελλάδα υπάρχουν σε λειτουργία ζεύξεις με στάθμη εκπομπής +20 dB και ευαισθησία λήψης -43 dB.

ΕΥΡΟΣ ΖΩΝΗΣ ΔΙΕΛΕΥΣΗΣ

Το εύρος ζώνης διέλευσης (Band Width) μπορεί να χαρακτηριστεί και ως ο όγκος της μεταδιδόμενης πληροφορίας μέσω της οπτικής ίνας.

Μεγάλος όγκος μεταδιδόμενης πληροφορίας επιτρέπει μεγάλη πυκνότητα

πληροφορίας να διατρέχει τον οπτικό αγωγό χωρίς αξιοσημείωτο υποβιβασμό της ποιότητας επικοινωνίας, γεγονός που δεν επιτρέπεται στους μεταλλικούς αγωγούς λόγω των περιορισμένων δυνατοτήτων τους στην μετάδοση υψηλών συχνοτήτων.

Η χρησιμοποιούμενη μάλιστα μετάδοσης στις ζεύξεις των οπτικών ινών προσδιορίζεται και περιορίζεται από τις εξής παραμέτρους :

1. Το εύρος ζώνης διαμόρφωσης (Modulation Bandwidth) του οπτικού πομπού.
2. Τα φαινόμενα διασποράς στις οπτικές ίνες (Multimode Dispersion, Material Dispersion και Waveguide Dispersion).
3. Το εύρος ζώνης διαμόρφωσης του οπτικού δέκτη.

Το εύρος ζώνης διαμόρφωσης για τους πομπούς LASER είναι της τάξης του GHz , για τους πομπούς LED της τάξης μερικών δεκάδων MHz και για τους οπτικούς δέκτες (Photodiodes) μπορεί να φτάσει στο 1 GHz .

Η ανάγκη του περιορισμού της διασποράς στους οπτικούς κυματοδηγούς υπαγορεύει τον περιορισμό των τρόπων διάδοσης (Propagation Modes) μέσα στον αγωγό με στόχο την διάδοση ενός μόνο τρόπου ή τουλάχιστον ενός κύριου τρόπου. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιώντας και κατά το δυνατό μονοχρωματική ακτινοβολία (για να περιοριστεί η Material Dispersion), μπορούμε να έχουμε εύρος ζώνης αρκετών δεκάδων GHz. Σήμερα οι μονότροπες οπτικές ίνες βρίσκονται ακόμη στο στάδιο της ανάπτυξης και τελειοποίησης τους.

Οι κατασκευαστικές προσπάθειες στοχεύουν στην παραγωγή ενός αγωγού με πολύ λεπτό πυρήνα του θα φτάνει τα 2μm. Παρ' όλα αυτά χρησιμοποιούνται ήδη καλώδια μονότροπων οπτικών ινών με πυρήνα διαμέτρου 10μm και με εξαιρετικά μικρή διαφορά μεταξύ των δεικτών διάθλασης πυρήνα και περιβλήματος.

Τεχνολογικά Πεδία Εφαρμογών των Οπτικών Ινών

Ιατρικές Εφαρμογές

- Υιοθέτηση ταυτόχρονα με τη χρήση νλέρ.ζερ.
- Εφαρμογές λέρ.ζερ στις εγχειρήσεις, καυτηριασμούς φυσιοθεραπείες κ.ά.
- Οι οπτικές ίνες δίνουν τη δυνατότητα μεταφοράς της φωτεινής δέσμης λέρ.ζερ από τη νπηγή μέχρι τη λαβή, που πρέπει να χειρίζεται ογιατρός δίπλα στον ασθενή.
- Στην Ιατρική, οι οπτικές ίνες ονομάζονται και φωταγωγοί, όπου χρησιμοποιούνται ευρύτατα και ειδικότερα σε ενδοσκοπήσεις δίνοντας οπτική εικόνα από τον περιορισμένο χώρο των εσωτερικών οργάνων του ανθρώπου σώματος.
- Οι γιατροί μπορούν να δουν την εσωτερική επιφάνεια μέρους του στομάχου ή άλλου οργάνου χρησιμοποιώντας ζεύγος οπτικών ινών. • Η μικρή διάσταση του πυρήνα παρέχει τη δυνατότητα μετάδοσης εικόνας ακόμα και χωρίς τη χρήση άλλων οπτικών συστημάτων(π.χ. φακών).

Τηλεπικοινωνίες

- Χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά δεδομένων τόσο σε δίκτυα υπολογιστών όσο και σε τηλεφωνικά δίκτυα(μικρή εξασθένηση της δέσμης)
- Χωρίς ζενδιάμεσους ενισχυτές και αναμεταδότες μεβεληνεκές(20-30 χιλιομέτρων, max 200Km)
- Αποφυγή ενδιάμεσων σταθμών με νέου τύπου οπτικές ίνες προσμίξερων

Ερβίου(Er^{+}).

•Οι οπτικές ίνες μπορεί να χρησιμοποιηθούν και σε μικρότερη κλίμακα, όπως για την επικοινωνία ολοκληρωμένων κυκλωμάτων ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή ή τη μεταφορά δεδομένων από αισθητήρες στη κεντρική μονάδα.

Συστήματα Αρχιτεκτονικού Φωτισμού

•Χρήση δεσμίδων οπτικών ινών για μεταφορά φωτός σε μη προσπελάσιμα σημεία κτηρίων.

•Φωτισμός στην οριοθέτηση των διαδρόμων •Δημιουργία σύγχρονων διακοσμητικών κατασκευών και διαφημιστικών πινακίδων.

Προστατευτικός Φωτισμός και Συστήματα Πληροφόρησης

•Εικαστικός φωτισμός (μέθοδος για ευαίσθητους πίνακες και άλλα μουσειακά εκθέματα). •Φωτισμό πινάκων οργάνων στο πιλοτήριο των αεροπλάνων με μισμό φωτεινή πηγή.

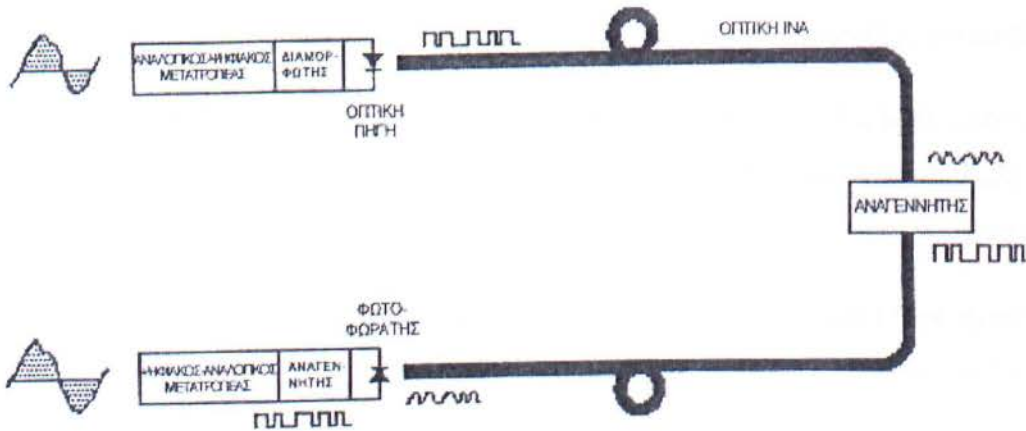
•Σχηματισμό φωτεινών χαρακτήρων και σχημάτων σε πινακίδες φωτεινής οδικής σηματοδότησης.

Βιομηχανικός Έλεγχος

•Συνδυασμός οπτικών ινών και κατάλληλων οπτικών ηλεκτρονικών διατάξεων για τον έλεγχο της γραμμής παραγωγής ενός προϊόντος.

Συστήμα οπτικών τηλεπικοινωνιών

Η εισαγωγή των οπτικών συστημάτων έχει ήδη προκαλέσει επανάσταση στα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα. Η χαμηλή απώλεια κατά τη διαβίβαση σημάτων και η χωρητικότητα του μεγάλου εύρους ζώνης των συστημάτων οπτικών ινών επιτρέπουν την κάλυψη πολύ μεγάλων αποστάσεων με πολύ λιγότερους αναγεννητές σε σύγκριση με τα χάλκινα καλώδια. Η αρχή ενός συστήματος επικοινωνίας εικονίζεται στο παρακάτω σχέδιο:



Το ηλεκτρικό σήμα οδηγείται σε έναν αναλογικό-ψηφιακό μετατροπέα ο οποίος μετατρέπει το ψηφιακό σήμα σε παλμούς. Αυτοί στη συνέχεια περνούν από έναν διαμορφωτή ο οποίος αναγκάζει τη φωτοπηγή να ακτινοβολεί στην σωστή κατεύθυνση. Εάν η απόσταση

μετάδοσης είναι πολύ μεγάλη τότε παρεμβάλλονται στη γραμμή ένας οι περισσότεροι αναγεννητές.

Ο αναγεννητής είναι ένας συνδυασμός δέκτη ενισχυτή και πομπού που αναδημιουργεί και ενισχύει του παλμούς στην αρχική τους μορφή. Στο άκρο του δέκτη οι παλμοί οδηγούνται σε ένα φωτοανιχνευτή ο οποίος μετατρέπει το φως σε ηλεκτρικούς παλμούς. Μετά την ενίσχυση και αναγέννηση, οι παλμοί οδηγούνται σε ένα ψηφιακό -αναλογικό μετατροπέα, στην έξοδο του οποίου εμφανίζεται το αρχικό αναλογικό σήμα.

Στοιχεία που απαρτίζουν ένα δίκτυο οπτικών ινών

Για ένα σύστημα τέτοιας μορφής επικοινωνίας απαιτούνται πέραν των οπτικών ινών και άλλα απαραίτητα εξαρτήματα όπως οι πομποί, οι δέκτες, οι σύνδεσμοι (connectors), οι μόνιμοι σύνδεσμοι (splices), οι διακλαδωτές (couplers), οι επαναλήπτες (repeaters) κλπ. Μια σύντομη περιγραφή του καθενός θα μας εξοικειώσει με τα εξαρτήματα αυτά.

Πομποί

Ο πομπός διαμορφώνει το εκπεμπόμενο φως με το σήμα που εμείς του δίνουμε για μετάδοση. Δύο είναι οι μεγάλες κατηγορίες πομπών, αυτή που για πηγή φωτός χρησιμοποιεί LED και αυτή που χρησιμοποιεί Laser. Τα LED και τα Laser είναι ημιαγωγοί που εκπέμπουν φως όταν εφαρμοσθεί κατάλληλη τάση στα άκρα τους. Τα Laser που χρησιμοποιούνται στις οπτικές ίνες είναι ημιαγωγοί γνωστοί και με τον όρο ILD (Injection Laser Diode). Εκπέμπουν μονοχρωματικό φως αλλά η λειτουργία τους διαφέρει από αυτή των κλασικών συστημάτων εκπομπής ακτινών Laser. Με τις πηγές φωτός LED εκπέμπεται φως στην αόρατη περιοχή δίπλα στις υπέρυθρες. Το μήκος κύματος που χρησιμοποιείται εδώ κυμαίνεται από 700 - 900 nm με πιο συνήθη τα 820 ή 850 nm. Σημειώστε ότι η οπτική

περιοχή είναι από τα 400 (ιώδες) έως τα 750 nm (ερυθρό).

Με ειδικές μίξεις ινδίου, γαλλίου, αρσενικού και φωσφόρου κατασκευάζουμε ημιαγωγούς ικανούς να εκπέμπουν στα 1300 και 1550 nm. Οι ημιαγωγοί που παράγουν τα Laser μοιάζουν με αυτούς των LED, παράγουν όμως μονοχρωματική ακτινοβολία, πιο κατευθυντική δέσμη και μεγαλύτερη ισχύ σήματος.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω θα λέγαμε ότι για κοντινές αποστάσεις χρησιμοποιούμε συνήθως πηγές LED 850 nm, με ρυθμούς μετάδοσης μέχρι 100 Mbps. Για μεγαλύτερες αποστάσεις και ταχύτητες χρειάζονται πηγές Laser ή LED 1300 nm. Για ακόμα υψηλότερες επιδόσεις χρησιμοποιούνται πηγές Laser 1550 nm. Οι πηγές LED προτιμώνται για τα αναλογικά σήματα καθώς έχουν καλή συμπεριφορά σε γραμμική απόκριση. Laser και LED χρησιμοποιούνται για ψηφιακές μεταδόσεις, με τα Laser προτιμώμενα σε υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης (ταχύτητες).

Δέκτες

Οι δέκτες είναι τα εξαρτήματα εκείνα που αφού λάβουν το οπτικό σήμα από την οπτική ίνα το μετατρέπουν σε ηλεκτρικό, το καθαρίζουν, το ενισχύουν και το προωθούν στο καλώδιο πίσω από τον δέκτη. Ο ανιχνευτής που χρησιμοποιείται για τη μετατροπή του οπτικού σήματος σε ηλεκτρικό είναι η φωτοδίοδος. Μέχρι τώρα χρησιμοποιούνται δυο τύποι φωτοδίοδων. οι PIN και οι δίοδοι χιονοστιβάδας (AD Avalanche Photo Diode). Οι δίοδοι PIN είναι λιγότερο ευαίσθητες στο φως και φθηνότερες των AD. Οι δύο κρίσιμοι παράγοντες στην αναγνώριση του σήματος είναι η ένταση (signal strength) και ο λόγος σήματος προς θόρυβο (S/N).

Σύνδεσμοι (connector)

Με τον όρο connector εννοούμε τους συνδέσμους που επιτυγχάνουν προσωρινή σύνδεση μεταξύ δύο οπτικών καλωδίων ή μεταξύ του καλωδίου και του πομπού ή του δέκτη. Ο connector σημειωτέον συνδέει όλο το καλώδιο και όχι μόνο την ίνα. Οι οπτικές ίνες είναι πολύ ευαίσθητες στις συνδέσεις τους καθώς η παραμικρή μετατόπιση της μιας έναντι της άλλης προξενεί σημαντική εξασθένηση του σήματος, ίσως και διακοπή της μετάδοσης. Για αυτό πρέπει οι κεντρικές ίνες να εφάπτονται ακριβώς η μία με την άλλη στο σημείο σύνδεσης.

Με τη λέξη "προσωρινή" που αναφέραμε στον ορισμό του connector, εννοούμε συνδέσεις που μπορούν κατά τη βούλησή μας να διακόπτονται και να αποκαθίστανται. Τα σημεία συνδέσεων των φορητών συσκευών και των οργάνων γίνονται με την χρήση connector. Με λίγα λόγια ο connector στις οπτικές ίνες παίζει το ρόλο της πρίζας ή του φως στο ηλεκτρικό ρεύμα.

Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό των connector είναι η εξασθένηση. Κάθε φορά που ένα σήμα περνάει μέσα από ένα σύνδεσμο χάνει ένα μέρος της ισχύος του. Σήμερα η τεχνολογία μπορεί να προσφέρει connector με εξασθένηση της τάξης του 1 db.

Ένα άλλο σοβαρό θέμα είναι η συμβατότητα connector, καλωδίου, πομπού και δέκτη. Η έλλειψη σήμερα αποδεκτής διεθνούς τυποποίησης δημιουργεί σημαντικά προβλήματα συμβατότητας.

Μόνιμοι σύνδεσμοι

Οι μόνιμοι σύνδεσμοι (spllices) στην ουσία κάνουν την ίδια δουλειά με τους connector, μόνο που χρησιμοποιούνται για μόνιμες συνδέσεις μεταξύ οπτικών ινών. Είναι κάτι σαν τις μούφες των υδραυλικών. Εκεί που θέλουμε να επεκτείνουμε ένα καλώδιο, εκεί που θέλουμε να συνδέσουμε ένα κομμένο καλώδιο, χρησιμοποιούμε spllices. Επειδή προορίζεται για μόνιμες συνδέσεις, είναι έτσι κατασκευασμένα ώστε να εισάγουν πολύ μικρή εξασθένηση, της τάξης του 0,1 db.

Διακλαδωτές

Οι διακλαδωτές (couplers) είναι η συσκευή εκείνη με την οποία διασυνδέεται μία οπτική ίνα με περισσότερες. Σε αντίθεση με τους connector και τα spllices που συνδέουν δύο οπτικά καλώδια, οι coupler συνδέουν τουλάχιστον τρία. Στην περίπτωση αυτή το οπτικό σήμα διερχόμενο από έναν coupler χάνει αρκετή από την ισχύ του. Αυτό έχει σαν επίπτωση τον περιορισμένο πρακτικά αριθμό των εξόδων ενός coupler.

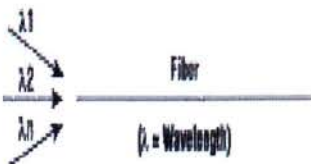
Μέχρι στιγμής έχουν αναπτυχθεί δύο τεχνολογίες διακλαδωτών. Οι *παθητικοί* και οι *ενεργητικοί*. Παθητικοί είναι αυτοί που απλώς διαβιβάζουν το οπτικό σήμα από μία είσοδο σε πολλές εξόδους. Οι ενεργητικοί βάζουν ένα δέκτη στη κεντρική είσοδο και μετά οδηγούν την ηλεκτρική πλέον έξοδο του δέκτη σε πολλούς πομπούς. Έτσι δεν έχουμε το μειονέκτημα της εξασθένησης του σήματος. Επιπλέον και στην κατασκευή, οι ενεργητικοί είναι ευκολότεροι από ότι οι παθητικοί.

Διακρίνουμε τους διακλαδωτές σε ακτινωτούς και T-coupler ανάλογα με τη γεωμετρία της σύνδεσης. Επίσης διακρίνονται σε κατευθυντικούς όπου το σήμα ταξιδεύει σε συγκεκριμένη κατεύθυνση και σε αμφικατευθυντικούς, όπου οποιαδήποτε από τις εισόδους - εξόδους του coupler μπορεί να εκπέμπει σήμα προς όλες τις άλλες. Τέλος έχουμε διακλαδωτές που διαχωρίζουν τα διαφορετικά μήκη κύματος των σημάτων εισόδου και τα δρομολογούν σε διαφορετικές εξόδους.

ΟΠΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ

Η αρχή λειτουργίας της τεχνολογίας WDM

Μια στρατηγική για τη δημιουργία δικτύων που θα μπορούν να υποστηρίξουν τις νέες πολύ ενδιαφέροντες, και απαιτητικές για εύρος ζώνης εφαρμογές είναι η τεχνολογία πολυπλεξίας μήκους κύματος (Wavelength Division Multiplexing). Η βασική ιδέα πάνω στην οποία στηρίχτηκε η νέα τεχνολογία ήταν η εξής: σε κάθε οπτική ίνα το οπτικό σήμα που διαδίδεται έχει μια συγκεκριμένη συχνότητα, είναι δυνατόν από την ίδια ίνα να περάσουν περισσότερα του ενός διαφορετικά σήματα διαφορετικής συχνότητας (λ) ή αλλιώς διαφορετικού χρώματος μιας και μιλάμε για οπτικά σήματα, τα οποία το καθένα να αντιπροσωπεύει και μία ροή δεδομένων. Αυτή η ιδέα δεν ήταν καινούρια, άλλωστε η πολυπλεξία στο ίδιο μέσο παραπάνω του ενός σήματος με διαφορετικές συχνότητες, συνεπώς και διαφορετικά μήκη κύματος χρησιμοποιείται από πολύ παλιά στις εκπομπές ραδιοφώνου αλλά και σε πολλές άλλες εφαρμογές, αλλά έγινε τελευταία εφικτή η υλοποίηση της και στα οπτικά δίκτυα.



Σχήμα 4: Η τεχνολογία WDM

Με βάση αυτό το χαρακτηριστικό έγινε δυνατή η παράλληλη μετάδοση σήματος και στις οπτικές ίνες. Η πολυπλεξία μήκους κύματος είναι η τεχνική μετάδοσης πληροφορίας μέσα από οπτική ίνα η οποία επιτρέπει

την παράλληλη μετάδοση bits ή αλλιώς τη σειριακή μετάδοση χαρακτήρων. Το μέρος του φάσματος που χρησιμοποιείται στην τεχνολογία WDM είναι δυο παράθυρα στις περιοχές γύρω από τα 1300nm, στο οποίο παράθυρο έχουμε την ελάχιστη διασπορά σε σχέση με οποιοδήποτε άλλο μέρος του φάσματος και το άλλο είναι στην περιοχή των 1550 nm στο οποίο αντίστοιχα έχουμε την ελάχιστη εξασθένιση. Σε καθένα από τα δύο παράθυρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα εύρος ζώνης γύρω στα 15.000 GHz, με άλλα λόγια το εύρος των παραθύρων είναι γύρω στα 100nm. Θεωρητικά σ' αυτό το εύρος είναι δυνατόν να οριστούν γύρω στα 3000 διαφορετικά κανάλια με διαφορά μεταξύ τους 0.03 nm.

Η τεχνολογία DWDM

Τα συστήματα WDM μπορούν να μεταδώσουν μέχρι 24 κανάλια αλλά στο μέλλον όλα δείχνουν ότι η χωρητικότητα θα αυξηθεί στα 128 και παραπάνω μέσα από μια ίνα. Σήμερα η τεχνική DWDM (Dense Wave Division Multiplexing = Πυκνή Πολυπλεξία στο πεδίο του Μήκους Κύματος) έχει ενταχθεί στην τεχνική WDM. Τεχνικά είναι η ίδια μεθοδολογία αλλά όπως φαίνεται και από το όνομα η DWDM εμπεριέχει περισσότερα κανάλια και μεγαλύτερη χωρητικότητα σε εύρος ζώνης. Συχνά οι δύο αυτές τεχνικές αναφέρονται σαν μια, WDM, χωρίς να διακρίνεται η ειδοποιός διαφορά. Η τεχνολογία DWDM είναι η περισσότερα υποσχόμενη τεχνολογία για μεταφορά δεδομένων μέσα από οπτικές ίνες και αποτελεί σίγουρα μονόδρομο για την υλοποίηση σχεδίων όπως το Gigabit Internet. Η τεχνολογία αυτή συνίσταται στην πολυπλεξία (multiplexing) σημάτων διαφορετικού μήκους κύματος (wavelength) και στην μετάδοσή τους μέσω μιας μόνο οπτικής ίνας. Το αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας είναι η αύξηση του συνολικού ρυθμού μεταφοράς δεδομένων ανά οπτική ίνα, που προκύπτει από την άθροιση των ρυθμών μεταφοράς κάθε σήματος

διαφορετικού μήκους κύματος. Ενδεικτικά, αναφέρουμε ότι με τα σημερινά δεδομένα είναι δυνατή η πολυπλεξία σαράντα τέτοιων σημάτων σε μια και μόνο οπτική ίνα, κάθε ένα από τα οποία μπορεί να μεταφέρει δεδομένα με ρυθμό 10 Gb/s, κάτι που οδηγεί σε συνολικό ρυθμό μεταφοράς δεδομένων ίσο με 400 Gb/s. Σε πειραματικό, μάλιστα, επίπεδο έχουν επιτευχθεί ρυθμοί μεταφοράς δεδομένων της τάξης των Tb/s.

