



Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κρήτης

Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών
Τμήμα Εφαρμοσμένης Πληροφορικής & Πολυμέσων



Πτυχιακή εργασία

Τίτλος: Ανάλυση της τεχνολογίας των οπτικών ινών &
των δικτύων οπτικών ινών

Ιωάννης Βακιντής (ΑΜ: 2148)
Εμμανουήλ Γύπαρης (ΑΜ: 2230)

Ηράκλειο – Νοέμβριος 2011

Επιβλέπων καθηγητής: Στρατάκης Δημήτριος





Ευχαριστίες

Με την ολοκλήρωση αυτής της πτυχιακής εργασίας, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Στρατάκη Δημήτρη καθώς και τους συνεργάτες του Τμήματος κ. Μαρία Λογκάκη και κ. Γιώργο Ταμιωλάκη για την πολύτιμη και ουσιαστική καθοδήγηση τους, για την αμέριστη συμπαράσταση τους, τις κατευθύνσεις που μας έδωσαν σε όλες τις σχετικές συναντήσεις μας, τις εποικοδομητικές τους ιδέες και την βοήθεια τους κατά την διάρκεια της πτυχιακής εργασίας μας.

Θα θέλαμε επίσης να ευχαριστήσουμε όλους τους εκπαιδευτικούς που μας δέχτηκαν με τόση καλοσύνη στις αίθουσες τους. Ήταν απαραίτητη και πολύτιμη η συμβολή τους στην πραγματοποίηση της πτυχιακή αυτής.

Τέλος θεωρούμε χρέος να ευχαριστήσουμε τις οικογένειες μας που μας στήριξαν και μας συμπαράστηκαν σε όλη μας την προσπάθεια.



Abstract

This thesis aims to analyze all the technologies related to optical fibers and fiber networks. In the theoretical part of this work, initially we do a brief introduction to optical fiber and fiber-optic technology. Then, we will refer to the way of construction of fiber optic cables, the selection of the appropriate type of cable, the connections of optical fibers in optical fiber standards organizations and the criteria for choosing a type of permanent connection. We then turn to the processes required to correctly designing a fiber plant. In addition, we will make a reference to the surrounding of fibers placement, the types of fibers used and the procedures needed to be placed in these environments.

Then we will make a detailed description of the various optical fiber control equipment used in optical networks for the location of faults and a report on measurements of optical fibers. Finally, we will refer to the problems that can occur at the design phase - installing a fiber network as well as to its fairness.

In the first part of the experimental part of this project we will demonstrate using the equipment of the laboratory, the effect of the characteristics of the fiber coupling efficiency. In the second section, we will use the simulation program LINKSIM, to simulate and analyze a fiber optic network based on the parameters of components (laser, edfa, fiber, etc.) used in modern optical networks by ISPs. Initially in that network the fibers that will be used support only one mode of transmission, then we will replace them with multi-mode fibers and see the difference in the bandwidth of the data. Simultaneously, we will use two types of settings, return to zero (RZ) and non-return to zero (NRZ), to see with which of the two codes forming the network the performance is greater. Finally, we will do various simulations putting an optical amplifier edfa to reduce losses in the transmission channel, thereby improving the operation of the optical network.



Σύνοψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία σκοπό έχει να αναλύσει όλες τις τεχνολογίες που αφορούν τις οπτικές ίνες και τα δίκτυα οπτικών ινών. Στο θεωρητικό μέρος της πτυχιακής εργασίας, αρχικά θα κάνουμε μια μικρή εισαγωγή στις οπτικές ίνες και στην τεχνολογία των οπτικών ινών. Έπειτα, θα αναφερθούμε στον τρόπο κατασκευής των καλωδίων οπτικών ινών, στα κριτήρια επιλογής του κατάλληλου τύπου καλωδίου, στους τρόπους σύνδεσης των οπτικών ινών, στις προδιαγραφές ενώσεων οπτικών ινών καθώς και στα κριτήρια επιλογής ενός τύπου μόνιμης σύνδεσης. Στη συνέχεια θα αναφερθούμε στις διαδικασίες που απαιτούνται για να γίνει σωστά η σχεδίαση μιας εγκατάστασης οπτικών ινών. Επιπλέον, θα κάνουμε μια αναφορά στα περιβάλλοντα τοποθέτησης οπτικών ινών, στα είδη οπτικών ινών που χρησιμοποιούνται σε αυτά καθώς και στις διαδικασίες που απαιτούνται για να τοποθετηθούν σε αυτά τα περιβάλλοντα.

Στη συνέχεια, θα κάνουμε μια αναλυτική περιγραφή των διαφόρων οργάνων ελέγχου οπτικών ινών που χρησιμοποιούνται στα οπτικά δίκτυα για τον εντοπισμό βλαβών και μια αναφορά στις μετρήσεις των οπτικών ινών. Τέλος, θα αναφερθούμε στα προβλήματα που μπορούν να εμφανιστούν στη φάση της σχεδίασης - εγκατάστασης ενός δικτύου οπτικών ινών καθώς και στους τρόπους αντιμετώπισης τους.

Στο πρώτο τμήμα του πειραματικού μέρους της παρούσας πτυχιακής θα δείξουμε χρησιμοποιώντας τον εξοπλισμό του εργαστηρίου την επίδραση που έχουν τα χαρακτηριστικά της ίνας στην απόδοση της ζεύξης. Στο δεύτερο τμήμα, θα χρησιμοποιήσουμε το πρόγραμμα προσομοίωσης LINKSIM, ώστε να προσομοιώσουμε και να αναλύσουμε ένα δίκτυο οπτικών ινών με βάση τις παραμέτρους των εξαρτημάτων (laser, edfa, ινών, κλπ) που χρησιμοποιούνται στα σύγχρονα οπτικά δίκτυα από τους ISPs. Αρχικά στο δίκτυο αυτό οι οπτικές ίνες που θα χρησιμοποιήσουμε θα υποστηρίζουν μοναχά ένα τρόπο μετάδοσης, στην συνέχεια θα τις αντικαταστήσουμε με πολύτροπες ίνες και θα δούμε την διάφορα που υπάρχει στον εύρος ζώνης των δεδομένων. Ταυτόχρονα, θα χρησιμοποιούμε δύο είδη διαμόρφωσης return to zero (RZ) και non return to zero (NRZ) για να δούμε με ποιον από τους δύο κωδικούς διαμόρφωσης η απόδοση του δικτύου είναι μεγαλύτερη. Τέλος, στις διαφορές προσομοιώσεις που θα πραγματοποιήσουμε, θα τοποθετήσουμε έναν οπτικό ενισχυτή edfa για να μειώσουμε τις απώλειες του καναλιού μετάδοσης, βελτιώνοντας έτσι την λειτουργία του οπτικού δικτύου.



Πίνακας Περιεχομένων

<u>Ευχαριστίες.....</u>	<u>3</u>
<u>Abstract.....</u>	<u>i</u>
<u>Σύνοψη.....</u>	<u>iii</u>
<u>Πίνακας Περιεχομένων.....</u>	<u>v</u>
<u>Πίνακας Εικόνων.....</u>	<u>ix</u>
<u>Λίστα Πινάκων.....</u>	<u>xiii</u>
<u>Α΄ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ :.....</u>	<u>1</u>
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : Εισαγωγή στις οπτικές ίνες.....</u>	<u>1</u>
<u>1.1 Από τη θεωρία στην πρακτική εφαρμογή.....</u>	<u>1</u>
<u>1.2 Η παρούσα δικτυακή κατάσταση.....</u>	<u>1</u>
<u>1.3 Τα στοιχεία μιας οπτικής ζεύξης.....</u>	<u>2</u>
<u>1.4 Γενικά στοιχεία για τις οπτικές ίνες.....</u>	<u>3</u>
<u>1.5 Οι οπτικές ίνες ειδικού σχεδιασμού.....</u>	<u>11</u>
<u>1.6 Υλικά και κατασκευή οπτικών ινών και οπτικών καλωδίων.....</u>	<u>14</u>
<u>1.7 Η υποβάθμιση του οπτικού σήματος.....</u>	<u>19</u>
<u>1.8 Οι πηγές φωτός και οι ανιχνευτές.....</u>	<u>27</u>
<u>.....</u>	<u>28</u>
<u>1.9 Οι οπτικοί ενισχυτές.....</u>	<u>40</u>
<u>1.10 Η Πολυπλεξία.....</u>	<u>47</u>
<u>1.11 Fiber to the Home.....</u>	<u>51</u>
<u>1.12 Τα πλεονεκτήματα των οπτικών ινών.....</u>	<u>53</u>
<u>1.13 Τα μειονεκτήματα των οπτικών ινών.....</u>	<u>54</u>
<u>1.14 Οι εφαρμογές των οπτικών ινών.....</u>	<u>54</u>
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : Τα χαρακτηριστικά των οπτικών ινών.....</u>	<u>57</u>
<u>2.1 Οι παράμετροι των καλωδίων και οι τυπικές τιμές τους.....</u>	<u>57</u>
<u>2.2 Οι περιβαλλοντικές παράμετροι.....</u>	<u>58</u>
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : Παράμετροι επιλογής καλωδίου οπτικών ινών.....</u>	<u>63</u>
<u>3.1 Οι διάφορες παράμετροι.....</u>	<u>64</u>
<u>3.2 Δεύτερη παράμετρος, οι απομονωτές.....</u>	<u>66</u>
<u>3.3 Τρίτη παράμετρος, ο παράγοντας αντοχής.....</u>	<u>71</u>
<u>3.4 Τέταρτη παράμετρος, ο πυρήνας του καλωδίου.....</u>	<u>73</u>



<u>3.5 Πέμπτη παράμετρος, προστασία από νερό και υγρασία</u>	<u>76</u>
<u>3.6 Έκτη παράμετρος, τελικό κάλυμμα (θήκη καλωδίου).....</u>	<u>77</u>
<u>3.7 Έβδομη παράμετρος, η ενίσχυση.....</u>	<u>80</u>
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : Οι συνδέσεις οπτικών ινών.....</u>	<u>85</u>
<u>4.1 Απώλειες εξασθένησης σήματος.....</u>	<u>85</u>
<u>4.2 Τα προβλήματα.....</u>	<u>86</u>
<u>4.3 Τα Εργαλεία τερματισμού οπτικών ινών.....</u>	<u>89</u>
<u>4.4 Σύνδεση των οπτικών ινών - η προετοιμασία.....</u>	<u>96</u>
<u>4.5 Ένωση σύντηξης</u>	<u>97</u>
<u>4.6 Μηχανικές ενώσεις.....</u>	<u>99</u>
<u>4.7 Οι Διαδικασίες Μηχανικής Συνένωσης.....</u>	<u>102</u>
<u>4.8 Προδιαγραφές ενώσεων</u>	<u>102</u>
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : Συνδετήρες, προσαρμογείς και συζεύκτες.....</u>	<u>103</u>
<u>5.1 Οι συνδετήρες.....</u>	<u>103</u>
<u>5.2 Οι εποξικοί σύνδεσμοι</u>	<u>106</u>
<u>5.3 Οι μη Εποξικοί σύνδεσμοι</u>	<u>108</u>
<u>5.4 Η στίλβωση συνδέσμων οπτικών ινών.....</u>	<u>109</u>
<u>5.5 Οι παράμετροι των συνδετήρων.....</u>	<u>110</u>
<u>5.6 Τύποι συνδετήρων.....</u>	<u>112</u>
<u>5.7 Η σύνδεση συνδέσμων οπτικών ινών.....</u>	<u>116</u>
<u>5.8 Οι συζεύκτες</u>	<u>119</u>
<u>5.9 Η Κατασκευή συζευκτών.....</u>	<u>120</u>
<u>5.10 Οι Προσαρμοστές (Couplers).....</u>	<u>120</u>
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : Η σχεδίαση μίας εγκατάστασης οπτικών ινών & οι τεχνικές υλοποίησης των οπτικών δικτύων.....</u>	<u>121</u>
<u>6.1 Η διαδικασία της σχεδίασης.....</u>	<u>121</u>
<u>6.2 Οι μετρήσεις για το απαιτούμενο μήκος καλωδίου.....</u>	<u>121</u>
<u>6.3 Οι μόνιμες συνδέσεις.....</u>	<u>122</u>
<u>6.4 Αποτελεσματικό τράβηγμα καλωδίων.....</u>	<u>122</u>
<u>6.5 Η αρχική σχεδίαση.....</u>	<u>123</u>
<u>6.6 Τα περιβάλλοντα εγκατάστασης.....</u>	<u>124</u>
<u>6.7 Τα υπόγεια καλώδια.....</u>	<u>124</u>
<u>6.8 Τα υποβρύχια καλώδια.....</u>	<u>130</u>
<u>6.9 Τα εναέρια καλώδια.....</u>	<u>131</u>



6.10 Τεχνικές προδιαγραφές για την κατασκευή δικτύων οπτικών ινών εντός πόλεων.....	132
6.11 Φρεάτια σε δρόμους	136
6.12 Χάνδακες (trenches).....	137
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 : Ο απαραίτητος εξοπλισμός ελέγχου οπτικών ινών.....	143
7.1 Οι μετρητές ισχύος οπτικών ινών.....	143
7.2 Η διακρίβωση ισχυομέτρων.....	144
7.3 Η αβεβαιότητα μετρήσεων οπτικής ισχύος.....	144
7.4 Οι πηγές ισχύος για ελέγχους οπτικών ινών.....	145
7.5 ΣΕΤ ελέγχου οπτικής απώλειας (OLTS).....	145
7.7 Αναγνωριστές ινών.....	147
7.8 OCWR (Optical Continuous Wave Reflectometer).....	148
7.9 Μικροσκόπια οπτικών ελέγχων.....	148
7.10 Οπτικοί Ανιχνευτές Καλωδίου και Συσκευή Εντοπισμού βλάβης.....	148
7.11 Μετατροπείς Οπτικού σε Ηλεκτρικό (O/E) και Ηλεκτρικού σε Οπτικό (E/O).....	149
7.12 Τα πολυκάναλα συστήματα ελέγχου	149
7.13 Οι εξασθενητές	149
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 : Ποιοτικός έλεγχος οπτικών ινών	151
8.1 Μέτρηση ισχύος	152
8.2 Μετρήσεις της οπτικής ίνας.....	152
8.3 Έλεγχος εξαρτημάτων οπτικών ινών.....	153
8.4 Έλεγχος απώλειας συνδετήρων και συνδέσεων μεταξύ αγωγών	154
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 : Ο έλεγχος των εγκαταστάσεων των οπτικών ινών.....	161
9.1 Έλεγχος κυκλωμάτων μεταφοράς δεδομένων	161
9.2 Εγκατάσταση και έλεγχος καλωδίου οπτικών ινών.....	162
9.3 Έλεγχος δικτύων οπτικών ινών	163
9.4 Τι πάει στραβά στις εγκαταστάσεις των οπτικών ινών.....	164
9.5 Έλεγχος και ανίχνευση λάθους των δικτύων.....	164
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10 : Αποκατάσταση βλαβών οπτικών ινών	167
10.1 Τύποι βλαβών	167
10.2 Εξοπλισμός αποκατάστασης βλαβών.....	167
10.3 Η εξακρίβωση του προβλήματος.....	168
10.4 Εργασίες αποκατάστασης βλαβών.....	169
Β΄ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	171
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 :Οι Εργαστηριακές Μετρήσεις.....	173



1.1 Η Χρήση της πλακέτας του εργαστηρίου.....	173
0.1 Απώλειες ίνας λόγω καμπυλότητας.....	181
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : Προσομοίωση δικτύου με την χρήση του LinkSIM.....	183
2.1 Εισαγωγή στο πρόγραμμα LinkSIM.....	183
2.2 Ρυθμός εσφαλμένων bit (Bit error rate - BER).....	183
2.3 Διάγραμμα οφθαλμού (Eye Diagram).....	184
2.4 Κωδικοί διαμόρφωσης (Modulation Codes).....	184
2.5 Η διαδικασία της προσομοίωσης.....	185
2.6 Προσομοίωση δικτύου με χρήση πολύτροπης ίνας.....	196
2.7 Συμπεράσματα.....	204
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	205
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ : Περίληψη Πτυχιακής Εργασίας	207
ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ.....	205



Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1: Βασικό οπτικό τηλεπικοινωνιακό σύστημα.....	3
Εικόνα 2: Βασικό οπτικό τηλεπικοινωνιακό σύστημα ενός καναλιού.....	3
Εικόνα 3 : Η οπτική ίνα.....	6
Εικόνα 4 : μονότροπη οπτική ίνα.....	7
Εικόνα 5 : Δείκτης διάθλασης σε μονότροπη οπτική ίνα.....	7
Εικόνα 6 : Η πολύτροπη οπτική ίνα.....	8
Εικόνα 7 : Οπτική ίνα διακριτού δείκτη.....	8
Εικόνα 8 : Δείκτης διάθλασης σε πολύτροπη οπτική ίνα βηματικού δείκτη.....	9
Εικόνα 9 : Οπτική ίνα βαθμιαίου δείκτη.....	9
Εικόνα 10 : Δείκτης διάθλασης σε πολύτροπη οπτική ίνα βαθμιαίου δείκτη.....	10
Εικόνα 11 : Διάθλαση-Ανάκλαση φωτός.....	10
Εικόνα 12 : Πολύτροπη και μονότροπη ίνα και η εξασθένιση τους ανά Km.....	11
Εικόνα 13 : Χρωματική διασπορά για μια ίνα μετατοπισμένου σημείου διασποράς.....	12
Εικόνα 14 : Η γραφική παράσταση παρουσιάζει δυο διαφορετικούς τύπους ίνας.....	12
Εικόνα 15 : Εξασθένιση σε συνάρτηση με το μήκος κύματος.....	13
Εικόνα 16 : Διεργασία ΟΝΡΟ-Πλευρική εναπόθεση.....	16
Εικόνα 17 : Αξονική εναπόθεση (VAD).....	16
Εικόνα 18 : Η διεργασία MCVD ή IVPO.....	17
Εικόνα 19 : Η διεργασία PCVD.....	18
Εικόνα 20 : Το φαινόμενο της σκέδασης εξαρτάται από το μήκος κύματος.....	21
Εικόνα 21 : Μηχανισμοί απωλειών οπτικών ινών.....	22
Εικόνα 22 : Κανονική κατάσταση.....	22
Εικόνα 23 : Αποτέλεσμα μακροκάμψεων.....	23
Εικόνα 24 : Απώλεια από κάμψη συνάρτηση του μήκους κύματος.....	23
Εικόνα 25 : Σχηματική παράσταση της διασποράς σε μια οπτική ίνα.....	24
Εικόνα 26 : Αποτέλεσμα της διασποράς.....	25
Εικόνα 27 : Χρωματική διασπορά της οπτικής ίνας.....	26
Εικόνα 28 : Τα leds.....	29
Εικόνα 29 : Η δομή ενός VCSEL Laser.....	30
Εικόνα 30 : Μια πηγή LED.....	32
Εικόνα 31 : Ένα φωτόνιο μπορεί να δημιουργήσει ζεύγη e-h.....	33



Εικόνα 32 : Τοποθετούμε ένα intrinsic στρώμα μεταξύ των στρωμάτων p-n.....	34
Εικόνα 33 : Τα τρία στρώματα της πυριτίου PIN διόδου.....	35
Εικόνα 34 : Παρουσίαση της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου.....	36
Εικόνα 35 : Βασική σχεδίαση Ino-Οπτικού Ενισχυτή Ερβίου.....	41
Εικόνα 36 : EDFA οπτικός ενισχυτής.....	41
Εικόνα 37 : Ο EDFA σαν ενισχυτής ισχύος.....	43
Εικόνα 38 : Σύστημα με ενισχυτές EDFA κατά μήκος της γραμμής.....	44
Εικόνα 39 : Σύστημα με ενισχυτές κατά μήκος της γραμμής χωρίς τροφοδότηση.....	44
Εικόνα 40 : Τυπική διάταξη RAMAN ενισχυτή.....	46
Εικόνα 41 : Πολυπλεξία με Διαίρεση Μήκους Κύματος.....	48
Εικόνα 42 : Bulk Optic WDM.....	49
Εικόνα 43 : Βασικές Διαφορές TDM και WDM.....	50
Εικόνα 44 : Εφαρμογή DWDM συστήματος.....	51
Εικόνα 45 : Οι παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη κατά τη διαδικασία επιλογής ενός καλωδίου οπτικής ίνας.....	64
Εικόνα 46 : Ίνα με πρωτεύον επίστρωμα.....	65
Εικόνα 47 : Ίνες με πρωτεύον επίστρωμα ή κορδέλες ινών μπορεί να τοποθετηθούν χαλαρά μέσα σε σωλήνα, ο οποίος παίζει ρόλο απομονωτή.....	67
Εικόνα 48 : Οι ίνες μπορούν να κινούνται ελεύθερα μέσα στο χαλαρό σωλήνα.....	68
Εικόνα 49 : Ίνα tight buffer.....	69
Εικόνα 50 : Οι δύο πιο διαδεδομένες διαδικασίες κατασκευής κορδελών ινών.....	70
Εικόνα 51 : Χρωματική κωδικοποίηση κορδέλας ινών.....	70
Εικόνα 52 : Γεωμετρία μιας κορδέλας τεσσάρων ινών.....	71
Εικόνα 53 : Παρατηρούμε δύο οπτικά καλώδια ομόκεντρης κατασκευής.....	73
Εικόνα 54 : Τρόποι τυλίγματος πυρήνα αυλακώσεων.....	74
Εικόνα 55 : Τρεις τύποι πυρήνων με αυλακώσεις.....	74
Εικόνα 56 : Η ίνα μπορεί να κινηθεί ελεύθερα μεταξύ R_{min} και R_{max}	75
Εικόνα 57 : Το οπτικό καλώδιο GNLBDU και GNHLLBDU.....	76
Εικόνα 58 : Οπτικά καλώδια με ενίσχυση μεταλλικής ταινίας αυλακώσεων.....	81
Εικόνα 59 : Οπτικό καλώδιο με ενίσχυση.....	82
Εικόνα 60 : Οπτικό καλώδιο με θερμοδιαστελλόμενη ταινία.....	83
Εικόνα 61 : Οπτικό καλώδιο με ενίσχυση νημάτων aramide.....	83
Εικόνα 62 : Οπτικό καλώδιο με ενίσχυση.....	84
Εικόνα 63 : Οπτικό καλώδιο γείωσης.....	84
Εικόνα 64 : Παράγοντες απωλειών συνδέσεων οπτικών ινών.....	86



Εικόνα 65 : Ο απογυμνωτήρας περιβλήματος καλωδίου.....	90
Εικόνα 66 : Τα ψαλίδια.....	90
Εικόνα 67 : Απογυμνωτήρας μόνωσης ίνας.....	91
Εικόνα 68 : Εργαλείο διαχωρισμού.....	92
Εικόνα 69 : Μαντηλάκια οιοσπνεύματος.....	93
Εικόνα 70 : Χαρτί στίλβωσης.....	93
Εικόνα 71 : Δίσκος Στίλβωσης.....	94
Εικόνα 72 : Μικροσκόπιο οπτικών ινών.....	95
Εικόνα 73 : Τσιμπίδα.....	95
Εικόνα 74 : ευθυγράμμιση κορδελών ινών.....	99
Εικόνα 75 : Παρουσίαση της μεθόδου V-block.....	100
Εικόνα 76 : Οι ίνες πιέζονται από δυο πλευρές.....	101
Εικόνα 77 : Μέθοδος μηχανικής κόλλησης κορδελών ινών.....	101
Εικόνα 78 : Τα μέρη ενός οπτικού σύνδεσμου.....	103
Εικόνα 79 : Συνδετήρας SMA.....	112
Εικόνα 80 : Ο Συνδετήρας ST.....	113
Εικόνα 81 : Ο συνδετήρας FC/PC.....	113
Εικόνα 82 : Ο συνδετήρας mini-BNC.....	114
Εικόνα 83 : Ο δικωνικός συνδετήρας.....	114
Εικόνα 84 : Συνδετήρας συνδρομητή (SC).....	115
Εικόνα 85 : Κόλληση με χρήση connector διαστελλόμενης δέσμης.....	115
Εικόνα 86 : Σχηματικό διάγραμμα κόλλησης κορδέλας ινών.....	116
Εικόνα 87 : MT connector κορδέλας 12 ινών.....	116
Εικόνα 88 : Συζεύκτης.....	119
Εικόνα 89 : Υπόγειο καλώδιο.....	125
Εικόνα 90 : Υποσωλήνες.....	126
Εικόνα 91 : Χρήση του breeze κατά τη διάρκεια φυσήματος καλωδίου.....	129
Εικόνα 92 : Το breeze.....	130
Εικόνα 93 : Υποθαλάσσιο καλώδιο.....	131
Εικόνα 94 : Εγκατάσταση εναέριου καλωδίου.....	132
Εικόνα 95 : καλώδιο M4.....	135
Εικόνα 96 : Συνδετήρες μικρό-σωληνώσεων.....	135
Εικόνα 97 : Διακλαδωτήρες μικρό-σωληνώσεων.....	136
Εικόνα 98 : Τυπικό μηχάνημα για κατασκευή μικροτάφρου.....	138



Εικόνα 99 : Τυπική εγκατάσταση σωλήνα για τάφρο τύπου mini Trencher.....	139
Εικόνα 100 : Micro Trencher.....	139
Εικόνα 101 : Χάνδακας (Χ1).....	140
Εικόνα 102 : Χάνδακας (Χ2).....	141
Εικόνα 103 : Χάνδακας (Χ3).....	142
Εικόνα 104 : Μετρητές ισχύος οπτικών ινών.....	144
Εικόνα 105 : ΣΕΤ Ελέγχου Οπτικής Απώλειας.....	146
Εικόνα 106 : OTDR.....	147
Εικόνα 107 : Οπτικοί Ανιχνευτές Καλωδίου.....	149
Εικόνα 108 : Οι εξασθενητές.....	150
Εικόνα 109 : Έλεγχος απλού άκρου.....	157
Εικόνα 110 : Μέθοδος δύο άκρων.....	158
Εικόνα 111 : Τυπικό σύστημα μετάδοσης.....	161
Εικόνα 112 : Σύστημα κτιρίου.....	162
Εικόνα 113 : Πάνω όψη τυπωμένης πλακέτας κυκλωμάτων πομπού και δέκτη.....	173
Εικόνα 114: Τυπική εξασθένιση φωτός σε πλαστική ίνα συναρτήσει του μήκους κύματος.....	174
Εικόνα 115: Φασματική απόκριση του φωτοανιχνευτή SFH 250.....	174
Εικόνα 116 : Απώλειες καμπυλότητας.....	182
Εικόνα 117 : Διαμόρφωση (α) επιστροφή στο μηδέν και (β) χωρίς επιστροφή στο μηδέν.....	185
Εικόνα 118 : Προσομοίωση της οπτικής ζεύξης.....	185
Εικόνα 119 : Το οφθαλμικό γράφημα αναπαράστασης με κώδικα διαμόρφωσης NRZ.....	186
Εικόνα 120 : Το οφθαλμικό γράφημα αναπαράστασης με κώδικα διαμόρφωσης RZ.....	188
Εικόνα 121 : Το οφθαλμικό γράφημα αλλάζοντας τον ρυθμό μετάδοσης σε 50 Gbps με NRZ.....	189
Εικόνα 122 : Το οφθαλμικό γράφημα αλλάζοντας τον ρυθμό μετάδοσης σε 50 Gbps με RZ.....	190
Εικόνα 123 : Το γράφημα αλλάζοντας τον ρυθμό μετάδοσης σε 1 Gbps με RZ και ενισχυτή EDFA...	192
Εικόνα 124 : Η ισχύς που έχει το σήμα μας μετά την έξοδο της μονότροπης οπτικής ίνας.....	192
Εικόνα 125 : Η ενίσχυση του σήματος μετά από τον οπτικό ενισχυτή.....	193
Εικόνα 126 : Το οφθαλμικό γράφημα αλλάζοντας τον ρυθμό μετάδοσης σε 1 Gbps με RZ και ενισχυτή EDFA.....	194
Εικόνα 127 : Η ισχύς του σήματος μας χωρίς ενίσχυση.....	195
Εικόνα 128 : Η ισχύς του σήματος μετά την ενίσχυση. Η ενίσχυση είναι 10dB.....	195
Εικόνα 129 : Διάγραμμα οφθαλμού με πολύτροπη ίνα και NRZ διαμόρφωση.....	196
Εικόνα 130 : Διάγραμμα οφθαλμού με πολύτροπη ίνα και RZ διαμόρφωση.....	198
Εικόνα 131 : Διάγραμμα οφθαλμού με πολύτροπη ίνα και RZ διαμόρφωση.....	199



Εικόνα 132 : Η ισχύς του σήματος μετά την ενίσχυση.....	200
Εικόνα 133 : Διάγραμμα οφθαλμού για το Eye Rise Time.....	201
Εικόνα 134 : Διάγραμμα οφθαλμού για το Eye Fall Time.....	202
Εικόνα 135 : Η ισχύς του σήματος μετά την ενίσχυση. Η ενίσχυση είναι 5,6dB.....	202
Εικόνα 136 : Διάγραμμα οφθαλμού με RZ διαμόρφωση.....	203

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1 : Παράμετροι μονότροπης ίνας.....	7
Πίνακας 2: Εξασθένηση οπτικού σήματος συναρτήσει μήκους κύματος.....	20
Πίνακας 3 : Τα πιο συνηθισμένα γεωμετρικά χαρακτηριστικά μιας μονότροπης ίνας.....	66
Πίνακας 4 : Αποτελέσματα μετρήσεων.....	175
Πίνακας 5 : Αποτελέσματα μετρήσεων συντελεστή α.....	175
Πίνακας 6 :Μετατροπή ισχύς από dBm σε μWatt.....	176
Πίνακας 7 :Επαγόμενο ρεύμα.....	176
Πίνακας 8 : Πειραματική αποκρισιμότητα.....	176
Πίνακας 9 : Αποτελέσματα πράσινης led.....	177
Πίνακας 10 : Αποτελέσματα μετρήσεων συντελεστή α.....	178
Πίνακας 11 :Μετατροπή ισχύς από dBm σε μWatt.....	178
Πίνακας 12 : Επαγόμενο ρεύμα.....	178
Πίνακας 13 : Πειραματική αποκρισιμότητα.....	179
Πίνακας 14 : Αποτελέσματα μετρήσεων υπέρυθρης led.....	179
Πίνακας 15 : Αποτελέσματα μετρήσεων συντελεστή εξασθένησης α.....	180
Πίνακας 16 :Μετατροπή ισχύς από dBm σε μWatt.....	180
Πίνακας 17 : Επαγόμενο ρεύμα.....	181
Πίνακας 18 : Πειραματική αποκρισιμότητα.....	181
Πίνακας 19: Αποτελέσματα μετρήσεων απωλειών καμπυλότητας.....	182



Α' ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ :

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : Εισαγωγή στις οπτικές ίνες

Εισαγωγή

Σε αυτό το πρώτο κεφάλαιο θα γίνει μια μικρή εισαγωγή στην τεχνολογία των οπτικών επικοινωνιών. Αρχικά γίνεται εκτενής περιγραφή του τρόπου λειτουργίας των οπτικών ινών και αναλύονται τα βασικά στοιχεία μιας οπτικής γραμμής μετάδοσης, αναφέρεται η βασική δομή μιας οπτικής ίνας, οι τρεις τύποι οπτικών ινών που χρησιμοποιούνται στη πράξη και περιγράφεται ο τρόπος μετάδοσης του φωτός εντός της οπτικής ίνας. Επιπλέον, γίνεται λεπτομερής περιγραφή των λόγων υποβάθμισης του οπτικού σήματος εντός της οπτικής ίνας και οι τρόποι αποφυγής αυτών. Ακόμα, αναφέρονται οι τεχνικές πολυπλεξίας που χρησιμοποιούνται στα σύγχρονα δίκτυα οπτών ινών. Τέλος, γίνεται μια αναφορά στις πηγές και στους ανιχνευτές της οπτικής γραμμής μετάδοσης καθώς, στις προδιαγραφές του δέκτη φωτός και στην τεχνολογία των οπτικών ενισχυτών.

1.1 Από τη θεωρία στην πρακτική εφαρμογή

Η πρώτη πρόκληση που αντιμετώπισαν οι επιστήμονες ήταν να αναπτυχθεί ένα γυαλί τόσο καθαρό που ένα τοίς εκατό του φωτός θα διατηρούταν στο τέλος ενός χιλιομέτρου (Km), της υπάρχουσας ανεπανάληπτης απόστασης μετάδοσης για τα τηλεφωνικά συστήματα βασισμένα στο χαλκό. Από την άποψη της μείωσης, αυτό το ένα τοίς εκατό διατήρησης του φωτός μεταφράζεται σε 20 decibels ανά χιλιόμετρο (dB/Km) του γυάλινου υλικού. Οι ερευνητές γυαλιού σε όλο τον κόσμο εργάστηκαν πάνω στην πρόκληση τη δεκαετία του '60, αλλά η σημαντική ανακάλυψη ήρθε το 1970, όταν οι επιστήμονες Corning οι Δρ Robert Maurer, Donald Keck, και Peter Schultz δημιούργησαν μια ίνα με μετρημένη εξασθένιση λιγότερη από 20dB/Km. Ήταν το καθαρότερο γυαλί που έγινε ποτέ. Η εργασία των τριών επιστημόνων αναγνωρίζεται ως η ανακάλυψη που άνοιξε το δρόμο στην εμπορευματοποίηση της τεχνολογίας οπτικών ινών. Από τότε, η τεχνολογία έχει προχωρήσει παρά πολύ από την άποψη απόδοσης, ποιότητας, συνέπειας και εφαρμογών.

Η στενή συνεργασία με τους πελάτες έχει καταστήσει εφικτό για τους επιστήμονες να καταλάβουν ποιες τροποποιήσεις απαιτούνται, για τη βελτίωση του προϊόντος αναλόγως μέσω του σχεδιασμού και κατασκευής, και για να αναπτύξουν τα πρότυπα σε βιομηχανικό επίπεδο για την ίνα. Η δέσμευση για την τεχνολογία οπτικών ινών έχει εκταθεί περισσότερο από 30 έτη και συνεχίζεται σήμερα με την προσπάθεια να καθοριστεί πώς η ίνα χρησιμοποιείται αυτήν την περίοδο και πώς μπορεί να αντιμετωπίσει προκλήσεις μελλοντικών εφαρμογών. Ως αποτέλεσμα των προσπαθειών έρευνας και ανάπτυξης να βελτιωθεί η ίνα, έχει επιτευχθεί ένα υψηλό επίπεδο αγνότητας γυαλιού.

1.2 Η παρούσα δικτυακή κατάσταση

Ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα στον τομέα των δικτύων τα τελευταία χρόνια είναι η ραγδαία αύξηση των απαιτήσεων σε εύρος ζώνης τόσο στα εσωτερικά δίκτυα των επιχειρήσεων όσο και στα δίκτυα των ISPs. Η εποχή κατά την οποία το διαδίκτυο ήταν μια καθαρά ακαδημαϊκή υπόθεση και αυτό που κυρίως προσέφερε στους χρήστες του ήταν η ανταλλαγή ηλεκτρονικών μηνυμάτων (e-mails) ανάμεσα στους επιστήμονες για θέματα του ενδιαφέροντος τους έχει περάσει οριστικά και αμετάκλητα. Μέλη του διαδικτύου είναι πλέον απλοί χρήστες που αναζητούν σε αυτό νέους τρόπους ψυχαγωγίας, ενημέρωσης αλλά και διεκπεραίωσης των καθημερινών εργασιών τους μέχρι μεγάλες επιχειρήσεις που έχουν ως κύριο αντικείμενο τους την παροχή υπηρεσιών μέσω του διαδικτύου.

Ο αριθμός των ανθρώπων που έρχονται σε επαφή με το νέο μέσο συνεχώς αυξάνεται. Αυτή είναι μόνο η μία συνιστώσα της εξάπλωσης του διαδικτύου, η ποσοτική. Υπάρχει, όμως και η ποιοτική συνιστώσα, η οποία υποδηλώνει τη μεγάλη αλλαγή και τον εμπλουτισμό των υπηρεσιών που



παρέχει το διαδίκτυο στους χρήστες. Δηλαδή, οι μεγάλες απαιτήσεις σε εύρος ζώνης προήλθαν όχι μόνο από τη συνεχή αύξηση του αριθμού των χρηστών του Internet αλλά και από τις αυξανόμενες απαιτήσεις των δικτυακών εφαρμογών, οι οποίες αλλάζουν την συμπεριφορά των χρηστών, καθιστώντας τους ολοένα και πιο απαιτητικούς. Παράλληλα, το κόστος για τη μετάδοση αυτού του συνεχώς αυξανόμενου όγκου δεδομένων πρέπει να διατηρείται σε λογικά επίπεδα και η προσφορά του απαιτούμενου εύρους ζώνης να μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσα σε εύλογο χρονικό διάστημα.

Μέχρι πριν λίγα χρόνια η μετάδοση των δεδομένων στηριζόταν κυρίως (με τον ένα ή τον άλλο τρόπο) στη χρησιμοποίηση καλωδίων χαλκού. Από τα modems που όλοι έχουμε στα σπίτια μας, μέχρι τις υπερατλαντικές συνδέσεις που πραγματοποιούνται με ποντισμένα καλώδια, ο χαλκός μας συντροφεύει σε κάθε μεταδιδόμενο bit. Πολλές μάλιστα από τις πιο πρόσφατες τεχνολογίες μετάδοσης (ISDN, Cable, xDSL) εξακολουθούν να χρησιμοποιούν καλώδια χαλκού, απλώς προσφέρουν πολύ υψηλότερες ταχύτητες μετάδοσης.

Τα τελευταία χρόνια έχει συστηματοποιηθεί και η χρησιμοποίηση μικροκομματικών τεχνολογιών (Baseband modems, Spread Spectrum modems, Δορυφόροι κτλ.), οι οποίες αυξημένες ταχύτητες μετάδοσης προσφέρουν και χαμηλότερο κόστος εγκατάστασης και αναβάθμισης έχουν σε σχέση με τις τεχνολογίες χαλκού. Αλλά η πραγματική απάντηση στο ζήτημα των αυξημένων απαιτήσεων σε Bandwidth δόθηκε μέσω της χρησιμοποίησης οπτικών ινών.

Τα οπτικά δίκτυα ή δίκτυα οπτικής ίνας (στα οποία τα δεδομένα μετατρέπονται σε bits φωτός, που καλούνται φωτόνια, και στη συνέχεια μεταφέρονται μέσω της ίνας) είναι ταχύτερα απτά παραδοσιακά δίκτυα (στα οποία τα δεδομένα μετατρέπονται σε ηλεκτρόνια και ταξιδεύουν μέσω καλωδίων χαλκού), γιατί τα φωτόνια είναι ελαφρύτερα από τα ηλεκτρόνια και επιπλέον, σε αντίθεση με τα ηλεκτρόνια, τα φωτόνια δεν επιδρούν το ένα στο άλλο καθώς κινούνται μέσα στην ίνα (γιατί δεν περιέχουν ηλεκτρικό φορτίο), όπως και δεν επηρεάζονται από φωτόνια εκτός της ίνας. Το φως χαρακτηρίζεται από υψηλότερες συχνότητες και συνεπώς από χαμηλότερα μήκη κύματος, με αποτέλεσμα περισσότερο 'bits' πληροφορίας να μπορούν να μεταφερθούν μέσω κάποιου μήκους ίνας, έναντι του ίδιου μήκους καλωδίου χαλκού.

Στην Ελλάδα αυτή τη στιγμή έχουν αναπτυχθεί και έχουν ήδη τεθεί σε λειτουργία δίκτυα οπτικών ινών χωρητικότητας 2,5 Gbps, με δυνατότητα πολλαπλάσιας αύξησης της, που ξεπερνάνε τα 5000 χιλιόμετρα σε εθνικό επίπεδο, όπως επίσης και πάνω από 400 χιλιόμετρα οπτικών ινών σε μητροπολιτικές περιοχές (σε μερικές από τις μεγαλύτερες πόλεις της Ελλάδας).

1.3 Τα στοιχεία μιας οπτικής ζεύξης

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 300.000Km/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 οπτικές ίνες είναι κατασκευασμένες από γυαλί, αν και μερικές είναι κατασκευασμένες από πλαστικό. Για μηχανική προστασία, οι οπτικές ίνες βρίσκονται μέσα σε καλώδια. Υπάρχουν πολλές μορφές/τύποι καλωδίων, ανάλογα με την εφαρμογή: εξωτερικού ή εσωτερικού χώρου, μέσα στο έδαφος ή μέσα στο νερό, κτλ.

Σύστημα οπτικής ίνας: είναι η επικάλυψη των εφαρμοσμένων επιστήμων και της μηχανικής που ασχολούνται με το σχεδιασμό και την εφαρμογή των οπτικών ινών. Οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται ευρέως στην οπτική επικοινωνία, που επιτρέπει μετάδοση για μεγαλύτερες αποστάσεις και σε μεγαλύτερη ταχύτητα ανταλλαγής δεδομένων από άλλες μορφές επικοινωνιών.

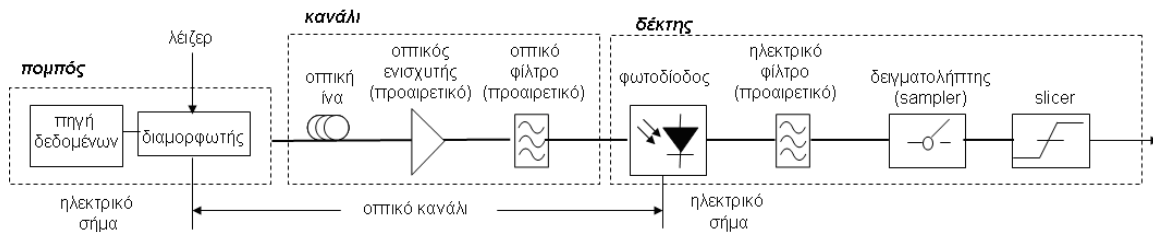
Ένα βασικό οπτικό **τηλεπικοινωνιακό σύστημα** ενός καναλιού μετάδοσης μπορεί να χωριστεί σε τρία βασικά κομμάτια: πομπός, κανάλι μετάδοσης και δέκτης, τα οποία αναπαρίστανται σχηματικά στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 1: Βασικό οπτικό τηλεπικοινωνιακό σύστημα

Ο πομπός πραγματοποιεί την μετατροπή από ηλεκτρικό σε οπτικό σήμα αποτυπώνοντας τα δεδομένα του ηλεκτρικού σήματος πάνω στον φορέα του φωτός. Αυτή η διεργασία λέγεται διαμόρφωση. Η διαμόρφωση μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε άμεσα, χρησιμοποιώντας μόνο ένα laser και τότε ονομάζεται άμεση διαμόρφωση (αυτή είναι και που μας απασχολεί περισσότερο) είτε χρησιμοποιώντας ένα εξωτερικό διαμορφωτή. Μετά τη διαμόρφωση, το οπτικό σήμα μεταδίδεται κατά μήκος της οπτικής ίνας. Κατά σύμβαση, ο παλμός φωτός παριστάνει το bit 1 και η απουσία φωτός παριστάνει το bit 0. Στην έξοδο της ίνας, το οπτικό σήμα ανιχνεύεται και επεξεργάζεται από το δέκτη.

Ο δέκτης αποτελείται κυρίως από μία φωτοδίοδο που ανιχνεύει το οπτικό σήμα και το μετατρέπει σε ηλεκτρικό. Το ηλεκτρικό σήμα μπορεί να το επεξεργαστεί περαιτέρω αν είναι αναγκαίο. Τέλος, μετά από τη δειγματοληψία που βασίζεται στην ανάκτηση του ρολογιού (clock recovery) και στην απόφαση του στοιχείου αποφάσεως (slicer), ανακτάται το μεταδιδόμενο σήμα. Στα οπτικά τηλεπικοινωνιακά συστήματα υπάρχουν διάφορα στοιχεία. Για παράδειγμα, το οπτικό σήμα εξασθενεί κατά μήκος της μετάδοσης και για αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται οπτικοί ενισχυτές για την κάλυψη των οπτικών απωλειών πριν την ανίχνευση του σήματος στο δέκτη. Επιπρόσθετα, οπτικά ζωνοπερατά (bandpass) φίλτρα και ηλεκτρικά χαμηλοπερατά (lowpass) φίλτρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εξαλείψουν κατά ένα μεγάλο μέρος τον θόρυβο τόσο στο οπτικό, όσο και στο ηλεκτρικό επίπεδο αντίστοιχα.



Εικόνα 2: Βασικό οπτικό τηλεπικοινωνιακό σύστημα ενός καναλιού

1.4 Γενικά στοιχεία για τις οπτικές ίνες

1.4.1 Η δομή της οπτικής ίνας

Οι οπτικές ίνες φτιάχνονται από γυαλί το οποίο, με τη σειρά του, φτιάχνεται από άμμο, μια φτηνή πρώτη ύλη που είναι διαθέσιμη σε απεριόριστες ποσότητες. Η κατασκευή του γυαλιού ήταν γνωστή στους αρχαίους Αιγυπτίους, αλλά το γυαλί τους έπρεπε να μην είναι παχύτερο από 1mm, διαφορετικά το φως δεν θα μπορούσε να το διαπεράσει. Γυαλί αρκετά διαφανές ώστε να είναι χρήσιμο για παράθυρα αναπτύχθηκε κατά την Αναγέννηση. Το γυαλί που χρησιμοποιείται για τις σύγχρονες οπτικές ίνες είναι τόσο διαφανές που, αν οι ωκεανοί ήταν γεμάτοι με αυτό αντί για νερό, ο



βυθός της θάλασσας θα ήταν τόσο ορατός από την επιφάνεια της όσο είναι το έδαφος από ένα αεροπλάνο σε μια καθαρή μέρα.

Ο όρος μήκος κύματος (wavelength) χρησιμοποιείται αντί του όρου συχνότητα (frequency) για αποφυγή συγχύσεων με άλλες χρήσεις του όρου frequency. Ο όρος μήκος κύματος (wavelength) πολλές φορές εμφανίζεται και ως lambda ή channel.

Η εξασθένηση του φωτός μέσα στο γυαλί εξαρτάται από το μήκος κύματος του φωτός (καθώς και από μερικές φυσικές ιδιότητες του γυαλιού). Για το είδος του γυαλιού που χρησιμοποιείται στις οπτικές ίνες, η εξασθένηση δίνεται υπολογίζεται σε ντεσιμπέλ ανά γραμμικό χιλιόμετρο οπτικής ίνας. Η εξασθένηση σε ντεσιμπέλ δίνεται από τον τύπο :

$$\text{Εξασθένηση (decibel)} = 10 \log_{10} \frac{\text{μεταδιδόμενη ενέργεια}}{\lambda \text{ μ β α ν ό μ ε ν η ενέργεια}}$$

Μια οπτική ίνα είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε να καθοδηγεί το φως κατά μήκος της εγκλωβίζοντάς το όσο το δυνατόν περισσότερο σε μια συγκεκριμένη μορφή διάδοσης. Η οπτική ίνα, λοιπόν, θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως κυματοδηγός, από γυαλί ή πλαστικό υλικό, μέσα στο οποίο διαδίδεται το φως από το ένα άκρο στο άλλο. Τα φωτόνια παίρνουν τη θέση των ηλεκτρονίων που υπάρχουν αντίστοιχα στους μεταλλικούς αγωγούς. Η οπτική ίνα είναι ένας γυάλινος κυματοδηγός κυλινδρικής διατομής [1].

Η βασική της δομή περιλαμβάνει μια κεντρική κυλινδρική ράβδο που ονομάζεται πυρήνας (core) και έναν σωλήνα, που περιβάλλει τον πυρήνα και ονομάζεται μανδύας (cladding). Για λόγους προστασίας από εξωτερικούς παράγοντες, ο μανδύας καλύπτεται από πρωτογενή επικάλυψη πλαστικού γνωστή ως πρωτεύουσα επικάλυψη ή εξωτερικό περίβλημα (coating). Τόσο ο πυρήνας, όσο και μανδύας είναι συνήθως κατασκευασμένα από συνθετικό γυαλί υψηλής καθαρότητας (SiO₂ – με συντελεστή διάθλασης 1,46), ενώ ο πυρήνας περιλαμβάνει νοθεύσεις GeO₂ (με συντελεστή διάθλασης 1,48) και άλλων προσμίξεων, που μεταβάλλουν τον συντελεστή διάθλασης του πυρήνα, επιτυγχάνοντας την διαφορά από το συντελεστή διάθλασης του μανδύα, $\Delta n=0,01$ που απαιτείται για την κυματοδηγηση. Τυπικές τιμές συντελεστών διάθλασης είναι για τον πυρήνα $n_1=1,47$ ενώ για τον μανδύα $n_2=1,46$. Επισημάνουμε ότι η διαφορά Δn είναι επιθυμητή.

1.4.2 Η διάδοση φωτός στις οπτικές ίνες

Το φως εισέρχεται στον πυρήνα της ίνας και οδεύει κατά μήκος της ίνας με ολικές ανακλάσεις. **Ανάκλαση** είναι η αλλαγή κατεύθυνσης μιας ακτίνας φωτός στην διαχωριστική επιφάνεια δυο υλικών και όδευση στο ίδιο υλικό. **Διάθλαση** είναι η αλλαγή κατεύθυνσης μιας ακτίνας φωτός καθώς αλλάζει ταχύτητα λόγω όδευσης από ένα υλικό σε ένα άλλο.

Ο δείκτης διάθλασης (IOR) είναι ο λόγος μεταξύ της ταχύτητας του φωτός στο κενό και της ταχύτητας του φωτός σε ένα μέσον.

Σαν αποτέλεσμα των δυο παραπάνω το φως είτε θα ανακλαστεί είτε θα διαθλασθεί μεταξύ στην διαχωριστική επιφάνεια δυο υλικών με διαφορετικούς δείκτες διάθλασης.

Ο πυρήνας και η επικάλυψη μιας οπτικής ίνας είναι κατασκευασμένες από δυο διαφορετικούς τύπους γυαλιού που έχουν δυο διαφορετικούς τύπους διάθλασης (IOR's). Όταν το φως εισέρχεται σε κάποιο υλικό με διαφορετικό δείκτη διάθλασης, τότε η διαδρομή του κάμπτεται, προκαλώντας φαινόμενο παρόμοιο με αυτό της λυγισμένης ράβδου μέσα στο νερό. Το φαινόμενο αυτό στα όρια του, χρησιμοποιείται για την ανάκλαση στη συνοριακή επιφάνεια μεταξύ πυρήνα και εξωτερικού μανδύα της οπτικής ίνας, παγιδεύοντας το φως στο εσωτερικό του πυρήνα. Χρησιμοποιώντας κατάλληλα υλικά πυρήνα και μανδύα, μπορεί να επιλεγεί η γωνία, με την οποία συμβαίνει η παγίδευση αυτή του φωτός (ολική εσωτερική ανάκλαση).

Συνοπτικά, το οπτικό σήμα κυματοδηγείται στον πυρήνα της οπτικής ίνας μέσω του φαινομένου ολικών ανακλάσεων στη κοινή επιφάνεια πυρήνα – μανδύα. Στο εσωτερικό του πυρήνα, μια ακτίνα φωτός, προσπίπτουσα στην κοινή επιφάνεια με γωνία μεγαλύτερη της κρίσιμης γωνίας, ανακλάται ολικά και συνεχίζει την διαδρομή της εντός του πυρήνα, μέσω συνεχών ανακλάσεων.



Αντίθετα αν η γωνία πρόσπτωσης είναι μικρότερη της κρίσιμης γωνίας, το φως διαθλάται μέσα από τον μανδύα και χάνεται.

1.4.3 Το αριθμητικό άνοιγμα

Το αριθμητικό διάφραγμα προσδιορίζεται από τη διαφορά μεταξύ των δεικτών διάθλασης του πυρήνα και του μανδύα, και υπολογίζεται από το νόμο του Snell. Επειδή, για κάθε ρυθμό ή γωνία εισόδου, το φως διαδίδεται από διαφορετική διαδρομή, ο φωτεινός παλμός διασπείρεται, περιορίζοντας το εύρος διέλευσης συχνοτήτων της ίνας.

Δυο είναι τα κύρια χαρακτηριστικά που αφορούν τις οπτικές ίνες: Το εύρος ζώνης της συχνότητας που μπορεί να μεταφερθεί και σχετίζεται άμεσα με τη διασπορά (dispersion) και η οπτική ισχύς.

Στις οπτικές επικοινωνίες χρησιμοποιούνται τρεις ζώνες μηκών κύματος. Τα κέντρα τους είναι στα 0,85, 1,30, και 1,55 μm , αντίστοιχα. Οι δύο τελευταίες ζώνες έχουν καλές ιδιότητες εξασθένησης (απώλειες κάτω από 5 τοις εκατό ανά χιλιόμετρο). Η ζώνη των 0,85 μm έχει υψηλότερη εξασθένηση, αλλά σε αυτό το μήκος κύματος και τα λέιζερ και τα ηλεκτρονικά μπορούν να κατασκευαστούν από το ίδιο υλικό (αρσενιούχο γάλλιο). Και οι τρεις ζώνες έχουν εύρος από 25.000 έως 30.000 GHz [2].

1.4.4 Οι τρόποι μετάδοσης

Οι «τρόποι διάδοσης» αποτελούν μαθηματικές και φυσικές μεθόδους περιγραφής της διάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων σε ένα αυθαίρετο μέσο. Στη μαθηματική τους μορφή, η θεωρία των ηλεκτρομαγνητικών ρυθμών διάδοσης προέρχεται από τις εξισώσεις Maxwell. Ο James Clark Maxwell ήταν ένας μεγάλος Σκοτσέζος μαθηματικός και φυσικός που έζησε στα τέλη του 19^{ου} αιώνα. Με τις εξισώσεις του, ο Maxwell έδειξε ότι η ηλεκτρική και η μαγνητική ενέργεια αποτελούν δυο μορφές της ίδιας ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας. Οι εξισώσεις του επίσης έδειξαν ότι η διάδοση ακολουθεί αυστηρούς κανόνες και οι ίδιες αποτελούν τη βάση της θεωρίας του ηλεκτρομαγνητισμού. Ένας τρόπος διάδοσης τελικά είναι μια δεκτή λύση των εξισώσεων Maxwell.

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

Ένας συγκεκριμένος τρόπος διάδοσης θα μεταφέρει και ένα χαρακτηριστικό ποσό ενέργειας. Οπτικές ίνες που υποστηρίζουν μονάχα ένα οπτικό τρόπο μετάδοσης λέγονται μονότροπες (single mode) και οι τυπικές διαστάσεις του πυρήνα τους (διάμετρος) είναι 8-10 μm . Αντίστοιχα οπτικές ίνες με περισσότερους από ένα οπτικούς τρόπους μετάδοσης λέγονται πολύτροπες (multi mode) και έχουν τυπικές διαστάσεις πυρήνα (διάμετρος) από 50 μm μέχρι και 125 μm . Ο αριθμός των τρόπων μετάδοσης που υποστηρίζει μια ίνα καθορίζει, ως ένα βαθμό, την δυνατότητα της να μεταφέρει πληροφορία λόγω του φαινομένου της διασποράς. Όταν το φως εισέρχεται σε μια ίνα (κοντά στην πηγή φωτός) οι διάφοροι τρόποι θα μεταφέρουν πολύ μεγάλο ή πολύ μικρό ποσό ενέργειας ανάλογα με το φως που εισέρχεται. Ανάλογα με το μονοπάτι διάδοσης, η ενέργεια θα μεταφερθεί και θα διαχωριστεί στους διάφορους τρόπους διάδοσης (mode coupling) μέχρι ο καθένας απ' αυτούς να μεταφέρει το δικό του χαρακτηριστικό ποσό ενέργειας.



1.4.5 Οι τύποι οπτικών ινών

Οι οπτικές ίνες κατηγοριοποιούνται ως προς:

1. Το υλικό κατασκευής πυρήνα και μανδύα:

Εξ' ολοκλήρου γυάλινες οπτικές ίνες:

Τόσο ο πυρήνας όσο και ο μανδύας είναι κατασκευασμένα από συνθετικό γυαλί υψηλής καθαρότητας σε διοξείδιο του πυριτίου SiO_2 στο οποίο έχουν προστεθεί κατάλληλες προσμίξεις, προκειμένου να επιτευχθεί η επιδιωκόμενη διαφορά στο συντελεστή διάθλασης πυρήνα μανδύα. Το γερμάνιο Ge και ο φώσφορος P που χρησιμοποιούνται κυρίως στο πυρήνα για να αυξάνοντας το δείκτη διάθλασης. Ενώ το βόριο B και το φθόριο F που χρησιμοποιούνται κυρίως στο μανδύα μειώνοντας τον συντελεστή διάθλασης του γυαλιού.

Ίνα γυάλινου πυρήνα και πλαστικού μανδύα:

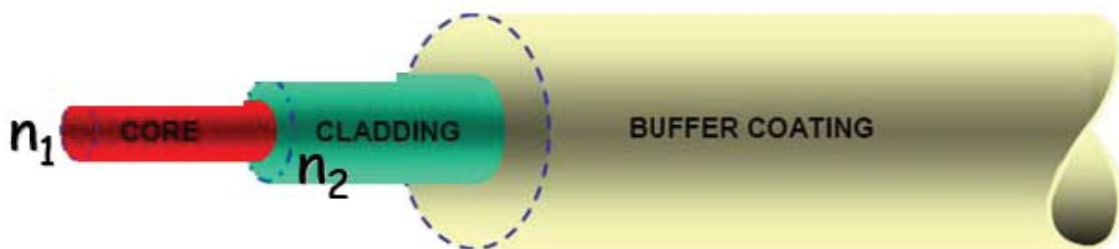
Στη χρήση τους τείνουν να αντικατασταθούν από εξ' ολοκλήρου πλαστικές ίνες.

Εξ' ολοκλήρου πλαστικές ίνες: Συγκρινόμενες με τα άλλα είδη ινών παρουσιάζουν εμφανώς κατώτερες επιδόσεις, ως προς την ελάχιστη εξασθένηση (0,15dbm στα 650nm) και το διαθέσιμο εύρος ζώνης καθώς και μεγάλη ευαισθησία σε θερμοκρασιακές μεταβολές.

2. Την μεταβολή του δείκτη διάθλασης από τον πυρήνα στο μανδύα.

3. Το πλήθος των τρόπων μετάδοσης που υποστηρίζουν:

- Μονότροπες – βηματικού δείκτη (step index)
- Πολύτροπες - βηματικού δείκτη (step index)
- Πολύτροπες - βαθμιαίου δείκτη (graded index)



Εικόνα 3 : Η οπτική ίνα

Ο δείκτης διάθλασης (συμβολιζόμενος με το λατινικό n) είναι μια από τις κυριότερες παραμέτρους της οπτικής ίνας. Για το γυαλί όπως και για το πλαστικό, ο δείκτης διάθλασης ορίζεται από το τύπο $n = c/v$, όπου c είναι η ταχύτητα του φωτός στο κενό και v είναι η ταχύτητα αυτή μέσα σε ένα υλικό. Η κατανομή του δείκτη μιας οπτικής ίνας αναφέρεται στον τρόπο με τον οποίο ο δείκτης διάθλασης μεταβάλλεται ως συνάρτηση της ακτινικής απόστασης από το κέντρο του πυρήνα της ίνας.



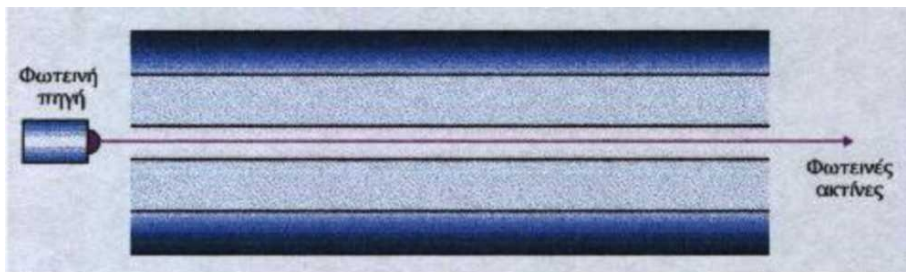
1.4.6 Οι μονότροπες οπτικές ίνες (Singlemode fiber optics)

Στις μονότροπες οπτικές ίνες η διάμετρος της κεντρικής ίνας είναι πολύ μικρή και πλησιάζει περίπου το επίπεδο του μήκους κύματος του εκπεμπόμενου σήματος. Στην περίπτωση αυτή, έχουμε έναν μόνο δυνατό τρόπο μετάδοσης του οπτικού σήματος, τον αξονικό. Η κεντρική ίνα στις μονότροπες οπτικές ίνες έχει διάμετρο από 5 microns (1 micron είναι 10^{-6} μέτρα) έως 10μm με συνηθέστερη τιμή τα 8,3μm. Ακτίνα πυρήνα 8 έως 9μm και διάμετρος περιβλήματος 125μm. Συνήθως οι μονότροπες ίνες χρησιμοποιούνται σε ζεύξεις επικοινωνιών μεγάλων αποστάσεων. Για μια συνηθισμένη μονότροπη ίνα η διασπορά εμφανίζεται στα 1310nm και η μικρότερη εξασθένιση στα 1550nm. Αν συνδυαστούν οι παράμετροι : Τιμή αποκοπής και Διάμετρος πεδίου ρυθμού μετάδοσης μπορούμε να έχουμε ένα παράγοντα που χαρακτηρίζει την ευαισθησία της ίνας στο λύγισμα. Υψηλή τιμή αποκοπής και μικρή διάμετρος πεδίου ρυθμού μετάδοσης μας δίνουν μια ίνα αρκετά ανθεκτική στο λύγισμα. Βασικό πλεονέκτημα των μονότροπων ινών είναι ότι δεν έχουν διασπορά λόγω εσωτερικών τρόπων μετάδοσης, απλώς επειδή η ενέργεια του εκπεμπόμενου παλμού μεταφέρεται μέσω ενός και μόνο τρόπου μετάδοσης. Ωστόσο, η παλμική διεύρυνση δεν εξαφανίζεται εντελώς. Η ταχύτητα ομάδας, που σχετίζεται με τον βασικό τρόπο μετάδοσης, εξαρτάται από την συχνότητα εξαιτίας της χρωματικής διασποράς [3].

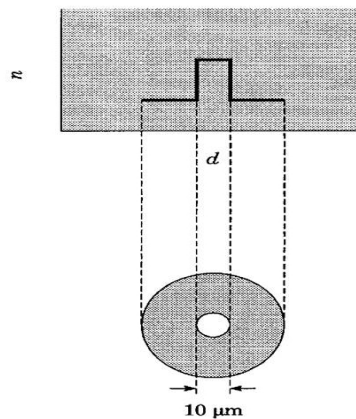
Τυπικές παράμετροι μιας μονότροπης ίνας είναι οι παρακάτω :

Διάμετρος μανδύα	125nm
Δείκτης διάθλασης πυρήνα	1.4485
Δείκτης διάθλασης μανδύα	1.4440
Διαφοροποίηση δείκτη διάθλασης	$0.003 = 0.3 \%$

Πίνακας 1 : Παράμετροι μονότροπης ίνας



Εικόνα 4 : μονότροπη οπτική ίνα



(a) Single-Mode Step Index

Εικόνα 5 : Δείκτης διάθλασης σε μονότροπη οπτική ίνα



1.4.7 Οι πολύτροπες οπτικές ίνες (Multimode fiber optics)

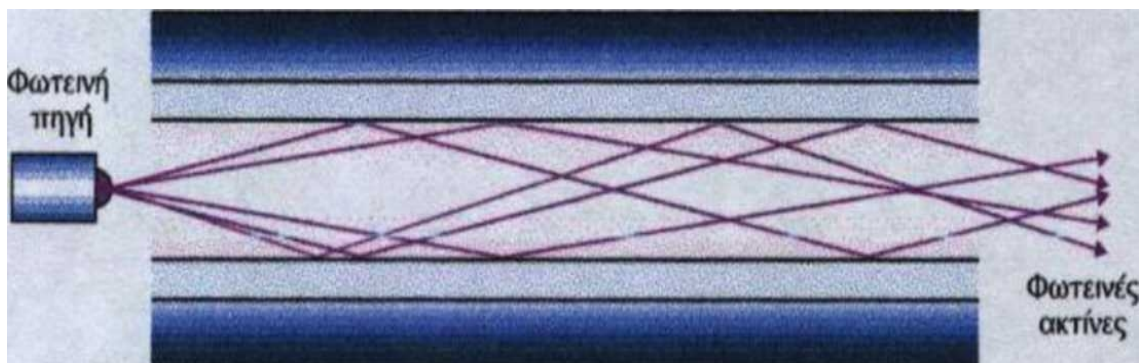
Ο τρόπος αναφοράς των μεγεθών για τις οπτικές ίνες είναι να αναφέρουμε πρώτα τη διάμετρο του πυρήνα (γυαλιού) και στη συνέχεια τη διάμετρο της επίστρωσης, δηλαδή του περιβλήματος (cladding). Οι μετρήσεις των παραπάνω μεγεθών γίνονται σε 10^{-6} μέτρα (μm). Οι πολύτροπες οπτικές ίνες έχουν τυπικά μεγέθη 50 μm / 125 μm , 62,5/125, 85/125 ή 100/140. Ο συνηθέστερος τύπος, ο οποίος κυκλοφορεί είναι ο 62,5/125. Η ολική διάμετρος της οπτικής ίνας συμπεριλαμβανομένων των ενισχυτικών συνθετικών ινών και του εξωτερικού περιβλήματος φτάνει τα 900 μm . 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. Αυτός ο τρόπος μετάδοσης ονομάζεται πολύτροπος (multimode), επειδή έχουμε πολλούς δρόμους μετάδοσης, που αντιστοιχούν στις διαφορετικές γωνίες ανάκλασης. Οι πολύτροπες οπτικές ίνες διακρίνονται σε δυο κατηγορίες: **τις διακριτού βήματος (step index) και τις βαθμιαίου βήματος (graded index).**



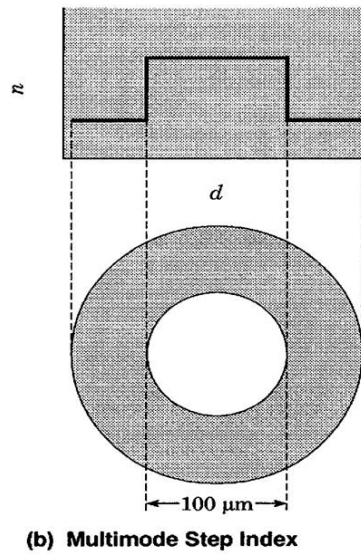
Εικόνα 6 : Η πολύτροπη οπτική ίνα

1. Οπτική ίνα βηματικού δείκτη (step index):

Στις ίνες αυτές συμβαίνει απότομη μεταβολή του δείκτη διάθλασης μεταξύ της κεντρικής ίνας και του υλικού επίστρωσης λόγω του ότι ο πυρήνας αποτελείται αποκλειστικά από έναν τύπο γυαλιού. Στην περίπτωση αυτή, η πορεία των ακτινών εμφανίζεται στο ακόλουθο σχήμα. Η διάμετρος πυρήνα είναι 200 μm και η διάμετρος περιβλήματος 240 μm . Εδώ έχουμε πολλαπλά κύματα μετάδοσης. Τα πολλαπλά κύματα διανύουν διαφορετικές διαδρομές με την ίδια ταχύτητα και φθάνουν σε διαφορετικούς χρόνους στο τέρμα του αγωγού με αποτέλεσμα να παρουσιάζεται σημαντική διασπορά του φωτός, δηλαδή διεύρυνση του παλμού.



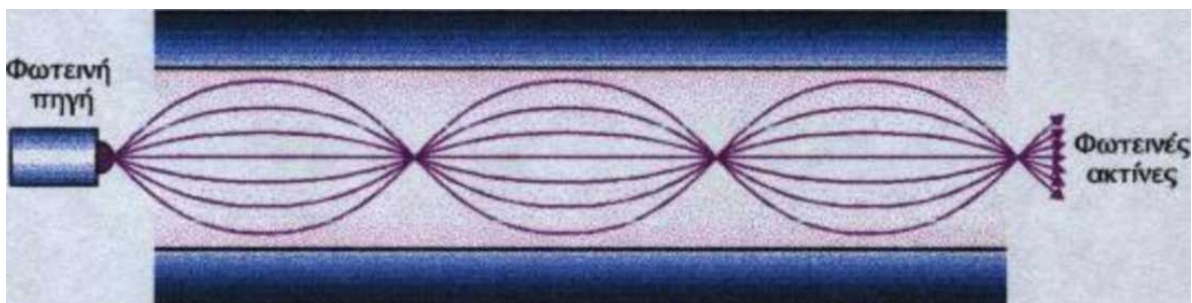
Εικόνα 7 : Οπτική ίνα διακριτού δείκτη



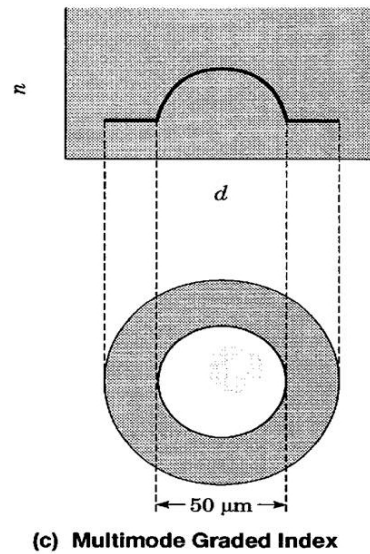
Εικόνα 8 : Δείκτης διάθλασης σε πολύτροπη οπτική ίνα βηματικού δείκτη

2. Οπτική ίνα βαθμιαίου δείκτη (graded index):

Οι ίνες αυτές χαρακτηρίζονται από βαθμιαία μεταβολή του δείκτη διάθλασης του υλικού της κεντρικής ίνας. Η μείωση αυτή συμβαίνει όσο απομακρυνόμαστε από το κέντρο προς την εξωτερική επιφάνεια του γυαλιού. Αυτό είναι απόρροια του ότι ο πυρήνας αποτελείται από πολλές στρώσεις γυαλιού με διαφορετικό δείκτη διάθλασης, ώστε να σχηματίζουν ένα παραβολικό προφίλ. Η πορεία των ακτινών σε μια τέτοια ίνα είναι αυτή, που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Η διάμετρος πυρήνα και η διάμετρος περιβλήματος είναι $50\mu\text{m} / 125\mu\text{m}$, $62,5/125$, $85/125$ ή $100/140$. Εδώ ο δείκτης διάθλασης μειώνεται εκθετικά από το κέντρο προς την περιφέρεια της ίνας με αποτέλεσμα να αυξάνεται η ταχύτητα των κυμάτων όσο πλησιάζουν τη περιφέρεια. Έτσι παρόλο ότι τα κύματα στην περιφέρεια διανύουν μεγαλύτερες αποστάσεις, φθάνουν περίπου στον ίδιο χρόνο στο τέρμα με τα κύματα που κινούνται παράλληλα στον άξονα και η διασπορά του φωτός είναι μικρή. Με τη βαθμιαία μείωση του δείκτη διάθλασης πετυχαίνεται μικρή διασπορά, καθώς τα πολλαπλά κύματα φθάνουν ταυτόχρονα στο δέκτη.



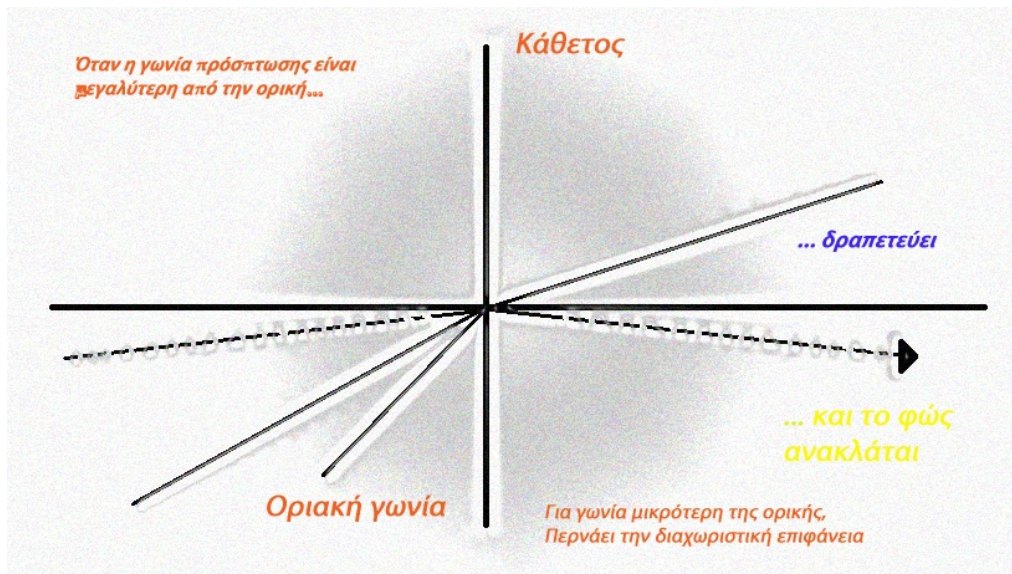
Εικόνα 9 : Οπτική ίνα βαθμιαίου δείκτη



(c) Multimode Graded Index

Εικόνα 10 : Δείκτης διάθλασης σε πολύτροπη οπτική ίνα βαθμιαίου δείκτη

Τι συμβαίνει στην περίπτωση που η ίνα κάμπτεται; Θα πρέπει η γωνία κάμψης της ίνας να μην ξεπερνά τα αποδεκτά όρια διότι τότε θα έχουμε πλήρη διάθλαση της ακτίνας φωτός.



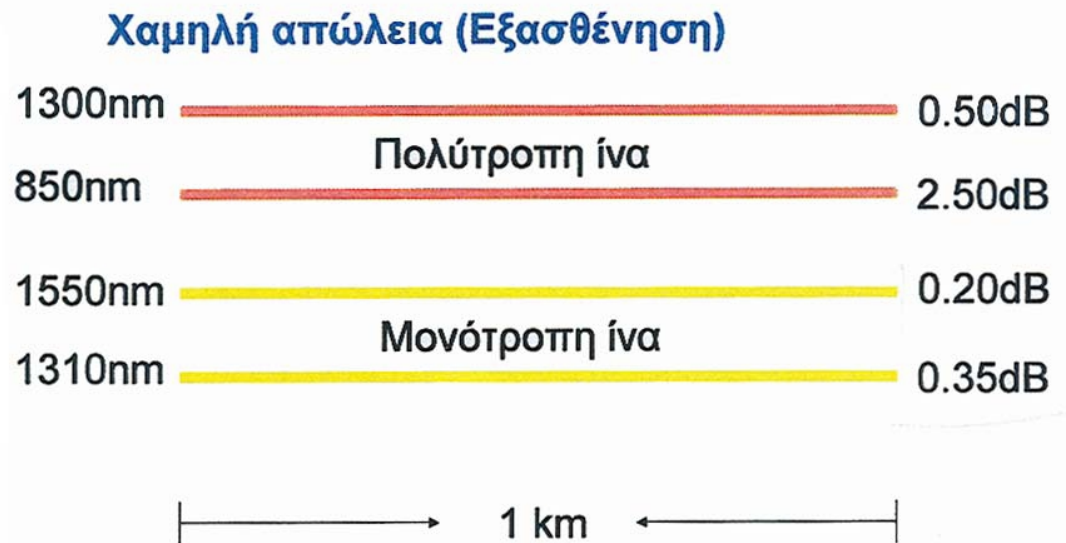
Εικόνα 11 : Διάθλαση-Ανάκλαση φωτός

Οι οπτικές ίνες μπορούν να μεταφέρουν σήματα με πολύ μεγάλο εύρος ζώνης σε μεγάλες αποστάσεις με πολύ μικρή εξασθένιση του σήματος. Οι πολύτροπες οπτικές ίνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αποστάσεις, που υπερβαίνουν τα 3Km, ενώ οι μονότροπες οπτικές ίνες μπορούν να υπερβούν τα 10Km. Υπάρχουν, όμως, και άλλοι παράγοντες, οι οποίοι περιορίζουν τις παραπάνω αποστάσεις μετάδοσης. Τέτοιοι παράγοντες είναι το εύρος ζώνης της πηγής και του δέκτη των σημάτων σε μια οπτική ίνα, και η χρωματική διασπορά του μεταδιδόμενου σήματος μέσα στην οπτική ίνα, η οποία διασπορά αυξάνεται με την απόσταση και εξασθενίζει το σήμα. Επίσης, επιβαρυντικός



παράγων είναι η χρήση συνδέσμων και διακλαδωτών στην πορεία των οπτικών ινών. Θα πρέπει να σημειώσουμε, ότι στις πολύτροπες οπτικές ίνες είναι πιο ανεκτό να χρησιμοποιήσουμε συνδετήρες και διακλαδωτές από ότι στις μονότροπες.

Επίσης, στις πολύτροπες οπτικές ίνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν χαμηλού κόστους πηγές LED, ενώ οι μονότροπες οδηγούνται συνήθως από πηγή LASER. Τυπική τιμή εξασθένησης σήματος για μια 62,5/125 πολύτροπη οπτική ίνα είναι 3,5dB/Km για σήμα με μήκος κύματος 850nm και 1,0dB/Km για μήκος κύματος 1300nm. Τυπικό μέγεθος εξασθένησης σήματος για μονότροπη οπτική ίνα είναι 0,5dB/Km στα 1310nm και 0,4dB/Km στα 1550nm.

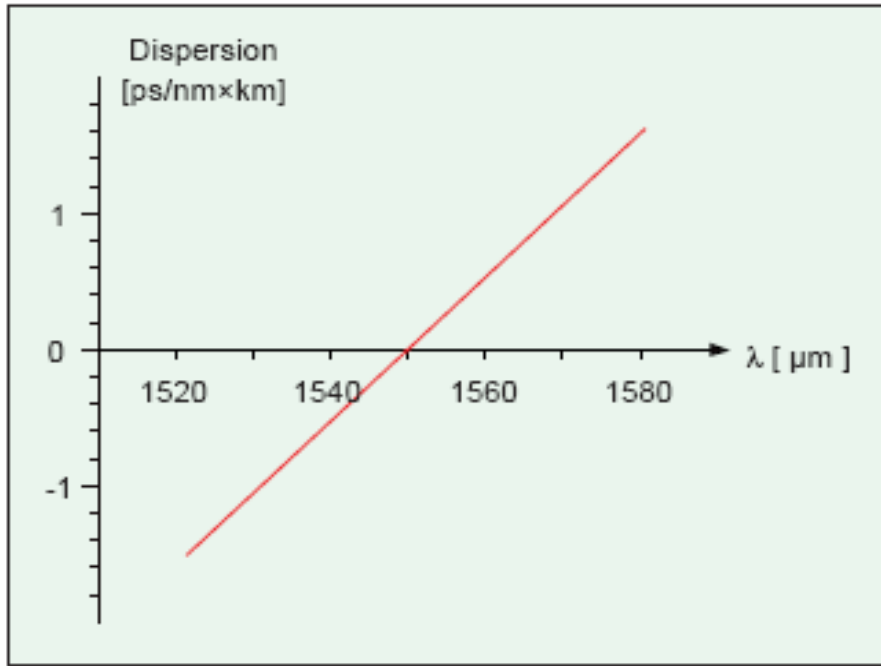


Εικόνα 12 : Πολύτροπη και μονότροπη ίνα και η εξασθένηση τους ανά Km

1.5 Οι οπτικές ίνες ειδικού σχεδιασμού

1. Συνήθης ίνα μετατοπισμένου σημείου διασποράς

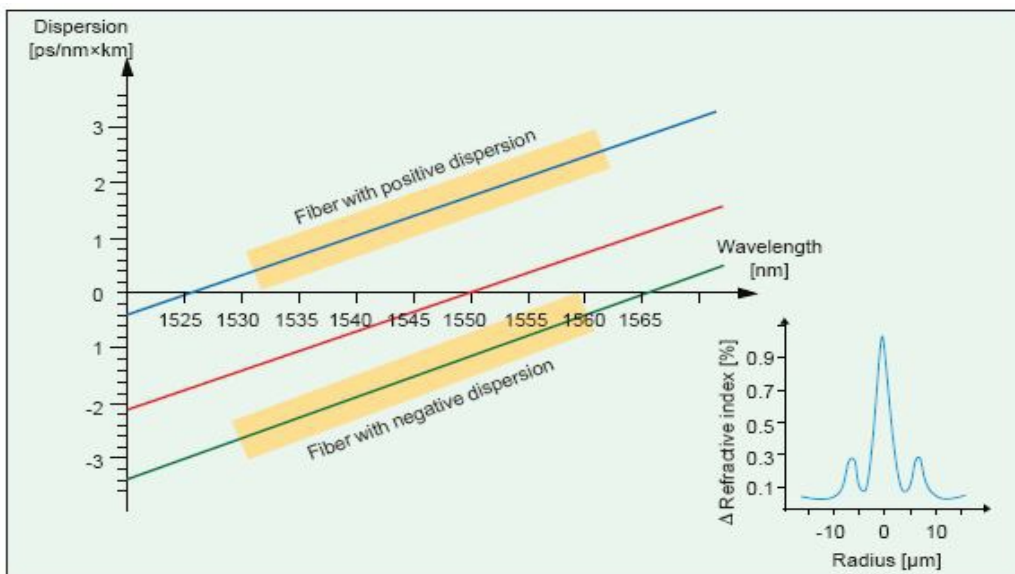
Η πρώτη ίνα μετατοπισμένου σημείου διασποράς εμφανίστηκε κατά τα μέσα της δεκαετίας του '80 και παρουσίαζε μηδενική διασπορά στα 1550nm. Η μετατόπιση του σημείου μηδενισμού επιτυγχανόταν μετατρέποντας το προφίλ δείκτη του πυρήνα σε τριγωνικό ή δημιουργώντας δύο «σκαλοπάτια» στο δείκτη διάθλασης του μανδύα. Η ίνα αυτή έχει το μεγάλο μειονέκτημα, να παρουσιάζει μη γραμμικά φαινόμενα κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες. Η «παλιά» ίνα μετατοπισμένου σημείου διασποράς δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα συστήματα με πολυπλέκτες διαχωρισμού μήκους κύματος. Η συνήθης ίνα του παραπάνω τύπου θεωρείται πια ξεπερασμένη και έχει αντικατασταθεί στα νέα συστήματα με ίνες μη μηδενικού μετατοπισμένου σημείου διασποράς.



Εικόνα 13 : Χρωματική διασπορά για μια ίνα μετατοπισμένου σημείου διασποράς

2. Ίνα μη μηδενικού μετατοπισμένου σημείου διασποράς

Για να ικανοποιηθεί η αυξημένη ζήτηση για εύρος ζώνης μετάδοσης, τα σημερινά συστήματα επικοινωνιών χρησιμοποιούν όλο και μεγαλύτερα bit rate. Από τα πρώτα στάδια ανάπτυξης των οπτικών ινών έχουν πραγματοποιηθεί πειράματα για τη χρήση συγκεκριμένων μηκών κύματος που θα μπορούσαν να μεταφέρουν πολλαπλά κανάλια πληροφορίας, ώστε να πολλαπλασιαστεί η χωρητικότητα των οπτικών ινών. Οι ίνες μη μηδενικού μετατοπισμένου σημείου διασποράς χρησιμοποιήθηκαν αρχικά σε συστήματα DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) στο τρίτο «παράθυρο», 1530 – 1565nm. Σήμερα αρχίζουν και χρησιμοποιούνται και τα παράθυρα τέσσερα και πέντε για τέτοιου τύπου ίνες. Έτσι υπάρχουν πολλά είδη τέτοιου τύπου ινών με διαφορετικές τιμές διασποράς και αποτελεσματικής περιοχής.



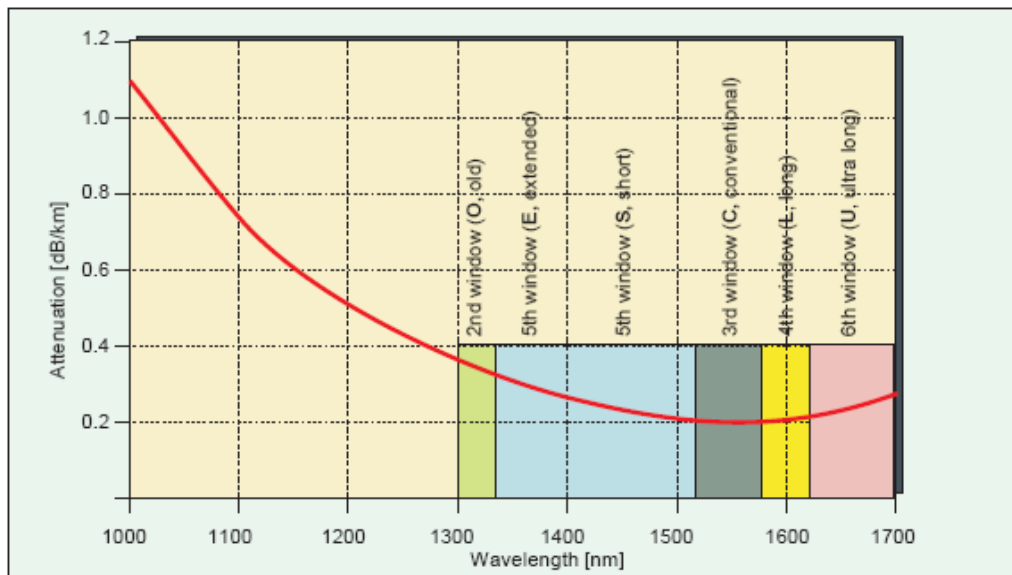
Εικόνα 14 : Η γραφική παράσταση παρουσιάζει δυο διαφορετικούς τύπους ίνας



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

3. Ίνες με συνεχές χρησιμοποιούμενο φάσμα από 1280 μέχρι 1625nm

Μια νέου τύπου ίνα αναμένεται να ανοίξει ένα νέο «παράθυρο» για μετάδοση. Αυτό το νέο παράθυρο θα ενώνει το παράθυρο των 1310nm με αυτό των 1550nm και θα δίνει τη δυνατότητα χρήσης παραπάνω από 100nm εύρους ζώνης σε σχέση με την τυπική μονότροπη ίνα. Σε αυτή την ίνα η ολική εξασθένηση στο φασματικό εύρος 1285 - 1625nm είναι μικρότερη από 0,4dB. Χρησιμοποιώντας ίνες τέτοιου τύπου μπορούμε να παρέχουμε ταυτόχρονα διάφορα είδη υπηρεσιών. Για παράδειγμα η ίδια ίνα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για WDM αναλογικό video στο νέο πέμπτο παράθυρο (1350 -1450nm) και για μετάδοση πληροφοριών DWDM με bit rate κοντά στα 2,5Gbit/s στην περιοχή των 1450nm.



Εικόνα 15 : Εξασθένηση σε συνάρτηση με το μήκος κύματος

4. Ίνα αντιστάθμισης διασποράς

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



1.6 Υλικά και κατασκευή οπτικών ινών και οπτικών καλωδίων

Για την κατασκευή οπτικών ινών μέσης και χαμηλής απώλειας έχουν αναπτυχθεί αρκετές μέθοδοι. Για την κατασκευή οπτικών ινών πολύ χαμηλής εξασθένησης χρειάζονται προσμίξεις μεταπτώτικων μετάλλων της τάξης 10^{-50} ppb. Επίσης άλλοι περιορισμοί για την ελάττωση της σκέδασης είναι εξίσου αυστηροί. Εδώ θα πρέπει να αναφέρουμε τη τεχνολογία εμποτισμού -εναπόθεσης οξειδίων του πυριτίου (DDS = Doped Deposited Silica) που ήταν η πρώτη μέθοδος με την οποία λήφθηκε η καθαρότητα του γυαλιού που χρειαζόταν για οπτικές ίνες χαμηλής απώλειας. Οι οπτικές ίνες, γενικά, γίνονται τοποθετώντας μια ράβδο καθαρού γυαλιού σε φούρνο και θερμαίνοντας τη μια άκρη (αιχμή) μέχρι που να μαλακώσει το γυαλί. Στη συνέχεια δημιουργείται η ίνα (τράβηγμα της ίνας) μαζί με το περίβλημα όπου οι γεωμετρικές σχέσεις μεταξύ πυρήνα και του περιβλήματος διατηρούνται με αρκετή ακρίβεια αν και η ελάττωση της διαμέτρου μπορεί να είναι μέχρι και 300:1.

Οι κρίσιμες ιδιότητες των οπτικών ινών είναι:

1. **Οπτικές,**
2. **Διαστασιακές,**
3. **Αντοχής.**

Η απροστάτευτη γυάλινη ίνα είναι συνεπώς ακατάλληλη για πρακτικές χρήσεις. Είναι αναγκαίο, καθώς συμβαίνει με τους χάλκινους αγωγούς και τους κυματοδηγούς να κατασκευάζονται οι ίνες αυτές σε μορφή οπτικών καλωδίων για να βρουν χρήση στο πεδίο εφαρμογών. Οι οπτικές ίνες, αμέσως μετά τη κατασκευή τους είναι δυνατόν να παρουσιάζουν δυνάμεις αντοχής μέχρι 400 Kpsi. Όμως, με την έκθεση σε υγρασία, αυτές οι ίνες μπορούν να υποστούν σημαντική υποβάθμιση στην αντοχή. Για το λόγο αυτό, αμέσως μετά το «τράβηγμα», οι οπτικές ίνες επιχρίονται με πλαστικό υλικό που χρησιμοποιείται για να προστατεύσει και διατηρήσει την επιφάνεια τους καθαρή. Ιστορικά, αυτή η προστασία αναφέρεται ως επίχριση (<250μm) ή κύριος απορροφητήρας κραδασμών (>=250μm). Κατά το σχηματισμό της ίνας σε μορφή καλωδίου αποκτάται περαιτέρω κατασκευαστική αντοχή. Ουσιαστικές βελτιώσεις στις οπτικές ίνες προκύπτουν, όταν κατασκευάζονται από πολυμερή υλικά.

Συγκεκριμένα τα υλικά παρουσιάζουν τα εξής χαρακτηριστικά:

- Μεγαλύτερη αντίσταση σε υπερβολικές θερμοκρασίες και στις μηχανικές αποξέσεις, καθώς και αντοχή στην υγρασία και τα διάφορα χημικά.
- Οι απώλειές της για το μεταβιβαζόμενο οπτικό σήμα είναι περίπου το 1/10 των απωλειών που παρουσιάζουν διαθέσιμες μέχρι τώρα ίνες συνθετικών υλικών.

Αυτές οι οπτικές ίνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε τοπικά δίκτυα (LANs) για επικοινωνίες με αποστάσεις επαναληπτών 1500 μέτρα περίπου αντί 150 μέτρων που απαιτούν οι πλαστικές ίνες μεταξύ επαναληπτών.

Σχετικά με την διεργασία κατασκευής, υπάρχουν πέντε τρόποι κατασκευής που περιγράφονται σε συντομία παρακάτω:

1. Διεργασία εξωτερικής οξείδωσης από φάση ατμών = **Outside Vapor-Phase Oxidation (OVPO) Process**

Αυτή η μέθοδος αναπτύχθηκε πρώτα από την εταιρία Corning Glass Works και περιλαμβάνει την εναπόθεση γυαλιού υψηλών οξειδίων του πυριτίου από πηγές ατμού-φάσης (vapor-phase sources). Όταν αφαιρεθεί ο άξονας ο σωλήνας με την «καπνιά» τινάσσεται και στη συνέχεια «τραβιέται» η ίνα.

2. Τροποποιημένη διεργασία χημικής εναπόθεσης ατμού = **Modified Chemical Vapor Deposition (MCVD) Process.**

Καλείται επίσης διεργασία IVPO. Η διεργασία αυτή ανακαλύφθηκε από την εταιρία Bell Laboratories. Σε αυτήν την περίπτωση, το γυαλί της επιθυμητής σύνθεσης εναποτίθεται εσωτερικά του σωλήνα οξειδίου του πυριτίου, στρώμα μετά από στρώμα μέσω μιας



διεργασίας φλόγας - υδρόλυσης στο μήκος ενός άξονα. Όταν η εναπόθεση συμπληρωθεί, το υλικό τινάσσεται και αφαιρείται ο άξονας. Ο σωλήνας έπειτα λιώνει και σχηματίζει ταυτόχρονα μια προκατασκευασμένη ράβδο.

3. Διεργασία αξονικής εναπόθεσης από τη φάση ατμού = Vapor - Phase Axial Deposition (VAD) Process.

Αυτή η μέθοδος αναπτύχθηκε από την εταιρία Nippon Telegraph and Telephone Public Corporation. Είναι όμοια με την διεργασία OVPO εκτός από την εναπόθεση που γίνεται στην άκρη του αναπτυσσομένου κυλίνδρου «καπνιάς».

4. Διεργασία χημικής εναπόθεσης πλάσματος από ατμό = Plasma Chemical Vapor Deposition (PCVD) Process.

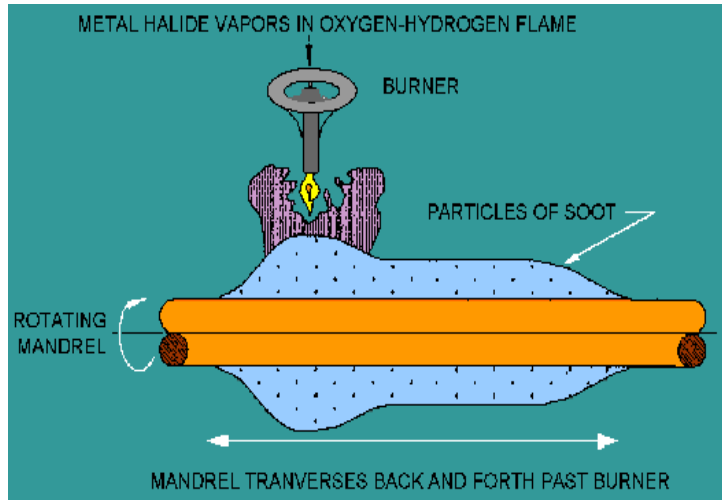
Η πρώτη εταιρία που ασχολήθηκε με αυτή τη διαδικασία είναι η Philips Company. Σε αυτή τη μέθοδο χρησιμοποιείται το μικροκομματικό πλάσμα για τη διέγερση και εναπόθεση υαλώδους υλικού απευθείας στο εσωτερικό του κυλίνδρου οξειδίων του πυριτίου.

5. Διεργασία απευθείας τήξης.

Κατά τη διεργασία αυτή μια οπτική γυάλινη ίνα με μεταβαλλόμενη κατανομή δείκτη διάθλασης (τύπος ίνας βαθμιαίου δείκτη) κατασκευάζεται με τη μέθοδο διπλής χοάνης όπου δυο ειδών πολλαπλές γυάλινες συνιστώσες διαφορετικών δεικτών χρησιμοποιούνται. Το γυαλί με τον υψηλότερο δείκτη διάθλασης σχηματίζει τον πυρήνα, ενώ το άλλο σχηματίζει το περίβλημα [4].

1.6.1 Η διεργασία OVPO-Πλευρική εναπόθεση

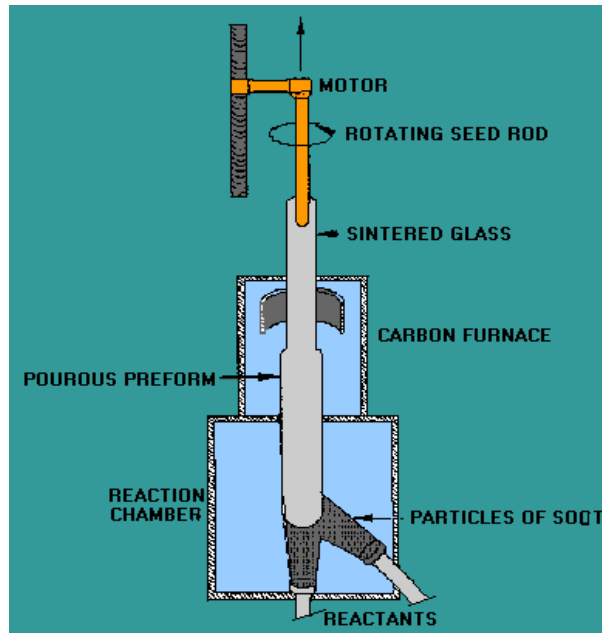
Η μέθοδος της πλευρικής εναπόθεσης είναι μια περίπτωση της διεργασίας OVPO, όπου τα υλικά σε ατμώδη κατάσταση εναποτίθενται από ένα καυστήρα πάνω στη περιστρεφόμενη εγκάρσια ράβδο ώστε να σχηματίσουν τις συνθέσεις του πυρήνα και του γυάλινου περιβλήματος. Ένα ισχυρό πλεονέκτημα της διεργασίας αυτής είναι η δυνατότητα που έχει για ακριβή έλεγχο της κατανομής του δείκτη διάθλασης στην περιοχή του πυρήνα, επειδή περισσότερα, από 200 ατομικά γυάλινα στρώματα εναποτίθενται για να αποτελέσουν τον πυρήνα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την κατασκευή οπτικών ινών πολλαπλού ρυθμού με μεγάλο εύρος ζώνης φθάνοντας τα 3.0 GHz*Km. Ένα πρόβλημα που μπορεί να παρουσιαστεί στη διεργασία αυτή σχετίζεται με την κεντρική οπή που αφήνεται μετά την αφαίρεση του γεμίσματος. Αυτό συνεργεί στα σπασίματα της ίνας λόγω τάνυσης, ιδιαίτερα όπου το αριθμητικό άνοιγμα (NA) της ίνας είναι μεγάλο. Για αντιστάθμιση του προβλήματος αυτού χρησιμοποιούνται τεχνικές, όπως είναι η ισορροπημένη διαστολή σε όλο το μήκος της ίνας, κλείσιμο της οπής κατά τη διάρκεια του κύκλου της στερεοποίησης ή συνδυασμός της στερεοποίησης και του «τραβήγματος» της ίνας. Το αριθμητικό άνοιγμα, που αναφέρθηκε πιο πάνω, περιγράφει τη συμπεριφορά ενός οπτικού καλωδίου όταν γίνεται ζεύξη με πηγές φωτός, φωτοανιχνευτές ή άλλες οπτικές συνιστώσες (δηλαδή σε συνδέσεις συγκολλησεως και σε συνδετήρες). Το αριθμητικό άνοιγμα ορίζεται ως το ημίτονο της γωνίας μεταξύ του άξονα της ίνας και ενός στοιχείου της επιφάνειας του κώνου που περιβάλλει όλο το φως που εξέρχεται από τον πυρήνα της ίνας μετά από ένα μήκος δύο μέτρων.



Εικόνα 16 : Διεργασία ΟΥΡΟ-Πλευρική εναπόθεση

1.6.2 Η διεργασία ΟΥΡΟ-Αξονική εναπόθεση (VAD)

Ένας άλλος τρόπος διεργασίας ΟΥΡΟ είναι η VAD που αναπτύχθηκε από τα εργαστήρια της NTT. Κατά την διεργασία, ο γυάλινος πυρήνας και μερικές φορές το υλικό του περιβλήματος εναποτίθενται ταυτόχρονα σε μια αξονική κατεύθυνση για να σχηματίσουν μια προκατασκευη ίνας σε σχήμα ράβδου. Χρησιμοποιώντας αυτή τη διεργασία είναι δυνατόν να αποφευχθεί η κεντρική οπή και έτσι κατασκευάζονται εξαιρετικές ίνες πολλαπλού ρυθμού και χαμηλών απωλειών. Μερικά προβλήματα με τη μέθοδο αυτή είναι ο δύσκολος έλεγχος της κλίσης του δείκτη διάθλασης καθώς και ο σχετικά μικρός ρυθμός εναπόθεσης του υλικού.



Εικόνα 17 : Αξονική εναπόθεση (VAD)



1.6.3 Η διεργασία MCVD ή IVPO

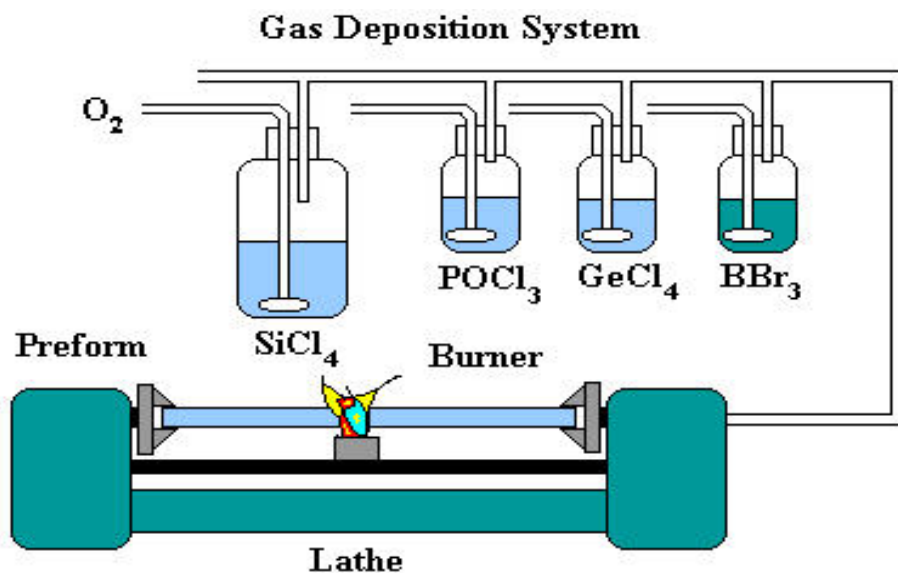
Η διεργασία MCVD, που ονομάζεται επίσης και διεργασία εσωτερικής οξείδωσης από φάση ατμών (IVPO = Inside Vapor-Phase Oxidation Process), περιλαμβάνει εναπόθεση στρωμάτων γυαλιού με ατμό στα εσωτερικά τοιχώματα ενός σωλήνα (συνήθως από υαλώδες πυρίτιο). Καπνιά μπορεί να δημιουργείται, η οποία εναποτίθεται στα τοιχώματα του σωλήνα και τινάσσεται σε μια διαδοχική φάση. Αφού συμπληρωθεί η εναπόθεση του γυαλιού, η κεντρική τρύπα που μένει απαλείφεται με θέρμανση και στη συνέχεια η ίνα «τραβιέται».

Εξαιρετικές ίνες χαμηλής εξασθένησης, μπορούν να ληφθούν με αυτή τη διεργασία σε υψηλούς επιλεκτικούς ρυθμούς που επηρεάζουν ευνοϊκά και το κόστος. Μια μεγάλη επιλογή από γυάλινες συνθέσεις είναι δυνατή γιατί η κεντρική οπή μπορεί να κλείσει όταν το διάκενο είναι ακόμα ζεστό. Έτσι, αποκλείει οποιοσδήποτε ελεύθερες επιφάνειες στις οποίες τανύσεις και καταπονήσεις θα μπορούσαν να δημιουργηθούν κατά την ψύξη.

Κατάλληλες συνθέσεις από GeO_2 , P_2O_5 , SiO_2 μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τους γυάλινους πυρήνες ινών πολλαπλού ρυθμού-βαθμιαίου δείκτη ώστε να επιτευχθούν χαμηλές απώλειες και να διατηρούνται μεγάλα εύρη ζώνης σε πολλαπλά μήκη κύματος. Προσθέσεις του P_2O_5 είναι ιδιαίτερα χρήσιμες για να ελαχιστοποιήσουν τη διασπορά του δείκτη διάθλασης. Για παράδειγμα, σε μια ορισμένη διεργασία και για ορισμένο υλικό που περιλαμβάνει ίσες μοριακές στάθμες P_2O_5 και GeO_2 , ενώ στα 900nm η εξασθένηση είναι 1,6dB/Km και το γινόμενο εύρους ζώνης επί απόσταση είναι 850 MHz*Km, στα 1300nm η εξασθένηση είναι 0,70dB/Km και το αντίστοιχο γινόμενο εύρους ζώνης επί απόσταση μπορεί να είναι 700 MHz*Km ή 450 MHz*Km (εξαρτώμενο από την κατανομή του δείκτη διάθλασης).

Αν και η χρήση γυάλινων σωλήνων στη διεργασία IVPO βοηθάει στο να παρέχει καθαρό κλειστό περιβάλλον, εντούτοις παρουσιάζει προβλήματα σχετικά με τη γεωμετρία της ίνας, την εξασθένηση (παρουσία του υδροξυλίου -HO και των άλλων προσμίξεων), το εύρος ζώνης (κατανομή του n) και την αντοχή. Είναι δυνατόν να ελαττωθούν αυτές οι επιδράσεις στη συμπεριφορά της ίνας, αλλά με τίμημα το υψηλότερο κόστος.

Εναλλακτικές διεργασίες κατασκευής του σωλήνα μπορούν να υιοθετηθούν από τη OVPO τεχνολογία για οικονομικές λύσεις.



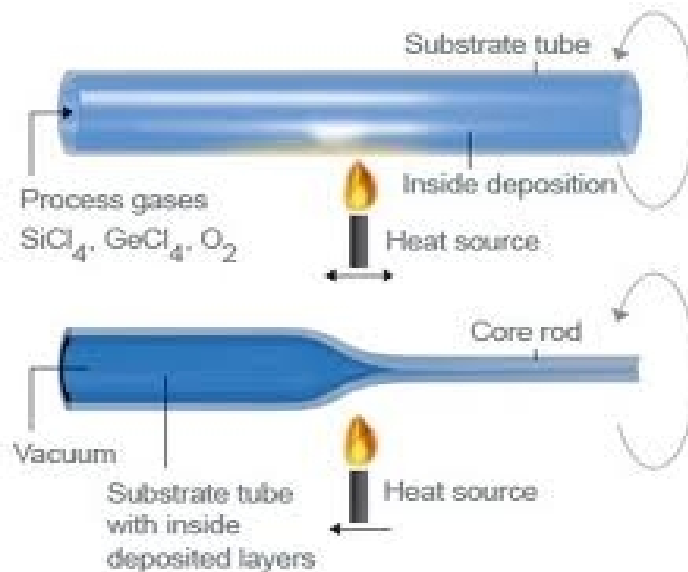
Εικόνα 18 : Η διεργασία MCVD ή IVPO



1.6.4 Η διεργασία PCVD

Η διεργασία χημικής εναπόθεσης πλάσματος από ατμό (PCVD) δείχνεται στο ακόλουθο σχήμα. Όπως φαίνεται στο σχήμα αυτό, η διεργασία PCVD έχει μερικά κοινά χαρακτηριστικά με άλλες μεθόδους χημικής εναπόθεσης για την προπαρασκευή της ίνας. Στοιχεία χημικής αντίδρασης σε πτητική κατάσταση εισέρχονται στο σωλήνα οξειδίου του πυριτίου όπου αντιδρούν σε μία ζώνη που κινείται μπρος-πίσω κατά μήκος του σωληνοειδούς περιβλήματος.

Στην περίπτωση της διεργασίας PCVD, ο σωλήνας «σαρώνεται» όχι από τον καυστήρα αλλά από ένα μικροκομματικό συντονιστή (resonator) και το φούρνο. Έτσι τα αέρια μέσα στο σωλήνα υφίστανται ιονισμό από το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Ένα μεγάλο πλεονέκτημα της διεργασίας PCVD είναι ότι το πλάσμα και επομένως η ζώνη εναπόθεσης μπορούν να κινηθούν με μεγάλη ταχύτητα. Αυτό επιτρέπει το σχηματισμό λεπτού στρώματος εναπόθεσης με πάχη μικρότερα του 1 μ στο κάθε πείραμα. Σε δύο ώρες είναι δυνατόν να εναποθετηθούν 3000 στρώματα 30 cm με καλή προσέγγιση στην επιθυμητή κατανομή του δείκτη διάθλασης. Τα πλεονεκτήματα της διεργασίας αυτής περιλαμβάνουν γεωμετρική και συνθετική ευελιξία (για παράδειγμα, πολύ υψηλά αριθμητικά ανοίγματα της τάξης των 0.4-0.5 και πυρήνες ινών με μεγάλη διάμετρο μπορούν να κατασκευαστούν) καθώς και ελάχιστο αριθμό βημάτων κατά την κατασκευή οπτικών ινών πολλαπλού ρυθμού-βαθμιαίου δείκτη. Ένα μειονέκτημα είναι οι χαμηλές ταχύτητες «τραβήγματος» της τάξης των 0.2-0.3 m/sec για μια ίνα 100-400 MHz*Km.



Εικόνα 19 : Η διεργασία PCVD

1.6.5 Η διεργασία απευθείας τήξης

Μια απλοποιημένη σχηματική διάταξη της διεργασίας παραγωγής οπτικής ίνας με απευθείας τήξη σε διπλή χοάνη. Γυάλινες ράβδοι συνήθως γίνονται από ξεχωριστές καθαρές τήξεις υλικών για πυρήνα και η συνισταμένη ίνα «τραβιέται» από το κάτω τμήμα της διάταξης.



1.7 Η υποβάθμιση του οπτικού σήματος

Το οπτικό σήμα κατά τη διάδοση του μέσα στην οπτική ίνα υφίσταται:

1. εξασθένιση (attenuation) και
2. διασπορά (dispersion).

Τόσο η εξασθένιση όσο και η διασπορά παίζουν σημαντικό ρόλο στο σχεδιασμό ενός οπτικού συστήματος. Από τη μια πλευρά, η εξασθένιση καθορίζει τη μέγιστη απόσταση μεταξύ μεταδότη και ανιχνευτή και από την άλλη, ο μηχανισμός της διασποράς προκαλεί διεύρυνση του παλμού με αποτέλεσμα οι διαδοχικοί παλμοί να αλληλεπικαλύπτονται και να παρουσιάζονται λάθη στο τελικό στάδιο της ανίχνευση. Γενικά μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η εξασθένιση της ισχύος στο εσωτερικό μιας οπτικής ίνας περιγράφεται από τη σχέση:

$$Dp / dz = -Ap$$

όπου a είναι ο συντελεστής εξασθένισης και P η οπτική ισχύς. Το σύμβολο a στην παραπάνω εξίσωση συμπεριλαμβάνει όχι μόνο την απορρόφηση από το υλικό της ίνας αλλά και άλλες πηγές εξασθένισης της ισχύος. Δεδομένου ότι P είναι η ισχύς εισόδου σε μια οπτική ίνα μήκους L , η ισχύς εξόδου θα δίνεται από τη σχέση:

$$P_{out}(t) = P_{in} \exp(-aL)$$

1.7.1 Η εξασθένιση

Διακρίνουμε δύο είδη εξασθένισης:

1. εξασθένιση που σχετίζεται με το υλικό της ίνας (material attenuation – M.A.) και
2. εξασθένιση κατασκευαστικής φύσεως (structural attenuation – S.A.)

Στην πρώτη συμπεριλαμβάνονται η απορρόφηση που εξαρτάται από το υλικό (material absorption – M.A.) και οι απώλειες λόγω σκέδασης (scattering losses).

Η δεύτερη περιλαμβάνει τις απώλειες λόγω κύρτωσης της ίνας (bending loss), τις απώλειες λόγω συγκολλήσεων (splicing loss) και τις απώλειες στους συζεύκτες (coupling loss).



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

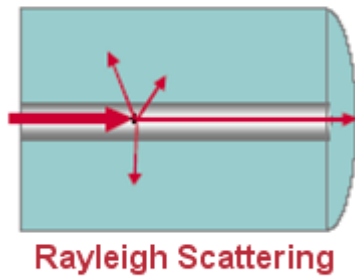
Πίνακας 2: Εξασθένηση οπτικού σήματος συναρτήσει μήκους κύματος

1. Όσον αφορά την Μ.Α.(Material absorption),τρεις είναι οι μηχανισμοί που την προκαλούν:

- Ατέλειες στη δομή του υλικού της ίνας, όπως μόρια που λείπουν ή μεγάλη πυκνότητα ατόμων.
- Προσμίξεις στο υλικό της ίνας (κυρίως ιόντα σιδήρου, χρωμίου, κοβαλτίου, χαλκού και υδροξυλίου (OH-), οι οποίες προκαλούν εξασθένηση 1-10dB/Km για κάθε 10ppb.
- Η ενδογενής απορρόφηση από τα βασικά άτομα που συνιστούν το υλικό της ίνας. Στο υπεριώδες εμφανίζονται οι ηλεκτρονικές ζώνες απορρόφησης, ενώ στο κοντινό υπέρυθρο οι ζώνες ατομικών ταλαντώσεων. (Οι τελευταίες οφείλονται σε απορρόφηση ενέργειας από το χημικό δεσμό των ατόμων της ίνας). Για μήκη κύματος πάνω από τα 1.2μm κυριαρχεί η απορρόφηση στο υπέρυθρο και η απορρόφηση εξαιτίας του OH.

Η σοβαρότερη αιτία απωλειών στις οπτικές ίνες, είναι η σκέδαση. Η σκέδαση συμβαίνει, όταν το φως προσπέσει πάνω σε συγκεκριμένα άτομα του υλικού. Το φως που σκεδάζεται με γωνίες μεγαλύτερες της κρίσιμης για την οπτική ίνα τιμής, απορροφάται από το μανδύα ή σκεδάζεται προς όλες τις κατευθύνσεις, ακόμη και πίσω προς την πηγή.

Η σκέδαση αποτελεί και αυτή συνάρτηση του μήκους κύματος, αντιστρόφως ανάλογη της τέταρτης δύναμης αυτού. Έτσι, για διπλάσιο μήκος κύματος η σκέδαση μειώνεται στο 1/16. Επομένως, για μετάδοση μεγάλων αποστάσεων, είναι προτιμότερη η χρήση του μεγαλύτερου δυνατού μήκους κύματος, για ελάχιστες απώλειες και μεγαλύτερες αποστάσεις μεταξύ των επαναληπτών (αναμεταδοτών) σήματος. Τα συστήματα οπτικών ινών λειτουργούν σε παράθυρα μεταξύ των ζωνών απορρόφησης στα 850nm, 1300nm, 155nm και 1625nm, εκεί όπου η φυσική επιτρέπει την εύκολη κατασκευή lasers και φωτοανιχνευτών. Οι πλαστικές ίνες έχουν μικρότερο παράθυρο μηκών κύματος, το οποίο πρακτικά περιορίζεται γύρω από τα 660nm.



	Scattering
850 nm	Highest
1310 nm	Lower
1550 nm	Lowest

Εικόνα 20 : Το φαινόμενο της σκέδασης εξαρτάται από το μήκος κύματος

Οι απώλειες σκέδασης προέρχονται από:

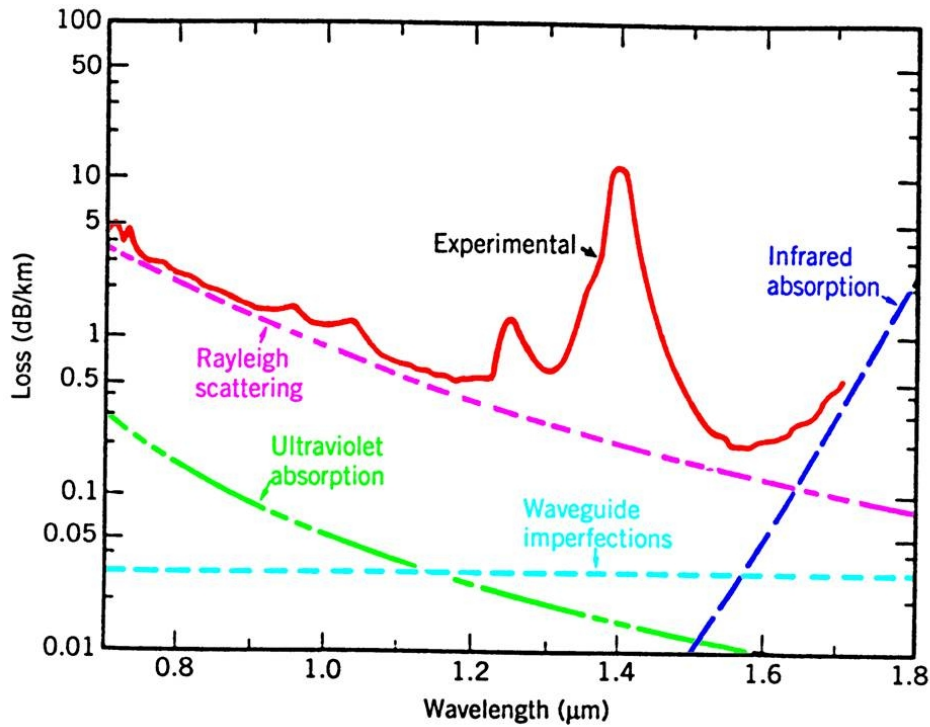
- Μικροσκοπικές μεταβολές της πυκνότητας του υλικού της ίνας. Αυτές προκαλούν διακυμάνσεις του δείκτη διάθλασης της ίνας με Rayleigh (απώλεια $1/\lambda^4$).
- Δομικές ανομοιογένειες και ατέλειες. Με τις νέες κατασκευαστικές μεθόδους ο ρόλος τους στις απώλειες έχει περιοριστεί κατά πολύ.

Γενικά, μπορούμε να πούμε ότι για μήκος κύματος μικρότερο από $1\mu\text{m}$, ο κυριότερος μηχανισμός απωλειών είναι η σκέδαση Rayleigh ενώ για λ μεγαλύτερο από $1\mu\text{m}$ κυριαρχεί η απορρόφηση στο υπέρυθρο.

Ωστόσο, ένας θεμελιώδης εσωτερικός μηχανισμός απωλειών είναι οι απώλειες σκέδασης Raman, οι οποίες προκύπτουν από μικροσκοπικές διακυμάνσεις του δείκτη διάθλασης στον πυρήνα της οπτικής ίνας κατά τη διάρκεια της κατασκευής της. Οι διακυμάνσεις της πυκνότητας οδηγούν σε διακυμάνσεις στην τιμή του δείκτη διάθλασης του πυρήνα σε κλίμακα μικρότερη του οπτικού μήκους κύματος. Με την προσθήκη διαφόρων προσμίξεων στον πυρήνα αυξάνεται το ποσοστό των απωλειών σκέδασης Rayleigh μιας και το υλικό γίνεται όλο και πιο ανομοιογενές. Μια καλή προσέγγιση του συντελεστή σκέδασης Rayleigh α_s δίνεται από τον τύπο :

$$\alpha_s (dB / km) = \frac{(0.75 + 66\Delta n_{Ge})}{\lambda^4}$$

Τυπικές τιμές του α_s είναι 0,12-0,16dB/Km για $\lambda = 1,55\mu\text{m}$. Αυτές οι απώλειες περιορίζουν τελικά την απόσταση στην οποία μπορούν να μεταδοθούν σήματα και απαιτούν την ύπαρξη οπτικής ενίσχυσης.

