

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

"Μελέτη Δικτύων Πρόσβασης FTTx"

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΚΟΡΟΛΗΣ Α.Μ : 0228

ΑΓΓΕΛΟΣ ΣΗΜΑΤΗΣ Α.Μ : 0221

Επιβλέπων Καθηγητής: Ηλίας Ασαρίδης

ΑΝΤΙΠΡΟΪΟ 2016

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή

Αντίρριο,

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1.

2.

3.

Περίληψη

Η παρούσα πτυχιακή εργασία “Μελέτη Δικτύων πρόσβασης FTTx” πραγματεύεται και αναλύει τις βασικές έννοιες περί οπτικών ινών και δικτύων και κυρίως τα είδη και τις τεχνολογίες/τεχνικές των οπτικών δικτύων και από τι επηρεάζονται.

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια ιστορική αναδρομή. Από τη πρώτη απόπειρα οπτικής επικοινωνίας μέχρι την εφεύρεση της οπτικής ίνας, τη χρησιμοποίηση και την εξέλιξή της.

Στο δεύτερο κεφάλαιο εξηγούμε τι είναι το οπτικό δίκτυο, από τι αποτελείται και πως μεταφέρεται το σήμα μέσα σε αυτό. Επίσης αναφέρονται οι συσκευές που χρειάζονται για τη σωστή λειτουργία του δικτύου, τα είδη των οπτικών ινών, καθώς και τους παράγοντες που επηρεάζουν ένα οπτικό δίκτυο.

Στο τρίτο κεφάλαιο αναφέρονται τα βασικά είδη οπτικών δικτύων και σε ποιες κατηγορίες διακρίνονται. Επίσης αναφέρονται οι τοπολογίες και τα πρωτόκολλα ενός οπτικού δικτύου. Στη συνέχεια γίνεται η ανάλυση των τεχνικών FTTx και τέλος ασχολούμαστε με την εποπτεία ενός οπτικού δικτύου και τον έλεγχο του μέσω μιας συσκευής OTDR, αναλύοντας και κάποιες μετρήσεις.

Abstract

The present final work “Study of FTTx access networks” deals and analyzes the basic significances about optical fibers and networks, and mostly the types and the technology/techniques of the optical networks and from what they are affected.

In the first chapter we analyze the chronology of the optical networks. From the first attempt of optical communication, up to the invention of the optical fiber, the utilization and the way it developed.

In the second chapter, we explain what is an optical network, from what it consists and how the signal transports through the network. Furthermore we mention the equipment that is needed for the right operation of the network, the types of the optical fibers, and the factors that affect an optical network.

In the third chapter we analyze the basic types of optical networks and in which categories they are separated. We also mention the topologies and the protocols of an optical network. Then we perform an analysis of the FTTx techniques and in the end we are dealing with the monitoring of an optical network with the help of the OTDR device, and we present several optical fiber network that we monitored.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ.	11
-----------------------------	----

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 ΟΠΤΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ.	17
2.2 ΒΑΣΙΚΗ ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΝΟΣ ΟΠΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ.	18
2.3 ΟΠΤΙΚΟΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ.	21
2.4 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΕΝΑ ΟΠΤΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ.	30

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

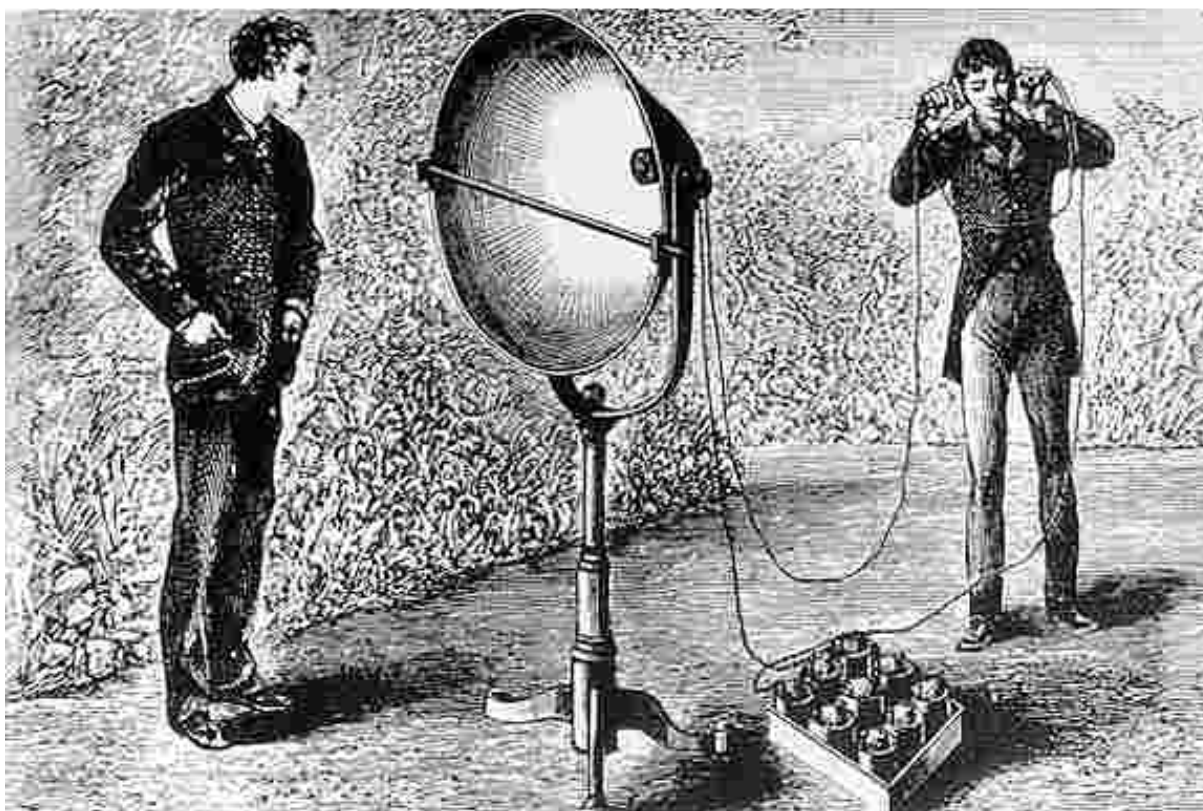
3.1 ΕΙΔΗ ΟΠΤΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ.	41
3.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ Fiber To The x.	61
3.3 ΕΠΟΠΤΕΙΑ ΟΠΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ.	71
3.4 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ OTDR.	90

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.	97
------------------------	----

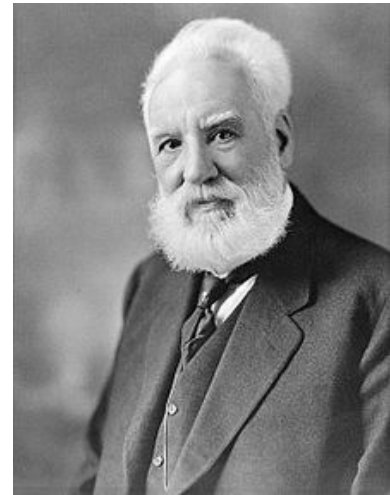
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.	99
---------------------------	-----------