Στα αρχικά στάδια η τεχνολογία αυτή είχε την ονομασία WDM (wavelength division multiplexing) και ήταν δυνατόν να πολυπλεχθούν λιγότερα από σαράντα σήματα διαφορετικού μήκους κύματος. Αργότερα έγινε εφικτή η πολύπλεξη περισσότερων τέτοιων σημάτων. Η παραπάνω διαδικασία μπορεί να θεωρηθεί ως μεταφορά πληροφορίας μέσω οπτικών καναλιών (optical channels), τα οποία έχουν ένα κοινό μέσο μεταφοράς, την οπτική ίνα. Έτσι είναι δυνατή η αύξηση και η καλύτερη διαχείριση της χωρητικότητας των ήδη υπάρχοντων οπτικών ινών, χωρίς να είναι απαραίτητη η εγκατάσταση νέων (που έχει μεγάλο κόστος). Στα DWDM συστήματα τα μήκη κύματος του φωτός βρίσκονται πολύ κοντά μεταξύ τους, συνήθως 100GHz ή περίπου 0,75nm χωριστά. Τα DWDM συστήματα, μέσω διεθνών καθορισμένων κριτηρίων, χρησιμοποιούν DFB laser επικεντρωμένα σε συγκεκριμένα μήκη κύματος και διαχωρισμένα μεταξύ τους σε 100, 200 ή 500GHz σχετισμένα στα 1,5nm, 0,75nm ή 0,38nm αντίστοιχα. Το κεντρικό μήκος κύματος μιας τυπικής DFB laser εφαρμογής κατευθύνεται με 0,08nm/°C. Σε διάταξη 100GHz μια αλλαγή της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος λειτουργίας κατά 10°C θα τοποθετούσε το μήκος κύματος του laser σε μια γειτονική μπάντα. Σε ένα DWDM laser, το chip είναι τοποθετημένο σε ένα θερμοηλεκτρικό ψύκτη ώστε να ελέγχεται η θερμοκρασία και έτσι να ελέγχεται το μήκος του κύματος. Η τεχνολογία WDM αναφέρεται στο physical layer των δικτύων και εδραιώθηκε λόγω της βελτίωσης των φυσικών μέσων που

χρησιμοποιούνται στις καλωδιώσεις. Έτσι αρχικά με την βελτίωση της τεχνολογίας των lasers και στη συνέχεια με την εμφάνιση των οπτικών ενισχυτών έγινε δυνατή η παράλληλη μετάδοση σημάτων μέσα από τις ήδη υπάρχουσες οπτικές ίνες. Επομένως θα μπορούσε να θεωρηθεί εύκολη η μετάβαση σε αυτή την τεχνολογία. Ωστόσο, υπάρχουν παράγοντες που πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη πριν γίνει μια τέτοια αναβάθμιση όπως το κόστος και η ανταγωνιστικότητα απέναντι σε άλλες τεχνολογίες.

Η τεχνολογία CWDM

Η τραχύς μήκους κύματος διαίρεση πολυπλεξία (CWDM - Coarse Wavelength Division Multiplexing) είναι μια τεχνολογία μεταφοράς πολυπρωτοκόλλων, που παρουσιάζει σημαντική ανάπτυξη στην αγορά λόγω των ιδιοτήτων χαμηλότερου κόστους και της απλότητας στον σχεδιασμό της. Η CWDM τεχνολογία αντιπροσωπεύει μια τέλεια οικονομική τεχνολογία τόσο σε πρόσβαση όσο και στην αγορά δικτύων κορμού και ειδικά σε σχετικά μικρές αποστάσεις (έως 31 μίλια). Παραδίδει τα πολλαπλάσια μήκη κύματος μέσω μιας οπτικής ίνας σε ένα μέρος του κόστους και πολυπλοκότητας των συστημάτων DWDM. Ένας ακριβέστερος ορισμός του CWDM είναι «μια μορφή διαίρεσης και πολυπλεξίας μήκους κύματος που έχει ευρύτερα διαστήματα μεταξύ των μηκών κύματος από αυτά που χρησιμοποιούνται στο DWDM. Επίσης, αντίθετα από άλλες μορφές WDM, χρησιμοποιεί ένα πολύ ευρύτερο φωτονιακό φάσμα ζωνών από άλλα τέτοια συστήματα, τα οποία συχνά είναι

περιορισμένα σε μια ή δύο ζώνες». (Μέχρι 18 μήκη κύματος μπορούν να σταλούν χρησιμοποιώντας μερικά σχέδια CWDM). Η CWDM μπορεί να χρησιμοποιηθεί πάνω από πολύτροπες και μονότροπες ίνες αν και οι

αποστάσεις του σήματος είναι γενικά πιο σύντομες από το DWDM.

Τεχνολογία SONET/SDH

Η τεχνολογία αυτή παρουσιάστηκε στα τέλη της δεκαετίας του 1980 και αφορούσε μια μεγάλη ομάδα προτύπων που άπτονται των οπτικών επικοινωνιών. Στις Ηνωμένες Πολιτείες και στην Ιαπωνία, οι τυποποιήσεις αυτές είναι γνωστές ως SONET

(Synchronous Optical Network). Αντίθετα, στη Ευρώπη ονομάζονται SDH (Synchronous Digital Hierarchy). Το πρότυπο SONET δημιουργήθηκε από τη Bellcore ενώ το SDH αρχικά τυποποιήθηκε από τον ETSI και στη συνέχεια έγινε διεθνές πρότυπο με κάποιες τροποποιήσεις από την ITU -T. Το πρότυπο SONET (και στη συνέχεια το SDH), προσπάθησε να αποτελέσει πρότυπο οπτικής διασύνδεσης με στόχο τη διαλειτουργικότητα συστημάτων διαφορετικών κατασκευαστών. Χωρίς το SONET, η διασύνδεση γίνεται μόνο με αποπολυπλεξία στο ηλεκτρικό επίπεδο, κάτι που επιβαρύνει πολύ τη μεταφορά δεδομένων μιας και η μετατροπή του σήματος από οπτικό σε ηλεκτρικό και το αντίστροφο είναι μια χρονοβόρα διαδικασία. Τα πρότυπα SONET/SDH ορίζουν μια νέα ψηφιακή ιεραρχία πολυπλεξίας που είναι κατάλληλη για τον χειρισμό σημάτων που βασίζονται στη μεταφορά τους σε οπτικές ίνες, ενώ ταυτόχρονα επιτρέπουν την εύκολη εξαγωγή από ένα πολυπλεγμένο σήμα των διαφόρων σημάτων χαμηλότερων ρυθμών. Το βασικό δομικό στοιχείο του SONET είναι ένα πλαίσιο 810 bytes, διάρκειας 125 μsec. Αποτελείται από μια περιοχή με μέγεθος 774 bytes στην οποία μεταφέρεται το payload (ωφέλιμο φορτίο) και μια περιοχή overhead (επιβάρυνση μετάδοσης). Η περιοχή ωφέλιμου φορτίου ορίζεται και σαν «Φάκελος Σύγχρονου Φορτίου» (SPE - Synchronous Payload Envelope) και περιλαμβάνει και την επιβάρυνση μονοπατιού/διαδρομής (path overhead - POH). Το overhead

έχει μέγεθος 36 bytes και χωρίζεται σε δύο τμήματα, την επιβάρυνση τμήματος και την επιβάρυνση γραμμής που αναφέρονται σαν SOH (Section Overhead) και LOH (Line Overhead) αντίστοιχα. Το πλαίσιο του SONET μεταδίδεται σχηματίζοντας ένα σήμα 51,840 Mbps, γνωστό ως «Σήμα Σύγχρονης Μεταφοράς -1ου επιπέδου» (STS-1 Synchronous Transport Signal-level 1). Η λειτουργικότητα του SONET επιτυγχάνεται ορίζοντας το βασικό STS-1 σήμα και δημιουργώντας στη συνέχεια μια πολλαπλάσια δομή η οποία προκύπτει από την πολυπλεξία σημάτων STS-1 με τη μέθοδο της παρεμβολής οκτάδων. Έτσι ανάλογα με το βαθμό πολυπλεξίας δημιουργούνται σήματα με ρυθμούς N φορές μεγαλύτερους από το βασικό ρυθμό του STS -1 που είναι 51,840 Mbps. Επί του παρόντος οι τιμές του N είναι 1,3,9,12,18,24,36,48.

SONET (ANSI)	Οπτικός φορέας (OC)	SDH	Ρυθμός δεδομένων (Mbps)
STS-1	OC-1		51,84
STS-3	OC-3	STM-1	155,52
STS-9	OC-9	STM-3	466,56
STS-12	OC-12	STM-4	622,08
STS-18	OC-18	STM-6	933,12
STS-24	OC-24	STM-8	1244,16
STS-36	OC-36	STM-12	1866,24
STS-48	OC-48	STM-16	2488,32
STS-96	OC-96	STM-32	4976,64
STS-192	OC-192	STM-64	9953,28
STS-768	OC-768	STM-256	39813,12

Σχήμα 5: πρότυπα ρυθμών μεταφοράς

Όταν η μετάδοση γίνεται χρησιμοποιώντας οπτική ίνα, ορίζεται ένα οπτικό αντίστοιχο του σήματος STS-1 που ονομάζεται «Οπτικός Φορέας - 1ου επιπέδου» (OC-1 Optical Carrier- level 1). Το OC-1 είναι το σήμα που λαμβάνεται στη ν έξοδο ενός ηλεκτρικό-οπτικού μετατροπέα, όταν στην είσοδό του εισάγεται το σήμα STS -1. Το OC-1 αποτελεί το βασικό δομικό στοιχείο μετάδοσης στο SONET και από αυτό μπορούν να παραχθούν σήματα υψηλότερης ιεραρχίας. Για παράδειγμα το OC -3 μεταφέρει πληροφορία με ρυθμό $3 \times 51,84$ δηλαδή 155,42 Mbps. Ο αριθμός που συνοδεύει το πρόθεμα OC δείχνει το πλήθος των σημάτων ψηφιακού ρεύματος (DS3), που το τοπικό σήμα μπορεί να μεταφέρει. Έτσι έχουν δημιουργηθεί διάφορα πρότυπα ρυθμών μεταφοράς δεδομένων πάνω από οπτικές ίνες τα οποία αντιστοιχίζονται με τους ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων από ηλεκτρικά σήματα. Για την μεταφορά μικρότερων ρυθμών δεδομένων από το βασικό STS -1 ο Φάκελος Σύγχρονου Φορτίου (SPE) ενός πλαισίου STS -1 μπορεί να διαιρεθεί σε συνιστώσες χαμηλότερων ρυθμών. Αυτές οι συνιστώσες είναι ειδικές δομές που ονομάζονται «νοητές μερικές ροές» (VT-Virtual Tributary) και επιτρέπουν τη μεταφορά ωφέλιμων φορτίων, που είναι μικρότερα από το ωφέλιμο φορτίο του STS -1. Για παράδειγμα η νοητή ροή VT1.5 μπορεί να μεταφέρει σήμα 1,544 Mbps (T1). Το πρότυπο SDH βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στο SONET και μάλιστα επεκτείνει κάποια στοιχεία του έτσι ώστε να μπορέσει να γίνει διεθνές standard. Παρά τη μεγάλη ομοιότητα υπάρχουν κάποιες διαφορές μεταξύ τους. Η πιο βασική είναι η διαφορά στον βασικό ρυθμό. Στο SDH ο ρυθμός αυτός είναι περίπου 150Mbps, ενώ στο SONET είναι 50Mbps. Αυτό σημαίνει ότι απαιτείται η συνένωση (concatenation) τριών βασικών σημάτων STS-1 του SONET για να προκύψει το STM-1 του SDH. Επίσης τα SONET και SDH διαφέρουν στο πλήθος και την

πυκνότητα των ρυθμών μετάδοσης που υποστηρίζουν. Επειδή η τιμή του βασικού πλαισίου του SDH είναι 155,520 Mbps, με την πολυπλεξία π.χ. τεσσάρων καναλιών θα προκύψει ροή πληροφορίας με ρυθμό 622,080Mbps (STM-4) και αν πολυπλεχθούν 16, ο ρυθμός που θα προκύψει ισούται με 2488,320 (STM-16). Επιπλέον, όσον αφορά το πλαίσιο μετάδοσης, το πλαίσιο του SONET μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι το ένα τρίτο του SDH. Το πλαίσιο του SDH αποτελείται από 9 γραμμές των 270 bytes, ενώ του SONET από 9 γραμμές των 90 bytes.

Τέλος, επειδή στο SDH ορίζεται πολύ υψηλός βασικός ρυθμός, υπάρχει μια μεγαλύτερη δυσκολία για τη μεταφορά των σημάτων μικρότερου ρυθμού. Έτσι ορίζονται επιπλέον ρεύματα μικρότερου ρυθμού από τα VT όπως π.χ. τα C (container) και TU (tributary unit).

WDM ΔΙΚΤΥΩΣΗ

Η ενότητα αυτή παρουσιάζει την τεχνική με την οποία συνδυάζεται η τεχνολογία WDM με αρχιτεκτονικές δικτύου υψηλότερων επιπέδων ώστε να καταστεί δυνατή η χρήση των μεγάλων ρυθμών μετάδοσης. Αυτή η «συνεργασία» του WDM με τις αρχιτεκτονικές υψηλότερων επιπέδων δημιουργεί προβλήματα λόγω της μεγάλης πολυπλοκότητας που χαρακτηρίζει τα οπτικά δίκτυα. Τα προβλήματα αυτά συνίστανται κυρίως στο μεγάλο κόστος υλοποίησης και στην δυσκολία επέκτασης ενός οπτικού δικτύου. Η χρήση της οπτικής μετάδοσης σε backbone δίκτυα στα οποία συνδέονται πελάτες με διαφορετικές ανάγκες σε ταχύτητες πρόσβασης και διαφορετικού τύπου εξοπλισμό ήταν ένας από τους λόγους που οδήγησαν στην δημιουργία προτύπων περιγραφής του τρόπου μεταφοράς δεδομένων πάνω από ένα οπτικό δίκτυο και κυρίως του τρόπου διασύνδεσης πάνω σε ένα οπτικό δίκτυο. Έτσι δημιουργήθηκαν οι αρχιτεκτονικές SONET και SDH που καθορίζουν πρότυπα για τους ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων

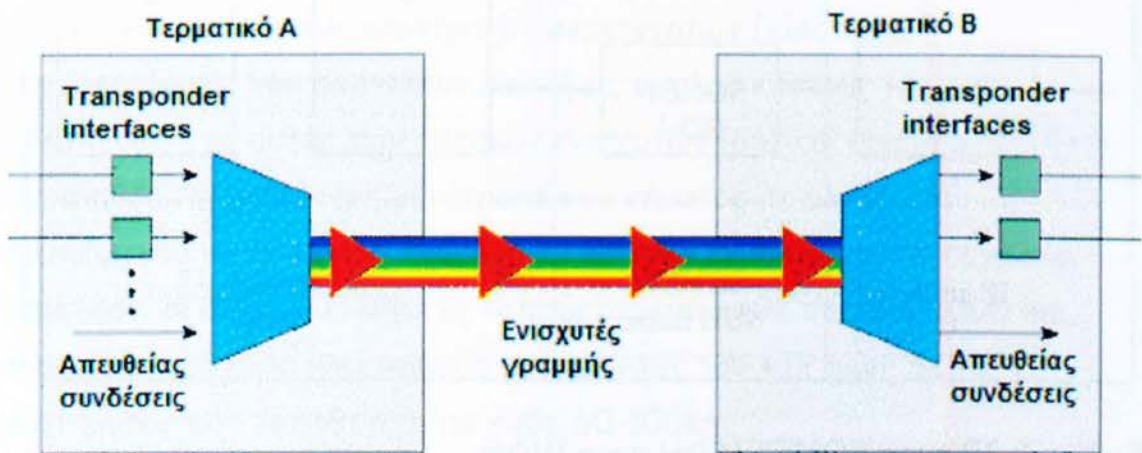
πάνω από οπτικά δίκτυα καθώς και τους τρόπους ομαδοποίησης και μετάδοσης των δεδομένων σε πλαίσια. Πριν την εφαρμογή του WDM, οι αρχιτεκτονικές SONET/SDH υπέθεταν ότι η μετάδοση των δεδομένων γίνεται με χρήση ενός μόνο μήκους κύματος πάνω από μια οπτική ίνα. Τα πρότυπά τους όμως μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωρίς αλλαγές και για μετάδοση πάνω από ένα σύστημα WDM. Ουσιαστικά οι αρχιτεκτονικές SONET/SDH αποτελούν ένα επίπεδο που βρίσκεται πάνω από το επίπεδο των οπτικών ινών και του ακριβούς τρόπου μετάδοσης του οπτικού σήματος μέσα από αυτές. Παρόλα αυτά όμως τον τελευταίο καιρό αρχίζει μια έντονη αμφισβήτηση της χρησιμότητας ύπαρξης του επιπέδου SONET/SDH η οποία έχει οδηγήσει στην υλοποίηση συστημάτων WDM που δεν απαιτούν την ύπαρξη συστήματος SONET/SDH για την παροχή υπηρεσιών σε αρχιτεκτονικές υψηλότερων επιπέδων.

Η τεχνολογία «IP over SONET/SDH» και «IP over SONET/SDH over WDM»

Ο όρος «IP over SONET/SDH», ή αλλιώς «Packet over SONET/SDH», αναφέρεται ουσιαστικά στην προσθήκη SONET/SDH διασυνδέσεων με κάποιον δρομολογητή που αποτελεί τερματικό στοιχείο για τη διακίνηση δεδομένων μέσω του πρωτοκόλλου από-σημείο-σε-σημείο (Point-to-Point Protocol-PPP). Το πρωτόκολλο PPP αποτελεί το ευρύτερα αποδεκτό πρωτόκολλο μορφοποίησης για την κυκλοφορία δεδομένων στο διαδίκτυο (Internet Protocol -IP traffic). Στην πραγματικότητα, η IP κυκλοφορία μέσω ενός SONET/SDH δρομολογητή προσομοιάζεται ως μια σειριακή ροή δεδομένων (datastream) που μετακινείται κατά μήκος του δικτύου, χρησιμοποιώντας το PPP πρωτόκολλο για τις λειτουργίες μορφοποίησης και συμπύκνωσής της. Αυτές οι ροές δεδομένων χαρτογραφούνται σε καθορισμένα STS πλαίσια, όπως προβλέπεται από το RFC 1619. Τα

πλαίσια μπορούν να έχουν τυπικό ρυθμό μετάδοσης OC-3/STM-1, OC-12/STM-4 και OC-48/STM-16. Σε κάθε κόμβο του δικτύου το IP πακέτο δεδομένων απομονώνεται από το PPP πλαίσιό του, εξετάζεται η διεύθυνση προορισμού του και τελικά αυτό εντάσσεται σε ένα νέο PPP πλαίσιο για να συνεχιστεί η μεταφορά του. Τα βασικά πλεονεκτήματα που προσέφερε η τεχνολογία "IP over SONET/SDH" συνοψίζονται στα εξής

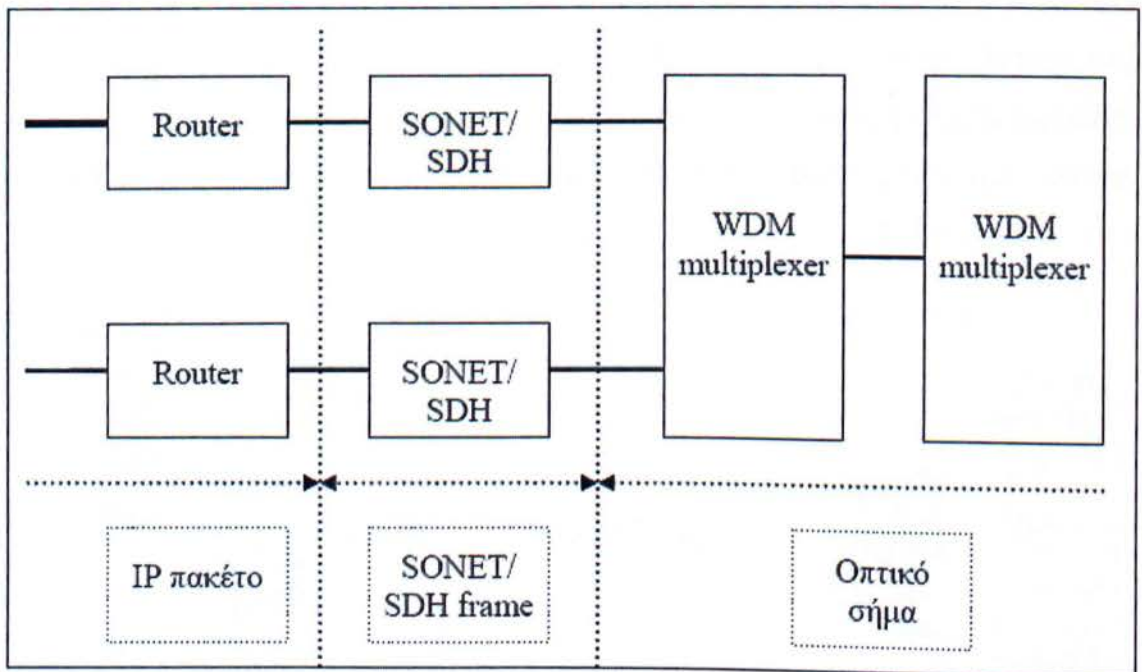
- Η αποτελεσματική από-σημείο-σε-σημείο μεταφορά της IP κυκλοφορίας.
- Η πρόβλεψη σχετικά υψηλών ευρών ζώνης για την παροχή μη διαφοροποιημένων υπηρεσιών (nondifferentiated services). Ωστόσο, κατά τα τελευταία χρόνια, η αύξηση της κυκλοφορίας δεδομένων στο διαδίκτυο είναι εκρηκτική. Κάθε χρόνο ο όγκος της διακινουμένης πληροφορίας υπερδιπλασιάζεται και αυτό αναμένεται να διατηρηθεί και κατά τα επόμενα έτη.