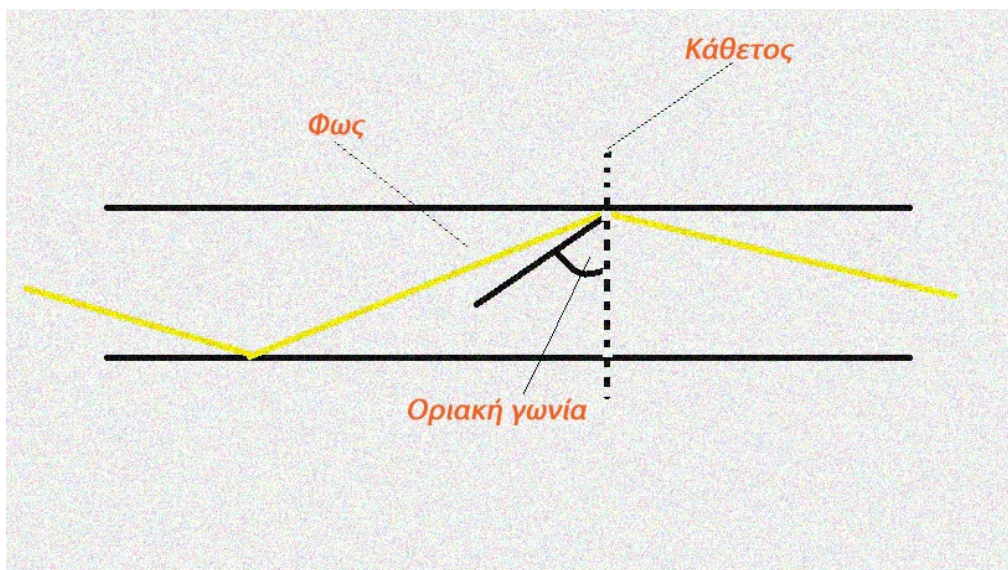


Εικόνα 21 : Μηχανισμοί απωλειών οπτικών ινών

2. Εξασθένηση κατασκευαστικής φύσεως (structural attenuation – S.A.)

Μακροκάμψεις

Μια αιχμηρή καμπή της ίνας μπορεί να προκαλέσει σημαντικές απώλειες καθώς και την πρόκληση μηχανικής αποτυχίας. Είναι πιο εύκολο να κάμψεις ένα μικρό κομμάτι οπτικής ίνας για να προκαλέσεις μεγάλες απώλειες από ότι ένα χιλιόμετρο οπτικής ίνας σε κανονική λειτουργία. Η ακτίνα που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα βρίσκεται έξω από την οριακή γωνία και επομένως ορθά διαδιδόμενη.

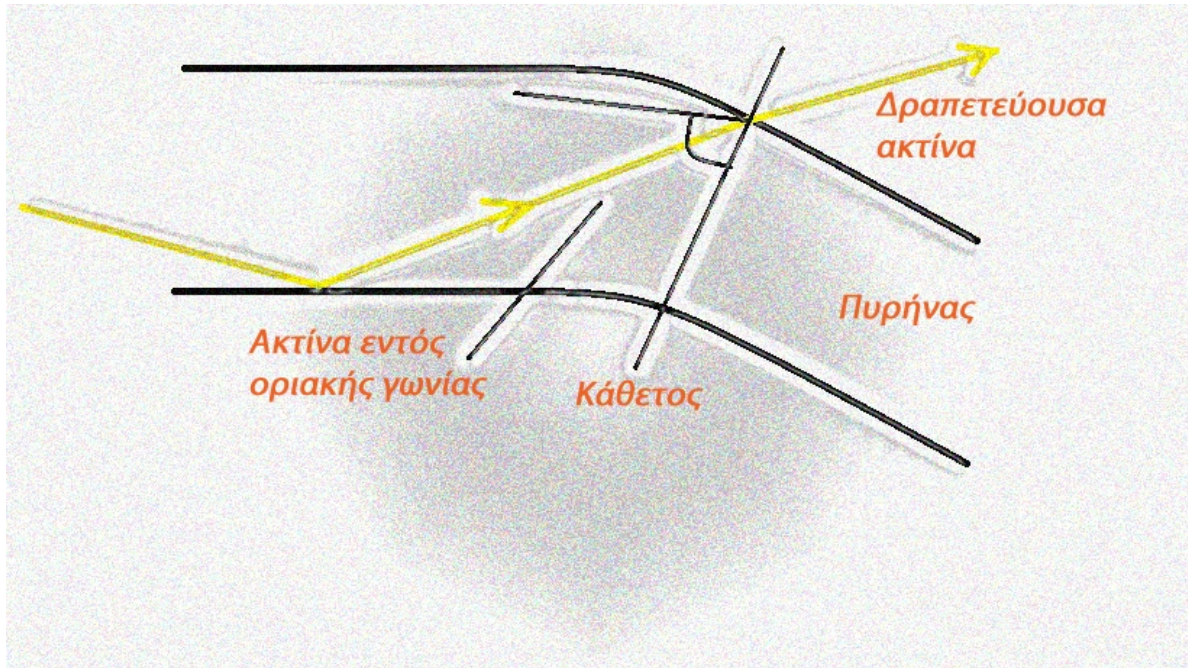


Εικόνα 22 : Κανονική κατάσταση

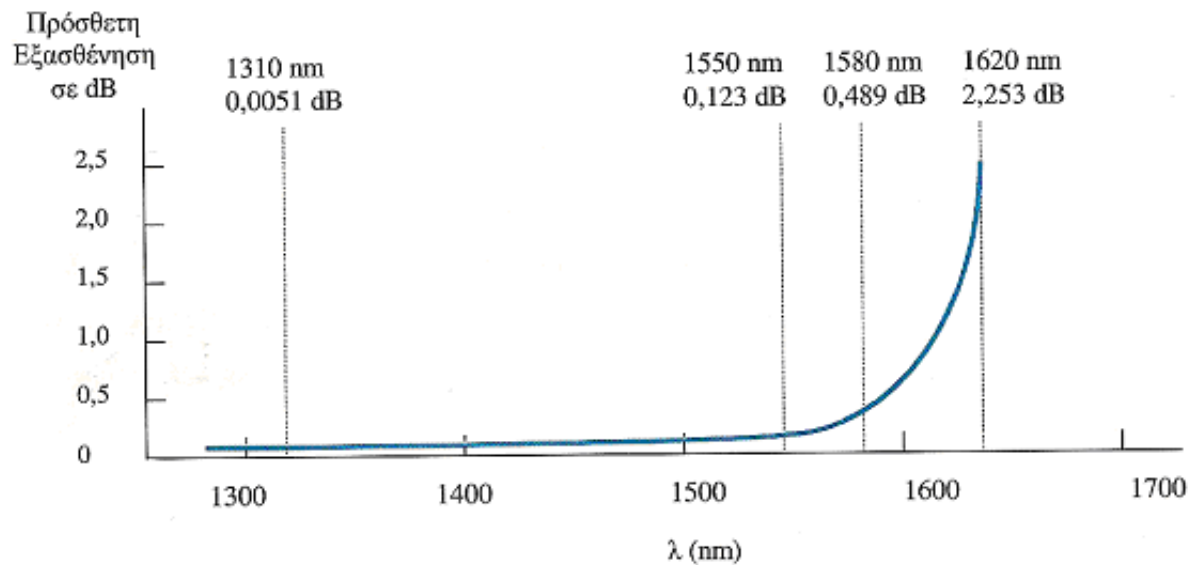


Αν τώρα ο πυρήνας καμφθεί όπως στο παρακάτω σχήμα η ακτίνα θα βρεθεί σε λάθος πλευρά της οριακής γωνίας και θα δραπετεύσει. Επομένως, πολύ συμπίεσμένες κάμψεις είναι καλό να αποφεύγονται, αλλά πως προσδιορίζουμε το πολύ συμπίεσμένες;

Η πραγματική απάντηση βρίσκεται στα χαρακτηριστικά του καλωδίου οπτικής ίνας. Μια γυμνή ίνα είναι ασφαλής εάν η ακτίνα κάμψης είναι τουλάχιστον 50mm. Όσο πιο συμπίεσμένη είναι η καμπή τόσο χειρότερες θα είναι οι απώλειες.



Εικόνα 23 : Αποτέλεσμα μακροκάμψεων



Εικόνα 24 : Απώλεια από κάμψη συνάρτηση του μήκους κύματος



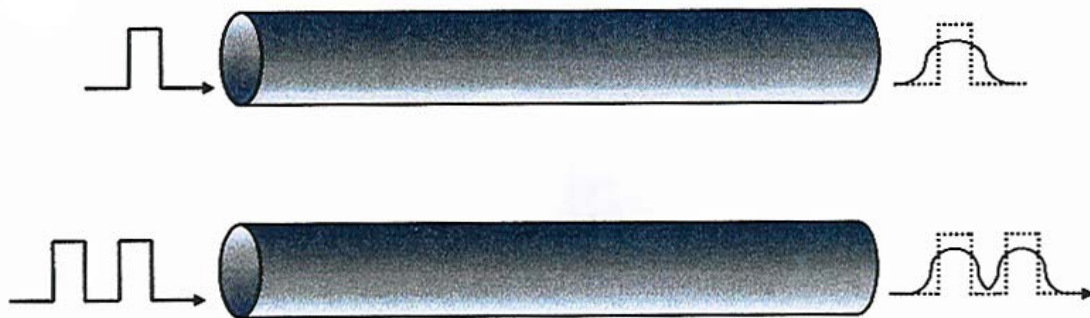
Επίδραση υδρογόνου και Ραδιενέργεια

Η εμφάνιση υδρογόνου οφείλεται στην εισχώρηση υγρασίας στο εσωτερικό του οπτικού καλωδίου. Το υδρογόνο εκλύεται είτε από την ηλεκτρολυτική επίδραση της υγρασίας στην μεταλλική δομή θωράκισης του καλωδίου είτε από χημική αποσύνθεση των υλικών του μανδύα.

Η πρόσθετη εξασθένηση εμφανίζεται σωρευτικά. Το φαινόμενο αυτό είναι ιδιαίτερα αισθητό σε υποβρύχιες ζεύξεις. Επίσης η έκθεση των οπτικών ινών σε ραδιενεργά περιβάλλοντα τα οποία μπορεί να προκληθούν από πυρηνικά ατυχήματα προκαλεί την μοριακή τους αποσύνθεση με αποτέλεσμα να δημιουργούνται χρωματικά κέντρα απορρόφησης του οπτικού σήματος.

1.7.2 Η διασπορά

Διασπορά είναι η επιμήκυνση των παλμών κατά τη διάδοση τους στο μέσον. Η υπερβολική επιμήκυνση προκαλεί εσφαλμένα bit (bit-errors) στον δέκτη δηλαδή προκαλεί δυσκολία διάκρισης μεταξύ 0 και 1.



Εικόνα 25 : Σχηματική παράσταση της διασποράς σε μια οπτική ίνα

1.7.3 Τύποι διασποράς

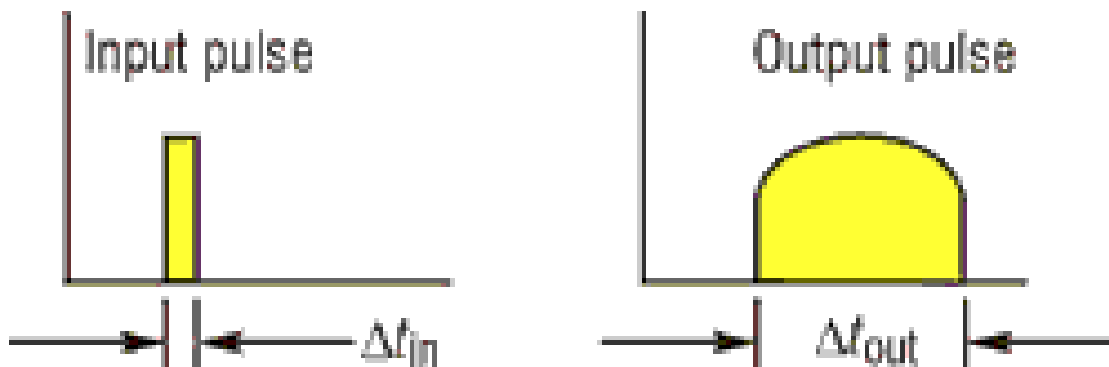
Υπάρχουν 3 κύρια είδη διασποράς:

- 1. Διασπορά τρόπου μετάδοσης:** Η διασπορά τρόπου μετάδοσης - modal dispersion εμφανίζεται μόνο σε πολύτροπες ίνες και οφείλεται στο γεγονός ότι το οπτικό σήμα διαδίδεται εντός της ίνας με παραπάνω του ενός τρόπου. Με άλλα λόγια, το οπτικό σήμα κατά την διάδοση του εντός της πολύτροπής ίνας διασπάται σε διαφορετικές ακτίνες φωτός οι οποίες ακολουθούν διαφορετικούς δρόμους τεθλασμένων γραμμών. Κατά συνέπεια κάθε διαδρομή έχει και διαφορετική ταχύτητα. Η τιμή της διασποράς του τρόπου μετάδοσης αυξάνει ανάλογα με το πλήθος των τρόπων μετάδοσης που υποστηρίζει ο κυματοδηγός. Άρα εξαρτάται κυρίως από το μέγεθος του πυρήνα. Σε πολύτροπες ίνες βηματικού δείκτη, μια τυπική τιμή διασποράς είναι τα 30ns/Km, ενώ σε ίνες βαθμιαίου δείκτη η διασπορά του τρόπου μετάδοσης είναι μικρότερη του 1ns/Km.
- 2. Διασπορά υλικού (DM):** Η διασπορά υλικού - material dispersion ή χρωματική διασπορά – chromatic dispersion εμφανίζεται τόσο σε πολύτροπες όσο και σε μονότροπες ίνες, και οφείλεται στο γεγονός ότι ο συντελεστής διάθλασης του πυρήνα εξαρτάται και από το μήκος κύματος της οδηγούμενης ακτίνας φωτός. Όταν το οπτικό σήμα του πομπού περιλαμβάνει περισσότερα από ένα μήκη κύματος τότε κάθε ένα από αυτά βλέπει διαφορετικό συντελεστή διάθλασης πυρήνα $n=n(\lambda)$ και το αντίστοιχο μεταφερόμενο μέρος του σήματος κινείται με διαφορετική ταχύτητα



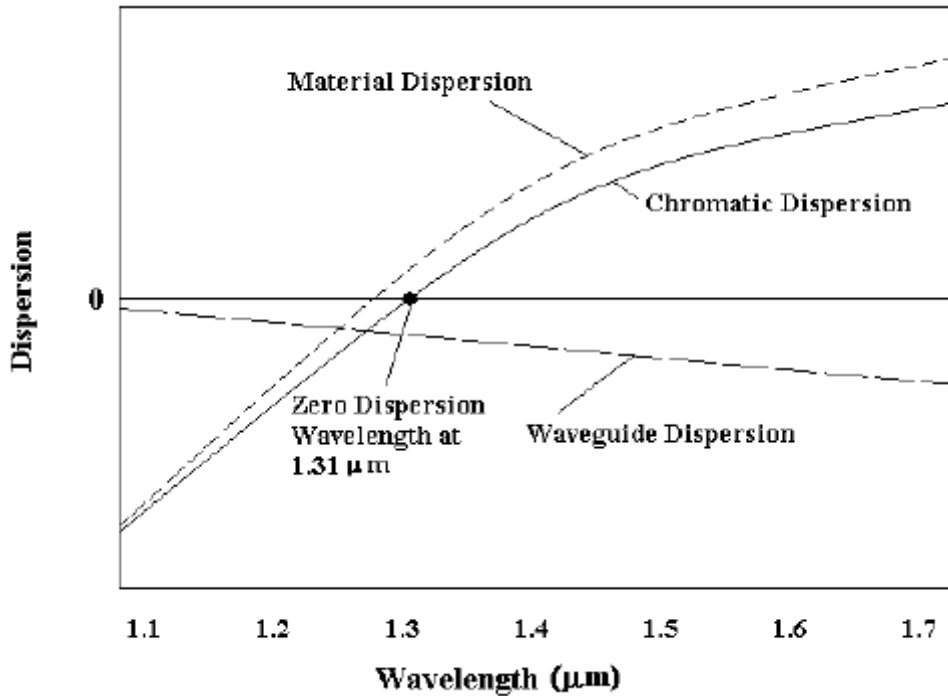
$v = \frac{c}{n}$ προκαλώντας διασπορά του οπτικού σήματος στο δέκτη. Πιθανόν το οπτικό σήμα να προέρχεται από τη σύνθεση διαφορετικών μηκών κύματος. Άλλωστε δεν υπάρχει ιδανική πηγή φωτός που να εκπέμπει φως συγκεντρώνοντας την ισχύ του σε ένα και μόνο μήκος κύματος. Από την σχέση $v = \frac{c}{n}$ διαπιστώνουμε ότι όσο μεγαλύτερος είναι ο δείκτης διάθλασης της ίνας τόσο μειώνεται η ταχύτητα διάδοσης του κύματος. Επίσης γνωρίζουμε ότι κατά τη διάδοση κύματος σε οποιοδήποτε υλικό ισχύει σχέση $\lambda = \frac{v}{f}$ (για την διάδοση κύματος στο κενό ισχύει $\lambda = \frac{c}{f}$) Άρα συνδυάζοντας τις δύο σχέσεις καταλήγουμε στη $\lambda = \frac{v}{f} = \frac{c}{(fn)}$ Παρατηρούμε ότι το όσο το μήκος κύματος του φωτός μεγαλώνει τόσο πιο γρήγορα ταξιδεύει αφού ο δείκτης διάθλασης γίνεται μικρότερος.

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



Εικόνα 26 : Αποτέλεσμα της διασποράς

4. **Συνολική διασπορά (D):** Η συνολική διασπορά της μονότροπης ίνας ορίζουμε το άθροισμα της διασποράς υλικού και της διασποράς κυματοδηγού - total dispersion. Η συνολική διασπορά εξαρτάται τόσο από το μήκος κύματος της πηγής φωτός όσο και από το υλικό της ίνας. Στο παρακάτω σχήμα παρατηρούμε ότι για ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος η συνολική διασπορά μηδενίζεται. Αυτό το μήκος κύματος ονομάζεται μήκος κύματος μηδενικής διασποράς λ_{ZD} .



Εικόνα 27 : Χρωματική διασπορά της οπτικής ίνας

1.7.4 Μη γραμμικά φαινόμενα

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

1. Διεγερόμενη σκέδαση
2. Διακυμάνσεις του δείκτη διάθλασης

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

Διεγερόμενη σκέδαση Brillouin, SBC

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

Διεγερόμενη σκέδαση Raman, SRS

Η διεγερόμενη σκέδαση Raman είναι η αλληλεπίδραση μεταξύ του φωτός και των δονήσεων των μορίων της ίνας. Η SRS σκεδάζει φως και προς τα εμπρός και προς τα πίσω. Η μετάδοση ισχύος προς τα πίσω μπορεί να μηδενιστεί χρησιμοποιώντας ένα οπτικό απομονωτή. Η SRS εμφανίζεται για ισχύ εισόδου μεγαλύτερη από 27dBm, δηλαδή κοντά στο 1 W. Η διεγερόμενη σκέδαση Raman αποτελεί σημαντικότερο πρόβλημα για την μετάδοση μέσω μιας οπτικής ίνας αλλά εμφανίζεται, όπως προαναφέραμε, αποκλειστικά όταν η ισχύς εισόδου είναι αρκετά υψηλή (περίπου 1 W). Τέτοια



πάντως επίπεδα ισχύος στην είσοδο της οπτικής ίνας θεωρούνται υπερβολικά υψηλά ιδιαίτερα για τις μονότροπες ίνες. Γι αυτό η διεγερόμενη σκέδαση Raman υπό φυσιολογικές συνθήκες δεν εμφανίζεται σε ένα δίκτυο οπτικών ινών. Σε αντίθεση με τη σκέδαση Raman η σκέδαση Brillouin εμφανίζεται για χαμηλότερη ισχύ εισόδου αλλά η επίδραση της δεν είναι τόσο σημαντική. Γενικώς καλό είναι η ισχύς εισόδου να μην ξεπερνάει τα 6dBm για να αποφεύγονται τα μη γραμμικά φαινόμενα που εμφανίζονται όταν το διαδιδόμενο σήμα έχει υψηλή ισχύ.

Self phase modulation, SPM (αυτό-διαμόρφωση φάσης)

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

Cross phase modulation, XPM (ετερο-διαμόρφωση φάσης)

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

Μείξη τεσσάρων κυμάτων

Ένα από τα πιο σοβαρά μη γραμμικά φαινόμενα είναι η μείξη τεσσάρων κυμάτων. Εμφανίζεται όταν πολλαπλά σήματα μεταδίδονται ταυτόχρονα. Τα σήματα αυτά «αναμειγνύονται» με αποτέλεσμα να παράγουν νέα κανάλια που μπορούν να «κλέψουν» ισχύ από τα ήδη υπάρχοντα κανάλια και να τα επικαλύψουν.

Λόγω του ότι τα κανάλια (μήκη κύματος) ισαπέχουν μεταξύ τους σε αυτό το παράδειγμα, κάποια από τα σήματα που δημιουργούνται επιδρούν στα ήδη υπάρχοντα κανάλια. Το φαινόμενο της μείξης των τεσσάρων κυμάτων εμφανίζεται για ισχύ εισόδου μεγαλύτερη από 0 dBm.

1.8 Οι πηγές φωτός και οι ανιχνευτές

1.8.1 Οι οπτικές πηγές

Ο σκοπός του πομπού είναι η μετατροπή του ηλεκτρικού σήματος στο απαραίτητο ηλεκτρικό ρεύμα έτσι ώστε να λειτουργήσει μια πηγή φωτός. Τα ηλεκτρικά σήματα είναι είτε αναλογικά είτε ψηφιακά. Εάν το σήμα είναι ήδη ψηφιακό, ο πομπός πρέπει να αποτελείται από ένα ολοκληρωμένο το οποίο θα παρέχει ταχύτατη εναλλαγή παλμικής κωδικοποίησης. Εάν το σήμα είναι αναλογικό, ο



πομπός θα πρέπει να παρέχει ρεύμα σε μια πηγή φωτός έτσι ώστε να γίνει η εκπομπή των εναλλαγών του σήματος.

Οι κυριότερες πηγές που χρησιμοποιούνται στα οπτικά συστήματα μετάδοσης είναι οι ημιαγωγικές δίοδοι Laser και οι LED. Και τα δυο είδη πηγών είναι κατάλληλα γι' αυτά τα συστήματα γιατί:

1. Η εξερχόμενη απ' αυτές οπτική ισχύς είναι επαρκής για μεγάλο εύρος εφαρμογών.
2. Η εξερχόμενη ισχύς μπορεί απ' ευθείας να διαμορφωθεί μεταβάλλοντας απλά το ρεύμα εισόδου της πηγής.
3. Έχουν μεγάλη αποδοτικότητα.
4. Οι διαστάσεις των διατομών τους ταιριάζουν μ' αυτές των οπτικών ινών.

Η επιλογή του είδους της πηγής φωτός που θα χρησιμοποιηθεί σε ένα οπτικό σύστημα μετάδοσης βασίζεται σε αρκετούς παράγοντες όπως:

1. Μήκος κύματος εκπομπής.
2. Σχέση ισχύος και απόστασης μετάδοσης.
3. Το πλάτος του εύρους των μηκών κύματος.
4. Αποτελεσματικός τρόπος διοχέτευσης του παραγόμενου φωτός στην οπτική ίνα μετάδοσης.

1.8.2 Τα χαρακτηριστικά των LASERS και των LEDS

Ισχύς εξόδου

Η τεράστια διαφορά ανάμεσα σε μια δίοδο laser και ένα LED μπορεί να γίνει φανερή από το I-P διάγραμμα τους. Η γραφική παράσταση για τη δίοδο Laser ακολουθεί παρόμοια καμπύλη με τη γραφική παράσταση για το LED μέχρι ενός σημείου (threshold) όπου το ρεύμα I αναγκάζει τη δίοδο να εκπέμψει φως. Μετά από το σημείο αυτό, η ισχύς εξόδου της δίοδου laser αυξάνεται ραγδαία και σχεδόν γραμμικά. Από την άλλη μεριά, το LED που βασίζεται στην αυθόρμητη εκπομπή, δεν έχει σημείο κατωφλίου αλλά συνεχίζει να αυξάνει την ισχύ εξόδου του ανάλογα με την αύξηση του ρεύματος. Αυτό συμβαίνει μέχρι τη στιγμή που η ισχύς εξόδου φτάνει σε ένα σημείο που αρχίζει να ελαττώνεται (όταν ο ημιαγωγός ζεσταίνεται $\theta > 700^{\circ}\text{C}$).

Λοβός ακτινοβολίας

Οι λοβοί ακτινοβολίας των Lasers και των LEDs είναι πολύ διαφορετικοί μεταξύ τους. Ο λοβός ακτινοβολίας του Lasers παρουσιάζει έντονη κατευθυντικότητα ενώ ο λοβός του LED είναι περίπου κυκλικός.

Οι απαιτήσεις ενός οπτικού πομπού είναι :

1. Να λειτουργεί σε ένα από τα «παράθυρα» ελάχιστης εξασθένισης, δηλαδή τα 850, 1310 ή 1550nm.
2. Το εκπεμπόμενο οπτικό σήμα να είναι κατά το δυνατόν μονοχρωματικό, δηλαδή το εύρος εκπομπής Δλ γύρω από το κεντρικό μήκος κύματος λειτουργίας να είναι κάτω από 50nm.
3. Η ισχύς εξόδου του πομπού να είναι της τάξης του 1 Mw.
4. Να μπορεί να διαμορφωθεί από ψηφιακά σήματα υψηλού ρυθμού.
5. Ο λόγος σβέσης να είναι υψηλός ($> 8\text{dB}$).
6. Η υψηλή αξιοπιστία.



7. Το χαμηλό κόστος.

Το φως που εξέρχεται από τη LED είναι ασύμφωνο και κατά συνέπεια έχει μεγάλο φασματικό εύρος. Αντίθετα, το φως από μια δίοδο Laser είναι σύμφωνο, δηλαδή η ακτινοβολία είναι μονοχρωματική και ισχυρά κατευθυνόμενη. Για την εκλογή της πηγής στο οπτικό σύστημα πρέπει να λάβουμε υπόψη, εκτός από τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που παρουσιάζει η μια σε σχέση με την άλλη και τη διασπορά του σήματος, το ρυθμό των δεδομένων, την απόσταση μεταφοράς και βέβαια το κόστος.



Εικόνα 28 : Τα leds

1.8.3 Τα Laser

Η πιο συνηθισμένη μορφή μιας δίοδου λέιζερ που χρησιμοποιείται σαν πομπός ονομάζεται δίοδος λέιζερ έγχυσης (ILD) ή απλά δίοδος έγχυσης (ID). Η λέξη έγχυση δεν μας ενδιαφέρει - κυρίως αναφέρεται σε ένα τμήμα της επεξεργασίας που εμφανίζεται μέσα στο υλικό του ημιαγωγού. Ένα λέιζερ παρέχει φως με σταθερό μήκος κύματος που μπορεί να είναι στην ορατή περιοχή, περίπου 635nm ή σε οποιοδήποτε από τα τρία υπέρυθρα παράθυρα.

Το φως έχει πολύ στενό εύρος ζώνης, τυπικά μόνο μερικά νανόμετρα. Αυτό εξασφαλίζει ότι η χρωματική διασπορά διατηρείται σε χαμηλή τιμή και αυτό, μαζί με την γρήγορη διακοπή, επιτρέπει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων. Αφού η συσκευή λέιζερ μόλις που φαίνεται με γυμνό οφθαλμό, αυτή πρέπει να περιέχεται σε κάποιου είδους συσκευασία. Η επιτυχημένη εκτόξευση φωτός μέσα σε ίνες απαιτεί πολύ υψηλή ακρίβεια και αυτό πετυχαίνεται βελτιώνοντας τη θέση ενός προσαρμοσμένου ευέλικτου αγωγού (pigtail), που μπορεί μετά να συνδεθεί στην κυρία οπτική ίνα. Ένα φωτοηλεκτρικό στοιχείο επίσης συμπεριλαμβάνεται σαν συσκευή παρακολούθησης για την μέτρηση της ισχύος εξόδου. Αυτό παρέχει ανάδραση για τον αυτόματο έλεγχο της ισχύος εξόδου του λέιζερ.

Η ισχύς εξόδου ενός λέιζερ επηρεάζεται από κάθε αλλαγή της θερμοκρασίας. Η ισχύς μειώνεται καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία. Κάποιες υπομονάδες λέιζερ συμπεριλαμβάνουν έναν αισθητήρα θερμοκρασίας για να καταπολεμήσουν αυτό το πρόβλημα. Η σταθερότητα της θερμοκρασίας επίσης βελτιώνεται στερεώνοντας την συσκευασία του λέιζερ με κάποια μορφή ψήκτρας.

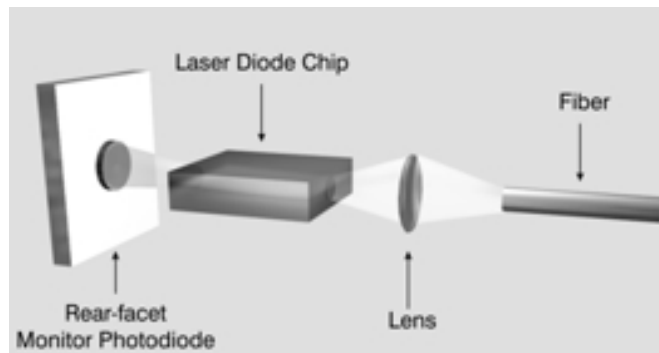
Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι δομών δίοδου laser: Fabry-Perot (FP) και οι κατανεμημένες ανάδρασης (distributed feedback, DFB). Από τους δύο τύπους laser, τα Fabry-Perot laser είναι τα πιο οικονομικά, αλλά είναι γενικά θορυβώδη και πιο αργές συσκευές.

Τα DFB lasers είναι πιο αθόρυβες συσκευές (π.χ. υψηλό λόγο σήματος προς θόρυβο, SNR), έχει στενότερα φασματικά πλάτη και είναι συνήθως γρηγορότερες συσκευές. Τα DFB lasers έχουν τον υψηλότερο βαθμό απόδοσης και το υψηλότερο κόστος από τους δύο τύπους. Είναι σχεδόν μονοχρωματικό (εκπέμπει ένα πολύ καθαρό και απλό χρώμα φωτός σε ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος) ενώ τα FP lasers εκπέμπουν φως που αποτελείται από έναν αριθμό διακριτών μηκών κύματος. Τα DFB lasers τείνουν να χρησιμοποιούνται στις υψηλότερης ταχύτητας ψηφιακές εφαρμογές και στις περισσότερες αναλογικές εφαρμογές εξαιτίας της γρήγορης ταχύτητας τους, του χαμηλότερου θορύβου τους και της καλύτερης γραμμικότητάς τους. Τα Fabry-Perot lasers χωρίζονται περαιτέρω σε δύο τύπους, τους buried hetero (BH) και στους multiquantum well (MQW) τύπους. Τα



BH και άλλοι σχετικοί τύποι χρησιμοποιούνταν για πολλά χρόνια, αλλά τώρα οι MQW τύποι είναι πολύ διαδεδομένοι. Τα MQW lasers προσφέρουν περισσότερα σημαντικά πλεονεκτήματα από ότι όλοι οι τύποι των Fabry-Perot lasers. Προσφέρουν χαμηλότερο κατώτατο όριο ρεύματος, υψηλότερη βαθμό απόδοσης, χαμηλό θόρυβο, καλύτερη γραμμικότητα και πολύ καλύτερη σταθερότητα στη θερμοκρασία. Σαν αποτέλεσμα των μεγάλων περιθωρίων απόδοσης των MQW lasers, οι κατασκευαστές laser προμηθεύουν αυτό τον τύπο σε μεγαλύτερες ποσότητες, έτσι το κόστος των laser μειώνεται. Σημαντικό μειονέκτημα των MQW laser είναι ότι είναι επιρρεπής σε φαινόμενα back reflections. Επίσης έχουμε και τα VCSELs Laser. Τα VCSELs (Vertical-Cavity Surface-Emitting Laser) είναι μια νέα δομή laser που εκπέμπει φως κάθετα από την επιφάνεια του και έχει κάθετη κοιλότητα laser.

Οι αρχές λειτουργίας του VCSEL μοιάζουν πολύ με εκείνων των συνηθισμένων edge-emitting ημιαγωγών laser. Η καρδιά του VCSEL γνωστή ως ενεργός περιοχή, εκπέμπει το φως. Τα στρώματα των ποικίλων ημιαγωγών πάνω και κάτω από την περιοχή κέρδους δημιουργούν τους καθρέφτες. Κάθε καθρέφτης ανακλά ένα στενό εύρος μηκών κύματος πίσω στην κοιλότητα προκαλώντας εκπομπή φωτός σε ένα ενιαίο μήκος κύματος.



Εικόνα 29 : Η δομή ενός VCSEL Laser

Ας δούμε όμως τα πλεονεκτήματα μιας διόδου Laser:

1. Έχει μικρότερο χρόνο απόκρισης ($T_r < 1\text{ns}$) με αποτέλεσμα υψηλότεροι ρυθμοί διαμόρφωσης (άρα και υψηλότεροι ρυθμοί μεταφοράς) να είναι εφικτοί με αυτή.
2. Παρέχει στενότερο φασματικό εύρος το οποίο σημαίνει μικρότερη διαταραχή του σήματος λόγω μικρότερης διασποράς. Αυτό έχει σημασία όταν η διάδοση γίνεται στα 800-900nm όπου το φασματικό εύρος μιας LED και η διασπορά των ινών από SiO_2 περιορίζουν το γινόμενο του ρυθμού δεδομένων επί την απόσταση σε 150(Mb/s) Km.
3. Όταν επιζητούνται τιμές μέχρι 2500(Mb/s) Km τότε σίγουρα χρησιμοποιούνται Laser. Αντίθετα, σε μ.κ. γύρω στα 1.3μm, όπου η διασπορά του σήματος είναι πολύ μικρή, επιτυγχάνονται τουλάχιστον 1500(Mb/s) x Km με LED, ενώ με InGaAsP lasers πάνω από 25 (Gb/s) x Km.
4. Μεγαλύτερο ποσοστό οπτικής ισχύος (περίπου 10-15dB περισσότερο) μπορεί να συζευχθεί σε μια οπτική ίνα από μια δίοδο laser, επιτρέποντας μ' αυτόν τον τρόπο τη μετάδοση του σήματος σε μεγαλύτερες αποστάσεις.

1.8.4 Οι προδιαγραφές των λείζερ

Μήκος κύματος

Το μήκος κύματος που δίνεται είναι μόνο μια τυπική τιμή. Έτσι, αν θέλουμε να αγοράσουμε ένα λείζερ για το παράθυρο των 1300nm, αυτό που παρέχεται μπορεί να προδιαγραφεται σαν 1285-1320nm και η πραγματική συχνότητα θα βρίσκεται κάπου μεταξύ αυτών των ορίων. Μερικές φορές διατίθεται απλά σαν 1300nm.



Χρόνος ανόδου και καθόδου

Αυτό είναι μέτρο του πόσο γρήγορα το λέιζερ μπορεί να ανοίξει ή να κλείσει υπολογισμένο μεταξύ επιπέδων ισχύος από 10% μέχρι 90% το πολύ. Τυπική τιμή είναι τα 0,3ns.

Ρεύμα κατοφλίου

Είναι το χαμηλότερο ρεύμα στο οποίο λειτουργεί το λέιζερ. Τυπική τιμή είναι 50Ma και το κανονικό ρεύμα λειτουργίας είναι περίπου 70Ma.

Φασματικό εύρος

Είναι το εύρος ζώνης του εκπεμπόμενου φωτός. Τυπικά φασματικά εύρη κυμαίνονται μεταξύ 1 και 5nm. Ένα λέιζερ με έξοδο 1310nm με φασματικό εύρος 4nm, εκπέμπει υπέρυθρο φως μεταξύ 1308 και 1312nm.

Θερμοκρασία λειτουργίας

Τυπικές τιμές είναι από -10°C μέχρι +45°C και γι' αυτό οι εμβέλεις της θερμοκρασίας των ινών ταιριάζουν αρκετά καλά.

Τάσεις και ρεύματα

Οι προδιαγραφές επίσης δίνουν και τις τάσεις και τα ρεύματα λειτουργίας το ρεύμα της συσκευής ψύξης. Αυτά γενικά ενδιαφέρουν μόνο τον σχεδιαστή των εξαρτημάτων ή τον τεχνικό επισκευών.

Ισχύς εξόδου

Η ισχύς εξόδου μπορεί να δίνεται σε watts ή σε dBm.

1.8.5 Τα LED

Τα LED παρέχουν έξοδο φωτός στο ορατό φάσμα καθώς και στα παράθυρα των 850nm, 1350nm και 1500nm. Σε σύγκριση με το λέιζερ, το LED έχει μικρότερη ισχύ εξόδου, μικρότερη ταχύτητα διακοπής και μεγαλύτερο φασματικό εύρος, και επομένως μεγαλύτερη διασπορά. Αυτά τα μειονεκτήματα το κάνουν κατώτερο για χρήση στις συνδέσεις δεδομένων και στις τηλεπικοινωνίες μεγάλης ταχύτητας. Όμως, χρησιμοποιείται πάρα πολύ για συστήματα μικρής και μέσης εμβέλειας που χρησιμοποιούν και πλαστικές και γυάλινες ίνες επειδή είναι απλό, φθινό, αξιόπιστο και δεν εξαρτάται πολύ από την θερμοκρασία. Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι LED: Τα edge emitters (εκπομπής άκρου) και τα surface emitters (εκπομπής επιφάνειας).

Τα edge emitters είναι πιο πολύπλοκες και ακριβές συσκευές, αλλά παρέχουν μεγάλη ισχύ εξόδου και υψηλής ταχύτητας επιδόσεις. Η ισχύς εξόδου είναι υψηλή επειδή το σημείο εκπομπής είναι πολύ μικρό (μικρή επιφάνεια), τυπικά 30 - 50μm, επιτρέποντας έτσι αποδοτική σύζευξη μεταξύ παρόμοιου μεγέθους οπτικών ινών. Τα edge emitters έχουν σχετικά στενό φάσμα εκπομπής. Το FWHM (full-width, half maximum) είναι τυπικά το 7% του κεντρικού μήκους κύματος. Μια άλλη παραλλαγή του edge emitter είναι το super radiant LED. Αυτές οι συσκευές είναι μια διασταύρωση ανάμεσα σε ένα τυπικό LED και ένα laser. Έχουν συνήθως μια υψηλή πυκνότητα ισχύος και έχουν κάποια εσωτερική οπτική απολαβή ισχύος όπως ένα laser, αλλά η οπτική έξοδος δεν σχετίζεται, αντίθετα από ένα laser. Τα super radiant LEDs έχουν πολύ στενά φάσματα εκπομπής, τυπικά 1-2% του κεντρικού μήκους κύματος και προσφέρουν επίπεδα ισχύος που συναγωνίζονται μια δίοδο laser.

Ο δεύτερος τύπος LED είναι τα surface emitters. Τα surface emitters έχουν μια πολύ απλή δομή, είναι σχετικά φθινά, προσφέρουν χαμηλά προς μέτρια επίπεδα ισχύος εξόδου και είναι ικανά για χαμηλές προς μέτριες ταχύτητες λειτουργίας. Η συνολική οπτική ισχύς εξόδου είναι το ίδιο υψηλή ή υψηλότερη από ότι των edgeemitting LEDs, αλλά η περιοχή εκπομπής είναι μεγάλη, προκαλώντας έτσι χαμηλής αποδοτικότητας σύζευξη με την οπτική ίνα. Πρόσθετο μειονέκτημα στην αποδοτικότητα της σύζευξης είναι το γεγονός ότι τα surface-emitting LEDs είναι σχεδόν τέλειοι Lambertian emitters.



Αυτό σημαίνει ότι εκπέμπουν φως προς όλες τις κατευθύνσεις. Κατά συνέπεια πολύ λίγο από το συνολικό φως πηγαίνει προς την απαιτούμενη κατεύθυνση για να μεταδοθεί μέσω της οπτικής ίνας.



Εικόνα 30 : Μια πηγή LED

Τα πλεονεκτήματα των LED είναι:

1. Η κατασκευή τους είναι απλούστερη σε σύγκριση με τα laser αφού δεν απαιτούνται κάτοπτρα και η γεωμετρία τους είναι απλή.
2. Το κόστος κατασκευής και συντήρησης τους είναι χαμηλό.
3. Είναι αξιόπιστες πηγές καθώς δεν εμφανίζουν καταστροφική υποβάθμιση και δεν είναι τόσο ευαίσθητες στη σταδιακή γήρανση όσο τα laser.
4. Η εξερχόμενη οπτική ισχύς, η οποία συνδέεται με τη χαρακτηριστική του ρεύματος, δεν εξαρτάται τόσο από τη θερμοκρασία όσο η αντίστοιχη οπτική ισχύς του laser. Αυτό το γεγονός αυξάνει την πολυπλοκότητα του κυκλώματος του laser, γιατί χρησιμοποιούνται επιπρόσθετα είτε μηχανισμοί ψύξης του, είτε μηχανισμοί ρύθμισης του ρεύματος πόλωσης του προκειμένου η θερμοκρασία του να διατηρείται σταθερή. Επίσης η LED δεν είναι μια διάταξη κατωφλίου και έτσι αυξάνοντας τη θερμοκρασία δεν αυξάνεται το ρεύμα κατωφλίου πάνω από το σημείο λειτουργίας, πράγμα που θα οδηγούσε στην κακή λειτουργία του συστήματος.
5. Κάτω από ιδανικές συνθήκες, έχει γραμμική έξοδο, όσον αφορά τη χαρακτηριστική ρεύματος, σε αντίθεση με το laser. Αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία σε περιπτώσεις όπου έχουμε αναλογική διαμόρφωση.

1.8.6 Ανιχνευτές οπτικού σήματος

Οι οπτικοί ανιχνευτές (φωτοдиодοι) επιτελούν αντίστροφη λειτουργία από εκείνη των LEDs και των LDs. Ο οπτικός ανιχνευτής μετατρέπει την οπτική ενέργεια σε ηλεκτρική. Το ηλεκτρικό σήμα στη συνέχεια μπορεί να ενισχυθεί χρησιμοποιώντας ηλεκτρονικά κυκλώματα. Οι ανιχνευτές που κατασκευάζονται από ημιαγωγούς χρησιμοποιούνται κατά κόρον στα οπτικά συστήματα. Υπάρχουν αρκετοί τύποι φωτοανιχνευτών όπως ο βασικός p-n, ο MSM – Metal Semiconductor Metal, ο Silicon όπως και δύο τύποι οι οποίοι χρησιμοποιούνται ευρέως: η φωτοδιόδος PIN – Positive Intrinsic Negative και η φωτοδιόδος χιονοστιβάδας APD – Avalanche photo diode. Οι αρχές λειτουργίας των φωτοδιόδων PIN είναι παρόμοιες με αυτές των διόδων LED αλλά κατά την αντίστροφη φορά. Δηλαδή, το φως απορροφάται αντί να εκπέμπεται και τα φωτόνια μετατρέπονται σε ηλεκτρόνια με μία αναλογία 1:1.

Οι διόδους χιονοστιβάδας είναι παρόμοιες με τις διόδους PIN αλλά παρέχουν επιπλέον απολαβή μέσω μιας διαδικασίας ενίσχυσης: ένα φωτόνιο που πέφτει στη συσκευή απελευθερώνει



πολλά ηλεκτρόνια. Επειδή το εξερχόμενο σήμα είναι γενικά εξασθενημένο και παραμορφωμένο ο ανιχνευτής πρέπει να έχει πολύ καλές προδιαγραφές απόδοσης. Συγκεκριμένα, πρέπει να έχει πολύ μεγάλη ευαισθησία στα μήκη κύματος του φάσματος εκπομπής της χρησιμοποιούμενης οπτικής πηγής, ελάχιστη συνεισφορά σε θόρυβο και τέλος μεγάλη ταχύτητα απόκρισης ή επαρκές εύρος ζώνης έτσι ώστε να μπορεί να ανταποκρίνεται στο ρυθμό διάδοσης δεδομένων. Επιπρόσθετα, πρέπει να μην επηρεάζεται από μεταβολές της θερμοκρασίας, η διάμετρος της διατομής του να είναι συμβατή με τη διάμετρο των οπτικών ινών και να έχει όσο το δυνατό μεγαλύτερη διάρκεια ζωής. Συνήθως στα οπτικά συστήματα μετάδοσης χρησιμοποιούνται ημιαγωγικοί ανιχνευτές και κυρίως οι φωτοдиодοι pin και χιονοστιβάδας (avalanche) καθώς και τα φωτοτρανζίστορς. Όταν οι φωτοανιχνευτές χρησιμοποιούνται για μήκη κύματος της περιοχής 800-900nm, τότε τις περισσότερες φορές κατασκευάζονται από πυρίτιο (Si). Για μήκη κύματος πάνω από 1000nm το πυρίτιο δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί, λόγω της πολύ χαμηλής του απόκρισης. Έτσι, για λειτουργία στα μ.κ. 1.0-1.65μm οι ανιχνευτές κατασκευάζονται συνήθως από Ge ή InGaAs τα οποία παρουσιάζουν υψηλή απόδοση και γρήγορους χρόνους απόκρισης.

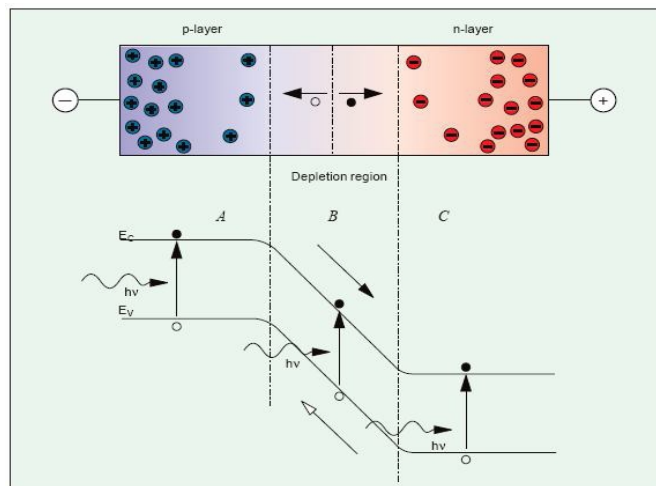
Γενικά μπορούμε να πούμε ότι οι φωτοдиодοι pin χρησιμοποιούνται αν επιζητείται σταθερότητα σε θερμοκρασιακές μεταβολές και μικρό δυναμικό πόλωσης. Από την άλλη πλευρά όμως, αν απαιτείται η ανίχνευση πολύ μικρών ισχύων, τότε χρησιμοποιούνται φωτοдиодοι χιονοστιβάδας.

Οι ανιχνευτές απαιτείται να έχουν:

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

1.8.7 Η Φωτοдиодος τύπου P-N

Η πιο απλή φωτοдиодος είναι εκείνη που αποτελείται από μια επαφή p-n. Αυτός ο τύπος διόδου χρησιμοποιείται σπάνια στα οπτικά συστήματα αλλά κρίνεται απαραίτητη η παρουσίασή του, για να κατανοήσουμε τις βασικές αρχές λειτουργίας μιας φωτοдиодου. Στην ακόλουθη εικόνα παρουσιάζεται μια φωτοдиодος τύπου p-n. Παρατηρούμε ότι η διόδος αποτελείται από ένα p και ένα n στρώμα. Αν εφαρμοστεί αρνητική τάση στη διόδου (αρνητικός πόλος στο p-στρώμα), το ηλεκτρικό πεδίο δημιουργεί μια περιοχή αραίωσης μεταξύ των δύο στρωμάτων. Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια και οπές θα αρχίσουν να απομακρύνονται από την περιοχή επαφής και η ίδια περιοχή θα παρουσιάζει μεγάλη αντίσταση.



Εικόνα 31 : Ένα φωτόνιο μπορεί να δημιουργήσει ζεύγη e-h

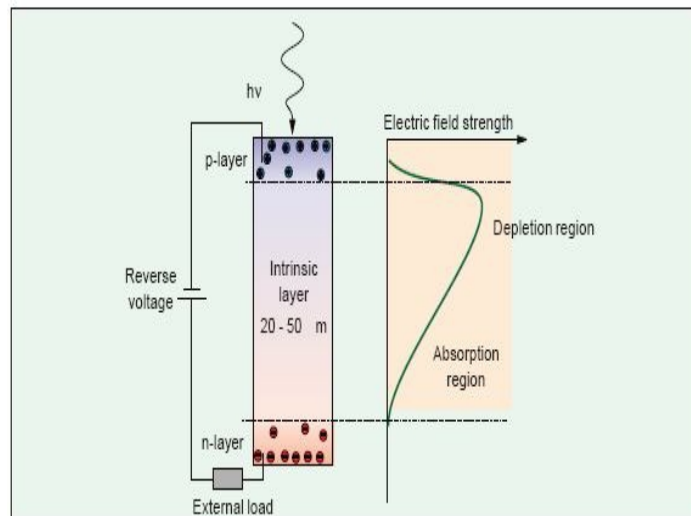


Μόνο στην περιοχή αραίωσης (B) παρατηρείται άμεση ανίχνευση αυτών των ζευγών. Στην περιοχή A, ένα προσπίπτον φωτόνιο δημιουργεί μια οπή και ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο. Λόγω του ηλεκτρικού πεδίου που δημιουργείται από την ανάστροφη πόλωση της διόδου, το ηλεκτρόνιο θα αρχίσει σιγά-σιγά να απομακρύνεται από την περιοχή αραίωσης (δημιουργία ηλεκτρικής έντασης). Η ροή των ζευγών στις περιοχές A και C είναι τόσο αργή που οι κατασκευαστές διόδων πασχίζουν για να σχεδιάσουν μια p-n φωτοδίοδο με ελάχιστη ανίχνευση στις παραπάνω περιοχές.

Αν βέβαια ένα φωτόνιο δημιουργήσει ένα ζεύγος οπής-ηλεκτρονίου στην περιοχή B (περιοχή αραίωσης), τότε το ηλεκτρόνιο θα κινηθεί ακαριαία προς το n-στρώμα ενώ η οπή θα κινηθεί ακαριαία προς το p-στρώμα. Αυτή η ακαριαία κίνηση οφείλεται στο ισχυρό ηλεκτρικό πεδίο που εμφανίζεται στην περιοχή.

1.8.8 Η φωτοδίοδος τύπου PIN

Η δίοδος p-n μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση του ορατού φωτός. Για την ανίχνευση της υπέρυθρης ακτινοβολίας (μεγαλύτερα μήκη κύματος) έχει αναπτυχθεί ένας άλλος τύπος δίοδου. Το φως μεγάλου μήκους κύματος διαπερνά περισσότερο το p- στρώμα απ' ότι το φως μικρού μήκους κύματος. Μια λύση θα ήταν να κάνουμε το p- στρώμα πιο λεπτό. Στην περίπτωση αυτή όμως πολλά ζεύγη e-h θα συνδυάζονταν μεταξύ τους εντός του στρώματος p χωρίς να δημιουργούν ηλεκτρική ένταση. Καταλήγουμε λοιπόν στην τοποθέτηση ενός σχετικά λεπτού στρώματος ημιαγωγού νοθευμένου με p παράγοντες, ανάμεσα στα στρώματα p-n (δίοδος τύπου PIN).



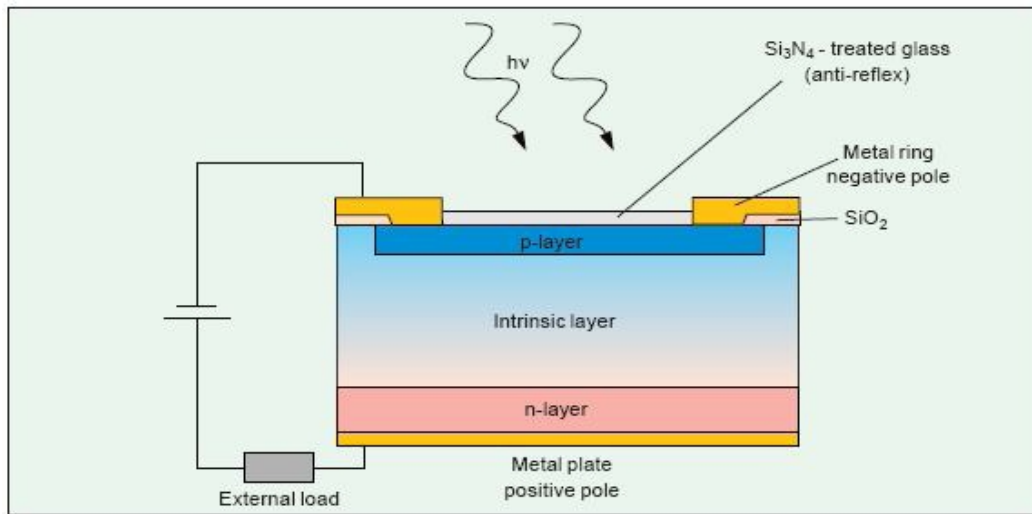
Εικόνα 32 : Τοποθετούμε ένα intrinsic στρώμα μεταξύ των στρωμάτων p-n

Το intrinsic στρώμα ή αλλιώς i-στρώμα, παρουσιάζει μεγάλη αντίσταση και το ηλεκτρικό πεδίο που εμφανίζει είναι πολύ ισχυρό. Τα χαρακτηριστικά του i- στρώματος διευρύνουν αρκετά την περιοχή αραίωσης της φωτοδίοδου. Έτσι τα περισσότερα ζεύγη e-h παράγονται στην περιοχή αραίωσης με αποτέλεσμα να έχουμε μεγαλύτερη ηλεκτρική ένταση και αμεσότερη ανίχνευση του φωτός.

Η παρακάτω εικόνα παρουσιάζει μια πυριτίου PIN δίοδο. Αυτός ο τύπος δίοδου χρησιμοποιείται για μήκη κύματος 0,8 μέχρι 0,9m. Ένα μεταλλικό δακτυλίδι λειτουργεί σαν αρνητικός πόλος. Κάτω απ' αυτό το δακτυλίδι βρίσκεται ένα λεπτό p-στρώμα και κάτω από αυτό ένα λεπτό i-στρώμα (20-50μm). Το i-στρώμα είναι όσο πιο λεπτό γίνεται (μετά από κάποιο σημείο ο



χρόνος αντίδρασης αρχίζει και αυξάνεται). Με το πάχος που δίνεται στο παράδειγμα, ο χρόνος αντίδρασης είναι 1ns και το dark current είναι μικρότερο από 1 Na.



Εικόνα 33 : Τα τρία στρώματα της πυριτίου PIN διόδου

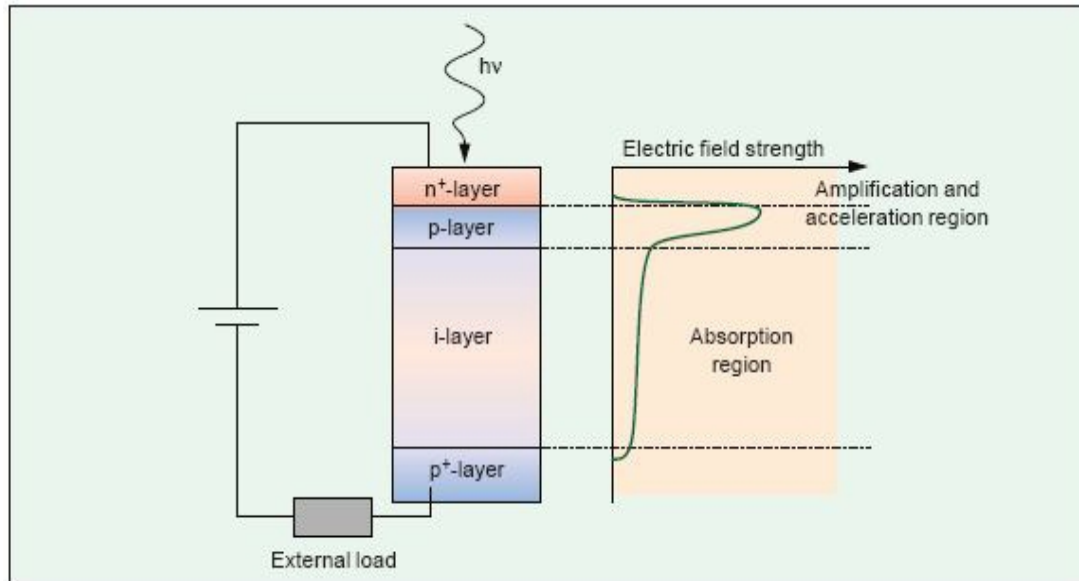
Τελευταία έχουν αρχίσει και χρησιμοποιούνται συνδυασμοί υλικών που δεν περιέχουν πυρίτιο και γερμάνιο. Για ακόμα μεγαλύτερα μήκη κύματος οι κατασκευαστές χρησιμοποιούν συνδυασμούς InGaAsP με InP ή GaAlAsSb με GaSb.

1.8.9 Η φωτοδίοδος χιονοστιβάδας ή APD

Μπορούμε να πετύχουμε υψηλότερα σήματα εξόδου με μια δίοδο χιονοστιβάδας. Χρησιμοποιεί ένα μικρό εσωτερικό ρεύμα για να δημιουργήσει ένα μεγαλύτερο. Έχουν τα πλεονεκτήματα μιας καλής εξόδου σε χαμηλά επίπεδα ρεύματος και μια μεγάλη εμβέλεια - μπορεί να χειριστεί υψηλά και χαμηλά επίπεδα φωτός.

Υπάρχει και μια άλλη συσκευή η οποία ονομάζεται φωτοτρανζίστορ που έχει την ικανότητα να ανιχνεύει και να ενισχύει το ρεύμα που παράγεται από το φως. Μπορεί χρησιμοποιηθεί μόνο σε εφαρμογές χαμηλού κόστους και χαμηλής ταχύτητας, όπως είναι οι φθηνοί αισθητήρες και σε συστήματα οπτικών ινών με χαμηλό κόστος και χαμηλές ταχύτητες λειτουργίας. Πρέπει να σημειωθεί ότι η χρήση του φωτοτρανζίστορ περιορίζεται σε συστήματα με ταχύτητες κάτω από την τάξη των Megahertz. Η μεγαλύτερη πλειοψηφία των φωτοτρανζίστορ κατασκευάζεται από πυρίτιο. Δύο φωτοτρανζίστορ είναι συνδεδεμένα έτσι ώστε η έξοδος του πρώτου τρανζίστορ να τροφοδοτείται στη βάση του δεύτερου σχηματίζουν ένα φωτοντάρλινγκτον. Αυτή η διάταξη ενισχύει την απόκριση των συστημάτων μικρού κόστους που λειτουργούν σε χαμηλές ταχύτητες.

Στην άμεση ανίχνευση ή φώραση, ο φωτοανιχνευτής μετατρέπει τη ροή των εισερχόμενων φωτονίων σε ροή ηλεκτρονίων ή ηλεκτρικό ρεύμα. Το ρεύμα στη συνέχεια ενισχύεται και διέρχεται από μια συσκευή κατωφλίου. Η τιμή ενός δυαδικού ψηφίου λογικό 0 ή λογικό 1 καθορίζεται από το εάν κατά τη διάρκεια του δυαδικού ψηφίου η ροή του ηλεκτρικού ρεύματος είναι πάνω ή κάτω από ένα καθορισμένο κατώφλι.



Εικόνα 34 : Παρουσίαση της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου

1.8.10 Οι προδιαγραφές του δέκτη φωτός

Μήκος κύματος

Αυτό παρατίθεται σαν εμβέλεια π.χ. από 1000nm, ή δηλώνοντας την συχνότητα που παρέχει την υψηλότερη έξοδο, π.χ. μέγιστο μήκος κύματος = 850nm.

Δυναμική εμβέλεια ή ισχύς οπτικής εισόδου

Δυναμική εμβέλεια είναι ο λόγος της μέγιστης ισχύος εισόδου προς την ελάχιστη. Δίνεται σε decibels π.χ. 21dB. Η ισχύς οπτικής εισόδου είναι η ίδια πληροφορία που εκφράζεται σε watts. Π.χ. από 1Mw μέχρι 125Mw.

Απόκριση

Μέτρο του πόσο ρεύμα εξόδου αποκτάται για κάθε watt φωτός εισόδου π.χ. 0,8 AW^{-1} . Αυτό σημαίνει ότι το ρεύμα θα αυξηθεί κατά 0.8 amps για κάθε watt αυξημένης ισχύος φωτός.

Χρόνος απόκρισης

Καθορίζει την πιο γρήγορη ταχύτητα διακοπής του ανιχνευτή και έτσι περιορίζει τον μέγιστο ρυθμό εκπομπής π.χ. t_r ή $t_f = 3.5ns$.

Ρυθμός δεδομένων ή εύρος ζώνης

Και τα δύο είναι μέτρα της μέγιστης ταχύτητας απόκρισης στα εισερχόμενα σήματα και γι' αυτό καθορίζεται από τον χρόνο απόκρισης που είδαμε πιο πάνω. Οι τάσεις λειτουργίας και η απολαβή της μειώνεται καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία.

1.8.11 Παράμετροι που επηρεάζουν την ανίχνευση του φωτός σε συστήματα οπτικών ινών

Ο τρόπος ανίχνευσης ενός παλμού φωτός από ένα οπτικό δέκτη εξαρτάται από διάφορες παραμέτρους :

- Την ένταση του παλμού,
- Την παραμόρφωση του παλμού,



- Την ευαισθησία του δέκτη.

Η ένταση του σήματος σε συνδυασμό με τις πηγές θορύβου μας δίνουν το SNR (signal to noise ratio) του ψηφιακού σήματος. Σε αντίθεση με ένα αναλογικό δέκτη, ένα κύκλωμα αποφασίζει αν το σήμα που έχει ληφθεί είναι «1» ή «0». Το τελικό μέτρο ποιότητας του ψηφιακού σήματος είναι το BER (bit error rate).

1. Ένταση του παλμού φωτός

Κατά τη μετάδοση του παλμού φωτός μέσα στην οπτική ίνα, η έντασή του μειώνεται λόγω των εξής παραγόντων :

- Απώλειες εντός της ίνας [dB/Km]
- Απώλειες λόγω κολλήσεων [dB]
- Απώλειες λόγω συνδέσεων [dB]

Η ισχύς εξόδου ισούται με την ισχύ εισόδου μειωμένη κατά το άθροισμα όλων των απωλειών που οφείλονται στους παραπάνω παράγοντες. Η ένταση του παλμού θα δίνεται σε W, Mw ή Mw. Άλλη μια συνηθισμένη μονάδα μέτρησης της έντασης είναι τα dBm.

2. Παραμόρφωση του παλμού φωτός

Ο παλμός δεν αλλοιώνεται μόνο εξ' αιτίας της εξασθένησης εντός της ίνας. Κατά τη μετάδοση λαμβάνουν χώρα φαινόμενα όπως η διασπορά που διευρύνει τον παλμό στο πεδίο του χρόνου (διαφορετικά μήκη κύματος που διαδίδονται με διαφορετικές ταχύτητες μέσα στην ίνα). Η διασπορά λοιπόν αποτελεί ακόμα μια πηγή απωλειών.

3. Ευαισθησία δέκτη

Η ευαισθησία του δέκτη εξαρτάται από τις εξής παραμέτρους :

- Την κβαντική απόδοση και την απόκριση του δέκτη,
- Το θόρυβο που εισάγει ο δέκτης,
- Το εύρος ζώνης του δέκτη (bandwidth).

1. Κβαντική απόδοση (h)

Ένα σημαντικό μέρος της διαδικασίας ανίχνευσης είναι το πόσα φωτόνια δημιουργούν ζεύγη e-h. Αν το πλήθος των ζευγών e-h που δημιουργούνται διαιρεθεί με το πλήθος των φωτονίων που προσπίπτουν στο δέκτη, προκύπτει το μέτρο που ονομάζουμε κβαντική απόδοση. Αν η κβαντική απόδοση ισούται με 0,8, συμπεραίνουμε ότι ανά 10 φωτόνια που προσπίπτουν δημιουργούνται 8 ζεύγη e-h. Κατά τον υπολογισμό του παραπάνω μέτρου, προφανώς δε λαμβάνονται υπόψη τα ζεύγη που προκύπτουν λόγω του Φώτο - πολλαπλασιασμού που λαμβάνει χώρα σε διόδους τύπου APD.

2. Απόκριση δέκτη

Μετρώντας την ισχύ εξόδου της διόδου και διαιρώντας τη με τη συνολική ισχύ των φωτονίων που προσπίπτουν στην ίδια, προκύπτει το μέτρο που ονομάζουμε απόκριση δέκτη. Η απόκριση μετριέται σε amperes/watt (μια PIN διάδος καλής ποιότητας παρουσιάζει $R=0.7$ A/W). Προσπίπτον φως με ισχύ 20Mw προκαλεί ένταση 14Ma εντός της διόδου. Μια APD διάδος παρουσιάζει $R=80$ A/W, σχεδόν 100 φορές μεγαλύτερο από το R της PIN διόδου. Η απόκριση μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας την τιμή της κβαντικής απόδοσης ως εξής :

$$R = \frac{\eta \cdot e \cdot \lambda}{h \cdot c}$$



όπου e είναι το φορτίο του ηλεκτρονίου, h η σταθερά του Planck και c η ταχύτητα του φωτός. Από τον τύπο φαίνεται ότι η απόκριση είναι συνάρτηση της κβαντικής απόδοσης και του μήκους κύματος. Η απόκριση εξαρτάται από το μήκος κύματος και το υλικό. Στην επόμενη εικόνα παρουσιάζεται η γραφική παράσταση της απόκρισης, σε συνάρτηση με το μήκος κύματος μετάδοσης για τα τρία πιο συνηθισμένα υλικά κατασκευής διόδων. Η σιλικόνη χρησιμοποιείται για μετάδοση στο πρώτο οπτικό «παράθυρο» (850nm) ενώ το γερμάνιο και το InGaAs χρησιμοποιούνται για μετάδοση στο δεύτερο και τρίτο οπτικό «παράθυρο» (1310 και 1550nm αντίστοιχα).

3. Θόρυβος δέκτη

Ο όρος θόρυβος χρησιμοποιείται για να περιγράψουμε το σύνολο των ανεπιθύμητων σημάτων που δυσκολεύουν την ανίχνευση του πραγματικού σήματος σε ένα οπτικό σύστημα επικοινωνιών. Στα οπτικά δίκτυα ο θόρυβος δημιουργείται λόγω μεταβολών σε ατομικό επίπεδο ενώ στα ηλεκτρικά συστήματα έχει ηλεκτρομαγνητική προέλευση. Στα οπτικά συστήματα υπάρχουν δύο τύποι θορύβου : ο **θερμικός** και ο **κβαντικός**.

- **Θερμικός θόρυβος**

Ο θερμικός θόρυβος δημιουργείται από την αλληλεπίδραση των ελεύθερων ηλεκτρονίων και των ιόντων των αγώγιμων υλικών. Σε θερμοκρασία δωματίου, ο θερμικός θόρυβος αποτελεί την κύρια πηγή απωλειών των αντιστάσεων των ηλεκτρικών κυκλωμάτων. Ο θερμικός θόρυβος, ο οποίος δημιουργεί ηλεκτρική ένταση εντός μιας φωτοδίοδου μπορεί να υπολογιστεί από τον παρακάτω τύπο :

$$i_m^2 = \frac{4 * k * T * B}{R_L}$$

όπου k είναι η σταθερά του Boltzmann, T η απόλυτη τιμή της θερμοκρασίας σε Kelvin, B το εύρος ζώνης του δέκτη και R η αντίσταση του φορτίου.

- **Κβαντικός θόρυβος**

Το μεταδιδόμενο φως ακολουθεί τους κανόνες της κβαντικής μηχανικής και η ενέργειά του, δίνεται από τον τύπο $E = h * \nu$. Η ανίχνευση ενός φωτονίου από μια δίοδο εξαρτάται από τα ζεύγη $e-h$ που θα δημιουργηθούν. Το γεγονός αυτό φανερώνει ότι το ρεύμα στο εξωτερικό κύκλωμα δε θα αποτελείται από μια συνεχή ροή ηλεκτρονίων. Ο κβαντικός θόρυβος υπολογίζεται από τον εξής τύπο :

$$i_m^2 = 2 * q * i * B$$

όπου q είναι το φορτίο του ηλεκτρονίου, i είναι η μέση τιμή της ηλεκτρικής έντασης που δημιουργείται και B είναι το εύρος ζώνης του δέκτη.

Dark current

Το dark current είναι ηλεκτρική ένταση που δημιουργείται από ζεύγη $e-h$ που εμφανίζονται χωρίς να έχει προηγηθεί πρόσπτωση φωτός στη δίοδο. Το φαινόμενο αυτό οφείλεται στο ότι τα μόρια και τα άτομα βρίσκονται σε μια διαρκή κίνηση, η οποία σε αρκετές περιπτώσεις μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα την ελευθέρωση ενός αριθμού ηλεκτρονίων. Το dark current εξαρτάται από τη θερμοκρασία και αυξάνεται κατά 10% για αύξηση θερμοκρασίας κατά 1° C.

1.8.12 Ενσωματωμένος ενισχυτής σε οπτικό ανιχνευτή



Μια μέθοδος για τη μείωση του θορύβου και των άλλων παραγόντων που ελαττώνουν την απόδοση μιας φωτοδίοδου, είναι να της ενσωματώσουμε ένα ειδικά σχεδιασμένο ενισχυτή. Ο παράγοντας ενίσχυσης τέτοιων ενισχυτών κυμαίνεται από 40 μέχρι 50 V/W.



1.9 Οι οπτικοί ενισχυτές

Το φαινόμενο της εξασθένησης θέτει άνω όρια στο μήκος της ίνας που μπορεί να καλύψει ένα σήμα χωρίς να υποστεί αλλοιώσεις προτού χρειαστεί να αναγεννηθεί. Πριν ανακαλυφθούν οι οπτικοί ενισχυτές, χρησιμοποιούνταν επαναλήπτες – repeaters για να αναγεννήσουν τα σήματα με ηλεκτρονικά μέσα προκειμένου να αντισταθμίσουν τις απώλειες που προκαλούσαν οι οπτικές συσκευές της γραμμής μετάδοσης. Οι ηλεκτρονικοί αναγεννητές, repeaters έχουν δύο βασικά μειονεκτήματα: έχουν μεγάλο κόστος και εισάγουν περιορισμούς στην απόδοση του συστήματος αφού ένας αναγεννητής μπορεί να λειτουργήσει μόνο σε έναν προκαθορισμένο ρυθμό μετάδοσης και αποκλειστικά σε ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος.

Οι οπτικοί ενισχυτές που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι κυρίως δύο ειδών, ενισχυτές διόδου LASER, οι οποίοι συνήθως αναφέρονται ως Ημιαγωγικοί Οπτικοί Ενισχυτές (Semiconductor Optical Amplifier, SOA) και ενισχυτές με ίνα προσμίξεων (Doped Fiber Amplifier, DFA). Και στις δύο κατηγορίες ενισχυτών η ενίσχυση επιτυγχάνεται μέσω της εξαναγκασμένης εκπομπής (stimulated emission). Άλλου τύπου ενισχυτές είναι οι ενισχυτές Raman και Brillouin, των οποίων ο μηχανισμός άντλησης βασίζεται στην εξαναγκασμένη σκέδαση Raman και Brillouin, απ' όπου και τα ονόματα των αντίστοιχων σκεδάσεων, SRS (Stimulated Raman Scattering) και SBS (Stimulated Brillouin Scattering). [5]

Οι οπτικοί ενισχυτές ημιαγωγών (SOA) είναι ουσιαστικά δίοδοι laser, χωρίς καθρέπτες, οι οποίοι συνδέονται με οπτική ίνα και από τις δύο άκρες. Ενισχύουν οποιοδήποτε οπτικό σήμα που προέρχεται είτε από τη μια ίνα και μεταδίδουν μια ενισχυμένη «έκδοση» του πρωτεύοντος σήματος στην δεύτερη ίνα. Οι SOA βασικά κατασκευάζονται σε μικρές συσκευασίες και λειτουργούν σε συστήματα των 1310nm και 1550nm. Επιπλέον μεταδίδουν και προς τις δύο κατευθύνσεις, κάνοντας το μειωμένο μέγεθος της συσκευής ένα πλεονέκτημα έναντι των αναγεννητών των EDFA. Παρ' όλα αυτά στα μειονεκτήματα των SOA περιλαμβάνονται οι υψηλές απώλειες σύζευξης, η εξάρτηση της πόλωσης και οι υψηλότερες τιμές θορύβου. Γενικότερα οι DFA έχουν πολύ καλύτερη συμπεριφορά σε σχέση με τους SOA, ωστόσο οι SOA χρησιμοποιούνται για ενίσχυση σε διαφορετικές περιοχές μήκους κύματος.

Τα σύγχρονα οπτικά δίκτυα χρησιμοποιούν τους SOA με τους ακόλουθους τρόπους:

Ενισχυτές Ισχύος (Power Booster): Πολλά αρμονικά laser έχουν σχεδιασθεί να παράγουν χαμηλή οπτική ισχύ και πρέπει να χρησιμοποιούνται πάντα μαζί με οπτικό ενισχυτή. (Ένας ενισχυτής ισχύος μπορεί να χρησιμοποιήσει είτε SOA ή EDFA).

Ενισχυτές Γραμμής (In-Line Amplifier): Επιτρέπει στα σήματα να ενισχύονται κατά μήκος της διαδρομής τους.

Μετατροπείς μήκους κύματος (Wavelength Conversion): Περιλαμβάνει την αλλαγή του μήκους κύματος ενός οπτικού σήματος.

Προενισχυτές δεκτών (Receiver Preamplifier): Οι SOA μπορούν να τοποθετηθούν πριν από τους ανιχνευτές για να ενισχύσουν την ευαισθησία δίοδος λέιζερ χωρίς ή με πολύ χαμηλή οπτική ανάδραση.

Ένας FOA από την άλλη είναι ένα κομμάτι εμπλουτισμένης ίνας με κατάλληλο υλικό η οποία κολλάτε – spiced fiber σε σειρά με την ίνα γραμμής ενισχύοντας το οπτικό σήμα. Σε αυτήν την κατηγορία ανήκουν οι ενισχυτές EDFA τους οποίους θα μελετήσουμε πιο κάτω.

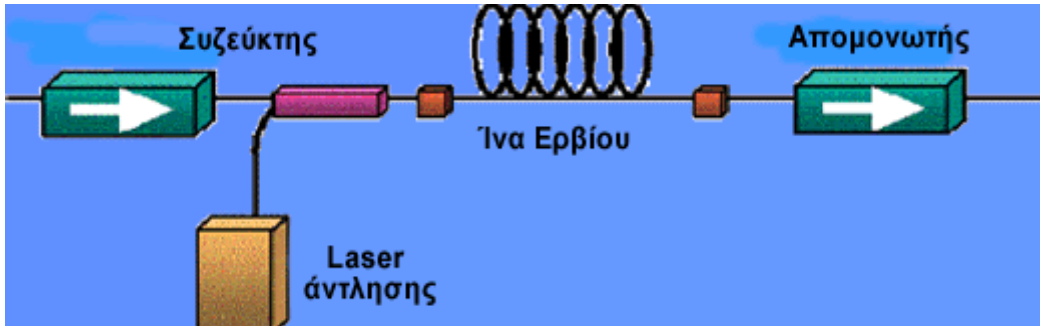
1.9.1 Οι οπτικοί ενισχυτές EDFA

Πριν την έλευση των οπτικών ενισχυτών με πρόσμιξη ερβίου – Erbium Doped Fiber Amplifier – E.D.F.A. δεν υπήρχε αμιγώς οπτικός ενισχυτής με πρακτική χρησιμότητα. Η αναγέννηση των οπτικών σημάτων γινόταν με ηλεκτρονικά μέσα προκειμένου να αντισταθμιστούν οι απώλειες. Ο οπτικός ενισχυτής κατέστησε δυνατή την ενίσχυση όλων των μηκών κύματος ταυτόχρονα και χωρίς μετατροπές από το οπτικό στη ηλεκτρικό πεδίο. Εκτός από το να χρησιμοποιούνται σε γραμμές επικοινωνίας, οι οπτικοί ενισχυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για την αύξηση της ισχύος του

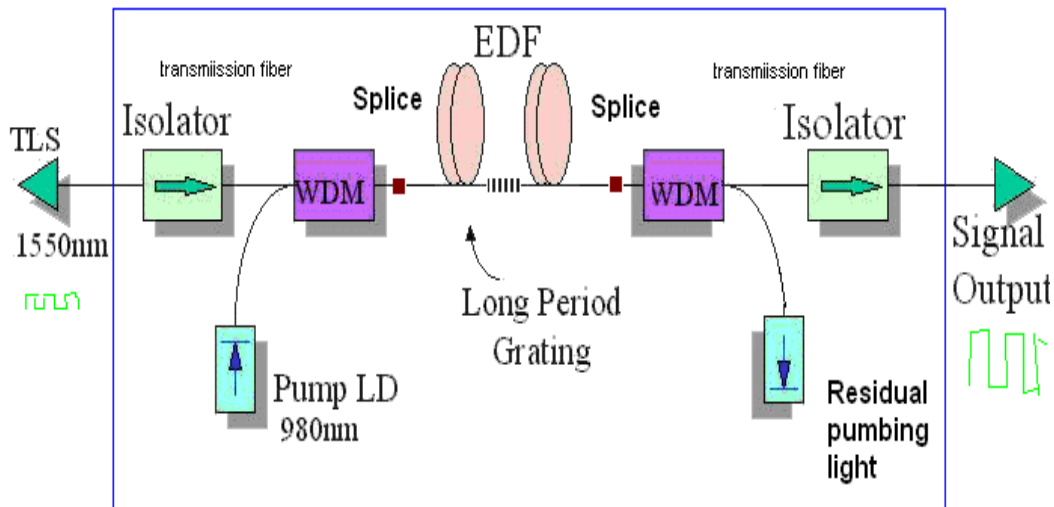


σήματος μετά την πολύπλεξη ή πριν την αποπολύπλεξη εκεί όπου υπάρχουν πηγές εξασθένησης σήματος.

Επειδή τα συστήματα D.W.D.M. χειρίζονται τα δεδομένα στο οπτικό και στο ηλεκτρικό πεδίο, είναι ιδιαίτερα σημαντική για τις εφαρμογές η άμβλυνση των ανεπιθύμητων παρενεργειών που προκύπτουν από τα φαινόμενα διασποράς και της εξασθένησης. Οι ενισχυτές ίνας με πρόσμιξη ερβίου επιλύουν αυτά τα προβλήματα. Οι συσκευές EDFA είναι οπτικές ίνες κατασκευασμένες από διοξείδιο του πυριτίου με προσμίξεις ερβίου, το οποίο είναι ένα σπάνιο στοιχείο με κατάλληλα ενεργειακά επίπεδα στην ατομική του δομή ώστε να ενισχύει στην περιοχή των 1550nm. Με χρήση ενός λέιζερ άντλησης, που λειτουργεί στα 980nm ή στα 1480nm ή και στα δύο μήκη κύματος αλλά όχι στη περιοχή των μηκών κύματος που προορίζεται να ενισχύσει, εισάγεται επιπλέον ενέργεια στην ίνα με τις προσμίξεις.



Εικόνα 35 : Βασική σχεδίαση Ινο-Οπτικού Ενισχυτή Ερβίου



Schematic Diagram of EDFA

Εικόνα 36 : EDFA οπτικός ενισχυτής

Στο παραπάνω σχήμα βλέπουμε τον πρωτεύον συζεύκτη – coupler WDM ο οποίος λειτουργεί ως αντλία – pump η οποία διοχετεύει με φωτόνια την ντοπαρισμένη ίνα. Επίσης βλέπουμε ένα δευτερεύον συζεύκτη ο οποίος εκτρέπει την ενέργεια που αποδίδει ο πρώτος αφήνοντας έτσι μόνο το σήμα πληροφορίας να περάσει. Τέλος υπάρχει και ο isolator ο οποίος δεν επιτρέπει την επιστροφή κύματος προς τα πίσω – back reflected light Σε αντίθετη περίπτωση χωρίς δηλαδή την απομόνωση θα ενισχυθεί το επιστρεφόμενο φως εντός της ντοπαρισμένης ίνα από έρβιο με αποτέλεσμα ο ενισχυτής να μετατραπεί σε πηγή φωτός και άρα να δημιουργούνται καταστροφικές συνέπειες για το σύστημα επικοινωνίας. Όταν ένα αδύναμο σήμα στη περιοχή των 1310 ή των 1550nm εισέρχεται στην ίνα, το



φως διεγείρει τα άτομα του ερβίου τα οποία απελευθερώνουν την ενέργεια τους με τη μορφή επιπλέον φωτός στη περιοχή των 1310 ή των 1550nm αντίστοιχα. Αυτή η διαδικασία συνεχίζεται κατά τη διέλευση του φωτός από την ίνα και γίνεται προοδευτικά πιο έντονη.

Ένας ενισχυτής EDFA αποτελείται από αρκετά μέτρα ίνας από διοξείδιο του πυριτίου στα οποία έχουν εισαχθεί ιόντα ερβίου. Όταν τα ιόντα του ερβίου διεγερθούν και μετατοπισθούν σε μια σταθερή ενεργειακή κατάσταση γίνεται αναστροφή πληθυσμού η οποία μετατρέπει το μέσο σε ενεργό μέσο ενίσχυσης. Τώρα, ο ενισχυτής μπορεί να δεχτεί παράλληλα οπτικά σήματα σε διάφορα μήκη κύματος και να τα ενισχύσει όλα ταυτόχρονα ανεξάρτητα από τους επιμέρους ρυθμούς μετάδοσης, τα είδη διαμόρφωσης και τα επίπεδα ισχύος.

Η τεχνολογία ενισχυτών EDFA έχει τη δυνατότητα να συμβαδίζει με υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, τις μεγάλες αποστάσεις και τους υψηλούς φόρτους που χαρακτηρίζουν τα συστήματα DWDM και για τους λόγους αυτούς θεωρείται τεχνολογία αιχμής. Παράλληλα, η τεχνολογία αυτή έχει αποτελέσει την κινητήρια δύναμη στην ανάπτυξη και άλλων συσκευών και τεχνολογιών. Πρέπει να σημειωθεί ότι αυθόρμητες εκπομπές στο εσωτερικό των ενισχυτών EDFA προσθέτουν θόρυβο στο σήμα.

Η απολαβή ενός ενισχυτή EDFA είναι 30dB ή και περισσότερο. Οι παράγοντες ωστόσο, οι οποίοι βαραίνουν στην επιλογή ενός ενισχυτή EDFA είναι το χαμηλό επίπεδο θορύβου – noise reduction και η ομαλότητα στην απολαβή – gain flatness. Η απολαβή πρέπει να είναι ομαλή διότι όλα τα σήματα πρέπει να ενισχύονται ομοιόμορφα. Παρόλο ότι η απολαβή ενός ενισχυτή είναι εξ' ορισμού εξαρτημένη από το μήκος κύματος, μπορεί να γίνει διόρθωση με χρήση φίλτρων ομοιόμορφης απολαβής. Τέτοια φίλτρα ενσωματώνονται σε ενισχυτές τελευταίας τεχνολογίας.

Τα χαμηλά επίπεδα θορύβου είναι μια σημαντική απαίτηση, διότι ο θόρυβος ενισχύεται μαζί με το σήμα. Επειδή τα αποτελέσματα του θορύβου είναι αθροιστικά δεν υπάρχει τρόπος να φιλτραριστεί. Ο λόγος σήματος προς θόρυβο αποτελεί περιοριστικό παράγοντα για τον αριθμό των ενισχυτών που μπορούν να συνδεθούν σε σειρά κατά 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 διότι οι ενισχυτές απλώς αυξάνουν την ισχύ του σήματος και δεν εκτελούν τις λειτουργίες του επανασηματισμού, και της επαναμετάδοσης λειτουργίες 3R – reshape retime retransmit. Οι ενισχυτές EDFA διατίθενται για τις ζώνες συχνοτήτων C και L, καθώς και για τη S band (1480 – 1510nm) με το TDFA Thulium DFA. Πρέπει να σημειωθεί ότι η διαδικασία της ενίσχυσης είναι ανεξάρτητο του ρυθμού μετάδοσης. Χάρη σε αυτό το πλεονέκτημα, η αναβάθμιση του συστήματος απαιτεί μόνο την αλλαγή των τερματικών στο μεταδότη και τον αποδέκτη άρα οι οπτικές ενισχυτικές βαθμίδες δε χρίζουν ανάγκης συχνής αναβάθμισης.

Οι απαιτήσεις για μεγαλύτερο εύρος ζώνης αυξάνονται με υπερεκθετικό βαθμό. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχει ανάγκη για πιο αποτελεσματικούς και πιο αξιόπιστους ενισχυτές. Το αξιοποιήσιμο εύρος ζώνης για έναν ενισχυτή EDFA είναι περίπου 30nm (1530-1560nm), αλλά η ελάχιστη τιμή εξασθένησης παρατηρείται στην περιοχή των 1500 έως 1600nm. Το μειονέκτημα των EDFA είναι ότι λειτουργούν στο διάστημα 1530-1560nm, ενώ η εξασθένηση 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. Ο ενισχυτής ίνας διπλής ζώνης dual band fiber amplifier DBFA διαφαίνεται ως μία πιθανή λύση για το πρόβλημα του αξιοποιήσιμου εύρους ζώνης. Αυτός ο ενισχυτής αποτελείται από δύο ενισχυτές υπό-ζώνης. Ο DBFA είναι παρόμοιος με τον EDFA αλλά έχει μεγαλύτερο εύρος, από 1528 έως 1610nm.

Η πρώτη περιοχή λειτουργίας του ενισχυτή ίνας είναι παρόμοια με αυτή του EDFA ενώ η δεύτερη αντιστοιχεί σε έναν ενισχυτή που είναι γνωστός με τον όρο ενισχυτής επεκτεταμένης ζώνης EBFA. Αυτός ο τύπος ενισχυτή έχει ομαλή απολαβή σε εύρος 35nm καθώς και το πλεονέκτημα ότι φτάνει σε κορεσμό με πιο αργό ρυθμό διατηρώντας την ισχύ εξόδου σταθερή παρόλη την αύξηση της ισχύος του σήματος εισόδου.

Με το συγκεκριμένο ενισχυτή DBFA μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ως πηγή φωτός το SG DBR tunable laser – Sampled Grating Distributed Bragg Reflector Το συγκεκριμένο λέιζερ δίνει μήκη κύματος μεταξύ των ορίων 1525 – 1565nm η τιμή του οποίου ελέγχεται από τα ρεύματα τροφοδοσίας στους ακροδέκτες – pins του front mirror, back mirror και phase adjust.



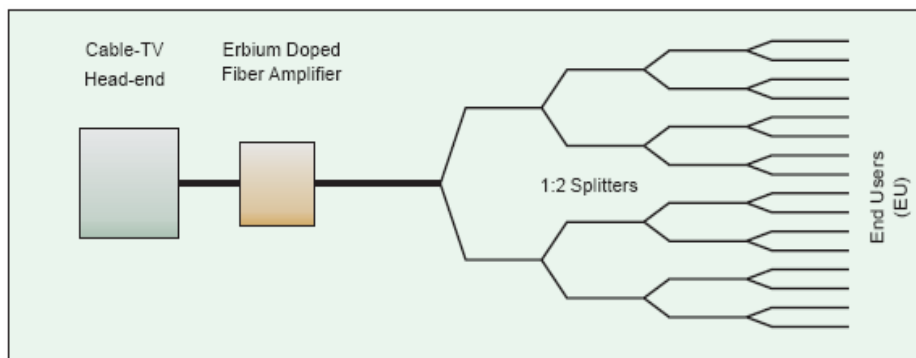
1.9.2 Διάφοροι τύποι σχεδιασμού ενισχυτή

Οι EDFA μπορούν να τοποθετηθούν σε τρεις διαφορετικές θέσεις κατά μήκος ενός point-to-point συστήματος :

- Ως ενισχυτής ισχύος στην κεφαλή του συστήματος
- Ως ενισχυτής κατά μήκος της γραμμής μεταφοράς
- Ως προενισχυτής στο άκρο του δέκτη

1. Ενισχυτής ισχύος στην κεφαλή του συστήματος

Το χαρακτηριστικό ενός ενισχυτή ισχύος είναι να παράγει έξοδο υψηλής ισχύος. Για να επιτύχουμε κάτι τέτοιο χρησιμοποιούμε ένα σύστημα διπλής άντλησης, ώστε η ίνα Erbium να «αντλείται» και προς την αντίθετη κατεύθυνση μετάδοσης. Η ίνα λειτουργεί σε ένα υψηλά κορεσμένο επίπεδο, αφού το σήμα εισόδου είναι της τάξης των $-5 - 0\text{dB}$.

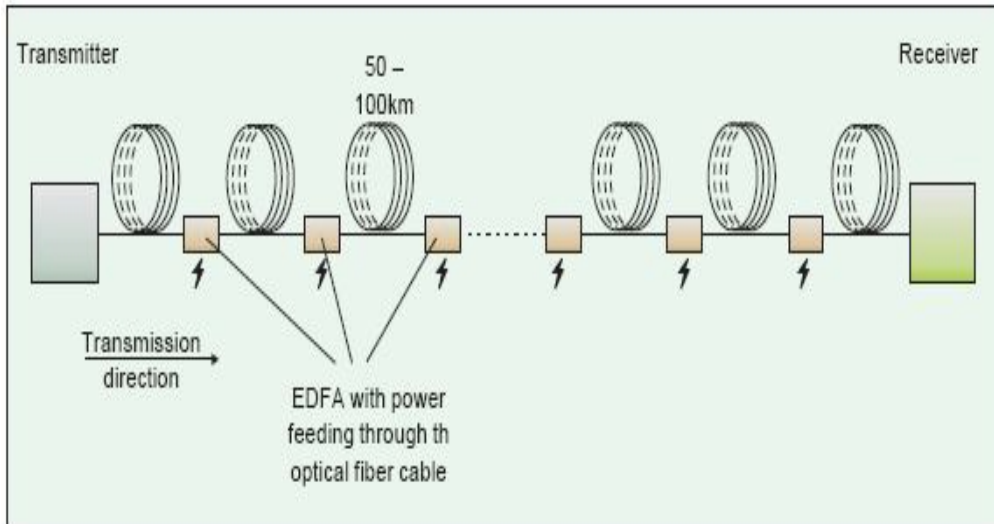


Εικόνα 37 : Ο EDFA σαν ενισχυτής ισχύος

2. Ενισχυτής κατά μήκος της γραμμής μεταφοράς

Οι οπτικοί ενισχυτές μπορούν να αντικαταστήσουν άμεσα τους οπτο-ηλεκτρονικούς επαναλήπτες, σε συστήματα όπου η αναγέννηση του σήματος δεν είναι απαραίτητη. Αυτό σημαίνει ότι το σήμα δεν έχει υποστεί σημαντική παραμόρφωση λόγω του φαινομένου της διασποράς αλλά και των μη γραμμικών φαινομένων της ίνας οπότε και δεν είναι αναγκαία η αναγέννησή του.

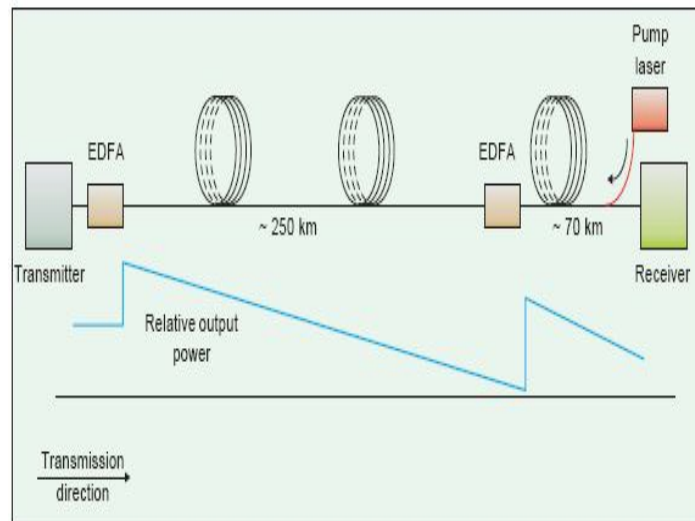
Εδώ αξίζει να σημειωθεί ότι σε ερευνητικό και εργαστηριακό επίπεδο υπάρχουν διατάξεις που αναγεννούν το σήμα χωρίς να είναι αναγκαία η μετατροπή του σε ηλεκτρικό πρώτα σήμα και είναι συμβατές με του ενισχυτές ίνας Erbium. Παρόλα αυτά τέτοιες οπτικές διατάξεις δεν είναι ακόμα διαθέσιμες στο εμπόριο. Δεν υπάρχει κάποιος συγκεκριμένος τρόπος σχεδιασμού ενός ενισχυτή που τοποθετείται κατά μήκος της γραμμής, αφού πρέπει να ληφθούν υπόψη όλα τα χαρακτηριστικά του συστήματος. Γενικά θα μπορούσαμε να πούμε ότι για ζεύξεις μεσαίου μεγέθους απαιτούνται ενισχυτές μεγάλου κέρδους που τοποθετούνται σε απόσταση 50Km μεταξύ τους, ενώ για ζεύξεις μεγάλου μήκους απαιτούνται ενισχυτές μικρότερου κέρδους που απέχουν μικρή απόσταση ο ένας από τον άλλο (λόγω ύπαρξης φαινομένων μη γραμμικότητας).



Εικόνα 38 : Σύστημα με ενισχυτές EDFA κατά μήκος της γραμμής

3. Ενισχυτής κατά μήκος της γραμμής μεταφοράς χωρίς τροφοδότηση

Μια διαφορετική προσέγγιση χρησιμοποιείται σε οπτικές ζεύξεις μεγάλων αποστάσεων όπου δεν είναι δυνατή η τροφοδότηση. Το πλεονέκτημα ενός τέτοιου συστήματος είναι ότι τα καλώδιά του θα είναι πολύ πιο απλά στο σχεδιασμό. Το σύστημα που θα περιγραφεί χρησιμοποιείται σε υποβρύχιες εγκαταστάσεις. Η απόσταση που πρέπει να καλυφθεί είναι μεγαλύτερη από εκείνη που μπορεί να καλυφθεί με ένα ενισχυτή στην πλευρά μετάδοσης.



Εικόνα 39 : Σύστημα με ενισχυτές κατά μήκος της γραμμής χωρίς τροφοδότηση

Το σήμα ενισχύεται από ένα EDFA στην πλευρά μετάδοσης. Σε μια απόσταση 250Km τοποθετείται ένα splice-box που περιέχει 30m μήκος ίνας Ερβίου. Σε κάθε ίνα μετάδοσης αντιστοιχεί και μια ίνα Ερβίου. Στην πλευρά του δέκτη, 70Km πιο μακριά, τοποθετούνται τα Laser άντλησης (μεταδίδουν ενέργεια στα 1490nm). Η ενέργεια αυτή θα διεγείρει την ίνα Ερβίου, η οποία θα μεταφέρει την ενέργεια στο μεταδιδόμενο σήμα. Κατά αυτόν τον τρόπο μπορούμε να καλύψουμε απόσταση μεγαλύτερη από 320Km. Τέτοιου τύπου συστήματα χρησιμοποιούνται και σε δίκτυα με πολυπλεγμένα μήκη κύματος.



4. Προενισχυτής στο άκρο του δέκτη

Σε τέτοιου τύπου εφαρμογές ο ενισχυτής λειτουργεί σε «καθεστώς» χαμηλού σήματος. Το πρωταρχικό μας ενδιαφέρον είναι η τιμή του συντελεστή θορύβου, για το λόγο αυτό το μήκος κύματος άντλησης που επιλέγουμε είναι 980nm και όχι 1480nm. Επειδή η βασική πηγή θορύβου είναι η ASE αμέσως μετά τον EDFA τοποθετείται ένα βαθυπερατό φίλτρο.

1.9.3 Αντιστάθμιση για τις απώλειες στα Οπτικά δίκτυα (Compensating for Loss in Optical Networks)

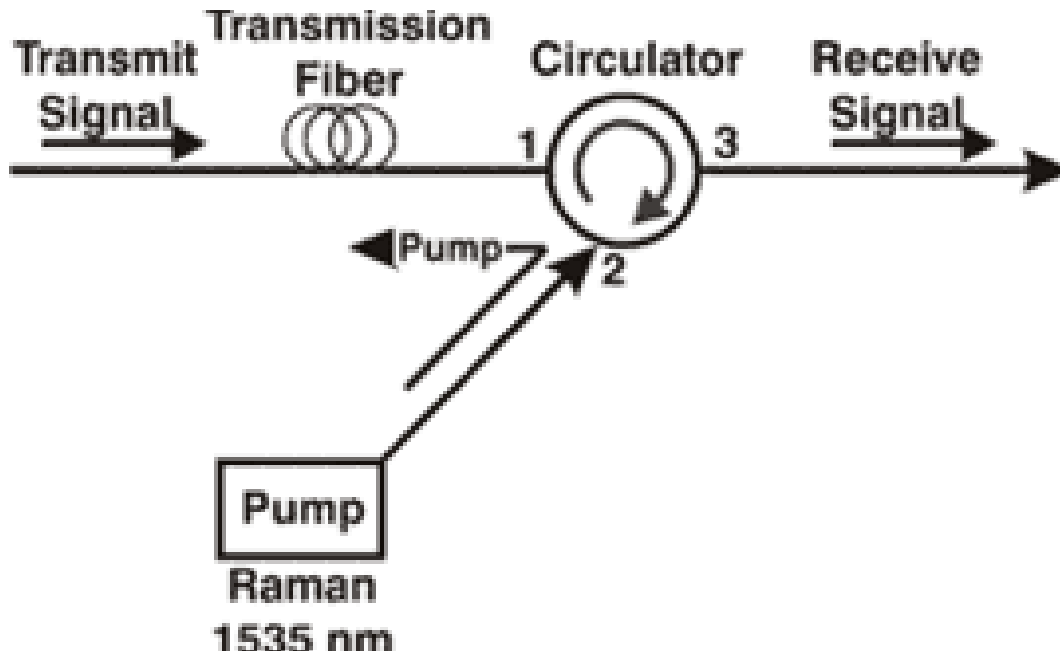
Εισάγοντας ένα EDFA πριν από ένα 8 X 1 στον οπτικό splitter αυξάνεται η ισχύς σχεδόν 19 dBm επιτρέποντας έτσι σε κάθε ένα από τις οκτώ εξόδους να παρέχουν επιπλέον 9dBm, πράγμα που καθιστά την ισχύ εξόδου σχεδόν ίση με την αρχική ισχύ εκπομπής. Ο οπτικός splitter από μόνος του έχει μια ονομαστική οπτική απώλεια εισαγωγής 10dB. Η συσκευή εκπομπής έχει μια οπτική ισχύ εξόδου +10dBm, που σημαίνει ότι η έξοδος του splitter χωρίς ένα EDFA θα ήταν 0 dBm. Αυτή η δύναμη παραγωγής θα ήταν αποδεκτή για τις περισσότερες ψηφιακές εφαρμογές, εντούτοις, στις αναλογικές εφαρμογές CATV αυτό είναι η ελάχιστη αποδεκτή λαμβανόμενη ισχύς. Επομένως, η εισαγωγή του EDFA πριν από τον οπτικό splitter αυξάνει πολύ την ισχύ εξόδου.

1.9.4 Οι οπτικοί ενισχυτές RAMAN

Ένας οπτικός ενισχυτής RAMAN είναι λίγο μεγαλύτερος από ένα laser άντλησης υψηλής ισχύος και ένα WDM ή κατευθυντικό ζεύκτη. Η οπτική ενίσχυση συμβαίνει από μόνη της στην ίνα εκπομπής και διανέμεται κατά μήκος της πορείας εκπομπής.

Τα οπτικά σήματα ενισχύονται μέχρι και 10dB στο δίκτυο οπτικών ινών. Οι οπτικοί ενισχυτές RAMAN έχουν μεγάλη απολαβή σε εύρος ζώνης μέχρι και 10nm. Μπορούν να χρησιμοποιήσουν για μετάδοση οποιαδήποτε εγκατεστημένη οπτική ίνα. Συνεπώς, μειώνουν αποτελεσματικά την απώλεια σύνδεσης για να βελτιώσουν την απόδοση του θορύβου ενισχύοντας το οπτικό σήμα κατά τη μετάδοση. Μπορούν να συνδυαστούν με EDFA για να επεκτείνουν το οπτικό κέρδος του επίπεδου εύρους ζώνης.

Το σχήμα παρακάτω σχήμα παρουσιάζει την τοπολογία ενός RAMAN οπτικού ενισχυτή. Το laser άντλησης και ο κυκλοφορητής αποτελούν τα δύο βασικά στοιχεία του RAMAN οπτικού ενισχυτή. Το laser άντλησης, σε αυτή την περίπτωση λειτουργεί στα 1535nm. Ο κυκλοφορητής παρέχει εύκολους τρόπους για την αποστολή φωτός προς τα πίσω στην ίνα εκπομπής με τις ελάχιστες οπτικές απώλειες.



Εικόνα 40 : Τυπική διάταξη RAMAN ενισχυτή

1.9.5 Οι βασικές παράμετροι

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

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

Κέρδος

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

Κέρδος εύρους ζώνης

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



Ισχύς σήματος εξόδου

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

Συντελεστής θορύβου

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

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

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

ο συντελεστής θορύβου δίνει τη μεταβολή του σηματοθορυβικού λόγου κατά μήκος της ίνας. Καθώς ο ενισχυτής εισάγει πάντα πρόσθετο θόρυβο, είναι λογικό να αναμένουμε ότι ο N_f θα είναι πάντα μεγαλύτερος της μονάδας, δηλαδή η ίνα δε μπορεί να βελτιώσει τον SNR του σήματος. Μπορεί να δείχτει ότι για υψηλό σήμα εισόδου, η μεγαλύτερη πηγή θορύβου είναι ο όρος που προκύπτει από την αυθόρμητη εκπομπή ακτινοβολίας του ενισχυτή. Τότε $N_f = 2nsp$, όπου nsp είναι ο συντελεστής αυθόρμητης εκπομπής. Είναι πολύ σημαντικό να γνωρίζουμε, ότι για ένα συγκεκριμένο σήμα εισόδου, υπάρχει ένα βέλτιστο ζεύγος (μήκος ίνας, ισχύς άντλησης) για το οποίο ο συντελεστής θορύβου παίρνει την ελάχιστη τιμή του. Αυξάνοντας το μήκος της ίνας και την ισχύ άντλησης θα έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της ASE προς την αντίθετη κατεύθυνση και τον κορεσμό του κέρδους στο μπροστινό μέρος όπου το σήμα είναι χαμηλό.

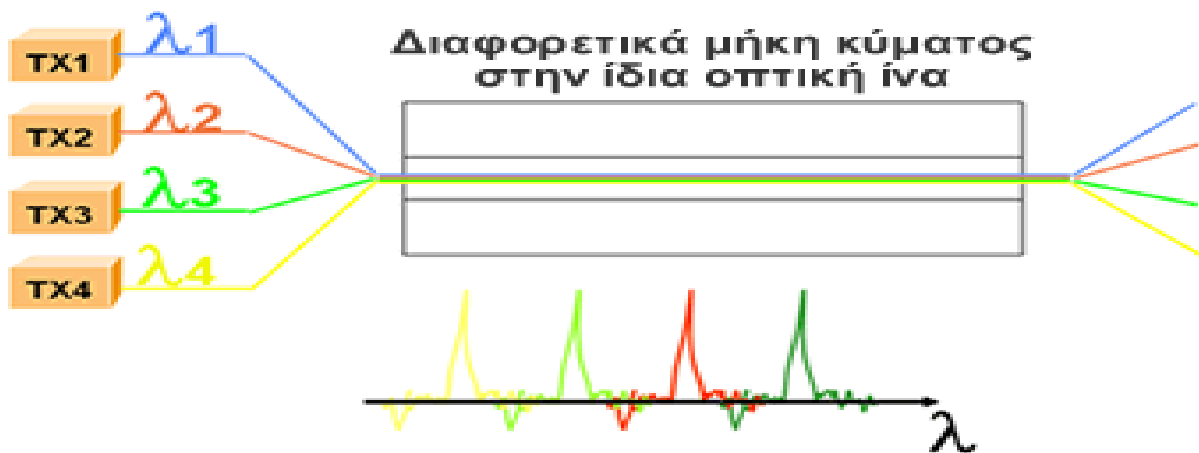
1.10 Η Πολυπλεξία

Η πολυπλεξία (multiplexing) είναι μία τεχνική στην οποία ένας αριθμός ανεξάρτητων σημάτων μπορεί να συνδυαστεί σε σύνθετο σήμα κατάλληλο για μετάδοση σε ένα κοινό δίαυλο επικοινωνίας. Για να μεταδώσουμε ένα αριθμό τέτοιων σημάτων στον ίδιο φορέα, πρέπει τα σήματα να κρατηθούν απομακρυσμένα, να μην επηρεάζονται μεταξύ τους και έτσι ώστε να μπορούν να διαχωριστούν εύκολα στη λήψη.



1.10.1 Πολυπλεξία με Διαίρεση Μήκους Κύματος (WDM)

Για την καλύτερη δυνατή αξιοποίηση των οπτικών ινών και την μεγιστοποίηση του μεταφερόμενου όγκου δεδομένων μέσα από μια ίνα, έχει εφαρμοσθεί τα τελευταία χρόνια μια νέα τεχνολογία, η τεχνολογία της Πολυπλεξίας με Διαίρεση Μήκους Κύματος (Wavelength Division Multiplexing – WDM). Η τεχνολογία αυτή συνίσταται στην πολυπλεξία οπτικών σημάτων με διαφορετικά μήκη κύματος και την μετάδοσή τους μέσα από μια μόνο οπτική ίνα. Η βασική ιδέα πάνω στην οποία στηρίχτηκε η νέα τεχνολογία ήταν η εξής: σε κάθε οπτική ίνα το οπτικό σήμα που διαδίδεται έχει μια συγκεκριμένη φέρουσα συχνότητα. Είναι δυνατόν από την ίδια ίνα να περάσουν περισσότερα του ενός διαφορετικά σήματα διαφορετικής συχνότητας ή αλλιώς διαφορετικού μήκους κύματος μιας και μιλάμε για οπτικά σήματα, που το καθένα να μεταφέρει διαφορετικά δεδομένα. Τα παραπάνω φαίνονται πολύ παραστατικά στο ακόλουθο σχήμα :



Εικόνα 41 : Πολυπλεξία με Διαίρεση Μήκους Κύματος

Έτσι, σε ένα σύστημα WDM, ένα πλήθος διαφορετικών σημάτων μεταφέρονται υπό τη μορφή διακριτών μηκών κύματος ή καναλιών μέσω της οπτικής ίνας και αποπολυπλέκονται στο σημείο λήψης. Όπως και με τη μέθοδο TDM, που χρησιμοποιείται από την τεχνολογία SONET/SDH, η ολική χωρητικότητα του μέσου είναι το άθροισμα της χωρητικότητας των εισερχόμενων σημάτων, με τη διαφορά ότι καθένα από τα σήματα αυτά μεταφέρεται ανεξάρτητα από τα υπόλοιπα. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι κάθε κανάλι έχει το δικό του, αποκλειστικό, εύρος ζώνης.

Το προφανέστερο πλεονέκτημα της τεχνολογίας WDM εντοπίζεται στη δυνατότητά της να παρέχει τεράστια αύξηση (πρακτικά απεριόριστη) της χωρητικότητας μετάδοσης.

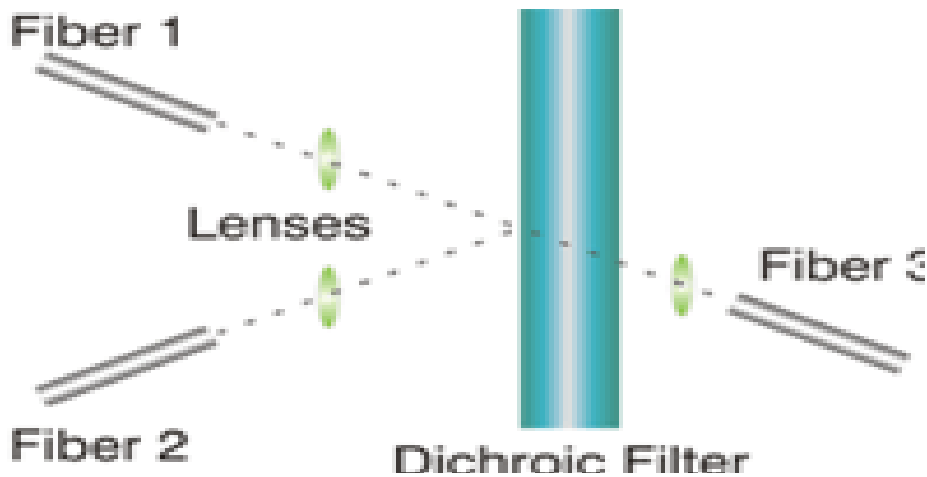
Άλλα **σημαντικά πλεονεκτήματα** της WDM συνοψίζονται στα παρακάτω:

- **Διαφάνεια (Transparency):** Δεδομένου ότι η WDM αποτελεί μια αρχιτεκτονική στο φυσικό επίπεδο, είναι δυνατή η διαφανής υποστήριξη τόσο της TDM τεχνολογίας όσο και δεδομένων τυποποιήσεων όπως ATM, Gigabit Ethernet, ESCON και Fibre Channel, επιτυγχάνοντας τη διασύνδεση διαφόρων υπηρεσιών μέσω του κοινού φυσικού μέσου.
- **Κλιμάκωση Μεγέθους (Scalability):** Επιτυγχάνεται η καλύτερη δυνατή αξιοποίηση της οπτικής ίνας, ειδικότερα σε επίπεδο, μητροπολιτικών και επιχειρησιακών δικτύων.
- **Δυναμική Παροχή Εύρους Ζώνης (Dynamic Provisioning):** Η ταχύτατη, απλή και με δυναμικό τρόπο παροχή των δικτυακών συνδέσεων, δίνουν τη δυνατότητα παροχής υπηρεσιών υψηλών ταχυτήτων για ικανοποίηση αναγκών των χρηστών μέσα σε διάστημα ολίγων ημερών παρά μηνών.



WDM εφαρμογές

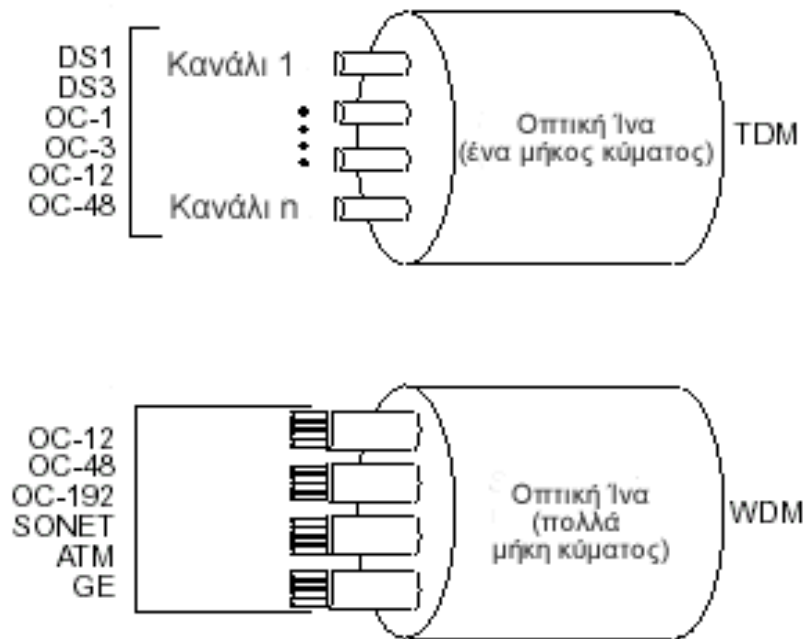
Το παρακάτω σχήμα απεικονίζει bulk optics WDM. Κατασκευασμένο από ξεχωριστούς φακούς και φίλτρα, ένα διχρωματικό φίλτρο βρίσκεται στο κέντρο του WDM. Τα διχρωματικά φίλτρα, βασίζονται σε ιντερφερομετρικές τεχνικές, αντανακλούν το φως, το οποίο δεν μεταδίδουν. Κοιτάζοντας το σχήμα θεωρούμε ότι η ίνα No 1 μεταφέρει δύο μήκη κύματος, 850nm και 1310nm. Επίσης υποθέτουμε ότι το διχρωματικό φίλτρο περνάει μήκη κύματος μεγαλύτερα από τα 1100nm, τα οποία είναι γνωστά ως long-wave pass (LWP) φίλτρα. Καθώς το φως βγαίνει από την ίνα No 1 περνάει πρώτα μέσα από τους φακούς, οι οποίοι εστιάζουν το φως σε ένα σημείο. Καθώς το φως χτυπά στο φίλτρο, το φως με μήκος κύματος 1310nm περνάει μέσα από το φίλτρο και συλλέγεται από την ίνα No 3. Το φως με μήκος κύματος τα 850nm βγαίνει από την ίνα No 1 αντανακλάται από το φίλτρο και συλλέγεται από την ίνα No 2. Έτσι οι πληροφορίες και στα δύο αποτελεσματικά ταξινομημένα μήκη κύματος μπορούν να αποκωδικοποιηθούν ανεξάρτητα. Το διχρωματικό φίλτρο μπορεί να προσφέρει μια πολλή καλή αναλογία απομόνωσης στο τρόπο μετάδοσης, αλλά έχει «φτωχή» απομόνωση στον τρόπο ανάκλασης. Συνήθως αυτοί οι τύποι WDM χαρακτηρίζουν και short-wave pass (SWP) και LWP φίλτρα και συνδυασμός αυτών των φίλτρων επιτυγχάνει την καλύτερη απόδοση των συστημάτων.



Εικόνα 42 : Bulk Optic WDM

1.10.2 Σύγκριση TDM-WDM

Η μέθοδος TDM πολυπλέκει περισσότερα σήματα σε ένα ενιαίο υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης και τα μεταδίδει χρησιμοποιώντας ένα φέρον μήκος κύματος μέσα από την οπτική ίνα. Το WDM παίρνει πολλά οπτικά σήματα, σε συγκεκριμένα μήκη κύματος, και τα πολυπλέκει μέσα σε μία μόνο οπτική ίνα. Η WDM είναι επομένως ίδια με την FDM, όπου κάθε σήμα μεταδίδεται σε διαφορετική φέρουσα συχνότητα, επειδή όμως στα WDM οι συχνότητες αυτές είναι πολύ μεγαλύτερες και ανήκουν στο οπτικό φάσμα, αναφερόμαστε σε μήκη κύματος (W) και όχι συχνότητες (F). Επίσης μέσω της τεχνολογίας WDM είναι δυνατή η μεταφορά σημάτων σε διαφορετικά πρωτόκολλα, δίχως να απαιτείται η χρήση μιας ενιαίας τυποποίησης των σημάτων. Μερικές από τις βασικές διαφορές μεταξύ TDM και WDM φαίνονται στο παρακάτω σχήμα.

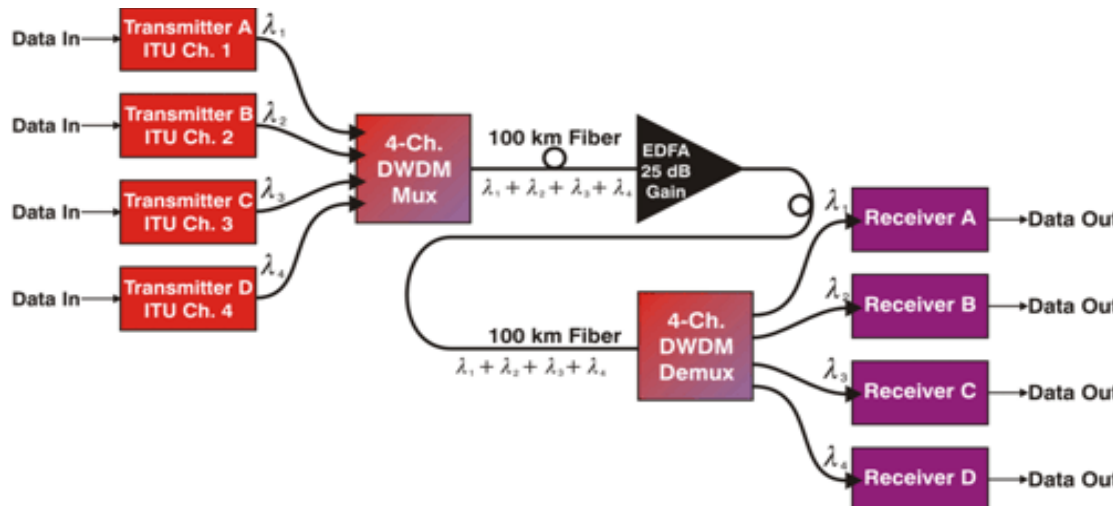


Εικόνα 43 : Βασικές Διαφορές TDM και WDM

1.10.3 Πυκνή Πολυπλεξία με Διάρθρωση Μήκους Κύματος (DWDM)

Το Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM) ανατρέπει την τεχνολογία μετάδοσης δεδομένων αυξάνοντας την χωρητικότητα μιας εμπεδωμένης (εγκατεστημένης) ίνας. Αυτή η αύξηση σημαίνει ότι τα εισερχόμενα οπτικά σήματα είναι προσδιορισμένα σε συγκεκριμένα μήκη κύματος μέσα σε μια καθορισμένη ζώνη συχνοτήτων, έπειτα πολυπλέκεται μέσα στην ίνα. Αυτή η διαδικασία επιτρέπει σε πολλαπλά κανάλια εικόνας, ήχου και δεδομένων να μεταδοθούν μέσω μιας ίνας, ενώ διατηρείται η απόδοση του συστήματος και η αύξηση των συστημάτων μεταφοράς. Αυτή η τεχνολογία ανταποκρίνεται στην αυξανόμενη ζήτηση για αποδοτική και αξιόπιστη μετάδοση δεδομένων δουλεύοντας με διαφορετικές διαμόρφωσης, όπως SONET/SDH, ενώ αυξάνεται το εύρος ζώνης.

Τα στοιχεία του ενισχυτή οπτικών ινών ενός DWDM συστήματος παρέχουν μια αποδοτική οικονομικά μέθοδο η οποία αντιλαμβάνεται και ενισχύει οπτικά σήματα χωρίς να τα μετατρέπει σε ηλεκτρικά σήματα. Επιπρόσθετα, το DWDM ενισχύει ευρεία κλίμακα από μήκη κύματος στην περιοχή των 1550nm. Για παράδειγμα, με ένα DWDM σύστημα πολυπλεξίας 16 μηκών κύματος σε μια ενιαία οπτική ίνα, τα φέροντα μπορούν να μειώσουν τον αριθμό των ενισχυτών κατά 16 σε κάθε περιοχή αναγέννησης. Χρησιμοποιώντας λιγότερους αναγεννητές στα μεγάλης απόστασης δίκτυα έχει σαν αποτέλεσμα λιγότερες διακοπές και ενισχυμένη αποδοτικότητα.