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1



1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

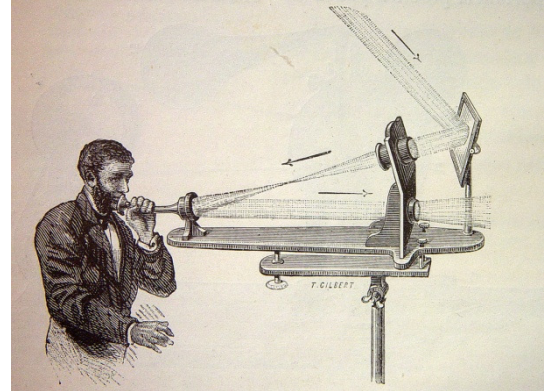
Από τις απαρχές της ανθρωπότητας υπήρχε η ανάγκη για επικοινωνία εξ αποστάσεως με ασφάλεια και αξιοπιστία καθώς και σε **πραγματικό χρόνο**, πράγμα το οποίο ήταν αδύνατο λόγω της έλλειψης τεχνολογικών μέσων έτσι ώστε αυτό να μπορέσει να καταστεί εφικτό. Αυτό το ερώτημα ήρθε να απαντήσει το 1876 ο Alexander Graham Bell, ο άνθρωπος που κατά πολλούς θεωρείται ο "πατέρας" των τηλεπικοινωνιών, με μια από τις σημαντικότερες εφευρέσεις στην ιστορία του ανθρώπου, το **τηλέφωνο**. Το τηλέφωνο του Bell ήταν η πρώτη κατοχυρωμένη συσκευή (υπήρχαν και υπάρχουν διχογνωμίες για το ποιος εφηύρε το πρώτο τηλέφωνο) με την οποία υπήρχε η δυνατότητα της αμφίδρομης επικοινωνίας. Η βασική αρχή λειτουργίας του τηλεφώνου, όπως καθιερώθηκε, ήταν ότι ένας πομπός μετατρέπει τα ηχητικά σήματα που παράγουμε με την ομιλία σε ηλεκτρομαγνητικά, με την βοήθεια ενός μαγνήτη και μιας μεμβράνης που πάλλεται ανάλογα, τα οποία στη συνέχεια διαδίδονται διάμεσου σύρματος χαλκού και τέλος τα σήματα αυτά καταλήγουν σε έναν δεκτή ο οποίος κάνει την αντίστροφη διαδικασία, μετατρέπει δηλαδή το ηλεκτρικό σήμα σε ήχο. Η πρώτη επιτυχημένη δοκιμή δημοσίως έγινε τον Αύγουστο του 1876, στην οποία ο Bell πραγματοποίησε κλήση από το Paris στο Brantford του Ontario (Καναδάς) χρησιμοποιώντας τα ήδη υπάρχοντα καλώδια των τηλεγράφων. Εκείνη την ημέρα κτίστηκαν τα θεμέλια των τηλεπικοινωνιών, κάτι που έμελλε να αλλάξει ριζικά τον τρόπο επικοινωνίας ανά το κόσμο έως και σήμερα.



Alexander Graham Bell
Εικόνα 1.1

Υπάρχει όμως και μια άλλη συσκευή του Alexander Graham Bell λιγότερο γνωστή στο ευρύ κοινό, η οποία μπορεί να θεωρηθεί η πρώτη απόπειρα πειραματισμού με οπτική επικοινωνία, το **φωτόφωνο** (photophone). Το φωτόφωνο εφευρέθηκε τέσσερα χρόνια μετά το τηλέφωνο (1880) και χρησιμοποιούσε οπτικά σήματα για να μεταδώσει την πληροφορία σε αντίθεση με το τηλέφωνο που χρησιμοποιούσε ηλεκτρικά. Συγκεκριμένα, στην κατάληξη ενός ηχητικού χωνιού υπήρχε ένας πολύ λεπτός καθρέφτης (τόσο λεπτός που μπορούμε να τον θεωρήσουμε μεμβράνη) ο οποίος ταλαντωνόταν καθώς προσέκρουαν ηχητικά σήματα πάνω του. Παράλληλα, από την άλλη μεριά του καθρέπτη ανακλούσε μια ακτίνα φωτός, η

οποία έκανε ανεπαίσθητες ταλαντώσεις τις οποίες παραλάμβανε ένα παραβολικό κάτοπτρο και την οδηγούσε στο κέντρο του όπου υπήρχε ένα φωτοκύτταρο. Το φωτοκύτταρο μετέτρεπε το παλλόμενο φως σε ηλεκτρικό ρεύμα και το ακουστικό μετέτρεπε το ρεύμα σε ήχο. Η συγκεκριμένη συσκευή δοκιμάστηκε από τον Bell έχοντας τον πομπό στο εργαστήριο του και τον δέκτη στην ταράτσα του σχολείου Franklin απόσταση 213 μέτρων. Επομένως, μπορούμε επίσης να μιλήσουμε ελευθέρα και για την πρώτη καταγεγραμμένη ασύρματη επικοινωνία. Η μόνη χρήση της συγκεκριμένης συσκευής, μετά από την δοκιμή της, έγινε πολύ αργότερα από στρατιωτικούς στον Β' Παγκόσμιο, αλλά δεν δόθηκε συνέχεια λόγω τεχνικών προβλημάτων καθώς η συσκευή δεν ήταν αξιόπιστη σε μεγάλες αποστάσεις.



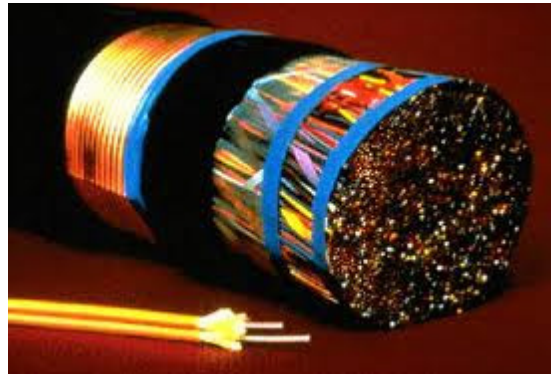
Εικόνα 1.2- Πομπός Φωτοφώνου

Στην δεκαετία του '50 πραγματοποιήθηκαν διάφοροι πειραματισμοί πάνω στις οπτικές επικοινωνίες έτσι ώστε να βρεθεί ένα μέσο το οποίο θα επιτρέπει την μετάδοση δεσμών φωτός επιτυχημένα, έτσι οι επιστήμονες κατέληξαν στις πρώιμες οπτικές ίνες από γυαλί. Το πρόβλημα που αντιμετώπισαν όμως ήταν ότι το υλικό αυτό είχε τεράστιες απώλειες που άγγιζαν τα 1000dB/km σε σύγκριση με τον χαλκό που κυμαινόταν από στα 5-10dB/km. Το πρόβλημα αυτό ήρθε να λύσει το 1966 ο Charles K. Kao με τον George Hockham, όπου ανακάλυψαν ότι δεν ήταν το γυαλί αλλά οι προσμίξεις άλλων υλικών μέσα σε αυτό που δημιουργούσαν τις απώλειες. Έτσι λοιπόν πρότειναν το γυαλί από σιλικόνη το οποίο ήταν πιο "καθαρό", καθώς οι προσμίξεις άλλων υλικών ήταν ελάχιστες σε σχέση με το απλό γυαλί.

Στις αρχές της δεκαετίας του '70 λοιπόν αναπτύχθηκαν οι οπτικές ίνες από σιλικόνη με εξασθένηση γύρω στα 20dB/km, πλαίσιο ανεκτό για επικοινωνία, ενώ παράλληλα αναπτύχθηκαν και οι ημιαγωγοί LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) τα οποία επέτρεπαν την μετάδοση του φωτός διάμεσου της οπτικής ίνας σε μεγάλες αποστάσεις. Μετά από μια περίοδο ερευνών που ξεκίνησε το 1975, αναπτύχθηκε το πρώτο εμπορικό οπτικό δίκτυο το οποίο λειτουργούσε σε μήκος κύματος 0.8μm με laser στα 45Mbps, ενώ είχε repeater κάθε 10km. Η πρώτη εφαρμογή σε ευρεία κλίμακα έγινε το 1978 στο Hastings του ανατολικού Σάσσεξ του Ηνωμένου Βασιλείου με πάνω από χίλιους συνδρομητές και χρησιμοποιήθηκε για εκπομπή τηλεοπτικών καναλιών. Η υποδομές αυτού

του δικτύου υπάρχουν ακόμα και σήμερα αλλά υπολειπονται καθώς την θέση τους έχουν πάρει πιο σύγχρονα οπτικά δίκτυα.

Η δεύτερη γενιά εμπορικών οπτικών δικτύων καθιερώθηκε στις αρχές του 1980 και λειτουργούσε σε μήκος κύματος 1.3μm με laser. Τα πρώτα αυτά δίκτυα υπέφεραν από φαινόμενα διασποράς της πολύτροπης ίνας με αποτέλεσμα να έχουν πολλές απώλειες. Η λύση βρέθηκε το 1981 όπου αναπτύχθηκε η μονότροπη οπτική ίνα, η οποία μείωσε σημαντικά την διασπορά του φωτός. Μέχρι το 1987 τα δίκτυα αυτά λειτουργούσαν στις ασύλληπτες για την εποχή ταχύτητες των 1.7Gbps, με repeater κάθε 50km. Λογικό επόμενο ήταν να στεφθεί με επιτυχία η πρώτη υπερατλαντική κλήση με την βοήθεια των οπτικών ινών το 1988. Η υποδομή αυτή είχε την δυνατότητα εξυπηρέτησης 40.000 κλήσεων, ποσό δεκαπλάσιο σε σχέση με το αντίστοιχο καλώδιο χαλκού.