Σχήμα 6: Η αρχή λειτουργίας του transponder

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος της έλλειψης εύρους ζώνης, κρίθηκε αναγκαία η ενσωμάτωση της τεχνολογίας πολυπλεξίας στο πεδίο του μήκους κύματος (WDM) στην υπάρχουσα «IP over SONET/SDH»

τεχνολογία. Έτσι, προέκυψε μια νέα βελτιωμένη μέθοδος μετάδοσης IP δεδομένων η οποία αναφέρεται ως «IP over SONET/SDH over WDM». Σε ένα τέτοιο σύστημα, καθοριστικό ρόλο έχει μια εξειδικευμένη διάταξη εκπομπής (transponder - Σχήμα 6), η οποία αναλαμβάνει τη μετατροπή του συμβατού με το πρότυπο SONET/SDH οπτικού σήματος, που περιέχει τις πληροφορίες του IP πακέτου, σε ηλεκτρικό σήμα.



Σχήμα 7: IP over SONET/SDH over WDM

Αυτό το ηλεκτρικό σήμα χρησιμοποιείται ως οδηγός μιας «WDM laser διάταξης», η οποία είναι εξαιρετικής ακρίβειας και λειτουργεί σε περιοχή μήκους κύματος γύρω από τα 1550nm. Ένα σύστημα «IP over SONET/SDH over WDM» (Σχήμα 7) περιλαμβάνει πολλές διατάξεις τύπου transponder, καθεμιά από τις οποίες μετατρέπει τις πληροφορίες

του πακέτου που δέχεται σε ένα ελαφρώς διαφορετικό μήκος κύματος. Στη συνέχεια, τα μήκη κύματος όλων των transponders του συστήματος πολυπλέκονται οπτικά και μεταφέρονται διαμέσου της οπτικής ίνας. Στο άκρο λήψης, λαμβάνει χώρα η αντίστροφη διαδικασία, δηλαδή τα μήκη κύματος διαχωρίζονται (διαδικασία οπτικής αποπολύπλεξης) και καθένα από αυτά τροφοδοτείται σε έναν transponder. Έτσι, το σήμα μετατρέπεται σε ηλεκτρικό και μέσω μιας

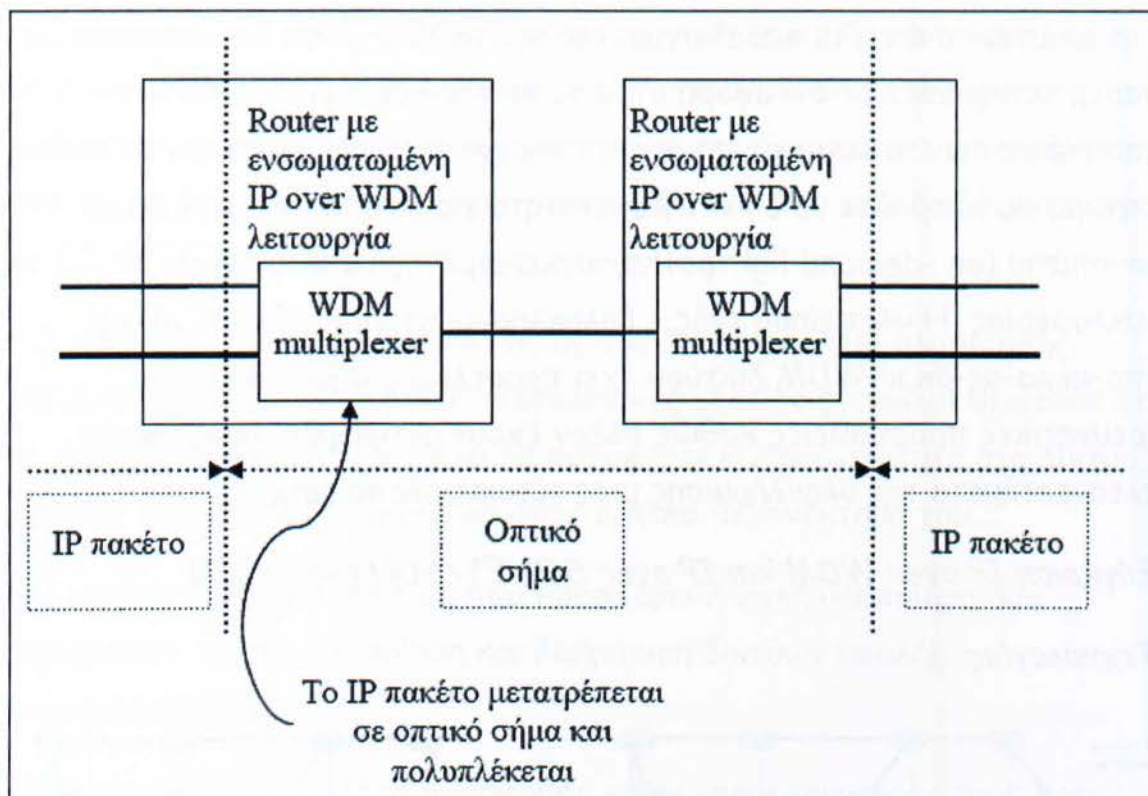
προτυποποιημένης SONET/SDH διασύνδεσης, τα IP πακέτα αποκαλύπτονται. Η προσθήκη της WDM τεχνολογίας στα τυπικά «IP over SONET» συστήματα προσφέρει μια σειρά από σημαντικότερα πλεονεκτήματα όπως:

- Η αύξηση της χωρητικότητας της υπάρχουσας οπτικής ίνας, δίχως να απαιτείται η εγκατάσταση επιπλέον οπτικών ινών.
- Η αντικατάσταση των ηλεκτρικών αναγεννητών (electrical regenerators), που αποτελούν διατάξεις υψηλού κόστους και είναι πολύπλοκες, με αυτές των οπτικών ενισχυτών (optical amplifiers). Έτσι, δεν απαιτείται η πρότερη μετατροπή του σήματος σε ηλεκτρικό προκειμένου να ενισχυθεί ενώ όλα τα κανάλια ενισχύονται ταυτόχρονα. Επιπλέον, οι οπτικοί ενισχυτές τοποθετούνται κάθε περίπου 1000 km, σε αντίθεση με τους ηλεκτρικούς αναγεννητές του «IP over SONET» συστήματος που τοποθετούνται κάθε 60-100km.
- Η διαδικασία προσθήκης νέων καναλιών στο δίκτυο απλοποιείται σημαντικά. Η μοναδική απαίτηση είναι η εγκατάσταση του κατάλληλου αριθμού transponders στο σύστημα, στα δύο άκρα του WDM υποσυστήματος. Οι οπτικοί ενισχυτές αναλαμβάνουν την ενίσχυση των επιπλέον καναλιών, ταυτόχρονα με τα προϋπάρχοντα, δίχως την απαίτηση

επιπλέον αναγεννητών. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα προαναφερθέντα οφέλη για τα WAN δίκτυα υποσκελίζουν, σχεδόν πάντοτε, σε μεγάλο βαθμό το κόστος εγκατάστασης του WDM υποσυστήματος στο υπάρχον «IP over SONET» σύστημα και για αυτό το λόγο η συντριπτική πλειοψηφία των δικτύων αυτής της κατηγορίας έχει ενσωματώσει την τεχνολογία της πολύπλεξης στο πεδίο του μήκους κύματος.

Η τεχνολογία IP over WDM

Η τεχνολογία μεταφοράς IP πακέτων απευθείας μέσω του WDM οπτικού επιπέδου (IP over WDM), δίχως τη μεσολάβηση κάποιου ενδιάμεσου επιπέδου, αποτελεί τη μελλοντική δικτυακή υλοποίηση που θα εξασφαλίσει την ύπαρξη ενός ουσιαστικ απεριόριστου εύρους ζώνης. Η τεχνολογία αυτή, προχωρώντας ένα βήμα παραπέρασε σχέση με την IP over SONET/SDH over WDM υλοποίηση και προβλέπει τη νεξολοκλήρου απαλοιφή του παραδοσιακού SONET/SDH στρώματος. Έτσι, τα IP πακέτα δεδομένων μετατρέπονται απευθείας σε οπτικό σήμα και ακολουθεί η διαδικασία της πολύπλεξης στο πεδίο του μήκους κύματος. Όπως γίνεται αντιληπτό, η απουσία της ενδιάμεσης μετατροπής των πακέτων σε προτυποποιημένα SONET/SDH πλαίσια απλοποιεί σημαντικά τη διαδικασία. Σημαντικό ρόλο για την επίτευξη μιας τέτοιας υλοποίησης, με τον απλούστερο δυνατό τρόπο, αποτελεί η ύπαρξη ενός καινοτόμου δρομολογητή που θα ενσωματώνει ορισμένες βασικές WDM λειτουργίες.



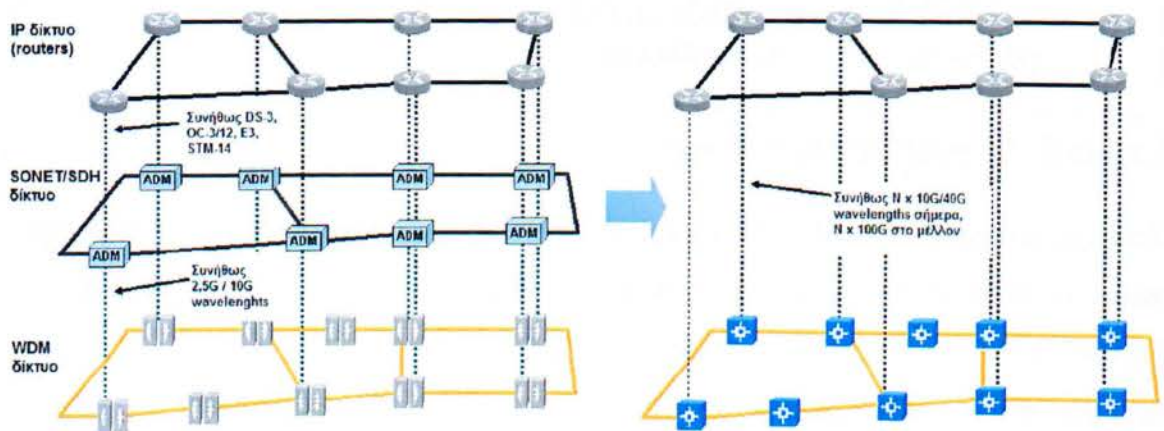
Σχήμα 8: IP over WDM σύστημα

Το σημείο-κλειδί που θα επιτρέψει την αποτελεσματική λειτουργία και την πλήρη εκμετάλλευση των σημαντικών δυνατοτήτων ενός IP over WDM δικτύου είναι ο ξεκάθαρος ορισμός των υπηρεσιών και της λειτουργικότητας που καθένα από τα IP και WDM στρώματα θα προσφέρουν. Είναι σημαντικό να μην υπάρχει σύγκρουση αλλά συμπληρωματικότητα μεταξύ των δύο αυτών στρωμάτων. Ως παράδειγμα αναφέρονται τα θέματα της αλληλεπίδρασης μεταξύ της αναδιαμόρφωσης των οπτικών μονοπατιών και της IP δρομολόγησης ή της αλληλεπίδρασης μεταξύ της IP αποκατάστασης (IP restoration) και της προστασίας στο οπτικό επίπεδο. Επιπλέον, η διαμόρφωση του IP στρώματος θα πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι δυνατή η μέγιστη εκμετάλλευση των προσφερόμενων από το WDM

στρώμαυπηρεσιών. Για παράδειγμα, εφόσον το IP στρώμα θα μπορούσε να παρέχειυπηρεσίες σε ότι αφορά στον τύπο της κυκλοφορίας και τις απαιτήσεις των πακέτωνσε ποιότητα υπηρεσιών (QoS), τότε και το WDM στρώμα θα μπορούσε να δίνει τηδυνατότητα για κατά απαίτηση οπτικά μονοπάτια (on-demand lightpaths)συγκεκριμένης υψηλού όγκου IP κυκλοφορίας. Η υλοποίηση ενός ε ξολοκλήρουοπτικού (all-optical) και από-άκρο-σε-άκρο WDM δικτύου έχει προσελκύσεισημαντικότερες ερευνητικές προσπάθειες καθώς πλέον έχουν αντιληφθεί τασημαντικά πλεονεκτήματα της ολοκλήρωσης μιας τέτοιας υλοποίησης.

Σύγκριση IP over WDM και IP over SONET/SDH over WDM

Τεχνολογίας



Σχήμα9: Σύγκριση IP over SONET/SDH over WDM - IP over WDM

Η ενδεχόμενη απαλοιφή του SONET/SDH στρώματος από την όλη διαμόρφωση ενόςοπτικού δικτύου θα μπορούσε να προσφέρει μια σειρά από σημαντικότεραπλεονεκτήματα όπως:

- Ευνοείται η ταχύτερη κλιμάκωση μεγέθους και ταυτόχρονα υπάρχει μεγάλη μείωσητου κόστους υλοποίησης και λειτουργίας

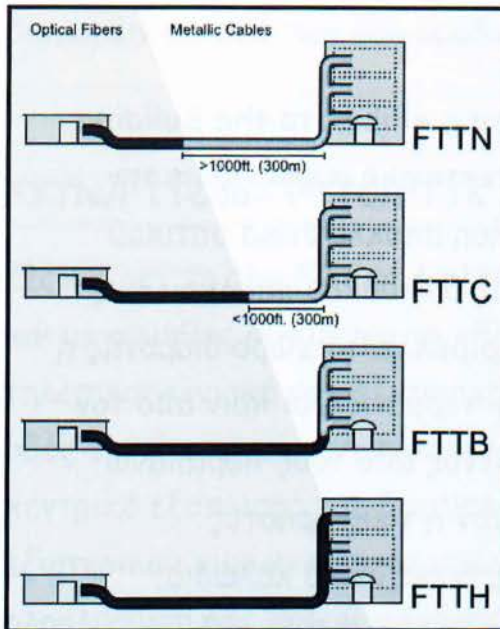
- Περιορισμός σε υψηλό βαθμό του πλεονασμού που εισάγει η ύπαρξη του επιπλέον SONET/SDH στρώματος. Έτσι, παύει πλέον η αναγκαιότητα χρήσης ενός σοβαρού ποσοστού των πόρων του δικτύου που απορρέουν από τις μη βελτιστοποιημένες λειτουργίες διαχείρισης που διεξάγονται από το SONET/SDH στρώμα.
- Ο χαμηλός βαθμός πολυπλοκότητας της IP over WDM υλοποίησης. Μετά πλέον και τις τελευταίες τεχνολογικές εξελίξεις, πολλοί θεωρούν ότι το SONET/SDH επίπεδο παύει να προσφέρει λειτουργικότητα στο δίκτυο, γεγονός που έως τώρα αποτελούσε το βασικό πλεονέκτημά του.
- Ο υψηλός βαθμός ευελιξίας που προσφέρει η απλή υλοποίηση δύο στρωμάτων, για την υλοποίηση και διαχείριση δικτύων υψηλής χωρητικότητας.
- Παρέχεται η δυνατότητα προσφοράς νέων υπηρεσιών προς τους χρήστες-πελάτες του δικτύου, μέσα σε ένα περιβάλλον αυξανόμενης κυκλοφορίας IP δεδομένων (bandwidth on demand με χρήση lightpaths). Ωστόσο, στα παραπάνω θα πρέπει να συνυπολογιστεί ότι η SONET/SDH τεχνολογία διαθέτει υψηλό επίπεδο ωριμότητας και όταν χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με την WDM λύση στο χαμηλότερο στρώμα, μέσω μιας IP over SONET/SDH over WDM υλοποίησης, μπορεί να προσφέρει επιπλέον αξιοπιστία στο δίκτυο.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΕΙΣ - ΟΡΙΣΜΟΙ FTTX

Αυτή η ενότητα ασχολείται με τα θέματα εγκατάστασης οπτικών ινών μέχρι τούς τελικούς συνδρομητές .Γίνονται κατηγοριοποιήσεις ανάλογα με το βαθμό συμμετοχής της οπτικής ίνας στη διαμόρφωση του τοπικού βρόχου(π.χ., FTTH, FTTC, FTTN, FTTB, των διαφορετικών τοπολογιών στα οπτικά δίκτυα πρόσβασης (π.χ., P2P, P2MP) αλλά και της τεχνολογίας που θα χρησιμοποιηθεί (π. χ., PON, AON).

Κατηγοριοποίηση ως προς τη συμμετοχή του οπτικού σκέλους

Με το γενικό όρο «Fiber to the x (FTTX)», αναφερόμαστε σε οποιαδήποτε αρχιτεκτονική χρησιμοποιεί οπτική ίνα για την αντικατάσταση μέρους ή όλου του χαλκού ή άλλων τεχνολογιών στον τοπικό βρόχο. Ανάλογα με το βαθμό συμμετοχής της οπτικής ίνας στη διαμόρφωση του τοπικού βρόχου, διακρίνουμε τέσσερις υποπεριπτώσεις όπως αυτές απεικονίζονται στο σχήμα 6:



Σχήμα 6: Αρχιτεκτονικές FTTX/FTTH

Σύμφωνα με τον ορισμό του FTTH Council, ως «Fiber to the Home (FTTH)» ορίζεται η τηλεπικοινωνιακή αρχιτεκτονική σύμφωνα με την οποία μία επικοινωνιακή οδός εκτείνεται με χρήση αποκλειστικά οπτικού μέσου από τον εξοπλισμό μεταγωγής ενός δικτυακού παρόχου έως το χώρο διαμονής ή εργασίας κάθε χρήστη. Η οπτική ίνα τερματίζεται εντός του καθαυτού χώρου διαμονής ή εργασίας του καθενός από τους παραπάνω χρήστες. Η προαναφερθείσα επικοινωνιακή οδός παρέχεται με σκοπό την εξυπηρέτηση τηλεπικοινωνιακής κίνησης από και προς ένα ή περισσότερους χρήστες, για μία ή περισσότερες υπηρεσίες και από ή προς ένα ή περισσότερους παρόχους υπηρεσιών. Ο παραπάνω ορισμός δεν συμπεριλαμβάνει αρχιτεκτονικές σύμφωνα με τις οποίες το οπτικό μέσο τερματίζεται εκτός του χώρου διαμονής ή εργασίας του χρήστη.

FTTB

Σύμφωνα με τον ορισμό του FTTH Council, ως «Fiber to the Building (FTTB)» ορίζεται η τηλεπικοινωνιακή αρχιτεκτονική σύμφωνα με την οποία επικοινωνιακή οδός εκτείνεται με χρήση αποκλειστικά οπτικού καλωδίου από τον εξοπλισμό μεταγωγής ενός δικτυακού παρόχου έως τουλάχιστον το όριο της ιδιοκτησίας που περιβάλλει το χώρο διαμονής ή εργασίας ενός ή περισσοτέρων χρηστών και τερματίζεται πριν από τον καθαυτό χώρο διαμονής ή εργασίας του καθενός από τους παραπάνω χρήστες. Το επικοινωνιακό μονοπάτι προς τον ή τους χρήστες ολοκληρώνεται με χρήση άλλου μέσου, όπως ομοαξονικό καλώδιο, συνεστραμμένα ζεύγη χαλκού ή ασύρματη ζεύξη. Η προαναφερθείσα επικοινωνιακή οδός παρέχεται με σκοπό την εξυπηρέτηση τηλεπικοινωνιακής κίνησης από και προς ένα ή περισσότερους χρήστες, για μία ή περισσότερες υπηρεσίες και από ή προς ένα ή περισσότερους παρόχους υπηρεσιών. Ο παραπάνω ορισμός δεν συμπεριλαμβάνει αρχιτεκτονικές σύμφωνα με τις οποίες το οπτικό μέσο τερματίζεται σε δημόσιο χώρο όπως καμπίνα εξωτερικού χώρου. Είναι προφανές ότι η FTTB αποτελεί μια μεταβατική αρχιτεκτονική για την παροχή υπηρεσιών σε υπάρχοντα κτίρια και μπορεί να είναι συμπληρωματική ως προς την FTTH η οποία αναπτύσσεται κυρίως σε νέα κτίρια. Βέβαια, με εισαγωγή, σε δεύτερη φάση, οπτικών καλωδίων εντός του κτιρίου, η αρχιτεκτονική FTTB μπορεί να μετεξελιχθεί σε πλήρη αρχιτεκτονική FTTH.

FTTP

Με τον όρο «Fiber to the Premises (FTTP)» είθισται να γίνεται γενική αναφορά στις δύο προαναφερθείσες αρχιτεκτονικές, σε αντιπαραβολή συνήθως με αυτές που αναφέρονται στη συνέχεια, λόγω των ομοιοτήτων

διαφορών μεταξύ των δύο ομάδων.

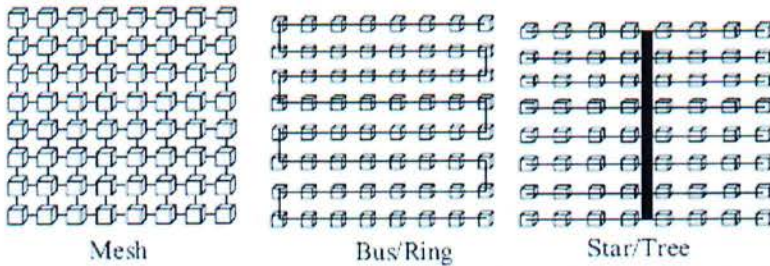
FTTN/FTTCab- FTTC/FTTK

Ως «Fiber to the Node» ή αλλιώς «Fiber to the Neighborhood (FTTN)» και με σύνηθες συνώνυμο το «Fiber to the Cabinet (FTTC ab)» ορίζεται η τηλεπικοινωνιακή αρχιτεκτονική σύμφωνα με την οποία η επικοινωνιακή οδός εκτείνεται με χρήση αποκλειστικά οπτικού καλωδίου από τον κεντρικό εξοπλισμό του δικτυακού παρόχου μέχρι τουλάχιστον μία καμπίνα εξωτερικού χώρου η οποία υποστηρίζει ολόκληρη περιοχή (γειτονιά). Η ολοκλήρωση της επικοινωνιακής οδού έως τους χρήστες υλοποιείται με άλλα μέσα πλην του οπτικού καλωδίου, με πιο συνηθισμένη τεχνολογία, κάποια μορφή DSL. Η προαναφερθείσα επικοινωνιακή οδός παρέχεται με σκοπό την εξυπηρέτηση τηλεπικοινωνιακής κίνησης από και προς πολλούς χρήστες, συνήθως για μία έως δύο υπηρεσίες (fast internet ή/και voice/VoIP), συνήθως από ένα πάροχο υπηρεσιών (αυτόν που κατέχει το οπτικό τμήμα της επικοινωνιακής οδού). Η τυπική ακτίνα της εξυπηρετούμενης περιοχής είναι μικρότερη από 1500m και καλύπτει αρκετές εκατοντάδες χρήστες. Εάν η καμπίνα εξυπηρετεί περιοχή μικρότερη από 300m τότε η αρχιτεκτονική αυτή αποκαλείται στην Αμερικάνικη ορολογία «Fiber to the Curb (FFTC)» και στην Αγγλική ορολογία «Fiber to the Kurb (FFTK)». Είναι προφανές ότι η αρχιτεκτονική FFTN παρουσιάζει θεωρητικά μικρότερο δυναμικό εύρους ζώνης από την FFTC και ουσιαδώς μικρότερο δυναμικό από τις αρχιτεκτονικές FFTP (δηλαδή FFTB και FFTH).