Εικόνα 44 : Εφαρμογή DWDM συστήματος

1.10.4 Χονδροειδής Πολυπλεξία με Διαίρεση Μήκους Κύματος (CWDM)

Η ανάπτυξη του CWDM (coarse wavelength-division multiplexing), μια ενδιάμεση τεχνολογία, ανταποκρίθηκε στις αυξανόμενες απαιτήσεις των δικτύων οπτικών ινών. Με μια χωρητικότητα μεγαλύτερη από του WDM και μικρότερη από του DWDM, η CWDM επιτρέπει ένα μέτριο αριθμό καναλιών, συνήθως οχτώ ή λιγότερα, να συσσωρευτούν στην περιοχή των 1550nm της οπτικής ίνας, η οποία καλείται C-Band. Προκειμένου να μειωθεί εξαιρετικά το κόστος, τα CWDM χρησιμοποιούν αναξιόπιστα laser με μια ανοχή της τάξης των $\pm 3\text{nm}$. Αν και τα συστήματα DWDM χρησιμοποιούν απόσταση καναλιών όσο πιο κοντά στα 0.4nm, η CWDM χρησιμοποιεί μια απόσταση των 20nm. Το wide spacing εξυπηρετεί τα μήκη κύματος των μη ψυχωμένων laser που ολισθαίνουν καθώς η θερμοκρασία περιβάλλοντος αλλάζει. Το αναξιόπιστο laser μεταβάλλεται περίπου $\pm 0.06\text{nm}/^\circ\text{C}$. Η CWDM μετάδοση μπορεί να συμβεί σε ένα από τα οχτώ μήκη κύματος: συνήθως 1470nm, 1490nm, 1510nm, 1530nm, 1550nm, 1570nm, 1590nm, 1610nm.

Μιας κατεύθυνσης εφαρμογές

Οι απώλειες εισαγωγής για μια συσκευή οκτώ καναλιών είναι περίπου 2dB ανά άκρη (τέλος). Το ζωνοπερατό έχει εύρος περίπου 13nm στο σημείο απώλειας των $- 0,5\text{dB}$. Οι CWDM αποπολυπλέκτες τυπικά έχουν μια μεγαλύτερη απώλεια εισαγωγής και αρκετά καλύτερη απώλεια απομόνωσης. Ο πολυπλέκτης έχει μια μικρότερη απώλεια εισαγωγής και μια «φτωχή» απώλεια απομόνωσης. Η απομόνωση δεν έχει σημασία σε μια εφαρμογή μιας κατεύθυνσης επειδή ο πολυπλέκτης συνδυάζει αρκετές εξόδους εκπομπής.

1.11 Fiber to the Home

Ο όρος Fiber to the X είναι ένας γενικός όρος ο οποίος αναφέρεται σε οποιαδήποτε αρχιτεκτονική δικτύου χρησιμοποιεί οπτική ίνα για να αντικαταστήσει, μέρος ή όλο το μεταλλικό κύκλωμα που χρησιμοποιούνταν στο τελευταίο στάδιο του δικτύου έως το χρήστη (last mile telecommunication). Στην πραγματικότητα η χρήση του X έρχεται σαν ενσωμάτωση σε έναν όρο όλων των σχετικών χρησιμοποιούμενων τεχνολογιών όπως FTTN, FTTC, FTTB, FTTH κλπ, που όλες αρχίζουν με το Fiber to the αλλά διαφοροποιούνται στο τελευταίο γράμμα.



Η διαφορά μεταξύ των τεχνολογιών αυτών, αν και δεν είναι ιδιαίτερος αντιληπτή στον χρήστη, έχει απασχολήσει τους παρόχους internet και καλωδιακής τηλεόρασης, που έχουν διαφοροποιηθεί κυρίως στις εξής υλοποιήσεις:

- **FTTN, fiber to the node/neighborhood**, δηλαδή χρήση οπτικής είναι μέχρι το καφάο της γειτονιάς
- **FTTC, fiber to the curb**, δηλαδή ίνα μέχρι έξω από το κτίριο (στο πεζοδρόμιο)
- **FTTB, fiber to the building**, δηλαδή τροφοδότηση του κτιρίου με ίνα,
- **FTTH, fiber to the home**, δηλαδή η ίνα να φτάνει μέχρι να τροφοδοτήσει εξοπλισμό

μέσα στο σπίτι του χρήστη.

Τον τελευταίο καιρό δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην FTTH τεχνολογία καθώς υπόσχεται μεγάλο εύρος ζώνης και συνεπώς πολύ υψηλές ταχύτητες στον χρήστη, με τη διασύνδεση των συσκευών του απευθείας σε οπτική ίνα, χωρίς να παρεμβάλλεται κάποιο μεταλλικό τμήμα. Οι ανάγκες που θα εξυπηρετεί θα είναι το σύνολο των ευρυζωνικών υπηρεσιών, όπως καλωδιακή τηλεόραση, HDTV, videophone, videoconference, ακόμα και υπηρεσίες απλής τηλεφωνίας. Οι υλοποιήσεις αυτής της τεχνολογίας που έχουν προταθεί έως τώρα αναθέτουν ενός μήκος κύματος ανά χρήστη, πάνω από το οποίο θα μεταφέρεται ένα baseband σήμα πολύ υψηλού BitRate. Αυτό το μήκος κύματος μπορεί να φθάνει στο χρήστη με τους παρακάτω τρόπους:

- **Απευθείας ίνα (Direct Fiber)**

Είναι η πιο απλή μέθοδος για την πραγματοποίηση ενός τέτοιου δικτύου. Προβλέπει την αποκλειστική χρήση μιας ίνας, που θα ξεκινάει από ένα κεντρικό σταθμό, από έναν χρήστη. Αυτή η τεχνολογία υπόσχεται πολύ μεγάλο εύρος ζώνης υπηρεσιών, καθώς ο κάθε χρήστης έχει τη δική του ευρυζωνική διασύνδεση με τον κεντρικό σταθμό. Ωστόσο το κόστος κατασκευής είναι γενικά αυξημένο αφού απαιτεί πολύ μεγαλύτερη ποσότητα ίνας. Ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό είναι ότι δεν χρειάζεται καθόλου επεξεργασία δευτέρου επιπέδου όσον αφορά το δίκτυο αφού δεν υπάρχει ανάγκη για διαδικασίες όπως switching κλπ..

- **Διαμοιραζόμενη οπτική ίνα**

Συνήθως μια οπτική ίνα που φεύγει από έναν κεντρικό σταθμό, χρησιμοποιείται από πολλούς χρήστες, με εφαρμογή διαφόρων τεχνικών πολυπλεξίας π.χ. OTDM, WDM κλπ. Στην πραγματικότητα η ίνα αυτή διαχωρίζεται στις επιμέρους αποκλειστικές ίνες, πολύ κοντά στους χρήστες. Υπάρχουν δύο τύποι δικτύων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν γι' αυτό το διαχωρισμό, τα Active Optical Networks (AON) και τα Passive Optical Networks (PON).

- **Active Optical Networks**

Τα AON βασίζονται σε κάποιο ηλεκτρικά τροφοδοτούμενο εξοπλισμό για να διανέμει τις “συνδέσεις” στους χρήστες, όπως ένα router, ένα switch, ή ένα multiplexer. Έτσι κάθε σήμα που φεύγει από τον κεντρικό σταθμό πηγαίνει μόνο στον χρήστη για τον οποίο προορίζεται. Τα διάφορα εισερχόμενα σήματα αποφεύγουν τη σύγκρουση καθώς φροντίζει γι αυτό ο ενεργός εξοπλισμός που παρέχει buffers.

- **Passive Optical Networks**

Τα PON είναι μια point – to – multipoint αρχιτεκτονική, στην οποία παθητικά στοιχεία, όπως οπτικοί splitters χρησιμοποιούνται για να γίνει δυνατή η εξυπηρέτηση πολλών χρηστών, με μια ίνα. Φυσικά μια τέτοια αρχιτεκτονική δεν χρειάζεται τόσο μεγάλη ποσότητα ίνας όσο η Direct Fiber, ενώ καταναλώνει πολύ λιγότερη ενέργεια από τα AON. Το downstream σήμα λαμβάνεται από όλους τους χρήστες που διαμοιράζονται την ίνα που ξεκινά από τον κεντρικό σταθμό, και για αυτό χρησιμοποιείται κρυπτογράφηση για να αποφευχθεί η υποκλοπή. Το upstream κανάλι τα σήματα συνδυάζονται χρησιμοποιώντας κάποιο πρωτόκολλο πολλαπλής πρόσβασης, όπως π.χ. TDMA [6].

1.11.1 Πλεονεκτήματα του FTTH

Το βασικότερο πλεονέκτημα της εγκατάστασης ίνας έως το χρήστη, με τεχνολογία Fiber to the Home, είναι ο πολύ μεγάλος ρυθμός μετάδοσης που επιτυγχάνεται, τόσο στο κανάλι ανόδου όσο και στο κανάλι καθόδου. Επειδή το εύρος ζώνης της ίνας είναι τεράστιο, είναι το πλέον κατάλληλο μέσο για να παρέχει στον καταναλωτή όλες τις σύγχρονες και τελευταίες υπηρεσίες πολυμέσων και



όχι μόνο. Επιπλέον οι ίνες είναι εξαιρετικά ανθεκτικές στην ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή, πράγμα που έχει δύο άμεσες συνέπειες. Πρώτον, την εύκολη τοποθέτηση τους, καθώς μπορούν να περάσουν πάνω από καλώδια παροχής ηλεκτρικού ρεύματος, και δεύτερον την εξασφάλιση του απορρήτου των επικοινωνιών του χρήστη, αφού η υποκλοπή από ένα τέτοιο μέσο μπορεί να είναι εξαιρετικά δύσκολη. Επιπρόσθετα, με το διαρκώς αυξανόμενο κόστος του χαλκού, η ίνα τείνει να γίνει πιο οικονομικό μέσο εγκατάστασης δικτύου, στα πλαίσια ενός κτιρίου. Το κόστος αυτό μειώνεται ακόμα περισσότερο όταν πρόκειται για τοποθέτηση Multi – Mode ινών.

1.11.2 Μειονεκτήματα του FTTH

Το βασικότερο ίσως μειονέκτημα του FTTH είναι η ύπαρξη της εγκατάστασης χαλκού στη συντριπτική πλειοψηφία των κατασκευασμένων κτιρίων. Σε κάθε περίπτωση το κόστος της αλλαγής της δικτυακής υποδομής, και η τοποθέτηση οπτικών ινών θα είναι τόσο μεγάλο, που είναι μάλλον απίθανο να συμβεί. Γι αυτό το λόγο, ακόμα και αν η οπτική ίνα χρησιμοποιηθεί στο access δίκτυο και φτάσει μέχρι το κτίριο, το εύρος ζώνης της σύνδεσης θα περιορίζεται πάντα από τη στενωπό της ηλεκτρικής εγκατάστασης. Φυσικά δεν πρέπει να ξεχνάμε και το αυξημένο κόστος του εξοπλισμού που θα συνοδεύει την εγκατάσταση οπτικών ινών καθώς μέχρι σήμερα αποτελεί ένα μεγάλο μέρος του συνολικού κόστους εγκατάστασης.

1.12 Τα πλεονεκτήματα των οπτικών ινών

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

1. **Χαμηλό κόστος.** Η δημιουργία ενός καλωδίου οπτικών ινών είναι πιο συμφέρουσα οικονομικά, σε σχέση με ένα χάλκινο καλώδιο ίδιας απόστασης και δυνατοτήτων. Αυτό ωφελεί αρχικά τους πάροχους υπηρεσιών τηλεπικοινωνιών, οι οποίοι με μικρότερο κόστος παρέχουν ποιοτικές υπηρεσίες. Τελικά αυτό μειώνει και τις ανάγκες απόσβεσης εξόδων των παρόχων, επομένως ωφελεί και τον καταναλωτή, που επιβαρύνεται με μικρότερες χρεώσεις για τις υπηρεσίες που χρησιμοποιεί.
2. **Υψηλό bandwidth,** το οποίο ξεπερνά κατά εκατοντάδες φορές αυτό ενός κοινού καλωδίου. Οι υψηλές ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων, εξασφαλίζουν ταχύτητες της τάξεως των Gbps, που με τη σειρά τους προσφέρουν αστραπιαία διαμεταγωγή δεδομένων και αξιόπιστες υπηρεσίες τηλεφωνίας μέσω πρωτοκόλλου IP.
3. **Μικρή εξασθένιση του σήματος,** χάρη στην υψηλή ποιότητα του γυαλιού που χρησιμοποιείται ως μέσο μετάδοσης. Ακόμη και αν υπάρξει εξασθένιση σήματος, αυτό ενισχύεται πολύ εύκολα μέσω των κατάλληλων ενισχυτών.
4. **Μικρές απαιτήσεις σε ενέργεια.** Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι δεν παρατηρούνται σημαντικές απώλειες σήματος, καθώς και στον τρόπο μετάδοση δεδομένων, δηλαδή με τη χρήση φωτεινής δέσμης, που απαιτεί πολύ μικρότερη κατανάλωση ενέργειας, σε σχέση με το ηλεκτρικό σήμα.
5. **Αμιγώς ψηφιακό σήμα,** που εξασφαλίζει υψηλότερη ποιότητα επικοινωνίας και αποφυγή προβλημάτων που θα προέκυπταν σε μια αναλογική μετάδοση. Στον κόσμο της ψηφιακής πληροφορίας, τα δεδομένα αναπαρίστανται από τους αριθμούς 0 και 1, οι οποίοι ονομάζονται bits. Το 0 ισοδυναμεί με την κατάσταση «κλειστό» και το 1 με την κατάσταση «ανοικτό». Μια ακολουθία 8 bits σχηματίζουν 1 ψηφιακή λέξη που λέγεται byte ή octet. Οι οπτικές ίνες μεταδίδουν τις φωτεινές αναλαμπές με υψηλή αξιοπιστία, μεταφέροντας τα bytes με πολύ μικρότερες αλλοιώσεις σε σχέση με αυτές ενός κοινού καλωδίου δικτύου, ή μιας ασύρματης σύνδεσης δεδομένων.
6. **Υψηλή διαθεσιμότητα,** που οφείλεται κυρίως στην ανθεκτική κατασκευή των σύγχρονων οπτικών καλωδίων, που μειώνει στο ελάχιστο το ενδεχόμενο εξωτερικής ζημιάς.



7. Το **error rate** ή αλλιώς ο ρυθμός εμφάνισης σφαλμάτων σε καλώδια οπτικών ινών είναι σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Μπορούμε να πούμε με σιγουριά ότι είναι ο καλύτερος από τα ενσύρματα μέσα μετάδοσης κατά 3 τάξεις μεγέθους.
8. **Μικρές διαστάσεις και βάρος**, καθώς ένα μικρό και ελαφρύ καλώδιο οπτικών ινών, μεταφέρει πολύ περισσότερα δεδομένα από ένα μεγαλύτερο και πιο βαρύ χάλκινο καλώδιο. Έτσι, απαιτείται πολύ λιγότερος χώρος για την υλοποίηση ενός δικτύου οπτικών ινών

1.13 Τα μειονεκτήματα των οπτικών ινών

Ένα από τα βασικότερα μειονεκτήματα, που παρουσιάζουν οι οπτικές ίνες, είναι η δυσκολία σύνδεσης των οπτικών ινών με άλλα εξαρτήματα, επειδή απαιτείται υψηλή προσαρμογή και ευθυγράμμιση της φωτεινής πηγής, για να μην υπάρχει διασπορά και να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες. Είναι χαρακτηριστικό ότι και μικρές ακόμη αποκλίσεις στην ευθυγράμμιση αυτή μπορούν να προξενήσουν μεγάλη απώλεια του φωτεινού σήματος. Όμως, η πρόοδος της τεχνολογίας, που έχει σημειωθεί τα τελευταία χρόνια στην περιοχή των οπτικών ινών, αντιμετώπισε με επιτυχία την παραπάνω δυσκολία, με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η χρήση τους και για συνδέσεις σημείου προς πολλά σημεία. Παρόλα αυτά, η χρήση τους σε τέτοιες συνδέσεις δεν έχει ακόμη ευρέως εξαπλωθεί, ιδιαίτερα λόγω του αυξημένου κόστους, που παρουσιάζουν τέτοια συστήματα.

1.14 Οι εφαρμογές των οπτικών ινών

1. Οπτική ίνα επικοινωνίας

Η Οπτική ίνα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέσο για τηλεπικοινωνιών και δικτύωσης, διότι είναι ευέλικτη και μπορεί να ομαδοποιείται. Είναι ιδιαίτερα επωφελής για επικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων, επειδή το φως διαδίδεται μέσα από την ίνα με μικρή εξασθένηση συγκριτικά με τη μεγαλύτερη εξασθένηση του σήματος των ηλεκτρικών καλωδίων. Αυτό επιτρέπει να εκτείνονται σε μεγάλες αποστάσεις με λίγους επαναλήπτες αναμετάδοσης. Επιπλέον, τα φωτεινά σήματα αναλύσεων στην ίνα μπορεί να διαμορφώνονται σε ποσοστά τόσο υψηλά όσο 40 Gb/s κάθε ίνα μπορεί να μεταφέρει πολλά ανεξάρτητα κανάλια, το καθένα με διαφορετική πολύπλεξη με επιμερισμό μήκους κύματος του Φώτος (wavelength-division multiplexing). Σε μικρές αποστάσεις, όπως η δικτύωση μέσα σε ένα κτίριο, η ίνα εξοικονομεί χώρο διότι μια ενιαία ίνα μπορεί να μεταφέρει πολύ περισσότερα δεδομένα από ένα ενιαίο ηλεκτρικό καλώδιο.

2. Αισθητήρες οπτικών ινών

Οπτικές Ίνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως αισθητήρες για τη μέτρηση της τάσεως παραμόρφωσης,(καταπόνηση μετάλλων, κόπωση των υλικών),της θερμοκρασίας, της πίεσης και άλλων παραμέτρων. Το μικρό μέγεθος και το γεγονός ότι η ηλεκτρική ενέργεια δεν είναι απαραίτητη δίνει στην ίνα οπτικού αισθητήρα το πλεονέκτημα σε σχέση με τους συμβατικούς ηλεκτρικούς αισθητήρες, σε ορισμένες εφαρμογές.

Οπτικές Ίνες χρησιμοποιούνται ως υδρόφωνα για σεισμικές ή SONAR εφαρμογές. Έχουν αναπτυχθεί Hydrophone συστήματα με περισσότερους από 100 αισθητήρες ανά καλώδιο οπτικής ίνας. Οι υδρόφωνοι αισθητήρες χρησιμοποιούνται από τη βιομηχανία πετρελαίου, καθώς και από το πολεμικό ναυτικό μερικών χωρών. Η γερμανική εταιρεία Sennheiser ανέπτυξε ένα μικρόφωνο που εργάζεται με λέιζερ και τις Οπτικές Ίνες .

Οπτικοί αισθητήρες θερμοκρασίας και πίεσης έχουν αναπτυχθεί για μέτρηση σε γεωτρήσεις. Ο οπτικός αισθητήρας είναι κατάλληλος για το περιβάλλον αυτό, αφού μπορεί να λειτουργεί σε θερμοκρασίες πολύ υψηλές για αισθητήρες ημιαγωγών .



Μια άλλη χρήση της οπτικής ίνα ως αισθητήρα είναι η χρήση ως οπτικό γυροσκόπιο που είναι σε χρήση στο Boeing 767 και σε ορισμένα μοντέλα αυτοκινήτων (για σκοπούς πλοηγήςσεως) και τη χρήση σε μικροαισθητήρες υδρογόνου.

Οι οπτικοί αισθητήρες έχουν αναπτυχθεί για τη μέτρηση ταυτόχρονα περιοχών θερμοκρασίας και πίεσης με πολύ μεγάλη ακρίβεια. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για να αποκτήσει πληροφορίες από μικρές πολύπλοκες δομές.

3. Άλλες χρήσεις των οπτικών ινών

Η οπτική ίνα χρησιμοποιείται επίσης σε ένα οπτικό σύστημα απεικόνισης. Μια συνεκτική δέσμη ινών που χρησιμοποιούνται, μερικές φορές μαζί με φακούς, για μια μακρά, λεπτή συσκευή απεικόνισης, ονομάζεται ενδοσκόπιο endoscope, η οποία χρησιμοποιείται για να βλέπουμε αντικείμενα μέσω μιας μικρής τρυπιάς. Ιατρικά ενδοσκόπια χρησιμοποιούνται για προληπτικές εξετάσεις, για διερευνητική ενδοσκόπηση και χειρουργικές επεμβάσεις. Βιομηχανικά ενδοσκόπια (βλ. fiberscope η borescope) χρησιμοποιούνται για διερεύνηση σε σημεία που είναι δύσκολο να φτάσουμε, όπως το εσωτερικό μηχανών αεροσκαφών τύπου τζετ.

Μια οπτική ίνα νοθευμένη με ορισμένα σπάνια στοιχεία, όπως erbium μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως μέσο ενίσχυσης ενός λέιζερ ή οπτικού ενισχυτή. Νοθευμένες οπτικές ίνες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ενίσχυση σήματος με σύνδεση splicing ενός μικρού μέρους της νοθευμένης ίνας μέσα σε μια κανονική (ανόθευτη) γραμμή. Η νοθευμένη ίνα ενισχύεται οπτικά με ένα δεύτερο μήκος κύματος λέιζερ που συνδέεται στη γραμμή με το μονό σήμα κύματος. Και τα δυο μήκη κύματος του φωτός που μεταδίδονται μέσω της νοθευμένης ίνας, η οποία μεταβιβάζει την ενέργεια από το δεύτερο ενισχυμένο μήκος κύματος στο κύμα του σήματος. Η διαδικασία που προκαλεί ενίσχυση ονομάζεται διεγερόμενη εκπομπή (stimulated emission). Νοθευμένες οπτικές ίνες με μετατόπιση μήκους κύματος χρησιμοποιούνται για να συλλέγουν φως σπινθηροβολήματος σε πειράματα φυσικής.

Οπτική ίνα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την προμήθεια ηλεκτρικής ενέργειας (περίπου το ένα watt) σε ηλεκτρικές συσκευές που βρίσκονται σε ηλεκτρικά δύσκολα περιβάλλοντα (difficult electrical environment) Παραδείγματος χάρη σε ηλεκτρονικά στοιχεία κεραιών υψηλής ενέργειας και σε συσκευές μέτρησης που χρησιμοποιούνται περιβάλλον υψηλής τάσης.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : Τα χαρακτηριστικά των οπτικών ινών

Εισαγωγή

Αυτό το κεφάλαιο αναφέρεται στα χαρακτηριστικά των οπτικών ινών. Διακρίνονται 14 παράμετροι, σε παραμέτρους εγκατάστασης και περιβαλλοντικές παραμέτρους, ώστε να είναι επιτυχής η εγκατάσταση οπτικών καλωδίων. Για κάθε παράμετρο δίνονται τυπικές τιμές που αναφέρονται σε κάθε πιθανή εφαρμογή των οπτικών καλωδίων καθώς και πρακτικά παραδείγματα για κάθε περίπτωση. Επίσης με βάση αυτές τις παραμέτρους περιγράφονται τροποποιήσεις που γίνονται για την προστασία τους.

2.1 Οι παράμετροι των καλωδίων και οι τυπικές τιμές τους

Για τον πλήρη προσδιορισμό των χαρακτηριστικών ενός καλωδίου οπτικών ινών, απαιτούνται τουλάχιστον 14 παράμετροι. Οι παράμετροι αυτές υποδιαιρούνται σε δύο κατηγορίες, αυτές των **εγκαταστάσεων** και αυτές που αφορούν το **περιβάλλον λειτουργίας**. Τα περισσότερα από τα χαρακτηριστικά αυτά ελέγχονται με τυποποιημένες μεθόδους. Σημειώστε, ότι δεν εφαρμόζονται όλες οι χαρακτηριστικές παράμετροι σε όλες τις περιπτώσεις. Ο προσδιορισμός των απαιτούμενων χαρακτηριστικών εξαρτάται από το είδος της εφαρμογής. Για παράδειγμα, καλώδια μέσα σε σωληνώσεις ή προστατευμένες τοποθεσίες δεν απαιτείται να εκπληρώνουν προδιαγραφές φορτίου σύνθλιψης [7].

2.1.1 Οι χαρακτηριστικές παράμετροι εγκαταστάσεων

Τα χαρακτηριστικά αυτά εξασφαλίζουν την επιτυχή εγκατάσταση των καλωδίων. Υπάρχουν δυο τέτοια χαρακτηριστικά :

1. Η ελάχιστη συνιστώμενη ακτίνα κάμψης, και η ακτίνα κάμψης κατά την εγκατάσταση (σε ίντσες ήmm)
2. Η διάμετρος του καλωδίου

2.1.2 Η ελάχιστη συνιστώμενη ακτίνα κάμψης και η ακτίνα κάμψης κατά την εγκατάσταση

Η ελάχιστη συνιστώμενη ακτίνα κάμψης κατά την εγκατάσταση αποτελεί την ελάχιστη ακτίνα στην οποία επιτρέπεται το καλώδιο να καμφθεί, ενώ φορτίζεται από το μέγιστο συνιστώμενο φορτίο. Η ακτίνα αυτή περιορίζεται περισσότερο από τα υλικά του καλωδίου, παρά από τις ίδιες τις ίνες. Η επιτρεπόμενη αυτή κάμψη δεν προκαλεί μόνιμη αλλαγή των απωλειών σήματος ή θραύση των ινών ή θραύση οποιουδήποτε σημείου του καλωδίου. Συνήθως, η ακτίνα αυτή καθορίζεται ως 20 φορές η διάμετρος του καλωδίου που κάμπτεται. Ο καθορισμός του χαρακτηριστικού αυτού είναι σημαντικός κατά την έλξη του καλωδίου (χειροκίνητη ή μηχανική) μέσα από σωληνώσεις ή σε μεγάλου μήκους διαδρομές. Για τον προσδιορισμό της τιμής αυτής απαιτείται προηγουμένως η εξέταση του χώρου της εγκατάστασης του καλωδίου, για την εύρεση της ακτίνας κάμψης κατά την εγκατάσταση.



2.1.3 Η διάμετρος καλωδίου, εμπιερχόμενων καλωδίων και σωλήνων απομόνωσης

Το καλώδιο θα πρέπει να χωράει στην προβλεπόμενη για εγκατάσταση θέση. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για καλώδια που πρόκειται να τοποθετηθούν μέσα σε σωληνώσεις, ενώ δεν είναι σημαντικό για τις περιπτώσεις απευθείας ταφής, ανάρτησης από οροφές ή τοποθέτησης πάνω σε οδηγούς. Εάν ο διαθέσιμος χώρος αποτελεί περιοριστικό παράγοντα, τότε ίσως το μέγεθος της διαμέτρου προσδιορίζει τελικά ποιον τύπο καλωδίου θα διαλέξουμε. Εάν πρέπει να επιλέξουμε τη μικρότερη διάμετρο, τότε οι σχεδιάσεις MFPT είναι οι κατάλληλες (είναι οι μικρότερης διαμέτρου).

Περιοριστικούς παράγοντες μπορεί επίσης να αποτελούν η διάμετρος των εμπιερχόμενων καλωδίων και ο απομονωτής σωλήνας του καλωδίου. Στις περιπτώσεις των διαρρηγνόμενων καλωδίων, η διάμετρος των εμπιερχομένων καλωδίων πρέπει να είναι μικρότερη από τη μέγιστη διάμετρο του βύσματος σύνδεσης.

2.2 Οι περιβαλλοντικές παράμετροι

Οι περιβαλλοντικές παράμετροι είναι τα χαρακτηριστικά εκείνα που απαιτούνται για την εξασφάλιση της ορθής λειτουργίας του καλωδίου στο περιβάλλον του. Υπάρχουν 11 τέτοια χαρακτηριστικά:

1. Το εύρος θερμοκρασιών λειτουργίας
2. Το φορτίο μακροπρόθεσμης χρήσης
3. Η αντίσταση στην πυρκαγιά
4. Αντοχή στην υπεριώδη ακτινοβολία (UV)
5. Αντοχή στην καταστροφή από τρωκτικά
6. Αντοχή στην υγρασία / νερό
7. Αντίσταση στην αγωγιμότητα κάτω από πεδία υψηλής τάσης
8. Τοξικότητα
9. Αντοχή στις εκδορές
10. Αντίσταση στη ραδιενέργεια
11. Αντίσταση στις συγκρούσεις

2.2.1. Το εύρος θερμοκρασιών λειτουργίας

Το εύρος θερμοκρασιών λειτουργίας είναι αυτό που απαιτείται, ώστε οι απώλειες σήματος του καλωδίου να μην υπερβαίνουν ποτέ τη καθορισθείσα τιμή. Γενικά, υπάρχουν πολύ λίγες εφαρμογές στις οποίες οι απώλειες των οπτικών ινών υπερβαίνουν τις καθορισθείσες τιμές λόγω θερμοκρασιών λειτουργίας. Στην πραγματικότητα, ορισμένες ίνες διαθέτουν περιβλήματα τα οποία επιβιώνουν κάτω από συνθήκες συνεχούς λειτουργίας μέχρι και 400 °C. Για λειτουργία σε τέτοιες θερμοκρασίες, συνήθως οι ίνες περιβάλλονται από μεταλλικούς σωλήνες. Για λειτουργία σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, τα καλώδια κατασκευάζονται από υλικά που διατηρούν την ευκαμψία τους. Για τα καλώδια που χρησιμοποιούνται σε λιγότερες αντίξοες συνθήκες (80-200 °C), χρησιμοποιούνται πλαστικά φθοριούχου άνθρακα, π.χ. Teflon, Tefzel, Kynar, κτλ.

Υπάρχουν δύο λόγοι για τους οποίους ενδιαφερόμαστε για τη θερμοκρασία λειτουργίας του καλωδίου. Ο ένας λόγος αφορά τη φυσική επιβίωση του καλωδίου και ο άλλος τις αυξημένες απώλειες σήματος των ινών, όταν αυτές εκτίθενται σε ακραίες θερμοκρασιακές συνθήκες. Όλα τα καλώδια κατασκευάζονται από πλαστικά υλικά, τα οποία διαθέτουν θερμοκρασίες πάνω και κάτω από τις οποίες παύουν να διατηρούν τις μηχανικές τους ιδιότητες. Μετά από μακρά έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες, τα πλαστικά καταστρέφονται, μαλακώνουν και σε ορισμένες περιπτώσεις θρυμματίζονται. Μετά από έκθεση σε χαμηλές θερμοκρασίες, τα υλικά αυτά γίνονται εύθραυστα και καταστρέφονται όταν καμφθούν ή μετακινηθούν. Προφανώς, κάτω από τέτοιες συνθήκες τα καλώδια παύουν να παρέχουν προστασία στις οπτικές ίνες.



Ο δεύτερος λόγος, για τον οποίο είναι σημαντικό το εύρος θερμοκρασιών λειτουργίας, είναι η αύξηση των απωλειών σήματος, κάτω από εξαιρετικά ακραίες θερμοκρασιακές συνθήκες. Οι οπτικές ίνες έχουν ευαισθησία στο χειρισμό τους, η οποία διαφαίνεται κατά τη μηχανική τους κάμψη. Η κάμψη αυτή, οδηγεί σε αύξηση των απωλειών σήματος, και είναι γνωστή ως «αύξηση απωλειών λόγω μικροκάμψης». Όταν τα καλώδια βρίσκονται σε ακραίες θερμοκρασίες λειτουργίας, τα πλαστικά υλικά συστέλλονται και διαστέλλονται με πολύ μεγαλύτερους ρυθμούς από αυτούς των γυάλινων ινών (περί τις 100 φορές). Αυτές οι συστολές και διαστολές οδηγούν σε μηχανικές κάμψεις των ινών, μικροσκοπικού επιπέδου. Είτε η ίνα συμπιέζεται κατά τη συστολή του πλαστικού εξωτερικού σωλήνα, είτε τραβιέται προς τα έξω καθώς το πλαστικό διαστέλλεται. Και στις δύο περιπτώσεις, η ίνα αναγκάζεται να πάρει τη μορφή της μικροσκοπικά ανομοιόμορφης επιφάνειας του πλαστικού. Οι μικροσκοπικές αυτές κάμψεις οδηγούν σε διαφυγή του φωτός από τον πυρήνα της ίνας, πράγμα το οποίο σημαίνει αύξηση των απωλειών σήματος. Αυτού του είδους η συμπεριφορά σημαίνει ότι ο χρήστης θα πρέπει να προσδιορίζει το εύρος θερμοκρασιακών μεταβολών κατά τη λειτουργία του καλωδίου, ώστε να εξασφαλίζεται αρκετή ποσότητα φωτός για την ομαλή λειτουργία του συστήματος.

2.2.2 Το φορτίο μακροπρόθεσμης χρήσης

Τα περισσότερα καλώδια οπτικών ινών σχεδιάζονται για χρήση χωρίς σημαντικό φορτίο. Ιδιαίτερα σημαντικά φορτία εμφανίζονται σε εφαρμογές κατακόρυφων διαδρομών, σε άξονες ανελκυστήρων, σε πύργους ραδιοφώνου ή τηλεόρασης και σε εναέρια καλώδια εξωτερικού χώρου. Στις περιπτώσεις αυτές, τα καλώδια υπόκεινται σε φορτία είτε των ιδίων είτε οφειλόμενα σε εξωτερικά αίτια, όπως είναι ο άνεμος, το χιόνι και ο πάγος. Όλοι αυτοί οι παράγοντες εξαρτώνται από τις αποστάσεις μεταξύ των στύλων ανακρέμασης.

Απαιτείται μεγάλη προσοχή στον καθορισμό του φορτίου μακροπρόθεσμης χρήσης, ώστε η ασκούμενη παραμόρφωση στις οπτικές ίνες να μην υπερβαίνει κάποια κρίσιμη τιμή. Σε διαφορετική περίπτωση, οι οπτικές ίνες είναι δυνατό ξαφνικά να σπάσουν δίχως καμία φαινομενική αιτία.

2.2.3 Αντίσταση στην πυρκαγιά

Η αντίσταση στην πυρκαγιά απαιτείται ιδιαίτερα σε εφαρμογές πλοίων και αεροσκαφών. Στις περιπτώσεις αυτές, απαιτείται η χρήση καλωδίων από υλικά ανθεκτικά στη φωτιά. Πολλά συνήθη υλικά ανθεκτικά στη φωτιά είτε είναι στη συνήθη τους μορφή είτε μπορούν να γίνουν τέτοια με τη χρήση ορισμένων προσθετικών ουσιών.

2.2.4 Σταθερότητα στην υπεριώδη ακτινοβολία (UV)

Εάν τα καλώδια προορίζονται για συνεχή εξωτερική χρήση, τότε απαιτείται ο καθορισμός της αντοχής ή της σταθερότητας στην υπεριώδη ακτινοβολία (UV). Σε διαφορετική περίπτωση, η συνεχής έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία προκαλεί απώλεια της ευκαμψίας και θραύση του εξωτερικού περιβλήματος του καλωδίου. Τα περισσότερα καλώδια, που προορίζονται για διαρκή εξωτερική χρήση, διαθέτουν περίβλημα από μαύρο πολυαιθυλένιο, επειδή το υλικό αυτό απορροφά την ακτινοβολία UV και δε διαθέτει πλαστικοποιητές που εξατμίζονται με την πάροδο του χρόνου.

2.2.5 Αντοχή στην καταστροφή από τρωκτικά

Σε περιβάλλοντα με τρωκτικά, απαιτείται η προστασία των θαμμένων καλωδίων από τη φθορά την οποία μπορεί να προξενήσουν. Τελευταία, αποφεύγεται η χρήση θωρακισμένων καλωδίων,



και αντί αυτών τα θαμμένα καλώδια τοποθετούνται μέσα σε σωληνώσεις, οι οποίες παρέχουν την προστασία που παλαιότερα παρείχαν τα θωρακισμένα καλώδια. Σε ορισμένες περιπτώσεις, ίσως απαιτηθεί η χρήση θωρακισμένων καλωδίων. Τα καλώδια αυτά διαθέτουν ένα επιπλέον στρώμα υλικού, το οποίο προσδίδει στο καλώδιο σημαντική αντοχή στη σύνθλιψη και στα τρωκτικά. Επιπλέον, ένα τελικό στρώμα πλαστικού περιβλήματος συνήθως επικαλύπτει το θώρακα. Τα επιπρόσθετα αυτά στρώματα δεν είναι όμως δίχως αντίτιμο. Πρώτον, τα θωρακισμένα καλώδια είναι περισσότερο ακριβά. Δεύτερον, τα καλώδια αυτά συνήθως δεν είναι και τόσο εύκαμπτα.

Υπάρχουν τέσσερις βασικοί τύποι θωρακισμένων καλωδίων: με χαλύβδινο γαλβανισμένο θώρακα (με ή χωρίς εξωτερική πλαστική επίστρωση), με θώρακα μορφής χάλκινης ταινίας, με μπλεντάζ (χαλύβδινο ή μπρούτζινο) και με διηλεκτρικό θώρακα. Η συνηθέστερη περίπτωση, που συναντάται σε θωρακισμένα καλώδια οπτικών ινών, είναι η πρώτη. Εφαρμόζεται σε πτυχωτή ή σε διαμήκη σφραγισμένη / συγκολλημένη μορφή. Είναι αποτελεσματική θωράκιση και διαθέτει το χαμηλότερο κόστος. Ωστόσο, είναι η σκληρότερη. Η θωράκιση μορφής χάλκινης ταινίας τυλίγεται γύρω από το καλώδιο ελικοειδώς, με κάποια κενά διαστήματα μεταξύ των διαδοχικών περιτυλίξεων. Ο τύπος αυτός θωράκισης χρησιμοποιείται σπανίως σε καλώδια οπτικών ινών. Η θωράκιση μπλεντάζ, λόγω της σχετικά ευέλικτης φύσης της, χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις στις οποίες ταυτόχρονα με την αντοχή στα τρωκτικά είναι επιθυμητή και η ευελιξία του καλωδίου. Η διηλεκτρική θωράκιση διατίθεται από μία και μοναδική πηγή στις Η.Π.Α. Αυτός ο τύπος απαιτείται και χρησιμοποιείται πολύ σπάνια. Αποτελεί το σκληρότερο και πιο ακριβό τύπο θωράκισης. Η προσθήκη διηλεκτρικής θωράκισης συνήθως διπλασιάζει το κόστος του καλωδίου.

2.2.6 Αντοχή στην υγρασία/νερό

Εάν το υποψήφιο καλώδιο πρόκειται να λειτουργήσει μέσα σε περιβάλλον νερού, είτε μόνιμα είτε για μεγάλες χρονικές περιόδους (όπως αυτό συμβαίνει σε πολλές εφαρμογές εξωτερικού χώρου και σε όλες τις υποβρύχιες εφαρμογές), τότε απαιτείται η χρήση ενός ειδικού τύπου καλωδίου. Ένα τέτοιο καλώδιο διαθέτει ειδική γέμιση μέσα σε κάθε χαλαρή σωλήνα απομονωτή, καθώς και υλικά που μπλοκάρουν τον κενό χώρο μεταξύ των σωλήνων. Χρήση διαφορετικού τύπου καλωδίων από αυτόν οδηγεί σε αύξηση των απωλειών σήματος και τελικά σε θραύση των ινών. Επιπρόσθετα, καλώδια χωρίς γέμιση και υλικά μπλοκαρίσματος ενεργούν ως σωλήνες που διοχετεύουν νερό μέχρι τις απολήξεις στα ηλεκτρονικά τμήματα της εγκατάστασης. Ορισμένοι κατασκευαστές διαθέτουν καλώδια μόνο με γέμιση, τα οποία όμως δεν είναι τόσο υδατοστεγή όσο τα καλώδια που διαθέτουν εκτός από γέμιση και υλικά μπλοκαρίσματος.

2.2.7 Αντίσταση στην αγωγιμότητα κάτω από πεδία υψηλής τάσης

Σε ορισμένες εφαρμογές κάτω από την επίδραση πεδίων υψηλής τάσης, τα καλώδια οπτικών ινών θα πρέπει να είναι μη-αγώγιμα. Ορισμένα από αυτά εκτίθενται σε τάσεις έως και 1.000.000 volts. Σε άλλες εφαρμογές, τα καλώδια οπτικών ινών δε θα πρέπει να έλκουν τους κεραυνούς. Σε όλες αυτές τις περιπτώσεις, απαιτούνται πλήρως διηλεκτρικές κατασκευές, οι οποίες είναι διαθέσιμες στο εμπόριο [8].

2.2.8 Τοξικότητα

Σε ορισμένες εφαρμογές, π.χ. σε πλοία, αεροσκάφη και μέσα μαζικής μεταφοράς, απαιτούνται καλώδια χωρίς αλογόνα. Η ύπαρξη αλογόνων, κατά την καύση, παράγει τοξικά αέρια που προσβάλλουν τους πνεύμονες και διαβρώνουν τον ηλεκτρονικό εξοπλισμό. Τα καλώδια αυτά, είναι 10-15% περισσότερο ακριβά από τα καλώδια PVC.

Επιπρόσθετα, σε ορισμένες περιοχές, π.χ. στη Νέα Υόρκη, απαιτείται η καταγραφή όλων των εγκατεστημένων καλωδίων, ώστε να παρακολουθούνται τα εμπεριεχόμενα υλικά. Τα καλώδια που



κατασκευάζονται για την Ευρωπαϊκή και Ιαπωνική αγορά απαιτείται να είναι επίσης ελεύθερα αλογόνων.

2.2.9 Αντοχή στις εκδορές

Σε περιπτώσεις κατά τις οποίες το καλώδιο κινδυνεύει να γδαρθεί, τότε θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η αντίσταση στις εκδορές. Η προδιαγραφή αυτή αφορά το υλικό του περιβλήματος του καλωδίου.

2.2.10 Αντίσταση στη ραδιενέργεια

Όταν τα καλώδια πρόκειται να εγκατασταθούν σε περιβάλλον με ιονίζουσα ακτινοβολία, όπως π.χ. στον πυρήνα ενός πυρηνικού αντιδραστήρα, στο διάστημα, σε ένα θάλαμο ακτίνων X, κτλ, τότε απαιτείται τα υλικά κατασκευής τόσο του καλωδίου όσο και της ίνας να είναι ανθεκτικά στις ακτινοβολίες. Τα υλικά κατασκευής των καλωδίων θα πρέπει να είναι ανθεκτικά στις ακτινοβολίες, ώστε να διατηρούν τις μηχανικές τους ιδιότητες, ενώ ταυτόχρονα οι ίνες θα διατηρούν τις χαμηλές απώλειες σήματος. Οπτικές ίνες ανθεκτικές στη ραδιενέργεια υπάρχουν διαθέσιμες από αρκετούς κατασκευαστές. Αυτές παρουσιάζουν μικρή αύξηση των απωλειών σήματος κάτω από την επίδραση της ακτινοβολίας, συγκριτικά με τις συνήθεις ίνες. Επί πλέον, οι ίνες αυτές έχουν μικρότερο χρόνο επαναφοράς και χαμηλότερη παραμένουσα αύξηση των απωλειών σήματος, μετά από κάθε έκθεση σε ακτινοβολίες.

2.2.11 Αντίσταση στις συγκρούσεις

Σε ορισμένες περιπτώσεις, απαιτείται ο καθορισμός της αντίστασης του καλωδίου σε μηχανικές συγκρούσεις. Παραδείγματα τέτοιων περιπτώσεων αφορούν στρατιωτικές εφαρμογές σε τακτικά περιβάλλοντα, εφαρμογές συνεργείων δημοσιογραφίας, και οποιαδήποτε άλλη περίπτωση, κατά την οποία είναι δυνατό να πέσουν πάνω στα καλώδια βαριά αντικείμενα. Πρακτικά, τα περισσότερα καλώδια οπτικών ινών είναι αρκετά ανθεκτικά στις συγκρούσεις. Εάν δεν υπάρχει πιθανότητα σύγκρουσης στο περιβάλλον εγκατάστασης του καλωδίου, τότε δεν απαιτείται να ασχοληθούμε με την προδιαγραφή αυτή.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : Παράμετροι επιλογής καλωδίου οπτικών ινών

Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιάσουμε τα είδη των καλωδίων των οπτικών ινών που χρησιμοποιούνται στα σημερινά δίκτυα οπτικών ινών. Επιπλέον θα παρουσιάσουμε τις παραμέτρους, σύμφωνα με τις οποίες επιλέγουμε τα κατάλληλα καλώδια οπτικών ινών για τις διαφορές ανάγκες μας.

Οι ομοιότητες που παρουσιάζουν οι οπτικές ίνες με τους χάλκινους αγωγούς σε επίπεδο σχεδιασμού και κατασκευής, ώθησαν τους κατασκευαστές χάλκινων καλωδίων να ξεκινήσουν παράλληλη παραγωγή οπτικών. Βέβαια τα φυσικά χαρακτηριστικά του γυαλιού επιβάλλουν τη δημιουργία μιας εξειδικευμένης μεθόδου σχεδιασμού για τα οπτικά καλώδια, ειδικά κατά τα πρώτα στάδια της αλυσίδας παραγωγής.

Ο κατασκευαστής, κατά τον σχεδιασμό του οπτικού καλωδίου πρέπει να σιγουρευτεί πως: η ίνα δεν είναι αρκετά λυγισμένη, γιατί :

1. μπορεί εύκολα να σπάσει
2. μπορεί να μετατραπεί σε χαμηλής ποιότητας κυματοδηγό (αύξηση εξασθένησης)
3. αυξάνεται το ρίσκο να σπάσει η ίνα αν ασκηθούν στην ίδια διαμήκεις δυνάμεις. Αν η ίνα τεντωθεί θα πρέπει να υπάρχει αρκετά μικρή πιθανότητα να σπάσει.
4. Δεν έχουν ασκηθεί στην ίνα ακτινικές δυνάμεις, λόγω του ότι η συμπίεση της ίνας μπορεί να αυξήσει δραματικά την εξασθένηση
5. Η ίνα δεν έχει εκτεθεί σε υγρασία. Η έκθεση της ίνας σε υγρασία μπορεί να σπάσει τη χημική της σύνθεση, με αποτέλεσμα να αυξηθεί η εξασθένηση και να ελαττωθεί η διάρκεια ζωής της.

Η προστασία της οπτικής ίνας, κατά την κατασκευή της είναι το κομβικό σημείο για να είναι δυνατή η χρήση της. Έτσι στον σχεδιασμό ενός οπτικού καλωδίου λαμβάνονται όλα εκείνα τα μέτρα κατά τέτοιο τρόπο ώστε όλοι οι παραπάνω παράγοντες να αποφεύγονται όσο το δυνατόν περισσότερο. Οι έρευνες με τη πάροδο των ετών, κατέληξαν στη δημιουργία ειδικών μεθόδων σχεδιασμού για κάθε είδους εφαρμογή ξεχωριστά και κατέληξαν σε τυποποιημένες μεθόδους σχεδιασμού για τα παρακάτω πεδία εφαρμογών :

- Καλώδια indoor (κτιριακές εγκαταστάσεις)
- Καλώδια rack (εύκαμπτα, συχνά μίας ίνας όπως patch cords και pigtails)
- Καλώδια υπόγειων αγωγών (duct)
- Εναέρια καλώδια (aerial)
- Καλώδια άμεσης βύθισης (direct burial)
- Υποβρύχια καλώδια

Η χρήση καλωδίων οπτικών ινών είναι ιδιαίτερα ευεργετική για τις παρακάτω πέντε βασικές κατηγορίες εφαρμογών:

1. **Κεντρικούς διαύλους μεγάλου μήκους (Long haul trunks)** : Οι διαυλοι αυτοί έχουν μέσο μήκος 1500 χιλιόμετρα και μεταφέρουν 20 έως 60 χιλιάδες κανάλια φωνής.
2. **Κεντρικούς διαύλους αστικής περιοχής (Metropolitan trunks)** : Οι διαυλοι αυτοί έχουν μέσο μήκος 12.5 χιλιόμετρα και μεταφέρουν έως 100 χιλιάδες κανάλια φωνής.
3. **Κεντρικούς διαύλους επαρχιών (Rural exchange trunks)** : Οι διαυλοι αυτοί έχουν μήκος από 40 έως 160 χιλιόμετρα και μεταφέρουν έως 5 χιλιάδες κανάλια φωνής, χρησιμοποιούνται δε στην σύνδεση επαρχιακών πόλεων και χωριών.
4. **Τοπικούς βρόγχους (Local loops)** : Τοπικός βρόγχος είναι η σύνδεση από το κέντρο στον συνδρομητή. Η χρήση οπτικών ινών σε αυτές τις συνδέσεις επιτρέπει την μεταφορά προς τον συνδρομητή όχι μόνο φωνής και δεδομένων αλλά και ακίνητης και κινούμενης εικόνας.

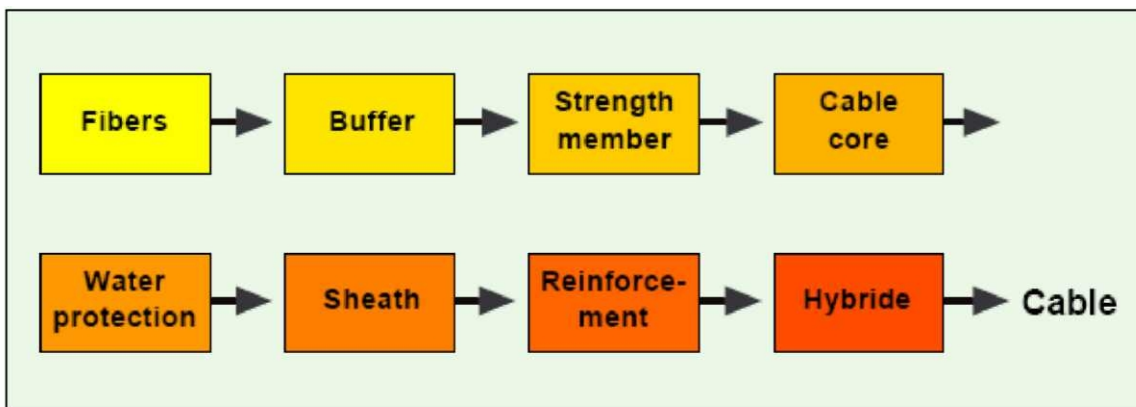


5. **Τοπικά δίκτυα :** Η χρήση οπτικών ινών στα τοπικά δίκτυα επιτρέπει ταχύτητες άνω των 100 Mbps και υποστήριξη εκατοντάδων σταθμών. Η οπτική ίνα μεταδίδει μία ακτίνα φωτός μέσω του φαινομένου της ολικής εσωτερικής ανάκλασης (total internal reflection). Η ολική εσωτερική ανάκλαση απαντάται σε κάθε διαφανές μέσο που έχει υψηλότερο δείκτη refraction από το περιβάλλον μέσο.

3.1 Οι διάφορες παράμετροι

Η παρακάτω εικόνα παρουσιάζει τις διάφορες παραμέτρους που εμπλέκονται στη διαδικασία επιλογής του κατάλληλου καλωδίου οπτικής ίνας. Κάθε μεγάλο κατασκευαστικό πρόγραμμα έχει τις δικές του ειδικές προδιαγραφές. Το να ικανοποιήσουμε όλες αυτές τις ειδικές παραμέτρους και ταυτόχρονα να παραμείνουμε εντός των standard των διαφόρων κατασκευαστών αποτελεί ένα σχεδόν αδύνατο στόχο. Απαιτείται λοιπόν πολύ στενή συνεργασία μεταξύ πελάτη και κατασκευαστή για έργα μεγάλης κλίμακας. Το είδος του καλωδίου και η πολυπλοκότητα της δομής του εξαρτάται από την συγκεκριμένη εφαρμογή. Θα πρέπει όμως να αντέχει σε όλες τις πιθανές συνθήκες που ενδεχομένως θα αντιμετωπίσει κατά την διάρκεια της αποθήκευσης, εγκατάστασης και λειτουργίας του. Ως πιθανές συνθήκες νοούνται οι υψηλές θερμοκρασίες, ηλιακή ακτινοβολία, ψύχος, βροχή υγρασία, εφελκυσμός τάνυση κάμψη και στρέψη.

Το κεφάλαιο αυτό ασχολείται με όλα τα βασικά βήματα της διαδικασίας επιλογής του κατάλληλου οπτικού καλωδίου. Συγκεκριμένες παράμετροι που επιλέγονται αρχικά μπορεί να εξαιρέσουν άλλες παραμέτρους [9].



Εικόνα 45 : Οι παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη κατά τη διαδικασία επιλογής ενός καλωδίου οπτικής ίνας

3.1.1 Πρώτη παράμετρος, η οπτική ίνα

Κατά την κατασκευή της η οπτική ίνα είναι ευάλωτη για τα πρώτα 1 - 3 δευτερόλεπτα της ζωής της στο λύγισμα σε διαμήκεις δυνάμεις, στην υγρασία και στα χημικά. Πριν αποχωρήσει η ίνα από τον πύργο σχεδιασμού (σε απόλυτα καθαρό εργαστηριακό περιβάλλον) της δίνεται το πρώτο προστατευτικό στρώμα, το πρωτεύον επίστρωμα. Παρακάτω θα ασχοληθούμε με ίνες που έχουν διάμετρο μανδύα 125μm Οι πιο συνήθεις τύποι οπτικών ινών που χρησιμοποιούνται περισσότερο στα σύγχρονα δίκτυα είναι:



- Μονότροπη ίνα βηματικού δείκτη 8 -10/125 μm
- Μονότροπη ίνα μετατοπισμένου σημείου διασποράς 4 – 8/125 μm
- Πολύτροπη ίνα βαθμιαίου δείκτη 50/125 μm
- Πολύτροπη ίνα βαθμιαίου δείκτη 62.5/125 μm

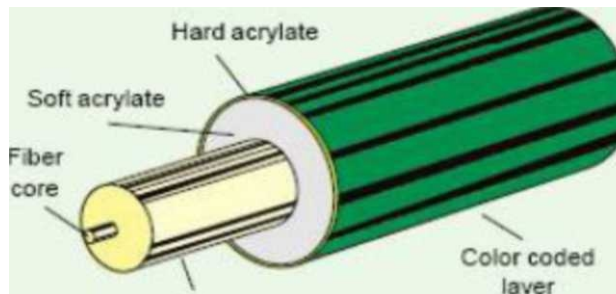
Όλες οι παραπάνω ίνες όπως βλέπουμε έχουν διάμετρο μανδύα 125 μm .

3.1.2 Το πρωτεύον επίστρωμα

Η επικάλυψη της ίνας με ένα ή περισσότερα προστατευτικά στρώματα είναι απαραίτητη για την χρήση της. Η ίνα επικαλύπτεται κατά τον σχεδιασμό της, λίγα μέτρα κάτω από το φούρνο του πύργου σχεδιασμού. Το πρωτεύον επίστρωμα καλύπτει την ίνα σε υγρή μορφή με χρήση διαφόρων μηχανημάτων από τα οποία η ίνα περνά με ταχύτητα 300 -900 m/min.

3.1.3 Το Acrylate ως πρωτεύον επίστρωμα

Κατά τη διάρκεια της ίδιας διαδικασίας, η ίνα καλύπτεται από δύο στρώματα Acrylate, ένα λεπτό εσωτερικό στρώμα και ένα πολύ σκληρό εξωτερικό. Έτσι με τα δύο παραπάνω συνδυασμένα στρώματα η ίνα αποκτά διάμετρο σε 240 - 250 μm Με την βοήθεια των ακτινών UV, το Acrylate γίνεται εξαιρετικά καθαρό διότι η χρήση μη καθαρού Acrylate μπορεί να οδηγήσει στην αύξηση της ευαισθησίας της ίνας σε περιβαλλοντικούς παράγοντες και στην αλλαγή των γεωμετρικών παραμέτρων της ίνας. Παλιότερα χρησιμοποιούνταν σιλικόνη ως πρωτεύον επίστρωμα, αλλά η μέθοδος αυτή εγκαταλείφθηκε όμως, διότι η σιλικόνη απομακρύνεται εύκολα.



Εικόνα 46 : Ίνα με πρωτεύον επίστρωμα

3.1.4 Χαρακτηριστικά ίνας μετά από επικάλυψη με πρωτεύον επίστρωμα

Η μηχανική αντοχή της γυάλινης ίνας αυξάνεται δραματικά με το πρωτεύον επίστρωμα και η για να πληροί τους όρους εγγύησης. Επιπλέον, μεγαλύτερη δύναμη που μπορεί αντέξει είναι 50 N. 10N είναι δύναμη που πρέπει να είναι ανεκτή το πρωτεύον επίστρωμα επίσης προστατεύει την ίνα από τη σκόνη, την υγρασία και τα χημικά.



Parameter	IEC 60793-2
Cladding diameter	125 ± 1 μm
Cladding non-circularity	< 1%
Coating diameter	245 ± 5 μm
Mode field concentricity error	< 0.5 μm
Curl radius, max	4 m

Πίνακας 3 : Τα πιο συνηθισμένα γεωμετρικά χαρακτηριστικά μιας μονότροπης ίνας

3.1.5 Χρωματική κωδικοποίηση οπτικών ινών

Οι ίνες χρωματίζονται κατά την εγκατάστασή τους για να αναγνωρίζονται και να διαφέρουν μεταξύ τους. Ο χρωματισμός γίνεται σύμφωνα με κάποια διεθνή ή παγκόσμια πρότυπα με ξεχωριστή διαδικασία ή κατά την τοποθέτηση του απομονωτή.

Το υλικό χρωματισμού :

- Δεν πρέπει να επηρεάζει τη δυνατότητα μετάδοσης της ίνας
- Πρέπει να είναι αρκετά ανθεκτικό
- Δεν πρέπει να επηρεάζεται από το γύρω χημικό περιβάλλον

3.1.6 Συμμόρφωση με ηλεκτρικά πρότυπα

Έχουν δημιουργηθεί αρκετά πρότυπα και συστάσεις για την κατασκευή οπτικών ινών. Μέχρι στιγμής υπάρχουν δύο διαφορετικά πρότυπα: της ITU και της IEC. Οι παρακάτω συστάσεις έχουν δημοσιευτεί:

ITU Rec. G.650 Μέθοδοι πιστοποίησης οπτικών ινών

ITU Rec. G.651 50/125μm πολύτροπη ίνα βαθμιαίου δείκτη

ITU Rec. G.652 Μονότροπη ίνα

ITU Rec. G.653 Μονότροπη ίνα μετατοπισμένου σημείου διασποράς

ITU Rec. G.654 Μονότροπη ίνα χαμηλής εξασθένισης

ITU Rec. G.655 Μονότροπη ίνα μη μηδενικού μετατοπισμένου σημείου διασποράς

IEC 60793-1-1 Γενικές συστάσεις

IEC 60793-1-2 Μέθοδοι πιστοποίησης συστημάτων

IEC 60793-1-3 Μέθοδοι μέτρησης μηχανικών χαρακτηριστικών

IEC 60793-1-4 Μέθοδοι μέτρησης χαρακτηριστικών μετάδοσης και οπτικών χαρακτηριστικών

IEC 60793-1-5 Μέθοδοι μέτρησης περιβαλλοντικών χαρακτηριστικών

3.2 Δεύτερη παράμετρος, οι απομονωτές

Συνήθως, πάνω από το πρωτεύον επίστρωμα τοποθετείται άλλο ένα προστατευτικό στρώμα που ονομάζεται απομονωτής, αν και μια με το πρωτεύον επίστρωμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ορισμένες τεχνικές εφαρμογές, όπως πίνακες ανακοινώσεων.



Μέχρι στιγμής χρησιμοποιούνται τρεις μέθοδοι :

- **Loose tube buffer (loose fibers or ribbons in tube) (Χαλαρής δομής)**
- **Tight buffer (Σφικτής Δομής)**
- **Fiber ribbon (Κορδέλες ινών)**

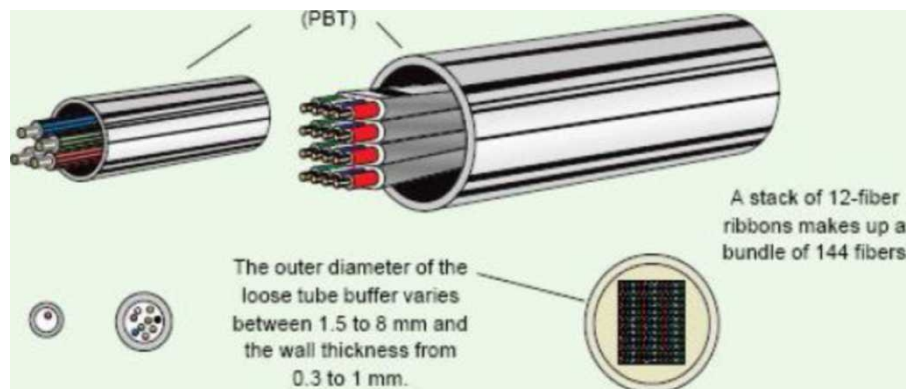
3.2.1 Loose tube buffer

Η τοποθέτηση των οπτικών ινών (ή μια κορδέλα ινών) με πρωτεύον επίστρωμα χαλαρά μέσα σε ένα στενό σωλήνα εγγυάται την αποφυγή αλλαγών στις παραμέτρους λόγω πίεσης, λυγίσματος, τεντώματος και άλλων όμοιων μηχανικών δυνάμεων. Η πιο απλή περίπτωση είναι να έχουμε μια μόνο ίνα μέσα σε ένα πλαστικό σωλήνα ενώ μια πιο περίπλοκη είναι να τοποθετούνται αρκετές ίνες (μέχρι 12) ή κορδέλες ινών μέσα σε ένα χαλαρό πλαστικό σωλήνα. Γενικά τοποθετούνται το πολύ 4 - 6 ίνες/κορδέλες ανά σωλήνα. Ο σωλήνας πρέπει:

- να μην παραμορφώνεται από τις διάφορες μηχανικές δυνάμεις
- να είναι ανθεκτικός
- να αντέχει τη σκληρή μεταχείριση κατά τη διαδικασία τοποθέτησης του καλωδίου, χωρίς να αλλάζουν οι παράμετροι της ίνας

Η κατασκευή των ινών (μέσα σε χαλαρούς σωλήνες) είναι μια συνεχής διαδικασία κατά την οποία κατασκευάζεται μέχρι και 25Km μήκος σωλήνα. Ο σωλήνας τοποθετείται γύρω από την ίνα (ή μέχρι και 12 ίνες) ενώ ταυτόχρονα γεμίζει με thixotropic gel. Η εξωτερική διάμετρος του σωλήνα έχει μήκος που κυμαίνεται από 1,5 μέχρι 8mm και εξαρτάται από τον αριθμό των ινών που περιέχει. Το πάχος του σωλήνα είναι περίπου 0,3 μέχρι 1mm. Το thixotropic gel προστατεύει την ίνα από την υγρασία.

Ο σωλήνας κατασκευάζεται από polyamide (PA-12 ή nylon) ή από polybutyleneterephthalate (PBTP). Και τα δύο προηγούμενα είδη πλαστικών έχουν αρκετά καλές φυσικές παραμέτρους που ικανοποιούν τις προϋποθέσεις που αναφέρθηκαν παραπάνω.



Εικόνα 47 : Ίνες με πρωτεύον επίστρωμα ή κορδέλες ινών μπορεί να τοποθετηθούν χαλαρά μέσα σε σωλήνα, ο οποίος παίζει ρόλο απομονωτή

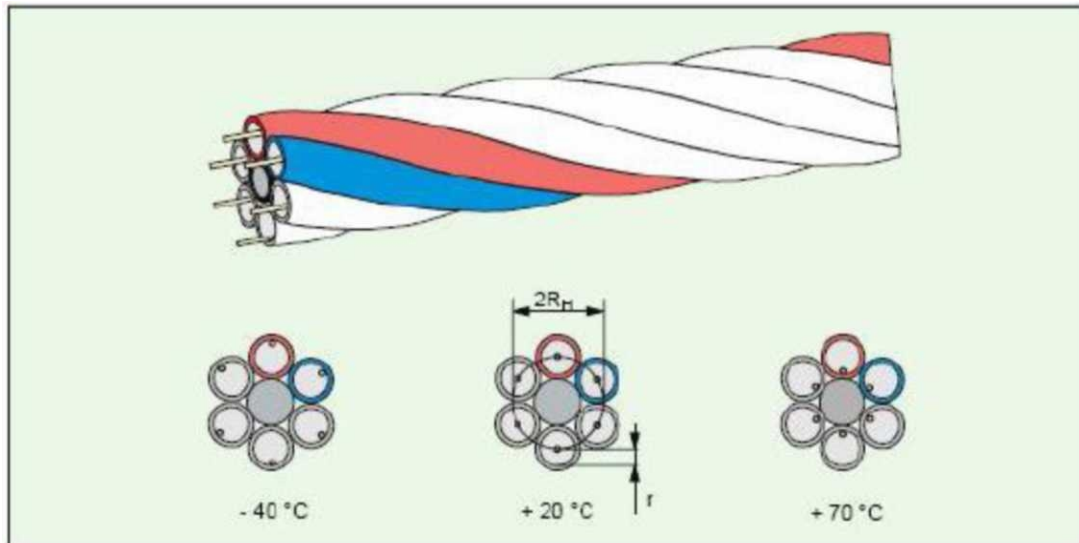
3.2.2 Αλλαγές θερμοκρασίας

Το γυαλί της ίνας και το πλαστικό από το οποίο κατασκευάζεται ο σωλήνας παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές όσον αφορά τους συντελεστές διαστολής τους. Το πλαστικό έχει μεγάλο συντελεστή διαστολής ενώ το γυαλί πολύ μικρό. Αυτό σημαίνει ότι το καλώδιο θα είναι μακρύτερο το καλοκαίρι ενώ το γυαλί δε θα αλλάξει σχεδόν καθόλου μήκος. Έτσι λόγω του ότι η ίνα κινείται



ελεύθερα μέσα στο καλώδιο, κάτω από φυσιολογικές συνθήκες, αποφεύγεται το τέντωμα της. Το αντίθετο φαινόμενο λαμβάνει χώρα όταν επικρατούν χαμηλές θερμοκρασίες (συστολή καλωδίου).

Πριν γίνουν καλώδια οι σωλήνες χρωματίζονται σύμφωνα με κάποιο πρότυπο ή σύμφωνα με τις απαιτήσεις του πελάτη.



Εικόνα 48 : Οι ίνες μπορούν να κινούνται ελεύθερα μέσα στο χαλαρό σωλήνα

3.2.3 Εφαρμογή ινών Loose tube buffer

Οι ίνες loose tube buffer έχουν χρησιμοποιηθεί επιτυχώς στα περισσότερα πεδία μετάδοσης δεδομένων, ιδιαίτερα σε δίκτυα μεγάλων αποστάσεων, όπου μέσα σε κάθε καλώδιο περιέχονται από 12 μέχρι 500 ίνες, αναλόγως την εφαρμογή. Στις εσωτερικές εφαρμογές τα καλώδια αυτά περιέχουν λιγότερες ίνες.

3.2.4 Ίνες tight buffer (Σφικτής Δομής)

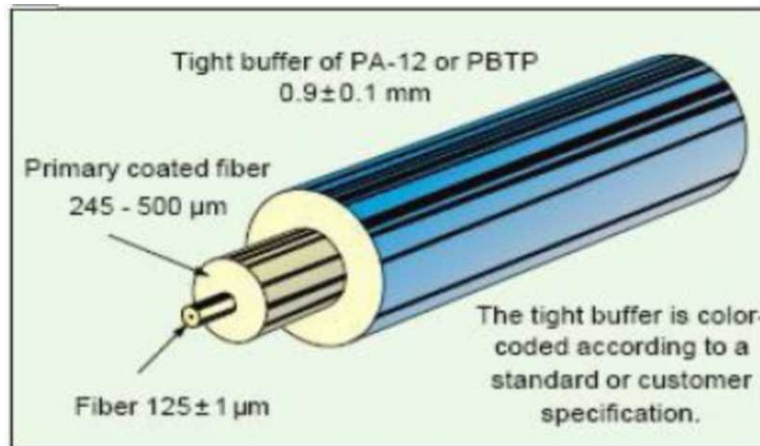
Δεύτερος τρόπος προστασίας μιας ίνας με πρωτεύον επίστρωμα, είναι η τοποθέτηση ενός λεπτού και στενού στρώματος πλαστικού αμέσως μετά το πρωτεύον επίστρωμα (245 -500μm). Σε θερμοκρασία 250 °C τοποθετείται στην ίνα ένα στρώμα PA-12 ή PBTP, μετατρέποντας τη διάμετρο της σε 0.8 - 1mm. Η ίνα τελικά χρωματίζεται ώστε να αναγνωρίζεται εύκολα κατά την τοποθέτησή της. [10]

3.2.5 Πεδία εφαρμογής ινών tight buffer

Τα καλώδια ινών tight buffer χρησιμοποιούνται κυρίως σε εσωτερικές εφαρμογές, σαν καλώδια διασύνδεσης ή rack, τοποθετούνται πολύ εύκολα (είναι πιο λεπτά και πιο συμπαγή από πλευράς κατασκευής), επίσης τερματίζονται ευκολότερα. Στις μέρες μας στα δίκτυα LAN χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά καλώδια πολύτροπων ινών αυτής της κατηγορίας (τελευταία έχουν αρχίσει και χρησιμοποιούνται καλώδια μονότροπων ινών λόγω του ότι παρουσιάζουν μεγαλύτερο εύρος μετάδοσης και οι πομποί laser έχουν χαμηλότερο κόστος). Σε δίκτυα μεγάλων αποστάσεων στα οποία χρησιμοποιούνται καλώδια ινών loose tube buffer συνήθως τερματίζονται (για μήκος περίπου 1 m) με καλώδια tight buffer (pig-tails). Η διαδικασία αυτή διευκολύνει αρκετά τη



σύνδεση καλωδίων μεγάλου μήκους σε rack. Προφανώς η ίνα των καλωδίων τερματισμού πρέπει να είναι ίδιου τύπου με την ίνα των καλωδίων του δικτύου (μονότροπη/πολύτροπη).



Εικόνα 49 : Ίνα tight buffer

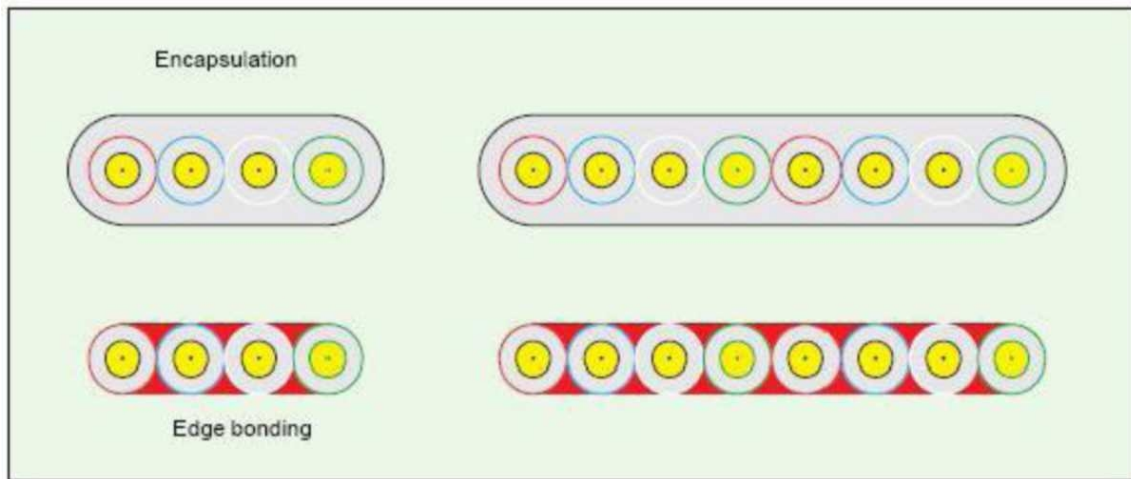
3.2.6 Τεχνική fibber ribbon (κορδέλα ινών)

Μια τρίτη τεχνική τοποθέτησης απομονωτή σε ίνα είναι η εξής : αρχικά ίνες με πρωτεύον επίστρωμα τοποθετούνται η μια δίπλα στην άλλη και στη συνέχεια καλύπτονται με επιπλέον στρώματα προστασίας (απομονωτή). Η τεχνική αυτή δεν είναι ευρέως διαδεδομένη και η κατασκευή επιτυγχάνεται με:

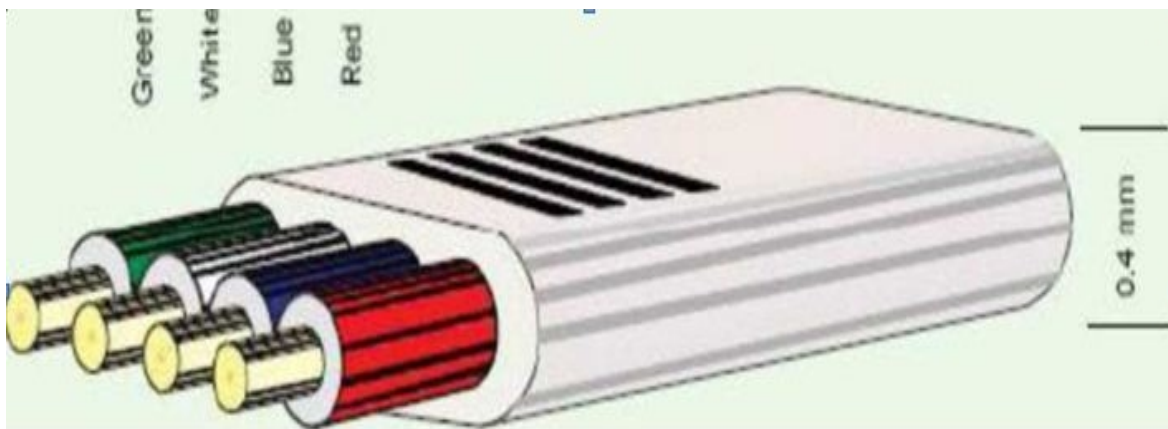
1. **Encapsulating**
2. **Edge bonding**

3.2.7 Encapsulating και Edge bonding

Μια από τις τελευταίες εξελίξεις στον τομέα κατασκευής καλωδίων οπτικών ινών είναι η διαδικασία Encapsulating. Οι ίνες τοποθετούνται η μια δίπλα στην άλλη και στη συνέχεια επικαλύπτονται από ένα λεπτό στρώμα acrylate (2-16 ίνες), το οποίο προστατεύει τις ίνες από τις διάφορες μηχανικές δυνάμεις και τις καθιστά πιο εύχρηστες όσον αφορά τον μηχανικό τερματισμό και εγκατάστασή τους. Η διαφορά αυτής της μεθόδου κατασκευής κορδελών με τη μέθοδο edge bonding έγκειται στο ότι κατά τη δεύτερη το στρώμα acrylate δεν επικαλύπτει τις ίνες, απλά γεμίζει τα κενά ανάμεσά τους, με αποτέλεσμα να τις καθιστά πιο ευαίσθητες σε μηχανικές δυνάμεις σε σχέση με την πρώτη μέθοδο. Ο μεγαλύτερος κατασκευαστής τέτοιου τύπου ινών είναι η εταιρία Ericsson.



Εικόνα 50 : Οι δύο πιο διαδεδομένες διαδικασίες κατασκευής κορδελών ινών



Εικόνα 51 : Χρωματική κωδικοποίηση κορδέλας ινών

3.2.8 Χρωματική κωδικοποίηση κορδέλας ινών

Για τις κορδέλες ινών μπορεί ισχύει το ήδη υπάρχον πρότυπο κωδικοποίησης για ίνες με πρωτεύον επίστρωμα ή το νέο πρότυπο κατά το οποίο χρησιμοποιούνται τυπωμένες ευθείες πάνω στην κορδέλα. Μια τυπωμένη ευθεία σηματοδοτεί την κορδέλα No1, δύο ευθείες την κορδέλα No2 και ου το καθεξής.

3.2.9 Τερματισμός κορδέλας (Fusion splicing)

Η διαδικασία εγκατάστασης της κορδέλας ινών και τερματισμού είναι ευκολότερη και γρηγορότερη από εκείνη των συνηθισμένων καλωδίων ίνας, όμως απαιτεί τη χρήση ακριβότερου και λίγο πιο περίπλοκου εξοπλισμού. Γενικά οι κορδέλες τερματίζονται με χρήση ειδικού εξοπλισμού και στη συνέχεια μετρώνται οι απώλειες κολλήσεων και η εξασθένηση στα 1550nm.

3.2.10 Εξασθένηση

Αναπόσπαστο κομμάτι της παραγωγής της κορδέλας ινών είναι η μέτρηση της εξασθένησης της κορδέλας. Αν η διαδικασία κατασκευής είναι ποιοτική τότε δεν είναι απαραίτητο να μετρηθούν



ξανά οι παράμετροι μετάδοσης της κορδέλας. Είναι απαραίτητο λοιπόν κατά την παρασκευή της κορδέλας να μετρηθεί η εξασθένηση στα 1550nm [17,19,23].

3.2.11 Γεωμετρία κορδέλας

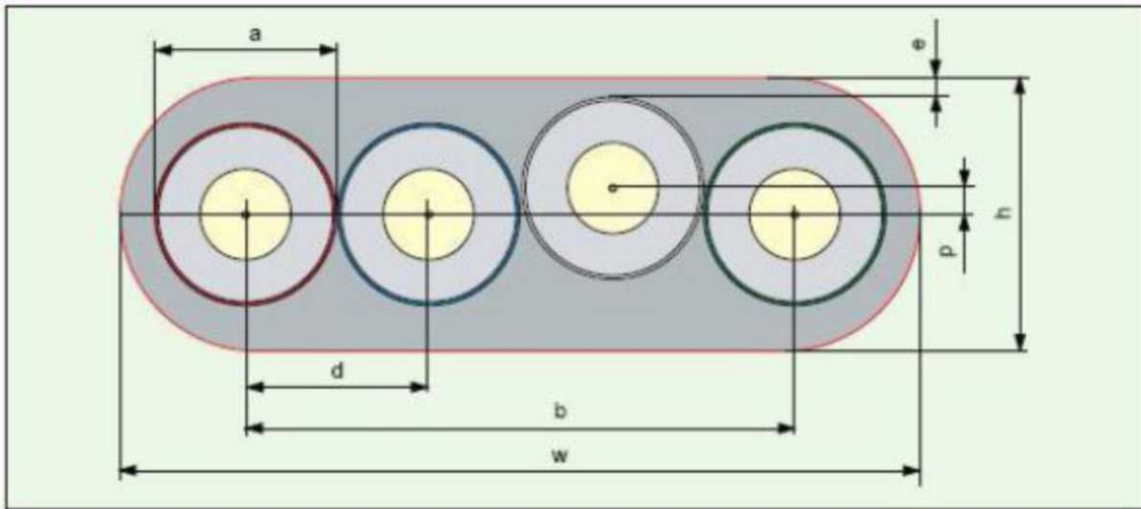
Οι γεωμετρικές παράμετροι μιας κορδέλας ινών μετρούνται αρκετές φορές κατά τη διαδικασία παραγωγής της. Οι διαστάσεις της κορδέλας δεν παίζουν σημαντικό ρόλο μόνο στη κόλλησή της, αποτελούν και μέθοδο επιβεβαίωσης της ποιότητας κατασκευής. Οι παρακάτω παράμετροι μετρούνται και αποτελούν μέρος του προτύπου που έχει δημιουργηθεί στη Σουηδία από το 1993.

a = ίνα μαζί με στρώμα χρώματος

b = απόσταση μεταξύ των πυρήνων των δυο ακριανών ινών d = απόσταση μεταξύ των πυρήνων

δυο διαδοχικών ινών e = ελάχιστο πάχος acrylate γύρω από τις ίνες h = ύψος κορδέλας

p = κάθετη απόσταση μεταξύ πυρήνων (χειρίστη περίπτωση) w = πλάτος κορδέλας



Εικόνα 52 : Γεωμετρία μιας κορδέλας τεσσάρων ινών

3.3 Τρίτη παράμετρος, ο παράγοντας αντοχής

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως το ρίσκο να σπάσει μια ίνα είναι αρκετά μεγάλο όταν της ασκούνται διαμήκειες δυνάμεις (π.χ. τέντωμα κατά την εγκατάσταση του καλωδίου). Έτσι όλα τα καλώδια οπτικών ινών, εφοδιάζονται με κάποιο παράγοντα που αυξάνει την αντοχή τους σε τέτοιου είδους δυνάμεις που προκαλούν παραμόρφωση. Ο παράγοντας αντοχής αποτελείται από υλικά που είναι ανθεκτικά σε ένα μεγάλο εύρος θερμοκρασιών και παρουσιάζουν αρκετά μεγάλη ελαστικότητα.

3.3.1 Ο μεταλλικός παράγοντας αντοχής

Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο, ως πυρήνας του καλωδίου χρησιμοποιείται μια μεταλλική χορδή ή ένα μεταλλικό καλώδιο διαμέτρου 2 – 3,5mm. Γύρω από αυτή τη χορδή (ή καλώδιο) τυλίγονται ελικοειδώς 4 μέχρι και 12 ίνες loose tube buffer ή tight buffer. Ο μεταλλικός παράγοντας αντοχής μπορεί και να επικολληθεί πάνω στο οπτικό καλώδιο. Τέλος χρησιμοποιείται ένα επιπλέον τελικό κάλυμμα ώστε να σταθεροποιείται ο παράγοντας αντοχής πάνω στο καλώδιο.



3.3.2 Ο κεντρικός μη-μεταλλικός παράγοντας αντοχής

Αν είναι απαραίτητη η χρήση μη-μεταλλικού καλωδίου, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μια λεπτή ράβδο ενισχυμένης πλαστικής οπτικής ίνας ως πυρήνα του καλωδίου αντί για μια μεταλλική χορδή. Ο μεταλλικός παράγοντας παρέχει μεγαλύτερη ανθεκτικότητα σε διαμήκεις δυνάμεις απ' ότι ο μη-μεταλλικός παράγοντας αντοχής. Μελλοντικά αναμένεται να χρησιμοποιείται νήμα Aramide, ως παράγοντας αντοχής.



3.3.3 Το νήμα Aramide

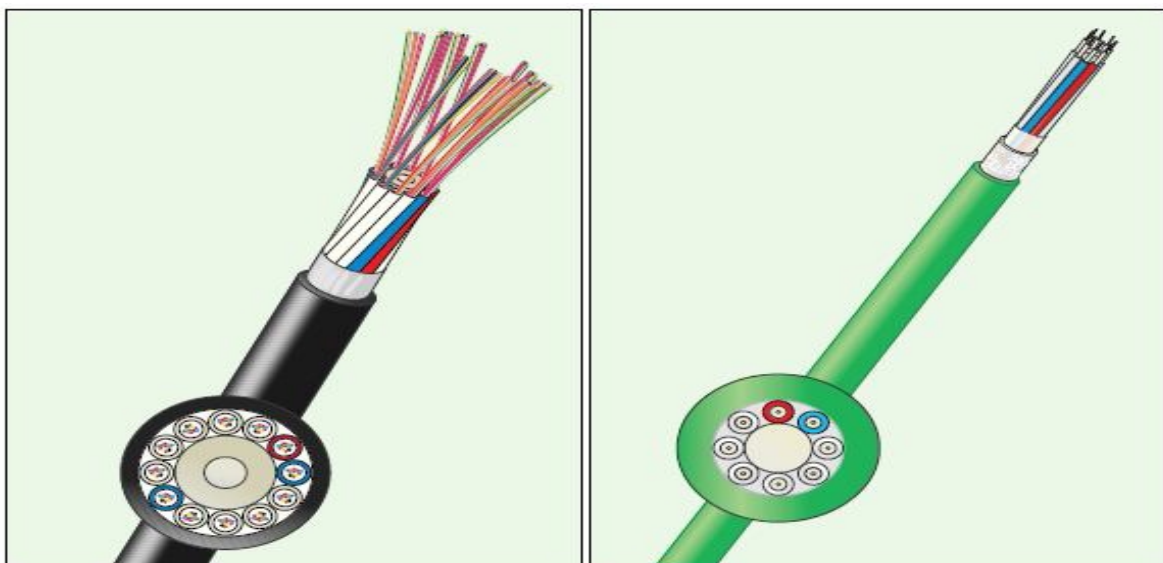
Τα νήματα aramide προσδίδουν υψηλό βαθμό ελαστικότητας και ανθεκτικότητας, ως παράγοντες αντοχής για καλώδια οπτικών ινών τα οποία τα απαιτούν. Το υλικό αυτό είναι εξαιρετικά ανθεκτικό σε ισχυρές διαμήκειες δυνάμεις και πολύ ελαστικό. Η τοποθέτηση του νήματος aramide γίνεται κατά μήκος μίας ή πολλών tight buffer ινών, έτσι ώστε να αποτελεί ένα απλό αλλά πολύ ισχυρό παράγοντα αντοχής. Τα νήματα aramide χρησιμοποιούνται επίσης σαν επιπλέον ενίσχυση για εναέρια ή άμεσα βυθιζόμενα καλώδια. Περικλείουν το σώμα του καλωδίου ή βρίσκονται ανάμεσα στο εσωτερικό και εξωτερικό περίβλημα του. Ο συγκεκριμένος παράγοντας αντοχής χρησιμοποιείται κυρίως σε patch cords και pig-tails [11].

3.4 Τέταρτη παράμετρος, ο πυρήνας του καλωδίου

3.4.1 Καλώδια με κυκλικό πυρήνα

Ο πιο απλός τύπος οπτικού καλωδίου με πυρήνα έχει σαν πυρήνα τον παράγοντα αντοχής και γενικά καλώδια τέτοιου τύπου ονομάζονται ομόκεντρα καλώδια. Οι loose tube buffer και tight buffer ίνες τυλίγονται γύρω από τον παράγοντα αντοχής ελικοειδώς (πολύ προσεκτικά υπολογισμένο τύλιγμα) με τέτοιο τρόπο ώστε να αντισταθμίζει την εξασθένηση του καλωδίου, που οφείλεται κυρίως στις απότομες αλλαγές θερμοκρασίας στο λύγισμά του, κατά την κατασκευή, την τοποθέτηση και τον τερματισμό.

Γύρω από τον παράγοντα αντοχής τυλίγονται 4 μέχρι και 12 ίνες (tight buffer ή loose tube buffer), πάνω από τις οποίες τοποθετείται ένα λεπτό στρώμα πλαστικού. Το στρώμα αυτό συγκρατεί τις ίνες πάνω στον πυρήνα. Αν το καλώδιο προορίζεται για εξωτερική εγκατάσταση τότε ανάμεσα στις ίνες και το λεπτό στρώμα πλαστικού, τοποθετείται παχύρρευστο υλικό που μονώνει το καλώδιο όσον αφορά την υγρασία και το νερό κατά τον διαμήκη άξονα. Στην περίπτωση που προορίζεται για εσωτερική εγκατάσταση, αντί για το παραπάνω παχύρρευστο υλικό (gel) τοποθετείται ειδική μονωτική ταινία. Τέλος πάνω από το λεπτό στρώμα πλαστικού τοποθετείται η πλαστική θήκη του καλωδίου.

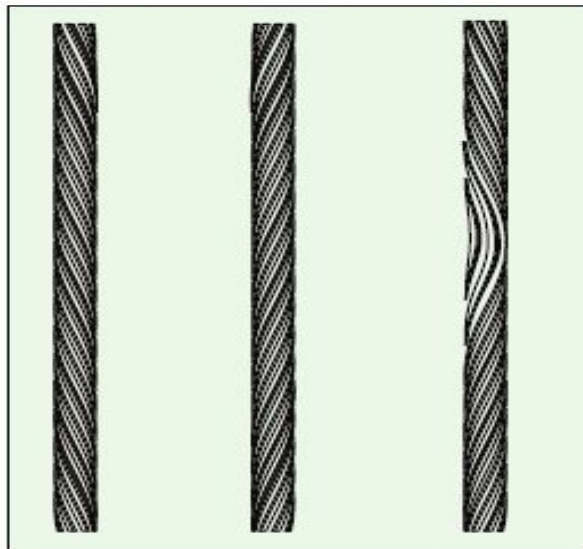


Εικόνα 53 : Παρατηρούμε δύο οπτικά καλώδια ομόκεντρης κατασκευής



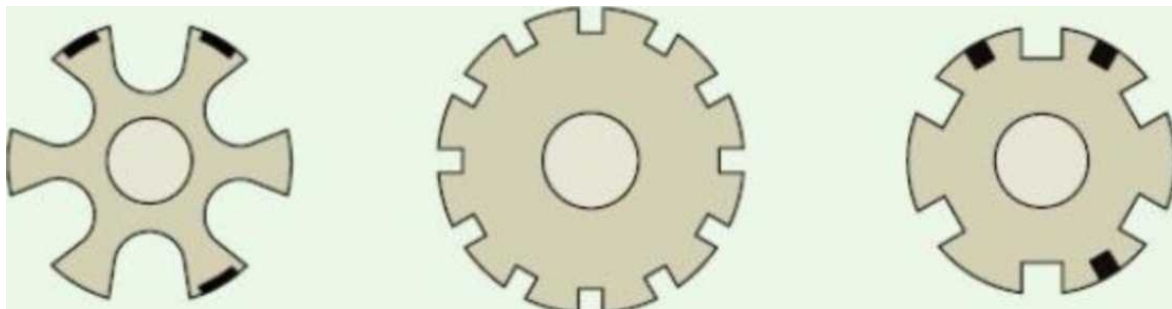
3.4.2 Καλώδιο με πυρήνα αυλακώσεων

Αν το καλώδιο αναμένεται να εκτίθενται συνεχώς σε ακτινικές δυνάμεις, κατά τη διάρκεια της διαδικασίας εγκατάστασής τους και όχι μόνο, πρέπει να ληφθούν ειδικά μέτρα για την προστασία των ινών που περιέχουν. Έχουν αναπτυχθεί διάφοροι τύποι πυρήνων καλωδίου, για την προστασία από διαμήκεις δυνάμεις, οι περισσότεροι από τους οποίους κατασκευάζονται σύμφωνα με τη μέθοδο των αυλακώσεων. Σύμφωνα με την παραπάνω μέθοδο οι ίνες τοποθετούνται σε ειδικά διαμορφωμένες αυλακώσεις του πυρήνα. Συνήθως ένα υλικό με 3 ως 12 αυλακώσεις τοποθετείται γύρω από τον μεταλλικό ή μη μεταλλικό παράγοντα αντοχής. Οι αυλακώσεις παρουσιάζουν ελικοειδές τύλιγμα S, Z ή τύλιγμα SZ γύρω από τον παράγοντα αντοχής. Οι ελικοειδείς πυρήνες (S, Z) με αυλακώσεις παρουσιάζουν την ίδια κατεύθυνση στρέψης σε όλο το μήκος του καλωδίου, ενώ εκείνοι που ακολουθούν SZ τύλιγμα αλλάζουν κατεύθυνση στρέψης κατά μήκος του κεντρικού άξονα. Το τύλιγμα τύπου SZ έχει απλοποιήσει αρκετά την κατασκευή και την εγκατάσταση τέτοιου τύπου καλωδίων.



Εικόνα 54 : Τρόποι τυλίγματος πυρήνα αυλακώσεων

Όλοι οι τύποι πυρήνα αυλακώσεων κατασκευάζονται από πλαστικό polyethylene (PE) ή polypropylene (PP) και τοποθετούνται γύρω από μεταλλικό παράγοντα αντοχής ή ενισχυμένη πλαστική οπτική ίνα. Οι πυρήνες έχουν 3 μέχρι και 24 αυλακώσεις, κάθε μια από τις οποίες μπορεί να συγκρατήσει 1 μέχρι και 40 οπτικές ίνες.



Εικόνα 55 : Τρεις τύποι πυρήνων με αυλακώσεις

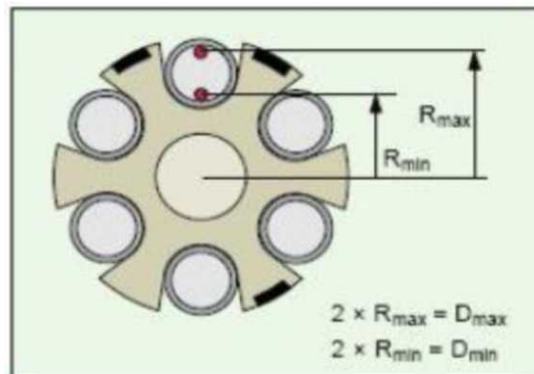


3.4.3 Η διαδικασία κατασκευής

Η ολοκλήρωση της κατασκευής του πυρήνα του καλωδίου, γίνεται με την τοποθέτηση του υλικού με τις αυλακώσεις πάνω στον παράγοντα αντοχής. Στις αυλακώσεις μπορούν να τοποθετηθούν ίνες tight buffer (συνήθως 1 μέχρι 4 σε κάθε αυλάκι). Καλώδια που περιέχουν ίνες τέτοιου τύπου χρησιμοποιούνται κυρίως σε εφαρμογές εσωτερικού χώρου. Για εφαρμογές εξωτερικού χώρου, κάθε αυλάκι περιέχει ένα καλώδιο τύπου loose tube buffer με 2 ως 12 ίνες (με πρωτεύον επίστρωμα). Εκτός από τις ίνες το καλώδιο loose tube buffer περιέχει και thixotropic gel ως μονωτή υγρασίας. Καλώδια με κορδέλες ινών μπορεί να περιέχουν πάνω από 50 ίνες ανά αυλάκι. Το κενό ανάμεσα στο σωλήνα loose tube buffer και το εξωτερικό κάλυμμα του καλωδίου γεμίζεται με παχύρρευστο μονωτικό υγρό για περαιτέρω προστασία από την υγρασία.

3.4.4 Διαστολή και συστολή καλωδίων

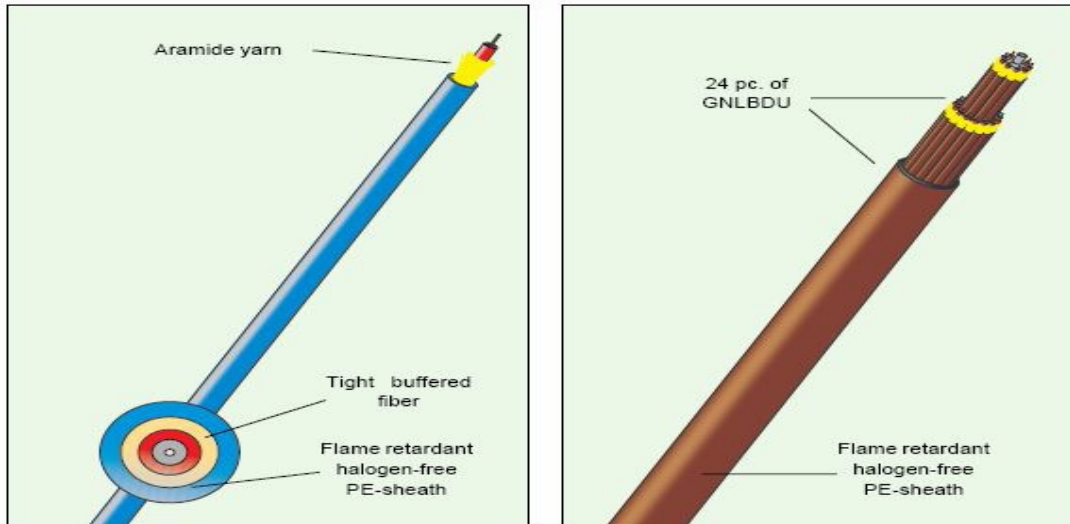
Οι ίνες πρέπει να προστατεύονται από τη διαστολή και συστολή που λαμβάνουν χώρα κυρίως λόγω έντονων μεταβολών της θερμοκρασίας. Στις ίνες τύπου loose tube buffer, οι ίνες μπορούν να κινούνται ελεύθερα μέσα στα όρια του σωλήνα που περιέχονται. Σε ηρεμία και κάτω από φυσιολογικές συνθήκες, χωρίς να ασκούνται εξωτερικές δυνάμεις, οι ίνες βρίσκονται στο κέντρο του σωλήνα και μπορούν να κινηθούν σε διάστημα που καθορίζεται από τις σταθερές R_{min} και R_{max} (φαίνονται στο παρακάτω σχήμα). Το διάστημα αυτό ονομάζεται παράθυρο διαστολής.



Εικόνα 56 : Η ίνα μπορεί να κινηθεί ελεύθερα μεταξύ R_{min} και R_{max}

3.4.5 Οπτικό καλώδιο χωρίς πυρήνα

Η πιο απλή δομή οπτικού καλωδίου αποτελείται από μία ή δυο μονότροπες ή πολύτροπες ίνες (συνήθως τύπου tight buffer), καλυμμένες από νήματα aramide και ένα τελικό πλαστικό κάλυμμα από PE ή PVC. Υπάρχουν αρκετοί τύποι αυτών των καλωδίων με ένα ή δύο καλύμματα aramide και πλαστικό. Χρησιμοποιώντας thermoplastic polyurethane elastomer (TPU) για εξωτερικό κάλυμμα τα καλώδια αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για στρατιωτικές εφαρμογές.



Εικόνα 57 : Το οπτικό καλώδιο GNLBDU και GNHLLBDU

3.5 Πέμπτη παράμετρος, προστασία από νερό και υγρασία

Υπάρχουν περιπτώσεις που το περιβάλλον στο οποίο τοποθετούνται ορισμένα καλώδια παρουσιάζει κινδύνους να καταστρέψει την εξωτερική τους θήκη, για παράδειγμα τα καλώδια εξωτερικής χρήσης, εκτίθενται σε νερό και υγρασία, παράγοντες που μπορούν να διαπεράσουν τα καλύμματα ενός καλωδίου και να καταστρέψουν μια κόλληση χαμηλής ποιότητας. Αν το νερό διαπεράσει ένα καλώδιο που έχει κενό χώρο ανάμεσα στις ίνες ή στους σωλήνες (απομονωτές) που περιέχει, θα ακολουθήσει την πορεία του πυρήνα μέχρι να φτάσει το χαμηλότερο σημείο του καλωδίου, όπου και θα συσσωρευτεί. Το νερό μειώνει τη διάρκεια ζωής της ίνας, αφού διαβρώνει το γυαλί της και αυξάνει την εξασθένηση λόγω συσσώρευσης υδροξειδίου.

3.5.1 Υλικό γέμισης καλωδίου

Όταν τοποθετείται ο πλαστικός σωλήνας πάνω στις ίνες ώστε να δημιουργηθεί ένα καλώδιο loose tube buffer, το κενό που δημιουργείται γεμίζεται με thixotropic gel. Το gel αυτό λειτουργεί σαν διαμήκης μονωτής νερού. Ο πιο απλός τρόπος για να αποφύγουμε τη διάβρωση λόγω νερού και υγρασίας, είναι να γεμίσουμε το κενό μεταξύ των ινών, των σωλήνων, των κορδελών ινών και του τελικού καλύμματος με μονωτικό υλικό. Το υλικό αυτό δε θα πρέπει να επηρεάζει τα πλαστικά και τις ίνες με κανένα τρόπο. Για indoor καλώδια δεν είναι υποχρεωτική η ύπαρξη του παραπάνω μονωτικού παράγοντα.

3.5.2 Ταινία διόγκωσης, ως μονωτής υγρασίας

Στην περίπτωση των καλωδίων εσωτερικών και εξωτερικών εφαρμογών τελευταία χρησιμοποιείται ένας πιο απλός και ξηρός τρόπος μόνωσης, κατά τον οποίο μεταξύ των ινών και του τελικού καλύμματος τοποθετείται μια ταινία που διογκώνεται όταν έρθει σε επαφή με νερό, αποτρέποντας έτσι την συσσώρευση νερού κατά μήκος του καλωδίου. Αυτός ο τρόπος μόνωσης έχει γίνει πολύ δημοφιλής τελευταία σε τηλεπικοινωνιακά δίκτυα μεγάλων πόλεων, λόγω του πλεονεκτήματος της γρηγορότερης και ευκολότερης εγκατάστασης καλωδίων τέτοιου τύπου εν συγκρίσει με τα καλώδια που περιέχουν gel (γλιτώνουμε το χρόνο που απαιτείται για τον καθαρισμό και τη γύμνωση των καλωδίων).



3.5.3 Μεταλλικό κάλυμμα (φύλλο αλουμινίου)

Καλώδια τα οποία εκτίθενται σε πολύ υγρασία, όσο προσεκτικά κι αν έχουν τοποθετηθεί είναι σχεδόν σίγουρο ότι θα διαβρωθούν. Για να αποτρέψουμε το νερό να περάσει στο εσωτερικό του καλωδίου μπορούμε να τοποθετήσουμε ένα λεπτό φύλλο αλουμινίου ως μονωτή μεταξύ των ινών και του τελικού καλύμματος.

3.5.4 Μεταλλικός σωλήνας χαλκού

Καλώδια τα οποία τοποθετούνται μέσα σε νερό ή σε πολύ υγρό έδαφος πρέπει να καλύπτονται εξολοκλήρου από μεταλλικό κάλυμμα. Σε βάθος χρόνου το νερό διαπερνά κάθε τύπου πλαστικό κάλυμμα. Το υλικό μόνωσης που χρησιμοποιείται σε τέτοιες περιπτώσεις είναι ο χαλκός. Ο χαλκός μορφοποιείται σε σωλήνα που καλύπτει την εξωτερική θήκη του καλωδίου. Στη συνέχεια τοποθετούνται αρκετά καλύμματα μεταλλικών νημάτων που κάνουν το καλώδιο πολύ ανθεκτικό σε παραμορφώσεις που προκαλούνται από εξωτερικές δυνάμεις. Τέλος τοποθετούνται αρκετά στρώματα PP-νημάτων και αντισκωρικών παραγόντων. Παλιότερα αντί για το σωλήνα χαλκού οι κατασκευαστές χρησιμοποιούσαν σωλήνα μόλυβδου. Κυρίως για περιβαλλοντικούς λόγους όμως μεθοδεύτηκε η παραπάνω αντικατάσταση.

3.6 Έκτη παράμετρος, τελικό κάλυμμα (θήκη καλωδίου)

3.6.1 Το τελικό κάλυμμα

Το τελικό στάδιο που υφίσταται ένα οπτικό καλώδιο πριν τη χρήση του είναι η τοποθέτηση του τελικού καλύμματος. Η θήκη του καλωδίου επιτελεί τις παρακάτω λειτουργίες :

- Παρέχει μηχανική προστασία
- Παρέχει θερμική μόνωση
- Προστατεύει το καλώδιο από τα διάφορα χημικά
- Παρέχει προστασία από υγρασία και νερό
- Παρέχει προστασία από τρωκτικά

Η τεχνική τοποθέτησης του τελικού καλύμματος σε ένα οπτικό καλώδιο είναι πανομοιότυπη με εκείνη που χρησιμοποιείται για ένα συνηθισμένο καλώδιο χαλκού. Το τελικό κάλυμμα αποτελείται από ένα ή δύο πλαστικά υλικά, με ή χωρίς περαιτέρω κάλυμμα αλουμινίου και μονωτικό υγρασίας. Τα πλαστικά υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή του τελικού καλύμματος είναι τα παρακάτω:

- **Polyethylene (PE)**
- **Halogen free, Flame retardant materials (HFRR)**
- **Polyvinyl chloride (PVC)**
- **Polyamide (PA)**
- **Fluoroplastic**
- **Polyurethane (PU)**
- **Χάλκινος σωλήνας (Cu)**

Τα παραπάνω πλαστικά υλικά διαφέρουν σε πολλούς παραμέτρους. Έχουν διαφορετικές θερμικές, μηχανικές, και ηλεκτρικές σταθερές και η ανθεκτικότητά τους σε παράγοντες όπως τα χημικά, το κατά πόσο είναι εύφλεκτα σαν υλικά και η αλληλεπίδρασή τους με άλλα υλικά είναι διαφορετικές.



1. Polyethylene (PE)

Θερμικές ιδιότητες

Η υψηλότερη συνιστώμενη θερμοκρασία του υλικού αυτού συνεχούς λειτουργίας είναι 60 - 70°C. Επίσης είναι αποδεκτή μια μικρή περίοδος λειτουργίας στους 90°C αν και μόνο αν, δεν ασκούνται στο καλώδιο εξωτερικές δυνάμεις. Το σημείο καταστροφής του PE είναι περίπου 110 - 130°C.

Μηχανικές ιδιότητες

Οι μηχανικές ιδιότητες του PE είναι αρκετά καλές για πολλές εφαρμογές. Το σημείο καταστροφής λόγω πίεσης για θερμοκρασία 20°C είναι τουλάχιστον 10Μρα. Όταν το PE χρησιμοποιείται σαν τελικό κάλυμμα καλωδίου μπορεί να επιμηκυνθεί κατά 500% και μπορεί να δεχτεί πιέσεις τουλάχιστον 12Μρα.

Αντοχή στο χρόνο

Η αντοχή στο χρόνο είναι μεγάλη και πρακτικά έχει εγγύηση εφόρου ζωής, όταν χρησιμοποιείται σε εφαρμογές εσωτερικού χώρου και δεν εκτίθεται άμεσα σε ηλιακό φως. Παρόλα αυτά η UV ακτινοβολία μπορεί να καταστρέψει το PE κάλυμμα αν δεν έχει εμποτιστεί με παράγοντα UV – σταθεροποιητή (stabilizer). Ο πιο συνηθισμένος UV - σταθεροποιητής είναι το carbon - black. Έτσι όλα τα καλώδια PE που χρησιμοποιούνται σε εξωτερικές εφαρμογές είναι χρωματισμένα μαύρα.

Αντοχή σε χημικά

Σε θερμοκρασία δωματίου το PE είναι εξαιρετικά ανθεκτικό στα περισσότερα χημικά (έλαια και διαλύτες).

Αντοχή σε υγρασία

Το PE αποτελεί ένα πολύ καλό μονωτή όσον αφορά την υγρασία γι' αυτό και χρησιμοποιείται στις περισσότερες εγκαταστάσεις σε υγρό περιβάλλον.

Επιδράσεις σε άλλα υλικά

Το PE δεν επηρεάζει άλλα υλικά αφού δεν περιέχει κάποιο παράγοντα πλαστικοποίησης. Όταν βέβαια έρχεται σε επαφή με PVC, το PE μπορεί να απορροφήσει ένα μικρό ποσό πλαστικοποιητή. Σε τέτοιες περιπτώσεις το PE πρέπει να προστατεύεται με διάφορους χημικούς παράγοντες.

Ικανότητα ανάφλεξης

Το PE είναι αρκετά εύφλεκτο, έτσι πρέπει να χρησιμοποιούνται διάφορες προσθετικές ουσίες ώστε να αυξάνουν την αντοχή του στη θερμότητα.

2. Halogen free, Flame retardant materials (HFFR)

Τα καλώδια που απαιτείται να μην περιέχουν αλογόνα και να έχουν μεγάλη θερμική αντοχή κατασκευάζονται με ειδικές διαδικασίες. Η εξωτερική θήκη των καλωδίων αυτών δεν πρέπει να αποτελείται από PE, PVC και Fluoroplastic. Το υλικό των καλυμμάτων καλωδίων με μεγάλη θερμική αντοχή είναι το Polyolefin σε συνδυασμό με αρκετές πρόσθετες χημικές ουσίες. Μια τέτοια ουσία που χρησιμοποιείται κατά κόρον είναι το aluminium trihydroxide $Al(OH)_3$. Τα καλώδια που δεν περιέχουν αλογόνα είναι φιλικά προς το περιβάλλον. Επίσης είναι απαραίτητο για περιβαλλοντικούς λόγους τα καλώδια να μην περιέχουν κάδμιο και μόλυβδο.

3. Polyvinyl Chloride (PVC)



Θερμικές ιδιότητες

Το PVC είναι θερμοπλαστικό. Αυτό σημαίνει ότι μαλακώνει όταν ζεσταίνεται και σκληραίνει όταν ψύχεται. Η ικανότητά του να μαλακώνει στις διάφορες θερμοκρασίες εξαρτάται από το ποσό του πλαστικοποιητή που περιέχει. Λόγω της ικανότητας του PVC να σκληραίνει όταν τοποθετείται σε ψυχρό περιβάλλον, συνιστάται να μην εγκαθίσταται σε θερμοκρασίες χαμηλότερες από -10°C . Γενικά καλώδια που περιέχουν PVC χρησιμοποιούνται σε θερμοκρασίες μέχρι 70°C .

Μηχανικές ιδιότητες

Οι μηχανικές ιδιότητες του PVC είναι πολύ καλές. Παρουσιάζει μεγάλη αντοχή σε εξωτερικές δυνάμεις. Οι ιδιότητες αυτές μπορούν να βελτιωθούν αυξάνοντας το ποσό πλαστικοποιητή που περιέχει.

Αντοχή στο χρόνο

Το PVC είναι αρκετά ανθεκτικό στο πέρασμα του χρόνου, ειδικά όταν χρησιμοποιείται σε εφαρμογές εσωτερικού χώρου. Για εφαρμογές εξωτερικού χώρου χρησιμοποιούνται μαύρο PVC ή ελαφρά χρωματισμένο. Το PVC είναι εξαιρετικά ανθεκτικό στο όζον.

Αντοχή σε χημικά

Το PVC είναι εξαιρετικά ανθεκτικό σε οξέα, έλαια και στους περισσότερους διαλύτες. Κάποιοι διαλύτες μπορούν να απομακρύνουν τον πλαστικοποιητή από το PVC κάνοντάς το πολύ σκληρό. Προστασία έναντι αυτών των διαλυτών μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας νέες εξελιγμένες μορφές πλαστικοποιητή.

Επιδράσεις σε άλλα υλικά

Λόγω του ότι το PVC περιέχει πλαστικοποιητή μπορεί να καταστρέψει, σε βάθος χρόνου αρκετά υλικά με τα οποία έρχεται σε επαφή. Τα υλικά που επηρεάζονται περισσότερο είναι αυτά που περιέχουν polystyrene. Γενικά το PVC σκληραίνει και μπορεί να καταστρέψει τα περισσότερα υλικά στα οποία μπορεί να μεταδοθεί πλαστικοποιητής.

Ικανότητα ανάφλεξης

Το καθαρό PVC περιέχει 57% chlorine. Το γεγονός αυτό καθιστά το PVC πολύ ανθεκτικό σε μεγάλες θερμοκρασίες. Όμως το PVC που χρησιμοποιείται σε καλώδια υφίσταται μια διαδικασία που το κάνει πιο μαλακό, με προσθήκη διαφόρων ουσιών που μπορεί να είναι άκρως εύφλεκτες. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται κάποιοι ειδικοί χημικοί παράγοντες ώστε να αυξήσουν την ανθεκτικότητα του PVC σε μεγάλες θερμοκρασίες.

4. Polyamide (PA, Nylon)

Το polyamide χρησιμοποιείται κυρίως σαν προστατευτικό κάλυμμα πάνω από PE και PVC καλύμματα καλωδίων, για να αυξήσει την αντοχή του καλωδίου σε εξωτερικές δυνάμεις και χημικά. Το PA χρησιμοποιείται επίσης σαν απομονωτής οπτικών ινών. Το PA 12 χρησιμοποιείται σαν απομονωτής ενώ το PA 6 χρησιμοποιείται σαν κάλυμμα μηχανικής προστασίας.

Θερμικές ιδιότητες

Το PA μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα μεγάλο εύρος θερμοκρασιών. Συνιστάται 90°C σαν θερμοκρασία συνεχούς λειτουργίας. Το PA αρχίζει να μαλακώνει στους 150°C ενώ μπορεί να παραμείνει εύκαμπτο ακόμα και στους -40°C .

Μηχανικές ιδιότητες

Σε σύγκριση με το PE και το PVC, το PA είναι πολύ ανθεκτικότερο σε εξωτερικές δυνάμεις. Στους 20°C το PA παρουσιάζει σημείο καταστροφής λόγω πίεσης 50MPa και μπορεί να επιμηκυνθεί κατά 100%.



Αντοχή στο χρόνο και σε χημικά

Το PA είναι εξαιρετικά ανθεκτικό στο πέρασμα του χρόνου τόσο για εσωτερικού όσο και για εξωτερικού χώρου εφαρμογές. Επίσης είναι ανθεκτικότερο από τα PE και PVC όσον αφορά τους διάφορους χημικούς παράγοντες που μπορεί να έρθει σε επαφή (έλαια και διαλύτες).

Επιδράσεις σε άλλα υλικά

Το PA δεν περιέχει καθόλου πλαστικοποιητή, έτσι δεν επηρεάζει σχεδόν καθόλου τα υλικά με τα οποία έρχεται σε επαφή. Επίσης σημαντικό είναι ότι δεν επηρεάζεται από το PVC αφού δεν είναι δυνατό να του μεταδοθεί πλαστικοποιητής.

5. Polybutylene terephthalate (PBT)

Το PBT χρησιμοποιείται σαν δευτερεύον κάλυμμα για οπτικές ίνες, όπως το PA. Ανήκει στην κατηγορία των semicrystalline thermoplastic polyester και έχει εξαιρετικές μηχανικές και θερμικές ιδιότητες. Παρουσιάζει θερμικό σημείο καταστροφής στους 225°C και χρησιμοποιείται σε εύρος θερμοκρασιών - 40°C μέχρι 140°C. Μπορεί να επιμηκυνθεί μέχρι και 100% πριν σπάσει και παρουσιάζει σημείο καταστροφής λόγω πίεσης στα 40Mpa. Είναι εξαιρετικός μονωτής όσον αφορά την υγρασία και τα χημικά και δεν επηρεάζει κανένα υλικό που έρχεται σε επαφή, αφού δεν περιέχει σχεδόν καθόλου προσθετικές χημικές ουσίες.

6. Fluoroplastics (PTFE, FEP, E-TFE, E-CTFE)

Τα υλικά που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία περιέχουν halogens, fluorine και chlorine. Οι μηχανικές ιδιότητες αυτών των υλικών είναι εξαιρετικές. Επίσης η αντοχή τους στο χρόνο, στις διάφορες χημικές ουσίες και στη θερμότητα είναι πολύ καλή, γεγονός που επιτρέπει τη χρήση τους σε πολύ μεγάλο εύρος θερμοκρασιών και σε περιβαλλοντικές συνθήκες που η εγκατάσταση καλωδίων με καλύμματα από υλικά που αναφέρθηκαν παραπάνω θα ήταν αδύνατη.

7. Thermoplastic polyurethane elastomer

Το polyurethane ή thermoplastic polyurethane elastomer (TPU) είναι το ακριβότερο υλικό σε σχέση με τα παραπάνω, με αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται σπανιότερα στη βιομηχανία κατασκευής οπτικών καλωδίων. Παρουσιάζει τις καλύτερες μηχανικές ιδιότητες απ' όλα τα παραπάνω υλικά (55 Mpa) και μπορεί να επιμηκυνθεί μέχρι και 700%. Η θερμική αντοχή του υλικού αυτού είναι επίσης πολύ καλή και μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε θερμοκρασίες χαμηλότερες των - 40°C. Το TPU είναι εξαιρετικά ανθεκτικό σε όλες τις χημικές ουσίες και στο όζον και δεν περιέχει καθόλου πλαστικοποιητή με αποτέλεσμα να μην επηρεάζει τα υλικά που έρχεται σε επαφή.

3.7 Έβδομη παράμετρος, η ενίσχυση

Στις περισσότερες περιπτώσεις δεν είναι απαραίτητο να τοποθετηθεί σε ένα οπτικό καλώδιο περαιτέρω ενίσχυση από αυτές που αναφέρθηκαν παραπάνω. Τα οπτικά καλώδια που δεν έχουν επιπλέον ενίσχυση μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε όλες τις εσωτερικού χώρου όπως και στις περισσότερες εξωτερικού χώρου εφαρμογές. Καλώδια που πρόκειται να εγκατασταθούν σε εξαιρετικά δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες, πρέπει να περιβάλλονται από συγκεκριμένη επιπλέον ενίσχυση για κάθε διαφορετική εφαρμογή. Οι πιο διαδεδομένοι τύποι επιπλέον ενίσχυσης είναι οι παρακάτω :

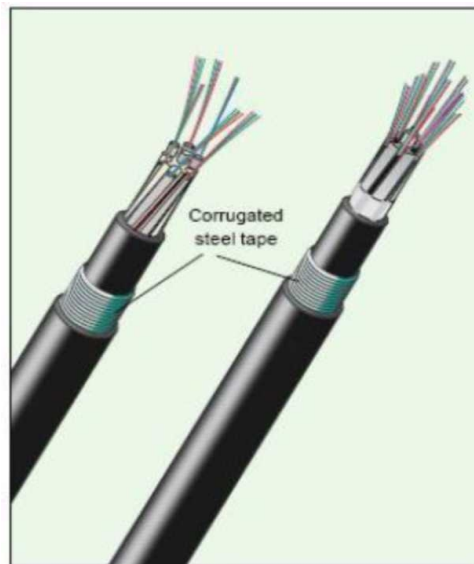
- Μεταλλική ταινία με αυλακώσεις



- Μεταλλικό νήμα
- Μεταλλική ταινία
- Ενθυλάκωση με αλουμίνιο ή χαλκό (υποβρύχια καλώδια)
- HET (θερμο-διαστελλόμενη ταινία) με κάλυμμα HDPE
- Νήματα aramide
- Διαστελλόμενο εξωτερικό σκέλος

3.7.1 Μεταλλική ταινία με αυλακώσεις

Προσθέτοντας ένα κάλυμμα μεταλλικής ταινίας με αυλακώσεις και ένα δεύτερο κάλυμμα polyethylene κατασκευάζουμε ένα οπτικό καλώδιο το οποίο μπορεί να εγκατασταθεί κάτω από την επιφάνεια. Τα καλώδια τέτοιου τύπου μπορούν να τοποθετηθούν κατευθείαν μέσα στο υπέδαφος ή μέσα σε μεγάλους υπόγειους αγωγούς. Τα οπτικά καλώδια με μεταλλική ταινία αυλακώσεων είναι πιο εύκαμπτα και πιο εύκολα στην εγκατάσταση από εκείνα που ενισχύονται με μεταλλικά νήματα.



Εικόνα 58 : Οπτικά καλώδια με ενίσχυση μεταλλικής ταινίας αυλακώσεων

3.7.2 Μεταλλικό νήμα

Το μεταλλικό νήμα ή η μεταλλική ταινία τοποθετείται γύρω από το καλώδιο σπειροειδώς. Στη συνέχεια τοποθετείται ένα κάλυμμα από HD - polyethene σαν τελική θήκη του καλωδίου. Το πλεονέκτημα της ενίσχυσης αυτού του τύπου είναι ότι καθιστά το καλώδιο εξαιρετικά ανθεκτικό σε διαμήκεις και ακτινικές δυνάμεις.



Εικόνα 59 : Οπτικό καλώδιο με ενίσχυση



3.7.3 HET (θερμο-διαστελλόμενη ταινία)

Μια νέα μέθοδος για την αύξηση της αντοχής των οπτικών καλωδίων σε ακτινικές δυνάμεις έχει εξελιχθεί από την εταιρία Ericsson. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στη χρήση θερμο-διαστελλόμενης ταινίας. Τοποθετώντας μια HET πάνω από το πρωτεύον κάλυμμα του καλωδίου και στη συνέχεια άλλο ένα πλαστικό κάλυμμα, επιτυγχάνεται δραματική αύξηση της αντοχής του καλωδίου σε ακτινικές δυνάμεις (η ταινία διαστέλλεται όταν θερμανθεί αρκετά το τελικό κάλυμμα, με αποτέλεσμα το πρωτεύον κάλυμμα να μένει ανέπαφο). Η ταινία αποτελείται από polyester μέσα στο οποίο υπάρχουν μικροσκοπικές φυσαλίδες που περιέχουν isobutene. Για θερμοκρασίες μεταξύ των 90 και 120° C οι φυσαλίδες διαστέλλονται καθώς διαστέλλεται το αέριο που περιέχουν. Η HET μπορεί να διαστέλλεται 300 με 400%. Καλώδια τέτοιου τύπου χρησιμοποιούνται για άμεση βύθιση στο υπέδαφος χωρίς χρήση μεγάλων αγωγών.



