

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ ΔΑΚΤΥΛΙΟΥ ΜΕ ΠΟΛΥΠΛΕΞΗ DWDM ΣΤΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΕΞΟΜΟΙΩΣΗΣ OPTSIM.

ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ: 1431

ΦΟΙΤΗΤΕΣ: ΤΟΥΛΚΕΡΙΔΗ ΑΡΙΣΤΕΑ

ΕΠΟΠΤΕΥΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΧΑΔΕΛΛΗΣ ΛΟΥΚΑΣ

ΕΤΟΣ ΔΙΕΚΠΑΙΡΕΩΣΗΣ 2015

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Πρώτα απ' όλα θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου, κ. Χαδέλλη Λουκά για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με το αντικείμενο αυτό, για την ελευθερία που μου προσέφερε τόσο στον καθορισμό του θέματος της εργασίας όσο και στην υλοποίησή της.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Καψάλη Βασίλειο και τον κ. Τοπάλη Ευάγγελο για την τιμή που μου έκαναν να είναι μέλη της τριμελούς επιτροπής.

Ευχαριστώ επίσης την Τουλκερίδη Κατερίνα και τον Στεφανάρου Ευστράτιο, για τις γνώσεις τους που μου προσέφεραν όλα τα χρόνια της φοίτησής μου κάνοντάς με καλύτερη, αλλά και την μεγάλη ψυχολογική τους στήριξη, καθώς και τους φίλους μου από τα φοιτητικά μου χρόνια.

Κλείνοντας θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου, που όλα αυτά τα χρόνια στάθηκαν στο πλάι μου και με στήριξαν σε όλες μου τις επιλογές, δίνοντάς μου κουράγιο και δύναμη να συνεχίζω να γίνομαι καλύτερος άνθρωπος. Σας ευχαριστώ για όλα και ελπίζω κάποια στιγμή να τα ανταποδώσω.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα Πτυχιακή εργασία ως πρώτο μέρος θα γίνεται μία ιστορική αναδρομή στα πρώτα βήματα της δημιουργίας των δικτύων υπολογιστών, στο σκοπό που εξυπηρετούν, στα πλεονεκτήματά τους και την ταξινόμησή τους. Επίσης μία σύντομη αναφορά στις οπτικές ίνες και στις οπτικές συσκευές και εκτενής αναφορά στους οπτικούς ενισχυτές, στην τεχνολογία της πυκνής διαίρεσης μήκους κύματος συστήματος πολυπλεξίας (DWDM), στο DWDM δακτύλιο με οπτικούς πολυπλέκτες add-drop και στο λογισμικό εργαλείο Optsim το οποίο χρησιμοποιείται για το σχεδιασμό και την προσομοίωση οπτικών συστημάτων επικοινωνίας σε επίπεδο διάδοσης του σήματος. Με τις τεχνικές προσομοίωσης, είναι ένα εύκολο στη χρήση γραφικό περιβάλλον εργαστηριακού τύπου όργανο μέτρησης και περιέχει απaráμιλλη ακρίβεια και χρησιμότητα με το οποίο θα πραγματοποιήσω και το δεύτερο μέρος της πτυχιακής μου εργασίας. Το δεύτερο μέρος θα περιέχει μία εφαρμογή του προγράμματος Optsim. Η εφαρμογή αυτή ονομάζεται πυκνή διαίρεση μήκους κύματος πολυπλεξίας με διαμόρφωση δακτυλίου χρησιμοποιώντας κόμβους με οπτικούς πολυπλέκτες add-drop (DWDM Ring with OADM (Optical Add-Drop Multiplexer) Nodes). Ο δακτύλιος DWDM αποτελείται από έξι κόμβους και έξι ζεύγη ινών και με συνολικό αριθμό μηκών κύματος οκτώ. Για απλότητα χρησιμοποιεί μονής κατεύθυνσης σύνδεση οπτικών ινών με σήματα που διαδίδονται με τη φορά του ρολογιού. Ακολούθως θα αναλυθούν οι τεχνολογίες πολυπλεξίας και θα εστιάσω στην πολυπλεξία DWDM ring with OADM αναφέροντας τον τρόπο λειτουργίας και τα στοιχεία που απαρτίζουν την παραπάνω εφαρμογή. Τέλος, η εφαρμογή πυκνής διαίρεσης μήκους κύματος συστήματος πολυπλεξίας με διαμόρφωση δακτυλίου (DWDM ring configuration) θα παρουσιάζεται ως πρότυπο εργαστηριακής άσκησης όπως αυτών του εργαστηρίου ειδικά θέματα τεχνολογίας τηλεπικοινωνιών.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο - ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1	Ιστορική αναδρομή	Σελ. 9
1.2	Τα πρώτα βήματα στη δημιουργία των δικτύων υπολογιστών	Σελ. 10
1.3	Τι είναι δίκτυο υπολογιστών	Σελ. 11
1.3.1	Σκοπός των δικτύων	Σελ. 12
1.3.2	Πλεονεκτήματα των δικτύων	Σελ. 12
1.4	Ταξινόμηση δικτύων	Σελ. 14
1.5	Τοπολογίες των δικτύων	Σελ. 14

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο – ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ

2.1	Ιστορική αναδρομή	Σελ. 18
2.2	Δομή οπτικής ίνας	Σελ. 19
2.3	Αρχή λειτουργίας των οπτικών ινών	Σελ. 20
2.4	Χαρακτηριστικά μετάδοσης	Σελ. 22
2.4.1	Πολύτροπες οπτικές ίνες (multi-mode fiber optics)	Σελ. 22
2.4.2	Μονότροπες οπτικές ίνες (single-mode fiber optics)	Σελ. 23
2.5	Πλεονεκτήματα οπτικής ίνας ως μέσο μετάδοσης	Σελ. 24
2.6	Μειονεκτήματα οπτικής ίνας ως μέσο μετάδοσης	Σελ. 28
2.7	Τύποι οπτικών ινών	Σελ. 28
2.7.1	Κατηγοριοποίηση ως προς το υλικό κατασκευής	Σελ. 28
2.7.2	Κατηγοριοποίηση ως προς την μεταβολή του δείκτη διάθλασης	Σελ. 31
2.7.3	Κατηγοριοποίηση ως προς τον τρόπο μετάδοσης	Σελ. 31
2.7.4	Ίνες ειδικού σχεδιασμού	Σελ. 32
2.7.5	Κατηγοριοποίηση ως προς τον τρόπο κατασκευής	Σελ. 37
2.8	Βαθμονομήσεις καλωδίων οπτικών ινών του εθνικού κώδικα ηλεκτρολογίας (NEC)	Σελ. 38
2.9	Βασικά μεγέθη πυρήνα/μανδύα σε χρήση	Σελ. 39
2.10	Προβλήματα κατά τη μετάδοση στις οπτικές ίνες	Σελ. 41
2.10.1	Εξασθένηση	Σελ. 41
2.10.2	Σκέδαση	Σελ. 44
2.10.3	Διασπορά	Σελ. 44
2.10.4	Απορρόφηση	Σελ. 46
2.10.5	Επίδραση της ακτινοβολίας-ραδιενέργειας	Σελ. 46
2.10.6	Επίδραση του υδρογόνου	Σελ. 48
2.10.7	Απώλειες από κάμψη	Σελ. 48
2.10.8	Γωνία αποδοχής	Σελ. 48
2.10.9	Αριθμητικό άνοιγμα (NA)	Σελ. 49
2.11	Εφαρμογές των οπτικών ινών	Σελ. 49

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο – ΟΠΤΙΚΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ

3.1	Εισαγωγή	Σελ.54
3.2	Εξαρτήματα συνενώσεως και τερματισμού	Σελ.54
3.2.1	Σύνδεσμοι οπτικών ινών	Σελ.54
3.2.2	Παράμετροι συνδετήρων	Σελ.58
3.2.3	Συνενώσεις οπτικών ινών	Σελ.58
3.2.4	Έλεγχος της ένωσης	Σελ.61
3.3	Optical time domain reflectometer (OTDR)	Σελ.62
3.3.1	Αρχή λειτουργίας του OTDR	Σελ.63
3.3.2	Ρυθμίσεις ενός OTDR	Σελ.64
3.4	Εξαρτήματα οπτικών ινών	Σελ.65
3.4.1	Οπτικοί πομποί	Σελ.65
3.4.2	Πομποί LED και LASER	Σελ.67
3.4.2.1	Σύγκριση LED με LASER	Σελ.69
3.4.3	Διαμορφωτές	Σελ.70
3.4.4	Διαχωριστές/ Συνδυαστές	Σελ.71
3.4.5	Εξασθενητές	Σελ.72
3.4.6	Κυκλοφορητές	Σελ.73
3.4.7	Οπτικά φίλτρα	Σελ.74
3.4.7.1	Αρχή λειτουργίας των οπτικών φίλτρων	Σελ.74
3.4.7.2	Βασικά χαρακτηριστικά των οπτικών φίλτρων	Σελ.74
3.4.7.3	Τύποι των οπτικών φίλτρων	Σελ.75
3.4.7.4	Κατηγορίες σταθερών οπτικών φίλτρων	Σελ.76
3.4.7.5	Κατηγορίες μεταβλητών οπτικών φίλτρων	Σελ.76
3.4.7.6	Χαρακτηριστικά ενός μεταβλητού οπτικού φίλτρου	Σελ.80
3.4.8	Οπτικοί πολυπλέκτες προσθαφαίρεσης (Add/Drop multiplexers)	Σελ.81
3.4.8.1	Η αρχή λειτουργίας των OADM πολυπλεκτών	Σελ.81
3.4.9	Οπτικοί συζευκτές	Σελ.83
3.4.9.1	Παθητικοί συζευκτές αστέρα	Σελ.84
3.4.9.2	Κατευθυντικοί συζευκτές	Σελ.85
3.4.10	Οπτικοί διακόπτες	Σελ.86
3.4.11	Φωτοανιχνευτές	Σελ.88
3.4.12	Οπτικές κάρτες δικτύου	Σελ.92
3.4.13	Οπτικοί ενισχυτές	Σελ.92
3.4.13.1	Ορισμός	Σελ.92
3.4.13.2	Αρχή λειτουργίας	Σελ.92
3.4.13.3	Αναγκαιότητα οπτικών ενισχυτών	Σελ.93
3.4.13.4	Εφαρμογές και κατηγορίες	Σελ.94
3.4.13.4.1	Ενισχυτικές δίοδοι LASER	Σελ.95
3.4.13.5	Ενισχυτές ίνας πρόσμιξης	Σελ.96
3.4.13.6	Χαρακτηριστικά των οπτικών ενισχυτών	Σελ.97
3.4.13.7	Σύγκριση ενισχυτικών δίοδων LASER και ενισχυτών ίνας πρόσμιξης	Σελ.98

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο – ΠΟΛΥΠΛΕΞΙΑ DWDM

4.1	Πολυπλεξία στα οπτικά συστήματα	Σελ. 100
4.2	Τεχνικές πολυπλεξίας	Σελ. 100
4.2.1	Πολυπλεξία με διαίρεση χρόνου (TDM- Time Division Multiplexing)	Σελ. 101
4.2.2	Πολυπλεξία με διαίρεση μήκους κύματος(WDM- Wavelength Division Multiplexing)	Σελ. 102
4.2.3	Πολυπλεξία με διαίρεση χώρου (SDM- Space Division Multiplexing)	Σελ. 102
4.2.4	Ορθογωνική πολυπλεξία με διαίρεση συχνότητας (OFDM- Orthogonal Frequency Division Multiplexing)	Σελ. 102
4.2.5	Χονδροειδής πολυπλεξία με διαίρεση μήκους κύματος (CWDM- Coarse Wavelength Division Multiplexing)	Σελ. 105
4.2.6	Πυκνή πολυπλεξία με διαίρεση μήκους κύματος (DWDM- Dense Wavelength Division Multiplexing)	Σελ. 106
4.2.6.1	Πλεονεκτήματα χρήσης της DWDM	Σελ. 107
4.2.6.2	Μειονεκτήματα χρήσης της DWDM	Σελ. 108
4.2.6.3	Εφαρμογές της τεχνικής DWDM	Σελ. 108

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο – ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΕΞΟΜΟΙΩΣΗΣ OPTSIM

5.1	Επισκόπηση του Optsim	Σελ. 111
5.1.1	Οφέλη του Optsim	Σελ. 112
5.1.2	Εφαρμογές του Optsim	Σελ. 112
5.1.3	Μηχανή εξομοίωσης Block-Mode	Σελ. 112
5.1.4	Παράθυρο του Optsim	Σελ. 113

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο – ΑΣΚΗΣΗ: «Μελέτη δακτυλίου με πολύπλεξη DWDM» DWDM ring with OADM (Optical ADD/DROP Multiplexers) Nodes

Σελ. 115

ΠΙΝΑΚΕΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο

Πίνακας 1	Ποσοστό σφαλμάτων σε δυαδικά ψηφία	Σελ.26
Πίνακας 2	Χαρακτηριστικά καθοδηγούμενων μέσων	Σελ.27
Πίνακας 3	Είδη και χρήση οπτικών ινών	Σελ.30
Πίνακας 4	Εξασθένιση σε διάφορους τύπους οπτικών ινών	Σελ.43

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο

Πίνακας 1	Εύρος λειτουργίας των βασικών τύπων φωτοανιχνευτών	Σελ.89
-----------	--	--------

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο

Πίνακας 1	Μορφές της πολυπλεξίας με διαίρεση μήκους κύματος	Σελ.105
-----------	---	---------

Στο κεφάλαιο αυτό θεώρησα αναγκαίο να παρουσιάσω την χρήση του φωτός ως μέσο μετάδοσης πληροφοριών στην αρχαιότητα, καθώς και μία σύντομη περιγραφή των σημαντικότερων σταθμών στην εξέλιξη των επικοινωνιών.

Επίσης,

Έκρινα σκόπιμο να αναφερθώ εν συντομία στον ορισμό των δικτύων, στους σκοπούς και στα πλεονεκτήματα, καθώς επίσης και στην ταξινόμηση αυτών.

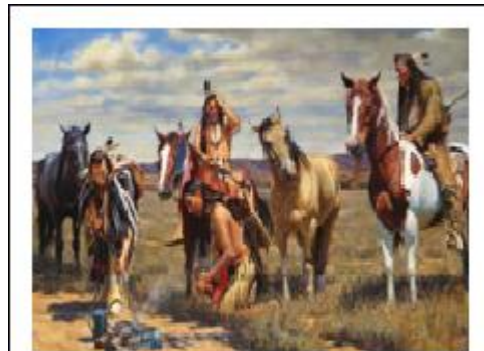
Τέλος, παρουσιάζονται οι βασικές τοπολογίες των δικτύων.



1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Αιώνες προτού εμφανιστεί οτιδήποτε που να μοιάζει με δίκτυο, ήταν φανερό η ανθρώπινη ανάγκη για επικοινωνία. Οι άνθρωποι περπατούσαν μεγάλες αποστάσεις για να μεταδώσουν νέα ή να προειδοποιήσουν ο ένας τον άλλο για κάποιον κίνδυνο.

Η ιδέα της χρήσης του φωτός για την επικοινωνία σε μεγάλες αποστάσεις δεν είναι κάτι νέο, αλλά έχει τις ρίζες της στην αρχαιότητα. Οι Ινδιάνοι της Β. Αμερικής χρησιμοποιούσαν σήματα καπνού (Σχ.1.1) με κάποιο κώδικα για τις επικοινωνίες τους. Στην αρχαία Ελλάδα, επινοήθηκε ένα σύστημα επικοινωνίας, οι φρυκτωρίες (Σχ.1.2). Οι φρυκτωρίες χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη συστήματος μεταβίβασης φωτεινών σημάτων. Ήταν εγκατεστημένες σε προνομιακές-λόγω θέσης- κορυφές βουνών. Το άναμα της πρώτης φρυκτωρίας ακολουθούσαν διαδοχικά οι άλλες, συγκροτώντας έτσι μια γραμμή επικοινωνίας. Χρησιμοποιήθηκαν κυρίως για στρατιωτικούς σκοπούς από την εποχή του Τρωϊκού Πολέμου μέχρι τις αρχές των



ΣΧ. 1.1 Σήματα καπνού



ΣΧ. 1.2 Φρυκτωρίες

Βυζαντινών χρόνων. Ήταν τότε το ταχύτερο μέσο απομακρυσμένης επικοινωνίας και τελικά φαίνεται ότι ακόμη και σήμερα ισχύει το ίδιο, καθώς δεν υπάρχει τίποτα μέχρι στιγμής που να μπορεί να ξεπεράσει την ταχύτητα του φωτός. Στα τέλη του 19ου αιώνα και στις αρχές του 20ου οι καπετάνιοι των πλοίων χρησιμοποιούσαν ειδικούς ισχυρούς φακούς κώδικα Μορς, επικοινωνώντας άμεσα μεταξύ τους. Αυτός ο τρόπος επικοινωνίας χρησιμοποιήθηκε εν μέρει και στην ξηρά, παρόλο που οι πρώτες συσκευές ενσύρματης επικοινωνίας είχαν κάνει την εμφάνισή τους την εποχή εκείνη.

Σε όλα τα παραπάνω παραδείγματα έχουμε τρία κοινά στοιχεία. Το πρώτο είναι ο αποστολέας του φωτεινού σήματος, το δεύτερο ήταν το μέσο μετάδοσης, δηλαδή ο αέρας και το τρίτο ήταν ο παραλήπτης που το αποκωδικοποιούσε και το μετέτρεπε σε κατανοητή μορφή. Φυσικά οι προαναφερθείσες μέθοδοι είχαν ως σημαντικότερο μειονέκτημα το πρόβλημα της ορατότητας. Το φως μιας φωτιάς ή ενός τεχνητού μέσου δεν μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για την επικοινωνία κατά τη διάρκεια της ημέρας, καθώς δεν μπορούσε κανείς να το ξεχωρίσει από το πολύ ισχυρότερο ηλιακό φως. Ακόμη και τη νύχτα όμως, διάφορες συνθήκες όπως η αυξημένη υγρασία ή η ομίχλη, μπορούσαν να καταστήσουν ανέφικτη την παρατήρηση του φωτεινού σήματος σε μεγάλη απόσταση.

Με την εξέλιξη της ηλεκτρονικής και την εμφάνιση του ηλεκτρισμού οι επικοινωνίες βελτιώθηκαν ακόμα περισσότερο. Η μορφή επικοινωνιών άλλαξε για πάντα όταν:

- Το 1837 ο Samuel Morse ανακάλυψε τον τηλέγραφο. Ο τηλέγραφος, όπως είναι γνωστό, μεταδίδει ηλεκτρικούς παλμούς δια μέσου καλωδίου.
- Το 1867 ο Graham Bell ανακάλυψε το τηλέφωνο.

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

1.2 ΤΑ ΠΡΩΤΑ ΒΗΜΑΤΑ ΣΤΗ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Από πολύ νωρίς έγινε επιτακτική η ανάγκη της επικοινωνίας ανθρώπων σε μεγάλες αποστάσεις και η ανταλλαγή πληροφοριών. Γύρω στο 1900 αναπτύχθηκαν καταρχήν τα τηλεφωνικά δίκτυα. Στη δεκαετία του '50, οι υπολογιστές ενώνονταν απευθείας με τη βοήθεια τηλεφωνικών (αναλογικών) γραμμών.

Στη δεκαετία του '60, εμφανίστηκε στα προάστια της Βοστώνης μία πρωτοποριακή για την εποχή της εταιρεία εξυπηρέτησης πελατών μέσω υπολογιστών. Η *Keydata Corporation*, όπως ονομαζόταν, νοίκιαζε δικά της απλά τερματικά, που αποτελούνταν από μία οθόνη και ένα πληκτρολόγιο, χωρίς υπολογιστική ισχύ, σε περίπου 20 επιχειρήσεις με έδρα το κέντρο της πόλης και τα συνέδεε με έναν Univac 491, μεγάλο υπολογιστή που στεγαζόταν στην πανεπιστημιούπολη του Cambridge.

Ο κεντρικός αυτός υπολογιστής παρείχε δυνατότητα μηχανογραφημένης τιμολόγησης και ελέγχου διακίνησης σε διάφορες εταιρείες, με νοικιασμένες τηλεφωνικές γραμμές. Για πρώτη φορά μια επιχείρηση μπορούσε να αποκτήσει πρόσβαση σε ένα ισχυρό υπολογιστικό σύστημα με ένα απλό τηλέφωνο, χωρίς να χρειαστεί να το αγοράσει ή να το νοικιάσει για αποκλειστική χρήση.

Ενώ η *Keydata* είχε μπει για τα καλά στην αγορά, η *General Electric* κυκλοφορεί το δικό της δίκτυο. Αυτό ήταν ένα τοπικό δίκτυο που σχεδιάστηκε στο πανεπιστήμιο Dartmouth, αρχικά για να εξυπηρετεί τη διδασκαλία της επιστήμης των υπολογιστών. Μέχρι το 1968 η *General Electric* είχε εμπορικά δίκτυα με 50.000 συνδρομητές και 31 κέντρα χρονομερισμού. Το δρόμο της *General Electric* ακολούθησαν και άλλες εταιρείες, έτσι ώστε μέχρι το τέλος της δεκαετίας να έχουν δημιουργηθεί άπειρα δίκτυα χρονομέτρησης.

Σιγά - σιγά, τα δίκτυα άρχισαν να ξεπερνούν τα όρια της επιχείρησης και να επεκτείνονται σε μεγαλύτερα γεωγραφικά όρια. Το 1969 ξεκινά και η λειτουργία του "διαδικτύου" Internet.

Οι ανάγκες επικοινωνίας όμως αυξάνονταν διαρκώς και στη δεκαετία του '70 άρχισαν να δημιουργούνται ιδιωτικά δίκτυα σε εταιρείες ή επιχειρήσεις για την κάλυψη των αναγκών τους.

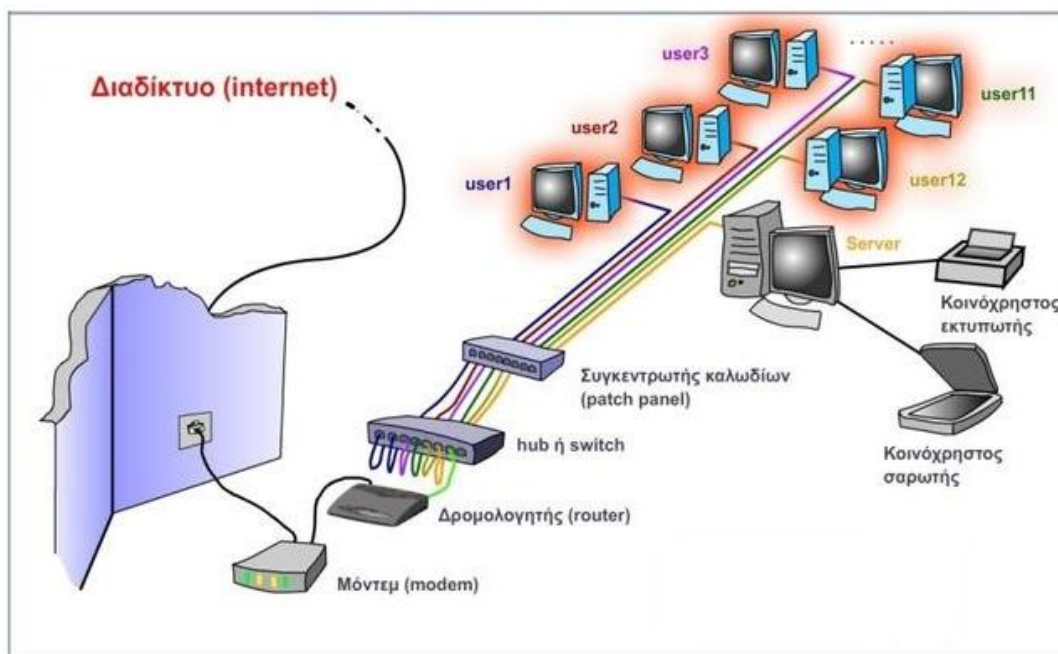
Στη δεκαετία του '80, αρχίζουν να εγκαθίστανται τα ψηφιακά τηλεφωνικά δίκτυα και το "Σύστημα Ενοποιημένων Υπηρεσιών" ISDN. Μερικά από τα σπουδαιότερα γεγονότα που συνέβαλαν στην εκρηκτική ανάπτυξη των τηλεπικοινωνιών και κατ' επέκταση των δικτύων ηλεκτρονικών υπολογιστών, είναι:

- Ο πρώτος Η/Υ ENIAC (1945) που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό συντεταγμένων στον δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο.
- Η ανακάλυψη του ημιαγωγού (transistor) (1947).
- Η ανάπτυξη των προσωπικών Η/Υ (PC) στη δεκαετία του 1980.
- Ο παγκόσμιος ιστός (WWW) στη δεκαετία του 1990.

Η πρόοδος σ' αυτούς τους τομείς είναι τόσο προχωρημένη σήμερα, που σχολεία, εταιρείες, υπηρεσίες και κυβερνήσεις δεν μπορούν να δουλέψουν αποτελεσματικά, χωρίς δικτυωμένους ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη των τηλεπικοινωνιών καθώς επίσης και την ανάπτυξη των δικτύων ηλεκτρονικών υπολογιστών. Αυτά τα πεδία, είναι από τα πλέον ενδιαφέροντα και συναρπαστικά για μελέτη και εξερεύνηση, ενώ παράλληλα αυξάνεται η ζήτηση για τεχνικούς και μηχανικούς πληροφορικής, δικτύων και τηλεπικοινωνιών.

1.3 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΔΙΚΤΥΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Ένα δίκτυο υπολογιστών (Σχ. 1.3) μπορεί να ορισθεί ως ένα υψηλής στάθμης μοντέλο, που προσδιορίζει πως τουλάχιστον δύο ηλεκτρονικοί υπολογιστές ανταλλάσσουν πληροφορίες μεταξύ τους. Οι δύο αυτοί υπολογιστές, στην ουσία ανταλλάσσουν δεδομένα, δηλαδή bits και η ανάλογη ερμηνεία των δεδομένων ορίζει το είδος της πληροφορίας που μεταφέρεται.



1.3.1 ΣΚΟΠΟΣ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

Τα δίκτυα δημιουργήθηκαν για να εξυπηρετήσουν τις ανάγκες που προέκυψαν από την εξάπλωση της χρήσης των υπολογιστών. Βασικός σκοπός της ύπαρξης των δικτύων είναι ο διαμερισμός των πόρων του συστήματος και η ανταλλαγή πληροφοριών κάθε μορφής (προγράμματα, αρχεία, δεδομένα). Πόροι του συστήματος μπορούν να είναι είτε υλικό (hardware), π.χ. υπολογιστές, εκτυπωτές, plotters, σκληροί δίσκοι είτε λογισμικό (software), π.χ. δεδομένα, προγράμματα εφαρμογών, υπηρεσίες. Τα προγράμματα, τα δεδομένα και οι συσκευές (σκληροί δίσκοι, εκτυπωτές, κλπ) είναι διαθέσιμα σε οποιοδήποτε είναι συνδεδεμένος στο δίκτυο, ανεξάρτητα από τη φυσική του θέση.

Γενικά μπορούμε να πούμε ότι, ανεξάρτητα της τεχνολογίας, ένα δίκτυο είναι ένα πανίσχυρο μέσο επικοινωνίας ανθρώπων που βρίσκονται σε διαφορετικά μέρη.

1.3.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

Τα βασικά πλεονεκτήματα χρήσης ενός δικτύου είναι η :

- Ταυτόχρονη πρόσβαση
- Κοινή χρήση περιφερειακών συσκευών
- Εξοικονόμηση χρημάτων
- Προσωπική επικοινωνία
- Ευκολότερη δημιουργία αντιγράφων
- Αύξηση της απόδοσης του συστήματος
- Κεντρικός έλεγχος και εύκολη επεκτασιμότητα

Ταυτόχρονη πρόσβαση (Σχ.1.4)

1. Στις επιχειρήσεις πολύ άνθρωποι χρειάζεται να χρησιμοποιήσουν τα ίδια δεδομένα ή προγράμματα. Το δίκτυο παρέχει λύση σε ένα τέτοιο πρόβλημα.

2. Τα κοινά δεδομένα και προγράμματα μπορούν να αποθηκευτούν σε ένα κεντρικό δικτυακό server. Στην περίπτωση περίπτωσης αποθήκευσης αρχείων δεδομένων καλείται file server.



ΣΧ. 1.4 Ταυτόχρονη πρόσβαση

3. Οι διαχειριστές δικτύων μπορεί να παρέχουν δικαιώματα πρόσβασης σε χρήστες. Κάποιοι χρήστες έχουν δυνατότητα μόνο ανάγνωσης δεδομένων αλλά άλλη πάλι μπορεί να κάνουν αλλαγές σε αρχεία.

Κοινή χρήση περιφερειακών συσκευών & εξοικονόμηση χρημάτων (Σχ.1.5)

1. Οι περιφερειακές (εξωτερικές) συσκευές, όπως για παράδειγμα εκτυπωτές, σαρωτές μπορεί να είναι ακριβές, για αυτό είναι προτιμότερο να συνδεθεί μία τέτοια συσκευή στο δίκτυο και α την μοιράζονται όλοι οι χρήστες.



ΣΧ. 1.5 Κοινή Χρήση περιφερειακών συσκευών

2. Μέσο μίας διαδικασίας ετεροχρονισμού, οι χρήστες μπορούν να αποστείλουν πολλαπλές εργασίες (αρχεία προς εκτύπωση) σε ένα δικτυακό εκτυπωτή. Τα αρχεία αυτά αποθηκεύονται προσωρινά σε ένα server και τυπώνονται όταν έρθει η σειρά τους.

Προσωπική επικοινωνία

1. Μία κοινή χρήση των δικτύων είναι η επικοινωνία μεταξύ χρηστών διαφορετικών ή κοινών δικτύων (e-mail).
2. Το e-mail σύστημα δίνει τη δυνατότητα στο χρήστη να ανταλλάσσει μηνύματα (με προσαρτιζόμενα αρχεία, με εικόνα, ήχο, κίνηση) στο μήκος τοπικών δικτύων και του κυβερνοχώρου (Internet).



ΣΧ. 1.6 Προσωπική επικοινωνία

3. Συμπληρωματικά υπάρχει πλειάδα συστημάτων που υποστηρίζουν την επικοινωνία, όπως συστήματα τηλεδιάσκεψης, εικονοδιάσκεψης, chatting και άλλα.

Ευκολότερη δημιουργία αντιγράφων

1. Η ύπαρξη του δικτύου δίνει τη δυνατότητα στους διαχειριστές να δημιουργούν εύκολα αντίγραφα δεδομένων εφόσον το επιθυμούν.
2. Συνήθως, αποθηκεύονται μέσω δικτύου, δεδομένα που βρίσκονται στον server, αλλά ακόμα και δεδομένα που βρίσκονται σε ηλεκτρονικό υπολογιστή χρηστών.

1.4 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΔΙΚΤΥΩΝ

Για την ταξινόμηση των δικτύων επικοινωνίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορα χαρακτηριστικά όπως:

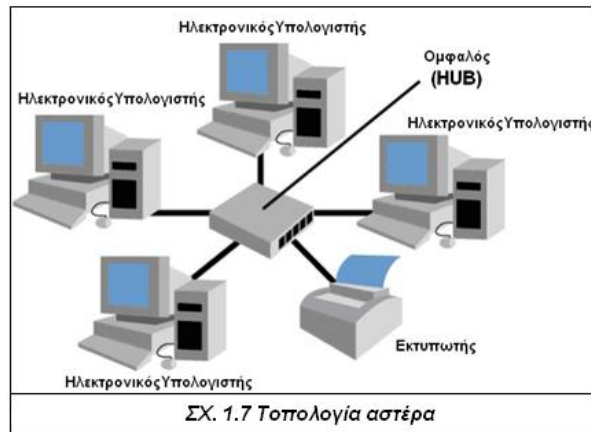
1. Η αρχιτεκτονική και οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά δεδομένων, όπου έχουμε:
 - Μεταγωγίμα δίκτυα (Μεταγωγής κυκλώματος, πακέτου, πλαισίου, κυψελίδων)
 - Δίκτυα εκπομπής
2. Η προσφερόμενη γεωγραφική κάλυψη όπου έχουμε:
 - Δίκτυα μηχανών ροής δεδομένων (Data Flow Machines) και πολυεπεξεργαστών (Multiprocessor Systems)
 - Τοπικά Δίκτυα Υπολογιστών (Local Area Networks)
 - Μητροπολιτικά Δίκτυα Υπολογιστών (Metropolitan Area Networks)
 - Περιφερειακά δίκτυα (Regional Area Networks)
 - Δίκτυα Ευρείας Περιοχής (Wide Area Networks) και διαδίκτυα ή Διηπειρωτικά παγκόσμια δίκτυα (Global Area Networks) που προκύπτουν από την διασύνδεση επιμέρους δικτύων.
3. Το προσφερόμενο εύρος ζώνης (Bandwidth)
4. είδος των υποστηριζόμενων εφαρμογών
5. Το κανονιστικό πλαίσιο λειτουργίας
6. Το χρησιμοποιούμενο υλικό και λογισμικό

1.5 ΤΟΠΟΛΟΓΙΕΣ ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

Τα δίκτυα με βάση την τοπολογία τους χωρίζονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

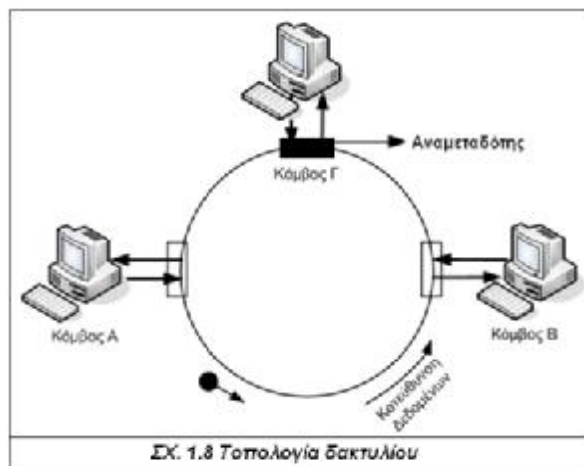
■ Τοπολογία Αστέρα (Star) (Σχ1.7):

Κάθε συσκευή συνδέεται απευθείας με ένα κεντρικό σημείο ελέγχου που λέγεται ομφαλός (hub) (Σχήμα 1.7). Τα δεδομένα σε ένα δίκτυο άστρου περνούν διά μέσου του hub πριν συνεχίσουν την πορεία τους. Η τοπολογία αυτή είναι ασφαλής και σταθερή αλλά με απαιτήσεις πολλών καλωδιώσεων και είναι λιγότερο ακριβή. Μειονέκτημα της τοπολογίας αυτής είναι ότι ένα πρόβλημα στον κεντρικό υπολογιστή (hub) μπορεί να “ρίξει” το δίκτυο. Γενικά δίκτυα σε μορφή αστέρα χρησιμοποιούνται σε μικρές και μεσαίες εφαρμογές.



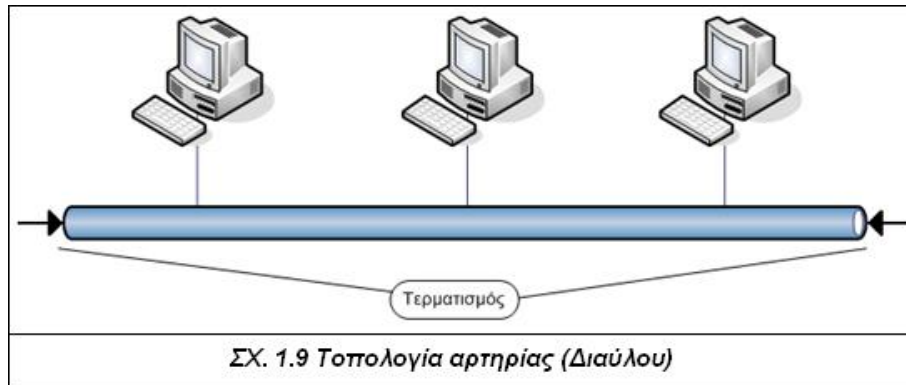
■ Τοπολογία Δακτυλίου (Ring) (Σχ.1.8):

Είναι ένα δίκτυο όπου οι διάφοροι τερματικοί σταθμοί συνδέονται σε ένα κλειστό δακτύλιο μέσω κάποιου φυσικού μέσου. Η σύνδεση γίνεται με τέτοιο τρόπο, που όλα τα δεδομένα ταξιδεύουν σειριακά πάνω στο δακτύλιο περνώντας διαδοχικά από όλους τους σταθμούς. Σε αυτή την περίπτωση ο κάθε τερματικός σταθμός λειτουργεί ως επαναλήπτης (repeater) με τη λογική ότι δέχεται κάποια δεδομένα, τα οποία αν δεν τον αφορούν, τα επανεκπέμπει προς τον επόμενο σταθμό στη σειρά. Δίκτυο σε μορφή δακτυλίου χρησιμοποιείται στο πρότυπο FDDI. Είναι πιο φθηνή και πιο εύκολη στην εγκατάσταση από την προηγούμενη, με λιγότερες καλωδιώσεις. Έχει το μειονέκτημα της μονόδρομης ροής της πληροφορίας και παρέχει καλή αντιμετώπιση και ταυτοποίηση σφαλμάτων.



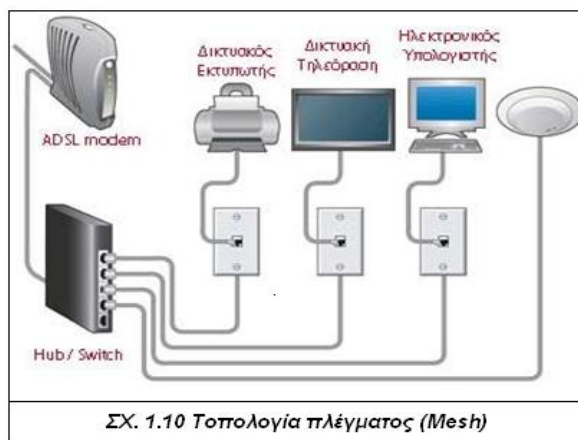
■ Τοπολογία Αρτηρίας (Διαύλου) (Bus) (Σχ.1.9):

Είναι ένα δίκτυο που χρησιμοποιούν οι τερματικοί σταθμοί όπου συνδέονται πάνω σε ένα κοινό διάδρομο ο οποίος αποτελεί τη σπονδυλική στήλη (backbone) του δικτύου και επιτρέπει την ανάπτυξη μεγάλων ταχυτήτων διάδοσης των δεδομένων. Οι σταθμοί εκμεταλλεύονται τον κοινό δρόμο και εισάγουν δεδομένα σε διαφορετικές χρονικές στιγμές. Η τοπολογία αυτή είναι φθηνότερη και πιο εύκολη στην εγκατάσταση από τις άλλες γιατί έχει λιγότερες καλωδιώσεις.



■ Τοπολογία Βρόχου (Πλέγματος) (Mesh) (Σχ.1.10):

Σε ένα τέτοιο δίκτυο το κάθε τερματικό είναι συνδεδεμένο με τα άλλα με δύο τουλάχιστον δρόμους και με τέτοιον τρόπο, ώστε να δημιουργούνται βρόχοι. Χαρακτηρίζεται από την παρουσία περισσότερων από ένα δρόμους για την ανταλλαγή πληροφοριών (data) μεταξύ δύο σημείων σχηματίζοντας έτσι ένα πλέγμα μεταξύ των κόμβων του δικτύου. Είναι ασφαλής, αλλά σπάνια εφαρμόσιμη τεχνική, λόγω υψηλού κόστους.



Το κεφάλαιο αυτό αποτελεί την παρουσίαση των οπτικών ινών .

Οι οπτικές ίνες είναι το μέσο μεταφοράς των πληροφοριών για τον Δακτύλιο με πολυπλεξία DWDM.

Αρχικά γίνεται μία σύντομη περιγραφή της δομής τους.

Έπειτα περιγράφεται η αρχή λειτουργίας τους και οι αρχές μετάδοσης του οπτικού σήματος μέσα σε αυτές.

Στη συνέχεια δίνονται τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους καθώς και οι τύποι των οπτικών καλωδίων.

Τέλος παρουσιάζονται τα προβλήματα που εμφανίζονται κατά τη μετάδοση του φωτός μέσα από αυτές, καθώς επίσης και οι σημαντικότεροι τομείς όπου βρίσκουν εφαρμογή.

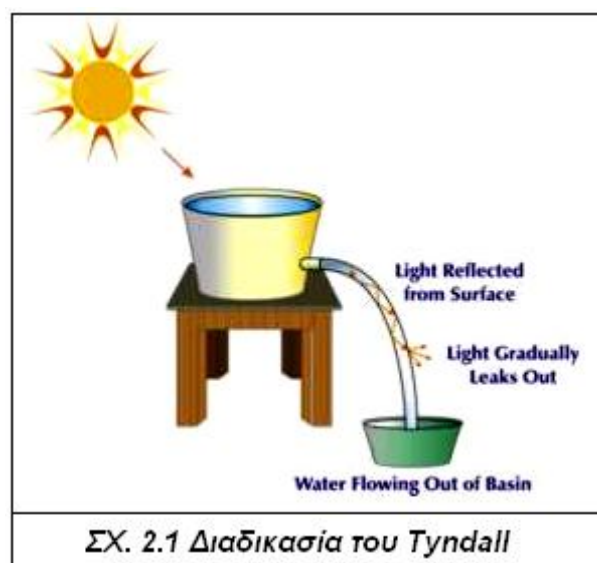


2.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Η αρχή της καθοδήγησης του φωτός μέσα από τις οπτικές ίνες καταδείχθηκε αρχικά μέσα από τον Daniel Collodon και Jaques Babinet το 1840, με τον Ιρλανδό εφευρέτη *John Tyndall* να προσφέρει δημόσιες επιδείξεις χρησιμοποιώντας μια πηγή ύδατος δέκα έτη αργότερα. Πρακτικές εφαρμογές, όπως ο στενός εσωτερικός φωτισμός κατά τη διάρκεια της οδοντιατρικής, εμφανίζεται νωρίς στον εικοστό αιώνα. 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. Οι σύγχρονες οπτικές ίνες, όπου η ίνα γυαλιού είναι ντυμένη με μια διαφανή επένδυση για να προσφέρει έναν καταλληλότερο δείκτη διάθλασης, εμφανίστηκαν στη δεκαετία του '50. Οι οπτικές ίνες έγιναν πρακτικές για τη χρήση στις επικοινωνίες προς το τέλος της δεκαετίας του '70, μόλις μειώθηκε αρκετά ο θόρυβος. Από τότε, διάφορες τεχνικές πρόοδοι έχουν γίνει για να βελτιώσουν τις ιδιότητες θορύβου και διασποράς των οπτικών ινών (επιτρέποντας στα σήματα να ταξιδέψουν μακρύτερα και να φέρουν περισσότερες πληροφορίες), χαμηλώνοντας το κόστος των συστημάτων επικοινωνιών ινών.

Ο φυσικός *Narinder Singh Kapany* το 1952 πραγματοποίησε τα πειράματα που οδήγησαν στην εφεύρεση της οπτικής ίνας, βασισμένη στις πρώτες μελέτες του Tyndall (Σχ. 2.1). Η πιο πρόσφατη ανάπτυξη, στον εικοστό αιώνα, εστίασε στην ανάπτυξη των δεσμών ινών για τη μετάδοση εικόνας, με την αρχική εφαρμογή που είναι το ιατρικό γαστροσκόπιο. Το πρώτο οπτικό ημιεύκαμπτο γαστροσκόπιο ινών κατοχυρώθηκε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας από τον *Hirschowitz, G. Wilbur Peters, και Lawrence E. Curtiss*, ερευνητές στο πανεπιστήμιο του Michigan, το 1956.



Στο στάδιο της ανάπτυξης του γαστροσκόπιου, Curtiss παρήγαγε τις πρώτες γυάλινες ίνες με επένδυση αφού οι προηγούμενες οπτικές ίνες είχαν στηριχθεί στον αέρα ή τα μη πρακτικά έλαια και τα κεριά ως υλικό επένδυσης. Ποικίλες άλλες εφαρμογές μετάδοσης εικόνας ακολούθησαν σύντομα.

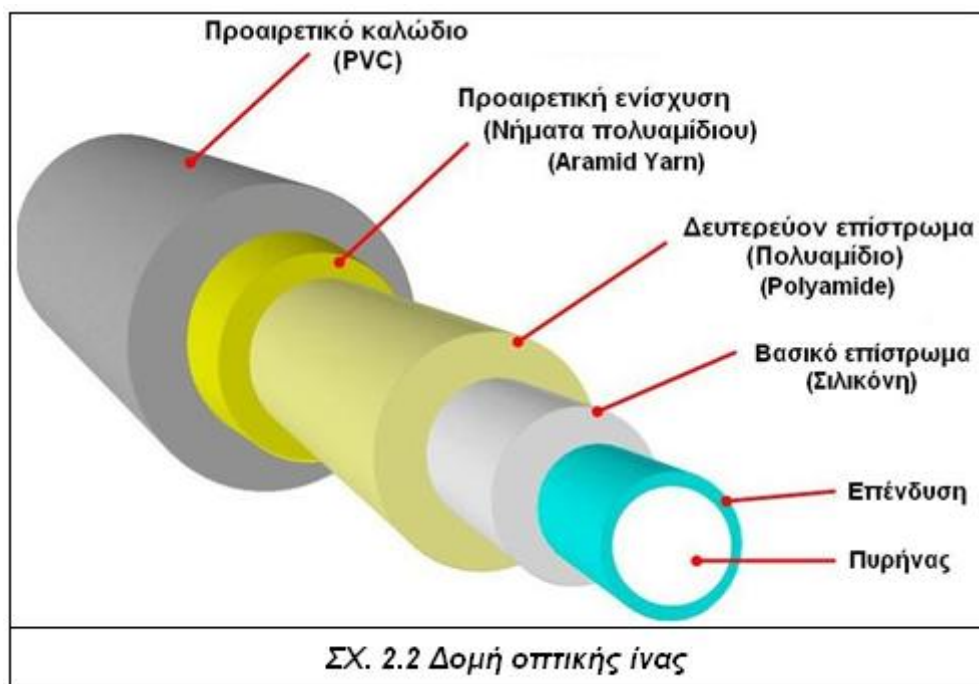
2.2 ΔΟΜΗ ΟΠΤΙΚΗΣ ΙΝΑΣ

Τα τελευταία χρόνια έχει πραγματοποιηθεί μια επανάσταση στο χώρο των ψηφιακών επικοινωνιών και των δικτύων με την εισαγωγή της οπτικής ίνας ως μέσου μετάδοσης.

Η οπτική ίνα (optical fiber) είναι ένας γυάλινος κυματοδηγός που αποτελείται από τρία ομοαξονικά στρώματα υλικού (Σχ. 2.2), τα οποία είναι:

- ο πυρήνας ή κεντρική ίνα (*core*): αποτελούμενος από γυαλί, μέσα στον οποίο διαδίδεται το οπτικό σήμα
- η επίστρωση (*cladding*) αποτελούμενη από γυαλί ή πλαστικό με δείκτη διάθλασης μικρότερο από αυτόν του πυρήνα
- το παχύ εξωτερικό περίβλημα (*jacke*t) που είναι κατασκευασμένο από πλαστικό και χρησιμοποιείται για την προστασία της από εξωγενής παράγοντες.

Σε ορισμένους τύπους οπτικών ινών υπάρχει ένα επιπλέον στρώμα, το λεπτό πλαστικό προστατευτικό κάλυμμα (*buffer*) το οποίο παρεμβάλετε μεταξύ του πυρήνα και της επίστρωσης για μεγαλύτερη προστασία.

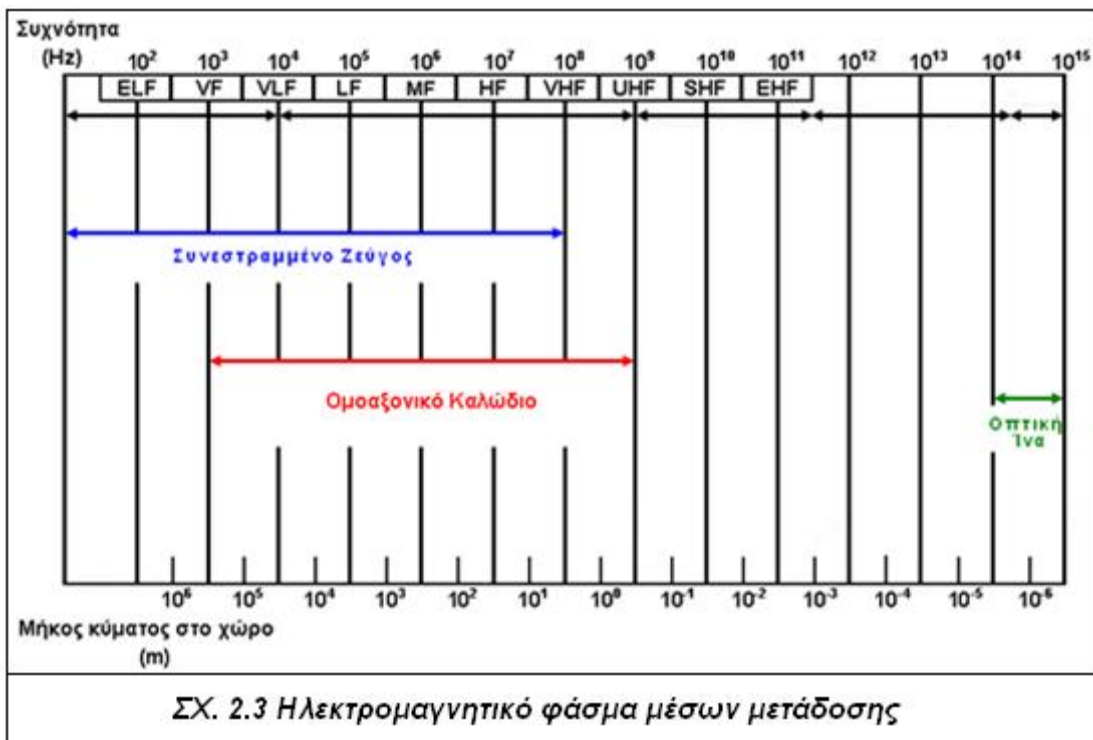


2.3 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

Η λειτουργία των οπτικών ινών εξαρτάται από τις βασικές ιδιότητες των οπτικών και την αλληλεπίδραση του φωτός με την ύλη. Από τη φυσική σκοπιά, το φως αποτελείται είτε από ηλεκτρομαγνητικά κύματα είτε από φωτόνια, τα οποία είναι κβάντα ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας. Το πιο βασικό σημείο στην κατανόηση της λειτουργίας των οπτικών ινών είναι η θεώρηση ότι το φως αποτελείται από ακτίνες οι οποίες ταξιδεύουν σε ευθείες γραμμές μεταξύ οπτικών στοιχείων, τα οποία μπορούν να κάμψουν ή να ανακάμψουν τη τροχία αυτή. Μπορούμε δηλαδή να πούμε ότι, η οπτική ίνα χρησιμοποιείται ως μέσο και το φως ως φορέας της πληροφορίας.

Ο τρόπος που αποστέλλεται η πληροφορία, η οποία βρίσκεται σε ψηφιακή μορφή, είναι η διαμόρφωση πλάτους του εκπεμπόμενου από την πηγή φωτός σε μορφή on/off. Το φως αποτελεί ένα μικρό κομμάτι ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Η φύση όλων των μορφών της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι η ίδια, και αναγνωρίζεται ως φωτόνια η κύματα τα οποία ταξιδεύουν με την ταχύτητα του φωτός, η οποία είναι 300.000 km/s. Η διαφορά της ακτινοβολίας μεταξύ διαφορετικών ηλεκτρομαγνητικών φασμάτων μπορεί να μετρηθεί ως μήκη κύματος, ενέργεια φωτονίων η ακόμα ως μια κυματοειδή συχνότητα των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων.

Οι περισσότερες από τις οπτικές ίνες που χρησιμοποιούνται σήμερα λειτουργούν σε μήκη κύματος που κυμαίνονται από 800 έως 1600nm (Σχ. 2.3).

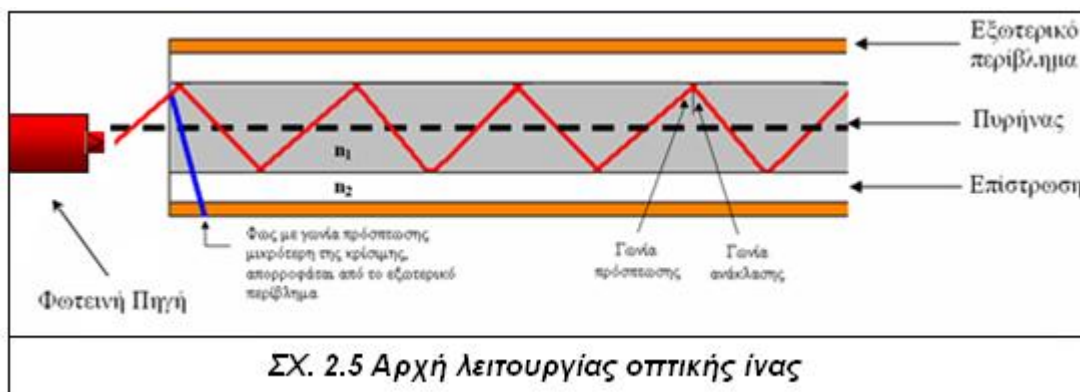
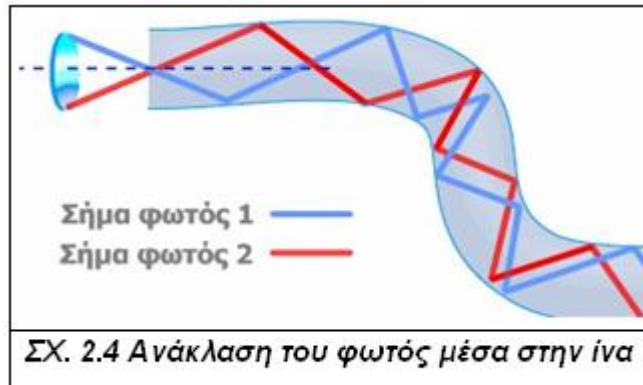


Η πληροφορία μεταφέρεται από τη φωτεινή δέσμη διαμέσου της κεντρικής ίνας με διαδοχικές ανακλάσεις στα τοιχώματα της ίνας (Σχ. 2.4).

Έτσι το σήμα υφίσταται ολικές ανακλάσεις με αποτέλεσμα η ενέργεια της φωτεινής δέσμης να παραμένει εγκλωβισμένη μέσα στην οπτική ίνα.

Το φως «οδηγείται» σύμφωνα με την αρχή της ανάκλασης, όπως αυτή ορίζεται από το νόμο της διάθλασης. Σύμφωνα με αυτή, όταν υπερβούμε την γωνία προσπίπτουσας το φως ανακλάται στην επιφάνεια επαφής ενός «πυκνού» υλικού, όπως το νερό, και ενός αραιού υλικού, όπως ο αέρας. Στην περίπτωση των οπτικών ινών, η κεντρική ίνα έχει υψηλότερο συντελεστή διάθλασης από αυτό της επίστρωσης. Τυπικές τιμές συντελεστών διάθλασης είναι για τον πυρήνα $n_1 = 1,47$ και για την επίστρωση $n_2=1,46$.

Βασική προϋπόθεση για να συμβεί ολική ανάκλαση είναι αφ' ενός ο δείκτης διάθλασης του εξωτερικού υλικού να είναι μικρότερος από αυτόν του εσωτερικού και αφετέρου η γωνία πρόσπτωσης της ακτίνας να είναι μεγαλύτερη από κάποια τιμή που ονομάζεται 'κρίσιμη γωνία' (Σχ. 2.5). Λόγω του ότι ο δείκτης διάθλασης του πυρήνα είναι μεγαλύτερος από αυτόν της επίστρωσης, οι ακτίνες που προσπίπτουν στην επίστρωση με γωνία μεγαλύτερη της οριακής ανακλώνται με γωνία ίση με τη γωνία πρόσπτωσης.



Έτσι το οπτικό σήμα "παγιδεύεται" μέσα στον πυρήνα και οδεύει με διαδοχικές ανακλάσεις προς το άλλο άκρο της οπτικής ίνας.

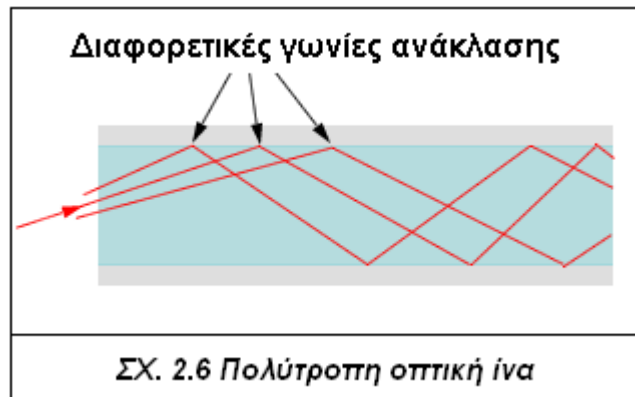
Οι οπτικές ίνες που είναι κατασκευασμένες από πλαστικό λειτουργούν καλύτερα όταν τα μήκη των κυμάτων τα οποία μεταφέρουν κυμαίνονται στο οπτικό φάσμα. Ωστόσο οι οπτικές αυτές ίνες δεν είναι τόσο διαυγείς όσο αυτές που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά υπέρυθρων κυμάτων, οι οποίες είναι φτιαγμένες από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

Οι κατασκευαστές των οπτικών ινών ελέγχουν με ακρίβεια την διαφορά των συντελεστών διάθλασης, προκειμένου να επιτύχουν τα επιθυμητά χαρακτηριστικά κυματοδότησης.

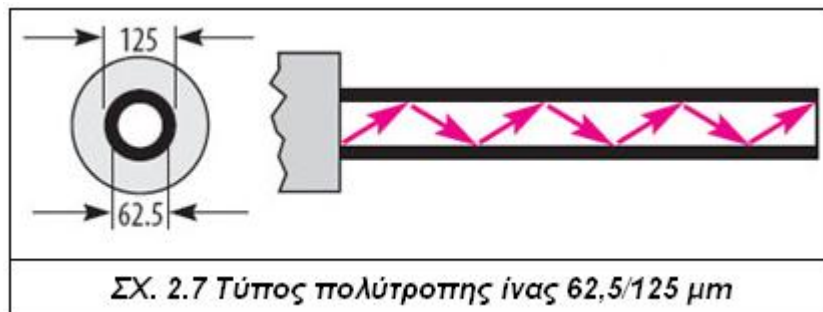
2.4 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ

2.4.1 ΠΟΛΥΤΡΟΠΕΣ ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ (MULTI-MODE FIBER OPTICS)

Η αρχή μετάδοσης σε πολύτροπη οπτική ίνα είναι ότι οι διάφορες ακτίνες του οπτικού σήματος ανάλογα με την είσοδο τους στην οπτική ίνα ταξιδεύουν ανακλώμενες υπό διαφορετικές γωνίες (Σχ. 2.6). Αυτός ο τρόπος μετάδοσης ονομάζεται πολύτροπος (multimode), επειδή υπάρχουν πολλαπλά μονοπάτια διάδοσης, που αντιστοιχούν στις διαφορετικές γωνίες ανάκλασης κάθε ένα με διαφορετικό μήκος και συνεπώς χρόνο που χρειάζεται για να διαπεράσει την ίνα.