Κατηγοριοποίηση ως προς την τοπολογία της υποδομής πρόσβασης

Η υποδομή συμπεριλαμβανομένων των εκσκαφών, σωληνώσεων και

οπτικών καλωδίων μπορεί να αναπτυχθεί είτε ως γενική υποδομή δικτύματος (mesh) είτε ως δακτύλιος (ring) είτε ως αστέρας/δένδρο (star/tree):

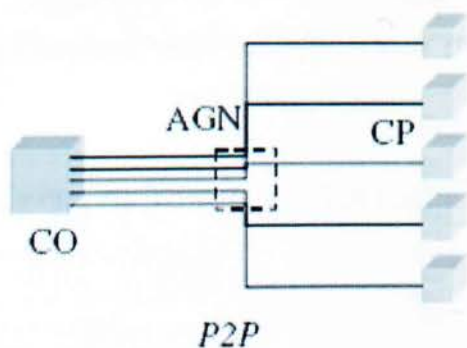


Σχήμα 1: Τοπολογία υποδομών πρόσβασης

Είναι προφανές ότι η πρώτη περίπτωση είναι υπερσύνολο των άλλων καθώς η τοπολογία των ενεργών ινών στην πρώτη περίπτωση μπορεί να πάρει τη μορφή αστέρα, δένδρου ή δακτυλίου. Είναι όμως συγχρόνως κατανοητό, ότι το κόστος γενίκευσης μιας τέτοιας υποδομής σε ήδη δομημένους αστικούς χώρους είναι ιδιαίτερα υψηλό γι' αυτό αναμένεται η συνολική ή υποδομή (εκσκαφές, σωληνώσεις, καλώδια) να αναπτύσσεται έτσι ώστε να εξυπηρετεί καλύτερα ή φθηνότερα την (τις) επιδιωκόμενη(ες) τοπολογία(ες) των οπτικών ινών. Γενικώς η υποδομή μεταξύ του CO (Central Office) και των CP (Customer Premises) μπορεί και πρέπει να επιτρέπει να αναπτυχθούν οι πλέον συνήθεις τοπολογίες αστέρα, δένδρου και δακτυλίου. Η γενική κατηγοριοποίηση σύμφωνα με τα παραπάνω περιγράφεται στις επόμενες υπο ενότητες.

“Point-to-Point” (P2P)

Με την προσέγγιση “P2P” η υποδομή παρέχει στο φυσικό επίπεδο, αστεροειδώς, διακριτές οπτικές οδούς από το απομακρυσμένο σημείο παρουσίας του παρόχου προς κάθε υποστηριζόμενο από το σημείο αυτό, χρήστη. Είναι σαφές ότι η «διακριτότητα» της κάθε σύνδεσης όσο απομακρυνόμαστε από τον παραπάνω κόμβο προς το εσωτερικό του δικτύου, μπορεί να εξασφαλίζεται όχι στο φυσικό επίπεδο αλλά σε ανώτερα επίπεδα (λ, L2, L3).

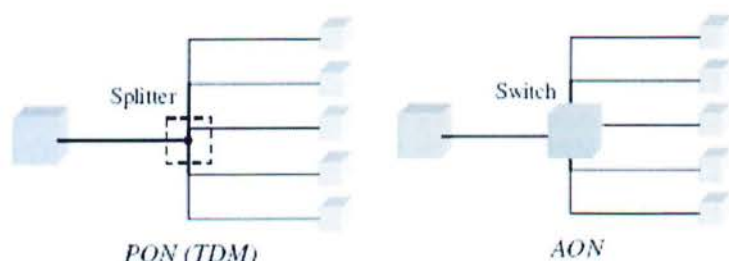


Σχήμα 2: Συνδέσεις σημείου προς σημείο (P2P)

Πρακτικά, με τον όρο P2P αναφερόμαστε στον αστέρα πρόσβασης Ενεργών Οπτικών Δικτύων (AON) από το ενεργό στοιχείο (L2 ή L3) του ακραίου κόμβου πρόσβασης έως το ενεργό στοιχείο (L2 ή L3) του κτιρίου (FFTB) ή του χρήστη (FFTH).

“Point-to-Multipoint” (PMP)

Με την προσέγγιση “PMP” η οπτική υποδομή αναπτύσσεται με τρόπο ώστε να δίνει τη δυνατότητα δένδροειδούς διακλάδωσης οπτικών μονοπατιών, χωρίς ενδιάμεσους κόμβους, μέσω διακλαδωτήρων από το σημείο παρουσίας του παρόχου, προς διαδοχικές ομάδες γειτνιαζόντων χρηστών. Οι οπτικές οδοί από τον πάροχο προς τον διακλαδωτή, εξυπηρετούν την κίνηση από και προς πολλούς χρήστες, η οποία μεταφέρεται αυτούσια σε όλες τις ακτίνες του αστέρα. Ουσιαστικά οι χρήστες στα άκρα του αστέρα μοιράζονται το εύρος ζώνης μιας οπτικής οδού με επιπλέον απώλειες και αυξημένη πολυπλοκότητα για την απομόνωση των κινήσεων των χρηστών.

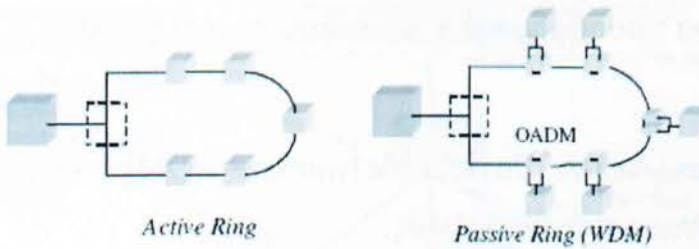


Σχήμα 3: Συνδέσεις σημείου προς πολλαπλά σημεία (PMP)

Αν και τοπολογίες PMP μπορούν να εντοπιστούν τόσο σε Ενεργά (AON) όσο και σε Παθητικά Οπτικά Δίκτυα (PON), πρακτικά ο όρος PMP τείνει να αναφέρεται περισσότερο στον τρόπο ανάπτυξης των παθητικών δικτύων (PON), από το Κεντρικό Σημείο του Παρόχου (Central Office - CO) έως το χρήστη. Το ισοδύναμο για την περίπτωση των ενεργών δικτύων είναι η σύνδεση του ακραίου μεταγωγού πρόσβασης (Switch) με το χρήστη το οποίο είναι τοπολογίας P2P και όχι PMP.

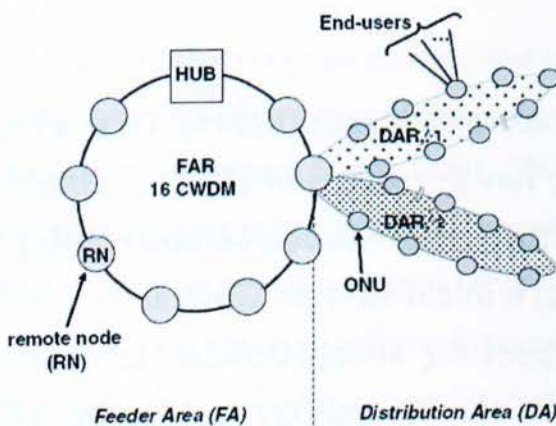
“Ring”

Η τοπολογία δακτυλίου επιτρέπει την κοινή χρήση οπτικού μέσου το οποίο, υπό τη μορφή δακτυλίου, συνδέει χρήστες ή/και παρόχους ή/και εσωτερικούς κόμβους του δικτύου. Ο διαχωρισμός των κινήσεων μπορεί να γίνει είτε με παθητικές διατάξεις πολυπλεξίας στο φυσικό επίπεδο όπως WDM, είτε με ενεργά στοιχεία (L2 ή L3).



Σχήμα 4: Τοπολογία δακτυλίου

Παράδειγμα χρήσης τοπολογίας δακτυλίου και υποδακτυλίων με πλήρη αξιοποίηση της τεχνολογίας CWDM απεικονίζεται στο παρακάτω διάγραμμα:



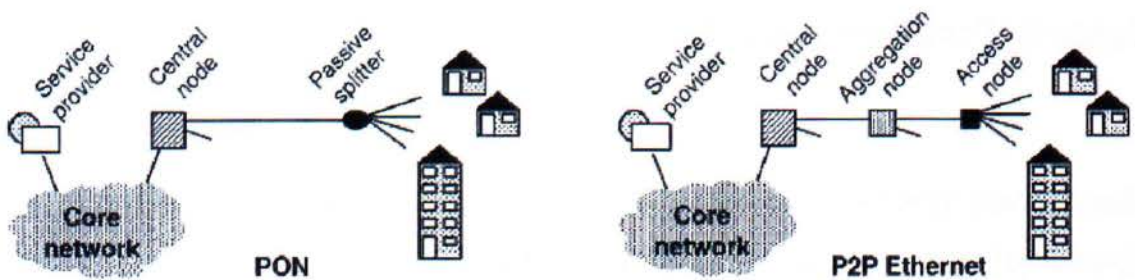
Σχήμα 5: Τοπολογία δακτυλίου με αξιοποίηση CWDM

Κατηγοριοποίηση ως προς τις τεχνολογίες πρόσβασης (PON vs AON)

Η βασικότερη διάκριση των δικτύων FTTx βασίζεται στη χρήση ή μη ενεργών στοιχείων Ethernet/IP. Αν και η διάκριση αυτή φαίνεται καθαρά τεχνολογική, στην ουσία αντικατοπτρίζει δύο σχολές σκέψης και διαφορετικές πολιτικές ανάπτυξης των δικτύων, η εκτενής ανάλυση των οποίων εκφεύγει του παρόντος. Οι δύο κατηγορίες είναι:

α. Τα παθητικά οπτικά δίκτυα πρόσβασης (Passive optical Networks - PON)

β. Τα Ενεργά Οπτικά Δίκτυα (Active Optical Networks - AON) ή κοινώς P2PEthernet όπως αναφέρθηκε προηγουμένως.

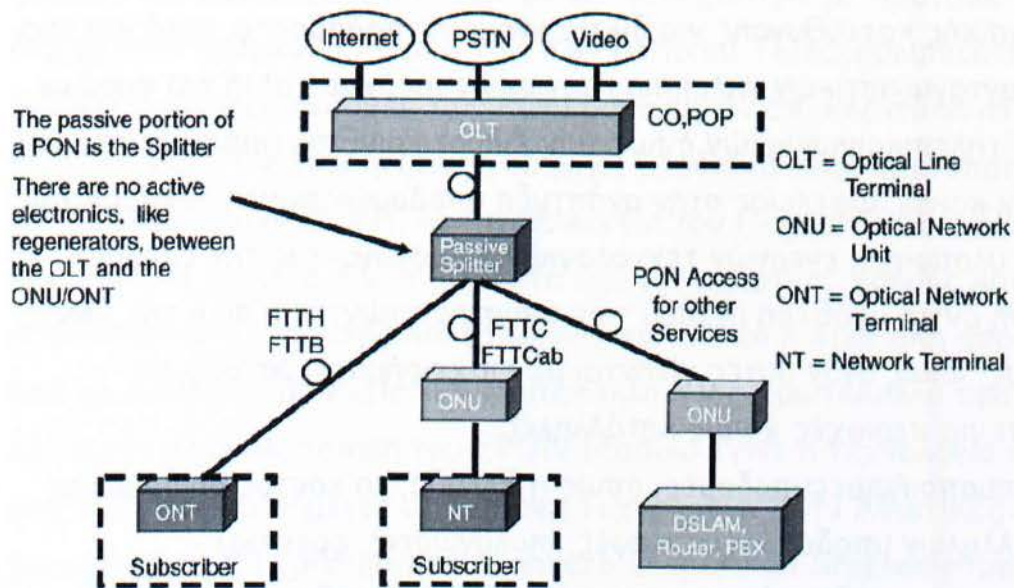


Σχήμα 6: Τεχνολογίες δικτύων πρόσβασης

Η τεχνολογία PON απαρτίζεται από το κεντρικό σημείο (Central Office) όπου βρίσκεται ο κεντρικός τερματισμός των οπτικών ινών (Optical Line Termination), τηνοπτική υποδομή ανεπτυγμένη στη μορφή δένδρων (PMP) με παθητικούς διαχωριστήρες (splitters) η οποία καλείται Optical Distribution Network (ODN) και τις τερματικές πύλες (Optical Network Terminal - ONT κατά ITU ή εναλλακτικά το συνδυασμό Optical Network Unit - ONU και Network Termination Equipment - NT κατά IEEE). Στις περιπτώσεις όπου μία σύνδεση υποστηρίζει πολλαπλούς χρήστες (Multiple

Tenant Units - MTU) (βλ. FTTB ή και FFTN), οι τερματικές μονάδες γεφυρώνουν το οπτικό δίκτυο με τεχνολογίες Ethernet ή DSL στην πλευρά των χρηστών.

PON Architecture with Optical Splitters at the RN (remote node)



Σχήμα 7: Αρχιτεκτονική PON

Το PON είναι δίκτυο μοιραζόμενο μέσου, δεδομένου ότι η OLT αποστέλλει το ίδιο σήμα κίνησης σε όλα τα ONT με τρόπο παρόμοιο ενός ασύρματου σταθμού βάσης. Κάθε ONT διαβάζει μόνο τα πακέτα που αναφέρονται σε αυτό. Για την αποφυγή λαθρανάγνωσης χρησιμοποιείται κρυπτογράφηση. Η τεχνολογία PON παρουσιάζεται λεπτομερέστερα στις επόμενες ενότητες. Αντίθετα η τεχνολογία AON, κοινώς P2P Ethernet, χρησιμοποιεί ενεργούς μεταγωγείς επιπέδου L2 ή και L3 αντί για διαχωριστές/συνδυαστές στο χρήστη και στον κόμβο πρόσβασης με δυνατότητα μεταγωγέων - συγκεντρωτών (aggregators) προς το εσωτερικό του

δικτύου. Ενώ οι τεχνολογίες PON ευδοκίμουν στην Αμερική και ιδιαίτερα στην Ασία όπου υπάρχει προιστορία και μεγάλη εγκατεστημένη βάση, στην Ευρώπη η τεχνολογία PON έχει ουσιαστικά υποστηρικτές μόνο στο χώρο μερικών κάθετα οργανωμένων τηλεπικοινωνιακών οργανισμών. Αντίθετα, στην Ευρώπη η τεχνολογία Ethernet κερδίζει συνεχώς έδαφος δεδομένης της Ευρωπαϊκής κατεύθυνσης για δίκτυα ανοικτής πρόσβασης, αλλά και της εμπλοκής ανταγωνιστικών τηλεπικοινωνιακών παρόχων, αλλά και φορέων πέραν των τηλεπικοινωνιακών όπως των Δημοτικών Επιχειρήσεων και των οργανισμών κοινής ωφελείας στην ανάπτυξη υποδομών που επιτρέπουν την αποδοτική υλοποίηση ενεργών τεχνολογιών. Αποφεύγοντας την εμπλοκή στην έντονη αντιπαράθεση μεταξύ των υποστηρικτών της μίας ή της άλλης τεχνολογίας, ιδίως όταν αυτές γίνονται με επιχειρήματα κόστους, να τονιστεί ότι για περιοχές χωρίς κατάλληλες επαναχρησιμοποιήσιμες υποδομές, όπως η Ελλάδα, το κόστος δημιουργίας νέων κατάλληλων υποδομών (εκσκαφές, σωληνώσεις, φρεάτια) - ανεξαρτήτως της επιδιωκόμενης τεχνολογίας - επισκιάζει κατά πολύ το κόστος του τελικού οπτικού δικτύου πρόσβασης. Αρκούμεστε να επισημάνουμε ότι η σχετική απόφαση επιλογής είναι περισσότερο θέμα πολιτικής σχετικά με τον «κλειστό» (συνήθως σε PON) ή «ανοικτό» (συνήθως σε AON) χαρακτήρα της πρόσβασης χρηστών και παρόχων υπηρεσιών στις υποδομές, παρά θέμα κόστους.

Τεχνολογίες PON

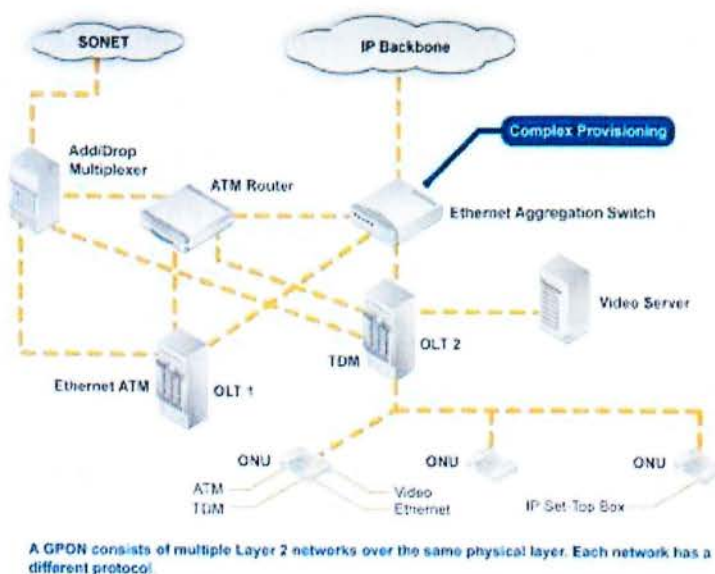
Η βασική προετοιμασία για την ανάπτυξη παθητικών αρχιτεκτονικών έγινε τη δεκαετία του 1990 από την ομάδα εργασίας Full Service Access Network (FSAN) απαρτιζόμενη από εκπροσώπους τηλεπικοινωνιακών φορέων και κατασκευαστικών οίκων και συνεχίστηκε με προτυποποίηση δύο διαδοχικών γενεών PON από την International Telecommunications Union (ITU). Οι πρώτες εκδοχές των PON βασίστηκαν αποκλειστικά στην τεχνολογία ATM ενώ η εξέλιξη οδήγησε σταδιακά στην προτυποποίηση του BPON (broadband PON), και στη συνέχεια του (Gigabit PON) GPON από την ITU. Τα σχετικά πλεονεκτήματα της γενικευμένης χρήσης και σύγκλισης των εφαρμογών σε Ethernet και IP και η σταδιακή απομάκρυνση από το ATM ως αποκλειστικό πρωτόκολλο ή ως πρωτόκολλο προτίμησης, οδήγησαν στην υλοποίηση του EPON το οποίο έγινε η τεχνολογία επιλογής στις πλέον προωθημένες από άποψη τεχνολογίας PON Ασιατικές χώρες. Η τεχνολογία PON χρησιμοποιεί Nonzero Dispersion Shifted Fiber (ITU-T G.652) και κάνει χρήση της WDM για διαχωρισμό της upstream και downstream κίνησης. BPON, GPON και EPON χρησιμοποιούν το ίδιο πλάνο συχνοτήτων για το διαχωρισμό αυτό: (1490 nanometer για κίνηση downstream και 1310nm για κίνηση upstream. Τα 1550nm διατηρούνται για άλλες υπηρεσίες με χαρακτηριστικότερο παράδειγμα το αναλογικό RF video. Τα πρωτόκολλα πρόσβασης τα οποία χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση FTTx με χρήση παθητικών δικτύων PON είναι :

ITU-T G.983 APON (ATM Passive Optical Network). Το αρχικό πρωτόκολλο για PON. Αναπτύχθηκε κυρίως για εφαρμογές επιχειρήσεων, όχι για γενική χρήση και βασίζεται σε ATM.

ITU-T G.983 BPON (Broadband PON) είναι η μετεξέλιξη του APON. Προσθέτει υποστήριξη για WDM, υψηλότερη ρυθμαπόδοση,

δυναμική απόδοση χωρητικότητας και επιβιωσιμότητα. Συνοδεύεται από το πρότυπο OMCI για διαχείριση των στοιχείων μεταξύ OLT και ONU/ONT, επιτρέποντας την ανάμιξη συσκευών από διαφορετικούς κατασκευαστές. Μία τυπική αρχιτεκτονική BPON παρέχει 622 Mbps (OC-12) downstream και 155 Mbps (OC-3) of upstream traffic, αν και το πρότυπο υποστηρίζει θεωρητικά και μεγαλύτερες ταχύτητες.

ITU-T G.984 GPON (Gigabit PON) είναι η μετεξέλιξη του προτύπου BPON. Επιτρέπει υψηλότερες ταχύτητες, αυξημένη ασφάλεια, και επιλογή του πρωτοκόλλου επιπέδου 2 (L2) (ATM, GEM, Ethernet). Η τυπική ταχύτητα είναι 2.488 Gbps downstream και 1.244 Gbps upstream. Η μέθοδος ενθυλάκωσης GPON (GPON Encapsulation Method - GEM) επιτρέπει αποδοτική πακετοποίηση με κατακερματισμό πλαισίου, δίνοντας περισσότερες δυνατότητες για παροχή ποιότητας υπηρεσίας (Quality of Service - QoS) σε φωνή και video. Σήμερα είναι το πρότυπο επιλογής μεγάλων τηλεπικοινωνιακών φορέων κυρίως της Αμερικής.