Εικόνα 60 : Οπτικό καλώδιο με θερμοδιαστελλόμενη ταινία

3.7.4 Νήματα Aramide

Τα νήματα aramide χρησιμοποιούνται σαν ενίσχυση για τα πιο απλά οπτικά καλώδια και αυξάνουν κατά πολύ την αντοχή του καλωδίου σε διαμήκεις δυνάμεις. Η ενίσχυση αυτού του τύπου χρησιμοποιείται επίσης και για εναέριες εγκαταστάσεις.



Εικόνα 61 : Οπτικό καλώδιο με ενίσχυση νημάτων aramide



3.7.5 Διαστελλόμενο εξωτερικό σκέλος

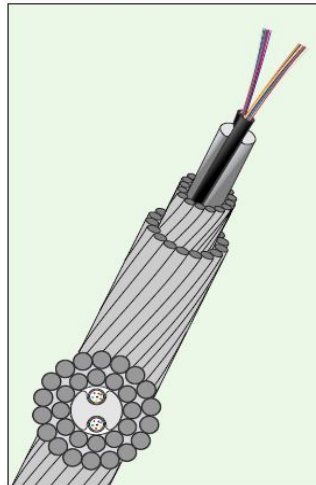
Η τεχνική αυτή είναι όμοια με εκείνη της HET. Τέτοιου τύπου ενισχύσεις εφαρμόζονται κυρίως σε οπτικά καλώδια με πυρήνα αυλακώσεων.



Εικόνα 62 : Οπτικό καλώδιο με ενίσχυση

3.7.6. Οπτικό καλώδιο γείωσης (OPGW)

Το καλώδιο αυτό αποτελεί μια από τις τελευταίες εξελίξεις της βιομηχανίας κατασκευής οπτικών καλωδίων και αναμένεται να χρησιμοποιηθεί σε νέες γραμμές μεταφοράς ισχύος. Ο κεντρικός πυρήνας κατασκευάζεται από αλουμίνιο, γύρω από το οποίο τυλίγονται ελικοειδώς σωλήνες που περιέχουν μέχρι και 12 ίνες. Γύρω από τον πυρήνα τοποθετούνται νήματα αλουμινίου, ώστε να παρέχεται αυξημένη αντοχή σε εξωτερικές δυνάμεις και μεγάλη αγωγιμότητα.



Εικόνα 63 : Οπτικό καλώδιο γείωσης

3.7.7 Υβριδικά καλώδια

Πολλές εγκαταστάσεις απαιτούν το συνδυασμό οπτικών καλωδίων και συνηθισμένων χάλκινων καλωδίων. Τα χάλκινα καλώδια υποστηρίζουν τηλεφωνικά συστήματα χαμηλών συχνοτήτων, ενώ οι οπτικές ίνες συστήματα μετάδοσης υψηλής ποιότητας. Τα υβριδικά καλώδια χρησιμοποιούνται κυρίως σε εγκαταστάσεις σιδηροδρόμων για επικοινωνία μεταξύ μεγάλων σταθμών. Τα καλώδια αυτά ενισχύονται με μεταλλικά νήματα ή μεταλλικές ταινίες.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : Οι συνδέσεις οπτικών ινών

Εισαγωγή

Σε αυτό κεφάλαιο αναφερόμαστε στις συνδέσεις οπτικών ινών. Αρχικά περιγράφονται οι λόγοι απωλειών εξασθένησης σήματος. Γίνεται εκτενής αναφορά στους τρόπους (μεθόδους) σύνδεσης οπτικών ινών, τις προδιαγραφές ενώσεων οπτικών ινών καθώς και τα κριτήρια επιλογής τύπου μόνιμης σύνδεσης. Τέλος, αναφερόμαστε στα εργαλεία που απαιτούνται για να γίνει η διαδικασία της σύνδεσης των οπτικών ινών.

Ως συνένωση θεωρείται η απευθείας σύνδεση των άκρων δυο οπτικών ινών μόνιμα, μέσω ηλεκτρικής σύντηξης – fusion splice των επιφανειών τους, ή προσωρινά, με μηχανικό εξάρτημα συγκράτησης – mechanical splice.

Τα σημεία σύνδεσης μεταξύ οπτικών ινών, είναι αυτά στα οποία οι συνδεόμενες ίνες επιτρέπουν τη διέλευση του διερχόμενου φωτός από τη μία ίνα στην άλλη, με τις ελάχιστες δυνατές απώλειες σήματος.

Αν και υπάρχουν πολλοί λόγοι που επιβάλλουν στην πράξη τη σύνδεση μεταξύ δύο διαφορετικών οπτικών ινών, οι συνηθέστεροι από αυτούς είναι οι ακόλουθοι:

1. Οι ίνες και τα καλώδια δεν έχουν ατελείωτο μήκος, οπότε αναγκαστικά κάπου συνδέονται πολλά τμήματα μεταξύ τους.
2. Είναι δυνατό να έχουμε στην πράξη καταμερισμό του σήματος σε διχάλες ή κατανομείς.
3. Στα σημεία αρχής και κατάληξης της γραμμής (εκπομπής και λήψης), απαιτείται η σύνδεση με τον ανάλογο ηλεκτρονικό εξοπλισμό.
4. Ο τελευταίος και πιο επίφοβος λόγος είναι η αποκατάσταση του καλωδίου σε σημεία που αυτό έχει κοπεί.

Αφού βλέπουμε, λοιπόν, την ανάγκη στην πράξη της χρήσης συνδέσεων οπτικών ινών, οι συνδέσεις αυτές θα πρέπει να είναι μηχανικά ανθεκτικές και να προκαλούν όσο το δυνατό χαμηλότερες απώλειες του οπτικού σήματος. Οι συνδέσεις αυτές θα πρέπει να αντέχουν στα τραβήγματα και στις κάμψεις μέσης προς ισχυρής έντασης. Ταυτόχρονα, μία τέτοια σύνδεση θα πρέπει να επιτρέπει τη διέλευση όσο το δυνατό μεγαλύτερης οπτικής ισχύος σήματος, χωρίς απώλειες και ανακλάσεις προς τα πίσω. Γενικά, υπάρχουν δύο κατηγορίες συνδέσεων οπτικών ινών: **οι μόνιμες συνδέσεις και οι τερματιζόμενες με βύσματα**. Οι μόνιμες συνδέσεις (ματίσεις) εφαρμόζονται σε εγκαταστάσεις εσωτερικών και εξωτερικών χώρων. Προσφέρουν χαμηλές απώλειες και υψηλή μηχανική σταθερότητα, αλλά όμως πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το κόστος και η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης της ίδιας σύνδεσης.

Οι μόνιμες συνενώσεις, κυρίως, χρησιμοποιούνται κυρίως για να επεκτείνουν το μήκος μιας οπτικής ζεύξης πέραν του καλωδιακού μήκους. Οι μηχανικές συνενώσεις χρησιμοποιούνται συνήθως κατά την διάρκεια δοκιμών. Και στις δύο περιπτώσεις σύνδεσης οπτικών ινών, η κοινή όψη είναι οι απώλειες εξασθένησης του σήματος.

4.1 Απώλειες εξασθένησης σήματος

Οι απώλειες εξασθένησης της έντασης του οπτικού σήματος διεξάγονται κατά τη διάδοση του φωτός μέσα σε ένα σύστημα οπτικών ινών. Ορισμένες απώλειες λαμβάνουν χώρα μέσα στην ίδια την ίνα, ενώ άλλες συμβαίνουν στις συνδέσεις αυτών. Η μέτρηση των απωλειών γίνεται σε decibels (dB). Το decibel αποτελεί μαθηματική λογαριθμική μονάδα που περιγράφει το λόγο της ισχύος εξόδου προς την ισχύ εισόδου, σε οποιοδήποτε σύστημα (οπτικών ινών ή χάλκινων αγωγών).

Σε ένα σύστημα οπτικών ινών, οι απώλειες συνήθως οφείλονται σε απορρόφηση, ανάκλαση, διάχυση, σκέδαση ή διασπορά των φωτονίων μέσα στην ίνα. Ωστόσο, απώλειες συμβαίνουν επίσης στις μόνιμες συνδέσεις και στα βύσματα. Οι παράγοντες που προκαλούν απώλειες στις μόνιμες συνδέσεις και στα βύσματα διαιρούνται σε δύο κατηγορίες: **εσωτερικούς και εξωτερικούς**.

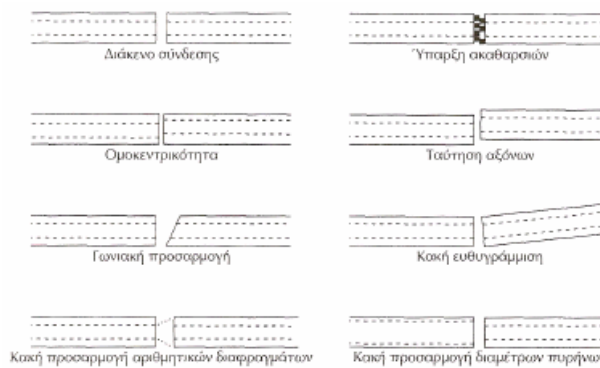


Οι εσωτερικές απώλειες οφείλονται σε παράγοντες τους οποίους δεν ελέγχει ο τεχνίτης, και εξαρτώνται από τη σχεδίαση και κατασκευή της ίνας.

Οι συνηθέστεροι παράγοντες εσωτερικών απωλειών είναι:

1. Η εκκεντρότητα πυρήνα
2. Η ελλειπτικότητα πυρήνα
3. Η κακή προσαρμογή αριθμητικού διαφράγματος (NA)
4. Οι διαφορετικές διαμέτροι πυρήνα

Η εκκεντρότητα του πυρήνα σημαίνει ότι οι άξονες πυρήνα και μανδύα δε συμπίπτουν ακριβώς. Η ελλειπτικότητα του πυρήνα εκφράζει κάθε απόκλιση από τη διατομή κυκλικού σχήματος. Μικρές αποκλίσεις τέτοιου είδους επηρεάζουν τις συνολικές απώλειες του συστήματος. Η κακή προσαρμογή του αριθμητικού διαφράγματος και των διαμέτρων των πυρήνων δεν αποτελούν λάθη δεξιοτεχνίας του τεχνίτη, ωστόσο απαιτείται προσοχή στη σύνδεση των ινών για την αντιστάθμιση αυτών. Όταν οι δύο συνδεόμενες μεταξύ τους ίνες έχουν διαφορετικές διαμέτρους πυρήνων, τότε η διεξαγωγή ελέγχου φανερώνει υψηλές απώλειες από την κατεύθυνση της μεγαλύτερης προς τη μικρότερη διάμετρο, ενώ φανερώνει το αντίθετο προς την άλλη κατεύθυνση.



Εικόνα 64 : Παράγοντες απωλειών συνδέσεων οπτικών ινών

Οι εξωτερικές απώλειες οφείλονται στην ίδια τη μηχανική σύνδεση. Συνήθεις αιτίες απωλειών στις συνδέσεις αυτές είναι οι ακόλουθες:

1. Κακή ευθυγράμμιση των άκρων των συνδεόμενων ινών, λόγω εσφαλμένων τεχνικών σύνδεσης ή βυσμάτωσης.
2. Κακές τεχνικές κοπής ή γυαλίσματος οδηγούν σε αυξημένες απώλειες σήματος.
3. Διάκενα αέρα μεταξύ των ινών σε βύσματα ή μόνιμες συνδέσεις, στα οποία δεν έχει εφαρμοσθεί ειδικό ζελέ ή υγρό προσαρμογής του δείκτη διάθλασης.
4. Εισχώρηση ακαθαρσιών, από μαντηλάκια καθαρισμού ή εναέρια σωματίδια σκόνης.

Ένας άλλος μηχανισμός απωλειών είναι η ανάκλαση της διερχόμενης οπτικής ακτινοβολίας, η οποία αναφέρεται και ως οπτικές απώλειες επιστροφής. Καθώς το φως διαδίδεται μέσα από την ίνα, διερχόμενο μέσω συνδέσεων και βυσμάτων, μέρος από αυτό ανακλάται προς τα πίσω. Οι οπτικές απώλειες επιστροφής αφορούν κυρίως τα μονότροπα δίκτυα υψηλής απόδοσης, και όχι τα πολύτροπα.

4.2 Τα προβλήματα

Υπάρχουν μόνο τρία πραγματικά προβλήματα που σχετίζονται με τη σύνδεση των οπτικών ινών:

- Οι ίνες θα πρέπει να είναι συμβατού τύπου,
- Τα άκρα των ινών θα πρέπει να τοποθετούνται το ένα κοντά στο άλλο,



- Θα πρέπει οι ίνες να είναι ευθυγραμμισμένες με ακρίβεια.



4.2.1 Προβλήματα συμβατότητας

Ένα περίεργο χαρακτηριστικό αυτών των προβλημάτων συμβατότητας είναι ότι έχουν σαν αποτέλεσμα ο βαθμός απώλειας να εξαρτάται από την κατεύθυνση στην οποία ταξιδεύει το φως μέσα στην ίνα. Μέχρι τώρα, θεωρούσαμε πάντα την κατεύθυνση του φωτός άσχετη.

4.2.1.1 Διάμετρος πυρήνα

Οι πολύτροπες ίνες κυκλοφορούν σε μεγάλη ποικιλία μεγέθους πυρήνα μεταξύ 7 μm και 2mm, από τα οποία τα πιο συνηθισμένα είναι τα 50, 62,5, 85,100 και 200 μm . Παρομοίως, οι ίνες από πλαστικό κυμαίνονται από 0,25mm μέχρι 3mm από τα οποία το 1mm είναι το πιο συνηθισμένο.

Όταν αγοράζουμε εξαρτήματα, όπως ένα λείζερ, αυτά συχνά είναι προσαρμοσμένα σε ένα κομμάτι οπτικής ίνας που ονομάζεται σπειροειδής σύνδεσμος (pigtail), το οποίο δεν μπορούμε να αποσυνδέσουμε. Αν η ίνα αυτή έχει χαρακτηριστικά διαφορετικά από εκείνα του κύριου συστήματος, τότε θα πρέπει να γνωρίζουμε πως μπορεί να έχουμε απώλεια ισχύος στο σημείο σύνδεσης. Οι μονότροπες ίνες περιορίζονται σε μέγεθος περίπου 8 μm , έτσι προβλήματα μεγέθους πυρήνα δεν είναι συνηθισμένα.

Αν συνδέσουμε μια πολύτροπη ίνα με μεγάλο πυρήνα με μια άλλη με μικρότερο πυρήνα, μόνο λίγο από το φως που εκπέμπεται από τον μεγαλύτερο πυρήνα θα εισέλθει στον μικρότερο πυρήνα, λόγω της πιο μικρής περιοχής, και θα έχουμε απώλεια ισχύος. Αν, όμως, το φως ταξιδεύει από τον μικρότερο πυρήνα στον μεγαλύτερο, δεν θα παρουσιαστεί καθόλου απώλεια ισχύος [12].

4.2.1.2 Αριθμητικές λειτουργούσες διελεύσεις

Μια πολύ παρόμοια επίδραση κάνει την εμφάνιση της, στις αριθμητικές λειτουργούσες διελεύσεις. Ο λόγος είναι ότι η αριθμητική λειτουργούσα διέλευση καθορίζει τον κώνο λήψης. Ας υποθέσουμε ότι μια συνηθισμένη ίνα με αριθμητική λειτουργούσα διέλευση 0,2 με κώνο λήψης 11,5° συνδέεται με μια ίνα με NA = 0,25 με κώνο λήψης 14,5°. Χρησιμοποιώντας αυτή την κατεύθυνση εκπομπής, όλες οι γωνίες ακτίνας θα ήταν αποδεκτές από την άλλη ίνα και δεν θα εμφανίζονταν καθόλου απώλειες. Αν, όμως, μεταδώσουμε φως προς την άλλη κατεύθυνση, οι ακτίνες του φωτός μεταξύ των 11,5° και 14,5° βρίσκονται έξω από τον κώνο λήψης της ίνας λήψης, δεν θα γίνονταν αποδεκτές και θα κατέληγαν σε απώλειες.

4.2.2 Προβλήματα απώλειας κενού

Καθώς τα άκρα της ίνας χωρίζονται, το φως από τον πυρήνα διαχέεται έξω σε γωνία ίση με τη γωνία λήψης. Λιγότερο φως χτυπά την περιοχή του πυρήνα της ίνας λήψης και εμφανίζεται απώλεια. Ο βαθμός απώλειας δεν είναι μεγάλος με τιμή μικρότερη από 0,5dB όταν τα άκρα της ίνας διαχωρίζονται από απόσταση ίση με τη διάμετρο του πυρήνα. Η απώλεια μειώνεται ακόμη περισσότερο με τη χρήση ειδικού ζελέ, που προστίθεται στη σύνδεση για να κάνει τον πυρήνα της ίνας να μοιάζει συνεχής. Το ζελέ συνδυασμού δείκτη έχει διαθλαστικό δείκτη όμοιο με τον πυρήνα μιας οπτικής ίνας και χρησιμοποιείται για να γεμίσει το κενό μεταξύ των ινών για να κάνουν τη διαδρομή του φωτός να μοιάζει συνεχής. Συνήθως προστίθεται για να μειώσουμε τις ανακλάσεις Fresnel αλλά βοηθάει ταυτόχρονα και στην απώλεια κενού. Η απώλεια κενού αυξάνεται γραμμικά με το μέγεθος του κενού.



4.2.3 Προβλήματα ευθυγράμμισης

4.2.3.1 Παράλληλη λάθος ευθυγράμμιση

Αυτή μοιάζει κάπως με την απώλεια λόγω των διαφορών στο μέγεθος πυρήνα. Καθώς οι ίνες μετακινούνται η περιοχή επικάλυψης μεταξύ των δύο πυρήνων μειώνεται και επομένως έχουμε μεταφορά λιγότερου φωτός. Η ευθυγράμμιση αυτή είναι αρκετά σημαντική, πολύ περισσότερο από την απώλεια κενού, και μια λάθος ευθυγράμμιση ενός τετάρτου της διαμέτρου του πυρήνα θα προκαλέσει απώλεια 1,5dB. Επομένως, η απώλεια αυξάνεται πολύ γρήγορα μη-γραμμικά.

4.2.3.2 Ευθυγράμμιση πυρήνα (απώλεια εκκεντρικότητας)

Αυτή συμβαίνει όταν ο πυρήνας δεν βρίσκεται ακριβώς στο κέντρο της ίνας. Όταν οι οπτικές ίνες συνδέονται, συνήθως είναι ευθυγραμμισμένες ως προς το εξωτερικό του περιβλήματος. Αν ο πυρήνας δεν τοποθετείται κεντρικά μέσα στην ίνα, το αποτέλεσμα θα είναι λάθος ευθυγράμμιση του πυρήνα, με αποτελέσματα παρόμοια με εκείνα που προκαλεί η παράλληλη λάθος ευθυγράμμιση. Χρησιμοποιώντας σύγχρονες τεχνικές κατασκευής, σπάνια έχουμε σοβαρά παραδείγματα αυτής της βλάβης.

4.2.3.3 Γωνιακή λάθος ευθυγράμμιση

Καθώς μεγαλώνει η λάθος θέση της γωνίας, το φως από τον ένα πυρήνα σιγά-σιγά δεν βρίσκει τον άλλον. Με ένα κενό αέρος, οι γωνίες με λάθος ευθυγράμμιση μέχρι 3 ή 4 μοίρες προκαλεί απώλειες μικρότερες από 1dB. Στις μεγάλες γωνίες, οι απώλειες αυξάνονται πολύ γρηγορότερα μη-γραμμικά. Η χρήση ζελέ συνδυασμού δείκτη στην πράξη χειροτερεύει την κατάσταση, αφού εμποδίζει την διάχυση του κώνου λήψης, η οποία κανονικά θα εμφανιζόταν σε ένα κενό αέρος.

4.3 Τα Εργαλεία τερματισμού οπτικών ινών

Η εκτέλεση της εργασίας τερματισμού οπτικών ινών απαιτεί την χρήση των σωστών εργαλείων. Μερικά από τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται για κοπή και απογύμνωση του περιβλήματος του καλωδίου σε καλώδια οπτικών ινών είναι ίδια με αυτά που χρησιμοποιούνται για χάλκινα καλώδια [13].

Τα εργαλεία που χρησιμοποιούνται για τερματισμό καλωδίων οπτικών ινών περιλαμβάνουν τα εξής:

- Απογυμνωτήρας περιβλήματος καλωδίου
- Ψαλίδια
- Απογυμνωτήρες μόνωσης ίνας
- Εργαλείο διαχωρισμού
- Εργαλείο κοπής
- Μαντηλάκια οινόπνευματος
- Χαρτί στίλβωσης
- Δίσκο στίλβωσης
- Μικροσκόπιο οπτικών ινών



4.3.1 Ο απογυμνωτήρας περιβλήματος καλωδίου

Ένας απογυμνωτήρας περιβλήματος καλωδίου ή ένα εργαλείο δακτυλίου χρησιμοποιείται για να απογυμνώσει το περίβλημα του καλωδίου οπτικών ινών. Αυτό το εργαλείο κόβει το περίβλημα του καλωδίου χωρίς να καταστρέφει τις οπτικές ίνες ή τα ανθεκτικά μέλη του καλωδίου. Υπάρχουν πολλοί τύποι απογυμνωτήρων που είναι κατάλληλοι για αυτή την δουλειά. Ο απογυμνωτήρας που θα χρησιμοποιήσετε πρέπει να είναι αιχμηρός και εύκολος στον χειρισμό.



Εικόνα 65 : Ο απογυμνωτήρας περιβλήματος καλωδίου

4.3.2 Τα ψαλίδια

Αφού αφαιρέσετε το περίβλημα του καλωδίου οπτικών ινών, θα εμφανιστούν τα ανθεκτικά μέλη του καλωδίου. Πρέπει να χρησιμοποιήσετε ψαλίδι για να κόψετε τα ανθεκτικά μέλη μέχρι το σωστό τους μέγεθος. Τα ανθεκτικά μέλη ενός καλωδίου οπτικών ινών προσαρτώνται στον σύνδεσμο οπτικών ινών. Τα ανθεκτικά μέλη θα παρέχουν ανακούφιση τάσης του συνδέσμου και θα αποτρέπουν την καταστροφή των οπτικών ινών από την τάση.

Πολλοί εγκαταστάτες καλωδίων έχουν ψαλίδια συνένωσης. Αυτά τα ψαλίδια εργάζονται πολύ καλά για μια εγκατάσταση οπτικών ινών. Να βεβαιώνεστε πάντα ότι τα ψαλίδια συνένωσης είναι αιχμηρά. Τα ανθεκτικά μέλη νήματος aramid είναι πολύ δυνατά και θα χαλάσουν γρήγορα τα ψαλίδια. Τα ψαλίδια που δεν κόβουν καλά μπορεί να μην κόβουν τα ανθεκτικά μέλη σωστά και μπορούν να προκαλέσουν τραυματισμούς.



Εικόνα 66 : Τα ψαλίδια



4.3.3 Απογυμνωτήρες μόνωσης ίνας

Τα καλώδια οπτικών ινών κατασκευάζονται με μια πλαστική μόνωση, η οποία εφαρμόζεται απευθείας στις γυάλινες οπτικές ίνες. Καλώδια χαλαρής μόνωσης έχουν μια χαλαρή πλαστική μόνωση και μια πρωτεύουσα μόνωση 250 μικρών, που εφαρμόζεται σε κάθε οπτική ίνα μέσα στο καλώδιο. Η μόνωση των 250 μικρών πρέπει να απογυμνωθεί από τις οπτικές ίνες για να τις τερματίσετε. Καλώδια σφικτής μόνωσης έχουν μια πρωτεύουσα μόνωση 250 μικρών που εφαρμόζεται στις οπτικές ίνες και μια δευτερεύουσα μόνωση 650 μικρών που εφαρμόζεται απευθείας επάνω στην πρωτεύουσα μόνωση των 250 μικρών. Και οι δύο μονώσεις έχουν πάχος 900 μικρών. Και οι δύο μονώσεις πρέπει να αφαιρεθούν από καλώδια σφικτής μόνωσης για να τα τερματίσετε.

Οι απογυμνωτήρες μόνωσης ίνας είναι ειδικοί απογυμνωτήρες που είναι σχεδιασμένοι έτσι ώστε να απογυμνώνουν τις επικαλύψεις 900 και 250 μικρών από το γυαλί της οπτικής ίνας. Ορισμένοι απογυμνωτήρες οπτικών ινών είναι σχεδιασμένοι έτσι ώστε να αφαιρούν τις μονώσεις 250 ή 900 μικρών από καλώδια οπτικών ινών. Για να κάνετε τερματισμούς ινών, είναι χρήσιμο να έχετε δύο τύπους απογυμνωτήρων μόνωσης ίνας στην εργαλειοθήκη σας:

- Ένα απογυμνωτήρα μόνωσης 900 μικρών
- Ένα απογυμνωτήρα μόνωσης 250 μικρών

Ένας απογυμνωτήρας 900 μικρών μπορεί να είναι σε θέση να απογυμνώσει μονώσεις 900 και 250 μικρών. Αλλά όμως, αυτός ο τύπος απογυμνωτήρα τείνει να αφήνει την μόνωση των 250 μικρών επάνω στην οπτική ίνα. Αυτός είναι ο λόγος που πρέπει να έχετε ένα δεύτερο απογυμνωτήρα μόνωσης στην εργαλειοθήκη σας. Ένας απογυμνωτήρας 250 μικρών είναι πιο ακριβής και θα αφαιρέσει εύκολα την μόνωση 250 μικρών χωρίς να καταστρέψει ή να σπάσει την οπτική ίνα.



Εικόνα 67 : Απογυμνωτήρας μόνωσης ίνας

4.3.4 Εργαλείο διαχωρισμού

Ένα εργαλείο διαχωρισμού είναι ένα εξειδικευμένο εργαλείο τερματισμού ινών που χρησιμοποιείται για να κόβει μια γυάλινη οπτική ίνα στην σωστή γωνία προς τον άξονα του πυρήνα. Αυτό είναι σημαντικό για να μην έχει μια ζεύξη οπτικών ινών εξωγενείς απώλειες που σχετίζονται με γωνία απώλειας ευθυγράμμισης.

Το εργαλείο διαχωρισμού κόβει την οπτική ίνα σε δύο βήματα. Πρώτα, το εργαλείο διαχωρισμού χαράζει τον μανδύα της γυάλινης οπτικής ίνας. Αυτό εξασθενίζει την οπτική ίνα έτσι ώστε να μπορεί να κοπεί. Μετά την χάραξη της οπτικής ίνας, εφαρμόζεται πίεση στην οπτική ίνα για να την σπάσει στο σημείο χάραξης. Η πίεση θα σπάσει την οπτική ίνα στο σημείο χάραξης. Το εργαλείο διαχωρισμού θα κόψει τον πυρήνα της οπτικής ίνας στην σωστή γωνία ή πολύ κοντά σε αυτή. Φθηνά εργαλεία διαχωρισμού θα διαχωρίσουν μια οπτική ίνα με απόκλιση μικρότερη από 1 μοίρα από την κάθετο. Αυτός ο τύπος εργαλείου είναι αποδεκτός για τερματισμούς ίνας. Ένα ακριβό εργαλείο διαχωρισμού θα διαχωρίσει μια οπτική ίνα με απόκλιση μικρότερη από 0.24 της μοίρας από την κάθετο. Αυτός ο τύπος εργαλείου προτιμάται για τερματισμό οπτικών ινών. Όσο πιο κοντά στην



κάθετο είναι η διαχωρισμένη οπτική ίνα, τόσο μικρότερες θα είναι οι απώλειες που σχετίζονται με γωνιαία απώλεια ευθυγράμμισης. Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα μικρότερες απώλειες στον τερματισμό της οπτικής ίνας.



Εικόνα 68 : Εργαλείο διαχωρισμού

4.3.5 Εργαλείο κοπής

Ένα εργαλείο κοπής είναι ένας άλλος τύπος εξειδικευμένου εργαλείου για κοπή γυάλινων οπτικών ινών. Οι γυάλινες οπτικές ίνες θα θρυμματιστούν αν κοπούν με ψαλίδι ή με ένα εργαλείο κοπής συρμάτων. Επίσης, το σπάσιμο ή το κόψιμο οπτικών ινών μπορεί να κάνει μικρά κομμάτια γυαλιού να πετάξουν στον αέρα, προκαλώντας κινδύνους. Ένα εργαλείο κοπής χρησιμοποιείται για να κόψει μια γυάλινη οπτική ίνα.

Ένα εργαλείο κοπής έχει συνήθως μια λεπίδα από διαμάντι ή καρβίδιο. Η λεπίδα χρησιμοποιείται για να χαράζει την γυάλινη οπτική ίνα στο σημείο όπου πρόκειται να κοπεί η οπτική ίνα. Αφού χαραχθεί η οπτική ίνα, μπορείτε να θέσετε πίεση στην οπτική ίνα και αυτή θα σπάσει ομαλά στο σημείο χάραξης.

Ένα εργαλείο κοπής χρησιμοποιείται όταν συνδέετε συνδέσμους οπτικών ινών. Ένας σύνδεσμος οπτικών ινών τοποθετείται επάνω σε μια οπτική ίνα μέχρι η γυάλινη οπτική ίνα να προεξέχει από τον ακροδέκτη του συνδέσμου. Το εργαλείο κοπής χρησιμοποιείται για να κόψει την προεξέχουσα οπτική ίνα, έτσι ώστε ο ακροδέκτης του συνδέσμου να μπορεί να στυλβωθεί.

4.3.6 Μαντηλάκια οιοπνεύματος

Τα μαντηλάκια οιοπνεύματος είναι πολύ σημαντικά όταν κάνετε τερματισμούς οπτικών ινών. Για να μεταδώσουν σήματα φωτός, τα καλώδια οπτικών ινών πρέπει να είναι καθαρά από βρωμιά ή από άλλες ουσίες που θα εμποδίζουν τις ακτίνες φωτός. Βρώμικοι σύνδεσμοι οπτικών ινών είναι ο κυριότερος λόγος εξασθένησης στις περισσότερες ζεύξεις οπτικών ινών.

Τα μαντηλάκια οιοπνεύματος χρησιμοποιούνται για καθαρισμό οπτικών ινών από:

- Βρωμιά,
- Λάδια,
- Ζελέ.



Εικόνα 69 : Μαντηλάκια οινόπνεύματος

4.3.7 Χαρτί στίλβωσης

Το χαρτί στίλβωσης είναι ένα ειδικό χαρτί που χρησιμοποιείται για στίλβωση των ακροδεκτών συνδέσμων οπτικών ινών. Το χαρτί στίλβωσης αφαιρεί τα ανομοιογενή ή τραχιά σημεία από τον ακροδέκτη της οπτικής ίνας. Οι ακροδέκτες των τερματισμένων οπτικών ινών τρίβονται στο χαρτί στίλβωσης για να εξομαλυνθεί και να γίνει επίπεδη η επιφάνεια της οπτικής ίνας. Αυτή η διαδικασία δημιουργεί μια κάθετη και ομοιόμορφη επιφάνεια, που χρειάζεται για μετάδοση ακτινών φωτός.

Η στίλβωση συνήθως γίνεται σε δύο ή τρία βήματα. Η αρχική στίλβωση γίνεται με ένα κομμάτι σχετικά χοντρό χαρτί 3μ. Το δεύτερο βήμα γίνεται με ένα κομμάτι λεπτού χαρτιού 1μ. Αν χρειάζεται και τρίτο βήμα, αυτό γίνεται με ένα κομμάτι πολύ λεπτού χαρτιού 0,3μ. Κάθε εργαλειοθήκη οπτικών ινών πρέπει να έχει τουλάχιστον τρεις τύπους χαρτιού στίλβωσης.



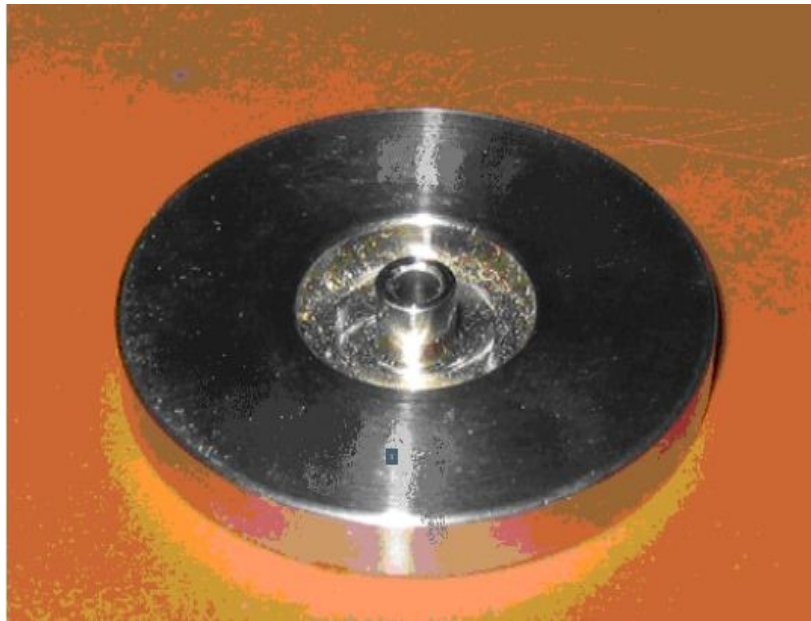
Εικόνα 70 : Χαρτί στίλβωσης



4.3.8 Δίσκος Στίλβωσης

Ένας δίσκος στίλβωσης είναι μια εξειδικευμένη συσκευή τερματισμού οπτικών ινών. Αυτή η συσκευή χρησιμοποιείται για να στίλβώσει τους ακροδέκτες συνδέσμων οπτικών ινών. Ένας δίσκος στίλβωσης είναι σχεδιασμένος με μια μεγάλη, επίπεδη επιφάνεια στίλβωσης. Η επίπεδη επιφάνεια στίλβωσης σιγουρεύει ότι υπάρχει ένα κάθετο τελείωμα στον ακροδέκτη του συνδέσμου. Ο δίσκος στίλβωσης έχει μια τρύπα στο κέντρο, για τον ακροδέκτη του συνδέσμου οπτικής ίνας. Ο ακροδέκτης του συνδέσμου εισάγεται μέσα στον δίσκο στίλβωσης και κλειδώνεται στην θέση του. Έτσι ο ακροδέκτης του συνδέσμου στερεώνεται και παραμένει κάθετος κατά την διαδικασία στίλβωσης. Ο δίσκος στίλβωσης είναι επίσης σχεδιασμένος έτσι ώστε ο ακροδέκτης του συνδέσμου να παραμένει στο τέλειο ύψος για να κάνει σωστή επαφή με το χαρτί στίλβωσης. Ο δίσκος στίλβωσης κατόπιν τρίβεται επάνω στο χαρτί στίλβωσης με μια κίνηση οκταριού. Όταν στίλβωθεί ο σύνδεσμος της ίνας, αφαιρείται από τον δίσκο στίλβωσης.

Ο δίσκος στίλβωσης είναι απαραίτητος για σωστή στίλβωση των ακροδεκτών ενός συνδέσμου οπτικής ίνας. Ο δίσκος στίλβωσης εγγυάται ότι ο στίλβωμένος ακροδέκτης του συνδέσμου είναι επίπεδος και ομαλός. Αν ένας σύνδεσμος οπτικής ίνας στίλβωνόταν χωρίς την χρήση ενός δίσκου στίλβωσης, ο ακροδέκτης του συνδέσμου μπορεί να είχε πλάγια επιφάνεια, που θα προκαλούσε απώλειες σήματος.



Εικόνα 71 : Δίσκος Στίλβωσης

4.3.9 Μικροσκόπιο οπτικών ινών

Ένα μικροσκόπιο οπτικών ινών είναι το εργαλείο που χρησιμοποιείτε για να επιθεωρήσετε την ποιότητα των διαχωρισμών και των στίλβωμένων τερματισμών συνδέσμων ινών. Οι τερματισμοί οπτικών ινών πρέπει να επιθεωρούνται για ξυσίματα ή για άλλα ελαττώματα που θα προκαλέσουν απώλεια σήματος στον τερματισμό της ίνας. Ένα μικροσκόπιο ίνας θα επιτρέπει την επιθεώρηση των άκρων της οπτικής ίνας όταν ολοκληρωθεί ο τερματισμός. Αν ο ακροδέκτης του συνδέσμου της ίνας έχει ξυσίματα, τότε ο τερματισμός πρέπει να ξαναγίνει.



Τα περισσότερα μικροσκόπια οπτικών ινών είναι συσκευές χειρός που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε εργοτάξια. Αυτές οι συσκευές έχουν μια θύρα προσάρτησης του συνδέσμου, η οποία σας επιτρέπει να δείτε τον ακροδέκτη του συνδέσμου. Πολλά μικροσκόπια ινών περιλαμβάνουν ένα φως, το οποίο τους επιτρέπει να χρησιμοποιούνται σε σκοτεινούς χώρους ή σε θέσεις χώρου εργασίας.



Εικόνα 72 : Μικροσκόπιο οπτικών ινών

4.3.10 Τσιμπίδα

Πολλοί σύνδεσμοι οπτικών ινών απαιτούν την χρήση μιας τσιμπίδας για ολοκλήρωση του τερματισμού της οπτικής ίνας. Οι εποξικοί σύνδεσμοι οπτικών ινών απαιτούν την χρήση μιας τσιμπίδας για να σφίγγει ένα μεταλλικό περιέσμο στο σώμα του συνδέσμου. Ο μεταλλικός περιέσμος κρατά τα ανθεκτικά μέλη του καλώδιου οπτικών ινών στο σώμα του συνδέσμου. Οι μη εποξικοί σύνδεσμοι οπτικών ινών είναι σχεδιασμένοι έτσι ώστε να σφίγγουν επάνω σε ένα καλώδιο οπτικών ινών. Αυτοί οι σύνδεσμοι είναι σχεδιασμένοι έτσι ώστε η διαδικασία σφιξίματος να στερεώνει το σώμα του συνδέσμου στο καλώδιο οπτικών ινών.

Πρέπει να χρησιμοποιηθεί το σωστό μέγεθος της τσιμπίδας όταν κάνετε τερματισμούς οπτικών ινών. Το σωστό μέγεθος τσιμπίδας θα καθορίζεται από τον κατασκευαστή του συνδέσμου της οπτικής ίνας. Οι τσιμπίδες που είναι πολύ μεγάλες δεν θα στερεώνονται σωστά στον σύνδεσμο οπτικών ινών. Οι τσιμπίδες που είναι πολύ μικρές μπορούν να σπάσουν το γυαλί της οπτικής ίνας και να κάνουν το καλώδιο οπτικών ινών άχρηστο.



Εικόνα 73 : Τσιμπίδα



4.4 Σύνδεση των οπτικών ινών - η προετοιμασία

Όποια μέθοδο και να διαλέξουμε για να συνδέσουμε τις ίνες θα χρειαστεί να προετοιμάσουμε τις ίνες αφαιρώντας τον αρχικό απομονωτή για να παρουσιάσουμε το περίβλημα. Το περίβλημα χρησιμοποιείται για την τοποθέτηση των ινών, για να εμποδίσει τις απώλειες από τη λάθος ευθυγράμμιση και, αγνοώντας τις απώλειες λόγω εκκεντρικότητας, εξασφαλίζει ότι οι πυρήνες είναι ευθυγραμμισμένοι. Ο αρχικός απομονωτής δεν είναι αρκετά ακριβής ή σταθερός για τον σκοπό αυτό.

4.4.1 Πληροφορία για την ασφάλεια μας

Μόλις αφαιρέσουμε τον αρχικό απομονωτή, ο πυρήνας και το περίβλημα είναι, φυσικά, πολύ λεπτά. Αυτό σημαίνει πως αν εφαρμόσουμε μια πολύ απαλή πίεση στην ίνα θα έχει σαν αποτέλεσμα να συγκεντρωθεί πολύ μεγάλη δύναμη στο τέλος τις ίνας. Ακόμη χειρότερα, μπορεί να σπάσει μέσα στα χέρια μας.

4.4.2 Απογύμνωση

Ο αρχικός απομονωτής εμφανίζεται αφού αφαιρέσουμε το εξωτερικό κάλυμμα. Αυτό μπορεί να σημαίνει μερικά δευτερόλεπτα με έναν απλό ψαλίδι απογύμνωσης καλωδίων, όπως αυτό που χρησιμοποιούμε για τα ηλεκτρικά καλώδια.

Έχουμε δύο μεθόδους για την αφαίρεση του αρχικού απομονωτή τη χημική ή τη μηχανική. Υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία πλαστικών που χρησιμοποιείται για τον απομονωτή γι' αυτό και οι προμηθευτές προτείνουν την καλύτερη μέθοδο. Όποια μέθοδο και αν χρησιμοποιήσουμε, σκοπός είναι να απομακρύνουμε περίπου 50mm από τον απομονωτή χωρίς να γρατσουνίσουμε ή να χαράξουμε την επιφάνεια του περιβλήματος, καθώς κάτι τέτοιο θα προκαλούσε σπάσιμο της ίνας.

4.4.2.1 Η χημική μέθοδος

Το πλεονέκτημα της χημικής μεθόδου είναι ότι δεν υπάρχει κίνδυνος μηχανικής ζημιάς στο κάλυμμα. Παρέχεται ένα μικρό μπουκάλι υγρού διαχωρισμού. Το υγρό ή το ζελέ τοποθετείται με βούρτσα πάνω στην επιφάνεια του απομονωτή και το αφήνουμε δύο, τρία λεπτά. Μαλακώνει το πλαστικό, το οποίο μετά μπορούμε να αφαιρέσουμε με μια χαρτοπετσέτα. Το υγρό αυτό μυρίζει σαν αφαιρετικό μογιόλας και εκπέμπει εξίσου δυσάρεστες αναθυμιάσεις. Θα πρέπει να το μεταχειριζόμαστε προσεκτικά, εξασφαλίζοντας ότι δεν θα έρθει σε επαφή με τα μάτια, ή το δέρμα. Χρησιμοποιείστε σταγονόμετρο για να αποφύγετε την επαφή με το δέρμα, και γυαλιά ασφαλείας.

4.4.2.2 Η μηχανική μέθοδος

Υπάρχει μια σειρά από εργαλεία που διεξάγουν την ίδια λειτουργία χωρίς να χρησιμοποιούμε χημικά. Η λειτουργία είναι βασικά η ίδια με εκείνη των εργαλείων αφαίρεσης του καλύμματος των συρμάτων χαλκού, εκτός του ότι είναι κατασκευασμένα με πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια. Η αρχή είναι να κόψουμε τον απομονωτή με μια λεπίδα σταματώντας μόλις ακουμπήσει την επιφάνεια του περιβλήματος. Τότε, τραβάμε την ίνα με τη λαβίδα και η λεπίδα κόβει τον αρχικό απομονωτή. Λόγω της ακρίβειας της κατασκευής, τα εργαλεία είναι κατασκευασμένα για ειδικά μεγέθη απομονωτή.



4.4.3 Καθαρισμός της ίνας

Κάθε ίχνος του απομονωτή ή οποιασδήποτε άλλης μόλυνσης πρέπει να αφαιρεθεί προσεκτικά. Ένα μόνο πολύ μικρό κομματάκι απομονωτή, σκόνης ή λιπαντικού θα προκαλέσει λάθος ευθυγράμμιση των ινών και επομένως απώλεια φωτός. Η πιο συνηθισμένη μέθοδος καθαρισμού είναι να υγράνετε ένα κομμάτι σταθερό πανί ή μια χαρτοπετσέτα με ισοπροπυλική αλκοόλη (IPA), να το τυλίξετε γύρω από το καλώδιο και να τραβήξουμε την ίνα μέσα από το πανί. Όταν η ίνα είναι καθαρή τρίζει. Καλό είναι να αποφύγουμε πολύ επαφή με το IPA και η χρήση σταγονόμετρου είναι μια πολύ καλή ιδέα. Το ασετόν μερικές φορές προσφέρεται σαν εναλλακτικό υγρό καθαρισμού, αλλά ο κίνδυνος για την υγεία μας όταν έρχεται σε επαφή με το δέρμα και όταν αναπνέουμε τις αναθυμιάσεις θεωρείται μεγαλύτερος από της ισοπροπυλικής αλκοόλης. Η ανάμειξη υγρών καθαρισμού μπορεί να είναι επικίνδυνη, γι' αυτό διαλέξτε ένα και χρησιμοποιείτε συνέχεια το ίδιο.

Αν το καλώδιο είναι γεμάτο με ζελέ, είναι πολύ σημαντικό να μην αφήσουμε το ζελέ να μολύνει τα εργαλεία ή το περίβλημα. Μπορείτε να χρησιμοποιήσετε τερεβινθίνη ή νέφτι για τον καθαρισμό στο στάδιο αυτό.

4.4.4 Η κοπή της ίνας

Για να συνδέσουμε δύο ίνες, εκτός από το να απογυμνωθούν και να καθαριστούν, πρέπει να κόψουμε την άκρη τους σε σωστή γωνία. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται τομή. Προσδοκούμε το λάθος στη γωνία αυτή να μην είναι πάνω από 1°. Μεγαλύτερο λάθος θα δημιουργήσει γωνιακές απώλειες. Θέλουμε η ίνα να σπάσει ξεκάθαρα, χωρίς η άκρη της να έχει ψεγάδι.

Υπάρχουν πολλά και διάφορα εργαλεία κοπής στην αγορά με ποικίλο μέγεθος, ακρίβεια, και τιμή. Γενικά, τα μικρά και φθηνά εργαλεία είναι πιο δύσκολα στη χρήση τους και χρειάζεται εξάσκηση για να "τους πάρουμε τον αέρα". Τα πιο ακριβά είναι ευκολότερα στη χρήση τους και δίνουν τομές ποιότητας κάθε φορά που τα χρησιμοποιούμε, με ελάχιστη εκπαίδευση. Είναι πολύ καλή ιδέα να δοκιμάσουμε διάφορα είδη ίσως σε μια έκθεση ή όταν παρακολουθούμε μαθήματα, πάντα υπάρχουν πολλές απόψεις ως προς το πιο είναι το καλύτερο. Μια λεπίδα τοποθετείται στην επιφάνεια του περιβλήματος και κάνει ένα πολύ μικρό σημάδι στην επιφάνεια η λεπίδα θα πρέπει να βρίσκεται σε γωνία 90° ως προς την ίνα και το σημάδι δεν θα πρέπει να έχει βάθος μεγαλύτερο από 5μm.

Στις πιο προσεγμένες τομές εφαρμόζεται μεγαλύτερη μηχανική ακρίβεια και γίνεται εντελώς αυτόματα. Το πιο φθηνό εργαλείο στην αγορά είναι ένα χειροκίνητο εργαλείο που αποτελείται από ένα ψεύτικο ζαφείρι πάνω σε ένα είδος στυλό. Ο χειριστής πρέπει να κρατά την ίνα με το ένα δάχτυλο καθώς το "στυλό" περνά απαλά την ίνα. Χρειάζεται μεγάλη εξάσκηση για να δημιουργήσουμε το σωστό σημάδι πάνω στο περίβλημα. Τα αποτελέσματα εξαρτώνται από τον χειριστή. Μόλις γίνει το σημάδι, τραβάμε την ίνα και η ρωγμή διαδίδεται σε ολόκληρη την ίνα και αυτή τέμνεται.

4.5 Ένωση σύντηξης

Η ένωση σύντηξης είναι η πιο μόνιμη και με τις λιγότερες απώλειες μέθοδος σύνδεσης οπτικών ινών. Ουσιαστικά, οι δυο ίνες απλά ευθυγραμμίζονται και μετά ενώνονται με τη τήξη ηλεκτρικού τόξου. Η σύνδεση που παίρνουμε έχει απώλεια λιγότερη από 0,1dB (λιγότερο από 2% απώλεια ισχύος). Επίσης υπάρχουν ενώσεις που συνδέουν αυτόματα καλώδια πολλών πυρήνων ή ταινίας με μέχρι και 12 ίνες τη φορά [14].



4.5.1 Προετοιμασία της ίνας

Οι ίνες πρέπει πρώτα να απογυμνωθούν και να καθαριστούν. Ο αρχικός μονωτής απογυμνώνεται μόνο για περίπου 25mm. Το ακριβές μήκος καθορίζεται από το είδος της ένωσης σύντηξης που χρησιμοποιείται.

Η ποιότητα της τομής έχει πολύ μεγάλη σημασία. Όσα χρήματα και να ξοδέψουμε για να αγοράσουμε την πιο εξελιγμένη συσκευή ένωσης, θα πάνε χαμένα αν δεν μπορούμε να κόψουμε την ίνα με ακρίβεια. Οι περισσότερες συσκευές ένωσης σήμερα υπολογίζουν την ακρίβεια της τομής και αν βρει κάποιο λάθος, απορρίπτει την ίνα μέχρι να την κόψουμε σωστά. Οι περισσότερες συσκευές ένωσης θεωρούν ικανοποιητική κάθε τομή με γωνία περίπου 3°.

4.5.2 Προ-τήξη

Το πρώτο στάδιο της διαδικασίας τήξης είναι να ευθυγραμμίσουμε τις ίνες με ένα κενό στην άκρη τους ίσο με τη διάμετρο της ίνας και να εφαρμόσουμε ένα σύντομο τόξο χαμηλής ισχύος. Αυτό ονομάζεται προ-τήξη. Σκοπός του είναι να καθαρίσει και να στεγνώσει τις επιφάνειες των άκρων στις τομές, για να μην παγιδεύεται τίποτε ανεπιθύμητο μέσα στην ένωση. Μπορεί να απομακρύνει πολύ μικρές προεξοχές από την τομή αλλά μην περιμένετε θαύματα. Δεν μπορεί να διορθώσει μια ίνα κακής ποιότητας.

4.5.3 Κύρια τήξη

Μετά, ενώνονται οι ίνες και ασκείται κάποια επιπλέον πίεση στις άκρες. Η επιπλέον πίεση επιτρέπει τις ίνες να κινούνται η μία προς την άλλη ελαφρώς καθώς έλιωναν. Το πόσο μπορούν να μετακινηθούν οι ίνες, που ονομάζεται απόσταση υπερτοφοδότησης ή γέμισης, είναι πολύ σημαντική. Δεν είναι ικανοποιητική μια ένωση με πολύ μεγάλη ή πολύ μικρή απόσταση γέμισης. Όταν το ηλεκτρικό τόξο λιώνει την άκρη της ίνας, το γυαλί καταρρέει εσωτερικά, γεμίζοντας τα κενά αέρος.

Το τόξο της κύριας τήξης είναι πιο ισχυρό και διαρκεί για περισσότερο χρόνο, μεταξύ 10 και 20 δευτερόλεπτα. Αν η ένωση μπει στο μικροσκόπιο, είναι πολύ σημαντικό να ελέγξουμε το βιβλίο οδηγιών. Το τόξο εκπέμπει υπεριώδες φως και καθώς το μικροσκόπιο επικεντρώνει το φως υπάρχει κίνδυνος να προκαλέσουμε μόνιμη ή προσωρινή βλάβη στο μάτια μας. Αυτό είναι το αποτέλεσμα της τήξης με ηλεκτρικό τόξο χωρίς προστασία των ματιών μας. Τα περισσότερα μικροσκόπια έχουν φίλτρο UV (και ένα υπέρυθρο φίλτρο) για να προστατέψουν τα μάτια μας, αλλά ελέγξτε το εγχειρίδιο πρώτα. Αυτό είναι ένα ακόμη πλεονέκτημα για να διαλέξουμε μια κάμερα CCD και μια οθόνη. Μόλις ολοκληρωθεί η τήξη, κοιτάξτε καλά την ένωση. Αν την διακρίνουμε με δυσκολία, τότε είναι μάλλον καλή. Βλέπουμε οι εξωτερικές άκρες του περιβλήματος να είναι παράλληλα, όπως μια καινούργια συνεχής ίνα. Μερικές φορές μια μικρή άσπρη γραμμή εμφανίζεται στον πυρήνα αλλά αυτό δεν είναι που σημαντικό και μπορούμε να το αγνοήσουμε.

4.5.4 Προστατευτικό κάλυμμα ένωσης

Στην φάση προετοιμασίας, απογυμνώσαμε την ίνα από όλη της τη μηχανική και αδιάβροχη προστασία. Μόλις η ίνα ενωθεί, πρέπει να αποκαταστήσουμε το κάλυμμα, αφού η διαδικασία ένωσης μειώνει την αντοχή της ίνας σε λιγότερο από 30% από την προηγούμενη τιμή της.

Αυτό επιτυγχάνεται με ένα εξάρτημα που ονομάζεται προστατευτικό κάλυμμα ένωσης. Αποτελείται από ένα κυλινδρικό κοντό κομμάτι ψήκτρας που περιέχει λιωμένη ζεστή κόλλα και ράβδο από ανοξείδωτο ατσάλι.

Πριν ενώσουμε την ίνα, βάζουμε το προστατευτικό κάλυμμα στην ίνα. Αφού ολοκληρωθεί η ένωση, το προστατευτικό κάλυμμα τοποθετείται πάνω στην ένωση και θερμαίνεται, συνήθως σε έναν

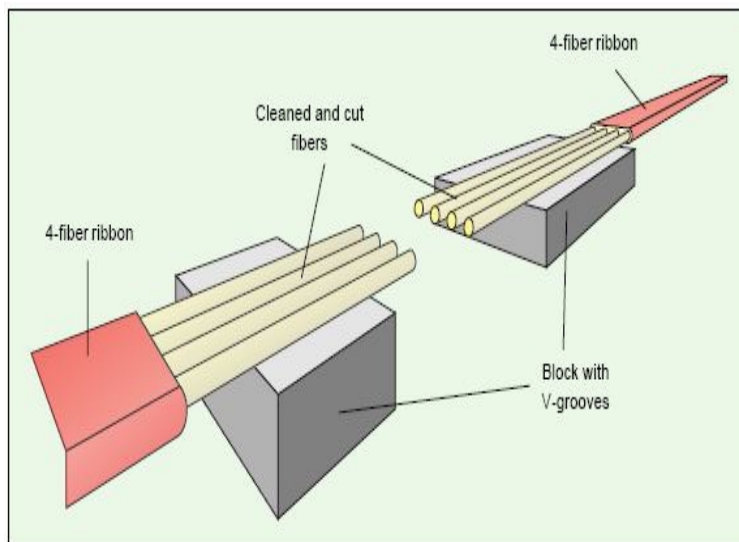


φούρνο που δημιουργήθηκε ειδικά για αυτόν τον λόγο, παρόλο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ένα πιστόλι θερμού αέρα. Ο φούρνος είναι ένας απλός δίσκος με ένα καπάκι, μια θερμάστρα και ένα χρονιστή. Η ζεστή λιωμένη κόλλα διατηρεί το προστατευτικό κάλυμμα στη θέση του ενώ η ράβδος από ανοξείδωτο ατσάλι παρέχει προστασία ενάντια στην κάμψη που μπορεί να παρουσιαστεί. Το εξωτερικό κυλινδρικό κομμάτι παρέχει γενικά μηχανική και αδιάβροχη προστασία για να εξασφαλίσουμε ότι η ίνα προστατεύεται εντελώς σε όλο το μήκος, τουλάχιστον 10mm του προστατευτικού καλύμματος θα πρέπει να επικαλύπτει τον αρχικό απομονωτή σε κάθε άκρη της ένωσης.

4.5.5 Διαδικασία Fusion κόλλησης για κορδέλα ινών

Όταν κολλάμε μια ίνα, τα δυο κομμάτια μπορούν να ευθυγραμμιστούν ανεξάρτητα το ένα από το άλλο, με χρήση ηλεκτρονικών μικρο-μηχανισμών. Όταν κολλάμε κορδέλες όπως, τα πράγματα δεν είναι τόσο εύκολα. Δεν είναι δυνατόν να ευθυγραμμίσουμε όπως ίνες ξεχωριστά. Το acrylate που όπως συγκρατεί, πρέπει να αφαιρεθεί από την κορδέλα σε μήκος 40mm. Η κοπή των κορδελών είναι καθοριστική για την ποιότητα των κολλήσεων. Όπως οι ίνες πρέπει να κοπούν ακριβώς στο ίδιο μήκος και υπό γωνία 90°. Όταν μια κορδέλα είναι έτοιμη για κόλληση, τοποθετείται σε ένα «πίνακα» V-groove, ο οποίος έχει την ιδιότητα να ευθυγραμμίζει όπως ίνες μεταξύ όπως. Στη συνέχεια ακολουθούνται αντίστοιχα βήματα όπως κατά τη διαδικασία κόλλησης μιας μόνο ίνας. Είναι σημαντικό να παρατηρήσουμε ότι κατά το λιώσιμο των ινών, η θερμοκρασία πρέπει να είναι ίδια παντού ώστε να έχουμε ομοιόμορφες κολλήσεις.

Κατά τη διάρκεια των κολλήσεων λαμβάνονται εικόνες ηλεκτρονικής σάρωσης, ώστε να είναι ορατή η ποιότητα των κολλήσεων (όπως συμβαίνει και κατά την κόλληση μιας μόνο ίνας). Τέλος οι κολλήσεις ασφαλιζονται με ειδικά θερμο-συστελλόμενα μέλη.



Εικόνα 74 : ευθυγράμμιση κορδελών ινών

4.6 Μηχανικές ενώσεις

Η μηχανική ένωση επιτελεί παρόμοια λειτουργία με την ένωση σύντηξης εκτός του ότι οι ίνες κρατιούνται μαζί με μηχανικά μέσα και όχι με την τεχνική τήξης. Εξωτερικά μοιάζουν πάρα πολύ με



τα προστατευτικά καλύμματα των ενώσεων. Η βασική διαφορά μιας μηχανικής συνένωσης από μια συνένωση τήξης έγκειται στον τρόπο κεντραρίσματος των δύο οπτικών ινών που πρόκειται να συνενωθούν. Υπάρχουν αρκετές μηχανικές συνενώσεις που πωλούνται σήμερα στην αγορά. Κάθε τύπος συστατικού μηχανικής συνένωσης είναι μοναδικός και απαιτεί τις δικές του διαδικασίες εγκατάστασης. Οι διαδικασίες του κατασκευαστή πρέπει να ακολουθούνται προσεκτικά όταν κάνετε μια μηχανική συνένωση. Αυτό θα εγγυάται ότι η συνένωση θα γίνει σωστά και θα έχει μικρές απώλειες.

Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Υπάρχουν αρκετά πλεονεκτήματα. Δεν χρειάζονται καμία τροφοδοσία, και δεν χρειάζονται καθόλου εργαλεία εκτός από μια συσκευή απομάκρυνσης του καλύμματος και έναν κόπτη, έτσι μπορείτε να χρησιμοποιήσετε τις μηχανικές ενώσεις σε περιπτώσεις, όπου οι ενώσεις σύντηξης δεν τα καταφέρνουν. Οι μηχανικές ενώσεις συχνά χρησιμοποιούνται και πάλι και μπορούν να προσαρμοστούν σε λιγότερο από δύο λεπτά, πράγμα που τις κάνει ιδανικές για προσωρινές συνδέσεις. Τα μειονεκτήματα είναι ότι προκαλούν απώλεια, που ονομάζεται απώλεια εισαγωγής, περίπου 0,1 - 0,3dB ανά σύνδεση, που είναι πολύ υψηλότερη από ότι σε μια καλή ένωση σύντηξης. Αυτό υπονοεί ότι η ένωση σύντηξης είναι η πρώτη επιλογή σε περιπτώσεις όπου οι απώλειες είναι πολύ σημαντικές.

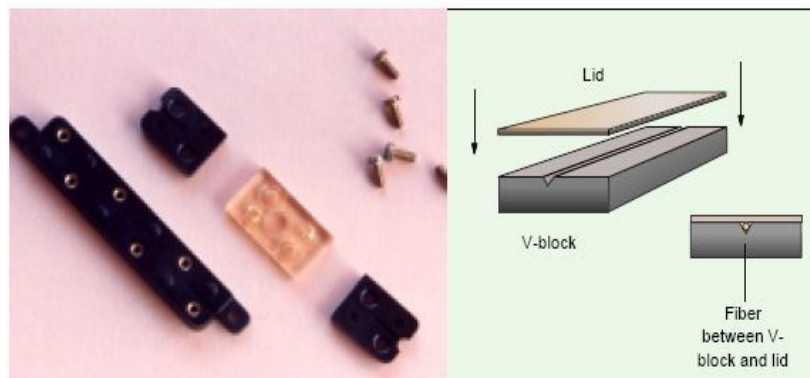
Πώς λειτουργούν

Ουσιαστικά, είναι πολύ απλή η λειτουργία τους. Η ίνα πρέπει να απογυμνωθούν, να καθαριστούν και να κοπούν. Μετά πρέπει να ευθυγραμμιστούν και κατόπιν να σταθεροποιηθούν στη θέση τους, με κόλλα εποξική ή με μηχανικούς συνδετήρες.

Υπάρχουν μόνο τρεις βασικοί μέθοδοι

4.6.1 Αυλάκι σε σχήμα V

Σε ένα πλαστικό block υπάρχει ένα αυλάκι σχήματος V, μέσα στο οποίο τοποθετείται η ίνα. Όταν τοποθετηθεί ένα πλαστικό καπάκι πάνω από το block οι ίνες δέχονται πίεση από τρεις διαφορετικές μεριές με αποτέλεσμα τα δύο άκρα να πλησιάζουν μεταξύ τους. Χρησιμοποιώντας ειδικό έλαιο με δείκτη διάθλασης που δε διαφέρει αρκετά από αυτό των ινών, πετυχαίνουμε μια κόλληση με απώλειες < 0,2dB. Τέτοιου τύπου κολλήσεις χρησιμοποιούνται μόνο σε εσωτερικού χώρου εφαρμογές και ελάχιστες φορές σε δίκτυα μεγάλων αποστάσεων (ως κολλήσεις έκτακτης ανάγκης).



Εικόνα 75 : Παρουσίαση της μεθόδου V-block

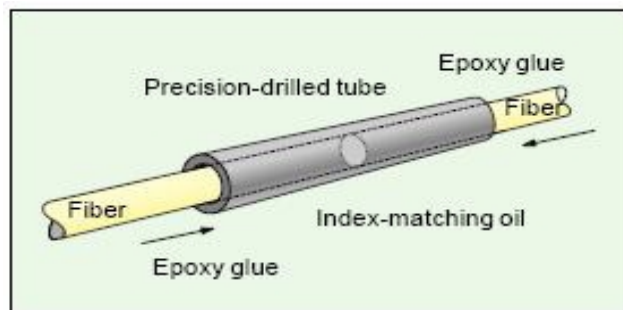


4.6.2 Σωλήνας κάμψης

Αν σπρώξετε ένα κομμάτι ίνας μέσα σε έναν σωλήνα που κάνει μια καμπύλη, η ελαστικότητα της ίνας θα την αναγκάσει να ακολουθήσει το εξωτερικό της καμπύλης. Τώρα, αν ο σωλήνας είναι τετράγωνος, η ίνα θα ακολουθήσει την πιο μακρινή γωνία. Η γωνία αυτή μοιάζει πολύ με το αυλάκι σε σχήμα V αφού η ίνα είναι τοποθετημένη στο τοίχωμα του σωλήνα που έχει σχήμα V. Αυτό ονομάζεται σχέδιο λυγισμένου σωλήνα. Μια μικρή ποσότητα ζελέ με ταιριαστό δείκτη προστίθεται πριν εισαχθούν οι ίνες.

4.6.3 Σωλήνας ακριβείας

Αυτός ο τύπος είναι πολύ απλός. Μια τρύπα, λίγο μεγαλύτερη από τη διάμετρο της ίνας σχηματίζεται σε ένα κομμάτι κεραμικό ή άλλο υλικό. Όταν εισάγουμε ένα κομμάτι γυμνή ίνα από κάθε άκρη, οι δύο ίνες αναγκαστικά ευθυγραμμίζονται όταν συναντιούνται. Οι απώλειες εισαγωγής είναι υψηλότερες από τους άλλους τύπους λόγω της ανοχής της διαμέτρου της τρύπας.

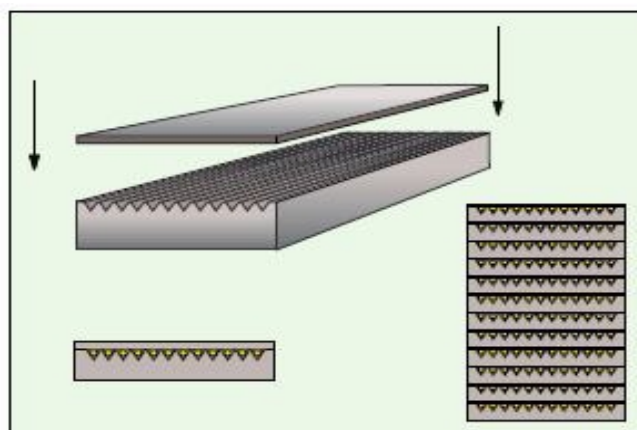


Εικόνα 76 : Οι ίνες πιέζονται από δυο πλευρές

4.6.4 Κολλήσεις κορδελών ινών

Η μηχανική κόλληση καλωδίων που περιέχουν κορδέλες ινών είναι μια αρκετά περίπλοκη διαδικασία. Τα τελειώματα από όλες τις ίνες καθαρίζονται και αφαιρούνται από τα ίδια το πρωτεύον και δευτερεύον κάλυμμα. Στη συνέχεια οι ίνες τοποθετούνται απέναντι, ανάμεσα σε δυο πλάκες σιλικόνης (μια πλάκα έχει αυλακώσεις τύπου V). Στη συνέχεια γεμίζουμε τα κενά με ειδικό έλαιο και οι ίνες πλησιάζουν μεταξύ τους.

Τέλος αφού ολοκληρωθούν οι κολλήσεις, οι πλάκες σιλικόνης τοποθετούνται η μια πάνω στην άλλη (κατά αυτό τον τρόπο μπορούμε να κολλήσουμε μέχρι και 12x12 ίνες).



Εικόνα 77 : Μέθοδος μηχανικής κόλλησης κορδελών ινών



4.7 Οι Διαδικασίες Μηχανικής Συνένωσης

Οι βασικές διαδικασίες για μια μηχανική συνένωση περιγράφονται παρακάτω:

1. Εισάγετε την μηχανική συνένωση μέσα στο εργαλείο συναρμογής συνένωσης, αν χρειάζεται.
2. Σιγουρευτείτε ότι η μηχανική συνένωση είναι στην ανοικτή της θέση.
3. Αν χρειάζεται, σκουπίστε το ζελέ που υπάρχει και καθαρίστε την μόνωση των οπτικών ινών.
4. Απογυμνώστε την μονωτική επικάλυψη από την οπτική ίνα, αν δεν το έχετε κάνει ήδη. Το σωστό μήκος καθορίζεται από την μηχανική συνένωση. Για τα περισσότερα συστατικά συνένωσης το μήκος μόνωσης που πρέπει να αφαιρεθεί είναι 2 ως 5 cm (1 ως 2 in).
5. Διαχωρίστε και τα δύο άκρα των οπτικών ινών στο προκαθορισμένο μήκος με ένα εργαλείο διαχωρισμού.
6. Απορρίψτε όλα τα ρινίσματα ινών, πετώντας τα σε ένα εγκεκριμένο καλάθι απορριμμάτων.
7. Ολισθήστε τα άκρα της οπτικής ίνας μέσα στην μηχανική συνένωση μέχρι να σταματήσουν. Σιγουρευτείτε ότι τα άκρα των οπτικών ινών ακουμπούν μέσα στην συνένωση.
8. Κλείστε τον μηχανισμό συνένωσης.
9. Αφαιρέστε την συνένωση από το εργαλείο συνένωσης.
10. Στερεώστε την συνένωση μέσα στην υποδοχή συνένωσης ακολουθώντας τις οδηγίες του κατασκευαστή.

4.8 Προδιαγραφές ενώσεων

Οι προδιαγραφές δίνουν πληροφορίες για διάφορα πράγματα.

Η διάμετρος τομής και απομονωτή

Η διάμετρος τομής. Συνήθως είναι 125μm για τις περισσότερες ίνες, λίγο περισσότερη ανοχή είναι αποδεκτή στις ελαστομερείς ενώσεις λόγω της ελαστικότητας του υλικού, η διάμετρος του απομονωτή είναι ή 250μm ή 900μm ανάλογα με το αν είναι ο αρχικός ή ο δευτερεύον απομονωτής.

Απώλεια εισαγωγής

Είναι η αναλογία του εισερχόμενου φωτός που ανακλάται και πάλι πίσω στην ίνα. Συνήθως μεταξύ - 40dB και - 60dB. Η χαμηλή απώλεια είναι το αποτέλεσμα της πρόσθεσης του ζελέ με ταιριαστό δείκτη για να μειωθεί η ανάκλαση Fresnel.

Τέντωμα της ίνας

Πόσο μπορούμε να τεντώσουμε την ολοκληρωμένη ένωση μέχρι αυτή να σπάσει; η κατάσταση θραύσης μπορεί να είναι προφανής και καταστροφική καθώς η ίνα στην πραγματικότητα αποσυνδέεται ή οι άκρες της ίνας διαχωρίζονται ελαφρώς, προκαλώντας τεράστια απώλεια κενού, αλλά καμία ορατή ζημιά. Οι τυπικές τιμές είναι γύρω στα 4N αλλά φτάνουν μέχρι και τα 180N όταν εφαρμόσουμε το σωστό εξωτερικό προστατευτικό κάλυμμα.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : Συνδετήρες, προσαρμογείς και συζεύκτες

Εισαγωγή

Αυτό το κεφάλαιο πραγματεύεται τους Συνδετήρες – Προσαρμογείς και Συζεύκτες των οπτικών ινών. Αρχικά γίνεται αναφορά στους τύπους και στις προδιαγραφές των Συνδετήρων-Προσαρμογών καθώς και στις μεθόδους τοποθέτησης των συνδετήρων στην οπτική ίνα. Έπειτα γίνεται αναφορά στους συζεύκτες, στην αναγκαιότητα χρήσης τους, στους τύπους συζευκτών, καθώς και στους τρόπους κατασκευής τους. Τέλος αναφέρονται τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της χρήσης των συζευκτών.

5.1 Οι συνδετήρες

Οι συνδετήρες (connectors) και οι προσαρμογείς (adapters) είναι τα βύσματα και οι υποδοχές σε ένα σύστημα οπτικών ινών. Οι σύνδεσμοι (connectors) είναι εξαρτήματα για την επαναλαμβανόμενη σύνδεση και αποσύνδεση μιας οπτικής ίνας στην πηγή οπτικού σήματος, τον φωτοανιχνευτή ή με μια άλλη ίνα.

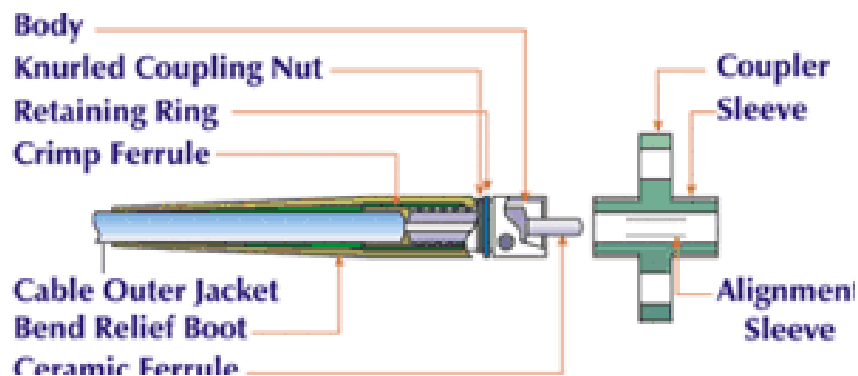
Οι συνδετήρες είναι πιο δύσκολο να σχεδιαστούν σε σύγκριση με τις μηχανικές ενώσεις. Αυτό οφείλεται στην επιπρόσθετη ανάγκη να απομακρυνθούν και να αντικατασταθούν πολλές φορές. Άλλο είναι να βρεις τρόπο να ευθυγραμμίσεις δύο ίνες, και κάτι άλλο αν οι ίνες πρέπει να αποσυνδεθούν και να ανασυνδεθούν χίλιες φορές και να συνεχίζουν να λειτουργούν καλά.

Αν δύο ίνες πρόκειται να συνδεθούν, κάθε ίνα έχει προσαρμοσμένο έναν συνδετήρα και συνδέεται σε έναν προσαρμογέα. Ο προσαρμογέας βασικά είναι ένας σωλήνας στον οποίο εισέρχονται οι δύο συνδετήρες. Τους κρατά ευθυγραμμισμένους και οι συνδετήρες σταθεροποιούνται στον προσαρμογέα για να παρέχουν μηχανική υποστήριξη [15].

Η σχεδίαση των συνδετήρων έγινε με βάση εκείνους που χρησιμοποιούνται για τα ομοαξονικά χάλκινα καλώδια, και συνήθως οι κατασκευαστές τους προσαρμόζουν σε μερικά μέτρα ίνας που ονομάζεται σπειροειδής σύνδεσμος (pigtail). **Τερματισμός οπτικών ινών** είναι η διαδικασία σύνδεσης ενός συνδέσμου οπτικών ινών σε μια οπτική ίνα και η κατόπιν στίλβωση της οπτικής ίνας.

Είναι καλό να προσαρμόζεται ο συνδετήρας στο εργοστάσιο, αφού έτσι γλιτώνουμε χρόνο και έχουμε υψηλά στάνταρ απόδοσης. Όταν αγοράζουμε έναν συνδετήρα, πάντα συνοδεύεται από ένα πλαστικό κάλυμμα για τη σκόνη που προστατεύει την άκρη της οπτικής ίνας. Είναι πολύ κακό να αφήσετε τις ίνες εκτεθειμένες χωρίς τα καλύμματα αυτά. Πριν δούμε με λεπτομέρειες τα διάφορα είδη συνδετήρων, θα δούμε τις κύριες παραμέτρους που καλύπτονται στις προδιαγραφές τους για να μπορούμε να καταλάβουμε τα δεδομένα των κατασκευαστών.

Τα μέρη από τα οποία αποτελείται ένας οπτικός σύνδεσμος περιγράφονται στο ακόλουθο σχήμα :



Εικόνα 78 : Τα μέρη ενός οπτικού σύνδεσμου



Υπάρχουν ωστόσο τόσο διαφορετικοί τύποι συνδέσμων οπτικών ινών όσες και οι εφαρμογές για τις οποίες έχουν σχεδιασθεί. Διαφορετικοί τύποι συνδέσμων έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά, διαφορετικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και διαφορετικά χαρακτηριστικά απόδοσης. Παρ' όλα αυτά όλοι οι σύνδεσμοι έχουν 4 όμοια βασικά στοιχεία :

1. Ο μεταλλικός κρίκος (Ferrule)

Η ίνα τοποθετείται σε ένα μακρύ, λεπτό κύλινδρο, το μεταλλικό κρίκο (ferrule), ο οποίος ουσιαστικά είναι ένας μηχανισμός ευθυγράμμισης ινών. Το ferrule είναι τρυπημένο στο κέντρο σε μια διάμετρο λίγο μεγαλύτερη από τη διάμετρο του μανδύα των ινών. Η άκρη της ίνας τοποθετείται στο τέλος του ferrule. Τα ferrules κατασκευάζονται από μεταλλικό ή κεραμικό υλικό αλλά μπορούν επίσης να κατασκευασθούν και από πλαστικό.

2. Το σώμα του συνδέσμου

Επίσης καλείται και προστατευτικό κάλυμμα του συνδέσμου (connector housing). Το σώμα του συνδέσμου κρατά (στηρίζει) το ferrule. Συνήθως κατασκευάζεται από μέταλλο ή πλαστικό και περιέχει ένα ή περισσότερα συναρμολογημένα κομμάτια που κρατούν την ίνα στην θέση της. Οι λεπτομέρειες αυτών των συναρμολογημένων κομματιών διαφέρουν μεταξύ των συνδέσμων, αλλά η συγκόλληση και η πτύχωση (τσάκισμα – πρεσάρισμα) χρησιμοποιούνται συνήθως για να συνδέσουν γερά κάποια κομμάτια και το περίβλημα του καλωδίου στο σώμα του συνδέσμου. Το ferrule εκτείνεται πέραν του σώματος του συνδέσμου για να εισέλθει στη συσκευή σύζευξης.

3. Το καλώδιο

Το καλώδιο συνδέεται στο σώμα του συνδέσμου. Ενεργεί ως το σημείο εισόδου για την ίνα. Τυπικά ένα σφιχτό ενισχυμένο κομμάτι (strain-relief boot) τοποθετείται εξωτερικά στην σύνδεση μεταξύ του καλωδίου και του συνδέσμου, παρέχοντας έτσι καλύτερη σταθερότητα στην ένωση.

4. Η συσκευή σύζευξης

Οι περισσότεροι σύνδεσμοι οπτικών ινών δεν χρησιμοποιούν την αρσενική – θηλυκή (male -female) διαμόρφωση που είναι κοινή στους ηλεκτρονικούς συνδέσμους. Αντ' αυτού χρησιμοποιείται μια συσκευή σύζευξης, όπως ένα κυλινδρικό εξάρτημα (θήκη) ευθυγράμμισης, για να «ζευγαρώσει» τους συνδέσμους. Παρόμοιες συσκευές μπορούν να εγκατασταθούν σε πομπούς οπτικών ινών και δέκτες για να επιτρέψουν αυτές τις συσκευές να ζευγαρωθούν μέσω ενός συνδέσμου. Αυτές οι συσκευές είναι επίσης γνωστές ως feed-through bulkhead διατάξεις προσαρμογής.

5.1.1 Η απαιτούμενη προσοχή και ο σωστός χειρισμός των συνδέσμων οπτικών ινών

Διάφορα γεγονότα μπορούν να καταστρέψουν τους συνδέσμους. Απροστάτευτες άκρες συνδέσμων μπορεί να πάθουν ζημιά από κάποια «σύγκρουση», από αιωρούμενα σωματίδια σκόνης ή από υπερβολική υγρασία. Οι περισσότεροι κατασκευαστές παρέχουν μαζί με τους συνδέσμους και κάποια προστατευτικά καλύμματα. Τα καλύτερα προστατευτικά καλύπτουν ολόκληρο τον σύνδεσμο, αλλά συνήθως είναι πλαστικοί σωλήνες κλειστοί από την μια άκρη που εφαρμόζουν μόνο στο ferrule.

Η αυξημένη οπτική ισχύς εξόδου των σύγχρονων laser έχει την δυνατότητα να καταστρέψει ένα σύνδεσμο, ένας συχνά αγνοημένος παράγοντας στις συζητήσεις για το χειρισμό και τη φροντίδα των οπτικών ινών και των συνδέσμων. Οι περισσότεροι σχεδιαστές τείνουν να θεωρούν τα επίπεδα ισχύος στις οπτικές ίνες ως σχετικά ασήμαντα για την πρόκληση σωματικών βλαβών. Παρ' όλα αυτά μερικά mill watts στα 850nm μπορούν να προκαλέσουν μόνιμη ζημιά στο αμφιβληστροειδή χιτώνα του ματιού. Σήμερα, οι οπτικοί ενισχυτές μπορούν να παράγουν οπτική ισχύ 1 Watt σε μια μονότροπη ίνα. Αυτό είναι αρκετά σημαντικό αν σκεφτεί κανείς ότι αυτή η οπτική ισχύς περιορίζεται στον πυρήνα της οπτικής ίνας που έχει διάμετρο μόνο μερικά μικρόμετρα. Οι πυκνότητες ισχύος σε μια



μονότροπη ίνα που φέρει οπτική ισχύ 1 Watt (+30dBm) μπορεί να φτάσουν τα 3Megawatt/cm ή ακόμα και τα 30Gigawatt/m². Για να το ερμηνεύσουμε σε καθημερινούς όρους, το φως του ηλίου στην επιφάνεια της Γης έχει πυκνότητα ισχύος περίπου 1000Watt/m². Τα περισσότερα οργανικά υλικά θα καούν εάν εκτεθούν σε ακτινοβολίες ενέργειας 100Kilowatt/m². Σαφώς οι πυκνότητες ισχύος της τάξης των 30Gigawatt/m² αξίζουν προσοχής. Ακολουθώντας βλέπουμε 3 βασικά στοιχεία που σχετίζονται με το χειρισμό του συνδέσμου.

1. Ποτέ δεν πρέπει να ακουμπάμε την άκρη του οπτικού συνδέσμου.
2. Σύνδεσμοι που δεν χρησιμοποιούνται πρέπει να καλύπτονται με ένα πλαστικό κάλυμμα. Είναι σημαντικό να σημειώσουμε ότι στο εσωτερικό του καλύμματος υπάρχει μια κολλώδη ουσία (υπόλειμμα) που είναι υποπροϊόν του υλικού από το οποίο είναι φτιαγμένο το κάλυμμα. Αυτή η ουσία (υπόλειμμα) θα παραμείνει στο ferrule μετά τη μετακίνηση του καλύμματος.
3. Η χρήση ή όχι index-matching gel, μια ζελατινώδης ουσίας που έχει δείκτη διάθλασης σχετικά ίδιο με αυτό της οπτικής ίνας, είναι ένα σημείο διαμάχης μεταξύ των κατασκευαστών συνδέσμων. Η γλυκερίνη που είναι διαθέσιμη σε οποιοδήποτε φαρμακείο, είναι ένα χαμηλού κόστους, αποτελεσματικό index-matching gel. Παρ' όλα αυτά το index-matching gel μπορεί να μαζέψει σκόνη ή σωματίδια που μπορεί να καταστρέψουν την άκρη της ίνας. Επίσης μπορεί το index-matching gel να διαρρεύσει με το πέρασμα του χρόνου, προκαλώντας έτσι την αύξηση του back reflection.

5.1.2 Καθαρισμός

Ένα ακόμα σημαντικό πράγμα που πρέπει να θυμόμαστε για το χειρισμό των συνδέσμων οπτικών ινών είναι ότι η άκρη της ίνας και το ferrule πρέπει να είναι απολύτως καθαρά πριν τοποθετηθεί σε ένα πομπό ή ένα δέκτη. Σκόνη, χνούδι, λάδι ή άλλα ξένα σωματίδια καλύπτουν την άκρη της ίνας, περιορίζοντας την ακεραιότητα του οπτικού σήματος που στέλνεται μέσω της ίνας. Από την μεριά του οπτικού σήματος, οι βρώμικες συνδέσεις είναι όπως τα βρώμικα παράθυρα. Λιγότερο φως περνά από ένα βρώμικο από ότι από ένα καθαρό.

Είναι δύσκολο να αντιληφθεί κανείς το μέγεθος του πυρήνα ενός συνδέσμου οπτικών ινών. Μονότροπες ίνες έχουν πυρήνες με διάμετρο 8 -9μm. Σαν σημείο αναφοράς μια ανθρώπινη τρίχα έχει διάμετρο 50- 75μm, περίπου 6 - 9 φορές μεγαλύτερη! Τα σωματίδια σκόνης μπορεί να έχουν διάμετρο 20μm ή και μεγαλύτερη. Μόρια σκόνης μικρότερα από 1μm μπορούν να αιωρούνται στον αέρα. Ένα σωματίδιο σκόνης του 1μm που θα «προσγειωθεί» στον πυρήνα μιας μονότροπης ίνας μπορεί να προκαλέσει απώλειες μέχρι και 1dB. Μεγαλύτερα μόρια σκόνης (9μm ή και μεγαλύτερα) μπορούν να καλύψουν τελείως τον πυρήνα μιας μονότροπης ίνας. Οι σύνδεσμοι οπτικών ινών χρειάζεται να καθαρίζονται κάθε φορά που συνδέονται και αποσυνδέονται. Επίσης πολλά από τα προστατευτικά καλύμματα των συνδέσμων περιέχουν κάποια jelly ουσία που παραμένει στο ferrule όταν αυτό αφαιρεθεί. Ένα φύσημα με αέρα ή ένα γρήγορο βούτηγμα σε οινόπνευμα δεν θα απομακρύνει αυτό το υπόλειμμα. Αυτό το υπόλειμμα μπορεί να αναμιχθεί με τους κοινούς ρύπους και να δημιουργηθεί έτσι μια κολλώδη βρωμιά η οποία προκαλεί το σφήνωμα (κόλυμα) του ferrule στη συνδεδεμένη διάταξη προσαρμογής. Συχνά, το σφηνωμένο ferrule κόβεται στην προσπάθεια κάποιου να το αποσυνδέσει. Το ηθικό δίδαγμα είναι ότι πρέπει πάντοτε ο σύνδεσμος να καθαρίζεται πριν συνδεθεί, ακόμα και αν είχε καθαριστεί πριν τοποθετηθεί το προστατευτικό κάλυμμα.

5.1.3 Η τοποθέτηση συνδέσμων οπτικών ινών

Οι ακριβείς μέθοδοι για τοποθέτηση ενός συνδέσμου οπτικών ινών σε ένα καλώδιο οπτικών ινών θα διαφέρουν ανάλογα με τον τύπο συνδέσμου που επιλέγεται. Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες για τοποθέτηση συνδέσμων οπτικών ινών.

- **Εποξική :** Αυτή η μέθοδος περιλαμβάνει την χρήση μιας εποξικής κόλλας για σύνδεση των συνδέσμων οπτικών ινών σε καλώδια οπτικών ινών.



- **Μη εποξική :** Αυτή η μέθοδος περιλαμβάνει την χρήση μιας διαδικασίας σύσφιξης για σύνδεση των συνδέσμων οπτικών ινών σε καλώδια οπτικών ινών.

Οι εποξικές μέθοδοι τοποθέτησης συνδέσμων οπτικών ινών θεωρούνται παραδοσιακά πιο αξιόπιστες και πιο μακρόβιες από τις μη εποξικές μεθόδους. Πρόσφατα, οι μη εποξικές μέθοδοι τοποθέτησης συνδέσμων οπτικών ινών έχουν βελτιωθεί σημαντικά. Οι μη εποξικές μέθοδοι τοποθέτησης συνδέσμων θεωρούνται τώρα από πολλούς επαγγελματίες καλωδιώσεων εξίσου αξιόπιστες με τις εποξικές μεθόδους τοποθέτησης.

Ένα δεύτερο στοιχείο που πρέπει να λάβετε υπόψη σας όταν εγκαθιστάτε συνδέσμους οπτικών ινών είναι το αν ο σύνδεσμος οπτικών ινών πρέπει να στιλβωθεί μετά την σύνδεση του στην οπτική ίνα. Οι σύνδεσμοι οπτικών ινών κατατάσσονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- **Στιλβωμένοι**
- **Αστίλβωτοι**

Οι περισσότεροι σύνδεσμοι οπτικών ινών πρέπει να στιλβωθούν μετά την σύνδεση τους στην οπτική ίνα. Στην πραγματικότητα, κάθε τύπος σύνδεσμος οπτικής ίνας που συνδέεται με εποξική κόλλα χρειάζεται στιλβωση. Ορισμένοι μη εποξικοί σύνδεσμοι οπτικών ινών πρέπει να στιλβωθούν αφού τερματιστούν. Άλλοι τύποι μη εποξικών συνδέσμων έχουν ένα εκ των προτέρων στιλβωμένο ακροδέκτη. Αυτοί οι σύνδεσμοι οπτικών ινών δεν χρειάζεται να στιλβωθούν μετά την σύνδεση τους στο καλώδιο οπτικών ινών.

5.2 Οι εποξικοί σύνδεσμοι

Ο όρος εποξικός σύνδεσμος χρησιμοποιείται για να περιγράψει συνδέσμους οπτικών ινών που συνδέονται σε καλώδια οπτικών ινών με μια κόλλα. Η κόλλα θα συγκρατεί την οπτική ίνα μέσα στον σύνδεσμο οπτικής ίνας. Αυτό στερεώνει τον σύνδεσμο οπτικής ίνας στην γυάλινη οπτική ίνα. Το σώμα του συνδέσμου συνδέεται κατόπιν στα ανθεκτικά μέλη μέσα στο καλώδιο οπτικών ινών, για να ολοκληρωθεί η εγκατάσταση.

Υπάρχουν πολλές μέθοδοι για χρήση κόλλας για την σύνδεση συνδέσμων οπτικών ινών. Αυτές οι μέθοδοι διαφέρουν ανάλογα με το πώς εφαρμόζεται η κόλλα στον σύνδεσμο και το πώς ξεραίνεται η κόλλα. Η παραδοσιακή μέθοδος για εφαρμογή κόλλας σε ένα σύνδεσμο οπτικών ινών είναι με έγχυση της εποξικής κόλλας στον σύνδεσμο οπτικών ινών με μια σύριγγα. Αυτή η μέθοδος μπορεί να απαιτεί ανάμιξη της εποξικής κόλλας, γέμισμα της σύριγγας με την εποξική κόλλα και έγχυσή της μέσα σε ένα σύνδεσμο οπτικών ινών. Διάφοροι, έχουν απλοποιήσει την διαδικασία εφαρμογής εποξικής κόλλας. π.χ., υπάρχουν ορισμένοι σύνδεσμοι στους οποίους η κόλλα έχει τοποθετηθεί εκ των προτέρων μέσα στο σώμα του συνδέσμου οπτικών ινών. Η εποξική κόλλα παραμένει αδρανής μέσα στον σύνδεσμο μέχρι να ενεργοποιηθεί με θερμότητα ή με ένα υγρό καταλύτη.

Όλοι οι εποξικοί σύνδεσμοι πρέπει να στιλβωθούν μετά την ξήρανση της εποξικής κόλλας. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται από κατασκευαστές συνδέσμων οπτικών ινών για τη ξήρανση της εποξικής κόλλας συνδέσμων οπτικών ινών. Οι κατασκευαστές συνδέσμων οπτικών ινών προσπαθούν πάντα να κατασκευάζουν συνδέσμους, οι οποίοι είναι εύκολοι στον χειρισμό και χρειάζονται λιγότερο χρόνο να εγκατασταθούν. Οι συνηθέστερες μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για ξήρανση εποξικών κολλών περιλαμβάνουν τις εξής:

- **Ξήρανση με αέρα:** Αυτή είναι μια παλιά μέθοδος που επιτρέπει στην εποξική κόλλα να στεγνώσει μόνη της. Η ξήρανση θα χρειαστεί 12 με 24 ώρες.
- **Ξήρανση με υπεριώδη φωτισμό:** Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί υπεριώδη φωτισμό για να ξηράνει εποξική κόλλα.



- **Ξήρανση με θερμότητα:** Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί ένα φούρνο για θέρμανση της εποξικής κόλλας μέσα στον σύνδεσμο οπτικής ίνας. Ο σύνδεσμος κρυνώνει για να στερεωθεί η κόλλα.
- **Αναερόβια ξήρανση:** Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί μια χημική αντίδραση για να ξηράνει την εποξική κόλλα.

1. Συνδέσεις ξήρανσης με τον αέρα

Η μέθοδος ξήρανσης με τον αέρα είναι η παραδοσιακή μέθοδος ξήρανσης της κόλλας. Η κόλλα προστίθεται σε ένα σύνδεσμο ή σε μια ομάδα συνδέσμων και μετά αφήνεται να ξηραθεί χωρίς να χρησιμοποιείται κάποια ειδική διάταξη. Αυτή η μέθοδος συνήθως χρειάζεται 12 ως 24 ώρες για να ξηραθεί η κόλλα τελείως.

Οι μέθοδοι ξήρανσης με τον αέρα χρειάζονται τουλάχιστον δύο ημέρες για να ολοκληρωθούν οι τερματισμοί οπτικής ίνας. Η πρώτη μέρα χρησιμοποιείται για προσθήκη της κόλλας σε όλους τους συνδέσμους οπτικών ινών που πρόκειται να τερματιστούν. Οι τεχνικοί καλωδιώσεων πρέπει να αφήσουν τους συνδέσμους να στεγνώσουν για τουλάχιστον μια ημέρα. Κατόπιν επιστρέφουν την δεύτερη μέρα για να στιλβώσουν τους συνδέσμους και να ολοκληρώσουν τον τερματισμό [16].

2. Ξήρανση κόλλας με υπεριώδη φωτισμό

Οι εποξικοί σύνδεσμοι υπεριώδους φωτισμού κατασκευάστηκαν για να μειώσουν τον χρόνο που απαιτείται για ξήρανση της κόλλας των συνδέσμων οπτικών ινών. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί ένα υπεριώδη φωτισμό για να ξηράνει την εποξική κόλλα μέσα στους συνδέσμους οπτικών ινών. Πολλοί σύνδεσμοι ξήρανσης με υπεριώδη φωτισμό χρησιμοποιούν ένα γυαλί που εισάγεται μέσα στον σύνδεσμο οπτικών ινών. Αυτό το γυαλί διαχέει το υπεριώδες φως και ξηραίνει την κόλλα μέσα σε όλο τον περιέσμο του συνδέσμου οπτικών ινών. Με αυτό τον τρόπο η κόλλα ξηραίνεται γρήγορα. Ο συνολικός χρόνος που πρέπει να μείνει ο σύνδεσμος κάτω από μια λάμπα υπεριώδους φωτισμού είναι ένα λεπτό.

Οι εποξικές συνδέσεις με υπεριώδη φωτισμό επιτρέπουν τον τερματισμό μιας ομάδας συνδέσμων και την στιλβωση τους μέσα σε μια μέρα. Η εποξική κόλλα μπορεί να εισαχθεί μέσα στον σύνδεσμο οπτικών ινών και να ξηραθεί σε 5 με 15 λεπτά. Αφού ξηραθεί πλήρως η κόλλα, η οπτική ίνα που συνδέθηκε μπορεί να στιλβωθεί.

3. Σύνδεσμοι ξήρανσης με θερμότητα

Οι σύνδεσμοι οπτικών ινών ξήρανσης με θερμότητα είναι παρόμοιοι με τους εποξικούς συνδέσμους υπεριώδους φωτισμού. Οι σύνδεσμοι ξήρανσης με θερμότητα έχουν μια εποξική κόλλα μέσα στο σώμα του συνδέσμου οπτικών ινών. Ο πιο δημοφιλής σύνδεσμος οπτικών ινών αυτού του τύπου είναι ο σύνδεσμος σύντηξης με θερμότητα. Ο σύνδεσμος σύντηξης με θερμότητα έχει πάρει το όνομα του από το γεγονός ότι η εποξική κόλλα ενεργοποιείται όταν ο σύνδεσμος εισάγεται μέσα σε ένα φούρνο και εκτίθεται στην θερμότητα.

Ένας σύνδεσμος σύντηξης με θερμότητα συνδέεται σε ένα καλώδιο οπτικών ινών εισάγοντας πρώτα το απογυμνωμένο άκρο ενός καλωδίου οπτικών ινών μέσα στον σύνδεσμο. Ο σύνδεσμος σύντηξης με θερμότητα εισάγεται κατόπιν μέσα σε ένα φούρνο. Ο φούρνος θερμαίνει και ενεργοποιεί την κόλλα. Μετά από μερικά λεπτά, ο σύνδεσμος βγαίνει από τον φούρνο και κρυνώνει. Η κόλλα θα ξεραθεί και θα στερεωθεί κατά την φάση του κρυνώματος. Αφού κρυνώσει ο σύνδεσμος, είναι έτοιμος για στιλβωση. Ο συνολικός χρόνος που απαιτείται για να γίνει ένας τερματισμός σύντηξης με θερμότητα είναι περίπου 20 λεπτά στους 100°C.

4. Σύνδεσμοι αναερόβιας κόλλας

Οι σύνδεσμοι οπτικών ινών αναερόβιας κόλλας είναι παρόμοιοι με τους συνδέσμους οπτικών ινών σύντηξης με θερμότητα. Αυτός ο τύπος σύνδεσμου οπτικών ινών έχει μια κόλλα ταχείας πήξης μέσα στο σώμα του συνδέσμου. Η κόλλα ενεργοποιείται, με την προσθήκη ενός στοιχείου ξήρανσης. Το στοιχείο ξήρανσης κάνει μια χημική αντίδραση για να ξηράνει την κόλλα που βρίσκεται μέσα στον σύνδεσμο. Η κόλλα αυτού του τύπου συνδέσμου οπτικών ινών θα ξεραθεί πολύ γρήγορα, επειδή η διαδικασία ξήρανσης βασίζεται στην χημική αντίδραση και όχι στην ξήρανση με τον αέρα. Αυτό μειώνει σημαντικά τον χρόνο ξήρανσης σε σύγκριση με τις μεθόδους ξήρανσης με τον αέρα.



Ένας σύνδεσμος αναερόβιας κόλλας συνδέεται σε ένα καλώδιο οπτικών ινών εισάγοντας πρώτα το απογυμνωμένο άκρο ενός καλωδίου οπτικών ινών μέσα στον σύνδεσμο. Το στοιχείο ξήρανσης προστίθεται κατόπιν στον σύνδεσμο. Αυτό ενεργοποιεί την κόλλα και εκκινεί την διαδικασία ξήρανσης. Η κόλλα θα χρειαστεί περίπου 2 με 3 λεπτά για να ξεραθεί και να πήξει πλήρως. Όταν ξεραθεί η κόλλα, ο σύνδεσμος είναι έτοιμος για στίλβωση. Ο συνολικός χρόνος για να κάνετε ένα αναερόβιο τερματισμό είναι περίπου 3 με 5 λεπτά.

5.3 Οι μη Εποξικοί σύνδεσμοι

Η δεύτερη κατηγορία συνδέσμων οπτικών ινών είναι ο μη εποξικός σύνδεσμος. Αυτός ο τύπος συνδέσμου οπτικών ινών δεν χρησιμοποιεί κόλλα για να συνδέσει τον σύνδεσμο οπτικών ινών στην οπτική ίνα. Ο σύνδεσμος οπτικών ινών σφίγγεται στο καλώδιο οπτικών ινών και συγκρατείται στην θέση του με εξειδικευμένα συστατικά που βρίσκονται μέσα στον οπτικό σύνδεσμο και με ένα σφικτήρα.

Ο μη εποξικός τύπος συνδέσμου οπτικών ινών δημιουργήθηκε για να μειώσει τον χρόνο σύνδεσης του συνδέσμου οπτικών ινών, που απαιτείται όταν χρησιμοποιούνται κόλλες. Η διαδικασία ανάμιξης και προσθήκης κόλλας για να γίνει ένας τερματισμός οπτικών ινών είναι πολύ χρονοβόρα. Μια μέθοδος τερματισμού με σύσφιξη μειώνει την ανάγκη να χρησιμοποιείτε κόλλες κατά την διαδικασία τερματισμού.

Οι τερματισμοί με μη εποξικούς συνδέσμους οπτικών ινών κατατάσσονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- **Μη εποξικός, με στίλβωση:** Αυτός ο τύπος συνδέσμου απαιτεί να γίνει στίλβωση μετά την σύνδεση του συνδέσμου στο καλώδιο οπτικών ινών.
- **Μη εποξικός, χωρίς στίλβωση:** Αυτός ο τύπος συνδέσμου δεν απαιτεί να γίνει στίλβωση μετά την σύνδεση του συνδέσμου στο καλώδιο οπτικών ινών.

1. Μη Εποξικοί, Με Στίλβωση Σύνδεσμοι

Οι μη εποξικοί, με στίλβωση σύνδεσμοι είναι παρόμοιοι με τους εποξικούς συνδέσμους. Αυτοί οι σύνδεσμοι οπτικών ινών πρέπει να στυλβωθούν μετά την σύνδεση του συνδέσμου στο καλώδιο οπτικών ινών. Το καλώδιο οπτικών ινών απογυμνώνεται και μετά εισάγεται μέσα στον σύνδεσμο οπτικών ινών. Ο σύνδεσμος οπτικών ινών συνδέεται στο καλώδιο οπτικών ινών χρησιμοποιώντας μια απλή διαδικασία σύσφιξης. Μετά την σύνδεση του συνδέσμου στην οπτική ίνα, ο σύνδεσμος πρέπει να στυλβωθεί χρησιμοποιώντας μια πρότυπη διαδικασία στίλβωσης.

Οι μη εποξικοί σύνδεσμοι οπτικών ινών είναι πιο ακριβοί από τους εποξικούς συνδέσμους. Αυτός ο τύπος συνδέσμου προτιμάται από ορισμένους κατασκευαστές, επειδή εξοικονομούν χρόνο κατά την σύνδεση των συνδέσμων στο καλώδιο οπτικών ινών. Αυτοί οι σύνδεσμοι μπορούν να εξοικονομήσουν χρήματα σε ένα έργο εγκατάστασης καλωδίων, το οποίο απαιτεί εκατοντάδες τερματισμούς.

2. Μη Εποξικοί, Χωρίς Στίλβωση Σύνδεσμοι

Οι μη εποξικοί, χωρίς στίλβωση σύνδεσμοι είναι μια σχετικά νέα τεχνολογία. Αυτοί οι σύνδεσμοι οπτικών ινών έχουν ένα μικρό τελείωμα οπτικής ίνας στον ακροδέκτη του συνδέσμου οπτικών ινών. Ο ακροδέκτης του συνδέσμου στυλβώνεται στο εργοστάσιο. Αυτός ο τύπος συνδέσμου απαιτεί το καλώδιο οπτικών ινών να έχει διαχωριστεί σωστά. Η διαδικασία διαχωρισμού δημιουργεί μια κάθετη επιφάνεια στην οπτική ίνα. Η διαχωρισμένη οπτική ίνα εισάγεται κατόπιν στο πίσω μέρος του συνδέσμου μέχρι να βρει το τελείωμα οπτικής ίνας που είναι εγκαταστημένο στον ακροδέκτη του συνδέσμου.

Πολλοί νέοι μη εποξικοί σύνδεσμοι οπτικών ινών έχουν αυτή την σχεδίαση. Αυτός ο τύπος συνδέσμου μειώνει σημαντικά τον χρόνο για εγκατάσταση συνδέσμων οπτικών ινών. Αυτός ο τύπος συνδέσμου κοστίζει περισσότερο από τους παραδοσιακούς συνδέσμους οπτικών ινών που απαιτούν



στίλβωση. Αλλά όμως, το υψηλότερο κόστος του υλικού αντισταθμίζεται από την εξοικονόμηση που έχετε, επειδή δεν χρειάζεται να στίλβώνετε τους συνδέσμους που απαιτούνται για όλο το έργο καλωδίωσης.

5.4 Η στίλβωση συνδέσμων οπτικών ινών

Η στίλβωση του άκρου ενός συνδέσμου οπτικών ινών είναι το τελευταίο βήμα στην διαδικασία σύνδεσης της οπτικής ίνας. Η στίλβωση του συνδέσμου οπτικής ίνας εξυπηρετεί δύο σημαντικές λειτουργίες:

- Τρίβει το άκρο του συνδέσμου μέχρι να πάρει μια συγκεκριμένη διάσταση.
- Δημιουργεί ένα ομαλό και κάθετο τελείωμα.

Οι εποξικοί και ορισμένοι μη εποξικοί σύνδεσμοι οπτικών ινών χρειάζονται στίλβωση, πριν να χρησιμοποιηθούν. Η διαδικασία τερματισμού συνδέσμου οπτικής ίνας αφήνει ένα μικρό κομμάτι οπτικής ίνας να προεξέχει από το άκρο. Αυτό το άκρο πρέπει να αφαιρεθεί με ένα εργαλείο κοπής. Το άκρο της ίνας πρέπει να στίλβωθεί για να δημιουργήσει μια ομαλή επιφάνεια.

5.4.1 Τα βήματα για στίλβωση ενός συνδέσμου

Τα βήματα για στίλβωση ενός συνδέσμου οπτικής ίνας είναι τα εξής:

1. Τρίψτε το άκρο του συνδέσμου σε ένα χαρτί στίλβωσης 5 μικρών, που του έχετε δώσει σχήμα U για να αφαιρέσετε το εξόγκωμα της ίνας. Κάντε ένα κύκλο 25mm στην πλευρά στίλβωσης του χαρτιού στίλβωσης. Σταματήστε όταν το εξόγκωμα της ίνας δεν ξύνει πλέον το χαρτί στίλβωσης.
2. Τοποθετήστε ένα κομμάτι 3 μικρών του χαρτιού στίλβωσης, στην επιφάνεια στίλβωσης του γυαλιού.
3. Βάλτε νερό στο χαρτί στίλβωσης σε διάμετρο περίπου 25mm και βρέξτε όλη την επιφάνεια στίλβωσης με ένα δίσκο στίλβωσης.
4. Ελέγξτε το άκρο του συνδέσμου για να δείτε αν υπάρχει κάποιος κόμπος κόλλας. Αν υπάρχει, προχωρήστε στο βήμα 5. Αν δεν υπάρχει πηγαίνετε στο βήμα 7.
5. Εισάγετε τον σύνδεσμο μέσα στον δίσκο στίλβωσης, επάνω στο χαρτί στίλβωσης των 3 μικρών.
6. Κάντε μια ή δύο κινήσεις σε οκτάρια στο χαρτί στίλβωσης των 3 μικρών, πιέζοντας απαλά προς τα κάτω. Ελέγξτε το άκρο του συνδέσμου μετά από κάθε κίνηση οκταριού για να σιγουρευτείτε ότι ο κόμπος της κόλλας έχει εξαφανιστεί. Όταν εξαφανιστεί ο κόμπος, αφαιρέστε τον σύνδεσμο από τον δίσκο στίλβωσης και καθαρίστε το άκρο του συνδέσμου με ένα καθαρό, στεγνό μαντηλάκι.
7. Τοποθετήστε ένα χαρτί στίλβωσης 1 μικρού, στην επιφάνεια στίλβωσης του γυαλιού.
8. Βάλτε νερό στο χαρτί στίλβωσης σε διάμετρο περίπου 25mm και βρέξτε όλη την επιφάνεια στίλβωσης με ένα δεύτερο δίσκο στίλβωσης.
9. Κάντε οκτώ με δέκα κινήσεις σε οκτάρια στο χαρτί στίλβωσης, πιέζοντας απαλά.
10. Αφαιρέστε τον σύνδεσμο από τον δίσκο στίλβωσης και καθαρίστε το άκρο του συνδέσμου με ένα εμποτισμένο σε οινόπνευμα μαντηλάκι, χωρίς χνουδί.
11. Τοποθετήστε το κάλυμμα επάνω στον σύνδεσμο οπτικής ίνας για να αποτρέψετε την εισαγωγή σκόνης.

5.4.2 Οι προκατασκευασμένες συνενώσεις



Το όνομα που δίνεται στις προκατασκευασμένες συνενώσεις είναι *rigtails*. Αυτά τα καλώδια έχουν ένα σύνδεσμο οπτικών ινών εγκαταστημένο στο ένα άκρο και μια γυμνή οπτική ίνα στο άλλο άκρο του καλωδίου. Οι σύνδεσμοι οπτικών ινών σε αυτά τα καλώδια εγκαθίστανται και σπλιβώνονται στο εργοστάσιο. Τα καλώδια αυτά συνενώνονται στα άκρα ενός καλωδίου οπτικών ινών χαλαρής σύνδεσης [17].

Τα καλώδια με προκατασκευασμένες συνενώσεις είναι μια εναλλακτική λύση αντί της χρήσης ενός κιτ σύνδεσης, για τερματισμό καλωδίων οπτικών ινών χαλαρής μόνωσης. Τα καλώδια με την χαλαρή σύνδεση απογυμνώνονται και καθαρίζονται με τις ίδιες διαδικασίες με αυτές που περιγράψαμε για την χρήση ενός κιτ σύνδεσης. Τα καλώδια με προκατασκευασμένες συνενώσεις συνενώνονται στα άκρα των καθαρισμένων οπτικών ινών. Αφού οι οπτικές ίνες συνενωθούν με τις προκατασκευασμένες συνενώσεις, οι οπτικές ίνες μπορούν να συνδεθούν σε ένα καταναλωτή οπτικών ινών.

5.5 Οι παράμετροι των συνδετήρων

5.5.1 Η απώλεια εισαγωγής

Είναι η πιο σημαντική μέτρηση της απόδοσης ενός συνδετήρα. Φανταστείτε ότι έχουμε ένα κομμάτι ίνα που έχει σπάσει και επανασυνδέεται με δύο συνδετήρες και έναν προσαρμογέα στη σειρά. Αν μετρήσουμε την απώλεια του συστήματος και βρούμε ότι ξεπερνά τα 0,4dB αυτή είναι η τιμή της απώλειας εισαγωγής. Είναι η απώλεια που προκαλείται από την εισαγωγή ενός συνδεδεμένου ζευγαριού συνδετήρων σε μια ίνα. Προσέξτε να βεβαιωθείτε αν η απώλεια αυτή για έναν συνδετήρα είναι για το ζευγάρι ή για κάθε έναν συνδετήρα. Τυπική τιμή: 0,2 - 0,5dB ανά συνδεδεμένο ζευγάρι.

5.5.2 Η απώλεια επιστροφής

Είναι ένα μέτρο της ανάκλασης Fresnel. Η ισχύς αυτή ανακλάται έξω από τον συνδετήρα και πάλι προς την πηγή του φωτός.

5.5.3 Η διάρκεια σύνδεσης

Επίσης 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: 0,2dB για 1000 συνδέσεις.

5.5.4 Η δυνατότητα επανάληψης

Είναι μέτρο του πόσο σταθερή είναι η απώλεια εισαγωγής όταν τον αποσυνδέουμε και μετά επανασυνδέουμε. 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". Η απώλεια εισαγωγής που δίνεται πρέπει κανονικά να είναι η μέση απώλεια εισαγωγής για μια σειρά συνδέσεων. Δηλαδή, υπολογίζοντας και τη δυνατότητα επανάληψης.



5.6 Τύποι συνδετήρων

Υπάρχουν πολλές ομοιότητες μεταξύ των διάφορων τύπων συνδετήρων και αυτό είναι ένα πολύ καλό σημείο εκκίνησης. Κάθε τύπος συνδέσμου οπτικών ινών χρησιμοποιεί μια διαφορετική διαδικασία τερματισμού. Οι συνδετήρες **σχεδόν πάντα** συναρμολογούνται χρησιμοποιώντας εποξική κόλλα και δεν μπορούν να ξαναχρησιμοποιηθούν! [18].

5.6.1 SMA

Αν εξαιρέσουμε τον πρώτο καιρό όταν οι συνδετήρες κατασκευάζονταν από συμπαγή ορείχαλκο και προσαρμόζονταν στο εργοστάσιο, οι πρώτοι μοντέρνοι, προσαρμοζόμενοι στον χώρο εφαρμογής, συνδετήρες ήταν οι SMA. Ο συνδετήρας SMA παραγκωνίστηκε από πιο μοντέρνα σχέδια, αλλά πολλοί από αυτούς χρησιμοποιούνται ακόμη. Επειδή ο συνεκτικός δακτύλιος αυτού του τύπου connector δεν περιέχει κάποια μορφή ελατηρίου, πρέπει να υπάρχει κάποιο κενό αέρος μεταξύ των συνεκτικών δακτυλίων των ινών που συνδέονται, αλλιώς ενδέχεται να καταστραφούν τα δύο μέρη. Για να συνδέσουμε δύο ίνες, απλά βιδώνουμε έναν συνδετήρα σε κάθε άκρη του προσαρμογέα. Χρησιμοποιείται μόνο για πολύτροπα συστήματα αφού οι απώλειες είναι πολύ μεγάλες για χρήση σε μονότροπα συστήματα.



Εικόνα 79 : Συνδετήρας SMA

Το μήκος του προσαρμογέα εξασφαλίζει ότι οι άκρες των δύο μεταλλικών κρίκων διαχωρίζονται από ένα κενό αέρα, αρκετά μικρό για να επιτρέπει στο φως να υπερπηδάει το κενό και να φτάνει στην άλλη ίνα. Αυτό δημιουργεί το πρώτο πρόβλημα. Πόσο σφιχτά πρέπει να το βιδώσουμε; Αν δεν το βιδώσουμε αρκετά σφιχτά, οι απώλειες θα είναι πολύ μεγάλες. Αν το βιδώσουμε πολύ σφιχτά θα δημιουργήσουμε τριβή στις όψεις των δύο ινών και θα προκαλέσουμε θραύσματα στο γυαλί ή θα το χαράξουμε. Αν γίνει αυτό, πρέπει να απομακρύνουμε και να πετάξουμε τον συνδετήρα.

5.6.2 ST

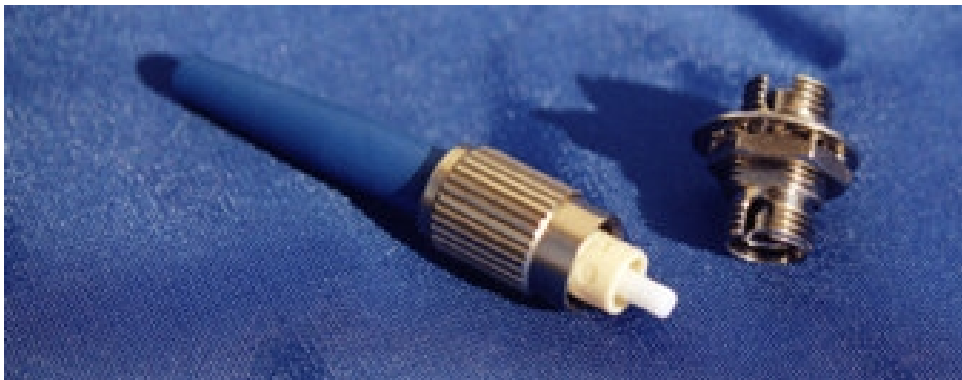
Αυτός αναπτύχθηκε, για να ξεπεράσει πολλά από τα προβλήματα του SMA και τώρα είναι η πιο δημοφιλής επιλογή συνδετήρα για τις πολύτροπες ίνες. Επίσης διατίθεται και για μονότροπα συστήματα. Τώρα υπάρχει μια μόνο θέση μέσα στην οποία μπορεί να ταιριάζει ο συνδετήρας στον προσαρμογέα. Το βύσμα που βιδώνει, του SMA, αντικαταστάθηκε από μια ειδική προσαρμογή για να μην ανησυχούμε αν ο συνδετήρας χαλαρώσει. Ο μεταλλικός κρίκος έχει ένα ελατήριο ώστε η πίεση στο άκρο του κρίκου να μην ελέγχεται από το άτομο που προσαρμόζει τον συνδετήρα. Δεν ανησυχούμε όπως στον SMA πόσο σφιχτά να βιδώσουμε το παξιμάδι.



Εικόνα 80 : Ο Συνδετήρας ST

5.6.3 Συνδετήρας ίνας φυσικής επαφής (FC/PC)

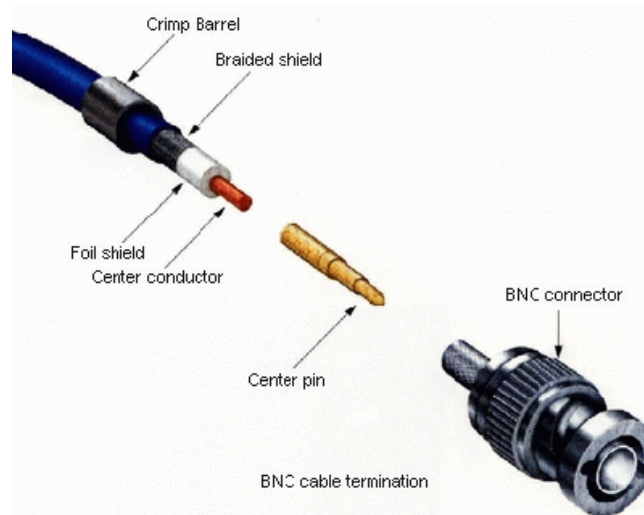
Διατίθεται και σαν FC (επίπεδη άκρη) ή APC (γωνιακή φυσική επαφή). Ο FCPC είναι ένας συνδετήρας πολύ καλής ποιότητας που σχεδιάστηκε για μονότροπα συστήματα μεγάλων αποστάσεων και έχει πολύ μικρές απώλειες. Επίσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για εργασίες πολύ καλής ποιότητας σε πολύτροπα συστήματα, αν χρειαστεί, και συχνά βρίσκεται σε εξοπλισμό ελέγχου.



Εικόνα 81 : Ο συνδετήρας FC/PC

5.6.4 Mini-BNC

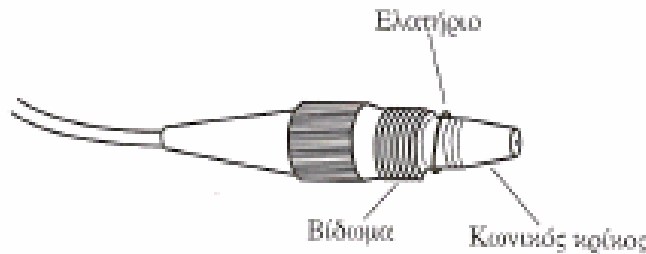
Αυτός δεν αποδείχθηκε πολύ δημοφιλής και επιβιώνει μόνο επειδή έχει προδιαγραφές για το δίκτυο δακτυλίου της IBM. Εκτός από το ότι είναι ελαφρώς μικρότερος, δεν προσφέρει τίποτε περισσότερο σε σύγκριση με τον STPC. Εξ' όψεως, μπορείτε εύκολα να τον μπερδέψετε με ένα βύσμα BNC που χρησιμοποιείται σε ηλεκτρικά συστήματα με βάση τον χαλκό. Χρησιμοποιείται μόνο για πολύτροπα συστήματα, δεν χρησιμοποιεί βιδωτούς προσαρμογείς και ο μεταλλικός του κρίκος έχει ένα ελατήριο και αποτελεί έναν συνδετήρα PC.



Εικόνα 82 : Ο συνδετήρας mini-BNC

5.6.5 Δικωνικός συνδετήρας

Αυτός είναι ένας άλλος συνδετήρας, που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα και που χρησιμοποιείται πολύ για μονότροπες τηλεπικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων. Ασφαλίζει βιδώνοντας και έχει έναν μεταλλικό κρίκο με ελατήριο και με τελείωμα PC. Όταν συνδεθεί στον προσαρμογέα, ο κωνικός μεταλλικός κρίκος κεντράρεται και παρέχει, έτσι μικρή απώλεια.



Εικόνα 83 : Ο δικωνικός συνδετήρας

5.6.6 Συνδετήρας συνδρομητή (SC)

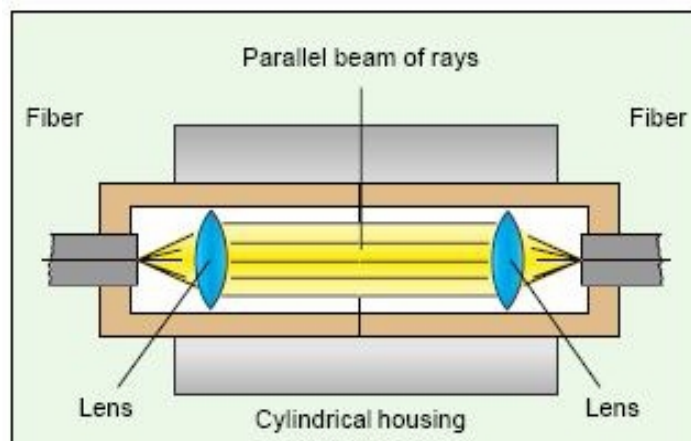
Διατίθεται επίσης και σε εκδόσεις PC και APC και είναι κατάλληλος για μονότροπα και πολύτροπα συστήματα, και φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Ο συνδετήρας αυτός έχει σχεδιαστεί για υψηλή απόδοση στις τηλεπικοινωνίες και στα δίκτυα καλωδιακής τηλεόρασης. Υπάρχει διαφορετική αίσθηση για τους συνδετήρες αυτούς όταν συγκρίνονται με τα προηγούμενα είδη. Το κύριο μέρος του είναι ελαφρύ και πλαστικό και δίνει περισσότερο την αίσθηση του "σπιτικού" παρά του "επαγγελματικού" συνδετήρα. Έχει μικρή απώλεια και το μικρό του μέγεθος με την τετραγωνισμένη φόρμα πιάνει πολύ λίγο χώρο στη συσκευασία μέσα στα κουτιά σύνδεσης.