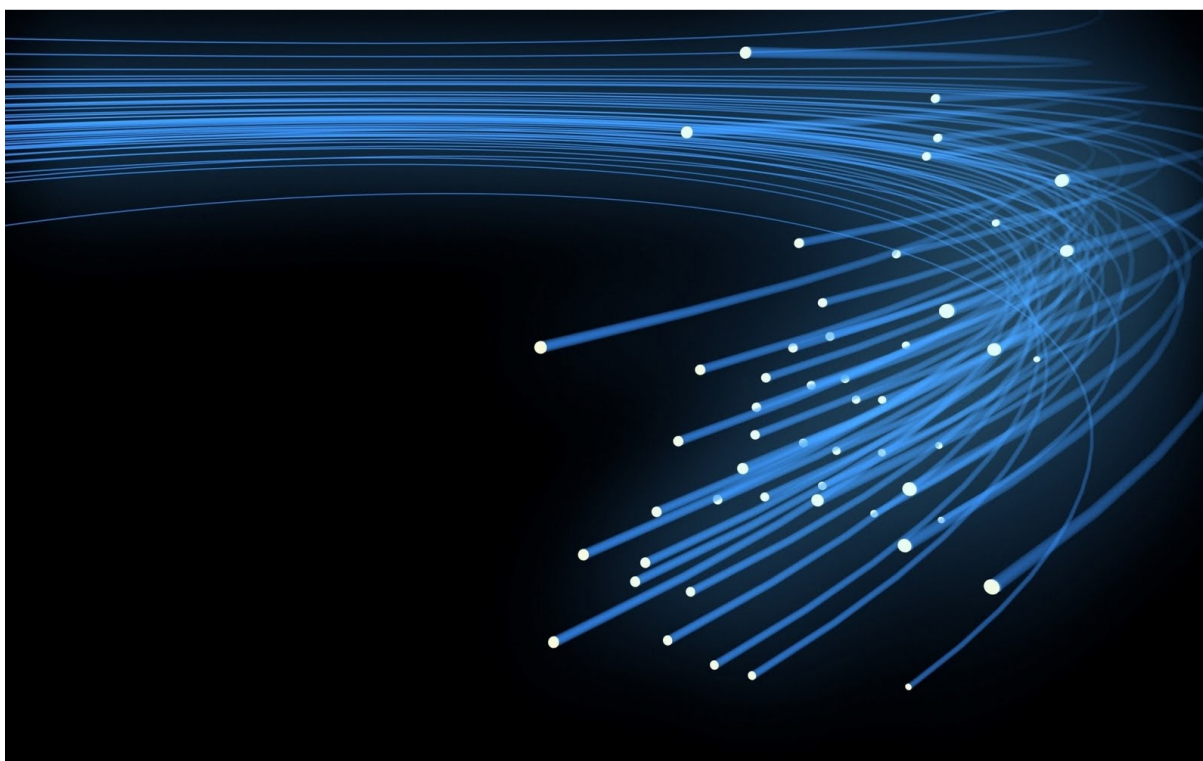


Εικόνα 1.3- Η οπτική ίνα στη φωτογραφία μπορεί να εξυπηρετήσει το ίδιο Bandwidth με τα καλώδια χαλκού.

Τα συστήματα οπτικών ινών τρίτης γενιάς λειτουργούσαν στα 1.55μm, με τις απώλειες να κυμαίνονται στα 0.2dB/km. Τεραστία συμβολή σε αυτό είχε η ανακάλυψη του Γάλλιου Ίνδιου Αρσένιου (GaInAs) και η εφαρμογή του στις φωτοδιόδους. Οι φωτοδιόδοι GaInAs είναι η καλύτερη επιλογή για μήκη κύματος μεταξύ 1.1 μm και 1.7 μm έως και σήμερα. Παράλληλα κατασκευάστηκαν και οι οπτικές ίνες μετατοπισμένης διασποράς **DSF** (Dispersion Shifted Fiber), οι οποίες σχεδιάστηκαν έτσι ώστε να παρουσιάζουν μηδενική διασπορά στα 1.55μm. Οι βελτιώσεις αυτές επέτρεψαν στα οπτικά δίκτυα 3ης γενιάς να αγγίζουν τις ταχύτητες της τάξεως των 2.5Gbps με repeater κάθε 100km.

Κατά την ανάπτυξη των δικτύων τέταρτης γενιάς εισήχθησαν οι οπτικοί ενισχυτές και εξάλειψαν την ανάγκη για επαναλήπτες, καθώς και η πολυπλεξία μήκους κύματος (WDM) έτσι ώστε να αυξηθεί το διαθέσιμο εύρος ζώνης σε μια οπτική ίνα. Αποτέλεσμα αυτών των βελτιώσεων είναι η συνολική αύξηση του διαθέσιμου εύρους ζώνης στα οπτικά δίκτυα με εκθετικούς ρυθμούς και το «σπάσιμο» του φράγματος των 10Tbps το 2001.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2



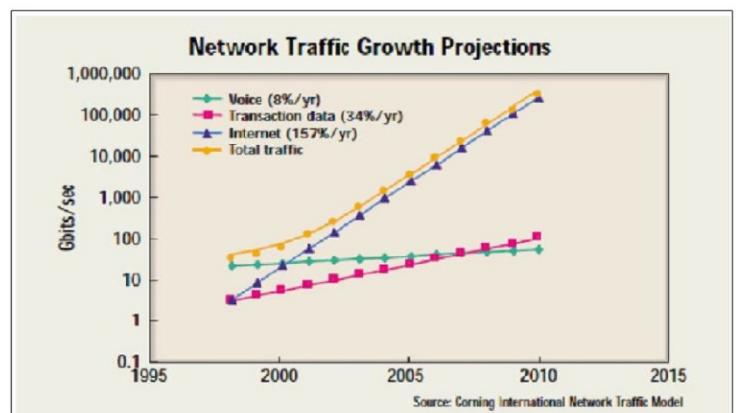
2.1 ΟΠΤΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

Με τον όρο οπτικό δίκτυο εννοούμε μια υποδομή που χρησιμοποιεί οπτικά σήματα για να μεταβιβάσει πληροφορίες μέσω οπτικών ινών από κόμβο σε κόμβο τόσο σε τοπικό επίπεδο όσο και σε ευρύ γεωγραφικό φάσμα. Ένα οπτικό δίκτυο δηλαδή μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένα τοπικό δίκτυο (LAN) ενός πανεπιστήμιου , καθώς και για να παρέχει ευζωνικές υπηρεσίες σε μια ολόκληρη πόλη ή να γεφυρώσει ηπείρους διατλαντικά (WAN).

Ένα εύλογο ερώτημα που προκύπτει είναι, γιατί να προτιμήσει κάποιος τα δίκτυα οπτικών ινών, από τα ήδη υπάρχοντα δίκτυα χαλκού τα όποια μας έχουν εξυπηρετήσει αξιοπρεπώς, τόσο στον τομέα της επικοινωνίας όσο και στους τομείς της ενημέρωσης και της ψυχαγωγίας; Η απάντηση σε αυτό το ερώτημα είναι πολύ απλή: ζήτηση. Τα τελευταία 10 χρόνια διανύουμε την εποχή της πληροφορίας και ο όγκος των δεδομένων που έχουμε να διαχειριστούμε αυξάνεται συνεχώς με εκθετικό ρυθμό(Εικόνα 2.1). Σε αυτό συμβάλει το γεγονός ότι οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούμε στην καθημερινή μας ζωή (π.χ. VoIP, downloading, video streaming, HDTV κ.α.) απαιτούν ολοένα και μεγαλύτερο bandwidth για να ανταπεξέλθουν στις ανάγκες μιας οικογένειας, πόσο μάλλον μιας πολυεθνικής εταιρείας.