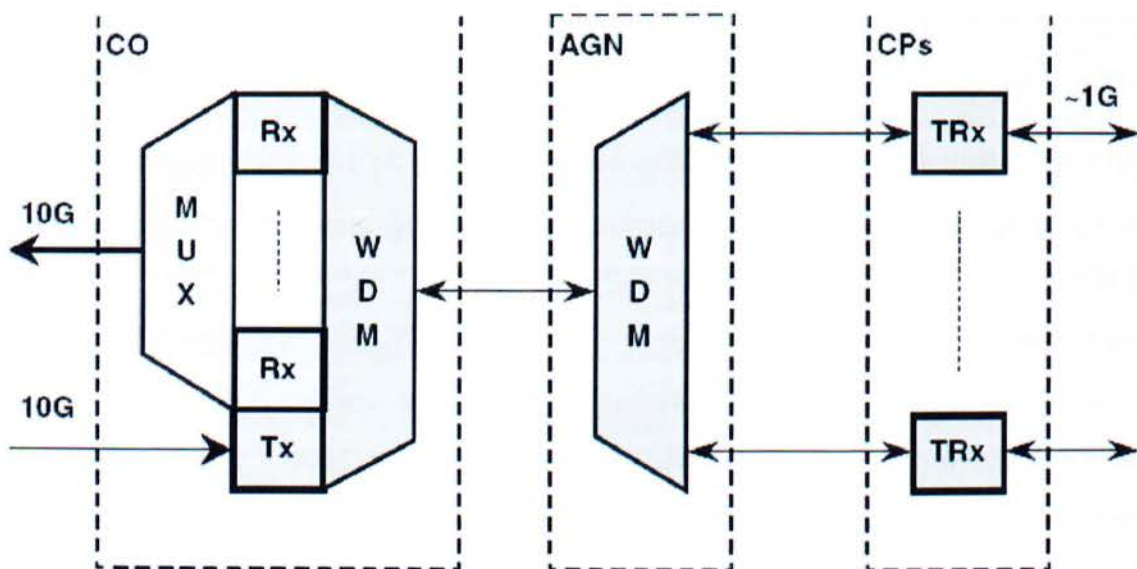
Σχήμα 8: Αρχιτεκτονική GPON

IEEE 802.3ah EPON or GPON (Ethernet PON). Είναι ένα πρότυπο της IEEE με χρήση αποκλειστικά Ethernet για την ενθυλάκωση των πακέτων δεδομένων. Το 802.3ah είναι πλέον μέρος του πρωτύπου IEEE 802.3. Ολοκληρώθηκε το ως μέρος του Ethernet First Mile (EFM) project. Χρησιμοποιεί απλοποιημένα πλαίσια κατά 802.3 Ethernet με συμμετρικές ταχύτητες 1 Gbps και στις δύο κατευθύνσεις. Σχήμα 9: Αρχιτεκτονική EPON Έχει απεριόριστο θεωρητικό splitting rate και πρακτικά μπορεί να υποστηρίξει 1:64 (με FEC) με φθηνότερο εξοπλισμό απ' ό,τι η GPON. Το EPON είναι κατάλληλο τόσο για εφαρμογές data αλλά και για πλήρεις υπηρεσίες φωνής και video. Σήμερα είναι εγκατεστημένες περίπου 15 εκατομμύρια θύρες EPON. Με την εμπλοκή της Κίνας στην εντατική ανάπτυξη δικτύων EPON, η εγκατεστημένη βάση αναμένεται να ανέβει στα 20 εκατομμύρια θύρες έως το τέλος του 2008.

IEEE 802.3av 10G-EPON (10 Gigabit Ethernet PON). Είναι ένα πρότυπο της IEEE Task Force για υποστήριξη αυξημένων απαιτήσεων έως 10 Gbps και είναι συμβατό με το 802.3ah EPON. Το 10GigEPON χρησιμοποιεί διακριτά μήκη κύματος για 10G και 1G downstream, ενώ εξακολουθεί να χρησιμοποιεί κοινό μήκος κύματος και για 10G και 1G upstream με διαχωρισμό ATDMA. Προδιαγράφεται τόσο η άμεση χρήση του από τις ασιατικές χώρες όσο και ο μελλοντικός συνδυασμός του με κάποια μορφή WDM-PON στα άκρα, δεδομένου ότι έχει τη δυνατότητα χρήσης πολλαπλών μηκών κύματος και στις δύο κατευθύνσεις.

"WDM-PON" Wavelength Division Multiplexing PON. Είναι ένας τύπος PON ο οποίος προωθείται τελευταία από διάφορους κατασκευαστές με το επιχείρημα της εκτεταμένης χρήσης διακριτών μηκών κύματος ώστε να μπορεί να ικανοποιηθεί η συνεχώς αυξανόμενη απαίτηση για upstream και downstream bandwidth αλλά και για την προστασία κάθε ιδιαιτερίας

ζεύξης. Η τεχνολογία αυτή ποντάρει στη μελλοντική αύξηση της ζήτησης, μείωση του σχετικού κόστους και ευκολία μαζικής παραγωγής. Η WDM-PON υπόσχεται πολλαπλάσιο εύρος ζώνης σε μεγαλύτερες αποστάσεις αυξάνοντας το περιθώριο απωλειών ισχύος, με αποφυγή των ευαίσθητων σε απώλειες διαχωριστών. Τα πολλαπλά μήκη κύματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε για τη δημιουργία εικονικών (virtual) PON εγκατεστημένων στην ίδια συσκευή, είτε για την εκμετάλλευση με στατιστική πολυπλεξία χαμηλότερων καθυστερήσεων και μεγαλύτερης ρυθμαπόδοσης. Δεν υπάρχει πρότυπο για την WDM-PON ούτε συμφωνία για τον ορισμό της.



Σχήμα 10: Αρχιτεκτονική WDM-PON

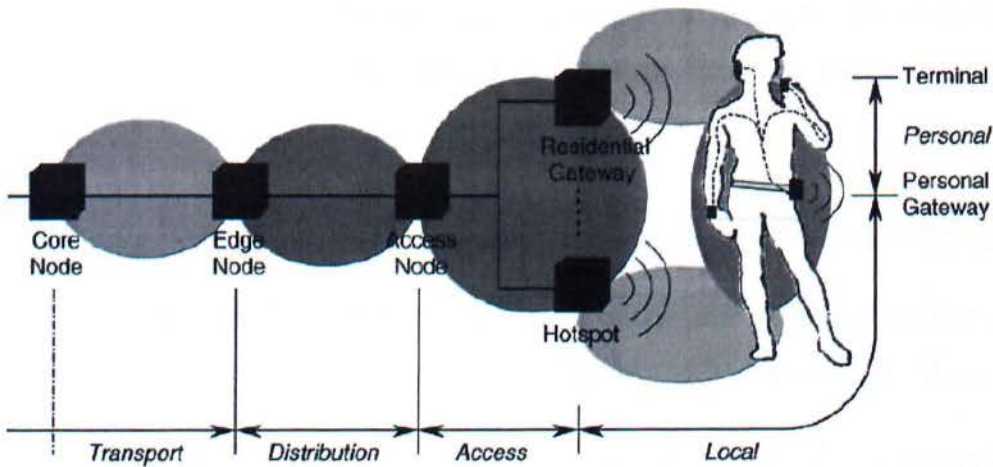
Σύμφωνα με κάποιες προσεγγίσεις η WDM-PON δεν είναι παρά ένα αφιερωμένο μήκος κύματος για κάθε ONU. Άλλες προσεγγίσεις προτείνουν τη χρήση του όρου για οποιαδήποτε χρήση WDM ακόμη και στη

μίαδιεύθυνση ενός συστήματος PON. Μία προτεινόμενη αρχιτεκτονικήαπεικονίζεται στο παραπάνω διάγραμμα.

Τεχνολογίες Ethernet AON (L2 και L3)

Το πρωτόκολλο πρόσβασης που χρησιμοποιείται για την υλοποίηση FFTP με χρήσηενεργών δικτύων (AON) είναι:

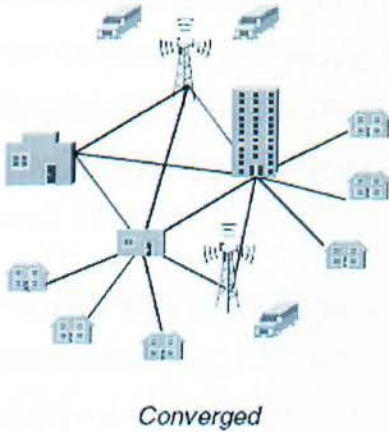
"EP2P" οριζόμενο ως Ethernet over P2P 100baseFX, 100baseLX, 100baseBX,1000baseLX και 1000baseBX κατά IEEE 802.3ahΗ ιεραρχική ονοματολογία (Central Node ή Head End, Optical Distribution Network,ONT κλπ) που συνεπάγεται από την κεντροβαρή δενδροειδή τοπολογία ενός δικτύουPON, χάνει ουσιαστικά τη σημασία της σε ένα ενεργό δίκτυο Ethernet. Στηνπραγματικότητα δεν υπάρχει κοινά αποδεκτή ορολογία για να περιγράψει τουςπιθανούς τρόπους ανάπτυξης ενός ενεργού δικτύου.Σχηματικά, οι κεντρικοί κόμβοι (ισχυροί μεταγωγείς ή δρομολογητές) συνδέονται μετο δίκτυο κορμού. Έως το χρήστη μεσολαβούν κόμβοι -συγκεντρωτές (aggregationnodes) ή αλλιώς κόμβοι διανομής (distribution nodes). Με τη σειρά τους οι κόμβοιδιανομής εξυπηρετούν κόμβους πρόσβασης (access nodes) απ' όπου εξυπηρετούνται τοπικά δίκτυα των χρηστών.



Σχήμα 11: Διασύνδεση κόμβων σε Τεχνολογίες Ethernet AON

Υπηρεσίες βασισμένες στο πρωτόκολλο IP μεταφέρονται ενθουλακωμένες αποκλειστικά σε πλαίσια Ethernet. Για σύγκριση, στο παραδοσιακό DSL η κίνηση IP μεταφέρεται πάνω από ATM, και ο αντίστοιχος κόμβος πρόσβασης είναι ένα DSLAM. Αναλόγως με την περίπτωση, στα ενεργά δίκτυα απαντώνται διαφορετικές λύσεις ως προς τη χρήση συσκευών επιπέδου L2 ή/και L3. Συνήθως οι κεντρικοί κόμβοι είναι δρομολογητές IP συνδεδεμένοι σε δίκτυο κορμού ή μεταγωγείς ικανοί να παρέχουν multipoint-to-multipoint Transparent LAN services (TLS). Στους ενδιάμεσους κόμβους βρίσκουμε ισχυρούς μεταγωγείς (1-10 Gbps ανά θύρα) και στους κόμβους πρόσβασης μεταγωγείς ή δρομολογητές (100 Mbps - 1Gbps ανά θύρα). Τυπικά οι χρήστες συνδέονται με ταχύτητες 10 - 100 Mbps μέσω των μονάδων CPE, χωρίς να αποκλείεται τεχνολογικά η σύνδεση με υψηλότερες ταχύτητες (1Gbps). Με αυξανόμενες απαιτήσεις για πλεονάζουσες συνδέσεις, και μεγαλύτερο εύρος ζώνης, τίποτε δεν εμποδίζει, αντίθετα πολλά συνηγορούν, στην πολλαπλή σύνδεση κόμβων (ή ακόμη και χρηστών) μεταξύ τους και η πιθανότερη εξέλιξη των ενεργών δικτύων για υποστήριξη πλειάδας εφαρμογών συγκλινουσών ως προς τη χρήση IP, είναι αυτή του δικτύωματος (mesh) όπως αυτή του

παρακάτω διαγράμματος:



Σχήμα 12: Διασύνδεση δικτύωματος (mesh)

Η επιλογή μεταξύ ενός δικτύου πρόσβασης βασισμένου σε μεταγωγή (L2) ήδρομολόγηση (L3) καθορίζεται από πολλούς παράγοντες όπως το πόσο ασφαλές σεμελλοντικές μεταβολές (future proof) επιδιώκεται να είναι το δίκτυο, την επιδιώξη τυποποίησης των διεπαφών του, τον προϋπολογισμό του, το είδος των υπηρεσιών που θα αναπτυχθούν στο δίκτυο και την πολιτική νομής, χρήσης και πρόσβασης σε αυτό. Επίσης οι απαιτήσεις διαχείρισης, πολυπλοκότητας και αυτοματοποίησης επεκτάσεων και επικαιροποίησης παίζουν σημαντικό ρόλο στην τελική επιλογή. Αποφεύγοντας να εισέλθουμε σε τεχνική συζήτηση, και δεδομένου ότι το θέμα είναι εν μέρει τεχνικό, θα θέλαμε να τονίσουμε ότι παρά τις όποιες διαφορές, για τις περιπτώσεις ενεργών δικτύων που αναπτύσσονται, τα παρακάτω σημεία φαίνεται να είναι κοινά στην ανάπτυξή τους:

Η χρήση P2P Ethernet

Οι υπηρεσίες είναι βασισμένες σε IP και ως τεχνολογία μεταφοράς από τον χρήστη (CPE), εντός του δικτύου και έως και τους κεντρικούς κόμβους χρησιμοποιείται αποκλειστικά Ethernet. Στους κεντρικούς κόμβους, ή σε χώρους συνεγκατάστασης τοποθετούνται ταιδρομολογητές IP. Στους ενδιάμεσους κόμβους πρόσβασης τοποθετούνται είτε δρομολογητές είτε μεταγωγείς με λειτουργικότητα L3.

Ο εξοπλισμός τερματισμού ινών, τοποθετείται εντός κτιρίων (FFTB) ή διαμερισμάτων (FFTH).

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

Η παρουσίαση που γίνεται αφορά στην κατασκευή, σε τοπικό επίπεδο, βασικούολοκληρωμένου και ενιαίου μέρους φυσικής δικτυακής υποδομής μητροπολιτικώνοπτικών ινών σε Δήμους της χώρας, με πρόβλεψη της ενσωμάτωσης, τηςσυμπληρωματικότητας και της διαλειτουργικότητας του με ευρύτερες οπτικέςδικτυακές υποδομές στο τοπικό, περιφερειακό, και εθνικό επίπεδο.

Είναι ιδιαίτερα σημαντικό από τα έργα αυτά να προκύψουν ουδέτερες φυσικέςυποδομές επί των οποίων θα μπορεί να στηριχθεί η ανάπτυξη λειτουργικών δικτύωντων οποίων η χωρητικότητα θα μπορεί να αυξάνει για ιδιαίτερα μεγάλο χρονικόδιάστημα με την εισαγωγή των κατάλληλων οπτικών καλωδίων στους κενούςσωλήνες, με αναβάθμιση των ενεργών δικτυακών συσκευών επικοινωνίας στα άκρατου δικτύου, χωρίς αλλαγή της φυσικής υποδομής αυτής, και με το ελάχιστο δυνατόλειτουργικό κόστος. Οι υποδομές δεν θα πρέπει να δομηθούν στη βάση κάποιαςσυγκεκριμένης σημερινής εφαρμογής ή υπηρεσίας, αλλά θα πρέπει να επιτρέπουνπληθώρα εναλλακτικών εφαρμογών και υπηρεσιών στον τομέα των τηλεπικοινωνιών.

Επειδή το αρχικό κόστος του έργου για κάθε Δήμο είναι αρκετά υπολογίσιμο, είναιιδιαίτερα σημαντική η πρόβλεψη της βαθμιαίας επέκτασης των υποδομών αυτών γιατην υποστήριξη περισσότερων χρηστών με το ελάχιστο δυνατό κ όστος.

Ορισμοί

Κατ' αρχάς αποσαφηνίζονται ορισμοί οι οποίοι είναι χρήσιμοι για τον προσδιορισμότου εύρους των έργων στα οποία αναφέρεται ο παρών οδηγός και των σχέσεωνμεταξύ υποδομών διαφορετικού εύρους: WAN (Wide

Area Network_Δίκτυα ευρείας περιοχής): Όσον αφορά τον παρόντα οδηγό ως δίκτυο ευρείας περιοχής εννοούμε τα υπάρχοντα η μελλοντικά δίκτυα εθνικού ή και υπερεθνικού επιπέδου που συνήθως έχουν τη μορφή αραιού πλέγματος με κόμβους σε μεγάλα αστικά κέντρα της χώρας. Τα έργα στα οποία αναφέρεται ο παρών οδηγός δεν αφορούν τα δίκτυα ευρείας περιοχής αλλά πρέπει να λαμβάνουν υπ' όψη τους υπάρχοντες και μελλοντικούς κόμβους τους.

RAN (Regional Area Networks_ Περιφερειακά δίκτυα): Ο όρος είναι αδόκιμος, αλλά χρησιμοποιείται ευρέως τελευταία λόγω του μεγάλου ενδιαφέροντος που έχουν οι δικτυακές υποδομές στο περιφερειακό επίπεδο και της σημασίας για την οικονομική ανάπτυξη ολόκληρων περιοχών από τα δίκτυα αυτά. Όσον αφορά τον παρόντα οδηγό ως περιφερειακά δίκτυα εννοούμε υπάρχοντα η μελλοντικά δίκτυα στο επίπεδο π.χ μιας διοικητικής περιφέρειας, που συνήθως έχουν τη μορφή πυκνότερου πλέγματος ή διασυνδεδεμένων δακτυλίων με κόμβους τοποθετημένους σε μεγάλους δήμους της περιφέρειας. Κατά μία έννοια τα RAN ανήκουν στην κατηγορία των δικτύων ευρείας περιοχής, αλλά οι εξελίξεις της τεχνολογίας των οπτικών ινών, έχουν καταστήσει δυνατή την ανάπτυξη δικτύων «διαμέτρου» πολλών δεκάδων χιλιομέτρων με πρότυπα που προσιδιάζουν σε μικρότερης έκτασης δίκτυα. Τα έργα στα οποία αναφέρεται ο παρών οδηγός δεν αφορούν τα περιφερειακά δίκτυα αλλά πρέπει να λαμβάνουν υπ' όψη τους υπάρχοντες και μελλοντικούς κόμβους τους οι οποίοι μπορεί και πρέπει να ταυτίζονται με τους κύριους κόμβους του υπό κατασκευή δικτύου.

MAN (Metropolitan Area Networks_ Μητροπολιτικά δίκτυα): Ο όρος παρουσιάζει μια ελαστικότητα όσον αφορά το εύρος της περιοχής που καταλαμβάνουν τα δίκτυα αυτά. Για την Ελλάδα, ένα τυπικό (από άποψη

μεγέθους για ευρωπαϊκή χώρα) μητροπολιτικό δίκτυο (100 -300 km) θα μπορούσε να καλύψει ένα ολόκληρο νομό ή ακόμη και μία περιφέρεια. Παρ' όλα αυτά, όσον αφορά τον παρόντα οδηγό ως Μητροπολιτικά δίκτυα εννοούμε εφ' εξής υπάρχοντα ή μελλοντικά δίκτυα στο επίπεδο ενός μεγάλου αστικού κέντρου, ή ενός συνόλου μικρότερων δήμων που συνήθως έχουν τη μορφή ενός ή πολλαπλών δακτυλίων και συμπληρωματικών υποδομών πρόσβασης. Τα έργα στα οποία αναφέρεται ο παρών οδηγός αφορούν μέρος ή όλο ενός μητροπολιτικού δικτύου στο επίπεδο ενός δήμου, με έμφαση στην πρόσβαση στους κύριους κόμβους του δικτύου αυτού.

Κύριος κόμβος: Κύριο σημείο διασύνδεσης οπτικών αγωγών και καλωδίων του περιφερειακού ιστού για κάλυψη των συναθροισμένων επικοινωνιακών αναγκών ενός μεγάλου δήμου ή μιας ευρύτερης αλλά πλέον αραιοκατοικημένης περιοχής ή μέρους ενός μεγάλου αστικού κέντρου. Για λόγους διαθεσιμότητας της υποδομής, επιδιώκεται κάθε κύριος κόμβος να είναι άμεσα συνδεδεμένος με παραπάνω του ενός ομότιμους κύριους κόμβους. Στους κύριους κόμβους εγκαθίσταται ενεργός εξοπλισμός, πέραν των παθητικών διατάξεων μικτονομής οπτικών ινών και προβλέπεται συν-εγκατάσταση ή πρόσβαση διαχειριστών και παρόχων υπηρεσιών και εφαρμογών.

Κύριο δίκτυο: Το δίκτυο υποδομών και οπτικών καλωδίων για τη διασύνδεση μεταξύ των κυρίων κόμβων με την έννοια που ορίστηκαν παραπάνω (regional network, trunk network κλπ). Στις περισσότερες περιπτώσεις οι διαδρομές μεταξύ των κυρίων κόμβων γειτνιάζουν ή ταυτίζονται με εθνικά ή περιφερειακά δίκτυα υποδομών άλλου τύπου (όπως οδικά δίκτυα, σιδηροδρομικά δίκτυα, δίκτυα μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας, δίκτυα μεταφοράς φυσικού αερίου, δίκτυα άρδευσης ή ύδρευσης).

Κόμβος διανομής: Το σημείο διασύνδεσης οπτικών αγωγών και καλωδίων του κατ'εξοχήν μητροπολιτικού δικτύου (δικτύου διανομής) για συγκέντρωση των συναθροισμένων επικοινωνιακών αναγκών μιας γεωγραφικής περιοχής ιδίως στις περιπτώσεις όπου α) δεν συντρέχουν λόγοι για τοποθέτηση κόμβου υ κορμού όπως στην περίπτωση ενός μικρού Δήμου, η β) για την εξυπηρέτηση ενός τμήματος μεγάλου αστικού κέντρου και την διευκόλυνση της σύνδεσης των κόμβων χαμηλότερου επιπέδου προς το κύριο δίκτυο. Ανάλογα με το μοντέλο ανάπτυξης των λειτουργικών δικτύων, στους κόμβους διανομής μπορεί να μην εγκατασταθεί ενεργός εξοπλισμός, αλλά μόνο διατάξεις μικτονόμησης οπτικών ινών. Για διάφορους λόγους όμως, όπως η μεγάλη απόσταση από τον πλησιέστερο κύριο κόμβο ή η έλλειψη κύριου κόμβου ή η στενότητα στον αριθμό οπτικών ινών ή η επιθυμία πολλαπλασιασμού του εύρους ζώνης ή άλλες εξωγενείς αιτίες, στον κόμβο διανομής μπορεί να τοποθετηθεί παθητικός ή/και ενεργός εξοπλισμός για πολυπλεξία.

Δίκτυο διανομής: Το πυκνότερο δίκτυο για τη διασύνδεση μεταξύ των κόμβων διανομής ή/και μεταξύ κόμβων διανομής και κύριων κόμβων. Στις περισσότερες περιπτώσεις οι διαδρομές (χάνδακες) μεταξύ κόμβων διανομής ταυτίζονται με διαδρομές του δικτύου κορμού, του δικτύου πρόσβασης και «τρέχουν» παράλληλα με δίκτυα άλλων υποδομών (οδικό δίκτυο, δίκτυο αποχέτευσης, κλπ). Για λόγους διαθεσιμότητας της υποδομής, επιδιώκεται η έμμεση σύνδεση κάθε κόμβου διανομής με περισσότερους του ενός κύριους κόμβους είτε απ' ευθείας είτε εμμέσως ή/και μέσω ενδιάμεσων συνδέσεων με άλλους κόμβους διανομής (π.χ με τη μορφή φυσικών δακτυλίων).