Εικόνα 84 : Συνδετήρας συνδρομητή (SC)

5.6.7 Connectors διαστελλόμενης δέσμης

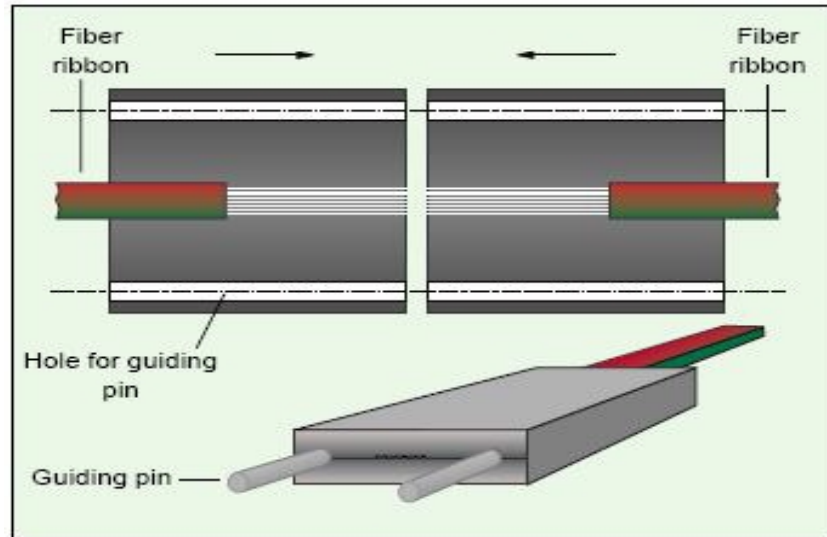
Για κολλήσεις οι οποίες εκτίθενται σε υγρασία και σκόνη, χρησιμοποιείται μια πιο ακριβή και περίπλοκη μέθοδος. Το φως που προέρχεται από την ίνα μετάδοσης περνάει μέσα από ένα οπτικό φακό, έτσι ώστε να δημιουργηθεί μια δέσμη από παράλληλες ακτίνες φωτός. Μετά την κόλληση οι ακτίνες συγκεντρώνονται ξανά με τη βοήθεια ενός δεύτερου οπτικού φακού στην ίνα «δέκτη». Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι οι επιφάνειες κόλλησης δεν εκτίθενται σε παράγοντες που μπορούν να αυξήσουν τις απώλειες.



Εικόνα 85 : Κόλληση με χρήση connector διαστελλόμενης δέσμης

5.6.8 Connectors κορδελών ινών

Οι connectors κορδελών ινών δεν παρουσιάζουν κυλινδρική κατασκευή. Οι κορδέλες ινών αποτελούνται από 2,4,8,12 ή και παραπάνω παράλληλες ίνες με πρωτεύον επίστρωμα. Ο connector λοιπόν αποτελείται από ένα αριθμό οπών διαμέτρου 125μm σε σειρά. Η απόσταση μεταξύ των οπών πρέπει να είναι ίση με την απόσταση μεταξύ των ινών της κορδέλας για να αποφεύγονται παραμορφώσεις.



Εικόνα 86 : Σχηματικό διάγραμμα κόλλησης κορδέλας ινών

5.6.8.1 MT connector

Ο MT connector χρησιμοποιείται για τη σύνδεση κορδελών με 2,4,8 ή 12 ίνες. Οι διαστάσεις του συγκεκριμένου connector είναι πολύ μικρές 3x7x10mm. Οι απώλειες ανά connector είναι μικρότερες από 1dB και η τιμή του είναι λίγο μεγαλύτερη από εκείνη ενός μονού FC/PC ή SC connector.



Εικόνα 87 : MT connector κορδέλας 12 ινών

5.7 Η σύνδεση συνδέσμων οπτικών ινών

Σύνδεση ενός συνδέσμου οπτικής ίνας είναι η διαδικασία ασφαλούς προσάρτησης ενός συνδέσμου οπτικής ίνας σε μια οπτική ίνα. Αφού απογυμνωθεί και καθαριστεί το καλώδιο οπτικών ινών, οι σύνδεσμοι οπτικής ίνας συνδέονται σε κάθε οπτική ίνα. Η μέθοδος σύνδεσης ενός συνδέσμου οπτικής ίνας καθορίζεται από τον κατασκευαστή του συνδέσμου. Όταν συνδέετε συνδέσμους οπτικών ινών, ακολουθείτε πάντα τις ακριβείς οδηγίες και διαδικασίες του κατασκευαστή, όταν κάνετε ένα τερματισμό συνδέσμου οπτικής ίνας. Αν δεν ακολουθήσετε τα ακριβή βήματα εγκατάστασης, μπορεί να σύνδεσμος να μην εγκατασταθεί σωστά. Τέτοιοι σύνδεσμοι συνήθως εμφανίζουν υψηλές απώλειες και πρέπει να συνδεθούν από την αρχή.



1. Εποξικός Τερματισμός με Υπεριώδη Φωτισμό

Τα βήματα για να κάνετε ένα εποξικό τερματισμό με υπεριώδη φωτισμό είναι τα εξής:

- Σιγουρευτείτε ότι το λαστιχένιο ποδαράκι και ο πίσω περιδέσμος είναι επάνω στο καλώδιο οπτικών ινών πριν να αρχίσετε την διαδικασία τερματισμού του συνδέσμου.
- Εισάγετε την σύριγγα με την εποξική κόλλα στο πίσω μέρος του συνδέσμου οπτικής ίνας και εκχύστε σιγά σιγά την κόλλα, μέχρι να εμφανιστεί ένας κόμπος στην άκρη του περιδέσμου.
- Σκουπίστε την παραπάνω κόλλα από την άκρη του συνδέσμου με ένα μαντηλάκι χωρίς χνούδι.
- Ολισθήστε τον σύνδεσμο οπτικής ίνας επάνω στην γυμνή οπτική ίνα, μέχρι να ακουμπήσει στην μόνωση. Περίπου 5 mm οπτικής ίνας πρέπει να προεξέχουν από το άκρο του περιδέσμου.
- Τοποθετήστε τον σύνδεσμο οπτικής ίνας στην λάμπα ξήρανσης με υπεριώδη φωτισμό. Χρειάζεται περίπου ένα λεπτό για να ξεραθεί η κόλλα. Όταν ξεραθεί η κόλλα πρέπει να αλλάξει χρώμα.
- Χρησιμοποιώντας ένα εργαλείο κοπής, σημειώστε την οπτική ίνα εκεί που προεξέχει από τον κόμπο της κόλλας στον περιδέσμο.
- Χρησιμοποιήστε τσιμπιδάκια για να αφαιρέσετε την υπερβάλλουσα οπτική ίνα και απορρίψτε την σε ένα κουτί απορριμμάτων.
- Ολισθήστε τον πίσω περιδέσμο στο πίσω μέρος του συνδέσμου οπτικής ίνας και σφίξτε τον στην θέση του. Έτσι θα στερεωθεί το νήμα aramid στο σώμα του συνδέσμου.
- Ολοκληρώστε την διαδικασία ολισθαίνοντας το ποδαράκι επάνω στον σύνδεσμο και στερεώνοντας το στο σώμα του συνδέσμου.
- Όταν ολοκληρώσετε αυτά τα βήματα, το σώμα του συνδέσμου είναι έτοιμο για στίλβωση.

2. Εποξικός Τερματισμός με Θερμότητα

Τα βήματα για να κάνετε ένα εποξικό τερματισμό με θερμότητα είναι τα εξής:

- Σιγουρέψτε ότι το λαστιχένιο ποδαράκι και ο πίσω περιδέσμος είναι επάνω στο καλώδιο οπτικών ινών πριν να αρχίσετε την διαδικασία τερματισμού του συνδέσμου.
- Εισάγετε την σύριγγα με την εποξική κόλλα στο πίσω μέρος του συνδέσμου οπτικής ίνας και εκχύστε σιγά σιγά την κόλλα, μέχρι να εμφανιστεί ένας κόμπος στην άκρη του περιδέσμου, αν χρειάζεται.
- Σκουπίστε την παραπάνω κόλλα από την άκρη του συνδέσμου με ένα μαντηλάκι χωρίς χνούδι.
- Ολισθήστε του σύνδεσμο οπτικής ίνας επάνω στην γυμνή οπτική ίνα, μέχρι να ακουμπήσει στην μόνωση. Περίπου 5mm οπτικής ίνας πρέπει να προεξέχουν από το άκρο του περιδέσμου.
- Τοποθετήστε τον σύνδεσμο οπτικής ίνας μέσα στον φούρνο ξήρανσης. Θα πρέπει να μείνει από 6 ως 20 λεπτά μέσα στον φούρνο.
- Βγάλτε τον από τον φούρνο και αφήστε τον να κρυώσει για το προκαθορισμένο χρονικό διάστημα, για να ξεραθεί η κόλλα. Η κόλλα πρέπει να αλλάξει χρώμα, όταν ξεραθεί.
- Χρησιμοποιώντας ένα εργαλείο κοπής, σημειώστε την οπτική ίνα εκεί που προεξέχει από τον κόμπο της κόλλας στον περιδέσμο.
- Χρησιμοποιήστε τσιμπιδάκια για να αφαιρέσετε την υπερβάλλουσα οπτική ίνα και απορρίψτε την σε ένα κουτί απορριμμάτων.
- Ολισθήστε τον πίσω περιδέσμο στο πίσω μέρος του συνδέσμου οπτικής ίνας και σφίξτε τον στην θέση του. Έτσι θα στερεωθεί το νήμα aramid στο σώμα του συνδέσμου.
- Ολοκληρώστε την διαδικασία ολισθαίνοντας το ποδαράκι επάνω στον σύνδεσμο και στερεώνοντας το στο σώμα του συνδέσμου.
- Όταν ολοκληρώσετε αυτά τα βήματα, το σώμα του συνδέσμου είναι έτοιμο για στίλβωση.



3. Μη Εποξικός Τερματισμό

Τα βήματα για να κάνετε ένα μη εποξικό τερματισμό είναι τα εξής:

- Σιγουρευτείτε ότι το λαστιχένιο ποδαράκι και το πίσω κάλυμμα του σφικτήρα είναι επάνω στο καλώδιο οπτικών ινών πριν να αρχίσετε την διαδικασία τερματισμού του συνδέσμου.
- Ολισθήστε τον σύνδεσμο οπτικής ίνας επάνω στην γυμνή οπτική ίνα, μέχρι να ακουμπήσει στην μόνωση. Περίπου 5mm οπτικής ίνας πρέπει να προεξέχουν από το άκρο του περιδέσμου.
- Τοποθετήστε τον σύνδεσμο οπτικής ίνας μέσα στο εργαλείο τερματισμού. Χρησιμοποιώντας το εργαλείο, στερεώστε την οπτική ίνα μέσα στον σύνδεσμο.
- Βγάλτε τον σύνδεσμο οπτικής ίνας από το εργαλείο τερματισμού και σφίξτε το κάτω μέρος του σώματος του συνδέσμου. Βεβαιωθείτε ότι το περίβλημα του καλωδίου και το νήμα aramid δεν παρενοχλούν αυτή την διαδικασία.
- Ολισθήστε το πίσω κάλυμμα του σφικτήρα επάνω στο νήμα aramid μέχρι να φτάσει στο κάτω μέρος του συνδέσμου.
- Σφίξτε το πίσω κάλυμμα του σφικτήρα με ένα εργαλείο σύσφιξης.
- Χρησιμοποιώντας ένα εργαλείο κοπής, σημειώστε την οπτική ίνα εκεί που προεξέχει από τον σύνδεσμο οπτικής ίνας.
- Χρησιμοποιήστε τσιμπιδάκια για να αφαιρέσετε την υπερβάλλουσα οπτική ίνα και απορρίψτε την σε ένα κουτί απορριμμάτων.
- Ολοκληρώστε την διαδικασία ολισθαίνοντας το ποδαράκι επάνω στον σύνδεσμο και στερεώνοντας το στο σώμα του συνδέσμου.
- Όταν ολοκληρώσετε αυτά τα βήματα, το σώμα του συνδέσμου είναι έτοιμο για στίλβωση.

4. Μη Εποξικός, Χωρίς Στίλβωση Τερματισμό

Τα βήματα για να κάνετε ένα μη εποξικό τερματισμό χωρίς στίλβωση είναι τα εξής:

- Σιγουρέψτε ότι το λαστιχένιο ποδαράκι και το πίσω κάλυμμα του σφικτήρα είναι επάνω στο καλώδιο οπτικών ινών πριν να αρχίσετε την διαδικασία τερματισμού του συνδέσμου.
- Διαχωρίστε την οπτική ίνα με ένα εργαλείο διαχωρισμού.
- Επιβεβαιώστε ότι ο διαχωρισμός είναι σωστός με ένα μικροσκόπιο.
- Εισάγετε προσεκτικά την οπτική ίνα μέσα στον σωλήνα συγκράτησης του συνδέσμου οπτικής ίνας μέχρι να αισθανθείτε ότι οι οπτικές ίνες έρχονται σε επαφή.
- Εισάγετε τον σύνδεσμο οπτικής ίνας μέσα στο εργαλείο τερματισμού. Χρησιμοποιώντας το εργαλείο, στερεώστε την οπτική ίνα μέσα στον σύνδεσμο.
- βγάλτε τον σύνδεσμο οπτικής ίνας από το εργαλείο τερματισμού και σφίξτε το κάτω μέρος του σώματος του συνδέσμου. Βεβαιωθείτε ότι το περίβλημα του καλωδίου και το νήμα aramid δεν παρενοχλούν αυτή την διαδικασία.
- Ολισθήστε το πίσω κάλυμμα του σφικτήρα επάνω στο νήμα aramid μέχρι να φτάσει στο κάτω μέρος του συνδέσμου.
- Σφίξτε το πίσω κάλυμμα του σφικτήρα με ένα εργαλείο σύσφιξης.
- Ολοκληρώστε την διαδικασία ολισθαίνοντας το ποδαράκι επάνω στον σύνδεσμο και στερεώνοντάς το στο σώμα του συνδέσμου.

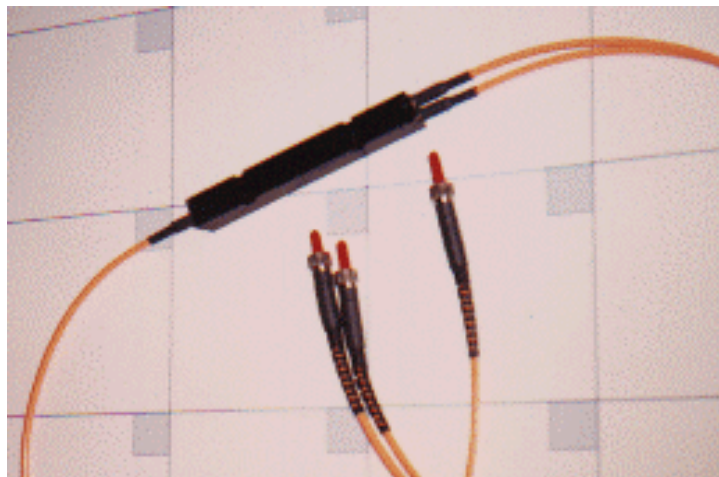


5.8 Οι συζεύκτες

Φανταστείτε μια οπτική ίνα που μεταφέρει ένα σήμα εισόδου, που χρειάζεται να συνδεθεί σε δυο διαφορετικούς προορισμούς. Το σήμα πρέπει να διαιρεθεί στη μέση. Αυτό το πετυχαίνουμε εύκολα με έναν συζεύκτη. Όταν χρησιμοποιείται για αυτόν τον σκοπό, συχνά τον ονομάζουμε διαιρέτη.

Οι συζεύκτες είναι δυο κατευθύνσεων, μπορούν να μεταφέρουν φως προς κάθε κατεύθυνση. Γι' αυτό ο συζεύκτης που περιγράφεται παραπάνω μπορεί με τον ίδιο τρόπο να χρησιμοποιηθεί έτσι ώστε να συνδυάζει τα σήματα από δύο πομπούς σε μία μόνο οπτική ίνα. Σ' αυτήν την περίπτωση ονομάζεται συνδυαστής. Είναι ακριβώς η ίδια συσκευή, απλά χρησιμοποιείται διαφορετικά.

Εξωτερικά, μοιάζουν με τις μηχανικές ενώσεις, στην πραγματικότητα σε μερικές περιπτώσεις χρειάζεται να μετρήσουμε τον αριθμό των ινών, για να κάνουμε τον διαχωρισμό μεταξύ τους. Αν υπάρχει μια ίνα σε κάθε άκρο, είναι μηχανική ένωση, αν υπάρχει οποιοσδήποτε άλλος αριθμός είναι συζεύκτης.



Εικόνα 88 : Συζεύκτης

5.8.1 Μεγέθη συζεύκτη

Ένας συζεύκτης με μία μόνο ίνα στο ένα άκρο και δύο στο άλλο ονομάζεται συζεύκτης 1x2 (διαβάζεται ένα προς δύο). Παρόλο που τα 1 x 2 και 2 x 2 είναι τα πιο συνηθισμένα μεγέθη μπορούμε να έχουμε μια μεγάλη ποικιλία τύπων μέχρι και 32 x 32. Οι διαιρέτες είναι πιο συνηθισμένοι από τους συζεύκτες και έτσι είναι πιο φυσικό να αναφερόμαστε σε ένα μόνο άκρο ίνας σαν είσοδο.

5.8.2 Λόγος διαίρεσης ή λόγος σύζευξης

Η αναλογία της ισχύος εισόδου σε κάθε έξοδο ονομάζεται λόγος διαίρεσης ή λόγος σύζευξης. Σε έναν συζεύκτη 1x 2, το σήμα εισόδου μπορεί να διαιρεθεί μεταξύ των δύο εξόδων σε οποιοδήποτε επιθυμητό λόγο. Στην πραγματικότητα, όμως, οι πιο συνηθισμένες αναλογίες είναι 90:10 και 50:50. Γράφονται επίσης και σαν 9:1 και 1:1. Στις περιπτώσεις όπου ο λόγος διαίρεσης είναι 1:1, η πύλη που μεταφέρει την ισχυρότερη ισχύ ονομάζεται μερικές φορές πύλη παραγωγής και η άλλη πύλη άντλησης.



5.8.3 Ανοχή σύζευξης

Ακόμη και όταν ο λόγος διαίρεσης δίνεται σαν 1:1, είναι πολύ απίθανο, λόγω της κατασκευαστικής ανοχής ή ισχύς εισόδου να μοιράζεται ίσα μεταξύ των δύο εξόδων. Το αποδεκτό λάθος είναι μεταξύ 1% και 5% και ονομάζεται ανοχή σύζευξης ή διαίρεσης.

5.8.4 Απώλεια σύζευξης

Συχνά παραλείπεται. Όταν χρησιμοποιούμε έναν συζεύκτη, πρέπει να τον συνδέσουμε με το υπόλοιπο κύκλωμα. Αυτό συμπεριλαμβάνει τη χρήση συνδετήρων και ενώσεων. Η απώλεια που προκαλείται από αυτούς τους συνδετήρες και τις ενώσεις πρέπει να προστεθεί στις απώλειες που εισάγει ο συζεύκτης.

5.9 Η Κατασκευή συζευκτών

1. Τηγμένοι συζεύκτες

Είναι η πιο δημοφιλής μέθοδος κατασκευής ενός συζεύκτη. Είναι, ή φαίνεται να είναι, πολύ απλή διαδικασία. Οι ίνες τοποθετούνται μαζί και λιώνουν όπως και στην ένωση με τήξη, το εισερχόμενο φως συναντά ένα πιο παχύ τμήμα ίνας και διαθλάται.

Στο άλλο άκρο της λιωμένης περιοχής, το φως εισέρχεται σε καθεμιά από τις ίνες που βγαίνουν προς τα έξω. Ένας τηγμένος συζεύκτης αστερός κατασκευάζεται με παρόμοιο τρόπο. Οι ίνες πλέκονται για να είναι πολύ κοντά η μία στην άλλη, μετά λιώνουμε το κεντρικό τμήμα τους. Στην περίπτωση του αστερός ανάκλασης, οι ίνες λυγίζουν προς τα πίσω, η μια πάνω στην άλλη, πριν να τις τήξουμε.

2. Συζεύκτες ράβδου ανάμειξης

Αν αρκετές ίνες συνδέονται πολύ κοντά η μία στην άλλη σε μια ίνα μεγάλης διαμέτρου, που ονομάζεται ράβδος ανάμειξης, το εισερχόμενο φως διαχέεται μέχρι να καταλάβει όλη τη διάμετρο της ίνας. Αν συνδέσουμε αρκετές ίνες στο άλλο άκρο, η καθεμιά τους θα πάρει λίγο από το φως.

Ένας συζεύκτης ανάκλασης μπορεί να δημιουργηθεί αν βάλουμε έναν καθρέφτη στην άκρη της ράβδου ανάμειξης. Το φως που ταξιδεύει κατά μήκος της ράβδου ανάμειξης ανακλάται στον καθρέφτη που βρίσκεται στην άκρη της ράβδου και όλες οι ίνες που είναι προσαρμοσμένες σ' αυτή, δέχονται ίσο μερίδιο του εισερχόμενου φωτός.

5.10 Οι Προσαρμοστές (Couplers)

Η δουλειά τους είναι να συνδέουν δυο καλώδια με κατάλληλη προσαρμογή στα βύσματά τους. Είναι πολύ σημαντικοί για την ακρίβεια των μετρήσεων, διότι και αυτοί συμβάλουν στη συνολική απώλεια της σύνδεσης. Μέσα στον προσαρμοστή υπάρχει μια κυλινδρική θήκη ευθυγράμμισης και στήριξης του μεταλλικού δακτυλίου σύνδεσης του βύσματος. Η κυλινδρική θήκη ευθυγράμμισης του προσαρμοστή μπορεί να είναι κατασκευασμένη από πλαστικό, μέταλλο ή κεραμικό υλικό. Ενδείκνυται η χρήση προσαρμοστών με πλαστική κυλινδρική θήκη ευθυγράμμισης στις μετρήσεις, γιατί φθείρονται πολύ γρήγορα. Η κυλινδρική θήκη ευθυγράμμισης είναι εξίσου κρίσιμη για την ακρίβεια των μετρήσεων, όσο και τα βύσματα των καλωδίων. Οι υβριδικοί προσαρμοστές είναι αυτοί που συνδέουν καλώδια διαφορετικών βυσμάτων. Στην αγορά μπορούν να βρεθούν προσαρμοστές που να συνδέουν βύσματα: ST to ST, SC to FC, ST to SC, SC to FDDI, ST to FC, SC to ESCON, ST to FDDI, ST to ESCON.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : Η σχεδίαση μίας εγκατάστασης οπτικών ινών & οι τεχνικές υλοποίησης των οπτικών δικτύων

Εισαγωγή

Αυτό το κεφάλαιο αναφέρεται στη σχεδίαση μιας εγκατάστασης οπτικών ινών. Δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην κατανόηση της αναγκαιότητας για σωστή σχεδίαση της εγκατάστασης, σωστή επιλογή κατάλληλων καλωδίων, μόνιμων συνδέσεων καθώς και αποτελεσματικού τρόπου τραβήγματος καλωδίων οπτικών ινών. Επιπλέον, γίνεται αναφορά στα περιβάλλοντα τοποθέτησης οπτικών ινών, στα είδη οπτικών ινών που χρησιμοποιούνται σε αυτά καθώς και στις διαδικασίες που απαιτούνται για να τοποθετηθούν σε αυτά τα περιβάλλοντα.

6.1 Η διαδικασία της σχεδίασης

Η σχεδίαση αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά και ιδιαίτερα κρίσιμα τμήματα οποιουδήποτε κατασκευαστικού έργου. Ένα από τα χαρακτηριστικά μίας κατασκευής είναι ότι δεν επαναλαμβάνεται. Αν και συγκεκριμένες δραστηριότητες μπορεί να επαναλαμβάνονται, π.χ. το τράβηγμα των καλωδίων και οι τερματισμοί των ινών, το κάθε έργο χωριστά εκτελείται κάτω από διαφορετικές συνθήκες. Το συνολικό αποτέλεσμα όλων των μικρών διαφορών, καθιστά τα διάφορα έργα πολύ διαφορετικά μεταξύ τους. Το κάθε έργο, θα πρέπει να σχεδιάζεται λεπτομερώς, και να λαμβάνονται υπόψη τα δικά του ιδιαίτερα χαρακτηριστικά [19].

Στην κατασκευαστική βιομηχανία, σχεδιάζονται και κατασκευάζονται πρωτότυπα για τον έλεγχο της σχεδίασης και των κατασκευαστικών διαδικασιών. Όταν συμβαίνουν λάθη και παραβλέψεις, τότε αναπτύσσεται ένα άλλο πρωτότυπο που λύνει τα προβλήματα. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται πολλές φορές μέχρι το προϊόν και η κατασκευαστική διαδικασία να καταστούν χωρίς λάθη, οπότε και το προϊόν εισέρχεται στην παραγωγή.

Στην οικοδομική βιομηχανία, δεν υπάρχει αυτή η πολυτέλεια. Οι σχεδιαστές θα πρέπει να σχεδιάσουν σωστά από την πρώτη στιγμή. Το ίδιο και οι κατασκευαστές θα πρέπει να οικοδομήσουν σωστά από την πρώτη στιγμή. Σχεδιαστικά ή κατασκευαστικά σφάλματα έχουν κόστος επιδιόρθωσης ή αντικατάστασης, και προκαλούν καθυστερήσεις. Ορισμένα σφάλματα δεν είναι εμφανή από την πρώτη στιγμή και δε γίνονται αντιληπτά μέχρι το σύστημα να λειτουργήσει. Σε αυτήν την περίπτωση, τα λάθη δεν επιφέρουν μόνον κόστος και καθυστερήσεις, αλλά είναι και καταστροφικά για αυτούς που εξαρτώνται από ένα πλήρως λειτουργικό και σωστό σύστημα.

Ο μόνος τρόπος για μία ποιοτική εργασία είναι η αποφυγή των σφαλμάτων, των παραλείψεων και των λαθών, με κατάλληλη σχεδίαση και εφαρμογή σωστών διαδικασιών εγκατάστασης. Ένα όφελος, που προκύπτει από τη διαδικασία της σχεδίασης, είναι η βελτίωση της απόδοσης της εγκατάστασης, πράγμα το οποίο καταλήγει σε υψηλότερα κέρδη για τους εργολάβους. Η σχεδίαση μίας εγκατάστασης οπτικών ινών από κάθε άποψη δεν αποτελεί επιλογή αλλά αναγκαιότητα.

6.2 Οι μετρήσεις για το απαιτούμενο μήκος καλωδίου

Η σχεδίαση για τα κατάλληλα μήκη καλωδίων είναι εξαιρετικής σημασίας στις εγκαταστάσεις οπτικών ινών, για δυο λόγους. Ο σημαντικότερος λόγος είναι ότι οι συνδέσεις προκαλούν απώλειες ποιότητας και ισχύος σήματος. Στην πράξη, οι περισσότεροι σχεδιαστές καθορίζουν απευθείας διαδρομές από σημείο σε σημείο ή από συσκευή σε συσκευή, ώστε να αποφεύγουν τις οποιεσδήποτε



απώλειες λόγω συνδέσεων. Ο δεύτερος λόγος είναι ιδιαίτερα σημαντικός για τον εργολάβο, και έχει σχέση με το ότι οι συνδέσεις κοστίζουν σε χρόνο και σε χρήμα. Γενικά, θα πρέπει να λαμβάνονται μετρήσεις απαιτούμενου μήκους από κάποιον έμπειρο τεχνικό, ο οποίος αντιλαμβάνεται τη σημασία των σωστών και με ακρίβεια μετρήσεων. Συνήθως, αυτό γίνεται από τον ίδιο το μηχανικό ή τον επόπτη του έργου.

Υπάρχουν τρεις μέθοδοι για να μετρήσει κάποιος το μήκος της διαδρομής των ινών, αρχίζοντας από τη λιγότερο προς την περισσότερη επιθυμητή:

- 1. Από τα σχέδια.** Αυτό ισχύει, όταν θέλετε να επενδύσετε σε επιπρόσθετο υλικό. Σκοπός των σχεδίων είναι η απλή ένδειξη της υποτιθέμενης θέσης των γραμμών της εγκατάστασης. Ωστόσο, είναι σχεδόν αδύνατο για το σχεδιαστή να προβλέψει όλες τις συνθήκες που μπορεί κάποιος να συναντήσει στην πράξη. Γι' αυτό, η λήψη μετρήσεων ακριβείας από τα σχέδια δεν είναι δυνατή, με αποτέλεσμα να έχουμε τελικά περισσεύματα ή ελλείμματα μήκους καλωδίου.
- 2. Επιτόπιες μετρήσεις με τροχό.** Μία επιτόπια μέτρηση με τροχό και τη βοήθεια σχεδίων παρέχει μεγαλύτερη ακρίβεια από την προηγούμενη μέθοδο. Η επιτόπια επίσκεψη παρέχει ορισμένα στοιχεία και χαρακτηριστικά του έργου, τα οποία δεν είναι δυνατό να γίνουν αντιληπτά αποκλειστικά και μόνο από τα σχέδια. Με την επιτόπια επίσκεψη, μπορούν να επιβεβαιωθούν λεπτομέρειες της εγκατάστασης, π.χ. αλλαγές στην ευθυγράμμιση ή στην ύψωση των διαδρομών, πιθανά εμπόδια, ενώ παρέχεται δυνατότητα ακριβούς καταγραφής των σημείων τερματισμού.
- 3. Μετρήσεις με μετροταινία.** Μέχρι τώρα, η ακριβέστερη και αποτελεσματικότερη μέθοδος μέτρησης είναι με τη χρήση μετροταινίας. Η ταινία αυτή είναι επίπεδη, πλαστικοποιημένη, και φέρει υποδιαιρέσεις μονάδων μήκους (μέτρα). Συναντάται σε διάφορα μήκη και αντοχές εφελκυσμού.

Στο τέλος της διαδικασίας μέτρησης, απαιτείται κάποια επαύξηση του απαιτούμενου μήκους, για πρόβλεψη μόνιμων συνδέσεων, βυσματώσεων και πιθανών περιελίξεων μελλοντικής πρόσβασης. Το επιπρόσθετο μήκος για μόνιμες συνδέσεις εξαρτάται από τις συνθήκες που συναντώνται στην πράξη, τη μέθοδο που εφαρμόζεται για τη σύνδεση και τα μακροπρόθεσμα σχέδια που υπάρχουν για τη χρήση του καλωδίου. Οι βυσματώσεις απαιτούν περίπου δύο έως τρία μέτρα επί πλέον μήκους καλωδίου. Περιελίξεις πρόσβασης ή επισκευής γενικά κυμαίνονται σε μήκος από 10 έως 15 μέτρα. Ένας πρακτικός κανόνας είναι 1% επί πλέον μήκος για εξωτερική εγκατάσταση και 5 - 7% για εσωτερική εγκατάσταση καλωδίου.

6.3 Οι μόνιμες συνδέσεις

Οι μόνιμες συνδέσεις τήξης δεν μπορούν να εφαρμοστούν σε περιβάλλοντα στα οποία υπάρχει κίνδυνος έκρηξης, όπως π.χ. μέσα σε ανθρωποθυρίδες. Έτσι, τα σημεία των καλωδίων που πρόκειται να συνδεθούν θα πρέπει να καταλήγουν σε περιοχές, στις οποίες η σύνδεση μπορεί να εκτελεστεί με ασφάλεια. Συνήθως, απαιτείται ένα επί πλέον μήκος 10 μέτρων σε κάθε άκρη των καλωδίων που πρόκειται να συνδεθούν (συνολικά 20 μέτρα καλωδίου επί πλέον).

Οι μηχανικές συνδέσεις μπορούν να εκτελεστούν με ασφάλεια μέσα σε ανθρωποθυρίδες, και απαιτούν μόνο 3 μέτρα επί πλέον μήκους καλωδίου (αντί των 20 μέτρων), για κάθε σύνδεση. Υπενθυμίζεται, ότι το μήκος αυτό είναι επιπρόσθετο αυτού που θα απαιτηθεί για την εγκατάσταση μέσα στην ανθρωποθυρίδα.

6.4 Αποτελεσματικό τράβηγμα καλωδίων

Όταν κάποιος εμπλέκεται για πρώτη φορά με την εγκατάσταση οπτικών ινών, μπορεί να νομίζει ότι είναι σίγουρος για το πόσο μήκος καλωδίου μπορεί να τραβηχτεί κάθε φορά. Αυτό οφείλεται κυρίως στο μικρό μέγεθος και βάρος των καλωδίων οπτικών ινών. Για να μην αποτύχετε στο τράβηγμα ενός μεγάλου μήκους καλωδίου, είναι καλύτερα να χωρίζετε ένα μήκος τραβήγματος στα δύο, ή ακόμη και στα τρία, συνήθως σε γωνίες ή σε κουτιά. Δε θα πρέπει κάποιος να επιμένει στο



τράβηγμα του καλωδίου, εάν η τάση εφελκυσμού φθάσει το όριο αντοχής του. Στην περίπτωση αυτή, το καλώδιο θα πρέπει να τραβιέται πάλι πίσω, και να ξαναρχίζει η διαδικασία από την αρχή με μικρότερο μήκος καλωδίου, καλύτερη λίπανση ή και τα δύο μαζί. Εφόσον το καλώδιο δεν έχει καταστραφεί, μπορεί κατά την επανάληψη της διαδικασίας να χρησιμοποιηθεί το ίδιο.

Θα πρέπει να καταβάλλεται προσπάθεια, ώστε στα σημεία όπου εκτελείται το τράβηγμα των καλωδίων να υπάρχει αρκετός χώρος για εργασία. Ο καλός σχεδιαστής καθορίζει αρκετά τέτοια σημεία. Επίσης, ο τεχνικός εγκατάστασης θα πρέπει να βεβαιώνεται ότι υπάρχουν αρκετά τέτοια σημεία, διαφορετικά θα πρέπει να τα καθορίζει ο ίδιος πριν από την έναρξη της εργασίας.

Συνήθως, η εργασία του τραβήγματος των καλωδίων εκτελείται από δύο έως τρεις τεχνικούς. Ο ένας τεχνικός ξετυλίγει το καλώδιο από το καρούλι αποθήκευσης, για τη μείωση της τάσης φορτίου (αποτελεί την απαιτούμενη τάση ξετυλίγματος). Ένας ή δύο τεχνικοί τραβούν το καλώδιο από το άλλο άκρο. Ο αριθμός των απαιτούμενων τεχνικών καθορίζεται από τους ακόλουθους παράγοντες:

- **μήκος καλωδίου**
- **συνολικές μοίρες κάμψης**
- **τάση φορτίου**
- **χρήση λιπαντικού καλωδίων**
- **χρήση εξοπλισμού τραβήγματος καλωδίων**

Πριν από την έναρξη κάθε τραβήγματος, θα πρέπει να είστε βέβαιοι ότι υπάρχει αρκετός χρόνος για την περάτωση της εργασίας αυθημερόν. Δε θα πρέπει να αφήνετε καρούλια με καλώδια αξίας εκατομμυρίων σε αφύλακτους χώρους. Ιδιαίτερα σε δημόσιους χώρους, απαιτείται κάποια βάρδια ασφαλείας για τη φύλαξη των καλωδίων και την αποφυγή τυχόν κλοπών.

Τα ακριβή σημεία τερματισμού θα πρέπει να προκαθορίζονται. Η παράβλεψη του βήματος αυτού πολλές φορές οδηγεί σε λάθη που κοστίζουν. Το καλώδιο θα πρέπει να τραβιέται εντελώς, μέχρι το σημείο τερματισμού του. Ο σχεδιαστής θα πρέπει να έχει κατασκευάσει ένα κατάλληλο διάγραμμα του χώρου, το οποίο θα βοηθήσει ουσιαστικά στον τερματισμό των καλωδίων.

6.5 Η αρχική σχεδίαση

Πριν αρχίσει το τράβηγμα ενός καλωδίου, ο μηχανικός του έργου, ο επικεφαλής τεχνικός και ο επιβλέπων το πρόγραμμα θα πρέπει να ελέγξουν τη σχεδίαση βήμα προς βήμα. Ο μηχανικός του έργου είναι υπεύθυνος για τη σχεδίαση του συστήματος και θα πρέπει να γνωρίζει καλά τις ανάγκες του πελάτη. Ο επικεφαλής τεχνικός δεν είναι απαραίτητο να αναλάβει ο ίδιος την εγκατάσταση, αλλά θα πρέπει να διαθέτει εμπειρία στις οπτικές ίνες και να απαντά σε όσο το δυνατό περισσότερες ερωτήσεις, πριν αρχίσει η ομάδα τεχνικών τις εργασίες. Ο επιβλέπων του προγράμματος μπορεί να παρέχει γενικές πληροφορίες για το έργο, και θα πρέπει να γνωρίζει όσο το δυνατό περισσότερα για τις δραστηριότητες των τεχνικών, ώστε να τις συντονίζει με τυχόν άλλες στην ίδια περιοχή της εγκατάστασης.

Από τον επιβλέποντα παρέχεται η πληροφορία εάν θα χρησιμοποιηθούν πολλαπλοί οδηγοί. Ακόμη, θα πρέπει να καθορίζεται ποιος οδηγός πάει πού, είτε με οπτικό έλεγχο ή με τοποθέτηση ετικετών στην ταινία τραβήγματος. Η διαδρομή του οδηγού θα πρέπει να επιθεωρείται, σημειώνοντας στο διάγραμμα τυχόν κουτιά τραβήγματος, ανθρωποθυρίδες ή άλλα εμπόδια. Η ίδια διαδικασία θα πρέπει να επαναλαμβάνεται για κάθε διαδρομή.

Όσο περισσότερες πληροφορίες παρέχονται στο αρχικό σχέδιο από το μηχανικό, τόσο ταχύτερα θα προχωρήσει η διαδικασία εγκατάστασης. Υπενθυμίζεται, ότι αντικειμενικός σκοπός του ελέγχου της σχεδίασης είναι η αποφυγή να παραμένει ολόκληρο το συνεργείο εγκατάστασης άεργο, ενώ ο επικεφαλής τεχνικός ψάχνει να βρει το μηχανικό ή τον επιβλέποντα, για διευκρινίσεις και επιπρόσθετες πληροφορίες.



6.6 Τα περιβάλλοντα εγκατάστασης

Τα περιβάλλοντα εγκατάστασης των δικτύων οπτικών επικοινωνιών είναι τα παρακάτω:

1. Απευθείας ταφής

Όταν η τοποθέτηση των ινοοπτικών καλωδίων γίνεται απευθείας στο έδαφος, χωρίς την χρήση κατάλληλης υπόγεια υποδομής, τότε η μέθοδος εγκατάστασης καθώς και το περιβάλλον εγκατάστασης θεωρείται ότι είναι απευθείας ταφής.

2. Εντός υπόγεια υποδομής

Όταν η τοποθέτηση των ινοοπτικών καλωδίων γίνεται εντός κατάλληλων υπόγειων οδεύσεων, τότε η μέθοδος εγκατάστασης καθώς και το περιβάλλον εγκατάστασης θεωρείται ότι είναι εντός υπόγεια υποδομής. Η υπόγεια υποδομή περιλαμβάνει οδεύσεις μεταξύ των φρεατίων συντήρησης (Maintenance Hole – MH), των φρεατίων διέλευσης (Hand Hole – HH) και των εισαγωγών στα κτίρια.

3. Εναέριας τοποθέτησης

Όταν η τοποθέτηση των ινοοπτικών καλωδίων γίνεται με χρήση εναέριου συστήματος, τότε η μέθοδος εγκατάστασης καθώς και το περιβάλλον εγκατάστασης θεωρείται ότι είναι εναέριας τοποθέτησης.

4. Διέλευσης

Όταν η τοποθέτηση των ινοοπτικών καλωδίων αποτελεί συνδυασμό απευθείας ταφής ή εντός υπόγεια υποδομής και εναέριας τοποθέτησης και οδεύει εντός κατάλληλων οδεύσεων μέσω πολλαπλών οριζόντιας ιδιοκτησίας κτιρίων, τότε η μέθοδος εγκατάστασης καθώς και το περιβάλλον εγκατάστασης θεωρείται ότι είναι διέλευσης.

Οι εναέριες γραμμές αποτελούν τον κύριο κορμό (backbone) της εταιρείας ηλεκτρισμού, ενώ τα υπόγεια και υποβρύχια καλώδια συμπληρώνουν το φάσμα των διαθέσιμων τεχνολογιών, ειδικά στα άκρα τερματισμού (end points) του συνολικού δικτύου. Τα καλώδια αυτά έχουν διαφορετική απόδοση οπτικά χαρακτηριστικά και καταστάσεις κανονικής λειτουργίας, ενώ μπορούν να εγκατασταθούν σε ποικίλες περιβαλλοντικές συνθήκες. Στο σύνολό τους όμως κατασκευάζονται για να ικανοποιήσουν τις απαιτήσεις για τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες υψηλής αξιοπιστίας και ποιότητας.

6.7 Τα υπόγεια καλώδια

Τα υπόγεια καλώδια χρησιμοποιούνται συνήθως μέσα στις πόλεις ή στα σημεία τερματισμού των εναέριων συστημάτων, σχηματίζοντας έτσι, την τελική διασύνδεση προς τους υποσταθμούς ή προς άλλο εξοπλισμό και είναι συνήθως μικρού μήκους. Τα υπόγεια καλώδια γενικώς δεν προτιμώνται, εξαιτίας των παρακάτω μειονεκτημάτων:

- Έχουν πολυέξοδη κατασκευή
- Η εγκατάστασή τους είναι δαπανηρή και χρονοβόρα, ειδικά δε όταν πρόκειται για δύσκολο ανάγλυφο εδάφους
- Απαιτούνται περισσότερες άδειες και εγκρίσεις, π.χ. για εφαρμογή σε καλλιεργήσιμες ή πλακόστρωτες περιοχές
- Απαιτείται μεγάλος βαθμός προστασίας έναντι τρωκτικών και μηχανών



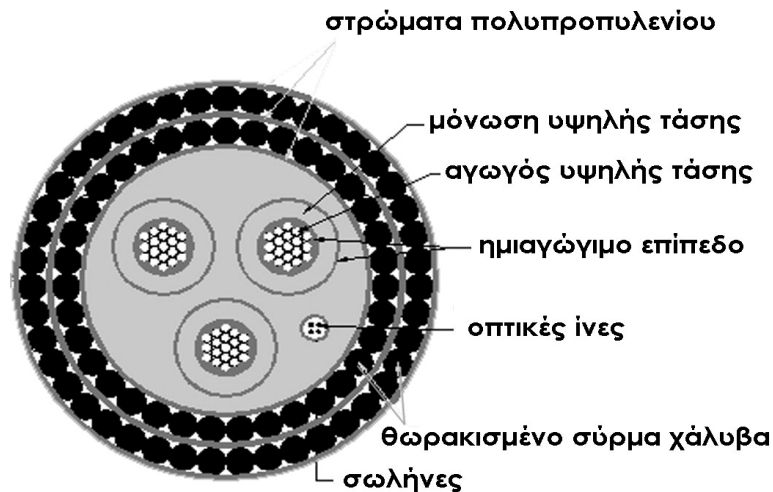
6.7.1 Εγκατάσταση και προστασία υπόγειων καλωδίων

Τα υπόγεια καλώδια είτε θάβονται απευθείας ή εγκαθίστανται σε υπάρχοντες σωλήνες, σήραγγες νερού ή τάφρους. Τα τελευταία απαιτούν και μεγάλη προστασία από κάμψεις, συγκρούσεις και συνθλίψεις. Η εγκατάστασή τους εξαρτάται από την κατάσταση του εδάφους. Υπόκεινται σε θερμοκρασίες με μεγάλες διακυμάνσεις, που εκτείνονται από -30 έως +70°C [20].

Τα υπόγεια καλώδια είναι εκτεθειμένα σε πλήθος κινδύνων, όπως τρωκτικών, τερμιτών, υγρασία κ.α. γι' αυτό απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή κατά τα στάδια της κατασκευής και της εγκατάστασης. Η θωράκιση με ατσάλοβερρες κρίνεται απαραίτητη καθώς αποτελούν τη μοναδική ουσιαστική προστασία των υπόγειων καλωδίων άμεσης ταφής, απέναντι στις επιθέσεις τρωκτικών. Περιέχουν σταθερά μέρη, τα οποία είναι μεταλλικά ή διηλεκτρικά για την εξασφάλιση της απαραίτητης αντοχής, ράβδους ενισχυμένου πλαστικού και συνθετικού υλικού μεγάλης αντοχής (aramide).

Η εγκατάσταση σε σωλήνες είναι επιβεβλημένη σχεδόν όταν πρόκειται για AC καλώδια. Ειδική θεώρηση απαιτείται όταν χρησιμοποιείται μεταλλικό στοιχείο, για την αποφυγή καταστροφών από ρεύματα σφαλμάτων γείωσης. Επιπροσθέτως, υπάρχουν κάποια επίπεδα στοιχείων, τα οποία παρέχουν προστασία ενάντια στη διείσδυση νερού. Για προστασία, λοιπόν, από εισχώρηση νερού, χρησιμοποιούνται πετρελαιοειδή τζελ, λιπαντικά (βαζελίνη, γράσο) και γενικά μείγματα που διογκώνονται και απορροφούν την υγρασία. Ειδικοί μανδύες και χαλύβδινες ή χάλκινες κορδέλες επιστρώνουν το καλώδιο προς αποφυγή ζημιών από τερμίτες ή τρωκτικά. Σε περιοχές με μεγάλη κεραυνική δραστηριότητα είναι συνιστώμενη η χρήση μη-μεταλλικών στοιχείων προς αποφυγή των καταστροφών από τα προκαλούμενα ρεύματα.

Τα υπόγεια καλώδια εγκαθίστανται κατά κανόνα μέσα σε σωλήνες από PVC, οι οποίοι καταλήγουν σε φρεάτια. Συνήθως, οι σωλήνες καλωδίων εγκαθίστανται παράλληλα με την εγκατάσταση ενεργειακών καλωδίων, ώστε να επιτυγχάνεται εξοικονόμηση στο κόστος εκσκαφών αποκαταστάσεων. Ακολούθως, το καλώδιο οπτικών ινών εγκαθίσταται στους σωλήνες με τη βοήθεια ειδικών μηχανημάτων (αεροσυμπιεστών).



Εικόνα 89 : Υπόγειο καλώδιο

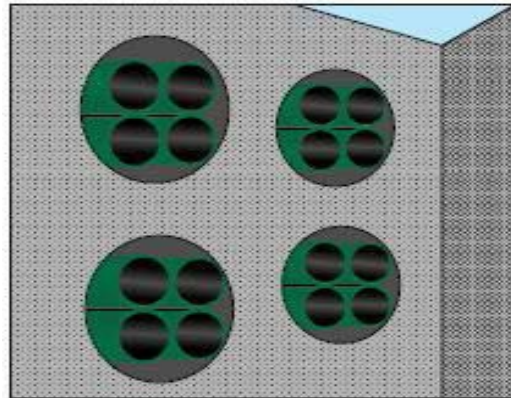


6.7.2 Εγκατάσταση σε σωλήνες καλωδίων

Σε αστικές περιοχές είναι πιο πρακτικό να χρησιμοποιούνται οι ήδη υπάρχουσες σωληνώσεις (σωλήνες και τούνελ). Έτσι, τα καλώδια οπτικών ινών τοποθετούνται είτε σε ξεχωριστούς αγωγούς, είτε μαζί με άλλα καλώδια που χρησιμοποιούνται για τηλεπικοινωνίες ή παροχή ηλεκτρικού ρεύματος δίχως να επηρεάσει τη λειτουργία τους.

6.7.3 Υποσωλήνες

Η χωρητικότητα των σωλήνων μπορεί να αυξηθεί με τη χρήση υποσωλήνων PVC. Μέχρι και τέσσερις υποσωλήνες PVC μπορούν να εισαχθούν σε έναν συνηθισμένο σωλήνα 100mm.



Εικόνα 90 : Υποσωλήνες

Με τη χρήση υποσωλήνων ο μέγιστος αριθμός PVC σωληνώσεων που μπορούν να μπουν στον μεγάλο αγωγό πρέπει να τοποθετηθούν ταυτόχρονα και να ασφαλιστούν και στα 2 άκρα. Οι υποσωλήνες αυτοί καθιστούν ευκολότερη τη μελλοντική επέκταση της οπτικής καλωδίωσης μιας και τα ήδη υπάρχοντα καλώδια δεν θα χρειαστεί να απεγκατασταθούν.

6.7.4 Οι διαφορετικές μέθοδοι εγκατάστασης καλωδίου μέσα σε σωλήνα

Οι ακόλουθες μέθοδοι συνιστανται για την εγκατάσταση του καλωδίου στον σωλήνα :

- παραδοσιακό τράβηγμα με τη χρήση σχοινού,
- « φύσημα » με χρήση πεπιεσμένου αέρα,
- χρήση νερού για να επιπλεύσει το καλώδιο.

Σε όλες τις περιπτώσεις πρέπει οι σωλήνες να τοποθετούνται σε όσο πιο λείο υπόστρωμα γίνεται. Όλες οι ενώσεις των σωλήνων πρέπει να γίνονται προσεκτικά για να αποφευχθούν οι απότομες άκρες μεταξύ των σωλήνων. Αποστάσεις μέχρι και 6Km είναι δυνατό να επιτευχθούν χωρίς να γίνουν κολλήσεις στο καλώδιο, με αποτέλεσμα να γλιτώνουμε πολύτιμο χρόνο.



6.7.4.1 Η εγκατάσταση καλωδίου με έλξη

Για να τραβηχτούν καλώδια εντός σωλήνα, πρέπει είτε να υπάρχει προ-εγκατεστημένος οδηγός έλξης ή αυτός πρέπει να εγκατασταθεί πριν από την έλξη του καλωδίου. Το καλώδιο για την έλξη του τηλεπικοινωνιακού καλωδίου και ο σχετικός μηχανισμός πρέπει να διαθέτει στροφέα, που επιτρέπει στο καλώδιο να περιστρέφεται ελεύθερα κατά την εγκατάσταση, καθώς και ασφάλεια έναντι υπέρβασης της προβλεπόμενης δύναμης εφελκυσμού, ονομαστικής αντοχής μικρότερης ή ίσης της αντοχής εφελκυσμού του καλωδίου. Για να υπάρχει δυνατότητα εγκατάστασης μεγάλων μηκών καλωδίου, το καλώδιο οπτικών ινών θα πρέπει να έχει επαρκή ονομαστική αντοχή για το πρόσθετο απαιτούμενο φορτίο έλξης ή να υπάρχουν ενδιάμεσα σημεία πρόσβασης στο καλώδιο κατά την εγκατάσταση, από όπου θα πραγματοποιείται βοηθητική έλξη ή θα υπάρχουν ενδιάμεσες βοηθητικές διατάξεις έλξης (καστάνιες ή προωθητές καλωδίων).

Κατά την εγκατάσταση των καλωδίων, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι μηχανικές και οι περιβαλλοντικές τους αντοχές σύμφωνα με τα φύλλα τεχνικών χαρακτηριστικών του προμηθευτή. Αυτές δεν πρέπει να υπερβαίνονται. Το φορτίο εφελκυσμού αντιπροσωπεύει τη μέγιστη δύναμη εφελκυσμού που επιτρέπεται να εφαρμοστεί σε ένα καλώδιο κατά τη διαδικασία εγκατάστασης και εξασφαλίζει ότι οι όποιες καταπονήσεις μεταδίδονται στις ίνες βρίσκονται εντός των ορίων ασφαλείας. Η χρήση στροφέα και μηχανικής ασφάλειας προστατεύει το καλώδιο σε περίπτωση υπέρβασης της δύναμης έλξης. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθούν λιπαντικά καλωδίου για να μειωθεί η τριβή μεταξύ καλωδίου και υποσωλήνα, μειώνοντας έτσι το φορτίο εφελκυσμού με την προϋπόθεση να μην αντιβαίνει η χρήση τους (ανάλογα με το είδος του λιπαντικού) στις προδιαγραφές των καλωδίων και των σωλήνων.

6.7.4.2 Διαδικασίες τραβήγματος καλωδίων

Το καρούλι τοποθετείται όσο το δυνατό πλησιέστερα στον οδηγό σωλήνα. Η χρήση λιπαντικού συνιστάται σε όλες τις περιπτώσεις, εκτός από τις πολύ μικρές διαδρομές. Βεβαιωθείτε, ότι χρησιμοποιείτε το κατάλληλο λιπαντικό, κατά κανόνα φυτικά έλαια, για καλώδια οπτικών ινών. Για μεγάλες διαδρομές, η διαδικασία τραβήγματος μπορεί να αποτελείται από δύο ή περισσότερα στάδια. Ένα κουτί τραβήγματος ή μία ανθρωποθυρίδα τοποθετείται σχεδόν στο μέσον της διαδρομής ή σε κατάλληλα μεταξύ τους διαστήματα για μεγάλες διαδρομές.

Το τράβηγμα αρχίζει από την ενδιάμεση θέση και συνεχίζεται προς τα πέρα. Ένας συνδετικός κρίκος τραβήγματος ή μία πιάστρα Keilems (παρόμοια με κινέζικο παζλ) προσαρμόζεται πάνω στο ανθεκτικό σώμα του καλωδίου και συνδέεται με το σχοινί τραβήγματος μέσω ενός περιστρεφόμενου κρίκου έλξης. Στην αρχή, το τράβηγμα εκτελείται προσεκτικά, τραβώντας αρκετό καλώδιο περισσότερο από το μήκος της διαδρομής. Εάν απαιτείται καλώδιο για περισσότερες από δυο διαδρομές, τότε κάθε φορά τραβάμε το ανάλογο μήκος, απλώνοντας το περισσευούμενο μήκος σε οχτάρια πάνω στο έδαφος. Όταν φθάσουμε στο τέλος μίας διαδρομής, η διαδικασία επαναλαμβάνεται τραβώντας από το επόμενο άκρο. Στο έδαφος έχει απλωθεί αρκετό καλώδιο σε οχτάρια, ώστε να μπορέσει να φθάσει στο άλλο άκρο της διαδρομής. Το καλώδιο τραβιέται διαδοχικά από τη μία θέση στην επόμενη, απλώνοντας το περίσσειμα σε κάθε θέση σε οχτάρια πάνω στο έδαφος (και σε ασφαλή περιοχή μακριά από την κυκλοφορία).

Καλώδια με σχοινένια ανθεκτικά σώματα μπορούν να προσαρμοστούν στους κρίκους έλξης. Για την προσαρμογή μίας πιάστρας Kellems, πρώτα απογυμνώστε το καλώδιο εντελώς από το περίβλημα, τις ίνες, κτλ, αφήνοντας τουλάχιστον 60 cm μήκος από το καθαρό ανθεκτικό σώμα Kevlar. Στη συνέχεια περάστε την πιάστρα Keliems πάνω στα 60 cm του γυμνού ανθεκτικού σώματος. Προσαρμόστε το περιστρεφόμενο εξάρτημα έλξης πάνω στην πιάστρα, και δέστε τα πρώτα 60 cm του ανθεκτικού σώματος πάνω στο εξάρτημα έλξης. Με τον τρόπο αυτό, η φόρτιση κατανέμεται στο ανθεκτικό σώμα. Σε καλώδια που χρησιμοποιούν εσωτερικά του προστατευτικού περιβλήματος fiberglass, Kevlar ή ανοξειδώτο χάλυβα, μπορείτε να τοποθετήσετε απλά την πιάστρα πάνω στο περίβλημα. Στην περίπτωση αυτή, δεν απαιτείται απογύμνωση του καλωδίου, αφού το



ειδικό προστατευτικό περίβλημα ενεργεί και ως ανθεκτικό σώμα. Το τελευταίο βήμα στη διαδικασία προσαρμογής είναι το τύλιγμα της πιάστρας με ταινία βινυλίου, αρχίζοντας από το καλώδιο και καταλήγοντας μέχρι το περιστρεφόμενο εξάρτημα έλξης, χωρίς το τελευταίο να καλυφθεί. Τα απλά και διπλά καλώδια θα πρέπει να τραβιούνται πάντοτε με σχοινί και όταν είναι δυνατό και με κρίκο έλξης. Εάν απαιτείται η έλξη από το εξωτερικό περίβλημα του καλωδίου, τότε να χρησιμοποιείτε κάποιο κύλινδρο.

Πρακτικά, απαιτείται ένας κύλινδρος διαμέτρου 15 cm, πάνω στον οποίο τοποθετούνται πέντε περιελίξεις καλωδίου. Η τάση διατηρείται είτε με κάποια κολλητική ταινία είτε με το δάχτυλο, έτσι ώστε να μη χαλαρώνει το ελεύθερο άκρο. Με τον τρόπο αυτό, οι ασκούμενες τάσεις κατανέμονται ομοιόμορφα πάνω στο καλώδιο, όπως ακριβώς συμβαίνει με τους κάβους στους εργάτες (βαρούλκα) των πλοίων.

Πριν αρχίσετε το τράβηγμα, βεβαιωθείτε ότι το καλώδιο δεν κάνει βρόχους ούτε το έχετε δέσει πουθενά. Στην αρχή το τράβηγμα θα πρέπει να είναι απαλό, έτσι ώστε να βεβαιωθείτε ότι όλα πάνε όπως τα έχετε σχεδιάσει. Όταν το απαραίτητο μήκος καλωδίου που πρέπει να φθάσει στο άλλο άκρο έχει εισέλθει μέσα στον οδηγό, εφαρμόστε το λιπαντικό. Σταματήστε το τράβηγμα, και με ένα χάρτινο χωνί αδειάστε περίπου το 50% του λιπαντικού που απαιτείται μέσα στον οδηγό. Αρχίστε πάλι το τράβηγμα με υψηλότερη ταχύτητα. Τοποθετήστε και το υπόλοιπο λιπαντικό, ως απαιτείται. Εάν δεν έχετε χρόνο για το καθάρισμα του καλωδίου από το λιπαντικό, τότε οι εμπλεκόμενοι τεχνικοί θα πρέπει να φοράνε γάντια λατέξ.

Όταν τραβάτε το καλώδιο με σχοινί, τότε η μέγιστη ταχύτητα τραβήγματος μέσα στον οδηγό θα πρέπει να είναι περίπου ίση με 1 μέτρο ανά ώρα. Όταν χρησιμοποιείτε ειδική ταινία τραβήγματος, τότε η ταχύτητα μπορεί να τριπλασιαστεί, επειδή σε υψηλότερες ταχύτητες η ταινία δε χαράζει το εσωτερικό του οδηγού όπως το σχοινί.

Μετά από το τέλος του τραβήγματος, ασφαλίστε το καλώδιο. Η στερέωση του καλωδίου είναι απαραίτητη όταν τραβάτε μέσα από πολλές ανθρωποθυρίδες ή κουτιά. Αρχίστε τη στερέωση από την κεντρική ανθρωποθυρίδα ή κουτί, και καταλήξτε στα άκρα. Να εφαρμόζετε δύο σημεία δεσίματος, χωρίς να σφίγγετε το καλώδιο πολύ, ώστε να μη φθαρεί το εξωτερικό του περίβλημα. Τοποθετήστε ετικέτες αναγνώρισης του καλωδίου, σε κάθε σημείο στο οποίο έχει πρόσβαση άνθρωπος. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό, διότι ένα καλώδιο οπτικών ινών, που εξυπηρετεί χιλιάδες χρήστες, μπορεί να κοπεί εύκολα από κάποιον που δεν το αναγνωρίζει.

6.7.4.3 Η εγκατάσταση καλωδίου με εμφύσηση

Παραδοσιακά, τα καλώδια εγκαθίστανται στους σωλήνες με έλξη. Προσφάτως, ειδικά με την ανάπτυξη ελαφρών μη μεταλλικών τύπων καλωδίου, ένα σημαντικό ποσοστό καλωδίων εγκαθίστανται με εμφύσηση. Αυτή μπορεί να είναι γρηγορότερη από την έλξη και μπορεί να επιτρέπει την εγκατάσταση μεγαλύτερων συνεχόμενων μηκών. Εάν εγκατασταθούν εφεδρικοί σωλήνες, υπάρχει στη συνέχεια δυνατότητα εγκατάστασης αντίστοιχων καλωδίων όταν αυξηθεί η ζήτηση ('έγκαιρα').

Κατά την εμφύσηση καλωδίων σε ένα σωλήνα, είναι σημαντικό το δίκτυο σωλήνων να είναι αεροστεγές σε όλο του το μήκος. Αυτό πρέπει να θεωρείται δεδομένο για νέα κατασκευή αλλά μπορεί να χρειάζεται έλεγχο σε υφιστάμενες σωληνώσεις, ειδικά εάν είναι παλιάς κατασκευής (π.χ. υφιστάμενο δίκτυο). Πρέπει να υπάρχει ισορροπία μεταξύ της εσωτερικής διαμέτρου του σωλήνα και της εξωτερικής διαμέτρου του καλωδίου. Εάν η εξωτερική διάμετρος του καλωδίου υπερβαίνει το 75% της εσωτερικής διαμέτρου του σωλήνα, απαιτούνται μεγαλύτερες πιέσεις αέρα από αυτές που αναπτύσσουν οι συμβατικοί συμπιεστές ή θα πρέπει να μειωθεί το μήκος εμφύσησης. Εντούτοις έχουν επιτευχθεί καλά αποτελέσματα και σε μεγαλύτερους βαθμούς πλήρωσης, π.χ. καλώδιο 7.1mm έχει εμφυσηθεί για πάνω από 1Km σε μικροσωλήνα 10mm εσωτερικής διαμέτρου 8mm (βαθμός πλήρωσης 89%). Εάν το καλώδιο είναι πολύ μικρό μπορεί να προκύψουν άλλες δυσκολίες εγκατάστασης, ειδικά εάν το καλώδιο είναι πολύ εύκαμπτο. Σε τέτοιες περιπτώσεις, οι δυσκολίες αυτές μπορούν να αντιμετωπιστούν με την προσαρμογή ημι-ανοικτής οδηγού σαίτας στο άκρο του καλωδίου.



Απαιτείται κεφαλή εμφύσησης καλωδίου τόσο για την εμφύσηση όσο και για την ώθηση του καλωδίου στο σωλήνα. Η ώθηση υπερνικά την τριβή μεταξύ καλωδίου και αγωγού κατά τις πρώτες εκατοντάδες μέτρων και τραβάει το καλώδιο από το τύμπανο. Οι σωλήνες και οι συνδέσεις πρέπει να είναι επαρκώς «αεροστεγείς» ώστε να εξασφαλίζεται η απαιτούμενη παροχή αέρα σε όλο το σωλήνα. Απαιτείται κατάλληλος αεροσυμπιεστής στο τέρμα του εξοπλισμού καλωδίωσης του τμήματος σωλήνα συνδεδεμένος στην κεφαλή εμφύσησης. Η υδραυλική πίεση στην κεφαλή εμφύσησης που χρησιμοποιείται για να παρέχει έλξη οδήγησης/ώθησης στο καλώδιο πρέπει να είναι αυστηρά ελεγχόμενη για να μην προκληθεί ζημιά στο καλώδιο.



Εικόνα 91 : Χρήση του breeze κατά τη διάρκεια φυσήματος καλωδίου

6.7.4.4 Η ολοκληρωμένη διαδικασία εμφύσησης καλωδίου

Για να γίνει το φύσημα του καλωδίου χρειάζεται ο εξής εξοπλισμός: Κομπρεσέρ λαδιού, κομπρεσέρ αέρος και το breeze. Το κομπρεσέρ λαδιού κινεί τον μηχανισμό (breeze) ο οποίος σπρώχνει το καλώδιο ενώ το κομπρεσέρ αέρος φυσάει αέρα μέσα στον σωλήνα που περνάει το καλώδιο υποβοηθώντας το. Πριν ενώσουμε το καλώδιο στο breeze καθαρίζουμε τον σωλήνα που θα περάσει μέσα το καλώδιο φυσώντας μέσα του ένα απλό σφουγγάρι. Στην συνέχεια συνδέουμε το καλώδιο στο breeze. Συνήθως ξεκινάμε το φύσημα από το φρεάτιο που βρίσκεται στην μέση της διαδρομής ρίχνοντας από 2Km σε κάθε μεριά. Το στροφέιο τοποθετείται πάνω σε δυο τρίποδα ώστε να μπορεί να ελευθερώνεται το καλώδιο. Σε περίπτωση που το καλώδιο δυσκολεύεται να περάσει μονοκόμματο από την μια μεριά στην άλλη πηγαίνουμε στο πιο κοντινό φρεάτιο από το σημείο που κολλάει το καλώδιο και το βγάζουμε έξω κάνοντας το οχτάρια και στην συνέχεια συνεχίζουμε το φύσημα από το σημείο που έγιναν τα οχτάρια. Όταν δυσκολεύεται το φύσημα του καλωδίου οφείλεται κυρίως σε διαδρομή με αρκετές στροφές, υψηλές θερμοκρασίες ή σε τσάκιση των σωλήνων κατά την τοποθέτησή τους. Μόλις τελειώσει το φύσημα του καλωδίου αφήνουμε περίπου 50m spare στις άκρες του καλωδίου καθώς και στα ενδιάμεσα φρεάτια και ξαναμετράμε τις αρχικές ίνες ώστε να σιγουρευτούμε ότι δεν τραυματίσαμε το καλώδιο μας. Σε αντίθετη περίπτωση πρέπει να τραβήξουμε έξω το καλώδιο και να περάσουμε καινούριο από την αρχή. Το spare επίσης το αφήνουμε για να μπορούμε σε περίπτωση μελλοντικής βλάβης να τραβήξουμε καλώδιο και να κολλήσουμε τις ίνες.



Εικόνα 92 : Το breeze

6.7.4.5 Η εγκατάσταση καλωδίου με επίπλευση

Λαμβάνοντας υπόψη ότι τα περισσότερα υπόγεια καλώδια εξωτερικής τοποθέτησης εκτίθενται σε νερό για μεγάλο μέρος της ζωής τους, η επίπλευση είναι μια εναλλακτική μέθοδος της εμφύσησης. Η επίπλευση μπορεί να πραγματοποιηθεί με μηχανήματα που είναι αρχικά σχεδιασμένα για εμφύσηση. Απλά ο αέρας αντικαθίσταται από το νερό. Συγκριτικά με την εμφύσηση, η επίπλευση επιτρέπει την τοποθέτηση τμημάτων καλωδίων σημαντικά μεγαλύτερου μήκους σε σωλήνες χωρίς ενδιάμεσα σημεία πρόσβασης. Η επίπλευση μπορεί να αποδειχθεί πολύ αποτελεσματική για πέρασμα καλωδίου σε πολλές περιπτώσεις. Με την επίπλευση επίσης μειώνεται η απόδοση κατά την τοποθέτηση καλωδίων που έχουν εξωτερική διάμετρο που υπερβαίνει το 75% της εσωτερικής διαμέτρου του σωλήνα. Εντούτοις έχουν επιτευχθεί καλά αποτελέσματα και σε μεγαλύτερους βαθμούς πλήρωσης, π.χ. καλώδιο 38mm έχει περαστεί με επίπλευση για πάνω από 1,9Km σε σωλήνα εσωτερικής διαμέτρου 41mm (βαθμός πλήρωσης 93%). Επιτρέπει την ασφαλή αφαίρεση των καλωδίων από το σωλήνα (float out), καθιστώντας έτσι εφικτή την επαναχρησιμοποίηση αυτών των καλωδίων. Συγκριτικά η αφαίρεση καλωδίου με φύσημα (blow out) είναι μια επικίνδυνη διαδικασία.

6.8 Τα υποβρύχια καλώδια

Τα οπτικά καλώδια μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε υπόγειες και υποβρύχιες ζεύξεις. Τα υποβρύχια καλώδια είναι συνήθως καλώδια πυρήνα με εγχοπές. Τα υποβρύχια καλώδια συνδέουν το νησιωτικό δίκτυο με το κυρίως ηπειρωτικό ενεργειακό δίκτυο, διασχίζουν λίμνες, ποταμούς και λιμάνια ή μεταξύ μεγάλων μαζών γης. Πολλές φορές μεταφέρουν μεγάλες ποσότητες κίνησης. Ο συνδυασμός της ενεργειακής παροχής με την τηλεπικοινωνιακή ζεύξη στο ίδιο υποθαλάσσιο καλώδιο αποτελεί οικονομική λύση, αφού η εγκατάστασή του είναι μια πολυέξοδη διαδικασία.

Επιπλέον, η ζωτικής σημασίας μηχανική προστασία και αντοχή σε εφελκυσμό που απαιτείται στα υποθαλάσσια καλώδια, επιτυγχάνεται πιο δαπανηρά από ότι στα εναέρια, αλλά εξασφαλίζεται από τα ενεργειακά καλώδια. Τα υποβρύχια καλώδια είναι φιλικά προς το περιβάλλον, αθέατα και χωρίς εναπομείναντα ίχνη μετά την εγκατάστασή τους.



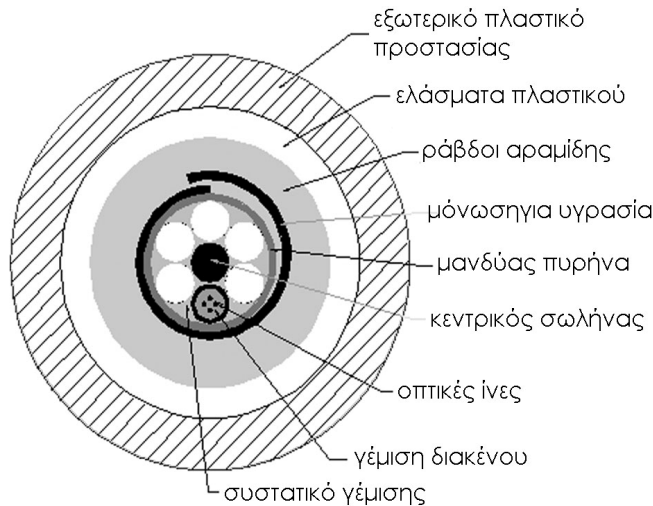
6.8.1 Εγκατάσταση υποβρυχίων καλωδίων

Στα υποθαλάσσια καλώδια η πόντιση γίνεται με πλοία βύθισης καλωδίων ή ακάτους. Δεδομένου ότι το υποβρύχιο καλώδιο θα είναι τοποθετημένο μόνιμα κάτω από το νερό, μια μεταλλική αδιάβροχη θήκη χαλκού ή αλουμινίου προστίθεται μεταξύ του καλωδίου οπτικών ινών και της θωράκισης. Αυτή η πρόσθετη θήκη προστατεύει την οπτική ίνα από την είσοδο του νερού και του υδρογόνου. Επειδή το καλώδιο οπτικών ινών είναι πολύ ελαφρύτερο από το χάλκινο καλώδιο, εισάγεται πρόσθετο βάρος με τη θωράκιση του καλωδίου οπτικών ινών από βαριά χαλύβδινα συρμάτων. Η θωράκιση προστατεύει επίσης το καλώδιο από τις άγκυρες, τα αλιευτικά πλοιάρια, τις ζημιές από τους καταδυμένους βράχους κλπ.

Το καλώδιο τοποθετείται στους υποδοχείς των μπομπίνων στο πίσω μέρος του πλοίου, και καταδύεται με σταθερή ταχύτητα καθώς το πλοίο διασχίζει τα νερά. Μετά την πόντιση η πρόσβαση στο καλώδιο είναι δύσκολη και δαπανηρή. Αν το καλώδιο καταστραφεί θα πρέπει να αντικατασταθεί το αντίστοιχο κομμάτι.

Εκτός αυτού, η πίεση του νερού και η διείσδυση υδρογόνου ή υγρασίας μπορεί να αποτελέσουν παράγοντες εξασθένησης και γενικότερα υποβιβασμού της απόδοσης του καλωδίου. Το κύριο επίπεδο θωράκισης σφραγίζει τα υποθαλάσσια καλώδια αεροστεγώς. Σύνθετες κατασκευές περιέχουν έως και 36 οπτικές ίνες, που λειτουργούν στα 1550nm μήκος κύματος, εφαρμόζονται σε μέσης τάσης συστήματα (τάση γύρω στα 66kV) και διατίθενται σε μήκη των 90Km. Χρησιμοποιώντας τις τελευταίες εξελίξεις στην τεχνολογία μετάδοσης και εξοπλισμού μπορεί να επιτευχθεί μήκος 300Km χωρίς αναμεταδότες. Ένα τέτοιο σύστημα έχει εγκατασταθεί στην ζεύξη Σουηδίας και Λετονίας δια μέσου της Βαλτικής θάλασσας, έχει μήκος 305Km και λειτουργεί με 622 Mbits/sec.

Οι εργασίες συγκόλλησης και σύνδεσης πραγματοποιούνται στα εργοστάσια κατά τη φάση της κατασκευής.



Εικόνα 93 : Υποθαλάσσιο καλώδιο

6.9 Τα εναέρια καλώδια

Η ενσωμάτωση των οπτικών ινών στα εναέρια ηλεκτροφόρα καλώδια παρέχει μια εξαιρετικά οικονομικώς αποδοτική λύση για γραμμές τηλεπικοινωνιών μεγάλων αποστάσεων. Επομένως, ένας αυξανόμενος αριθμός ηλεκτρικών εταιριών (ή εταιριών που χρησιμοποιούν κολώνες) σε όλο τον κόσμο χρησιμοποιεί τα εναέρια ηλεκτροφόρα καλώδια του όχι μόνο για τη διαβίβαση ή τη διανομή της ηλεκτρικής ενέργειας αλλά και για την οπτική μετάδοση στοιχείων. Το εναέριο δίκτυο οπτικών



ινών μέσα στις πόλεις κατασκευάζεται στις περιοχές όπου δεν είναι δυνατή η κατασκευή υπογείου δικτύου και συνήθως αποφεύγεται και λόγω καλαισθησίας αλλά και από το γεγονός ότι κάθε εναέριο δίκτυο σε σχέση με το υπόγειο είναι πιο επιρρεπές στις βλάβες.

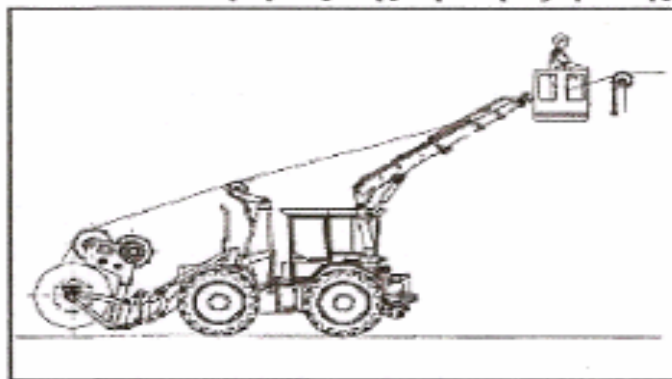
Τα εναέρια δίκτυα κορμού συνδέονται συνήθως με υπόγεια αλλά ταυτόχρονα και με δίκτυα πελατών (διανομής) βέβαια τείνουν να καταργηθούν λόγω της υπογειοποίησης όλων των δικτύων.

6.9.1 Εγκατάσταση εναέριου καλωδίου

Οι στύλοι πάνω στους οποίους εγκαθίσταται το εναέριο δίκτυο είναι τσιμεντένιοι ή ξύλινοι και απέχουν συνήθως μεταξύ τους από 30 έως 50 μέτρα.

Το καλώδιο οπτικών ινών τοποθετείται σε κυλίνδρους εγκατάστασης, που είναι προσωρινά τοποθετημένοι πάνω στους στύλους τις ηλεκτρικής γραμμής, και τελικά τοποθετείται στις μόνιμες στερεωτικές συσκευές που βρίσκονται σε κάθε στύλο κατά μήκος της γραμμής, κάτω από τα καλώδια μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας και σε απόσταση τέτοια ούτως ώστε στην μεγαλύτερη καμπυλότητα (οριακό σημείο) του κάτω ηλεκτρικού καλωδίου (λόγω θέρμανσης είτε από φωτιά ή καιρικές συνθήκες) να είναι 60cm. Σε κάθε κολώνα αφήνουμε αρκετά μέτρα περίσσεια καλωδίου για τους ίδιους λόγους που αφήνουμε και σε κάθε φρεάτιο στο υπόγειο δίκτυο οπτικών ινών.

Εάν ο δρόμος το επιτρέπει, ένα όχημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την τοποθέτηση του καλωδίου κατά μήκος της προοριζόμενης διαδρομής.



Εικόνα 94 : Εγκατάσταση εναέριου καλωδίου

6.9.2 Εναέριο δίκτυο οπτικών ινών εκτός πόλεων

6.9.2.1 Εγκατάσταση εναέριου καλωδίου

Το εναέριο καλώδιο τοποθετείται στο ψηλότερο σημείο του πυλώνα και αντικαθιστά στο καλώδιο γείωσης του. Οι αποστάσεις των πυλώνων είναι συνήθως 500 μέτρα και το μήκος των εναέριων καλωδίων είναι συνήθως 10 χιλιόμετρα. Υπάρχουν ειδικά εξαρτήματα στην κορυφή κάθε πυλώνα όπου στερεώνεται το καλώδιο της οπτικής ίνας που στο τέλος του το καλωδίου καταλήγει στη βάση κάθε πυλώνα σε μεταλλικούς συνδέσμους (μούφες).

6.10 Τεχνικές προδιαγραφές για την κατασκευή δικτύων οπτικών ινών εντός πόλεων

Στο κεφάλαιο αυτό περιέχεται μια γενική ανάλυση των διαθέσιμων Επιλογών Ανάπτυξης Υποδομών δικτύου οπτικών ινών σε πόλεις. Κάθε επιλογή προσφέρει χαρακτηριστικά και πλεονεκτήματα καθώς και περιορισμούς. Οι επιλογές ανάπτυξης μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν συνδυαστικά.



6.10.1 Συμβατική υποδομή με σωλήνες

Αυτή είναι η πιο συμβατική μέθοδος υπόγειας εγκατάστασης καλωδίου και συμπεριλαμβάνει τη δημιουργία ενός δικτύου σωλήνων που επιτρέπει την εκ των υστέρων εγκατάσταση καλωδίων με **τεχνικές έλξης, εμφύσησης ή επίπλευσης**. Αυτή μπορεί να περιλαμβάνει ένα μεγάλο κύριο σωλήνα που περιέχει μικρότερους υποσωλήνες (για ανεξάρτητη εγκατάσταση καλωδίου), ένα μεγάλο κύριο σωλήνα εντός του οποίου έλκονται προοδευτικά καλώδια το ένα πάνω από το άλλο καθώς αναπτύσσεται το δίκτυο ή ένα μικρό υποσωλήνα για την εγκατάσταση ενός μόνου καλωδίου. Η εγκατάσταση σωλήνα αποτελεί την ευκολότερη και ασφαλέστερη μέθοδο και επιτρέπει επίσης την περαιτέρω πρόσβαση και αναδιαμόρφωση. Όπως και στη μέθοδο άμεσου ενταφιασμού πρέπει να ληφθούν υπόψη τα υπόλοιπα ενταφιασμένα δίκτυα κοινής ωφελείας. Η αποτελεσματικότητα της εγκατάστασης καλωδίου σε σωλήνες εξαρτάται έντονα από την ποιότητα της τοποθέτησης του σωλήνα, ανεξάρτητα από την μέθοδο εγκατάστασης.

Η χρήση ενός μόνου σωλήνα μεγιστοποιεί τον αριθμό των καλωδίων που μπορούν να εγκατασταθούν αλλά οι γεμάτοι σωλήνες δυσκολεύουν την αφαίρεση των παλαιότερων καλωδίων (τυπικά στο κάτω τμήμα του σωλήνα) για να δημιουργηθεί χώρος για νέα καλώδια. Η χρήση υποσωλήνων μπορεί να μειώνει τον ολικό αριθμό καλωδίων που μπορούν να εγκατασταθούν, αλλά τουλάχιστον τα παλαιότερα καλώδια μπορούν να αφαιρεθούν και να εγκατασταθούν νέα. Τα καλώδια εγκαθίστανται στους σωλήνες με έλξη, εμφύσηση ή επίπλευση. Εάν πρόκειται να τραβηχτούν, τότε ο σωλήνας είτε πρέπει να έχει προ-εγκατεστημένο οδηγό έλξης ή να εγκατασταθεί ένας με ράβδο οδηγό. Εάν πρόκειται να εγκατασταθούν με εμφύσηση ή επίπλευση, τότε ο σωλήνας και οι τυχόν συνδέσεις μεταξύ των τμημάτων του σωλήνα πρέπει να είναι αεροστεγή και να αντέχουν τουλάχιστον στην πίεση που θα εφαρμοσθεί για το σκοπό αυτό.

Οι σωλήνες HDPE θα έχουν εξωτερική διάμετρο 40mm ή 50mm και εσωτερική διάμετρο 32mm ή 44mm αντίστοιχα σε διάταξη μονών σωληνώσεων ή συστοιχιών περισσοτέρων της μίας συνδεδεμένων κατά μήκος σωληνώσεων. Οι σωλήνες θα έχουν τη δυνατότητα σύνδεσης τμημάτων τους, χωρίς αλλαγή της εσωτερικής διαμέτρου για την εξασφάλιση της απρόσκοπτης ολίσθησης υποσωληνώσεων εντός του σωλήνα.

Οι σωλήνες θα έχουν εσωτερικά ιδιαίτερα λεία επιφάνεια και διαμήκεις εσοχές για μείωση της επιφάνειας επαφής με υποσωληνώσεις ή καλώδια, ώστε να ελαχιστοποιούνται οι τριβές και να διευκολύνεται το πέρασμα των τελευταίων. Οι κενές σωληνώσεις θα φέρουν στο εσωτερικό τους διηλεκτρικό οδηγό για έλξη υπό-σωληνώσεων ή καλωδίων.

Οι σωλήνες θα είναι ενιαίου χρώματος (μαύρου ή γκρι ή πορτοκαλί) και θα διαφέρουν από τους σωλήνες ύδρευσης, φυσικού αερίου, και ηλεκτροδότησης (τυπικά μπλε και κίτρινου χρώματος αντίστοιχα). Οι σωλήνες δεν θα διακόπτονται εκτός όπου προβλέπεται από την μελέτη και συντρέχει ιδιαίτερος λόγος (συγκόλληση ινών, έλξη καλωδίων, εισαγωγή υπό-σωληνών και συστημάτων μικρό-σωληνώσεων).

6.10.2 Συστοιχίες μικρό-σωληνώσεων M1 & M2 (Microduct bundles)

Συστοιχίες μικρό-σωληνώσεων μπορούν να χρησιμοποιηθούν συστηματικά, ιδιαίτερα στο μέρος του δικτύου που προσδιορίζεται να ικανοποιήσει άμεσα ή μελλοντικά αυξημένη πυκνότητα συνδέσεων μεταξύ κύριων κόμβων, κόμβων διανομής και πρόσβασης αλλά και στις τελικές συνδέσεις προς μεμονωμένους χρήστες. Η επιλογή αυτή χρησιμοποιεί **πεπιεσμένο αέρα** για τη γρήγορη εμφύσηση μονάδων οπτικών ινών και καλωδίων μικρής διαμέτρου μέσω δικτύου σωλήνων προς τους τελικούς χρήστες / κτίρια.

Επίσης, μπορεί να ελαχιστοποιηθεί ο αριθμός των συνδέσμων καλωδίων οπτικών ινών (K.O.I.) και των αντίστοιχων συγκολλήσεων με την εμφύσηση τμημάτων οπτικής ίνας μεγάλου μήκους στο δίκτυο σωλήνων (οι οποίοι σωλήνες συνδέονται εύκολα μέσω πρεσαριστών συνδέσμων). Η επιλογή αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συνδυασμό με υποδομή σωλήνα, άμεσου ενταφιασμού ή εναέρια και οι σωλήνες μπορούν να τοποθετηθούν σε κατασκευές σχεδιασμένες για οποιαδήποτε από αυτές τις μεθόδους.



Οι μικροσωλήνες διαστασιολογούνται σύμφωνα με τον κύριο σωλήνα υποδοχής και τα καλώδια που θα εγκατασταθούν. Σε αντίθεση με τη συμβατική σωλήνωση, η μικροσωλήνωση πρέπει να ταιριάζει με τα καλώδια οπτικών ινών που θα χρησιμοποιηθούν για να εξασφαλιστεί η συμβατότητα κατά την εγκατάσταση. Οι μικροσωλήνες μπορεί να προσφέρονται ως ανεξάρτητοι ελεύθερης τοποθέτησης σε σωλήνα, σε συστοιχίες ή για άμεσο ενταφιασμό. Υπάρχουν και άλλες παραλλαγές για επίτοιχη τοποθέτηση (σήραγγες) ή δομές στύλων για εναέριους κλάδους.

Οι συστοιχίες μικρό-σωληνώσεων θα έχουν απαραίτητα προδιαγραφές για εξωτερική χρήση και θα είναι τοποθετημένες εντός προστατευτικών σωληνών εξωτερικής διαμέτρου περίπου 40mm και προδιαγραφών για άμεσο ενταφιασμό (Direct Bury into Ground DB). Το εξωτερικό τους περίβλημα να επιτρέπει την ολίσθησή τους εντός σωληνώσεων ή υπό-σωληνώσεων ή παράλληλα με υποσωληνώσεις και άλλες συστοιχίες μικρό-σωληνώσεων εντός της αυτής σωληνωσης. Προδιαγράφονται οι πιο κάτω τύποι συστημάτων:

- (M1) Συστοιχία μικροσωληνώσεων (microduct bundles) με 7 ή περισσότερους σωληνίσκους (microtubes), στην καθεμία εκ των οποίων θα μπορεί να εμφυσηθεί, με την κατάλληλη διάταξη εμφύσησης, μικροκαλώδιο (micro-cable) με αριθμό ινών έως και 72 το καθένα. Η συστοιχία μπορεί να απαρτίζεται από διακριτές δέσμες μικρότερου αριθμού σωληνίσκων εάν αυτές μπορούν να τοποθετηθούν τμηματικά εντός υπο-σωλήνα ώστε να συνθέσουν τον απαιτούμενο αριθμό μικροσωληνίσκων ο οποίος σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να καλύπτεται.
- (M2) Συστοιχία μικροσωληνώσεων (microduct) με σωληνίσκους (microtubes) για την υλοποίηση του Δικτύου Συγκέντρωσης. Σε κάθε σωληνίσκο θα μπορεί να εμφυσηθεί, με την κατάλληλη διάταξη εμφύσησης, μικροκαλώδιο (micro-cable) με αριθμό ινών τουλάχιστον 8 το καθένα. Οι σωληνίσκοι θα πρέπει να έχουν χρωματικό ή άλλο κώδικα για τον εύκολο εντοπισμό τους. Τυπικές διαστάσεις των μικροσωληνίσκων είναι $D/d = 5\text{mm}/3,5\text{mm}$ ή $D/d = 3\text{mm}/2,1\text{mm}$. Επίσης τυπικές κατηγορίες συστοιχιών M2 ανάλογα με τον αριθμό των σωληνίσκων που υπάρχουν είναι οι M2/12, M2/19, M2/24.
- (M3) Τα πολυσωλήνια τύπου M3 αποτελούνται από 4 σωληνίσκους διαστάσεων 5/3,5. Κάθε ένα από τα M3 καταλήγει στο εσωτερικό κάθε διασυνδεδεμένου κτιρίου και από τη μεριά του δικτύου διασυνδέεται με τους σωληνίσκους του πολυσωληνίου M2 στο σημείο όπου το X2 τέμνεται με το X1 μέσω συνδέσμου ο οποίος τοποθετείται στο σημείο αυτό.
- (M4) Ο τύπος του αγωγού έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε τα καλώδια οπτικών ινών να προστατεύονται μέσα στον τραχύ κάθετο αγωγό, ο οποίος είναι ανθεκτικός στις συντριβές και ικανός να αντισταθεί στις άστατες καιρικές συνθήκες και στη θερμοκρασία. Ο αγωγός είναι ένα διμερές, λεπτού προφίλ σύστημα αγωγών από PVC που "κουμπώνει" γύρω από το καλώδιο ινών και έπειτα τοποθετημένος σε μια λεπτή τομή στην υποδομή. Ο αγωγός τύπου M4 αποτελείται από 1-4 αυλακώσεις διαστάσεων από 25mm - 55mm. Ο M4 καταλήγει στο εσωτερικό κάθε διασυνδεδεμένου κτιρίου και από τη μεριά του δικτύου διασυνδέεται με τους σωληνίσκους του πολυσωληνίου M2 στο σημείο όπου το X3 τέμνεται με το X1 μέσω συνδέσμου ο οποίος τοποθετείται στο σημείο αυτό.



Εικόνα 95 : καλώδιο M4

6.10.3 Συνδετήρες - Διακλαδωτήρες μικρό-σωληνώσεων

Οι σωλήνες που περιβάλλουν τις συστοιχίες μικρό-σωληνώσεων ενώνονται μεταξύ τους με ειδικά τεμάχια σύνδεσης ή/και διακλάδωσης ώστε να διατηρείται αφ' ενός η συνέχεια της προστασίας και στεγάνωσης σωληνίσκων και καλωδίων και αφ' ετέρου να εξασφαλίζεται η έξοδος παρόμοιων ή μικρότερων σωληνώσεων για εξυπηρέτηση κόμβων, και χρηστών αντίστοιχα. Θα απαιτηθούν διακλαδωτήρες οι οποίοι θα επιτρέπουν α) την είσοδο και απαραίτητα την ταυτόχρονη έξοδο τμημάτων σωλήνα του βρόχου ίδιας διαμέτρου και β) την έξοδο τουλάχιστον 2 σωληνίσκων με τη δυνατότητα εσωτερικής σύνδεσης των σωληνίσκων των εξερχόμενων σωλήνων πρόσβασης προς αντίστοιχους σωληνίσκους οποιουδήποτε εκ των σωλήνων του βρόχου. Τυπικό δείγμα συνδετήρων



Εικόνα 96 : Συνδετήρες μικρό-σωληνώσεων

Για την ελαχιστοποίηση των απαιτήσεων χώρου μπορούν να χρησιμοποιηθούν διακλαδωτήρες τύπου «H», «Y». Θα πρέπει να υπάρχει η δυνατότητα τρόπου οργάνωσης και στήριξής τους εντός των φρεατίων



Εικόνα 97 : Διακλαδωτήρες μικρό-σωληνώσεων

6.11 Φρεάτια σε δρόμους

Τα φρεάτια χρησιμοποιούνται για τρεις κυρίως σκοπούς: α) για τοποθέτηση πλεονασματικού καλωδίου (looping cable), β) για συγκόλληση/διακλάδωση καλωδίων και φιλοξενία των διατάξεων συγκόλλησης (cable splicing) ή διακλαδωτήρων μικροσωληνώσεων (microtube branching) και γ) ως σημεία για την υποβοήθηση της έλξης ή της εμφύσησης καλωδίου. Για ομοιομορφία, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας τύπος φρεατίου (με μεταβλητές διαστάσεις ανάλογα με τη λειτουργία του και τους εκάστοτε περιορισμούς). Σε περιπτώσεις που ο υπόγειος χώρος είναι περιορισμένος, μπορούν να χρησιμοποιηθούν υπαίθρια κιβώτια καλωδίων [21].

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

Φρεάτια για τοποθέτηση πλεονασματικού καλωδίου συστήνεται να τοποθετούνται σε τακτά διαστήματα ιδιαίτερα σε περιοχές όπου προβλέπονται μελλοντικές μικρομετατοπίσεις της διάδευσης. Πρέπει να δοθεί προσοχή στον προσδιορισμό της θέσης των φρεατίων ώστε να μπορούν να προστεθούν εύκολα χρήστες στο μέλλον.

Η επιλογή του τύπου του φρεατίου βασίζεται στα ακόλουθα κριτήρια:

- Που θα εγκατασταθεί; (κυρίως λόγοι ασφαλείας)
- Ποιο είναι το μέγιστο φορτίο που πρέπει να αντέχει;
- Πόσος χώρος απαιτείται;
- Ποιοι είναι οι τοπικοί κανονισμοί;
- Θα τοποθετηθεί υπογείως ή στην επιφάνεια του εδάφους;

Υπάρχουν διαθέσιμοι τέσσερις βασικοί τύποι Φρεατίων:

- Θυρίδες χειρός από σκυρόδεμα
- Θυρίδες χειρός από HDPE
- Πολυεστερικές θυρίδες χειρός
- Πολυκαρβονικές θυρίδες χειρός



Σε περιπτώσεις όπου υπάρχει κίνδυνος κατεδάφισης ορισμένες φορές είναι προτιμότερο να τοποθετηθεί το φρεάτιο πλήρως υπογείως. Αυτό έχει το μειονέκτημα της δυσκολίας πρόσβασης σε περίπτωση επακόλουθης θεμελίωσης. Εναλλακτικά μπορείτε να χρησιμοποιηθεί φρεάτιο με κάλυμμα που κλειδώνει με ειδικά κλειδιά. Υπάρχουν διαθέσιμοι αρκετοί τύποι για όλους τους τύπους θυρίδων χειρός. Ενδεικτικά χαρακτηριστικά παρατίθενται στη συνέχεια:

1. Φρεάτιο Φ1 μεγάλο

Χαρακτηριστικά του φρεατίου Φ1 θα είναι:

- Μέσο μήκος φρεατίου (εσωτερικά): 900mm
- Μέσο πλάτος φρεατίου (εσωτερικά) 700mm
- Μέσο βάθος φρεατίου 650mm με απόσταση μεγαλύτερη των 200mm

2. Φρεάτιο Φ2 μεσαίο

Χαρακτηριστικά του φρεατίου Φ3 θα είναι:

- Μέσο μήκος φρεατίου (εσωτερικά): 600mm
- Μέσο πλάτος φρεατίου (εσωτερικά) 600mm
- Μέσο βάθος φρεατίου 650mm με απόσταση μεγαλύτερη των 200mm μεταξύ της επιφάνειας του εδάφους και των αγωγών)
- Προβλεπόμενη μέση απόσταση μεταξύ των φρεατίων: 250-300 m

3. Φρεάτιο Φ3 μικρό

Χαρακτηριστικά του φρεατίου Φ3 θα είναι:

- Μέσο μήκος φρεατίου (εσωτερικά): 300mm
- Μέσο πλάτος φρεατίου (εσωτερικά) 300mm
- Μέσο βάθος φρεατίου 450mm με απόσταση μεγαλύτερη των 200mm μεταξύ της επιφάνειας του εδάφους και των αγωγών)
- Περιμετρική κάλυψη με σκυρόδεμα πάχους τουλάχιστον 150mm

6.12 Χάνδακες (trenches)

Ο ακριβής καθορισμός του τύπου του χάνδακα θα πρέπει να προκύψει μετά από λεπτομερή έρευνα της τοπογραφίας αρχικά και των υπογείων εμποδίων με τις κατάλληλες ή προσφορότερες μεθόδους σε συνεργασία με τους δήμους και τους οργανισμούς (ΟΤΕ, ΔΕΗ, Ύδρευση κλπ) ώστε να εξασφαλισθούν παράλληλα και οι ελάχιστες αποστάσεις για λειτουργικούς λόγους και για αποφυγή βλαβών από επεμβάσεις σε παρακείμενα δίκτυα.

6.12.1. Μέθοδοι κατασκευής χάνδακα

6.12.1.1 Μέθοδος mini-Trencher

Ο χάνδακας είναι τομή ανοικτού τύπου στην άκρη του δρόμου (ασφαλτικό οδόστρωμα) ή σε πεζοδρόμια, διατομής βάθους μέχρι 400mm και πλάτους ≤ 150 mm σύμφωνα με την Ελληνική



νομοθεσία και με τις προδιαγραφές ITU-T L.48 και L.35 (CCITT outside plant technologies for public networks). Η τομή κατασκευάζεται με την χρήση μηχανημάτων τύπου trencher. Το, συγκεκριμένου τύπου, μηχάνημα διάνοιξης χάνδακα κινείται σε συνήθους τύπου ελαστικά και με ειδικό τροχό διάνοιξης (ο οποίος περιέχει τα κατάλληλα κοπτικά εξαρτήματα), κατασκευάζει χάνδακα τυποποιημένων διαστάσεων, σε μια ευθεία γραμμή στον ελάχιστο δυνατό χρόνο [22].



Εικόνα 98 : Τυπικό μηχάνημα για κατασκευή μικροτάφρου

Μετά τη διάνοιξη και τον καθαρισμό του χάνδακα θα πρέπει να τοποθετηθούν οι κατάλληλες σωληνώσεις με τη σειρά που εμφανίζονται στο σχεδιασμό, εξασφαλίζοντας τη συγκεκριμένη χωροθέτηση τους καθ' όλο το μήκος του χάνδακα. Ιδιαίτερη έμφαση πρέπει να δοθεί στην αποφυγή μετακινήσεων και παραμορφώσεων των σωληνώσεων ώστε να διατηρείται πάντοτε η καθ' ύψος και πλάτος χωροθέτησης των καθ' όλο το μήκος του χάνδακα. Η τοποθέτηση των σωλίνων μπορεί να γίνει με δύο τρόπους:

- Ταυτόχρονου ενταφιασμού των σωλίνων κατά την φάση της διάνοιξης του χάνδακα (απαιτείται ειδικός μηχανισμός).
- Μη - ταυτόχρονου ενταφιασμού των σωλίνων. Στην περίπτωση αυτή γίνεται η διάνοιξη του χάνδακα για Χ μέτρα και κατόπιν ενταφιάζονται οι σωλίνες.

Σε κάθε περίπτωση κατά την διάρκεια της κατασκευής θα πρέπει να τοποθετούνται τα απαραίτητα διαχωριστικά στον δρόμο καθώς και οι κατάλληλες σημάνσεις με σκοπό την αποφυγή ατυχημάτων. Η κατασκευή των υποδομών θα γίνεται σε μικρά μέρη μήκους το πολύ 500μ. Θα γίνεται αποκατάσταση της τομής την ίδια ημέρα και θα παραδίδεται στην κυκλοφορία ώστε να κρατηθεί η όχληση σε χαμηλά επίπεδα.

Μετά την τοποθέτηση των σωλίνων γίνεται η πλήρωση του χαντακιού ως εξής σύμφωνα με τη οδηγία ITU-T η οποία αναφέρει:

- Η πρώτη στρώση θα είναι από σκυρόδεμα των 200Kg/m³
- Στην συνέχεια θα τοποθετηθεί ταινία σήμανσης.
- Η τελευταία στρώση θα περιλαμβάνει την αποκατάσταση του ασφαλτικού της επιφανείας στην αρχική της μορφή.

Στις περιπτώσεις όπου η τελική επιφάνεια παρουσιάζει ιδιαιτερότητες (κυβόλιθοι, πλάκες πεζοδρομίου, κλπ) τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του χάνδακα θα προσαρμόζονται ανάλογα για την ορθή και έντεχνη αποκατάσταση της τελικής επιφάνειας.



Εικόνα 99 : Τυπική εγκατάσταση σωλήνα για τάφρο τύπου mini Trencher

6.12.1.2 Μέθοδος Micro Trencher

Το σύστημα κάθετης ένθετης οπτικής καλωδίωσης (micro trencher) αλλάζει τον τρόπο που τοποθετούνται τα καλώδια οπτικών ινών. Συνδυάζοντας την ευκολία στη χρήση και την ταχύτητα της τοποθέτησης, όπως επίσης και τα θετικά πλεονεκτήματα για τις πόλεις και τους εγκαταστάτες, η μεθοδολογία του συγκεκριμένου συστήματος είναι μια ελκυστική λύση για την οπτική καλωδίωση last mile. Εκτός από το χαμηλό αντίκτυπο στους πεζούς, την κυκλοφορία, και τις εμπορικές ζώνες, το άλλο πλεονέκτημα για τις πόλεις αφορά τον αντίκτυπο στην υποδομή αυτών.

Η μέθοδος δεν χρησιμοποιεί αυλάκωμα μέσω των οδοστρωμάτων και των πεζοδρομίων και δεν επηρεάζει το οδόστρωμα. Το σύστημα ένθετης οπτικής καλωδίωσης απαιτεί μόνο μια λεπτή περικοπή με «τροχό» (αρμοκοπή με δίσκο). Οι τομές στις σκληρές επιφάνειες, όπως η άσφαλτος ή το σκυρόδεμα, εφαρμόζονται με ένα απλό κόφτη πλακών και είναι 1,5 cm φάρδος και 10 ή 12 cm βάθος. Στις μαλακές επιφάνειες, οι τομές εφαρμόζονται με μια μικρή μηχανή. Ιδανικά, οι τομές στο σκυρόδεμα ακολουθούν τις υπάρχουσες γραμμές ρευστοκονιάματος για αισθητικούς λόγους. Μόλις τοποθετηθεί ο αγωγός, η τομή αποκαθίσταται αμέσως καλυπτόμενη με τα κατάλληλα υλικά αποκατάστασης, ενώ στα πεζοδρόμια εμποτίζεται για να αποκαταστήσει την εμφάνιση της αρχικής υποδομής. Οι εγκαταστάσεις του συγκεκριμένου συστήματος στα οδοστρώματα είναι διακριτικές, ενώ οι ολοκληρωμένες εγκαταστάσεις στα πεζοδρόμια και στις λεωφόρους είναι ουσιαστικά άορατες.

Το σύστημα κάθετης ένθετης οπτικής καλωδίωσης σχεδιάζεται έτσι ώστε τα καλώδια οπτικών ινών να προστατεύονται μέσα στον τραχύ κάθετο αγωγό, ο οποίος είναι ανθεκτικός στις συντριβές και ικανός να αντισταθεί στις άστατες καιρικές συνθήκες και στη θερμοκρασία. Ο αγωγός είναι "zippered" κλειστός πάνω από το καλώδιο και έπειτα τοποθετημένος σε μια λεπτή τομή στην υποδομή.



Εικόνα 100 : Micro Trencher

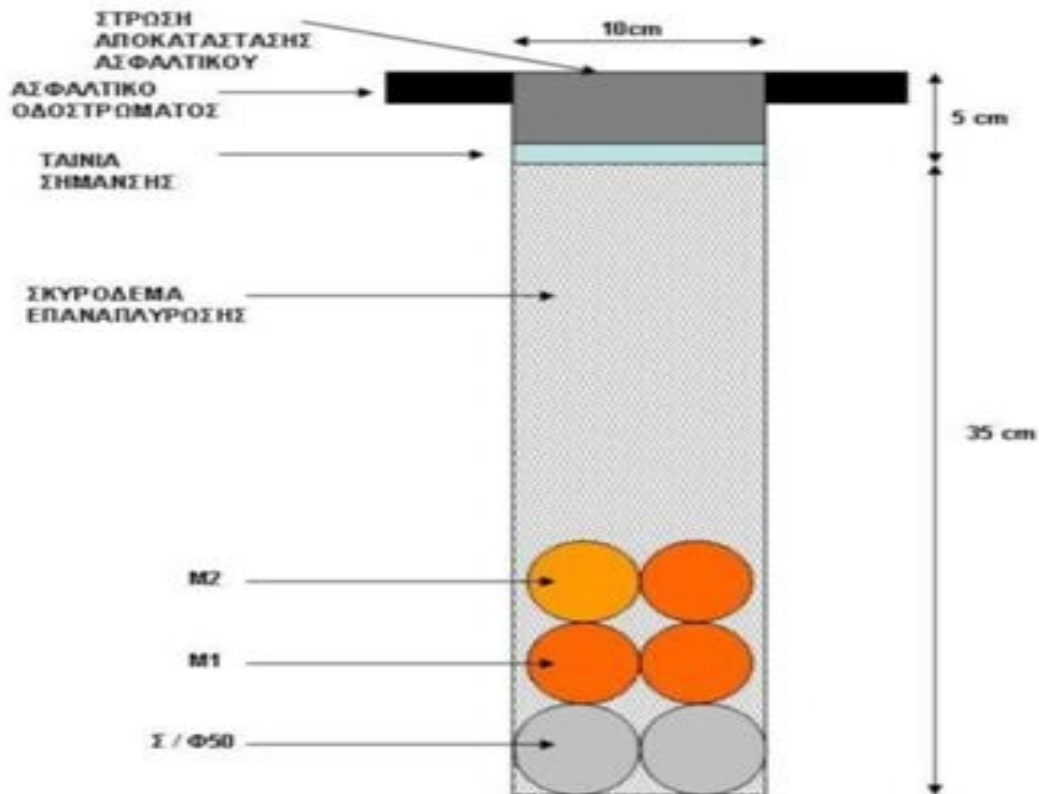


6.13 Τύποι χανδάκων

6.13.1 Χάνδακας (X1)

Ο χάνδακας X1 αποτελεί το μέρος του κεντρικού δικτύου υποδομής. Είναι ανοικτού τύπου στην άκρη του δρόμου (ασφαλτικό οδόστρωμα) διατομής βάθους 400mm και πλάτους $\leq 150\text{mm}$ σύμφωνα με την Ελληνική νομοθεσία και με τις προδιαγραφές ITU-T L.48 και L.35 (CCITT outside plant technologies for public networks).

Μετά τη διάνοιξη και τον καθαρισμό του χάνδακα θα τοποθετηθούν 6 σωλήνες οι οποίες θα είναι δυο κενές $\Phi 50$ για εφεδρεία, 3 μικρό σωλήνες τύπου M1/7 και 1 μικροσωλήνα τύπου M2/24 εξασφαλίζοντας τη συγκεκριμένη χωροθέτηση τους καθ' όλο το μήκος του χάνδακα. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η τυπική μορφή σε τομή του χάνδακα. Ιδιαίτερη έμφαση πρέπει να δοθεί στην αποφυγή μετακινήσεων και παραμορφώσεων των σωληνώσεων ώστε να διατηρείται πάντοτε η καθ' ύψος και πλάτος χωροθέτησης των καθ' όλο το μήκος του χάνδακα.



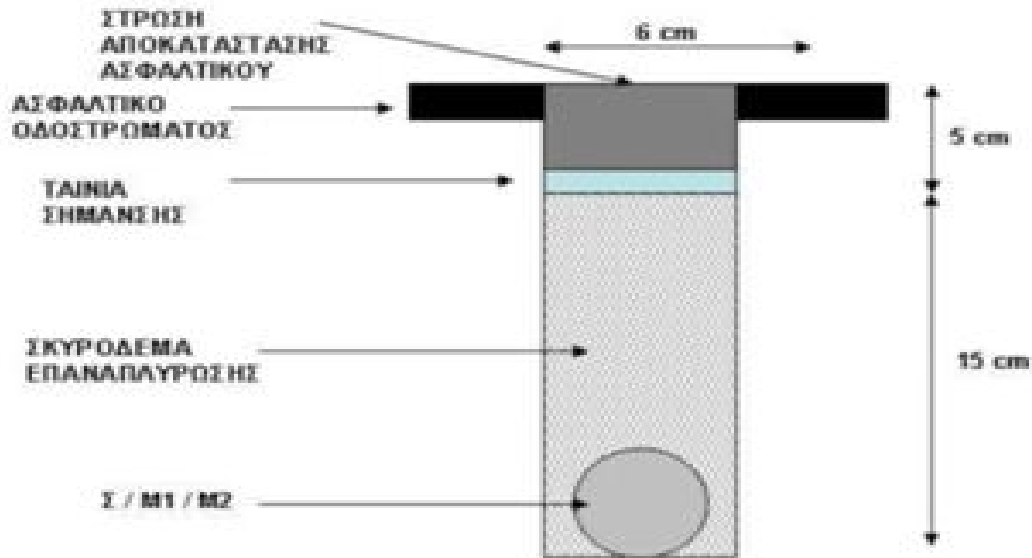
Εικόνα 101 : Χάνδακας (X1)

Η πρώτη στρώση θα είναι από σκυρόδεμα των 200Kg/m^3 σε ύψος περίπου 350mm. Στην συνέχεια θα τοποθετηθεί ταινία σήμανσης. Η τελευταία στρώση θα περιλαμβάνει την αποκατάσταση του ασφαλτικού της επιφανείας στην αρχική της μορφή σε ύψος τουλάχιστο 50mm.



6.13.2 Χάνδακας (X2)

Ο χάνδακας X2 ή μικρό χάνδακας θα χρησιμοποιηθεί για την εξυπηρέτηση χρηστών. Κατασκευάζεται σε δρόμους, πεζοδρόμια, ρεϊθρα, προαύλιους χώρους, διατομής βάθους τουλάχιστον 200mm και πλάτους 50mm σύμφωνα με την Ελληνική νομοθεσία και με τις προδιαγραφές ITU-T L.48, ITU-T L.49 και L.35 (CCITT outside plant technologies for public networks). Θα γίνει ή χρήση των αντιστοίχων κοπτικών εργαλείων που περιγράφονται στις ανωτέρω προδιαγραφές ITU-T.

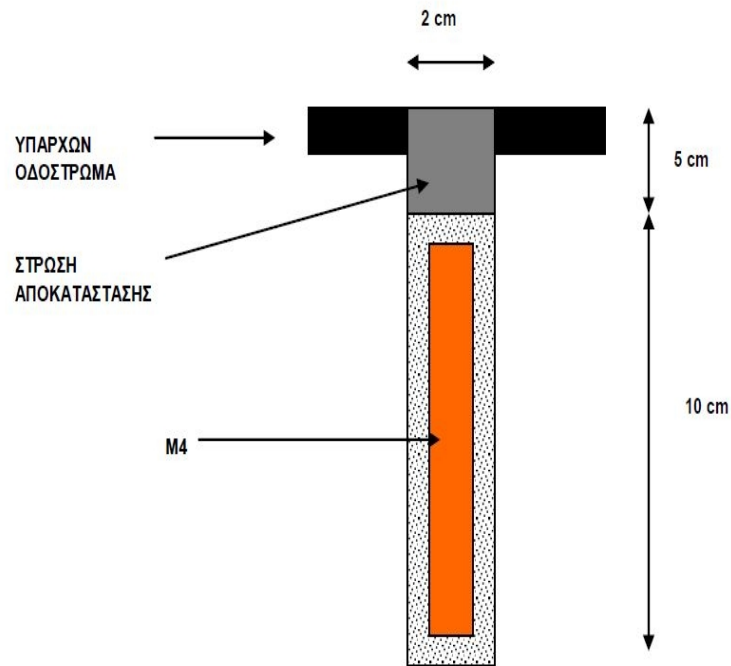


Εικόνα 102 : Χάνδακας (X2)

Στην πιο πάνω εικόνα εμφανίζεται μία τυπική τομή του μικροχάνδακα X2. Μετά τη διάνοιξη και τον καθαρισμό του χάνδακα θα πρέπει να τοποθετηθεί η κατάλληλη σωλήνωση. Ιδιαίτερη έμφαση πρέπει να δοθεί στην αποφυγή μετακινήσεων και παραμορφώσεων της σωλήνωσης ώστε να διατηρείται πάντοτε η καθ' ύψος και πλάτος χωροθέτηση της καθ' όλο το μήκος του μικροχάνδακα.

6.13.3 Χάνδακας (X3)

Ο χάνδακας X3 ή μικρό χάνδακας θα χρησιμοποιηθεί για την εξυπηρέτηση χρηστών. Κατασκευάζεται σε δρόμους, πεζοδρόμια, ρεϊθρα, προαύλιους χώρους, διατομής βάθους τουλάχιστον 150mm και πλάτους 15-20mm. Οι προδιαγραφές βάση προτύπου είναι υπό εξέλιξη. Θα γίνει ή χρήση των αντιστοίχων κοπτικών εργαλείων που περιγράφονται στις ανωτέρω προδιαγραφές ITU-T.



Εικόνα 103 : Χάνδακας (X3)

Στην πιο πάνω εικόνα εμφανίζεται μία τυπική τομή του μικροχάνδακα X3. Μετά τη διάνοιξη και τον καθαρισμό του χάνδακα θα πρέπει να τοποθετηθεί η κατάλληλη σωλήνωση. Κατόπιν της τοποθέτησης της σωλήνωσης, θα γίνει η πλήρωση του χάνδακα η οποία περιλαμβάνει την αποκατάσταση της επιφάνειας στην αρχική της μορφή, λαμβάνοντας ιδιαίτερη μέριμνα για την αποφυγή ασυνεχειών της επιφάνειας.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 : Ο απαραίτητος εξοπλισμός ελέγχου οπτικών ινών

Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο ασχολούμαστε με τον όρο "έλεγχος οπτικών ινών", δηλαδή αναφερόμαστε στην διαδικασία επαλήθευσης των παραμέτρων απόδοσης των εξαρτημάτων, των συνδέσεων, των συστημάτων και δικτύων των οπτικών ινών καθώς και στην ανίχνευση βλάβης τους αλλά και στα προβλήματα που αυτές δημιουργούν.

Οι βασικοί έλεγχοι συμπεριλαμβάνουν τον υπολογισμό της οπτικής ισχύος, που απορρέει από μία ίνα, και της συνέχειας ή οπτικής απώλειας των ινών των καλωδίων, των επαφών σύνδεσης και των ενώσεων μεταξύ αγωγών. Ο έλεγχος του εύρους ζώνης και του διασκορπισμού καθορίζει τη χωρητικότητα μεταφοράς πληροφοριών μέσω των ινών ή των καλωδίων. Οι περισσότεροι έλεγχοι πρέπει να επαναληφθούν για να καθορίσουμε τις μεταβολές στον υπολογισμό των παραμέτρων κάτω από συνθήκες περιβαλλοντικής πίεσης. Ο έλεγχος αυτός επίσης συμπεριλαμβάνει την ανεύρεση προβλημάτων σε εγκατεστημένες μονάδες οπτικών ινών [23].

Για την εκτέλεση των ελέγχων αυτών, ο βασικός εξοπλισμός αποτελείται από :

- ένα όργανο μέτρησης ισχύος οπτικών ινών,
- μια διακριβωμένη πηγή ελέγχου,
- ένα οπτικό ανακλασίμετρο στο πεδίο του χρόνου (OTDR),
- ένα ανακλασίμετρο συνεχών οπτικών κυμάτων (OCWR)
- έναν οπτικό αναλυτή φάσματος και
- ένα μικροσκόπιο επιθεωρήσεως.

Αυτά, όπως και άλλα εξειδικευμένα όργανα, περιγράφονται στη συνέχεια.

7.1 Οι μετρητές ισχύος οπτικών ινών

Οι μετρητές ισχύος οπτικών ινών υπολογίζουν κατά μέσον όρο την οπτική ισχύ που απορρέει από μία οπτική ίνα. Οι μετρητές ισχύος υπολογίζουν την μέση στάθμη της οπτικής ισχύος, όχι την ανώτατη ισχύ, έτσι οι μετρητές είναι ευαίσθητοι στον κύκλο εργασίας (duty cycle) ψηφιακού παλμού. Έτσι, μπορούμε να υπολογίσουμε την ανώτατη ισχύ, αν γνωρίζουμε τον κύκλο εργασίας της εισόδου, διαιρώντας την μέση ισχύ προς τον κύκλο εργασίας. Για περισσότερες μετρήσεις απώλειας χρησιμοποιούμε μια δοκιμαστική πηγή CW ή παλμική έξοδο 2kHz. Όσο δεν μεταβάλλεται η διαμόρφωση της πηγής, δεν χρειάζεται η αντιστάθμιση. Όταν ελέγχουμε την ισχύ του πομπού ή την ευαισθησία του δέκτη, είναι απαραίτητο να θέσουμε μία στάνταρ διαδικασία ελέγχου, σε γενικές γραμμές έναν κύκλο εργασίας 50%, που ονομάζεται τετραγωνικό σήμα, έτσι ώστε να είναι δυνατή η ακριβής μέτρηση της εξόδου του πομπού ή της ευαισθησίας του δέκτη.

Οι μετρητές ισχύος οπτικών ινών έχουν μία τυπική απόκλιση της τάξεως του +/-5%. Τα τυχόν λάθη μπορεί να οφείλονται στην μεταβολή απόδοσης της σύζευξης του ανιχνευτή ή του προσαρμοστή του συνδετήρα. Ακόμη, οφείλονται σε ανακλάσεις λόγω της γυαλιστερής επιφάνειας των επαφών σύνδεσης, σε μήκη κύματος άγνωστης πηγής (αρκεί ο ανιχνευτής να είναι ευαίσθητος στα μήκη κύματος, στη μη γραμμικότητα των κυκλωμάτων εξαρτημένης αντίδρασης του ηλεκτρονικού σήματος στον ίδιο τον μετρητή και τέλος στο θόρυβο του ανιχνευτή σε πολύ χαμηλά επίπεδο σήματος). Από τη στιγμή που οι περισσότεροι από τους παράγοντες αυτούς επηρεάζουν όλους τους μετρητές, ανεξάρτητα από το πόσο περίπλοκοι είναι, οι πανάκριβοι μετρητές των εργαστηρίων δεν είναι ακριβέστεροι από τους πιο φθηνούς και φορητούς.



Εικόνα 104 : Μετρητές ισχύος οπτικών ινών

7.2 Η διακρίβωση ισχυομέτρων

Η διακρίβωση του εξοπλισμού μέτρησης ισχύος οπτικών ινών απαιτεί τον καθορισμό ενός προτύπου αναφοράς. Τα όργανα μέτρησης οπτικής ισχύος παρουσιάζουν μια αβεβαιότητα διακρίβωσης περίπου $\pm 5\%$, συγκριτικά με τα πρότυπα NIST (National Institute of Standards and Technology). Οι περιορισμοί της αβεβαιότητας οφείλονται στις οπτικές ζεύξεις, περίπου 1% σε κάθε μετάβαση, και σε μικρομεταβολές στη διακρίβωση του μήκους κύματος. Το NIST συνεργάζεται διαρκώς με τους κατασκευαστές οργάνων και τα ιδιωτικά εργαστήρια διακρίβωσης, για μείωση των παρουσιαζόμενων αβεβαιοτήτων.

Η διακρίβωση των οργάνων μέτρησης θα πρέπει να εκτελείται σε ετήσια βάση. Ωστόσο, η εμπειρία δείχνει ότι η ακρίβεια των οργάνων σπάνια μεταβάλλεται σημαντικά μέσα σε αυτό το χρονικό διάστημα, τουλάχιστον όσο δεν παρουσιάζεται πρόβλημα στα ηλεκτρονικά των οργάνων. δυστυχώς, η διακρίβωση των οργάνων μέτρησης ισχύος οπτικών ινών, απαιτεί σημαντική επένδυση κεφαλαιουχικού εξοπλισμού και συνεχή ανανέωση των προτύπων μεταφοράς, και γι' αυτό μέχρι σήμερα υπάρχουν πολύ λίγα εργαστήρια διακρίβωσης. Τα περισσότερα όργανα θα πρέπει να επιστρέφονται για διακρίβωση στον κατασκευαστή τους.