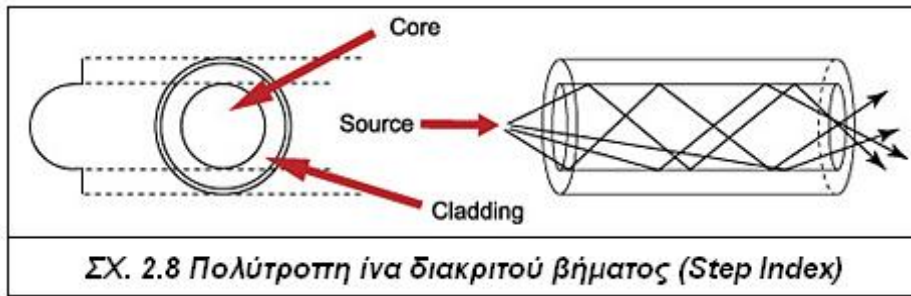
Ο τρόπος αναφοράς των μεγεθών για τις οπτικές ίνες είναι να αναφέρουμε πρώτα τη διάμετρο του πυρήνα (γυαλιού) και στη συνέχεια τη διάμετρο της επίστρωσης (cladding). Οι πολύτροπες οπτικές ίνες έχουν τυπικά μεγέθη 50μm/ 125μm, 62,5/125, 85/125 ή 100/140. Ο συνηθέστερος τύπος, ο οποίος κυκλοφορεί, είναι ο 62,5/125 (Σχ. 2.7). Η ολική διάμετρος της οπτικής ίνας συμπεριλαμβανομένων των ενισχυτικών συνθετικών ινών και του εξωτερικού περιβλήματος φτάνει τα 900μm.



Οι πολύτροπες οπτικές ίνες διακρίνονται σε δυο κατηγορίες:

- τις διακριτού βήματος (step index)

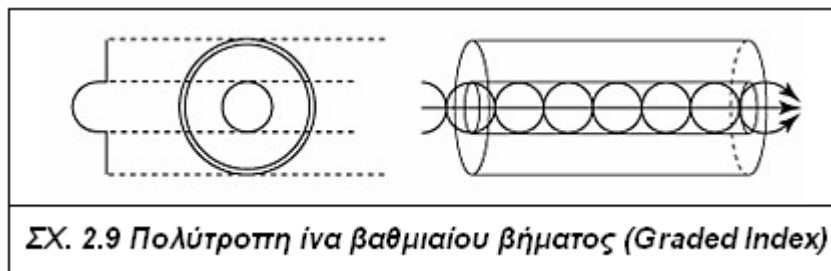
Οι πολύτροπες ίνες βηματικού δείκτη διάθλασης αποτελούν το απλούστερο είδος οπτικής ίνας, έχουν διάμετρο πυρήνα από 100 έως 970 μm και μπορεί να είναι εξ' ολοκλήρου γυάλινες, γυάλινου πυρήνα με πλαστικό μανδύα ή και εξ' ολοκλήρου πλαστικές. Επειδή κάθε τρόπος μετάδοσης κυματοδηγείται με διαφορετική γωνία ολικής ανάκλασης στην κοινή επιφάνεια πυρήνα / μανδύα, ακολουθεί διαδρομή διαφορετικού μήκους. Πιο συγκεκριμένα, ο τρόπος που κινείται κατά μήκος της οπτικής ίνας στο κέντρο του πυρήνα, γνωστός ως βασικός τρόπος, έχει την μικρότερη διαδρομή, ενώ ο τρόπος με την μικρότερη γωνία ολικής ανάκλασης την μεγαλύτερη διαδρομή (Σχ. 2.8).



Σαν αποτέλεσμα, η μεταφερόμενη από τους διαφορετικούς τρόπους ενέργεια του σήματος πληροφορίας, καταφθάνει στην έξοδο της ίνας σε διαφορετικές χρονικές στιγμές, προκαλώντας παραμόρφωση του σήματος στον δέκτη, που είναι γνωστή ως διασπορά τρόπου μετάδοσης.

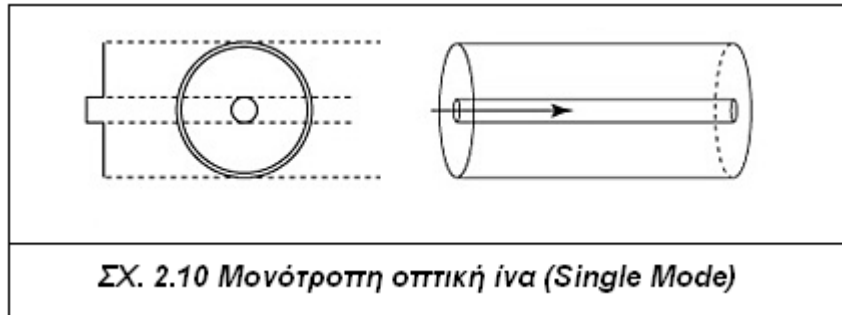
- τις βαθμιαίου βήματος (graded index)

Οι ίνες αυτές χαρακτηρίζονται από βαθμιαία μεταβολή του δείκτη διάθλασης του υλικού της κεντρικής ίνας. Συμβαίνει βαθμιαία μείωση όσο απομακρυνόμαστε από το κέντρο προς την εξωτερική επιφάνεια του γυαλιού. Ο υψηλότερος δείκτης διάθλασης στο κέντρο κάνει τις ακτίνες φωτός που κινούνται κατά μήκος του άξονα να προχωρούν πιο αργά από εκείνες κοντά στην επίστρωση. Αντί να έχουμε ζικ-ζακ ανάκλαση στην επίστρωση το φως στον πυρήνα κάμπτεται με ελικοειδή τρόπο (Σχ. 2.9) λόγω του βαθμιαίου δείκτη, μειώνοντας την απόσταση του ταξιδιού του. Το συντομότερο μονοπάτι και η υψηλότερη ταχύτητα επιτρέπουν το φως στην περιφέρεια να φθάσει στο δέκτη στον ίδιο σχεδόν χρόνο με τις ευθείες ακτίνες στον άξονα του πυρήνα. Οι ίνες βαθμιαίου δείκτη χρησιμοποιούνται συχνά στα τοπικά δίκτυα.



2.4.2 ΜΟΝΟΤΡΟΠΕΣ ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ (SINGLE-MODE FIBER OPTICS)

Στις μονότροπες οπτικές ίνες η διάμετρος της κεντρικής ίνας είναι πολύ μικρή και πλησιάζει περίπου το επίπεδο του μήκους κύματος του εκπεμπόμενου σήματος. Η μονότροπη (single-mode) διάδοση παρέχει καλύτερη απόδοση. Επειδή με τη μονότροπη μετάδοση υπάρχει μια μοναδική πορεία μετάδοσης, η παραμόρφωση που εμφανίζεται στην πολύτροπη ίνα δε μπορεί να συμβεί.



Η μονότροπη χρησιμοποιείται συνήθως για εφαρμογές μεγάλων αποστάσεων, συμπεριλαμβανομένων της τηλεφωνίας και της καλωδιακής τηλεόρασης. Η κεντρική ίνα στις μονότροπες οπτικές ίνες έχει διάμετρο από 5μm έως 10μm με συνηθέστερη τιμή τα 8,3 μm. Η πορεία των ακτινών σε μια τέτοια οπτική ίνα φαίνεται στο Σχ. 2.10.

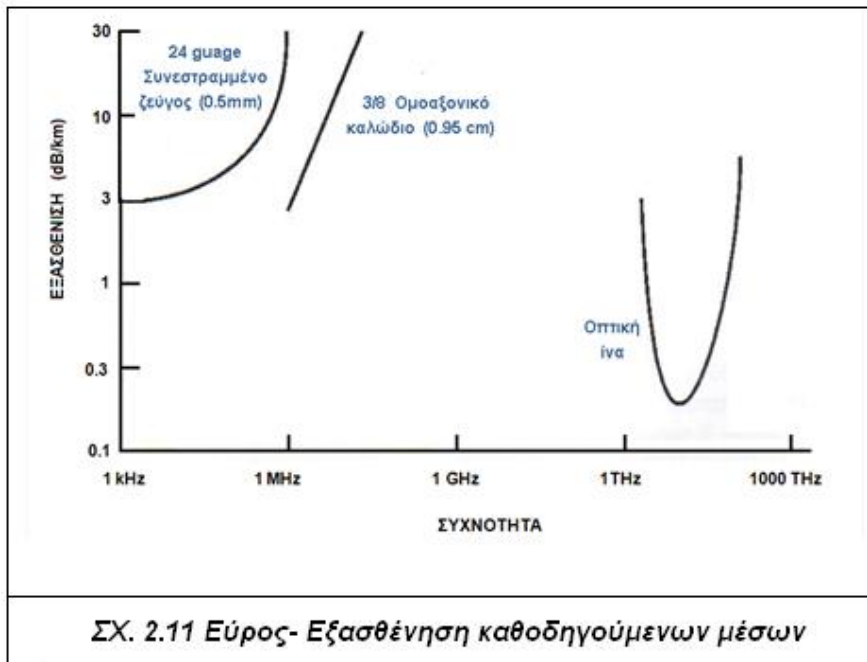
2.5 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΟΠΤΙΚΗΣ ΙΝΑΣ ΩΣ ΜΕΣΟ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ

Τα οπτικά δίκτυα κάνουν χρήση μεταδόσεων οπτικού σήματος για την ανταλλαγή πληροφορίας. Όπως όλα τα επικοινωνιακά συστήματα, ένα οπτικό σύστημα επικοινωνίας στην απλουστευμένη μορφή του αποτελείται από μια πηγή (αποστολέα), έναν προορισμό (παραλήπτη) και από το μέσο επικοινωνίας. Ανάλογα με την επιλογή του οπτικού μέσου επικοινωνίας, τα οπτικά δίκτυα μπορούν γενικά να διαιρεθούν σε δυο κατηγορίες, τα κατευθυνόμενα και τα μη κατευθυνόμενα συστήματα. Στα μη κατευθυνόμενα συστήματα, η δέσμη φωτός που μεταδίδεται από την πηγή διευρύνεται καθώς διαδίδεται μέσα στο χώρο, όπως γίνεται και στη μετάδοση μικροκυμάτων (microwave transmission). Η χρήση του (ελεύθερα διαθέσιμου) χώρου ως μέσο επικοινωνίας επιφέρει προβλήματα παρεμβολών στις μεταδόσεις μέσα στην ατμόσφαιρα της γης. Τα κατευθυνόμενα συστήματα κάνουν χρήση της οπτικής ίνας ως μέσο επικοινωνίας, γι' αυτό και είναι επίσης γνωστά ως συστήματα επικοινωνιών με οπτικές ίνες.

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα που προσφέρουν οι οπτικές ίνες ως μέσο μετάδοσης έναντι άλλων μέσων είναι τα ακόλουθα:

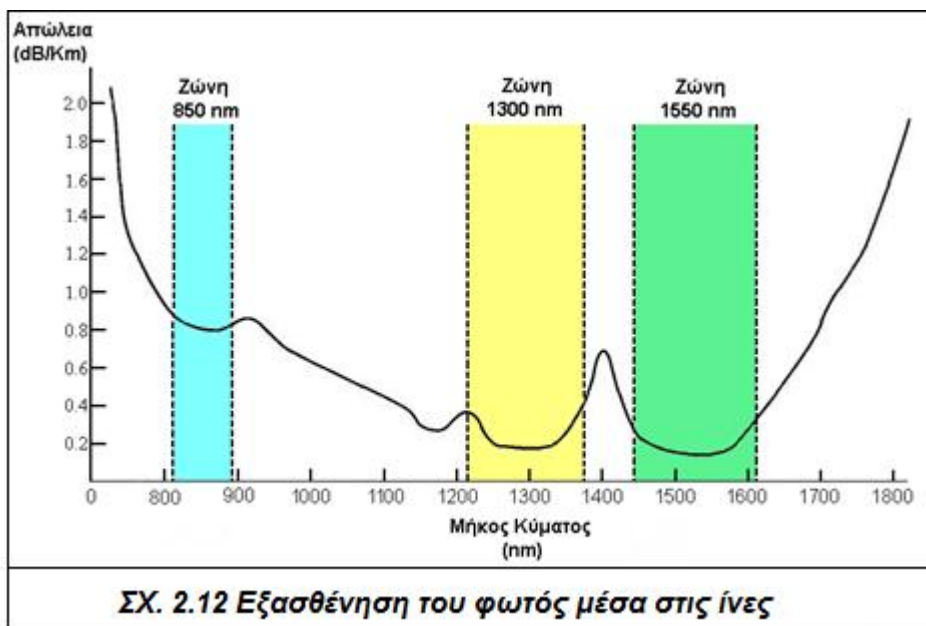
- Τεράστιο εύρος ζώνης:

Οι οπτικές ίνες προσφέρουν εξαιρετικά υψηλότερο εύρος ζώνης από άλλα μέσα μετάδοσης (Σχ. 2.11). Το διαθέσιμο εύρος ζώνης σε μία μόνο οπτική ίνα φτάνει σε μερικές δεκάδες THz (θεωρητικά γύρω στα 50 THz) και το εκμεταλλευόμαστε χρησιμοποιώντας κυρίως τις δυο περιοχές χαμηλής εξασθένησης του οπτικού σήματος με εύρος 200 nm περίπου, πρώτη στα 1300 nm και η δεύτερη στα 1550 nm (Σχ. 2.12).



ΣΧ. 2.11 Εύρος- Εξασθένιση καθοδηγούμενων μέσων

Προκειμένου να αποκτήσει κανείς απλώς μια ιδέα των δυνατοτήτων των οπτικών ινών σε προσφερόμενο εύρος ζώνης, αρκεί να σκεφτεί ότι στην περιοχή του ενός εκατομμυριοστού του μέτρου (1 μm) κάθε μονότροπης (*Single-Mode*) οπτικής ίνας, το διαθέσιμο εύρος ζώνης είναι κατά τρεις τάξεις μεγέθους μεγαλύτερο από ολόκληρο το χρησιμοποιούμενο εύρος ζώνης ραδιοφωνικών συχνοτήτων της Γης, που είναι περίπου 25 GHz.



ΣΧ. 2.12 Εξασθένιση του φωτός μέσα στις ίνες

Είναι ομοίως αρκετά χαρακτηριστικό να σημειώσουμε ότι η χωρητικότητα καναλιού μίας μόνο ίνας είναι μεγαλύτερη από ένα τυπικό όγκο της τηλεφωνικής κίνησης των Ηνωμένων Πολιτειών σε περίοδο αιχμής. Θα μπορούσαμε εξάλλου να προσδιορίσουμε ένα μέτρο του τεράστιου προσφερόμενου εύρους ζώνης αν θεωρήσουμε τους ρυθμούς μετάδοσης που επιτυγχάνονται πάνω από μια και μόνο οπτική ίνα. Πράγματι οι ρυθμοί αυτοί θεωρητικά φτάνουν στις μερικές δεκάδες Tb/s ενώ είναι χαρακτηριστικό ότι οπτικά συστήματα μετάδοσης τα οποία φτάνουν αθροιστικά σε ρυθμούς μετάδοσης δυαδικών ψηφίων της τάξης του 1 Tb/s έγιναν εμπορικά διαθέσιμα περίπου το έτος 2003.

■ Καλύτερες ποιότητες σήματος:

Επειδή η οπτική μετάδοση δεν επηρεάζεται από ηλεκτρομαγνητικά πεδία, οι οπτικές ίνες επιδεικνύουν ανώτερη επίδοση από άλλα μέσα μετάδοσης, όπως π.χ. τα καλώδια χαλκού. Για δεδομένη απόσταση, το ποσοστό σφαλμάτων σε δυαδικά ψηφία (*Bit Error Rate- BER*) μιας μετάδοσης σε οπτική ίνα είναι σημαντικά μικρότερο από το αντίστοιχο ποσοστό μιας μετάδοσης σε χάλκινο καλώδιο ή μιας ασύρματης μετάδοσης.

Πίνακας 1

Ποσοστό σφαλμάτων σε δυαδικά ψηφία (BER)	
Οπτικοί Σύνδεσμοι	Χάλκινοι Σύνδεσμοι
10^{-9} ή 10^{-15}	10^{-5}

Όπως φαίνεται και από τον παραπάνω πίνακα (*Πίνακας 1*), η αντοχή στο θόρυβο (*noise immunity*) της οπτικής ίνας είναι μεγαλύτερη από τα άλλα μέσα μετάδοσης που συχνά υποφέρουν αρκετά από ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές.

■ Χαμηλή εξασθένηση σήματος:

Όταν μεταδίδονται οπτικά σήματα μέσω οπτικών ινών, η εξασθένηση τους μπορεί να είναι χαμηλή, έως και 0.25 dB/Km. Αυτό φαίνεται και στο (Σχ. 2.12) όπου μπορούμε να δούμε ότι η απώλεια (ή εξασθένηση) στον κάθετο άξονα y (σε dB/Km) μπορεί να πέσει στα 0.25 dB/Km για τη ζώνη μήκους κύματος των 1550 nm. Στην πράξη τέτοια επίπεδα εξασθένησης συνεπάγονται τη δυνατότητα ενός οπτικού σήματος σε αυτή τη ζώνη να διανύσει απόσταση 120 Km περίπου προτού χρειαστεί ενίσχυση ή αναγέννηση. Η συγκεκριμένη εξασθένηση αντιστοιχεί σε συνολική απώλεια 30 dB (εφόσον $120\text{Km} * 0.25 \text{ dB/Km} = 30 \text{ dB}$) ή, με απλούστερα λόγια, το σήμα υφίσταται εξασθένηση κατά ένα παράγοντα της τάξης του 1000. Στο ίδιο σχήμα μπορούμε να διακρίνουμε και τη ζώνη των 1300 nm με τυπική απώλεια 0.4 dB/Km αυτή η ζώνη έχει επίσης χρησιμοποιηθεί σε οπτικά συστήματα επικοινωνίας. Η τρίτη ζώνη χαμηλής εξασθένησης είναι στα 800 nm. Σε αυτή τη ζώνη οι απώλειες είναι μεγαλύτερες από τις δύο προηγούμενες (γύρω στα 2.5 dB/Km) και για το λόγο αυτό η συγκεκριμένη ζώνη χρησιμοποιήθηκε κυρίως στα πρώτα οπτικά συστήματα.

■ Ευκολία στην εγκατάσταση και τη συντήρηση:

Μια οπτική ίνα καλής ποιότητας είναι μερικές φορές λιγότερο εύθραυστη από ένα χάλκινο σύνδεσμο. Επιπρόσθετα, οι οπτικές ίνες δεν παθαίνουν διάβρωση και είναι λιγότερο ευάλωτες σε φθορές λόγω διαφόρων περιβαλλοντικών συνθηκών. Εξάλλου είναι ιδιαίτερα εύκαμπτες, ζυγίζουν λιγότερο από τα χάλκινα καλώδια και έχουν λιγότερες απαιτήσεις σε χώρο, δηλαδή στον χώρο ο οποίος απαιτείται από ένα χάλκινο καλώδιο μπορούμε να εγκαταστήσουμε περισσότερες από μία οπτικές ίνες.

■ Καλύτερη ασφάλεια:

Η οπτική ίνα αποτελεί ασφαλές μέσο μετάδοσης καθώς δεν είναι δυνατόν να διαβαστούν ή να μεταβληθούν τα μεταδιδόμενα οπτικά σήματα χωρίς φυσική διάσπαση της (Σχ. 2.13). Σε πολλές κρίσιμες εφαρμογές όπου η ασφάλεια είναι υψίστης σημασίας, όπως για παράδειγμα σε στρατιωτικές εφαρμογές ή εφαρμογές ηλεκτρονικού εμπορίου, οι οπτικές ίνες προτιμώνται αντί των χάλκινων μέσων μετάδοσης, από τα οποία υπάρχει γενικά η δυνατότητα να αντληθούν παράνομα από τα ηλεκτρομαγνητικά τους πεδία πολύτιμες μεταδιδόμενες πληροφορίες. Για να γίνει υποκλοπή σε μία οπτική επικοινωνία θα πρέπει να κόψουμε την οπτική ίνα και να παρεμβάλουμε κάποιο μέσο. Αυτό είναι αδύνατον γιατί ο δέκτης θα αντιληφθεί αμέσως την διακοπή του φωτός και ταυτόχρονα ο πομπός θα σταματήσει να εκπέμπει.



ΣΧ. 2.13 Φωτεινή δέσμη ίνας

■ Μόνωση :

Η οπτική ίνα αποτελείται από διηλεκτρικό υλικό και ως εκ τούτου δεν μεταφέρει ηλεκτρικό ρεύμα, που μπορεί να προκαλέσει ηλεκτρικό σπινθήρα με κίνδυνο έκρηξης ή πυρκαγιάς. Για τον λόγο αυτό ένα ινοοπτικό καλώδιο μπορεί να διατρέχει τοξικά ή εκρηκτικά περιβάλλοντα (π.χ. σωληνώσεις αποβλήτων ή υγρών καυσίμων), όπου η χρήση ηλεκτρικών καλωδίων είναι απαγορευμένη. Επίσης η χρήση εξ' ολοκλήρου διηλεκτρικού ινοοπτικού καλωδίου προστατεύει τις τηλεπικοινωνιακές ζεύξεις από τους κεραυνούς.

■ Χαμηλότερο κόστος πρώτης ύλης :

Η πρώτη ύλη από την οποία κατασκευάζονται οι οπτικές ίνες είναι το πυρίτιο (γυαλί), που βρίσκεται σε αφθονία στους κόκκους της άμμου, σε σύγκριση με το χαλκό, που αποτελεί το υλικό των δυσύρματων και ομοαξονικών καλωδίων, τα αποθέματα του οποίου είναι σπανιότερα.

Με τα παραπάνω πλεονεκτήματα, είναι εύκολη να αναλογιστούμε ότι η οπτική ίνα υπερτερεί έναντι των άλλων καθοδηγούμενων μέσων (Πίνακας 2).

	Περιοχή Συχνοτήτων	Εξασθένιση	Καθυστέρηση	Απόσταση Αναμεταδοτών
Συνεστραμμένο Ζεύγος	0 έως 3,5 kHz	3dB/km (1 kHz)	50μs/km	2km
Ομοαξονικό Καλώδιο	0 έως 500 MHz	7dB/km (10 MHz)	4μs/km	1έως 9km
Οπτική Ίνα	180 έως 370 THz	0,2dB/km	5μs/km	40km

Πίνακας 2 Χαρακτηριστικά μετάδοσης καθοδηγούμενων μέσων

2.6 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΟΠΤΙΚΗΣ ΙΝΑΣ ΩΣ ΜΕΣΟ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ

- Δύσκολοι οι τρόποι σύνδεσης και βυσμάτωσης των οπτικών ινών σε εκπομπό και δέκτη:

Οι δυσκολίες εμφανίζονται στην σύνδεση με τον connectora και στην προσαρμογή και ευθυγράμμιση της ίνας με την φωτεινή πηγή του πομπού. Μικρές αποκλίσεις των βυσμάτων σύνδεσης προξενούν διασπορά και απώλεια του εκπεμπόμενου σήματος.

- Δύσκολη η σύνδεση πολλών χρηστών πάνω σ' ένα καλώδιο:

Καθώς δεν είναι εύκολος ακόμη ο τρόπος απομάστευσης με οπτικές ίνες. Μέχρι στιγμής οι οπτικές ίνες ικανοποιούν point to point συνδέσεις.

- Η χρήση τους είναι περισσότερο διαδεδομένη στα κομβικά δίκτυα και πολύ λίγο στα τοπικά σημεία πρόσβασης (οικίες κλπ).
- Απαιτείται εξειδικευμένο προσωπικό και ειδικευση για την εγκατάσταση.

2.7 ΤΥΠΟΙ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

Οι οπτικές ίνες κατηγοριοποιούνται ως προς :

- Το υλικό κατασκευής πυρήνα και μανδύα
- Την μεταβολή του δείκτη διάθλασης από τον πυρήνα στον μανδύα
- Το πλήθος των τρόπων μετάδοσης που υποστηρίζουν
- Τον τρόπο κατασκευής τους

2.7.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΥΛΙΚΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Οι οπτικές ίνες κατηγοριοποιούνται ανάλογα με το υλικό κατασκευής τους, ως εξής:

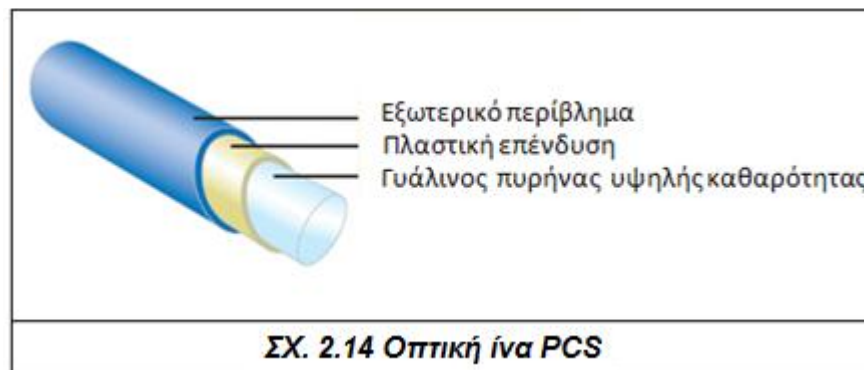
■ Εξ ολοκλήρου γυάλινες οπτικές ίνες

Αποτελούν το περισσότερο διαδεδομένο είδος οπτικών ινών στις τηλεπικοινωνίες. Τόσο ο πυρήνας, όσο και ο μανδύας, είναι κατασκευασμένα από συνθετικό γυαλί (με το εμπορικό όνομα quartz), υψηλής καθαρότητας σε διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2), στο οποίο έχουν προστεθεί κατάλληλες προσμίξεις, προκειμένου να επιτευχθεί η επιδιωκόμενη διαφορά στο συντελεστή διάθλασης πυρήνα και μανδύα. Πιο συνηθισμένοι τύποι προσμίξεων είναι:

1. το γερμάνιο (Ge) και ο φώσφορος (P), που χρησιμοποιούνται κυρίως στον πυρήνα, αυξάνοντας τον συντελεστή διάθλασης του γυαλιού
2. το βόριο (B) και το φθόριο (F), που χρησιμοποιούνται κυρίως στον μανδύα, μειώνοντας τον συντελεστή διάθλασης του γυαλιού.

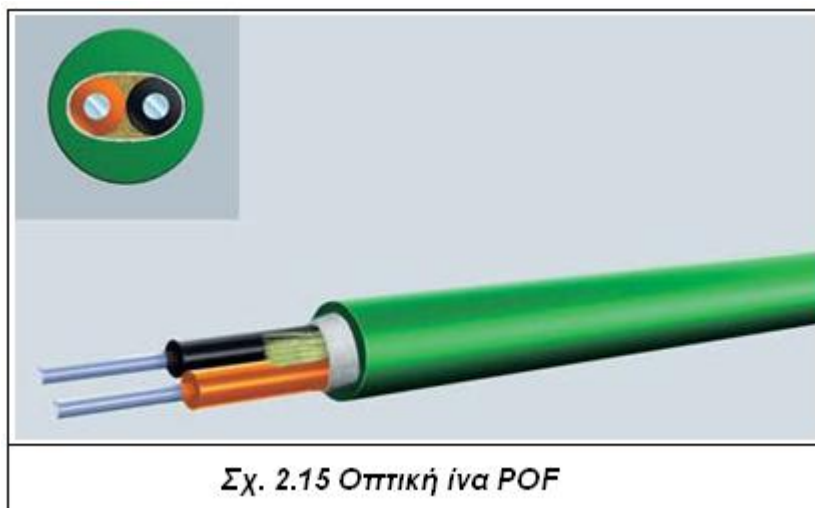
■ Ίνες γυάλινου πυρήνα και πλαστικού μανδύα (Plastic Clad Silica -PCS)
(Σχ. 2.14)

Χρησιμοποιούνται κυρίως για μεταφορά φωτός και εικόνας σε μικρές αποστάσεις σε εξειδικευμένες εφαρμογές (ενδοσκοπήσεις). Η χρήση τους σήμερα φθίνει και τείνουν να αντικατασταθούν από εξ ολοκλήρου πλαστικές ίνες.



■ Εξ ολοκλήρου πλαστικές ίνες (Plastic Optical Fiber- POF) (Σχ. 2.15)

Συγκρινόμενες με τα άλλα είδη ινών παρουσιάζουν εμφανώς κατώτερες επιδόσεις, ως προς την ελάχιστη εξασθένιση (0,15 dB/m στα 650 nm) και το διαθέσιμο εύρος ζώνης, καθώς και μεγάλη ευαισθησία σε θερμοκρασιακές μεταβολές. Βρίσκουν όμως εφαρμογή στη μεταφορά φωτός



(αυτοκινητοβιομηχανία), σε τοπικά δίκτυα και εσωτερικές καλωδιώσεις κτιρίων, κυρίως λόγω του πολύ χαμηλότερου κόστους των πλαστικών ινών και των παρελκόμενων αυτών.

Μήκος Κύματος (nm)	Υλικό	Τύπος	Διαστάσεις NA	Χρήση
630	Πλαστική (POF)	Πολύτροπη	100-1000/200-1200 NA: 0.50 - 0.66	Μεταφορά δεδομένων, τοπικές ζεύξεις
850	PCS	Πολύτροπη, βηματικού ή διαβαθμισμένου δείκτη	50/125, 85/125, 100/140 NA: 0.3 - 0.5	Γενική
1300	Silica	Πολύτροπη, βηματικού ή διαβαθμισμένου δείκτη	50/125, 85/125 NA: 0.2 - 0.35	Ζεύξεις μεγάλων αποστάσεων
1550	Silica	Μονότροπη, βηματικού δείκτη	8.5/125 NA: 0.1	Ζεύξεις μεγάλων αποστάσεων

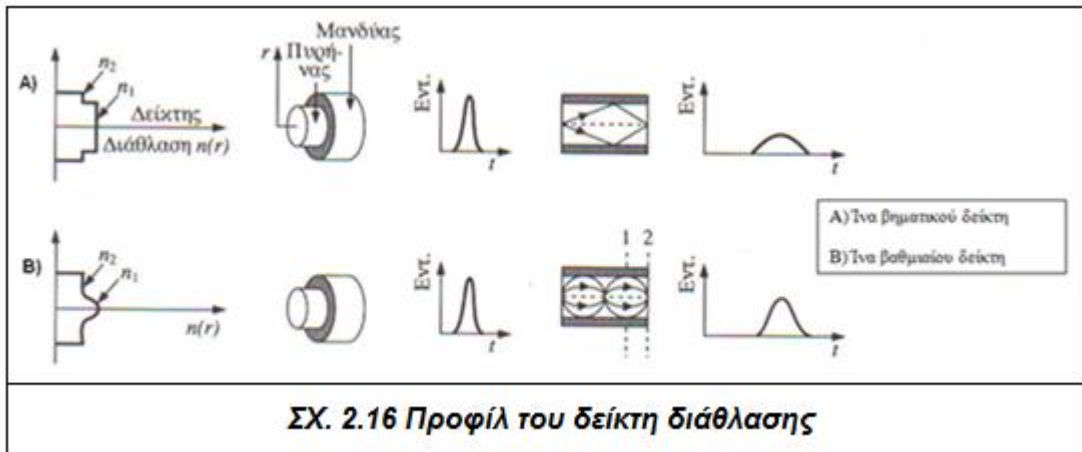
Πίνακας 3 Είδη και χρήση οπτικών ινών

Στον Πίνακα 3 συγκεντρώνονται τα είδη και οι εφαρμογές των οπτικών ινών.

2.7.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗΝ ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι πολύτροπες ίνες. Ως προς την μεταβολή της τιμής του δείκτη διάθλασης (Σχ. 2.16) από τον πυρήνα στο περίβλημα, χαρακτηρίζονται ως :

- βαθμιαίου δείκτη (graded index)
- βηματικού δείκτη (step index)

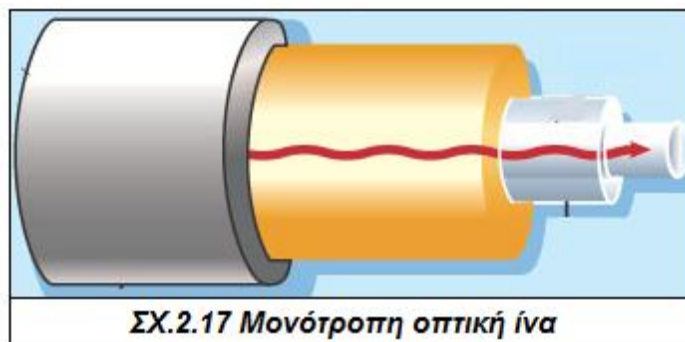


2.7.3 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟΝ ΤΡΟΠΟ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ

Ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο μεταδίδεται το φως μέσα στην ίνα, διακρίνονται σε:

- Μονότροπες (single mode)

Στις μονότροπες οπτικές ίνες (Σχ. 2.17, 2.18) η διάμετρος της κεντρικής ίνας είναι πολύ μικρή και πλησιάζει περίπου το επίπεδο του μήκους κύματος του εκπεμπόμενου σήματος. Στην περίπτωση αυτή έχουμε έναν μόνο δυνατό τρόπο μετάδοσης του οπτικού σήματος, τον αξονικό. Συνήθως οδηγούνται από πηγή LASER.

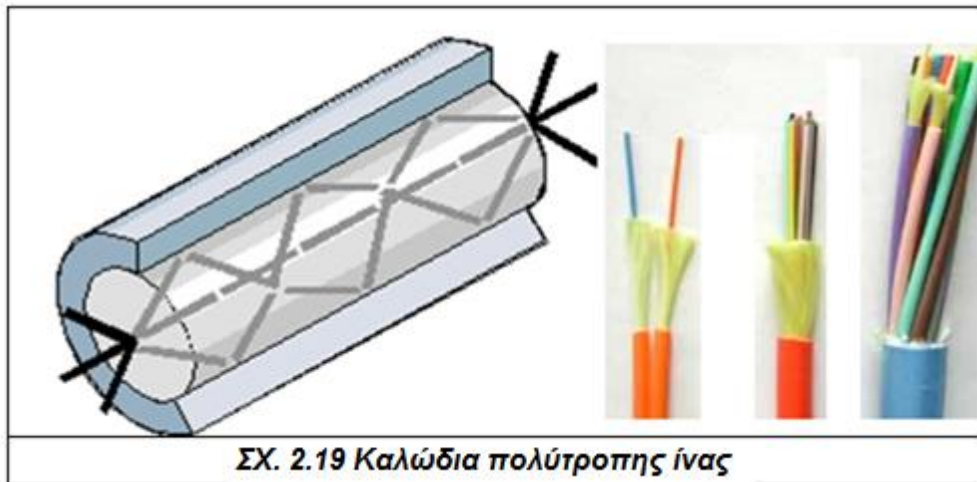




ΣΧ. 2.18 Καλώδιο μονότροπης ίνας

- Πολύτροπες (multimode)

Στις πολύτροπες (Σχ. 2.19) έχουμε πολλούς δρόμους μετάδοσης, που αντιστοιχούν στις διαφορετικές γωνίες ανάκλασης. Στις πολύτροπες οπτικές ίνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν χαμηλού κόστους πηγές LED.



ΣΧ. 2.19 Καλώδια πολύτροπης ίνας

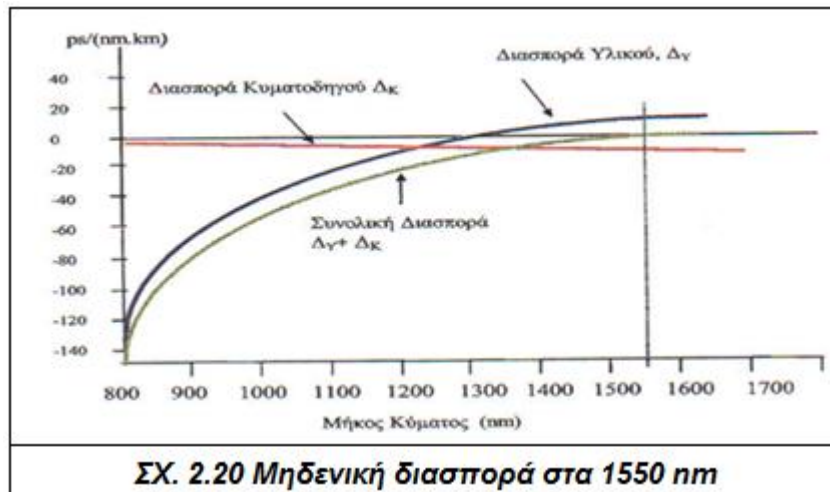
Περισσότερες πληροφορίες για τα δύο αυτά είδη αναφέρονται στην ενότητα 2.3.

2.7.4 ΙΝΕΣ ΕΙΔΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

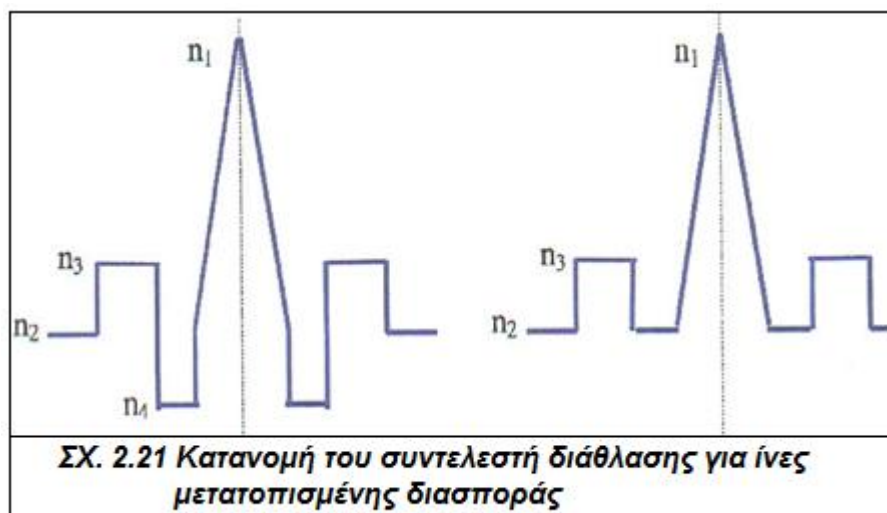
Οι πρώτες οπτικές ίνες παρουσίασαν αδυναμίες λόγω διασποράς υλικού, διασποράς λόγω πόλωσης, μειωμένης χωρητικότητας και φαινομένων μη γραμμικότητας. Οι νέες ίνες είναι υψηλών επιδόσεων, διατηρούν τεχνολογική ανωτερότητα, υψηλή χωρητικότητα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εξειδικευμένες εφαρμογές. Παρακάτω αναφέρονται είδη οπτικών ινών ειδικού σχεδιασμού.

- Οπτικές ίνες μετατοπισμένης διασποράς (DSF-Dispersion Shifted Fibre)

Με κατάλληλο σχεδιασμό, η διασπορά κυματοδηγού μπορεί να λάβει κατάλληλη τιμή, ώστε σε συνδυασμό με την διασπορά υλικού να επιτυγχάνεται μηδενική διασπορά στο μήκος κύματος λειτουργίας ελάχιστης



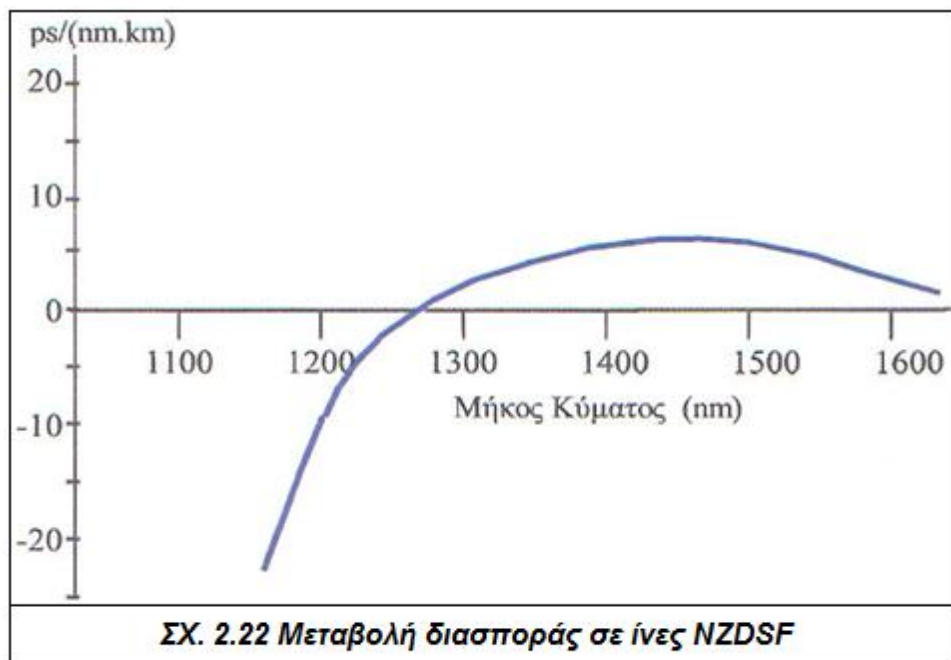
εξασθένησης (δηλαδή στα 1550 nm). Οι ίνες αυτές λέγονται ίνες μετατοπισμένης ή μηδενικής διασποράς και χρησιμοποιούνται σε ινοοπτικές ζεύξεις μεγάλου μήκους (κυρίως υποβρύχιες), όπου η διασπορά αποτελεί τον βασικό περιορισμό στον μέγιστο ρυθμό μετάδοσης της ίνας. Η επίτευξη μηδενικής διασποράς στα 1550 nm φαίνεται στο Σχ. 2.20, ενώ στο Σχ. 2.21 δίδεται η κατανομή του συντελεστή διάθλασης στον πυρήνα και στον μανδύα για ίνες μετατοπισμένης διασποράς.



Οι ίνες αυτές λέγονται και ίνες τριγωνικής κατανομής συντελεστή διάθλασης και χρησιμοποιούνται κυρίως στις ΗΠΑ, όπου, λόγω των πολύ μεγάλων αποστάσεων μετάδοσης, επιβάλλεται συχνά η χρήση ινών μηδενικής διασποράς. Λόγω της τριγωνικής κατανομής του συντελεστή διάθλασης στον πυρήνα, οι ίνες αυτές απαιτούν μεγαλύτερη ακρίβεια από τις αντίστοιχες συμβατικές, τόσο κατά την κατασκευή (συμμετρικότητα πυρήνα) όσο και κατά την διαδικασία των συνενώσεων μέσω συγκολλήσεως. Στην Ευρώπη, όπου οι αποστάσεις είναι σημαντικά μικρότερες οι ίνες μηδενικής διασποράς δεν έχουν βρει ακόμη πεδίο εφαρμογής, και δεν φαίνεται ότι θα χρησιμοποιηθούν λόγω αδυναμίας υποστήριξης τεχνικών υπέρθεσης DWDM.

■ Οπτικές ίνες μη-μηδενικής μετατοπισμένης διασποράς (NZDSF-Non Zero Dispersion Shifted Fibre)

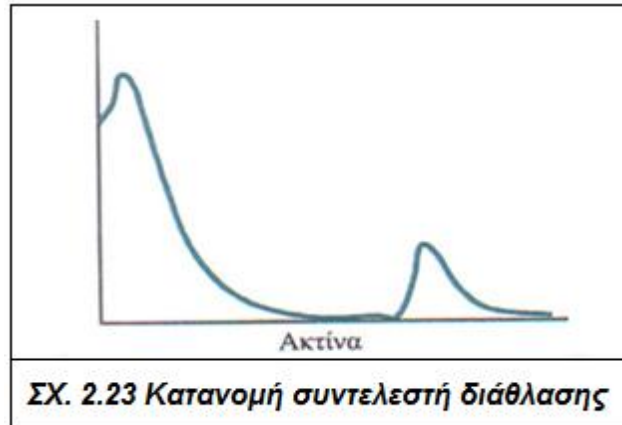
Σε εφαρμογές πολυπλεξίας με διαίρεση μήκους κύματος WDM επιδιώκεται η μετάδοση από μια ίνα, ενός αριθμού μηκών κύματος, με ικανή μεταξύ τους φασματική απόσταση, ώστε να είναι δυνατός ο διαχωρισμός τους στον δέκτη. Το σήμα σε κάθε μήκος κύματος υφίσταται διαφορετική καθυστέρηση, με αποτέλεσμα να μην επιτυγχάνεται ισοκατανομή στο διαθέσιμο εύρος ζώνης κάθε ακτινοβολίας. Με κατάλληλο σχεδιασμό, είναι δυνατόν να επιτευχθεί ο μηδενισμός της συνολικής διασποράς και σε δεύτερο μήκος κύματος (κοντά στο 1600 nm), δημιουργώντας μια φασματική περιοχή μεταξύ 1300 και 1600 nm, στην οποία η διασπορά παραμένει σχεδόν σταθερή (Σχ. 2.22).



Οι ίνες του τύπου αυτού λέγονται και ίνες επίπεδης διασποράς και προτείνονται για χρήση σε WDM.

■ Οπτικές ίνες μεγάλης ενεργής επιφάνειας (LEAF – Large Effective Area Fibre)

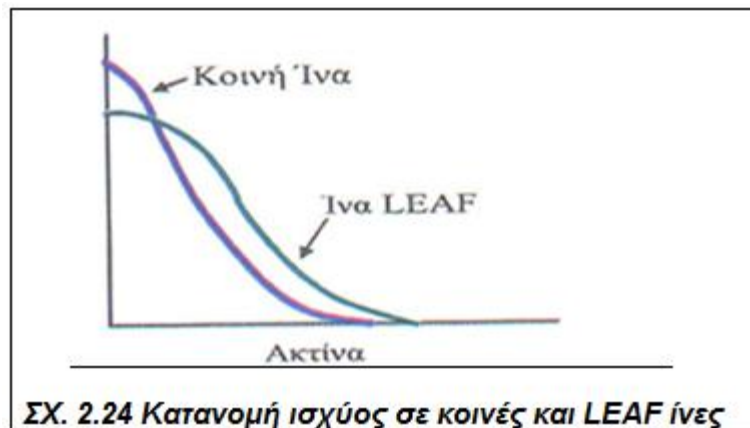
Σε εφαρμογές DWDM, η παρουσία μεγάλων τιμών οπτικής ισχύος σε μονότροπες οπτικές ίνες μηδενικής διασποράς, δημιουργεί μη γραμμικά φαινόμενα, όπως η μίξη τεσσάρων κυμάτων, που επιδεινώνουν σημαντικά την λειτουργία της ζεύξης. Το φαινόμενο της μίξης τεσσάρων κυμάτων είναι περισσότερο έντονο στην περιοχή της μηδενικής διασποράς, καθιστώντας τις ίνες μηδενικής διασποράς ακατάλληλες για χρήση σε εφαρμογές WDM. Η μη-γραμμικότητα εξαρτάται από την πυκνότητα ισχύος του οπτικού σήματος και μπορεί να μειωθεί αυξάνοντας την ενεργή επιφάνεια μετάδοσης της οπτικής ίνας.



Οι ίνες LEAF έχουν σχεδιασθεί για χαλαρή κυματοδήγηση, έτσι ώστε η ενεργή επιφάνεια να αυξάνεται στα $90 \mu\text{m}^2$, από τα $55 \mu\text{m}^2$ των κοινών οπτικών ινών. Η αύξηση αυτή επιτυγχάνεται με κατάλληλο σχεδιασμό της κατανομής του συντελεστή διάθλασης στον πυρήνα της ίνας (Σχ. 2.23) ενώ η αντίστοιχη κατανομή της οπτικής ισχύος διακρίνεται στο Σχ. 2.24.

Με την χρήση ινών LEAF επιτυγχάνεται εξοικονόμηση στον προϋπολογισμό ισχύος της τάξεως των 3 dB, με αποτέλεσμα την αύξηση της ενδιάμεσης απόστασης μεταξύ ινοοπτικών ενισχυτών. Επιπλέον οι ίνες LEAF έχουν σχεδιασθεί για λειτουργία και στις δυο φασματικές περιοχές

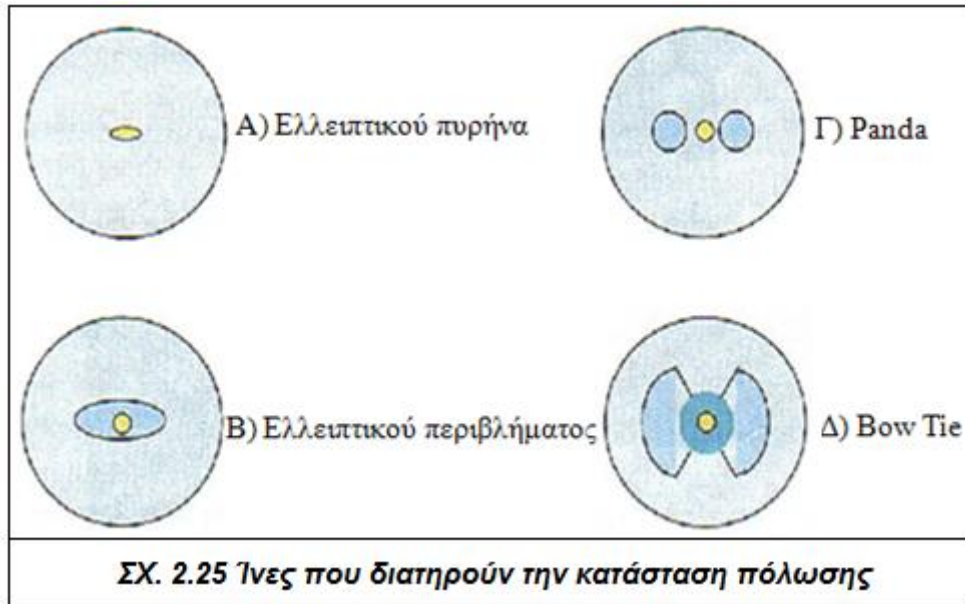
(1530-1565 nm και 1565-1625 nm), ενώ η μίξη τεσσάρων κυμάτων περιορίζεται και από την παρουσία μικρής διασποράς από 2 έως 6 $\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$ και από 4,5 έως 11,2 $\text{ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$. Οι ίνες τύπου LEAF αποτελούν την πιο πρόσφατη εξέλιξη στην τεχνολογία



των οπτικών ινών για υπεραστικά και υποβρύχια δίκτυα. Με δεδομένο ότι οι βασικοί τηλεπικοινωνιακοί οργανισμοί έχουν σε μεγάλο βαθμό ολοκληρώσει την εγκατάσταση οπτικών ινών στο υπεραστικό και υποβρύχιο δίκτυο, οι ίνες αυτές χρησιμοποιούνται κυρίως από ανταγωνιστικούς φορείς στο απελευθερωμένο τηλεπικοινωνιακό περιβάλλον, για την υλοποίηση εναλλακτικών δικτύων.

■ Οπτικές ίνες που διατηρούν την κατάσταση πόλωσης

Λόγω της κυλινδρικής γεωμετρίας τους, οι οπτικές ίνες δεν διατηρούν την κατάσταση πόλωσης του φωτός για περισσότερο από μερικά μέτρα. Αυτό σημαίνει ότι η οπτική ισχύς του σήματος διαμοιράζεται σε δυο εκφυλισμένους τρόπους με ορθογώνια πόλωση, των οποίων οι άξονες καθορίζονται από τα στοιχεία συμμετρίας στη διατομή της ίνας. Κάθε ένας από τους τρόπους αυτούς μεταδίδεται με διαφορετική ταχύτητα με αποτέλεσμα την εμφάνιση διασποράς, που είναι γνωστή ως διασπορά τρόπου πόλωσης. Το φαινόμενο είναι ιδιαίτερα ασθενές και δεν περιορίζει σημαντικά το εύρος ζώνης σε συστήματα, που λειτουργούν με ρυθμούς μέχρι 1Gb/s , και ενδιάμεσο βήμα αναγέννησης 100 km.



ΣΧ. 2.25 Ίνες που διατηρούν την κατάσταση πόλωσης

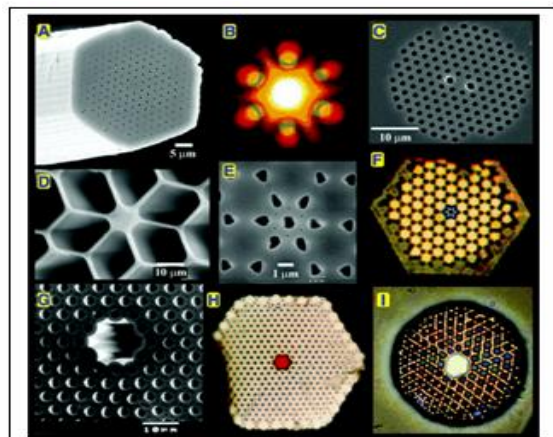
Η διατήρηση της κατάστασης πόλωσης είναι ιδιαίτερα σημαντική σε σύμφωνα οπτικά συστήματα, όπου χρησιμοποιούνται τεχνικές ομοδύνησης ή ετεροδύνησης, με το λαμβανόμενο οπτικό σήμα στον δέκτη, να αναμιγνύεται με το σήμα ενός laser, που λειτουργεί ως τοπικός ταλαντωτής. Επίσης, η διατήρηση της κατάστασης πόλωσης είναι σημαντική σε εφαρμογές ινοοπτικών αισθητήρων και ειδικότερα στο οπτικό γυροσκόπιο, που χρησιμοποιείται για την μέτρηση περιστροφής με ακρίβεια πολύ μεγαλύτερη από συμβατικές εφαρμογές.

Έτσι, χρησιμοποιούνται ίνες που διατηρούν την κατάσταση γραμμικής πόλωσης. Αυτό επιτυγχάνεται είτε με γεωμετρική ασυμμετρία του κυματοδηγού (ίνες ελλειπτικού πυρήνα ή περιβλήματος), είτε λόγω πλευρικών πιέσεων διαστολής από διαφορετικά υλικά στο περίβλημα (ίνες Panda και Bow Tie) (Σχ. 2.25). Οι ίνες αυτές έχουν περάσει το πειραματικό στάδιο και είναι εμπορικά διαθέσιμες σε υψηλό όμως κόστος.

■ Άλλοι τύποι ινών ειδικού σχεδιασμού

Προκειμένου να βελτιώσει τα χαρακτηριστικά των οπτικών ινών ως προς την κάμψη και την γήρανση κατά τις διαδικασίες τερματισμού, η εταιρεία *Corning* έχει διαθέσει στην αγορά έναν ισχυροποιημένο τύπο οπτικής ίνας, για λειτουργία σε βεβαρυμμένα περιβάλλοντα του δικτύου πρόσβασης. Οι ίνες αυτές, με το όνομα *Dura clad* φέρουν μανδύα με νοθεύσεις τιτανίου και συμπεριφέρονται κατά 30% καλύτερα από τις συμβατικές ίνες.

Οι φωτονικο-κρυσταλλικές ίνες (photonic optical fibre-POF) (Σχ. 2.26) γνωστές και ως "σουρωτές" ίνες, αποτελούν ένα νέο ξεχωριστό είδος ίνας, που μπορεί να μεταφέρει πολύ μεγαλύτερη ισχύ φωτός από τις αντίστοιχες συμβατικές ίνες, γιατί ο



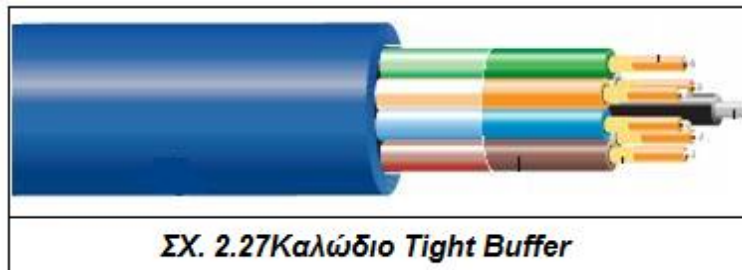
ΣΧ. 2.26 Τύποι φωτονικο-κρυσταλλικών ινών

πυρήνας τους περιέχει αέρα, και δεν εμφανίζει την μη-γραμμικότητα, που σχετίζεται με την μετάδοση σημάτων μεγάλης οπτικής ισχύος μέσα από ίνες διοξειδίου του πυριτίου.

Οι ίνες αυτές υποστηρίζουν την μετάδοση μακρύτερων μηκών κύματος, που συνήθως απορροφώνται από τις συμβατικές ίνες διευρύνοντας το διαθέσιμο φασματικό εύρος για εφαρμογές DWDM. Οι φωτονικο-κρυσταλλικές ίνες εμφανίζουν επίσης έντονα φαινόμενα διαθλαστικότητας. Ο πυρήνας των φωτονικο-κρυσταλλικών ινών έχει διάμετρο περίπου 0,8 μm και περιβάλλεται από ένα προσεκτικά σχεδιασμένο μανδύα διοξειδίου του πυριτίου, που περιλαμβάνει μια κανονική κυψελοειδή δομή οπών αέρος, που διατρέχουν το μήκος της ίνας. Οι οπτικές ιδιότητες της ίνας καθορίζονται κυρίως από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των οπών του μανδύα και λιγότερο από τις νοθεύσεις του διοξειδίου του πυριτίου.

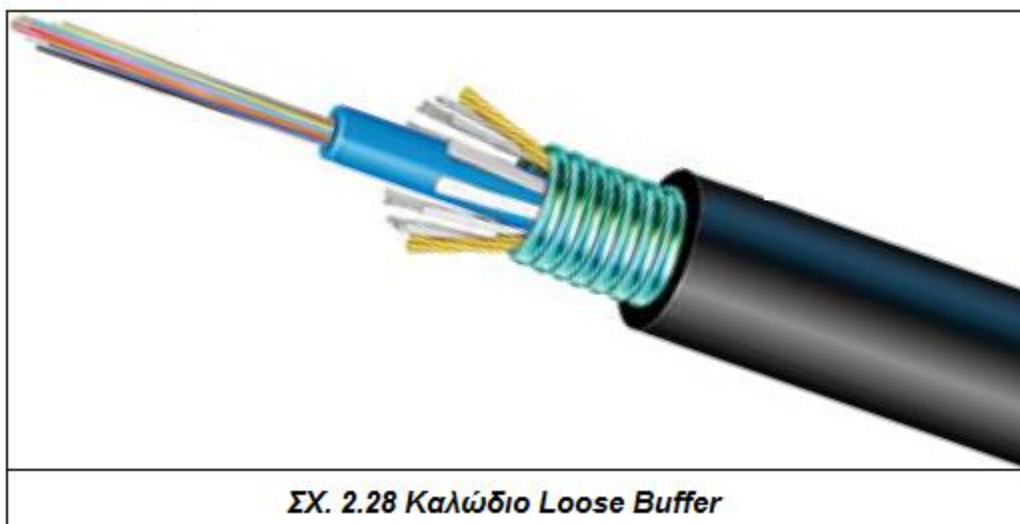
2.7.5 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟΝ ΤΡΟΠΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Τα καλώδια οπτικών ινών περιέχουν από 1 έως 36 οπτικές ίνες. Τα πιο συνηθισμένα είναι τα καλώδια με ζυγό αριθμό οπτικών ινών για την επικοινωνία των full-duplex κυκλωμάτων. Θα ξεχωρίσουμε δυο τύπους οπτικών ινών ως προς την κατασκευή τους. Στην πρώτη περίπτωση, έχουμε σε κάθε οπτική ίνα και εξωτερικά από την επίστρωση συνθετικές ίνες και εξωτερικό μονωτικό περίβλημα. Μέσα στο καλώδιο υπάρχουν πολλές τέτοιες ίνες, όπου η κάθε ίνα αποτελεί και ένα ξεχωριστό καλώδιο. Μέσα στο καλώδιο περιέχονται εκτός από καλώδια οπτικών ινών και καλώδια, τα οποία χρησιμεύουν για ενίσχυση και στρογγυλοποίηση του όλου σχήματος. Όλα αυτά τα καλώδια, τέλος, περικλείονται από εξωτερικό περίβλημα. Αυτή η κατασκευή είναι γνωστή σαν Tight Buffer (Σχ. 2.27).