Κόμβος πρόσβασης: Το σημείο διασύνδεσης μεμονωμένων κτιριακών εγκαταστάσεων ή συγκροτημάτων προς το δίκτυο πρόσβασης.

Αποτελεί και σημείοτοποθέτησης ενεργού εξοπλισμού για παροχή δικτυακών υπηρεσιών προς τουςτελικούς χρήστες.

Δίκτυο πρόσβασης: Το πυκνό δίκτυο σύνδεσης των κόμβων πρόσβασης με τοδίκτυο διανομής. Στις περισσότερες περιπτώσεις οι διαδρομές μεταξύ κόμβωνπρόσβασης γειτνιάζουν ή ταυτίζονται και με δίκτυα άλλων υποδομών σε τοπικόεπίπεδο π.χ. μιας γειτονιάς. Για λόγους διαθεσιμότητας και ασφάλειας της υποδομής,αποτελεί λογική επιδίωξη ή έμμεση σύνδεση κάθε κόμβου πρόσβασης μεπερισσότερους του ενός κόμβους διανομής (π.χ με την τοποθέτησή τους σε φυσικόδακτύλιο), αν και αυτό λόγω της πυκνότητας της υποδομής, του συνεπαγόμενουμεγάλου κόστους εναλλακτικών οδεύσεων, της μικρής σχετικά σημασίας των βλαβώνστο επίπεδο μεμονωμένων χρηστών, και της παραδοσιακής πρακτικής ακτινοειδούςανάπτυξης του τοπικού βρόχου, μπορεί να μην είναι καθολικά υλοποιήσιμο. Η δομήτου δικτύου πρόσβασης διαφοροποιείται ως προς την πυκνότητα και την τοπολογίαανάλογα με την περίπτωση της εξυπηρετούμενης περιοχής (αστική, βιομηχανική,αγροτική).

Ειδικές απαιτήσεις οπτικής υποδομής

Απαιτήσεις για το κύριο δίκτυο

Μεταξύ των κυρίων κόμβων του δικτύου, πρέπει να γίνει κάθε προσπάθεια ώστε τοκαλώδιο να είναι διακριτό και ενιαίο χωρίς ενδιάμεσες μικτονομήσεις ή, αν αυτό δενείναι δυνατόν, το κύριο δίκτυο θα μπορεί να μοιράζεται καλώδιο από το δίκτυοδιανομής. Σε κάθε περίπτωση, θα πρέπει να έχει τον ελάχιστο αριθμό συγκολλήσεων,οι οποίες στη δεύτερη αναφερόμενη παραπάνω περίπτωση θα γίνουν κατά προτίμησηεντός των κόμβων διανομής, χωρίς όμως δυνατότητα τερματισμού και

μικτονόμησης, δηλαδή λειτουργικά/λογικά ένας συγκεκριμένος αριθμός ινών θα πρέπει να ενώνει κύριο κόμβο με κύριο κόμβο. Τα ενιαία τμήματα μεταξύ συγκολλήσεων σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να είναι μικρότερα των 2 χιλιομέτρων (εκτός προφανώς των τερματικών τμημάτων που απομένουν μετά την τελευταία συγκόλληση στην κατεύθυνση εγκατάστασης της ίνας προς τον επόμενο κεντρικό κόμβο). Συνήθως μόνο ένα οπτικό καλώδιο εντός ιδιαίτερης υπο-σωληνώσεως απαιτείται για τη σύνδεση δύο κυρίων κόμβων προς τη μία κατεύθυνση ενός κεντρικού δακτυλίου με την προϋπόθεση ότι αυτό είναι επαρκώς διαστασιολογημένο. Η αντίστροφη κατεύθυνση προφανώς θα έχει άλλη διαδρομή. Προβλέποντας την επέκταση του κυρίου δικτύου σε περιφερειακό επίπεδο, και τις συνδέσεις π.χ μεταξύ δήμων ή κοινοτήτων ή δημοτικών διαμερισμάτων, θα χρειαστεί χώρος για ίνες και συνεπώς για καλώδιο και σωληνώσεις στο μέλλον. Για το κύριο δίκτυο, η απόλυτη ελάχιστη προτεινόμενη ποσότητα είναι τρεις (3) εγκατεστημένες υπο-σωληνώσεις κατά μήκος της διαδρομής του κυρίου δικτύου, ασχέτως αν θα χρησιμοποιηθούν σε πρώτη φάση. Γενικότερα, θα πρέπει να υπάρχουν τουλάχιστον $K+1$ υποσωληνώσεις όπου K είναι ο αριθμός των προβλεπόμενων κυρίων κόμβων στους οποίους θα συνδεθούν οι κόμβοι διανομής των συγκεκριμένων έργων. Επιπλέον σωληνώσεις/υπο-σωληνώσεις θα απαιτηθούν εάν ληφθούν υπ' όψη τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω. Προφανώς πρέπει να γίνει προσπάθεια για την εκμετάλλευση της εκκαφής της συγκεκριμένης διόδευσης για τις σωληνώσεις και καλώδια διανομής και της πρόσβασης.

Σημειώνεται ότι στους κύριους κόμβους προβλέπεται να τοποθετηθούν ενεργά και παθητικά στοιχεία πολυπλεξίας και απο-πολυπλεξίας. Έτσι ακόμη και η ανάγκη πλεονασματικής υποστήριξης όλων των χρηστών από περισσότερους του ενός κύριους κόμβους, θα μπορεί να ικανοποιηθεί με μειωμένο αριθμό ινών στο κύριο δίκτυο έως και μία τάξη μεγέθους

μικρότερο από αυτόν που καταλήγει τελικά στους κόμβους πρόσβασης μέσω των δικτύων διανομής και πρόσβασης (βλ. παρακάτω).

Απαιτήσεις για το δίκτυο διανομής

Δεδομένου ότι κάθε κόμβος διανομής συνδέεται τυπικά με δύο κεντρικούς κόμβους ή με ένα κεντρικό κόμβο μέσω δύο διαδρομών, μία (1) υπο-σωλήνωση προς κάθε κατεύθυνση ή δύο (2) υπο-σωληνώσεις προς τη μία κατεύθυνση απαιτούνται για το σκοπό αυτό (ανάλογα με το εάν ο κόμβος διανομής είναι ανάμεσα από τους κυρίους κόμβους ή από την ίδια πλευρά αντιστοίχως), για κάθε κόμβο διανομής. Για το δίκτυο διανομής, η απόλυτη ελάχιστη προτεινόμενη ποσότητα είναι πέντε (5) εγκατεστημένες υπο-σωληνώσεις ή μικροσωληνώσεις. Συνήθως, σωληνώσεις για περισσότερους του ενός κόμβους διανομής, καθώς και σωληνώσεις του δικτύου πρόσβασης θα συνυπάρχουν στην ίδια διόδευση. Συνεπώς πρέπει να υπάρχει πρόβλεψη για περισσότερες υπο-σωληνώσεις. Το καλώδιο από κύριο κόμβο προς κάθε κόμβο διανομής στη βέλτιστη περίπτωση πρέπει είναι διακριτό και ενιαίο.

Σημειώνεται ότι οι κόμβοι διανομής μπορεί αρχικά (για λόγους απλότητας και μικρού κόστους διαχείρισης) να μην είναι τίποτε παραπάνω από διατάξεις μικτονόμησης (cross-connect) οι οποίες υλοποιούν κατά περίπτωση μία ή παραπάνω φυσικές συνδέσεις (χωρίς πλεονασμό ή με πλεονασμό αντίστοιχα) μεταξύ ενός κόμβου πρόσβασης και ενός κυρίου κόμβου. Αυτό όμως σημαίνει ότι σε πλήρη ανάπτυξη, και με ανάγκη πλεονασματικής σύνδεσης κάθε σημείου πρόσβασης προς δύο κεντρικούς κόμβους, ο αριθμός των ινών που πρέπει να μπορεί να υποστηρίξει ο κόμβος διανομής είναι ιδιαίτερα μεγάλος. Η πρόβλεψη ενεργών ή παθητικών στοιχείων πολυπλεξίας και απο-πολυπλεξίας στους κόμβους διανομής, καθώς και της σύνδεσης εν σειρά κόμβων για υλοποίηση τοπικών

δακτυλίων ή αρτηριών με ένα ήπερισσότερα σημεία εξόδου, μπορεί να μειώσει κατά πολύ τις παραπάνω απαιτήσειςσε αριθμό εγκατεστημένων ινών.

Στα παρόντα έργα, θα υπάρχει πρόβλεψη για απ' ευθείας σύνδεση μεταξύ κόμβωνδιανομής εν σειρά, για αντιμετώπιση μελλοντικής ζήτησης σε ίνες κυρίου δικτύου,για την περίπτωση ανυπαρξίας κυρίου δικτύου, και για την ικανοποίηση λειτουργικώνδακτυλίων χωρίς τη διαμεσολάβηση κυρίου κόμβου .

Απαιτήσεις για το δίκτυο πρόσβασης

Το δίκτυο πρόσβασης ενώνει τους κόμβους πρόσβασης με τους κόμβους διανομήςμέσω του καλωδίου πρόσβασης το οποίο με τη μορφή βρόχου διατρέχει φρεάτιαδιακλάδωσης και συγκόλλησης. Σημειώνεται ότι στον κόμβο πρόσβασης, θαυπάρχουν ενεργά στοιχεία μεταγωγής ή/και ενεργά ή παθητικά στοιχεία πολυπλεξίαςγια την υποστήριξη των χρηστών, οπότε ο αριθμός των ινών που αντιστοιχούν σεσυνδέσεις με χρήστες μπορεί τελικά να ικανοποιηθε ί από πολύ μικρότερο αριθμόινών μεταξύ κόμβου πρόσβασης και κύριου κόμβου. Από τον κόμβο πρόσβασηςαναχωρούν ζεύξεις για διακριτούς χρήστες της περιοχής. Ο αριθμός των σωλήνων,Page 50 of 123υπο-σωλήνων, κλπ. που θα τοποθετηθεί στο χάνδακα που ενώνει τα φρεάτιαπρόσβασης θα εξαρτηθεί από το εάν κοινοί χάνδακες και σωληνώσεις εξυπηρετούνκατά μήκος της διαδρομής τους και άλλους χρήστες .

Απαιτήσεις για το δίκτυο συγκέντρωσης (τελικών χρηστών)

Τυπικά κάθε χρήστης (κτίριο) εξυπηρετείται από έν αν κόμβο πρόσβασης, μέσωφρεατίων και διαδρομών οι οποίες στο φυσικό επίπεδο μπορούν να έχουν μικτήτοπολογία απαρτιζόμενη από αστέρα, αρτηρία ή και δακτύλιο.

Κάθε χρήστης θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα πλεονασματικών συνδέσεων (εντός της ίδιας όδευσης) προς τον οικείο κόμβο πρόσβασης και σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να γίνεται εκμετάλλευση κοινών διοδεύσεων όπου αυτό είναι δυνατόν. Δεδομένου του ότι, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, για το συγκεκριμένο έργο θα υπάρχει και πρόβλεψη για απ'ευθείας φυσική εν σειρά ζεύξη των κόμβων πρόσβασης που ανήκουν στον ίδιο βρόχο, θα υπάρχει δυνατότητα πολλών τρόπων διασύνδεσης μεταξύ ομοειδών χρηστών. Αυτό μπορεί να περιορίσει τον αριθμό των αφιερωμένων απαιτούμενων ινών και συνδέσεων στους ενδιάμεσους κόμβους όλων των επιπέδων

Υλικά

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τα οπτικά δίκτυα συμπεριλαμβάνουν φρεάτια, σωληνώσεις, καλώδια, μούφες συγκόλλησης, κιβώτια συγκολλήσεων, υπαίθρια κιβώτια ή κιβώτια εσωτερικού χώρου με ερμάρια συγκόλλησης η/και διατάξεις μικτονομής (cross-connect) τερματισμού και σύνδεσης με ενεργό εξοπλισμό, χώροοργάνωσης πλεονάζοντος καλωδίου, τα ικριώματα παθητικού και ενεργού εξοπλισμού και όλες τις βοηθητικές διατάξεις και εξαρτήματα για ένωση και διακλάδωση σωληνώσεων και υπό-σωληνώσεων, για τη στήριξη, τη δρομολόγηση και την οργάνωση μεγάλου αριθμού καλωδίων. Δεδομένου ότι υπάρχει μεγάλος αριθμός από επιλογές και διαδικασίες για την τοποθέτηση των παραπάνω υλικών, η επιλογή υλικών και διαδικασιών πρέπει να παίρνει υπ' όψη, τους τοπικούς περιορισμούς και ιδιομορφίες, την συγκεκριμένη διαβάθμιση τεχνογνωσίας μεταξύ των διαφόρων μεθόδων, τους συγκεκριμένους τεchnοοικονομικούς στόχους κλπ. Σε κάθε περίπτωση όμως είναι προφανής η ανάγκη ανάπτυξης των δικτύων με συνεπή και δομημένο τρόπο λαμβάνοντας υπ' όψη το κόστος της συντήρησης και της επέκτασης

μετά την αρχική λειτουργία του. Το δίκτυο αγωγών (ducting) περιλαμβάνει φρεάτια (ή εναλλακτικά υπαίθρια κιβώτια) και σωληνώσεις.

Φρεάτια

Τα φρεάτια χρησιμοποιούνται για τρεις κυρίως σκοπούς: α) για τοπική οθέτηση πλεονασματικού καλωδίου (looping cable), β) για συγκόλληση/διακλάδωση καλωδίων και φιλοξενία των διατάξεων συγκόλλησης (cable splicing) ή διακλαδωτήρων μικροσωληνώσεων (microtube branching) και γ) ως σημεία για την υποβοήθηση της έλξης ή της εμφύσησης καλωδίου. Για ομοιομορφία, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας τύπος φρεατίου (με μεταβλητές διαστάσεις ανάλογα με τη λειτουργία του και τους εκάστοτε περιορισμούς). Σε περιπτώσεις που ο υπόγειος χώρος είναι περιορισμένος, μπορούν να χρησιμοποιηθούν υπαίθρια κιβώτια καλωδίων.

Στις πυκνοδομημένες αστικές περιοχές, τα φρεάτια συγκόλλησης ή διακλάδωσης συστήνεται να τοποθετούνται σε αποστάσεις από 200 έως 300m ενώ για διαδρομές καλωδίων σε αραιοκατοικημένες περιοχές οι αντίστοιχες αποστάσεις μπορούν να φτάνουν τα 500 μέτρα. Σε κάθε περίπτωση όμως, οι αποστάσεις μεταξύ των φρεατίων που θα χρησιμοποιηθούν για την υποβοήθηση του περάσματος ίνας με έλξη ή εμφύσηση, πρέπει να είναι τέτοιες ώστε να υποστηρίζονται απρόσκοπτα όλες οι προβλεπόμενες τεχνικές περάσματος του καλωδίου για τον προβλεπόμενο τύπο και αριθμό καλωδίων και τον υπάρχοντα ή προβλεπόμενο τύπο σωληνώσεων, υπο-σωληνώσεων ή μικροσωληνώσεων.

Φρεάτια για τοποθέτηση πλεονασματικού καλωδίου συστήνεται να τοποθετούνται σε τακτά διαστήματα ιδιαίτερα σε περιοχές όπου

προβλέπονται μελλοντικές μικρο -μετατοπίσεις της διόδευσης. Πρέπει να δοθεί προσοχή στον προσδιορισμό της θέσης των φρεατίων ώστε να μπορούν να προστεθούν εύκολα χρήστες στο μέλλον

Σωληνώσεις

Αναφερόμαστε στο σύστημα σωλήνων και υπο -σωλήνων HDPE (High-density polyethylene) ή και συστοιχιών μικρο -σωληνώσεων που θα εγκατασταθούν για την υποδοχή των οπτικών καλωδίων. Ένα σημαντικό κόστος της υποδομής αποτελούν οι εκσκαφές και η τοποθέτηση των σωληνώσεων αυτών. Αυτό αυξάνει τις απαιτήσεις για καλό σχεδιασμό και πρόβλεψη. Σχετικά με τον προσδιορισμό των μελλοντικών αναγκών, η εμπειρία δείχνει, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις όπου ανάλογες υποδομές αναπτύχθηκαν από τηλεπικοινωνιακούς φορείς με σκοπούς την κάλυψη άμεσων αναγκών και την ελαχιστοποίηση του κόστους, ότι αυτά ήταν υπο -διαστασιοποιημένα όσον αφορά σωληνώσεις, καλώδια, μέγεθος και πυκνότητα φρεατίων.

Στην επιλογή της διόδευσης, πρέπει να δοθεί προσοχή στη μελλοντική δομή του πλήρως ανεπτυγμένου δικτύου. Οι σωληνώσεις για το κύριο δίκτυο, το δίκτυο διανομής και το δίκτυο πρόσβασης διαστασιοποιούνται χωριστά, αλλά είναι επιθυμητό να εμπερικλείονται στην ίδια διόδευση (χάνδακα και φρεάτια) όπου αυτό είναι εφικτό. Ο αριθμός των σωλήνων (ή υπο -σωλήνων ή συστοιχιών μικροσωλήνων εντός ενός κοινού σωλήνα) εξαρτάται από τον αριθμό των απαιτούμενων οπτικών καλωδίων. Η τοποθέτηση ενός (και μόνο) καλωδίου ανά υπο -σωλήνωση ή μικροσωλήνα πρέπει να θεωρείται γενικός κανόνας και να αποφεύγονται οι παρεκκλίσεις. Σε κάθε περίπτωση, ο σχεδιασμός κύριου δικτύου, δικτύου διανομής, και δικτύου πρόσβασης, πρέπει να προβλέπει την άμεση τοποθέτηση κενών σωληνώνη συστοιχιών μικροσωληνώσεων και τη μελλοντική εισαγωγή υπο

-σωλήνων καιοπτικών καλωδίων για την ικανοποίηση της μελλοντικής ζήτησης. Η θεώρηση τωναπτυξιακών και ρυμοτομικών σχεδίων της περιοχής είναι απαραίτητη ώστε ηπιθανότητα να προκύψει ανάγκη αχρήστευσης ή μετακίνησης μεγάλου μέρους τηςυποδομής να ελαχιστοποιηθεί

Γενικά διακρίνουμε 2 προσεγγίσεις όσον αφορά τις σωληνώσεις:

- Χρήση συμβατικών σωληνώσεων για τις κύριες αρτηρίες ή/και τις αρτηρίεςδιανομής εάν μεσολαβούν μεγάλες αποστάσεις και υπάρχει η ανάγκη για μεγάλοαριθμό ινών ανά καλώδιο και συγκολλήσεις σε φρεάτια συγκόλλησης.
- Χρήση συστοιχιών μικροσωληνώσεων οι οποίες και προτείνονται ναχρησιμοποιηθούν τουλάχιστον για τις συνδέσεις των χρηστών, το δίκτυο πρόσβασηςή/και τις αρτηρίες διανομής (ακόμη και του κυρίου δικτύου εάν αυτό είναι εφικτό).

Συμβατική προσέγγιση με χρήση συγκολλήσεων και Σωληνώσεων

Η προσέγγιση αυτή μπορεί να ακολο υθηθεί για το κύριο δίκτυο στην περίπτωσημεγάλων αποστάσεων και επίσης πρέπει να εξετασθεί η καταλληλότητα της χρήσηςτης για το δίκτυο διανομής και πρόσβασης καθώς και για τις συνδέσεις προς τουςχρήστες, ανάλογα με την περίπτωση, και σύμφωνα με όσα αναφ έρθηκαν παραπάνω.

Σύμφωνα με την προσέγγιση αυτή την οποία εφ' εξής αποκαλούμε «συμβατική» ισχύουν τα παρακάτω:

Κάθε καλώδιο του κυρίου δικτύου τοποθετείται εντός ιδιαίτερης υπο - σωλήνωσης καιοδεύει χωρίς διακοπές από κύριο κόμβο σε κύριο κόμβο με προσπάθε ια γιαμεγιστοποίηση των τμημάτων τα οποία μεσολαβούν μεταξύ

συγκολλήσεων. Οισυγκολλήσεις όλων των ινών του καλωδίου ασφαρίζονται και προστατεύονται από την υγρασία εντός ειδικής διάταξης (μούφας). Το δίκτυο διανομής, δηλαδή οισυνδέσεις από τους κύριους κόμβους προς τους κόμβους διανομής αναπτύσσεται με τον ίδιο τρόπο εφ' όσον αυτό είναι δυνατόν. Η πρόβλεψη πλεονασματικής απ'ευθείας σύνδεσης ενός κόμβου διανομής προς δεύτερο κύριο κόμβο, απαιτεί την ύπαρξη κενής υποσωλήνωσης καθ' όλο το μήκος της σχετικής διαδρομής. Έτσι για ένα τμήμα με N κόμβους διανομής μεταξύ δύο κυρίων κόμβων απαιτούνται N υποσωλήνες.

Για τη μείωση του απαιτούμενου αριθμού καλωδίων και υποσωλήνώσεων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν καλώδια μεγαλύτερου αριθμού ινών και στο πέρασμά τους από τους κόμβους διανομής να εξέρχονται μέσω διάταξης συγκόλλησης μόνο ο απαιτούμενες για το συγκεκριμένο κόμβο ίνες από τον κατάντη της διαδρομής κύριο κόμβο και να εισέρχονται οι ίνες που προορίζονται για τον ανάντη της διαδρομής κύριο κόμβο. Το δίκτυο πρόσβασης αναπτύσσεται με τον ίδιο τρόπο που αναφέρθηκε στην παραπάνω παράγραφο για το δίκτυο διανομής.

Οι χρήστες γενικά υποστηρίζονται με διακριτά καλώδια από τον κόμβο πρόσβασης χωρίς να αποκλείεται η προαναφερθείσα τεχνική με καλώδιο που εκκινεί από κόμβο πρόσβασης και «ξεφλουδίζεται» τμηματικά παρέχοντας συγκεκριμένο αριθμό ινών ανά χρήστη. Η διαμεσολάβηση χρήστη στο δίκτυο πρόσβασης δεν αποκλείεται σε περιπτώσεις μεγάλου χρήστη ισοδύναμου από άποψη απαίτησης ινών με κόμβο πρόσβασης.