7.3 Η αβεβαιότητα μετρήσεων οπτικής ισχύος

Η αβεβαιότητα των μετρήσεων οπτικής ισχύος είναι περίπου 0,2dB (5%). Οι μετρήσεις απωλειών συνήθως παρουσιάζουν αβεβαιότητα 0,5dB ή περισσότερο, ενώ οι μετρήσεις απωλειών επιστροφής (reflection) παρουσιάζουν αβεβαιότητα περί το 1dB. Όργανα με ενδείξεις ανάλυσης 0,01dB είναι γενικά κατάλληλα για εργαστηριακές μετρήσεις πολύ χαμηλών απωλειών, όπως π.χ. βυσμάτων και μονίμων συνδέσεων μικρότερων του 1dB ή για την παρακολούθηση μικρομεταβολών απωλειών ισχύος ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Τα όργανα μετρήσεων που χρησιμοποιούνται σε πραγματικές εφαρμογές είναι προτιμότερο να έχουν ανάλυση μέχρι 0,1dB, επειδή οι παρεχόμενες ενδείξεις είναι απίθανο να παρουσιάζουν αστάθεια κατά τη μέτρηση και θεωρούνται περισσότερο ενδεικτικές της αβεβαιότητας μετρήσεων.



7.4 Οι πηγές ισχύος για ελέγχους οπτικών ινών

Για την μέτρηση των οπτικών απωλειών σε ίνες, καλώδια και βύσματα, απαιτείται κάποια πρότυπη/τυποποιημένη πηγή σήματος και ένα όργανο μέτρησης ισχύος. Η πηγή θα πρέπει να διαθέτει συμβατότητα με τον τύπο της μετρούμενης ίνας (μονότροπη ή πολύτροπη με κατάλληλη διάμετρο πυρήνα) και το μήκος κύματος που θα χρησιμοποιηθεί. Οι περισσότερες πηγές είναι δίοδοι LED ή Laser, όπως αυτές που συνήθως χρησιμοποιούνται στους πομπούς των συστημάτων οπτικών ινών.

Τυπικά μήκη κύματος πηγών είναι τα 665nm (πλαστικές ίνες), 850nm (μικρό μήκος κύματος σε πολύτροπες γυάλινες ίνες), και 1300, 1310 ή 1550nm (μεγάλο μήκος κύματος σε πολύτροπες και μονότροπες ίνες). Οι δίοδοι LED τυπικά χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο πολύτροπων ινών, ενώ οι δίοδοι laser χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο μονότροπων ινών, εκτός από τα μικρού μήκους μονότροπα καλώδια συνδέσεων, στα οποία ο έλεγχος εκτελείται με πηγές LED. Οι πηγές laser δε θα πρέπει να χρησιμοποιούνται σε πολύτροπες ίνες, επειδή σύμφωνες πηγές όπως είναι αυτές παρουσιάζουν υψηλή αβεβαιότητα μετρήσεων σε πολύτροπες ίνες, λόγω του εισαγόμενου θορύβου ρυθμών. Ωστόσο, το μεγάλο φασματικό εύρος των LED μερικές φορές υπερκαλύπτει το μήκος κύματος αποκοπής των μονότροπων ινών (το χαμηλότερο μήκος κύματος για το οποίο η ίνα υποστηρίζει τη μετάδοση ενός μόνο ρυθμού) στα χαμηλότερα μήκη κύματος και στα 1400nm. Η περιοχή απορρόφησης στα μεγαλύτερα μήκη κύματος εισάγει σφάλματα στις μετρήσεις απωλειών μονότροπων καλωδίων μεγαλύτερου μήκους (πάνω από 5Km περίπου).

Η τιμή του μήκους κύματος της πηγής μπορεί να αποτελέσει σημαντικό θέμα προκειμένου για μετρήσεις ακριβείας σε μεγαλύτερου μήκους καλώδια, επειδή οι απώλειες παρουσιάζουν ευαισθησία ιδιαίτερα στα μικρότερα μήκη κύματος. Επομένως, όλες οι πηγές ελέγχου θα πρέπει να είναι διακριβωμένες ως προς το μήκος κύματος που παράγουν. Επίσης, σημαντική είναι η δυνατότητα προσαρμογής των πηγών σε μια μεγάλη ποικιλία βυσμάτων οπτικών ινών, αφού συνολικά υπάρχουν πάνω από 70 τύποι, αν και οι συνηθέστεροι από αυτούς είναι οι SM, ST, FDDI και ESCON για πολύτροπες ίνες, και Biconic, FC, SC και D4 για μονότροπες ίνες. Ορισμένες πηγές LED χρησιμοποιούν τμηματικούς προσαρμοστές, όπως και τα όργανα μέτρησης ισχύος, έτσι ώστε να μπορούν να συνδέονται σε διαφορετικούς τύπους βυσμάτων. Οι πηγές laser σχεδόν πάντοτε έχουν σταθερά βύσματα. Στις περιπτώσεις αυτές, χρησιμοποιούνται υβριδικά καλώδια σύνδεσης με βύσματα συμβατά προς την πηγή στο ένα άκρο και προς το υπό έλεγχο βύσμα στο άλλο άκρο.

7.5 ΣΕΤ ελέγχου οπτικής απώλειας (OLTS)

Το ΣΕΤ ελέγχου οπτικής απώλειας είναι ένα όργανο που αποτελείται από τον συνδυασμό ενός μετρητής ισχύος οπτικών ινών και μία πηγή, η οποία χρησιμοποιείται για την μέτρηση απώλειας ινών, και συνδεδεμένων καλωδίων. Στην αρχική του έκδοση το όργανο αυτό ονομαζόταν μετρητής εξασθένισης. Ο συνδυασμός ενός (σετ ελέγχου οπτικής απώλειας) μπορεί να χρησιμεύσει για εργαστηριακές μετρήσεις, αλλά χρησιμοποιούνται συχνότερα ξεχωριστά πηγές και μετρητές ισχύος. Αυτό γιατί οι άκρες της ίνας και του καλωδίου συνήθως απέχουν μεγάλη απόσταση. Κάτι τέτοιο απαιτεί τη χρήση δύο διαφορετικών σετ με κόστος διπλάσιο από εκείνο μιας πηγής κι ενός μετρητή οπτικών ινών.

Τα ολοκληρωμένα όργανα OLTS είναι συνήθως χρήσιμα στις μετρήσεις εργαστηρίου, αλλά σε μετρήσεις εγκαταστάσεων συνήθως χρησιμοποιούνται ανεξάρτητη πηγή και όργανο μέτρησης ισχύος, επειδή τα άκρα της ελεγχόμενης ίνας βρίσκονται σε μεγάλη μεταξύ τους απόσταση. Ακόμη όμως και στο περιβάλλον του εργαστηρίου, μπορεί να απαιτούνται διάφοροι τύποι πηγών, κάνοντας ακόμη περισσότερο ευέλικτη την επιλογή ανεξάρτητης πηγής και οργάνου μέτρησης ισχύος.



Εικόνα 105 : ΣΕΤ Ελέγχου Οπτικής Απώλειας

7.6 Μετρητής Ανάκλασης Πεδίου Οπτικού Χρόνου (OTDR)

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

Οι συσκευές OTDR χρησιμοποιούνται συνήθως στον χαρακτηρισμό των απωλειών και του μήκους μιας οπτικής ίνας καθώς αυτή περνά από τα στάδια της αρχικής παραγωγής, το σχηματισμό καλωδίων, την αποθήκευσή της γύρω από ειδικά τύμπανα, την τοποθέτησή της και την ένωσή της με ήδη υφιστάμενες ίνες. Το τελευταίο στάδιο δοκιμής της οπτικής ίνας που έχει εγκατασταθεί σε ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα είναι και το πιο ενδιαφέρον, αφού μπορεί να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα σε ζεύξεις υπερβολικά μεγάλων αποστάσεων ή σε μικρή περιοχή ίνας όπου έχουν συμβεί πολλές κολλήσεις ή σε ίνες που έχουν διαφορετικά οπτικά χαρακτηριστικά και συνδέονται μεταξύ τους. Τα αποτελέσματα των πειραματικών δοκιμών με τη συσκευή OTDR συνήθως αποθηκεύονται με προσοχή σε περίπτωση μελλοντικού σφάλματος στην ίνα. Τα σφάλματα αυτά μπορεί να αποβούν πολύ ακριβά τόσο από πλευράς κόστους για την επισκευή τους, όσο και από πλευράς απώλειας υπηρεσιών [24].

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

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



Όταν χρησιμοποιούμε ένα OTDR για να υπολογίσουμε την εξασθένηση που παρουσιάζεται σε πολλαπλές ενώσεις οπτικών ινών, το ίχνος εξόδου μπορεί να δείξει εσφαλμένα ότι μια σύνδεση παρουσιάζει κέρδος αντί για απώλειες. Ο λόγος που γίνεται αυτό είναι ότι οι γειτονικές οπτικές ίνες μπορεί να έχουν διαφορετικούς συντελεστές σκέδασης κατά την αντίθετη κατεύθυνση μετάδοσης του σήματος, οπότε η δεύτερη κατά σειρά ίνα ανακλά περισσότερο φως σε σύγκριση με την πρώτη ίνα με την ίδια «ποσότητα» φωτός να περνά από αυτές. Εάν το OTDR τοποθετηθεί στο άλλο άκρο του οπτικού αυτού ζεύγους, θα καταγράψει αφύσικα μεγάλες απώλειες στην οπτική αυτή ένωση. Ωστόσο, αν τα 2 σήματα συνδυαστούν στη συνέχεια, θα λάβουμε τη σωστή τιμή εξασθένησης. Για το λόγο αυτό, μια συνήθης πρακτική με τα OTDRs είναι να υπολογίζουμε και να συνδυάζουμε τις τιμές εξασθένησης και από τα 2 άκρα της οπτικής ζεύξης, ώστε να λάβουμε πιο ακριβείς μετρήσεις των απωλειών στις ενώσεις και της συνολικής εξασθένησης.

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



Εικόνα 106 : OTDR

7.7 Αναγνωριστές ινών

Εάν κάποιος λυγίσει προσεκτικά μια μονότροπη ίνα ώστε να της προξενήσει απώλειες, το εξερχόμενο φως μπορεί να ανιχνευτεί από κάποιον φωτοανιχνευτή μεγάλου εμβადού επιφανείας. Ένας αναγνωριστής ινών εφαρμόζει την ίδια τεχνική, για την ανίχνευση σήματος στην ίνα, στο κανονικό μήκος κύματος λειτουργίας. Τα όργανα αυτά συνήθως λειτουργούν ως δέκτες, και μπορούν να διακρίνουν μεταξύ της ανυπαρξίας σήματος, ενός σήματος υψηλής συχνότητας και ενός τόνου 2kHz. Ερευνώντας ειδικά για τον τόνο 2kHz μιας πηγής ελέγχου προσαρμοσμένης στην ίνα, μπορεί κάποιος να την αναγνωρίσει ανάμεσα σε άλλες ίνες ενός μεγάλου καλωδίου πολλαπλών ινών, πράγμα που επιταχύνει ιδιαίτερα τις διαδικασίες αποκατάστασης βλαβών.

Οι αναγνωριστές ινών μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο σε ίνες με απομονωτή όσο και σε μονότροπες ίνες με περίβλημα. Με τις ίνες με απομονωτή, θα πρέπει κάποιος να είναι πολύ προσεκτικός ώστε να μην προξενήσει ζημιά στην ίνα, αφού η υπέρμετρη άσκηση δύναμης μπορεί να της προκαλέσει ρωγμές.



7.8 OCWR (Optical Continuous Wave Reflectometer)

Το OCWR αρχικά προτάθηκε ως ένα ειδικό όργανο μέτρησης των οπτικών απωλειών επιστροφής μονότροπων βυσμάτων σε μικρού μήκους καλώδια συνδέσεων. Δυστυχώς όμως, στην πράξη ο σκοπός χρήσης του μπερδεύτηκε με άλλα πράγματα, καθώς τα πρώτα όργανα που βγήκαν στην αγορά, διέθεταν πολύ υψηλότερη ανάλυση μετρήσεων από την απαιτούμενη για την αβεβαιότητα μετρήσεων (0,01dB ανάλυση και 1dB αβεβαιότητα), οδηγώντας σε σύγχυση τους χρήστες σχετικά με το γιατί οι μετρήσεις δεν μπορούσαν να αναπαραχθούν.

Επιπρόσθετα, πολλά τέτοια όργανα χρησιμοποιήθηκαν για τη μέτρηση οπτικών απωλειών επιστροφής εγκατεστημένων καλωδίων, αγνοώντας το γεγονός ότι ενσωμάτωναν την οπισθοσκέδαση της ίνας μέσα σε οποιεσδήποτε επιστροφές από βύσματα και μόνιμες συνδέσεις της εγκατάστασης. Επειδή η μέτρηση των απωλειών επιστροφής ενός βύσματος μπορεί να εκτελεστεί επίσης καλά με οποιοδήποτε μετρητή ισχύος, πηγή laser και διακριβωμένο συζεύκτη, ενώ το OTDR αποτελεί το μοναδικό τρόπο ελέγχου εγκατεστημένων καλωδίων για απώλειες επιστροφής, τελικά το OCWR χρησιμοποιείται ελάχιστα σήμερα στον έλεγχο των οπτικών ινών.

7.9 Μικροσκοπία οπτικών ελέγχων

Κομμένα άκρα ινών έτοιμα για μόνιμες συνδέσεις, καθώς και γυαλισμένα άκρα για τερματισμό με βύσματα, απαιτούν οπτική επιθεώρηση για τυχόν ελαττώματα. Η επιθεώρηση αυτή εκτελείται με μικροσκοπία, τα οποία διαθέτουν κατάλληλο τμήμα συγκράτησης της ίνας ή του βύσματος μέσα στο οπτικό τους πεδίο. Τα μικροσκοπία επιθεώρησης οπτικών ινών ποικίλλουν σε μεγεθυντική ικανότητα από 30x έως 800x, με τις συνηθέστερες τιμές να κυμαίνονται από 30x έως 100x. Οι κομμένες ίνες συνήθως παρατηρούνται από τα πλάγια, για τον εντοπισμό κάποιου σπασίματος. Τα βύσματα επιθεωρούνται ακριβώς στην εμπρόσθια όψη ή υπό κάποια μικρή γωνία, για την εύρεση τυχόν ελαττωμάτων στο γυάλισμα, π.χ. εκδορές.

7.10 Οπτικοί Ανιχνευτές Καλωδίου και Συσκευή Εντοπισμού βλάβης

Αφού το φως που χρησιμοποιείται στα συστήματα είναι αόρατο, δεν μπορούμε να δούμε το φως του πομπού του συστήματος. Με την έγχυση φωτός από μία ορατή πηγή, όπως μία LED ή μία λάμπα πυρακτώσεως, μπορούμε να ανιχνεύσουμε οπτικά την ίνα από τον πομπό έως τον δέκτη, για να εξασφαλίσουμε τον σωστό προσανατολισμό και παράλληλα να ελέγξουμε την συνέχεια της λειτουργίας της. Τα απλά αυτά όργανα που εκχέουν ορατό φως ονομάζονται συσκευές οπτικού εντοπισμού βλάβης.

Αν μία αρκετά ισχυρή ποσότητα ορατού φωτός, όπως π.χ. ένα HeNe ή ένα διάδικο λέιζερ ορατού φωτός, εκχυθεί σε μία ίνα, τα σημεία υψηλής απώλειας γίνονται ορατά. Οι περισσότερες εφαρμογές επικεντρώνονται στα κοντά καλώδια στα κεντρικά γραφεία τηλεπικοινωνιών για να κάνουν τις συνδέσεις με τα καλώδια - αρτηρίες οπτικών ινών. Ωστόσο, αφού καλύπτουν έναν τομέα όπου οι μετρητές ανάκλασης δεν χρησιμοποιούνται, λειτουργούν ως συμπληρωματικά στοιχεία αυτών για την ανεύρεση βλαβών στα καλώδια. Η μέθοδος αυτή θα λειτουργήσει σε ίνες με προσωρινές αποθηκευτικές μονάδες μνήμης ή σε επενδυμένο καλώδιο μίας οπτικής ίνας, αν η επένδυση δεν μπλοκάρει το ορατό φως, λόγω αδιαφάνειας. Το κίτρινο κάλυμμα για τις μονότροπες οπτικές ίνες και το πορτοκαλί για εκείνες της πολύτροπες επιτρέπουν τη διέλευση του ορατού φωτός. Τα περισσότερα από τα υπόλοιπα χρώματα, ειδικά το μαύρο και το γκρι, δεν λειτουργούν σ' αυτήν την τεχνική, ούτε και τα περισσότερα καλώδια πολλαπλών οπτικών ινών. Ωστόσο, πολλές ρωγμές καλωδίων, απώλειες μακροκάμψεων λόγω συστροφής της ίνας, ακατάλληλες ενώσεις μεταξύ αγωγών κτλ., μπορούν να ελεγχθούν οπτικά. Το όργανο αυτό έχει μικρή εμβέλεια, τυπικά 3 – 5Km.



Εικόνα 107 : Οπτικοί Ανιχνευτές Καλωδίου

7.11 Μετατροπείς Οπτικού σε Ηλεκτρικό (O/E) και Ηλεκτρικού σε Οπτικό (E/O)

Τα δύο αυτά είδη μετατροπέων έχουν κι άλλες χρήσεις πέρα από τον έλεγχο του εύρους ζώνης της ίνας. Οι μετατροπείς οπτικού σε ηλεκτρικό (O/E) μπορεί να χρησιμοποιηθούν με παλμογράφους υψηλής ταχύτητας για την ανάλυση παλμών σε δίκτυα οπτικών ινών, για να δούμε αν οι κυματομορφές τους έχουν κατάλληλη μορφή. Αυτό σημαίνει τον υπολογισμό του χρόνου ανόδου και καθόδου του παλμού και το βάθος της διαμόρφωσης. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο λέιζερ και LEDS, που χρησιμοποιούνται στους πομπούς καθώς και για τον διασκορπισμό της σύνδεσης, για απομακρυσμένα σημεία συνδέσεων. Οι μετατροπείς ηλεκτρικού σε οπτικό (E/O) χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο των δεκτών για το εύρος ζώνης και το περιθώριο, συνήθως σε συνδυασμό μ' έναν δοκιμαστή λανθασμένης μετάδοσης πληροφοριών και μ' έναν εξασθενητή.

7.12 Τα πολυκάναλα συστήματα ελέγχου

Συχνά, είναι απαραίτητο να ελέγξουμε έναν αριθμό εξαρτημάτων ταυτόχρονα, όπως π.χ. περιβαλλοντικοί έλεγχοι των συνδετήρων ή ένα καλώδιο πολλαπλών ινών. Αφού, λοιπόν, από κάθε άποψη - και κυρίως οικονομική - δεν ενδείκνυται η χρήση ενός μεγάλου αριθμού μεμονωμένων μετρητών ισχύος και πηγών, διατίθενται πολυκάναλα συστήματα ελέγχου. Τα συστήματα αυτά συνήθως βασίζονται είτε σ' ένα αριθμό πρότυπων μεμονωμένων μετρητών ισχύος με πηγές διασκορπισμένες μεταξύ των συζευκτών, ή σε συστήματα μίας πηγής κι ενός μετρητή με πολυκάναλους διακόπτες οπτικών ινών, έτσι ώστε να επιλέγουμε κάθε εξάρτημα για έλεγχο με τη σειρά. Και τα δύο είδη συστημάτων συνήθως ελέγχονται από έναν προσωπικό υπολογιστή (PC).

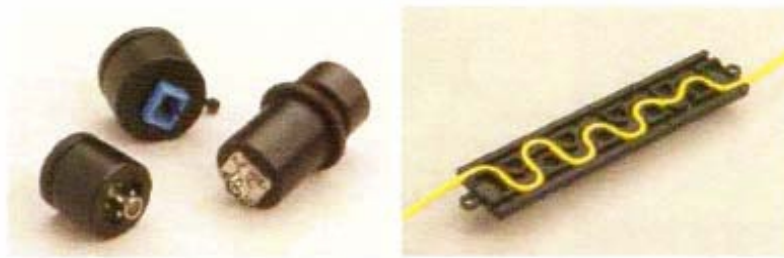
7.13 Οι εξασθενητές

Οι εξασθενητές χρησιμοποιούνται στο εργαστήριο, για την προσομοίωση απωλειών μεγάλου μήκους ινών, για έλεγχο του περιθωρίου ζεύξης σε προσομοίωση δικτύων ή για αυτοελέγχους ζεύξεων σε διαμόρφωση βρόχου. Στους ελέγχους περιθωρίου, χρησιμοποιούνται μεταβαλλόμενοι εξασθενητές για αύξηση των απωλειών μέχρι το σύστημα να παρουσιάσει υψηλό αριθμό σφαλμάτων. Στους ελέγχους λειτουργίας βρόχου, χρησιμοποιείται ένας εξασθενητής μεταξύ πομπού και δέκτη του εξοπλισμού, για έλεγχο λειτουργίας κάτω από τις μέγιστες καθορισθείσες απώλειες ίνας. Εάν το σύστημα λειτουργεί σε διαμόρφωση βρόχου για έλεγχο, απαιτείται η κατάλληλη καλωδιακή εγκατάσταση. Γι' αυτό, πολλοί κατασκευαστές εξοπλισμού δικτύων καθορίζουν κάποιο έλεγχο βρόχου ως μια διαδικασία ευρέσεως βλαβών [25].

Οι εξασθενητές μπορούν να υλοποιηθούν είτε με την εισαγωγή μεταξύ των ινών κάποιο φυσικού διακένου απωλειών, είτε με την εισαγωγή απωλειών κάμψης ή με την εισαγωγή



διακριβωμένων τμημάτων οπτικών ινών. Οι εξασθενητές διακρίνονται σε σταθερούς και μεταβαλλόμενους, αλλά για την εκτέλεση ελέγχων χρησιμοποιούνται κυρίως οι δεύτεροι. Οι σταθεροί εξασθενητές μπορεί να χρησιμοποιηθούν σε περιπτώσεις μικρού μήκους ζεύξης οπτικών ινών, όπου η υπερβολική ισχύς στο δέκτη προκαλεί προβλήματα λήψης.



Εικόνα 108 : Οι εξασθενητές



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 : Ποιοτικός έλεγχος οπτικών ινών

Εισαγωγή

Σε αυτό το κεφάλαιο, αναφέρονται αναλυτικά όλοι οι πρακτικοί ποιοτικοί έλεγχοι εξαρτημάτων και συστημάτων οπτικών ινών. Η σειρά αναφοράς τους λαμβάνει υπόψη την σπουδαιότητά τους αλλά και την πραγματική σειρά με την οποία ενδείκνυται να πραγματοποιούνται αυτοί οι έλεγχοι σε μια εγκατάσταση.

Μετά από τον τερματισμό των καλωδίων με βύσματα, ο έλεγχος θα πρέπει να περιλαμβάνει τόσο την μέτρηση των απωλειών της ίνας όσο και των απωλειών των βυσμάτων και των μονίμων συνδέσεων. Αυτή είναι η συνηθέστερη μέτρηση που εκτελείται στο πεδίο των εφαρμογών, μετά από την εγκατάσταση και τον τερματισμό των καλωδίων. Σε πολύ μικρού μήκους καλώδια (μέχρι 10 μέτρα), οι απώλειες των βυσμάτων αποτελούν τη μοναδική ενδιαφέρουσα αιτία απωλειών, ενώ η οπτική ίνα συνεισφέρει στις απώλειες μόνο σε μεγάλου μήκους διαδρομές. Σε μια εγκατεστημένη καλωδίωση, απαιτείται έλεγχος ολόκληρου του καλωδίου από άκρο σε άκρο, συμπεριλαμβάνοντας και κάθε εξάρτημα, όπως π.χ. μόνιμες συνδέσεις, συζεύκτες και ενδιάμεσα βύσματα.

Πριν από οποιαδήποτε εργασία μετρήσεων, θα πρέπει να είναι στην διάθεση του υπεύθυνου τα κατάλληλα όργανα και υλικά για τον τύπο των καλωδίων που θέλει να ελέγξει:

- Κατάλληλη οπτική πηγή ελέγχου και μετρητής οπτικής ισχύος (εναλλακτικά κιτ ελέγχου οπτικών απωλειών).
- Κατάλληλοι προσαρμοστές (couplers), ίδιου τύπου και από τις δυο πλευρές ή διαφορετικού τύπου σε κάθε πλευρά (υβριδικοί). Οι υβριδικοί χρησιμοποιούνται όταν θέλουμε να συνδέσουμε καλώδια που έχουν διαφορετικού τύπου βύσματα.
- Ειδικά καλώδια ελέγχου.
- Υλικά καθαρισμού (καθαρά πανάκια που να μην αφήνουν υπολείμματα και ισοπροπυλική αλκοόλη). Συνήθως διατίθενται έτοιμα συστήματα καθαρισμού μαζί με κάποια κιτ ελέγχου.

Ειδικά καλώδια ελέγχου (test jumpers): Είναι στην ουσία έτοιμα καλώδια 1-2 μέτρων, με έτοιμα βύσματα χαμηλών απωλειών (<0,5dB). Θα πρέπει να επιλέγονται πάντοτε αυτά, που ταιριάζουν στον τύπο (μονότροπη ή πολύτροπη) και το μέγεθος πυρήνα της ελεγχόμενης ίνας και στα βύσματα που έχει το καλώδιο που θέλουμε να μετρήσουμε. Σε όλες τις μεθόδους μετρήσεων χρησιμοποιείται τουλάχιστον ένα ειδικό καλώδιο, που συνδέεται στην πηγή ελέγχου και ονομάζεται καλώδιο εκπομπής (launch cable). Σε κάποια άλλη μέθοδο που ονομάζεται, έλεγχος δυο άκρων, χρησιμοποιείται ένα πρόσθετο καλώδιο συνδεδεμένο στον μετρητή ισχύος, γνωστό ως καλώδιο λήψης (receive cable). Όπως γίνεται εύκολα αντιληπτό, είναι πολύ σημαντικό να διατηρούνται τα καλώδια ελέγχου σε καλή κατάσταση, και να ελέγχονται συχνά, αλλιώς όλες οι μετρήσεις ενδέχεται να είναι ανακριβείς. Οι περισσότερες πολύτροπες ίνες που χρησιμοποιούνται είναι ίδιας διατομής (62.5μm), με τα βύσματα τερματισμού ST. Οι μονότροπες ίνες είναι ίδιες ανεξαρτήτως κατασκευαστή.

Πριν ξεκινήσει ο έλεγχος, χρειάζεται να έχουν συγκεντρωθεί κάποιες πληροφορίες σχετικά με την καλωδίωση, ώστε να γίνει η κατάλληλη προετοιμασία.

1. Τύπος καλωδίου που πρόκειται να ελεγχθεί (simplex ή duplex)
2. Τύπος χρησιμοποιούμενης ίνας (πολύτροπη (50μm ή 62.5μm), μονότροπη)
3. Τύπος βυσμάτων (ST, SC, FC...)
4. Μήκος καλωδίου.



8.1 Μέτρηση ισχύος

Η πιο βασική μέτρηση των οπτικών ινών είναι η οπτική ισχύς, που υπολογίζεται στο άκρο της οπτικής ίνας. Η μέτρηση αυτή αποτελεί τη βάση για τον υπολογισμό της απώλειας της ισχύος από μία πηγή ή σ' έναν δέκτη. Ενώ οι μετρητές οπτικής ισχύος αποτελούν το βασικό όργανο μέτρησης, τα σύνολα ελέγχου οπτικής απώλειας (O.L.T.S) και οι μετρητές ανάκλασης πεδίου οπτικού χρόνου (OTDRs) επίσης υπολογίζουν την ισχύ κατά τον έλεγχο απώλειας.

Η οπτική ισχύς βασίζεται στην θερμική ισχύ του φωτός, και κάποια όργανα στην πραγματικότητα υπολογίζουν την θερμότητα, όταν το φως απορροφάται από τον ανιχνευτή. Αυτή η μέθοδος, ενώ μπορεί να αποδίδει για λέιζερ υψηλής ισχύος, ωστόσο οι συγκεκριμένοι ανιχνευτές δεν είναι αρκετά ευαίσθητοι για τα τυπικά επίπεδα ισχύος, που συναντώνται στα συστήματα επικοινωνίας οπτικών ινών.

Οι μετρητές οπτικής ισχύος τυπικά χρησιμοποιούν ανιχνευτές ημιαγωγούς, αφού είναι υπερβολικά ευαίσθητοι στο φως, σε μήκη κύματος κοινά στις οπτικές ίνες. Οι περισσότεροι μετρητές ισχύος οπτικών ινών διατίθενται με δυνατότητα επιλογής τριών διαφορετικών ανιχνευτών: Πυριτίου (Si), Γερμανίου (Ge) ή Ινδίου - Γαλλίου - Αρσενίου (InGaAs)

Οι ανιχνευτές Πυριτίου είναι ανιχνευτές πολύ χαμηλού θορύβου, ευαίσθητοι στο φως σε μήκη κύματος περίπου 400nm, ανάλογα με την ακρίβεια της μεθόδου διαβάθμισης. Επομένως, είναι χρήσιμοι για τις στάνταρ συνδέσεις στις τηλεπικοινωνίες, χρησιμοποιώντας LED των 820nm με γυάλινες ίνες, ή LED των 665nm με πλαστικές ίνες. Επίσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν με τα παλαιότερα συστήματα τηλεπικοινωνιών, τα οποία χρησιμοποιούσαν λέιζερ των 850nm.

Οι ανιχνευτές Πυριτίου έχουν πολύ χαμηλά όρια θορύβου. Τυπικά όρια θορύβου για όργανα μέτρησης οπτικών ινών, τα οποία χρησιμοποιούν ανιχνευτές πυριτίου, είναι από -70 έως -90dB, ή περίπου 1 έως 100 (picowatts).

Οι ανιχνευτές Γερμανίου είναι ευαίσθητοι στο φως σε μήκη κύματος από 800 έως 1800nm, πράγμα που τους καθιστά χρήσιμους για όλα τα συστήματα που χρησιμοποιούν γυάλινες ίνες, συμπεριλαμβανομένων και των συστημάτων μονότροπων ινών της τάξεως των 1300 και 1550nm. Ωστόσο, οι ανιχνευτές Γερμανίου είναι πιο θορυβώδεις, δημιουργώντας έτσι υψηλότερα όρια θορύβου για μετρήσεις χαμηλού επιπέδου. Ο θόρυβος αυτός είναι ανάλογος προς το μέγεθος του ανιχνευτή, έτσι χρησιμοποιώντας έναν μικρότερο ανιχνευτή, λαμβάνουμε ένα χαμηλότερο όριο θορύβου. Όμως, οι μικροί ανιχνευτές απαιτούν τοποθέτηση του άκρου της ίνας πολύ κοντά στην οθόνη του ανιχνευτή και προσανατολισμένο με ακρίβεια στην ευαίσθητη περιοχή του ανιχνευτή. Ο θόρυβος ενός ανιχνευτή Γερμανίου των 2mm είναι τυπικά 10 με 50 φορές χαμηλότερος από εκείνον ενός ανιχνευτή Γερμανίου 5mm, σε θερμοκρασία δωματίου [26].

Μερικοί κατασκευαστές μετρητών ισχύος οπτικών ινών επέλεξαν να ψύξουν αυτούς τους μεγάλους ανιχνευτές Γερμανίου, για να μειώσουν τον θόρυβο και να πετύχουν, με τον τρόπο αυτό, χαμηλότερα όρια μετρήσεων. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα πιο ευαίσθητες μετρήσεις, αλλά με τίμημα τη χρήση πολύπλοκων κυκλωμάτων, βαρέων οργάνων και μπαταριών σύντομου χρόνου ζωής, αφού θα πρέπει να παρέχουμε ρεύμα της τάξεως του 1A στον ψύκτη τον οποίο συμπεριλαμβάνει το πακέτο του ανιχνευτή Γερμανίου.

8.2 Μετρήσεις της οπτικής ίνας

8.2.1 Έλεγχος οπτικών ινών

Στις οπτικές ίνες, ο έλεγχος συμπεριλαμβάνει την γεωμετρία ινών, την εξασθένιση και το εύρος ζώνης. Η βασικότερη παράμετρος της οπτικής ίνας είναι η γεωμετρία, αφού οι διαστάσεις της ίνας καθορίζουν τη δυνατότητα της σύνδεση και τον τερματισμό. Η διάμετρος του πυρήνα, η διάμετρος της σύνδεσης και ο συγκεντρωτισμός είναι οι πιο σημαντικοί παράγοντες, που επηρεάζουν την σύνδεση δύο ινών. Έτσι, οι κατασκευαστές δουλεύουν πολύ σκληρά για να καταφέρουν να



ελέγξουν τις παραμέτρους αυτές, συμπεριλαμβανομένου και του συνεχούς ελέγχου καθ' όλη τη διαδικασία της βιομηχανικής παραγωγής.

Ενώ ο έλεγχος της διαμέτρου και του συγκεντρωτισμού μπορεί ν' ακούγεται απλός, οι μετρήσεις θα πρέπει να γίνουν με απόλυτη ακρίβεια. Η διαδικασία περιπλέκεται από το γεγονός ότι το υλικό είναι διαφανές και οι διαστάσεις της ίνας αρκετά μικρές, ώστε να φράσουν τα όρια των οπτικών μετρήσεων.

8.2.2 Έλεγχος συνέχειας οπτικής ίνας

Ο έλεγχος συνέχειας είναι ο πιο σημαντικός, όσον αφορά τις οπτικές ίνες. Συνήθως διεξάγεται με τη χρήση μίας πηγής ορατού φωτός, συνήθως ένα λέιζερ Ηλίου - Νέον στα 633nm, ή μίας LED, ή μίας διόδου λέιζερ στα 650nm που είναι ορατή. Τα όργανα λέιζερ Ηλίου - Νέον συνήθως συντονίζονται σ' επίπεδα μικρότερα του 1Mw, μετατρέπόμενα έτσι σε λέιζερ τάξης ii, τα οποία δεν είναι τόσο ισχυρά ώστε να βλάψουν τα μάτια, έχουν όμως την απαραίτητη ισχύ για να είναι εύκολα ορατά σε απόσταση περίπου 4 χμ. μέσα στην ίνα. Ακόμη, μπορούν να προσδιορίσουν μικρές καμπές ή ρωγμές της ίνας, ελέγχοντας το φως που λάμπει από τη ρωγμή, μέσω του κίτρινου και πορτοκαλί περιβλήματος που χρησιμοποιείται είναι στα περισσότερα καλώδια μονότροπων ινών.

8.2.3 Έλεγχος εξασθένησης ινών

Ο υπολογισμός του συντελεστή εξασθένησης των ινών απαιτεί μετάδοση φωτός σε γνωστό μήκος κύματος, μέσω της ίνας και μέτρηση των αλλαγών σε κάποια απόσταση.

Η συμβατική μέθοδος, γνωστή ως μέθοδος μείωσης, συμπεριλαμβάνει τη σύζευξη ίνας στην πηγή και τον υπολογισμό της ισχύος στην μακρινότερη άκρη της. Τότε η ίνα κόβεται κοντά στην πηγή και η ισχύς υπολογίζεται ξανά.

Γνωρίζοντας την ισχύ στην πηγή και στην άκρη της ίνας, καθώς και το μήκος της ίνας, ο συντελεστής εξασθένησης μπορεί να καθοριστεί με τον υπολογισμό:

$$\text{Συντελεστής εξασθένησης (dB)} = \frac{P_{\text{άκρου}} - P_{\text{πηγής}} \text{ (dB)}}{\mu \text{ ήκος (χλμ)}}$$

Μία άλλη μέθοδος ελέγχου των ινών, η οποία μπορεί να είναι ευκολότερη για χρήση στις μετρήσεις πεδίου, συμπεριλαμβάνει την προσαρμογή μιας ίνας, μέσω μικρού εύκαμπτου αγωγού, στην πηγή, η οποία έχει στο ένα άκρο της μία επαφή σύνδεσης και μία προσωρινή σύνδεση αγωγών στο άλλο. Η μέθοδος αυτή ενέχει μεγαλύτερο ποσοστό απόκλισης των μετρήσεων, εξαιτίας της απώλειας στη σύνδεση, που έχει συζευχθεί με την υπό έλεγχο ίνα, αφού ίσως να μην είναι εύκολο να διαβαθμίσουμε μ' ακρίβεια την ισχύ εξόδου του μικρού, εύκαμπτου αγωγού. Η καλύτερη μέθοδος είναι να χρησιμοποιήσουμε έναν προσαρμογέα γυμνής ίνας στον μετρητή ισχύος, για να υπολογίσουμε πρώτα την έξοδο της ίνας αυτής και μετά να προσαρμόσουμε τη σύνδεση. Ειδικά, θα πρέπει να προσαρμόσουμε τη σύνδεση αγωγών, στον μικρό εύκαμπτο αγωγό, και να συζεύξουμε μία ίνα μεγάλου πυρήνα στον αγωγό αυτό και τότε να μετρήσουμε την ισχύ. Η συγκεκριμένη ίνα θα ελαχιστοποιήσει της απώλειες στο σημείο σύνδεσης για να έχουμε έτσι ακριβέστερη διαβάθμιση

8.3 Έλεγχος εξαρτημάτων οπτικών ινών

Οι συνδετήρες χρησιμοποιούνται για τη σύζευξη μεταξύ δύο ινών ή ακόμη για να συνδέσουμε ίνες με πομπούς και δέκτες. Οι επαφές αυτές, λοιπόν έχουν σχεδιαστεί ώστε να είναι αποσπώμενες. Οι συνδέσεις μεταξύ αγωγών, ωστόσο, χρησιμοποιούνται για να συνδέουν δύο ίνες μεταξύ τους με



μόνιμη σύνδεση. Ενώ, λοιπόν, έχουν κάποιες κοινές απαιτήσεις, όπως για παράδειγμα χαμηλή απώλεια, υψηλή απώλεια οπτικής επιστροφής και επαναληπτικότητα, οι συνδετήρες έχουν την επιπλέον απαίτηση της αντοχής στις επανειλημμένες ενώσεις, ενώ οι συνδέσεις μεταξύ αγωγών θα πρέπει να διαρκέσουν πολλά χρόνια τις πραγματικά δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες. Οι περισσότεροι τύποι συνδετήρων λειτουργούν με την απλή ευθυγράμμιση των άκρων των δύο ινών, όσο το δυνατόν πιο ακριβέστερα και με την ασφάλιση τους με τέτοιο τρόπο, ώστε να επηρεάζεται όσο το δυνατόν λιγότερο από περιβαλλοντικούς παράγοντες.

Οι ενώσεις μεταξύ κεντρικών αγωγών κατασκευάζονται από μέταλλο, πλαστικό καθώς και κεραμικό. Οι πλαστικές ίνες αποδίδουν καλά σε περιβαλλοντικές συνθήκες, αλλά μπορεί να υποστούν προβλήματα λόγω αλληπάλληλων συνδέσεων, ειδικά κάτω από συνθήκες που αντιμετωπίσαμε κατά τον έλεγχο διάφορων συνδετήρων ή καλωδίων. Ελέγξτε τις κεντρικές ενώσεις για προβλήματα, παρατηρώντας την άκρη των συνδετήρων σε μικροσκόπιο, ψάχνοντας για σκόνη.

Η απώλεια στις επαφές σύνδεσης και στις συνδέσεις μεταξύ αγωγών προκαλείται από έναν αριθμό παραγόντων. Η απώλεια περιορίζεται όταν οι πυρήνες των δυο ινών ευθυγραμμίζονται τελείως. Μόνο το φως που έχει συζευχθεί στον πυρήνα της ίνας λήψης θα διαδίδεται, κι έτσι όλο το υπόλοιπο φως θα γίνει απώλεια συνδέσεων ή συνδετήρων.

Παρόλο που είναι συνηθισμένο να συγκρίνουμε τους τυπικούς συνδετήρες, που παραθέτουν οι κατασκευαστές, μπορεί να μην είναι η πιο δίκαιη σύγκριση. Ο κατασκευαστής έχει ένα σχέδιο, το οποίο έχει βελτιωθεί συνδέοντας σωστά και διεξάγοντας ελέγχους σε πολλά δείγματα των συνδετήρων. Όμως, η πραγματική απώλεια, που έχει ο κάθε τελικός χρήστης, θα καθοριστεί αρχικά από τις επιδόσεις των συνδετήρων στην διαδικασία τερματισμού. Μόνο ο κατασκευαστής έχει τον έλεγχο του βασικού σχεδίου σύνδεσης, της μηχανικής ακρίβειας στην κατασκευή και της σαφήνειας των οδηγιών τερματισμού.

8.4 Έλεγχος απώλειας συνδετήρων και συνδέσεων μεταξύ αγωγών

Για να καθορίσουμε μία τυπική τιμή απώλειας για τους συνδετήρες θα πρέπει να ελέγξουμε όλους τους συνδετήρες βάσει ενός προκαθορισμένου συστήματος, για να μπορέσουμε να διεξάγουμε συγκρίσεις μεταξύ διάφορων ειδών συνδετήρων. Οι μετρήσεις απώλειας των συνδετήρων και των συνδέσεων μεταξύ αγωγών διεξάγονται μετρώντας την ισχύ εκπομπής ενός καλωδίου μικρού μήκους και κατόπιν τοποθετώντας ένα ζεύγος συνδετήρων, η μία σύνδεση μεταξύ αγωγών μέσα στην ίνα.

Αυτός ο έλεγχος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ίνες μονότροπες και πολύτροπες, αλλά τα αποτελέσματα για την πολύτροπη ίνα θα εξαρτώνται από την τροπολογική μετάδοση ισχύος. Ο έλεγχος αυτός επαναλαμβάνεται εκατοντάδες ή και χιλιάδες φορές από κάθε κατασκευαστή συνδετήρων. Αυτό αποδεικνύει και τη δυνατότητα επανάληψης των σχεδίων των συνδετήρων, και είναι βασικός παράγοντας για τον καθορισμό των περιθωρίων για εγκαταστάσεις που χρησιμοποιούν πολλούς συνδετήρες.

8.4.1 Επιθεώρηση των συνδετήρων με Μικροσκόπιο

Η οπτική επιθεώρηση της επιφάνειας του άκρου ενός συνδετήρα είναι ένας από τους καλύτερους τρόπους για τον καθορισμό της ποιότητας της διαδικασίας τερματισμού, καθώς και για την διάγνωση προβλημάτων. Ένας φτιαγμένος συνδετήρας θα έχει απαλό, λείο άκρο, χωρίς ρωγμές και η ίνα δεν θα παρουσιάζει κανένα σημάδι σπασίματος ή εμβολισμού (εκεί όπου η ίνα είτε προεξέχει από το άκρο της ένωσης, είτε βρίσκεται πιο μέσα σ' αυτή).

Η κατάλληλη μεγέθυνση για την επιθεώρηση των επαφών σύνδεσης είναι γενικά αποδεκτή σ' επίπεδο ισχύος 30-100. Μικρότερη μεγέθυνση, τυπικά με φακό χρυσοχόου ή μεγεθυντικό φακό τσέπης, δεν θα μας δώσει αρκετή ανάλυση, ώστε να εξετάσουμε το άκρο του συνδετήρα. Μία πολύ έντονη μεγέθυνση τείνει να κάνει τα μικρά, ασήμαντα ψεγάδια να παρουσιάζονται χειρότερα απ' ότι είναι στην πραγματικότητα. Μία καλύτερη λύση είναι να χρησιμοποιήσουμε μέση μεγέθυνση, αλλά



να ελέγξουμε τον συνδετήρα με τρεις τρόπους: να επιθεωρήσουμε κατευθείαν το άκρο της λείας επιφάνειας με πλαϊνό φωτισμό και φως να μεταδίδεται μέσω της ίνας (του πυρήνα), και τέλος να επιθεωρήσουμε σε γωνία με φωτισμό από την απέναντι γωνία.

Η κατευθείαν επιθεώρηση με πλαϊνό φωτισμό μας επιτρέπει να δούμε αν η οπή της ένωσης έχει το κατάλληλο μέγεθος, η ίνα επικεντρώνεται στην οπή κι εφαρμόζουμε την σωστή ποσότητα κόλλας. Όμως, με τον τρόπο αυτό θα φανούν μόνο οι μεγάλες (βαθιές) ρωγμές. Αν προσθέσουμε το φως που μεταδίδεται μέσω του πυρήνα, θα δημιουργήσουμε ρωγμές στο άκρο της ίνας, λόγω της πίεσης ή της θερμότητας κατά τη διάρκεια της λείανσης, οι οποίες ρωγμές θα είναι ορατές. Η επιθεώρηση σε γωνία του άκρου του συνδετήρα, με φωτισμό από την απέναντι γωνία και περίπου με την ίδια κλίση θα μας επιτρέψει να ελέγξουμε καλύτερα την ποιότητα της λείανσης και τις πιθανές ρωγμές. Η σκίαση που δημιουργείται από τη γωνία του φωτός ενισχύει την αντίθεση των ρωγμών απέναντι στη γυαλιστερή, λεία επιφάνεια του γυαλιού.

8.4.2 Ανθεκτικότητα των συνδετήρων και των συνδέσεων

Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας για ένα συνδετήρα είναι η ανθεκτικότητα του σχεδιασμού του στις αλληπλληλες ενώσεις χωρίς περιορισμό ή μεταβολή της απώλειας του. Ο έλεγχος της ανθεκτικότητας των συνδετήρων συμπεριλαμβάνει επανειλημμένες ενώσεις και διαχωρισμούς ενός ζεύγους συνδετήρων, κατά τη διάρκεια του υπολογισμού της απώλειας. Από τη στιγμή που η απώλεια αποτελεί παράγοντα και των συνδετήρων και της ευθυγράμμισης, θα μας βοηθούσε να καθορίσουμε ποιοι είναι οι παράγοντες που συμβάλλουν στην μείωση και τον περιορισμό της απώλειας. Οι πλαστικές θήκες ευθυγράμμισης, όταν χρησιμοποιούνται με κεραμικές επαφές σύνδεσης, για παράδειγμα, συνήθως χαλάνε πολύ γρήγορα, απομακρύνοντας το πλαστικό από τα σημεία ενώσεων και προκαλώντας έτσι αυξημένη απώλεια, αλλά και επιστρεφόμενη απώλεια. Κατά τον έλεγχο της ανθεκτικότητας, είναι πολύ σημαντική η περιοδική επιθεώρηση των προσώπων των άκρων τους και των ενώσεων με μικροσκόπιο για να εντοπίσουμε τυχόν φθορά ή πρόβλημα.

Η ανθεκτικότητα των ενώσεων μεταξύ αγωγών είναι σημαντική γιατί αυτές υφίστανται τεράστια περιβαλλοντική πίεση, αφού χρησιμοποιούνται σε ειδικές κατασκευές στα πεζοδρόμια ή τοποθετούνται σε κολώνες, όπου κι εκτίθενται σε υπερβολικά μεγάλες κλιματολογικές αλλαγές. Οι κατασκευαστές συνήθως ελέγχου έναν αριθμό ενώσεων σε διάφορες περιβαλλοντικές συνθήκες που επισπεύδουν τη φθορά τους, για να καθορίσουν την ανθεκτικότητα τους. Τέτοιου είδους έλεγχοι μπορεί να διαρκέσουν χρόνια.

8.4.3 Απώλεια οπτικής επιστροφής στους συνδετήρες

Αν έχετε δει ποτέ συνδετήρες και οπτική ίνα σε ένα μετρητή ανάκλασης πεδίου οπτικού χρόνου (OTDR), γνωρίζετε την χαρακτηριστική ακίδα, η οποία δείχνει που βρίσκονται οι συνδετήρες. Η ακίδα αυτή αποτελείτο μέτρο της επιστρεφόμενης ανάκλασης ή αλλιώς της απώλειας οπτικής επιστροφής των συνδετήρων δηλ. της ποσότητας του φωτός που ανακλάται πίσω στην ίνα, λόγω της ανάκλασης του φωτός στην λεία επιφάνεια του άκρου του συνδετήρα και του αέρα. Αυτή ονομάζεται ανάκλαση Fresnel (κυκλική) και προκαλείται από τη διέλευση του φωτός μέσω διαφορετικού δείκτη ανάκλασης των σημείων σύνδεσης μεταξύ των ινών ($n=1,5$) και του αέρα ($n=1$).

Στα περισσότερα συστήματα, αυτή η ακίδα επιστροφής είναι ένας ακόμη συντελεστής απώλειας των συνδετήρων κι αντιπροσωπεύει περίπου 0,3dB απώλειας (δυο συνδέσεις αέρα / γυαλιού με 4% ανάκλαση η καθεμία), η οποία και αποτελεί την ελάχιστη απώλεια για συνδετήρες εκτός σύνδεσης, χωρίς υγρό κάλυψη του δείκτη.

Όμως, στα μονότροπα συστήματα με υψηλό δείκτη μετάδοσης πληροφοριών, η ανάκλαση αυτή μπορεί να αποτελέσει σημαντική πηγή προβλημάτων στο ποσοστό λάθους της μετάδοσης πληροφοριών. Το φως που ανακλάται και που έρχεται σ' επαφή με το τσιπ της διόδου λείζερ,



προκαλεί απότομη αλλαγή κατάστασης συνεχών και μπορεί ν' αποτελέσει πηγή θορύβου. Μειώνοντας την ποσότητα του φωτός που επιστρέφει στην πηγή λέιζερ, θα πρέπει να λάβουμε τη μέγιστη απόδοση από τη προηγμένα συστήματα λέιζερ, ιδιαίτερα από τα συστήματα καλωδιακής τηλεόρασης με διαμόρφωση πλάτους AM.

Από τη στιγμή που αυτό το πρόβλημα εμφανίζεται μόνο σε μονότροπα συστήματα, οι κατασκευαστές έχουν επικεντρωθεί στην επίλυση των προβλημάτων για τα εξαρτήματα που μετέχουν στη συγκεκριμένη κατάσταση μόνο. Έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορα σενάρια για τη μείωση της επιστρεφόμενης ανάκλασης, συμπεριλαμβανομένης και της μείωσης του κενού μεταξύ των συνδετήρων κάποια τουλάχιστον μήκη κύματος του φωτός- πράγμα που σταματά την κυκλική ανάκλαση.

Η πιο συνηθισμένη τεχνική είναι η λείανση της επιφάνειας του άκρου της ίνας έτσι ώστε να είναι κυρτό ή να παρουσιάζει μία ελαφρά κλίση, για ν' αποφύγουμε την άμεση επιστρεφόμενη ανάκλαση.

Η μέτρηση αυτής της επιστρεφόμενης ανάκλασης είναι απλή, αλλά απαιτεί μία ειδική εγκατάσταση για τη διεξαγωγή του ελέγχου αυτού, η οποία παρουσιάζεται στο σχήμα 12.5. Την εγκατάσταση αυτή μπορούμε να τη χρησιμοποιήσουμε με μία γυμνή οπτική ίνα ως έξοδο, όπου εγκαθιστούμε ένα ζευγάρι συνδετήρων ή με μία συνδεδεμένη έξοδο για τον έλεγχο προσυνδεδεμένων γεφυρών.

Για τη διεξαγωγή του ελέγχου θα χρειαστούμε έναν διαβαθμισμένο συζεύκτη, ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να επιτρέψουμε την είσοδο μίας πηγής στο καλώδιο ελέγχου ή σ' έναν μικρό εύκαμπτο αγωγό καινά μετρήσουμε την ποσότητα φωτός που ανακλάται στην ίνα πίσω στην πηγή, με τη βοήθεια ενός στάνταρ μετρητή ισχύος και μία πηγή λέιζερ.

Το ποσοστό διαχωρισμού του συζεύκτη πρέπει να είναι διαβαθμισμένο για να γνωρίζουμε ποια ποσότητα του επιστρεφόμενου σήματος πηγαίνει στον μετρητή ισχύος και ποια ποσότητα εκτρέπεται στην πλευρά του συζεύκτη που βρίσκεται η πηγή, για να υπολογίσουμε έτσι τη συνολική ποσότητα της επιστρεφόμενης ανάκλασης. Λόγω της απαιτούμενης εμβέλειας δυναμικού, για τον υπολογισμό της απώλειας επιστροφής στην κλίμακα από -25 έως -60dB, απαιτείται μία πηγή λέιζερ υψηλής ισχύος. Και η πηγή θα πρέπει να είναι αρκετά σταθερή για να επιστρέψει τη διεξαγωγή μετρήσεων ακριβείας για τα σχετικά μεγάλα χρονικά διαστήματα, που απαιτούνται για το πείραμα.

Για να υπολογίσουμε την απώλεια επιστροφής, θα πρέπει να μετρήσουμε την ποσότητα ισχύος που εκπέμπεται στο άκρο του καλωδίου (Pout) και την ισχύ που ανακλάται πίσω μέσω του συζεύκτη -και συγκεκριμένα της εισόδου ελέγχου του (Pback)- με τη χρήση ενός μετρητή ισχύος οπτικών ινών. Για να εξαλείψουμε οποιαδήποτε παρεμβολή στον συζεύκτη, ή τις επιστρεφόμενες ανακλάσεις των ενδιάμεσων συνδετήρων και συνδέσεων μεταξύ αγωγών, θα πρέπει να βυθίσουμε το άκρο της επαφής, που βρίσκεται υπό έλεγχο, σε υγρό με παρόμοιο δείκτη (το οινόπνευμα έχει πολύ καλά αποτελέσματα) και να καταγράψουμε την ποσότητα ισχύος στην είσοδο ελέγχου του συζεύκτη (Pzero). Αν το ποσοστό διαχωρισμού του συζεύκτη είναι Rsplit (το τμήμα του φωτός που πηγαίνει στην είσοδο μέτρησης, όταν μεταδίδεται προς τα πίσω) η απώλεια επιστροφής είναι:

$$\text{Α π ώ λ ε ι α ο π τ ι κ ή ς ε π ι σ τ ρ ο φ ή ς (dB)} = \frac{P_{back} - P_{zero}}{P_{split} \times P_{out}}$$

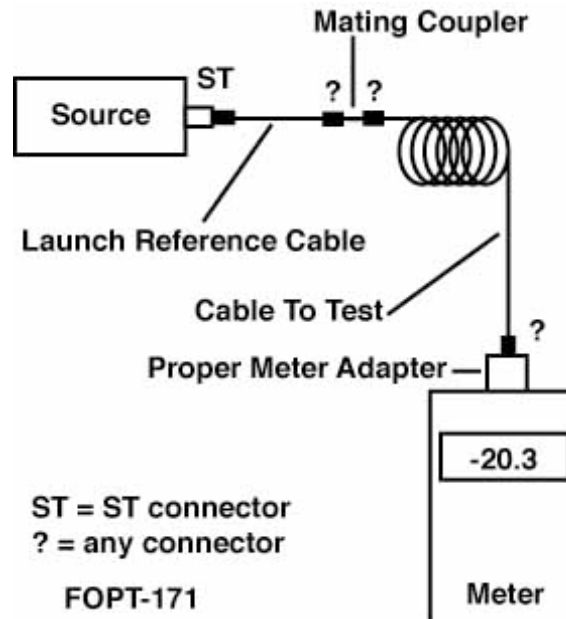
8.4.4 Έλεγχος συνδεδεμένων καλωδίων

Αφού προσθέσουμε τους συνδετήρες σ' ένα καλώδιο, ο έλεγχος θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει την απώλεια της ίνας στο εσωτερικό του καλωδίου συν την απώλεια των συνδετήρων. Σε πολύ μικρές συνδέσεις καλωδίων (με μήκος έως 10 μέτρα), η απώλεια των μετρητών θα είναι η μόνη σχετική απώλεια, ενώ η ίνα θα συνεισφέρει στη συνολική απώλεια σε μεγαλύτερες συνδέσεις καλωδίων. Για καλώδια που έχουν εγκατασταθεί θα πρέπει να ελέγξουμε ολόκληρο το καλώδιο απ' άκρο σ' άκρο, συμπεριλαμβανομένων και όλων των εξαρτημάτων που βρίσκονται συνδεδεμένα σ' αυτό, όπως για παράδειγμα συνδέσεις μεταξύ αγωγών, συζεύκτες, και συνδετήρες, ενδιάμεσα μικρά πάνελ οργάνων.



Προφανώς, δεν μπορούμε να ελέγχουμε τις εγκαταστάσεις καλωδίων με τον ίδιο τρόπο, όπως και τους μεμονωμένους συνδετήρες των ινών, αφού οι έλεγχοι αυτοί είναι καταστροφικοί.

Ένας καλύτερος έλεγχος, αναπτύχθηκε για τους συνδετήρες. Αρχίζουμε προσαρμόζοντας ένα καλώδιο εκκίνησης (launch cable) στην πηγή, κατασκευασμένο από ένα ίδιο μεγέθους και ίδιο τύπο συνδετήρες, όπως το καλώδιο που πρόκειται να ελεγχθεί. Η ισχύς από το άκρο αυτού του καλωδίου υπολογίζεται σ' έναν μετρητή ισχύος για να βαθμονομήσει την ισχύ για τον έλεγχο. Κατόπιν προσαρμόζουμε το καλώδιο που πρόκειται να ελεγχθεί και υπολογίζουμε την ισχύ που βρίσκεται στο άκρο για μία ακόμη φορά. Μπορούμε να υπολογίσουμε την απώλεια που προκαλείται στις επαφές σύνδεσης, που εφάπτονται στο καλώδιο εκκίνησης και στην ίνα, στο ίδιο το καλώδιο.



Εικόνα 109 : Έλεγχος απλού άκρου

Αφού ο έλεγχος αυτός υπολογίζει μόνο την απώλεια στους συνδετήρες που εφάπτονται στο καλώδιο εκκίνησης, μπορούμε να προσθέσουμε ένα δεύτερο καλώδιο στον μετρητή ισχύος και συγκεκριμένα στο άκρο του, που ονομάζεται καλώδιο λήψης, έτσι ώστε το καλώδιο που θα ελέγξουμε να βρίσκεται μεταξύ του καλωδίου εκκίνησης και λήψης.

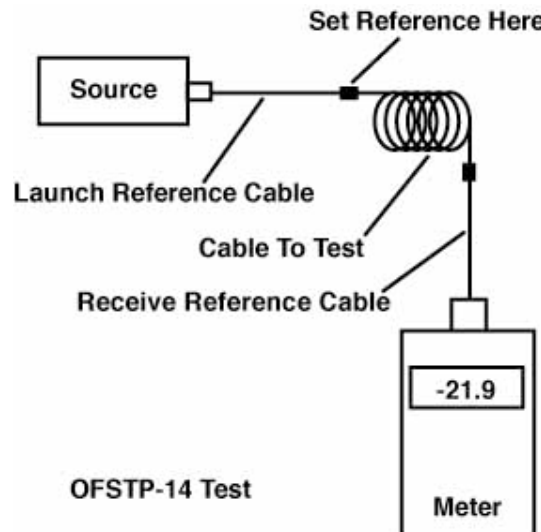
Κατόπιν υπολογίζουμε την απώλεια και στα δύο άκρα των συνδετήρων καθώς και σε οτιδήποτε βρίσκεται στο ενδιάμεσο. Αυτός ο έλεγχος έχει την κοινή ονομασία: έλεγχος απώλειας "διπλού άκρου".

Έχουν δοθεί δυο ερμηνείες της βαθμονόμησης της εξόδου της πηγής στον συγκεκριμένο έλεγχο. Η μία είναι να προσαρμόσουμε το καλώδιο εκκίνησης στη πηγή και το καλώδιο λήψης στον μετρητή. Τότε, συνδέουμε τα δυο κι έχουμε την αναφορά 0 dB. Στην άλλη, προσαρμόζουμε το καλώδιο εκκίνησης και υπολογίζουμε την ισχύ με τον μετρητή ισχύος. Με την πρώτη μέθοδο, έχουμε δυο νέες αποκλίσεις των μετρήσεων, πρώτον η μέθοδος αυτή υπολογίζει ως κατώτερη την απώλεια του εγκατεστημένου καλωδίου μέσω της απώλειας στη μία επαφή σύνδεσης αφού αυτή εκμηδενίζεται κατά την διαδικασία διαβάθμισης. Δεύτερον, αν μία από τις επαφές σύνδεσης είναι ακατάλληλη, στο ένα ή και στα δύο καλώδια, συγκαλύπτεται από την διαβάθμιση, αφού ακόμη κι αν και οι δύο συνδετήρες έχουν απώλεια της τάξης των 10dB δεν φαίνεται με την μέθοδο διαβάθμισης που χρησιμοποιούμε.

Στη δεύτερη μέθοδο, η ισχύς εκκίνησης υπολογίζεται άμεσα από τον μετρητή. Αυτό μας επιτρέπει να υπολογίσουμε και τους δύο συνδετήρες στο καλώδιο ελέγχου, από τη στιγμή που η ισχύς δηλώνεται στην ποσότητα της ισχύς εξόδου του συνδετήρα εκκίνησης. Επιπλέον, μπορούμε να ελέγξουμε την ποιότητα προσαρμογής των συνδετήρων των καλωδίων ελέγχου προσαρμόζοντας τη



γέφυρα λήψης στον μετρητή και κατόπιν υπολογίζοντας την απώλεια στους συνδετήρες μεταξύ των γεφυρών εκκίνησης και λήψης. Αν η απώλεια αυτή είναι υψηλή, γνωρίζουμε ότι υπάρχει πρόβλημα με τις συνδέσεις που ελέγχουμε, το οποίο θα πρέπει να διορθωθεί πριν διεξαχθούν οι ακριβείς μετρήσεις απώλειας του καλωδίου.



Εικόνα 110 : Μέθοδος δύο άκρων

8.4.5 Ανεύρεση ακατάλληλων συνδετήρων

Αν ένας έλεγχος παρουσιάζει κάποιο καλώδιο-γέφυρα με υψηλή απώλεια, υπάρχουν διάφοροι τρόποι να προσδιορίσουμε το πρόβλημα. Αν διαθέτουμε μικροσκόπιο, θα πρέπει να ελέγξουμε τους συνδετήρες για εμφανείς ατέλειες, όπως γρατσουνιές, χαραγματιές ή επικαλύψεις της επιφάνειάς τους. Αν φαίνονται εντάξει, καθαρίστε τις πριν ξανακάνετε τον έλεγχο. Ξαναελέγξτε το καλώδιο εκκίνησης για να σιγουρευτείτε ότι βρίσκεται σε καλή κατάσταση. Κατόπιν, ξαναελέγξτε το καλώδιο-γέφυρα με τη μέθοδο απλού- άκρου, χρησιμοποιώντας μόνο ένα καλώδιο εκκίνησης. Ελέγξτε το καλώδιο και προς τις δύο κατευθύνσεις. Το καλώδιο θα πρέπει να έχει υψηλότερη απώλεια όταν διεξάγουμε τον έλεγχο με ακατάλληλους συνδετήρες, προσαρμοσμένους στο καλώδιο εκκίνησης, αφού ο ανιχνευτής ευρείας εμβέλειας του μετρητή ισχύος δεν θα επηρεαστεί τόσο πολύ από τους τυπικούς παράγοντες απώλειας των συνδετήρων.

8.4.6 Επιλέγοντας το καλώδιο διεξαγωγής ελέγχου

Προφανώς, η ποιότητα του καλωδίου εκκίνησης θα επηρεάσει τις μετρήσεις απώλειας σ' εγκατεστημένα καλώδια που ελέγχονται με τη χρήση του καλωδίου αυτού. Φυσικά είναι απαραίτητοι οι καλοί συνδετήρες με την κατάλληλη λείανση, αλλά θα μπορούσαμε να βελτιώσουμε τις μετρήσεις και προσδιορίζοντας αυστηρές προδιαγραφές για τις ίνες και τους συνδετήρες. Αν η ίνα πλησιάζει περισσότερο τις ονομαστικές προδιαγραφές και ο μεταλλικός κρίκος των συνδετήρων έχει υψηλή ανοχή, θα πρέπει να περιμένουμε περισσότερο επαναλαμβανόμενες μετρήσεις. Σε μία σειρά ελέγχων που έχει διεξαχθεί σ' έναν μεγάλο αριθμό δειγμάτων καλωδίων απέδειξαν ότι το πόσο τεντωμένη ήταν η ίνα και πόση ανεκτικότητα διαθέτουν οι συνδετήρες δεν επηρεάζουν σημαντικά τη μεταβλητότητα των καλωδίων που αλληλοσυνδέονται. Στην πραγματικότητα, η ελάχιστη μεταβλητότητα προήλθε από ένα σετ καλωδίων που κατασκευάστηκαν από εξαρτήματα, τα οποία δεν έγιναν κατά ειδική παραγγελία, αλλά χρησιμοποιήθηκε καλώδιο με πιο άκαμπτο περίβλημα, απ' ότι τα άλλα καλώδια, τα οποία και μείωναν τις μεταβολές απώλειας λόγω της ευλυγισίας, στο πίσω άκρο των συνδετήρων.



Φαίνεται πως ο μεγάλος αριθμός παραγόντων, που έχουν να κάνουν με τις απώλειες λόγω σύνδεσης, καθιστά αδύνατο τον έλεγχο ανοχής της συγκεκριμένης απώλειας. Γι' αυτόν τον λόγο, συνιστούμε τα καλώδια εκκίνησης να επιλέγονται για χαμηλή απώλεια, αλλά να μην προδιαγράφονται για υψηλή ανοχή, στα χαρακτηριστικά της ίνας ή των συνδετήρων. Είναι ίσως πολύ πιο σημαντικό να χειριστούμε προσεκτικά τα καλώδια ελέγχου και να επιθεωρούμε τις επιφάνειες των άκρων κάθε επαφής για βρωμιά ή γρατζουνιές.

8.4.7 Μέτρηση απωλειών μονίμων συνδέσεων (splice)

Οι περισσότερες διατάξεις μονίμων συνδέσεων τήξης διαθέτουν ενσωματωμένο εξοπλισμό έγχυσης και ανίχνευσης φωτός μέσω της κατασκευαζόμενης σύνδεσης, για εκτίμηση των οπτικών απωλειών αυτής. Οι συσκευές αυτές δεν απαιτούν άλλα μέσα μέτρησης των απωλειών των μονίμων συνδέσεων. Ωστόσο, για άλλους τύπους μονίμων συνδέσεων, ίσως είναι επιθυμητή η απευθείας μέτρηση των απωλειών τους. Ένα OTDR μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση των απωλειών αυτών, αλλά η αβεβαιότητα των μετρήσεων, που προκαλείται από τα διαφορετικά χαρακτηριστικά μεταξύ των δυο διαφορετικών ινών που συνδέονται, καθιστά τη τιμή της μέτρησης πολύ σχετική. Ωστόσο, εάν είναι απαραίτητο να υπολογιστεί η απόλυτη τιμή απωλειών κάποιας μόνιμης σύνδεσης, τότε μετριέται με το OTDR και από τα δυο άκρα και εξάγεται ο μέσος όρος των μετρήσεων.

Επίσης, μπορεί κάποιος να μετρήσει τις απώλειες μιας μόνιμης σύνδεσης, χρησιμοποιώντας μια τεχνική παρόμοια με τη FOTP-171 των βυσμάτων. Για τη μέτρηση της εξόδου του καλωδίου σύνδεσης της πηγής θα πρέπει να χρησιμοποιείται ένας γυμνός προσαρμοστής ίνας στο όργανο μέτρησης ισχύος. Μετά από την κοπή της ίνας, μετριέται η ισχύς με το όργανο και χρησιμοποιείται την τιμή αυτή ως αναφορά. Από τη στιγμή κατά την οποία έχει υλοποιηθεί η μόνιμη σύνδεση, η μέτρηση των απωλειών, μαζί με τις απώλειες του μήκους του καλωδίου, που έχει συνδεθεί, μπορεί να διεξαχθεί στο άλλο άκρο της ίνας που συνδέθηκε, το οποίο μπορεί να βρίσκεται χιλιόμετρα μακριά. Επειδή συνήθως γίνονται πολλές μόνιμες συνδέσεις ταυτόχρονα, δεν είναι πρακτική η μετακίνηση κάθε φορά του οργάνου μέτρησης ισχύος στην απομακρυσμένη περιοχή, γι' αυτό χρειάζεται και δεύτερος τεχνικός με ένα διακριβωμένο όργανο στην άλλη άκρη το καλωδίου, ο οποίος θα μετράει την ισχύ και θα αναφέρει την τιμή μέτρησης, προκειμένου να εκτελεστεί ο υπολογισμός των απωλειών.

8.4.8 Διακόπτες οπτικών ινών

Οι διακόπτες μπορούν να κάνουν χρήση μίας από ένα συγκεκριμένο αριθμό τεχνικής για να μεταφέρουν το φως από τη μία ίνα στην άλλη. Κάποιοι απ' αυτούς χρησιμοποιούν κυρίως ίνες στον βραχίονα ενός ηλεκτρονόμου με ευθυγράμμιση v-bloc για να δημιουργήσει μεταβολή από την έξοδο της μίας ίνας στην άλλη. Άλλοι πάλι χρησιμοποιούν φακούς και πρίσματα για την ευθυγράμμιση του φωτός που προέρχεται από την ίνα εισόδου και για να το δρομολογήσει στην ίνα εξόδου. Όπως και στους συζεύκτες, ο έλεγχος των διακοπών συμπεριλαμβάνει τον υπολογισμό του φωτός που χάνεται μέσα στον διακόπτη, μέσω του υπολογισμού της εισόδου μίας πηγής και την κατάλληλη έξοδο για κάθε θέση του διακόπτη.

Όπως έχει προαναφερθεί, τα εξαρτήματα αυτά είναι πολύ ευαίσθητα στην διανομή κατάστασης ισχύος. Για μονότροπους συζεύκτες και διακόπτες τα ποσοστά σύζευξης θα είναι ευαίσθητα όσον αφορά στο αν το φως που εισέρχεται είναι πραγματικά μονότροπο. Στα πολύτροπα εξαρτήματα η διανομή κατάστασης ισχύος μπορεί να προκαλέσει μεγάλη διακύμανση στις απώλειες του διακόπτη ή στα ποσοστά σύζευξης. Τα φίλτρα κατάστασης είναι απαραίτητα στους μονότροπους ελέγχους. Ακόμη, ο συνδυασμός μίκτη κατάστασης και φίλτρου χρειάζονται στους πολύτροπους ελέγχους για να εξασφαλίσουν την ελάχιστη δυνατή επίδραση από οποιαδήποτε άγνωστη διανομή κατάστασης ισχύος.



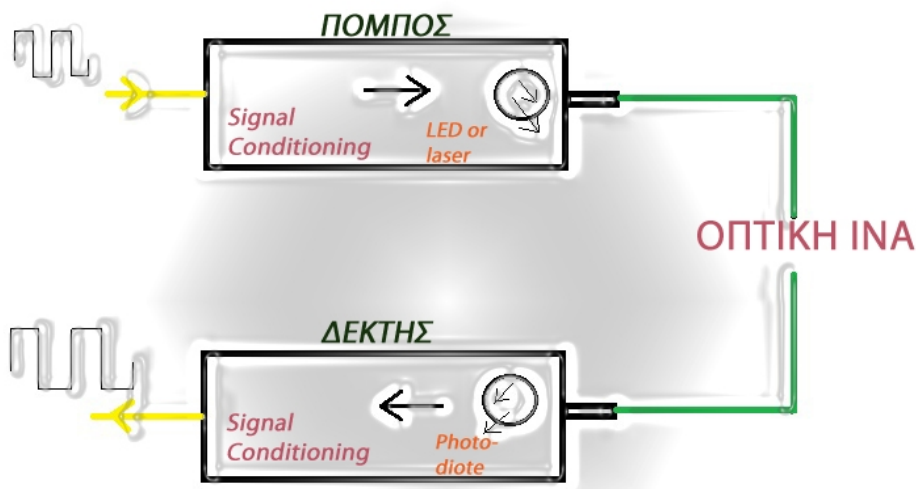
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 : Ο έλεγχος των εγκαταστάσεων των οπτικών ινών

Εισαγωγή

Αυτό το κεφάλαιο πραγματεύεται τον έλεγχο εγκαταστάσεων οπτικών ινών. Γίνεται αναφορά στη διαδικασία ελέγχου κυκλωμάτων μεταφοράς δεδομένων, στην εγκατάσταση και διαδικασία ελέγχου καλωδίων οπτικών ινών, στον έλεγχο με χρήση μετρητή ανάκλασης O.T.D.R. καθώς και στη διαδικασία ελέγχου δικτύων οπτικών ινών. Τέλος γίνεται αναφορά σε συνήθεις δυσλειτουργίες των εγκαταστάσεων οπτικών ινών.

9.1 Έλεγχος κυκλωμάτων μεταφοράς δεδομένων

Τα συστήματα μετάδοσης οπτικών ινών λειτουργούν με τρόπο παρόμοιο μ' εκείνον που παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα. Αποτελούνται από έναν πομπό, ο οποίος παίρνει μία ηλεκτρική είσοδο και την μετατρέπει σε οπτική έξοδο με μία δίοδο λείζερ ή μια LED. Το φως από τον πομπό συζευγνύεται μέσα στην ίνα με ένα συνδετήρα και μεταδίδεται μέσω του καλωδίου οπτικής ίνας. Το φως τελικά τροφοδοτεί έναν δέκτη, όπου ένας ανιχνευτής το μετατρέπει σε ηλεκτρικό σήμα, το οποίο με τη σειρά του επεξεργάζεται κατάλληλα, έτσι ώστε να χρησιμοποιηθεί από τα εξαρτήματα λήψης. Όπως ακριβώς με τα σύρματα χαλκού ή τη ραδιοφωνική μετάδοση, η λειτουργία της σύνδεσης δεδομένων των οπτικών ινών καθορίζεται από το πόσο καλά το επαναμετατρεπόμενο ηλεκτρικό σήμα, που βρίσκεται εκτός του δέκτη, ταιριάζει με την είσοδο του πομπού. [27]



Εικόνα 111 : Τυπικό σύστημα μετάδοσης

Η ικανότητα οποιουδήποτε συστήματος οπτικών ινών να μεταδώσει δεδομένα, τελικά εξαρτάται από την οπτική ισχύ στον δέκτη που παρουσιάζει το ποσοστό ψηφιακού λάθους της σύνδεσης δεδομένων, ως μία λειτουργία της οπτικής ισχύος στον δέκτη. Πολύ μικρή, ή πολύ μεγάλη ποσότητα ισχύος, θα προκαλέσει μεγάλα ποσοστά ψηφιακού λάθους (BER). Αν η ισχύς είναι πολύ μεγάλη, θα υπάρξει κορεσμός του ενισχυτή του δέκτη, ενώ αν είναι πολύ μικρή, τότε ο θόρυβος που θα προκληθεί θ' αποτελέσει σημαντικό πρόβλημα. Αυτή η ισχύς του δέκτη εξαρτάται από δύο



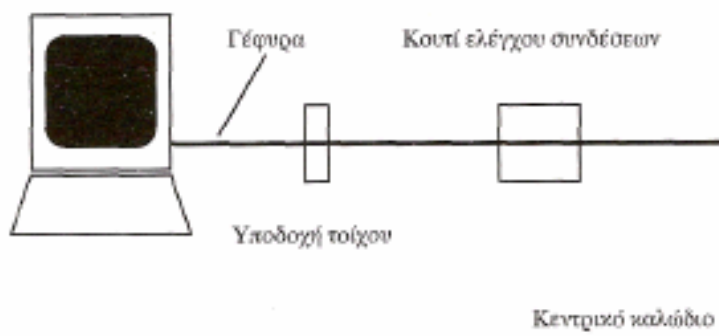
βασικούς παράγοντες, πόση ισχύ προωθείται μέσα στην ίνα από τον πομπό και πόση απ' αυτή χάνεται από την εξασθένιση στο καλώδιο οπτικών ινών, το οποίο συνδέει τον πομπό με τον δέκτη.

Η σύνδεση δεδομένων μπορεί από τη φύση της να είναι αναλογική ή ψηφιακή. Και τα δύο είδη έχουν κάποιες κρίσιμες παραμέτρους, καθώς και κάποιες μεγάλες διαφορές. Οι αναλογικές συνδέσεις ελέγχονται για τα ποσοστά σήματος και θορύβου, ώστε να καταφέρουμε να καθορίσουμε το περιθώριο σύνδεσης, ενώ οι ψηφιακές συνδέσεις χρησιμοποιούν το ποσοστό ψηφιακού λάθους ως μέτρο υπολογισμού της απόδοσης. Και οι δύο συνδέσεις απαιτούν τη διεξαγωγή ελέγχου σ' ολόκληρο το εύρος ζώνης που καθορίζεται για τη λειτουργία, όμως οι περισσότερες συνδέσεις δεδομένων τώρα προδιαγράφονται για συγκεκριμένες εφαρμογές δικτύων, όπως οι καλωδιακές τηλεοράσεις ή έγχρωμες οθόνες RGB για τις αναλογικές συνδέσεις και SONET, Ethernet, FDDI και ESCON για ψηφιακές συνδέσεις. και ESCON για ψηφιακές συνδέσεις.

Το περιθώριο οπτικής ισχύος της σύνδεσης καθορίζεται από δύο παράγοντες: την ευαισθησία του δέκτη η οποία καθορίζεται στην καμπύλη του ποσοστού ψηφιακού λάθους, που προαναφέρθηκε και η ισχύς εξόδου του πομπού στην ίνα. Το κατώτατο επίπεδο ισχύος, που προσδίδει ένα αποδεκτό ποσοστό ψηφιακού λάθους, καθορίζει την ευαισθησία του δέκτη. Η ισχύς του πομπού, που έχει συνδεθεί στην οπτική ίνα, καθορίζει το περιθώριο απώλειας της σύνδεσης. Αν η σύνδεση έχει σχεδιαστεί ώστε να λειτουργεί σε διαφορετικά ποσοστά ψηφιακού λάθους, είναι απαραίτητο να δημιουργήσουμε την καμπύλη λειτουργίας για κάθε ποσοστό τέτοιου είδους. Αφού η ολική ισχύς του σήματος είναι λειτουργία του παλμικού εύρους, και το παλμικό εύρος θα ποικίλει ανάλογα με το ποσοστό ψηφιακού λάθους (υψηλότερα ποσοστά σημαίνει βραχύτεροι παλμοί), η ευαισθησία του δέκτη θα μειώνεται όσο αυξάνονται τα ποσοστά ψηφιακού λάθους.

9.2 Εγκατάσταση και έλεγχος καλωδίου οπτικών ινών

Τα τυπικά καλώδια οπτικών ινών αποτελούνται από ένα κεντρικό καλώδιο το οποίο συνδέει τους πίνακες συνδεσμολογίας και διάφορα μικρά καλώδια-γέφυρες, τα οποία με τη σειρά τους συνδέουν τον εξοπλισμό με το εγκατεστημένο κεντρικό καλώδιο. Τα συστήματα των κτιρίων και των περιορισμένων περιοχών είναι σαν αυτό που παρουσιάζει το σχήμα 13.3, όπου η κεντρική ίνα καταλήγει σε ντουλαπάκια ελέγχου καλωδίων και μικρά καλώδια-γέφυρες συνδέουν το σύστημα με υποδοχές στον τοίχο ή άμεσα στον εξοπλισμό. Αυτές οι εγκαταστάσεις συχνά δεν έχουν καθόλου ενώσεις μεταξύ αγωγών, αφού οι αποστάσεις είναι μικρές.



Εικόνα 112 : Σύστημα κτιρίου

Επιπλέον, οι ίνες δεν έχουν άμεση απόληξη, αλλά υψηλής ποιότητας εργοστασιακοί μικροί, εύκαμπτοι αγωγοί, δημιουργούν τις συνδέσεις στο κεντρικό καλώδιο. Η διαδικασία ελέγχου οποιουδήποτε εγκατεστημένου καλωδίου οπτικών ινών, κατά τη διάρκεια και μετά την εγκατάσταση, συμπεριλαμβάνει όλες τις ενέργειες που καλύψαμε έως τώρα. Για να ελέγξουμε το εγκατεστημένο καλώδιο θα πρέπει να διεξάγουμε τον έλεγχο τρεις φορές, πριν την εγκατάσταση, κάθε εγκατεστημένο τμήμα του και για ολοκληρωμένη απώλεια από άκρο σε άκρο.



Θα πρέπει, ακόμη, να ελέγξουμε το καλώδιο όσο αυτό βρίσκεται στην μπομπίνα, για να εξασφαλίσουμε το γεγονός ότι δεν έγινε καμία ζημιά κατά τη μεταφορά του από τον κατασκευαστή στο χώρο εγκατάστασης του. Αφού το κόστος εγκατάστασης του είναι συνήθως υψηλό, συχνά υψηλότερο από το κόστος των υλικών, είναι λογικό να εξασφαλίσουμε από πριν ότι τα καλώδια που θα εγκαταστήσουμε θα είναι κατάλληλα.

Γενικά, είναι αρκετό να διεξάγουμε ελέγχους απλά για να εξασφαλίσουμε τη συνέχεια του καλωδίου, αφού οι περισσότερες ίνες εγκαθίστανται χωρίς συνδετήρες και καταλήγουν στην σωστή τους θέση, ενώ παράλληλα το πιο πιθανό είναι οι συνδετήρες να προκαλούν οποιοδήποτε πρόβλημα που παρουσιάζεται κατά τον έλεγχο απώλειας. Μετά την εγκατάσταση και τον τερματισμό, κάθε τμήμα του εγκατεστημένου καλωδίου θα πρέπει να ελέγχεται μεμονωμένα, όταν γίνεται η εγκατάσταση του, για να εξασφαλίσουμε την καλή κατάσταση τόσο κάθε συνδετήρα, όσο και κάθε καλωδίου. Τέλος, κάθε σύνδεση απ' άκρο σ' άκρο (από τον ένα εξοπλισμό που εγκαθίσταται πάνω στο καλώδιο, έως τον αμέσως επόμενο) θα πρέπει να υποστεί έναν τελικό έλεγχο.

Ο έλεγχος ολόκληρου του εγκατεστημένου καλωδίου διεξάγεται με μία άλλη στάνταρ διαδικασία ελέγχου. Αυτή καλύπτει τις ιδιαιτερότητες μίας πολύτροπης ίνας με κάθε λεπτομέρεια. Στην πραγματικότητα είχε δημιουργηθεί για πολύτροπα καλώδια, έτσι ώστε να καλύπτει τα προβλήματα ελέγχου την διανομής της κατάστασης ισχύος, αλλά η ίδια διαδικασία εφαρμόζεται και για μονότροπες, όπου ο φόβος για λάθος στην διανομή της κατάστασης ισχύος είναι πιο περιορισμένος.

Στις πολύτροπες ίνες, ο έλεγχος τώρα πια διεξάγεται και στα 850 και στα 1300nm, με τη χρήση LEDs ως πηγές. Έτσι, μπορούμε να αποδείξουμε την απόδοση του καλωδίου για κάθε σύστημα επικοινωνίας δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων του FDDI και του ESCON, και να καλύψουμε τις απαιτήσεις του κάθε αγοραστή δικτύων. Για τα καλώδια μονότροπων ινών ο έλεγχος συνήθως διεξάγεται στα 1500nm αλλά μερικές φορές απαιτείται επίσης η διεξαγωγή του ελέγχου και στα 1550nm. Ο έλεγχος στα 1550nm θ' αποδειξει ότι το καλώδιο μπορεί να υποστηρίξει την πολλαπλή διανομή της υποδιαίρεσης του μήκους κύματος (WDM) στα 1300nm και 1550nm για πιθανή μελλοντική επέκταση. Επιπλέον, ο έλεγχος στα 1550nm μπορεί να προσδιορίσει απώλεια από μικρές καμπές, η οποία δεν είναι εμφανής στα 1300nm, αφού οι ίνες είναι πολύ πιο ευαίσθητες στην απώλεια λόγω κάμψης στα 1550nm.

Αν η απώλεια του εγκατεστημένου καλωδίου απ' άκρο σ' άκρο υπερβαίνει το όριο της συνολικής αποδεκτής απώλειας, η καλύτερη λύση είναι να ξαναελέγξουμε το κάθε τμήμα του εγκατεστημένου καλωδίου ξεχωριστά, ελέγχοντας τα καλώδια όπου υποπτευόμαστε την ύπαρξη προβλήματος προς κάθε κατεύθυνση, αφού το πιθανότερο πρόβλημα είναι ένας ακατάλληλος συνδετήρας ή σύνδεση μεταξύ αγωγών. Αν το εγκατεστημένο καλώδιο είναι αρκετά μεγάλο, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε έναν μετρητή ανάκλασης (OTDR) για να προσδιορίσουμε το πρόβλημα. Οι ακατάλληλοι συνδετήρες θα πρέπει τότε να ξαναλειάνονται ή ν' αντικαθίστανται, έτσι ώστε να περιορίζουμε την απώλεια σε αποδεκτά πλαίσια.

9.3 Έλεγχος δικτύων οπτικών ινών

Παρόλο που τα δίκτυα οπτικών ινών έχουν κάποιες σημαντικές διαφορές από τα δίκτυα χαλκού (συμβατικά), ο έλεγχος και ο εντοπισμός λαθών τους είναι ουσιαστικά κατά πολύ παρόμοιος. Τις τεχνικές μπορούν εύκολα να εφαρμόσουν τεχνικοί με βασική εκπαίδευση στις οπτικές ίνες και στον έλεγχο δικτύων.

9.3.1 Ο απαιτούμενος εξοπλισμός για τη διεξαγωγή ελέγχου

Για όλα τα καλώδια που θα υποστούν έλεγχο ο εξοπλισμός που θα χρησιμοποιήσουμε είναι ένα σετ ελέγχου οπτικών ινών, το οποίο συμπεριλαμβάνει έναν μετρητή ισχύος οπτικών ινών, και μία πηγή LED ή λέιζερ. Η πηγή θα πρέπει να είναι του τύπου και της κυματομορφής που χρησιμοποιείται για τους πομπούς στο υπό έλεγχο δίκτυο. Προσαρμοστές οργάνων παρέχουν τα συνδετικά κυκλώματα



που είναι απαραίτητα για τους συνδετήρες, οι οποίοι χρησιμοποιούνται στο δίκτυο. Τα καλώδια ελέγχου χρησιμοποιούνται ως γέφυρες εκκίνησης και λήψης για τον έλεγχο των καλωδίων του δικτύου κι απαιτείται ένα κουτί σύζευξης συνδετήρων, για ν' αλληλοσυνδέσουμε τις γέφυρες ελέγχου με τα καλώδια που πρόκειται να ελεγχθούν.

9.3.2 Διαδικασίες χειρισμού και καθαρισμού

Τους συνδετήρες και τα καλώδια θα πρέπει να τα χειριζόμαστε με προσοχή. Μην λυγίζετε και τεντώνετε τα καλώδια υπερβολικά, ειδικά κοντά στους συνδετήρες, καθώς οι απότομες κάμψεις μπορεί να σπάσουν τις ίνες. Μην ρίχνετε κάτω τους συνδετήρες, γιατί μπορεί να καταστραφούν από ένα χτύπημα στην οπτική επιφάνεια. Μην τραβάτε με δύναμη τους συνδετήρες, καθώς κάτι τέτοιο μπορεί να σπάσει την ίνα στο πίσω μέρος του συνδετήρα ή να προκαλέσει εμβολισμό αν ο μεταλλικός κρίκος σύνδεσης μεταξύ ίνας και συνδετήρα σπάσει.

Αν αμφισβητείτε την κατάλληλη κατάσταση των συνδετήρων, καθαρίστε τους πριν τη διεξαγωγή του ελέγχου. Ένα μικροσκόπιο ελέγχου οπτικών ινών με τα κατάλληλα εξαρτήματα συγκράτησης των συνδετήρων θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί για να επαληθεύσουμε την κατάσταση των συνδετήρων στην περίπτωση που έχουμε την οποιαδήποτε αμφιβολία για την καθαρότητα και τη φυσική τους κατάσταση.

9.4 Τι πάει στραβά στις εγκαταστάσεις των οπτικών ινών

Στην προσπάθεια να βοηθήσουμε τους χρήστες να εγκαταστήσουν και να ελέγξουν το δίκτυο οπτικών ινών, το πρώτο πρόβλημα που θ' αντιμετωπίσουμε είναι οι ακατάλληλες συνδέσεις οπτικών ινών. Μία σύνδεση οπτικών ινών αποτελείται από δύο ίνες, οι οποίες εκπέμπουν προς αντίθετες κατευθύνσεις για να παρέχουν πλήρη ταυτόχρονη επικοινωνία. Δεν είναι σπάνιο φαινόμενο η σύνδεση με διακόπτη, της ίνας εκπομπής με την ίνα λήψης, έτσι ώστε να εκπέμπει σ' έναν πομπό και να λαμβάνει στον δέκτη. Αυτό βέβαια, δεν έχει τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα.

Ένας οπτικός εντοπιστής θα διευκολύνει την επαλήθευση και τον προσδιορισμό των κατάλληλων συνδετήρων πολύ γρήγορα. Ο οπτικός εντοπιστής είναι ένα ορατό φως που ρίχνουμε μέσα στην ίνα και με το μάτι την ελέγχουμε καθώς περνάει μέσα από το καλώδιο, τα κουτιά ελέγχου κτλ. έως το τελευταίο άκρο της. Ο ίδιος ο ανιχνευτής μπορεί να είναι ένας φακός (παρόλο που είναι πράγματι δύσκολο να κρατήσουμε την ίνα σταθερή, έτσι ώστε να ρίξουμε αρκετό φως για να την ελέγξουμε), ένας τροποποιημένος φακός ή ακόμη κι ένα μικροσκόπιο, που θα κρατά την ίνα σταθερή στη θέση της και θα ρίχνει μια επαρκή ποσότητα φωτός (ισχύος) μέσα στην ίνα, ή μία ειδική πηγή ελέγχου, η οποία θα χρησιμοποιεί μία λαμπερή κόκκινη LED, όπως εκείνες που χρησιμοποιούν οι πλαστικές συνδέσεις ινών.

9.5 Έλεγχος και ανίχνευση λάθους των δικτύων

Το εγκατεστημένο δίκτυο μπορεί να ελεγχθεί γρήγορα κι εύκολα μ' έναν μετρητή ισχύος οπτικών ινών. Ο πομπός του δικτύου πρέπει να καθοριστεί ώστε να εκπέμπει έξοδο ρολογιού ή άλλο ψηφιακό σύνολο με γνωστό σε μας κύκλο εργασίας. Ρυθμίστε τη διαβάθμιση του μετρητή ισχύος στο κατάλληλο μήκος κύματος και τις μονάδες καθορίστε τις σε Watt. Για ελέγξετε το πιο σημαντικό στοιχείο του δικτύου, που είναι η λαμβανόμενη ισχύς, αρχικά θα πρέπει ν' αποσυνδέσετε τον συνδετήρα του καλωδίου οπτικών ινών, να προσαρμόσετε τον μετρητή ισχύος και να υπολογίσετε την ισχύ. Αν η ισχύς του δέκτη είναι χαμηλή, η ισχύς του πομπού θα πρέπει να υπολογίζεται αφού αποσυνδέσουμε το καλώδιο-γέφυρας της πηγής από το πρώτο διαθέσιμο συνδετήρα και να υπολογίσουμε την ισχύ με την ίνα στο σημείο εκείνο. Αλλιώς, μπορούμε ν' αποσυνδέσουμε το καλώδιο από τον πομπό και να χρησιμοποιήσουμε μία γνωστή γέφυρα έλεγχου, για να μετρήσουμε



την ισχύ. Αν η έξοδος υπολογίζεται μέσω ενός μικρού καλωδίου-γέφυρας του δικτύου (κάτω από 10 μέτρα) δεν χρειάζεται κάλυψη της απώλειας στη γέφυρα. Για μεγαλύτερες γέφυρες, μπορεί η κάλυψη αυτή να χρειαστεί.

Αν η ισχύς του δέκτη είναι χαμηλή αλλά η ισχύς του πομπού υψηλή, τότε κάτι πάει στραβά με τα καλώδια. Θα πρέπει να τα ελέγξουμε σε κάθε επαφή σύνδεσης, για να απομονώσουμε τα ακατάλληλα καλώδια και συνδετήρες. Αυτό μπορεί να γίνει ξεκινώντας από οποιοδήποτε άκρο. Ξεκινώντας από το άκρο του πομπού ή του δέκτη, θ' ακολουθήσουμε τα καλώδια του δικτύου έως κάθε κουτί σύνδεσης. Αποσυνδέστε τον συνδετήρα και υπολογίστε την ισχύ σε κάθε σημείο. Διεξάγοντας μετρήσεις σε dB μπορούμε εύκολα να υπολογίσουμε την απώλεια στα καλώδια του δικτύου, σε κάθε σημείο του, αφαιρώντας τις διαδοχικές μετρήσεις.

Όταν εντοπίσουμε ένα ύποπτο καλώδιο, βρίσκοντας μία απώλεια στη σύνδεση του καλωδίου μεγαλύτερη της αναμενόμενης, το ύποπτο αυτό καλώδιο χρειάζεται έλεγχο με την μέθοδο που περιγράψαμε παραπάνω. Αν το καλώδιο έχει εξασθένηση υψηλότερη των προδιαγραφών, αλλά συνεχίζει να εκπέμπει φως, ελέγξτε τους συνδετήρες μ' ένα μικροσκόπιο για να καθορίσετε αν αυτοί έχουν καταστραφεί και θα πρέπει να αντικατασταθούν. Αν οι συνδετήρες φαίνονται να βρίσκονται σε καλή κατάσταση, η καλύτερη λύση ίσως να είναι η αντικατάσταση του καλωδίου ή του διακόπτη με κάποιον άλλον. Αν διαθέτουμε έναν οπτικό εντοπιστή λάθους, μπορούμε να τον χρησιμοποιήσουμε για να εντοπίσουμε οπτικά ρωγμές στην ίνα καθώς και σπασμένους συνδετήρες. Κάτω από ορισμένες συνθήκες, όπως για παράδειγμα υψηλή απώλεια σε μεγάλες γέφυρες ή κεντρικά καλώδια, ένας μετρητής οπτικής ανάκλασης (OTDR) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διάγνωση λαθών στα καλώδια.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10 : Αποκατάσταση βλαβών οπτικών ινών

Εισαγωγή

Αυτό το κεφάλαιο πραγματεύεται την διαδικασία αποκατάστασης βλαβών. Αρχικά γίνεται αναφορά στους τύπους βλαβών και στον κατάλληλο εξοπλισμό που απαιτείται για την αποκατάσταση κάποιας βλάβης. Έπειτα περιγράφεται η διαδικασία εξακρίβωσης κάποιου ενδεχόμενου προβλήματος καθώς και οι απαραίτητες ενέργειες που πρέπει να γίνουν για να επιτευχθεί η αποκατάσταση.

10.1 Τύποι βλαβών

Ένα άλλο θέμα, που εξετάζεται στο στάδιο της σχεδίασης, είναι τα είδη των βλαβών που έχουν συμβεί κατά το παρελθόν. Η ιστορία επαναλαμβάνεται ακόμη και στις βλάβες των δικτύων. [28]

Τύποι βλαβών :

1. Βλάβες σχετικά με τους πίνακες συνδέσεων

Οι βλάβες αυτές συμβαίνουν γύρω από τους πίνακες συνδέσεων. Η αιτία μπορεί να είναι ακατάλληλη τοποθέτηση των καλωδίων και συνδετήρων, ακατάλληλο κλείδωμα των βυσμάτων, ακαθαρσίες στις συνδέσεις ή ακατάλληλη δρομολόγηση των καλωδίων.

2. Βλάβες σχετικά με το σύστημα

Υπέρ-οδήγηση ή υπο-οδήγηση της οπτικής μετάδοσης μπορεί να προκαλέσει ολική βλάβη ή διακοπτόμενη λειτουργία.

3. Βλάβες σχετικά με την εγκατάσταση

Ακατάλληλη ακτίνα κάμψης, συμπίεση των καλωδίων, ακατάλληλα τυλίγματα των καλωδίων αποτελούν όλα συνήθεις τύπους προβλημάτων. Εγκαταστάσεις γύρω από προηγούμενα δίκτυα οπτικών ινών μπορεί και αυτά να αποτελούν αιτίες προβλημάτων, λόγω απρόσεκτων τερματισμών ή δρομολογήσεων καλωδίων.

4. Βλάβες σχετικά με άλλες κατασκευές (μεγάλες και μικρές)

Κανονικά, λόγω δραστηριοτήτων άλλων κατασκευών μπορεί να προκληθούν βλάβες π.χ. από μηχανήματα εκσκαφής. Τα εναέρια καλώδια μπορεί να καταστραφούν από ακατάλληλες τεχνικές εγκατάστασης, κλαριά δέντρων, συγκρούσεις αυτοκινήτων, πυροβολισμούς και κεραυνούς. Στα δίκτυα LAN, τρύπες μέσα από τοίχους και οροφές, λάθος κομμένα καλώδια, ακατάλληλη στερέωση και σπασμένες ίνες στα βύσματα από ακατάλληλο χειρισμό ή ατυχήματα, αποτελούν μερικά παραδείγματα βλαβών, λόγω απροσεξιών των τεχνικών.

10.2 Εξοπλισμός αποκατάστασης βλαβών

1. ΚΙΤ καθαρισμού

Πολλές δυσλειτουργίες οφείλονται σε ακαθαρσίες στα βύσματα, οπότε και ο απλός καθαρισμός αυτών αποτελεί τη λύση. Τα βύσματα, που δε χρησιμοποιούνται, θα πρέπει να διατηρούνται πάντοτε καθαρά και κλειστά (με καπάκι).

2. Όργανο οπτικής επιθεώρησης

Εντοπίζει τις όχι καλά γυαλισμένες συνδέσεις βυσμάτων, καθώς επίσης και τις επιφανειακές ακαθαρσίες ή φθορές. Η μεγεθυντική ισχύς του οργάνου (μικροσκοπίου), μπορεί να είναι από 30 έως 400 φορές. Το χρησιμοποιούμενο όργανο θα πρέπει να μπορεί να συγκρατεί την επιθεωρούμενη ίνα με ασφάλεια.

3. Διάταξη ελέγχου οπτικών απωλειών



Χρησιμοποιείται για έλεγχο των απωλειών μεταξύ άκρων. Αποτελείται από μία σταθερή πηγή φωτός και ένα διακριβωμένο όργανο μέτρησης ισχύος. Ο εξοπλισμός θα πρέπει να ταιριάζει με το χρησιμοποιούμενο μήκος κύματος, τον τύπο της ίνας, τα βύσματα και το σύστημα μετάδοσης. Το όργανο μέτρησης ισχύος αποτελεί απλά ένα όργανο ελέγχου, τύπου go ή no-go. Με το όργανο αυτό, ελέγχουμε το επίπεδο ισχύος στον πομπό, στο δέκτη και σε οποιοδήποτε ενδιάμεσο σημείο σύνδεσης, με σκοπό την εξακρίβωση εάν το πρόβλημα οφείλεται στις ηλεκτρο-οπτικές διατάξεις (χαμηλή ισχύς εκπομπής ή προβληματικό σύστημα λήψης) ή στο ίδιο το καλώδιο (αυξημένες απώλειες πέραν των αποδεκτών ορίων). Με τη διάταξη αυτή και με καλές οδηγίες χρήσης, μπορούμε να εξακριβώσουμε σχεδόν οποιοδήποτε πρόβλημα του δικτύου.

4. Σύστημα ελέγχου οπτικής συνεχείας των ινών

Αποτελεί σύστημα χαμηλού κόστους, το οποίο μεταδίδει ορατό φως μέσα από τις ίνες. Οι ισχυρότερες εκδόσεις χρησιμοποιούν κόκκινο laser He-Ne ή ημιαγωγών διόδων στο ορατό φάσμα, και εντοπίζουν σπασμένες ίνες. Το σύστημα όμως αυτό δε χρησιμεύει για τα περισσότερα καλώδια πολλαπλών οπτικών ινών, και ορισμένα καλώδια μίας οπτικής ίνας (μαύρου ή γκρι περιβλήματος). Υπάρχουν επίσης εκδόσεις λευκού φωτός και κόκκινου LED, αλλά δεν έχουν την απαιτούμενη ισχύ για να εντοπίσουν εσωτερικά σπασίματα.

5. Optical Time Domain Reflectometer (OTDR)

Αποτελεί το όργανο εντοπισμού βλαβών για τις περισσότερες εφαρμογές μεγάλων αποστάσεων. Στα δίκτυα μεγάλων αποστάσεων, όπου τα προβλήματα συνήθως δημιουργούνται πολύ μακριά από τον εξοπλισμό μετάδοσης, το OTDR αποτελεί ένα κρίσιμο όργανο εντοπισμού βλαβών. Στα LAN, τα περισσότερα προβλήματα δεν εντοπίζονται εύκολα με το όργανο αυτό, λόγω του μικρού μήκους των καλωδίων. Στις περιπτώσεις αυτές, χρησιμοποιούνται όλα τα προαναφερθέντα όργανα, εκτός εάν πρόκειται για πανεπιστημιακό δίκτυο με καλώδια μήκους πάνω από 500-1000 μέτρα.

10.3 Η εξακρίβωση του προβλήματος

Η πρώτη απαίτηση για την αποκατάσταση μίας βλάβης είναι, φυσικά, ο προσδιορισμός της. Αρχικά, θα πρέπει να εξακριβώσουμε εάν το πρόβλημα βρίσκεται στα ηλεκτρονικά ή στις ίδιες τις οπτικές ίνες. Συνδέστε το όργανο μέτρησης ισχύος στο δέκτη, για τη μέτρηση της λαμβανόμενης ισχύος και συγκρίνετε την τιμή με τις προδιαγραφές του δικτύου. Μερικές φορές είναι απαραίτητο να εκτελέσετε κάποιους διαγνωστικούς ελέγχους στον πομπό, εκπέμποντας κάποιο σήμα ελέγχου. Εάν το λαμβανόμενο επίπεδο ισχύος συμφωνεί με τις προδιαγραφές, τότε πιθανότατα υπάρχει πρόβλημα στα ηλεκτρονικά του πομπού. Στην περίπτωση αυτή, θα πρέπει να καλέσετε τους ειδικούς τεχνικούς του δικτύου. Εάν η λαμβανόμενη ισχύς είναι χαμηλή, μετρήστε την εκπεμπόμενη ισχύ του πομπού, χρησιμοποιώντας ένα γνωστό καλό καλώδιο σύνδεσης και ένα όργανο μέτρησης ισχύος. Εάν η εκπεμπόμενη ισχύς είναι χαμηλή, τότε θα πρέπει να αποκατασταθεί το πρόβλημα του πομπού. Εάν η εκπεμπόμενη ισχύς είναι μέσα στις προδιαγραφές, τότε υπάρχουν αυξημένες απώλειες στην καλωδιακή εγκατάσταση.

Για τον προσδιορισμό του προβλήματος της καλωδιακής εγκατάστασης, μπορείτε να αρχίσετε με ένα σύστημα ελέγχου της οπτικής συνέχειας των ινών. Εάν το δίκτυο μόλις εγκαταστάθηκε ή τροποποιήθηκε, βεβαιωθείτε ότι έχουν γίνει οι σωστές συνδέσεις σε όλους τους πίνακες. Αυτό γίνεται με έλεγχο όλων των ινών μεταξύ των άκρων τους. Ακόμη και εάν όλες οι συνδέσεις είναι σωστές, θα πρέπει να εντοπίσετε σε ποιο τμήμα της εγκατάστασης διακόπτεται η μετάδοση του σήματος.

Πολλοί λόγοι μπορούν να προκαλέσουν διακοπή σε κάποιο τμήμα του δικτύου, π.χ. κοπή ή συμπίεση του καλωδίου, σπασμένα ή φθαρμένα βύσματα, κακές μόνιμες συνδέσεις, κτλ. Εάν επηρεάζεται μία και μοναδική ίνα και δεν υπάρχουν μόνιμες συνδέσεις, το πιθανότερο πρόβλημα είναι κάποιο βλαμμένο βύσμα. Η οπτική επιθεώρηση του καλωδίου για καμπυλώσεις ή άλλες βλάβες, και ο μικροσκοπικός έλεγχος των βυσμάτων, μπορεί να αποκαλύψει το πρόβλημα. Για καλώδια μικρού μήκους, όπως π.χ. στα περισσότερα LAN, ένα σύστημα οπτικής συνέχειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά. Πολύ καλό βοήθημα είναι το έγγραφο ιστορικό του δικτύου, αλλά εάν η βλάβη οφείλεται σε κατασκευαστικές εργασίες ή κοπή του καλωδίου, τότε αυτή μπορεί να εντοπιστεί ακολουθώντας τη διαδρομή του καλωδίου και ψάχνοντας για εμφανή στοιχεία.



Για μεγάλου μήκους καλώδια (πάνω από 500 μέτρα) ή υπόγεια καλώδια, ίσως απαιτείται η χρήση ενός OTDR. Επειδή, όμως, το OTDR έχει χαμηλή διακριβωτική ικανότητα για καλώδια μικρού μήκους, δεν αποτελεί χρήσιμο εργαλείο για τον εντοπισμό προβλημάτων στα περισσότερα δίκτυα LAN. Όταν χρησιμοποιείτε OTDR σε ζεύξεις πολύτροπων ινών, να επιλέξετε 850nm, λόγω υψηλότερης ανάλυσης από τα 1300nm.

10.4 Εργασίες αποκατάστασης βλαβών

Από τη στιγμή που εξακριβώθηκε το πρόβλημα, απαιτείται η ανάληψη εργασιών αποκατάστασης. Αυτό μπορεί να μην είναι απλό και να αποβεί αρκετά περίπλοκο. Ωστόσο, εάν το πρόβλημα περιορίζεται σε μία μόνο ίνα μέσα στο καλώδιο, επιλέξτε μία αμοιβή ίνα και αντικαταστήστε το βλαμμένο βύσμα, ανάλογα με το διαθέσιμο χρόνο. Εάν απαιτείται άμεση αποκατάσταση, εξετάστε τα ακόλουθα:

Βασικές ερωτήσεις

1. Διαθέτει το έκταμα του καλωδίου περισσευούμενες κουλούρες; Εάν ναι, τότε μπορείτε να τραβήξετε το καλώδιο προκειμένου να εκτελέσετε την επισκευή στο σημείο της βλάβης.
2. Μήπως είναι ευκολότερο, γρηγορότερο και φθηνότερο να αντικαταστήσετε το χαλασμένο τμήμα, παρά να το επισκευάσετε;
3. Θα χρησιμοποιήσουμε βύσματα ή μόνιμες συνδέσεις για την επισκευή;
4. Θα απαιτηθεί να προστατεύσουμε τα σημεία επισκευής, για την αποφυγή μελλοντικών ζημιών. Αυτό μπορεί να σημαίνει προσθήκη κουτιών, πινάκων ή επαναδρομολόγηση καλωδίων από άλλες διαδρομές.
5. Μπορεί το σύστημα να ανεχτεί επιπλέον απώλειες, λόγω των επιπρόσθετων βυσμάτων, μόνιμων συνδέσεων ή επιπρόσθετου μήκους οπτικής ίνας;
6. Εάν απαιτηθεί, μπορούμε να τοποθετήσουμε ένα πρόχειρο καλώδιο στην οροφή ή στη στέγη, μέχρι να ολοκληρωθεί η μόνιμη αποκατάσταση της βλάβης;

10.4.1 Στερέωση καλωδίων

Τα δίκτυα και τα κτίρια, που τα στεγάζουν, υφίστανται πολλές αλλαγές, τροποποιήσεις και προσθήκες κατά τη διάρκεια της ζωής τους. Οι σχεδιαστές θα πρέπει να προβλέπουν διάφορα θέματα που σχετίζονται με την αποκατάσταση βλαβών των δικτύων. Ένα από τα θέματα αυτά σχετίζεται με την πρόβλεψη, ώστε κατά τη στερέωση των καλωδίων να υπάρχουν περισσευούμενες κουλούρες.

10.4.2 Τράβηγμα καλωδίων για επισκευή

Τα εκτάματα των καλωδίων σχεδιάζονται έτσι, ώστε να υπάρχουν σημεία στα οποία να εμφανίζονται κοιλίες, για να επιτρέπουν το τράβηγμα τους για τυχόν επισκευές. Η χρήση μηχανικών μόνιμων συνδέσεων ή απευθείας βυσματώσεων επιτρέπει την ταχεία αποκατάσταση με ελάχιστες απώλειες. Επειδή τα περισσότερα καλώδια στο εσωτερικό των κτιρίων είναι διαρρηγνύομενου τύπου, η επαναβυσμάτωσή τους αποτελεί εύκολη διαδικασία. Το κύριο θέμα αποτελεί η κατάλληλη στερέωση της μόνιμης σύνδεσης ή της βυσμάτωσης, έτσι ώστε να μην καταπονείται το καλώδιο και ταυτόχρονα η σύνδεση να προστατεύεται από φυσικές φθορές.

Η στερέωση της σύνδεσης μπορεί να γίνει πάνω από το δάπεδο, στον τοίχο ή στην οροφή. Στις περισσότερες περιπτώσεις, υπάρχει θέμα μεγέθους και αισθητικής. Για πολλούς χρήστες είναι



σοβαρή η πρόσβαση και η ασφάλεια της σύνδεσης. Το καλώδιο δε θα πρέπει να καταπονείται από μηχανικές τάσεις, ενώ θα πρέπει να διαθέτει όσο το δυνατό περισσότερες κουλούρες για διευκόλυνση τυχόν μελλοντικών επισκευών ή τροποποιήσεων.

10.4.3 Αποκατάσταση ανάγκης (για καλώδια με κουλούρες)

Η βλάβη του καλωδίου έχει προσδιοριστεί και έχει τραβηχτεί μία γραμμή. Θα πρέπει να βεβαιωθούμε, ότι το σπάσιμο του καλωδίου βρίσκεται εκεί που φαίνεται. Με τη χρήση πηγών ορατού φωτός, μπορούμε να ελέγξουμε την κάθε ίνα και από τα δύο άκρα (δε θα θέλαμε να έχουμε ένα δεύτερο σπάσιμο σε μικρή απόσταση από το πρώτο και να μην το δούμε).

Θα πρέπει να επιθεωρήσουμε το χώρο, για να βρούμε το καλύτερο σημείο και τρόπο επισκευής των ινών. Τα καλώδια μπορούν να περάσουν για φυσική στερέωση, από την οροφή, το δάπεδο, κτλ. Η διαδρομή αυτή θα πρέπει να σημειωθεί στα έγγραφα αρχεία. Ο πίνακας συνδέσεων και αυτός θα πρέπει να μαρκαριστεί και να ασφαλιστεί. Μετά από την επισκευή των καλωδίων, απαιτείται επανέλεγχος των ινών για απώλειες, χρησιμοποιώντας κάποια διάταξη ελέγχου οπτικών απωλειών.

10.4.4 Αποκατάσταση καλωδίων χωρίς κουλούρες

Ας εξετάσουμε σοβαρά τις επιλογές μας. Μήπως είναι ταχύτερο να τραβήξουμε ένα καινούργιο καλώδιο ή ένα καινούργιο τμήμα; Θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε βύσματα ή μόνιμες συνδέσεις, και πώς θα τις προστατέψουμε φυσικά; Χωρίς την ύπαρξη περισσευόμενου μήκους, απαιτείται να προσθέσουμε κάποιο τμήμα καλωδίου στο συνολικό έκταμα. Αυτό δε σημαίνει απλώς δύο επί πλέον βύσματα τερματισμού, αλλά επίσης διπλάσια εργασία και υλικά. Θα πρέπει επίσης να διαθέτουμε ένα μήκος ίνας ίσο ή μεγαλύτερο από το πλήθος των ινών μέσα στο έκταμα. Το τμήμα να μην αφήνουμε κουλούρες στα καλώδια έχει επίπτωση τόσο στο οικονομικό κόστος όσο και στην εργασία. Η διαδικασία των αποφάσεων είναι η ίδια με τα καλώδια με κουλούρες, με τη διαφορά ότι τώρα έχουμε ακόμη δύο σημεία, τα οποία θα πρέπει να εξετάσουμε.

10.4.5 Αποκατάσταση δικτύων μονότροπων οπτικών ινών

Τα δίκτυα μονότροπων οπτικών ινών είναι περισσότερο κρίσιμα και περισσότερο δύσκολα στην επισκευή συγκριτικά με τα αντίστοιχα δίκτυα πολύτροπων ινών. Αυτό οφείλεται στις υψηλότερες ταχύτητες λειτουργίας και στις μεγαλύτερες αποστάσεις που καλύπτουν. Επιπρόσθετα, τα καλώδια μονότροπων ινών είναι συνήθως απευθείας ταφής, εγκαθίστανται με εναέριες μεθόδους και σε μεγαλύτερου μήκους συστήματα οδηγών. Οι τεχνικές αυτές, συνήθως, παρέχουν μία αρκετά καλή προστασία των καλωδίων. Ωστόσο, σε περίπτωση βλάβης, οι ζημιές είναι πολύ μεγάλες. Οι φυσικές καταστροφές, διάφορα έργα και ατυχήματα προκαλούν τις περισσότερες από τις βλάβες αυτές.

Οι βλάβες αυτές επηρεάζουν περισσότερους χρήστες, οι οικονομικές απώλειες είναι μεγαλύτερες και επισκευάζονται κατά μία τάξη μεγέθους δυσκολότερα. Για το λόγο αυτό, οι χρήστες δικτύων μονότροπων ινών συνήθως διαθέτουν κάποιο σχέδιο αποκατάστασης, και σε νεκρούς χρόνους εξασκούνται με αυτό.



Β' ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Εισαγωγή

Στο πρώτο τμήμα του πειραματικού μέρους της παρούσας πτυχιακής θα δείξουμε χρησιμοποιώντας τον εξοπλισμό του εργαστηρίου την επίδραση που έχουν τα χαρακτηριστικά της ίνας στην απόδοση της ζεύξης.

Στο δεύτερο τμήμα, θα χρησιμοποιήσουμε το πρόγραμμα προσομοίωσης **LINKSIM**, ώστε να προσομοιώσουμε και να αναλύσουμε ένα δίκτυο οπτικών ινών με βάση τις παραμέτρους των εξαρτημάτων (laser, edfa, ινών, κλπ) που χρησιμοποιούνται στα σύγχρονα οπτικά δίκτυα από τους ISPs. Αρχικά στο δίκτυο αυτό οι οπτικές ίνες που θα χρησιμοποιήσουμε θα υποστηρίζουν μοναχά ένα τρόπο μετάδοσης, στην συνέχεια θα τις αντικαταστήσουμε με πολύτροπες ίνες και θα δούμε την διάφορα που υπάρχει στον εύρος ζώνης των δεδομένων. Ταυτόχρονα, θα χρησιμοποιούμε 2 είδη διαμόρφωσης return to zero (RZ) και non return to zero (NRZ) για να δούμε με ποιον από τους δύο κωδικούς διαμόρφωσης η απόδοση του δικτύου είναι μεγαλύτερη.

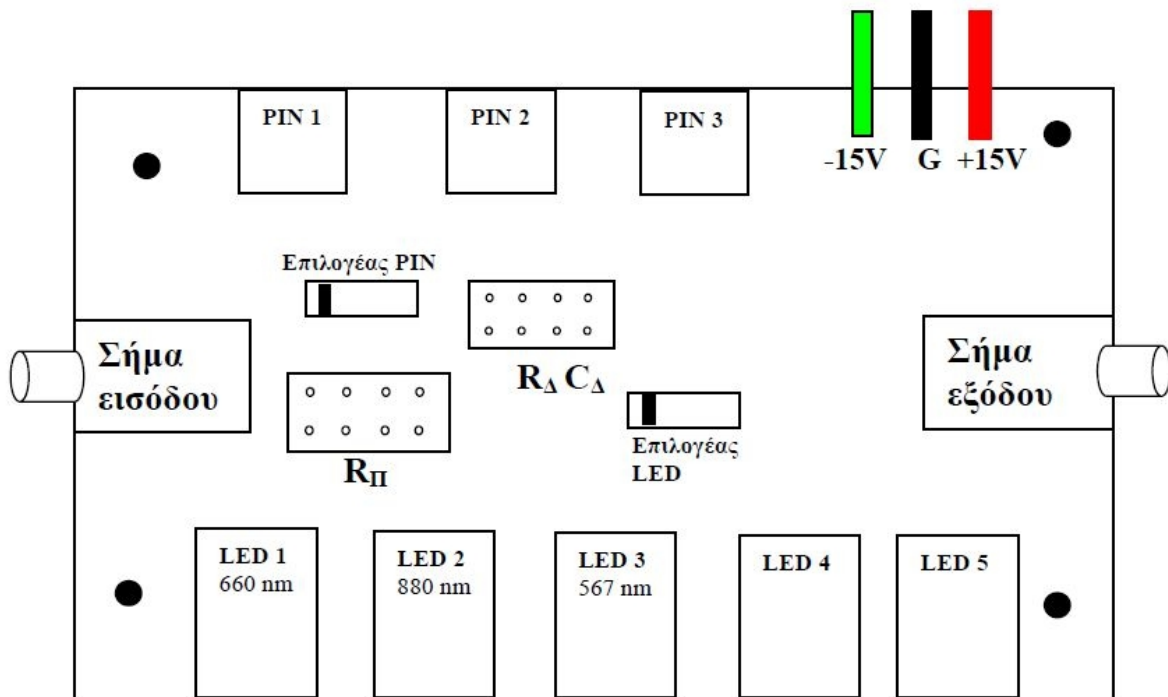
Τέλος, στις διαφορές προσομοιώσεις που θα πραγματοποιήσουμε θα, τοποθετήσουμε έναν οπτικό ενισχυτή edfa για να μειώσουμε τις απώλειες του καναλιού μετάδοσης, βελτιώνοντας έτσι την λειτουργία του οπτικού δικτύου.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 :Οι Εργαστηριακές Μετρήσεις

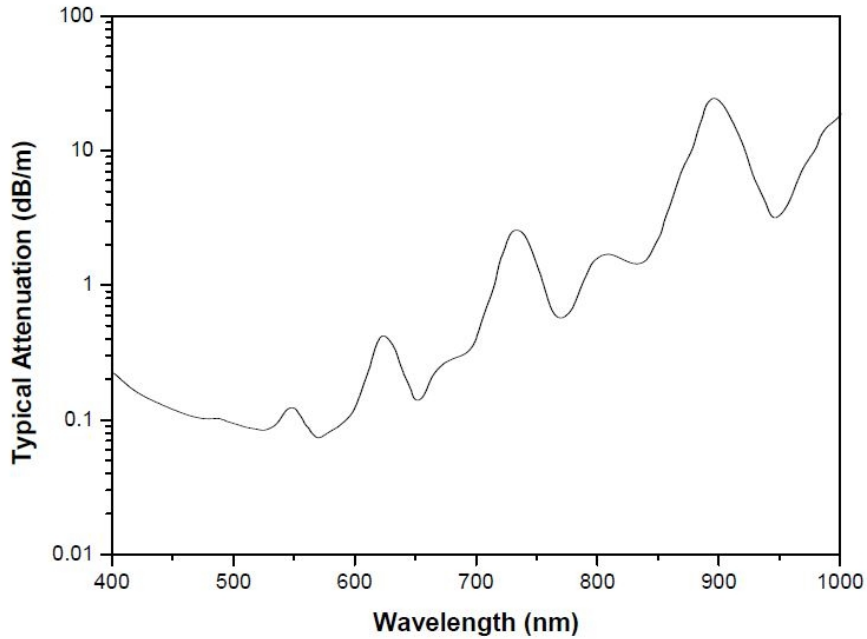
1.1 Η Χρήση της πλακέτας του εργαστηριού

Σε αυτό το τμήμα της πτυχιακής θα χρησιμοποιήσουμε τον εργαστηριακό εξοπλισμό που μας παρέχει το τμήμα πληροφορικής & πολυμέσων ώστε να προσομοιώσουμε και να αναλύσουμε τα χαρακτηριστικά των οπτικών ινών. Γενικότερα, θα μετρήσουμε πειραματικά το συντελεστή εξασθένησης της πλαστικής ίνας σε τρία μήκη κύματος χρησιμοποιώντας LED με διαφορετική φασματική περιοχή εκπομπής. Η πλαστική ίνα που θα χρησιμοποιήσουμε έχει διάμετρο πυρήνα ίση με 1mm και τελική διάμετρο καλωδίου ίση με 2,2mm.