ΣΧ. 2.27 Καλώδιο Tight Buffer

Παρόμοιας κατασκευής είναι τα εύκαμπτα καλώδια, που χρησιμοποιούμε για τη σύνδεση με τον ενεργό εξοπλισμό (Optical patch cords). Στη δεύτερη περίπτωση έχουμε τις οπτικές ίνες με την επίστρωσή τους να είναι τοποθετημένες ελεύθερα μέσα στο καλώδιο και να περικλείονται από εξωτερικό περίβλημα, αφού πρώτα τοποθετηθεί μέσα στο καλώδιο επίστρωση από συνθετικές ίνες για την ανθεκτικότητα του καλωδίου. Αυτή η κατασκευή είναι γνωστή σαν Loose Buffer (Σχ. 2.28).



2.8 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΕΙΣ ΚΑΛΩΔΙΩΝ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ ΤΟΥ ΕΘΝΙΚΟΥ ΚΩΔΙΚΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ (NEC)

Ο NEC απαιτεί τα καλώδια των οπτικών ινών που χρησιμοποιούνται για συστήματα επικοινωνίας να είναι κατάλληλα για το περιβάλλον στο οποίο πρόκειται να εγκατασταθούν. Για αυτό τον λόγο έχει δημιουργηθεί ένα σύστημα βαθμονόμησης για όλα τα καλώδια που εγκαθίστανται σε ένα κτίριο. Έτσι, κατάλληλα ορίζονται εκείνα τα καλώδια τα οποία έχουν περάσει επιτυχώς τους ελέγχους για φωτιά, καπνό και τοξικότητα για κάθε κτίριο. Τα καλώδια οπτικών ινών που πρόκειται να εγκατασταθούν σε αεραγωγούς, σωλήνες ή φρεάτια κατακόρυφης καλωδίωσης, πρέπει να έχουν βαθμονόμηση για αυτούς τους χώρους. Ένα κτίριο έχει προσδιοριστεί από τον NEC με βάση τρεις διαφορετικές ενδοκτιριακές περιοχές, οι οποίες σχετίζονται με την διάδοση της φωτιάς και του καπνού:

- Περιοχή αεραγωγού: είναι ένα τμήμα ή θάλαμος που δημιουργεί ένα μέρος του συστήματος αερισμού. Κάθε χώρος αίθουσας ή κτιρίου όπου η κύρια λειτουργία του είναι ο χειρισμός του αέρα θεωρείται περιοχή αεραγωγού.
- Περιοχή κατακόρυφου φρεατίου: κάθε άνοιγμα ή κατακόρυφο φρεάτιο από το οποίο μπορούν να περάσουν καλώδια από ένα όροφο σε ένα άλλο.
- Περιοχή γενικής χρήσης: όλες οι περιοχές που δεν ανήκουν στις δυο παραπάνω κατηγορίες.

Ο NEC διαιρεί τα καλώδια οπτικών ινών σε τρεις κατηγορίες:

- Μη αγώγιμα καλώδια οπτικών ινών: Δεν έχουν μεταλλικά ή ηλεκτρικά αγώγιμα στοιχεία μέσα στο καλώδιο.

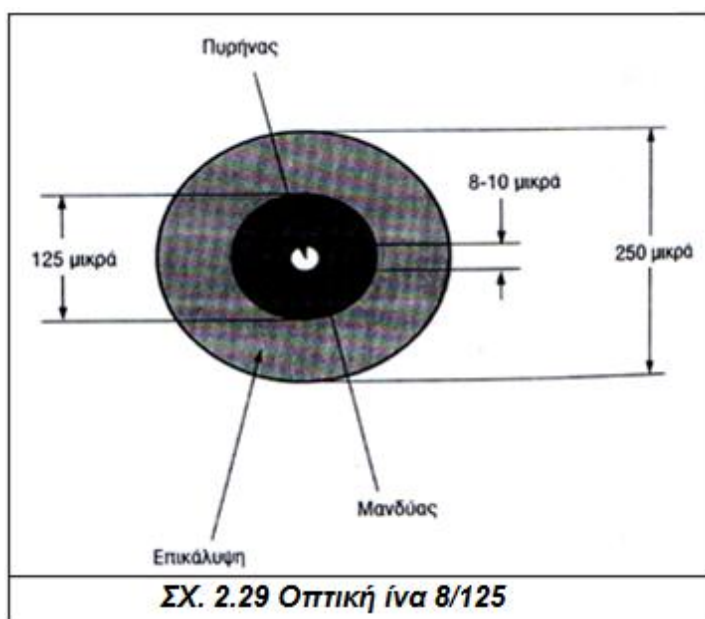
- Αγώγιμα καλώδια οπτικών ινών: Περιέχουν μεταλλικά ή ηλεκτρικά αγώγιμα στοιχεία μέσα στο καλώδιο.
- Υβριδικά καλώδια οπτικών ινών: Περιέχουν οπτικές ίνες και ηλεκτρικούς αγωγούς που μεταφέρουν ηλεκτρικό ρεύμα. Επιτρέπουν να περιέχουν μεταλλικά στοιχεία που δεν μεταφέρουν ηλεκτρικό ρεύμα, όπως ανθεκτικά μέλη και επενδύσεις υγρασίας. Κατατάσσονται σαν ηλεκτρικά καλώδια και όχι σαν καλώδια επικοινωνίας.

2.9 ΒΑΣΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΠΥΡΗΝΑ/ ΜΑΝΔΥΑ ΣΕ ΧΡΗΣΗ

Υπάρχουν τρία βασικά μεγέθη πυρήνα/ μανδύα σε χρήση σήμερα :

- 8/125

Μια οπτική ίνα 8/125 (Σχ.2.29) είναι αυτή που ο πυρήνας της ίνας έχει διάμετρο 8 μικρά και ο μανδύας έχει διάμετρο 125 μικρά. Αυτές οι ίνες σχεδόν πάντα δηλώνονται σαν μονότροπες ίνες, επειδή το μέγεθος του πυρήνα είναι μόνο κατά προσέγγιση 10 φορές μεγαλύτερο από το μήκος κύματος του φωτός που μεταφέρει, και έτσι δεν υπάρχει πολύς χώρος μέσα στην ίνα για να ανακλαστεί το φως. Στην ουσία το φως ταξιδεύει σε ευθεία γραμμή μέσα στην ίνα.



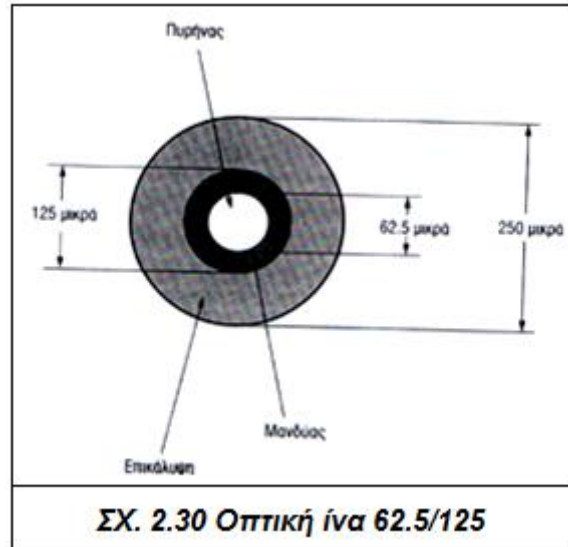
Οι οπτικές ίνες 8/125 χρησιμοποιούνται για εφαρμογές υψηλής ταχύτητας , όπως για τοπολογίες ίνας δικτυακού κορμού , π.χ για FDDI, ATM και Gigabit Ethernet.

- 62.5/125

Από όλους τους καθορισμούς οπτικής ίνας ο πιο συνηθισμένος είναι ο 62.5/125 (Σχ. 2.30). Αυτό συμβαίνει επειδή οι οπτικές ίνες με αυτό τον καθορισμό είναι αρκετά μεγάλες για να είναι μονότροπες ίνες (υποστηρίζουν περισσότερα από

ένα σήματα μέσα στον πυρήνα της ίνας). Ένα πρότυπο καλώδιο πολύτροπης οπτικής ίνας (το συνηθέστερο είδος καλωδίου οπτικής ίνας), χρησιμοποιεί μια οπτική ίνα με πυρήνα 62.5μικρά και με μανδύα 125μικρά.

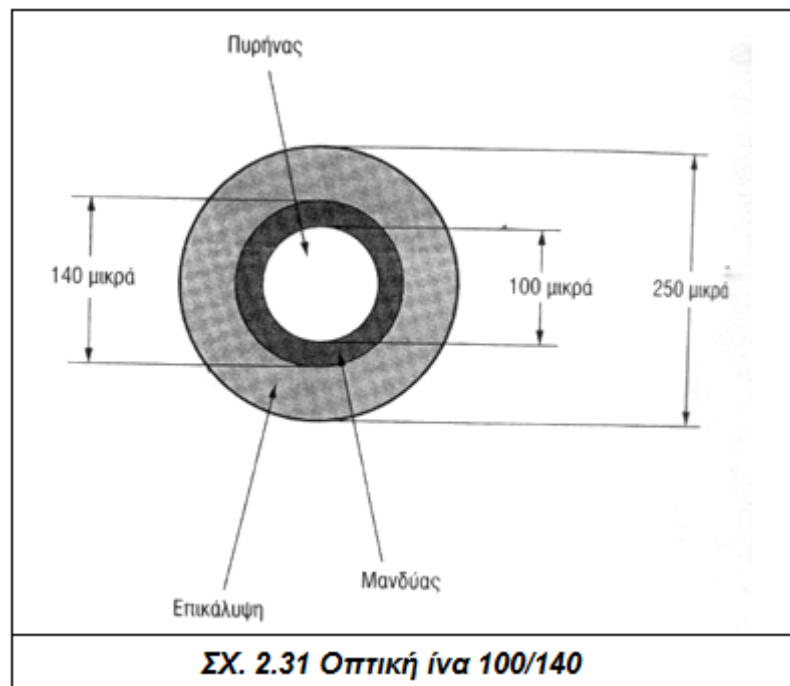
Οι οπτικές ίνες 62.5/125 χρησιμοποιούνται κυρίως σε εφαρμογές LAN/ W σαν ένα είδος ίνας γενικής χρήσης.



■ 100/140

Μια οπτική ίνα με καθορισμό 100/140 δεν είναι ευρείας χρήσης. Ένας καθορισμός 100/140 για μια οπτική ίνα σημαίνει ότι η ίνα έχει πυρήνα διαμέτρου 100 μικρών και μανδύα διαμέτρου 140 μικρών .

Τέτοιου είδους ίνα, χρησιμοποιεί ο σχεδιαστής τεχνολογιών αποκλειστικής εκμετάλλευσης σαν το Token Ring και το Micro Channel.



Η IBM χρησιμοποιεί μια οπτική ίνα 100/140 στα καλώδια για την υλοποίηση της οπτικής ίνας του Token Ring.

2.10 ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΚΑΤΑ ΤΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΣΤΙΣ ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ

Σε κάθε καθοδηγούμενο μέσο μετάδοσης (χάλκινο και ομοαξονικό καλώδιο), έτσι και στα καλώδια οπτικών ινών, κατά την μετάδοση των σημάτων εμφανίζονται κάποια προβλήματα που αλλοιώνει την ποιότητα του σήματος. Βασικά προβλήματα μετάδοσης στις οπτικές ίνες είναι η εξασθένηση, η σκέδαση και η διασπορά του οπτικού σήματος.

2.10.1 ΕΞΑΣΘΕΝΗΣΗ

Η έννοια της εξασθένησης (attenuation) είναι κοινή για όλα τα μέσα μετάδοσης και αναφέρεται στην απώλεια ισχύος ενός σήματος κατά τη διαδρομή του στο μέσο. Εκφράζεται σε dB ανά km (dB/km). Η γεωμετρική χαρακτηριστική απώλεια σε κάποιο μήκος ίνας μπορεί να εκφρασθεί μαθηματικά σαν :

$$P_f(L) = P_e 10^{(-\alpha L/10)}$$

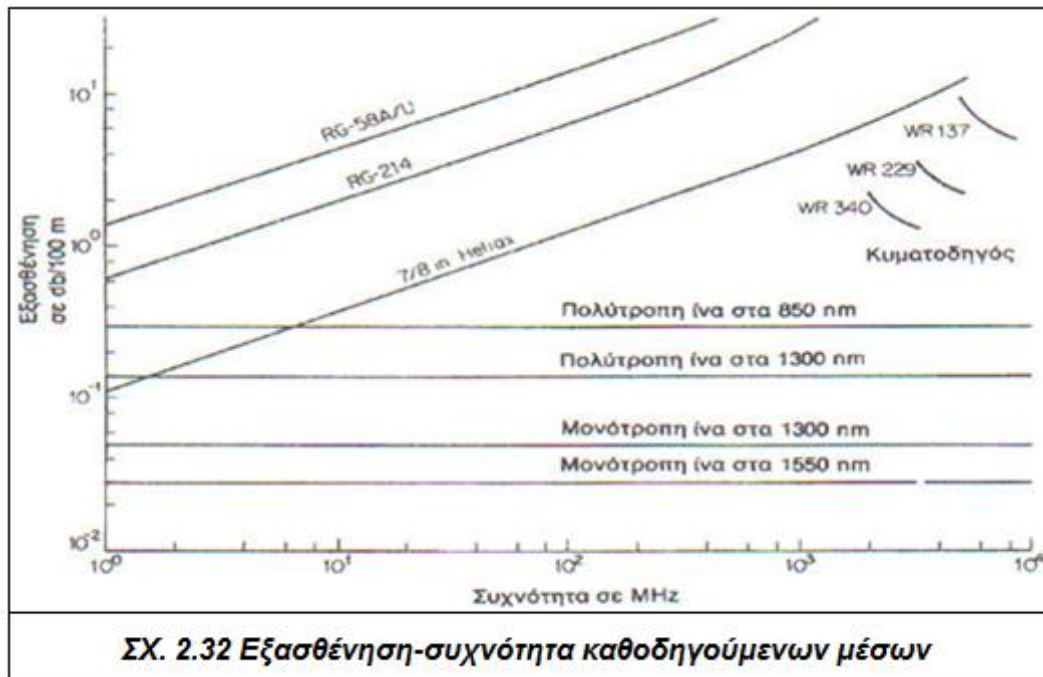
όπου : $P_f(L)$ = η ισχύς σε απόσταση L από την είσοδο
 P_e = η ισχύς που ζευγνύετε στην ίνα
 α = η εξασθένηση της ίνας σε dB/km

Η εξασθένηση του οπτικού σήματος όταν αυτό διέρχεται από μια οπτική ίνα είναι ένα από τα χαρακτηριστικά που θα πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη στο σχεδιασμό ενός οπτικού συστήματος επικοινωνίας.

Εξαρτάται από τρεις παράγοντες:

- το μήκος της οπτικής ίνας
- το είδος του γυαλιού που χρησιμοποιείται για την κατασκευή της
- το μήκος κύματος του μεταδιδόμενου οπτικού σήματος

Η ποιότητα του χρησιμοποιούμενου γυαλιού αναβαθμίζεται συνεχώς και σήμερα εμπορικά διαθέσιμες οπτικές ίνες επιτυγχάνουν εξαιρετικά περιορισμένη εξασθένηση του οπτικού σήματος, της τάξης των $0,2 \text{ dB/km}$ όταν η εκπομπή πραγματοποιείται σε κατάλληλα επιλεγμένο μήκος κύματος.



Εργαστηριακά πειράματα μας δίνουν την υπόσχεση ότι οπτικές ίνες με εξασθένηση μικρότερη από $0,01 \text{ dB/km}$ θα είναι διαθέσιμες στο μέλλον.

Από το διάγραμμα του Σχ. 2.32, φαίνεται το πλεονέκτημα της μικρότερης εξασθένησης που έχει η οπτική ίνα σε σχέση με τα συμβατικά μεταλλικά μέσα. Το χαρακτηριστικό αυτό έχει χρησιμοποιηθεί με μεγάλη επιτυχία για την ελάττωση του κόστους ανά κανάλι στην υπεραστική τηλεφωνία.

Η εξασθένηση ανέρχεται σε 150 dB/km για πλαστικές ίνες, ενώ μόνο $0,21 \text{ dB/km}$ σε μονότροπες ίνες. Στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4) δίδονται χαρακτηριστικές τιμές εξασθένησης για όλα τα είδη των οπτικών ινών που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Εκτός του υλικού κατασκευής η εξασθένηση εξαρτάται και από το μήκος κύματος της κυματοδηγούμενης ακτινοβολίας. Έτσι, σε γυάλινες ίνες, η εξασθένηση είναι μικρότερη στο υπέρυθρο μέρος του οπτικού φάσματος ($\lambda > 800 \text{ nm}$), στην περιοχή από 1200 έως 1600 nm , ενώ σε πλαστικές ίνες, η εξασθένηση είναι μικρότερη στην ορατή περιοχή του φάσματος στα 650 nm .

Τα βασικά φυσικά φαινόμενα, που καθορίζουν το κατώτερο όριο εξασθένησης της γυάλινες οπτικές ίνες είναι η εξασθένηση και η απορρόφηση. Επίσης η εξασθένηση της ίνας επηρεάζεται από την ακτινοβολία και την ραδιενέργεια.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4		
Είδος	Διαστάσεις	Εξασθένηση
Ίνας	Πυρήνα/μανδύα	(dB/km)
Μονότροπη	9/125	2-5 για $\lambda=850\text{nm}$
		0,35 για $\lambda=1300\text{nm}$
		0,21 για $\lambda=1550\text{nm}$
Πολύτροπη (βαθμιαία μεταβολή)	50/125	4 για $\lambda=850\text{nm}$
		2,5 για $\lambda=1300\text{nm}$
	62,5/125	6 για $\lambda=850\text{nm}$
	85/125	7 για $\lambda=850\text{nm}$
Πολύτροπη (βηματικής μεταβολής)	200/380	6 για $\lambda=850\text{nm}$
	300/440	6 για $\lambda=850\text{nm}$
PSC	200/350	10 για $\lambda=790\text{nm}$
	400/550	10 για $\lambda=790\text{nm}$
	600/900	6 για $\lambda=790\text{nm}$
Πλαστική	750	150 για $\lambda=650\text{nm}$
	1000	200 για $\lambda=650\text{nm}$

2.10.2 ΣΚΕΔΑΣΗ

Η σκέδαση διακρίνεται αφ' ενός σε αυτή που οφείλεται στη μη κανονικότητα της κρυσταλλικής δομής του γυαλιού και αφ' ετέρου σε αυτή που οφείλεται στις ατέλειες κατασκευής της ίνας.

Σε χαμηλά μήκη κύματος, εμφανίζεται η σκέδαση Raleigh, που οφείλεται στην μη κανονικότητα της κρυσταλλικής και ατομικής δομής του γυαλιού. Το φαινόμενο είναι περισσότερο έντονο, όταν το μήκος κύματος του φωτός προσεγγίζει το μέγεθος της ατομικής δομής του γυαλιού. Η εξασθένηση, που οφείλεται στην σκέδαση Raleigh, μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα ως προς την τέταρτη δύναμη του μήκους κύματος ($1/\lambda^4$).

Άλλο υπαρκτό είδος σκέδασης είναι η σκέδαση Mie, που οφείλεται σε ατέλειες στην κυλινδρική δομή του κυματοδηγού. Τέτοιες ατέλειες εμφανίζονται κυρίως στην κοινή επιφάνεια πυρήνα / μανδύα, λόγω μικρών μεταβολών στους συντελεστές διάθλασης των υλικών, διαφοροποιήσεων της διαμέτρου πυρήνα κατά μήκος της ίνας και λόγω ύπαρξης μικρο-φυσαλίδων. Οι επιπτώσεις από την σκέδαση Mie ελαχιστοποιούνται με βελτιώσεις στην διαδικασία κατασκευής.

Εκτός από τα ανωτέρω είδη γραμμικής σκέδασης, υπάρχουν και φαινόμενα μη γραμμικής σκέδασης, που εμφανίζονται κυρίως, όταν οι οπτικές ίνες δέχονται μεγάλα επίπεδα οπτικής ισχύος. Τα γνωστότερα είδη μη-γραμμικής σκέδασης είναι η σκέδαση Brillouin και η σκέδαση Raman, που εμφανίζονται σε μονότροπες ινοοπτικές ζεύξεις μεγάλου μήκους, που τροφοδοτούνται από οπτικά σήματα μεγάλης ισχύος.

2.10.3 ΔΙΑΣΠΟΡΑ

Ως διασπορά ορίζεται η χρονική παραμόρφωση του σήματος πληροφορίας (αναλογικού και ψηφιακού) στον δέκτη, λόγω της διαφορετικής ταχύτητας στην μετάδοση των διαφόρων τμημάτων του σήματος. Η παραμόρφωση αυτή, που, σε περίπτωση ψηφιακής μετάδοσης, εμφανίζεται σαν διεύρυνση των παλμών του πομπού στον δέκτη, έχει ως αποτέλεσμα τον περιορισμό του μέγιστου ρυθμού μετάδοσης της οπτικής ζεύξης. Εμφανίζονται τρία διαφορετικά είδη διασποράς :

- Διασπορά τρόπου μετάδοσης
- Διασπορά υλικού
- Διασπορά κυματοδηγού

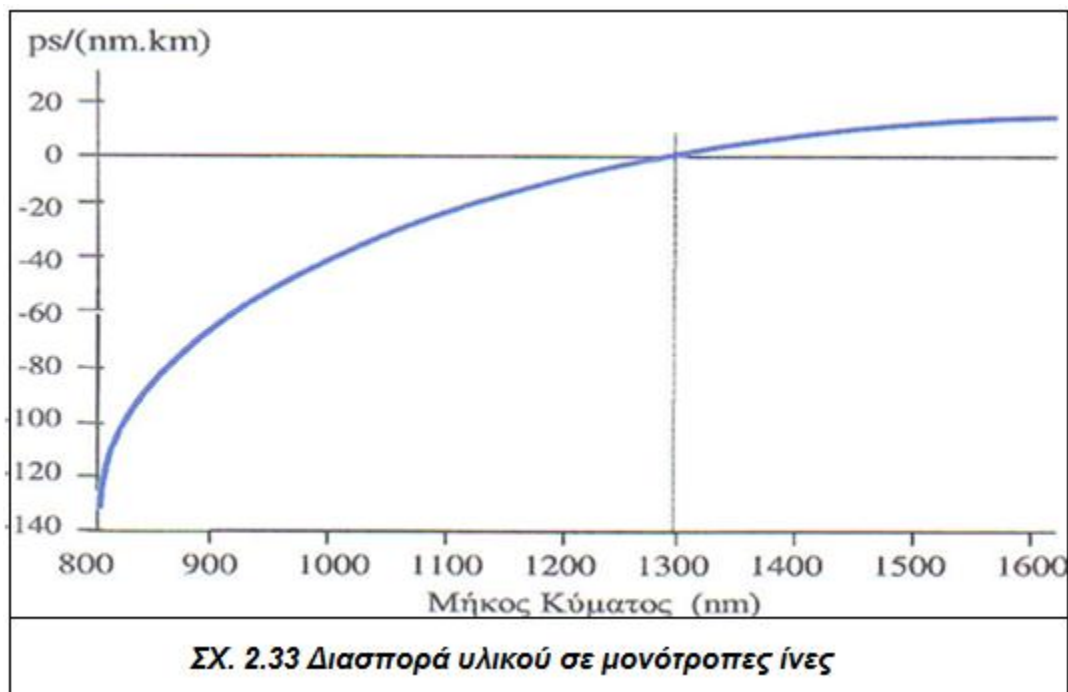
Διασπορά τρόπου μετάδοσης

Η διασπορά τρόπου μετάδοσης εμφανίζεται μόνο σε πολύτροπες ίνες και οφείλεται στον επιμερισμό της οπτικής ισχύος του σήματος σε περισσότερους τρόπους μετάδοσης, που κινούνται στον οπτικό κυματοδηγό με διαφορετικές ταχύτητες.

Η τιμή της διασποράς τρόπου μετάδοσης αυξάνει ανάλογα με το πλήθος των τρόπων μετάδοσης, που υποστηρίζει ο κυματοδηγός, άρα εξαρτάται κυρίως από το μέγεθος του πυρήνα. Σε πολύτροπες ίνες βηματικής μεταβολής του συντελεστή διάθλασης πυρήνα, μια τυπική τιμή διασποράς τρόπου σης είναι τα 30 ns/km , ενώ σε πολύτροπες ίνες βαθμιαίας μεταβολής του συντελεστή διάθλασης πυρήνα η διασπορά τρόπου μετάδοσης είναι μικρότερη από 1 ns/km .

Διασπορά υλικού

Η διασπορά υλικού (Σχ. 2.33) , γνωστή και ως χρωματική διασπορά, εμφανίζεται τόσο σε πολύτροπες και μονότροπες οπτικές ίνες, και οφείλεται στην μεταβολή της τιμής του συντελεστή διάθλασης στον πυρήνα και τον μανδύα, σαν συνάρτηση του μήκους κύματος. Όταν το οπτικό σήμα του πομπού περιλαμβάνει περισσότερα από ένα μήκη κύματος, κάθε μήκος κύματος βλέπει διαφορετικούς συντελεστές διάθλασης πυρήνα / μανδύα και το αντίστοιχο μεταφερόμενο μέρος του σήματος κινείται με διαφορετική ταχύτητα, προκαλώντας διασπορά του οπτικού σήματος στον δέκτη.



Το μέγεθος της διασποράς υλικού εξαρτάται από το φασματικό εύρος της πηγής, που είναι περίπου 25 nm για LED και 2-3 nm για δίοδο laser.

Διασπορά κυματοδηγού

Η διασπορά κυματοδηγού οφείλεται στη διαφορετική ταχύτητα μετάδοσης μεταξύ πυρήνα και μανδύα, λόγω της μικρής μεταβολής ως προς τον συντελεστή διάθλασης. Εμφανίζεται κυρίως σε μονότροπες ίνες, όπου μεγάλο μέρος της κυματοδηγούμενης οπτικής ενέργειας διέρχεται από τον μανδύα, ενώ είναι ασήμαντη σε πολύτροπες ίνες.

Η τιμή της διασποράς κυματοδηγού εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του κυματοδηγού (μεταβολή του συντελεστή διάθλασης στον πυρήνα και στον μανδύα), και μπορεί, με κατάλληλο σχεδιασμό, να επιτευχθούν επιδιωκόμενες τιμές διασποράς. Μια τυπική τιμή διασποράς κυματοδηγού στα 1300 nm είναι $2 \text{ ps}/(\text{nm} \cdot \text{km})$

Συνολική Διασπορά

Ο συσχετισμός της διασποράς Δ , και εύρους ζώνης, B , μιας οπτικής ίνας είναι πολύπλοκος, και για μονότροπες ίνες δίδεται από την εμπειρική σχέση :

$$B = 0,187 / [\Delta \cdot (\Phi E) \cdot L]$$

Όπου:

ΦE = είναι το φασματικό εύρος της πηγής και
 L = το μήκος της ζεύξης.

Για λειτουργία στα 1550 nm, η συνολική διασπορά δίδεται από το άθροισμα της διασποράς υλικού, ΔY , με τη διασπορά κυματοδηγού, Δk , και υπολογίζεται ως :

$$\Delta = \Delta Y + \Delta k = 12 ps / (nm \cdot km) - 7 ps / (nm \cdot km) = 5 ps / (nm \cdot km)$$

Άρα, για πηγή με φασματικό εύρος $\Phi E = 1nm$, το εύρος ζώνης ανά km είναι 38GHz.

2.10.4 ΑΠΟΡΡΟΦΗΣΗ

Η απορρόφηση διακρίνεται αφ' ενός σε αυτήν του ίδιου υλικού αφ' ετέρου στην ύπαρξη προσμίξεων. Οι οπτικές ίνες σχεδιάζονται έτσι ώστε να διατηρούν τις επιδόσεις τους, ως προς την εξασθένηση και μετά την εγκατάστασή τους. Έχει όμως παρατηρηθεί ότι οι επιδόσεις αυτές μπορεί να επιδεινωθούν, υπό την επίδραση εξωτερικών παραγόντων, όπως λόγω κάμψης της ίνας κατά την εγκατάσταση του οπτικού καλωδίου, καθώς και λόγω έκθεσης της οπτικής ίνας σε περιβάλλοντα υδρογόνου και πυρηνικής ραδιενέργειας.

Το φως απορροφάται από το υλικό μετάδοσης και η ενέργεια του μετατρέπεται σε θερμότητα. Δύο μορφές απορρόφησης εμφανίζονται σε γυάλινες οπτικές ίνες :

- Η απορρόφηση από ξένες μοριακές δομές στο διοξείδιο του πυριτίου

Όπως υδροξύλια (OH^-), ιόντα σιδήρου (Fe^{3+}), χαλκού (Cu^{2+}), νικελίου (Ni^{2+}) και χρωμίου (Cr^{3+}). Οι σύγχρονες μέθοδοι παραγωγής οπτικών ινών, ελέγχουν αποτελεσματικά την παρουσία των περισσοτέρων από τα ανωτέρω στοιχεία, περιορίζοντας την εξασθένηση λόγω απορρόφησης αυτής της μορφής.

- Η απορρόφηση υπέρυθρης ακτινοβολίας

Οφείλεται σε ταλάντωση των δομικών στοιχείων του υλικού της ίνας, όπως οι δεσμοί Si-O (9,2 μm), P-O (8,1 μm), B-O (7,2 μm) και Ge-O (11,0 μm) εντός του γυαλιού. Για μήκη κύματος άνω του 1,7 μm , οι σωρευτικές επιδράσεις στις ανωτέρω φασματικές περιοχές απορρόφησης, προξενούν εξασθένηση του οπτικού σήματος.

Σε μονότροπες ίνες, η μεταβολή της εξασθένησης σαν συνάρτηση του μήκους κύματος, όπως διαμορφώνεται από την επίδραση των μηχανισμών σκέδασης και απορρόφησης ορίζει δύο περιοχές λειτουργίας, στα 1300 nm και 1550 nm, με τιμές απόσβεσης 0,35 dB και 0,21 dB αντίστοιχα.

2.10.5 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ-ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

Όταν οι ακτίνες γ , οι ακτίνες X, τα ηλεκτρόνια και τα νετρόνια αντιδρούν με την μοριακή δομή του γυαλιού, τότε αυτή μεταβάλλεται και η ίνα "σκουραίνει".

Σαν αποτέλεσμα, αυξάνει η εξασθένηση της ίνας με την ποσότητα, ανάλογα με το είδος ακτινοβολίας, την δόση και τον χρόνο έκθεσης στην ακτινοβολία.

Γενικά, σε μια συγκεκριμένη περιοχή δόσης, όσο μεγαλύτερη είναι η έκθεση στην ακτινοβολία τόσο περισσότερο σκουραίνει το υλικό. Η μακροχρόνια, όμως, έκθεση σε μικρό βαθμό ίσως να έχει σαν αποτέλεσμα περισσότερο σκίαση από ότι αν εφαρμοσθεί η ίδια δόση σύντομο χρονικό διάστημα. Το γεγονός αυτό κάνει δύσκολη την προεκβολή των στοιχείων που υπάρχουν.

Οι τηλεπικοινωνιακές ζεύξεις μπορούν να εκτεθούν σε ραδιενέργεια κατά την διάρκεια ενός πυρηνικού ατυχήματος ή πολεμικής σύγκρουσης. Σε πιο περιορισμένη κλίμακα, η έκθεση αυτή μπορεί να γίνει στον εσωτερικό ή περιβάλλοντα χώρο ενός πυρηνικού αντιδραστήρα, ή σε χώρο νοσοκομείου, όπου ραδιενεργές πηγές χρησιμοποιούνται για θεραπευτικούς σκοπούς. Η ραδιενέργεια (κυρίως ακτίνες γ) επιδρά στην μοριακή δομή του υλικού της οπτικής ίνας, δημιουργώντας χρωματικά κέντρα απορρόφησης. Άρα, η έκθεση οπτικών ινών σε ραδιενεργό περιβάλλον μεταβάλλει την χαρακτηριστική απόσβεσης αυξάνοντας την εξασθένηση κατά ποσό, που εξαρτάται από πολλές παραμέτρους, όπως :

- το υλικό της ίνας
- το είδος της ραδιενέργειας (ακτίνες γ , θερμικά νετρόνια κλπ)
- την συνολική δόση
- τον ρυθμό δόσης
- την θερμοκρασία περιβάλλοντος
- την ισχύ του οπτικού σήματος.

Η αύξηση των απωλειών μπορεί να είναι μόνιμη ή προσωρινή, ανάλογα με το είδος των προσμίξεων, που περιέχονται στην οπτική ίνα. Ίνες που περιλαμβάνουν GeO_2 στον πυρήνα τους (τηλεπικοινωνιακές ίνες), δείχνουν μικρότερη ευαισθησία στη ραδιενέργεια, η αύξηση όμως της εξασθένησης είναι μόνιμη και οι μετέπειτα επιπτώσεις σωρευτικές. Αντίθετα, ίνες με πυρήνα από SiO_2 και μανδύα με νοθεύσεις φθορίου (F) και φωσφόρου (P), εμφανίζουν μεγαλύτερη ευαισθησία στη ραδιενέργεια, η επίδραση όμως είναι προσωρινή, με χρόνους επαναφοράς, από μερικά δευτερόλεπτα έως μερικές ώρες. Ο χρόνος επαναφοράς μπορεί να ελαττωθεί σημαντικά, παρέχοντας στο σύστημα πρόσθετη εξωτερική ενέργεια, που απορροφάται από τα χρωματικά κέντρα, αποκαθιστώντας τα ελαττώματα στην μοριακή δομή του γυαλιού, που προκάλεσε η ραδιενέργεια. Η πρόσθετη αυτή ενέργεια μπορεί να παρέχεται, είτε με αύξηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος (θέρμανση της ίνας), είτε με την διέλευση ισχυρού οπτικού σήματος (100 μW - 1 mW) από την ίνα. Η διόρθωση των μοριακών ελαττωμάτων με φως είναι γνωστή ως φωτοαποκατάσταση και χρησιμοποιείται για προστασία οπτικών ζεύξεων, που εκτίθενται σε ραδιενεργό περιβάλλον. Το φαινόμενο είναι περισσότερο έντονο σε χαμηλότερα μήκη κύματος, λόγω του μεγαλύτερου ποσού ενέργειας που μεταφέρουν.

Ορισμένοι κατασκευαστές προσφέρουν, για εξειδικευμένες εφαρμογές, ειδικών προδιαγραφών ίνες ανθεκτικές στην ραδιενέργεια που έχουν ήδη εκτεθεί σε ραδιενεργό περιβάλλον και ως εκ τούτου, παρουσιάζουν μικρότερη ευαισθησία στην επίδραση της ραδιενέργειας.

2.10.6 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΥΔΡΟΓΟΝΟΥ

Η εμφάνιση του υδρογόνου οφείλεται στην εισχώρηση υγρασίας στο εσωτερικό του οπτικού καλωδίου. Το υδρογόνο εκλύεται είτε από την χημική αποσύνθεση των υλικών του μανδύα, είτε από την ηλεκτρολυτική επίδραση της υγρασίας στην μεταλλική θωράκιση του καλωδίου. Η έκθεση της οπτικής ίνας σε υδρογόνο, προκαλεί την διάχυση του υδρογόνου στο υλικό του γυαλιού, μεταβάλλοντας έτσι την χαρακτηριστική καμπύλη εξασθένησης της ίνας, και αυξάνοντας τις απώλειες. Η πρόσθετη εξασθένηση εμφανίζεται σωρευτικά, και είναι της τάξης των $0,15 \text{ dB/km} \cdot \text{Atm}$ για μήκος κύματος 1550 nm και θερμοκρασία 25°C . Οι επιπτώσεις του φαινομένου αυτού είναι σημαντικότερες σε υποβρύχιες ζεύξεις, όπου το νερό μπορεί να εισχωρήσει σε μεγάλο μήκος του καλωδίου, από μικρούς τραυματισμούς του εξωτερικού μανδύα, και να προκαλέσει καταστροφική για την ζεύξη αύξηση της συνολικής εξασθένησης.

2.10.7 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΑΠΟ ΚΑΜΨΗ

Αν και οι οπτικές ίνες αποθηκεύονται τυλιγμένες σε στροφέια, υπάρχει μια ελάχιστη ακτίνα καμπυλότητας πέραν της οποίας η οπτική ίνα σπάζει. Οι κάμψεις έχουν δύο βασικές επιπτώσεις στις μονότροπες οπτικές ίνες :

- Μικρή αύξηση των απωλειών

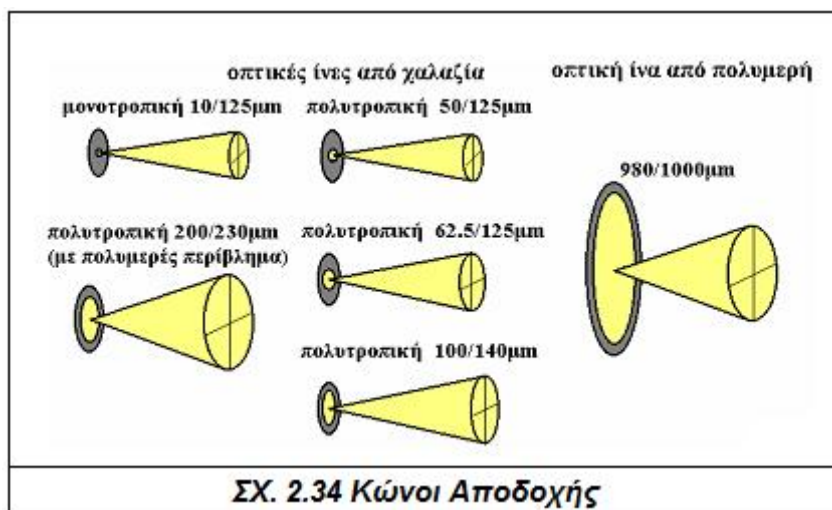
Αυτό οφείλεται στο ότι, το μέρος της ενέργειας που κυματοδηγείται στο περίβλημα της ίνας, απαιτείται να κινηθεί στο εξωτερικό μέρος της καμπυλότητας, με ταχύτητα μεγαλύτερη της ταχύτητας του φωτός στο συγκεκριμένο υλικό, Προκειμένου να καλύψει την μεγαλύτερη διαδρομή που προκύπτει. Σαν αποτέλεσμα, το μέρος αυτό της ενέργειας ακτινοβολείται, με σύζευξη σε τρόπο ακτινοβολήσης, προκαλώντας μικρή αύξηση των απωλειών. Για μη-καλωδιωμένη ίνα, η ελάχιστη ακτίνα καμπυλότητας είναι τα 30 mm , ενώ για καλωδιωμένες ίνες, βάσει ενός εμπειρικού κανόνα, η ελάχιστη ακτίνα καμπυλότητας του καλωδίου είναι πενταπλάσια της διαμέτρου του καλωδίου.

- Μείωση της αντοχής της ίνας σε εφελκυσμό

Σε καλώδια, που υφίστανται εφελκυσμό, η ελάχιστη ακτίνα καμπυλότητας πρέπει να είναι δεκαπλάσια της διαμέτρου του καλωδίου

2.10.8 ΓΩΝΙΑ ΑΠΟΔΟΧΗΣ

Ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει την απόδοση ενός συστήματος καλωδίωσης οπτικής ίνας είναι η γωνία αποδοχής του πυρήνα της οπτικής ίνας (Σχ. 2.34) . Η γωνία αποδοχής , είναι η γωνία υπό την οποία μια συγκεκριμένη ίνα μπορεί να δεχθεί φως σαν είσοδο στην ίνα.



Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά γωνίας αποδοχής ανάμεσα σε δυο ή περισσότερα σήματα σε μία πολύτροπη ίνα, τόσο μεγαλύτερο είναι το φαινόμενο τροπικής διασποράς. Η τροπική διασπορά επηρεάζει αρνητικά την συνολική απόδοση ενός συγκεκριμένου τμήματος καλωδίου.

2.10.9 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΟ ΑΝΟΙΓΜΑ (NA)

Το αριθμητικό άνοιγμα είναι ένας σημαντικός παράγοντας απόδοσης. Οι περισσότεροι αγνοούν αυτή τη τιμή όταν επιλέγουν το καλώδιο οπτικής ίνας, αλλά όμως είναι πολύ σημαντικός κατά τη συνένωση δύο οπτικών καλωδίων. Το αριθμητικό άνοιγμα (NA) είναι ένας αριθμός που αντανακλά τη δυνατότητα μιας συγκεκριμένης οπτικής ίνας να δεχθεί φως. Η τιμή του NA είναι μια δεκαδική τιμή ανάμεσα στο 0 και στο 1. Μια τιμή NA 0 δηλώνει ότι η ίνα δεν συλλέγει φως. Μια τιμή 1 για το NA δηλώνει ότι η ίνα θα δεχθεί όλο το φως στο οποίο εκτίθεται. Όσο μικρότερο είναι το NA, τόσο λιγότερο φως γίνεται αποδεκτό μέσα στην ίνα. Έτσι όσο και μικρότερη είναι η απόσταση που μπορεί να ταξιδέψει το φως. Αλλά όμως, ένα μικρότερο NA σημαίνει επίσης ότι υπάρχει περισσότερο διαθέσιμο εύρος ζώνης. Αντίθετα, ένα υψηλότερο NA σημαίνει ότι το σήμα μπορεί να ταξιδέψει σε μεγαλύτερες αποστάσεις, αλλά υπάρχει μικρότερο εύρος ζώνης για αυτό το σήμα.

2.11 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

Μια από τις σημαντικότερες τεχνολογικές καινοτομίες στη μετάδοση δεδομένων είναι η ανάπτυξη των επικοινωνιακών συστημάτων οπτικών ινών. Η οπτική ίνα ήδη χρησιμοποιείται ευρέως σε μεγάλης απόστασης τηλεπικοινωνίες και αυξάνεται η χρήση της σε στρατιωτικές εφαρμογές. Οι συνεχόμενες βελτιώσεις στην απόδοση, η πτώση στις τιμές, μαζί με τα έμφυτα πλεονεκτήματα της, την καταστούν όλο και περισσότερο ελκυστικότερη για τοπικά δίκτυα.

Οι βασικές κατηγορίες εφαρμογών για την οπτική ίνα είναι:

1. Ιατρικές Εφαρμογές

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 ανθρώπινου σώματος. Οι γιατροί μπορούν να δουν την εσωτερική επιφάνεια μέρους του στομάχου ή άλλου οργάνου χρησιμοποιώντας ζεύγος οπτικών ινών. Οι οπτικές ίνες δίνουν τη δυνατότητα μεταφοράς της φωτεινής δέσμης λέιζερ από την πηγή μέχρι τη λαβή, που πρέπει να χειρίζεται ο γιατρός δίπλα στον ασθενή. Η μικρή διάσταση του πυρήνα παρέχει τη δυνατότητα μετάδοσης εικόνας ακόμα και χωρίς τη χρήση άλλων οπτικών συστημάτων (π.χ. φακών). Η υιοθέτηση των οπτικών ινών ταυτόχρονα με τη χρήση των λέιζερ έχει βοηθήσει σε εγχειρήσεις, καυτηριασμούς φυσιοθεραπείες.

2. Τηλεπικοινωνίες

Χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά δεδομένων τόσο σε δίκτυα υπολογιστών όσο και σε τηλεφωνικά δίκτυα (μικρή εξασθένιση της δέσμης), χωρίς ενδιάμεσους ενισχυτές και αναμεταδότες με βεληνεκές (20–30 χιλιομέτρων, max 200Km). 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. Τέλος, είναι δυνατή η αποφυγή ενδιάμεσων σταθμών με νέου τύπου οπτικές ίνες προσμίξεων Ερβίου (Er+).

3. Συστήματα Αρχιτεκτονικού Φωτισμού

Χρησιμοποιούνται για το φωτισμό πινάκων οργάνων στο πιλοτήριο των αεροπλάνων με μια μόνο φωτεινή πηγή και για φωτισμό στην οριοθέτηση των διαδρόμων. Η χρήση δεσμίδων οπτικών ινών επιτρέπει τη μεταφορά φωτός σε μη προσπελάσιμα σημεία κτηρίων. Σε συστήματα αρχιτεκτονικού φωτισμού η χρήση τους επιτρέπει τη δημιουργία σύγχρονων διακοσμητικών κατασκευών κα διαφημιστικών πινακίδων. Η τοποθέτηση οπτικής ίνας, χρησιμοποιείται για εικαστικό φωτισμό (μέθοδος για ευαίσθητους πίνακες και άλλα μουσειακά εκθέματα), προστατευτικός φωτισμό και συστήματα πληροφόρησης. Τέλος, στο σχηματισμό φωτεινών χαρακτήρων ή και σχημάτων σε πινακίδες φωτεινής οδικής σηματοδότησης.

4. Βιομηχανικός Έλεγχος

Ο συνδυασμός οπτικών ινών και κατάλληλων οπτικόηλεκτρονικών διατάξεων, βοηθούν στον έλεγχο της γραμμής παραγωγής ενός προϊόντος.

5. Εφαρμογές Αισθητήρων

Οι οπτικές ίνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αισθητήρες για να μετρήσουν, τη θερμοκρασία, την πίεση και άλλες παραμέτρους. Το μικρό μέγεθος και το γεγονός ότι καμία ηλεκτρική δύναμη δεν απαιτείται για έλεγχο σε μακρινή απόσταση, δίνουν πολλά πλεονεκτήματα στους οπτικούς αισθητήρες σε σχέση με το συμβατικό ηλεκτρικό αισθητήρα, σε ορισμένες εφαρμογές. Οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται ως υδρόφωνα για τις σεισμικές ή SONAR εφαρμογές. Έχουν αναπτυχθεί συστήματα υδροφώνου με περισσότερους από 100 αισθητήρες ανά καλώδιο ινών. Τα συστήματα αισθητήρων Hydrophone χρησιμοποιούνται από τη βιομηχανία πετρελαίου καθώς επίσης και το ναυτικό μερικών χωρών. Η γερμανική επιχείρηση

Sennheiser ανέπτυξε ένα μικρόφωνο που λειτουργεί με ένα λέιζερ και οπτικές ίνες . Οι αισθητήρες οπτικών ινών για τη θερμοκρασία και την πίεση έχουν αναπτυχθεί για εμβαπτιζόμενη μέτρηση στις πετρελαιοπηγές. Ο οπτικός αισθητήρας ινών είναι καλά ταιριαγμένος για αυτό το περιβάλλον δεδομένου ότι λειτουργεί στις θερμοκρασίες πάρα πολύ υψηλές για τους αισθητήρες ημιαγωγών (Distributed Temperature Sensing). Μια άλλη χρήση της οπτικής ίνας ως αισθητήρα είναι το οπτικό γυροσκόπιο που είναι σε λειτουργία στο Boeing 767 και σε μερικά πρότυπα αυτοκινήτων (για λόγους ναυσιπλοΐας) και τη χρήση στα microsensors υδρογόνου.

6. Δίαυλοι μεγάλης απόστασης

Η μεγάλη απόσταση μετάδοσης των οπτικών ινών γίνεται όλο και περισσότερο κοινή στο τηλεφωνικό δίκτυο. Οι διαδρομές μεγάλης απόστασης αποτελούνται κατά μέσο όρο από περίπου 1500 km μήκος και προσφέρουν υψηλή χωρητικότητα (τυπικά 20.000 έως 60.000 κανάλια φωνής). Αυτά τα συστήματα ανταγωνίζονται οικονομικά τα μικροκύματα και έχουν κοστολογηθεί υπερβολικά χαμηλότερα από το ομοαξονικό καλώδιο σε πολλές αναπτυγμένες χώρες. Κατά συνέπεια, σε τέτοιες χώρες το ομοαξονικό καλώδιο να εξαφανίζεται γρήγορα από το τηλεφωνικό δίκτυο. Έχει παρατηρηθεί επίσης τείνει αύξηση χρήσης των υποθαλάσσιων καλωδίων οπτικής ίνας.

7. Μητροπολιτικοί δίαυλοι

Οι μητροπολιτικοί δίαυλοι ζεύξεων έχουν ένα μέσο μήκος 12 km και μπορούν να μεταφέρουν τουλάχιστον 100000 κανάλια φωνής. Οι περισσότερες καλωδιακές εγκαταστάσεις τοποθετούνται σε υπόγειους σωλήνες, χωρίς αναμεταδότες, ενώνοντας τηλεφωνικά κέντρα σε μητροπολιτικές εκτάσεις ή εκτάσεις πόλεων. Σε αυτή την κατηγορία περιλαμβάνονται και διαδρομές που συνδέουν μεγάλης εμβέλειας μικροκυματικές εγκαταστάσεις (οι οποίες τερματίζουν κάπου στην περιφέρεια της πόλης) με το κτίριο του κύριου τηλεφωνικού κέντρου.

8. Αστικό κέντρο διαύλων

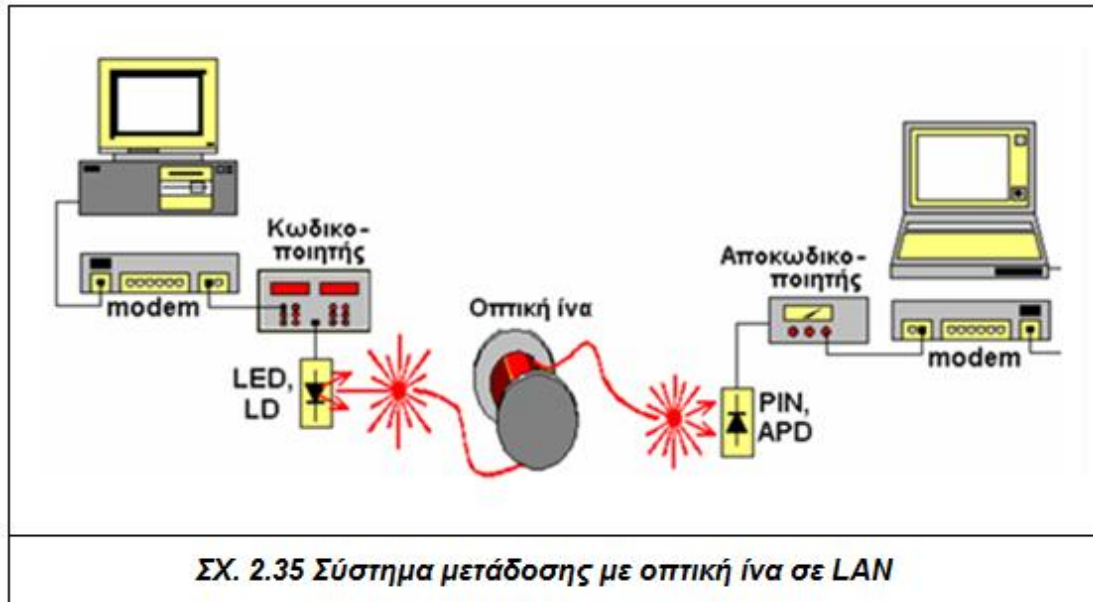
Τα αστικά κέντρα διαύλων έχουν κυκλώματα ζεύξεων με μήκη που κυμαίνονται από 40 έως 160 km και συνδέουν πόλεις και χωριά. Στις Ηνωμένες Πολιτείες συνήθως συνδέουν τα κέντρα τηλεφωνικής ανταλλαγής των διαφορετικών τηλεφωνικών επιχειρήσεων. Τα περισσότερα από αυτά τα συστήματα έχουν λιγότερο από 5000 κανάλια φωνής. Η τεχνολογία που χρησιμοποιείται σε αυτές τις εφαρμογές ανταγωνίζεται τις εγκαταστάσεις μικροκυμάτων.

9. Συνδρομητικοί βρόχοι

Τα κυκλώματα συνδρομητικών βρόχων είναι ίνες που συνδέουν άμεσα το κύριο κέντρο με έναν συνδρομητή. Αυτές οι εγκαταστάσεις αρχίζουν να εκτοπίζουν το συνεστραμμένο ζεύγος και τις ζεύξεις ομοαξονικών καλωδίων, καθώς τα τηλεφωνικά δίκτυα εξελίσσονται σε δίκτυα πολλών υπηρεσιών ικανά όχι μόνο για φωνή και δεδομένα αλλά εικόνα και βίντεο. Η αρχική διείσδυση της οπτικής ίνας στο συνδρομητικό βρόχο προορίζεται για επιχειρήσεις συνδρομητές, αλλά μετάδοση μέσω ινών και στο σπίτι θα αρχίσει να εμφανίζεται σύντομα.

10. Τοπικά Δίκτυα

Μια τελική σημαντική εφαρμογή της οπτικής ίνας είναι τα τοπικά δίκτυα. Έχουν αναπτυχθεί πρότυπα και προϊόντα για δίκτυα οπτικών ινών που έχουν



μια συνολική χωρητικότητα από 100 Mbps έως 1 Gbps και μπορούν να υποστηρίξουν εκατοντάδες ή ακόμα και χιλιάδες σταθμούς σε ένα μεγάλο κτίριο με γραφεία ή σε ένα συγκρότημα κτιρίων.

Στο κεφάλαιο αυτό, αναφέρονται οι οπτικές συσκευές καθώς και οι υποκατηγορίες τους.

Οι οπτικές συσκευές είναι απαραίτητες για την κατανόηση και υλοποίηση του δακτυλίου με πολύπλεξη DWDM καθώς επιτρέπουν τη διασύνδεσή τους με το φυσικό μέσο -οπτική ίνα.

Οι συσκευές αυτές χωρίζονται σε εξαρτήματα συνενώσεως και τερματισμού και σε εξαρτήματα οπτικών ινών.

Η πρώτη κατηγορία περιλαμβάνει συνδέσμους και συνενώσεις, ενώ η δεύτερη κατηγορία τους οπτικούς πομπούς, διαμορφωτές, οπτικούς διαχωριστές, εξασθενητές, κυκλοφορητές, οπτικά φίλτρα, πολυπλέκτες, οπτικούς διακόπτες, οπτικές κάρτες δικτύου και τέλος τους οπτικούς ενισχυτές.



3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η σημερινή κοινωνία είναι άμεσα συνδεδεμένη με την πληροφορία καθώς είναι απαραίτητο ο καθένας να έχει πρόσβαση στην πληροφορία όποτε τη θέλει, όπου τη θέλει και σε όποια μορφή τη χρειαστεί. Η πληροφορία μας παρέχεται μέσω των δικτύων, τα οποία δυστυχώς όπως είναι σήμερα δεν μπορούν να εξυπηρετήσουν τις απαιτήσεις που προβλέπονται να υπάρχουν μέσα σε λίγα χρόνια.

Η είσοδος της τεχνολογίας των οπτικών ινών μπορεί να θεωρηθεί σωτήρια για την εξυπηρέτηση των παραπάνω αναγκών εξαιτίας των δυνατοτήτων της που είναι οι εξής : τεράστιο bandwidth, μικρή εξασθένηση σήματος, μικρή παραμόρφωση του σήματος, λίγες ενεργειακές απαιτήσεις, ελάχιστη χρήση υλικών, λίγες απαιτήσεις χώρου και μικρό κόστος.

Ενώ τις προηγούμενες δεκαετίες η τεχνολογία των οπτικών ινών είχε μόνο ερευνητικό ενδιαφέρον, η πρόκληση σήμερα είναι να γίνει πραγματικότητα και να μπορέσει να ικανοποιήσει τις ανάγκες της επόμενης δεκαετίας.

Ως εξαρτήματα ινο-οπτικού δικτύου θεωρούνται όλα τα παθητικά στοιχεία του δικτύου. Τα εξαρτήματα αυτά κατηγοριοποιούνται σε :

- Εξαρτήματα συνενώσεως και τερματισμού:

Περιλαμβάνονται σύνδεσμοι και συνενώσεις (σύντηξης και μηχανικές).

- Εξαρτήματα οπτικών ινών :

Περιλαμβάνουν οπτικούς πομπούς, διαμορφωτές, οπτικούς διαχωριστές, εξασθενητές, κυκλοφορητές, οπτικά φίλτρα, πολυπλέκτες, συζεύκτες, οπτικοί διακόπτες, φωτοανιχνευτές, οπτικές κάρτες δικτύου και οπτικούς ενισχυτές.

3.2 ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΣΥΝΕΝΩΣΕΩΣ ΚΑΙ ΤΕΡΜΑΤΙΣΜΟΥ

3.2.1 ΣΥΝΔΕΣΜΟΙ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

Οι σύνδεσμοι οπτικών ινών εκτελούν την ίδια λειτουργία με τους συνδέσμους χαλκού, αλλά χρησιμοποιούν ένα διαφορετικό μέσο (παλμούς φωτός μέσω της οπτικής ίνας σε αντίθεση με τα ηλεκτρικά σήματα μέσω ενός καλωδίου). Αντίθετα από τα ηλεκτρόνια, όπου συγχωρείται η μικρή έλλειψη ευθυγράμμισης των συνδέσμων, εφ' όσον γίνεται μια καλή ηλεκτρική επαφή, οι οπτικοί σύνδεσμοι ινών πρέπει να ευθυγραμμιστούν ακριβώς για να επιτρέψουν τη μέγιστη μεταφορά σημάτων μεταξύ τους. Τα πρότυπα συνδέσμων οπτικών ινών δεν έχουν τους αρσενικούς και θηλυκούς συνδέσμους όπως στα ηλεκτρικά συστήματα. Ουσιαστικά, όλοι οι οπτικοί σύνδεσμοι ινών είναι αρσενικοί και απαιτούν έναν προσαρμοστή (adaptor) για να ευθυγραμμίσουν ακριβώς άκρη με άκρη τους δύο συνδέσμους. Οι προσαρμοστές αυτοί αναφέρονται ως συζευκτήρες.

Οι σύνδεσμοι και οι προσαρμοστές παρέχουν μια σύζευξη χαμηλής απώλειας λόγω της εξασφάλισης της ευθυγράμμισης κατά την ένωση των δύο στοιχείων. Οποιαδήποτε μη ευθυγράμμιση των οπτικών συνδέσμων αυξάνει την απώλεια. Το πρότυπο ANSI/TIA/EIA-568-A, αναγνωρίζει δύο τύπους οπτικής ίνας: πολύτροπων

και μονότροπων οπτικών ινών, αλλά και οι δύο τύποι έχουν την ίδια διάμετρο επένδυσης.

Ανάλογα με τις απαιτήσεις και τις εφαρμογές, διακρίνουμε τους εξής συνδέσμους:

- ST
- SC
- LC (SPF)
- MT-RJ
- FC
- VF-45
- FDDI
- D

Οι σύνδεσμοι τύπου ST (Straight Tail) χαρακτηρίζουν μια σύζευξη τύπου bayonet (Σχ. 3.1), που υιοθετεί έναν γρήγορο μηχανισμό αποδέσμευσης. Αναπτύχθηκε από την AT&T και η απώλεια εισαγωγής είναι μικρότερη από 0,5 dB. Ο σύνδεσμος τύπου ST κλειδώνεται για να αποτραπεί το στρίψιμο κατά τη διάρκεια της εισαγωγής, ενώ ο βασικός τερματισμό απαιτεί μόνο μια στροφή τετάρτων για να συνδεθεί ή για να αποσυνδεθεί.