Η μέθοδος παρουσιάζει μερικά μειονεκτήματα:

- Μεγάλος αριθμός και μέγεθος καλωδίων συνεπάγονται αυξημένες διαστάσεις σωλήνων οι οποίοι απαιτούν μεγάλες εκσκαφές, και

παρουσιάζουν προβλήματα τοποθέτησης λόγω της αυξημένης ακαμψίας τους και του μικρότερου διαθέσιμου μήκους σε στροφεία.

- Ο αριθμός ινών που αναχωρεί και εισέρχεται στο καλώδιο μέσω διάταξης συγκόλλησης είναι ίσος με τον αριθμό των ινών που αντιστοιχούν στο χαμηλότερο επίπεδο οργάνωσης των καλωδίων (θάλαμος -tube ή ταινία-ribbon), καθιστώντας προβληματική την εξυπηρέτηση κόμβων διαφορετικής δυναμικότητας με μεταβαλλόμενο αριθμό ινών.

- Για την εισαγωγή νέου κόμβου σε υπάρχον φρεάτιο απαιτείται α) να υπάρξει διαθέσιμο καλώδιο, β) να έχει πλεόνασμα μήκους γ) να υπάρχουν διαθέσιμες ίνες στο καλώδιο, δ) να γίνει προσεκτική τομή του εξωτερικού φλοιού του καλωδίου, ε) να απομονωθεί ο ελεύθερος θάλαμος, στ) να γίνουν προσεκτικά οι συγκολλήσεις και να διευθετηθούν οι υπόλοιποι θάλαμοι στον προσδιορισμένο για το σκοπό αυτό χώρο εντός της διάταξης συγκόλλησης.

- Σε περίπτωση που χρησιμοποιούνται καλώδια μεγάλου αριθμού ινών, για την εξυπηρέτηση ενδιάμεσων υπάρχοντων ή μελλοντικών κόμβων ή χρηστών, πέραν των προβλημάτων που επιφέρει η αύξηση βάρους, ακαμψίας, απαιτήσεων χώρου και κόστους, πιθανή βλάβη σε ολόκληρο το καλώδιο επιφέρει προβλήματα στη λειτουργία πολλών χρηστών συγχρόνως.

- Η υλοποίηση εν σειρά συνδέσεων μεταξύ επιλεγμένων κόμβων α) είναι δύσκολη και απαιτεί προγραμματισμό (αριθμό ινών, ποιος με ποιόν κλπ.).

- Ο αριθμός των συγκολλήσεων μεταξύ δύο απομακρυσμένων σημείων είναι ιδιαίτερα αυξημένος με αποτέλεσμα την εξασθένιση του οπτικού σήματος.

Χρήση συστοιχιών μικροσωληνώσεων

Σύμφωνα με τη δεύτερη προσέγγιση, προτείνεται να χρησιμοποιηθούν συστοιχίες μικροσωληνώσεων για τις συνδέσεις των χρηστών, το δίκτυο πρόσβασης ή/και τις αρτηρίες διανομής. Οι μικροσωληνώσεις είτε έχουν τη μορφή μίας ολοκληρωμένης συστοιχίας σωληνίσκων με εξωτερικό περιβάλλοντα προστατευτικό μανδύα (κατάλληλο για άμεσο ενταφιασμό πχ. από HDPE), είτε μπορούν να τοποθετηθούν τμηματικά κατά δέσμες, εφόσον προκύπτει ανάγκη, εντός υπάρχοντος προστατευτικού σωλήνα με ειδικές διατάξεις προώθησης.

Αν και εκ πρώτης όψεως το σύστημα φαίνεται παρόμοιο με αυτό των συμβατικών υπο-σωληνώσεων που χρησιμοποιούνται στη συμβατική προσέγγιση, η διαφορά έγκειται στο εξής: Αντί της δρομολόγησης οπτικών ινών μέσω συγκόλλησης μεταξύ διαφορετικών καλωδίων και χρήσης διατάξεων συγκόλλησης, αυτά που δρομολογούνται είναι οι μικροσωληνώσεις μέσω κατάλληλων διακλαδωτήρων και συνδέσμων (βλ. τεχνικές προδιαγραφές). Με τον τρόπο αυτό, εξασφαλίζεται ένα λείο φυσικό κανάλι από επιλεγμένο σημείο προς επιλεγμένο σημείο, με τη δυνατότητα το κανάλι αυτό να ενώνει κόμβους διαφορετικών επιπέδων, κόμβους ίδιου επιπέδου ή χρήστες με κόμβους πρόσβασης. Τα άκρα των κενών μικροσωληνών σφραγίζονται με υδατοστεγή πώματα στα σημεία που αυτές καταλήγουν (κατά τεκμήριο σε κόμβους). Το μικρο-καλώδιο εμφυσάται με κατάλληλες συσκευές σε ύστερο χρόνο, όταν απαιτείται, και με τον απαιτούμενο αριθμό ινών ο οποίος με την τρέχουσα τεχνολογία μπορεί να κυμαίνεται από 2 έως 96 ίνες με την μέγιστη εξωτερική διάμετρο του μικρο-καλωδίου να παραμένει στο επίπεδο των 4 -6mm, ανάλογα με τον αριθμό των ινών.

Η διάμετρος και το βάρος του μικρο-καλωδίου είναι δυνατό να παραμένει

σε χαμηλά επίπεδα επειδή λόγω της μεθόδου τοποθέτησης και λόγω της προστασίας από τη μικροσωλήνωση και το εξωτερικό περίβλημα της συστοιχίας, δεν αναπτύσσονται δυνάμεις ελκυσμού ή θλίψης οπότε εκλείπει η ανάγκη για ενισχυτικούς μανδύες στοίδιο το καλώδιο. Βεβαίως η απαιτούμενη αντοχή του μικροκαλωδίου πρέπει να είναι τέτοια ώστε να αντέχει τα συνήθη φορτία κρούσης και θλίψης τα οποία μπορούν να αναπτυχθούν κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης του καλωδίου καθ' όσον διάστημα αυτό βρίσκεται εκτεθειμένο εκτός των μικροσωληνώσεων.

Η μέθοδος παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα μερικά από τα οποία αναφέρονται παρακάτω:

1. Ο αριθμός των συγκολλήσεων μεταξύ δύο απομακρυσμένων σημείων είναι μειωμένος με αποτέλεσμα την μείωση της απόσβεσης του οπτικού σήματος αλλά και τη μείωση του κόστους εγκατάστασης
2. Η εξυπηρέτηση κόμβων διαφορετικής δυναμικότητας με μεταβαλλόμενο αριθμό ινών είναι εφικτή.
3. Για την εισαγωγή νέου κόμβου σε υπάρχον φρεάτιο απαιτείται να υπάρχει μόνο διαθέσιμη μικροσωλήνωση
4. Με τη χρήση διακριτών καλωδίων μικρού αριθμού ινών, η βλάβη ενός καλωδίου δεν επηρεάζει τη λειτουργία πολλών χρηστών.
5. Η υλοποίηση εν σειρά συνδέσεων μεταξύ επιλεγμένων κόμβων είναι πολύ εύκολη χωρίς να απαιτεί προγραμματισμό και υπερ-διαστασιολόγηση κοινού καλωδίου.
6. Το αρχικό κόστος μειώνεται κατά πολύ
7. Οι υποχρεώσεις του δήμου μπορούν να περιοριστούν ουσιαστικά

στην υποστήριξη μιας υποδομής σωληνώσεων παρά ενός τηλεπικοινωνιακού δικτύου.

Επιπλέον των προαναφερθέντων πλεονεκτημάτων θα πρέπει να τονισθεί ότι η χρήση μικροσωληνώσεων ευνοεί το δομικό διαχωρισμό μεταξύ αυτών οι οποίοι τελικά μπορούν να συμβάλλουν στην ανάπτυξη ευρυζωνικών υπηρεσιών σε ένα Δήμο. Ορόλος των Δήμων, μέσω του Επιχειρηματικού Σχήματος, περιορίζεται στο να παρέχει μόνο τις απαραίτητες υποδομές οι οποίες ευνοούν τον υγιή ανταγωνισμό. Η τοποθέτηση μικροσωληνώσεων ειδικά για τις συνδέσεις χρηστών αποτελεί τουψηλότερο επίπεδο ανοιχτής πρόσβασης, και ανάλογα με το Επιχειρηματικό Σχήμα που θα υιοθετηθεί μπορεί να δώσει την ευκαιρία και την ελευθερία σε χρήστες να επιλέξουν τον πάροχο ευρυζωνικών υπηρεσιών. Αυτή η προσέγγιση απομακρύνει κάθε πιθανότητα οι τελευταίες εκατοντάδες μέτρων της υποδομής να χρησιμοποιηθούν ως στενωπός μη ελεγχόμενος από το χρήστη, όπως συνήθως είναι η περίπτωση με την έως τώρα παροχή τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών. Η χρήση μικροσωληνώσεων επιτρέπει το μερισμό και την ανοιχτή πρόσβαση στο επίπεδο της μικροσωληνώσεως. Καθώς αναπτύσσεται η υποδομή, δημόσιοι κόμβοι πρόσβασης μπορεί να είναι εξοπλισμένοι με ακόμη πιο πυκνές διατάξεις μικτονομής και παθητικής ή ενεργούς πολυπλεξίας και να δίνουν τη δυνατότητα σύνδεσης πολύ περισσότερων χρηστών απ' ό,τι προβλέπεται στο παρόν έργο με πληθώρα ευρυζωνικών υπηρεσιών σε κεντρικούς κόμβους του μητροπολιτικού δακτυλίου.

Κύριος κόμβος

Ο απαιτούμενος χώρος για τον κύριο κόμβο (όπου θα υπάρχει σημείο παρουσίας ΡοΒενός ή πολλών παρόχων) πρέπει να εξασφαλίζει την ικανοποίηση ιδιαίτερων λειτουργικών απαιτήσεων.

Το μέγεθος του χώρου πρέπει να είναι ικανό να φιλοξενήσει όλες τις διατάξεις για συγκόλληση ινών, διασύνδεση ινών (interconnection) μικτονόμηση ινών (cross-connection), και σύνδεση ενεργού εξοπλισμού μετάδοσης από διαφορετικούς (ανταγωνιστικούς ή μη) παρόχους. Επιπλέον πρέπει να υπάρχει χώρος για μελλοντική επέκταση.

Ο χώρος πρέπει να είναι εφοδιασμένος με διατάξεις κλιματισμού, μηχανική προστασία από κλοπή, κοινή διάταξη αδιάλειπτης ηλεκτρικής παροχής με χρόνο αυτόνομης κάλυψης τουλάχιστον 30 λεπτά. Παράλληλα, εάν δεν υπάρχει, πρέπει να μπει στο σχεδιασμό και να υλοποιηθεί δευτερεύουσα πηγή ηλεκτρικής ενέργειας (ηλεκτρο-παραγωγό ζεύγος). Επιπλέον, είναι επιθυμητό ο χώρος να είναι εφοδιασμένος με ηλεκτρονικό σύστημα αυτοποίησης με ιδιαίτερα επιθυμητή τη δυνατότητα καταγραφής (logging). Τα βασικά παθητικά στοιχεία απαρτίζονται από μονάδες συγκόλλησης, τερματισμού και μικτονόμησης οι οποίες μπορούν να φιλοξενοούνται σε κοινά ικριώματα (Optical Distribution Frames - ODF).

Τα ενεργά στοιχεία, καθώς και παθητικές διατάξεις πολυπλεξίας, απο-πολυπλεξίας αφορούσες συγκεκριμένες υπηρεσίες, συγκεκριμένων παρόχων, τοποθετούνται σε ικριώματα παράπλευρου χώρου ο οποίος, σε πλήρη ανάπτυξη, μπορεί να έχει διαφορετική πολιτική πρόσβασης και διαφορετικό μηχανισμό ταυτοποίησης.

Κόμβος διανομής

Ο κόμβος διανομής απαρτίζεται απλά από παθητικές διατάξεις cross-connect, και είναι προετοιμασμένος να δεχθεί παθητικά στοιχεία πολυπλεξίας/απο-πολυπλεξίας/και ενεργό εξοπλισμό. Έτσι ο κόμβος διανομής μπορεί να υλοποιηθεί με ένα κιβώτιο εξωτερικού ή εσωτερικού χώρου εφοδιασμένου με ερμάρια συγκόλλησης, τερματισμού, αποθήκευσης

καλωδίου και μικτονόμησης από την εμπρόσθια πλευρά. Για την περίπτωση μελλοντικής επέκτασης και εγκατάστασης και υποστήριξης παθητικών ή ενεργών στοιχείων πολυπλεξίας (π.χ. CWDM OADM, PON Splitters και Couplers κλπ) απαιτείται επαρκής επιπλέον χώρος. Για τις περιπτώσεις προγραμματισμού παθητικο εξοπλισμού δεν απαιτείται ηλεκτρική παροχή.

Κόμβος Πρόσβαση

Ο κόμβος πρόσβασης, είναι το σημείο απ' όπου υλοποιούνται οι ζεύξεις προς κάθε ιδιαίτερο χρήστη και συμπεριλαμβάνει παθητικές διατάξεις (συγκόλλησης, τερματισμού) οι οποίες μπορεί να απαρτίζονται από διακριτές μονάδες ή να συστεγάζονται σε κοινά ικριώματα (FDFs), Η διαμόρφωση του χώρου εξαρτάται απ' όσον αριθμό των υποστηριζόμενων χρηστών. Οι διαστάσεις του απαιτούμενου χώρου εξαρτώνται από τον αριθμό των υποστηριζόμενων χρηστών, το είδος των χρηστών (εάν ανήκουν π.χ. σε ομογενές κλειστό group ή όχι) κλπ. Για μικρό αριθμό χρηστών, ο κόμβος πρόσβασης μπορεί να περιορίζεται σε ένα κλειστό ικριώμα εντός στεγασμένου χώρου, το οποίο θα συμπεριλαμβάνει παθητικά και ενεργά στοιχεία, με πιθανά απομακρυσμένο το κιβώτιο εισόδου του καλωδίου και συγκόλλησης των εισερχόμενων (OSP) προς τις ενδοκιβωτιακές ίνες (IFC) ή θα περιορίζεται σε ένα κιβώτιο εξωτερικού χώρου εφοδιασμένου με ερμάρια συγκόλλησης, τερματισμού, αποθήκευσης καλωδίου και μικτονόμησης από την εμπρόσθια πλευρά, μπαταρίες, UPS, και ικριώμα ανάρτησης ενεργών στοιχείων κατάλληλων για χρήση σε εξωτερικό περιβάλλον. Για μεγάλο αριθμό χρηστών, το μέγεθος και ο τύπος του κόμβου πρόσβασης μπορεί να είναι συγκρίσιμος με αυτό του κεντρικού κόμβου. Σημειώνεται ότι κόμβοι διανομής και πρόσβασης μπορούν να συστεγασθούν στον ίδιο χώρο, ιδιαίτερα στο έργο αυτό, πλην όμως, οι διατάξεις του κόμβου διανομής θα είναι διακριτές από αυτές του

κόμβου πρόσβασης. Ο κόμβος πρόσβασης πρέπει να προβλέπει και τη δυνατότητα για μελλοντική εγκατάσταση ενεργού εξοπλισμού για την παροχή υπηρεσιών προς τους τελικούς χρήστες.

Τελικός Χρήστης

Κατά τεκμήριο, οι τελικοί χρήστες εξυπηρετούνται από επιτοίχιο οπτικό κιβώτιο συγκόλλησης όπου καταλήγει το καλώδιο εξωτερικού χώρου (ή η μικροσωλήνωση). Ο τερματισμός μπορεί να γίνει στο κιβώτιο αυτό, ή εναλλακτικά να χρησιμοποιηθεί καλώδιο εσωτερικού χώρου του οποίου οι ίνες, μετά τη συγκόλληση στο ένα άκρο με τις αντίστοιχες ίνες του εξωτερικού καλωδίου θα τερματισθούν σε δεύτερο οπτικό κατανεμητή, πλησίον των ενεργών στοιχείων του χρήστη (π.χ. στο ίδιο ικρίωμα 19"). Άξιες ιδιαίτερης προσοχής είναι λύσεις οι οποίες συνδυάζουν σε ένα επιτοίχιο κιβώτιο εξωτερικού χώρου, τη φιλοξενία ενός μεταγωγέα, διάταξης εισόδου και στεγανοποίησης των καλωδίων οπτικών ινών και χαλκού για τον πάροχο και το χρήστη αντίστοιχα, UPS, μπαταρίας και μηχανισμού ασφαλείας για περιορισμό της πρόσβασης. Η λύση αυτή συμβάλει στον περιορισμό διαδικαστικών προβλημάτων που θα προκαλούσε η ανάγκη συντήρησης και επιδιόρθωσης βλαβών σε μη εργάσιμες ώρες.

Ελάχιστες Απαιτήσεις Παθητικού Εξοπλισμού Κόμβων

Στο παρακάτω σχεδιάγραμμα αποτυπώνονται οι προτεινόμενες ελάχιστες ενδεικτικές απαιτήσεις σε καλώδια, ίνες, συγκολλήσεις (splices), προτερματισμένα pig-tails, οπτικά patch-panels των 12 τερματικών συνδέσμων τύπου <LC/UPC ή LC/APC> και συνδετικών χορδών με συνδέσμους <LC/UPC ή LC/APC αντίστοιχα> και στα δύο άκρα για μικτονόμηση στα ODFs, καθώς και συνδετικών χορδών με συνδέσμους <LC/UPC ή LC/APC αντίστοιχα> στο ένα άκρο τους, για σύνδεση προς την πλευρά των ενεργών ή παθητικών

στοιχείων πολυπλεξίας (με κατάλληλους συν δέσμους στοάλλο άκρο τους οι οποίες θα αντιστοιχούν στις διεπαφές των συσκευών). Σε περιπτώσεις όπου η αναμενόμενη ζήτηση είναι μεγάλη, οι προτεινόμενες ελάχιστες τιμές πρέπει να αυξηθούν κατάλληλα.

Άλλες γενικές απαιτήσεις

Ασφάλεια: Ένα οπτικό δίκτυο πρέπει να κατασκευάζεται εξ αρχής με τρόπο τέτοιο ώστε να επιδεικνύει το μέγιστο βαθμό λειτουργικής διαθεσιμότητας, ώστε οποιεσδήποτε διακοπές εξ' αιτίας βλαβών να είναι όσο το δυνατόν λιγότερο αντιληπτές από το χρήστη. Οι βλάβες πρέπει να είναι αναγνωρίσιμες και επιδιορθώσιμες σε μικρό σχετικά χρόνο.

Για να επιτευχθεί αυτό, το δίκτυο πρέπει να έχει ενιαία δομή. Προστασία από φθορές, φωτιά και κλοπή. Πλεονασματικότητα σε ίνες. Δυνατότητα άμεσης ανα-δρομολόγησης στο φυσικό ή λειτουργικό επίπεδο.

Πρέπει να προδιαγραφούν και να συμφωνηθούν: Ελάχιστες απαιτήσεις ασφαλείας. Απαιτήσεις διαθεσιμότητας. Ειδικές απαιτήσεις αφορούσες πλεονάζουσες και εναλλακτικές συνδέσεις για ειδικές περιπτώσεις.

Ομοιόμορφη Δομή: Η ομοιόμορφη δομή καθιστά εύκολη την επέκταση, τη συντήρηση και την αποκατάσταση. Οι επιδιορθώσεις βλαβών μπορεί να εκτελεστούν γρήγορα επειδή όλα τα μέρη έχουν κατασκευαστεί με ομοιόμορφο τρόπο.

Προστασία απέναντι σε φθορές, απόπειρες κλοπής και φωτιές : Το επίπεδο των προστατευτικών μέτρων που πρέπει να παρθούν για την αντιμετώπιση φθοράς, κλοπής και φωτιάς θα πρέπει να καθορίζεται πιθανά σε συνεργασία με μια ασφαλιστική εταιρία που θα καλύπτει τον εξοπλισμό. Τα διαφορετικά μέρη του δικτύου θα πρέπει να προστατεύονται

απέναντι σε φθορές και εισβολές. Στα κομβικά σημεία υπάρχει ένα προκαθορισμένο επίπεδο ασφαλείας απέναντι σε απόπειρες κλοπής, αλλά θα πρέπει και τα φρεάτια, τα καλώδια τακιβώτια, και οι σωλήνες όδευσης να είναι επίσης προστατευμένα. Τα κιβώτια θα πρέπει να ασφαίζονται από πόρτες με κλειδαριές. Οι σωλήνες θα πρέπει να επιλεγούν ώστε να έχουν τη μέγιστη δυνατή προστασία.

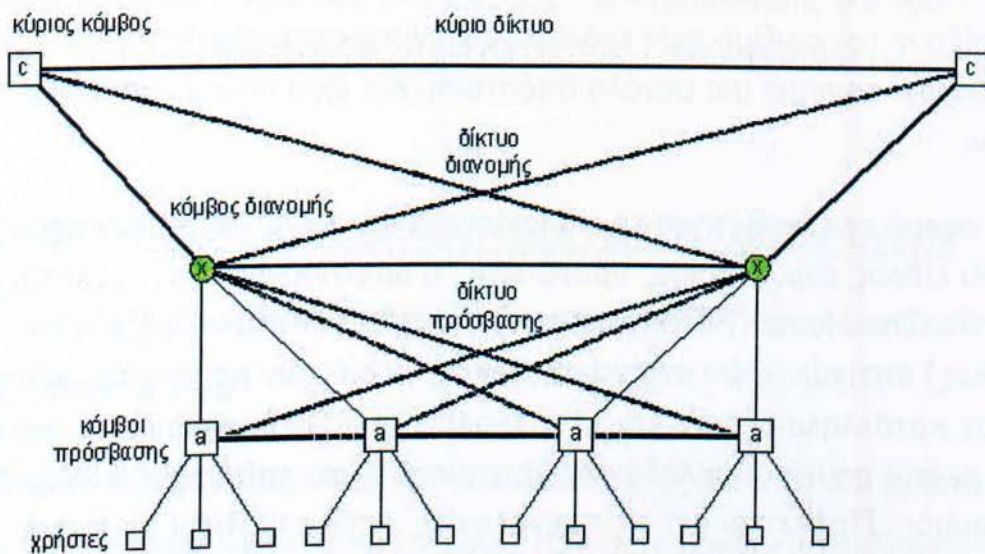
Μετρήσεις και δοκιμασίες : Μετρήσεις και δοκιμασίες γίνονται για να επιτευχθεί το σωστό επίπεδο ποιότητας, και για να επιβεβαιωθεί ότι οι απαιτήσεις μετά δοσης που ορίζονται για ένα δίκτυο, ικανοποιούνται από το οπτικό καλώδιο, τις συγκολλήσεις και τις επαφές.