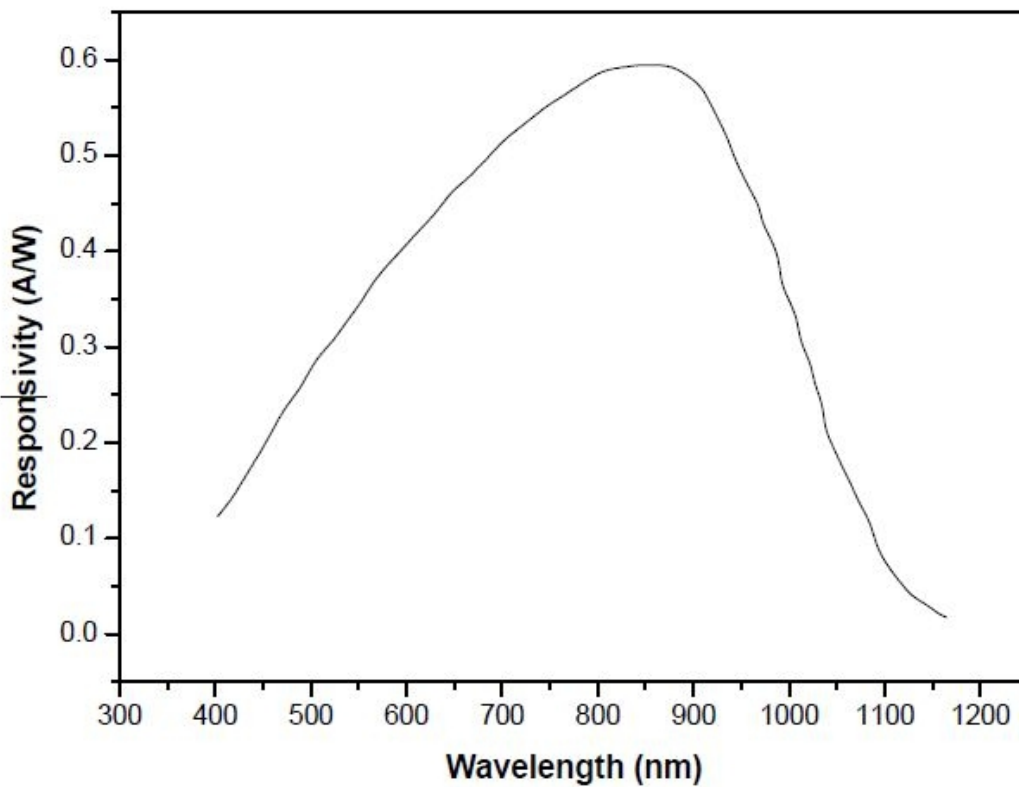
Εικόνα 113 : Πάνω όψη τυπωμένης πλακέτας κυκλωμάτων πομπού και δέκτη

Η τυπική εξασθένηση του φωτός σε πλαστική ίνα συναρτήσει του μήκους κύματος φαίνεται στην παρακάτω εικόνα (Εικ.114). Στο πρώτο στάδιο του πειραματικού μέρους θα βρούμε την εξασθένηση των τριών LED και θα την συγκρίνουμε με τις τιμές της εικόνας 114 για να βρούμε τις αποκλείσεις. Σύμφωνα με την εικόνα τα LED έχουν τις παρακάτω τιμές που φανερώνουν την εξασθένηση: Η κόκκινη LED που έχει μήκος κύματος 660nm έχει θεωρητική τιμή εξασθένησης 0,2 dB/m, δεύτερη θα εξετάσουμε την πράσινη με μήκος κύματος 567nm και τιμή εξασθένησης 0,08dB/m και τρίτη την υπέρυθη ίνα που έχει μήκος κύματος 880nm και εξασθένηση 10,6dB/m.



Εικόνα 114: Τυπική εξασθένηση φωτός σε πλαστική ίνα συναρτήσει του μήκους κύματος

Εφόσον έχουμε την εξασθένηση των τριών LED(κόκκινο, πράσινο και υπέρυθρο) θα βρούμε την πειραματική αποκρισμότητα για κάθε LED ξεχωριστά και θα την συγκρίνουμε με την θεωρητική αποκρισμότητα που φαίνεται στην εικόνα 115. Στην συγκεκριμένη εικόνα μπορούμε να δούμε την φασματική απόκριση του φωτοανιχνευτή SFH 250.



Εικόνα 115: Φασματική απόκριση του φωτοανιχνευτή SFH 250



Αρχικά συνδέουμε στην πλακέτα του εργαστηρίου τις αντιστάσεις $R_{\Pi}=330\Omega$ και $R_{\Delta}=1M\Omega$ αντίστοιχα. Έπειτα κατασκευάζουμε ένα σήμα DC 10V στην ηλεκτρική γεννήτρια και συνδέουμε το ένα άκρο πλαστικής οπτικής ίνας μήκους περίπου 3m, στη κόκκινη led που έχει μήκος κύματος 660nm και το άλλο της άκρο στο φωτοανιχνευτή και μετράμε την τάση εξόδου με ένα παλμογράφο. Αντικαθιστούμε την ίνα των 3m, διαδοχικά με ίνες μήκους 5m, 7m, και τέλος με ίνα μήκους 10m και μετράμε τις αντίστοιχες τιμές της τάσης εξόδου.

Τα δεδομένα από τις παραπάνω μετρήσεις φαίνονται καλύτερα στον παρακάτω πίνακα.

Μήκος Ίνας (σε m)	Τάση Εξόδου (σε V)
3	8,82
5	7,38
7	7,02
10	6,58

Πίνακας 4 : Αποτελέσματα μετρήσεων

Τώρα με τα δεδομένα από τις μετρήσεις μας και χρησιμοποιώντας τον τύπο:

$$a \left(\frac{dB}{km} \right) = \frac{10}{L_1 - L_2} * \log \frac{V_2}{V_1}$$

θα υπολογίσουμε την **εξασθένιση ανά ζευγάρια ινών (μία από τις ίνες μεγάλου μήκους και την ίνα 3m κάθε φορά)**.

Έτσι έχουμε:

Για την ίνα 3m ισχύει ότι $V_{out}=8,82$ V σε σχέση με την ίνα των **5m** ισχύει ότι:

$$a = \frac{10}{L_1 - L_2} * \log \frac{V_2}{V_1} = \frac{10}{5 - 3} * \log \frac{8.82}{7.38} = 0.38dB / m$$

Για την ίνα 3m ισχύει ότι $V_{out}=8,82$ V σε σχέση με την ίνα των **7m** ισχύει ότι:

$$a = \frac{10}{L_1 - L_2} * \log \frac{V_2}{V_1} = \frac{10}{7 - 3} * \log \frac{8.82}{7.02} = 0.22dB / m$$

Για την ίνα 3m ισχύει ότι $V_{out}=8,82$ V σε σχέση με την ίνα των **10m** ισχύει ότι:

$$a = \frac{10}{L_1 - L_2} * \log \frac{V_2}{V_1} = \frac{10}{10 - 3} * \log \frac{8.82}{6.58} = 1.16dB / m$$

Τα αποτελέσματα των παραπάνω πράξεων μας φαίνονται συνοπτικά παρακάτω.

Ζευγάρια Ινών	Εξασθένιση (dB/m)
3m με 5 m	0,38
3m με 7 m	0,22
3m με 10m	0,18

Πίνακας 5 : Αποτελέσματα μετρήσεων συντελεστή α



Η μέση τιμή της εξασθένησης των παραπάνω ζευγαριών από ίνες είναι :

$$\bar{a} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 a_i = 0.26 \text{ dB} / \text{m}$$

Σύμφωνα με το εικόνα 114 που φαίνεται η εξασθένηση του φωτός στην πλαστική ίνα που λειτουργεί στα 660nm είναι περίπου 0,22dB/m. Τα αποτελέσμα μας το επιβεβαιώνει και το σχετικό σφάλμα που σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο είναι στο 18,1%. Είναι μια τιμή που μας επιτρέπει να βγάλουμε ασφαλή συμπεράσματα για την ίνα και να μην έχουμε μεγάλες αποκλίσεις στην συνέχεια του πειραματικού μέρους με την αποκρισιμότητα της ίνας.

$$\% \text{ σχετικ } \acute{\omicron} \text{ σφάλμα} = | \text{πειραματικ } \acute{\omicron} \text{ τιμ } \acute{\eta} - \text{αποδεκτ } \acute{\omicron} \text{ τιμ } \acute{\eta} | / \text{αποδεκτ } \acute{\omicron} \text{ } \times 100\%$$

Στην συνέχεια θα βρούμε την πειραματική αποκρισιμότητα της κόκκινης led για της ίνες που είναι 3,5,7 μέτρα. Αρχικά μετατρέπουμε την ισχύ που είχαμε βρει στις μετρήσεις από dBm σε Watt σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$P(\text{dBm}) = 10 \log_{10} \frac{P(\text{mW})}{1\text{mW}} \Rightarrow P = 1\text{mW} * 10^{\frac{P(\text{dBm})}{10}}$$

Μήκος(m)	P(dBm)	P(μW)
3	-26,75	2,11
5	-27,03	1,99
7	-27,50	1,77
10	-28,04	1,57

Πίνακας 6 :Μετατροπή ισχύς από dBm σε μWatt

Το επόμενο βήμα είναι να βρούμε το επαγόμενο ρεύμα. Η αποκρισιμότητα συνδέεται άμεσα με το επαγόμενο ρεύμα και η εύρεση του μέσω του τύπου $I = \frac{V}{R_{\lambda}}$ κρίνεται απαραίτητη. Ο λόγος της τάσης εξόδου προς την αντίσταση του δέκτη θα μας δώσει τα παρακάτω αποτελέσματα:

Μήκος(m)	I(μA)
3	8,8
5	7,3
7	7,0

Πίνακας 7 :Επαγόμενο ρεύμα

Η αποκρισιμότητα ρ (Responsivity) είναι ένα μέγεθος που σχετίζεται άμεσα με την λειτουργία του φωτοανιχνευτή. Αντιστοιχεί στον παράγοντα μετατροπής μεταξύ της προσπίπτουσας οπτικής ισχύς P και του επαγόμενου ρεύματος I βάση του τύπου: $I = \rho * P_m$

Μήκος(m)	ρ(A/W)
3	0,41
5	0,36
7	0,39

Πίνακας 8 : Πειραματική αποκρισιμότητα



Για να βρούμε την πειραματική αποκρισιμότητα της κόκκινης led πρέπει να βρούμε τον μέσο όρο του πίνακα 8 μέσω του τύπου:

$$\bar{\rho} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 a_i = 0.38 A/W$$

Ο μέσος όρος είναι 0,38A/W. Η αποδεκτή τιμή της αποκρισιμότητας σύμφωνα με την εικόνα 115 είναι περίπου στο 0,49A/W. Αυτό μπορούμε εύκολα να το καταλάβουμε καθώς η κόκκινη led έχει μήκος κύματος 660nm. Σύμφωνα με τον τύπο του σχετικού σφάλματος το ποσοστό του σφάλματος είναι 22,7%. Αυτό σημαίνει ότι η απόκλιση του θεωρητικού από το πειραματικό δεν έχει τεράστια διαφορά. Δεν μπορούμε να παραβλέψουμε όμως αυτό το ποσοστό γιατί όπως γίνεται κατανοητό οι αποδεκτές τιμές έχουν μια σημαντική διαφορά. Αυτό το αποτέλεσμα μας βάζει σε σκέψεις σχετικά με την ποιότητα των οπτικών ινών που χρησιμοποιήσαμε στην προσομοίωση. Συνήθως οι ακαθαρσίες στην άκρη της ίνας καθώς και η κακή κοπή της είναι τα κύρια αίτια των αποκλίσεων που εμφανίζονται στο πειραματικό μέρος.

Στο επόμενο βήμα μας επαναλαμβάνουμε την ίδια διαδικασία, χρησιμοποιώντας την **πράσινη led** που εκπέμπει με μέγιστο μήκος εκπομπής 567nm, κρατώντας τις ίδιες αντιστάσεις και εφαρμόζοντας τάση εισόδου 10 V. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα. Άρα έχουμε:

Μήκος ίνας (m)	Τάση εξόδου (V)
3	0,68
5	0,459
7	0,448
10	0,403

Πίνακας 9 : Αποτελέσματα πράσινης led

Σε αυτό τον πίνακα παρατηρούμε πάλι ότι όσο αυξάνεται το μήκος της πλαστικής μονότροπης ίνας, λόγω απωλειών εξασθένησης που εισάγει, μειώνεται η ισχύς εξόδου του σήματος μας. Επιπρόσθετα σε σύγκριση με την προηγούμενη περίπτωση η ισχύς εξόδου του σήματος για τα ίδια μήκη ινών είναι πολύ χαμηλή, εξαιτίας του γεγονότος ότι η led εκπέμπει στην φασματική περιοχή των 567nm.

Τώρα με τα δεδομένα από τις μετρήσεις μας και χρησιμοποιώντας τον τύπο της εξασθένησης θα υπολογίσουμε την εξασθένηση ανά ζευγάρια ινών (θα επιλέξουμε τις ίνες 5,7,10).

Έτσι έχουμε:

Για την ίνα 5m ισχύει ότι $V_{out}=0,459$ V σε σχέση με την ίνα των 7m ισχύει ότι:

$$a = \frac{10}{L1 - L2} * \log \frac{V2}{V1} = \frac{10}{7 - 5} * \log \frac{0,459}{0,448} = 0.05dB/m$$

Για την ίνα 5m ισχύει ότι $V_{out}=0,68$ V σε σχέση με την ίνα των 10m ισχύει ότι:

$$a = \frac{10}{L1 - L2} * \log \frac{V2}{V1} = \frac{10}{10 - 5} * \log \frac{0,459}{0,403} = 0.12dB/m$$

Για την ίνα 7m ισχύει ότι $V_{out}=0,68$ V σε σχέση με την ίνα των 10m ισχύει ότι:



$$a = \frac{10}{L1 - L2} * \log \frac{V2}{V1} = \frac{10}{10 - 7} * \log \frac{0,448}{0,403} = 0.16dB/m$$

Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα. Άρα έχουμε:

Ζευγάρια Ινών	Εξασθένιση (dB/m)
5m με 7 m	0,05
5m με 10 m	0,12
7m με 10 m	0,16

Πίνακας 10 : Αποτελέσματα μετρήσεων συντελεστή α

Η μέση τιμή της εξασθένησης των παραπάνω ζευγαριών από ίνες είναι :

$$\bar{a} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 a_i = 0.11dB/m$$

Σύμφωνα με το εικόνα 114 που φαίνεται η εξασθένιση του φωτός στην πλαστική ίνα που λειτουργεί στα 567nm είναι περίπου 0,1dB/m. Τα αποτελέσμα μας σε αυτήν την περίπτωση έχουν ελάχιστη απόκλιση από την αποδεκτή τιμή του γραφήματος. Το σχετικό σφάλμα έχει πλησιάσει το 10% σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο. Το ποσοστό είναι μέσα στα επιτρεπτά όρια και θα μας βοηθήσει στην συνέχεια με την αποκρισιμότητα της συγκεκριμένης led.

Στην συνέχεια θα βρούμε την πειραματική αποκρισιμότητα της κόκκινης led για τις ίνες που είναι 3,5,7 και 10 μέτρων. Αρχικά μετατρέπουμε την ισχύ που είχαμε βρει στις μετρήσεις από dBm σε Watt σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$P(dBm) = 10 \log_{10} \frac{P(mW)}{1mW} \Rightarrow P = 1mW * 10^{\frac{P(dBm)}{10}}$$

Μήκος(m)	P(dBm)	P(μW)
3	-26,74	2,11
5	-28,18	1,52
7	-28,54	1,39
10	-28,18	1,52

Πίνακας 11 :Μετατροπή ισχύς από dBm σε μWatt

Το επόμενο βήμα είναι να βρούμε το επαγόμενο ρεύμα. Η αποκρισιμότητα συνδέεται άμεσα με το επαγόμενο ρεύμα και η εύρεση του μέσω του τύπου $I = \frac{V}{R_L}$ κρίνεται απαραίτητη. Ο λόγος της τάσης εξόδου προς την αντίσταση του δέκτη θα μας δώσει τα παρακάτω αποτελέσματα:

Μήκος(m)	I(μA)
3	6,8
5	4,6
7	4,4
10	4,0

Πίνακας 12 : Επαγόμενο ρεύμα



Η αποκρισιμότητα ρ (Responsivity) είναι ένα μέγεθος που σχετίζεται άμεσα με την λειτουργία του φωτοανιχνευτή. Αντιστοιχεί στον παράγοντα μετατροπής μεταξύ της προσπίπτουσας οπτικής ισχύς P και του επαγόμενου ρεύματος I βάσει του τύπου: $I = \rho * P_{in}$

Μήκος(m)	$\rho(A/W)$
3	0,32
5	0,30
7	0,31
10	0,26

Πίνακας 13 : Πειραματική αποκρισιμότητα

Για να βρούμε την πειραματική αποκρισιμότητα της κόκκινης led πρέπει να βρούμε τον μέσο όρο του πίνακα 8 μέσω του τύπου:

$$\bar{\rho} = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 a_i = 0.29 A/W$$

Ο μέσος όρος είναι 0,29A/W. Η θεωρητική τιμή της αποκρισιμότητας σύμφωνα με την εικόνα 115 είναι περίπου στο 0,38A/W . Αυτό μπορούμε εύκολα να το καταλάβουμε καθώς η πράσινη led έχει μήκος κύματος 567nm. Σύμφωνα με τον τύπο του σχετικού σφάλματος το ποσοστό της αποκρισιμότητας είναι περίπου 23%. Δηλαδή λίγο περισσότερο από την κόκκινη led αλλά στα ίδια επίπεδα με το προηγούμενο.

Μετά χρησιμοποιώντας την **υπέρυθρη** led με μήκος κύματος ίσο με 880nm και κρατώντας τις ίδιες αντιστάσεις με το προηγούμενο ερώτημα και εφαρμόζοντας τάση εισόδου 10V μετρήσαμε την ισχύ εξόδου για διαφορά μήκη πλαστικών οπτικών ινών. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα. Άρα έχουμε :

Μήκος ίνας (m)	Τάση εξόδου (V)
3	9.26
5	0.52
7	0.32
10	0.267

Πίνακας 14 : Αποτελέσματα μετρήσεων υπέρυθρης led

Συμφώνα με τον παραπάνω πίνακα, όσο αυξάνεται το μήκος της οπτικής ίνας, πρέπει να μειώνεται η ισχύς του σήματος. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα με τα αντίστοιχα των προηγούμενων δυο μετρήσεων, παρατηρούμε ότι για τα ίδια μήκη ινών η ισχύς εξόδου του σήματος σε αυτή την περίπτωση είναι πολύ χαμηλή, εξαιτίας του γεγονότος ότι η **υπέρυθρη** led εκπέμπει ακτινοβολία στα 880nm, μια περιοχή όπου οι πλαστικές ίνες παρουσιάζουν τις μεγαλύτερες απώλειες.

Τώρα με τα δεδομένα από τις μετρήσεις μας και χρησιμοποιώντας για τρίτη φορά τον τύπο της εξασθένησης θα υπολογίσουμε την εξασθένιση ανά ζευγάρια ινών (μία από τις ίνες μεγάλου μήκους και την ίνα 1m κάθε φορά).

Έτσι έχουμε:

Για την ίνα 3 m ισχύει ότι $V_{out}=9,26 V$ σε σχέση με την ίνα των **5m** ισχύει ότι:



$$a = \frac{10}{L1 - L2} * \log \frac{V2}{V1} = \frac{10}{5 - 3} * \log \frac{9.26}{0.52} = 6.25 \text{ dB/m}$$

Για την ίνα 3 m ισχύει ότι $V_{out} = 9.26 \text{ V}$ σε σχέση με την ίνα των 7 m ισχύει ότι:

$$a = \frac{10}{L1 - L2} * \log \frac{V2}{V1} = \frac{10}{7 - 3} * \log \frac{9.26}{0.32} = 3.65 \text{ dB/m}$$

Για την ίνα 3 m ισχύει ότι $V_{out} = 9.26 \text{ V}$ σε σχέση με την ίνα των 10 m ισχύει ότι:

$$a = \frac{10}{L1 - L2} * \log \frac{V2}{V1} = \frac{10}{10 - 3} * \log \frac{9.26}{0.267} = 2.2 \text{ dB/m}$$

Για την ίνα 15 m ισχύει ότι $V_{out} = 0.1386 \text{ V}$ σε σύγκριση με την ίνα των 3 m ισχύουν τα παρακάτω:

$$a = \frac{10}{L1 - L2} * \log \frac{V2}{V1} = \frac{10}{15 - 3} * \log \frac{9.26}{0.1386} = 1.52 \text{ dB/m}$$

Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω πίνακα. Άρα έχουμε:

Ζευγάρια Ινών	Εξασθένιση (dB/m)
3m με 5 m	6.25
3m με 7 m	3.65
3m με 10 m	2.20
3m με 15 m	1.52

Πίνακας 15 : Αποτελέσματα μετρήσεων συντελεστή εξασθένισης a

Από τα αποτελέσματα των παραπάνω μετρήσεων θα πάρουμε μόνο το ζευγάρι 3-5 ινών και ο λόγος είναι ότι οι τιμές που δίνονται για τη τάση για περισσότερα μέτρα είναι πολύ μικρές και εμπεριέχεται μεγάλο % σφάλμα στις μετρήσεις αυτές.

Εφόσον δεν θα πάρουμε τα υπόλοιπα αποτελέσματα και μόνο αυτό από το ζευγάρι 3-5 θα βρούμε το % σφάλμα χωρίς να βρούμε την μέση τιμή που κάναμε στα προηγούμενα βήματα. Σύμφωνα με το εικόνα 114 που φαίνεται η εξασθένιση του φωτός στην πλαστική ίνα που λειτουργεί στα 880nm είναι περίπου 10dB/m. Το σχετικό σφάλμα σύμφωνα με τον τύπο έχει πλησιάσει το 37,5%. Το ποσοστό είναι πολύ πιο μεγάλο σε σχέση με τις άλλες 2 led.

Στην συνέχεια θα βρούμε την πειραματική αποκρισιμότητα της υπέρυθρης led για της ίνες που είναι 3,5,7 μέτρα. Αρχικά μετατρέπουμε την ισχύ που είχαμε βρει στις μετρήσεις από dBm σε Watt σύμφωνα με τον παρακάτω τύπο:

$$P(\text{dBm}) = 10 \log_{10} \frac{P(\text{mW})}{1\text{mW}} \Rightarrow P = 1\text{mW} * 10^{\frac{P(\text{dBm})}{10}}$$

Μήκος(m)	P(dBm)	P(μW)
3	-17,42	1,81
5	-29,79	1,04
7	-32,37	5,79
10	-33,77	4,59

Πίνακας 16 :Μετατροπή ισχύς από dBm σε μWatt



Το επόμενο βήμα είναι να βρούμε το επαγόμενο ρεύμα. Η αποκρισιμότητα συνδέεται άμεσα με το επαγόμενο ρεύμα και η εύρεση του μέσω του τύπου $I = \frac{V}{R_{\lambda}}$ κρίνεται απαραίτητη. Ο λόγος της τάσης εξόδου προς την αντίσταση του δέκτη θα μας δώσει τα παρακάτω αποτελέσματα:

Μέτρα(m)	I(μΑ)
5	0,52
7	0,32

Πίνακας 17 : Επαγόμενο ρεύμα

Η αποκρισιμότητα ρ (Responsivity) είναι ένα μέγεθος που σχετίζεται άμεσα με την λειτουργία του φωτοανιχνευτή. Αντιστοιχεί στον παράγοντα μετατροπής μεταξύ της προσπίπτουσας οπτικής ισχύος P και του επαγόμενου ρεύματος I βάση του τύπου: $I = \rho * P_{in}$

Μέτρα(m)	ρ (A/W)
5	0,5
7	0,05

Πίνακας 18 : Πειραματική αποκρισιμότητα

Για να βρούμε την πειραματική αποκρισιμότητα της κόκκινης led πρέπει να βρούμε τον μέσο όρο του πίνακα 8 μέσω του τύπου:

$$\bar{\rho} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^2 a_i = 0,275 A/W$$

Ο μέσος όρος είναι 0,275A/W. Η θεωρητική τιμή της αποκρισιμότητας σύμφωνα με την εικόνα 115 είναι περίπου στο 0,6A/W . Αυτό μπορούμε εύκολα να το καταλάβουμε καθώς η υπέρυθη led έχει μήκος κύματος 880nm. Σύμφωνα με τον τύπο του σχετικού σφάλματος το ποσοστό της αποκρισιμότητας είναι περίπου 54,1%.

0.1 Απώλειες ίνας λόγω καμπυλότητας

Σε αυτό το στάδιο θα μελετήσουμε τις απώλειες που προκαλούνται στην ίνα λόγω καμπυλότητας. Θα χρησιμοποιήσουμε μια για πηγή την κόκκινη LED με μήκος κύματος 660nm στο κύκλωμα του πομπού και πλαστική οπτική ίνα μήκους 1m, με τέτοιο τρόπο ώστε να μη δημιουργούνται καμπυλότητες. Το αποτέλεσμα που παίρνουμε είναι η τάση εξόδου ίση με 7,94V. Έπειτα καμπυλώνοντας την ίνα χρησιμοποιώντας το παρακάτω σχήμα θα λάβουμε κάποιες μετρήσεις στην έξοδο του κυκλώματος. Αρχίζουμε από 7cm και καταλήγουμε σταδιακά στο 1 cm.



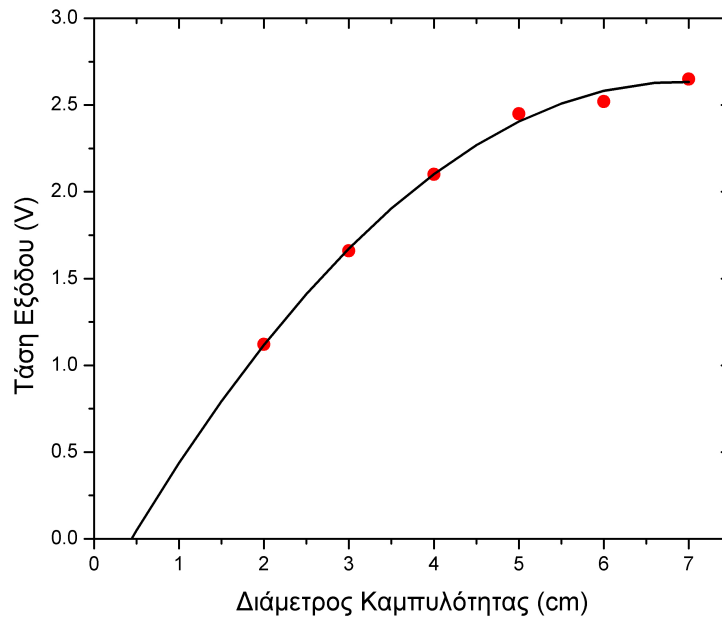
Τα αποτελέσματα των μετρήσεων μας φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΚΑΜΠΥΛΟΤΗΤΑΣ(cm)	ΤΑΣΗ ΕΞΟΔΟΥ (V)
7	2.65
6	2.52
5	2.45
4	2.10
3	1.66
2	1.12
1	0.0

Πίνακας 19: Αποτελέσματα μετρήσεων απωλειών καμπυλότητας

Συμφώνα με τον παραπάνω πίνακα, παρατηρούμε ότι όσο καμπυλώνεται η πλαστική οπτική ίνα με βάση τον παραπάνω κύκλο, αυξάνονται οι απώλειες της και μειώνεται και η τάση εξόδου της.

Η γραφική παράσταση των τιμών του παραπάνω πίνακα είναι η ακόλουθη:



Εικόνα 116 : Απώλειες καμπυλότητας

Συμφώνα με την παραπάνω εικόνα παρατηρούμε ότι όσο πιο πολύ καμπυλώνουμε την οπτική ίνα η τάση εξόδου του σήματος μειώνεται! Αυτό συμβαίνει, γιατί αλλάζει η γωνιά πρόσπτωσης της ακτίνας του φωτός που πέφτει στην διαχωριστική επιφάνεια πυρήνα-περιβλήματος ως συνέπεια της κύρτωσης της ίνας. Τέλος το φως παύει να διαδίδεται στην ίνα κάτω από το 1cm.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : Προσομοίωση δικτύου με την χρήση του LinkSIM

Εισαγωγή

Στο παρακάτω τμήμα της παρούσας πτυχιακής με την χρήση του προγράμματος προσομοίωσης οπτικών δικτύων LinkSIM θα χρησιμοποιήσουμε τα χαρακτηριστικά των συσκευών (leds, lasers) και τις παραμέτρους των οπτικών καλωδίων, που χρησιμοποιούνται στα πραγματικά δίκτυα από τους διαφόρους παρόχους ώστε να δημιουργήσουμε ένα δίκτυο, να το αναλύσουμε, να εξάγουμε συμπεράσματα γι' αυτό και να βρούμε τρόπους πιθανόν διόρθωσης και βελτίωσης του.

Συνήθως ο ΟΤΕ και οι άλλοι πάροχοι χρησιμοποιούν καλώδια loose tube buffer εξαιτίας της μεγάλης ανοχής τους σε θερμοκρασιακές μεταβολές. Τα καλώδια αυτά επειδή τοποθετούνται μέσα στο έδαφος είναι εφοδιασμένα με ανταρτική προστασία και είναι ισχυρά θωρακισμένα με ατσάλινο σπλισμό. Τα καλώδια αυτά έχουν στο εσωτερικό τους 8-12 πολύτροπες οπτικές ίνες διαβαθμισμένου δείκτη, οι οποίες έχουν διάμετρο πυρήνα 62,5μm και περιβλήματος-μανδύα 125μm. Επιπλέον, έχουν θερμοκρασία λειτουργίας από -20 έως +50 βαθμούς Κελσίου τουλάχιστον και ελάχιστη ακτίνα κάμψης (μετά την εγκατάσταση) μικρότερη από 25 cm. Ακόμα τα καλώδια αυτά έχουν δυνατότητα διπλής λειτουργίας σε 1300 και 850nm, με εύρος ζώνης μεγαλύτερο από 500 και 200 Α αντίστοιχα. Τέλος έχουν εξασθένιση 1dB/Km στα 1300nm και 3,5dB/Km στα 850nm.

Σε εσωτερικές εφαρμογές και σε συγκεκριμένες ειδικές εφαρμογές στα σύγχρονα δίκτυα χρησιμοποιούνται οπτικά καλώδια που αποτελούνται από μονότροπες ίνες με διάμετρο πυρήνα 9μm και μανδύα 125μm. Οι απώλειες που έχουν είναι 0,4dB/Km για μήκος κύματος λειτουργίας στα 1550nm και 0,5dB/Km στα 1310nm.

2.1 Εισαγωγή στο πρόγραμμα LinkSIM

Το LinkSIM είναι ένα προχωρημένο πακέτο προσομοίωσης οπτικών επικοινωνιακών συστημάτων. Χρησιμοποιώντας το LinkSIM μπορούμε να σχεδιάσουμε ζεύξεις οπτικών επικοινωνιών και να εξετάσουμε την λειτουργία και απόδοση τους συναρτήσει διαφόρων παραμέτρων των στοιχείων που τις αποτελούν.

Στο LinkSIM μία ζεύξη οικοδομείται από ανεξάρτητα στοιχεία που συνδέονται και καθένα από αυτά αντιπροσωπεύει ένα τμήμα της ζεύξης. Όπως το πραγματικό σήμα μεταδίδεται μεταξύ των τμημάτων μίας ζεύξης, προσομοιωμένο σήμα μεταδίδεται στα μοντέλα των στοιχείων στην ζεύξη του LinkSIM. Κάθε στοιχείο προσομοιώνεται ανεξάρτητα χρησιμοποιώντας τις παραμέτρους που δίδονται σε αυτό από το χρήστη και την πληροφορία σήματος που μεταδίδετε σε αυτό από άλλα στοιχεία. Τα στοιχεία παρουσιάζονται γραφικά σαν εικόνες ενώ εσωτερικά αποτελούνται από δεδομένα και περίπλοκους αριθμητικούς αλγορίθμους.

Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δίδονται, μεταξύ άλλων, με την μορφή διαγραμμάτων οφθαλμού, διαγραμμάτων σήματος και γραφικές παραστάσεις του bit error rate (BER) συναρτήσει διαφόρων παραμέτρων σε κατάλληλα σημεία της ζεύξης.

2.2 Ρυθμός εσφαλμένων bit (Bit error rate - BER)

Ο ρυθμός εσφαλμένων bit (BER) δίνει μία μέτρηση της αποδοτικότητας ενός ψηφιακού συστήματος. Είναι ο λόγος του πλήθους των bit που ανιχνεύθηκαν εσφαλμένα προς το σύνολο των bit που ανιχνεύθηκαν. Ένα BER 10^{-9} σημαίνει ότι σε 1 δισεκατομμύριο bits (10^9 bit) που μεταδόθηκαν 1 bit ανιχνεύθηκε λάθος. Η απαιτούμενη τιμή BER εξαρτάται από την εφαρμογή. Η μετάδοση ψηφιακά



κωδικοποιημένης φωνής τηλεφωνικά απαιτεί χαμηλότερο BER (περίπου 10^{-6}) σε σύγκριση με τη μετάδοση δεδομένων υπολογιστή (περίπου 10^{-9}). Μερικά εσφαλμένα bit δεν θα προκαλέσουν σημαντική αλλαγή στη μετάδοση ομιλίας ενώ στην περίπτωση των δεδομένων υπολογιστή το πλήθος των εσφαλμένων bit είναι πολύ σημαντικό για την επιτυχή λειτουργία π.χ. ενός προγράμματος.

2.3 Διάγραμμα οφθαλμού (Eye Diagram)

Η επίδραση του θορύβου και του χρόνου ανόδου στην απόδοση ενός ψηφιακού συστήματος μπορεί να εξεταστεί οπτικά με τη χρήση του διαγράμματος οφθαλμού. Το οφθαλμικό διάγραμμα παρέχει έναν οπτικό τρόπο ελέγχου της απόδοσης του δέκτη. Το διάγραμμα οφθαλμού προκύπτει αν απεικονίσουμε μια τυχαία αλληλουχία παλμών στον παλμογράφο χρησιμοποιώντας ένα σταθερό διάστημα σκανδαλισμού (trigger).

Υπάρχει το ιδανικό διάγραμμα οφθαλμικό διάγραμμα το οποίο οπτικά είναι πολύ καθαρό και ευδιάκριτο, επίσης υπάρχει και το υποβαθμισμένο, στο οποίο ο θόρυβος και το χρονικό τρέμουλο οδηγούν σε μερικό κλείσιμο του ματιού. Ο καλύτερος δειγματοληπτικός χρόνος αντιστοιχεί στο μέγιστο άνοιγμα του ματιού. Τέλος, το κλείσιμο του ματιού αποτελεί ένδειξη ότι ο δέκτης δεν λειτουργεί κανονικά.

2.4 Κωδικοί διαμόρφωσης (Modulation Codes)

Υπάρχουν διάφορες αντιστοιχίες μεταξύ των μεταδιδόμενων bit και της εκπεμπόμενης οπτικής ισχύος. Η επιλογή της κατάλληλης για κάποια ζεύξη γίνεται βάση της πολυπλοκότητας που εισάγεται στο σύστημα για την παραγωγή της.

Από τις πιο διαδεδομένες είναι:

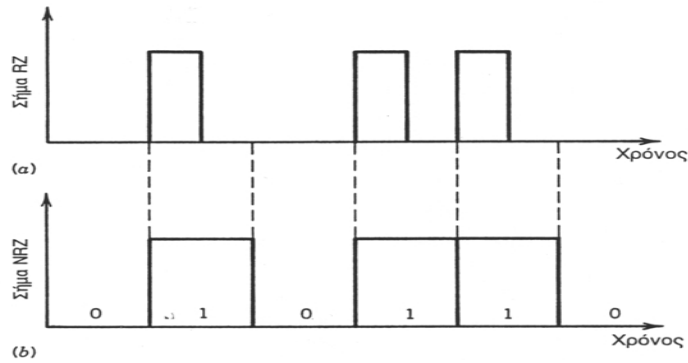
- **Διαμόρφωση με επιστροφή στο μηδέν (Return to Zero-RZ)**

Κάθε οπτικός παλμός που αναπαριστά το bit 1 είναι βραχύτερος από την περίοδο του bit και το πλάτος του επιστρέφει στο μηδέν (μηδενίζεται) πριν τελειώσει η διάρκεια του bit.

- **Διαμόρφωση χωρίς επιστροφή στο μηδέν (Non Return to Zero-NRZ)**

Ο οπτικός παλμός παραμένει σταθερός σε όλη τη διάρκεια της περιόδου του bit και το πλάτος του δεν πέφτει στο μηδέν μεταξύ δύο ή περισσότερων bit "1".

Η διαμόρφωση NRZ χρησιμοποιείται συχνά στην πράξη επειδή απαιτεί μικρότερο εύρος ζώνης σήματος (οι μεταβάσεις ON-OFF γίνονται λιγότερες φορές). Συγκεκριμένα με τη χρήση της διαμόρφωσης NRZ ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης σήματος μπορεί να είναι (κατά προσέγγιση και όσον αφορά τους περιορισμούς που επιβάλλονται από τη διαμόρφωση της οπτικής πηγής της ζεύξης) **διπλάσιος** από το εύρος ζώνης 3dB (f_{3dB}) του laser ενώ στη διαμόρφωση RZ δεν μπορεί να υπερβαίνει το f_{3dB} . Συγχρόνως όμως η διαμόρφωση NRZ απαιτεί πιο αυστηρό έλεγχο του εύρους του παλμού και μπορεί να οδηγήσει σε φαινόμενα που εξαρτώνται από τη μορφή των bit αν οι οπτικοί παλμοί "απλώνουν" κατά τη διάρκεια της μετάδοσης.



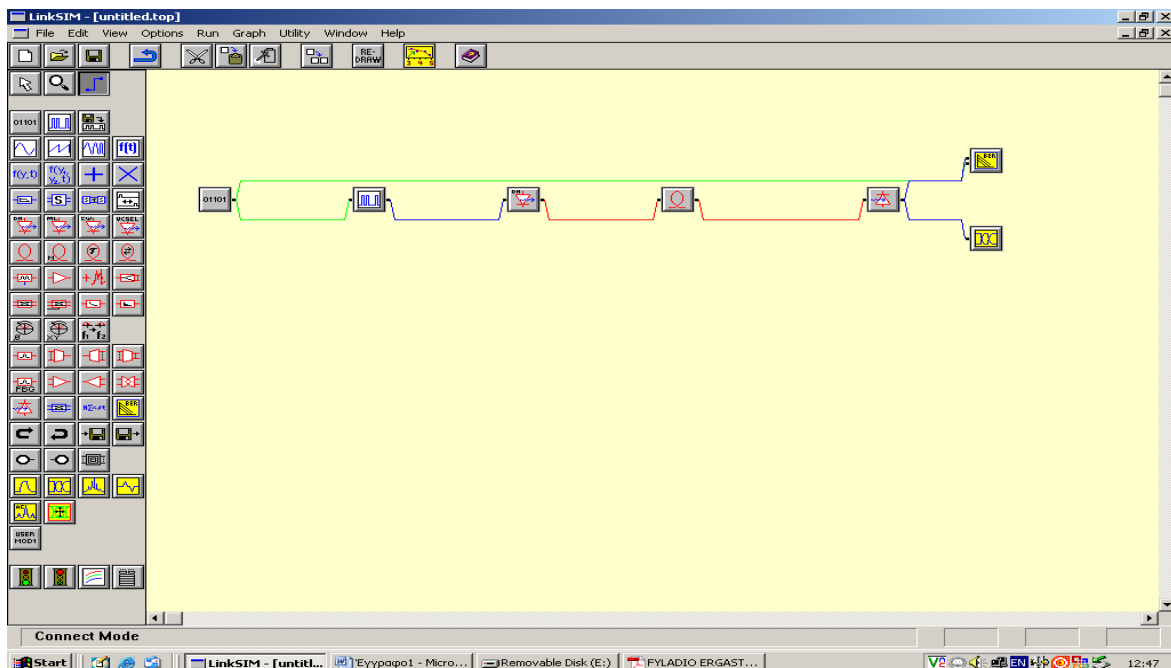
Εικόνα 117 : Διαμόρφωση (α) επιστροφή στο μηδέν και (β) χωρίς επιστροφή στο μηδέν

2.5 Η διαδικασία της προσομοίωσης

Αρχικά θα σχεδιάσουμε μια οπτική ζεύξη με την χρήση ενός πομπού, μιας ίνας και ενός ανιχνευτή. Γενικότερα, το σύστημα μας θα περιλαμβάνει μία γεννήτρια τυχαίων δυαδικών ακολουθιών PRBS (PseudoRandom Binary Sequence) Generator με ρυθμό μετάδοσης **1Gbps** η οποία θα παράγει το σήμα προς μετάδοση. Στην συνέχεια θα την ενώσουμε με μια γεννήτρια σήματος (Signal Generator) για να μετατρέψει τη δυαδική ακολουθία σε ηλεκτρικό σήμα, η οποία χρησιμοποιεί διαμόρφωση (modulationType) **NRZ Non Return to Zero**. Σε αυτή, ορίζουμε την τάση εξόδου για το δυαδικό σήμα ίση με **0.5Volts (Vmax)**. Για οπτική πηγή θα χρησιμοποιήσουμε ένα Laser άμεσης διαμόρφωσης Direct Modulated Laser το οποίο θα τροφοδοτείται από το σήμα που παράγει ο Signal Generator. Το laser εκπέμπει στα **1550nm** και είναι ορθά πολωμένο στα **30 mA**. Στη συνέχεια το σήμα θα μεταδοθεί μέσω μιας μονότροπης οπτικής ίνας Nonlinear Fibre για την οποία ορίζουμε μήκος (length) **10Km**, διάμετρο (diameter) **9μm** και συντελεστή απωλειών (loss) **0,4dB/Km**.

Τέλος το σήμα στο άκρο της ίνας θα ανιχνευθεί από ένα δέκτη Receiver. Για να έχουμε μια αποδοτικότητα της ζεύξης τοποθετούμε στην έξοδο του δέκτη ένα διάγραμμα οφθαλμού Plot Eye Diagram και ένα BER Tester τον οποίο τον συνδέουμε και με την γεννήτρια του δυαδικού σήματος.

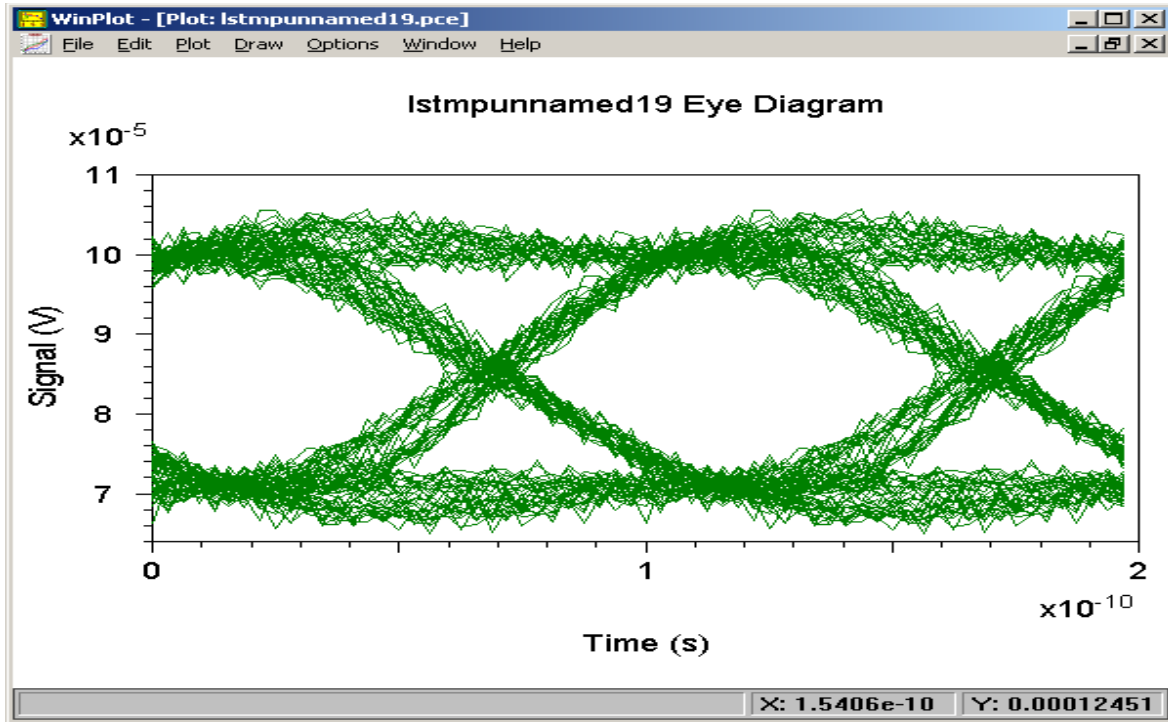
Αυτά φαίνονται στο παρακάτω σχήμα:



Εικόνα 118 : Προσομοίωση της οπτικής ζεύξης



Τρέχοντας την προσομοίωση του παραπάνω συστήματος οπτικών ινών παίρνουμε ως αποτέλεσμα στο διάγραμμα οφθαλμού το παρακάτω σήμα.



RUN#	BER
1	4.075759e-009

Εικόνα 119 : Το οφθαλμικό γράφημα αναπαράστασης με κώδικα διαμόρφωσης NRZ

Στο διάγραμμα της εικόνας 119, παρατηρούμε το διάγραμμα οφθαλμού. Είναι στην ουσία, ένα διάγραμμα που ακολουθεί την ημιτονοειδή συνάρτηση (δηλαδή μεταβάλλεται ημιτονοειδώς σε σχέση με τον χρόνο), με 2 ακραία σημεία – ένα ολικό μέγιστο και ένα ολικό ελάχιστο. Το μέγιστο είναι το λογικό «1» και το ελάχιστο, το λογικό «0». Στην εικόνα, τα σημεία αυτά εμφανίζονται για το ολικό μέγιστο (max) στα περίπου 10×10^{-5} V και για το ολικό ελάχιστο (min) στα 7×10^{-5} V. Είναι ένα μέτρο που χρησιμοποιείται στην ψηφιακή επικοινωνία, για να γίνει κατανοητή η αλληλοπαρεμβολή συμβόλων (ISI), η οποία μπορεί να οδηγήσει σε κακή ερμηνεία των δεδομένων που αποστέλλονται. Αμέσως-αμέσως, υποψιαζόμαστε πως όσο πιο μεγάλο και καθαρό είναι το διάγραμμα, τόσο σωστότερη είναι η μετάδοση των δεδομένων, απαλλαγμένη από θορύβους που δυσχεραίνουν την επικοινωνία, υποβαθμίζοντας την ποιότητά της.

Στον πίνακα που βρίσκεται κάτω από την εικόνα βλέπουμε το BER της προσομοίωσης που είναι 4.075759×10^{-9} . Αυτό σημαίνει ότι σε περίπου 1.000.000.000 bits μόνο τα 4,07 bits θα μεταδοθούν λάθος. Η αναλογία είναι σε ικανοποιητικό επίπεδο για μια οπτική ζεύξη αλλά στην συνέχεια θα προσπαθήσουμε να την βελτιώσουμε αλλάζοντας τον κώδικα διαμόρφωσης. Σκοπός είναι να μειωθούν τα bit που στέλνονται λάθος.

Μελετώντας το διάγραμμα, ας σταθούμε σε μερικά βασικά σημεία, τα οποία θα μας βοηθήσουν αρκετά στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων που ζητούμε :



- **Επίπεδο οφθαλμού (Eye level)**

Είναι το επίπεδο πλάτους που χρησιμοποιείται για να αντιπροσωπεύει data bits («0» και «1»). Για την περίπτωση του σήματος NRZ, υπάρχουν μόνο 2 επίπεδα: Το υψηλό (Επίπεδο 1) και το χαμηλό (Επίπεδο 0).

- **Πλάτος οφθαλμού (Eye Amplitude)**

Είναι η απόσταση μεταξύ δυο γειτονικών οφθαλμικών επιπέδων. Οφθαλμικά επίπεδα πρακτικά ορίζονται οι νοητές ευθείες του μέγιστου και ελάχιστου του διαγράμματος. Για το σήμα NRZ, υπάρχουν μόνο δυο επίπεδα. Έτσι λοιπόν, όταν το σήμα βρίσκεται στο ολικό μέγιστο, μεταδίδεται το ψηφίο «1», ενώ όταν βρίσκεται στο ολικό ελάχιστο, το λογικό «0». Το μέτρο αυτό μας δείχνει το περιθώριο θορύβου (ή αλλιώς την ανοσία στο θόρυβο), το οποίο είναι ανάλογο με το πλάτος ανοίγματος του οφθαλμού.

- **Πλάτος σημείου τομής (Eye Crossing Amplitude)**

Στο διάγραμμα παρατηρούμε δυο ημιτονοειδείς συναρτήσεις, οι οποίες μεταδίδονται με διαφορά φάσης 90° , ώστε τελικά να δημιουργούν το οφθαλμικό διάγραμμα. Τα σημεία τομής (δηλαδή τα σημεία όπου συναντιούνται οι συναρτήσεις), ονομάζονται Πλάτος σημείου τομής. Είναι ένα μέτρο που μας δείχνει το κατά πόσο καλά συντελείται η συμμετρία παλμού δεδομένων στο σύστημά μας. Στο παράδειγμά μας με την NRZ, τα σημεία τομής συναντώνται περίπου στη μέση του διαγράμματος, δηλαδή έχουμε ποσοστό τομής, 50% που είναι και το ιδανικό. Κάτι που φυσικά περιμέναμε, αφού το κύριο χαρακτηριστικό της NRZ είναι πως η στάθμη του σήματος παραμένει σταθερή σε όλο το διάστημα ενός bit. Δεν έχουμε δηλαδή επιστροφή στη μηδενική στάθμη πριν το τέλος της διάρκειας του bit.

- **Μήκος οφθαλμού (Eye Width)**

Είναι η οριζόντια απόσταση μεταξύ δυο σημείων τομής των ημιτονοειδών συναρτήσεων. Είναι αυτονόητο πως όσο πιο συχνά συναντώνται τα σημεία τομής (cross points), τόσο πιο μικρό το μήκος οφθαλμού και πιο συχνός ο παλμός δεδομένων, οπότε τόσο πιο συχνή η μετάδοση δεδομένων.

Η απόσταση μεταξύ δυο σημείων τομής είναι ουσιαστικά ο χρόνος που στο διάγραμμα έχει επικρατήσει να λέγεται ότι το «μάτι παραμένει ανοιχτό». Καθώς μεταβάλλεται η χρονική στιγμή της δειγματοληψίας, όσο πιο γρήγορα «ανοιγοκλείνει το μάτι», δηλαδή όσο πιο γρήγορα συναντούμε τα σημεία τομής, τόσο μεγαλύτερη ευαισθησία έχει το σήμα κατά το σφάλμα χρονισμού.

Ας μην ξεχνούμε πως ένα από τα σημαντικότερα μειονεκτήματα της μεθόδου NRZ είναι η παρουσία συνεχούς στάθμης και επομένως η μικρή δυνατότητα συγχρονισμού λόγω του μικρού αριθμού αλλαγών στάθμης.

- **Ύψος οφθαλμού (Eye Height)**

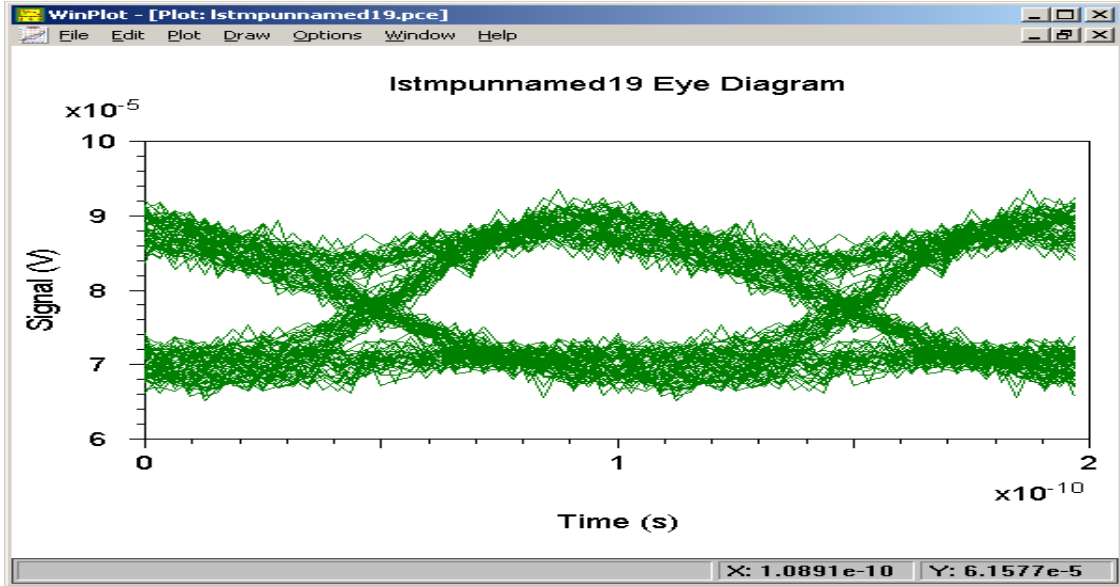
Είναι η μέγιστη απόσταση μεταξύ δυο επιπέδων του διαγράμματος οφθαλμού. Το πόσο μεγάλη, ή πόσο μικρή θα είναι αυτή η απόσταση, έχει να κάνει περισσότερο με τα φυσικά χαρακτηριστικά της ίνας και την ευαισθησία του δέκτη (receiver) κατά το «rolloff» (η διαδικασία αποκοπής της οπτικής ίνας).

Η παραμόρφωση στο χρόνο δειγματοληψίας, φαίνεται από το πάχος της νοητής γραμμής που σχηματίζεται στο μηδενικό και στο πρώτο επίπεδο. Δηλαδή κατά τις διάρκειες που μεταφέρεται το λογικό «0» και το λογικό «1» αντίστοιχα. Όσο πιο παχιές είναι αυτές οι γραμμές έχουμε μεγαλύτερο εύρος και άρα ο θόρυβος είναι μεγαλύτερος όπως και η παραμόρφωση. Το ανεκτό περιθώριο αυτού του θορύβου το μετρούμε με τον «οφθαλμό ανοιχτό», από σημείο στο ολικό ελάχιστο του επιπέδου 0, έως το μέσο του οφθαλμού.



Γενικά θα λέγαμε πως η NRZ είναι από τις διαμορφώσεις που έχει την καλύτερη συμπεριφορά απέναντι στο θόρυβο, γι' αυτό και την καθιστά ως επί το πλείστον κατάλληλη για εφαρμογές επάνω στη μετάδοση μέσω οπτικών ινών.

Κρατώντας τα ίδια χαρακτηριστικά του οπτικού δικτύου αλλάζω τον κώδικα διαμόρφωσης της γεννήτριας σήματος από NRZ σε RZ .



RUN#	BER
1	6.232809e-009

Εικόνα 120 : Το οφθαλμικό γράφημα αναπαράστασης με κώδικα διαμόρφωσης RZ

Κατά τη διαμόρφωση RZ, έχουμε την αποστολή μισού bit με εναλλασσόμενη πολικότητα για αλλαγή από 0 σε 1 ή από 1 σε 0. Σε σύγκριση με το προηγούμενο διάγραμμα οφθαλμού με τη διαμόρφωση NRZ, παρατηρούμε ότι έχει μειωθεί αισθητά η μέγιστη περιοχή του λογικού «1», ή αλλιώς η περιοχή του Επιπέδου 1. Δηλαδή, έχει μειωθεί σε σχέση με πριν, το Πλάτος του οφθαλμού. Συνεπάγεται επομένως η μείωση της ανοχής (ή καλύτερα της ανοσίας) στο θόρυβο.

Ένα κύριο χαρακτηριστικό της RZ, είναι η επιστροφή της στάθμης στη μηδενική τιμή στο μέσο ακριβώς του bit. Δηλαδή σε σχέση με πριν, θα συνεχίσουμε να έχουμε τη συνεχή σταθερή στάθμη σήματος (αυτό καταφαίνεται εύκολα με μια απλή μέτρηση στους χρόνους εμφάνισης των cross points, τόσο στην NRZ, όσο και στην RZ) με ποσοστό Πλάτους σημείων τομής στο 50%. Άρα, θα παραμείνει σταθερό και το μήκος του οφθαλμού. Ένα ακόμη σημείο που χρήζει παρατήρησης, είναι σχετικά με τις περιοχές των επιπέδων 0 και 1. Σε αντίθεση με το προηγούμενο διάγραμμα, οι περιοχές αυτές του λογικού «0» και λογικού «1», τείνουν να «ακουμπήσουν» το υπόλοιπο διάγραμμα, παίρνοντας σχεδόν τη μορφή του οφθαλμικού διαγράμματος. Μπορούμε να ξεχωρίσουμε αυτές τις περιοχές μόνο στα σημεία τομής των δεδομένων. Ένα γεγονός που αυτομάτως κάνει τις γραμμές πιο παχιές και άρα η μεταφορά δεδομένων να γίνεται με την παρουσία όλο και περισσότερου θορύβου και επομένως την ποιότητα μετάδοσης σήματος πιο υποβαθμισμένη.

Κατά γενική ομολογία, το «μάτι» του διαγράμματος σε σχέση με πριν, δεν είναι τόσο «ανοιχτό». Όχι ως προς το μήκος του (αφού τα cross points έχουν την ίδια χρονική απόσταση και στα δυο διαγράμματα), αλλά ως προς το ύψος του, λόγω της ελάττωσης του επιπέδου 1. Κάτι που όπως είπαμε προηγουμένως έχει να κάνει περισσότερο με τα φυσικά χαρακτηριστικά της ίνας (όπως ποιότητα, πάχος, μήκος, απόσταση από πομπό κλπ) ή με την ευαισθησία του receiver.

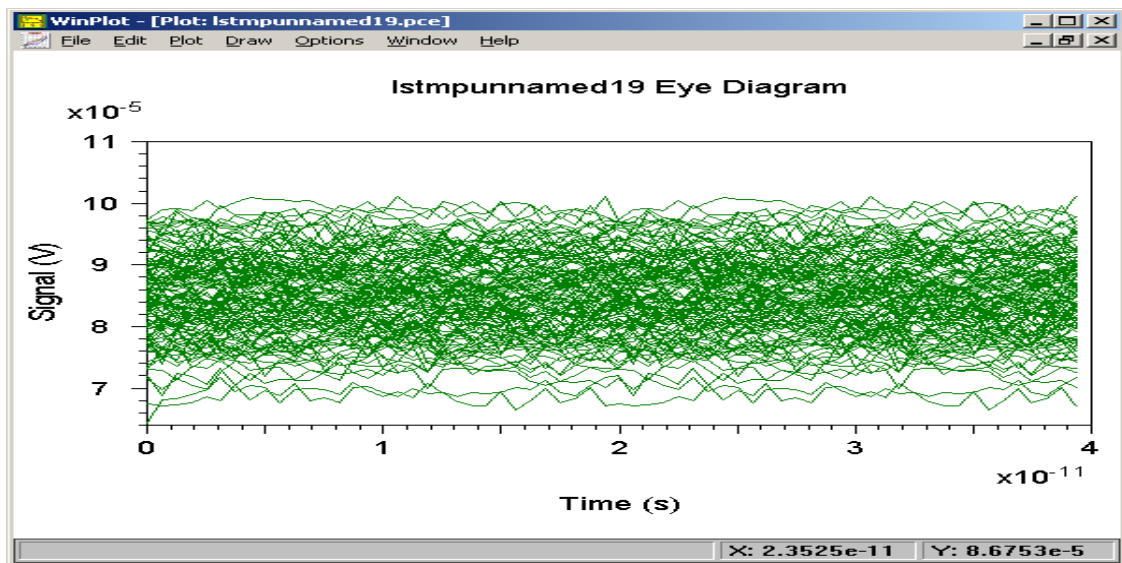
Την χειρότερη ζεύξη από πριν μας την υποδηλώνει και το BER το οποίο έχει αυξηθεί σε σχέση με πριν. Η αύξηση του είναι της τάξης των 2 εσφαλμένων bits στα 1.000.000.000 σταλμένων



bits σε σχέση με το προηγούμενο γράφημα. Στόχος στην συνέχεια να βελτιώσουμε το BER με εισαγωγή οπτικού ενισχυτή.

Άλλωστε η διαμόρφωση **RZ**, καθώς και όλοι οι κώδικες αυτής της ομάδας, παρουσιάζουν το μειονέκτημα του υψηλότερου αρμονικού περιεχομένου, μιας και οι παλμοί είναι στενότεροι χωρίς να παρουσιάζουν ιδιαίτερα πλεονεκτήματα. Λόγω της απλότητάς τους χρησιμοποιούνται σε απλά συστήματα μετάδοσης δεδομένων ή σε κοντινές αποστάσεις.

Στη συνέχεια κρατώντας τα ίδια χαρακτηριστικά του δικτύου, αλλάζω τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων της γεννήτριας τυχαίων δυαδικών ακολουθιών **PRBS από 1Gbps σε 50Gbps χρησιμοποιώντας κώδικα διαμόρφωσης NRZ**. Τα αποτελέσματα είναι τα παρακάτω :



Εικόνα 121 : Το οφθαλμικό γράφημα αλλάζοντας τον ρυθμό μετάδοσης σε 50 Gbps με NRZ

BER =1

Εδώ προφανώς και δεν σχηματίζεται όπως προηγουμένως κάποιο διάγραμμα οφθαλμού. Παρατηρώντας καλύτερα τα αποτελέσματα, θα δούμε πως αυξάνοντας το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων της Γεννήτριας δυαδικών ακολουθιών PRBS από 1 Gbps σε 50 Gbps, η τιμή BER (Bit Error Rate), είναι αυτή που αυξήθηκε σημαντικά από τιμές της τάξης 4.075759×10^{-32} , ή 3.232809×10^{-9} περίπου, στη μία μονάδα. Μιλούμε για ραγδαία αύξηση της τιμής εμφάνισης λαθών στα bits πληροφορίας που εκπέμπονται από την Γεννήτρια.

Για να εξηγήσουμε καλύτερα τι συμβαίνει, μια γεννήτρια συμβόλων μπορεί να στείλει N-bits σε ένα δέκτη. Η πιθανότητα ο δέκτης να λάβει εσφαλμένα τα δεδομένα, είναι μεγάλη. Όταν ένα σύμβολο των N-bit λαμβάνεται με λάθος, μπορεί να έχουν ληφθεί λάθος 1, 2 bit ή μια οποιαδήποτε σειρά bit ή συνδυασμός bit. Αυτό ακριβώς το σφάλμα βρίσκει το μέτρο BER. Δηλαδή, είναι ένας μετρητής εσφαλμένων δεδομένων που κρίνει την ποιότητα μετάδοσης σε ένα ψηφιακό σύστημα επικοινωνίας. Λειτουργεί συγκρίνοντας το χρόνο διέλευσης και το μέγεθος των δεδομένων που λήφθηκαν. Ο γραφικός τρόπος για να δούμε αυτά τα λάθη και επομένως να κρίνουμε την ποιότητα της επικοινωνίας όσο το δυνατόν με τον καλύτερο τρόπο, είναι το διάγραμμα οφθαλμού, όπως είδαμε σε προηγούμενα διαγράμματα.

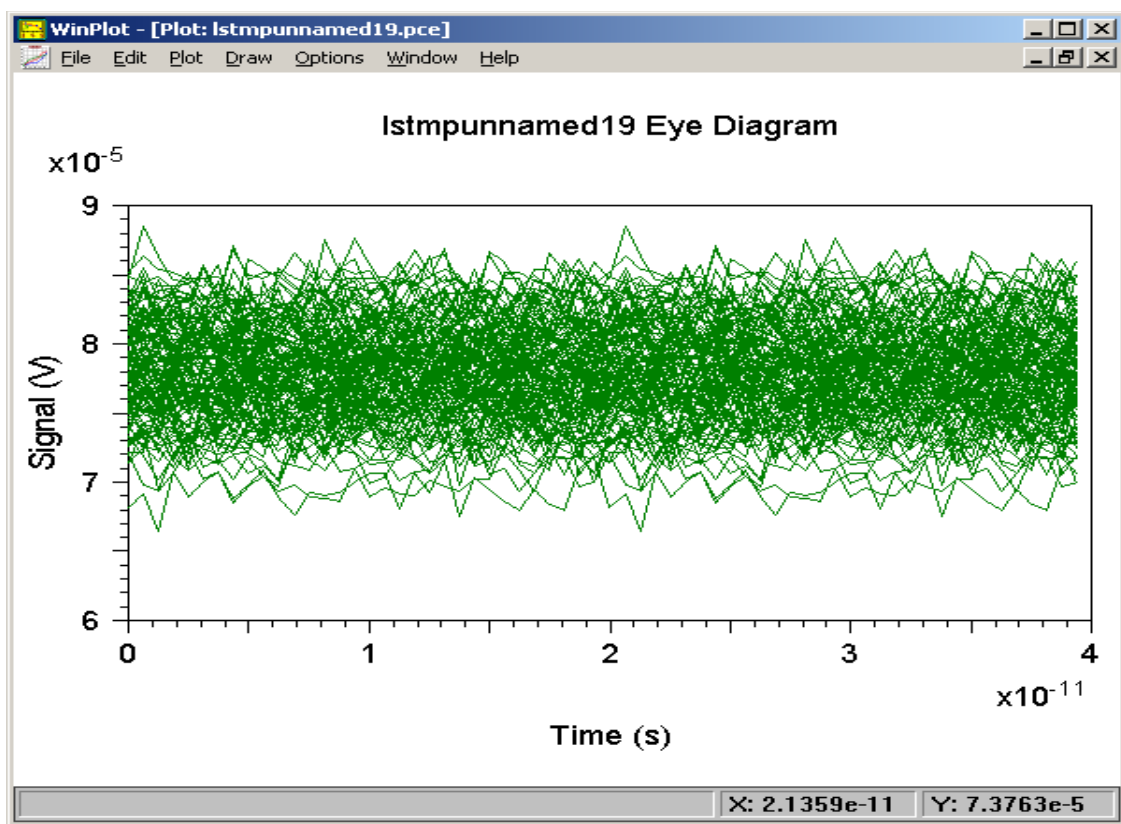
Αυξάνοντας λοιπόν το ρυθμό μετάδοσης της πληροφορίας από τη γεννήτρια στο σύστημά μας, τα πακέτα των bit (ή γενικά τα bit) που αποστέλλονται είναι σαφώς περισσότερα στο ίδιο χρονικό διάστημα με πριν. Με το BER = 1 όμως, ο ρυθμός εμφάνισης λαθών αυξήθηκε και αυτός χαρακτηριστικά. Επομένως, μειώθηκε σημαντικά και η ποιότητα της μετάδοσης. Κάτι δηλαδή που



είδαμε να συμβαίνει εμφανώς στο διάγραμμα της εικόνας 3, μόνο που σε εκείνη την περίπτωση, πέρα από τα λάθη κατά τη μετάδοση, έπαιζαν ρόλο και άλλοι σημαντικοί παράγοντες για την υποβαθμισμένη ποιότητα μετάδοσης, όπως ο θόρυβος και ο κώδικας που χρησιμοποιήσαμε (ο οποίος όπως είδαμε, δεν είναι ο καλύτερος).

Σημαντικό συμπέρασμα που προκύπτει από όλα τα παραπάνω, είναι πως όταν αυξάνεται ο ρυθμός μετάδοσης της πληροφορίας, αυξάνεται ο ρυθμός εμφάνισης λαθών. Δηλαδή αυξάνεται η πιθανότητα τα bit πληροφορίας να αποσταλούν λανθασμένα. Επομένως, δεν έχει σημασία σε αυτή την περίπτωση ποιόν κώδικα διαμόρφωσης θα χρησιμοποιήσουμε (στη συγκεκριμένη περίπτωση, είτε αυτός είναι ο RZ, είτε είναι ο NRZ). Ένα συμπέρασμα που η ισχύ του θα ενδυναμωθεί με τα παρακάτω πειράματα και διαγράμματα που διεξήχθησαν.

Τώρα κρατώντας τα ίδια χαρακτηριστικά του δικτύου, θα αλλάξω τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων της γεννήτριας τυχαίων δυαδικών ακολουθιών PRBS από 1Gbps σε 50Gbps χρησιμοποιώντας κώδικα διαμόρφωσης RZ. Τα αποτελέσματα είναι τα παρακάτω :



Εικόνα 122 : Το οφθαλμικό γράφημα αλλάζοντας τον ρυθμό μετάδοσης σε 50 Gbps με RZ

Οι επιδόσεις ενός συστήματος επικοινωνίας εξαρτώνται από το μέγεθος της αλληλοπαρεμβολής συμβόλων και το θόρυβο του καναλιού. Αυτό που καλούμε με τα αρχικά «ISI» (InterSymbol Interference). Είναι ένα μετρήσιμο μέγεθος, το οποίο για πρώτη φορά εισήχθηκε με τη χρήση φίλτρων, κυρίως στις ψηφιακές επικοινωνίες. Είναι μια δίολου αμελητέα παράμετρος, η οποία μπορεί να υποβιβάσει ουσιαστικά το λόγο σήματος προς θόρυβο στην είσοδο του αποκωδικοποιητή. Έτσι λοιπόν, για να αποφύγουμε ανεπιθύμητες επιδράσεις και υποβάθμιση των επιδόσεων, οφείλουμε να διατηρούμε το εύρος ζώνης σε χαμηλά επίπεδα.

Όπως γνωρίζουμε, το εύρος ζώνης συχνοτήτων, ή αλλιώς bandwidth, προσδιορίζει το φάσμα των συχνοτήτων που μπορούν να διέλθουν ανεμπόδιστα από το μέσον. Ο ρυθμός μετάδοσης της πληροφορίας και συνεπαγωγικά ο όγκος της μεταδιδόμενης πληροφορίας, εξαρτάται άμεσα από το



εύρος ζώνης του μέσου. Αυξάνοντας το ρυθμό μετάδοσης, ουσιαστικά αυξήσαμε το εύρος ζώνης συχνοτήτων. Αφού αυξήθηκε ο ρυθμός μετάδοσης, αυξήθηκε και το μέγεθος της αλληλοπαρεμβολής συμβόλων και επομένως, το μέγεθος της εμφάνισης σφαλμάτων (BER).

Γενικά, τα σφάλματα μπορεί να προκληθούν από πολλά αίτια, όπως τη φυσιολογία των συνδέσεων, την κακή συνδεσμολογία ή ακόμη και το θόρυβο στα ηλεκτρονικά κυκλώματα μεταξύ πομπού και δέκτη.

Η ποιότητα της μετάδοσης, δηλαδή ο ρυθμός εμφάνισης σφαλμάτων –BER- για τα συστήματα γενικά και όχι ειδικά για τα ψηφιακά, ποικίλει ανάλογα με το είδος του μέσου μεταφοράς, όπως επίσης και από την ταχύτητα μετάδοσης, όπως αναλύσαμε σε προηγούμενη παράγραφο. Σύμφωνα με αυτή την πληροφορία, εξάγουμε το ακριβέστερο συμπέρασμα πως ο ρυθμός εμφάνισης σφαλμάτων αυξάνει, όσο υψηλότερος είναι ο ρυθμός μετάδοσης.

Αξιοπρόσεκτο είναι επίσης το γεγονός του τρόπου που επιδρά η διάρκεια του θορύβου στα σφάλματα. Όπως γνωρίζουμε, θόρυβος είναι κάθε ανεπιθύμητο σήμα που επηρεάζει και παραμορφώνει το χρήσιμο σήμα της πληροφορίας μας. Στις οπτικές ίνες που ως χαρακτηριστικό τους έχουν το να μην επηρεάζονται από εξωτερικούς θορύβους – όπως ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία- τις καθιστά κατάλληλες για εγκατάσταση σε χώρους με περιβάλλον υψηλού θορύβου. Παρ' όλα αυτά, αν για παράδειγμα δεχθούμε σαν διάρκεια θορύβου το 1 msec και το ρυθμό μετάδοσης στα 50 Gbps, τότε ο θόρυβος αυτός θα καταστρέψει περίπου 20 bit πληροφορίας.

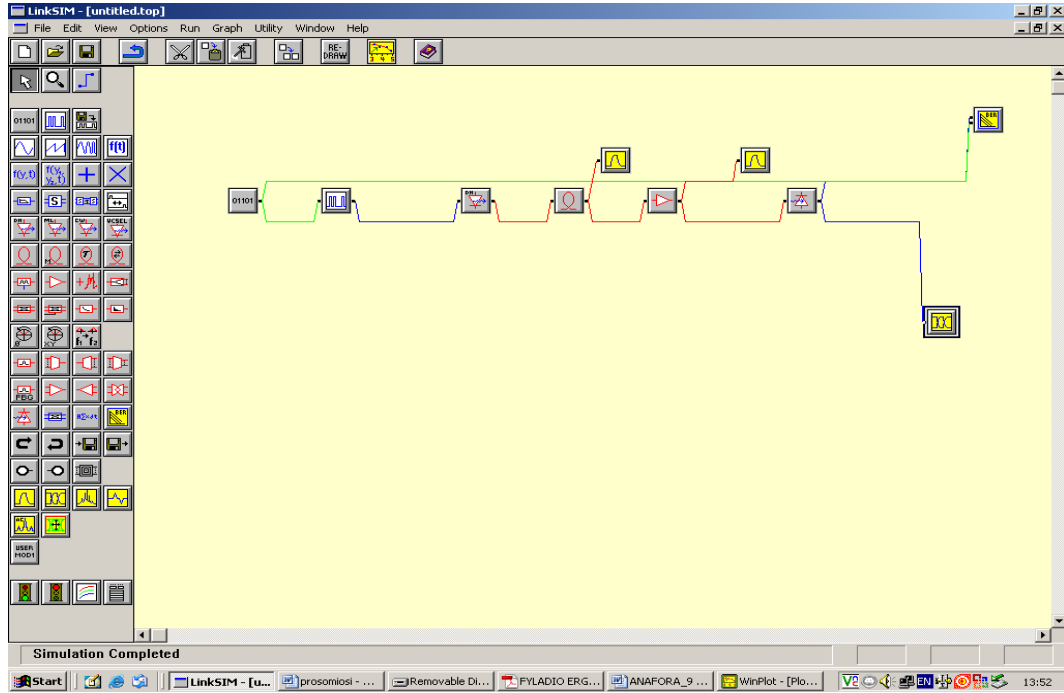
Παρόμοια με προηγούμενως, με την εναλλαγή του κώδικα διαμόρφωσης από NRZ σε RZ και κρατώντας σταθερό το ρυθμό μετάδοσης, παρατηρούμε πως δεν υπάρχει καμιά σημαντική αλλαγή. Για να είμαστε ορθότεροι, όσο αφορά το ρυθμό μετάδοσης των bit, δεν έχουμε αυξήσει την ταχύτητα του μέσου. Δηλαδή δεν ταξιδεύουν με μεγαλύτερη ταχύτητα τα bit. Αυτό που αλλάξαμε, είναι ο ρυθμός με τον οποίον εκπέμπονται αυτά. Επομένως αυξήσαμε την συχνότητα ρυθμού μετάδοσης των δεδομένων.

Αντιλαμβανόμαστε λοιπόν, ότι η αλλαγή του κώδικα διαμόρφωσης δεν έχει καμιά απολύτως ανάμιξη με την εμφάνιση τόσο μεγάλου ρυθμού εμφάνισης σφαλμάτων. Είναι ένα μέγεθος που στις τηλεπικοινωνίες εξαρτάται αποκλειστικά από την συχνότητα του ρυθμού μετάδοσης των bit.

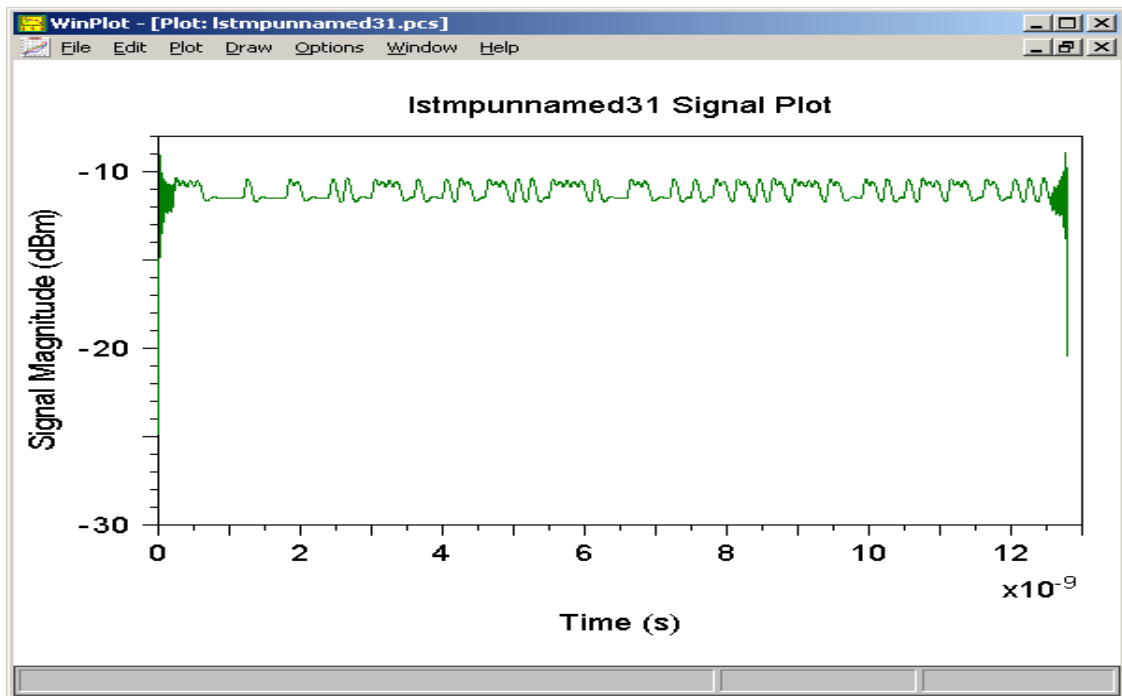
Παρ' όλα αυτά, διακρίνουμε μια μετακίνηση και συγκέντρωση του σήματος σε περιοχές υψηλότερες, με τον κώδικα διαμόρφωσης RZ, σε αντίθεση με τον κώδικα διαμόρφωσης NRZ. Παρατηρούμε ένα διάγραμμα που σε αντίθεση με το προηγούμενο, οι γραμμές που το απαρτίζουν, το καθιστούν πιο πυκνό. Αυτό το γεγονός μπορεί να οφείλεται στον ακόμη μεγαλύτερο θόρυβο που μπορεί να προέκυψε, ή στον ρυθμό εμφάνισης σφαλμάτων, ο οποίος υποβάθμισε σε συνδυασμό με τον κώδικα διαμόρφωσης RZ, την ποιότητα μετάδοσης.

Αξίζει σε αυτό το σημείο να δηλώσουμε μια αντίθεση, σχετικά με όσα έχουν γραφεί για τις οπτικές ίνες. Αν και διαθέτουν μεγάλο εύρος ζώνης συχνοτήτων και μπορούν να επιτύχουν υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, με τους πειραματισμούς που έγιναν, παρατηρήσαμε πως ο ρυθμός εμφάνισης σφαλμάτων, ακόμα και για υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, δεν διατηρείται σε πολύ χαμηλά επίπεδα. Μπορεί να είναι λοιπόν ο καλύτερος σε σχέση με τα άλλα ενσύρματα μέσα μετάδοσης, παρ' όλα αυτά, η τεχνολογία τους χρήζει ακόμη βελτίωσης στα χαρακτηριστικά των οπτικών ινών.

Τώρα κρατώντας τις ίδιες παραμέτρους στα όργανα του δικτύου, αλλάζοντας τον ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων από **50 σε 1Gbps** και ρυθμίζοντας τον κώδικα διαμόρφωσης της γεννήτρια σήματος signal Generator σε **RZ** θα προσθέσουμε ένα οπτικό **ενισχυτή EDFA** με κέρδος 30dB στο άκρο του δέκτη ώστε να αντισταθμίσουμε τις απώλειες που προκαλούνται στην ζεύξη μας και ταυτόχρονα να βελτιώσουμε τη λειτουργία του δικτύου μας. Άρα έχουμε :



Εικόνα 123 : Το γράφημα αλλάζοντας τον ρυθμό μετάδοσης σε 1 Gbps με RZ και ενισχυτή EDFA



Εικόνα 124 : Η ισχύς που έχει το σήμα μας μετά την έξοδο της μονότροπης οπτικής ίνας

Η χρήση μονότροπης ίνας, η φυσιολογία της οποίας διαφέρει από τις πολύτροπης, μπορεί να επιτύχει υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης διανύοντας ακόμη μεγαλύτερες αποστάσεις.

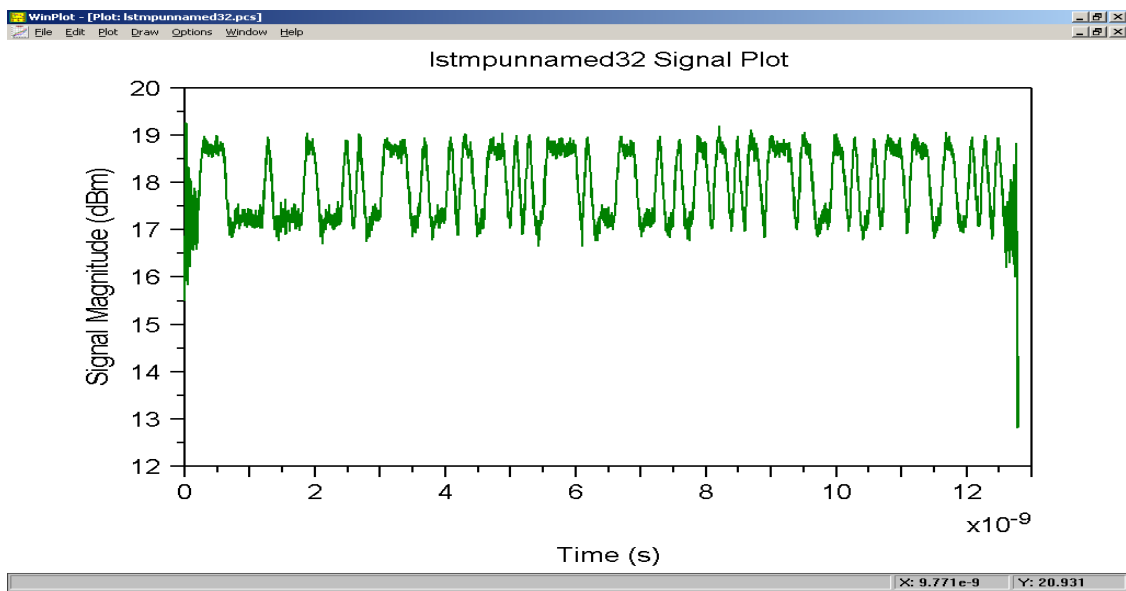
Πριν προχωρήσουμε όμως σε περαιτέρω ανάλυση, ήρθε η στιγμή να εξετάσουμε μια ακόμη παράμετρο του οφθαλμικού διαγράμματος, η οποία καλείται **Signal-to-Noise Ratio**, ή αλλιώς με τα



αρχικά SNR. Όταν ο οφθαλμός είναι «ανοιχτός», αν ενώσουμε με μια νοητή οριζόντια γραμμή τα δυο σημεία που συναποτελούν το μήκος του οφθαλμού και με μια κάθετη τα δυο σημεία που απαρτίζουν το Επίπεδο 0 και το Επίπεδο 1, θα δημιουργηθεί ένα νοητό σταυρόνημα. Το Signal-to-Noise Ratio, υπολογίζεται από την απόσταση, ή αλλιώς τον κενό χώρο που υπάρχει ανάμεσα στο κέντρο του σταυρονήματος και στο σημείου του Επιπέδου 1. Όσο πιο μεγάλος είναι αυτός ο χώρος, τόσο πιο καλό το SNR.

Όπως αναλύσαμε τη διαφορά ανάμεσα οφθαλμικό διάγραμμα με διαμόρφωση NRZ της εικόνας 119 και αυτό της εικόνας 120 με RZ, παρατηρήσαμε πως ο οφθαλμός δεν είναι τόσο «ανοιχτός», όσο στο διάγραμμα της εικόνας 119. Κάτι που καταδεικνύει, σύμφωνα με τα παραπάνω, «φτωχότερο» SNR. Ως αποτέλεσμα, το σύστημα θα έχει την ανάγκη να αυξήσει το επίπεδο σήματος ή να καθαριστεί από τον υπερβολικό θόρυβο, ώστε τελικά να βελτιώσει την τιμή του SNR (δηλαδή πρακτικά με πειραματισμούς, να κάνει μια καλύτερη γραφική παράσταση οφθαλμικού διαγράμματος)

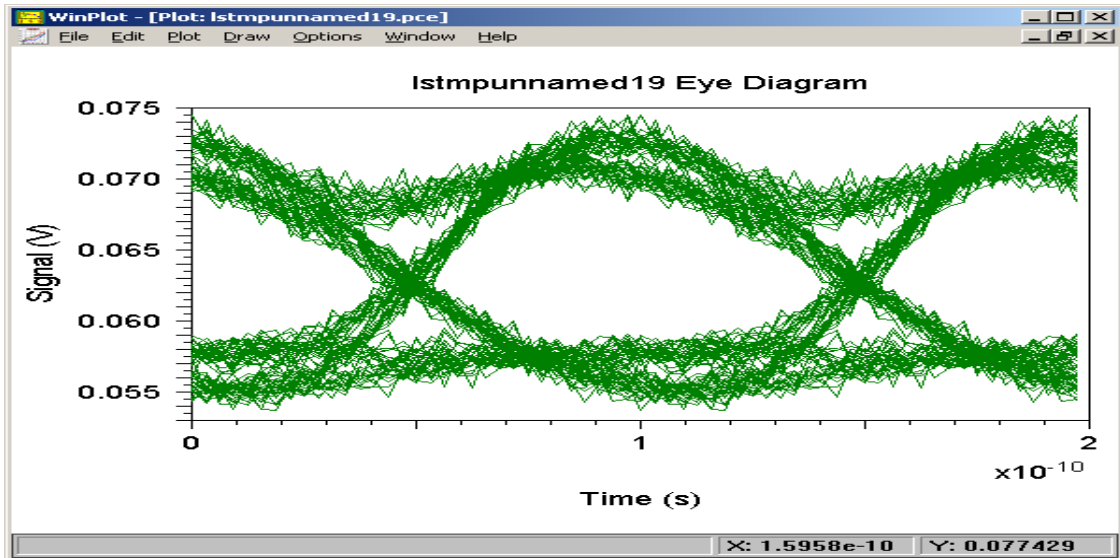
Επειδή όπως προείπαμε η τεχνική RZ είναι η πιο ευπαθής σε θορύβους και λιγότερο αποδεκτή, επομένως στο διάγραμμα παραπάνω, παρατηρούμε το σύστημα να καταβάλει μεγάλες προσπάθειες να αντισταθμίσει τους αρνητικούς παράγοντες, δίχως όμως αποτέλεσμα. Το σήμα παραμένει φτωχό (ποιοτικά και ποσοτικά). Ωςπυ τελικά, να σταματήσει τις προσπάθειες και να «πέσει», όπως φαίνεται στο τέλος του διαγράμματος προσομοίωσης.



Εικόνα 125 : Η ενίσχυση του σήματος μετά από τον οπτικό ενισχυτή

Για να αποφύγουμε, λοιπόν, τις πιθανές απώλειες του σήματός μας, τοποθετήσαμε έναν οπτικό ενισχυτή. Έτσι, μειώσαμε αισθητά τις απώλειες λόγω ζεύξης και την παρουσία θορύβου. Επίσης, μειώσαμε τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων από τα 50Gbps ξανά στο 1Gbps, το οποίο, όπως είδαμε, μόνο προβλήματα δημιουργεί. Το σήμα έχει γίνει πιο καθαρό και πιο δυνατό σε σχέση με πριν.

Η προσπάθεια που καταβάλλει, ιδίως κατά την έναρξη μεταφοράς του σήματος, είναι μικρότερη σε σχέση με την προηγούμενη κατάσταση. Επίσης παρατηρούμε ότι βρίσκεται στις θετικές τιμές του κάθετου άξονα, σε αντίθεση με προηγουμένως. Άρα λοιπόν, το σήμα έγινε πιο δυνατό και πιο καθαρό από πριν. Την καθαρότητα αυτή, θα την κρίνουμε καλύτερα στο οφθαλμικό διάγραμμα παρακάτω.



RUN#	BER
1	6.164173×10^{-56}

Εικόνα 126 : Το οφθαλμικό γράφημα αλλάζοντας τον ρυθμό μετάδοσης σε 1 Gbps με RZ και ενισχυτή EDFA

Πράγματι, σε σχέση με προηγουμένως, το οφθαλμικό διάγραμμα είναι πιο καθαρό, δηλαδή δεν υπάρχει τόσο πάχος στην συγκέντρωση των σημάτων. Πλέον μπορούμε να ξεχωρίσουμε σιγά-σιγά τα δυο κύματα που απαρτίζουν το οφθαλμικό διάγραμμα (και αυτά που ορίζουν τον αριθμό επιπέδων του διαγράμματος). Άρα δεν έχουμε τόσο θόρυβο. Ας μην ξεχνάμε πως βρισκόμαστε στον κώδικα NRZ, πράγμα που σημαίνει πως περιμέναμε αυτό το διάγραμμα να ακολουθεί εκείνο της εικόνας 2, με μια σημαντική διαφορά: Ο οφθαλμός είναι πιο «ανοιχτός» σε σχέση με πριν. Αυτό σημαίνει μεγαλύτερος χώρος από το κέντρο του σταυρονήματος που αναλύσαμε προηγουμένως έως το επίπεδο 1, επομένως καλύτερο Signal-to-Noise Ratio.

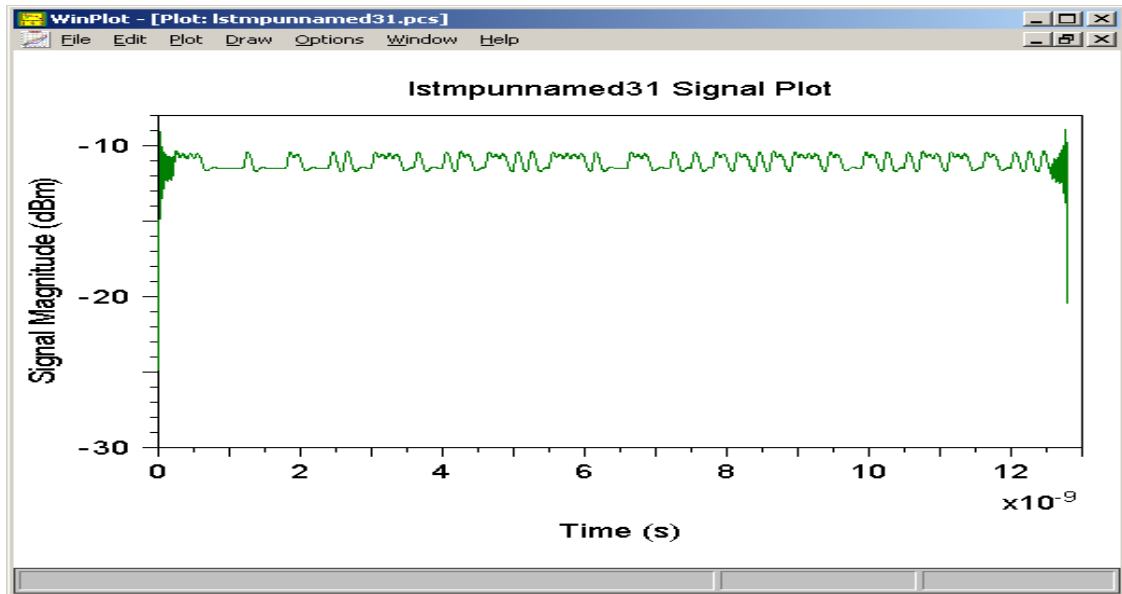
Επίσης, κάτι που πρέπει να παρατηρήσουμε, είναι πως το σχήμα του οφθαλμού δεν είναι τόσο συμμετρικό, τόσο αρμονικό, όσο το είχαμε μελετήσει στην περίπτωση του NRZ της εικόνας 119. Την αρμονικότητα του σχήματος την καθορίζουν τα cross points μεταξύ των κυμάτων. Κατά την διαμόρφωση NRZ τα είδαμε να συμβαίνουν προς το κέντρο του σχήματος, δίδοντάς τα ποσοστιαία τιμή αναγνώρισης ίση με 50%, την οποία ονομάσαμε ιδανική περίπτωση. Εκ των πραγμάτων, δεν περιμέναμε στην διαμόρφωση RZ το σχήμα να είναι αρμονικό. Τα cross points φαίνονται να έχουν μετακινηθεί λίγες θέσεις προς τα κάτω (προς το 25% του crossing percentage), ενώ το ένα σημείο τείνει να συναντήσει το άλλο, κάνοντας τον οφθαλμό να έχει μικρότερο μήκος. Κάτι που μαρτυρεί πως η διάρκεια μετάδοσης του λογικού «1» θα είναι μικρότερη από αυτή του λογικού «0».

Έτσι, ακόμη και το πλάτος του οφθαλμού δεν είναι συμμετρικό, αφού τα σημεία μεταξύ επιπέδου 0 και επιπέδου 1, δεν βρίσκονται στην ίδια ευθεία (πρακτικά αυτό το βλέπουμε καλύτερα στην περίπτωση NRZ, κατά τον σχηματισμό του σταυρονήματος, όπου τα σημεία σχηματίζουν έναν τέλειο σταυρό, με κέντρο το κέντρο του οφθαλμού και ευθείες παράλληλες με τον κάθετο και οριζόντιο άξονα αντίστοιχα).

Τελικά, με την μείωση της συχνότητας εκπομπής bit, μειώσαμε και το BER σε φυσιολογικές τιμές. Τώρα στα 10^{-56} bits που στείλαμε τα 6 στάλισαν λανθασμένα. Η βελτίωση του BER είναι παραπάνω από εμφανής και αυτό οφείλεται στο ότι αλλάξαμε τον ρυθμό δεδομένων από 50 σε 1 Gbps και δεύτερον στην εισαγωγή ενός οπτικού ενισχυτή με κέρδος 30dB στο άκρο του δέκτη.



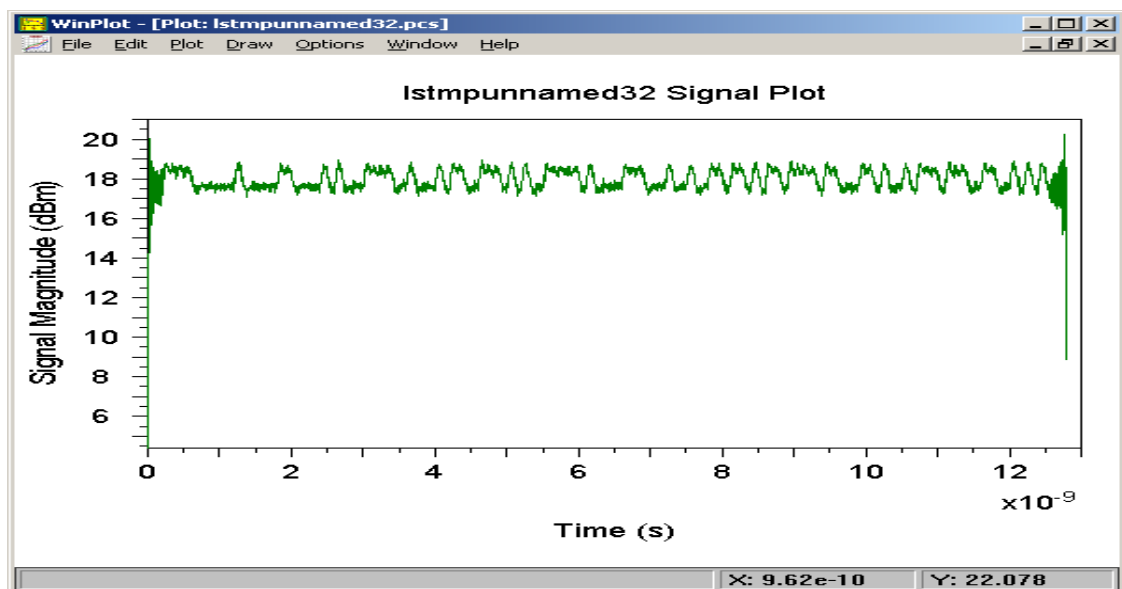
Σε αυτό το στάδιο κρατώντας ίδιο τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 1 Gbps και τις ίδιες ρυθμίσεις στα τμήματα του δικτύου, θα αλλάξουμε τον κώδικα διαμόρφωσης **από RZ σε NRZ**, χρησιμοποιώντας και ένα οπτικό ενισχυτή με κέρδος 30dB στο άκρο του δέκτη. Άρα έχουμε :



Εικόνα 127 : Η ισχύς του σήματος μας χωρίς ενίσχυση

Από το οφθαλμικό διάγραμμα της εικόνας 126, το οποίο είναι πιο καθαρό (δηλαδή σχηματικά λιγότερο παχύ) και απαλλαγμένο από περιττούς θορύβους και ενισχυμένο με τη βοήθεια του οπτικού ενισχυτή, περιμέναμε να δούμε και τα κατάλληλα αποτελέσματα όσο αφορά το σήμα και στα υπόλοιπα διαγράμματα. Πράγματι, Το signal-to-noise ratio του διαγράμματος 126 είναι πιο ανοιχτό, όμως πάλι όχι τόσο αρμονικό και συμμετρικό. Τούτο συμβαίνει εξ' αιτίας του κώδικα διαμόρφωσης που χρησιμοποιήσαμε, ο οποίος είδαμε ότι δεν είναι και ο πλέον κατάλληλος. Αυτός ο κώδικας δεν είναι άλλος από τον RZ.

Στο σχήμα παραπάνω στην εικόνα 127, βλέπουμε την ισχύ του σήματός μας χωρίς ενίσχυση, το οποίο ποιοτικά είναι υποβαθμισμένο, όπως ακριβώς συνέβαινε και στο διάγραμμα της εικόνας 124.



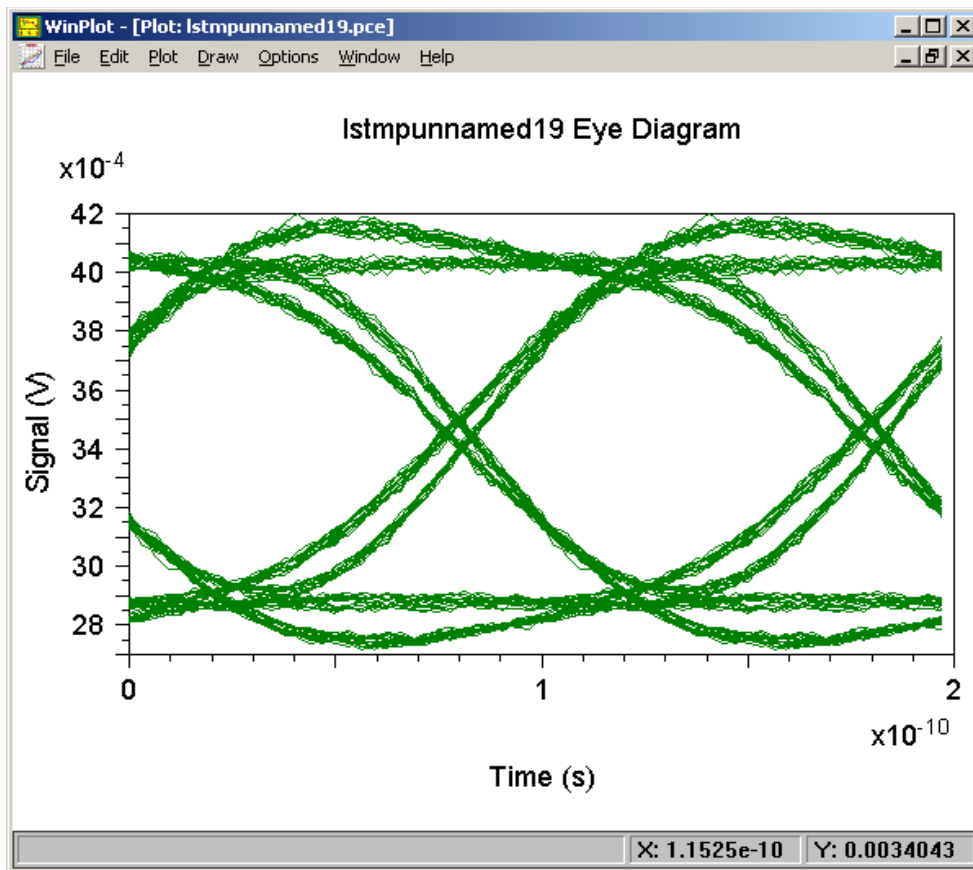
Εικόνα 128 : Η ισχύς του σήματος μετά την ενίσχυση. Η ενίσχυση είναι 10dB.



Αλλάζοντας διαμόρφωση τώρα από RZ σε NRZ, διατηρώντας σταθερές τις υπόλοιπες παραμέτρους, σαφώς το οφθαλμικό διάγραμμα περιμένουμε να είναι πιο καθαρό και συμμετρικό. Από το διάγραμμα της εικόνας 127, διαβλέπουμε πως το σήμα έχει γίνει πιο έντονο λόγω της ενίσχυσης. Απαλλαγμένο από περιττούς θορύβους και ενισχυμένο, οι τιμές της ισχύος παρατηρούμε πως βρίσκονται στο πρώτο τεταρτημόριο (δηλαδή στα θετικά του άξονα συμμετρίας). Έχουμε ένα πιο ποιοτικό σήμα, πιο καθαρό, με τις εναλλαγές των δεδομένων σε ψηφιακό επίπεδο να βαίνουν αρμονικά.

2.6 Προσομοίωση δικτύου με χρήση πολύτροπης ίνας

Αυτή την στιγμή θα επαναλάβουμε την ίδια διαδικασία που κάναμε προηγούμενος, χρησιμοποιώντας τώρα **NRZ** διαμόρφωση με την διάφορα ότι η οπτική ίνα είναι **πολύτροπη** με διάμετρο πυρήνα 62,5μm και μανδύα 125μm, αντί για μονότροπη. Επιπλέον το μήκος κύματος του laser θα είναι 1300nm το μήκος την ίνας θα είναι 10Km, οι απώλειες που θα έχει η ίνα σε αυτό θα είναι 3dB/Km και ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων θα είναι 1Gbps. Επομένως :



RUN#	BER
1	$5.447263 \times 10^{-303}$

Εικόνα 129 : Διάγραμμα οφθαλμού με πολύτροπη ίνα και NRZ διαμόρφωση



Το διάγραμμα κοντεύει κατά πολύ την άριστη τιμή δειγματοληψίας. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρούμε ένα διάγραμμα οφθαλμού, με τον οφθαλμό να παραμένει ανοιχτός στο διάστημα του χρόνου, ανάλογα με την ταχύτητα μετάδοσης των δεδομένων. Επειδή ο αυτός ο ρυθμός μετάδοσης παρέμεινε ίδιος, θα έχουμε το ίδιο Eye width. Σχετικά με τον οφθαλμό, είναι πολύ ανοιχτός, που σημαίνει την κατάλληλη στιγμή για δειγματοληψία. Όπως αναπτύξαμε και σε προηγούμενα διαγράμματα, όσο αυξάνουμε το ρυθμό μετάδοσης, τόσο πιο καθαρό και πιο ανοιχτό μάτι θα έχουμε. Δηλαδή για bandwidth μεγαλύτερο από 1Gbps, θα επιτύχουμε καθαρότερο οφθαλμό και φυσικά καθαρότερο σήμα.

Όσο αναφορά τα Crossing points, δηλαδή τα σημεία τομής των συναρτήσεων που απαρτίζουν το οφθαλμικό διάγραμμα βρίσκονται πολύ κοντά προς το κέντρο του διαγράμματος, δηλαδή η μέτρηση αυτή αγγίζει το 50%, που σημαίνει το άριστο. Όπως αναφέραμε σε προηγούμενες παραγράφους, ο χρόνος δειγματοληψίας βρίσκεται στο μέσο μεταξύ δύο σημείων μηδενισμού. Αν η πληροφορία του ρολογιού παράγεται από τους μηδενισμούς, τότε το ποσό παραμόρφωσης των μηδενισμών δίνει το ποσό του Jitter, δηλαδή τη μεταβολή του ρολογιού.

Ας δούμε λίγο πώς αυτό έχει εφαρμογή στο διάγραμμα. Στα δύο cross points που σχηματίζονται οριζόντια, εάν τραβήξουμε μια νοητή γραμμή και τα ενώσουμε, αυτό το ευθύγραμμο τμήμα μας δίνει το κατώφλι του διαγράμματος. Όσο πιο ευθυγραμμισμένα είναι τα δυο αυτά σημεία (δηλαδή η παραμόρφωση των σημείων μηδενισμού είναι όσο το δυνατόν μηδενική), τόσο πιο ευθυγραμμισμένο θα είναι και το κατώφλι και άρα η μεταβολή του ρολογιού (Jitter) θα είναι πιο ομαλή, αγγίζοντας κατά κάποιον τρόπο την τετραγωνισμένη παλμοκωδική διαμόρφωση.

Ένα άλλο σημείο που αξίζει να αναφερθούμε στο διάγραμμα, είναι στις πολύ λεπτές γραμμές –λεπτότερες από τα μέχρι τώρα διαγράμματα- που αρχίζουν να διαγράφουν καλύτερα όλες τις γραμμές του σήματος. Είχαμε αναφέρει σε προηγούμενα, ότι η παραμόρφωση στο χρόνο δειγματοληψίας, φαίνεται από το πάχος της νοητής γραμμής που σχηματίζεται στο μηδενικό και στο πρώτο επίπεδο. Κατά τα πρώτα διαγράμματα χωρίς τη χρήση κάποιου φίλτρου καθαρισμού, είχαμε πιο παχιές γραμμές, δηλαδή μεγαλύτερο θόρυβο και άρα μεγαλύτερη παραμόρφωση.

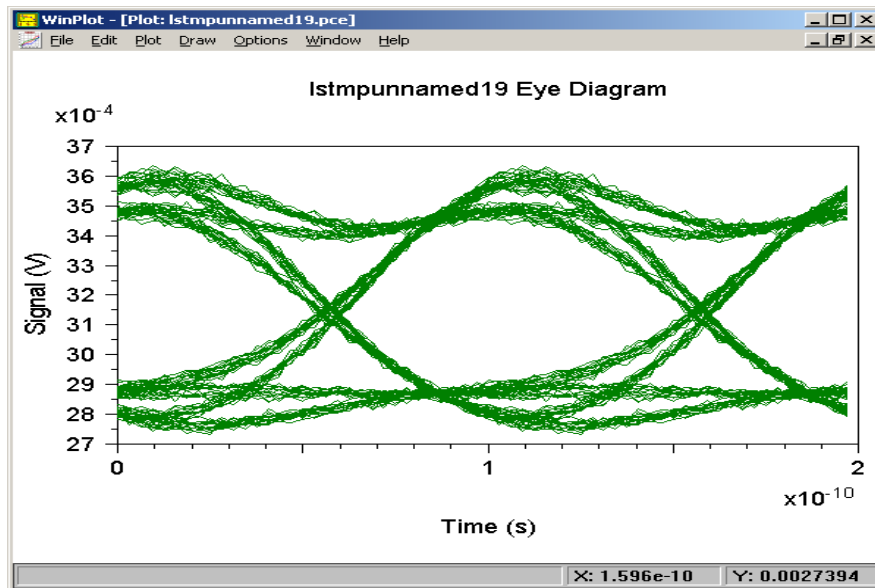
Εδώ τώρα η παραμόρφωση στο χρόνο δειγματοληψίας γίνεται όλο και μικρότερη. Άρα έχουμε καλύτερο και καθαρότερο σήμα. Δηλαδή η τιμή του Signal to noise ratio βρίσκεται σε υψηλά επίπεδα. (Ένας εύκολος τρόπος που δεν εξετάστηκε –τουλάχιστον στα μέχρι τώρα διαγράμματα- είναι η εύρεση του SNR. Εάν η τιμή του είναι μικρότερη μιας τιμής τάξεως περίπου της 3,454, τότε θα περιμένουμε να δούμε ένα φτωχό SNR, με το αντίστοιχο διάγραμμα οφθαλμού)

Συνεχίζοντας την ανάλυση πάνω στις λεπτές γραμμές που πλέον φαίνονται πιο καθαρά στο διάγραμμα, βλέπουμε τελικά ότι τα διαγράμματα οφθαλμού που είχαμε κατά τις πρώτες εικόνες αποτελούνταν από πολλά σήματα που επειδή ήταν λόγω θορύβου πολύ συγκεχυμένα, παχιά και συγκεντρωμένα σε ένα συγκεκριμένο σημείο, έδιναν την εντύπωση ότι επρόκειτο για έναν οφθαλμό. Τώρα παρατηρούμε ότι τελικά λόγω αυτών των γραμμών σχηματίζονται 2 ή περισσότεροι οφθαλμοί μέσα στον οφθαλμό που μελετούμε.

Για τούτο ευθύνεται κυρίως το μέσο μετάδοσης, το οποίο «πειράξαμε» για να προκαλέσει κάποιο φαινόμενο κατά το κλείσιμο του οφθαλμού και το φίλτρο που χρησιμοποιήσαμε, καθώς δεν είναι όλα τα σήματα «well-aligned». Η ευαισθησία του συστήματος στο σφάλμα χρονισμού φαίνεται με την ταχύτητα με την οποία κλείνει ο οφθαλμός καθώς μεταβάλλεται η διάρκεια της δειγματοληψίας.

Στη παραπάνω εικόνα βλέπουμε το διάγραμμα οφθαλμού το οποίο έχει μεγάλο άνοιγμα παρόλο που η ίνα μας είναι πολύτροπη, πράγμα που σημαίνει ότι η ζεύξη μας είναι πολύ καλή αφού υπάρχει ελάχιστος θόρυβος και τα bit διαχωρίζονται στον δέκτη με ευκολία. Επιπλέον στα 10^{-303} bits που μεταδίδονται 6 λαμβάνονται από το δέκτη λάθος.

Σε αυτό το στάδιο κρατώντας ίδιο τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων 1 Gbps την πολύτροπη ίνα και τα ίδια χαρακτηριστικά στο δίκτυο μας, θα αλλάξουμε τον κώδικα διαμόρφωσης από NRZ σε RZ. Άρα έχουμε :



RUN#	BER
1	$2.478030 \text{ e}^{-126}$

Εικόνα 130 : Διάγραμμα οφθαλμού με πολύτροπη ίνα και RZ διαμόρφωση

Εδώ τώρα το διάγραμμα οφθαλμού κλείνει λιγάκι, επειδή η RZ απαιτεί πολλές εναλλαγές μεταξύ των bit 0 και 1 (δηλαδή απαιτεί περισσότερο εύρος ζώνης). Έτσι η διασπορά είναι λιγάκι εμφανές στο σήμα μας. Επιπλέον, στα 10^{-126} bits που στέλνει ο πομπός στον δέκτη μόνο 3 δεν μπορεί να ανακτήσει σωστά το κύκλωμα του δέκτη.

Για ακόμη μια φορά φαίνεται και διαγραμματικά το πόσο υστερεί η μέθοδος RZ έναντι της NRZ. Οι γραμμές μπορεί να είναι λεπτές όπως πριν λόγω του φίλτρου που χρησιμοποιούμε, αλλά επάνω βλέπουμε να υπάρχει μεγάλη διασπορά στα σήματα σε σχέση με πριν. Για να γίνουμε πιο συγκεκριμένοι, θα μιλήσουμε με τις μέτρα (Measurements) που αναλύσαμε σε αυτές εδώ τις σελίδες.

Eye Amplitude: «Με το μάτι» διακρίνουμε ότι ο οφθαλμός δεν είναι πολύ αρμονικός σε σχέση με τον προηγούμενο. Δηλαδή, το ολικό μέγιστο της μιας συνάρτησης δεν αγγίζεται την ίδια χρονική στιγμή που η δεύτερη ημιτονοειδής συνάρτηση αγγίζει το ολικό ελάχιστο (Επίπεδα 1 και 0 αντίστοιχα). Επομένως το νοητό ευθύγραμμο τμήμα που ενώνει τα δυο επίπεδα δεν είναι κάθετο.

Eye Crossing Amplitude: Αυτή η μέτρηση είναι η ίδια με προηγουμένως. Καθώς τα Cross points δεν άλλαξαν θέση –αφού δεν άλλαξε ο ρυθμός μετάδοσης του μέσου– επομένως είναι ευθυγραμμισμένα.

Eye Crossing Percentage: Επομένως, αφού η απόσταση των σημείων δεν άλλαξε, το Eye Crossing Percentage θα είναι όσο με προηγουμένως

Eye Height: Ο οφθαλμός είναι όσο ανοιχτός ήταν και στην προηγούμενη εικόνα, με τα cross points κοντά στο μέσο του γραφήματος και τον οφθαλμό να αγγίζει το ποσοστό 50%.

Eye Level: Αφού το ύψος του οφθαλμού είναι ίδιο με του προηγούμενου γραφήματος, τότε και αυτό το γράφημα θα παίρνει τα ίδια μέγιστα και ελάχιστα με πριν.

Eye SNR: Αφού ο οφθαλμός έχει το ίδιο άνοιγμα με την προηγούμενη εικόνα, άρα και το SNR θα παραμείνει το ίδιο. Αναφέραμε σε προηγούμενα πως όσο μεγαλύτερο το άνοιγμα του οφθαλμού, τόσο καλύτερο είναι το SNR

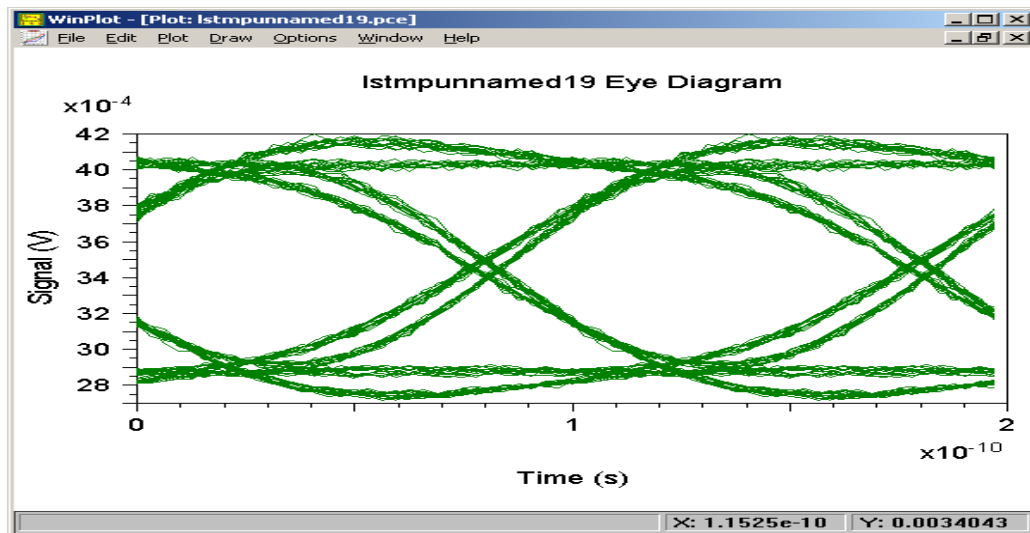


Ας ρίξουμε τώρα μια ματιά στις μετρήσεις που αφορούν το χρόνο (Time measurements)

Deterministic Jitter: Αυτή η μέτρηση αφορά το Jitter που αναφέραμε στην εικόνα 130. Ονομάζεται Ντετερμινιστικό Jitter, καθώς είναι αυτό που ορίζεται (determine = ορίζω, καθορίζω) από τους παλμούς του ρολογιού του υπολογιστή. Επειδή οι διαδοχικοί μηδενισμοί είναι στην ίδια χρονική περίοδο, δηλαδή τα crossing points είναι ευθυγραμμισμένα όπως προηγουμένως, το jitter θα παραμείνει ίδιο.

Eye Delay: Όταν μιλήσαμε για την μέτρηση SNR, είπαμε πως βρίσκεται μέσα από τα νοητά ευθύγραμμα τμήματα που ενώνουν τα 2 επίπεδα και τα δυο crossing points μεταξύ τους. Εκεί λοιπόν, στο μέσο του οφθαλμού, σχηματίζεται ένα σταυρόνημα, που ουσιαστικά ορίζει το κέντρο του οφθαλμού. Έτσι λοιπόν για να μετρήσουμε την καθυστέρηση του οφθαλμού στο μέτρο του χρόνου, μετρούμε την χρονική απόσταση μεταξύ του σημείου 0 και του μέσου του οφθαλμού. Για ένα συμμετρικό σήμα, αυτή η μέτρηση είναι ένα καλό σημείο αναφοράς δειγματοληψίας.

Για το γράφημα που μελετούμε, η καθυστέρηση οφθαλμού είναι περίπου 1,1 δευτερόλεπτα.



Εικόνα 131 : Διάγραμμα οφθαλμού με πολύτροπη ίνα και RZ διαμόρφωση

Το διάγραμμα κοντεύει κατά πολύ την άριστη τιμή δειγματοληψίας. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρούμε ένα διάγραμμα οφθαλμού, με τον οφθαλμό να παραμένει ανοιχτός στο διάστημα του χρόνου, ανάλογα με την ταχύτητα μετάδοσης των δεδομένων. Επειδή ο αυτός ο ρυθμός μετάδοσης παρέμεινε ίδιος, θα έχουμε το ίδιο Eye width.

Σχετικά με τον οφθαλμό, είναι πολύ ανοιχτός, που σημαίνει την κατάλληλη στιγμή για δειγματοληψία. Όπως αναπτύξαμε και σε προηγούμενα διαγράμματα, όσο αυξάνουμε το ρυθμό μετάδοσης, τόσο πιο καθαρό και πιο ανοιχτό μάτι θα έχουμε. Δηλαδή για bandwidth μεγαλύτερο από 1 Gbps, θα επιτύχουμε καθαρότερο οφθαλμό και φυσικά καθαρότερο σήμα.