Στην πολύτροπη και μονότροπη λειτουργία, ο σύνδεσμος τύπου ST χρησιμοποιείται για:

- εγκαταστάσεις σε κτίρια
- δίκτυα υπολογιστών
- τον εξοπλισμό δοκιμής δικτύωσης

Οι σύνδεσμοι τύπου SC (Subscriber Connector) αναπτύχθηκαν από την NTT για χρήση στο δίκτυο πρόσβασης και σε δίκτυα καλωδιακής τηλεόρασης και τοπικά δίκτυα. Επιτυγχάνεται μεγάλη πυκνότητα σύνδεσης. Σε αυτούς τους συνδέσμους, χρησιμοποιείται μηχανισμός ασφάλισης τύπου κουμπώματος (Σχ.3.2). Διατίθεται ως PC και APC με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:
ο PC : Απώλεια εισαγωγής < 0,5 dB, Απώλεια επιστροφής > 27dB
ο APC : Απώλεια εισαγωγής < 0,5 dB, Απώλεια επιστροφής > 60 dB.

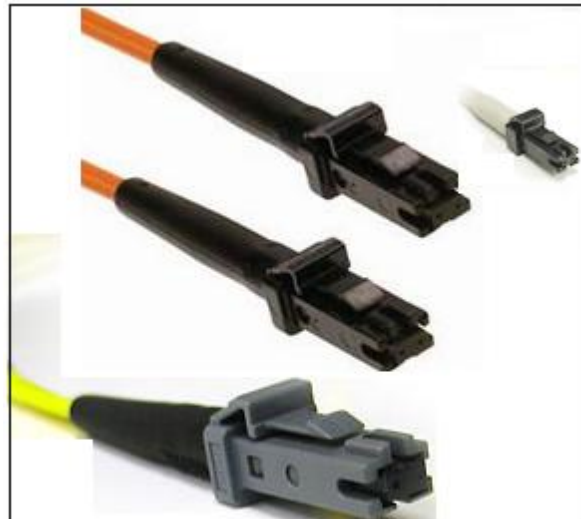


Οι σύνδεσμοι τύπου LC συνδυάζονται με μονότροπες ίνες (50/125) ή με πολύτροπες ίνες (62.5/125). Διακρίνονται από υψηλή προσαρμοστικότητα και εισάγουν πολύ χαμηλή εξασθένιση. Η μορφή τους είναι παρόμοια με τους συνδετήρες SC (Σχ. 3.3). Ο σύνδεσμος τύπου LC έχει τυποποιηθεί ως FOCIS 10 (Fiber Optic Connector Intermateability Προτύπων) σε EIA/TIA-604-10. Χρησιμοποιείται σε εφαρμογές Gigabit Ethernet, σε τοπικά δίκτυα και σε καλωδιακή τηλεόραση.



Σχ. 3.3 Σύνδεσμοι τύπου LC

Οι σύνδεσμοι τύπου MT-RJ είναι μια μικρή μορφή συνδετήρα οι οποίοι μοιάζουν με το βύσμα RJ-45 (Σχ. 3.4) που χρησιμοποιείται στα δίκτυα Ethernet. Η υποδοχή MTRJ σχεδιάστηκε από την AMP. Οι συνδετήρες αυτοί, χρησιμοποιούνται κυρίως σε πολύτροπες ίνες (MM). Βρίσκουν ευρεία χρήση σε δίκτυα LAN, στην καλωδιακή τηλεόραση, καθώς και για λύσεις Fiber to the desk. Ανήκουν στην κατηγορία των SFF (Small Form Factor). Το πλεονέκτημα του MTRJ είναι οι μικρές διαστάσεις του.



Σχ. 3.4 Σύνδεσμοι τύπου MT-RJ

Οι σύνδεσμοι τύπου FC (Fibre Connector) αναπτύχθηκαν από την NTT για το ινσοπτικό δίκτυο και είναι το πλέον διαδεδομένο είδος συνδέσμου, αν και δεν επιτυγχάνεται μεγάλη πυκνότητα σύνδεσης. Χρησιμοποιείται μηχανισμός ασφάλισης με σπείρωμα (Σχ. 3.5). Διατίθεται σαν FC/PC (επίπεδη άκρη) ή FC/APC (γωνιακή φυσική επαφή).



Σχ. 3.5 Σύνδεσμοι τύπου FC

Ο συνδετήρας FC/PC είναι δεύτερης γενιάς με πολύ καλή επίδοση και χαρακτηριστικά, αλλά με πολύ υψηλό κόστος. Περιέχει μια τελειοποιημένη πρόσοψη με καμπύλες που ελαττώνει σε μεγάλο βαθμό την αντανάκλαση. Είναι συνδετήρας πολύ καλής ποιότητας που σχεδιάστηκε για μονότροπα συστήματα μεγάλων αποστάσεων με πολύ μικρές απώλειες. Χρησιμοποιείται όπου υπάρχουν μεγάλοι κραδασμοί, δηλαδή σε βιομηχανικά περιβάλλοντα.

Συχνά, τον συναντάμε σε εξοπλισμό ελέγχου. Είναι μεταλλικής κατασκευής με κεραμικό δακτύλιο. Χρησιμοποιείται σε πολύτροπες ίνες (50/125μm και 62,5/125μm) και σε μονότροπες (9/125μm) καθώς και σε καλώδια 900μm. Εμφανίζει απώλεια εισαγωγής < 0,5 dB και απώλεια επιστροφής > 27dB.

Οι σύνδεσμοι τύπου VF-45 (Σχ. 3.6) σχεδιάστηκε από την 3M. Για τη χρήση του συνδέσμου VF-45 δεν απαιτείται προσαρμογέας. Για την σωστή λειτουργία του, είναι απαραίτητο να υπάρχει κλίση 45°. Πλεονέκτημα αυτού του συνδέσμου είναι το χαμηλό του κόστος, καθώς δεν χρησιμοποιεί προσαρμογέα.



Οι σύνδεσμοι τύπου FDDI (Σχ. 3.7) χρησιμοποιούνται μόνο σε πολύτροπες ίνες. Διαθέτουν ένα προστατευτικό κάλυμμα, για αποφυγή καταστροφής τους. Ο σύνδεσμος FDDI, ο οποίος σχεδιάστηκε από την ANSI, χρησιμοποιείται σε δίκτυα FDDI. Ο σύνδεσμος αυτού του τύπου, γενικά χρησιμοποιείται για να συνδέσει τον εξοπλισμό του δικτύου με εξωτερικό δίκτυο. Όμως, το υπόλοιπο δίκτυο μπορεί να χρησιμοποιεί SC ή ST σύνδεσμο.



Οι σύνδεσμοι τύπου DIN (Σχ. 3.8) χρησιμοποιούνται αποκλειστικά, από τον Γερμανικό τηλεπικοινωνιακό οργανισμό, αν και τελευταία τείνει και εκεί να αντικατασταθεί από συνδέσμους τύπου SC.



3.2.2 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΥΝΔΕΤΗΡΩΝ

■ Απώλεια Εισαγωγής

Είναι η πιο σημαντική μέτρηση της απόδοσης ενός συνδετήρα. Είναι η απώλεια που προκαλείται από την εισαγωγή ενός συνδεδεμένου ζευγαριού συνδετήρων σε μια ίνα. Τυπική τιμή: 0,2 dB - 0,5 dB ανά συνδεδεμένο ζευγάρι.

■ Απώλεια Επιστροφής

Η ισχύς αυτή ανακλάται έξω από τον συνδετήρα και πάλι προς την πηγή του φωτός. Τα laser και οι φωτοδιόδοι που χρησιμοποιούνται για τη λειτουργία των πολύτροπων ινών δεν επηρεάζονται σημαντικά από την ισχύ ανάκλασης και έτσι η απώλεια επιστροφής δε δίνεται συνήθως σ' αυτή την περίπτωση. Στα μονότροπα συστήματα το laser επηρεάζεται και δημιουργεί θόρυβο εξόδου. Επιτρεπτά όρια της τιμής αυτής είναι: -40 dB.

■ Διάρκεια Σύνδεσης

Ονομάζεται και μεταβολή απώλειας εισαγωγής. Είναι μέτρο του πόσο θα αυξηθεί η απώλεια εισαγωγής με τη χρήση, αφού συνδεθεί και αποσυνδεθεί πολλές φορές. Τυπική τιμή: 0,2 dB για 1000 συνδέσεις.

■ Θερμοκρασία Λειτουργίας

Τυπικές τιμές: -25 °C μέχρι +80°C

■ Αντοχή Καλωδίου

Ονομάζεται και αντοχή φορτίο απόσπασης. Αυτό είναι το φορτίο που μπορεί να εφαρμοστεί στο καλώδιο πριν η ίνα αποσπαστεί από τον συνδετήρα. Η τυπική τιμή είναι: 200 N.

■ Δυνατότητα Επανάληψης

Είναι μετρό του πόσο σταθερή είναι η απώλεια εισαγωγής κατά την αποσύνδεση και επανασύνδεση. Δεν είναι πρόβλημα φθοράς, όπως η διάρκεια σύνδεσης, αλλά απλά ένας έλεγχος του αν ο συνδετήρας και ο προσαρμογέας έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε η διαδρομή του φωτός να είναι ταυτόσημη κάθε φορά που γίνεται η σύνδεση. Είναι ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό για έναν συνδετήρα αλλά δεν δίνεται πάντα στις προδιαγραφές λόγω του ότι είναι, δύσκολο να συμφωνήσουν σε μια ομοιόμορφη μέθοδο υπολογισμού του. Μερικοί κατασκευαστές δίνουν μια τιμή, άλλοι χρησιμοποιούν περιγραφικούς όρους όπως "υψηλή" ή "πολύ υψηλή"

3.2.3 ΣΥΝΕΝΩΣΕΙΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

Όπως είναι φυσικό, κάποιες φορές οι οπτικές ίνες χρειάζεται να ενωθούν μεταξύ τους έτσι ώστε είτε να δημιουργηθούν μεγαλύτερα τμήματα ινών είτε για τη συγκόλληση ινών που έχουν σπάσει. Κατά τη διαδικασία μιας συνένωσης πρέπει να επιτυγχάνεται:

1. Ευθυγράμμιση του κεντρικού άξονα της ίνας με τον αντίστοιχο της άλλης ίνας κατά μήκος της σύνδεσης.
2. Ελαχιστοποίηση της απόστασης μεταξύ των δύο άκρων.
3. Ελαχιστοποίηση της γωνίας μεταξύ των αξόνων κατά μήκος της σύνδεσης.

Σε αντίθεση με τα ηλεκτρικά καλώδια, που το μόνο που χρειάζεται για να γίνει μια συγκόλληση είναι ένα 'κολλητήρι', η διαδικασία ένωσης οπτικών ινών, που είναι γνωστή ως splicing, είναι αρκετά πολύπλοκη και απαιτεί ειδικά μηχανήματα.

Τα δυο άκρα που πρόκειται να ενωθούν πρέπει να είναι στοιχισμένα με μεγάλη ακρίβεια, ειδάλως το φως δεν θα μπορεί να διανύσει το κενό ανάμεσα στα δύο άκρα, με αποτέλεσμα να αχρηστεύεται ολόκληρη η οπτική ίνα. Τα πιθανά λάθη που μπορεί να προκληθούν είναι τέσσερα, και έχουν ως εξής:

- Παράλληλη λάθος ευθυγράμμιση
- Αξονική λάθος ευθυγράμμιση
- Γωνιακή λάθος ευθυγράμμιση
- Κακή λείανση της ίνας

Για την αποφυγή προβληματικών ενώσεων έχουν αναπτυχθεί δυο συστήματα που παρέχουν επιτυχείς ενώσεις. Αυτές περιλαμβάνουν την μέθοδο της σύντηξης και τη μηχανική.

Συνενώσεις, κυρίως μόνιμες, χρησιμοποιούνται προκειμένου να επεκτείνουν το μήκος μιας οπτικής ζεύξης, ενώ οι μηχανικές συνενώσεις χρησιμοποιούνται συνήθως κατά την διάρκεια δοκιμών.

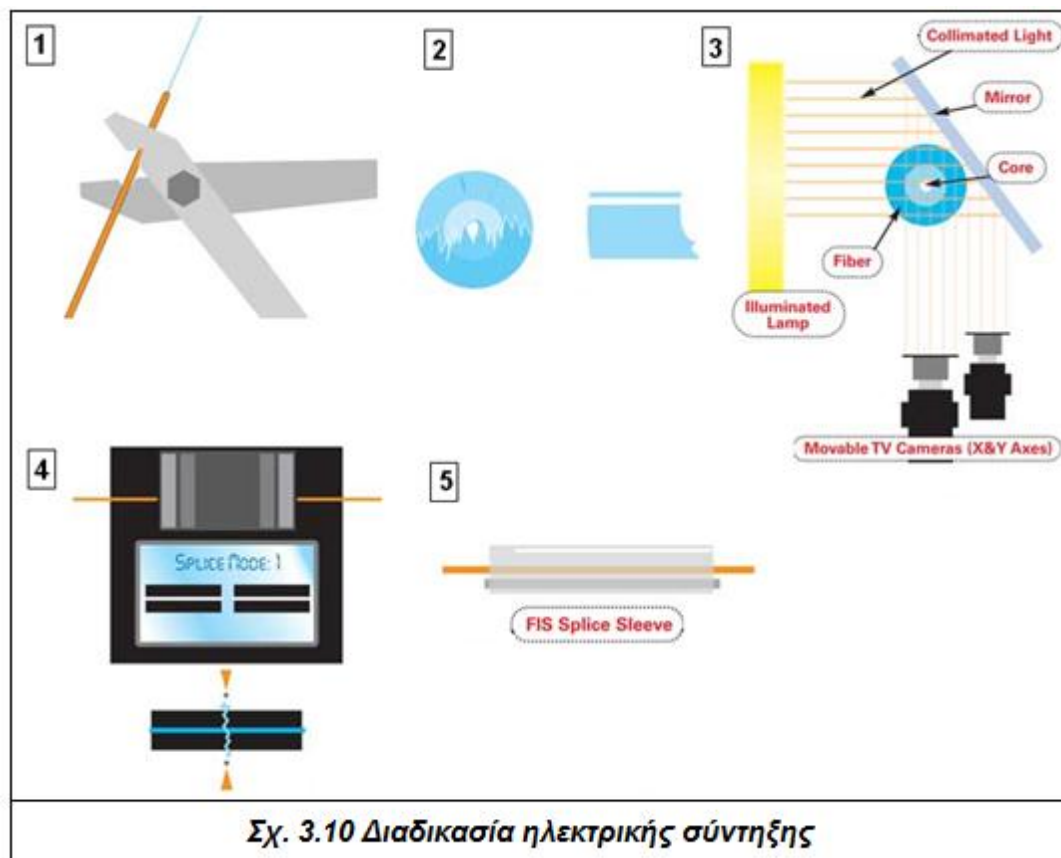
■ Μέθοδος ηλεκτρικής σύντηξης

Στην ένωση με σύντηξη, τα δύο άκρα ευθυγραμμίζονται είτε με τα χέρια χρησιμοποιώντας micro-manipulators (Σχ. 3.9) και ένα μικροσκόπιο για να βλέπουμε την ίνα, είτε αυτόματα με τη βοήθεια κάμερας ή μετρώντας το φως που φτάνει στο τέλος τις ίνας και προσαρμόζοντας τη στοίχιση της ίνας έως ότου πετύχουμε τη μέγιστη απόδοση.



Σχ. 3.9 Συσκευές ηλεκτρικής σύντηξης

Στη συνέχεια τα δύο άκρα 'λιώνονται' χρησιμοποιώντας είτε μια φλόγα γκαζιού είτε πιο σύνηθες ένα ηλεκτρικό τόξο. Με τη μέθοδο αυτή (Σχ. 3.10), επιτυγχάνονται σχεδόν τέλειες ενώσεις με απώλειες που κυμαίνονται στα 0.02dB . Τα βήματα της ηλεκτρικής σύντηξης διακρίνονται παρακάτω:



1. Αφαίρεση προστατευτικού καλύμματος της ίνας
2. Λείανση της ίνας για ακρίβεια στη σύντηξη
3. Φωτογράφιση της ίνας με ειδική συσκευή, για την ακριβή της κατάσταση
4. "Λιώσιμο" της ίνας με ηλεκτρική εκκένωση
5. Προστασία της σύντηξης με ειδικό κάλυμμα

■ Μέθοδος μηχανικής ένωσης

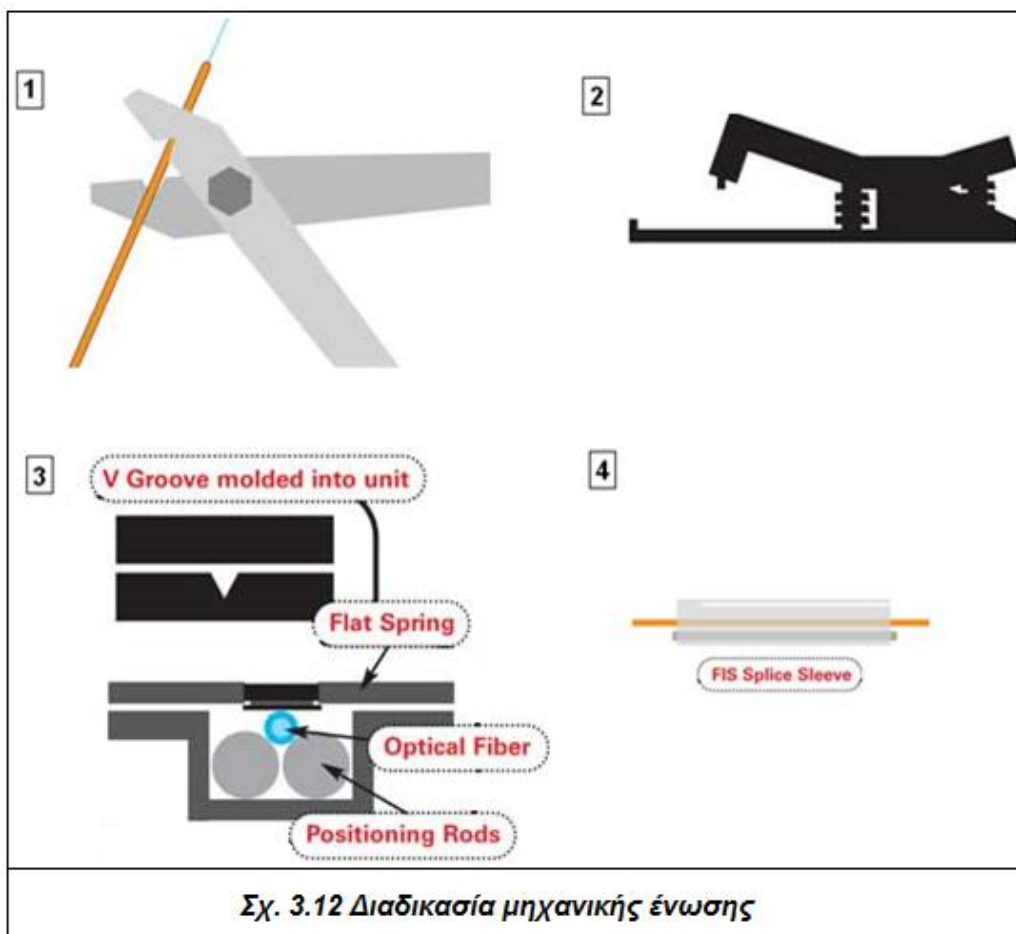
Στην μηχανική ένωση τα δύο άκρα ευθυγραμμίζονται με τη βοήθεια ενός οδηγού (Σχ. 3.11) ο οποίος είναι συνήθως φτιαγμένος από γυαλί.

Τα άκρα του οδηγού είναι συνήθως ραβδωτά έτσι ώστε να είναι ευκολότερη η ευθυγράμμιση των άκρων της οπτικής ίνας. Ο οδηγός γεμίζεται με οπτικό 'τσιμέντο' του οποίου ο συντελεστής διάθλασης είναι ίδιος με αυτό τις κεντρικής ίνας. Αφού τα δύο άκρα τοποθετηθούν στον οδηγό ευθυγραμμίζονται έτσι ώστε να επιτύχουμε τις λιγότερες δυνατές απώλειες. Στη συνέχεια τα δύο άκρα 'κλειδώνονται' στη θέση τους και το όλο σύστημα εκτίθεται



Σχ. 3.11 Συσκευές μηχανικής ένωσης

σε υπεριώδες φως έτσι ώστε να 'δέσει' το τσιμέντο.
 Τα βήματα της μηχανικής ένωσης διακρίνονται παρακάτω (Σχ. 3.12):



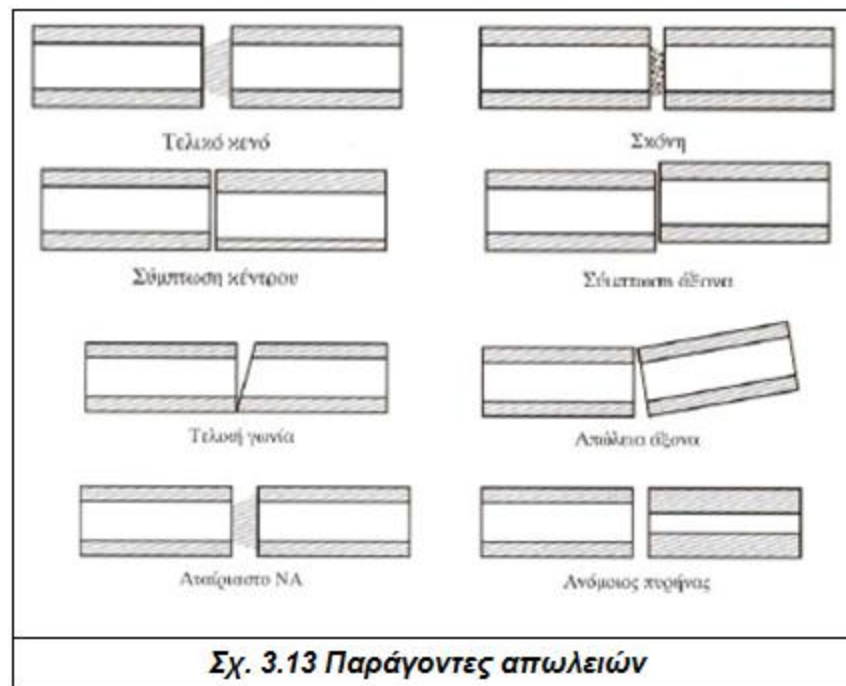
1. Αφαίρεση προστατευτικού καλύμματος της ίνας
2. Λείανση της ίνας για ακρίβεια στη σύντηξη
3. Διάτρηση της ίνας με διαμάντι και διάχυση ειδικού οπτικού υλικού
4. Προστασία της ένωσης με ειδικό κάλυμμα

3.2.4 ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΕΝΩΣΗΣ

Η απώλεια στις επαφές σύνδεσης προκαλείται από ένα αριθμό παραγόντων (Σχ. 3.13). Η απώλεια περιορίζεται όταν οι πυρήνες των δύο ινών ευθυγραμμίζονται τελείως. Τα τελικά κενά δημιουργούν δύο ειδών προβλήματα: απώλεια εισόδου και απώλεια επιστροφής. Ο κώνος φωτός που εκπέμπεται από τον συνδετήρα θα διασκορπιστεί στον πυρήνα της ίνας λήψης και θα χαθεί.

Το κενό αέρος μεταξύ των ινών προκαλεί ανάκλαση όταν το φως έρχεται αντιμέτωπο με την αλλαγή του δείκτη ανάκλασης από την γυάλινη ίνα στον αέρα. Η ανάκλαση αυτή ανέρχεται στο 5% στους τυπικούς επίπεδους λείους συνδετήρες και σημαίνει ότι κανένας από αυτούς τους συνδετήρες με κενό δεν θα έχει απώλεια μικρότερη από 0,3 dB. Η ανάκλαση είναι γνωστή και ως επιστρεφόμενη ανάκλαση ή απώλεια οπτικής επιστροφής και μπορεί να αποτελέσει πρόβλημα σε συστήματα που χρησιμοποιούν laser. Οι συνδετήρες χρησιμοποιούν ένα αριθμό τεχνικών λείανσης για να εξασφαλίσουν την φυσική επαφή των άκρων των ινών και να

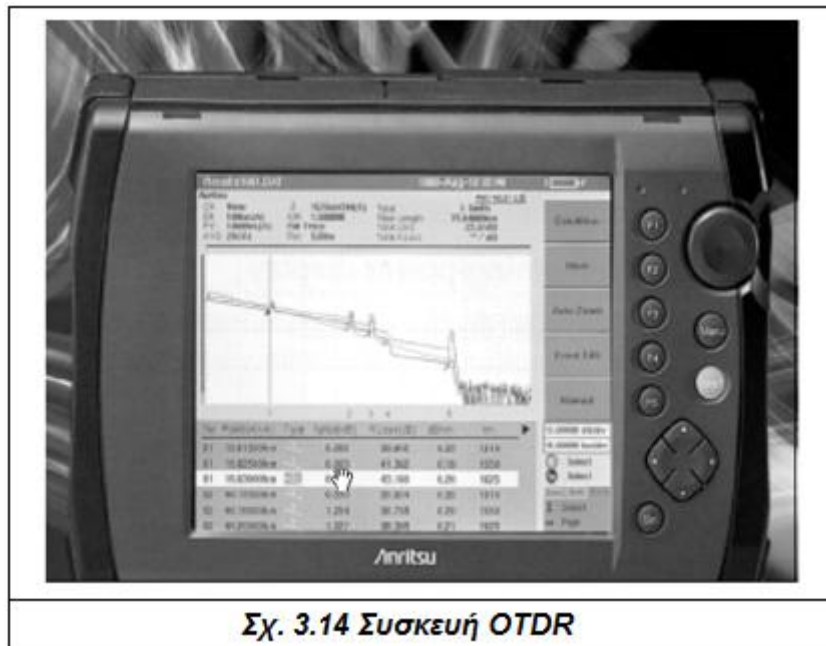
μειώσουν την επιστρεφόμενη ανάκλαση. Στις μηχανικές συνδέσεις μπορούμε να μειώσουμε την επιστρεφόμενη ανάκλαση με χρήση μη κάθετων συνδέσεων που προκαλούν την απορρόφηση της ανάκλασης αυτής στο σημείο σύνδεσης της ίνας.



Το άκρο της ίνας πρέπει να λειανθεί κατάλληλα για την ελαχιστοποίηση των απωλειών. Για την εξασφάλιση της σωστής σύνδεσης, μετά την ένωση είναι απαραίτητη η χρήση οργάνου μέτρησης ανακλάσεων της οπτικής ισχύος OTDR (*Optical Time Domain Reflectometer*.)

3.3 OPTICAL TIME DOMAIN REFLECTOMETER (OTDR)

Το OTDR είναι ένα όργανο που χρησιμοποιείται ευρέως για τον έλεγχο ποιότητας εγκατεστημένων ή προς εγκατάσταση καλωδίων και τον ευρύτερο χαρακτηρισμό τους όσον αφορά τις απώλειες που εμφανίζονται κατά μήκος τους. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμο στην διαδικασία εύρεσης σημείων που προκαλούν τη διακοπή μιας ζεύξης ή την υπερβολική υποβάθμιση της από πλευράς ισχύος. Ένα τυπικό OTDR εικονίζεται στο Σχ. 3.14.



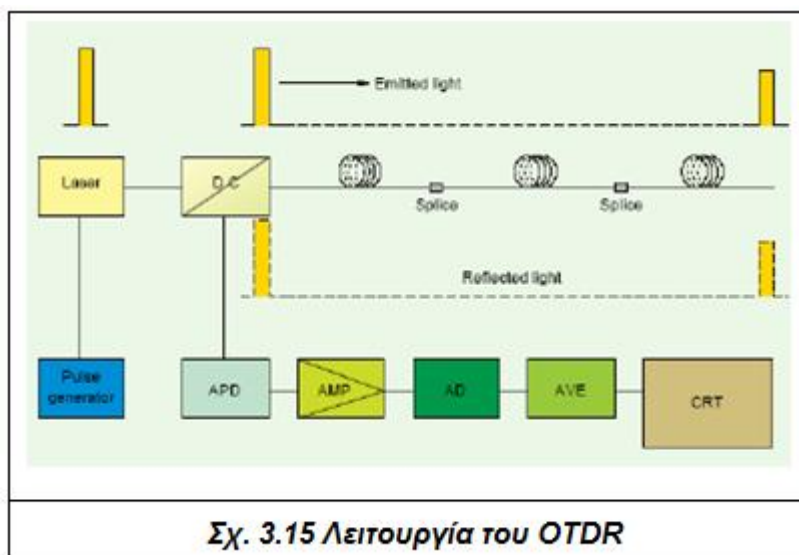
Σχ. 3.14 Συσκευή OTDR

Συγκεκριμένα η χρησιμότητά τους αναδεικνύεται σε μια σειρά από μετρήσεις όπως :

1. Μέτρηση αποστάσεων
2. Μέτρηση εξασθένησης οπτικών ινών, οπτικών ζεύξεων, συγκολλήσεων και συνδέσεων
3. Ανίχνευση τοπικών διαταραχών εξασθένησης
4. Μέτρηση ανακλάσεων σε συνδέσεις ή στο τέλος μιας οπτικής ζεύξης

3.3.1 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ OTDR

Το OTDR λειτουργεί με βάση τη διάδοση φωτός σε οπτική κατά τη διάρκεια συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος. Μια γεννήτρια σχετικά στενών ηλεκτρικών παλμών , παράγει τους παλμούς αυτούς ανά συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα. Οι παλμοί αυτοί οδηγούν μια πηγή laser , η οποία παράγει μια διαμορφωμένη δέσμη φωτός που στέλνεται μέσω ενός κατευθυντικού συζεύκτη στην οπτική ίνα. Λόγω των εγγενών ανωμαλιών που χαρακτηρίζουν την οπτική ίνα αλλά λόγω ασυνέχειας (συνδετήρες, συγκολλήσεις, τέλος μιας ζεύξης) κατά τη διάδοση συγκεκριμένη ποσότητα φωτός θα επιστρέψει στο όργανο μέσω σκέδασης ή ανακλάσεων. Η επιστρεφόμενη δέσμη θα ανιχνευθεί από μια φωτοδίοδο χιονοστιβάδας και το ηλεκτρικό σήμα που θα παραχθεί από αυτή ενισχύεται από ενισχυτική βαθμίδα και γίνεται αντικείμενο επεξεργασίας από εσωτερικό υπολογιστή. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται πολλές φορές και έτσι τα αποτελέσματα που προβάλλονται στην οθόνη του οργάνου προκύπτουν από στατιστική επεξεργασία. Η ισχύς του σήματος απεικονίζεται στον κάθετο άξονα του οργάνου και η απόσταση , που έχει υπολογισθεί από το χρόνο διάδοσης στον οριζόντιο. οθόνη του οργάνου. Το σύστημα συντεταγμένων απεικονίζεται μαζί με άλλα χρήσιμα στοιχεία στην οθόνη του οργάνου.



3.3.2 ΡΥΘΜΙΣΕΙΣ ΕΝΟΣ OTDR

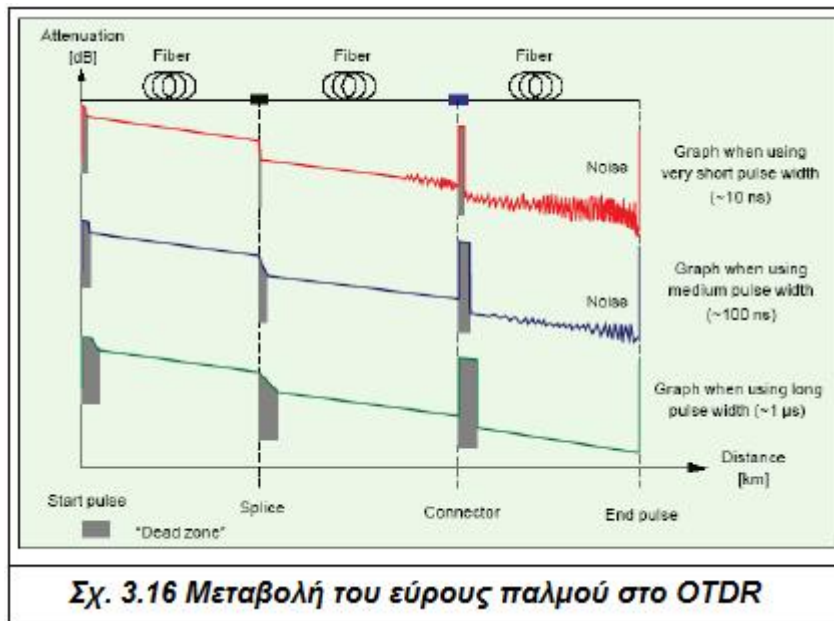
Οι σωστές ρυθμίσεις ενός OTDR παίζουν σημαντικό ρόλο στην εξαγωγή αξιόπιστων μετρήσεων.

1. Νεκρή ζώνη

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

2. Εύρος παλμών

Η «νεκρή ζώνη» μπορεί να περιοριστεί σε μέγεθος αν οι παλμοί που εκπέμπονται από το OTDR είναι όσο το δυνατό στενότερου εύρους. Δυστυχώς μια τέτοια ρύθμιση δεν είναι άμοιρη μειονεκτημάτων, μιας και οι στενοί παλμοί δεν είναι δυνατό να διαδίδονται για μεγάλες αποστάσεις. Σε αυτή τη περίπτωση λοιπόν περιορίζεται η ικανότητα του οργάνου για τον καθορισμό χαρακτηριστικών στις μεγάλες αποστάσεις. Συμπερασματικά, οι μεγάλοι εύρους παλμοί είναι κατάλληλοι για το χαρακτηρισμό μιας οπτικής ζεύξης μεγάλη σχετικά απόσταση, με τίμημα την μεγέθυνση της νεκρής ζώνης. Αντίθετα οι στενοί παλμοί αυξάνουν τη διακριτή ικανότητα του οργάνου, μειώνοντας το μήκος της νεκρής ζώνης, αλλά ταυτόχρονα λόγω της ευαισθησίας τους, μειώνουν την απόκριση του οργάνου στις μεγάλες αποστάσεις. Συνήθως η σωστή ρύθμιση επιτυγχάνεται από την αυτόματη λειτουργία που διαθέτουν σαν επιλογή σχεδόν όλα τα εμπορικά διαθέσιμα όργανα. Η αυτόματη λειτουργία επιλέγει το σωστό εύρος παλμών με κριτήριο την όσο το δυνατό καλύτερη απόδοσή του για τον ικανοποιητικό καθαρισμό όλων των χαρακτηριστικών της ζεύξης.



3. Δυναμική περιοχή

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

3.4 ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

3.4.1 ΟΠΤΙΚΟΙ ΠΟΜΠΟΙ

Σε ένα σύστημα οπτικής επικοινωνίας, είναι απαραίτητη η χρήση ενός οπτικού πομπού. Ο ρόλος των οπτικών πομπών είναι να μετατρέπουν ένα ηλεκτρικό σήμα εισόδου σε αντίστοιχο οπτικό σήμα και εν συνεχεία να το εκπέμπουν στο εσωτερικό της οπτικής ίνας, δηλαδή στο κανάλι επικοινωνίας.

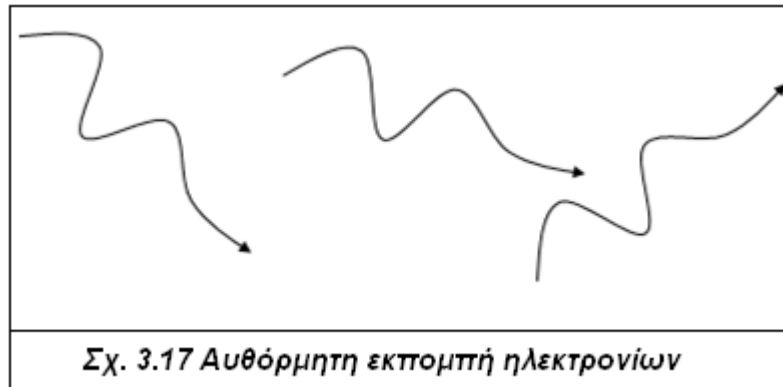
Οι πηγές φωτός που χρησιμοποιούνται σε ένα οπτικό δίκτυο μπορεί να είναι είτε δίοδοι εκπομπής φωτός (light emitting diodes, LED) είτε λέιζερ ημιαγωγού (semiconductor lasers). Η επιλογή του είδους της πηγής φωτός που θα χρησιμοποιηθεί σε ένα οπτικό σύστημα μετάδοσης βασίζεται σε αρκετούς παράγοντες όπως:

- Το μήκος κύματος εκπομπής, δηλαδή σε ποιο παράθυρο μετάδοσης λειτουργεί η ίνα
- Την ισχύ που θέλουμε να εκπέμπουμε και σε ποια απόσταση
- Το πλάτος του εύρους των μηκών κύματος
- Ο αποτελεσματικός τρόπος διοχέτευσης του παραγόμενου φωτός στην οπτική ίνα μετάδοσης

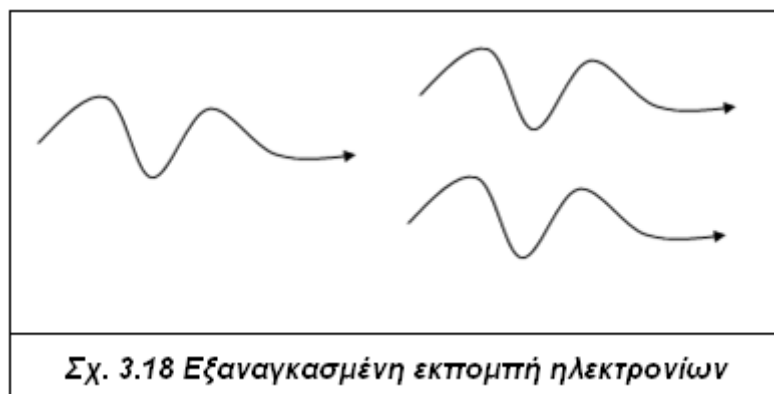
Υπάρχουν δύο τρόποι παραγωγής φωτός οι οποίοι είναι:

- Η αυθόρμητη εκπομπή (spontaneous emission)
- Η εξαναγκασμένη εκπομπή (stimulated emission)

Στην αυθόρμητη εκπομπή φωτονίων (Σχ. 3.17) που πραγματοποιείται με τις διόδους LED, παράγονται φωτόνια προς τυχαίες κατευθύνσεις κατά την αποδιέγερση των ηλεκτρονίων.



Στην εξαναγκασμένη εκπομπή φωτονίων (Σχ. 3.18) που πραγματοποιείται με LASER ημιαγωγού, ένα επιπλέον προσπίπτον φωτόνιο δημιουργεί ένα εκπεμπόμενο φωτόνιο που ταιριάζει με το αρχικό όχι μόνο στην ενέργειά του αλλά και στην διεύθυνση μετάδοσής του.



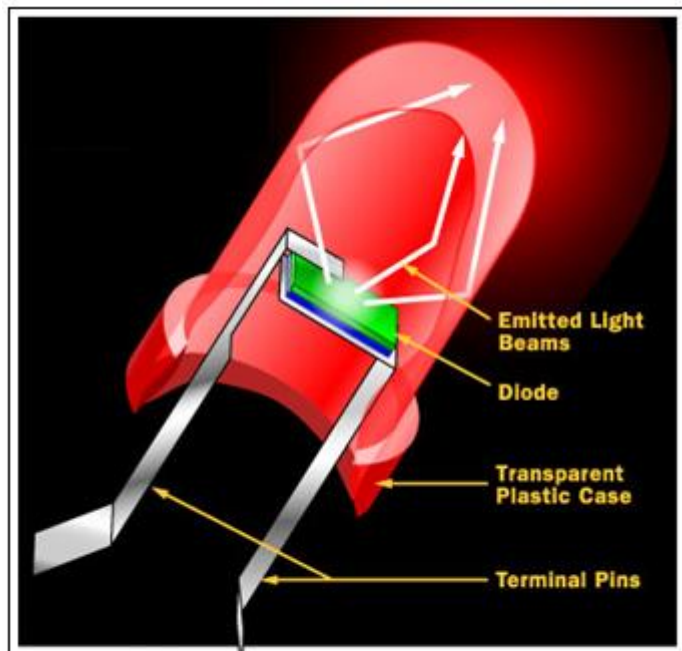
Οι απαιτήσεις που έχουμε από έναν οπτικό πομπό είναι:

- Να λειτουργεί σε ένα από τα 3 παράθυρα ελάχιστης εξασθένισης, δηλαδή τα 850, 1310 ή 1550 nm
- Το εκπεμπόμενο οπτικό σήμα να είναι κατά το δυνατόν μονοχρωματικό, δηλαδή το εύρος εκπομπής $\Delta\lambda$ γύρω από το κεντρικό μήκος κύματος λειτουργίας να είναι κάτω από 50 nm.
- Η ισχύς εξόδου του πομπού να είναι της τάξης του 1 mW
- Να μπορεί να διαμορφωθεί από ψηφιακά σήματα υψηλού ρυθμού
- Η υψηλή αξιοπιστία
- Το χαμηλό κόστος

3.4.2 ΠΟΜΠΟΙ LED ΚΑΙ LASER

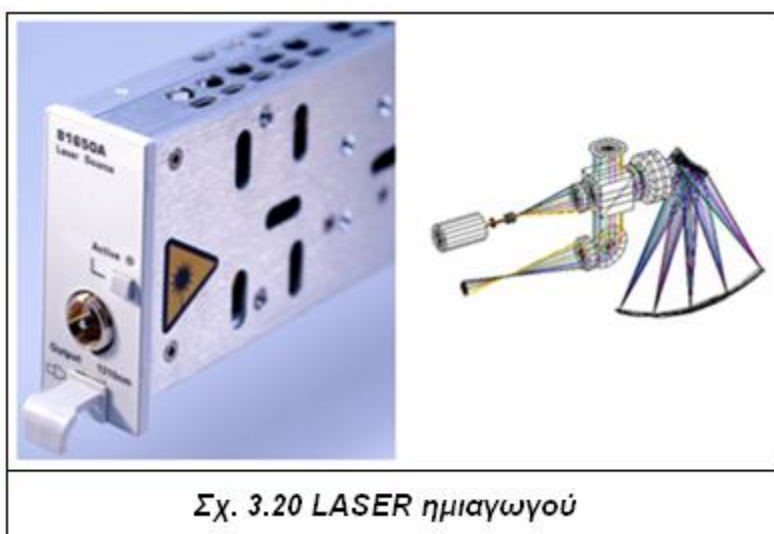
Μία συσκευή LED είναι μία δίοδος εκπομπής φωτός (Σχ.3.19) η οποία εκπέμπει ασύμφωνη οπτική ακτινοβολία όταν πολωθεί κατά την ορθή φορά. Χρησιμοποιούν επαφές p-n για να εισάγουν ηλεκτρόνια και οπές στην ίδια περιοχή ενός ημιαγωγού προκειμένου να ενωθούν και να παράγουν φως μέσω του φαινομένου της αυθόρμητης εκπομπής. Η χρήση τους περιορίζεται στις πολύτροπες ίνες με χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης και μικρές αποστάσεις διάδοσης.

Ένα σημαντικό μειονέκτημα του LED είναι ότι δεν περιβάλλεται από κάτοπτρα με αποτέλεσμα να μην υπάρχει ενίσχυση της παραγόμενης ακτινοβολίας μέσω των διαδοχικών διελεύσεων από την ενεργό περιοχή της δίοδου. Συνεπώς, η εκπεμπόμενη ακτινοβολία είναι ασύμφωνη (incoherent).



Σχ. 3.19 Δίοδος LED

Τα LASER είναι συσκευές (Σχ.3.20) που παράγουν σύμφωνες δέσμες οπτικής ακτινοβολίας. Η κοιλότητα ενός απλού λέιζερ είναι σχεδιασμένη να αντανakλά εσωτερικά τα κύματα, δηλαδή τα φωτόνια προκειμένου να ενισχύουν το ένα το άλλο. Τα υλικά που επιλέγονται για την κοιλότητα καθορίζουν το μήκος κύματος εκπομπής. Εφαρμόζοντας αρκετή ενέργεια σε ένα τέτοιο υλικό για αρκετά μεγάλο χρονικό διάστημα, επιτυγχάνουμε να υπάρχουν πιο πολλά ηλεκτρόνια στη διεγερμένη κατάσταση παρά στην ουδέτερη. Αυτό επιτρέπει στο υλικό να εκπέμπει περισσότερο φως από αυτό που απορροφάει. Σε κάθε άκρο της κοιλότητας υπάρχει ένα κάτοπτρο. Το ένα κάτοπτρο αντανakλά 100% και δεν επιτρέπει τη διέλευση ενέργειας.



Το άλλο κάτοπτρο επιτρέπει στο 5% της ενέργειας να περάσει από μέσα του.

Μία εξωτερική πηγή τροφοδοτεί την κοιλότητα με ενέργεια. Εξαιτίας της άντλησης δημιουργείται ηλεκτρομαγνητικό πεδίο μέσα στην κοιλότητα του λέιζερ, όπου η έξοδος μπορεί να εμφανίζεται ως μία συνεχής φωτεινή ακτίνα ή σαν μια αλληλουχία από παλμούς μικρής διάρκειας και μεγάλης έντασης.

Τα LASER's κατηγοριοποιούνται ανάλογα με το υλικό κατασκευής τους σε:

- LASER's στερεάς κατάστασης
- LASER's αερίου
- LASER's τύπου exdimer
- LASER's βαφής
- LASER's ημιαγωγού

Τα LASER's στερεάς κατάστασης χρησιμοποιούν υλικά που κατανέμονται σε έναν πίνακα στερεών. Τα λέιζερ εκπέμπουν φως στην υπέρυθρη περιοχή, δηλαδή στα 1,064 nm.

Τα LASER's αερίου συνήθως κατασκευάζονται από ήλιο ή ήλιο και νέον. Έχουν ως βασική έξοδο φως στην ορατή περιοχή του ερυθρού. Τα λέιζερ από διοξει-

διο του άνθρακα (CO₂) εκπέμπουν ενέργεια στην άπω υπέρυθη περιοχή και χρησιμοποιούνται για την κοπή δύσκαμπτων υλικών.

Τα LASER's τύπου exdimer χρησιμοποιούν αντιδραστικά αέρια, όπως το χλώριο και το φθόριο αναμειγμένα με αδρανή αέρια όπως το αργό, το κρυπτό ή το ξένο. Με τη διοχέτευση ηλεκτρικού ρεύματος παράγεται ένα ψευδο-μόριο (διμερές). Με τη χρήση ενός λέιζερ το διμερές παράγει φως στην υπεριώδη περιοχή.

Τα LASER's βαφής χρησιμοποιούν σαν μέσα έναυσης (lasing) περίπλοκες οργανικές χρωστικές ουσίες όπως η Rodamine 6G, σε υγρά διαλύματα ή αιωρήματα. Το εύρος συντονισμού εξαρτάται από τη χρωστική που χρησιμοποιείται.

Τα LASER's ημιαγωγού είναι ηλεκτρονικές συσκευές που έχουν γενικά μικρό μέγεθος και χαμηλές ενεργειακές απαιτήσεις. Υπάρχει δυνατότητα να ενσωματωθούν σε μεγάλες συστοιχίες. Τα λέιζερ ημιαγωγού είναι κατάλληλα για εφαρμογές μονότροπης ίνας λόγω της εξαιρετικής τους απόδοσης.

Τα κύρια, χαρακτηριστικά των λέιζερ είναι :

■ Αστάθεια συχνότητας που οφείλεται:

1. Στην εναλλαγή των τρόπων διάδοσης
2. Στην μετατόπιση των τρόπων διάδοσης
3. Στην εναλλαγή μήκους κύματος

■ Εύρος γραμμής:

Είναι το εύρος του φάσματος του φωτός που παράγεται από το Laser και επηρεάζει τις αποστάσεις μεταξύ των καναλιών και τη διασπορά

■ Εύρος συντονισμού:

Πρόκειται για την περιοχή μηκών κύματος που μπορεί το Laser να ενισχύσει

■ Πλήθος διαμηκών τρόπων διάδοσης:

Είναι ο αριθμός των μηκών κύματος που μπορεί το Laser να ενισχύσει

■ Δυνατότητα συντονισμού:

Μπορεί να υπάρχει η δυνατότητα συντονισμού ενός Laser σε όλα τα περιεχόμενα μήκη κύματος ή να αποτελείται από ένα σύνολο από διακριτά μήκη κύματος

■ Χρόνος συντονισμού:

Είναι ο χρόνος που απαιτεί το Laser για να συντονιστεί από ένα μήκος κύματος σε ένα άλλο.

3.4.2. 1 ΣΥΓΚΡΙΣΗ LASER ME LED

Οι δίοδοι laser παρουσιάζουν έναντι των LED τα εξής πλεονεκτήματα:

- Έχουν μεγαλύτερη ισχύ εκπομπής. Ενώ η ισχύς εκπομπής των LED είναι μικρότερη των 100 microwatts, η ισχύς της ακτινοβολίας που εκπέμπουν οι δίοδοι laser είναι από δέκα έως εκατό φορές μεγαλύτερη.

- Η εκπεμπόμενη ακτινοβολία είναι σχεδόν μονοχρωματική. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το εκπεμπόμενο οπτικό σήμα να υφίσταται μικρότερη παραμόρφωση λόγω διασποράς κατά τη διέλευση της μέσω της οπτικής ίνας.
- Εκπέμπουν στενή δέσμη φωτός με ισχυρή κατευθυντικότητα. Το γεγονός αυτό, επιτρέπει τη συνεργασία τους με single-mode οπτικές ίνες ενώ αντίθετα, η χρήση των χαμηλής κατευθυντικότητας LED περιορίζεται σε multimode οπτικές ίνες.
- Επιτυγχάνουν υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης. Οι ρυθμοί μετάδοσης των εμπορικά διαθέσιμων LED μόλις που ξεπερνούν τα 100 Mbps, ενώ τα εμπορικά διαθέσιμα laser επιτυγχάνουν ρυθμούς μετάδοσης πάνω από 1 Gbps.

Από την πλευρά τους, οι δίοδοι LED παρουσιάζουν έναντι των laser τα εξής πλεονεκτήματα:

- Η κατασκευή τους είναι πιο απλή, γεγονός που οδηγεί σε χαμηλότερο κόστος παραγωγής.
- Έχουν μικρότερη ευαισθησία στις μεταβολές της θερμοκρασίας.
- Χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και υψηλότερη αξιοπιστία.

3.4.3 ΔΙΑΜΟΡΦΩΤΕΣ

Οι οπτικοί διαμορφωτές παρέχουν την δυνατότητα της εξωτερικής παλμικής διαμόρφωσης (TDM) ενός συνεχούς οπτικού σήματος. Με αυτόν τον τρόπο η διαμόρφωση δεν γίνεται στην πηγή laser, ξεπερνώντας βασικούς περιορισμούς των ημιαγωγών ως προς τον μέγιστο ρυθμό μετάδοσης και αυξάνοντας σημαντικά τον ωφέλιμο χρόνο λειτουργίας τους. Η λειτουργία των οπτικών διαμορφωτών βασίζεται κυρίως σε συμβολομετρικές τεχνικές Mach-Zehnder και οπτοηλεκτρονικούς κρυστάλλους LiNbO_3 .

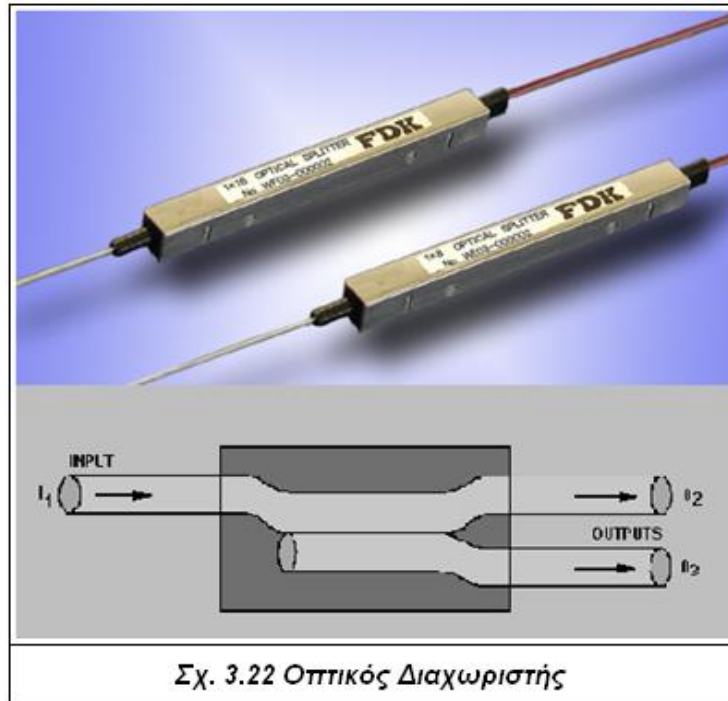
Οι κυματοδηγοί κατασκευάζονται σε ολοκληρωμένη μορφή με διάχυση σε κατάλληλο υπόστρωμα, ενώ τα ηλεκτρόδια εναποτίθενται πάνω στο ηλεκτροοπτικό υλικό επιτυγχάνοντας τάσεις μεταγωγής από 5 έως 10 V.

Οι εμπορικά διαθέσιμοι διαμορφωτές (Σχ. 3.21) λειτουργούν σε ρυθμούς 2,5 Gb/s και 10 Gb/s στα 1300 nm ή 1550 nm, ενώ απαιτούν μικρή τάση λειτουργίας.



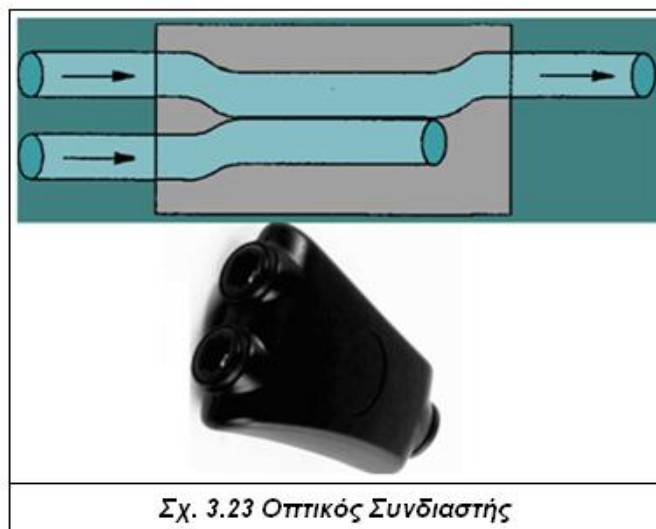
3.4.4 ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΕΣ/ΣΥΝΔΙΑΣΤΕΣ

Ο διαχωριστής (splitter) είναι μια οπτική συσκευή που διαθέτει μια θύρα εισόδου και δύο θύρες εξόδου (Σχ. 3.22) και έχει την ικανότητα να διαμοιράζει στις θύρες εξόδου το οπτικό σήμα που δέχεται στη θύρα εισόδου. Ως διαχωριστής συνήθως χρησιμοποιείται ένας ζεύκτης 2x2 του οποίου χρησιμοποιείται μόνο η μία θύρα εισόδου.



Σχ. 3.22 Οπτικός Διαχωριστής

Αντίστροφα, ο συνδιαστής (combiner) είναι μια οπτική συσκευή που διαθέτει δύο θύρες εισόδου και μία θύρα εξόδου (Σχ. 3.23) και έχει την ικανότητα να παρέχει στη θύρα εξόδου τη συνισταμένη των οπτικών σημάτων που δέχεται στις θύρες εισόδου. Συνήθως, ως συνδιαστής χρησιμοποιείται ένας ζεύκτης 2x2 του οποίου χρησιμοποιείται μόνο η μία θύρα εξόδου.



Σχ. 3.23 Οπτικός Συνδιαστής

3.4.5 ΕΞΑΣΘΕΝΗΤΕΣ

Οι εξασθενητές (attenuators) είναι παθητικά εξαρτήματα, που εισάγουν μια ελεγχόμενη εξασθένηση σε μια οπτική ζεύξη, ελαττώνοντας την λαμβανόμενη ισχύ στα επιθυμητά όρια λειτουργίας. Οι εξασθενητές μπορεί να είναι σταθερός (Σχ. 3.24) ή μεταβλητής εξασθένησης (Σχ.3.25).



Οι συσκευές σταθερής εξασθένησης χρησιμοποιούνται κυρίως για προστασία του δέκτη, ενώ οι συσκευές μεταβλητής εξασθένησης για τον έλεγχο της λαμβανόμενης οπτικής ισχύος σε δοκιμές πεδίου, καθώς και σε διατάξεις οπτικών ενισχυτών και DWM συσκευών.

Για μεταβλητούς εξασθενητές, ορίζονται τα μεγέθη ελάχιστης εξασθένησης, το βήμα αύξησης της εξασθένησης και ο τρόπος μεταβολής της εξασθένησης. Ο τρόπος μεταβολής της εξασθένησης μπορεί να είναι είτε χειροκίνητος (Σχ.3.26), είτε μέσω εφαρμοζόμενης εξωτερικής τάσης (Σχ.3.27).



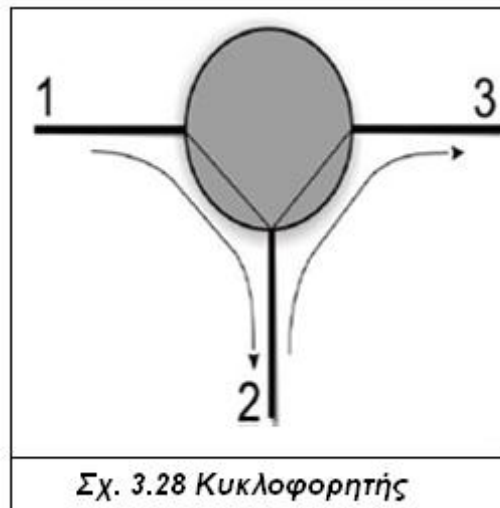
Σχ. 3.26 Χειροκίνητος μεταβλητός οπτικός εξασθενητής



Σχ. 3.27 Μεταβλητός οπτικός εξασθενητής με εξωτερική τάση

3.4.6 ΚΥΚΛΟΦΟΡΗΤΕΣ

Οι κυκλοφορητές (Circulators), είναι μονοκατευθυντικές παθητικές συσκευές, τριών ή περισσότερων θυρών, που μεταφέρουν την οπτική ισχύ από την μία θύρα στην επόμενη προς μία μόνο κατεύθυνση (Σχ.3.28).