Έτσι λοιπόν, με βάση τις υπάρχουσες απαιτήσεις θεωρείται μονόδρομος η χρήση των οπτικών δικτύων έναντι των αντιστοιχών υποδομών χαλκού καθώς υπερτερούν σε παρά πολλούς τομείς. Ενδεικτικά, τα πιο κυρία **πλεονεκτήματα** είναι τα εξής :

1. Ο όγκος των δεδομένων που μπορεί να μεταφέρει μια οπτική ίνα είναι τεράστιος.
2. Η μεταφορά δεδομένων από το ένα άκρο στο άλλο είναι κατά πολύ ταχύτερη, καθώς εκμεταλλευόμαστε την ταχύτητα του φωτός.
3. Οι απώλειες δεδομένων και η εξασθένιση του οπτικού σήματος



Εικόνα 2.1 - Παγκόσμια ζήτηση διαδικτυακής κίνησης

- είναι σχεδόν μηδενική.
4. Το γυαλί που χρησιμοποιείται σαν πρώτη υλη για την οπτική ίνα έχει χαμηλό κόστος.
 5. Ένα οπτικό σήμα για να μεταδοθεί απαιτεί πολύ μικρότερη ενέργεια από ένα αντίστοιχο ηλεκτρικό.
 6. Οι οπτικές ίνες μπορούν να τοποθετηθούν σε περιοχές με υψηλή ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή χωρίς να επηρεάζονται στο παραμικρό.
 7. Τα δεδομένα μεταδίδονται ψηφιακά και όχι αναλογικά.

Παρόλα αυτά, υπάρχουν και κάποια μειονεκτήματα :

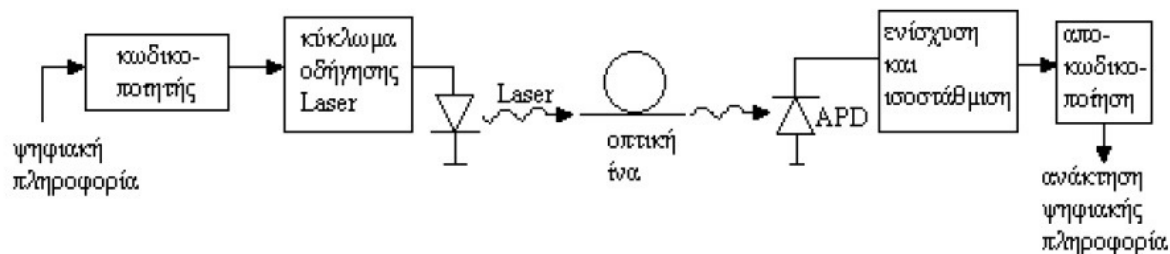
1. Οι οπτικές ίνες είναι εύθραυστες σαν υλικό.
2. Πρέπει να τοποθετηθούν με κλίση ώστε να μην υπάρχει απώλεια δεδομένων.
3. Δεν είναι ευλύγιστες σε σχέση με τον χαλκό.
4. Οι οπτικές ίνες είναι ακριβότερες σε σχέση με το χαλκό και το κόστος των οπτικοηλεκτρονικών διατάξεων ενδέχεται να είναι μεγαλύτερο.

2.2 ΒΑΣΙΚΗ ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΝΟΣ ΟΠΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Η βασική αρχή λειτουργίας ενός οπτικού δικτύου είναι η εξής:

- δημιουργία ενός οπτικού σήματος από ένα πομπό.
- μεταφορά του σήματος από την οπτική ίνα.
- διασφαλίζουμε ότι το σήμα δεν θα εξασθενίσει / αλλοιωθεί.
- παραλαβή σήματος από έναν δέκτη.
- μετατροπή του οπτικού σήματος σε ηλεκτρικό.

Πιο αναλυτικά βλέπουμε την δομή ενός οπτικού δικτύου στην εικόνα 2.2:

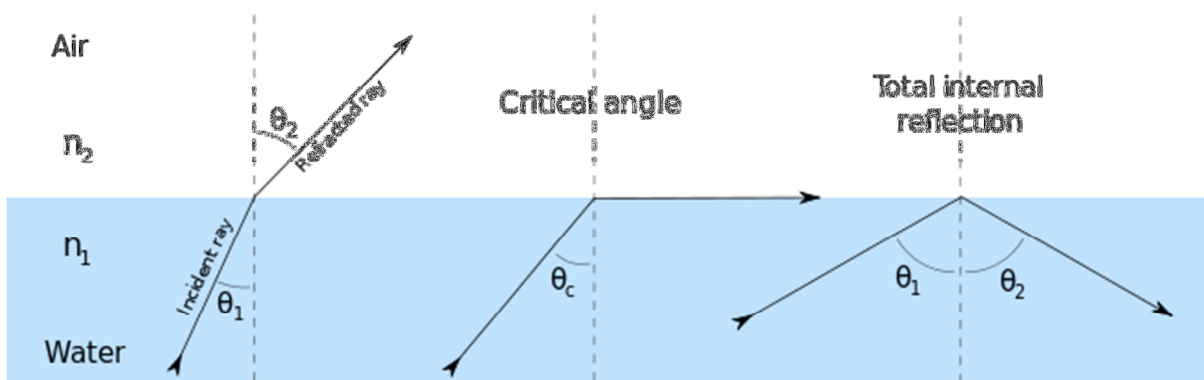


Εικόνα 2.2 - Δομή οπτικού δικτύου

Η μεταφορά των ψηφιακών δεδομένων μέσω της οπτικής ίνας βασίζεται στον νόμο του Σνελ. Πιο συγκεκριμένα, όταν μια ακτίνα φωτός μεταβαίνει από ένα μέσο με δείκτη διάθλασης n_1 , σε ένα μέσο με μικρότερο δείκτη διάθλασης n_2 , τότε, υπό ορισμένες συνθήκες παρατηρείται το φαινόμενο της **ολικής εσωτερικής ανάκλασης**.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Όπως βλέπουμε στην εικόνα 2.3, έχουμε μια υδάτινη μάζα με δείκτη διάθλασης n_1 και μια δέσμη φωτός η οποία την διασχίζει για να μεταβεί στον αέρα ο οποίος έχει δείκτη διάθλασης n_2 .



Εικόνα 2.3 - Ολική Εσωτερική Ανάκλαση

Η διαθλώμενη ακτίνα στο πρώτο διάγραμμα απομακρύνεται από την κάθετο γιατί ο δείκτης διάθλασης του νερού ($n_1=1.33$) είναι μεγαλύτερος από αυτόν του αέρα ($n_2=1$). Γνωρίζουμε επίσης, ότι όταν το φως προσπίπτει σε μια διαχωριστική επιφάνεια ένα μέρος διαθλάται, αλλά το υπόλοιπο ανακλάται. Όταν λοιπόν, η γωνία πρόσπτωσης αποκτήσει την τιμή θ_c , που ονομάζεται **οριακή γωνία** τότε η διαθλώμενη ακτίνα κινείται παράλληλα προς την διαχωριστική επιφάνεια, όπως φαίνεται στο δεύτερο διάγραμμα. Τέλος, όταν η γωνία πρόσπτωσης είναι μεγαλύτερη από την θ_c , τότε η δέσμη φωτός ανακλάται ολικά (διάγραμμα 3).