Όσο αναφορά τα Crossing points, δηλαδή τα σημεία τομής των συναρτήσεων που απαρτίζουν το οφθαλμικό διάγραμμα βρίσκονται πολύ κοντά προς το κέντρο του διαγράμματος, δηλαδή η μέτρηση αυτή αγγίζει το 50%, που σημαίνει το άριστο. Όπως αναφέραμε σε προηγούμενες παραγράφους, ο χρόνος δειγματοληψίας βρίσκεται στο μέσο μεταξύ δύο σημείων μηδενισμού. Αν η πληροφορία του ρολογιού παράγεται από τους μηδενισμούς, τότε το ποσό παραμόρφωσης των μηδενισμών δίνει το ποσό του Jitter, δηλαδή τη μεταβολή του ρολογιού.



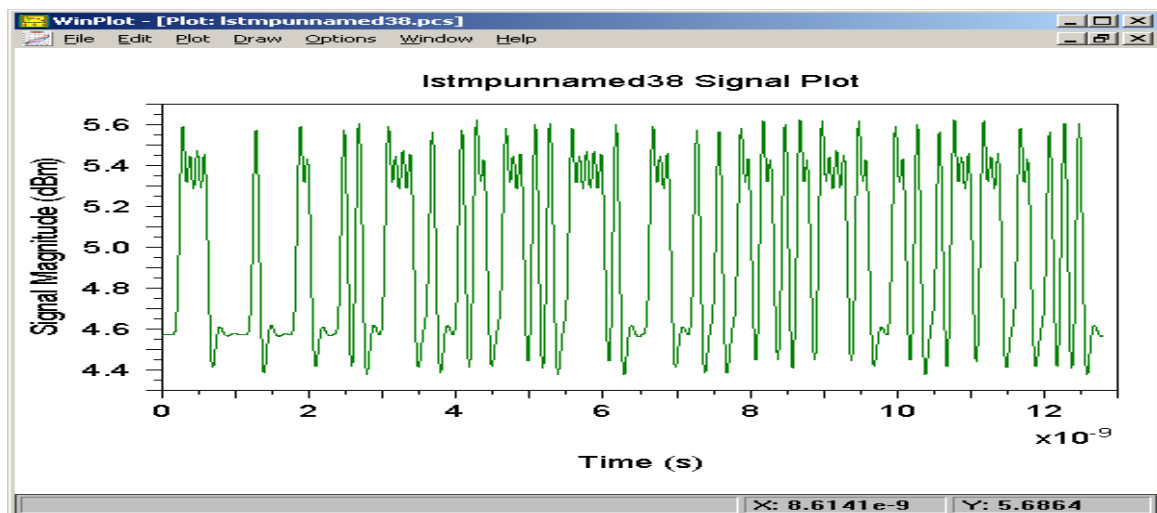
Ας δούμε λίγο πώς αυτό έχει εφαρμογή στο διάγραμμα. Στα δύο cross points που σχηματίζονται οριζόντια, εάν τραβήξουμε μια νοητή γραμμή και τα ενώσουμε, αυτό το ευθύγραμμο τμήμα μας δίνει το κατώφλι του διαγράμματος. Όσο πιο ευθυγραμμισμένα είναι τα δυο αυτά σημεία (δηλαδή η παραμόρφωση των σημείων μηδενισμού είναι όσο το δυνατόν μηδενική), τόσο πιο ευθυγραμμισμένο θα είναι και το κατώφλι και άρα η μεταβολή του ρολογιού (Jitter) θα είναι πιο ομαλή, αγγίζοντας κατά κάποιον τρόπο την τετραγωνισμένη παλμοκωδική διαμόρφωση.

Ένα άλλο σημείο που αξίζει να αναφερθούμε στο διάγραμμα, είναι στις πολύ λεπτές γραμμές –λεπτότερες από τα μέχρι τώρα διαγράμματα- που αρχίζουν να διαγράφουν καλύτερα όλες τις γραμμές του σήματος. Είχαμε αναφέρει σε προηγούμενα, ότι η παραμόρφωση στο χρόνο δειγματοληψίας, φαίνεται από το πάχος της νοητής γραμμής που σχηματίζεται στο μηδενικό και στο πρώτο επίπεδο. Κατά τα πρώτα διαγράμματα χωρίς τη χρήση κάποιου φίλτρου καθαρισμού, είχαμε πιο παχιές γραμμές, δηλαδή μεγαλύτερο θόρυβο και άρα μεγαλύτερη παραμόρφωση.

Εδώ τώρα η παραμόρφωση στο χρόνο δειγματοληψίας γίνεται όλο και μικρότερη. Άρα έχουμε καλύτερο και καθαρότερο σήμα. Δηλαδή η τιμή του Signal to noise ratio βρίσκεται σε υψηλά επίπεδα. (Ένας εύκολος τρόπος που δεν εξετάστηκε –τουλάχιστον στα μέχρι τώρα διαγράμματα- είναι η εύρεση του SNR. Εάν η τιμή του είναι μικρότερη μιας τιμής τάξεως περίπου της 3,454, τότε θα περιμένουμε να δούμε ένα φτωχό SNR, με το αντίστοιχο διάγραμμα οφθαλμού)

Συνεχίζοντας την ανάλυση πάνω στις λεπτές γραμμές που πλέον φαίνονται πιο καθαρά στο διάγραμμα, βλέπουμε τελικά ότι τα διαγράμματα οφθαλμού που είχαμε κατά τις πρώτες εικόνες αποτελούνταν από πολλά σήματα που επειδή ήταν λόγω θορύβου πολύ συγκεχυμένα, παχιά και συγκεντρωμένα σε ένα συγκεκριμένο σημείο, έδιναν την εντύπωση ότι επρόκειτο για έναν οφθαλμό. Τώρα παρατηρούμε ότι τελικά λόγω αυτών των γραμμών σχηματίζονται 2 ή περισσότεροι οφθαλμοί μέσα στον οφθαλμό που μελετούμε.

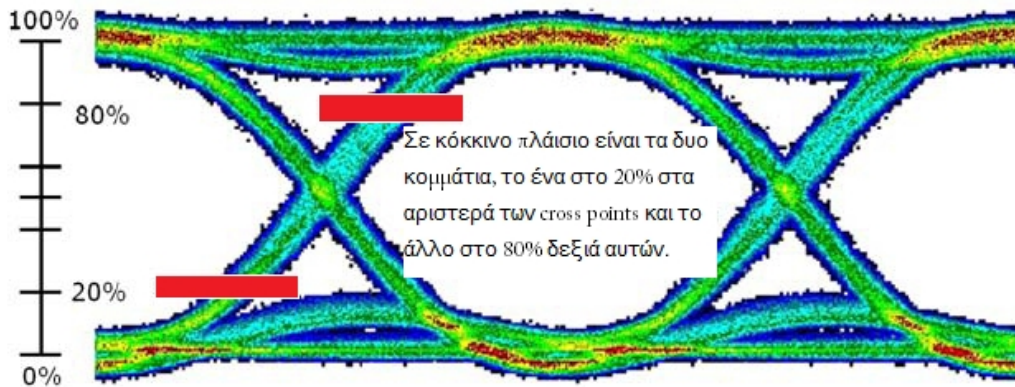
Για τούτο ευθύνεται κυρίως το μέσο μετάδοσης, το οποίο «πειράξαμε» για να προκαλέσει κάποιο φαινόμενο κατά το κλείσιμο του οφθαλμού και το φίλτρο που χρησιμοποιήσαμε, καθώς δεν είναι όλα τα σήματα «well-aligned». Η ευαισθησία του συστήματος στο σφάλμα χρονισμού φαίνεται με την ταχύτητα με την οποία κλείνει ο οφθαλμός καθώς μεταβάλλεται η διάρκεια της δειγματοληψίας.



Εικόνα 132 : Η ισχύς του σήματος μετά την ενίσχυση



Για να αναλύσουμε αυτό το διάγραμμα, πρέπει να μιλήσουμε για άλλα δυο πολύ σημαντικά μεγέθη του γραφήματος οφθαλμού: τα Eye Fall Time και Eye Rise Time. Για να εξηγηθούν καλύτερα, θέτουμε σε αντιπαράθεση το παρακάτω γράφημα



Εικόνα 133 : Διάγραμμα οφθαλμού για το Eye Rise Time

Rise Time: Είναι ένα μέτρο του μέσου μετάδοσης δεδομένων, «κοιτάζοντας» προς τα άνω μέρη του οφθαλμού (θα λέγαμε όπως «το μάτι σηκώνεται» ή ανοίγει). Για να είμαστε πιο ακριβείς, με αυτό το μέτρο μετρούμε το χρόνο που χρειάζεται για να ολοκληρωθεί η ημιτονοειδής συνάρτηση που αποτελεί το μισό μάτι (στο σχήμα παραπάνω αυτή που έχει ολικό μέγιστο προς την τιμή 0.072).

Για παράδειγμα, για να μετρήσουμε το 20%-80% του rise time, αρκεί να μετρήσουμε δυο σημεία, ή καλύτερα δυο μικρά οριζόντια «κομμάτια» της γραφικής παράστασης (διότι η γραφική μας παράσταση δεν αποτελείται μόνο από μια γραμμή –ένα σήμα- αλλά από πολλά), τα οποία έχουμε τοποθετήσει το ένα στο 20% του επιπέδου που βρίσκεται στα αριστερά του σημείου που διασταυρώνονται οι 2 ημιτονοειδείς συναρτήσεις με διαφορά φάσης 90°. Με άλλα λόγια, το 20% στα αριστερά των cross points. Αναλόγως, το επόμενο κομμάτι το λαμβάνουμε μέσω δειγματοληψίας (sampling) στο 80% στα δεξιά των cross points.

Πληροφοριακά, ο τύπος που υπολογίζεται το Rise Time είναι:

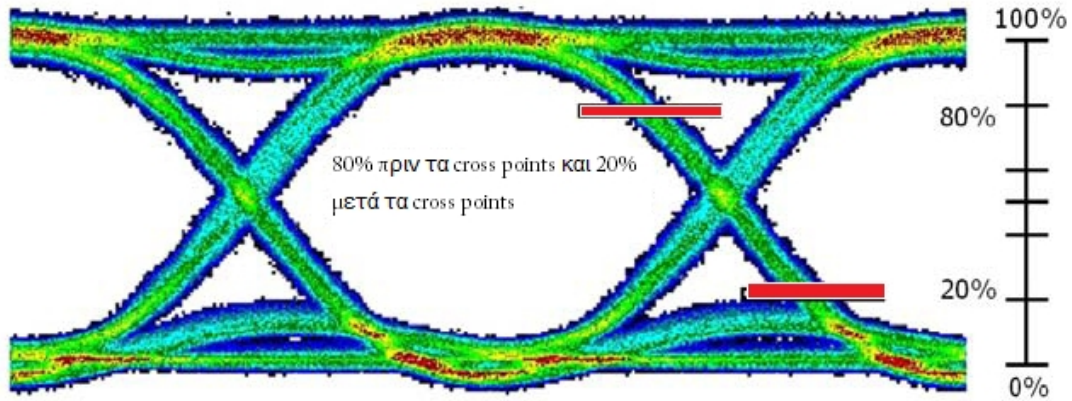
$\text{Rise Time} = \text{mean}(80\% \text{ του χρόνου}) - \text{mean}(20\% \text{ του χρόνου})$, όπου εδώ χρόνο εννοούμε στον άξονα του χρόνου που τοποθετήθηκε το κομμάτι δειγματοληψίας.

Fall Time: Υπολογίζεται με παρόμοιο τρόπο όπως το Rise Time, αυτή τη φορά όμως κατά την κάθοδο του οφθαλμού. Οι χρονικές στιγμές που κάνουμε την δειγματοληψία (τα «κομμάτια» μας δηλαδή) τοποθετούνται ακριβώς όπως και πριν (το 80% να βρίσκεται στα άνω μέρη του οφθαλμού και το 20% να ακολουθεί μετά τα cross points).

Υπολογίζεται όπως και πριν,

$\text{Rise Time} = \text{mean}(20\% \text{ του χρόνου}) - \text{mean}(80\% \text{ του χρόνου})$.

Παραθέτουμε και εδώ το απαραίτητο διάγραμμα, ώστε να φανούν και στην πράξη αυτά που λέμε



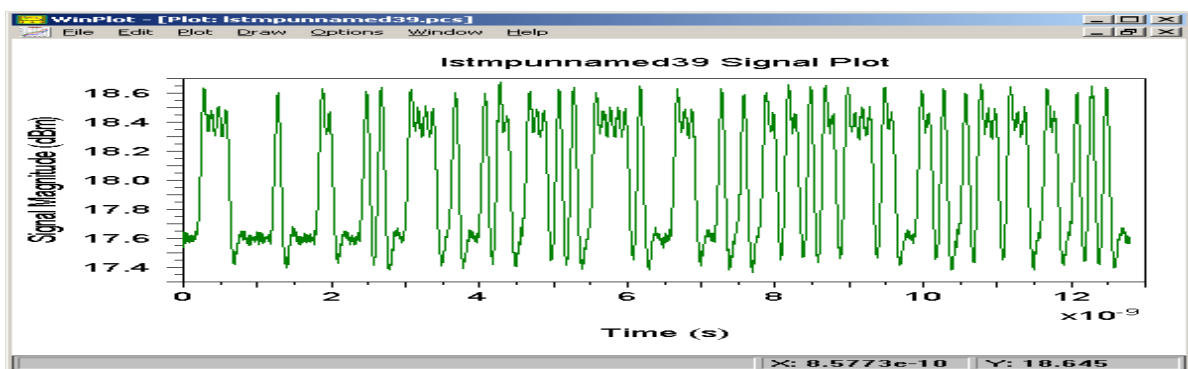
Εικόνα 134 : Διάγραμμα οφθαλμού για το Eye Fall Time

Αφού αναπτύξαμε τους δυο ορισμούς, θα δούμε τώρα πώς αυτοί συνδέονται με το διάγραμμα της εικόνας 131.

Ουσιαστικά, αυτός ο χρόνος που μετράμε, τοποθετώντας αυτά τα κομμάτια, είναι για να δούμε στη μονάδα του χρόνου για πόσο έχουμε αποστολή δεδομένων (rise time –το σημείο 1) και πόσο μη αποστολή (fall time –σημείο 0). Με άλλα λόγια, μετρούμε την μεταβολή του ρολογιού (Jitter). Το jitter λόγω θορύβου, επηρεάζεται κατά πολύ. Μέσα στα κομμάτια που λαμβάνουμε, λαμβάνουμε επίσης και το μέγεθος του θορύβου που δημιουργείται κατά την μετάδοση των δεδομένων. Έτσι, στις φάσεις όπου εμφανίζονται στο διάγραμμα 132 διαδοχικές κορυφές, έχουμε μια περίοδο αποστολής δεδομένων.

Στα σημεία ανάμεσα σε δυο διαδοχικές κορυφές, όπου βλέπουμε την γραμμή να «πέφτει» προς κάποια χαμηλότερη τιμή, περίπου στο μέσο αυτής της πτωτικής γραμμής, έχουμε ένα cross point, το οποίο καταλήγει την χρονική στιγμή που αρχίζει και πάλι η γραμμή να παίρνει ανοδική πορεία. Έτσι από το σχήμα μπορούμε να διακρίνουμε μια διαφορά στο ρυθμό «ανοιγοκλεισίματος» του οφθαλμού, ιδίως κατά τις χρονικές περιπτώσεις από 6 δευτερόλεπτα και μετά.

Για να εξαλειφθεί πλήρως ο θόρυβος, χρειάζεται να ακολουθήσουμε μια διαδικασία εξάλειψης θορύβου, που ονομάζεται Jitter Hysteresis.



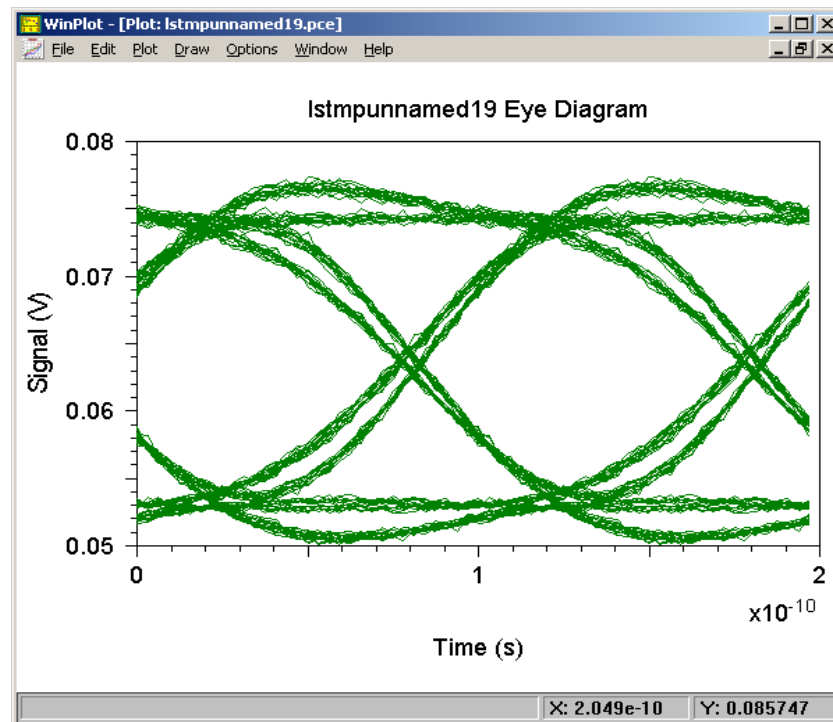
Εικόνα 135 : Η ισχύς του σήματος μετά την ενίσχυση. Η ενίσχυση είναι 5,6dB

Σε αυτή την εικόνα παρατηρούμε την ισχύ του σήματος μετά την ενίσχυση των 5,6dB. Παρατηρούμε σε αντίθεση με την προηγούμενη εικόνα ότι έχουμε μια αύξηση τιμών στον άξονα που αντιπροσωπεύει την ισχύ του σήματος (signal magnitude). Πράγματι, σε αντιπαράβολή με την εικόνα



132, οι τιμές του σήματος ενισχύθηκαν –μιλώντας για την μέγιστη τιμή ισχύος- από 5,6 σε 16,6. Δηλαδή μια αύξηση της τάξης των 11dB.

Όσο αφορά τις υπόλοιπες ιδιότητες που εξετάσαμε προηγουμένως, όλα τα υπόλοιπα παραμένουν ως έχουν, σχετικά με την καθυστέρηση οφθαλμού, rise time, fall time κλπ. Στις ίδιες χρονικές περιόδους που ελάμβαναν χώρα τα παραπάνω γεγονότα, λαμβάνουν χώρα και τώρα. Πράγμα πολύ λογικό, αφού δεν επηρέασαμε καθόλου το προς μετάδοση σήμα (μέσω αύξησης broadband κλπ). Απλώς αυξήσαμε την έντασή του.



RUN#	BER
1	1.720663 e-284

Εικόνα 136 : Διάγραμμα οφθαλμού με RZ διαμόρφωση

Εάν τώρα διατηρήσουμε τις ίδιες ρυθμίσεις με προηγουμένως και αλλάξουμε τον τύπο διαμόρφωσης από RZ σε NRZ, παρατηρούμε ότι το σήμα μας σε σχέση με τα διαγράμματα των εικόνων 130 και 131 είναι σαφώς καλύτερο, δυνατότερο και καθαρότερο. Οι γραμμές που συναποτελούν το διάγραμμα οφθαλμού είναι λεπτές, ευδιάκριτες, απαλλαγμένες από περιττούς θορύβους (και με την ενίσχυση κατά 5dB ακόμη καλύτερα).

Όσο αφορά την τιμή του BER, βλέπουμε ότι σε σχέση με τα προηγούμενα έχει μειωθεί σημαντικά (αναφέρουμε μονάχα τις τιμές BER των διαγραμμάτων των εικόνων 130 και 131 - 2.478030 e-126 και 6.225842 e-118 αντίστοιχα). Άρα λοιπόν έχουμε λιγότερα σφάλματα κατά την μεταφορά, για τον συγκεκριμένο ρυθμό μετάδοσης.

Επομένως λοιπόν και η τιμές του μεγέθους ISI βρίσκονται σε χαμηλά επίπεδα και με τη χρήση περαιτέρω φίλτρων, επιτυγχάνουμε μεγαλύτερη απόδοση του δικτύου.



Συμπερασματικά, αξίζει να σταθούμε στα πιο βασικά σημεία της πειραματικής μας έρευνας, τονίζοντας τα προτερήματα, αλλά και τα μειονεκτήματά τους έναντι κάποιων άλλων.

2.7 Συμπεράσματα

Στο πρώτο τμήμα του πειραματικού μέρους της πτυχιακής με την χρήση της πλακέτας του εργαστηρίου μελετήσαμε τα χαρακτηριστικά (εξασθένιση, απώλειες) των οπτικών ινών. Συγκεκριμένα παρατηρήσαμε ότι καθώς το μήκος μιας οπτικής ίνας αυξάνεται η ισχύς του μεταδιδόμενου σήματος μειώνεται. Επιπλέον παρατηρήσαμε ότι ανάλογα το μήκος κύματος εκπομπής του led (κόκκινο, πράσινο, μωβ) οι απώλειες που προκαλούνταν στην ισχύ του σήματος διέφεραν. Τέλος, παρατηρήσαμε ότι η τάση του σήματος μειώνεται καθώς η οπτική ίνα υπόκειται σε καμπυλότητες.

Στο δεύτερο τμήμα του πειραματικού μέρους της πτυχιακής με την χρήση ενός προγράμματος προσομοίωσης οπτικών δικτύων (LINKSIM) δημιουργήσαμε και τροποποιήσαμε ένα οπτικό δίκτυο συμφώνα με τις παραμέτρους των πραγματικών δικτύων. Γενικά, αυτό που επιθυμούμε από την μετάδοση ενός σήματος, είναι αυτό να μεταφέρεται γρήγορα, δυνατά και καθαρά. Η ταχύτητα μετάδοσης, για τις πολύτροπες και μονότροπες ίνες που εξετάσαμε και πειραματικά, είναι λίγο-πολύ καθορισμένη μέσα σε ένα συγκεκριμένο πλαίσιο.

Η εξάλειψη του θορύβου από την άλλη πλευρά, είναι μια χρονοβόρα και επίπονη πολλές φορές διαδικασία, που χρειάζεται πολλαπλούς πειραματισμούς σε ένα σεβαστό πλήθος στοιχείων. Η απόσταση, το περιβάλλον, τα φυσικά χαρακτηριστικά του μέσου, είναι μερικές από τις πολυάριθμες παραμέτρους που πρέπει να συνδυαστούν μεταξύ τους σε συγκεκριμένες αναλογίες. Η παραμόρφωση του σήματος κατά τη διάρκεια μεταφοράς του, καθιστά το σήμα ανίκανο στο να το λάβει ο παραλήπτης σωστά. Άρα, καθιστά το σήμα και την πληροφορία που μεταφέρει αναποτελεσματικά. Ο θόρυβος μαζί με την παραμόρφωση σήματος, είναι οι παχιές γραμμές που εμφανίζονται στα διαγράμματα οφθαλμού.

Μέσα από την έρευνα, καταλήξαμε στο ότι η NRZ είναι από τις διαμορφώσεις που έχει την καλύτερη συμπεριφορά απέναντι στο θόρυβο, πράγμα που την καθιστά ως επί το πλείστον κατάλληλη για εφαρμογές επάνω στη μετάδοση μέσω οπτικών ινών. Σε αντίθεση με την απλή RZ, η οποία κατά τα πειράματα εμφάνισε μειωμένη ανοχή στο θόρυβο, λόγω του φαινομένου υψηλού αρμονικού περιεχομένου. Παρ' όλα αυτά είναι απλοί στη χρήση τους. Αυξάνοντας τώρα τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, αυξήθηκε και για τις δυο μεθόδους που μελετήσαμε το όριο εμφάνισης λαθών στις σειρές των bit πληροφορίας. Επομένως είναι ένα μέγεθος, το οποίο παραμένει ίδιο και στις δυο περιπτώσεις. Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, η ταχύτητα μετάδοσης για τις πολύτροπες και μονότροπες ίνες είναι καθορισμένη.

Στην προσπάθειά μας να καλυτερεύσουμε το σήμα, χρησιμοποιήθηκαν φίλτρα, τα οποία έδειξαν καλύτερη συμπεριφορά για χαμηλό εύρος ζώνης στην μέθοδο NRZ. Σε συνδυασμό πάντα με ένα καλό Signal to noise ratio, το οποίο αποδίδει καλύτερο σήμα.

Αναφορικά με το είδος της ίνας που χρησιμοποιούμε, είδαμε ότι η χρήση μονότροπης ίνας λόγω της φυσιολογίας της μπορεί να επιτύχει υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης διανύοντας ακόμη μεγαλύτερες αποστάσεις. Πράγμα πολύ φυσικό, αφού έχουμε μόνο ένα μήκος κύματος και η διάμετρος της ίνας είναι ίση με αυτό. Άρα σαν καλύτερη λύση προτείνεται η χρήση μονότροπης ίνας, με εύρος ζώνης έως 2Gbps και χρήση NRZ. Η διαμόρφωση RZ είναι εντελώς άσκοπη διότι είναι χρονοβόρα και θα σπαταλήσει πολύ εύρος ζώνης για την μεταφορά των δεδομένων.



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]. Agrawal, G.P. Fiber-Optic Communications Systems (3ed), Wiley, 2002.
- [2]. John Crisp – Barry Elliott, “Introduction to Fiber Optics, Third Edition”, 2005.
- [3]. Jeff Hecht, “Understanding Fiber Optics”, 2005.
- [4]. Jim Hayes, “Εγχειρίδιο Οπτικών Ινών”, Εκδόσεις Ίων, 1999.
- [5]. Green, “Δίκτυα Οπτικών Ινών”, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 1993.
- [6]. Wiley - Broadband Optical Access Networks and Fiber to the Home, 2006.
- [7]. R.P.Khare, “Fiber Optics and Optoelectronics”, 2004.
- [8]. Rajiv Ramaswami, “Optical Networks : A Practical Perspective”, 1998.
- [9]. I. S. Halkiadis, N. G. Theofanou, D. A. Greaves, “A high-voltage low-cost wide-band fiber optic transmission system with improved linearity”, Electric Power System Research, no.37, pp. 121-128, 1996.
- [10]. Andrew S. Tanenbaum, Βασίλης Στυλιανάκης μετ. "Δίκτυα Υπολογιστών" 3η Έκδοση.
- [11]. Uyles Black, Optical Networks, Third Generation Transport Systems, Prentice Hall, 2002.
- [12]. http://www.lucarte.gr/uplds/14_10-2004.pdf, Accessed on 2/2/2010, Κώστα Μαθιό, “Φωτισμός με οπτικές ίνες” Εκδόσεις περιοδικό Ελληνικές κατασκευές, 2004..
- [13]. Duwayne R. Anderson- Larry Johnson- Florian G. Bell, Ph.D. (2^η έκδοση).
- [14]. ΔΙΚΤΥΑ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ, Δημήτρης Ψυχουδάκης, 1998
- [15]. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΝΕΑΣ ΓΕΝΙΑΣ, Νικόλαος Γαλανάκης.
- [16]. ΕΙΔΙΚΟ ΤΕΥΧΟΣ ΔΗΜΟΠΡΑΤΗΣΗΣ «ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΕΚΤΟΣ ΚΤΙΡΙΩΝ» (ΕΤΔΕΚ).
- [17]. Roger L. Freeman, Fiber Optic Systems for Telecommunications, John Wiley and Sons, New York, 2002.
- [18]. Gunther Mahlke and Peter Gossing, Fiber Optic Cables, 4th Ed., Publicis MCD, 2001.
- [19]. Rajiv Ramaswami and Kumar N. Sivarajan, Optical Networks, A Practical Perspective, 2nd Ed., Morgan Kaufmann, 2002.
- [20]. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ ΣΕ ΓΡΑΜΜΕΣ ΥΨΗΛΗΣ ΤΑΣΗΣ-ΔΟΚΙΜΕΣ-ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ, ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΨΗΛΩΝ ΤΑΣΕΩΝ, www.hvlab.ee.upatras.gr
- [21]. Leo Setian, Applications in Electro-Optics, Prentice Hall, 2002.
- [22]. BICSI Telecommunications Cabling Installation, 2nd Ed., McGraw-Hill, 2002.
- [23]. Corning Cable Systems, Design Guide, Release 4, 2002.
- [24]. Other telecommunications standards from Telcordia, ITU, IEEE, ANSI, EIA, and TIA (see <http://global.ihs.com/>)
- [25]. Thomas M. Shoemaker and James E. Mack, The Lineman’s and Cableman’s Handbook, McGraw-Hill, 2002.
- [26]. Recommended Practices for Optical Fiber Construction and Testing, 2nd Ed., SCTE (Society of Cable Telecommunications Engineers), 2001.
- [27]. Bob Chomycz, Fiber Optic Installer’s Field Manual, McGraw-Hill, 2000.
- [28]. Djafar K. Mynbaev and Lowell L. Scheiner, Fiber-Optic Communications Technology, PrenticeHall, 2001.



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ : Περίληψη Πτυχιακής Εργασίας

Ενα από τα σημαντικότερα ζητήματα στον τομέα των δικτύων τα τελευταία χρόνια είναι η ραγδαία αύξηση των απαιτήσεων σε εύρος ζώνης τόσο στα εσωτερικά δίκτυα των επιχειρήσεων όσο και στα δίκτυα των ISPs. Η εποχή κατά την οποία το διαδίκτυο ήταν μια καθαρά ακαδημαϊκή υπόθεση και αυτό που κυρίως προσέφερε στους χρήστες του ήταν η ανταλλαγή ηλεκτρονικών μηνυμάτων (e-mails) ανάμεσα στους επιστήμονες για θέματα του ενδιαφέροντος τους έχει περάσει οριστικά και αμετάκλητα. Μέλη του διαδικτύου είναι πλέον απλοί χρήστες που αναζητούν σε αυτό νέους τρόπους ψυχαγωγίας, ενημέρωσης αλλά και διεκπεραίωσης των καθημερινών εργασιών τους, μέχρι μεγάλες επιχειρήσεις που έχουν ως κύριο αντικείμενο τους την παροχή υπηρεσιών μέσω του διαδικτύου.

Τα οπτικά δίκτυα ή δίκτυα οπτικής ίνας (στα οποία τα δεδομένα μετατρέπονται σε bits φωτός, που καλούνται φωτόνια, και στη συνέχεια μεταφέρονται μέσω της ίνας) είναι ταχύτερα από τα παραδοσιακά δίκτυα (στα οποία τα δεδομένα μετατρέπονται σε ηλεκτρόνια και ταξιδεύουν μέσω καλωδίων χαλκού), γιατί σε αντίθεση με τα ηλεκτρόνια, τα φωτόνια δεν επιδρούν το ένα στο άλλο καθώς κινούνται μέσα στην ίνα (γιατί δεν περιέχουν ηλεκτρικό φορτίο), όπως και δεν επηρεάζονται από φωτόνια εκτός της ίνας. Το φως χαρακτηρίζεται από υψηλότερες συχνότητες και συνεπώς από χαμηλότερα μήκη κύματος, με αποτέλεσμα περισσότερα 'bits' πληροφορίας να μπορούν να μεταφερθούν μέσω κάποιου μήκους ίνας, έναντι του ίδιου μήκους καλωδίου χαλκού.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία σκοπό έχει να αναλύσει όλες τις τεχνολογίες που αφορούν τις οπτικές ίνες και τα δίκτυα οπτικών ινών. Το θεωρητικό μέρος της πτυχιακής εργασίας αποτελείται από 10 κεφάλαια που περιγράφουν σε με συνοπτικό τρόπο τον κλάδο των οπτικών ινών και των οπτικών επικοινωνιών. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια μικρή εισαγωγή στην τεχνολογία των οπτικών επικοινωνιών.

Αρχικά γίνεται εκτενής περιγραφή του τρόπου λειτουργίας των οπτικών ινών και αναλύονται τα βασικά στοιχεία μιας οπτικής γραμμής μετάδοσης, αναφέρεται η βασική δομή μιας οπτικής ίνας, οι τρεις τύποι οπτικών ινών που χρησιμοποιούνται στη πράξη και περιγράφεται ο τρόπος μετάδοσης του φωτός εντός της οπτικής ίνας. Επιπλέον, γίνεται λεπτομερής περιγραφή των λόγων υποβάθμισης του οπτικού σήματος εντός της οπτικής ίνας και οι τρόποι αποφυγής αυτών. Ακόμα, αναφέρονται οι τεχνικές πολυπλεξίας που χρησιμοποιούνται στα σύγχρονα δίκτυα οπτών ινών. Τέλος, γίνεται μια αναφορά στις πηγές και στους ανιχνευτές της οπτικής γραμμής μετάδοσης καθώς, στις προδιαγραφές του δέκτη φωτός και στην τεχνολογία των οπτικών ενισχυτών.

Το δεύτερο κεφάλαιο αναφέρεται στα χαρακτηριστικά των οπτικών ινών. Διακρίνονται 14 παράμετροι, σε παραμέτρους εγκατάστασης και περιβαλλοντικές παραμέτρους, ώστε να είναι επιτυχής η εγκατάσταση οπτικών καλωδίων. Για κάθε παράμετρο δίνονται τυπικές τιμές που αναφέρονται σε κάθε πιθανή εφαρμογή των οπτικών καλωδίων καθώς και πρακτικά παραδείγματα για κάθε περίπτωση. Επίσης με βάση αυτές τις παραμέτρους περιγράφονται τροποποιήσεις που γίνονται για την προστασία τους.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα είδη των καλωδίων των οπτικών ινών που χρησιμοποιούνται στα σημερινά δίκτυα οπτικών ινών. Επιπλέον παρουσιάζονται οι παράμετροι, σύμφωνα με τις οποίες επιλέγονται τα κατάλληλα καλώδια οπτικών ινών για τις διαφορές ανάγκες μας.

Το τέταρτο κεφάλαιο αναφέρεται στις συνδέσεις οπτικών ινών. Αρχικά περιγράφονται οι λόγοι απωλειών εξασθένησης σήματος. Γίνεται εκτενής αναφορά στους τρόπους (μεθόδους) σύνδεσης οπτικών ινών, τις προδιαγραφές ενώσεων οπτικών ινών καθώς και τα κριτήρια επιλογής τύπου μόνιμης σύνδεσης. Τέλος, αναφέρονται τα εργαλεία που απαιτούνται για να γίνει η διαδικασία της σύνδεσης των οπτικών ινών.

Το πέμπτο κεφάλαιο πραγματεύεται τους Συνδετήρες – Προσαρμογείς και Συζεύκτες των οπτικών ινών. Αρχικά γίνεται αναφορά στους τύπους και στις προδιαγραφές των Συνδετήρων-Προσαρμογών καθώς και στις μεθόδους τοποθέτησης των συνδετήρων στην οπτική ίνα. Έπειτα γίνεται αναφορά στους συζεύκτες, στην αναγκαιότητα χρήσης τους, στους τύπους συζευκτών, καθώς



και στους τρόπους κατασκευής τους. Τέλος αναφέρονται τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της χρήσης των συζευκτών.

Το έκτο κεφάλαιο αναφέρεται στη σχεδίαση μιας εγκατάστασης οπτικών ινών. Δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στην κατανόηση της αναγκαιότητας για σωστή σχεδίαση της εγκατάστασης, σωστή επιλογή κατάλληλων καλωδίων, μόνιμων συνδέσεων καθώς και αποτελεσματικού τρόπου τραβήγματος καλωδίων οπτικών ινών. Επιπλέον, γίνεται αναφορά στα περιβάλλοντα τοποθέτησης οπτικών ινών, στα είδη οπτικών ινών που χρησιμοποιούνται σε αυτά καθώς και στις διαδικασίες που απαιτούνται για να τοποθετηθούν σε αυτά τα περιβάλλοντα.

Το έβδομο κεφάλαιο ασχολείται με τον όρο "έλεγχος οπτικών ινών", δηλαδή αναφέρεται στην διαδικασία επαλήθευσης των παραμέτρων απόδοσης των εξαρτημάτων, των συνδέσεων, των συστημάτων και δικτύων των οπτικών ινών καθώς και στην ανίχνευση βλάβης τους αλλά και στα προβλήματα που αυτές δημιουργούν.

Οι βασικοί έλεγχοι συμπεριλαμβάνουν τον υπολογισμό της οπτικής ισχύος, που απορρέει από μία ίνα, και της συνέχειας ή οπτικής απώλειας των ινών των καλωδίων, των επαφών σύνδεσης και των ενώσεων μεταξύ αγωγών. Ο έλεγχος του εύρους ζώνης και του διασκορπισμού καθορίζει τη χωρητικότητα μεταφοράς πληροφοριών μέσω των ινών ή των καλωδίων. Οι περισσότεροι έλεγχοι πρέπει να επαναληφθούν για να καθοριστούν οι μεταβολές στον υπολογισμό των παραμέτρων κάτω από συνθήκες περιβαλλοντικής πίεσης. Ο έλεγχος αυτός επίσης συμπεριλαμβάνει την ανεύρεση προβλημάτων σε εγκατεστημένες μονάδες οπτικών ινών.

Στο όγδοο κεφάλαιο, αναφέρονται αναλυτικά όλοι οι πρακτικοί ποιοτικοί έλεγχοι εξαρτημάτων και συστημάτων οπτικών ινών. Η σειρά αναφοράς τους λαμβάνει υπόψη την σπουδαιότητά τους αλλά και την πραγματική σειρά με την οποία ενδείκνυται να πραγματοποιούνται αυτοί οι έλεγχοι σε μια εγκατάσταση.

Το ένατο κεφάλαιο πραγματεύεται τον έλεγχο εγκαταστάσεων οπτικών ινών. Γίνεται αναφορά στη διαδικασία ελέγχου κυκλωμάτων μεταφοράς δεδομένων, στην εγκατάσταση και διαδικασία ελέγχου καλωδίων οπτικών ινών, στον έλεγχο με χρήση μετρητή ανάκλασης O.T.D.R. καθώς και στη διαδικασία ελέγχου δικτύων οπτικών ινών. Τέλος γίνεται αναφορά σε συνήθεις δυσλειτουργίες των εγκαταστάσεων οπτικών ινών.

Το δέκατο κεφάλαιο πραγματεύεται την διαδικασία αποκατάστασης βλαβών. Αρχικά γίνεται αναφορά στους τύπους βλαβών και στον κατάλληλο εξοπλισμό που απαιτείται για την αποκατάσταση κάποιας βλάβης. Έπειτα περιγράφεται η διαδικασία εξακρίβωσης κάποιου ενδεχόμενου προβλήματος καθώς και οι απαραίτητες ενέργειες που πρέπει να γίνουν για να επιτευχθεί η αποκατάσταση.

Στο πρώτο τμήμα του πειραματικό μέρους της παρούσας πτυχιακής παρουσιάζεται, χρησιμοποιώντας τον εξοπλισμό του εργαστηρίου, η επίδραση που έχουν τα χαρακτηριστικά της ίνας στην απόδοση της ζεύξης.

Στο δεύτερο τμήμα, χρησιμοποιείται το πρόγραμμα προσομοίωσης **LINKSIM**, ώστε να προσομοιωθεί και να αναλυθεί ένα δίκτυο οπτικών ινών με βάση τις παραμέτρους των εξαρτημάτων (laser, edfa, ινών, κλπ) που χρησιμοποιούνται στα σύγχρονα οπτικά δίκτυα από τους ISPs. Αρχικά στο δίκτυο αυτό οι οπτικές ίνες που χρησιμοποιήθηκαν υποστηρίζουν μοναχά ένα τρόπο μετάδοσης, στην συνέχεια αντικαθίστανται με πολύτροπες ίνες και παρουσιάζεται η διάφορα που υπάρχει στον εύρος ζώνης των δεδομένων. Ταυτόχρονα, χρησιμοποιούνται δύο είδη διαμόρφωσης, return to zero (RZ) και non return to zero (NRZ) για να φανεί με ποιον από τους δύο κωδικούς διαμόρφωσης η απόδοση του δικτύου είναι μεγαλύτερη. Τέλος, στις διαφορές προσομοιώσεις που πραγματοποιήθηκαν, τοποθετήθηκε ένας οπτικός ενισχυτή edfa για να μειωθούν οι απώλειες του καναλιού μετάδοσης, βελτιώνοντας έτσι την λειτουργία του οπτικού δικτύου.



ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ

ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ & ΤΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

Βακιντής Ιωάννης AM 2148
Γύπαρης Εμμανουήλ AM 2230

Νοέμβριος 2011

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ

Μια οπτική ίνα είναι μια **γυάλινη** ή **πλαστική** ίνα που μεταφέρει το φως κατά μήκος της.

Η οπτική ίνα αποτελείται από: **1) τον πυρήνα**, **2) τον μανδύα** και **3) ένα εξωτερικό περίβλημα προστασίας**.

Ο **πυρήνας** είναι κατασκευασμένος από υλικό υψηλού δείκτη διάθλασης ενώ του **περιβλήματος** από χαμηλότερο δείκτη.

Στο εσωτερικό του πυρήνα, μια ακτίνα φωτός, προσπίπτουσα στην διαχωριστική επιφάνεια πυρήνα- μανδύα με γωνία μεγαλύτερη της κρίσιμης γωνίας, ανακλάται ολικά και συνεχίζει την διαδρομή της εντός του πυρήνα, μέσω συνεχών ανακλάσεων με αποτέλεσμα η ενέργεια της φωτεινής δέσμης να παραμένει εγκλωβισμένη στην οπτική ίνα.

Αντίθετα αν η γωνία πρόσπτωσης είναι μικρότερη της κρίσιμης γωνίας, το φως διαθλάται μέσα από τον μανδύα και χάνεται μετά από κάποια απόσταση.

Οι οπτικές ίνες κατηγοριοποιούνται ως προς :

A) το υλικό κατασκευής τους :

- i) **γυάλινες οπτικές ίνες**
- ii) **γυάλινου πυρήνα και πλαστικού μανδύα**
- iii) **εξ ολοκλήρου πλαστικές**

B) το πλήθος των τρόπων μετάδοσης που υποστηρίζουν:

- i) **μονότροπες οπτικές ίνες** (ένας τρόπος μετάδοσης- αξονικό, 0,2-2 dB/km)
- ii) **πολύτροπες οπτικές ίνες** (υποστηρίζουν περισσότερους από ένα οπτικούς τρόπους μετάδοσης)

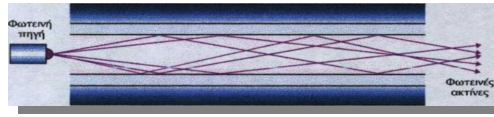
και χωρίζονται σε **δύο βασικές κατηγορίες** ανάλογα με την τιμή του δείκτη διάθλασης στον πυρήνα:

- i) **ίνες βηματικού δείκτη διάθλασης** (Step index) και
- ii) **ίνες διαβαθμισμένου δείκτη διάθλασης** (Graded index)



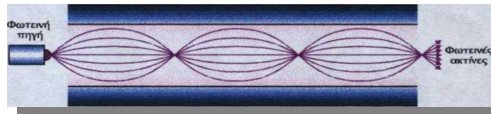
- Στις **πολύτροπες ίνες βηματικού** δείκτη διάθλασης έχουμε **σταθερή τιμή** στον δείκτη διάθλασης του πυρήνα.

Τα πολλαπλά κύματα διανύουν διαφορετικές διαδρομές με την ίδια ταχύτητα και φθάνουν σε διαφορετικούς χρόνους στο τέρμα του αγωγού με αποτέλεσμα να παρουσιάζεται σημαντική διασπορά του φωτός. (εξασθένηση από 10 - 50 db/km)



- Οι **πολύτροπες ίνες διαβαθμισμένου** δείκτη διάθλασης χαρακτηρίζονται από τη **βαθμιαία μείωση του δείκτη διάθλασης** (μέγιστη τιμή στο κέντρο του πυρήνα) του υλικού όσο απομακρυνόμαστε από το κέντρο προς την εξωτερική επιφάνεια της κεντρικής ίνας (ελάχιστη τιμή).

Η αυξημένη διάθλαση στο κέντρο του πυρήνα μειώνει την ταχύτητα ορισμένων ακτινών φωτός, επιτρέποντας σε όλες τις ακτίνες φωτός να φτάσουν στο σημείο λήξης (τέλος της ίνας) περίπου την ίδια χρονική στιγμή, μειώνοντας έτσι τη διασπορά. (εξασθένηση 7-15 db/km).



ΠΗΓΕΣ ΦΩΤΟΣ - ΑΝΙΧΝΕΥΤΕΣ -ΕΝΙΣΧΥΤΕΣ

- Ο **πομπός** μετατρέπει το ψηφιακό σήμα σε φωτεινή πληροφορία και πραγματοποιεί την εκπομπή της. Βρίσκεται σε επαφή με το οπτικό καλώδιο και διαθέτει κατάλληλο φακό, ώστε να διοχετεύει το φως στο εσωτερικό του.

Δύο είναι οι **τύποι των πηγών φωτός** :

- i) **Δίοδοι εκπομπής φωτός (LED)** ii) **Δίοδοι Laser (semiconductor lasers)**

Δύο βασικοί **τύποι LED**:

- i) Τα **edge emitters** (εκπομπής άκρου) ii) τα **surface emitters** (εκπομπής επιφάνειας).

Τα **edge emitters** είναι πολύπλοκες και ακριβές συσκευές, αλλά παρέχουν μεγάλη ισχύ εξόδου και υψηλής ταχύτητας επιδόσεις.

Τα **surface emitters** έχουν μια πολύ απλή δομή, είναι σχετικά φθηνά, προσφέρουν χαμηλά προς μέτρια επίπεδα ισχύος εξόδου και είναι ικανά για χαμηλές προς μέτριες ταχύτητες λειτουργίας.

Οι **δέκτες** λαμβάνουν το σήμα από την οπτική ίνα και το **μετατρέπουν σε ηλεκτρικό ρεύμα μέσω ενός φωτοανιχνευτή**.

Οι δύο τύποι φωτοανιχνευτή :

- i) **Δίοδοι PIN** ii) **Δίοδοι χιονοστιβάδας (APD)**

- Οι **δίοδοι PIN** (positive intrinsic negative), οι οποίοι είναι λιγότερο ευαίσθητοι στο φως, χαρακτηρίζονται από χαμηλό κόστος και αξιοπιστία. Παλιότερα χρησιμοποιούνταν **επαναληπτές** για να αναγεννήσουν τα σήματα.
- Οι **δίοδοι χιονοστιβάδας**, ή αλλιώς **APD** (Avalanche Photo Diode) είναι ακριβότεροι από τους PIN επειδή παρέχουν μεγαλύτερη ευαισθησία και χαρακτηρίζονται από μεγαλύτερη ικανότητα ανίχνευσης, ακρίβεια, μεγάλο κόστος και υψηλές απαιτήσεις ρεύματος.

Οπτικοί ενισχυτές

Οι οπτικοί ενισχυτές που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι κυρίως δύο ειδών, **ενισχυτές δίοδου LASER**, (SOA) και **ενισχυτές με ίνα προσμίξεων (DFA)**.



Το οπτικό σήμα κατά τη διάδοση του μέσα στην οπτική ίνα υφίσταται:

- i) **εξασθένηση** (attenuation) ii) **διασπορά** (dispersion).

Εξασθένηση ορίζεται η απώλεια οπτικής ισχύος κατά την κυματοδηγηση.

Η εξασθένηση δεν παραμορφώνει το σήμα αλλά προκαλεί εκθετική μείωση της ισχύος του φωτός.

Δύο είδη εξασθένησης :

- i) εξασθένηση που σχετίζεται με το υλικό της ίνας
ii) εξασθένηση κατασκευαστικής φύσεως.

Υπάρχουν 3 κύρια είδη διασποράς:

Διασπορά τρόπου μετάδοσης : εμφανίζεται μόνο σε πολύτροπες ίνες και οφείλεται στο γεγονός ότι το οπτικό σήμα διαδίδεται εντός της ίνας με παραπάνω του ενός τρόπου.

Διασπορά υλικού : εμφανίζεται τόσο σε πολύτροπες όσο και σε μονότροπες ίνες, και οφείλεται στο γεγονός ότι ο συντελεστής διάθλασης του πυρήνα εξαρτάται και από το μήκος κύματος της οδηγούμενης ακτίνας φωτός.

Διασπορά κυματοδηγού : Η διασπορά κυματοδηγού οφείλεται στη διαφορετική ταχύτητα μετάδοσης του φωτός μεταξύ πυρήνα και μανδύα.

Πολυπλεξία (multiplexing) : είναι η τεχνική, που επιτρέπει δεδομένα από πολλές πηγές να μεταδίδονται μέσα από την ίδια γραμμή επικοινωνίας.

Υπάρχουν 3 είδη :

- i) Πολυπλεξία με Διαίρεση Μήκους Κύματος (WDM),
ii) Πυκνή Πολυπλεξία με Διαίρεση Μήκους Κύματος (DWDM),
iii) Χονδροειδής Πολυπλεξία με Διαίρεση Μήκους Κύματος (CWDM).

Τι προσφέρει μια οπτική ίνα...

- **Ασφάλεια** : είναι αρκετά ασφαλές μέσο μεταφοράς, καθώς είναι πολύ δύσκολο να παρέμβει κάποιος για να αποκλέψει ή να παρεμβάλει data.
- **Υψηλό bandwidth** : διαθέτουν πολύ μεγάλο εύρος ζώνης συχνοτήτων, με αποτέλεσμα την επίτευξη υψηλών ρυθμών μετάδοσης μεταφέροντας περισσότερες πληροφορίες.
- **Μικρή εξασθένηση του σήματος** : είναι ανεπηρέαστες από ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία.
- **Μικρές διαστάσεις και βάρος** : το βάρος και ο όγκος των οπτικών ινών είναι σημαντικά μικρότερος από άλλους αντίστοιχους αγωγούς.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΤΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

- Σε αυτό το κεφάλαιο θα δούμε κάποιες παραμέτρους για να είναι επιτυχής η εγκατάσταση οπτικών καλωδίων. Αυτές οι παράμετροι δεν εφαρμόζονται σε όλες τις περιπτώσεις αλλά αναλόγως την περίπτωση και τις συνθήκες.
- Είναι δύο οι μεγάλες κατηγορίες και οι οποίες αφορούν την **εγκατάσταση** και το **περιβάλλον λειτουργίας**

Οι παράμετροι για την επιτυχή εγκατάσταση των καλωδίων είναι :

- 1) Η ελάχιστη συνιστώμενη ακτίνα κάμψης, και η ακτίνα κάμψης κατά την εγκατάσταση
- 2) Η διάμετρος του καλωδίου



- Οι παραμέτροι που αφορούν το **περιβάλλον λειτουργίας** είναι :

- 1) Το εύρος θερμοκρασιών λειτουργίας
- 2) Το φορτίο μακροπρόθεσμης χρήσης
- 3) Η αντίσταση στην πυρκαγιά
- 4) Αντοχή στην υπεριώδη ακτινοβολία (UV)
- 5) Αντοχή στην καταστροφή από τρωκτικά
- 6) Αντοχή στην υγρασία / νερό
- 7) Αντίσταση στην αγωγιμότητα κάτω από πεδία υψηλής τάσης
- 8) Τοξικότητα
- 9) Αντοχή στις εκδορές
- 10) Αντίσταση στην ραδιενέργεια
- 11) Αντίσταση στις συγκρούσεις

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΚΑΛΩΔΙΟΥ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

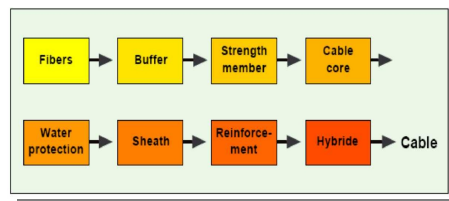
- Στο 3ο Κεφάλαιο θα δούμε τα είδη των καλωδίων των οπτικών ινών που χρησιμοποιούνται στα σημερινά δίκτυα οπτικών ινών και επιπλέον τις παραμέτρους με τις οποίες τα επιλέγουμε

Τα **είδη** των οπτικών ινών ανάλογα με την προστασία είναι:

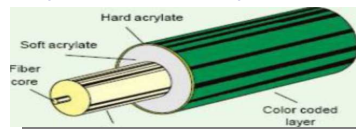
- 1) Καλώδια indoor, 2) Καλώδια rack, 3) Καλώδια υπόγειων αγωγών, 4) Εναέρια καλώδια, 5) Καλώδια άμεσης βύθισης και 6) Υποβρύχια καλώδια

...και χρησιμοποιούνται σε 5 βασικές κατηγορίες εφαρμογών :

1. Κεντρικούς διάλους μεγάλου μήκους
2. Κεντρικούς διάλους αστικής περιοχής
3. Κεντρικούς διάλους επαρχιών
4. Τοπικούς βρόγχους
5. Τοπικά δίκτυα



Στην συνέχεια θα παρουσιάσουμε τις διάφορες παραμέτρους που εμπλέκονται στην διαδικασία **επιλογής του κατάλληλου καλωδίου οπτικής ίνας**. Βασικό στοιχείο να υπάρχει στενή συνεργασία μεταξύ πελάτη και κατασκευαστή για να αντέχουν σε όλες τις πιθανές συνθήκες...



Πρώτη παράμετρος, **το πρωτεύον επίστρωμα**

Υλικό Acrylate, ένα λεπτό εσωτερικό στρώμα και ένα πολύ σκληρό εξωτερικό. Με αυτό η μηχανική αντοχή της γυάλινης ίνας αυξάνεται. Το πρωτεύον επίστρωμα (Acrylate, χαρακτηριστικά ίνας, χρωματική κωδικοποίηση, συμμόρφωση σε ηλεκτρονικά πρότυπα)

Δεύτερη παράμετρος, **οι απομονωτές** (χρησιμοποιείτε πάνω από το πρωτεύον επίστρωμα)

Οι 3 μέθοδοι είναι :

Loose tube buffer (loose fibers or ribbons in tube) (χαλαρής δομής)

Tight buffer (Σφικτής δομής)

Fiber ribbon (Κορδέλες ινών)



Τρίτη παράμετρος, **ο παράγοντας αντοχής**

- Μεταλλικός παράγοντας αντοχής(επικολλήται πάνω στο οπτ. καλώδ.)
- Μη-μεταλλικός παράγοντας αντοχής (λεπτή πλαστική χορδή)
- Νήμα Aramide (εξαιρετικά ανθεκτικό και πολύ ελαστικό)

Τέταρτη παράμετρος, **ο πυρήνας καλωδίων**

Καλώδια με κυκλικό πυρήνα

Καλώδιο με πυρήνα αυλακώσεων



Πέμπτη παράμετρος, **προστασία από νερό και υγρασία**

Τα καλώδια εκτίθενται σε νερό και υγρασία γιαυτό το κενό που υπάρχει μεταξύ ινών ή σωληνών πρέπει να καλυφθεί με τους εξή τρόπους :

- 1) Υλικό γέμισης καλωδίου (thixotropic gel)
- 2) Ταινία διόγκωσης, ως μονωτής υγρασίας (γρηγορότερη και ευκολότερη εγκατάσταση)
- 3) Μεταλλικό κάλυμμα (φύλλο αλουμινίου)
- 4) Μεταλλικός σωλήνας χαλκού

Έκτη παράμετρος, **τελικό κάλυμμα** (Η τεχνική τοποθέτησης του τελικού καλύμματος είναι πανομοιότυπη με ένα καλώδιο χαλκού)

Το τελικό κάλυμμα παρέχει : *Μηχανική προστασία , θερμική μόνωση, προστασία από διάφορα χημικά, υγρασία, νερό και τρωκτικά.*

Έβδομη παράμετρος, **ενίσχυση** (εφαρμόζεται μόνο σε εγκατάσταση με εξαιρετικά δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες)

- 1)**Μεταλλική ταινία με αυλακώσεις** (Τοποθετούνται κατευθείαν στο υπέδαφος, είναι εύκαμπτα και πιο εύκολα στην εγκατάσταση σε σχέση με τα μεταλλικά νήματα)
- 2)**Μεταλλικό νήμα**(εξαιρετικά ανθεκτικό σε διαμηκείς κ ακτινικές δυνάμεις)
- 3)**ΗΕΤ**(θερμό-διαστελλόμενη ταινία- αύξηση αντοχής σε ακτινικές δυνάμεις)
- 4)**Νήματα Aramide**(σε απλά οπτικά καλώδια και για εναέριες εγκαταστάσεις)
- 5)**Διασταλλόμενο εξωτερικό σκέλος**(ΗΕΤ-σε καλώδ. με πυρ. αυλακώσεων)
- 6)Οπτικό καλώδιο γείωσης(νήματα αλουμινίου με αυξημένη αντοχή σε εξωτερικές δυνάμεις και μεγάλη αγωγιμότητα)
- 7)**Υβριδικά**(συνδιασμό οπτικών κ χάλκινων καλωδ.- συνήθως σε σιδηροδρόμους)

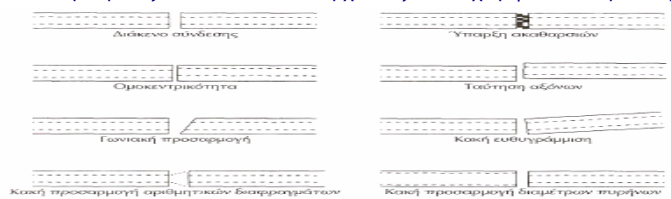
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΟΙ ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

Ως **συνένωση** θεωρείται η απευθείας σύνδεση των άκρων 2 ινών μόνιμα. Μέσω ηλεκτρικής συντηξης των επιφανειών τους με μηχανικό εξάρτημα συγκράτησης.

Λόγοι για σύνδεση είναι ότι οι ίνες **δεν έχουν ατελειώτο μήκος** , στην πράξη μπορεί να έχουμε **καταμερισμό του σήματος σε διχάλες**, στην **αρχή και στο τέλος** της γραμμής απαιτείται σύνδεση, αποκατάσταση καλωδίου σε σημεία που έχουν κοπή.

Οι δύο κατηγορίες που προκαλούν απώλειες σε μόνιμες συνδέσεις είναι :

- 1) **Εσωτερικές απώλειες** (Εκκεντρικότητα και ελλειπτικότητα πυρήνα, κακή προσαρμογή αριθμητικού διαφράγματος, διαφορετικές διαμέτροι πυρήνα)
- 2) **Εξωτερικές απώλειες** (Κακή ευθυγράμμιση άκρων, κακές τεχνικές κοπής, διάκενα αέρα, μεταξύ ινών που δεν υπάρχει το ζελέ, εισχώρηση ακαθαρσιών)





- Τα πραγματικά προβλήματα σε μια σύνδεση είναι :
Ίνες συμβατού τύπου (προβλήματα συμβατότητας, διάμετρος πυρήνα)
Τα άκρα των ινών να τοποθετούνται το ένα κοντά στο άλλο (προβλήματα απώλειας κενού)
Θα πρέπει οι ίνες να είναι ευθυγραμμισμένες με ακρίβεια (προβλήματα λάθος ευθυγράμμισης, ευθυγράμμιση πυρήνα, γωνιακή λάθος ευθυγράμμιση)

- Εργαλεία τερματισμού οπτικών ινών :

- 1) Απογυμνωτήρας περιβλήματος καλωδίου
- 2) Ψαλίδια
- 3) Απογυμνωτήρες μόνωσης ίνας
- 4) Εργαλείο διαχωρισμού
- 5) Εργαλείο κοπής
- 6) Μαντηλάκια οιοπνέυματος
- 7) Χαρτί στίλβωσης
- 8) Δίσκο στίλβωσης
- 9) Μικροσκόπιο οπτικών ινών



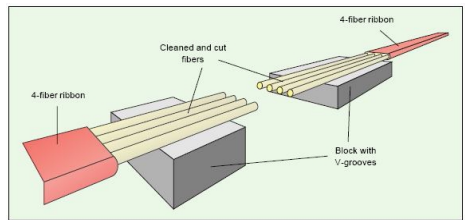
- Σύνδεση των οπτικών ινών

1) Αρχικά προετοιμάζουμε τις ίνες **αφαιρώντας τον αρχικό απομονωτή** για να εξασφαλίσουμε ότι θα **ευθυγραμμιστούν οι ίνες**. Στην συνέχεια πρέπει να προσέξουμε να μην **σπάσει η ίνα**. Έπειτα γίνεται η **απογύμνωση** του καλωδίου αφαιρώντας το **εξωτερικό κάλυμμα (χημική μέθοδος ή μηχανική μέθοδος)**.

2) **Καθαρισμός ίνας**(ένα υγρό πανί γύρω από την ίνα και την τραβάμε μέσα από το πανί)

3) **Κοπή της ίνας** (τομή-θέλουμε σωστή γωνία κοπής.Το λάθος μέχρι 1 μοίρα)

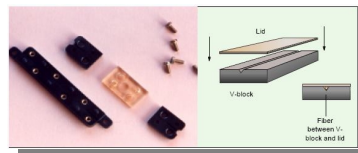
4) **Ένωση σύντηξης** (ευθυγραμμίζονται και μετά ενώνονται με τη τήξη ηλεκτρικού τόξου). Τα στάδια της σύντηξης είναι η **προετοιμασίας** της ίνας, **προ-τήξη, κύρια τήξη, προστατευτικό κάλυμμα ένωσης, διαδικασία fusion** κόλλησης για κορδέλα ινών.



Άλλη τεχνική σύνδεσης είναι η μηχανική ένωση που διαφέρει στον τρόπο κεντραρίσματος των 2 οπτικών ινών. + είναι ότι δεν χρειάζεται τροφοδοσία και μπορούν να προσαρμοστούν σε λιγότερο από δύο λεπτά(ιδανικά για προσωρινές συνδέσεις). - είναι ότι έχουν μεγάλες απώλειες(απώλειες εισαγωγής).

Υπάρχουν 3 βασικοί μέθοδοι :

- Αυλάκι σε σχήμα V
- Σωλήνας κάμψης
- Σωλήνας ακρίβειας
- Κολλήσεις κορδελών



Οι διαδικασίες Μηχανικής Συνένωσης :

- 1) **Εισάγετε την μηχαν. συνένωση** στο εργαλείο συναρμογής συνένωσης
- 2) **Έλεγχος της μηχανικής συνένωσης** για να είναι σε ανοικτή θέση
- 3) **Αφαίρεση μονωτικής επικάλυψης**
- 4) **Διαχωρισμός** των δύο άκρων στο προκαθορισμένο μήκος(πέταγμα ρινίσ.)
- 5) (α)**Ολισθήστε** τα άκρα στην μηχαν. Συνεν. και (β)**κλείστε** τον μηχανισμό συνένωσης
- 6) **Αφαίρεση της συνένωσης** από το εργαλείο συνένωσης
- 7) **Στερεώστε την συνεν.** μέσα στην υποδοχή της ακολουθώντας τις οδηγίες του κατασκευ.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ, ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΕΙΣ & ΣΥΖΕΥΚΤΕΣ

- **Οι συνδέσμοι** : είναι εξαρτήματα για την επαναλαμβανόμενη σύνδεση και αποσύνδεση μιας οπτικής ίνας στην πηγή οπτικού σήματος τον φωτοανιχνευτή ή με μια άλλη ίνα.
- **Ο προσαρμογέας** : είναι ένας σωλήνας στον οποίο εισέρχονται οι δύο συνδετήρες
- **Οι συζύκτες** : διαχωρίζουν ή συνδυάζουν το φως των οπτικών ινών.

Υπάρχουν δύο κατηγορίες για τοποθέτηση συνδέσμων οπτικών ινών :

i) **Εποξική** και ii) **μη Εποξική**

Οι σύνδεσμοι οπτικών ινών κατατάσσονται στις παρακάτω κατηγορίες:

i) **Στίλβωμένοι** και ii) **Αστίλβωτοι**

Η στίλβωση του συνδέσμου οπτικής ίνας τρίβει το άκρο του συνδέσμου μέχρι να πάρει μια συγκεκριμένη διάσταση.

Εποξική μέθοδος : με χρήση εποξικής κόλλας , περισσότερο αξιόπιστη , χρειάζονται στίλβωση μόλις τοποθετηθούν.

Μέθοδοι για ξήρανση εποξικών κολλών :

Ξήρανση με αέρα : παλιά μέθοδος , η κολλα στεγνώνει μονη της.

Ξήρανση με υπεριώδη φωτισμό : χρησιμοποιεί υπεριώδη φωτισμό.

Ξήρανση με θερμότητα : χρησιμοποιεί ένα φούρνο για θέρμανση της εποξικής κόλλας.

Αναερόβια ξήρανση : χρησιμοποιεί μια χημική αντίδραση με κόλλα ταχείας πήξης για να ξηράνει την εποξική κόλλα.

Μη Εποξική : με σφίξιμο , μεγάλο κόστος, μειώνει τον χρόνο σύνδεσης του συνδέσμου. Υπάρχουν 2 κατηγορίες :

Μη εποξικός, με στίλβωση : στίλβωση του συνδέσμου μετά την σύνδεση του με το καλώδιο οπτικών ινών .

Μη εποξικός, χωρίς στίλβωση : η στίλβωση μετά την σύνδεση του συνδέσμου στο καλώδιο οπτικών ινών δεν είναι απαραίτητη διότι έχει ειδη γίνει στο εργοστάσιο. Μεγάλο το κόστος υλοποίησής του.

Τύποι συνδετήρων :

SMA : οι πρώτοι συνδετήρες οπτικών ινών,δύσκολοι στη χρήση, φτωχή επίδοση.

ST : αντικατέστησε τον SMA και αποτέλεσε πρότυπο για την δημιουργία των άλλων συνδετήρων.Υπάρχουν σε δυο κατηγορίες ST και ST II. Εισάγουν απώλεια 0.25 Db.

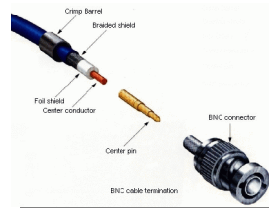


Φυσικής επαφής (FC/PC) : για μονότροπα συστήματα μεγάλων αποστάσεων, μικρό μέγεθος, ελάχιστες απώλειες. Θα αντικατασταθεί από τους SC .

Mini-BNC : για πολύτροπα συστήματα, μοιάζει με καλώδιο BNC.

Συνδετήρας συνδρομητή (SC) : μικρό μέγεθος,μεγαλο κόστος, χρήση και στα δίκτυα καλωδιακής τηλεόρασης, πολύτροπα & μονότροπα συστήματα.

MT connector : για σύνδεση κορδελών ινών.





ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : Η ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΜΙΑΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ & ΟΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΥΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΤΩΝ ΟΠΤΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

Η σχεδίαση αποτελεί ένα από τα πιο σημαντικά και ιδιαίτερα κρίσιμα τμήματα οποιουδήποτε κατασκευαστικού έργου.

Υπάρχουν **τρεις μέθοδοι** :

- i) Από τα σχέδια (όχι μετρήσεις ακριβείας).
- ii) Επιτόπιες μετρήσεις με τροχό (επιθεωρούμε και μετράμε τον χώρο με ένα τροχό μέτρησης).
- iii) Μετρήσεις με μετροταινία (γίνονται μετρήσεις ακριβείας)

Πάντα στο τέλος της μέτρησης προσθέτουμε έξτρα μήκος για τυχόν συνδέσεις.

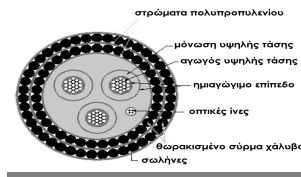
Αποτελεσματικό τράβηγμα καλωδίων : Ο σχεδιαστής θα πρέπει να έχει κατασκευάσει ένα κατάλληλο διάγραμμα του χώρου.

Το μικρό βάρος των καλωδίων έχει ως αποτέλεσμα απρόβλεπτο μήκος τραβήγματος καλωδίου. Αρκετός χώρος και χρόνος για να γίνει.

Τα περιβάλλοντα εγκατάστασης :

Ανάλογα με περιβάλλοντα εγκατάστασης των δικτύων οπτικών επικοινωνιών τα καλώδια κατηγοριοποιούνται σε :

- **Χερσαία καλώδια** (τοποθέτηση μέσα στο έδαφος.)
- **Εναέρια καλώδια** (τοποθέτηση σε στύλους.)
- **Υποβρύχια καλώδια** (η ταφή γίνεται με σκαπτικά μέσα ξηράς και η προστασία του καλωδίου με ψαμμιακούς ή υδατοστρώματα.)
- **Καλώδια ειδικών εφαρμογών** (πχ τοποθέτηση κατά μήκος σιδηροτροχιών, εντός αγωγών λυμάτων) .
- **Τα υπόγεια καλώδια** (ακριβή και ισχυρή (λογω υγρασίας , τρωκτικων,κτλ,) κατασκευή, χρονοβόρα και δαπανηρή εγκατάσταση.)



Οι μέθοδοι εγκατάστασης καλωδίου μέσα σε σωλήνες :

Έλξη με τη χρήση σχοινού : Χρήση σε μικρά διακοπτόμενα μήκη σωλήνων (πχ μεταξύ φρεατίων στεγανής σωλήνωσης).Χρειάζεται ένας προεγκατεστημένος οδηγός έλξης στον σωλήνα.

Με εμφύσηση : προώθηση του καλωδίου στο σωλήνα με τη βοήθεια πεπιεσμένου αέρα.

Με νερό : προώθηση του καλωδίου στο σωλήνα με τη βοήθεια νερού.



- > **Τοποθέτηση με έλξη :**
 - 1) Προσοχή στη δύναμη έλξης - Προσοχή στις μικροκάμψεις
 - 2) Υψηλό κόστος
 - 3) Συνιστάται για μικρά και διακοπτόμενα τμήματα σωληνώσεων
- > **Τοποθέτηση με εμφύσηση :**
 - 1) Οικονομία σε προσωπικό (2 άτομα)
 - 2) Ασφάλεια καλωδίου
 - 3) Ταχύτητα τοποθέτησης (μέχρι 10.000μ/ημ.)
 - 4) Μικρό κόστος επένδυσης
 - 5) Εκμετάλλευση του μικρού βάρους και διαμέτρου του καλωδίου οπτ. Ινών
- > **Τοποθέτηση με νερό : (δεν έχει χρησιμοποιηθεί ακόμα από τον ΟΤΕ)**
 - 1) Ασφάλεια καλωδίου (το καλώδιο επιπλέει στο νερό, χάνει βάρος λόγω άνωσης και ψύχεται)
 - 2) Ταχύτητα τοποθέτησης
 - 3) Μεγάλο κόστος επένδυσης
 - 4) Απαιτείται καλή στεγανότητα συνδέσμων

Τα υποβρυχια καλώδια :

- ✓ **Καλώδια για παράκτια τμήματα :** Προορίζονται για βάθος θάλασσας έως -20μ.(0 η επιφάνεια του νερού)

Καλώδια με μεγάλη εξωτερική προστασία λόγω του υψηλού κινδύνου που διατρέχουν κυρίως από τις άγκυρες σκαφών.

Η ταφή γίνεται με σκαπτικά μέσα ξηράς και η προστασία του καλωδίου με αμμόσακους ή συρματοστρώματα.
- ✓ **Καλώδια για πελάγια τμήματα :** προορίζονται για βάθος θάλασσας μεγαλύτερο από -20μ.

Καλώδια με μικρότερη εξωτερική προστασία.

Κόστος μελέτης ταφής σημαντικά χαμηλότερο των παρακτίων.

Τα Εναέρια καλώδια : χρησιμοποιούνται σε περιοχές που δεν μπορεί να εγκατασταθεί υπόγειο δίκτυο.

- 1) Οικονομική μέθοδος.
- 2) Εγκατάσταση σε στύλους ή σε κώλωνες.
- 3) Επιρρεπές σε βλάβες.

Τεχνικές προδιαγραφές για την κατασκευή δικτύων οπτικών ινών εντός πόλεων :

Συμβατική υποδομή με σωλήνες : δημιουργία ενός δικτύου σωλήνων που επιτρέπει την εκ των υστέρων εγκατάσταση καλωδίων με τεχνικές έλξης, εμφύσησης ή επίπλευσης. Αποτελεί την ευκολότερη και ασφαλέστερη μέθοδο και επιτρέπει επίσης την περαιτέρω πρόσβαση και αναδιαμόρφωση.

Τα **φρέατια** σε δρόμους χρησιμοποιούνται :

- ✓ Για συγκόλληση/διακλάδωση καλωδίων.
- ✓ Ως σημεία για την υποβοήθηση της έλξης ή της εμφύσησης καλωδίου.
- ✓ Για τοποθέτηση πλεονασματικού καλωδίου.
- ✓ Τοποθετούνται σε αποστάσεις 200-300 m σε πυκνοκατοικημένες περιοχές και σε 500 m σε αραιοκατοικημένες περιοχές.

Χάνδακες (Process) : είναι τομή ανοικτού τύπου στην άκρη του δρόμου. Υπάρχουν 2 μέθοδοι :

1) mini-Trencher : κατασκευάζει χάνδακα τυποποιημένων διαστάσεων, σε μια ευθεία γραμμή στον ελάχιστο δυνατό χρόνο.

Μετά την τοποθέτηση των σωλήνων **βάζουμε μια στρώση από σκυρόδεμα**, ταινία σήμανσης και αποκαθιστούμε το τμήμα της ασφαλτού.

2) Micro Trencher : απαιτεί μόνο μια **λεπτή περικοπή με «τροχό»** (αποκοπή με δίσκο).



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 : Ο ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΟΣ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

Έλεγχος οπτικών ινών είναι η διαδικασία επαλήθευσης των παραμέτρων απόδοσης των εξαρτημάτων, των συνδέσεων, των συστημάτων και των δικτύων οπτικών επικοινωνιών.

Ο βασικός εξοπλισμός για τον έλεγχο οπτικών ινών αποτελείται από :

- Μετρητές ισχύος οπτικών ινών : υπολογίζουν την οπτική ισχύ που απορρέει από μία οπτική ίνα. Η μέτρηση αυτή αποτελεί τη βάση για την εύρεση των απωλειών και της ισχύος που εκπέμπεται από την πηγή ή καταφθάνει στο δέκτη. Χρησιμοποιούνται συνδυαζόμενα με κάποια συμβατή πηγή.
- Μετρητής Ανάκλασης Πεδίου Οπτικού Χρόνου (OTDR) :

Το OTDR χρησιμοποιείται για τον εντοπισμό βλαβών σε εγκατεστημένα καλώδια ή για τη βελτιστοποίηση μονίμων συνδέσεων και την επιθεώρηση των ινών για ατέλειες.

Το OTDR εκμεταλλεύεται το φαινόμενο της ανάκλασης μέσα στην οπτική ίνα, προκειμένου να εντοπιστεί η θέση της βλάβης.

Μεγάλο πλεονέκτημα που παρέχει συγκριτικά με τη χρήση οπτικής πηγής / οργάνου μετρήσεως ισχύος, είναι ότι απαιτεί πρόσβαση μόνο από το ένα άκρο της ίνας.

Τρεις βασικές εκδόσεις OTDR :

- i) **Το πλήρους μεγέθους OTDR** : προσφέρει την υψηλότερη απόδοση με χρήση μνήμη αποθήκευσης , υψηλό κόστος
- ii) **Το mini-OTDR** : λιγότερα χαρακτηριστικά και ευκολίες, μικρό κόστος.
- iii) Στην απλούστερη έκδοση το OTDR είναι γνωστό ως **εντοπιστής βλαβών** και παρέχει μόνο την απόσταση στην οποία βρίσκεται η βλάβη , ευκολία χρήσης και οικονομικό.

Τα συστήματα ελέγχου οπτικής συνέχειας των ινών : όργανο που χρησιμοποιεί το ορατό φως μιας πηγής για τον έλεγχο μετάδοσης φωτός των οπτικών ινών ως το δέκτη.

Χρησιμοποιούν πηγή ορατού φωτός όπως μία LED ή μία λάμπα πυρακτώσεως.

Το κίτρινο κάλυμμα που έχουν οι μονότροπες οπτικές ίνες και το πορτοκαλί των πολύτροπων επιτρέπουν τη διέλευση του ορατού φωτός. Τα περισσότερα από τα υπόλοιπα χρώματα, ειδικά το μαύρο και το γκρι, δεν λειτουργούν με αυτήν την τεχνική.

Το όργανο αυτό έχει μικρή εμβέλεια, τυπικά έως 3-5 km.

Απώλειες μακροκάμψεων λόγω συστροφής της ίνας, ακατάλληλες ενώσεις μεταξύ αγωγών κ.τ.λ., μπορούν να ελεγχθούν με αυτά τα συστήματα.

Χρησιμοποιούνται αντι τα OTDR στον εντοπισμό βλαβών.

Μετατροπείς Οπτικού σε Ηλεκτρικό (Ο/Ε) και Ηλεκτρικού σε Οπτικό (Ε/Ο) :

Οι μετατροπείς οπτικού σε ηλεκτρικό χρησιμοποιούνται για την ανάλυση παλμών σε δίκτυα οπτικών ινών και για τον έλεγχο λείζερ και LEDS.

Οι μετατροπείς ηλεκτρικού σε οπτικό (Ε/Ο) χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο των δεκτών για το εύρος ζώνης.

Τα πολυκάναλα συστήματα ελέγχου : χρησιμοποιούνται για να ελέγξουμε έναν μεγάλο αριθμό εξαρτημάτων ταυτόχρονα.

Οι εξασθενητές

Είναι παθητικά εξαρτήματα, που εισάγουν μια ελεγχόμενη εξασθένηση σε μια ινοοπτική ζεύξη, ελαττώνοντας την λαμβανόμενη ισχύ στα επιθυμητά όρια λειτουργίας.

Διακρίνονται σε σταθερούς και μεταβαλλόμενους.

Σταθεροί : μειώνουν την οπτική ισχύ με ένα σταθερό τρόπο. Χρησιμοποιείται για μικρού μεγέθους δίκτυα.

Μεταβαλλόμενοι : μειώνουν την οπτική ισχύ ανάλογα με τις απαιτήσεις του χρήστη. Κατάλληλοι για μεγάλα οπτικά δίκτυα.



- **Έλεγχος εξασθένησης ινών :** Με την μέθοδο μείωσης συνδέουμε μια ίνα στην πηγή και μετράμε στον δέκτη την ισχύ της, έπειτα κόβουμε την ίνα και ξαναμετράμε την ισχύ της και υπολογίζουμε με βάση τον τύπο :

$$\text{Συντελεστής εξασθένησης} = (\text{Ράκρου-Ρπηγής})/\text{μικρος}$$

- **Έλεγχος Εξαρτημάτων Οπτικών Ινών**

- **Έλεγχος απώλειας συνδετήρων :**

1)Επιθεώρηση των συνδετήρων με Μικροσκόπιο : η εξέταση των ακρων των συνδετήρων για τυχόν βλάβες

2)Ανθεκτικότητα των συνδετήρων :να αντέχουν στις πολλές συνδέσεις και αποσυνδέσεις.

- **Έλεγχος συνδεδεμένων καλωδίων :**

1)Μέθοδος ενός άκρου : βάζουμε ένα καλώδιο εκκίνησης στην πηγή και στο μετρητή , μετρώντας την ισχύ του. Έπειτα με ένα προσαρμοστή, συνδέουμε το ένα άκρο του προς μέτρηση καλωδίου με την ελεύθερη άκρη του καλωδίου έλεγχου. Τέλος συνδέουμε την άλλη άκρη με τον μετρητή.

Αυτή η μέθοδος ουσιαστικά πραγματοποιεί **μέτρηση απωλειών βύσματος** του ενός άκρου του ελεγχόμενου καλωδίου.

Δεν προκύπτουν οι συνολικές απώλειες του καλωδίου, αφού δεν προσμετρούνται οι απώλειες του βύσματος προς την πλευρά του μετρητή.

2)Μέθοδος δύο άκρων : χρησιμοποιούμε ένα ακόμα καλώδιο έλεγχου, που συνδέεται με τον μετρητή και ονομάζεται καλώδιο λήψης έτσι ώστε το καλώδιο που θα ελέγξουμε να βρίσκεται μεταξύ του καλωδίου εκκίνησης και λήψης.

Με αυτό τον τρόπο, μετρώνται οι απώλειες και των δυο βυσμάτων του καλωδίου. Ωστόσο, βασικό **μειονέκτημα** και αυτής της μεθόδου είναι ότι **οι σωστές μετρήσεις εξαρτώνται κατά πολύ από την ποιότητα των ειδικών καλωδίων έλεγχου**.

Επιλέγοντας το καλώδιο διεξαγωγής έλεγχου : πρέπει να έχουν άκαμπτο περίβλημα και να παρουσιάζουν χαμηλή απώλεια.

Μέτρηση απωλειών μόνιμων συνδέσεων : μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε ένα OTDR , όμως προκαλείται αβεβαιότητα των μετρήσεων από τις δυο ίνες που συνδέουμε. Μπορούμε να μετρήσουμε και τα δυο άκρα των ινών ώστε να πάρουμε την μέση τιμή ώστε να έχουμε απόλυτη ακρίβεια.

Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε και την «μέθοδο των δυο ακρων» με απαραίτητη προϋπόθεση την χρήση ενός δευτέρου τεχνικού στο άλλο άκρο του οπτικού καλωδίου.

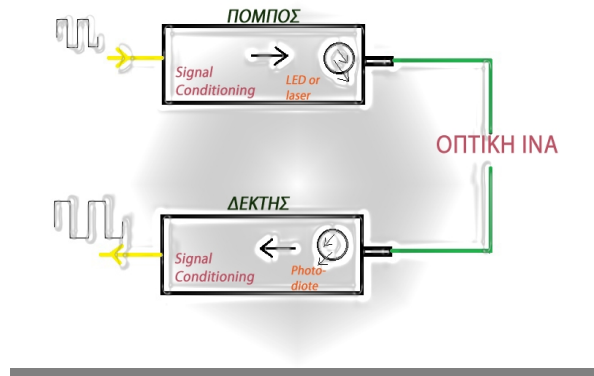


ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9 : Ο ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΩΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ ΤΩΝ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

Έλεγχος κυκλωμάτων μεταφοράς δεδομένων :

1) Η ικανότητα ενός συστήματος οπτικών ινών να μεταδώσει δεδομένα εξαρτάται από την **οπτική ισχύ στον δέκτη** που παρουσιάζει το ποσοστό ψηφιακού λάθους της σύνδεσης δεδομένων.

2) Αν η απώλεια είναι **πολύ μεγάλη**, το **σήμα** στον δέκτη θα είναι **χαμηλό** προκαλώντας έτσι ένα **ασθενές σήμα** σε μορφή . Αν η απώλεια είναι πολύ υψηλή, το επίπεδο ισχύος στον δέκτη θα είναι πολύ υψηλό, προκαλώντας κορεσμό του δέκτη, και οι δύο αυτές καταστάσεις θα προκαλέσουν υψηλά ποσοστά λάθους στα ψηφιακά συστήματα ή χαμηλή απόδοση αναλογικού σήματος.



Η ισχύς του δέκτη εξαρτάται από δύο βασικούς παράγοντες, 1) **πόση ισχύ προωθείται μέσα στην ίνα από τον πομπό** και 2) **πόση απ' αυτή χάνεται από την εξασθένιση στο καλώδιο οπτικών ινών**.

Οι ψηφιακές συνδέσεις χρησιμοποιούν **το ποσοστό ψηφιακού λάθους ως μέτρο υπολογισμού της απόδοσης**.

Κάθε κατασκευαστής εξαρτημάτων και συστημάτων συνδέσεων δεδομένων, τα προδιαγράφει όσον αφορά στην ευαισθησία του δέκτη.

Έλεγχος εγκατεστημένων καλωδίων οπτικών ινών :

Ο έλεγχος γίνεται 3 φορές πριν την εγκατάσταση σε κάθε τμήμα του από άκρο σε άκρο.

Χρησιμοποιούμε τη μέθοδο **διπλού άκρου**.

Πιθανές αιτίες για την υψηλή απώλεια στις συνδέσεις από άκρο σ' άκρο είναι :

1) οι ακατάλληλοι συνδετήρες, 2) οι ακατάλληλες συνδέσεις μεταξύ αγωγών στα κουτιά ελέγχου, 3) τα καλώδια που είναι σφιχτά γυρισμένα στις γωνίες, 4) οι σπασμένες ίνες, ή 5) ακόμη και τα ακατάλληλα καλώδια λήψης ή όργανα.



- Συνεχής έλεγχος του καλωδίου για συνέχεια στο καρούλι αποθήκευσης. Επαλήθευση για τυχόν ζημιές κατά την μεταφορά.
- Μετά την εγκατάσταση και τον τερματισμό, **μεμονομένος έλεγχος κάθε τμήματος του καλωδίου**(καλή κατάσταση συνδετήρων και καλωδίου).

Έλεγχος πολύτροπων και μονότροπων ινών :

- ✓ Στα καλώδια **πολύτροπων ινών**, ο έλεγχος διεξάγεται και στα **850** και στα **1300 nm**, με τη χρήση LEDs.
- ✓ Για τα καλώδια **μονότροπων ινών** ο έλεγχος συνήθως διεξάγεται στα **1500 nm**. Επιπλέον, ο έλεγχος στα 1550nm μπορεί να προσδιορίσει απώλεια από μικρές κάμπτες, η οποία δεν είναι εμφανής στα 1300nm, αφού οι ίνες είναι πολύ πιο ευαίσθητες στην απώλεια λόγω κάμψης στα 1550nm.

Ο απαιτούμενος εξοπλισμός για τη διεξαγωγή ελέγχου :

- Σετ ελέγχου οπτικών ινών (μετρητή ισχύος οπτικών ινών, και μία πηγή LED ή λέιζερ), καλώδια έλεγχου και συνδετήρες.
- Διαδικασίες χειρισμού και καθαρισμού : τα καλώδια δεν θα πρέπει να είναι λυγισμένα ,προσοχή στη μεταφορά συνδετήρων (όχι μικροκτύπηματα).

Μην τραβάτε με δύναμη τους συνδετήρες, καθώς κάτι τέτοιο μπορεί να σπάσει την ίνα!!!

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10 : ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΒΛΑΒΩΝ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ

Οι **τυποί βλαβών** ενός συστήματος οπτικών επικοινωνιών είναι :

Βλάβες σχετικά με τους πίνακες συνδέσεων : ακατάλληλη τοποθέτηση των καλωδίων και συνδετήρων, ακατάλληλο κλείδωμα των βυσμάτων

Βλάβες σχετικά με την εγκατάσταση: ακατάλληλη ακτίνα κάμψης, συμπίεση των καλωδίων, ακατάλληλα τυλίγματα των καλωδίων.

Βλάβες σχετικά με άλλες κατασκευές : προβλήματα από μηχανήματα εκσκαφής και λόγω απροσεξιών των τεχνικών.

Εξοπλισμός αποκατάστασης βλαβών :

ΚΙΤ καθαρισμού : καθαρισμός συνδετήρων.

Όργανο οπτικής επιθεώρησης : ελέγχει τις γυαλισμένες συνδέσεις βυσμάτων.

OTDR : είναι το όργανο εντοπισμού βλαβών.

Εξακρίβωση του προβλήματος :

Έλεγχος αν το πρόβλημα βρίσκεται στα ηλεκτρονικά ή στις ίδιες τις οπτικές ίνες.

Πρέπει να **συνδέσουμε το όργανο μέτρησης ισχύος στο δέκτη**, για τη μέτρηση της λαμβανόμενης ισχύος και τη σύγκριση της τιμής με τις προδιαγραφές του δικτύου.

Πρέπει να βεβαιωθούμε ότι έχουν γίνει οι **σωστές συνδέσεις** σε όλους τους πίνακες.

Θα πρέπει να εντοπίσουμε σε **ποιο τμήμα της εγκατάστασης διακόπτεται η μετάδοση** του σήματος.

Αποκατάσταση ανάγκης

Πρέπει να βεβαιωθούμε, ότι το **σπάσιμο** του καλωδίου καλωδίου είναι εκεί που φαίνεται χρησιμοποιώντας **πηγές ορατού φωτός**.

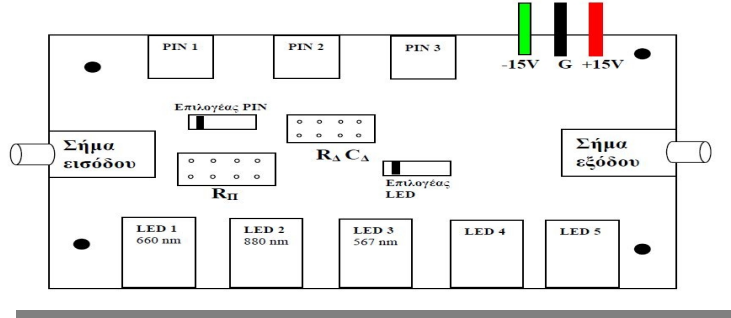
Επιθεώρηση του χώρου, για να βρεθεί το καλύτερο σημείο επισκευής των ινών.

Μετά από την επισκευή των καλωδίων, απαιτείται **επανεέλεγχος των ινών** για απώλειες.



ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΟΙ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

- Στο 1ο κεφάλαιο του πειραματικού μέρους θα χρησιμοποιήσουμε τον εξοπλισμό του εργαστηρίου για να δούμε **την επίδραση που έχουν τα χαρακτηριστικά της ίνας στην απόδοση της ζεύξης**. Αρχικά μετράμε τον συντελεστή εξασθένηση της ίνας σε 3 διαφορετικά led που εκπέμπουν σε **διαφορετικές φασματικές περιοχές** (κόκκινη, πράσινη, υπέρυθη) και στην συνέχεια τον συγκρίνουμε με την αποδεκτή τιμή του γραφήματος.

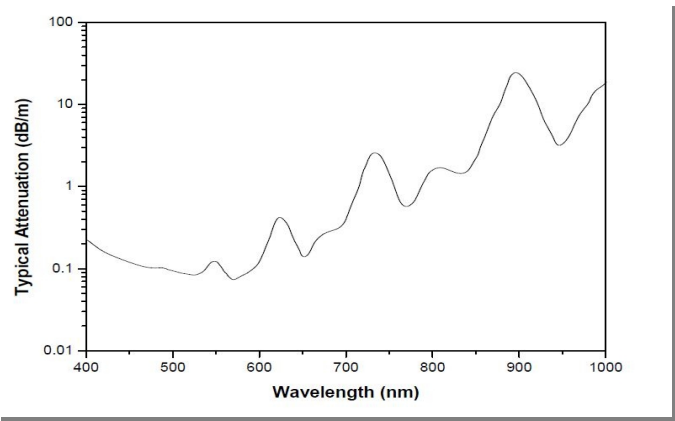


Στο επόμενο βήμα βρίσκουμε το **σχετικό σφάλμα** για τον συντελεστή εξασθένησης μεταξύ **πειραματικής και αποδεκτής τιμής**. Για την **αποκρισιμότητα** ακολουθούμε την ίδια διαδικασία, δηλαδή αφού βρούμε την πειραματική τιμή στην συνέχεια βρίσκουμε το σχετικό σφάλμα.

Κόκκινη led : Αρχικά μετράμε την **τάση εξόδου για τις ίνες 3m,5m,7m και 10m** και σύμφωνα με τον τύπο της εξασθένησης βγαίνουν τα αποτελέσματα του **πρώτου πίνακα**. Για να βρούμε το σχετικό σφάλμα πρέπει να υπολογίσουμε την **μέση τιμή της εξασθένησης των ινών ανά ζευγάρια** η οποία είναι **0,26 dBm** σύμφωνα με τον δεύτερο πίνακα . Η αποδεκτή τιμή σύμφωνα με το γράφημα είναι 0,22 dBm οπότε το σχετικό σφάλμα σύμφωνα με τον τύπο : % σχετικό σφάλμα = |πειραματική τιμή – αποδεκτή τιμή| / αποδεκτή X 100% είναι **18,1%**.

Μήκος Ίνας (m)	Τάση Εξόδου (V)
3	8,82
5	7,38
7	7,02
10	6,58

Ζευγάρια Ίνών	Εξασθένηση (dB/m)
3m με 5 m	0,38
3m με 7 m	0,22
3m με 10m	0,18





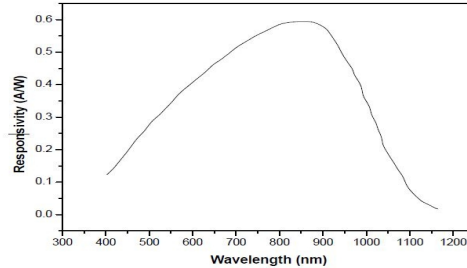
Επόμενο βήμα είναι η εύρεση της αποκρισιμότητας. Σύμφωνα με τον τύπο της αποκρισιμότητας $I = \rho \cdot P_{in}$ πρέπει να υπολογίσουμε το **ρεύμα(I)** και την **ισχύ (P_{in})** ώστε να βρεθεί η **πειραματική τιμή της αποκρισιμότητας**. Παρακάτω φαίνονται οι δυο πίνακες με τις τιμές του ρεύματος και της ισχύς.

- ✓ Ο πίνακας που ακολουθεί είναι η αποκρισιμότητας της κάθε ίνας. **Ο ΜΟ είναι 0,38 dB/m**. Αποδεκτή τιμή **0,49 dB/m**

Μήκος(m)	I(μA)
3	8,8
5	7,3
7	7,0

Μήκος(m)	P(dBm)	P(μW)
3	-26,75	2,11
5	-27,03	1,99
7	-27,50	1,77
10	-28,04	1,57

Μήκος(m)	ρ(A/W)
3	0,41
5	0,36
7	0,39



Το σχετικό σφάλμα είναι 22,7%. Η διαφορά δεν είναι τεράστια αλλά όχι και αδιάφορη.

- Αυτο μπορεί να οφείλεται στα εξής :
- 1) Ακαθαρσίες στην άκρη της ίνας
 - 2) Κακή κοπή

Πράσινη led : Μετράμε την **τάση εξόδου για τις ίνες 3m,5m,7m και 10m** και σύμφωνα με τον τύπο της εξασθένησης βγαίνουν τα αποτελέσματα του **πρώτου πίνακα**. Για να βρούμε το σχετικό σφάλμα πρέπει να υπολογίσουμε την **μέση τιμή της εξασθένησης των ινών ανά ζευγάρια** η οποία είναι **0,11 dBm** σύμφωνα με τον δεύτερο πίνακα . Η αποδεκτή τιμή σύμφωνα με το γράφημα(διαφάνεια 39) είναι 0,10 dBm οπότε το σχετικό σφάλμα σύμφωνα με τον τύπο : % σχετικό σφάλμα = |πειραματική τιμή – αποδεκτή τιμή| / αποδεκτή X 100% είναι 10%. Σε σχέση με την κόκκινη led βλέπουμε ένα αισθητά βελτιωμένο σχετικό σφάλμα.

Μήκος Ίνας(m)	Τάση Εξόδου (V)
3	0,68
5	0,459
7	0,448
10	0,403

Ζευγάρια Ινών	Εξασθένηση (dB/m)
5m με 7 m	0,05
5m με 10 m	0,12
7m με 10m	0,16

Μήκος Ίνας(m)	Τάση Εξόδου (V)
3	9,26
5	0,52
7	0,32
10	0,267

Ζευγάρια Ινών	Εξασθένηση (dB/m)
3m με5 m	6,25
3m με 7 m	3,65
3m με 10m	2,20
3m με 15m	1,52

Υπέρυθρη led : Ακολουθούμε την ίδια διαδικασία με πριν για να βρούμε τα ζευγάρια. Το **σχετικό σφάλμα** στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι κοντά στο **37,5%**. Το ποσοστό είναι πολύ πιο μεγάλο σε σχέση με τις άλλες 2 led.



Όπως και στην κόκκινη led έτσι και στην **πράσινη** θα βρούμε την πειραματική αποκρισιμότητα και θα παρουσιάσουμε το σχετικό σφάλμα που έχει σαν παράμετρος την αποδεκτή και την πειραματική αποκρισιμότητα. **Το ρεύμα(I)** και η **ισχύς (Pin)** φαίνονται στους παρακάτω πίνακες.

Ο πίνακας που ακολουθεί

είναι η αποκρισιμότητας της

κάθε ίνας. **Ο ΜΟ είναι**

0,29 dB/m. Αποδεκτή τιμή **0,38 dB/m**

Μήκος(m)	I (μΑ)
3	6,8
5	4,6
7	4,4
10	4,0

Μήκος ίνας(m)	P(dBm)	P(μW)
3	-26,74	2,11
5	-28,18	1,52
7	-28,54	1,39
10	-28,18	1,52

Μήκος (m)	ρ(A/W)
3	0,32
5	0,30
7	0,31
10	0,26

Το σχετικό σφάλμα είναι 23%. Η διαφορά δεν είναι τεράστια αλλά όχι και αδιάφορη. Η διαφορά αυτή οφείλεται στους ίδιους παράγοντες που αναφέραμε στην κόκκινη led και διαφέρει ελάχιστα από αυτήν.

Όπως και στις άλλες δύο led έτσι και στην **υπέρυθρη** θα βρούμε την πειραματική αποκρισιμότητα και θα παρουσιάσουμε το σχετικό σφάλμα που έχει σαν παράμετρος την αποδεκτή και την πειραματική αποκρισιμότητα. **Το ρεύμα(I)** και η **ισχύς (Pin)** φαίνονται στους παρακάτω πίνακες.

Ο πίνακας που ακολουθεί

είναι η αποκρισιμότητας της

κάθε ίνας. **Ο ΜΟ είναι**

0,275 dB/m. Αποδεκτή τιμή **0,6 dB/m**

Μήκος(m)	I (μΑ)
5	0,52
7	0,32

Μήκος (m)	ρ(A/W)
5	0,5
7	0,05

Μήκος ίνας(m)	P(dBm)	P(μW)
3	-17,42	1,81
5	-29,79	1,04
7	-32,37	5,79
10	-33,77	4,59

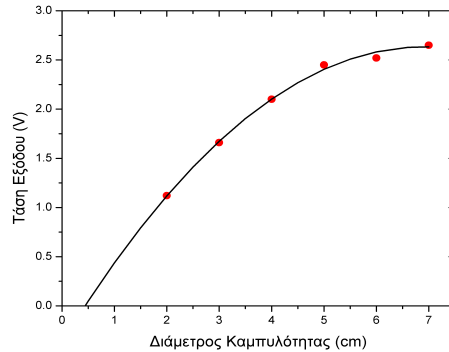
Το σχετικό σφάλμα είναι 54,1%. Η διαφορά είναι μεγαλύτερη από τις άλλες δύο περιπτώσεις. Η διαφορά αυτή οφείλεται στους ίδιους παράγοντες που αναφέραμε στις άλλες δύο περιπτώσεις.



1.2 Απώλειες ίνας λόγω καμπυλότητας

- Στο στάδιο αυτό θα μελετήσουμε τις απώλειες των οπτικών ίνων λόγω της καμπυλότητας τους. Αρχικά μετράμε μια ίνα με μήκος 1 m και παίρνουμε τάση εξόδου 7.94 V. Σταδιακά θα ξεκινήσουμε από 7cm και θα καταλήξουμε στο 1cm.

Διάμετρος Καμπυλότητας (cm)	Τάση εξόδου(V)
7	2,65
6	2,52
5	2,45
4	2,10
3	1,66
2	1,12



- **Παρατηρούμε** ότι όσο καμπυλώνεται η πλαστική οπτική ίνα με βάση τον παραπάνω κύκλο, αυξάνονται οι απώλειες της και μειώνεται και η τάση εξόδου της. Αυτό συμβαίνει, γιατί αλλάζει η γωνία πρόσπτωσης της ακτίνας του φωτός που πέφτει στην διαχωριστική επιφάνεια πυρήνα-περιβλήματος ως συνέπεια της κύρτωσης της ίνας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΔΙΚΤΥΟΥ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ LinkSIM

Το **LinkSIM** είναι ένα προχωρημένο πακέτο προσομοίωσης οπτικών επικοινωνιακών συστημάτων. Μπορούμε να **σχεδιάσουμε ζεύξεις οπτικών επικοινωνιών** και να εξετάσουμε την **λειτουργία και απόδοσή τους** συναρτήσει διαφόρων παραμέτρων των στοιχείων που τις αποτελούν (laser, edfa, ινών, κλπ).

Αρχικά στο δίκτυο αυτό οι οπτικές ίνες που θα χρησιμοποιήσουμε θα υποστηρίζουν **μοναχά ένα τρόπο μετάδοσης**, στην συνέχεια θα τις αντικαταστήσουμε με **πολύτροπες ίνες** και θα δούμε την διάφορα που υπάρχει στον εύρος ζώνης των δεδομένων.

Ταυτόχρονα, θα χρησιμοποιούμε 2 ειδή διαμόρφωσης **return to zero (RZ)** και **non return to zero (NRZ)** για να δούμε με ποιον από τους δύο κωδικούς διαμόρφωσης η απόδοση του δικτύου είναι μεγαλύτερη.

Τέλος, στις διαφορές προσομοιώσεις που θα πραγματοποιήσουμε θα, τοποθετήσουμε έναν **οπτικό ενισχυτή edfa** για να μειώσουμε τις απώλειες του καναλιού μετάδοσης, βελτιώνοντας έτσι την λειτουργία του οπτικού δικτύου.

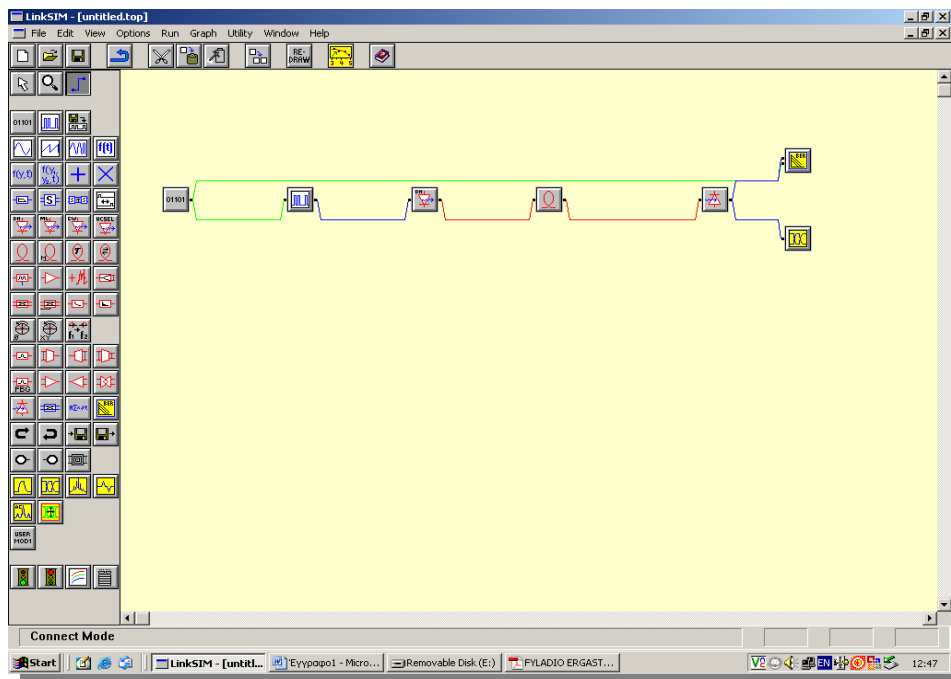
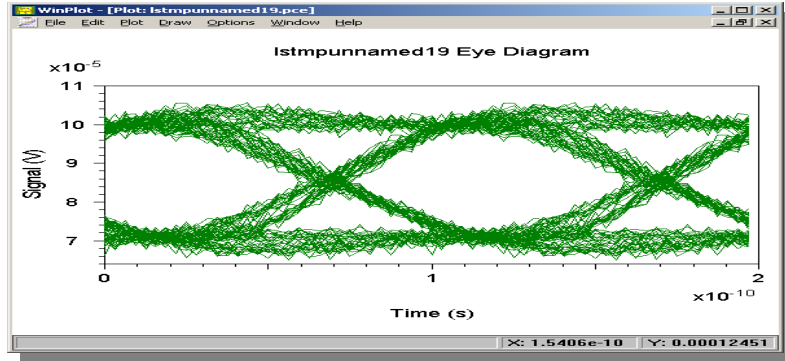


Πριν προχωρήσουμε στην προσομοίωση πρέπει να αναφέρουμε κάποιες έννοιες που είναι βασικές στην κατανόηση των διαγραμμάτων

1 Διάγραμμα οφθαλμού (Eye Diagram)

Με το διάγραμμα οφθαλμού εξετάζουμε οπτικά την επίδραση του θορύβου στην απόδοση ενός ψηφιακού συστήματος. Το οφθαλμικό διάγραμμα παρέχει έναν οπτικό τρόπο ελέγχου της απόδοσης του δέκτη.

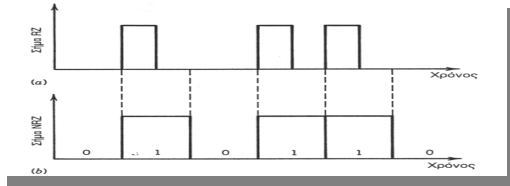
Υπάρχει το ιδανικό διάγραμμα οφθαλμικό διάγραμμα το οποίο οπτικά είναι πολύ καθαρό και ευδιάκριτο, επίσης υπάρχει και το υποβαθμισμένο, στο οποίο ο θόρυβος και το χρονικό τρέμουλο οδηγούν σε μερικό κλείσιμο του ματιού. Ο καλύτερος δειγματοληπτικός χρόνος αντιστοιχεί στο μέγιστο άνοιγμα του ματιού.



Screenshot από το περιβάλλον εργασίας του LinkSIM. Στην αριστερή στήλη βλέπουμε τις δυνατότητες που μας δίνει το πρόγραμμα για προσομείωση μιας οπτική ζεύξης(π.χ. πομπός,δέκτης,ίνες,ενισχυτές,κ.τ.λ). Στο κεντρικό πλάνο βλέπουμε την οπτική ζεύξη που θέλουμε να “τρέξουμε”.



- ➔ Ο **ρυθμός εσφαλμένων bit (BER)** δίνει μία μέτρηση της αποδοτικότητας ενός ψηφιακού συστήματος. Είναι ο λόγος του πλήθους των bit που ανιχνεύθηκαν εσφαλμένα προς το σύνολο των bit που ανιχνεύθηκαν.
- ➔ Κωδικοί διαμόρφωσης :
- ✓ **RZ** : Κάθε οπτικός παλμός που αναπαριστά το bit 1 είναι βραχύτερος από την περίοδο του bit και το πλάτος του επιστρέφει στο μηδέν (μηδενίζεται) πριν τελειώσει η διάρκεια του bit.
- ✓ **NRZ** : Ο οπτικός παλμός παραμένει σταθερός σε όλη τη διάρκεια της περιόδου του bit και το πλάτος του δεν πέφτει στο μηδέν μεταξύ δύο ή περισσότερων bit "1".

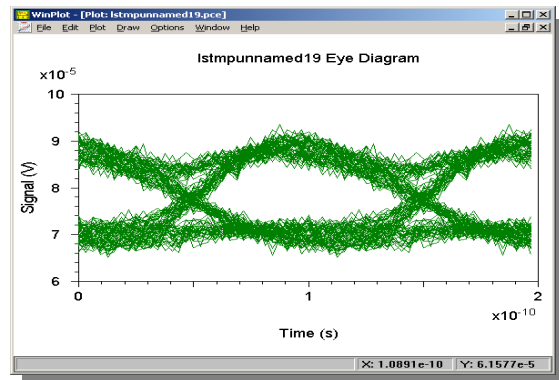
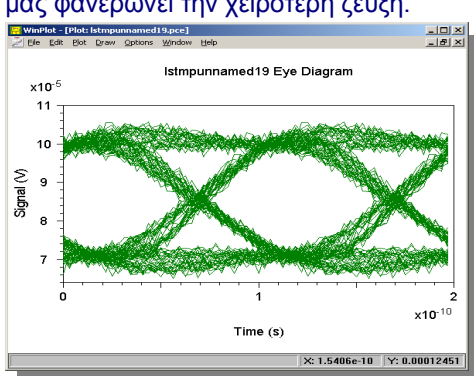


- ➔ **Βασικά χαρακτηριστικά** για να ερμηνεύσουμε τα αποτελέσματα :
- ✓ Επίπεδο οφθαλμού (επίπεδο πλάτους για να αντιπροσωπεύει data bits)
- Πλάτος οφθαλμού (απόσταση μεταξύ δυο γειτον. οφθαλμικών επιπέδων)
- ✓ Πλάτος σημείου τομής (τα σημεία όπου συναντιούνται οι συναρτ.)
- ✓ Μήκος οφθαλμού - Ύψος οφθαλμού (οριζόντια απόστ. μεταξύ δυο σημείων τομής)

Διαφορές NRZ και RZ (εικ.119-120) σε μονότροπες οπτικές ίνες

- Η NRZ είναι από τις διαμορφώσεις που έχει την καλύτερη συμπεριφορά απέναντι στο θόρυβο. Σε σύγκριση με το προηγούμενο διάγραμμα οφθαλμού με τη διαμόρφωση NRZ, παρατηρούμε ότι έχει μειωθεί αισθητά η μέγιστη περιοχή του λογικού «1», ή αλλιώς η περιοχή του Επιπέδου 1.
- Η μεγαλύτερη διαφορά που παρατηρείτε είναι στο ύψος και όχι στο πλάτος και ρόλο παίζουν τα χαρακτηριστικά που έχει η ίνα. Οι παλμοί είναι στενότεροι χωρίς να παρουσιάζουν περισσότερα πλεονεκτήματα. Λόγω τις απλότητας τους χρησιμοποιούνται σε κοντινές αποστάσεις.

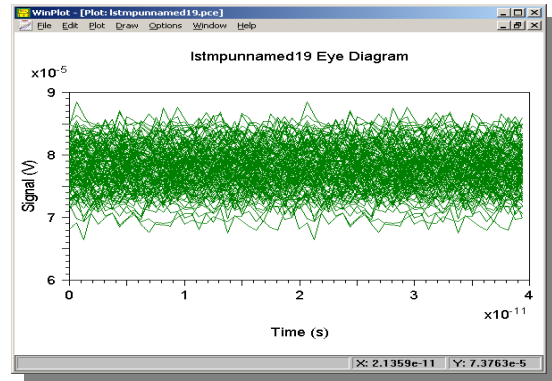
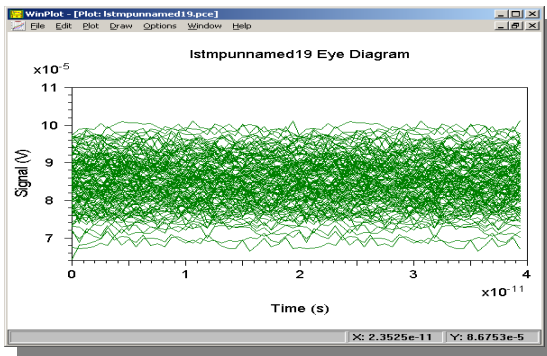
Το **BER στην NRZ είναι 4.075759e-009**. Αυτό σημαίνει ότι σε περίπου 1.000.000.000 bits μόνο τα 4,07 bits θα μεταδοθούν λάθος. Η αναλογία είναι σε ικανοποιητικό επίπεδο για μια οπτική ζεύξη. Στην **RZ** από την άλλη το **BER είναι 6.232809e-009**. Άλλο ένα στοιχείο που μας φανερώνει την χειρότερη ζεύξη.





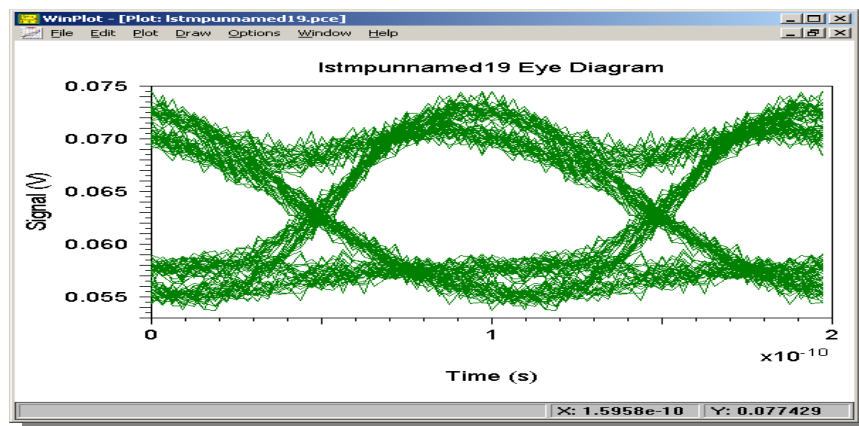
(ΕΙΚ.121-122)

- **Αυξάνοντας τον ρυθμό** μετάδοσης στην γεννήτρια από **1 σε 50 Gbps** με κωδικό διαμόρφωσης NRZ και στην συνέχεια RZ βλέπουμε ότι και τα δύο διαγράμματα οφθαλμού είναι σε **πολύ κακή κατάσταση**. Το καταλαβαίνουμε και από την τιμή του BER που είχε ραγδαία αύξηση αφού στον ίδιο χρόνο με πριν στείλαμε περισσότερα δεδομένα.
- Ένα γενικό συμπέρασμα που προκύπτει είναι ότι όταν **αυξάνουμε τον ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων, αυξάνεται ο ρυθμός εμφάνισης λαθών**. Η αλλαγή του κώδικα δεν έχει μεγάλη σημασία στην συγκεκριμένη περίπτωση. Η μοναδική αλλαγή που παρατηρούμε είναι ότι στο σχήμα με κωδικό RZ έχουμε μεγαλύτερη πυκνότητα.



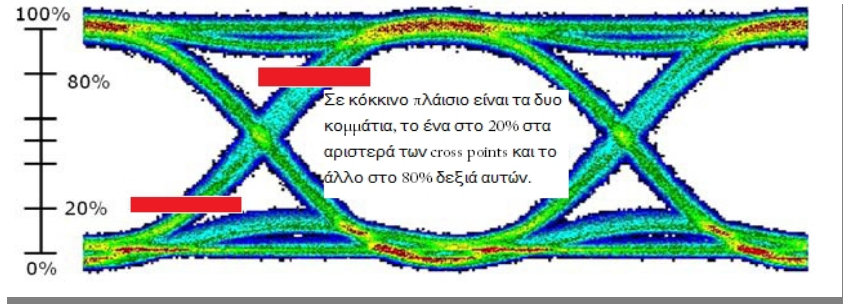
(ΕΙΚ. 123-128)

- Στην συνέχεια **προσθέτουμε ένα οπτικό ενισχυτή EDFA** με κέρδος 30 db και μειώνουμε τον ρυθμό μετάδοσης από **50 σε 1 Gbps**. Ο σκοπός του οπτικού ενισχυτή είναι να βελτιώσει το φτωχό SNR των προηγούμενων σχημάτων. Έτσι θα μειωθούν οι απώλειες που υπήρχαν λόγω ζεύξης και θορύβου. Το οφθαλμικό διάγραμμα είναι πιο καθαρό δηλαδή δεν υπάρχει τόσο πάχος στην συγκέντρωση των σημάτων. Σε σχέση με το σχήμα 119 έχουμε πιο ανοικτό μάτι και καλύτερο Signal-to-Noise Ratio που λίγο πολύ το αναμέναμε λόγω του ενισχυτή.





- Τα cross points μεταξύ των κυμάτων (καθορίζουν την αρμονικότητα) **έχουν τάση προς το κέντρο και τιμή αναγνώρισης 50%** α σε ιδανική περίπτωση.
- Στην RZ δεν έχουμε αρμονικό σχήμα με ποσοστό 25% και το ένα σημείο τείνει να συναντήσει το άλλο και το μάτι έχει μικρότερο μήκος(δηλαδή το λογικό 1 θα έχει μικρότερη διάρκεια από το 0).

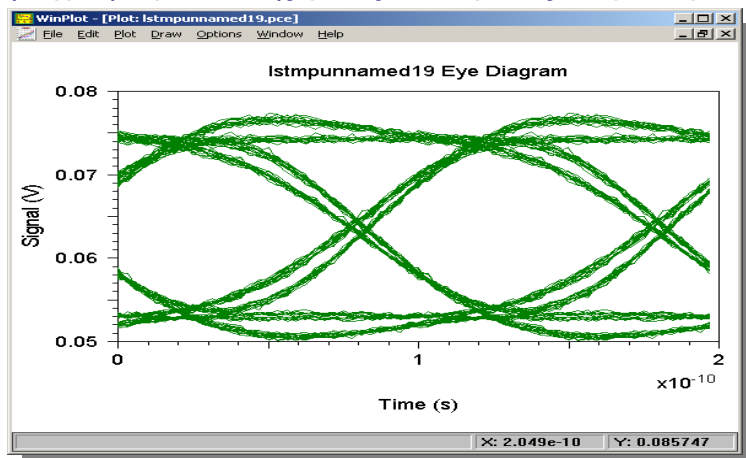


- Το πλάτος δεν είναι συμμετρικό αφού τα σημεία 0 και 1 δεν είναι στην ίδια ευθεία ενώ στην NRZ το σταυρόνημα σχηματίζει τέλειο σταυρό με το κέντρο στο κέντρο του οφθαλμού και ευθείες παράλληλες με τον κάθετο και οριζόντιο άξονα .
- Η μείωση συχνότητας εκπομπής bit απέφερε φυσιολογικές συνθήκες στο BER. Στα 10-56 bits τα 6 είναι λάθος.

Συμπεράσματα από το πειραματικό μέρος

Μέσα από την έρευνα καταλήξαμε σε κάποια συμπεράσματα για τους κωδικούς διαμόρφωσης και όχι μόνο. Αρχικά η **NRZ είναι από τις διαμορφώσεις που έχει την καλύτερη συμπεριφορά απέναντι στο θόρυβο**, πράγμα που την καθιστά ως επί το πλείστον κατάλληλη για εφαρμογές επάνω στη μετάδοση μέσω οπτικών ινών.

- Σε αντίθεση με την απλή **RZ**, η οποία κατά τα πειράματα **εμφάνισε μειωμένη ανοχή στο θόρυβο**. Αυτό συνέβει λόγω του φαινομένου υψηλού αρμονικού περιεχομένου.
- Αυξάνοντας τώρα τον ρυθμό μετάδοσης δεδομένων, αυξήθηκε και για τις δυο μεθόδους που μελετήσαμε το όριο εμφάνισης λαθών στις σειρές των bit πληροφορίας. Επομένως είναι ένα μέγεθος, το οποίο παραμένει ίδιο και στις δυο περιπτώσεις. Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, η ταχύτητα μετάδοσης για τις πολύτροπες και μονότροπες ίνες είναι καθορισμένη.





- ♦ Στην προσπάθειά μας να καλυτερεύσουμε το σήμα, χρησιμοποιήθηκαν φίλτρα, τα οποία έδειξαν **καλύτερη συμπεριφορά για χαμηλό εύρος ζώνης στην μέθοδο NRZ**. Σε συνδυασμό πάντα με ένα καλό Signal to noise ratio, το οποίο αποδίδει καλύτερο σήμα.
- ♦ Στην επιλογή και χρήση ίνας, η μονότροπη ίνα λόγω της φυσιολογίας της μπορεί να **επιτύχει υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης** διανύοντας ακόμη μεγαλύτερες αποστάσεις. Πράγμα πολύ φυσικό, αφού έχουμε μόνο ένα μήκος κύματος και η διάμετρος της ίνας είναι ίση με αυτό.
- ♦ Από τις προσημειώσεις προτείνεται **σαν καλύτερη λύση η χρήση μονότροπης ίνας, με εύρος ζώνης έως 2Gbps και χρήση NRZ**. Η διαμόρφωση RZ είναι εντελώς άσκοπη διότι είναι χρονοβόρα και θα σπαταλήσει πολύ εύρος ζώνης για την μεταφορά των δεδομένων.