Σχ. 3.28 Κυκλοφορητής

Το προς μετάδοση σήμα, μεταδίδεται από τη θύρα 1 προς την θύρα 2 ή από τη θύρα 2 προς την θύρα 3. Σκοπός των κυκλοφορητών, είναι ο διαχωρισμός των σημάτων που διαδίδονται σε αντίθετες κατευθύνσεις μέσα στην ίδια ίνα, με τυπική τιμή μόνωσης 50 dB για ένα εύρος μηκών κύματος λειτουργίας και με διαφωνία καλύτερη από 60 dB. Πρέπει επίσης να χαρακτηρίζονται από μικρή απώλεια παρεμβολής, μικρή απώλεια εξαρτώμενη από την πόλωση του φωτός και μικρή διασπορά τρόπου πόλωση. Οι κυκλοφορητές βρίσκουν εφαρμογή σε οπτικούς ενισχυτές, δίκτυα καλωδιακής τηλεόρασης, διατάξεις οπτικών πολυπλεκτών προσθαφαίρεσης και WDM.

3.4.7 ΟΠΤΙΚΑ ΦΙΛΤΡΑ

Τα οπτικά φίλτρα είναι παθητικές συσκευές που εμποδίζουν ένα μέρος του εισερχόμενου φωτός από το να φτάσει σε συγκεκριμένο σημείο ή προορισμό. Τα οπτικά φίλτρα χρησιμοποιούνται σε συστήματα WDM για να διαχωρίσουν τα σήματα στα επιμέρους μήκη κύματος προκειμένου να τα δρομολογήσουν σε διαφορετικούς προορισμούς. Σε άλλες περιπτώσεις, τα οπτικά φίλτρα χρησιμοποιούνται για να μειώσουν την ένταση του σήματος, ώστε να μην προκληθεί υπερφόρτωση στον αποδέκτη, για να εμποδίσουν τη διέλευση παρείσακτων μηκών κύματος και για να εξισορροπήσουν τα σήματα που μεταδίδονται από το ίδιο σύστημα σε διαφορετικά μήκη κύματος.

3.4.7.1 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΟΠΤΙΚΩΝ ΦΙΛΤΡΩΝ

Η λειτουργία των φίλτρων βασίζεται στη θεωρία συμβολής, η οποία ταξινομείται σε διαίρεση πλάτους και διαίρεση μετώπου κύματος.

Στη διαίρεση πλάτους, το φως ανακλάται και διαδίδεται στην επιφάνεια που διαχωρίζει δύο οπτικά μέσα με διαφορετικούς δείκτες διάθλασης. Οι συνιστώσες πρόσπτωσης και ανάκλασης ακολουθούν διαφορετικές διαδρομές και επανασυνδέονται συμβολομετρικά.

Στην διαίρεση μετώπου κύματος, το μέτωπο κύματος προέρχεται από μία μοναδική πηγή που περνά ταυτόχρονα από δύο ή περισσότερα ανοίγματα, στα οποία γίνεται περίθλαση, το καθένα από τα οποία συνεισφέρει ένα κύμα στο σημείο υπέρθεσης.

3.4.7.2 ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΟΠΤΙΚΩΝ ΦΙΛΤΡΩΝ

Τα βασικά χαρακτηριστικά ενός οπτικού φίλτρου είναι:

- Απώλειες εισαγωγής: Το φίλτρο αποτελεί συνήθως στοιχείο ενός δικτύου και στην ιδανική περίπτωση δε θα έπρεπε να προκαλεί απώλειες.
- Εύρος συντονισμού (D): Εάν το φίλτρο πρόκειται να συντονιστεί σε ένα μεγάλο παράθυρο μετάδοσης όπως τα 1300 nm ή τα 1500 nm, τότε απαιτείται εύρος συντονισμού 25 THz. Οι ενισχυτές επίπεδης απολαβής (gain-flattened amplifiers) χρειάζονται επίσης μεγάλο εύρος.

- Αποστάσεις μεταξύ καναλιών (S): Προκειμένου να αποφευχθεί η υποβάθμιση της ποιότητας του σήματος λόγω της συνακρόασης, πρέπει να υπάρχει μία ελάχιστη διάκριση στη συχνότητα μεταξύ των καναλιών, δηλαδή μια απόσταση ανάμεσα τους. Σε γενικές γραμμές, το επίπεδο της συνακρόασης θα πρέπει να είναι χαμηλότερο κατά 30 dB από το επιθυμητό σήμα.
- Μέγιστος αριθμός καναλιών (N): Πρόκειται για το μέγιστο αριθμό καναλιών που ισαπέχουν μεταξύ τους ο οποίος μπορεί να υποστηριχθεί από το φίλτρο. Υπολογίζεται από το λόγο του συνολικού εύρους συντονισμού (D) προς την απόσταση μεταξύ των καναλιών (S), δηλαδή:

$$N = \frac{D}{S}$$

- Ταχύτητα συντονισμού: Είναι ένα μέτρο του πόσο γρήγορα μπορεί το φίλτρο να συντονιστεί από ένα μήκος κύματος σε ένα άλλο.

3.4.7.3 ΤΥΠΟΙ ΤΩΝ ΟΠΤΙΚΩΝ ΦΙΛΤΡΩΝ

Στα οπτικά φίλτρα (Σχ. 3.29) τύπου εκπομπής, μόνο τα επιλεγόμενα μήκη κύματος μεταδίδονται στην έξοδο της συσκευής, ενώ στα τύπου ανάκλασης, η επιλεγόμενη ακτινοβολία ανακλάται προς το άκρο εισόδου της συσκευής ή εμφανίζεται σε ξεχωριστή θύρα αυτής. Τα οπτικά φίλτρα τύπου εκπομπής χρησιμοποιούνται κυρίως σε εφαρμογές WDM και DWDM, ενώ τα τύπου ανάκλασης χρησιμεύουν ως κάτοπτρα υψηλής επιλεκτικότητας σε οπτικά laser ή σε laser ημιαγωγών εξωτερικής κοιλότητας.



Σχ. 3.29 Διάφοροι τύποι οπτικών φίλτρων

Σε συγκεκριμένες εφαρμογές παρέχεται η δυνατότητα εξωτερικής ρύθμισης των χαρακτηριστικών επιλεκτικότητας του φίλτρου. Χαρακτηριστικά μεγέθη της λειτουργίας των οπτικών φίλτρων είναι η μεταδοσιμότητα, η ανακλασιμότητα και η απώλεια επιστροφής.

Όταν το υποσύνολο των μηκών κύματος στα οποία επιτρέπεται τη διέλευση είναι σταθερό, τότε το φίλτρο ονομάζεται σταθερό οπτικό φίλτρο. Αντίθετα, ένα οπτικό φίλτρο ονομάζεται μεταβλητό όταν το υποσύνολο των μηκών κύματος στα οποία επιτρέπεται η διέλευση μεταβάλλεται χρονικά ανάλογα με τις απαιτήσεις της εφαρμογής. Αξίζει να σημειωθεί, ότι τα περισσότερα οπτικά φίλτρα επιτρέπουν τη διέλευση σε ένα μόνο μήκος κύματος. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια έχουν καταστεί

διαθέσιμα οπτικά φίλτρα που έχουν τη δυνατότητα ταυτόχρονης επιλογής περισσότερων μηκών κύματος, προσδίδοντας έτσι ιδιαίτερη ευελιξία στο σχεδιασμό των οπτικών δικτύων.

3.4.7.4 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΤΑΘΕΡΩΝ ΟΠΤΙΚΩΝ ΦΙΛΤΡΩΝ

Οι κύριοι τύποι σταθερών οπτικών φίλτρων είναι οι ακόλουθοι:

- Φίλτρα φράγματος περίθλασης
- Φράγμα περίθλασης Bragg
- Φίλτρα παρεμβολής λεπτού φιλμ (thin-film interference filters)

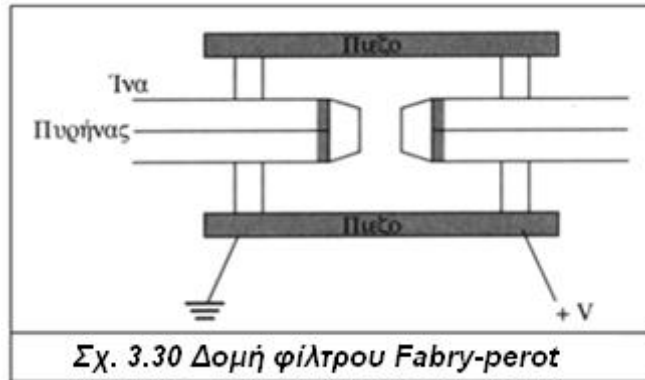
3.4.7.5 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΟΠΤΙΚΩΝ ΦΙΛΤΡΩΝ

Τα μεταβλητά οπτικά φίλτρα έχουν καλές επιδόσεις στην επιλεκτική προσθήκη ή εξαγωγή συγκεκριμένων μηκών κύματος από και προς ένα πολυκάναλο δίκτυο. Παρακάτω παρουσιάζονται οι διαφορετικοί τύποι *μεταβλητών φίλτρων*. Τα μεταβλητά οπτικά φίλτρα χωρίζονται ανάλογα με τις αρχές λειτουργίας τους. Οι κατηγορίες αυτές είναι:

- Παθητικά φίλτρα

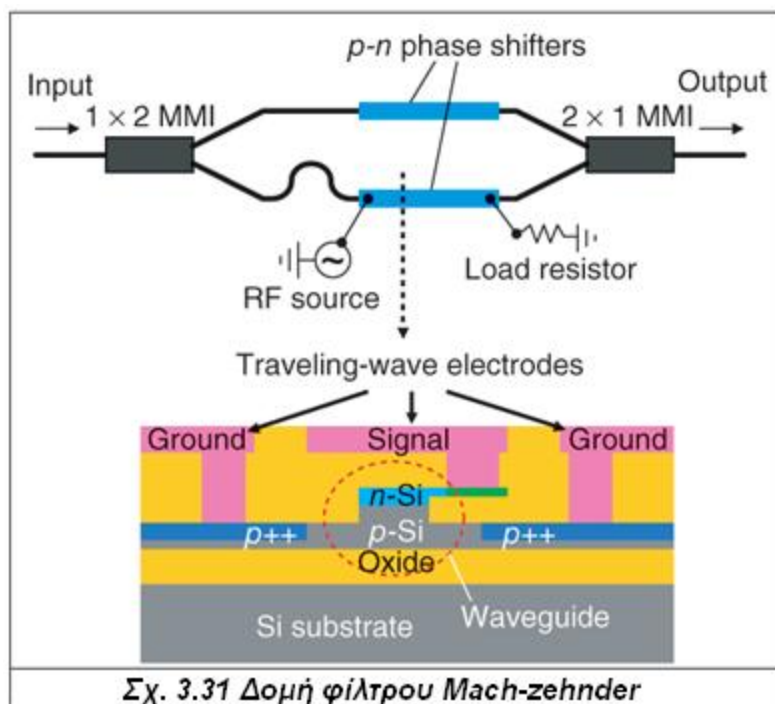
Στην κατηγορία των παθητικών φίλτρων ανήκουν αυτά που αποτελούνται από παθητικές οπτικές συσκευές που έχουν τη δυνατότητα επιλογής ενός μήκους κύματος. Το επιλεγέν μήκος κύματος καθορίζεται από τη θέση κάποιου μηχανικού στοιχείου του φίλτρου. Συνεπώς, μεταβάλλοντας τη θέση αυτού του μηχανικού στοιχείου είμαστε σε θέση να μεταβάλλουμε το επιλεγέν μήκος κύματος. Τα κυριότερα οπτικά φίλτρα αυτής της κατηγορίας είναι τα Fabry-Perot και τα Mach-Zehnder.

Τα φίλτρα Fabry-Perot (Σχ. 3.30) αποτελούνται από κάτοπτρα και το οπτικό σήμα φιλτράρεται μέσω διαδοχικών ανακλάσεων πάνω σε αυτά. Μια κοιλότητα Fabry-Perot γεμίζεται με υγρό κρύσταλλο ο οποίος έχει δείκτη διάθλασης που μεταβάλλεται με την εφαρμογή ηλεκτρικού ρεύματος. Το επιλεγέν μήκος κύματος μπορεί να μεταβληθεί αλλάζοντας την απόσταση μεταξύ των κατόπτρων. Κύρια πλεονεκτήματα των φίλτρων Fabry-Perot είναι το ευρύ φάσμα οπτικών συχνοτήτων που καλύπτουν (περίπου 200 nm), ο μεγάλος αριθμός καναλιών (100 κανάλια), η μικρή εξασθένηση του οπτικού σήματος (1-3 dB) και το γεγονός ότι η λειτουργία των φίλτρων αυτών συνήθως δεν επηρεάζεται από τον πολικότητα του οπτικού σήματος. Μέχρι σήμερα, ένα σημαντικό μειονέκτημα των φίλτρων Fabry-Perot ήταν ο εξαιρετικά υψηλός χρόνος συντονισμού (1 ms), ο οποίος καθιστούσε αδύνατη τη χρήση των φίλτρων αυτών σε δίκτυα μεταγωγής πακέτων.



Ωστόσο, η πρόοδος της οπτοηλεκτρονικής τεχνολογίας έχει οδηγήσει σε σημαντική πτώση του χρόνου συντονισμού των φίλτρων αυτών. Έτσι σήμερα μπορούν να επιτευχθούν χρόνοι συντονισμού της τάξης των ms, γεγονός που ανοίγει την πόρτα των δικτύων μεταγωγής πακέτων στα φίλτρα Fabry-Perot.

Ένα φίλτρο Mach-Zehnder (Σχ. 3.31) ικανό να επιλέξει ένα από N συνολικά μήκη κύματος αποτελείται από $\log_2 N$ στάδια στο καθένα από τα οποία περικόπτονται τα μισά μήκη κύματος με αποτέλεσμα μετά το τελικό στάδιο να απομένει ένα μόνο μήκος κύματος στο οποίο επιτρέπεται η διέλευση. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των φίλτρων Mach-Zehnder είναι η δυνατότητα για μαζική και φθηνή παραγωγή τους με τη χρήση λιθογραφικών μεθόδων.



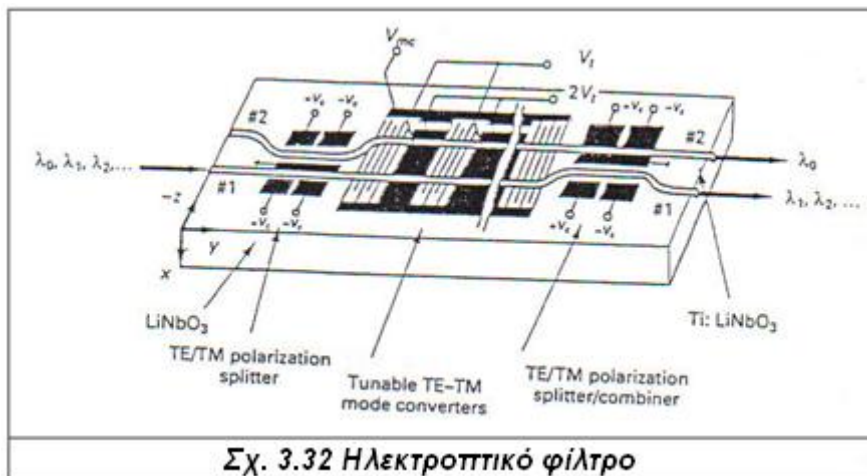
Τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους, είναι παραπλήσια με αυτά των φίλτρων Fabry-Perot. Κύριο μειονέκτημα τους είναι ο πολύ υψηλός χρόνος συντονισμού (1ms) που οφείλεται στο γεγονός ότι τα φίλτρα Mach-Zehnder είναι θερμικά συντονισμένα.

■ Ενεργητικά φίλτρα

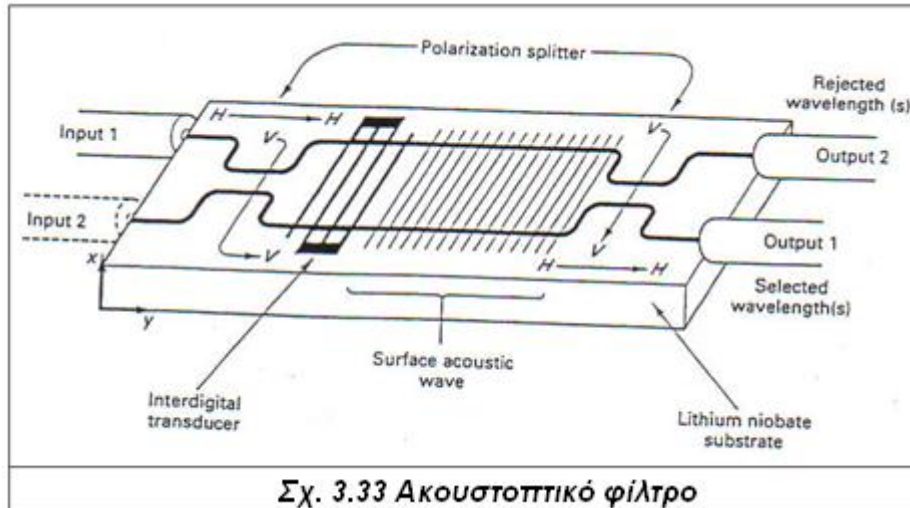
Η κατηγορία των ενεργητικών οπτικών φίλτρων αποτελείται από τα ηλεκτροπτικά και τα ακουστοπτικά φίλτρα που βασίζονται στην μετατροπή της πολικότητας των μηκών κύματος του εισερχόμενου οπτικού κύματος με ηλεκτροπτικά ή ακουστοπτικά μέσα, αντίστοιχα.

Τα ηλεκτροπτικά φίλτρα (Σχ. 3.32) χρησιμοποιούν κρυστάλλους με δείκτες διάθλασης που μπορούν να μεταβληθούν με την εφαρμογή ηλεκτρικού ρεύματος. Τα φίλτρα αυτά, συνδυάζουν την

οριζόντια και την κάθετη συνιστώσα της πολικότητας του εισερχόμενου οπτικού σήματος σε ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος το οποίο και παρέχεται στην έξοδο του φίλτρου. Ο καθορισμός του επιλεγέντος μήκους κύματος πραγματοποιείται εφαρμόζοντας την κατάλληλη τάση στα ηλεκτρόδια του φίλτρου. Μεταβάλλοντας την εφαρμοζόμενη τάση, μεταβάλλεται και το επιλεγέν μήκος κύματος. Κύριο πλεονέκτημα των ηλεκτροπτικών φίλτρων είναι ο πολύ μικρός χρόνος συντονισμού που είναι της τάξης των 100 ns γεγονός που τα καθιστά κατάλληλα για χρήση σε δίκτυα μεταγωγής πακέτων. Τα ηλεκτροπτικά φίλτρα μπορούν να υποστηρίξουν μέχρι 80 κανάλια ενώ η εξασθένηση που εισάγουν στο οπτικό σήμα δεν υπερβαίνει τα 4 dB. Αξίζει να σημειωθεί η δυνατότητα των ηλεκτροπτικών φίλτρων να παρέχουν - εκτός από το επιλεγέν μήκος κύματος - όλα τα μη επιλεγέντα μήκη κύματος σε μια δεύτερη θύρα εξόδου.



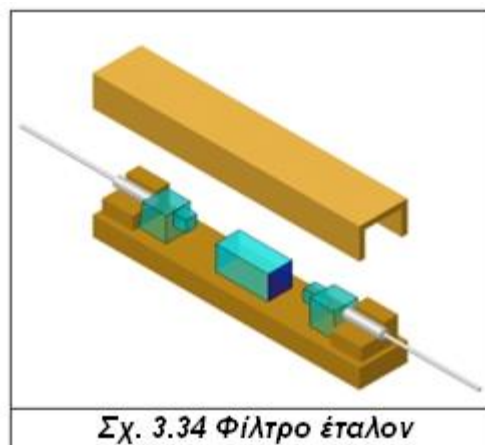
Τα ακουστοπτικά φίλτρα (Σχ. 3.33) δημιουργούν κύματα ραδιοσυχνοτήτων που διέρχονται από έναν μετατροπέα μορφών ενέργειας (μορφομετατροπέα) ο οποίος παράγει ακουστικά κύματα που διαδίδονται στους κυματοδηγούς. Ο δείκτης διάθλασης μεταβάλλεται αντίστοιχα και μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως φράγμα περίθλασης με δυνατότητα επιλογής συγκεκριμένου μήκους κύματος. Τα ακουστοπτικά φίλτρα έχουν εύρος συντονισμού γύρω στα 250 nm.



Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των ακουστοοπτικών φίλτρων είναι παραπλήσια με αυτά των ηλεκτροοπτικών με μόνη διαφορά ότι ο χρόνος συντονισμού είναι μεγαλύτερος. Εκείνο όμως που προσδίδει στα ακουστοοπτικά φίλτρα μια μοναδικότητα και ανοίγει νέους ορίζοντες στο σχεδιασμό οπτικών δικτύων, είναι η δυνατότητα τους να επιλέγουν ταυτόχρονα περισσότερα του ενός μήκη κύματος. Αυτό επιτυγχάνεται εφαρμόζοντας ταυτόχρονα περισσότερες της μιας ακουστικές συχνότητες, αλλάζοντας έτσι την πολικότητα σε περισσότερα του ενός μήκη κύματος.

Η δυνατότητα αυτή των ακουστοοπτικών φίλτρων, σε συνδυασμό με την ικανότητα τους να παρέχουν τόσο τα επιλεγέντα όσο και τα μη επιλεγέντα μήκη κύματος στις δύο θύρες εξόδου, επιτρέπει τη χρήση τους ως μεταβλητών Add-Drop πολυπλεκτών σε οπτικά δίκτυα.

Τα φίλτρα έταλον (Σχ. 3.34) αποτελούνται από μία κοιλότητα η οποία διαμορφώνεται από δύο παράλληλα κατόπτρα. Ρυθμίζοντας την απόσταση μεταξύ των κατόπτρων μπορεί να επιτραπεί η διέλευση ενός μόνο μήκους κύματος.



3.4.7.6 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΝΟΣ ΜΕΤΑΒΛΗΤΟΥ ΟΠΤΙΚΟ ΦΙΛΤΡΟΥ

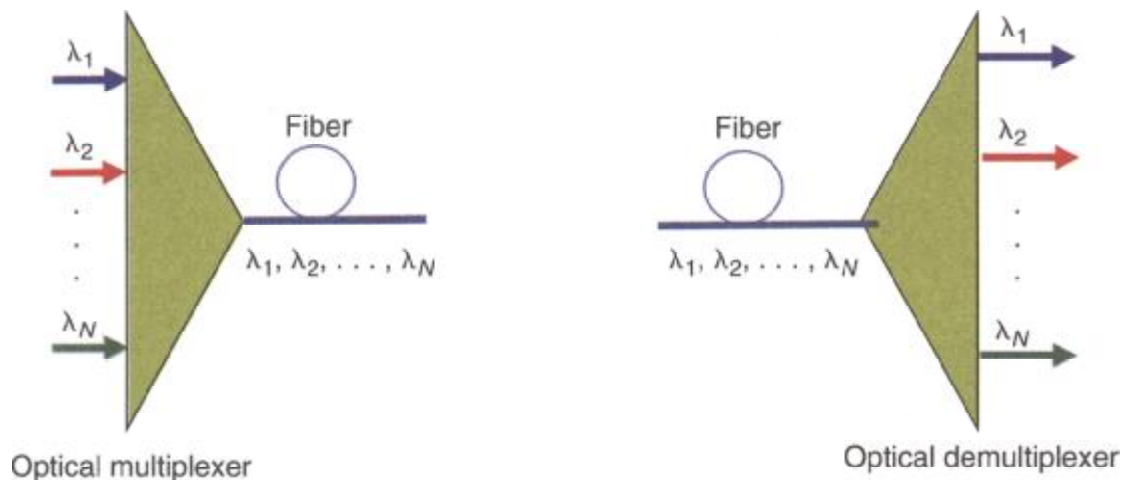
Τα επιθυμητά χαρακτηριστικά ενός μεταβλητού οπτικού φίλτρου είναι:

- Η ικανότητα επιλογής από μεγάλο αριθμό μηκών κύματος. Η ικανότητα αυτή του φίλτρου εξαρτάται από δύο παραμέτρους: το εύρος της περιοχής οπτικών συχνοτήτων στην οποία μπορεί να συντονιστεί το φίλτρο και το εύρος της περιοχής οπτικών συχνοτήτων που αντιστοιχεί στο κάθε κανάλι.
- Ο μικρός χρόνος συντονισμού που είναι ο χρόνος που απαιτείται προκειμένου το φίλτρο να συντονιστεί σε μια νέα οπτική συχνότητα. Φίλτρα με χρόνο συντονισμού της τάξης των ns παρουσιάζουν μικρό ενδιαφέρον διότι η χρήση τους περιορίζεται σε εφαρμογές μεταγωγής κυκλώματος. Οι εφαρμογές μεταγωγής πακέτων απαιτούν μικρούς χρόνους συντονισμού διότι σε αντίθετη περίπτωση σημαντικό μέρος του χρόνου θα αναλώνεται αναμένοντας το συντονισμό του φίλτρου παρά σε ωφέλιμη μετάδοση δεδομένων.
- Η μικρή εξασθένιση του οπτικού σήματος, η οποία θα πρέπει να είναι όσο το δυνατό μικρότερη.
- Ο εύκολος και αποτελεσματικός έλεγχος του φίλτρου, που διαφέρει από φίλτρο σε φίλτρο ανάλογα με το συντονισμό. Σε κάθε περίπτωση, θα πρέπει ο έλεγχος του συντονισμού του φίλτρου να μην παρουσιάζει ιδιαίτερη πολυπλοκότητα αλλά και να εγγυάται ότι οι οπτικές συχνότητες στις οποίες συντονίζεται το φίλτρο παραμένουν σταθερές και δεν επηρεάζονται σημαντικά από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος ή άλλους εξωγενείς παράγοντες.
- Η μικρή αλληλεπίδραση μεταξύ των καναλιών που συνήθως προκαλεί παραμόρφωση του οπτικού σήματος στην έξοδο του φίλτρου. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται crosstalk. Θα πρέπει το οπτικό φίλτρο να ελαχιστοποιεί κατά το δυνατόν το crosstalk, έτσι ώστε να αποφεύγονται σφάλματα οφειλόμενα σε αυτό.
- Η ανεξαρτησία από την πολικότητα του εισερχόμενου σήματος. Τα οπτικά φίλτρα των οποίων η λειτουργία δεν εξαρτάται από την πολικότητα του εισερχόμενου οπτικού σήματος έχουν ένα σαφές πλεονέκτημα έναντι των υπολοίπων, καθώς θέτουν λιγότερους περιορισμούς στη χρησιμοποίησή τους και δεν επιβαρύνουν τις διατάξεις στις οποίες χρησιμοποιούνται με πρόσθετο hardware για τον έλεγχο της πολικότητας του οπτικού σήματος.
- Το κόστος κατασκευής το οποίο με τη μαζική βιομηχανική παραγωγή τους με λιθογραφικές μεθόδους, ανά παραγόμενη μονάδα μειώνεται σημαντικά. Αντίθετα, το κόστος φίλτρων που δεν είναι δυνατό να παραχθούν μαζικά παραμένει υψηλό. Επίσης, ένας άλλος παράγοντας που επηρεάζει το συνολικό κόστος παραγωγής είναι το κόστος σύνδεσης της οπτικής ίνας (rig tailing) με το φίλτρο.
- Η δυνατότητα ενσωμάτωσης του φίλτρου σε τυπωμένα ηλεκτρονικά κυκλώματα, το οποίο προϋποθέτει ότι θα πρέπει να λειτουργούν με την ίδια

τάση και να έχουν τις ίδιες προδιαγραφές αντοχής στις συνθήκες του περιβάλλοντος με τα υπόλοιπα ηλεκτρονικά κυκλώματα.

3.4.8 ΟΠΤΙΚΟΙ ΠΟΛΥΠΛΕΚΤΕΣ ΠΡΟΣΘΑΦΑΙΡΕΣΗΣ (Add/Drop Multiplexers)

Οι οπτικοί πολυπλέκτες είναι εξαρτήματα όπου έχουν σχεδιαστεί ειδικά για τα συστήματα πολυπλεξίας διαίρεσης μήκους κύματος WDM. Ο αποπολυπλέκτης αναιρεί ότι κάνει ο πολυπλέκτης. Διαχωρίζει ένα πλήθος μηκών κύματος σε μία ίνα και τα κατευθύνει σε πολλές ίνες.



3.4.8.1 Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ OADM

Η κύρια λειτουργία ενός οπτικού πολυπλέκτη είναι η σύζευξη δύο ή περισσότερα μήκη κύματος στην ίδια ίνα. Εάν ένας αποπολυπλέκτης είναι τοποθετημένος και ευθυγραμμισμένος πλάτη με πλάτη με ένα πολυπλέκτη σωστά, είναι σαφές ότι στην περιοχή μεταξύ αυτών, υπάρχουν δυο επιμέρους μήκη κύματος.

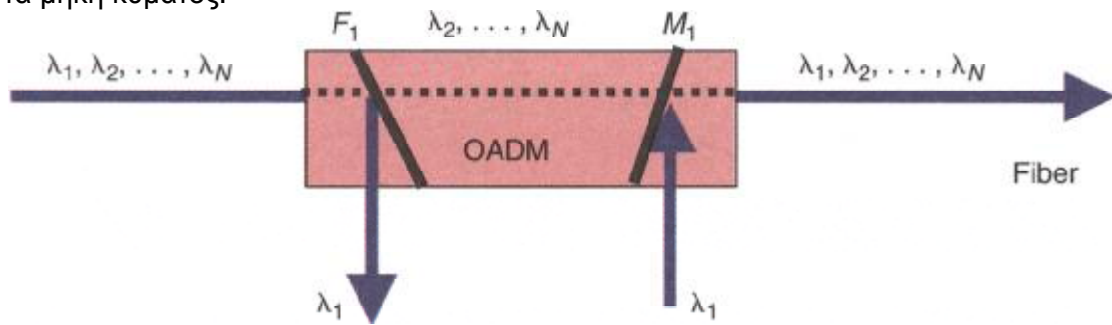
Αυτό αποτελεί μια ευκαιρία για μια βελτιωμένη λειτουργία, όπου ατομικά μήκη κύματος θα μπορούσαν να αφαιρεθούν (dropping) και επίσης εισαχθούν (adding).

Η λειτουργία αυτή ονομάζεται οπτική πολυπλεξία προσθήκης/απομάστευσης (optical add/drop multiplexer). Οι OADM βρίσκονται ακόμα σε εξέλιξη, αν και αυτά τα εξαρτήματα είναι μικρά, στο μέλλον, η ολοκλήρωσή τους θα διαδραματίσει καίριο ρόλο στην παραγωγή συμπαγών, μονολιθικών και οικονομικά αποδοτικών συσκευών.

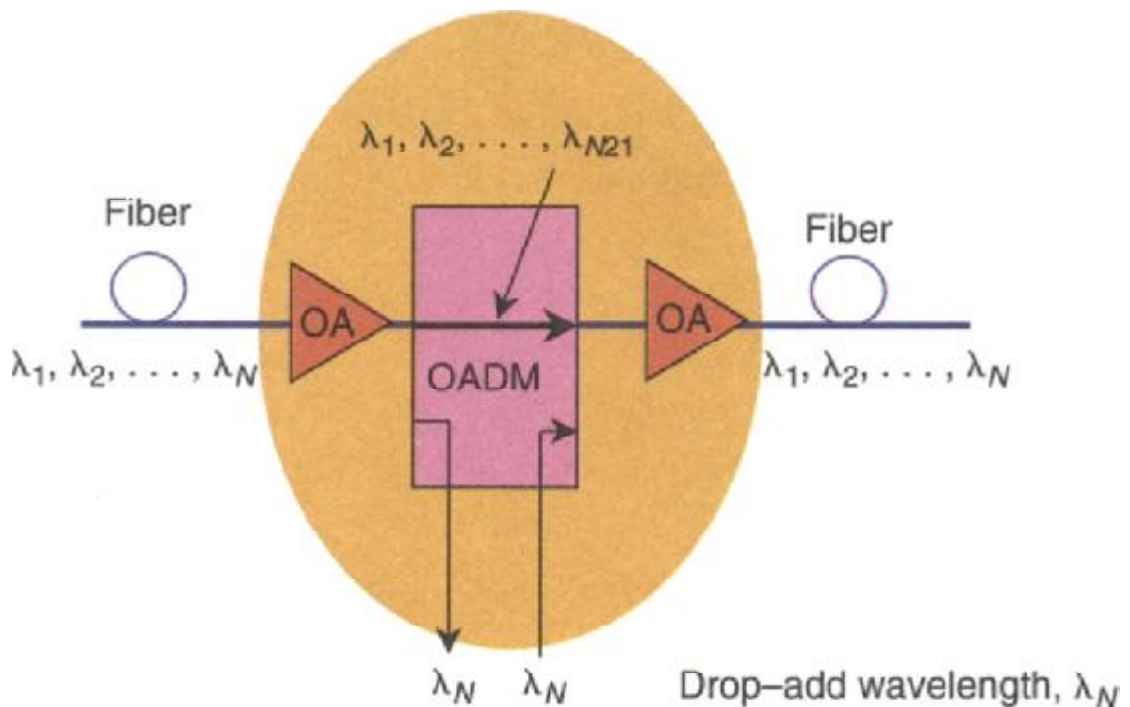
Οι OADM επιλεκτικά απομακρύνουν ένα μήκος κύματος από ένα πλήθος μηκών κύματος σε μία ίνα και έτσι από την κίνηση στο συγκεκριμένο κανάλι. Στη συνέχεια προσθέτει στην ίδια κατεύθυνση ροής δεδομένων το ίδιο μήκος κύματος, αλλά με διαφορετικό περιεχόμενο δεδομένων.

Το μοντέλο ενός OADM για μήκος κύματος λ_1 , όπως φαίνεται παρακάτω, όπου F1 σημαίνει φίλτρο επιλογής μήκους κύματος λ_1 καθώς περνάει

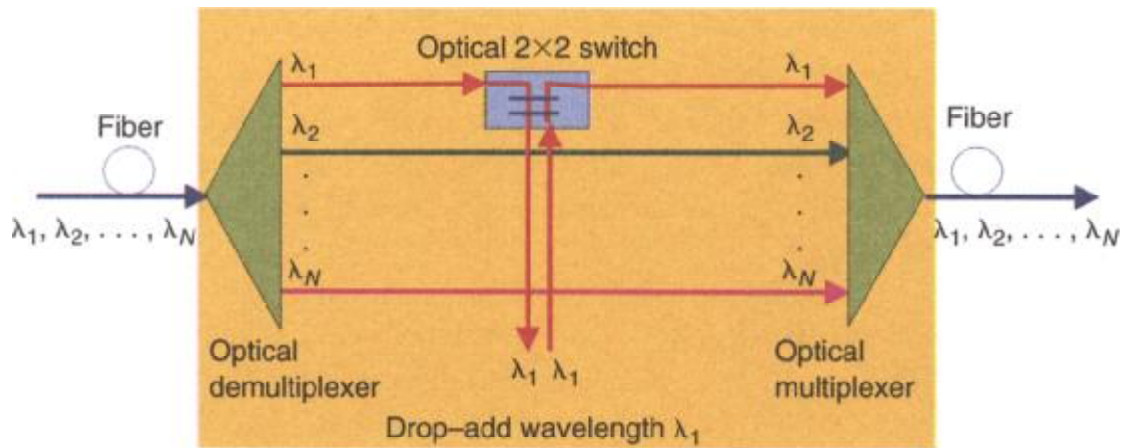
από άλλα μήκη κύματος και το M_1 σηματοδοτεί ένα πολυπλέκτη που αποπλέκει όλα τα μήκη κύματος.



Σε δυναμικούς-επιλέξιμους μήκους κύματος πολυπλέκτες, τα μήκη κύματος μεταξύ του οπτικού αποπολυπλέκτη/πολυπλέκτη μπορεί να κατευθύνονται δυναμικά από τις εξόδους του αποπολυπλέκτη σε οποιαδήποτε από τις εισόδους του πολυπλέκτη. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί, για παράδειγμα, με μια σειρά από μικροκαθρέφτες.



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



Η κύρια λειτουργία ενός OADM πολυπλέκτη είναι να αφαιρεί επιλεκτικά ένα μήκος κύματος και να προσθέτει το ίδιο μήκος κύματος στην ίνα.

3.4.9 ΟΠΤΙΚΟΙ ΣΥΖΕΥΚΤΕΣ

Με τον όρο συζεύκτες περιγράφονται όλες οι συσκευές που είτε συνδυάζουν διαφορετικές ακτίνες φωτός και τις τροφοδοτούν σε μία ίνα ή διαχωρίζουν ακτίνες φωτός μετά την έξοδό τους από μια ίνα. Πρόκειται για συσκευές που έχουν τη δυνατότητα να καταλείψουν την ισχύ ενός οπτικού σήματος από μία σε δύο ή περισσότερες ίνες.



Σχ. 3.38 Οπτικοί συζευκτές

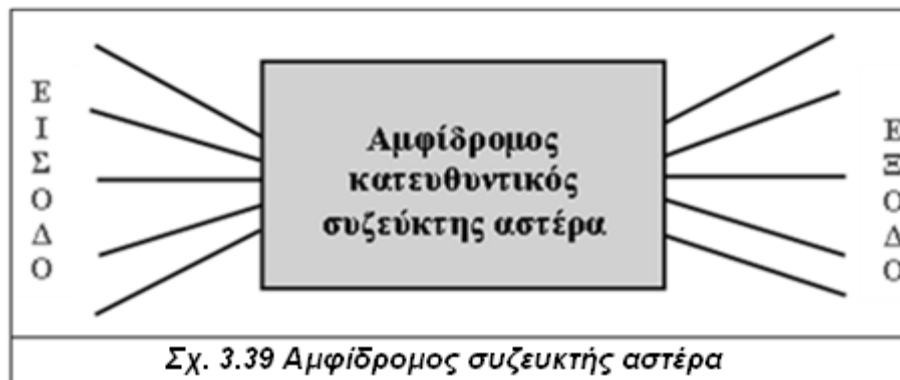
Ένας οπτικός συζεύκτης μπορεί επίσης να συνδυάσει οπτικά σήματα από δύο ή περισσότερες ίνες σε μία ίνα. Οι οπτικοί συζεύκτες εξασθενούν τα σήματα πολύ περισσότερο από έναν συζευκτήρα διότι το οπτικό σήμα μοιράζεται μεταξύ των πυλών εξόδου. Ο συζεύκτης είναι μία οπτική συσκευή (Σχ.3.38) που συνδυάζει τη λειτουργία ενός διαχωριστή και ενός συνδυαστή. Το σήμα εκπέμπεται σε όλες τις εξόδους της συσκευής, από όποια είσοδο και αν προέρχεται.

Ο αριθμός των πυλών εισόδου και εξόδου ποικίλλει ανάλογο, με την εφαρμογή. Στους διάφορους τύπους των οπτικών συζευκτών περιλαμβάνονται οι οπτικοί διαχωριστές, οι οπτικοί συνδυαστές, οι συζεύκτες τύπου Χ, οι συζεύκτες αστέρα και οι δενδροειδείς συζεύκτες.

Οι συζεύκτες οπτικής ίνας μπορούν να είναι είτε ενεργές είτε παθητικές συσκευές. Η διαφορά ανάμεσα στους δύο τύπους συσκευών είναι ότι οι παθητικοί συζεύκτες κατανέμουν τα οπτικά σήματα χωρίς μεταβολές από το οπτικό στο ηλεκτρικό πεδίο, ενώ οι ενεργοί συζεύκτες είναι ηλεκτρονικές συσκευές που διαιρούν ή συνδυάζουν τα σήματα στο ηλεκτρικό πεδίο και χρησιμοποιούν ανιχνευτές οπτικής ίνας και πηγές φωτός για την είσοδο και την έξοδο, αντίστοιχα.

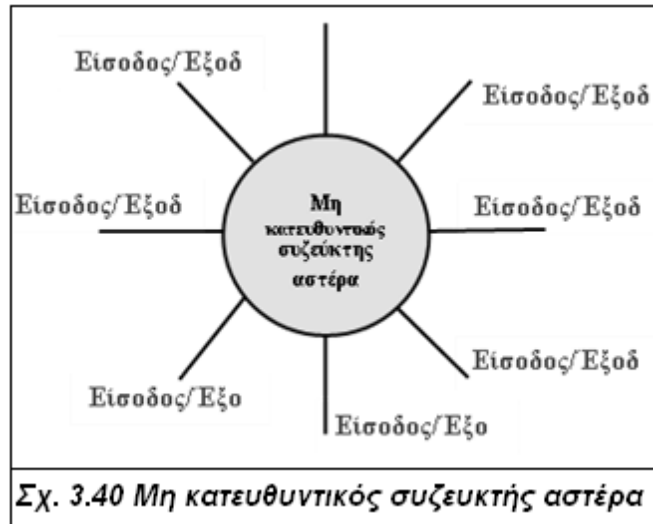
3.4.9.1 ΠΑΘΗΤΙΚΟΙ ΣΥΖΕΥΚΤΕΣ ΑΣΤΕΡΑ

Ο παθητικός συζεύκτης αστέρα είναι ένας οπτικός συζεύκτης που διαθέτει έναν αριθμό από πύλες εισόδου και εξόδου και χρησιμοποιείται σε εφαρμογές οπτικών δικτύων. Ένα οπτικό σήμα που εισάγεται σε μία είσοδο κατανέμεται σε όλες τις εξόδους. Ένα οπτικό σήμα που εισάγεται σε μία είσοδο κατανέμεται σε όλες τις εξόδους. Εξαιτίας του τρόπου κατασκευής ενός παθητικού συζεύκτη αστέρα, ο αριθμός των πυλών του είναι συνήθως δύναμη του 2. Οι συζεύκτες αστέρα ονομάστηκαν έτσι από τη γεωμετρία που χρησιμοποιείται για να απεικονιστεί η λειτουργία τους στα διαγράμματα. Μπορούμε να διακρίνουμε δύο τύπους συζευκτών, ο πρώτος τύπος είναι κατευθυντικός και συνδυάζει τα σήματα από όλες τις εισόδους τα οποία κατανέμει σε όλες τις εξόδους. Αυτή η συσκευή είναι αμφίδρομη (Σχ.3.39) , εφόσον μπορεί να εκπέμψει φως και κατά την αντίστροφη κατεύθυνση.



Ο δεύτερος τύπος συζεύκτη δεν είναι κατευθυντικός (Σχ.3.40). Αντίθετα, δέχεται σήματα από όλες τις πύλες, τα συνδυάζει και τα κατανέμει σε όλες τις πύλες του, τις εισόδους και τις εξόδους του. Εάν P_{out} είναι η ισχύς στην έξοδο, P_{in} η ισχύς στην είσοδο και N το πλήθος των εξόδων τότε:

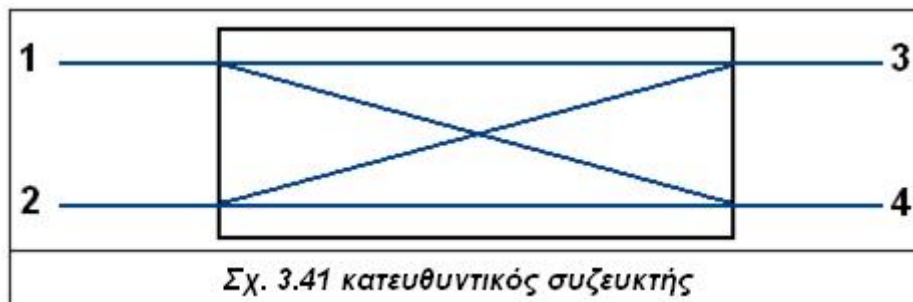
$$P_{out} = P_{in}/N.$$



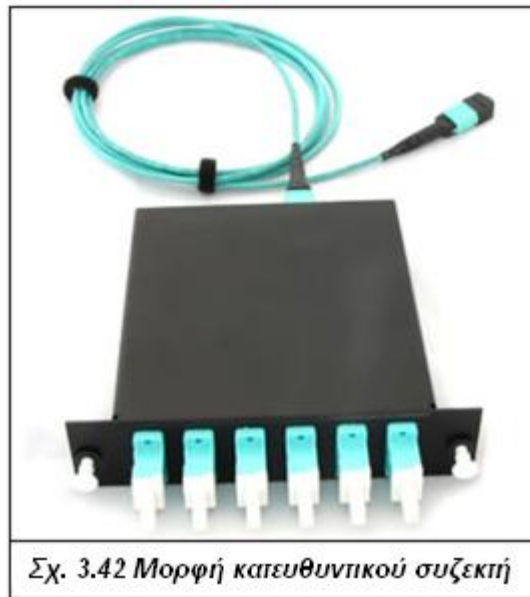
3.4.9.2 ΚΑΤΕΥΘΥΝΤΙΚΟΙ ΣΥΖΕΥΚΤΕΣ

Ένας κατευθυντικός συζεύκτης αποτελείται γενικά από δύο κυματοδηγούς με μικρή απόσταση ανάμεσα τους οι οποίοι έρχονται σε σύζευξη με την εφαρμογή κατάλληλων πεδίων. Η απόσταση μεταξύ των δύο κυματοδηγών καθορίζει την αποτελεσματικότητα της σύζευξης. Η σύζευξη αυξάνεται καθώς μειώνεται η απόσταση μεταξύ των κυματοδηγών. Σε έναν κατευθυντικό συζεύκτη ο οποίος αποτελείται από δύο πανομοιότυπους κυματοδηγούς είναι δυνατό ακόμα και το 100% της ενέργειας που εισάγεται στον ένα κυματοδηγό να μεταφερθεί στον άλλο μετά από ορισμένη απόσταση διάδοσης L .

Ένας κατευθυντικός συζεύκτης 2×2 (Σχ. 3.41), έχει τέσσερις πύλες, από τις οποίες οι πύλες 1 και 2 έχουν προσδιοριστεί ως πύλες εισόδου ενώ οι πύλες 3 και 4 ως πύλες εξόδου. Η οπτική ισχύς που εισάγεται στο συζεύκτη μέσω ινών που συνδέονται με τις πύλες εισόδου συνδυάζεται, διαιρείται γραμμικά και εξέρχεται μέσω ινών που συνδέονται με τις πύλες εξόδου.



Η πλειονότητα των κατευθυντικών συζευκτών είναι αμφίδρομες συσκευές (Σχ. 3.42), πράγμα που σημαίνει ότι μπορούν να εκπέμπουν φως προς οποιαδήποτε από τις δύο κατευθύνσεις. Γενικά, η κατευθυντικότητα ή η αμφίδρομη κατευθυντικότητα θεωρείται πλεονέκτημα για ένα συζεύκτη διότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να κατευθύνει στο σήμα στην επιθυμητή διεύθυνση.



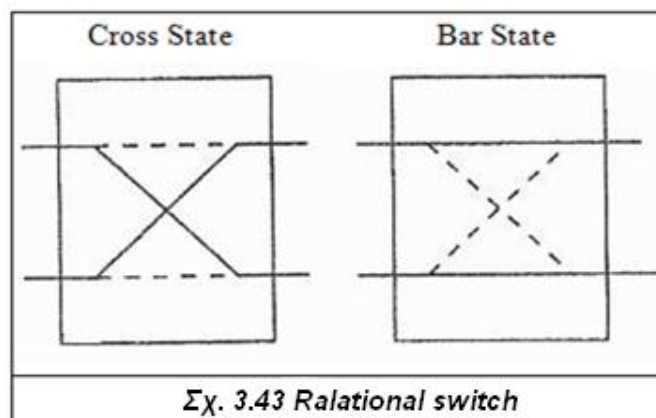
Σχ. 3.42 Μορφή κατευθυντικού συζεκτή

3.4.10 ΟΠΤΙΚΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ

Τα περισσότερα σύγχρονα δίκτυα χρησιμοποιούν την οπτική ίνα μόνο σαν μέσο μεταφοράς. Η επεξεργασία και μεταγωγή των δεδομένων γίνεται με τη χρήση ηλεκτρονικών συστημάτων, και άρα απαιτεί τη μετατροπή της οπτικής πληροφορίας στην ηλεκτρονική μορφή της. Αυτό βέβαια έχει το πλεονέκτημα της μεγάλης ευελιξίας, που παρέχουν τα σύγχρονα ηλεκτρονικά υπολογιστικά συστήματα αλλά και το μειονέκτημα ότι η ταχύτητά τους δε μπορεί να υποστηρίξει το τεράστιο bandwidth των οπτικών ινών. Επί πλέον, η μετατροπή από οπτική σε ηλεκτρονική μορφή (και το αντίθετο) εισάγει πρόσθετες καθυστερήσεις. Αυτοί οι παράγοντες έχουν οδηγήσει σε μια τάση να δημιουργηθούν εξολοκλήρου οπτικά δίκτυα, τα οποία θα χρησιμοποιούν οπτικές συσκευές μεταγωγής οι οποίες θα ελέγχονται από ηλεκτρονικά συστήματα, αλλά δε θα απαιτείται μετατροπή της πληροφορίας. Τα switches χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: Τους relational switches, και τους logical switches.

- Relational switches:

Έχουν το χαρακτηριστικό ότι τα ηλεκτρονικά του συστήματος ρυθμίζουν μια αντιστοιχία ανάμεσα στις εισόδους και τις εξόδους, η οποία δεν εξαρτάται από τα δεδομένα που περνούν μέσα από αυτές.



Σχ. 3.43 Relational switch

Τα δεδομένα δε μπορούν να αλλάξουν αυτή την αντιστοίχιση ώστε εθελουσίως να ακολουθήσουν κάποιο άλλο μονοπάτι, αφού αυτό είναι καθορισμένο από το switch. Ακολουθείται δηλαδή το ίδιο μοντέλο που ισχύει στην τηλεφωνία, ενώ τα switches δε μπορούν να κατανοήσουν και να αλληλεπιδράσουν με την οπτική πληροφορία η οποία ρέει μέσα από τα μονοπάτια τους. Αυτό το μοντέλο μειονεκτεί από μειωμένη ευελιξία.

Ένας τύπος relational switch είναι το fiber cross connect element. Στο Σχ.3.43 φαίνεται ένα βασικό τέτοιο στοιχείο, μεγέθους 2x2 το οποίο μεταγεί οπτικά σήματα από δύο θύρες εξόδου σε δύο θύρες εισόδου, και έχει δύο καταστάσεις: Την cross state, και τη bar state. Στην cross state το σήμα μεταγεται από την πάνω θύρα εισόδου στη κάτω θύρα εξόδου και από την κάτω θύρα εισόδου στην πάνω θύρα εισόδου. Στην bar state το σήμα της πάνω εισόδου μεταγεται στην πάνω έξοδο και το σήμα της κάτω εξόδου

στην κάτω έξοδο. Τα fiber cross connect elements είναι αρκετά γενικά συστήματα και μπορούν να χρησιμοποιηθούν ανεξαρτήτως μήκους κύματος.

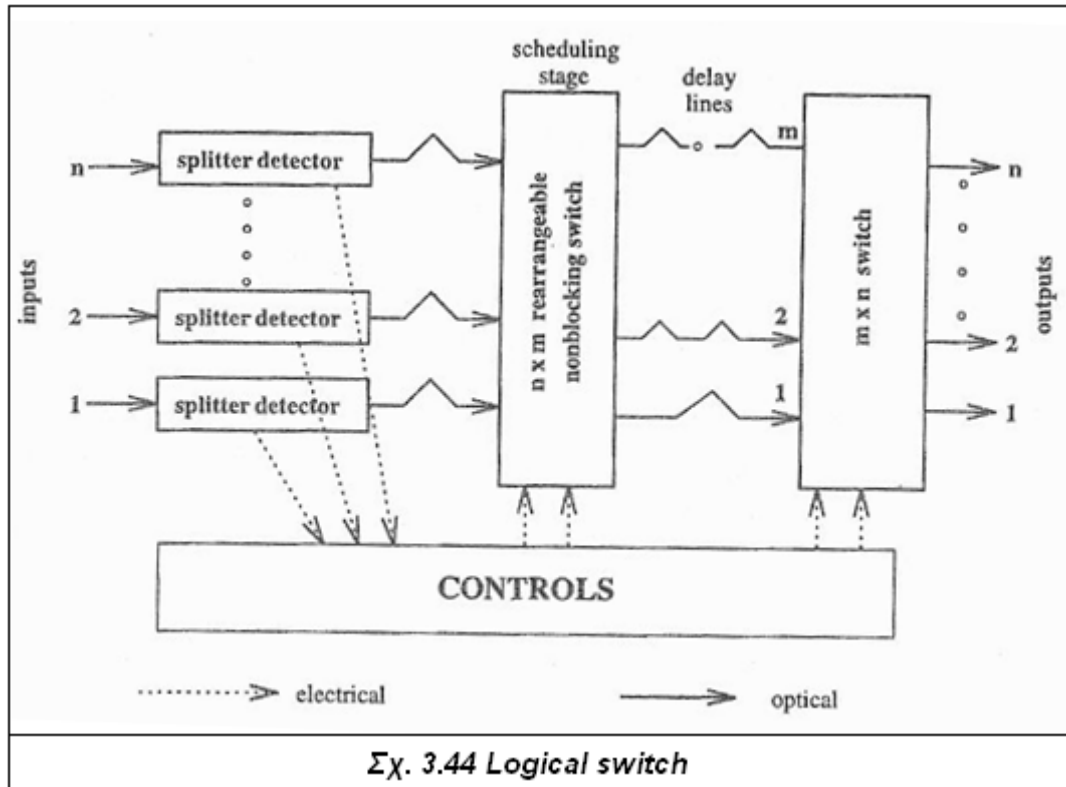
■ Logical switches:

Η δεύτερη κατηγορία οπτικών μεταγωγών είναι οι logical switches. Σε αυτές τις συσκευές το οπτικό σήμα που τα μεταφέρει, μπορεί να επηρεάσει την αντιστοίχιση των εισόδων με τις εξόδους. Αυτές οι συσκευές έχουν το πλεονέκτημα της ευελιξίας, αφού δίνουν τη δυνατότητα σε διαφορετικές μονάδες πληροφορίας να ακολουθούν κατά βούληση διαφορετικά μονοπάτια. Οι logical switches είναι γενικά πιο αργοί από τους αντίστοιχους relational switches. Αντιμετωπίζουν δε ένα σοβαρό πρόβλημα, το οποίο εμφανίζεται όταν πολλαπλά πακέτα ανταγωνίζονται κάποιο κοινό πόρο του switch (π.χ. πρέπει να χρησιμοποιήσουν την ίδια θύρα εξόδου). Το πρόβλημα είναι ότι δεν υπάρχει κάποια οπτική μνήμη τυχαίας προσπέλασης ώστε κάποια οπτικά πακέτα να αποθηκευτούν μέχρι να ελευθερωθεί ο πόρος. Κάποιες αρχιτεκτονικές προτείνουν τη χρήση γραμμών καθυστέρησης, που μπορούν να υλοποιηθούν με μεγάλα μονοπάτια οπτικής ίνας.

Ένας τύπος logical switch αρχιτεκτονικής είναι το staggering switch (Σχ. 3.44). Το staggering switch είναι ένα all-optical packet switch, το οποίο χρησιμοποιεί γραμμές μεταβλητής καθυστέρησης για προσωρινή αποθήκευση των πακέτων. Οι γραμμές είναι παράλληλες και μεταβλητού χρόνου καθυστέρησης. Η δρομολόγηση χωρίζεται σε δύο φάσεις, το χρονοπρογραμματισμό των πακέτων (με ποια σειρά θα περάσουν στην έξοδο) και τη μεταγωγή τους στην αντίστοιχη γραμμή εξόδου. Οι δύο αυτές φάσεις πραγματοποιούνται από ηλεκτρονικά ελεγχόμενες οπτικές συσκευές και είναι αυστηρά non-blocking (εφ' όσον δεν υπάρχουν οπτικές μνήμες για προσωρινή αποθήκευση).

Συνοπτικά, τα στοιχεία που αποτελούν ένα staggering switch είναι:

- n γραμμές εισόδου και m γραμμές καθυστέρησης
- $n \times m$ στάδιο χρονοπρογραμματισμού
- $m \times n$ στάδιο μεταγωγή



3.4.11 ΦΩΤΟΑΝΙΧΝΕΥΤΕΣ

Η μετατροπή του οπτικού σήματος σε ηλεκτρικό ρεύμα αποτελεί βασική προϋπόθεση για την αποδιαμόρφωσή του. Η μετατροπή αυτή που ονομάζεται ανίχνευση υλοποιείται μέσω συσκευών που έχουν την ικανότητα μετατρέπουν το προσπίπτον σε αυτές φως σε ηλεκτρικό ρεύμα και ονομάζονται φωτοανιχνευτές (photo detectors). Υπάρχει ένα πλήθος συσκευών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως φωτοανιχνευτές. Σε αυτές περιλαμβάνονται τα φωτοτρανζίστορ, οι φωτοπολλαπλασιαστές, οι φωτοδιόδοι και αρκετές ακόμη. Από όλες αυτές τις συσκευές μόνο οι φωτοδιόδοι (photodiodes) μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε οπτικά συστήματα επικοινωνίας διότι είναι οι μόνες που πληρούν τις προϋποθέσεις μεγέθους, κόστους, θορύβου και ταχύτητας που τίθενται από τα συστήματα αυτά. Το όνομα τους προκύπτει από την ικανότητα τους να ανιχνεύουν την παρουσία φωτός.

Οι φωτοανιχνευτές κατασκευάζονται από υλικά όπως το γερμάνιο, το πυρίτιο, το αρσενιούχο γάλλιο και το ίνδιο αρσενικό γάλλιο. Για να παραχθεί ρεύμα από το φως, πρέπει τα φωτόνια να έχουν αρκετή ενέργεια ώστε να προκαλέσουν τη μετάπτωση ενός ηλεκτρονίου από τη ζώνη σθένους (valence band) στη ζώνη αγωγιμότητας (conduction band). Με άλλα λόγια, πρέπει η ενέργεια των φωτονίων να είναι μεγαλύτερη ή ίση από το ενεργειακό χάσμα μεταξύ των δύο ζωνών. Η ευαισθησία (ικανότητα ανίχνευσης) ενός φωτοανιχνευτή μειώνεται απότομα στο άκρο του φάσματος που έχει μεγάλα μήκη κύματος και μικρή ενέργεια. Ο Πίνακας 1 συνοψίζει τις περιοχές λειτουργίας (σε μήκος κύματος) των τυπικών φωτοανιχνευτών.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1

Υλικό	Εύρος λειτουργίας των βασικών τύπων φωτοανιχνευτών
	Μήκος κύματος(nm)
Γερμάνιο	600-1600
Πυρίτιο	400-1100
Αρσενιούχο Γάλλιο (GaAs)	400-900
InGaAS	900-1700
InGaAsP	800-1600

Οι απαιτήσεις που έχουμε από τους φωτοανιχνευτές είναι:

- Ευαισθησία
- Γρήγορη απόκριση
- Χαμηλό θόρυβο
- Μεγάλη αξιοπιστία
- Αντίστοιχο μέγεθος με οπτικές ίνες
- Χαμηλό κόστος

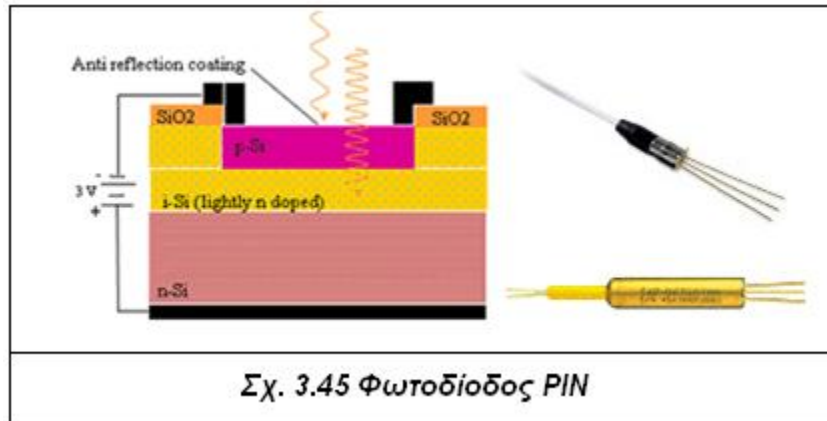
Υπάρχουν τρεις κατηγορίες φωτοδίοδων:

- οι δίοδοι PN
- οι δίοδοι PIN
- οι δίοδοι APD (avalanche photodiodes)

Οι φωτοδίοδοι PN είναι συσκευές που αποτελούνται από μια ημιαγωγό δίοδο τύπου p-n στα άκρα της οποίας εφαρμόζεται ανάστροφη τάση. Το ηλεκτρικό πεδίο που αναπτύσσεται κατά μήκος της επαφής PN ωθεί τις οπές και τα ηλεκτρόνια προς τις περιοχές P και N αντίστοιχα, με αποτέλεσμα να δημιουργείται μια περιοχή αραιώσεως (depletion region) στις δύο πλευρές της επαφής. Όταν ένα φωτόνιο κατάλληλης ενέργειας προσπίπτει στην περιοχή αραιώσεως ωθεί ένα ηλεκτρόνιο από την περιοχή σθένους στην περιοχή αγωγιμότητας δημιουργώντας έτσι ένα ζεύγος οπής-ηλεκτρονίου. Τα ζεύγη φορέων (οπών-ηλεκτρονίων) που δημιουργούνται με τον τρόπο αυτό στην περιοχή της επαφής χωρίζονται υπό την επίδραση του ηλεκτρικού πεδίου παράγοντας έτσι ηλεκτρικό ρεύμα.