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα μπορούμε να υπολογίσουμε την οριακή γωνία θ_c , χρησιμοποιώντας το νόμο του Σνελ:

$$n_1 * \sin\theta_1 = n_2 * \sin\theta_2 \Rightarrow$$

$$1,33 * \sin\theta_c = 1 * \sin 90^\circ \Rightarrow$$

$$\sin\theta_c = \frac{1}{1.33} \Rightarrow$$

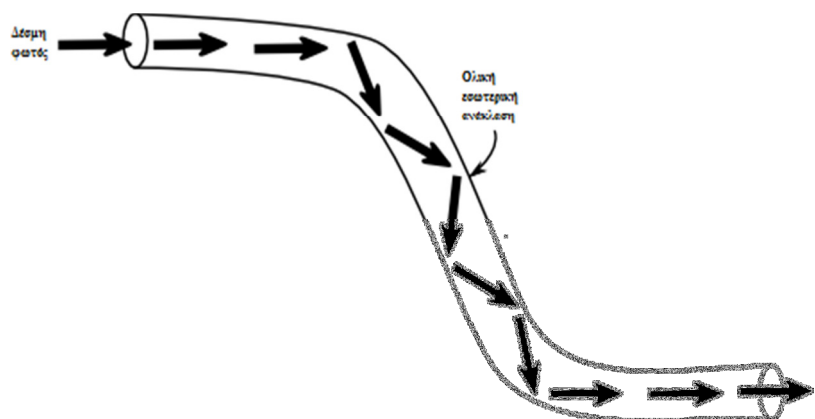
$$\sin\theta_c = 0.7518 \Rightarrow$$

$$\theta_c = \arcsin(0.7518) \Rightarrow$$

$$\theta_c = 48,7^\circ$$

Άρα λοιπόν η οριακή γωνία για να πετύχουμε ολική εσωτερική ανάκλαση είναι $48,7^\circ$.

Η πληροφορία, λοιπόν, που θέλουμε να μεταδώσουμε μετατρέπεται από ηλεκτρικό ρεύμα σε δέσμη φωτός μέσω ενός οπτικού πομπού (laser / led), στη συνέχεια μεταδίδεται κατά μήκος της οπτικής ίνας με πολλαπλές ολικές ανακλάσεις (Εικόνα 2.4) και καταλήγει στον δέκτη ο οποίος "μεταφράζει" το οπτικό σήμα που έλαβε σε ηλεκτρικό. Ένα πολύ μικρό μέρος της έντασης του φωτός χάνεται εξαιτίας των πολλαπλών



Εικόνα 2.4 - Μεταφορά δεδομένων μέσα στην οπτική ίνα.

ολικών ανακλάσεων, ενώ απώλειες λόγω ανάκλασης παρατηρούνται επίσης στην είσοδο και στην έξοδο της οπτικής ίνας καθώς και λόγω απορρόφησης του από αυτή.

2.3 ΟΠΤΙΚΟΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ

Όπως αναφέραμε σε προηγούμενο υποκεφάλαιο, οι βασικοί πυλώνες που απαρτίζουν ένα δίκτυο είναι ένας πομπός που είναι υπεύθυνος για την αποστολή των δεδομένων που παράγουμε, ένα μέσο για να τα μεταφέρει και τέλος ένας δέκτης υπεύθυνος για την παραλαβή τους. Αυτή η βασική δομή δεν διαφέρει στα οπτικά δίκτυα, παρόλα αυτά υπάρχουν κάποιες καινοτομίες που εισήχθησαν σε σχέση με τους προκατόχους τους.

Η εκπομπή των δεδομένων στα δίκτυα χαλκού γινόταν σε αναλογική μορφή, οπότε στον πομπό υπήρχε απλά ένας Digital-to-Analogue Converter, ο οποίος μετέτρεπε το ψηφιακό σήμα που παρήγαγε ο υπολογιστής σε αναλογικό και στο άλλο άκρο του δικτύου αντιστρόφως ο δέκτης τμηματοποιούσε το αναλογικό σήμα μετατρέποντας το σε ψηφιακό έτσι ώστε να μπορεί να "διαβαστεί".

Η ίδια αρχή δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα οπτικό δίκτυο, καθώς λειτουργεί με οπτικά σήματα και όχι ηλεκτρικά, ενώ από την άλλη, ένα ηλεκτρονικό υπολογιστικό σύστημα δεν μπορεί να τα κατανοήσει. Η λύση στο πρόβλημα αυτό είναι η εξής: Η πηγή φωτός, προτού εκπέμψει τα δεδομένα, τα μετατρέπει σε δέσμες φωτός και αντίστοιχα ο δέκτης αφού λάβει το οπτικό σήμα το μετατρέπει σε ηλεκτρικό.

Πιο αναλυτικά:

Πομπός

Οι πομποί που χρησιμοποιούνται στις οπτικές επικοινωνίες είναι συσκευές ημιαγωγών και αποτελούνται από 3 βασικά μέρη: την οπτική πηγή, μια γεννήτρια ηλεκτρικών παλμών και έναν οπτικό διαμορφωτή. Οι επικρατέστεροι από αυτούς είναι τα **LED** (Light Emitting

Diode) και τα **LASER**. Τα βασικά χαρακτηριστικά που πρέπει να έχει ένας πομπός για να κριθεί κατάλληλος για χρήση στα οπτικά δίκτυα είναι τα εξής:

- Η εκπομπή του φωτός θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο κατευθυντική, έτσι ώστε να διευκολύνει τη σύζευξη με την οπτική ίνα.
- Η αντιστοίχιση ηλεκτρικού σήματος και του εκπεμπόμενου φωτός να είναι όσο πιο ακριβής γίνεται.
- Τα μήκη κύματος στα οποία λειτουργεί ο πομπός να οδηγούν σε χαμηλές τιμές απωλειών και διασποράς.
- Θα πρέπει να έχουν αρκετή οπτική ισχύ τόσο ώστε να μην επιτρέπουν απώλειες μετάδοσης.
- Η οπτική ισχύς θα πρέπει να είναι σταθερή και ανεξάρτητη από εξωτερικούς παράγοντες που μπορούν να την αλλοιώσουν, όπως π.χ. η θερμοκρασία.

Πιο συγκεκριμένα, το **LED** είναι μια συσκευή που χρησιμοποιεί τον μηχανισμό μιας ορθά πολωμένης επαφής p-n για να εκπέμψει ακτινοβολία. Το φως που παράγουν είναι ασυνεχές, το φάσμα τους είναι ευρύ και κυμαίνεται από 30nm έως 60nm. Λόγω του μεγάλου χρωματικού φάσματος τους δημιουργούν φαινόμενα χρωματικής διασποράς μέσα στην ίνα, με αποτέλεσμα να μειώνεται ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων. Επίσης η εκπομπή φωτός μιας αρχιτεκτονικής LED δεν είναι πλήρως αποδοτική, καθώς μόνο το 1% της ισχύος εισόδου θα εισέρθει μέσα στην οπτική ίνα. Παρόλα αυτά, λόγω του απλού σχεδιασμού τους, τα LED θεωρούνται η καλύτερη επιλογή για οπτικά δίκτυα μικρού κόστους, όπως π.χ. WDM (Wavelength Division Multiplexing) τοπικά δίκτυα.

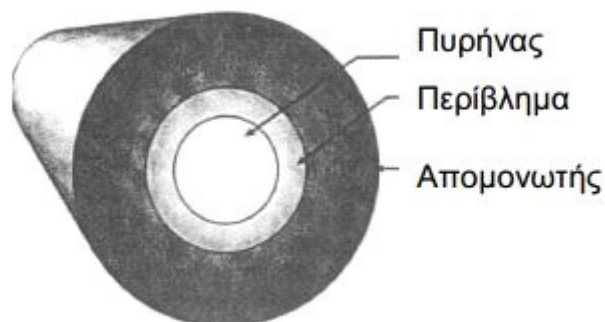
Στην αντίπερα όχθη, τα **LASER** είναι συσκευές ημιαγωγών που εκμεταλλεύονται την διεγερμένη εκπομπή φωτός σε αντίθεση με την αυθόρμητη εκπομπή των LED, έχουν κατά πολύ στενότερο φάσμα (10nm), με αποτέλεσμα να αυξάνεται δραματικά ο ρυθμός αποστολής δεδομένων και να μην επιτρέπει φαινόμενα χρωματικής διασποράς μέσα στην ίνα, ενώ η ισχύς εξόδου είναι της τάξης των 100mW. Η έξοδος του πομπού είναι πολύ πιο κατευθυντική και επιτρέπει την σύζευξη με την οπτική ίνα χωρίς προβλήματα. Κατά κύριο λόγο, συνδυάζεται με μονότροπη οπτική ίνα και χρησιμοποιείται σε υποδομές WAN λόγω αξιοπιστίας και καλύτερης απόδοσης.