Οι μετρήσεις και οι δοκιμές βασίζονται κυρίως σε δύο διαδικασίες, την ονομαζόμενη OTDR και την μέτρηση εξασθένησης σήματος (μέτρηση dB). Η μέτρηση OTDR μας προμηθεύει με γνώση σχετικά με το αν κάθε κομμάτι της οπτικής επαφής είναι χωρίς προβλήματα. Η μέτρηση εξασθένησης σήματος δίνει την πιο ακριβή τιμή για την συνολική εξασθένηση της οπτικής επαφής από άκρο σε άκρο. Για κάθε διαδικασία μέτρησης, υπάρχουν διαφορετικές μέθοδοι. Για τη συμβατότητα και συγκρισιμότητα μεταξύ των μετρήσεων που λαμβάνονται σε διαφορετικές περιστάσεις, είναι σημαντικό η μέθοδος μέτρησης να περιγράφεται επακριβώς και να υπάρχει σχετική τεκμηρίωση. Οι προδιαγραφές και οι συμβατές προς αυτές τεχνική προσφορά του αναδόχου θα πρέπει να αναφέρει αναμενόμενες τιμές από τις μετρήσεις στο συγκεκριμένο δίκτυο. Με τον τρόπο αυτό ταυτόσημες απαιτήσεις εφαρμόζονται σε διαφορετικά σημεία του δικτύου ανεξάρτητα από το πότε αυτά σχεδιάστηκαν ή δημιουργήθηκαν. Η σύμβαση θα πρέπει να ορίζει: Τα όρια των τιμών εξασθένησης και ανάκλασης στα καλώδια, στις συγκολλήσεις και στους συνδέσμους. Τους τύπους των οργάνων που θα χρησιμοποιηθούν στις μετρήσεις. Τις μεθόδους μέτρησης που θα

χρησιμοποιηθούν σε διαφορετικές μετρήσεις. Την διαδικασία τεκμηρίωσης και παρουσίασης των αποτελεσμάτων των μετρήσεων.

Αρχιτεκτονική ενός δικτύου οπτικών ινών

Όσον αφορά την αρχιτεκτονική ενός δικτύου οπτικών ινών, σημειώνεται ότι αποτελείται από τρεις βασικές λογικές μονάδες: το δίκτυο κορμού, το δίκτυο διανομής και το δίκτυο πρόσβασης. Η λογική αυτή παρουσιάζεται καλύτερα στα σχήματα που ακολουθούν:



Το δίκτυο κορμού αποτελείται από έναν αριθμό κόμβων οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους. Σημειώνεται ότι υπάρχει σύνδεση μεταξύ των κύριων κόμβων οι οποίοι βρίσκονται σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους. Επιπλέον, το δίκτυο διανομής αποτελείται από τους κόμβους διανομής, οι οποίοι συνδέονται μεταξύ τους και υπάρχει πρόβλεψη και για επιπλέον συνδέσεις μεταξύ τους στο μέλλον. Τέλος, στο δίκτυο πρόσβασης το οποίο αποτελείται από τους κόμβους πρόσβασης συνδέονται τα διάφορα κτίρια όπου αναλόγως των απαιτήσεων των τελικών χρηστών καθορίζονται και τα επιμέρους χαρακτηριστικά των συνδέσεων.



Οι οπτικές ίνες παρέχουν μεγάλο εύρος ζώνης, το οποίο σήμερα φθάνει στις ευρέως χρησιμοποιούμενες υλοποιήσεις όπως το Gigabit Ethernet μέχρι και τα 10 Gbps. Η απόσταση κυμαίνεται μεταξύ 70-100 Km ανάλογα με τον τύπο της οπτικής ίνας και το σήμα που μεταφέρεται. Συνεπώς, περιορίζουν τον αριθμό των ενδιάμεσων ενισχύσεων που απαιτούνται για να διασχίσει το σήμα μια μεγάλη απόσταση, και έχει σημαντική ανοχή στον θόρυβο.

Όσον αφορά την υιοθέτηση τεχνολογίας οπτικών ινών στην παροχή τέτοιου είδους ευρυζωνικής πρόσβασης, η αρχιτεκτονική αναφέρεται ως Fiber To The Home (FTTH) και συνίσταται στην κατάληξη (ζευγών συνήθως) οπτικών ινών στο χώρο των συνδρομητών και τον τερματισμό τους με κατάλληλο εξοπλισμό. Η τεχνολογία FTTH διαχωρίζεται ανάλογα με το αν στα σημεία διακλάδωσης χρησιμοποιείται παθητικός ή ενεργός εξοπλισμός. Πρόκειται για τις τεχνολογίες Active Optical Network (AON) και Passive Optical Network (PON).

Ανάμεσα στα πολλαπλά πλεονεκτήματα της τεχνολογίας των οπτικών ινών διακρίνουμε το χαμηλό κόστος, το υψηλό bandwidth το οποίο ξεπερνά κατά εκατοντάδες φορές αυτό ενός κοινού καλωδίου, την μικρή εξασθένιση του σήματος καθώς και τις μικρές απαιτήσεις σε ενέργεια. Επιπλέον, οι οπτικές ίνες διαθέτουν μικρές διαστάσεις και βάρος και παρατηρείται υψηλή διαθεσιμότητα που οφείλεται κυρίως στην ανθεκτική κατασκευή των σύγχρονων οπτικών καλωδίων, που μειώνει στο ελάχιστο το ενδεχόμενο εξωτερικής ζημιάς.

Ένας άλλος σχετικός όρος με το συγκεκριμένο θέμα είναι οι σκοτεινές οπτικές ίνες (Dark Fibers). Πρόκειται για κλασσικές οπτικές ίνες οι

οποίες είναι τοποθετημένες κανονικά αλλά παραμένουν αχρησιμοποίητες. Κάτι τέτοιο συμβαίνει σε περιπτώσεις όπου οι αντίστοιχες εταιρείες επιλέγουν να εγκαταστήσουν μεγαλύτερο πλήθος οπτικών ινών από τις υπάρχουσες ανάγκες για μελλοντική χρήση. Έτσι λοιπόν, οι επιπλέον οπτικές ίνες μπορούν να εκμισθωθούν σε άλλες εταιρείες ή ιδιώτες για προσωπική χρήση.

Σημειώνεται ότι στην κατηγορία των παραπάνω δικτύων θα ανήκουν και τα μητροπολιτικά ευρυζωνικά δίκτυα οπτικών ινών που πρόκειται να δημιουργηθούν στη χώρα μας στα πλαίσια της Πρόσκλησης 93 του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Κοινωνία της Πληροφορίας».

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ - ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης των οπτικών ινών σε σχέση με τα άλλα μέσα μετάδοσης είναι:

1. Αφθονία πρώτης ύλης. Το γυαλί είναι ανεξάντλητο και βρίσκεται παντού σε αντίθεση με τις πρώτες ύλες των μεταλλικών καλωδίων.
2. Το βάρος και ο όγκος των οπτικών ινών είναι σημαντικά μικρότερα από άλλους αντίστοιχους αγωγούς. Για παράδειγμα χάλκινο καλώδιο των 1.000 ζευγών σε μήκος 500m ζυγίζει 4.000 κιλά, ενώ καλώδιο οπτικών ινών με τον ίδιο αριθμό καναλιών ζυγίζει 45 κιλά.
3. Δεν είναι ευαίσθητες σε υγρό περιβάλλον, όπου στα χάλκινα καλώδια μπορεί να δημιουργηθούν βραχυκυκλώματα και πα ραδιοφωνίες. Επιπλέον δεν μεταφέρουν ηλεκτρικό σήμα προτιμούνται σε περιοχές υψηλού κινδύνου εκρήξεων από σπινθήρες (χώροι αποθήκευσης καυσίμων,

εύφλεκτων αερίων κ.α.).

4. Δεν απαιτείται γείωση, επειδή οι οπτικές ίνες είναι κατασκευασμένες από διηλεκτρικό υλικό.

5. Το φαινόμενο της διαφωνίας (Crosstalk Interference), που είναι τόσο συνηθισμένο σε καλώδια που περιέχουν περισσότερα του ενός μεταλλικά ζευγάρια, στους οπτικούς αγωγούς είναι άγνωστο, αφού οι οπτικοί αγωγοί ούτε εκπέμπουν ούτε απορροφούν ενέργεια. Έτσι πολλές οπτικές ίνες μπορούν να παραλληλιστούν μέσα στο ίδιο κάλυμμα του καλωδίου χωρίς καμία αλληλεπίδραση μεταξύ τους.

6. Δεν επηρεάζονται από ηλεκτρομαγνητικά πεδία και γι' αυτόν τον λόγο συνίσταται η χρήση τους σε βιομηχανικούς χώρους με υψηλό περιβάλλον θορύβου.

7. Διαθέτουν πολύ μεγάλο εύρος φάσματος συχνοτήτων, από μερικές δεκάδες MHz έως εκατοντάδες GHz, που επιτρέπει πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης. Σήμερα υπάρχουν εγκατεστημένες οπτικές ίνες με ρυθμούς μετάδοσης 2,5Gbits/sec. Η τεχνολογία βελτιώνει συνεχώς τα χαρακτηριστικά των οπτικών ινών, με αποτέλεσμα να αυξάνεται το πλήθος των καναλιών που μπορεί να μεταδώσει μία ίνα. Σήμερα η χωρητικότητα μίας οπτικής ίνας ξεπερνά τα 30.000 κανάλια φωνής.

8. Είναι αρκετά ασφαλές μέσο μεταφοράς, καθώς είναι πολύ δύσκολο να παρέμβει κάποιος για να υποκλέψει ή να παρεμβάλει data.

9. Οι οπτικές ίνες προκαλούν μικρότερη εξασθένηση στα σήματα που

μεταφέρουν απ' ότι τα χάλκινα και ομοαξονικά καλώδια. Επιτυγχάνουμε σήμερα μετάδοση σήματος μέσω οπτικών ινών χωρίς αναγεννητή σε αποστάσεις που ξεπερνούν τα 300Km.

10. Ο ρυθμός εμφάνισης σφαλμάτων (error data) είναι σε χαμηλά επίπεδα. Μπορούμε λοιπόν να πούμε ότι είναι καλύτερες από τα ενσύρματα μέσα μετάδοσης κατά 3 τάξεις μεγέθους.

11. Είναι κατά πολύ φθηνότερες από αλλά τηλεπικοινωνιακά συστήματα μετάδοσης.

Στα μειονεκτήματα των οπτικών ινών καταλογίζονται:

1. Οι δύσκολοι τρόποι σύνδεσης και βυσμάτωσης των οπτικών ινών σε εκπομπό και δέκτη. Οι δυσκολίες εμφανίζονται στην προσαρμογή και ευθυγράμμιση της ίνας με την φωτεινή πηγή του πομπού. Μικρές αποκλίσεις των βυσμάτων σύνδεσης προξενούν διασπορά και αυξάνουν την εξασθένηση του εκπεμπόμενου σήματος.

2. Δύσκολη είναι η σύνδεση πολλών χρηστών πάνω σε μία ίνα, καθώς δεν είναι εύκολο ο τρόπος απομάστευσης. Οι οπτικές ίνες ικανοποιούν κυρίως point-point συνδέσεις.

Σήμερα με την μεγάλη εξέλιξη της τεχνολογίας, τα παραπάνω προβλήματα έχουν περιοριστεί σημαντικά;

Κατασκευάζονται προσαρμογείς και συνδετήρες με μεγάλη ακρίβεια, που παρεμβάλλουν απόσβεση ακόμη και μικρότερη από 0,5dB.

Όσον αφορά την κατασκευή διακλαδώσεων σε μία οπτική ίνα, σήμερα

κατασκευάζονται διακλαδωτές (Splitters) και πολυπλέκτες μηκών κύματος (WDM) με ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Βιβλιογραφία

REGIS J (2001). Εγχειρίδιο οπτικής μεταγωγής και δικτύωσης. Νέα Υόρκη: McGraw-Hill. σελ. 10. ISBN 007137356X.

^ Tyndall, John (1870). «Συνολική αντανάκλαση». Σημειώσεις για το φως. <http://www.archive.org/details/notesofcourseofn00tyndrich>.

^ Tyndall, John (1873). «Έξι διαλέξεις σχετικά με το φως». <http://www.archive.org/details/sixlecturesonlig00tynduoft>.

Nishizawa, jun-Ichi Suto, γνώση (2004). «Παραγωγή κυμάτων Terahertz και ελαφριά ενίσχυση που χρησιμοποιούν την επίδραση Raman». σε Bhat, K. N. DasGupta, Amitava. Φυσική των συσκευών ημιαγωγών. Νέο Δελχί, Ινδία: Εκδοτικός οίκος Narosa. σελ. 27. ISBN 8173195676. <http://books.google.com/?id=2NTpSnfhResC&pg=PA27&lpg=PA27&dq=Jun-ichi+Nishizawa+proposal+on+use+of+optical+fiber>.

^ «οπτική ίνα». Σεντάι νέο. <http://www.city.sendai.jp/soumu/kouhou/s-new-e6/page01.html>. Ανακτημένο στις 5 Απριλίου 2009.

^ «νέος ιαπωνικός βιομηχανικός ηγέτης Microelectrics τιμών μεταλλίων». Ίδρυμα ηλεκτρικών και μηχανικών ηλεκτρονικής. <http://www.city.sendai.jp/soumu/kouhou/s-new-e6/page01.html>. Retrieved April 5, 2009.

^ Hecht, Jeff (1999). Πόλη του φωτός, η ιστορία των οπτικών ινών. Νέα Υόρκη: Τύπος Πανεπιστημίου της Οξφόρδης. σελ. 114. ISBN 0195108183. <http://books.google.com/?id=4oMu7RbGpqUC&pg=PA114>.

«δελτίο τύπου ^ - βραβείο Νόμπελ στη φυσική 2009». Το ίδρυμα Νόμπελ.

http://nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/2009/press.html.
Ανακτημένο 2009-10-07.

^ <http://history.nasa.gov/alsj/MS-SESD-28-105.pdf>

^ «1971-1985 που συνεχίζει την παράδοση». Υπόδειξη ως προς το χρόνο καινοτομίας της Γερμανίας. Επιχείρηση της General Electric.
<http://www.ge.com/innovation/timeline/index.html>. Ανακτημένο 2008-10-22.

Δίπλωμα ευρεσιτεχνίας 3.966.300 ^ ΗΠΑ «φως που διευθύνει τις ίνες του γυαλιού χαλαζία»

^ Russell, Philip (2003). «Φωτονιακές ίνες κρυστάλλου». *Επιστήμη* 299 (5605): .
doi 358: 10.1126/science.1079280. PMID 12532007.

Τbps πέρα από μια ενιαία οπτική ίνα: Επιτυχής επίδειξη της παγκόσμιας μεγαλύτερης περιεκτικότητας - 140 ψηφιακοί υψηλής ευκρίνειας κινηματογράφοι που διαβιβάζονται στο λεπτό. NTT δελτίο τύπου. 29 Σεπτεμβρίου 2006. [1], και από NSN

^ M.S. Alfiad, και λοιποί. (2008). «111 μετάδοση Gb/s polmux-rz-DQPSK πάνω από 1140 χλμ SSMF με 10.7 γείτονες Gb/s nrz-OOK». Πρακτικά ECOC 2008: Σ. Mo.4.E.2.

^ S. Yao,» πόλωση στα συστήματα ινών: Συμπιέζοντας έξω περισσότερο εύρος ζώνης», το Photonics εγχειρίδιο, Laurin έκδοση, 2003, p.1.

^ Ciena, JANET παραδίδει την υπηρεσία το 07/09/2007 μήκους κύματος 40 GBP της Ευρώπης πρώτα που ανακτάται στις 29 Οκτωβρίου 2009.

^!!! X--εργαστήριο ταχύτητα ινών ωθήσεων της Alcatel σε 100 Petabits στο εργαστήριο, Stacey Higginbotham, στις 28 Σεπτεμβρίου 2009

^ Al Mosheky, Zaid Melling, Peter J. Thomson, Mary A. (τον Ιούνιο του 2001). «Κανονικός σε πραγματικό χρόνο έλεγχος μιας αντίδρασης ζύμωσης που χρησιμοποιεί έναν fiber-optic έλεγχο πόδια-IR» (pdf). Φασματοσκοπία.
<http://www.remspec.com/pdfs/SP5619.pdf>.

- # ^ Melling, Peter Thomson, Mary (τον Οκτώβριο του 2002). «Έλεγχος αντίδρασης στους μικρούς αντιδραστήρες και τα σφιχτά διαστήματα» (pdf). Αμερικανικές εργαστηριακές ειδήσεις.
<http://www.remspec.com/pdfs/amlab1002.pdf>.
- # ^ Melling, Peter J. Thomson, Mary (2002). «Fiber-optic έλεγχοι για την μέσος-υπέρυθρη φασματομετρία». σε Chalmers, John M. Griffiths, Peter P. (EDS.) (pdf). Εγχειρίδιο της παλμικής φασματοσκοπίας. Ουίλι.
http://www.remspec.com/pdfs/2703_o.pdf.
- # ιστοχώρος Novak οπτικών ινών ^ «Novak». Ανακτημένο στις 29 Ιουλίου 2008.
- # ^ Archibald, P.S. και Bennett, η A.E., που διασκορπίζει από τους υπέρυθρους θόλους βλημάτων, επιλέγει. Engg., εντάσεις 17, p.647 (1978)
- # ^ Smith, P. Γ. (1972). «Οπτική διαχειριζόμενη ικανότητα δύναμης των χαμηλών οπτικών ινών απώλειας όπως καθορίζεται από υποκίνημένα Raman και Brillouin που διασκορπίζουν». Εφαρμοσμένη οπτική 11 (11): . doi 2489: 10.1364/AO.11.002489. PMID 20119362.
- # ^ Paschotta, Rüdiger. «Brillouin που διασκορπίζει». Εγκυκλοπαίδεια της φυσικής και της τεχνολογίας λέιζερ. RP Photonics. http://www.rp-photonics.com/brillouin_scattering.html. Glasesmenn, Γ. S. (1999). «Πρόοδοι στη μηχανικές δύναμη και την αξιοπιστία των οπτικών ινών». Proc. SPIE CR73: 1. <http://www.corning.com/WorkArea/downloadasset.aspx?id=7783>.
- # ^ Kurkjian, Charles P. Simpkins, Peter Γ. Inniss, Daryl (1993). «Δύναμη, υποβάθμιση, και επίστρωμα του πυριτίου Lightguides». Περιοδικό του αμερικανικού κεραμικού doi κοινωνίας 76:1106.: 10.1111/j.1151-2916.1993.tb03727.x.
- # ^ Kurkjian, Γ (1988). «Μηχανική σταθερότητα των γυαλιών οξειδίων». Περιοδικό του μη-κρυστάλλινου doi στερεών 102:71.: 10.1016/00223093 (88) 90114-7.
- # ^ Kurkjian, C.R. Krause, J.T. Matthewson, M.J. (1989). «Δύναμη και κούραση

- των οπτικών ινών πυριτίου». Περιοδικό Lightwave του doi τεχνολογίας 7:1360.: 10.1109/50.50715.
- # ^ Kurkjian, Charles P. (1999). Παραλλαγές δύναμης στις ίνες πυριτίου. Σ. 77. doi: 10.1117/12.372757.
- # ^ Skontorp, Arne (2000). Μη γραμμικές μηχανικές ιδιότητες των πυριτιο-βασισμένων οπτικών ινών. Σ. 278. doi: 10.1117/12.396408.
- # ^ Κοσμήτορας, Β. Α. Whitney, I. Johnson, J.W. (1967). «Η δύναμη του λιωμένου πυριτίου». Πρακτικά της βασιλικής κοινωνίας του Λονδίνου. Doi επιστημών σειράς Α, μαθηματικός και φυσικός (1934-1990) 297:534.: 10.1098/rspa.1967.0085.
- # ^ Bartenev, Γ (1968). «Η δομή και η δύναμη των ινών γυαλιού». Περιοδικό του μη-κρυστάλλινου doi στερεών 1:69.: 10.1016/00223093 (68) 90007-0.
- # ^ Tran, Δ., και λοιποί. (1984). «Γυαλιά και ίνες φθοριδίου βαρύ μετάλλου: Μια αναθεώρηση». J. Lightwave Technology 2:566.
http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=1073661.
- # ^ Πρώην, Soe-Mie Φ. (2000). Οπτικές και ιδιότητες επιφάνειας οχθυfluoride του γυαλιού. Σ. 122. doi: 10.1117/12.405276.
- # ^ Karabulut, M (2001). «Μηχανικές και δομικές ιδιότητες των γυαλιών φωσφορικού άλατος». Περιοδικό του μη-κρυστάλλινου doi στερεών 288:8.: 10.1016/S0022-3093 (01) 00615-9.
- # ^ Kurkjian, Γ (2000). «Μηχανικές ιδιότητες των γυαλιών φωσφορικού άλατος». Περιοδικό των μη-κρυστάλλινων στερεών 263-264: . doi 207: 10.1016/S0022-3093 (99) 00637-7.
- # ^ Gowar, John (1993) (2ΰο ed.). Hempstead, UK: Prentice-αίθουσα. σελ. 209. ISBN 0136387276.
- # ^ Hecht, Jeff (2002). Κατανόηση των οπτικών ινών (4ο ed.). Αίθουσα Prentice. ISBN 0-13-027828-9.

«Corning αναγγέλλει την τεχνολογία σημαντικής οπτικής ίνας». Δελτίο τύπου.
http://www.corning.com/media_center/press_releases/2007/2007072301.aspx.
Ανακτημένο 2007-12-09.

^ Olzak, Tom (2007-05-03). «Προστατεύστε το δίκτυό σας από τις αμυχές ινών». Techrepublic. CNET. <http://blogs.techrepublic.com.com/security/?p=222>.
Ανακτημένο 2007-12-10.

^ Atkins, P. M. Simpkins, Σελ. Γ. Yablon, M.X. (2003). «Διαδρομή μιας θρυαλλίδας ινών: μια αστάθεια της Rayleigh στους οπτικούς κυματοδηγούς». Επιστολές 28 οπτικής (12): 974-976. doi: 10.1364/OL.28.000974. PMID 12836750. <http://ol.osa.org/abstract.cfm?id=72607>.

^ Hitz, Breck (τον Αύγουστο του 2003). «Η προέλευση «της θρυαλλίδας ινών» αποκαλύπτεται». Φάσματα Photonics. <http://www.photonics.com/content/spectra/2003/August/tech/79825.aspx>.
Ανακτημένο 2008-07-05.