Η περιοχή αραιώσεως πρέπει να έχει επαρκές εύρος, ώστε σημαντικό μέρος των φωτονίων που προσπίπτουν σε αυτήν να καταλήγει σε παραγωγή ζευγών οπών-ηλεκτρονίων, με αποτέλεσμα να ευνοείται η παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος. Η διεύρυνση της περιοχής αραιώσεως πραγματοποιείται αυξάνοντας την τάση που εφαρμόζεται στα άκρα της δίοδου.

Οι φωτοδιόδοι PIN παράγονται αν δημιουργήσουμε μια τρίτη περιοχή χωρίς πρόσμειξη (Intrinsic) ανάμεσα στις περιοχές P και N, δηλαδή αν αυξήσουμε το εύρος της περιοχής αραίωσης (Σχ 3.45). Λόγω της ικανότητας τους να παράγουν ισχυρότερο ηλεκτρικό ρεύμα οι διόδοι PIN γνωρίζουν ευρύτατη διάδοση και τείνουν να αντικαταστήσουν πλήρως τις διόδους PN.



Σε μια ιδανική φωτοδιόδο PN ή PIN, κάθε προσπίπτον φωτόνιο παράγει ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο. Ο βαθμός στον οποίο αυτό το ιδανικό όριο προσεγγίζεται από μια φωτοδιόδο ονομάζεται ανταποκρισιμότητα (responsivity) της διόδου και ορίζεται ως:

$$SR = \frac{I}{P}$$

όπου P : η ισχύς της προσπίπτουσας φωτεινής ακτινοβολίας

I : η ένταση του παραγόμενου ηλεκτρικού ρεύματος.

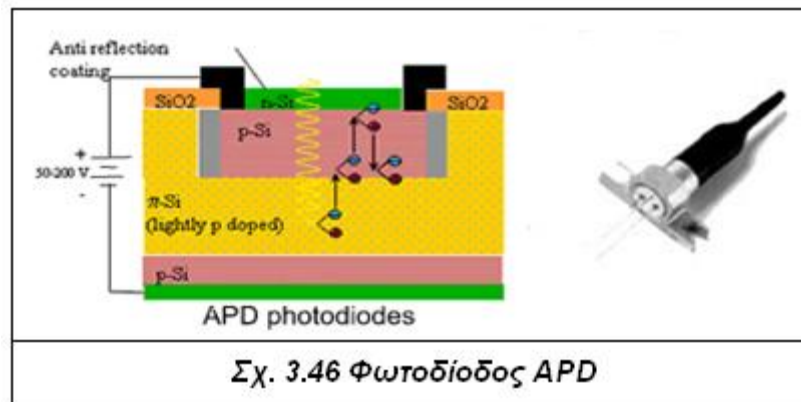
Ακόμη και στις φωτοδιόδους PIN το παραγόμενο ρεύμα είναι ασθενές και συχνά χρειάζεται να ενισχυθεί μέσω ενός ηλεκτρικού ενισχυτή πριν υποστεί οποιαδήποτε παραπέρα επεξεργασία. Επειδή όμως η διέλευση του ηλεκτρικού σήματος από τον ηλεκτρικό ενισχυτή έχει ως αποτέλεσμα την εισαγωγή θορύβου, είναι χρήσιμο το σήμα να ενισχυθεί πριν φθάσει στον ηλεκτρικό ενισχυτή.

Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί με τρεις τρόπους:

- με την ενίσχυση του οπτικού σήματος μέσω ενός οπτικού ενισχυτή
- με τη χρήση σύμφωνης ανίχνευσης σε συνδιασμό με έναν ισχυρό τοπικό ταλαντωτή
- με τη χρήση φωτοδιόδου APD που διαθέτει εγγενή ικανότητα ενίσχυσης του παραγόμενου ηλεκτρικού ρεύματος

Οι φωτοδιόδοι APD χαρακτηρίζονται από το γεγονός ότι η τάση που εφαρμόζεται στα άκρα τους είναι σημαντικά υψηλότερη από αυτήν των κοινών διόδων PIN και φθάνει τις αρκετές δεκάδες ή και εκατοντάδες Volts. Η αύξηση της τάσης έχει ως συνέπεια ότι ορισμένα από τα ηλεκτρόνια που παράγονται από την πρόσπτωση του φωτός στη διόδο αποκτούν υψηλή κινητική ενέργεια, έτσι ώστε όταν

συγκρούονται με ένα άτομο που το έχει το ηλεκτρόνιο του στη ζώνη σθένους, ωθεί το ηλεκτρόνιο αυτό στη ζώνη αγωγιμότητας (Σχ. 3.46).



Έτσι από την πρόσπτωση ενός φωτονίου δημιουργούνται δύο ελεύθερα ηλεκτρόνια. Τόσο το παλιό όσο και το νέο ηλεκτρόνιο επιταχύνονται εκ νέου και με τον ίδιο μηχανισμό ελευθερώνονται νέα ηλεκτρόνια. Επειδή για κάθε προσπίπτον φωτόνιο έχουμε την παραγωγή ενός μεγάλου αριθμού φορέων, το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγουν οι φωτοδίοδοι APD είναι σημαντικά ενισχυμένο, σε σχέση με αυτό που παράγουν οι φωτοδίοδοι PIN και PN.

Αν η εφαρμοζόμενη τάση είναι πολύ υψηλή, τότε μπορεί να οδηγήσει σε υπερβολική αύξηση της έντασης του παραγόμενου ρεύματος, ανεξάρτητα από τη ποσότητα της οπτικής ακτινοβολίας που προσπίπτει στη δίοδο. Η κατάσταση αυτή ονομάζεται κατάσταση κατάρρευσης. Η τάση στα άκρα μιας δίοδου APD πρέπει να διατηρείται σε τέτοια επίπεδα ώστε να επιτρέπει την ενίσχυση του παραγόμενου ρεύματος, χωρίς όμως να δημιουργεί σε κατάσταση κατάρρευσης. Συνήθως εφαρμόζεται μια τάση 10 με 15% κάτω από το επίπεδο κατάρρευσης.

3.4.12 ΟΠΤΙΚΕΣ ΚΑΡΤΕΣ ΔΙΚΤΥΟΥ

Η ραγδαία εξάπλωση των οπτικών συστημάτων είχε σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση των οπτικών καρτών δικτύου (Σχ.3.47). Παρά το υψηλό τους κόστος, απορροφήθηκαν σημαντικά από την αγορά.



Έτσι, σήμερα οπτικά συστήματα δεν χρησιμοποιούνται πλέον στη 'ραχοκοκαλιά' (backbone) των δικτύων αλλά και στα τοπικά δίκτυα (LAN). Οι κάρτες δικτύων που συνδέονται κατευθείαν σε οπτικά καλώδια είναι πλέον γεγονός και οι εταιρίες που χρησιμοποιούν αποκλειστικά και μόνο οπτικά συστήματα, από καλώδια μέχρι διακλαδωτές και δρομολογητές αυξάνονται συνεχώς. Τα τελευταία χρόνια η τιμή τους έχει μειωθεί δραματικά.

3.4.13 ΟΠΤΙΚΟΙ ΕΝΙΣΧΥΤΕΣ

3.4.13.1 ΟΡΙΣΜΟΣ

Οι οπτικοί ενισχυτές είναι συσκευές που αυξάνουν την ισχύ των οπτικών σημάτων που διέρχονται μέσω αυτών, χρησιμοποιώντας την οπτική ίνα ως ενεργό στοιχείο, χωρίς να χρησιμοποιούνται οπτο-ηλεκτρονικές βαθμίδες αναγέννησης. Η οπτική κοιλότητα του ενισχυτή αποτελείται από μια μονότροπη οπτική ίνα, μήκους από 10 έως 100 m, για λειτουργία στο τρίτο παράθυρο. Αν και υπάρχουν ενισχυτικές διατάξεις που βασίζονται σε μη-γραμμικά φαινόμενα εξαναγκασμένης εκπομπής Brillouin και Raman, το συνηθέστερο είδος οπτικών ενισχυτών χρησιμοποιεί εμπορικά διαθέσιμες οπτικές ίνες με νοθεύσεις Erbium (EDFA).

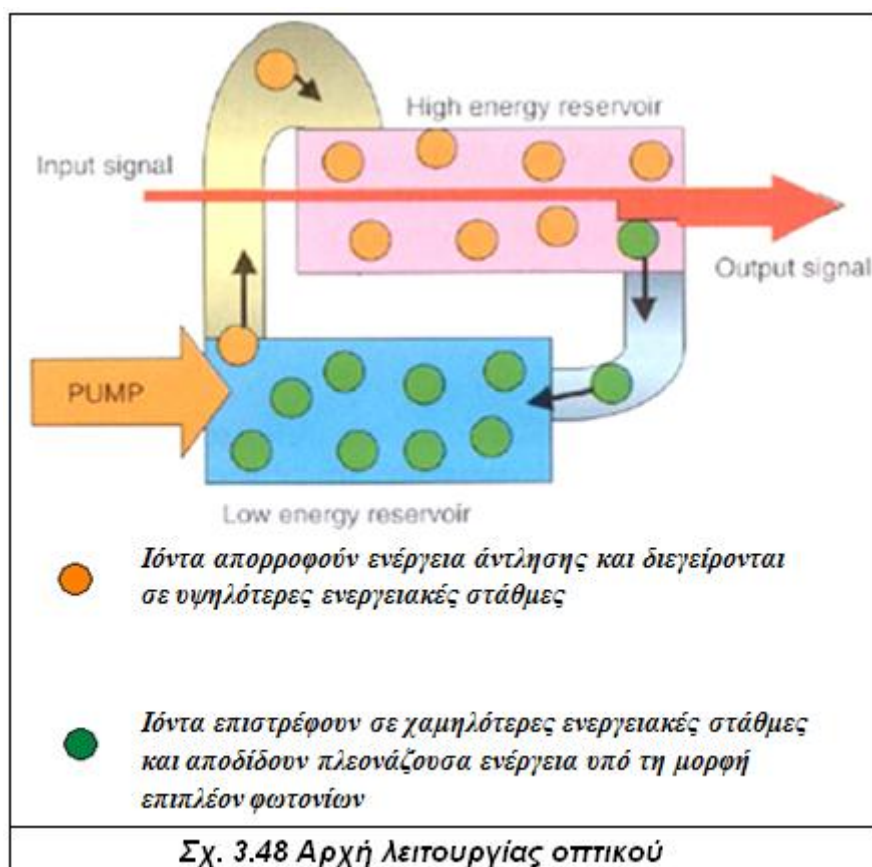
3.4.13.2 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Η ενεργοποίηση του οπτικού ενισχυτή γίνεται με οπτική άντληση ενέργειας από laser ημιαγωγού στα 800 nm, 980 nm ή 1480 nm, που παρέχεται μέσω ενός οπτικού συζεύκτη.

Το σήμα άντλησης απορροφάται από την νοθευμένη ίνα, προκαλώντας αναστροφή του πληθυσμού, που έχει ως αποτέλεσμα την ενίσχυση του διερχόμενου σήματος πληροφορίας (Σχ. 3.48).

Όταν ένα αδύναμο σήμα στην περιοχή των 1310 ή των 1550 nm εισέρχεται στην ίνα, το φως διεγείρει τα άτομα του ερβίου τα οποία απελευθερώνουν την ενέργειά τους με τη μορφή επιπλέον φωτός στις αντίστοιχες περιοχές. Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται κατά τη διέλευση του φωτός από την ίνα και γίνεται προοδευτικά πιο έντονη. Ουσιαστικά ένας ενισχυτής EDFA αποτελείται από αρκετά μέτρα ίνας από διοξείδιο του πυριτίου στα οποία έχουν εισαχθεί ιόντα ερβίου.

Όταν τα ιόντα του ερβίου διεγείρονται και μεταπίπτουν σε μία σταθερή ενεργειακή κατάσταση γίνεται αναστροφή πληθυσμού η οποία μετατρέπει το μέσο σε ενεργό μέσο ενίσχυσης. Τώρα ο ενισχυτής μπορεί να δεχθεί παράλληλα οπτικά σήματα σε διάφορα μήκη κύματος και να τα ενισχύσει όλα ταυτόχρονα ανεξάρτητα από τους επιμέρους ρυθμούς μετάδοσης, τα είδη διαμόρφωσης και την ισχύ.



3.4.13.3 ΑΝΑΓΚΑΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΟΠΤΙΚΩΝ ΕΝΙΣΧΥΤΩΝ

Η χρήση των οπτικών ενισχυτών είναι σημαντική γιατί η αναγέννηση και η ενίσχυση του σήματος μέχρι τώρα πραγματοποιούνταν με ηλεκτρονικές (RF) διατάξεις. Με τους οπτικούς ενισχυτές όμως, η ενίσχυση του σήματος στο οπτικό πεδίο γίνεται χωρίς την μετατροπή του σήματος σε ηλεκτρικό σήμα και αντίστροφα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να αυξάνεται η χωρητικότητα της ζεύξης με όλα τα πλεονεκτήματα ενός αμιγώς οπτικού δικτύου.

3.4.13.4 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΑΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ

Οι ρόλοι που καλείται συνήθως να αναλάβει ένας οπτικός ενισχυτής στα πλαίσια ενός συστήματος οπτικής επικοινωνίας-οπτικού δικτύου είναι οι ακόλουθοι:

- Ο ενισχυτής ισχύος (power amplifier):

Είναι ένας οπτικός ενισχυτής που τοποθετείται στην έξοδο του μεταδότη laser προκειμένου να αυξήσει την ισχύ της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας.

- Ο ενισχυτής γραμμής (line amplifier):

Πρόκειται για ενισχυτή χαμηλού θορύβου, που χρησιμοποιείται, προκειμένου να αυξήσει το συνολικό μήκος της ζεύξης. Παίζει το ρόλο που συνήθως αναλαμβάνει ο επαναλήπτης (repeater) σε ένα ηλεκτρονικό σύστημα επικοινωνίας. Τοποθετείται σε ένα ή περισσότερα σημεία ανάμεσα στον μεταδότη και τον αποδέκτη και στόχος του είναι να αναπληρώσει τις απώλειες που υφίσταται το οπτικό σήμα κατά τη διέλευση του μέσα από την οπτική ίνα, για να εξισορροπήσει τις απώλειες από τον διαμερισμό του σήματος.

- Ο προενισχυτής αποδέκτη (receiver preamplifier):

Τοποθετείται στον αποδέκτη και αναλαμβάνει την ενίσχυση του οπτικού σήματος πριν από την πρόσπτωση του στη φωτοδίοδο.

- Ενισχυτής ενσωματωμένος στον πομπό:

Πρόκειται για υποσύστημα στο οποίο ο ενισχυτής ισχύος ενσωματώνεται στην διάταξη του laser, δημιουργώντας έναν οπτικό πομπό μεγάλης ισχύος.

- Ενισχυτές ενσωματωμένοι στον δέκτη:

Πρόκειται για υποσύστημα στο οποίο ο προενισχυτής ενσωματώνεται στην διάταξη του φωτοανιχνευτή, δημιουργώντας έναν οπτικό δέκτη μεγαλύτερης ευαισθησίας.

Αναλόγως πεδίου εφαρμογής, οι οπτικοί ενισχυτές κατηγοριοποιούνται σε :

- Ενισχυτές αναλογικής ζεύξης ενός μήκους κύματος:

Χρησιμοποιούνται κυρίως σε εφαρμογές καλωδιακής τηλεόρασης και χαρακτηρίζονται από γραμμική ενίσχυση και χαμηλά επίπεδα θορύβου.

- Ενισχυτές ψηφιακής ζεύξης ενός μήκους κύματος:

Χρησιμοποιούνται σε τηλεπικοινωνιακές εφαρμογές στο υπεραστικό και υποβρύχιο δίκτυο. Απαιτούν λειτουργία χαμηλού θορύβου.

- Ενισχυτές ψηφιακής ζεύξης πολλών μηκών κύματος :

Βρίσκουν άμεση εφαρμογή ως ενδιάμεσοι ενισχυτές κατά την εφαρμογή διατάξεων WDM σε υποβρύχιες ζεύξεις και χρησιμοποιούνται για την αντικατάσταση των αναγεννητικών βαθμίδων γιατί εμφανίζουν τα εξής μειονεκτήματα:

- Έχουν μεγάλο κόστος

- Χαμηλή απόδοση του συστήματος, αφού ένας αναγεννητής μπορεί να λειτουργήσει μόνο σε έναν προκαθορισμένο ρυθμό μετάδοσης και αποκλειστικά σε ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος.

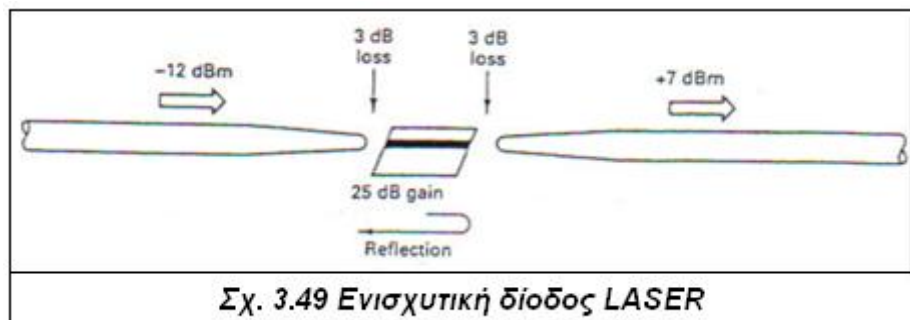
Έτσι, οι ενισχυτές ψηφιακής ζεύξης πολλών μηκών κύματος απαιτούν λειτουργία χαμηλού θορύβου και σταθερή ενίσχυση για όλα τα μήκη κύματος της ζεύξης.

Ανάλογα με τις αρχές λειτουργίας τους, οι οπτικοί ενισχυτές χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

- Ενισχυτικές διόδους laser (laser-diode amplifiers)
- Ενισχυτές ίνας πρόσμειξης (doped fiber amplifiers)

3.4.13.4.1 ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΕΣ ΔΙΟΔΟΙ LASER

Οι ενισχυτές αυτής της κατηγορίας (Σχ.3.49), δεν είναι παρά δίοδοι laser που είτε επειδή η ένταση του ρεύματος που τις διαρρέει είναι χαμηλή, είτε



Σχ. 3.49 Ενισχυτική δίοδος LASER

επειδή χρησιμοποιούν κάτοπτρα χαμηλής ανακλαστικότητας (reflectivity) λειτουργούν κάτω από το κατώφλι lasing. Η έναυση καταπιέζεται με μικρή ανακλαστικότητα των κατόπτρων της κοιλότητας. Οι ενισχυτικές δίοδοι laser χωρίζονται σε δύο υποκατηγορίες:

- Τους ενισχυτές Fabry-Perot (Fabry-Perot amplifiers)

Οι ενισχυτές Fabry-Perot, λειτουργούν σαν ταλαντωτές πολωμένοι λίγο κάτω από το κατώφλι. χρησιμοποιούν κάτοπτρα σχετικά υψηλής ανακλαστικότητας (περίπου 0.3) και το οπτικό σήμα ενισχύεται

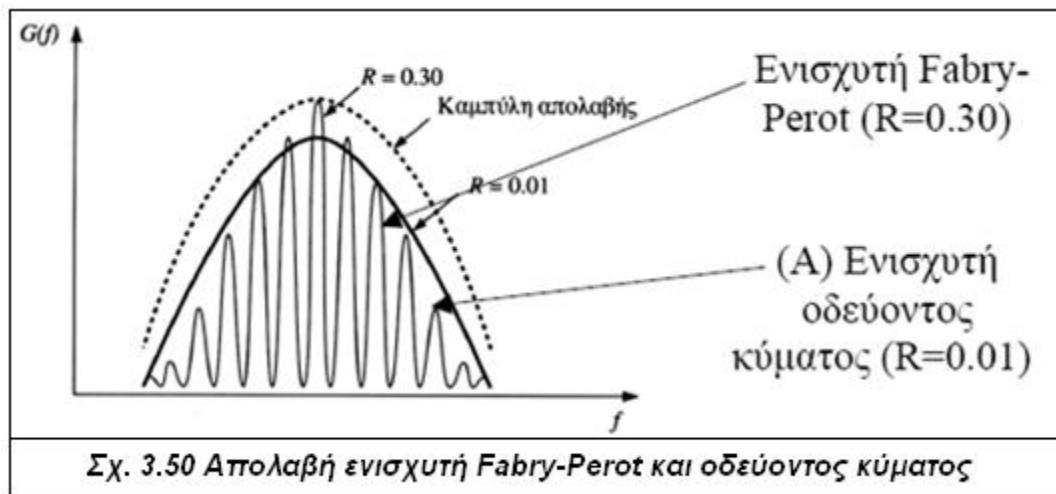
πραγματοποιώντας επανειλημμένες διελύσεις μέσα από την ενεργό περιοχή της δίοδου.

Η ανακλαστικότητα των κατόπτρων διατηρείται σε μεγάλες τιμές και το φως εκτελεί αρκετές περιφορές μέσα στην κοιλότητα. Το αποτέλεσμα είναι όπως και στα φίλτρα, πολλαπλές ζώνες διέλευσης με κορυφές κέρδους, η περιβάλλουσα των οποίων προσεγγίζει την καμπύλη απολαβής.

- Τους ενισχυτές οδεύοντος κύματος (travelling-wave amplifiers).

Οι ενισχυτές οδεύοντος σήματος είναι απλής διέλευσης και χρησιμοποιούν κάτοπτρα χαμηλής ανακλαστικότητας. Το οπτικό σήμα

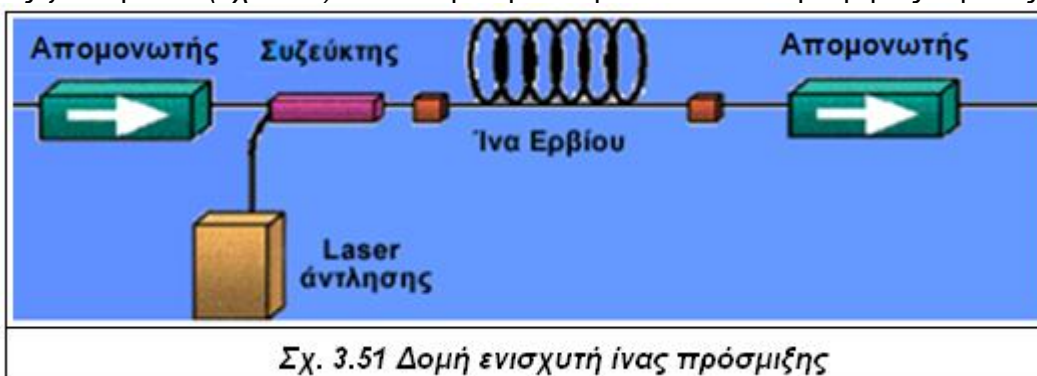
ενισχύεται πραγματοποιώντας μία μόνο διέλευση από την ενεργό περιοχή της δίοδου. Η απολαβή ανά μονάδα μήκους είναι αρκετά μεγάλη. Στο Σχ. 3.50 φαίνεται η απολαβή των ενισχυτών Fabry-Perot και οδεύοντος κύματος.



3.4.13.5 ΕΝΙΣΧΥΤΕΣ ΙΝΑΣ ΠΡΟΣΜΙΞΗΣ

Πριν την έλευση των οπτικών ενισχυτών με πρόσμιξη ερβίου, δεν υπήρχε αμιγώς οπτικός ενισχυτής με πρακτική χρησιμότητα. Η αναγέννηση των οπτικών σημάτων γινόταν με ηλεκτρονικά μέσα και στο ηλεκτρονικό πεδίο προκειμένου να αντισταθμιστούν οι απώλειες. Ο οπτικός ενισχυτής με πρόσμιξη Ερβίου, κατέστησε δυνατή την ενίσχυση όλων των μηκών κύματος ταυτόχρονα και χωρίς μετατροπές από το οπτικό στο ηλεκτρικό πεδίο. Εκτός από το να χρησιμοποιούνται σε οπτικές γραμμές επικοινωνίας, οι οπτικοί ενισχυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για την αύξηση της ισχύος του σήματος μετά την πολύπλεξη ή πριν την απόπλεξη, οι οποίες μπορούν να αποτελέσουν πηγές απωλειών για το σύστημα.

Οι ενισχυτές με πρόσμιξη ίνας, χρησιμοποιούν οπτική ίνα με πρόσμιξη Erbium (Er^{3+}). Επίσης χρησιμοποιείται μια δίοδος laser (laser pump) της οποίας η ακτινοβολία διοχετεύεται στην οπτική ίνα μαζί με την ακτινοβολία του σήματος μέσω ενός ζεύκτη 2 x 2 (Σχ. 3.51). Η laser pump εκπέμπει σε κατάλληλο μήκος κύματος –



συνήθως 980 nm ή 1480 nm - έτσι ώστε τα ιόντα του Erbium απορροφώντας την ενέργεια της ακτινοβολίας να μεταπίπτουν σε ανώτερο ενεργειακό επίπεδο.

Όταν τα φωτόνια του οπτικού σήματος διέρχονται από την περιοχή των προσμείξεων, συγκρούονται με τα

ευρισκόμενα σε ανώτερο ενεργειακό επίπεδο ιόντα του Erbium με αποτέλεσμα τα τελευταία να μεταπίπτουν στο κατώτερο ενεργειακό επίπεδο. Ταυτόχρονα, έχουμε εκπομπή ενός φωτονίου που έχει την ίδια φάση και συχνότητα με αυτό που προκάλεσε την εκπομπή του (stimulated emission). Με τον τρόπο αυτό, έχουμε πολλαπλασιασμό των φωτονίων και άρα ενίσχυση της οπτικής ακτινοβολίας που διέρχεται από την περιοχή της πρόσμειξης.

Η τεχνολογία ενισχυτών EDFA έχει τη δυνατότητα να συμβαδίσει με τους πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, τις μεγάλες αποστάσεις και τους υψηλούς φόρτους που χαρακτηρίζουν τα συστήματα DWDM και για τους λόγους αυτούς θεωρείται τεχνολογία κλειδί. Παράλληλα, η τεχνολογία αυτή έχει αποτελέσει την κινητήρια δύναμη για την ανάπτυξη και άλλων συσκευών και τεχνολογιών.

Οι κύριοι παράγοντες ωστόσο, οι οποίοι βαραίνουν στην επιλογή ενός ενισχυτή EDFA είναι το χαμηλό επίπεδο θορύβου και η ομαλότητα στην απολαβή. Η απολαβή πρέπει να είναι ομαλή διότι όλα τα σήματα πρέπει να ενισχύονται ομοιόμορφα. Ο θόρυβος ενισχύεται μαζί με το σήμα συνήθως. Ο δείκτης θορύβου δίνεται από τη σχέση: $F_n = SNR_{in}/SNR_{out}$. Ο θόρυβος προέρχεται από την ενισχυμένη αυθόρμητη εκπομπή και ονομάζεται amplified spontaneous emission (ASE).

Ο λόγος σήματος προς θόρυβο αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για τον αριθμό των ενισχυτών που μπορούν να συνδεθούν σε σειρά και συνεπώς και για το μήκος μιας οπτικής γραμμής επικοινωνίας. Γενικά, τα σήματα μπορούν να διανύσουν απόσταση μέχρι 120 χιλιόμετρα μεταξύ δύο ενισχυτών. Για μεγαλύτερες αποστάσεις, της τάξης των 600 ή των 1000 χιλιομέτρων, πρέπει να γίνει αναγέννηση του σήματος με τη μέθοδο 3R reshape-retain-retransmit (επανασχηματισμός-επαναχρονισμός-επαναμετάδοση).

3.4.13.6 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΟΠΤΙΚΩΝ ΕΝΙΣΧΥΤΩΝ

Τα χαρακτηριστικά των οπτικών ενισχυτών είναι τα εξής:

■ Απολαβή

Η απολαβή ενός ενισχυτή υπολογίζεται από το πηλίκο της ισχύος του σήματος στην έξοδο προς την ισχύ στην είσοδο, δηλαδή: $G = P_{out}/P_{in}$. Η τιμή αυτή είναι συνήθως 30 dB. Η απολαβή πρέπει να είναι ομαλή, διότι όλα τα σήματα πρέπει να ενισχύονται ομοιόμορφα. Μπορεί να γίνει διόρθωση με χρήση φίλτρων ομοιόμορφης απολαβής.

■ Αποτελεσματικότητα της απολαβής

Η αποτελεσματικότητα της απολαβής ορίζεται ως το μέτρο της απολαβής σαν συνάρτηση της ισχύος άντλησης και μετράται σε dB/mW .

■ Το εύρος ζώνης της απολαβής

Το εύρος ζώνης της απολαβής είναι η περιοχή των συχνοτήτων στην οποία ο ενισχυτής έχει απολαβή.

■ Ο κορεσμός της απολαβής

Ο κορεσμός της απολαβής είναι η τιμή της ισχύος εξόδου, πάνω από την οποία ο ενισχυτής έχει απολαβή.

■ Η ευαισθησία στην πολικότητα

Η ευαισθησία στην πολικότητα είναι το μέτρο της εξάρτησης της απολαβής από την πολικότητα του σήματος και μετράται συνήθως σε dB.

3.4.13.7 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΩΝ ΔΙΟΔΩΝ LASER ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΤΩΝ ΙΝΑΣ ΠΡΟΣΜΙΞΕΩΝ

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των ενισχυτών ίνας πρόσμειξης έναντι των ενισχυτικών διόδων laser είναι τα ακόλουθα:

- Επιτυγχάνουν πολύ χαμηλότερες απώλειες του οπτικού σήματος.
- Εισάγουν μικρότερη παραμόρφωση του οπτικού σήματος.
- Αποφεύγουν τις κατασκευαστικές δυσκολίες που σχετίζονται με τον έλεγχο της ανακλαστικότητας των κατόπτρων των ενισχυτικών διόδων laser καθώς και το υψηλό κόστος κατασκευής που αυτές συνεπάγονται.
- Η λειτουργία τους δεν επηρεάζεται ούτε από την πολικότητα του εισερχόμενου οπτικού σήματος ούτε από τη θερμοκρασία.

Αντίθετα, οι ενισχυτές ίνας πρόσμειξης παρουσιάζουν δυσκαμψία σε ότι αφορά τις φασματικές τους παραμέτρους. Οι ενισχυτές αυτές μπορούν να επιτύχουν ενίσχυση του οπτικού σήματος μόνο στα μήκη κύματος από 1520 nm έως 1600 nm, δηλαδή στο μήκος κύματος που αντιστοιχεί στην ενεργειακή διαφορά ανάμεσα στην ανώτερη και στην κατώτερη ενεργειακή κατάσταση των ιόντων του Erbium.

Στο κεφάλαιο αυτό αναφέρονται τα είδη πολυπλεξίας στα οπτικά δίκτυα.

Γενικά, μπορούμε να ορίσουμε ως πολυπλεξία την διαδικασία μεταφοράς περισσότερων από ένα σημάτων χρησιμοποιώντας την ίδια γραμμή επικοινωνίας.

Με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η χρήση του ίδιου μέσου μετάδοσης από πολλαπλά συστήματα, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιήσουν το ίδιο κανάλι για την εκπομπή και λήψη της πληροφορίας, χωρίς τα σήματα που εκπέμπουν από αυτά, να αλληλεπιδρούν μεταξύ τους.

Οι κατηγορίες πολυπλεξίας που αναφέρονται είναι η πολυπλεξία με διαίρεση χρόνου, με διαίρεση μήκους κύματος, με διαίρεση χώρου, συχνότητας, καθώς η ορθογωνική πολυπλεξία με διαίρεση συχνότητας, η χονδροειδής πολυπλεξία με διαίρεση μήκους κύματος και τέλος η πολυπλεξία πάνω στην οποία βασίζεται και η άσκηση της πυκνής με διαίρεση μήκους κύματος.



4.1 ΠΟΛΥΠΛΕΞΙΑ ΣΤΑ ΟΠΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Οι σημερινές οπτικές ζεύξεις λειτουργούν τυπικά στα 2.5 Gbps και στο φασματικό παράθυρο όπου οι οπτικές ίνες παρουσιάζουν χαμηλή εξασθένηση (1550 nm). Οι διαχειριστές των δικτύων έχουν σαν στόχο να τετραπλασιάσουν την χωρητικότητα (ρυθμός 10 Gbps) με διπλασιασμό του κόστους όμως.

Οι τελευταίες δεκαετίες χαρακτηρίζονται από την αλματώδη ανάπτυξη των τηλεπικοινωνιών. Η τηλεπικοινωνιακή κίνηση αυξάνεται κατά 100% κάθε 15 περίπου μήνες ενώ είναι δύσκολο να προβλέψει κανείς που θα οδηγήσουν τα μελλοντικά τεχνολογικά επιτεύγματα. Η εισαγωγή νέων κωδίκων στις ιστοσελίδες του διαδικτύου προκάλεσε σημαντική αύξηση του μεγέθους των αρχείων που διακινούνται. Γενικότερα, με την ταχύτατη ανάπτυξη των πολυμέσων και των διαδικτυακών εφαρμογών, οι χρήστες επιθυμούν πλέον την χρήση υπηρεσιών οι οποίες έχουν μεγαλύτερες απαιτήσεις σε εύρος ζώνης. Το μεγάλο εύρος ζώνης των οπτικών ινών μπορεί να αξιοποιηθεί ακόμη περισσότερο με τη χρήση τεχνικών πολυπλεξίας, δηλαδή με την αποστολή πολλών διαφορετικών σημάτων, στην ίδια ίνα.

Στοχεύοντας, λοιπόν, σε δίκτυα πολύ υψηλού ρυθμού μετάδοσης και υιοθετώντας ως βάση τις οπτικές ίνες, το ζητούμενο είναι η μέθοδος πολυπλεξίας που θα χρησιμοποιηθεί. Οι τεχνικές πολυπλεξίας των οπτικών επικοινωνιών είναι παρόμοιες με αυτές των συμβατικών τηλεπικοινωνιακών συστημάτων και επιτυγχάνονται σε ηλεκτρική μορφή. Έχουν αναπτυχθεί όμως και αποκλειστικές μέθοδοι. Για να αναβαθμίσουμε την χωρητικότητα μιας ζεύξης υπάρχουν οι τεχνικές πολύπλεξης οι οποίες μπορούν να συνδυαστούν και να χρησιμοποιηθούν παράλληλα ανάλογα με τις απαιτήσεις.

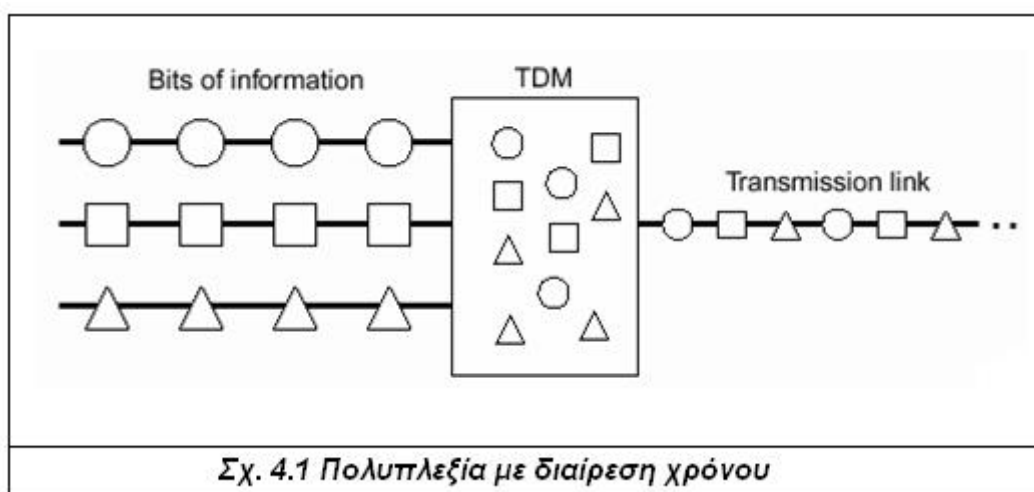
4.2 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΟΛΥΠΛΕΞΗΣ

Ανάλογα με τις απαιτήσεις και τις εφαρμογές των δικτύων, οι τεχνικές πολυπλεξίας διακρίνονται σε:

- Πολυπλεξία με διαίρεση χρόνου (TDM)
- Πολυπλεξία με διαίρεση μήκους κύματος (WDM)
- Πολυπλεξία με διαίρεση χώρου (SDM)
- Ορθογωνική Πολυπλεξία με διαίρεση συχνότητας (OFDM)
- Χονδροειδής πολυπλεξία με διαίρεση μήκους κύματος (CWDM)
- Πυκνή πολυπλεξία με διαίρεση μήκους κύματος (DWDM)

4.2.1 ΠΟΛΥΠΛΕΞΙΑ ΜΕ ΔΙΑΙΡΕΣΗ ΧΡΟΝΟΥ (TDM- Time Division Multiplexing)

Η πολυπλεξία με διαίρεση χρόνου (TDM) (Σχ. 4.1) αυξάνει τη χωρητικότητα της ζεύξης χωρίζοντας το χρόνο σε χρονοθυρίδες, έτσι ώστε τα bit από κάθε πηγή εισόδου να μεταφέρονται σε μια συγκεκριμένη χρονοθυρίδα κι επομένως τελικά να αυξάνει ο αριθμός των bit που μεταδίδονται ανά δευτερόλεπτο. Δηλαδή κάθε σύνδεση χρησιμοποιεί την οπτική ίνα περιοδικά για ένα καθορισμένο χρονικό διάστημα, με αποτέλεσμα μια οπτική ίνα να μπορεί να εξυπηρετήσει περισσότερες από μία συνδέσεις.



Η σταδιακή εξάπλωση μοντέρνων τεχνολογιών, όπως τα Σύγχρονα Οπτικά Δίκτυα (**S**ynchronous **O**ptical **NET**work - SONET) στις Η.Π.Α. και η Σύγχρονη Ψηφιακή Ιεραρχία (**S**ynchronous **D**igital **H**ierarchy - SDH) στην Ευρώπη, αναμένεται να προσφέρει σημαντικές βελτιώσεις και ευελιξία στα ευρυζωνικά δίκτυα. Οι τεχνολογίες αυτές βασίζονται σε υψηλής ταχύτητας ηλεκτρομεταγωγικά κέντρα, τα οποία συνδέονται με οπτικές ίνες και χρησιμοποιούν τη τεχνική TDM.

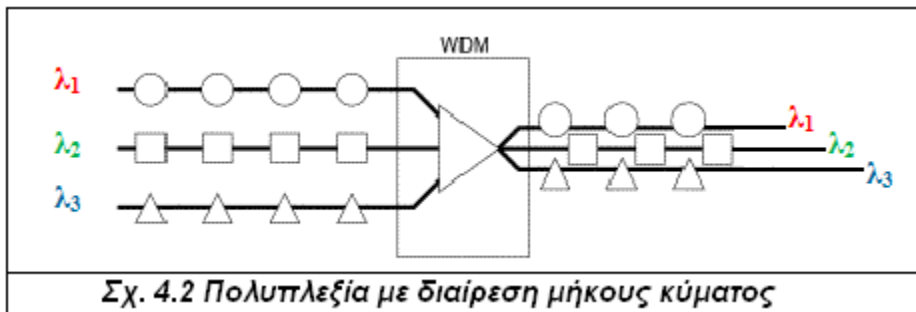
Τα δίκτυα αυτά χρησιμοποιούν τις οπτικές ίνες σαν μέσο αντικατάστασης του χαλκού, καθώς τόσο η μεταγωγή όσο και η πολυπλεξία στις γραμμές ζεύξης πραγματοποιούνται στο ηλεκτρικό επίπεδο. Έτσι είναι φανερό ότι στα δίκτυα αυτά δεν γίνεται πλήρης αξιοποίηση των μεγάλων δυνατοτήτων που προσφέρει η οπτική τεχνολογία.

Η τεχνική TDM είναι μια ανταγωνιστική προσέγγιση για ζεύξεις μικρών ή μεσαίων αποστάσεων ή για ζεύξεις που λειτουργούν σε ίνες μετατοπισμένης διασποράς DSF. Ένας επιπρόσθετος παράγοντας δελεαστικός για τη χρήση αυτής της τεχνικής, είναι ότι ένα σύστημα TDM είναι συμβατό με τα υπάρχοντα συστήματα και έτσι δεν απαιτείται νέα γνώση για την εγκατάσταση και την διαχείριση μιας ζεύξης.

Σήμερα είναι εμπορικά διαθέσιμα συστήματα TDM στα 10 Gbps ενώ ταυτόχρονα γίνεται έρευνα για συστήματα TDM στα 20 και 40 Gbps.

4.2.2 ΠΟΛΥΠΛΕΞΙΑ ΜΕ ΔΙΑΙΡΕΣΗ ΜΗΚΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ (WDM- Wavelength Division Multiplexing)

Σε αυτή τη τεχνική πολύπλεξης (Σχ.4.2), χρησιμοποιούνται περισσότερα του ενός μήκη κύματος σε κάθε οπτική ίνα. Με την τεχνική αυτή δηλαδή είναι δυνατό να πολυπλεχτούν πολλαπλά οπτικά σήματα, το καθένα από τα οποία μεταδίδεται σε διαφορετικό μήκος κύματος και να διαδοθούν ταυτόχρονα μέσω της ίδιας οπτικής ίνας.



4.2.3 ΠΟΛΥΠΛΕΞΙΑ ΜΕ ΔΙΑΙΡΕΣΗ ΧΩΡΟΥ (SDM- Space Division Multiplexing)

Η πολυπλεξία με διαίρεση χώρου είναι η πιο απλή τεχνική αναβάθμισης μιας ζεύξης. Για να αυξηθεί τη χωρητικότητα μιας ζεύξης αρκεί να χρησιμοποιηθεί μεγαλύτερος αριθμός οπτικών ινών. Μειονέκτημα της τεχνικής αυτής αποτελεί το γεγονός ότι οι πρόσθετες οπτικές ίνες που απαιτούνται μπορεί να μην είναι διαθέσιμες κατά μήκος της επιθυμητής διαδρομής.

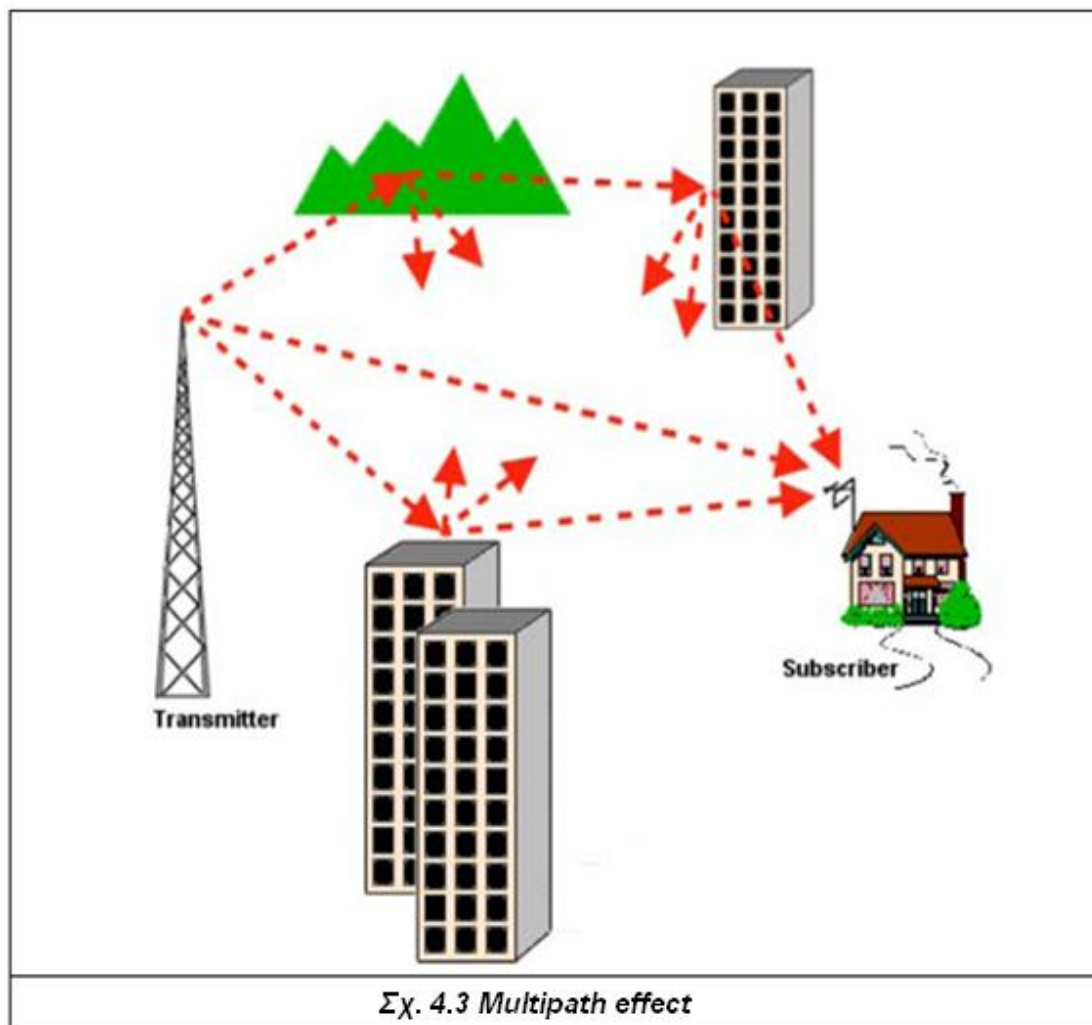
Το κόστος τοποθέτησης νέων ινών ποικίλει. Αν υπάρχει χώρος στα υπάρχοντα καλώδια οι ίνες μπορούν να τοποθετηθούν με μικρό σχετικά κόστος. Αντίθετα, αν πρέπει να τοποθετηθούν νέα καλώδια το κόστος αυξάνεται σημαντικά ακόμα και στην περίπτωση μικρών αποστάσεων.

Ένα δεύτερο μειονέκτημα της πολυπλεξίας διαίρεσης χώρου είναι ότι για κάθε επιπλέον ίνα που χρησιμοποιείται απαιτείται ένα σύνολο οπτικών ενισχυτών και αναγεννητών που πρέπει να τοποθετηθεί, γεγονός που αυξάνει επίσης το κόστος. Οι τεχνικές TDM και WDM επιτρέπουν σε έναν ενισχυτή ή αναγεννητή να εξυπηρετεί αρκετά κανάλια. Έτσι η SDM είναι ανταγωνιστική μόνο όταν οι ίνες είναι ήδη διαθέσιμες και οι αποστάσεις είναι σχετικά μικρές έτσι ώστε να μην απαιτείται η χρήση διατάξεων ενίσχυσης ή αναγέννησης.

4.2.4 ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΗ ΠΟΛΥΠΛΕΞΙΑ ΜΕ ΔΙΑΙΡΕΣΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ (OFDM- Orthogonal Frequency Division Multiplexing)

Η ορθογωνική πολυπλεξία συχνότητας (OFDM) είναι μια μορφή διαμόρφωσης στην οποία μεταδίδουμε περισσότερα του ενός φέροντα σε συχνότητες ορθογωνικές μεταξύ τους. Το OFDM δεν είναι μια νέα τεχνική.

Το μεγαλύτερο μέρος της θεμελιώδους εργασίας έγινε προς το τέλος της δεκαετίας του '60, και ο αριθμός αμερικανικών διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας 3.488.445 εκδόθηκε τον Ιανουάριο του 1970.

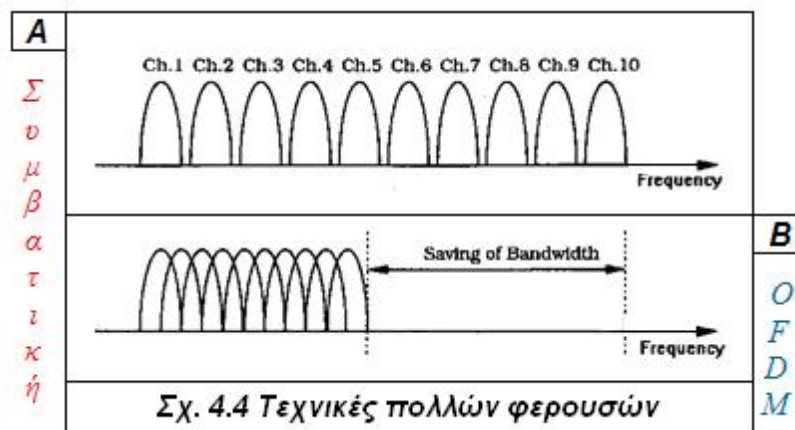


Ένας από τους κυριότερους λόγους υιοθέτησης του OFDM ως του μοντέλου διαμόρφωσης για ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα είναι η μεγάλη αντοχή που επιδεικνύει σε περιβάλλοντα εξασθένησης σήματος και παρεμβολών. Σε συστήματα μονής φέρουσας ένας επίδοξος παρεμβολέας μπορεί να προκαλέσει ακόμα και την κατάρρευση μιας σύνδεσης, σε αντίθεση με τα συστήματα πολλών φερουσών, όπου ένα μικρό μόνο ποσοστό των φερουσών θα επηρεαστεί.

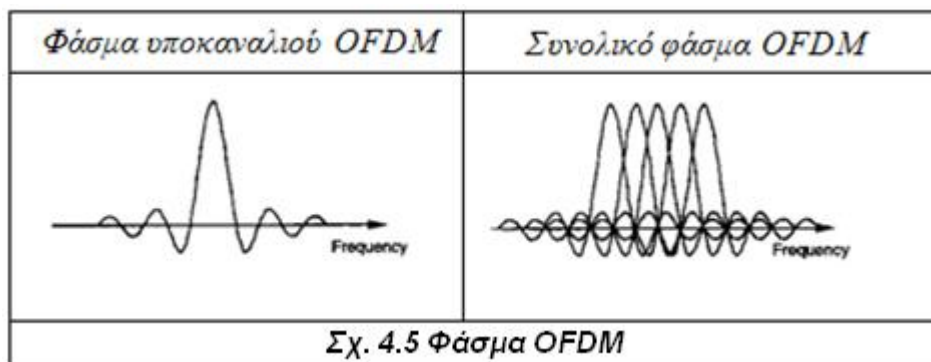
Η τεχνική OFDM μπορεί να θεωρηθεί ως σχήμα διαμόρφωσης στο οποίο η πληροφορία μεταδίδεται (παράλληλα) πάνω σε N ορθογώνιες φέρουσες που έχουν απόσταση $1/T_s$, όπου T_s είναι η διάρκεια ενός συμβόλου OFDM. Σε ένα κλασικό σύστημα παράλληλης μετάδοσης δεδομένων η συνολικά διαθέσιμη μπάντα συχνοτήτων διαιρείται σε N μη επικαλυπτόμενα υποκανάλια συχνοτήτων. Κάθε υποκανάλι διαμορφώνεται και από διαφορετικό σύμβολο και ακολούθως τα N υποκανάλια πολυπλέκονται στο

πεδίο των συχνοτήτων. Η ιδέα που εισήγαγε το OFDM ήταν πρωτοποριακή μιας και οδηγούσε στην εξοικονόμηση φάσματος.

Στην πολυπλεξία OFDM γίνεται η χρήση επικαλυπτόμενων υποκαναλιών, που χαρακτηρίζονται από την κοινή ιδιότητα της μεταξύ τους ορθογωνιότητας γεγονός που οδηγεί στην αποφυγή ισοστάθμισης, την αντιμετώπιση θορύβου και εξασθένησης σήματος λόγω πολυδιόδευσης (multipath effect) (Σχ. 4.3) καθώς και την πλήρη αξιοποίηση του διαθέσιμου φάσματος. Στο Σχ. 4.4 διακρίνεται καθαρά η διαφορά μεταξύ των συμβατικών τεχνικών με μη επικαλυπτόμενα υποκανάλια και του OFDM. Κατά αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται εξοικονόμηση εύρους φάσματος που αγγίζει κατά προσέγγιση το 50%. Όμως, θα πρέπει να εξασφαλίζεται την όσο τη δυνατόν μικρότερη παρεμβολή μεταξύ των υποφερουσών.



Στο Σχ.4.5 διακρίνεται το φάσμα του υποκαναλιού OFDM και το συνολικό OFDM.



Στην πολυπλεξία OFDM γίνεται η χρήση επικαλυπτόμενων υποκαναλιών.

4.2.5 ΧΟΝΔΡΟΕΙΔΗΣ ΠΟΛΥΠΛΕΞΙΑ ΜΕ ΔΙΑΙΡΕΣΗ ΜΗΚΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ (CWDM- Coarse Wavelength Multiplexing)

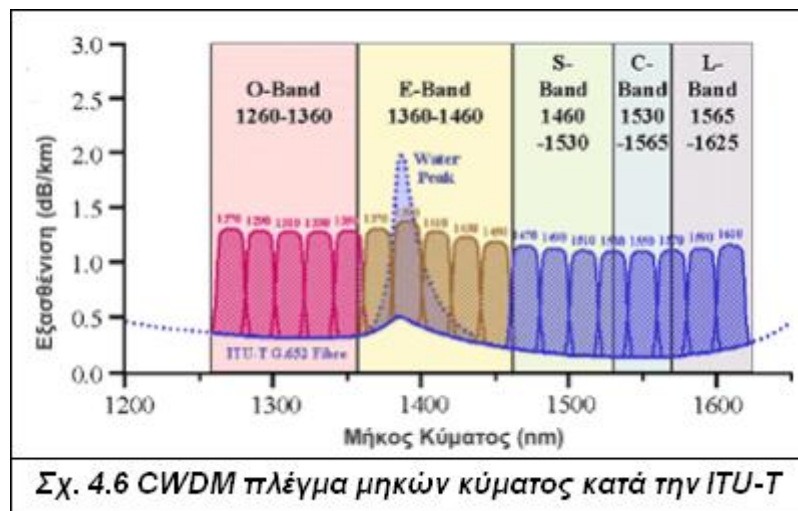
Η χονδροειδής πολυπλεξία με διαίρεση μήκους κύματος (CWDM- Coarse Wavelength Division Multiplexing) είναι μία μορφή πολυπλεξίας διαίρεσης μήκους κύματος η οποία εμφανίζει μεγαλύτερη απόσταση μεταξύ των φερόντων μηκών κύματος (γύρω στα 20nm) σε σχέση με την DWDM.

Επίσης χρησιμοποιεί μια ευρύτερη περιοχή του οπτικού φάσματος και μπορεί να δεχτεί μέχρι 18 κανάλια. Η τεχνολογία CWDM μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο σε μονότροπες όσο και σε πολύτροπες οπτικές ίνες. Οι δαπάνες για τη χρήση της τεχνολογίας CWDM είναι χαμηλότερες από τις άλλες μορφές WDM. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι διαφορές μεταξύ των τεχνολογιών CWDM, WDM και της DWDM που θα αναλυθεί παρακάτω.

	Coarse WDM	Wide- WDM	DWDM
Απόσταση μεταξύ των συχνοτήτων	Μεγάλη, από 1,6nm (200GHz) έως 25nm	1310nm και 1550nm lasers	Μικρή, 200GHz και μικρότερη
Αριθμός παραθύρων	O,E,S,C και L	O και C	C και L
Κόστος ανά κανάλι	χαμηλό	χαμηλό	Υψηλό
Αριθμός καναλιών	17-18	2	Μεγάλος αριθμός
Εφαρμογές	Short- haul, metro	Passive Optical Networks	Long- haul

ΠΙΝΑΚΑΣ 1

Μορφές της Πολυπλεξίας με Διαίρεση Μήκους Κύματος.



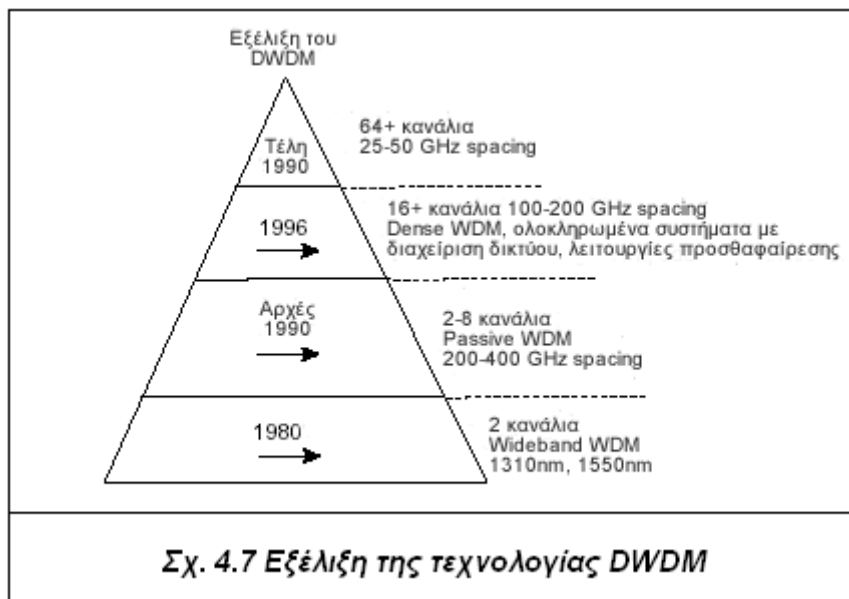
Η τεχνολογία CWDM έχει τη δυνατότητα να λειτουργήσει αποτελεσματικά και οικονομικά στα μητροπολιτικά δίκτυα. Η δυνατότητα να παρέχει πολλαπλά μήκη κύματος με λογικό κόστος οδηγεί τις εταιρίες παροχής υπηρεσιών τηλεπικοινωνιών να την επιλέγουν.