Στον παρακάτω πίνακα βλέπουμε τις κυριότερες διαφορές μεταξύ LASER και LED:

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΣ/ΤΥΠΟΣ ΠΟΜΠΟΥ	LED	LASER
ΧΡΩΜΑΤΙΚΟ ΦΑΣΜΑ	ΜΕΓΑΛΟ	ΜΙΚΡΟ
ΤΥΠΟΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ	ΑΥΘΟΡΜΗΤΗ	ΔΙΕΓΕΡΜΕΝΗ
ΙΣΧΥΣ ΕΞΟΔΟΥ	ΧΑΜΗΛΗ	ΥΨΗΛΗ
ΚΑΤΕΥΘΥΝΤΙΚΟΤΗΤΑ ΔΕΣΜΗΣ	ΜΙΚΡΗ	ΜΕΓΑΛΗ
ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	ΧΑΜΗΛΗ	ΥΨΗΛΗ
ΕΥΚΟΛΙΑ ΧΡΗΣΗΣ	ΕΥΚΟΛΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ	ΔΥΣΚΟΛΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ
ΧΡΟΝΟΣ ΖΩΗΣ	ΜΕΓΑΛΟΣ	ΜΙΚΡΟΣ
ΚΟΣΤΟΣ	ΜΙΚΡΟ	ΥΨΗΛΟ

Μέσο

Το μέσο στο οποίο μεταδίδονται τα δεδομένα που παράγει ο πομπός σε ένα οπτικό δίκτυο είναι οι **οπτικές ίνες**. Οι οπτικές ίνες είναι πολύ λεπτά νήματα από πλαστικό ή γυαλί, με διάμετρο μικρότερη των 8μm, μέσω των οποίων, μεταδίδονται ψηφιακά δεδομένα, υπό μορφή φωτός. Συνήθως τις συναντάμε συγκεντρωμένες σε δέσμες, που σχηματίζουν τα λεγόμενα οπτικά καλώδια. Ένα καλώδιο οπτικών ινών, περιέχει μέσα του δεκάδες ή και



Εικόνα 2.5 - Δομή οπτικής ίνας

εκατοντάδες πολύ λεπτές τέτοιες οπτικές ίνες, με διάμετρο μικρότερη και από μία τρίχα. Χρησιμοποιώντας σαν πομπό ένα LASER, το σήμα μπορεί να μεταδοθεί δια μέσου οπτικών ινών σε απόσταση μεγαλύτερη από 50 χιλιόμετρα.

Η οπτική ίνα λοιπόν, είναι ένας κυματοδηγός που μεταφέρει δεδομένα σε μορφή φωτός, εκμεταλλευόμενη το φαινόμενο της ολικής εσωτερικής ανάκλασης. Η δομή ενός καλωδίου οπτικών ινών ορίζεται από τρεις βασικές περιοχές (Εικόνα 2.5) :

- τον πυρήνα
- το περίβλημα
- τον απομονωτή

Ο πυρήνας (core) βρίσκεται στο κέντρο του καλωδίου και συνήθως αποτελείται από μια ή περισσότερες οπτικές ίνες, υπεύθυνες για την μετάδοση των φωτεινών σημάτων. Το περίβλημα (cladding) είναι το υλικό που αντανακλά εσωτερικά το φως, λόγω του χαμηλού δείκτη διάθλασης του, σε σχέση με τον πυρήνα, αποτρέποντας το να διαφύγει στο εξωτερικό του καλωδίου. Η οριακή γωνία στην προκειμένη περίπτωση πρέπει να είναι μικρότερη των 42° . Τέλος, ο απομονωτής (buffer) είναι υπεύθυνος για την μόνωση και την προφύλαξη του εσωτερικού του καλωδίου από εξωτερικούς παράγοντες.

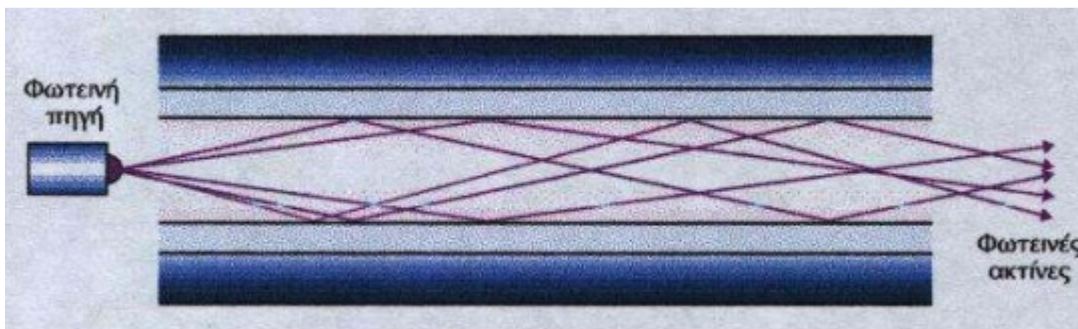
Οι πιο σημαντικοί τύποι οπτικών ινών που χρησιμοποιούνται στις επικοινωνίες παρατίθενται παρακάτω (διάμετρος πυρήνα / διάμετρος περιβλήματος):

- 1. Μονότροπες ίνες 9/125 μm (Single mode - SM):** Ευρέως χρησιμοποιούμενες σε υλοποιήσεις που απαιτούν υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων. Όλες οι ζεύξεις μεγάλων αποστάσεων, αλλά και οι οπτικοί μητροπολιτικοί δακτύλιοι (MAN) χρησιμοποιούν μονότροπες ίνες. Συνδυάζονται, λόγω του πολύ μικρού πυρήνα τους αποκλειστικά και μόνο με Laser. Τα μήκη κύματος που χρησιμοποιούνται είναι τα 1310nm και τα 1550nm.
- 2. Πολύτροπες 62,5/125 μm (Multi Mode - OM1):** τα πρώτα LAN οπτικά δίκτυα υλοποιήθηκαν με ίνες τέτοιου τύπου. Ο σχεδιασμός τους επιβάλει την χρήση τους σε συνδυασμό με πηγές LED με μήκος κύματος 850nm. Υποστηρίζουν ρυθμούς μετάδοσης Fast Ethernet ή και Giga Ethernet, όμως περιορίζονται από τις δυνατότητες των LED, τα οποία έχουν μέγιστο ρυθμό διαμόρφωσης 622 Mbps.

3. **Πολύτροπες 50/125 μm (Multi Mode - OM2):** Είναι οι πιο διαδεδομένες οπτικές ίνες που χρησιμοποιούνται σε τοπικά δίκτυα, σε συνδυασμό με LED. Μπορούν να υποστηρίξουν ρυθμούς μετάδοσης έως 1 Gbps, εάν η πηγή είναι LASER. Τα χρησιμοποιούμενα μήκη κύματος είναι τα 850nm και τα 1310nm.
4. **Πολύτροπες 50/125 μm LASER Optimized (Multi Mode - OM3):** Ο συνδυασμός των VCSEL πομπών (Vertical Cavity Surface Emitting Laser) με τις OM3 ίνες, οδήγησε σε τοπικά δίκτυα που μπορούν να υποστηρίξουν ρυθμούς δεδομένων 10 Gbps μέχρι τα 550m. Η κύρια διαφορά τους με τις OM2 είναι στο προφίλ του δείκτη διάθλασης τους.

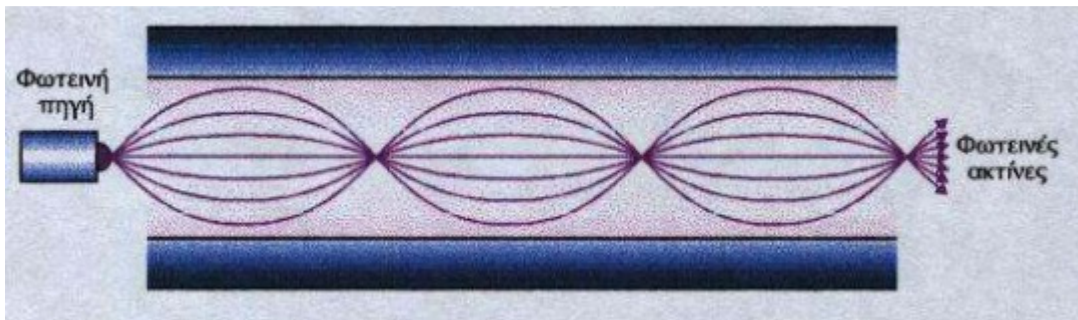
Ανάλογα με την κατανομή του δείκτη διάθλασης του υλικού σε κάθετη τομή στη διεύθυνση διάδοσης των οπτικών κυμάτων, οι πολύτροπες οπτικές ίνες διακρίνονται σε ίνες με βηματικό δείκτη διάθλασης (**step-index**) και σε ίνες με διαβαθμισμένο δείκτη διάθλασης (**graded-index**).