4.2.6 ΠΥΚΝΗ ΠΟΛΥΠΛΕΞΙΑ ΜΕ ΔΙΑΙΡΕΣΗ ΜΗΚΟΥΣ ΚΥΜΑΤΟΣ (DWDM- Dense Wavelength Division Multiplexing)

Συχνά, η τεχνολογία WDM αναφέρεται και ως Πυκνή Πολυπλεξία με Διαίρεση Μήκους κύματος- DWDM (Dense-WDM) και προφανώς η μόνη διαφορά της DWDM έγκειται στο μεγαλύτερο αριθμό των μεταφερόμενων καναλιών, μέσω της διαίρεσης του διαθέσιμου φάσματος σε περισσότερα μήκη κύματος (συνήθως περισσότερα από 16).

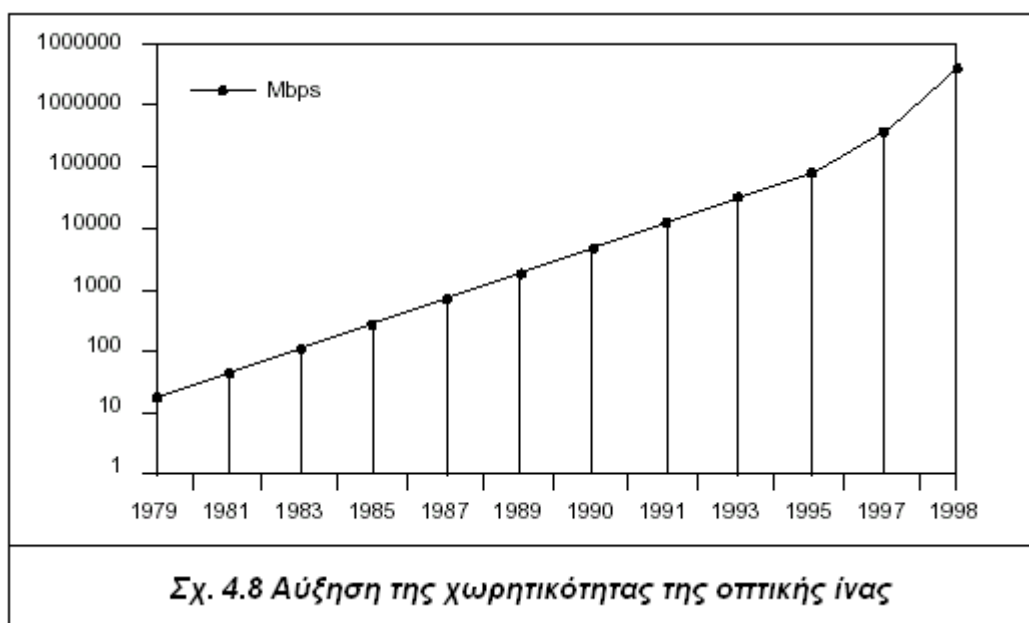
Το διαθέσιμο οπτικό φάσμα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην τεχνολογία DWDM περιλαμβάνει δύο παράθυρα το ένα γύρω από τα 1300 nm, στο οποίο έχουμε την ελάχιστη διασπορά μετάδοσης σε μονότροπες ίνες και το άλλο στην περιοχή των 1550nm στο οποίο έχουμε την ελάχιστη εξασθένηση μετάδοσης σε μονότροπες ίνες Σε καθένα από τα δύο αυτά παράθυρα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα εύρος ζώνης γύρω στα 15.000 GHz, δηλαδή με άλλα λόγια το εύρος των παραθύρων είναι γύρω στα 100 nm. Θεωρητικά σε αυτό το εύρος είναι δυνατόν να οριστούν γύρω στα 3000 διαφορετικά κανάλια με διαφορά μεταξύ τους περίπου 0.03 nm. στην πραγματικότητα όμως μέχρι τώρα ο διαχωρισμός των καναλιών στα εμπορικά διαθέσιμα προϊόντα κυμαίνεται σε τιμές γύρω από το 1nm και το πλήθος των διαφορετικών καναλιών που προσφέρουν είναι από τα 4 τα πιο παλιά συστήματα μέχρι 80 τα νεότερα.

Στο Σχήμα 6.13 φαίνεται παραστατικά η εξέλιξη του DWDM.



Στα τέλη της δεκαετίας του '80 εμφανίζεται η μορφή της τεχνολογίας WDM γνωστή ως wideband WDM, η οποία χρησιμοποιεί 2 κανάλια στις περιοχές των 1310 nm και 1510 nm. Στις αρχές του 1990 εμφανίζεται μια δεύτερη μορφή, που πολλές φορές ορίζεται ως narrowband WDM, και η οποία χρησιμοποιεί από 2 μέχρι 8 κανάλια. Στα μέσα της δεκαετίας του '90 κάνει την εμφάνισή της η τεχνολογία Dense-WDM όπου τα συστήματα αρχίζουν να χρησιμοποιούν από 16 μέχρι 40 κανάλια.

Στα τέλη της δεκαετίας του '90 τα συστήματα DWDM εξελίσσονται και είναι σε θέση να χρησιμοποιούν από 64 έως 16 παράλληλα κανάλια. Η αύξηση του αριθμού των καναλιών, ως αποτέλεσμα της τεχνολογίας DWDM, έχει δραματική επίδραση στην αύξηση της χωρητικότητας της οπτικής ίνας (Σχήμα 4.8).



4.2.6.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΤΗΣ DWDM

Τα DWDM συστήματα έχουν πολλά πλεονεκτήματα, όπως

- Παρέχουν μεγαλύτερη χωρητικότητα της ίνας
- Είναι ευκολότερη η επέκταση ενός δικτύου
- Δεν απαιτείται η εγκατάσταση νέων οπτικών ινών
- Είναι απλή η διαδικασία πρόσθεσης ενός νέου μήκους κύματος
- Μικρό κόστος για τη δημιουργία νέων καναλιών

4.2.6.2 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΧΡΗΣΗΣ ΤΗΣ DWDM

- Τα δίκτυα SONET/SDH δεν είναι κατάλληλα εξοπλισμένα για τις τοπολογίες του DWDM
- Οι μηχανισμοί προστασίας και ο έλεγχος και η παρακολούθηση της απόδοσής του είναι ακόμα σε αρχικό στάδιο
- Δεν συμφέρει το κόστος για μικρό αριθμό καναλιών

4.2.6.3 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΗΣ ΤΕΧΝΙΚΗΣ DWDM

Η σημασία του DWDM είναι τεράστια στο να δίνει την δυνατότητα στους παρόχους να παρέχουν όλο και περισσότερο εύρος ζώνης στους χρήστες. Το DWDM είναι κρίσιμο συστατικό των οπτικών δικτύων μιας και επιτρέπει μετάδοση video, πολυμέσων, δεδομένων και φωνής πάνω στην οπτική ίνα.

Φυσικά η έκρηξη στην ανάγκη των χρηστών για εύρος ζώνης, συνοδεύεται απαραίτητα κι από την αλλαγή των δικτύων των παρέχων. Μία έρευνα που διενεργήθηκε το 1995, έδειξε ότι 70-80% των δικτύων αποτελούνταν από ίνες. Σήμερα πολλοί πάροχοι υπηρεσιών διαδικτύου πλησιάζουν το 100%, σε πολλά σημεία του δικτύου τους. Εδώ παρουσιάζεται κι ένα ακόμα πρόβλημα, αυτό της υλοποίησης πολλών διαφορετικών τεχνολογιών πάνω σ' ένα δίκτυο. Οι ανάγκες των χρηστών καθιστούν απαραίτητο στους παρόχους να έχουν διάφορες οικονομικές τεχνολογίες εξαπλωμένες σ' όλο τους το δίκτυο.

Η χρήση του DWDM επιτρέπει στους παροχείς υπηρεσιών να προσφέρουν e-mail, video και πολυμέσα που να μεταφέρονται σαν δεδομένα Internet Protocol (IP), με ασύγχρονο τρόπο μεταφοράς (ATM), καθώς και φωνή που να μεταφέρεται πάνω σε SONET/SDH. Παρόλο που αυτά τα formats (IP, ATM και SONET/SDH) προσφέρουν μοναδικές δυνατότητες διαχείρισης του εύρους ζώνης, μπορούν και οι τρεις να μεταφερθούν πάνω στο οπτικό στρώμα, χρησιμοποιώντας DWDM. Έτσι οι πάροχοι, έχουν την ευελιξία μέσω ενός δικτύου να απαντούν στις απαιτήσεις των χρηστών.

Αρχίζοντας με την τεχνολογία DWDM, οι πάροχοι υπηρεσιών διαδικτύου μπορούν να εγκαταστήσουν μια επεκτάσιμη υποδομή που τους επιτρέπει να προσθέσουν νέα συστήματα TDM για σχεδόν απεριόριστες δυνατότητες επέκτασης. Το DWDM δίνει επίσης την ευελιξία να αυξηθεί η χωρητικότητα σε οποιοδήποτε μέρος του δικτύου, κάτι που δεν προσφέρει καμία άλλη τεχνολογία. Έτσι οι πάροχοι μπορούν να αναγνωρίσουν συγκεκριμένες προβληματικές περιοχές που έχουν υπερφορτωθεί λόγω υψηλών αναγκών σε εύρος ζώνης. Οι πάροχοι που ψάχνουν νέους και δημιουργικούς τρόπους κέρδους, ενώ παράλληλα να εξυπηρετούν και τις διαφορετικές ανάγκες των χρηστών τους, μπορούν επίσης να ωφεληθούν από την υποδομή του DWDM. Αυτό συμβαίνει γιατί μπορούν να διαχωρίσουν το δίκτυο τους,

διατηρώντας διαφορετικά μήκη κύματος για διαφορετικούς χρήστες. Θα μπορούσαν για παράδειγμα να νοικιάσουν κάποια μήκη κύματος (αντί για ολόκληρη ίνα) σε πελάτες με υψηλές ανάγκες.

Η τεχνολογία DWDM είναι σχεδιασμένη για να δίνει την δυνατότητα στους παρόχους να ικανοποιούν τις ανάγκες των χρηστών τους για εύρος ζώνης. Αυτό σε συνδυασμό με το ότι είναι επεκτάσιμη, την καθιστούν ως τον καλύτερο τρόπο σχεδιασμού ενός δικτύου. Μάλιστα, οι συνεχείς εξελίξεις κι επεκτάσεις του δικτύου, ρίχνουν σημαντικά το αρχικό κόστος ενώ αναπτύσσουν και την υποδομή που θα τους υποστηρίξει μακροχρόνια. Πολλοί αναλυτές έκριναν ότι το DWDM είναι η τέλεια επιλογή για δίκτυα με συνεχώς αυξανόμενες ανάγκες εύρους ζώνης. Όμως για να ισχύει αυτό πρέπει να ισχύει μία συνθήκη: Το σύστημα DWDM πρέπει να έχει την δυνατότητα κλιμάκωσης. Για παράδειγμα, μπορεί ένα σύστημα με interface OC-48 και 8-16 κανάλια ανά ίνα να φαίνεται υπερβολικό σήμερα, αλλά μπορεί σε δύο χρόνια να κρίνεται απαραίτητο.

Κλείνοντας να αναφέρουμε ότι τα οπτικά δίκτυα δίνουν την ραχοκοκαλιά για υποστήριξη των υπάρχουσών αλλά και των ανερχόμενων αναγκών για εύρος ζώνης. Η υποδομή που έχουν μας δίνει την δυνατότητα κάλυψης των σημερινών αλλά και των αυριανών μας αναγκών. Η ταυτόχρονη μεταφορά τεράστιας ποσότητας πληροφορίας αποτελεσματικά και οικονομικά, καθιστά τους παρόχους ικανούς για να ικανοποιήσουν ακόμα και τους πιο απαιτητικούς πελάτες.

Στο κεφάλαιο αυτό αναφέρονται λίγες πληροφορίες για την παρουσίαση του λογισμικού εξομοίωσης OptSim, έχοντας επιλέξει μία εφαρμογή του, καθώς σε αυτή βασίζεται η πτυχιακή εργασία, τη μελέτη Δακτυλίου με πολυπλεξία DWDM.

Το OptiSim σχεδιάστηκε ώστε να συνδυάζει τη μέγιστη ακρίβεια και ισχύ εξομοίωσης με την ευκολία χρήσης, σε πλατφόρμες όπως Windows και UNIX. Προσφέρει την υψηλότερη δυνατή ακρίβεια και πραγματικά αποτελέσματα.



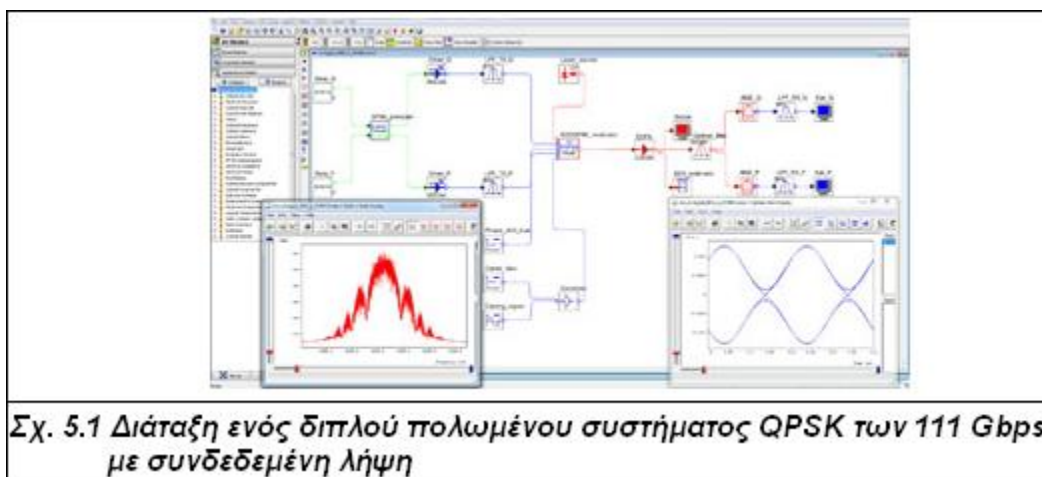
5.1 ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΟΥ OPTSIM

Το Optsim είναι ένα βραβευμένο εργαλείο λογισμικού της RSoft για το σχεδιασμό και την προσομοίωση των συστημάτων οπτικής επικοινωνίας σε επίπεδο διάδοσης σήματος. Πρόκειται ουσιαστικά για ένα προηγμένο οπτικό σύστημα επικοινωνίας όπου έχει σχεδιαστεί για επαγγελματίες μηχανικούς αλλά και για εργαστηριακούς σκοπούς. Χρησιμοποιώντας τεχνικές προσομοίωσης φιλικές προς το χρήστη, είναι ένα εύκολο στη χρήση γραφικό περιβάλλον και προσφέρει απaráμιλλη ευελιξία και χρηστικότητα. Το λογισμικό είναι διαθέσιμο στο εμπόριο από το 1998 και είναι σε χρήση από κορυφαίους μηχανικούς τόσο σε ακαδημαϊκούς όσο και σε βιομηχανικούς οργανισμούς σε όλο τον κόσμο.

Το optsim αναπαριστά ένα σύστημα οπτικών επικοινωνιών ως διασυνδεδεμένο σύνολο δομικών στοιχείων (blocks), με κάθε block να αντιπροσωπεύει ένα συστατικό στοιχείο (component) ή ένα υποσύστημα του συνολικού συστήματος επικοινωνίας. Όπως ένα φυσικό σήμα περνά από τα πραγματικά δομικά στοιχεία ενός πραγματικού συστήματος επικοινωνιών, με παρόμοιο τρόπο «ψηφιακά δεδομένα» που αναπαριστούν το φυσικό σήμα περνούν από τα μοντέλα των δομικών στοιχείων του Optsim.

Κάθε μοντέλο δομικού στοιχείου (block) εξομοιώνεται ανεξάρτητα χρησιμοποιώντας αφενός τις παραμέτρους που προσδιορίζονται από τα χρήστη για το συγκεκριμένο block και αφετέρου τα «ψηφιακά δεδομένα» (που αναπαριστούν το φυσικό μήμα) που εισέρχεται στο εν λόγω block και προέρχονται από την έξοδο των προηγούμενων blocks. Αυτή η μεθοδολογία εξομοίωσης ονομάζεται block-oriented. Τα blocks αναπαρίστανται στο Optsim ως εικονίδια. Εσωτερικά αποτελούν δομές δεδομένων και περίπλοκους αριθμητικούς αλγόριθμους.

Το Optsim περιλαμβάνει μια εκτενή βιβλιοθήκη μοντέλων με τα συνηθέστερα χρησιμοποιούμενα δομικά στοιχεία στο επιστημονικό πεδίο των ηλεκτρο-οπτικών συστημάτων. Αυτή η βιβλιοθήκη επεκτείνεται συνεχώς μέσω της συνεχώς εξελισσόμενης έρευνας και της συνεργασίας με σημαντικά ερευνητικά κέντρα και επιστήμονες σε όλο τον κόσμο.



ΜΗΧΑΝΗ ΕΞΟΜΟΙΩΣΗΣ- BLOCK MODE

5.1.1 ΟΦΕΛΗ ΤΟΥ OPTSIM

- Εικονική προτυποποίηση των οπτικών συστημάτων επικοινωνιών για την αύξηση της παραγωγικότητας και μείωση του χρόνου για την αγορά.
- Βελτιστοποίηση του σχεδιασμού για την βελτιωμένη απόδοση και μειωμένο κόστος.
- Διασυνδέσεις με εργαλεία τρίτων κατασκευαστών όπως MATLAB® και Luna Optical Vector Analyzer.
- Σύνθετη ηλεκτρική μοντελοποίηση με ενσωματωμένο κινητήρα SPICE.

5.1.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ OPTSIM

Οι εφαρμογές του Optsim αφορούν την πολυπλεξία μήκους κύματος (WDM), την πυκνή πολυπλεξία σε μήκος κύματος (DWDM), την πολυπλεξία στον χρόνο (TDM), την καλωδιακή τηλεόραση- cable TV (CATV), τα οπτικά δίκτυα (fiber optic LANs), τους οπτικούς διαύλους/δακτυλίους (parallel optic bus) και άλλα αναδυόμενα οπτικά συστήματα στις τηλεπικοινωνίες, ψηφιακές επικοινωνίες δεδομένων (data-communication) και άλλες εφαρμογές.

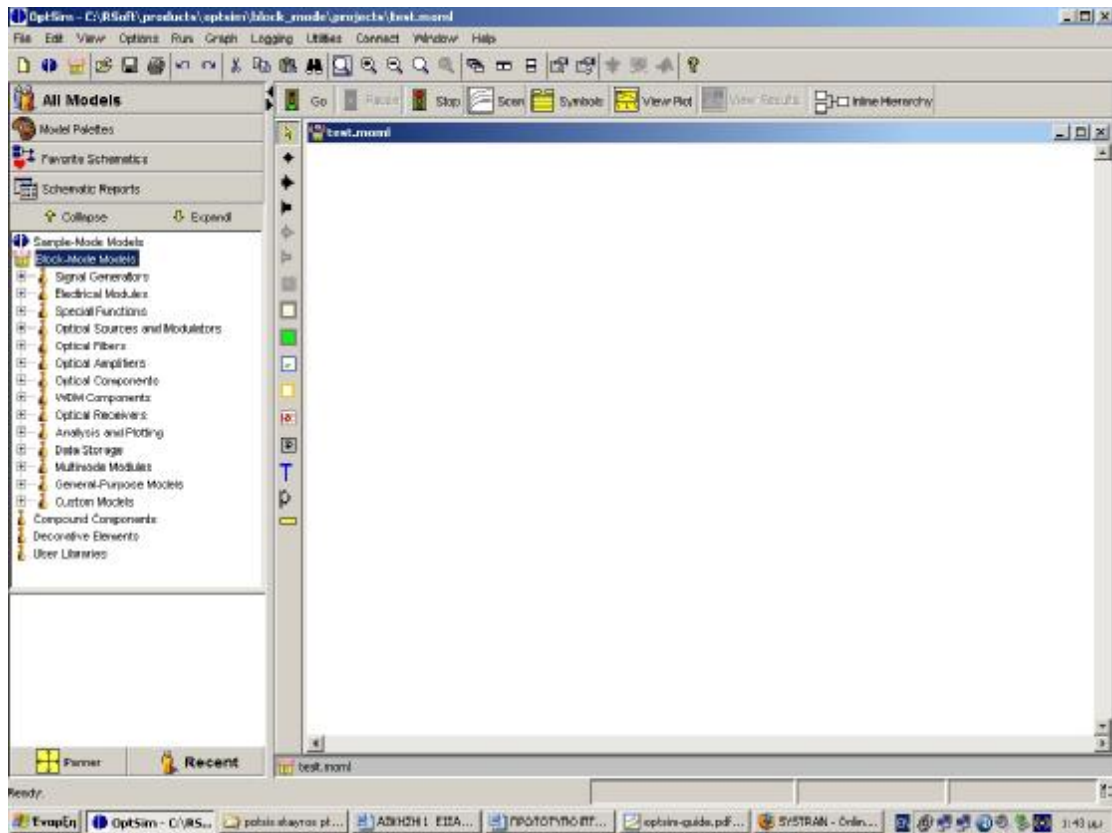
5.1.3 ΜΗΧΑΝΗ ΕΞΟΜΟΙΩΣΗΣ BLOCK MODE

Η Block Mode είναι κατάλληλη για γρήγορη εξομοίωση. Χρησιμοποιεί την μεθοδολογία Split Step Fourier Nonlinear Fiber Model. Είναι μια αριθμητική μέθοδος για την επίλυση μη-γραμμικών μερικών διαφορικών εξισώσεων και βασίζεται στον υπολογισμό της λύσης με μικρά βήματα χειριζόμενη τα γραμμικά και μη γραμμικά βήματα διαφορετικά. Επίσης είναι αναγκαίο να εκτελεί μετασχηματισμούς Fourier ορθά και αντίστροφα διότι το γραμμικό βήμα γίνεται στο πεδίο της συχνότητας ενώ το μη γραμμικό βήμα γίνεται στο πεδίο του χρόνου.

Η διάδοση ενός οπτικού παλμού κατά μήκος της οπτικής ίνας είναι ένα φαινόμενο όπου η αλληλεπίδραση γραμμικών και μη γραμμικών μηχανισμών δημιουργεί μεγάλες δυσκολίες για γενική αναλυτική λύση. Σε αυτή την περίπτωση η Split Step Fourier παρέχει αριθμητική λύση σε πρόβλημα.

Η Block Mode εκτελεί τις προσομοιώσεις στις οποίες, τα “signal data” (δηλαδή τα «ψηφιακά δεδομένα» που αναπαριστούν το φυσικό σήμα) που διέρχονται από τα components, αντιπροσωπεύει ολόκληρο τον εξομοιωμένο χρόνο σε ένα «block of data». Το πλεονέκτημα αυτής της προσέγγισης είναι ότι τα component models και οι αλγόριθμοι μπορούν εύκολα να λειτουργήσουν με ολόκληρο το σήμα, μετασχηματίζοντας το κατά Fourier-ορθά και αντίστροφα-μεταξύ των πεδίων χρόνου και συχνότητας, προκειμένου να λειτουργήσουν στο καταλληλότερο πεδίο για τον αλγόριθμο εξομοίωσης.

5.1.4 ΠΑΡΑΘΥΡΟ ΤΟΥ OPTSIM



Title Bar: περιέχει το όνομα του project που είναι ανοιχτό.

Menu Bar: ομαδοποιεί όλες τις εντολές σε Windows pull-down μενού.

Tool Bar: ομαδοποιεί κουμπιά (buttons) που χρησιμεύουν σαν shortcuts (συντομεύσεις) για τις πλέον χρησιμοποιούμενες λειτουργίες.

Run Tools: περιέχει κουμπιά για εντολές Run-stop κλπ.

Explorer: ένας εξερευνητής που παρέχει πρόσβαση σε βιβλιοθήκες, παλέτες, σχηματικά, components κλπ.

Design Area: χώρος ανάπτυξης του σχεδιασμού μας.

Toolbox: ομάδα κουμπιών που χρησιμεύουν σαν shortcuts (συντομεύσεις) για εργαλεία στην σχηματική σχεδίαση.

Status Bar: παρέχει πληροφορία και εξηγήσεις σχετικά με την διαδικασία εξομοίωσης.

Στο τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάζεται η εφαρμογή του OptSim, η διαμόρφωση δακτυλίου με πολυπλεξία DWDM.

Η περιγραφή της εφαρμογής και τα αποτελέσματά της αναλύονται ως άσκηση σαν αυτές του φυλλαδίου του εργαστηρίου **ΕΙΔΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ “ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΜΕ ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ”**.

Στο πρώτο μέρος αναλύεται το αντικείμενο της άσκησης και στο δεύτερο μέρος είναι η πειραματική διαδικασία όπου καταγράφονται τα αποτελέσματα της εξομοίωσης.

ΑΣΚΗΣΗ

**«ΜΕΛΕΤΗ ΔΑΚΤΥΛΙΟΥ ΜΕ ΠΟΛΥΠΛΕΞΗ DWDM»
DWDM RING WITH OADM (OPTICAL ADD-DROP
MULTIPLEXER) NODES**

ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΤΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ

Η άσκηση αναφέρεται σε σχέδιο του OptSim με δακτύλιο με πολύπλεξη DWDM με πολυπλέκτες Add/Drop (OADM). Η διαμόρφωση του δακτυλίου με πολύπλεξη DWDM αποτελείται από 6 κόμβους και 6 ανοίγματα ινών. Ο συνολικός αριθμός των μηκών κύματος που χρησιμοποιείται είναι οκτώ, με τρεις σειριακούς κόμβους OADM προσθήκης/απομάστευσης.

Εδώ για την απλότητα χρησιμοποιείται σύνδεση μονής κατεύθυνσης ίνας μόνο με σήματα που διαδίδονται με την φορά του ρολογιού. Το παράδειγμα μπορεί εύκολο να επεκταθεί σε πλήρες ζεύγος ινών με σήματα που διαδίδονται και στις δύο κατευθύνσεις.

Όπως και στις ασκήσεις του εργαστηρίου ΕΙΔΙΚΑ ΘΕΜΑΤΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ “ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΜΕ ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ” θα δώσω διάφορες τιμές και θα λάβω αποτελέσματα τα οποία θα τα παρατηρήσω μέσω των διαθέσιμων οργάνων (Multiplot).

1. Το σύστημα οπτικής μετάδοσης

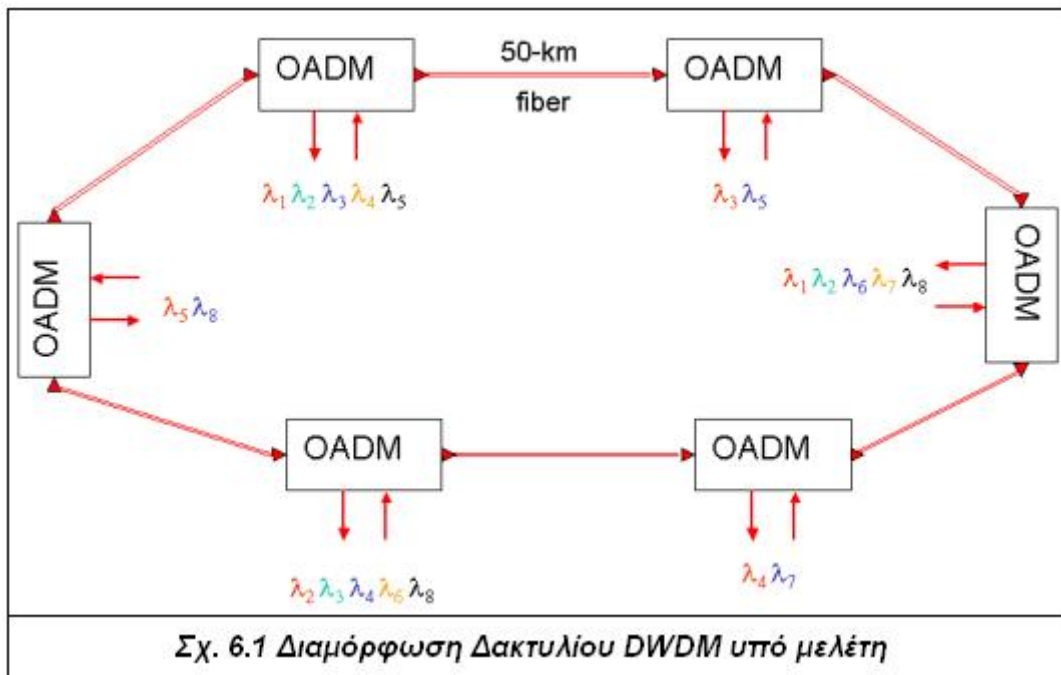
Ανοίγετε (OPEN) το Project:

- Από το μονοπάτι **E:\RSoft\examples\optsim\block_mode\WDM**
- Επιλέγοντας το Project **DWDM_ring_example.moml**

Αυτό το παράδειγμα δείχνει ένα σχέδιο του OptSim για Δακτύλιο πολυπλεξίας DWDM με οπτικούς πολυπλέκτες προσθήκης/ απομάστευσης (Add/ Drop Multiplexers OADM). Η διαμόρφωση του Δακτυλίου πολυπλεξίας DWDM φαίνεται στο παρακάτω σχήμα 6.1.

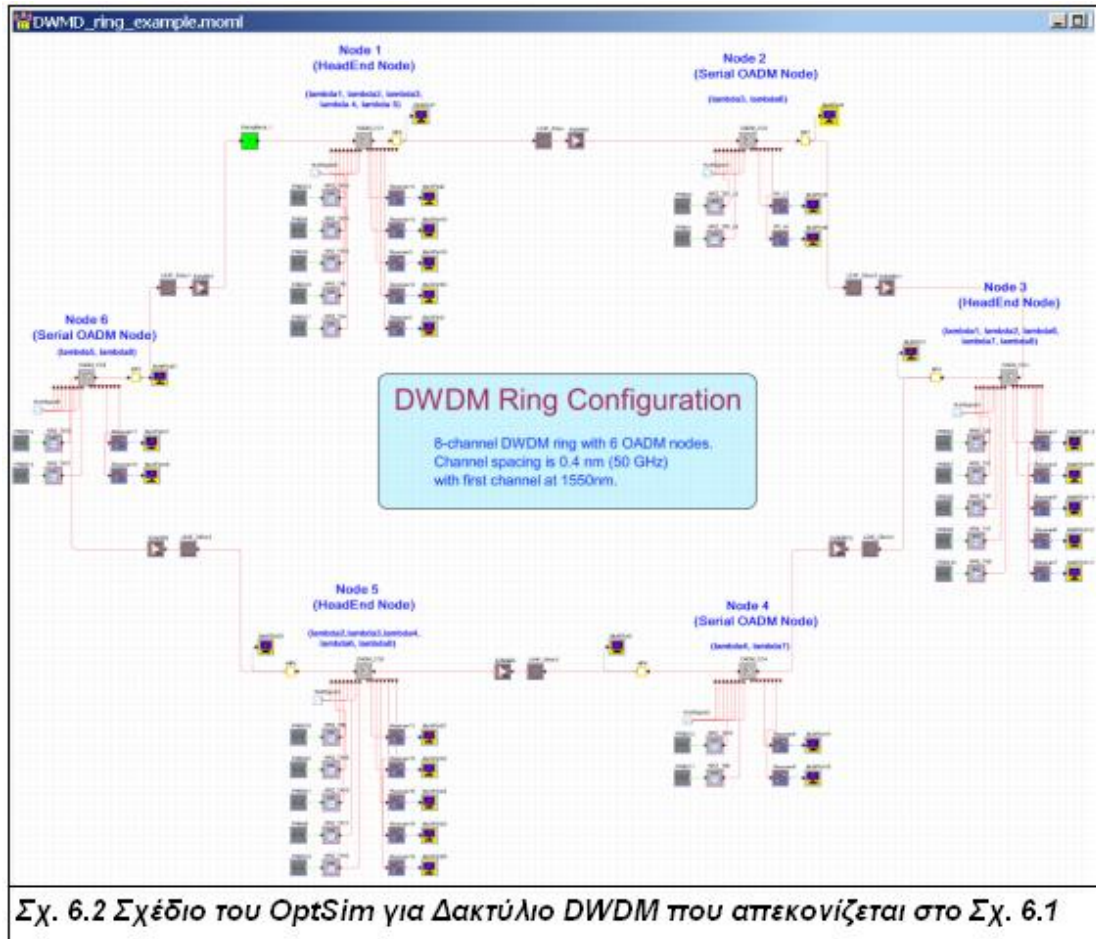
Ο Δακτύλιος πολυπλεξίας DWDM αποτελείται από έξι κόμβους και έξι ζεύξεις ινών. Ο συνολικός αριθμός των μηκών κύματος που χρησιμοποιείται είναι οκτώ, με τρεις head-end κόμβους προσθήκης/ απομάστευσης πέντε καναλιών τη φορά και τρεις σειριακούς κόμβους οπτικών πολυπλεκτών (OADM) δύο καναλιών.

Το σχήμα 6.2 παρουσιάζει ένα ισοδύναμο σχέδιο της διαμόρφωσης Δακτυλίου OC-192 του OptSim. Εδώ για ευκολία χρησιμοποιήθηκε μόνο μονής κατεύθυνσης σύνδεση ινών με σήματα που διαδίδονται με τη φορά του ρολογιού. Το παράδειγμα μπορεί να επεκταθεί σε πλήρη ζεύγος ινών και στις δύο κατευθύνσεις.

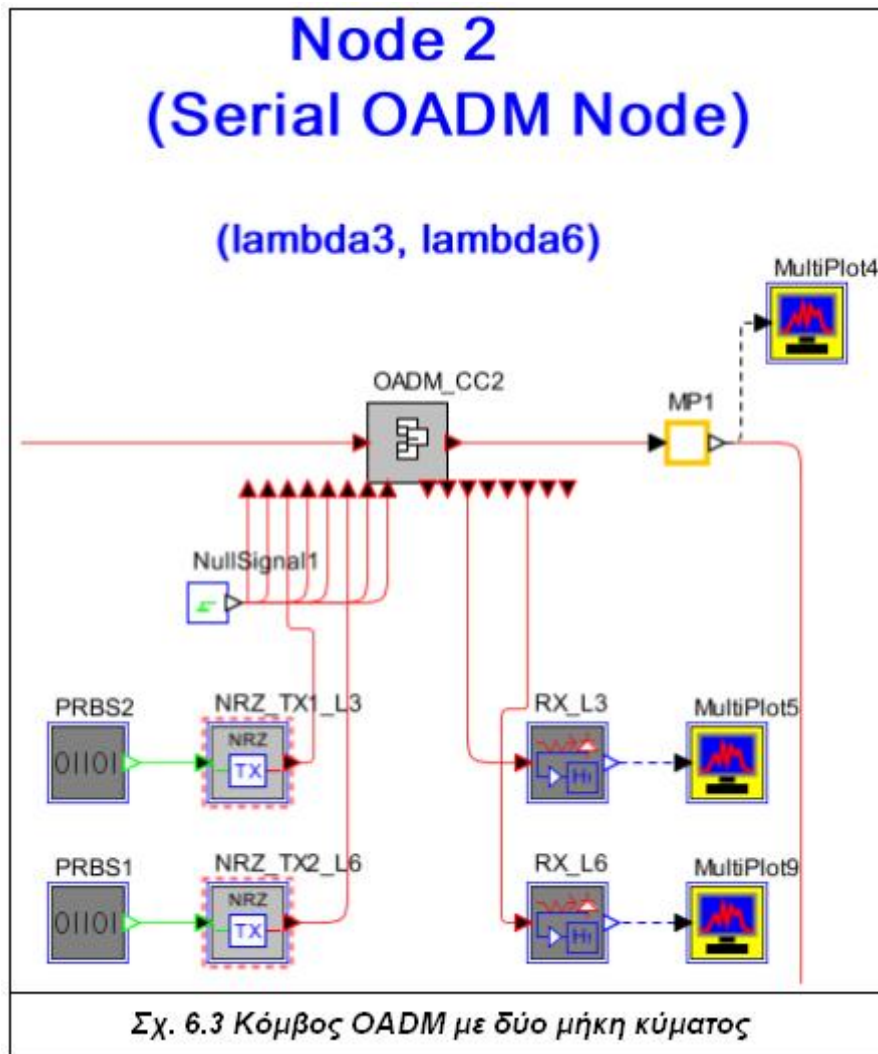


Σε αυτή την άσκηση μπορούμε να παρατηρήσουμε πως αποτελείται από έξι κόμβους πολυπλεκτών OADM συνδεδεμένους με συνδέσεις ινών καθορισμένου μήκους και τύπου ίνας (corning LEAF fiber). Για λόγους απλότητας υποθέτουμε ότι όλοι οι κόμβοι είναι σε ίση απόσταση και όλες οι συνδέσεις ινών έχουν απόσταση 50 χιλιόμετρα. Για να αντισταθμίσουμε την εξασθένηση της ίνας στις συνδέσεις, εισαγάγαμε ενισχυτές σταθερού κέρδους μετά από κάθε σύνδεση ινών. Η δύναμη ανά κανάλι των -9dBm χρησιμοποιείται σε πομπούς. Χρησιμοποιήθηκαν 8 μήκη κύματος στα 50 Hz (0.4 nm) απόστασης που ξεκινούν από 1550 nm μήκος κύματος. Μετά από κάθε κόμβο βάζουμε ένα μπλοκ, το Multiplot για να παρατηρήσουμε την εξέλιξη ενός οπτικού φάσματος κατά μήκος του δακτυλίου. Για να εκτελεστεί πλήρως η προσομοίωση του Δακτυλίου αντί της κλασσικής σύνδεσης σημείο προς σημείο χρησιμοποιείται ένα TimeDelay μπλοκ για να συνδέσει το σήμα από τον τελευταίο

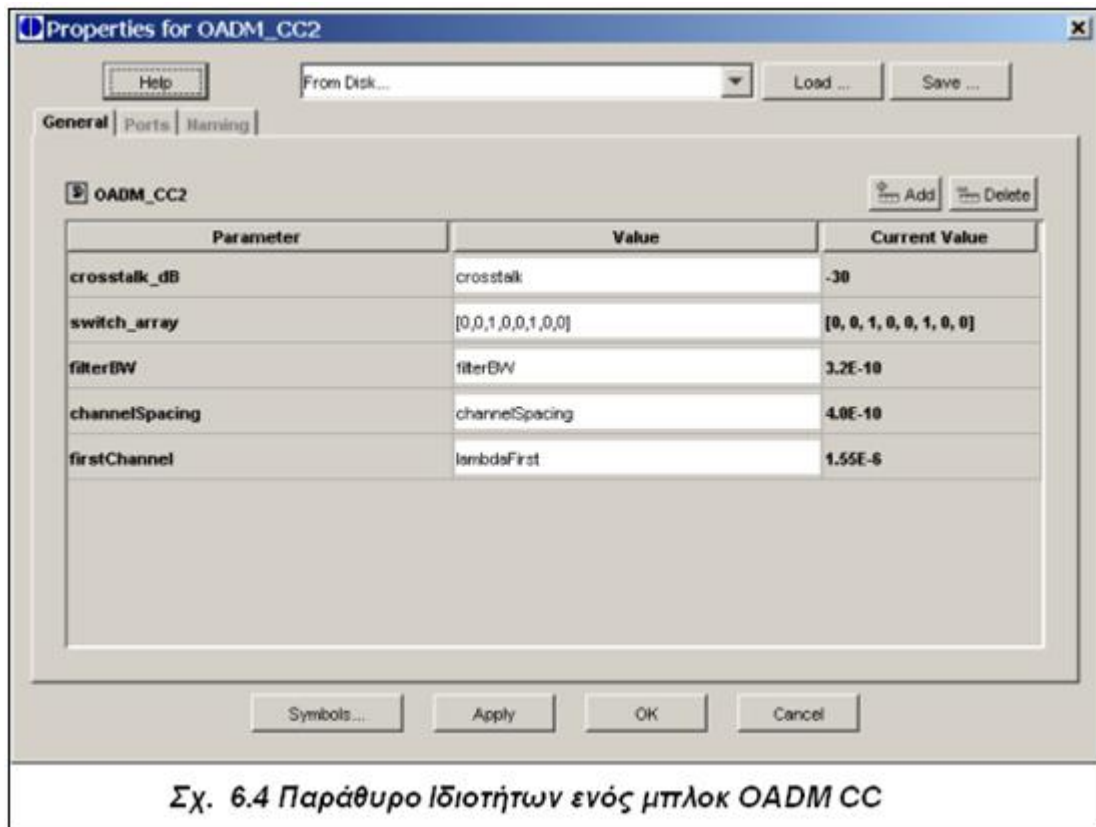
κόμβο πίσω στο πρώτο κόμβο και στη συνέχεια να χρησιμοποιείται για πολλαπλές επαναλήψεις για την λειτουργία των προσομοιώσεων. Με αυτό τον τρόπο μπορούμε να παρέχουμε μία λύση σταθερής κατάστασης για την προσομοίωση του Δακτυλίου.



Το σχήμα 6.3 δείχνει περισσότερες λεπτομέρειες ενός κόμβου OADM στο παράδειγμα του σειριακού OADM με δύο μήκη κύματος προσθήκης/ απομάστευσης σε λ3 και λ6. Το μπλοκ του OADM διαμορφώνεται ως σύνθετο μέρος (CC) ή ως ιεραρχικό μπλοκ. Κάθε OADM κόμβος έχει μία είσοδο και μία έξοδο για σήμα γραμμής (μέσα- έξω μεταφορά διασύνδεσης), επίσης οκτώ εισόδους/ εξόδους προσθήκης/ απομάστευσης μήκους κύματος. Εδώ έχουμε μονού καναλιού NRZ πομπούς διαμόρφωσης στα 10Gbps bitrate (OC-192 rate) συνδεδεμένους σε θύρες προσθήκης την τρία και την έξι. Δεδομένου ότι το OptSim απαιτεί όλες οι θύρες εισόδου CC μοντέλου να είναι συνδεδεμένες, χρησιμοποιούμε το μοντέλο NullSignal το οποίο συνδέεται και στις έξι θύρες. Στην έξοδο του CC μπορούμε να συνδέσουμε μόνο θύρες που μας συμφέρουν, σε αυτήν την περίπτωση τις θύρες τρία και έξι. Οι έξοδοι αυτών των θυρών είναι συνδεδεμένοι με οπτικούς δέκτες και με το μοντέλο MultiPlot το οποίο παρέχει σχεδιαγράμματα για κυματομορφή εξόδου ηλεκτρικού σήματος, φάσμα και το διάγραμμα ματιού.



Το μπλοκ του OADM CC μπορεί να καθοριστεί από τις ακόλουθες παραμέτρους: crosstalk level, switching configuration, first channel wavelength και channel spacing, optical filter bandwidth που χρησιμοποιείται σε αποπολυπλεξία. Το παράθυρο των ιδιοτήτων για το μπλοκ του OADM_CC2 φαίνεται στο σχήμα 6.4. Η διαμόρφωση μεταγωγής δίνεται ως μία συστοιχία N- μεγέθους (N είναι ένας αριθμός ενός καναλιού μέσα σε ένα link) όπου “1” σημαίνει για το κανάλι σε ποια θέση (port) θα πάει και το “0” για να περάσει το κανάλι. Για παράδειγμα, στην περίπτωση του κόμβου δύο όπου είμαστε adding/ dropping τις λ3 και λ6, ο διακόπτης σειράς δίνεται ως {0,0,1,0,0,1,0,0}.



2. Αναλυτική περιγραφή των δομικών στοιχείων

2.1 Multiplot à Multiplot_NRZ



Αυτό το μοντέλο συνδυάζει τις λειτουργίες πέντε blocks: του Signal Analyzer, του EyeDiagram Analyzer, του Spectrum Analyzer, του Chirp Analyzer και του Optical Autocorrelator. Από αυτά και στα πλαίσια της άσκησης αυτής θα χρησιμοποιήσω τον Αναλυτή Σήματος (Signal Analyzer) τον Αναλυτή Διαγράμματος Ματιού (EyeDiagram Analyzer) και τον Αναλυτή Φάσματος (Spectrum Analyzer) .

Τα σήματα που παραλαμβάνονται από αυτό το block μπορούν να επιδειχθούν χρησιμοποιώντας οποιαδήποτε από αυτές τις πέντε συσκευές ανάλυσης καθώς και να επιδειχθούν με διαφορετικές επιλογές οποιαδήποτε στιγμή. Το Multiplot είναι ποιο ευέλικτο από τα υπόλοιπα block διαγραμμάτων.

Χρήση: Κατά την δημιουργία της τοπολογίας, το Multiplot χρησιμοποιείται μάλλον όπως οποιοδήποτε από τα πέντε τυποποιημένα block συσκευών ανάλυσης, δεδομένου ότι ο κόμβος εισόδου του συνδέεται με οποιαδήποτε επιθυμητή πηγή παραγωγής.

2.2 EYE Diagram Analyzer à NRZ_RX



Το block διαγράμματος ματιών χρησιμοποιείται για να επιδείξει το διάγραμμα ματιών ενός σήματος στον κόμβο που συνδέεται στην είσοδό του. Εξ ορισμού, επιδεικνύει το μέγεθος των οπτικών σημάτων και την πραγματική τιμή των ηλεκτρικών σημάτων. Έχει επιλογές που επιτρέπουν στο χρήστη να μετατοπίσει το κέντρο του διαγράμματος ματιών στο παράθυρο διαγράμματος, να θέσει τον τίτλο του διαγράμματος και το όνομα αρχείου που πρόκειται να γραφτεί και να αποφασίσει εάν θα επιδείξει το ASE του οπτικού σήματος ή τον ηλεκτρικό θόρυβο του σήματος στο σχεδιασμένο διάγραμμα ματιών ή όχι.

2.3 Signal Analyzer à SigPlt1

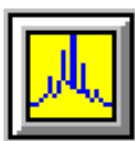


Το εξάρτημα του αναλυτή σήματος (Signal Analyzer) χρησιμοποιείται για την απεικόνιση των κυματομορφών του σήματος που συνδέεται στην είσοδό του. Υπάρχουν διάφορες ρυθμίσεις που επιτρέπουν στον χρήστη να επιλέξει την επιθυμητή απεικόνιση της κυματομορφής.

Ο χρήστης μπορεί να επιλέξει χρονική μετατόπιση της εκκίνησης του διαγράμματος, τον τίτλο του διαγράμματος, το όνομα του αρχείου στο οποίο θα αποθηκευτεί και να καθορίσει αν θα απεικονιστεί ο θόρυβος του ηλεκτρικού σήματος ή ο οπτικός θόρυβος ASE στο διάγραμμα ή όχι. Επιπλέον, ο χρήστης μπορεί να επιλέξει ανάμεσα σε διάφορων τύπων επιλογές απεικόνισης: απεικόνιση μόνο του μεγέθους του σήματος, απεικόνιση του μεγέθους και της φάσης σε ξεχωριστούς y άξονες, συνδυασμός της απεικόνισης του μεγέθους του οπτικού σήματος και της απεικόνισης της αυξομείωσης (chirp) της συχνότητας σε ξεχωριστούς y άξονες, συνδυασμός της απεικόνισης του μεγέθους του ηλεκτρικού σήματος και της απεικόνισης του θορύβου σε ξεχωριστούς y άξονες, ή σε ξεχωριστές πραγματικές και φανταστικές συνιστώσες.

Εξ ορισμού απεικονίζεται το μέγεθος των οπτικών σημάτων και το πραγματικό μέρος των ηλεκτρικών σημάτων. Ο οπτικός θόρυβος δεν απεικονίζεται με την ρουτίνα απεικόνισης του σήματος, έτσι ο τρόπος απεικόνισης του μεγέθους και του θορύβου αντιμετωπίζεται με τον ίδιο τρόπο όπως για τον τρόπο απεικόνισης του μεγέθους μόνο για τας οπτικά σήματα.

2.4 Signal Spectrum Analyzer à SpecPlt1



Το εξάρτημα του αναλυτή φάσματος του σήματος χρησιμοποιείται για την απεικόνιση του φάσματος του σήματος που συνδέεται σε μία από τις εισόδους του. Εκτός από το διάγραμμα του μεγέθους του φάσματος μπορεί να απεικονίζεται επιπλέον η φάση και η καθυστέρηση ομάδας.

Εξ ορισμού, απεικονίζεται το φάσμα στο πεδίο του μήκους κύματος ενός οπτικού σήματος και το φάσμα βασικής ζώνης ενός ηλεκτρικού σήματος.

Κατά την παρατήρηση του φάσματος του οπτικού σήματος (μόνο για την αναπαράσταση φάσματος ισχύος) σε συνάρτηση της συχνότητας ή του μήκους κύματος, ο χρήστης μπορεί να παρατηρήσει είτε το πλήρες οπτικό φάσμα που περιέχεται στην αναπαράσταση σήματος του OptSim, ή να μοντελοποιήσει την επίδραση ενός πραγματικού οπτικού αναλυτή φάσματος (optical spectrum analyzer, OSA) στο φάσμα του οπτικού σήματος πριν αυτό απεικονιστεί.

Ένας αναλυτής οπτικού φάσματος σε ένα εργαστήριο χρησιμοποιεί ένα συγκεκριμένο παράθυρο ενός τμήματος του φάσματος για την μέτρηση της οπτικής ισχύος που περιέχεται μέσα σε αυτό το παράθυρο. Το παράθυρο αυτό μπορεί να μοντελοποιηθεί όπως ένα οπτικό φίλτρο. Επιπλέον, υπάρχουν περιορισμοί στο πόσο μικρή μπορεί να είναι η ανιχνεύσιμη ισχύς. Αυτό ορίζεται ως ευαισθησία του OSA.

2.5 PRBS Pattern Generator à PRBS1



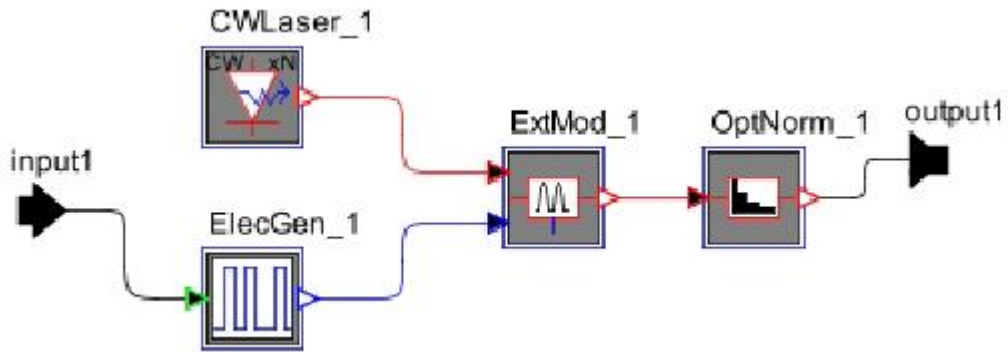
Το μοντέλο αυτό παράγει δυαδικές ακολουθίες διαφορετικών τύπων. Οι διαφορετικοί αυτοί τύποι περιγράφονται ανάλογα με το αντίστοιχο όνομα στην λίστα παραμέτρων χρήστη:

- PRBS: Παράγει μια μέγιστου μήκους ψευδοτυχαία δυαδική ακολουθία.
- Alternating: Παράγει μια σειρά bits από 0 και 1 που εναλλάσσονται.
- Single: Παράγει ένα μοναδικό 1 bit στο κέντρο μια σειράς από 0 bits.
- One: Παράγει μια σειρά από 1 bits.
- Zero: Παράγει μια σειρά από 0 bits.
- Custom: Παράγει μια ακολουθία bit όπως διευκρινίζεται από το χρήστη σε ένα αρχείο στοιχείων. Κάθε γραμμή πρέπει να περιέχει 8 δυαδικούς αριθμούς που χωρίζονται με διαστήματα. Κάθε bit αντιπροσωπεύεται ως είτε 0 είτε 1.

2.6 Non-Return-to-Zero (NRZ) Transmitter (NRZ_TX) à NRZ_TX1



Μοντελοποιεί το χωρίς-επιστροφή-στο-μηδέν (NRZ) διαμορφωμένο σήμα. Η εσωτερική τοπολογία είναι η ακόλουθη (δεξί κλικ – look inside):



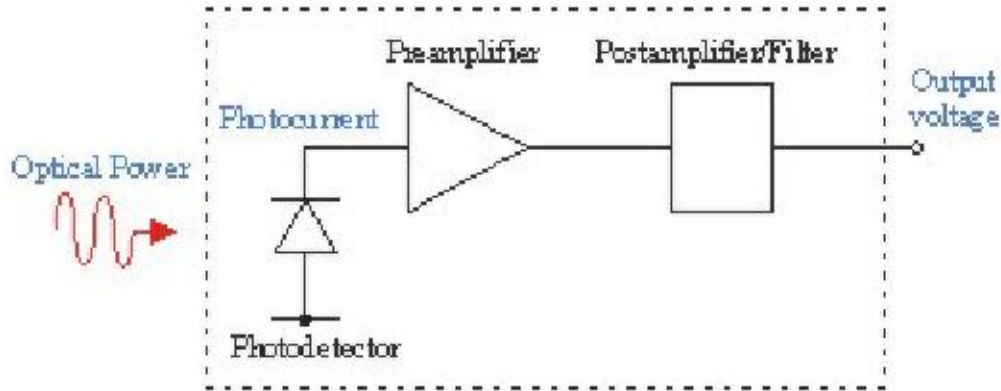
Στο Superblock περιέχονται: CW Laser, Electrical Signal Generator, External Modulator και Optical Normalizer. Οι παράμετροι των Superblocks είναι το μήκος κύματος και το RIN (που καθορίζεται στο λέιζερ CW), η ισχύς (που καθορίζεται στον Normalizer), ο χρόνος ανόδου/καθόδου για το σήμα NRZ και το ποσοστό δειγματοληψίας (pointsPerBit που καθορίζεται στη γεννήτρια ηλεκτρικών σημάτων), chirp και λόγος εξάλειψης (που καθορίζεται στο διαμορφωτή).

Η είσοδος στο superblock πρέπει να είναι μια γεννήτρια ακολουθίας bit και η έξοδος είναι το οπτικό σήμα που προωθείται στην ίνα ή άλλο οπτικό εξάρτημα.

2.7 Compound Optical Receiver à RX_NRZ



Μοντελοποιεί έναν οπτικό δέκτη και όλα τα τυποποιημένα μέρη του. Το πρότυπο οπτικού δέκτη του OptSim αποτελείται από διάφορες μεμονωμένες δομικές μονάδες: τον φωτοανιχνευτή, τον προενισχυτή, και τον συνδυασμό ενισχυτή που έπεται και φίλτρου.



Κάθε block είναι μια χωριστή οντότητα με τις παραμέτρους και τις επιλογές εισαγωγής του. Ο φωτοανιχνευτής (photodetector) μετατρέπει το οπτικό σήμα στην είσοδο σε ηλεκτρικό ρεύμα. Το ρεύμα αυτό οδηγείται στον προενισχυτή (preamplifier) που το μετατρέπει σε τάση. Τέλος, ο ενισχυτής που έπεται περιλαμβάνει ένα σύνολο ζωνοδιαβατών φίλτρων που μορφοποιούν τις κυματομορφές εξόδου ώστε να είναι κατάλληλες για επεξεργασία από το ψηφιακό σύστημα που ακολουθεί.

Στο οπτικό σήμα που λαμβάνει ο δέκτης στην είσοδό του έχει προστεθεί θόρυβος λόγω της διέλευσης από την οπτική ίνα, ενώ ταυτόχρονα προστίθεται και ο ενδογενής θόρυβος που παράγεται στα κυκλώματα του δέκτη. Έτσι η σχεδίασή του είναι ιδιαίτερα απαιτητική ώστε η συνολική εξασθένηση και παραμόρφωση του σήματος να είναι ελάχιστη. Το μοντέλο υπολογίζει επίσης τις συνιστώσες θορύβου του οπτικού δέκτη.

2.8 Fork à MP1



Το εξάρτημα αυτό χρησιμοποιείται για να αναπαραστήσει τη διαίρεση του σήματος εισόδου σε περισσότερα από ένα μέρη χωρίς απώλειες.

Είσοδοι

#1: Σήμα οποιουδήποτε τύπου

Έξοδοι

#N: Σήμα οποιουδήποτε τύπου

2.9 Nonlinear Fiber à Leaf



Το μοντέλο αυτό παρέχει μια λεπτομερή υλοποίηση της διάδοσης ενός ή περισσοτέρων οπτικών καναλιών σε μονότροπη οπτική ίνα. Λαμβάνεται υπόψη η εξασθένηση, η χρωματική διασπορά, η modal διασπορά και οι μη γραμμικότητες συμπεριλαμβανομένης της επίδρασης Raman. Λαμβάνει επίσης υπόψη τη μίξη τεσσάρων κυμάτων όταν χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τον τρόπο λειτουργίας Single-Channel του διαμορφωτή (πριν το μοντέλο της οπτικής ίνας).

Φαινόμενα όπως η επίδραση της διάδοσης και προς τις δυο κατευθύνσεις (Bi-directional effects), και ειδικά η ενίσχυση Raman, πρέπει να μοντελοποιούνται με χρήση του Bidirectional Nonlinear Fiber Model.

Εξασθένηση

Χρησιμοποιώντας την παράμετρο `loss_method`, οι απώλειες της οπτικής ίνας μπορούν να καθοριστούν είτε σαν μια σταθερή τιμή είτε σαν μια οριζόμενη από τον χρήστη. **Η σταθερή τιμή ορίζεται με την παράμετρο `loss`.** Η οριζόμενη από τον χρήστη κατανομή αποθηκεύεται σε αρχείο με όνομα `loss_filename`. Και για τις δύο μεθόδους, οι απώλειες ορίζονται σε dB/km. Προτείνεται η χρήση κατανομών εξαρτημένων από την συχνότητα για όλες τις ευρυζωνικές ή τις WDM εξομοιώσεις.

Είσοδοι

#1: Οπτικό σήμα

Έξοδοι

#1: Οπτικό σήμα

2.10 Black Box Optical Amplifier à Edfa BB



Αυτό το μοντέλο παρέχει έναν οπτικό ενισχυτή ως ένα μαύρο κουτί, όπως έναν ενισχυτή (EDFA). Υπάρχουν δύο τύποι οπτικών μοντέλων ενισχυτών κέρδους στο μαύρο κουτί: το καθορισμένο μοντέλο (Defined model) και το προσαρμοσμένο μοντέλο (Custom model). Υπάρχουν επίσης διάφοροι τύποι μοντέλων ενισχυτή οπτικού θορύβου: το μοντέλο Uniform, το μοντέλο Gaussian και το Custom μοντέλο.

Μοντέλο καθορισμένου κέρδους

Στο μοντέλο καθορισμένου κέρδους, οι διακυμάνσεις κέρδους με το μήκος κύματος ενός οπτικού ενισχυτή δεν περιλαμβάνονται. Αυτό είναι χαριστικό διότι η ομαλότητα του κέρδους εξαρτάται από το επίπεδο του κορεσμού του ενισχυτή και αυτό προκαλεί προστιθέμενες περιπλοκές στο μοντέλο. Η ομαλότητα του κέρδους θα είναι ένας σημαντικός παράγοντας, στα συστήματα προτύπου WDM.