- *Οπτική ίνα διακριτού δείκτη (step-index):* Στις ίνες αυτές συμβαίνει απότομη μεταβολή του δείκτη διάθλασης μεταξύ της κεντρικής ίνας και του υλικού επίστρωσης. Στην περίπτωση αυτή, η πορεία των ακτινών εμφανίζεται στην Εικόνα 2.6.



Εικόνα 2.6 – Step-index fiber

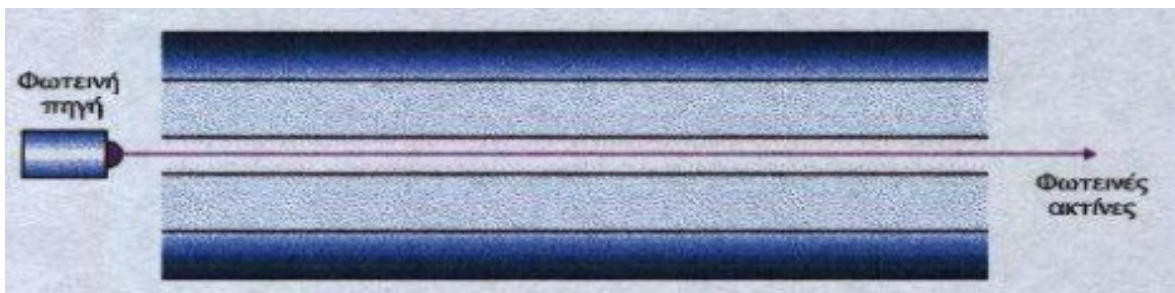
- *Οπτική ίνα διαβαθμισμένου δείκτη (graded-index):* Οι ίνες αυτές χαρακτηρίζονται από βαθμιαία μεταβολή του δείκτη διάθλασης του υλικού της κεντρικής ίνας. Συμβαίνει βαθμιαία μείωση όσο απομακρυνόμαστε από το κέντρο προς την εξωτερική επιφάνεια του γυαλιού (Εικόνα 2.7).



Εικόνα 2.7 – Graded-index fiber

Κατά κύριο λόγο, στα σημερινά οπτικά δίκτυα που είναι υλοποιημένα με πολύτροπες ίνες έχουν επικρατήσει οι ίνες διαβαθμισμένου δείκτη, καθώς μειώνουν δραματικά την **διασπορά τρόπων πόλωσης** (θα αναλυθεί σε επόμενο υποκεφάλαιο).

Αναφορικά για τις 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 πορεία των ακτινών σε μια τέτοια οπτική ίνα φαίνεται στην Εικόνα 2.8.



Εικόνα 2.8 – Single Mode fiber

Οι κυριότερες διαφορές μεταξύ μονότροπων και πολύτροπων οπτικών ινών είναι οι εξής :

- Οι μονότροπες ίνες μπορούν να μεταδώσουν φως με μικρή παραμόρφωση του παλμού σε μεγάλη απόσταση, καθώς παρουσιάζει πολύ μικρότερη διασπορά σε σχέση με τις πολύτροπες ίνες λόγω της κατασκευής τους.

- Η μονότροπη ίνα παρουσιάζει χαμηλότερη εξασθένηση από την πολύτροπη και μεγαλύτερο γινόμενο εύρους ζώνης - απόστασης.
- Οι μονότροπες ίνες κατασκευάζονται αποκλειστικά και μόνο από γυαλί, ενώ οι πολύτροπες μπορούν να κατασκευαστούν και από πολυμερή.
- Λόγω του πολύ μικρού πυρήνα τους οι μονότροπες είναι πολύ δύσκολες στο χειρισμό τους σε αντίθεση με τις πολύτροπες.
- Οι πολύτροπες ίνες είναι απλούστερες στην κατασκευή τους και όπως αναφέραμε σε προηγούμενη παράγραφο συνδυάζονται κυρίως με LED και VCSEL, άρα το συνολικό κόστος κατασκευής τους συγκριτικά με τις μονότροπες και τα LASER είναι πολύ μικρότερο.

Δέκτης

Ο δέκτης σε ένα σύστημα οπτικών επικοινωνιών, αποτελείται κατά βάση από ένα φωτοανιχνευτή, ο οποίος μετατρέπει το οπτικό σήμα σε ηλεκτρικό κάνοντας χρήση του φωτοηλεκτρικού φαινομένου. Ο φωτοανιχνευτής αυτός στην ουσία, είναι μια φωτοδίοδος ημιαγωγών διαφόρων αρχιτεκτονικών (p-n, p-i-n, avalanche) και είναι το πιο κρίσιμο στοιχείο του συστήματος, διότι εκεί εξετάζεται η συνολική απόδοση του δικτύου. Όπως και στον πομπό, έτσι και στον δέκτη υπάρχουν κάποιες απαιτήσεις που προκύπτουν:

- Υψηλή ευαισθησία στα μήκη κύματος λειτουργίας των οπτικών ινών.
- Γρήγορη απόκριση.
- Χαμηλή εισαγωγή θορύβου.
- Λειτουργία ανεξάρτητη από εξωτερικούς παράγοντες.
- Καλή σύζευξη με την οπτική ίνα.
- Μεγάλη αξιοπιστία.
- Χαμηλό κόστος.

Η απόσταση εκπομπής σε ένα οπτικό δίκτυο πάντα περιοριζόταν λόγω της εξασθένησης και της αλλοίωσης του σήματος. Καθ' όλη τη διαδρομή του οπτικού σήματος από τη στιγμή της δημιουργίας του στον πομπό, διαμέσου της οπτικής ίνας, έως και τον δέκτη, αυτά τα φαινόμενα επηρεάζουν την ποιότητα της πληροφορίας, καθώς και τη συνολική απόδοση του δικτύου.

Επίσης, είναι γνωστό ότι μέσα σε μια οπτική ίνα «ταξιδεύουν» πολλές δέσμες φωτός, οι οποίες περνούν από παραπάνω από έναν κόμβους (Nodes), προκειμένου να φτάσει η πληροφορία στο προορισμό της. Εγείρονται λοιπόν ερωτήματα, όσον αφορά την δρομολόγηση των δεσμών αυτών και την ασφάλεια των δεδομένων.

Την απάντηση σ' αυτά τα προβλήματα που πρόέκυψαν κατά την πάροδο των χρόνων, δίνουν συσκευές που είναι υπεύθυνες για την εποπτεία και τη σωστή λειτουργία του εκάστοτε οπτικού δικτύου και είναι οι εξής:

Ενισχυτές σήματος (Repeaters / Amplifiers)

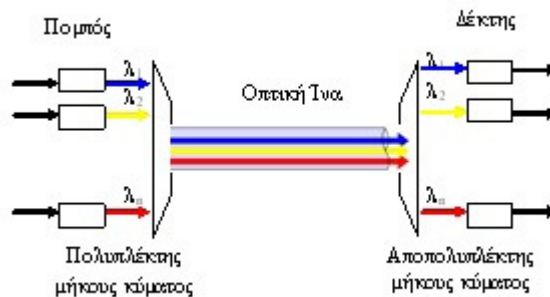
Οι **repeaters (επαναλήπτες)** είναι συσκευές οι οποίες μετατρέπουν το οπτικό σήμα σε ηλεκτρικό και στη συνέχεια με τη βοήθεια ενός οπτικού πομπού αποστέλλουν ξανά το σήμα με μεγαλύτερη ένταση από την παραληφθείσα, καταφέροντας έτσι να εξαλείψουν το loss που είχε προκύψει. Από την άλλη, η πολυπλοκότητα των WDM τεχνικών (βλ. παρακάτω) σε συνδυασμό με αυτού του τύπου συσκευές αυξάνει κατά πολύ το κόστος δημιουργίας μιας τέτοιας υποδομής καθώς απαιτείται η εγκατάσταση τους κάθε 20km δικτύου.