Ο κορεσμός του κέρδους σε υψηλή εισροή ισχύος που περιλαμβάνεται σε αυτό το μοντέλο, με την απολαβή ισχύος που ορίζεται ως,

$$G = \frac{G_0}{1 + G_0 \frac{P_{ave}}{P_{sat}}}$$

όπου G_0 (**gain**) είναι το μικρό σήμα του κέρδους της ισχύος, P_{sat} (**Psat**) είναι ο κορεσμός της ισχύος εξόδου και P_{ave} είναι ο συνολικός μέσος όρος της ισχύος στην ίνα.

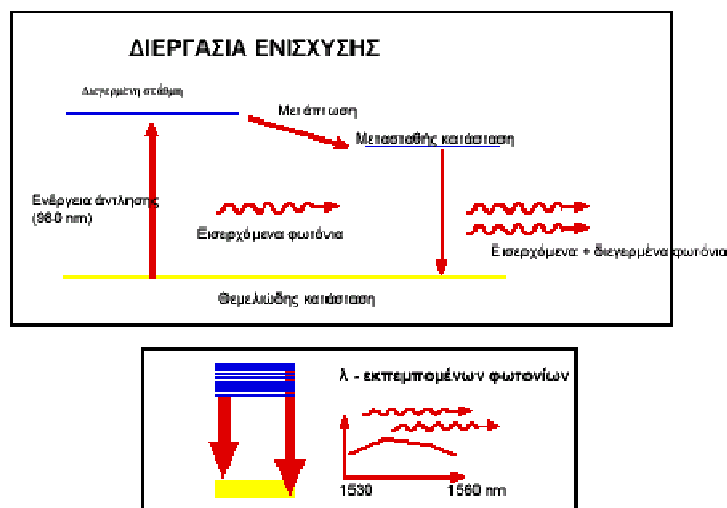
Ινο-Οπτικός Ενισχυτής Ερβίου (EDFA)

Οι οπτικοί ενισχυτές που χρησιμοποιούνται σήμερα στα ινοοπτικά δίκτυα είναι Ινο- Οπτικοί Ενισχυτές Ερβίου (Erbium-Doped Fibre Amplifiers - EDFAs). Το βασικό στοιχείο των ενισχυτών αυτών είναι μια οπτική ίνα, μήκους μερικών δεκάδων μέτρων, της οποίας ο πυρήνας είναι νοθευμένος με ιόντα Ερβίου. Όταν η ίνα αυτή τροφοδοτηθεί με τη δέσμη ενός laser άντλησης (pump laser), με τη «μεσολάβηση» των ιόντων Ερβίου, ξεκινάει μια διεργασία «αναστροφής πληθυσμών», η οποία οδηγεί σε (αμιγώς οπτική) ενίσχυση των πολυπλεγμένων οπτικών σημάτων. Λόγω του ότι, στους συνήθεις EDFAs, η οπτική ενίσχυση, επιτελείται στην περιοχή 1525 - 1565 nm, οι ζεύξεις WDM λειτουργούν στο οπτικό παράθυρο των 1550 nm.

Ο μηχανισμός της οπτικής ενίσχυσης στους EDFAs απεικονίζεται στο σχήμα 5.5. Λόγω της παρουσίας των ιόντων Ερβίου στο υλικό της ίνας ενίσχυσης, δημιουργείται μια δομή τριών ενεργειακών ζωνών, με ενεργειακές διαφορές ΔE_{12} και ΔE_{31} , τέτοιες ώστε τα αντίστοιχα μήκη κύματος $\lambda_{12} = hc/\Delta E_{12}$ και $\lambda_{31} = hc/\Delta E_{31}$ να είναι ίσα με 980 nm και 1525 - 1565 nm αντίστοιχα. (Ως γνωστόν, ενεργειακή διαφορά ΔE αντιστοιχεί σε φωτόνια συχνότητας f (αντίστοιχα, μήκους κύματος $\lambda=c/f$), μέσω του τύπου $\Delta E = hf = hc/\lambda$, όπου h είναι η σταθερά του Planck).

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

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 5.4, η διεργασία άντλησης μπορεί να πραγματοποιηθεί και με laser μήκους κύματος 1480 nm (τα φωτόνια «μεταφέρονται» απευθείας στην ενδιάμεση μετασταθή ζώνη). Πράγματι, lasers άντλησης 1480 nm χρησιμοποιούνται στους ενισχυτές ίνας Ερβίου, προσφέροντας μεγαλύτερες ενισχύσεις αλλά και υψηλότερο θόρυβο.



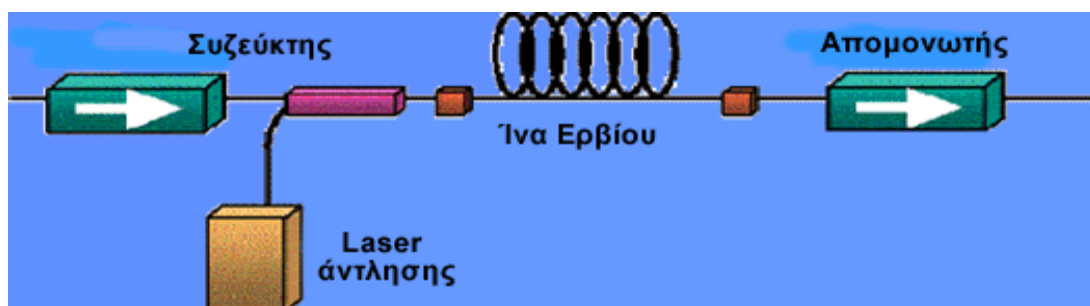
Σχήμα.
Μηχανισμός Οπτικής Ενίσχυσης Ερβίου

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

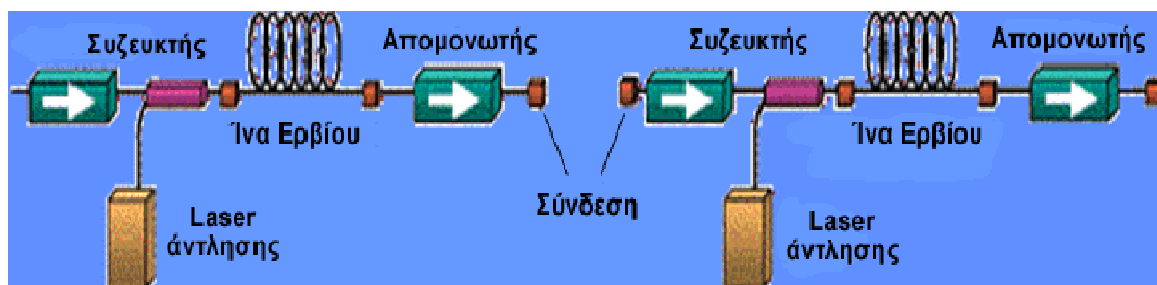
Σε ότι αφορά τη θέση των οπτικών ενισχυτών σε μία ζεύξη WDM, διακρίνονται οι εξής περιπτώσεις:

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

Η βασική διάταξη ενός Ινο-Οπτικού Ενισχυτή Ερβίου φαίνεται στο σχήμα 5.6 . Στο σχήμα 5.7 φαίνεται η ενίσχυση με δύο βαθμίδες, η οποία επιτυγχάνει ενίσχυση με χαμηλό θόρυβο στην πρώτη βαθμίδα και μεγαλύτερη ενίσχυση στην δεύτερη.



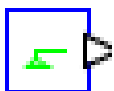
Σχήμα.
Βασική σχεδίαση Ινο-Οπτικού Ενισχυτή Ερβίου



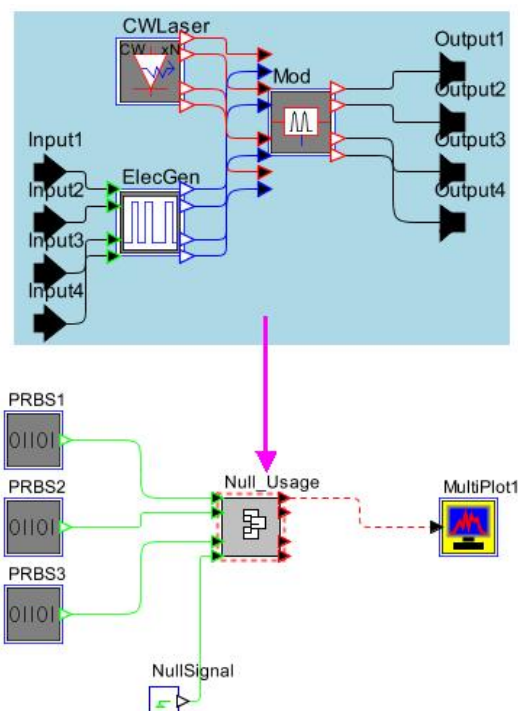
Σχήμα.
Ενίσχυση με δύο βαθμίδες

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

2.11 Null Signal Block à Null Signal



Όταν δεν χρησιμοποιούνται όλες οι θύρες εισόδου ενός σύνθετου μέρους, στον κυρίως φάκελο του έργου, το OptSim εκδίδει ένα μήνυμα σφάλματος. Για παράδειγμα, εάν το σύνθετο μέρος είναι ένας πομπός 4-καναλιών, αλλά το κύριο πρόγραμμα χρειάζεται μόνο, ας πούμε, τρία από τα τέσσερα αυτά κανάλια, το null μπλοκ σήματος πρέπει να συνδεθεί με την τέταρτη μη-χρησιμοποιημένη θύρα εισόδου του σύνθετου μέρους για να εκπληρώσει την απαίτηση του προγραμματισμού. Το ακόλουθο σχήμα απεικονίζει τη χρήση και το σκοπό του. Ένα ενιαίο μπλοκ μηδενικού σήματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να τροφοδοτήσει πολλές θύρες εισόδου σε διαφορετικά σημεία του σχήματος. Το μοντέλο δεν έχει παραμέτρους.



ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Αρχικές τιμές 1^{ης} ζεύξης 50 χλμ, πρώτου κόμβου:

- *PRBS*
 - Τύπος γεννήτριας = PRBS
 - Bit rate = 10Gbps
- *LEAF_50*
 - Μήκος ζεύξης = 50 Km,
 - Εξασθένιση ίνας (Loss) = 0.25 dB/Km
- *EdfaBB*
 - Τύπος ενισχυτή (type) = defined
- *OADM*
 - Crosstalk_dB = crosstalk -30

Αρχικές τιμές 2^{ης} ζεύξης 50 χλμ, δεύτερου κόμβου:

- Ομοίως με προηγούμενες
- Μήκος Ζεύξης 50Km

Αρχικές τιμές 3^{ης} ζεύξης 50 χλμ, τρίτου κόμβου:

- Ομοίως με προηγούμενες
- Μήκος Ζεύξης 50Km

Αρχικές τιμές 3^{ης} ζεύξης 50 χλμ, τρίτου κόμβου:

- Ομοίως με προηγούμενες
- Μήκος Ζεύξης 50Km

Αρχικές τιμές 4^{ης} ζεύξης 50 χλμ, τέταρτου κόμβου:

- Ομοίως με προηγούμενες
- Μήκος Ζεύξης 50Km

Αρχικές τιμές 5^{ης} ζεύξης 50 χλμ, πέμπτου κόμβου:

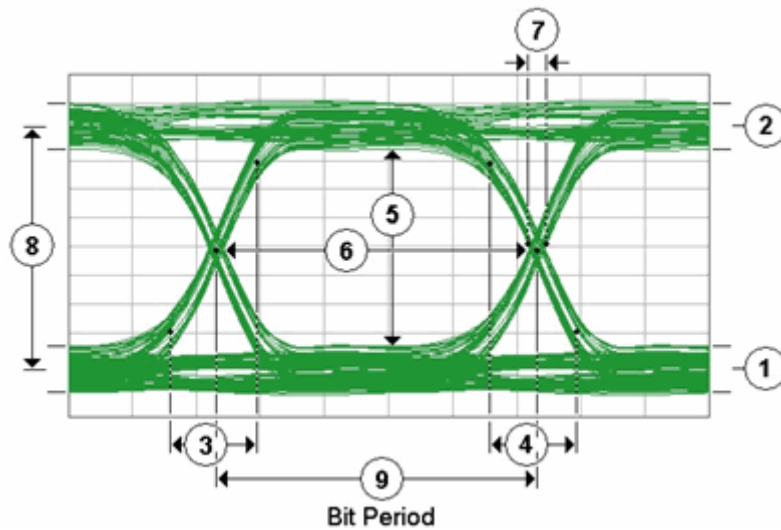
- Ομοίως με προηγούμενες
- Μήκος Ζεύξης 50Km

Αρχικές τιμές 6^{ης} ζεύξης 50 χλμ, έκτου κόμβου:

- Ομοίως με προηγούμενες
- Μήκος Ζεύξης 50Km

ΚΑΤΑΝΟΗΣΗ ΤΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΜΑΤΙΟΥ- ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Το Διάγραμμα Ματιού



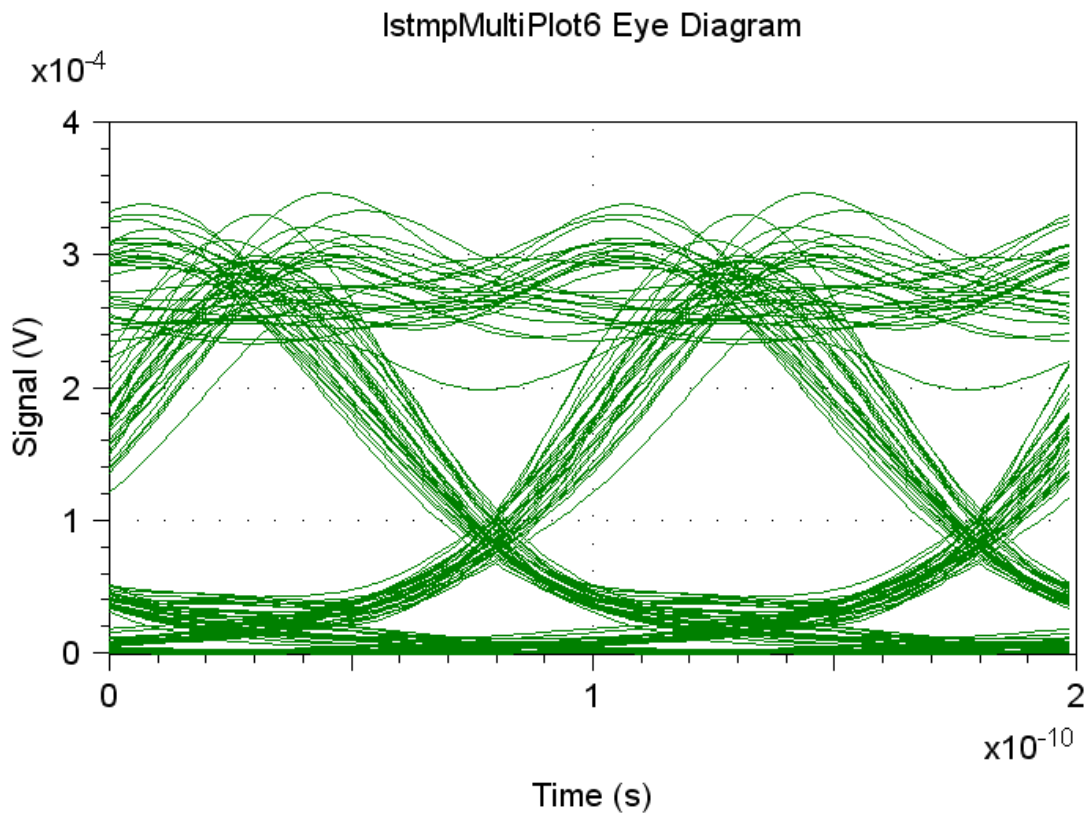
1 Επίπεδο '0'	Μηδενικό επίπεδο είναι ένα μέτρο της μέσης τιμής του λογικού 0 του διαγράμματος οφθαλμού.
2 Επίπεδο '1'	Ένα επίπεδο είναι ένα μέτρο της μέσης τιμής του λογικού 1 του διαγράμματος οφθαλμού.
3 Χρόνος ανόδου	Χρόνος ανόδου είναι ένα μέτρο του χρόνου μετάβασης των δεδομένων από το επίπεδο του 10%, στο επίπεδο του 90% για την προς τα άνω κλίση ενός διαγράμματος οφθαλμού.
4 Χρόνος καθόδου	Χρόνος καθόδου είναι ένα μέτρο του χρόνου μετάβασης των δεδομένων από το επίπεδο του 90%, στο επίπεδο του 10% για την καθοδική κλίση ενός διαγράμματος οφθαλμού.
5 Ύψος ματιού	Ύψος ματιού είναι ένα μέτρο του κάθετου ανοίγματος ενός διαγράμματος οφθαλμού. Ένα ιδανικό άνοιγμα του ματιού θα πρέπει να μετράται από το επίπεδο '1' στο επίπεδο '0'. Ωστόσο, ο θόρυβος στο μάτι θα προκαλέσει το μάτι να κλείσει. Η μέτρηση του ύψους του ματιού καθορίζει το κλείσιμο των ματιού λόγω του θορύβου.
6 Πλάτος ματιού	Πλάτος ματιού είναι ένα μέτρο του οριζόντιου ανοίγματος ενός διαγράμματος οφθαλμού. Ιδανικά, το πλάτος ματιού θα μπορούσε να μετρηθεί μεταξύ των σημείων διέλευσης του οφθαλμού. Ωστόσο, το jitter μπορεί να εμφανίζεται στην κυματομορφή και να επηρεάσει το άνοιγμα του ματιού.

7 Ορισμός Jitter	Jitter είναι η απόκλιση της μετάβασης από τον ιδανικό χρόνο που έχει προκληθεί από τις αντανακλάσεις που σχετίζονται με άλλες μεταβάσεις.
8 Εύρος-πλάτος ματιού	Το πλάτος ματιού είναι η διαφορά ανάμεσα στο λογικό επίπεδο '1' και το λογικό επίπεδο '0' ενός ιστογράμματος διαγράμματος οφθαλμού μέσω τιμών.
9 Bit Rate	Ο ρυθμός bit (ρυθμός δεδομένων) είναι το αντίστροφο της περιόδου ψηφίων (1 / bit period). Η περίοδος bit είναι ένα μέτρο του οριζόντιου ανοίγματος ενός διαγράμματος ματιού στα σημεία διέλευσης του οφθαλμού.

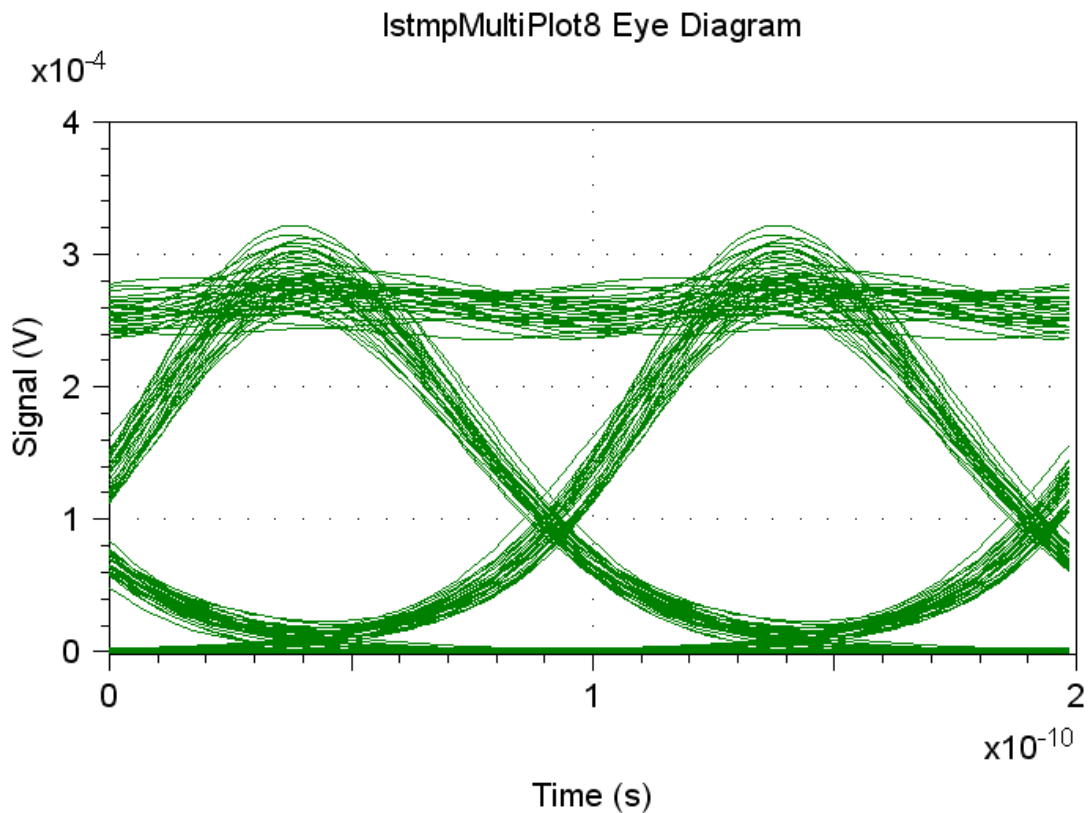
Τρέχοντας την εξομοίωση, θα μελετήσω τα διαγράμματα ματιού ενός μόνο σήματος από τα οκτώ μέσα στο βρόχο και συγκεκριμένα το οπτικό σήμα λ1. Έχοντας τις αρχικές παραμέτρους παίρνω για το λ1:

- **Μήκος ζεύξεων 50 Km**

- **NODE 1**



○ **NODE 3**



Στα Διαγράμματα αναμένουμε μια διαφορά η οποία προέρχεται από την διαφορά στην απόσταση που διανύθηκε πριν 'πέσει' το κανάλι-σήμα (μέσα στον πολυπλέκτη) και από τη διαφορά της αθροιστικής διασποράς αυτών των καναλιών. Συγκεκριμένα το κανάλι λ1 στον κόμβο 1 είναι μετά από 200 Km ερχόμενο από τον κόμβο 3 και το κανάλι στον κόμβο 3 είναι μετά από 100 Km ερχόμενο από τον κόμβο 1. Έτσι το διάγραμμα ματιού του οπτικού σήματος λ1 στον κόμβο 3 (multiplot8) είναι καλύτερο από αυτό του κόμβου 1 (multiplot6).

Αναλύοντας τα διαγράμματα έχω:

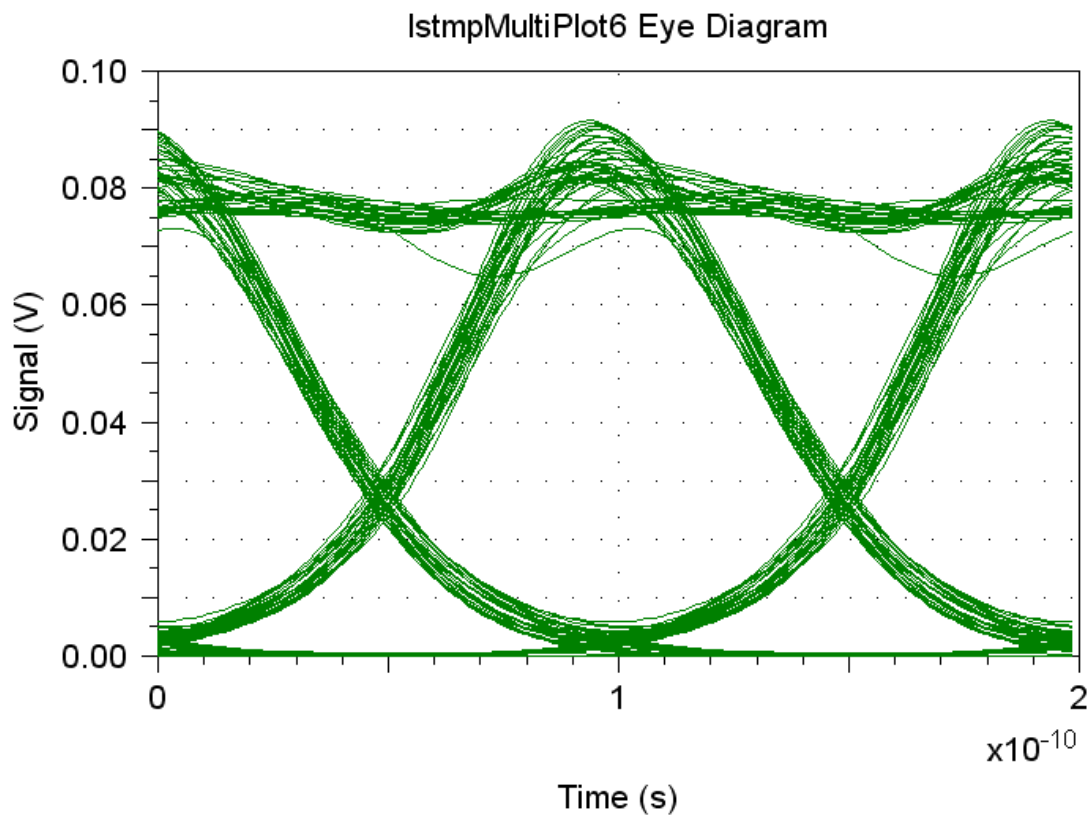
λ1	Κόμβος 1	Κόμβος 3
1 (V)	$0,5 \times 10^{-4}$	$0,3 \times 10^{-4}$
2 (V)	$0,9 \times 10^{-4}$	$0,4 \times 10^{-4}$
3 (sec)	$0,6 \times 10^{-10}$	$0,8 \times 10^{-10}$
4 (sec)	$0,6 \times 10^{-10}$	$0,8 \times 10^{-10}$
5 (V)	$2,2 \times 10^{-4}$	$2,6 \times 10^{-4}$
6 (sec)	$0,85 \times 10^{-10}$	$0,9 \times 10^{-10}$
7 (sec)	$0,1 \times 10^{-10}$	$0,1 \times 10^{-10}$
8 (V)	$2,6 \times 10^{-4}$	$2,4 \times 10^{-4}$
9 (sec)	1×10^{-10}	1×10^{-10}

Στον κόμβο 3 έχω λιγότερο θόρυβο και μεγαλύτερο ύψος ματιού.

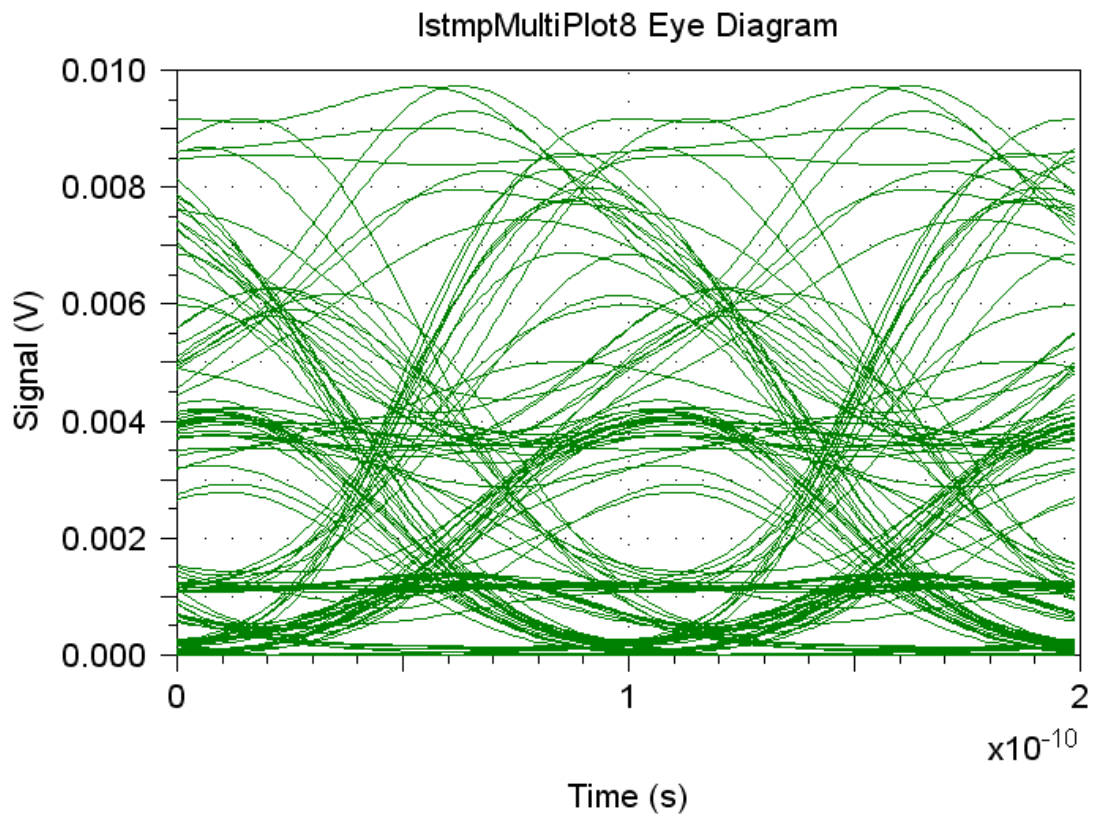
■ **Μήκος ζεύξεων 25 Km**

Υποδιπλασιάζοντας σε αυτή τη περίπτωση τα χιλιόμετρα σε κάθε ζεύξη, σημαίνει πως τώρα στον κόμβο 1 το οπτικό σήμα είναι μετά από 100 Km ερχόμενο από τον κόμβο 3 και στον κόμβο 3, το οπτικό σήμα είναι μετά από 50 Km.

○ **NODE 1**



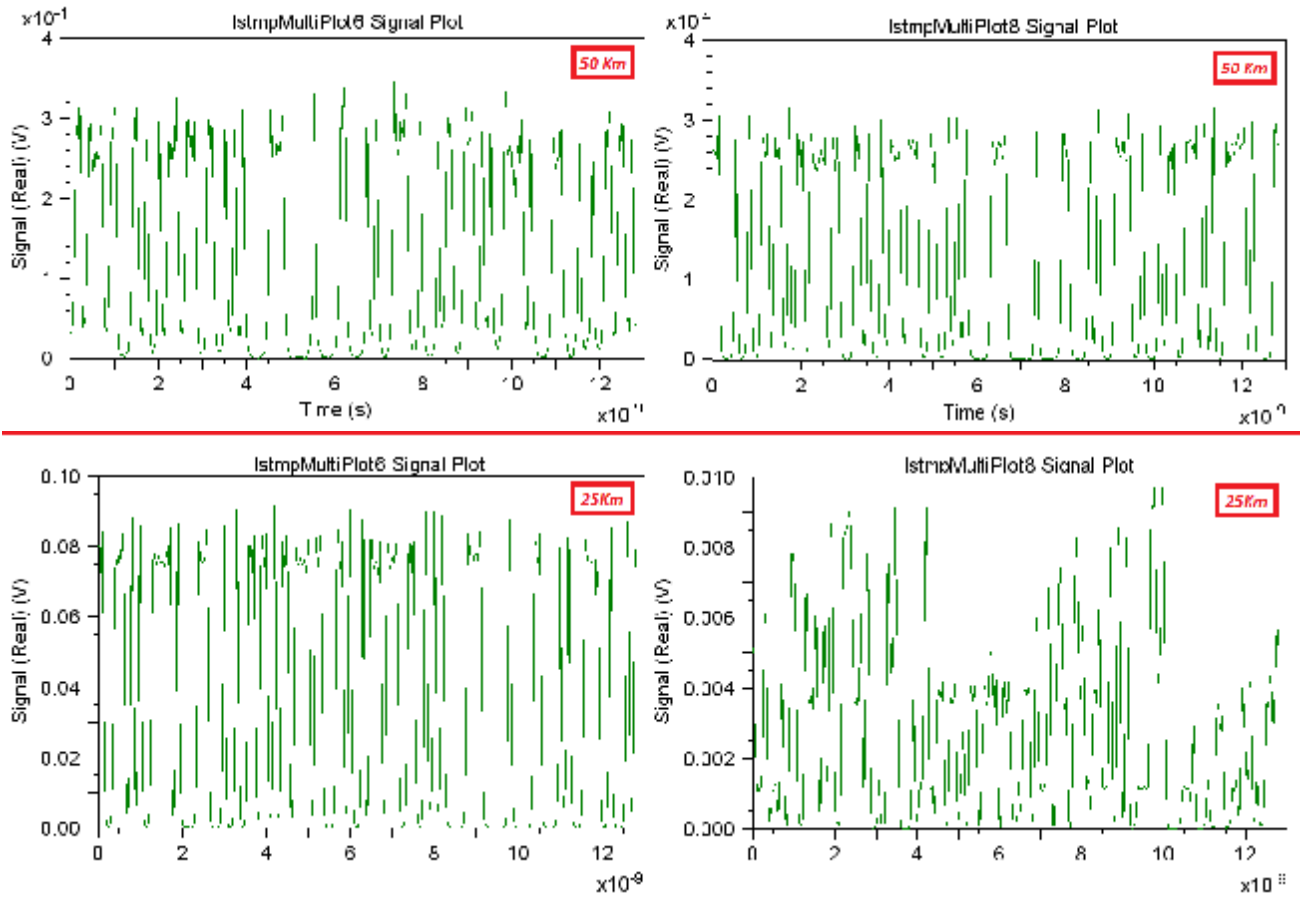
○ **NODE 3**



Σε αυτό το παράδειγμα, στον κόμβο 1 παίρνω ένα καλό διάγραμμα ματιού, το πλάτος και το ύψος του ματιού μεγαλώνει και οι χρόνοι ανόδου-καθόδου είναι ίδιοι. Αντίθετα με τον κόμβο 3 όπου το σήμα έχει χειροτερέψει πολύ, και δεν μπορούμε να πάρουμε πληροφορίες.

λ1	Κόμβος 1	Κόμβος 3
1 (V)	5×10^{-3}	Δεν μπορούμε να πάρουμε πληροφορία.
2 (V)	0,015	
3 (sec)	0.8×10^{-10}	
4 (sec)	0.8×10^{-10}	
5 (V)	0,07	
6 (sec)	0.9×10^{-10}	
7 (sec)	0,7	
8 (V)	0,08	
9 (sec)	1×10^{-10}	

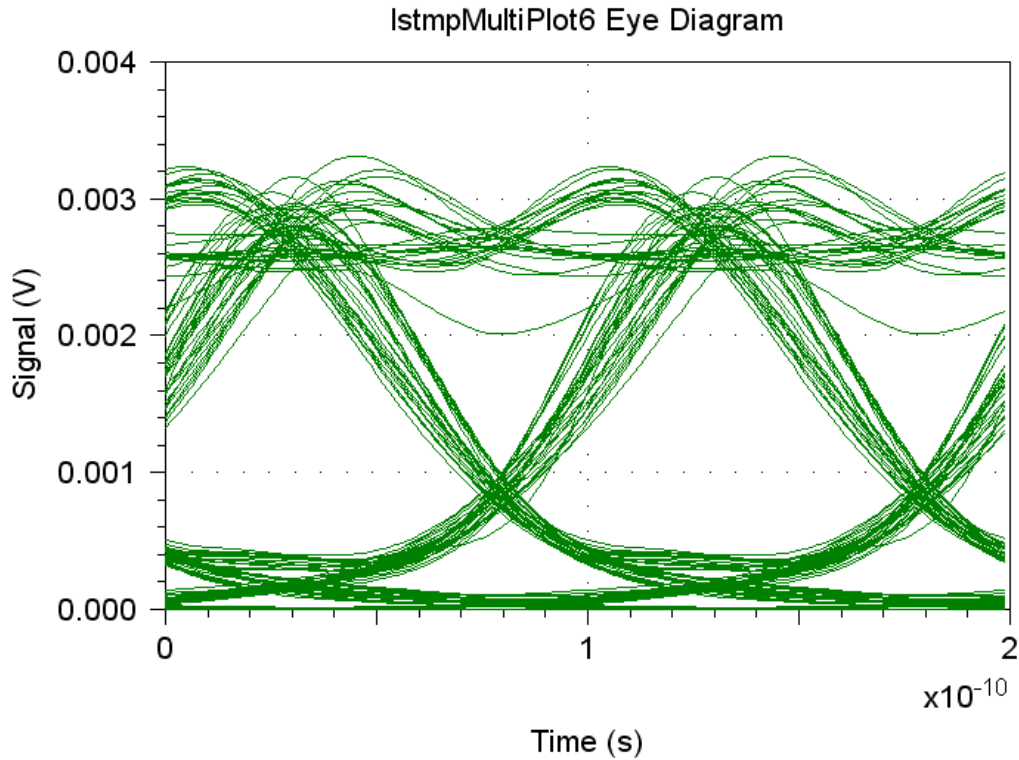
Παρατηρώ και την πραγματική παλμοσειρά εξόδου από τον δέκτη και βλέπω πως για μήκος ζεύξεων 50 Km παίρνω το ίδιο σήμα στην έξοδο (περίπου $3,4 \times 10^{-4}$ V). Όταν μειώνω το μήκος των ζεύξεων στα 25 Km σε όλο το βρόχο στην πραγματική παλμοσειρά παρατηρώ αύξηση (περίπου 0,09 V στον κόμβο 1 και 0,009 V στον κόμβο 3).



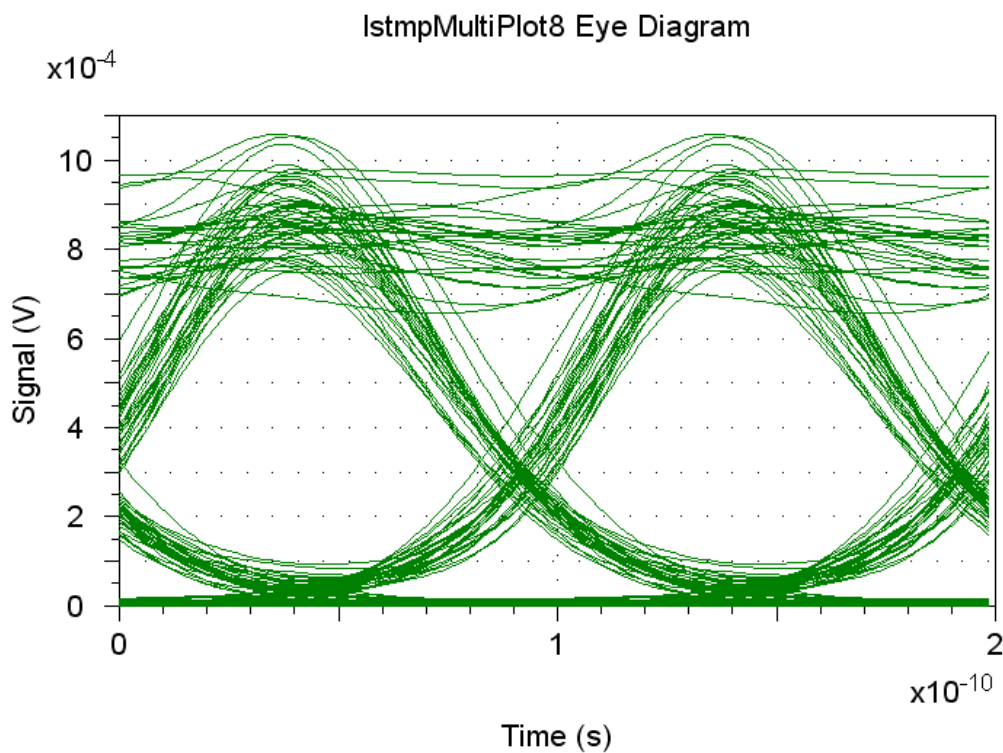
■ **Μήκος ζεύξεων 50 Km**

Σε αυτή την περίπτωση έχουμε πάλι μήκος ζεύξεων 50 Km αλλά έχουμε μειώσει την εξασθένιση της οπτικής ίνας από 0,25 dB/Km στα 0,2 dB/Km.

○ **NODE 1**



○ **NODE 3**

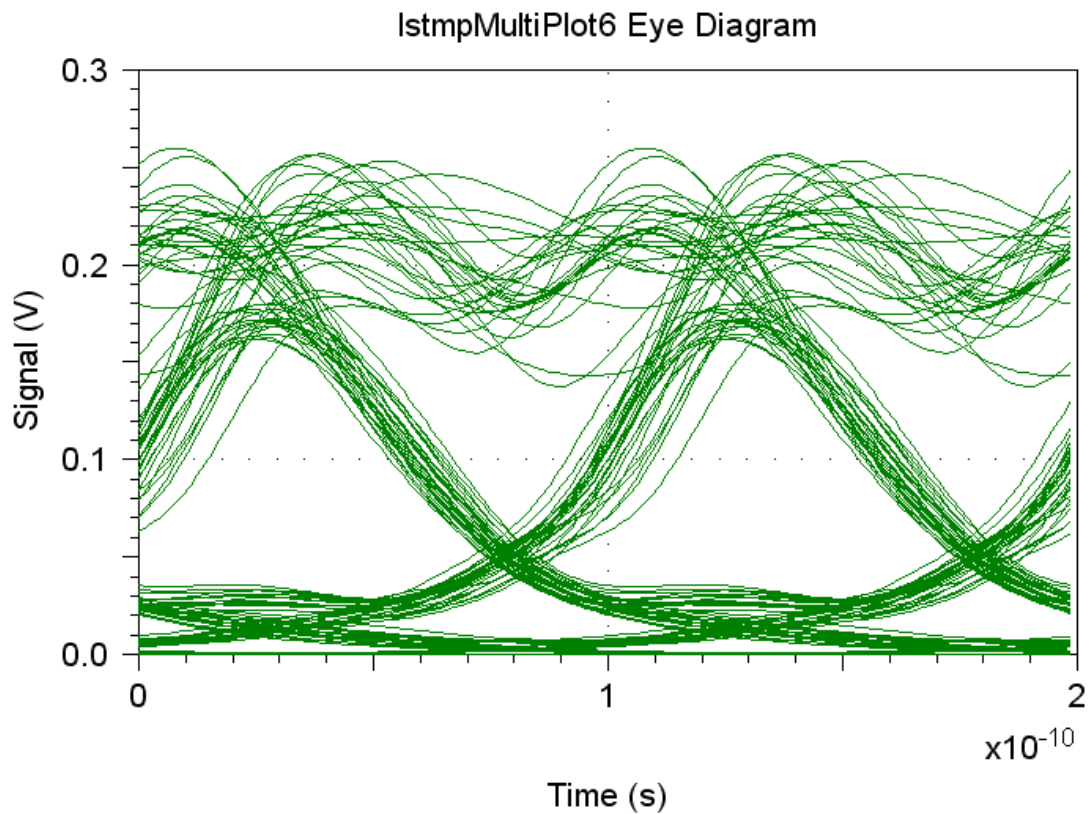


$\lambda 1$	Κόμβος 1	Κόμβος 3
1 (V)	$1,2 \times 10^{-3}$	$2,4 \times 10^{-3}$
2 (V)	$1,6 \times 10^{-3}$	4×10^{-3}
3 (sec)	$0,65 \times 10^{-10}$	$0,7 \times 10^{-10}$
4 (sec)	$0,6 \times 10^{-10}$	$0,7 \times 10^{-10}$
5 (V)	$3,8 \times 10^{-3}$	0,01
6 (sec)	$0,9 \times 10^{-10}$	8×10^{-10}
7 (sec)	$0,15 \times 10^{-10}$	$0,2 \times 10^{-10}$
8 (V)	$5,2 \times 10^{-3}$	$0,013 \times 10^{-4}$
9 (sec)	1×10^{-10}	1×10^{-10}

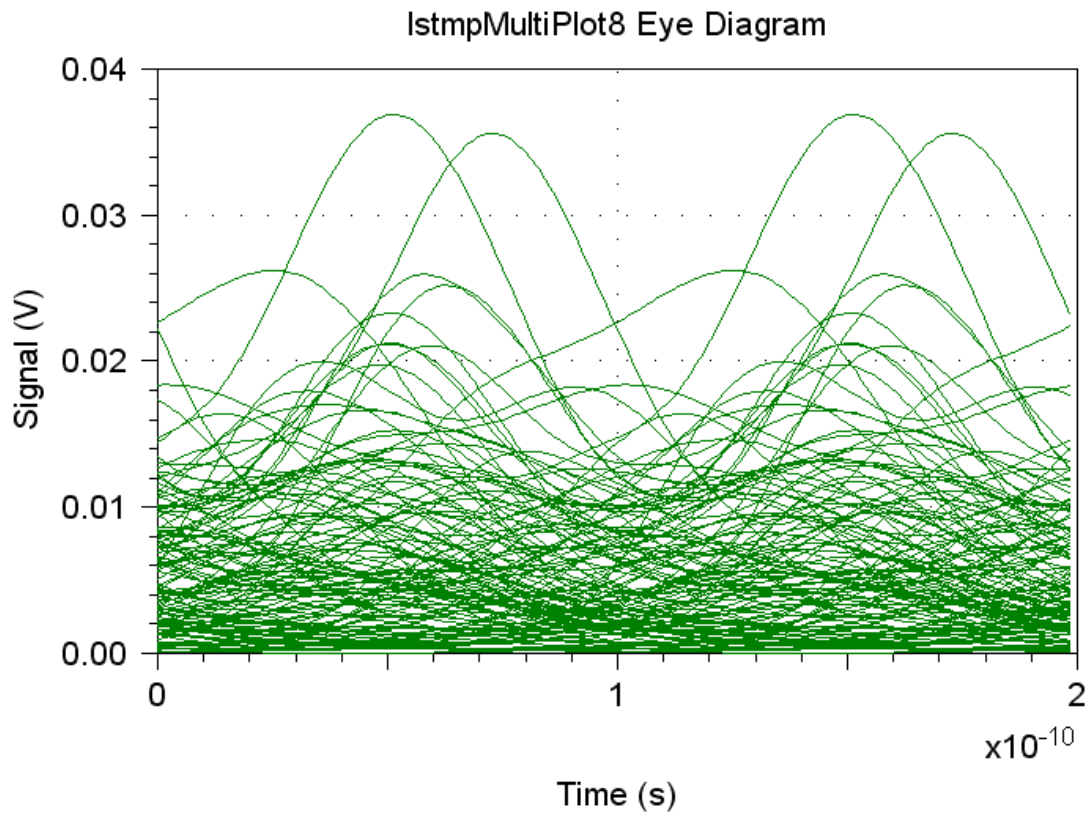
■ **Μήκος ζεύξεων 50 Km**

Σε αυτή την περίπτωση έχουμε πάλι μήκος ζεύξεων 50 Km αλλά έχουμε μειώσει την εξασθένηση της οπτικής ίνας από 0,25 dB/Km στα 0,1 dB/Km.

○ **NODE 1**



○ **NODE 3**

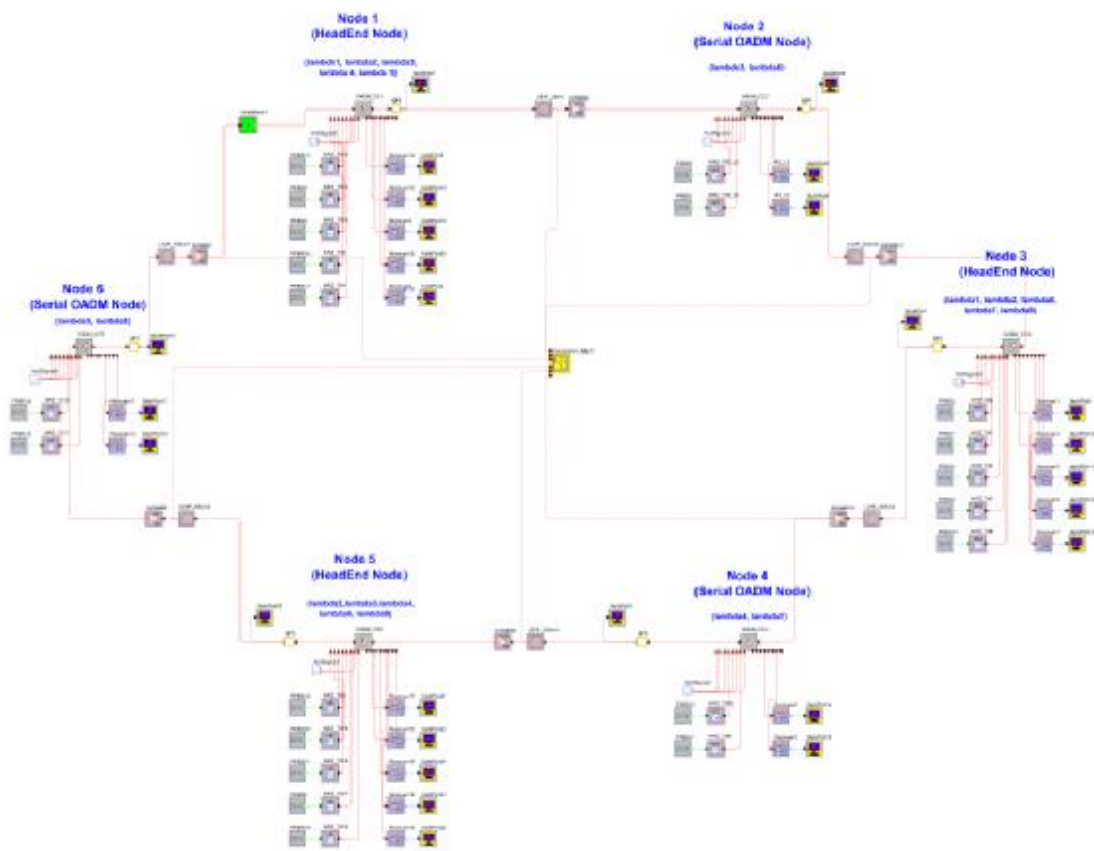


λ1	Κόμβος 1	Κόμβος 3
1 (V)	0,04	Δεν μπορούμε να πάρουμε πληροφορία.
2 (V)	0,08	
3 (sec)	0.6×10^{-10}	
4 (sec)	0.6×10^{-10}	
5 (V)	0,13	
6 (sec)	0.8×10^{-10}	
7 (sec)	$0,15 \times 10^{-10}$	
8 (V)	0,2	
9 (sec)	1×10^{-10}	

Έχοντας μειώσει την εξασθένιση της ίνας στα σχεδόν 0 db/Km βλέπω πως το οπτικό σήμα του κόμβου 3 ερχόμενο μετά από 100 Km από τον κόμβο 1 έχει στο διάγραμμα ματιού πολύ θόρυβο.

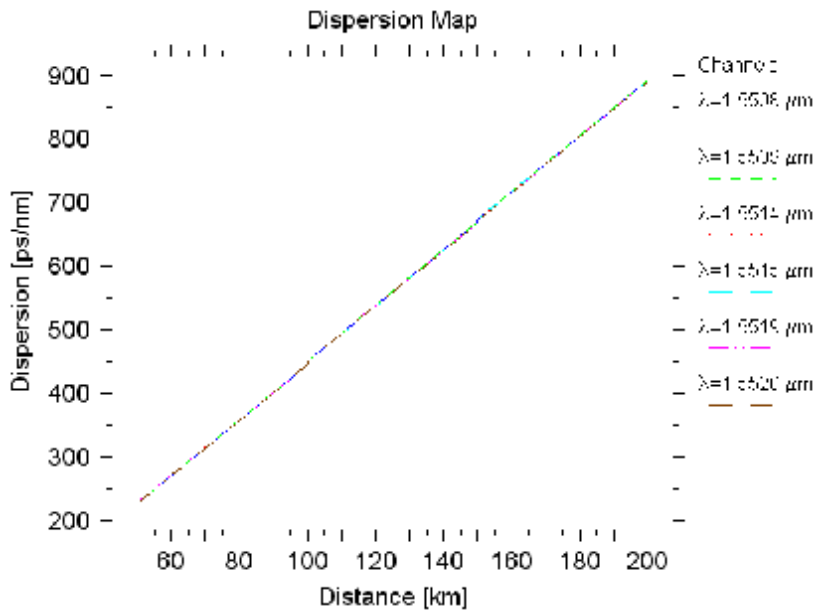
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ ΤΗΣ ΧΡΩΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΣΠΟΡΑΣ ΜΕ ΤΟ ΜΗΚΟΣ ΖΕΥΞΕΩΝ

Τέλος θα παρατηρήσουμε την επίδραση της χρωματικής διασποράς με το μήκος ζεύξεων, χρησιμοποιώντας το όργανο Dispersion Map και η συνδεσμολογία του στο Δακτύλιο φαίνεται παρακάτω:

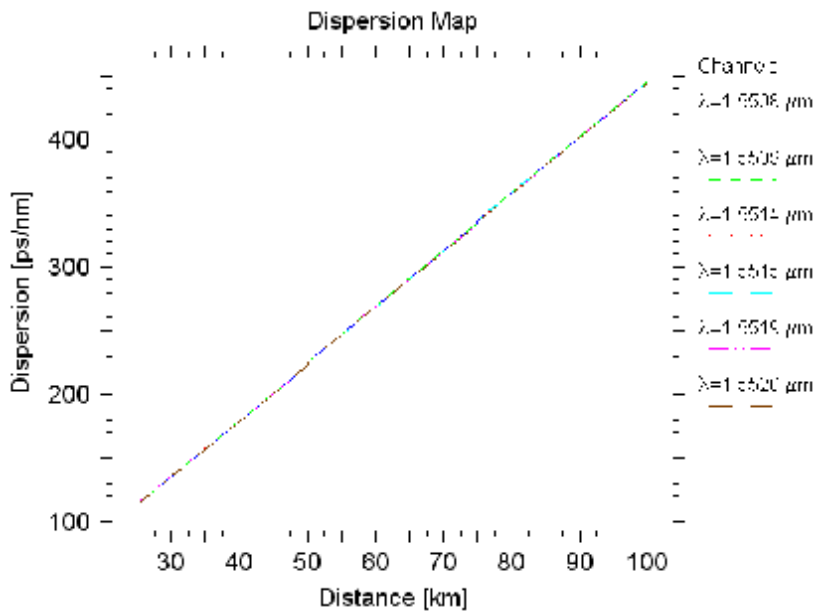


Πρώτα με τις αρχικές ρυθμίσεις στα 50 Km έπειτα με 25 Km μήκος ζεύξεων.

■ **Μεταβολή χρωματικής διασποράς για μήκος ζεύξεων 50 Km:**



■ **Μεταβολή χρωματικής διασποράς για μήκος ζεύξεων 25 Km:**



Στα 50Km μήκος ζεύξης η κλίμακα της διασποράς κυμαίνεται από 200-900 (ps/nm) με απόσταση χιλιομέτρων από 50-200 Km. Υποδιπλασιάζοντας το μήκος ζεύξης μειώνονται και η απόσταση των χιλιομέτρων από 25-100 Km και η κλίμακα της διασποράς από 100-500 (ps/nm). Η κλίση όμως της καμπύλης δεν αλλάζει, δηλαδή για 90 Km έχω περίπου 400 ps/nm διασπορά και για 50 και για 25 χιλιόμετρα μήκος ζεύξης, όπως για 100 Km έχω περίπου 450 ps/nm διασπορά και για 50 και για 25 χιλιόμετρα μήκος ζεύξης.



1. Εισαγωγή στις νέες τεχνολογίες επικοινωνιών, Πομπορτσής, Ανδρέας, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη, 1997
2. Επικοινωνίες υπολογιστών και δεδομένων, Stallings, William, 6^η έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα, Αθήνα, 2003
3. Δίκτυα υπολογιστών, Tanenbaum, Andrew S., 4^η αμερικάνικη έκδοση, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα, 2005
4. Επικοινωνίες και δίκτυα υπολογιστών, Πανέτσος, Σπύρος, Εκδόσεις Τζιόλα, Αθήνα, 2007
5. Οπτικά δίκτυα τεχνολογίας WDM, Παπαδημητρίου, Γεώργιος, Τσιμουλάς, Παρασκευάς, Obaidat, Mohammad, Πομπορτσής, Ανδρέας, Εκδόσεις Κλειδάριθμος, Αθήνα, 2005
6. Οπτικά δίκτυα υπολογιστών, Green, Paul, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα, 1995
7. Μετάδοση Δεδομένων και Δίκτυα Υπολογιστών I & II, Τσιλιγκιρίδης, Θ., Αλεξίου, Γ., Μπούρας, Χ., Μαμαλούκας, Χ., Αγγελόπουλος, Π., Εκδόσεις ΥΠΕΠΘ, Αθήνα, 2000
8. Οπτικές επικοινωνίες & Οπτικοηλεκτρονική, Τσιπούρας, Α., Αθήνα, 2003
9. Τηλεπικοινωνίες και δίκτυα υπολογιστών, Αλεξόπουλος, Άρης, Λαγογιάννης, Γιώργος, Εκδόσεις Τζιόλα, Αθήνα, 2003
10. Ινοοπτικές Επικοινωνίες, Παγιατάκης, Γεράσιμος, Εκδόσεις Τζιόλα, Αθήνα, 2004
11. Σημειώσεις του μαθήματος "Εισαγωγή στις Τηλεπικοινωνίες", Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών, Αθήνα, 2006
12. "Τηλεπικοινωνίες και Δίκτυα Υπολογιστών", Αλεξόπουλος, Άρης, Λαγογιάννης, Γιώργος, 4^η Έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα, Αθήνα, 1997

13. Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα, Taub, Schilling, 2η Έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα
14. Τοπικά και Αστικά Δίκτυα, Μαργαρίτης, Σ., Στεργίου Ε., Εκδόσεις Νέες Τεχνολογίες, Αθήνα, 2006
15. FDDI: A High Speed Network , Shah, Amit, Ram, Akrishan,_ Εκδόσεις Prentice Hall, England, 1994
16. Cisco Networking Essentials for Educational Institutions
17. Fiber Optic Product News, Cahners, February 2001
18. Fiber Optic Essentials, DeCusatis, Casimer M., DeCusatis Sher, Carolyn J., Εκδόσεις Elsevier Academic Press, USA,2006
19. Σημειώσεις του μαθήματος “Ψηφιακές Επικοινωνίες” από το Α.Π.Θ, Παπαδημητρίου, Γεώργιος, Θεσσαλονίκη, 2005
20. Σημειώσεις του μαθήματος “Δίκτυα Υπολογιστών” από το Τ.Ε.Ι Λάρισας, Σαμάρας, Γεώργιος, Λάρισα, 2003
21. Περιοδικό Pc Magazine, Τεύχος, Ιούλιος 2008



ΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΤΟΠΟΙ

- www.hsdateline.co.uk
- www.corning.com
- www.cisco.com
- www.webopedia.com
- alevi.usc.edu
- www.iol.unh.edu
- www.arcelect.com
- thebook.homeunix.com
- users.teilam.gr
- www.pulsewan.com
- bdaloukas.gr
- www.upnet.gr
- www.hlektronika.gr
- www.plusnet.gr
- www.kymata.com
- www.fujikura.co.uk
- www.lightwavemicro.com
- www.crystal-fibre.com
- www.fpnmag.com
- www.mitel.com
- www.ericsson.com
- www.gore.com
- ru6.cti.gr
- www.firewall.cx
- ensyrmatamesametadosis.blog.com

- www.wikipedia.org
- www.howstuffworks.com
- www2.rad.com
- www.tecratools.com
- nicomedia.math.upatras.gr
- www.iec.org
- asclepieion.mpl.uoa.gr
- www.fiberinstrumentsales.com
- www.fulgor.com
- www.raduniversity.com
- nislabs.bu.edu
- www.santec.com
- www.ocp-inc.com
- www.thefoa.org
- www.fiber-optics.info
- www.yourdictionary.com
- www.timbercon.com
- wikimania2008
- sholeh.nswc.navy.mil
- spektrainfotek.com
- www.tpub.com
- www.central-telecom.gr
- www.techteam.gr
- 3lyk-kalam.mes.sch.gr
- banner.techtutorials.info
- eqnatia.ee.auth.gr
- www.southamptonphotonics.com