Μια εναλλακτική προσέγγιση, είναι η χρήση **οπτικών ενισχυτών**. Οι συγκεκριμένες συσκευές ενισχύουν το οπτικό σήμα απευθείας, χωρίς να χρειαστεί να το μετατρέψουν πρώτα σε ηλεκτρικό. Όπως και ήταν φυσικό οι ενισχυτές αυτοί έχουν υπερισχύσει στις καινούργιες οπτικές υποδομές, συγκριτικά με τους repeaters.

Wavelength- Division Multiplexing (WDM)

Η πολυπλεξία μήκους κύματος είναι η επικρατέστερη τεχνική στις μέρες μας καθώς επιτρέπει την αύξηση της διαθέσιμης χωρητικότητας στην οπτική ίνα, με την χρήση παράλληλων καναλιών· καθένα από τα οποία εκπέμπει σε ένα μοναδικό μήκος κύματος. Η υλοποίηση αυτής της τεχνικής απαιτεί έναν **πολυπλέκτη (MUX)** στον πομπό και έναν **αποπολυπλέκτη (DEMUX)** στον δέκτη. Πιο αναλυτικά: Το εύρος ζώνης χωρίζεται σε n μη επικαλυπτόμενα διαστήματα κάθε ένα από τα οποία επεκτείνεται γύρω από ένα βασικό μήκος κύματος. Στο πεδίο συχνοτήτων, το εύρος συχνοτήτων που ορίζει το συγκεκριμένο εύρος

ζώνης χωρίζεται σε n ανεξάρτητα κανάλια, τα οποία με τη σειρά τους αντιστοιχούν σε ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος. Τα n διαμορφωμένα μήκη κύματος πολυπλέκονται μεταξύ τους στον κόμβο πρόσβασης (access node) και στέλνονται στο δίκτυο. Σε κάθε κόμβο προορισμού υπάρχει ένα φίλτρο που είναι συντονισμένο στο αντίστοιχο μήκος κύματος, έτσι ώστε να μπορεί να γίνει ο διαχωρισμός του πολυπλεγμένου σήματος. Το λαμβανόμενο σήμα εν συνεχεία αποδιαμορφώνεται και ανακτάται η αρχική πληροφορία. Με αυτή τη τεχνική λοιπόν μπορούμε να καλύψουμε 160 κανάλια με μια οπτική ίνα, με το συνολικό bit rate να αγγίζει τα 1.6 Tbps. Στην Εικόνα 2.9 φαίνεται η μέθοδος της πολυπλεξίας μήκους κύματος.



Εικόνα 2.9 – Πολυπλεξία μήκους κύματος

Optical Switch

Τα **optical switch** χρησιμοποιούνται κατά κόρον σε ενεργά οπτικά δίκτυα (AON) και είναι υπεύθυνα για την μετάβαση και τη δρομολόγηση των φωτεινών δεσμών ή και οπτικών ινών μεταξύ διαφορετικών οπτικών κυκλωμάτων. Αυτή η λειτουργία γίνεται τόσο σε φυσικό επίπεδο, σε περίπτωση υλικής βλάβης κάποιας οπτικοηλεκτρικής διάταξης ή κάποιου σφάλματος όσο και σε λογικό επίπεδο με τη χρήση οπτικοηλεκτρικών ή οπτικομαγνητικών φαινομένων. Η συνεχής παροχή στο ρεύμα είναι απαραίτητη.

Optical Splitter

Σε αντίθεση με τα switch, τα **optical splitter** χρησιμοποιούνται σε παθητικά οπτικά δίκτυα (PON). Η βασική τους λειτουργία είναι να διαχωρίζουν ένα οπτικό σήμα εισόδου και να το διανείμουν ισότιμα σε πολλαπλά σήματα εξόδου. Οι πιο συνηθισμένοι λόγοι που

εφαρμόζονται είναι 1:N και 2:N (όπου N, ο αριθμός των εξόδων). Η 1:N αρχιτεκτονική εφαρμόζεται σε δίκτυα με τοπολογία αστέρα, ενώ η 2:N σε τοπολογία δακτυλίου. Κατασκευάζεται από χαλαζία (quartz), είναι παθητική συσκευή (δεν απαιτείται παροχή ρεύματος) και έχει πολύ μικρότερο κόστος συγκριτικά με το switch.

2.4 ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΕΝΑ ΟΠΤΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

Έχει ενδιαφέρον να εξετάσουμε τους παράγοντες που σχετίζονται με το εύρος ζώνης της οπτικής ίνας και την εξασθένηση που επιφέρει στο οπτικό σήμα. Το εύρος ζώνης συσχετίζεται άμεσα με το ρυθμό πληροφορίας που μπορούμε να μεταδώσουμε μέσω της ίνας, ενώ η εξασθένηση καθορίζει τον αριθμό επαναληπτών – ενισχυτών που θα τοποθετηθούν μεταξύ πομπού και δέκτη σε μια οπτική ζεύξη. Γενικά τα φαινόμενα που επηρεάζουν τη διάδοση του φωτός στις οπτικές ίνες χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες. Τα γραμμικά φαινόμενα και τα μη γραμμικά. Σε αυτό το κεφάλαιο θα ασχοληθούμε με τα γραμμικά φαινόμενα. Τα κυριότερα γραμμικά φαινόμενα είναι η **εξασθένηση** και η **διασπορά**. Η εξασθένηση του σήματος καθορίζει άμεσα τη μέγιστη απόσταση τηλεπικοινωνιακής ζεύξης που επιτρέπει η χρήση της οπτικής ίνας, ενώ η διασπορά το μέγιστο ρυθμό πληροφορίας (bit rate) που μπορεί να διακινήσει, δηλαδή το μέγιστο χρήσιμο εύρος ζώνης (bandwidth) της ίνας. Πιο αναλυτικά:

Εξασθένηση

Η εξασθένηση σήματος (ή απώλεια σήματος) σε μια οπτική ίνα ορίζεται ως ο λόγος της οπτικής ισχύος στην έξοδο της σε σχέση με τη ισχύ εισόδου και εκφράζεται σε dB/km. Καθορίζει, κατά μεγάλο μέρος, τη μέγιστη απόσταση στην οποία απαιτείται αναγέννηση και ενίσχυση του σήματος. Η εξασθένηση της ισχύος του σήματος στο εσωτερικό της ίνας δίνεται από τη σχέση:

$$\frac{dP}{dz} = -aP$$

Όπου α είναι ο συντελεστής εξασθένησης και P η οπτική ισχύς του σήματος. Η λύση της παραπάνω διαφορικής εξίσωσης πρώτης τάξης είναι:

$$P_o = P_i * e^{-\alpha L}$$

Όπου P_i η οπτική ισχύς εισόδου στην ίνα και P_o η ισχύς εξόδου και L το μήκος της. Συνήθως στις τηλεπικοινωνίες οπτικών ινών οι απώλειες εκφράζονται σε dB/km και ο συντελεστής εξασθένησης γράφεται εναλλακτικά:

$$a(\text{dB}) = -\frac{10}{L} \log_{10} \frac{P_o}{P_i}$$

Διάφοροι μηχανισμοί είναι υπεύθυνοι για την εξασθένηση του σήματος στην οπτική ίνα και οφείλονται στην απορρόφηση του υλικού της ίνας, σε σκεδάσεις στο εσωτερικό της ίνας, στα σημεία συνενώσεων δύο οπτικών ινών και στους συνδετήρες (connectors). Αυτοί είναι οι εξής :

I) Απορρόφηση (absorption)

Τα ηλεκτρόνια ξένων προσμείξεων που υπάρχουν στο γυαλί της ίνας απορροφούν μέρος της μεταδιδόμενης οπτικής ισχύος. Ιδιαίτερα τα ιόντα OH^- , ευθύνονται για τις μεγάλες απώλειες των οπτικών ινών. Απώλειες απορρόφησης έχουμε ακόμα στην περιοχή του υπεριώδους λόγω του ίδιου του υλικού της ίνας και στο υπέρυθρο λόγω αλληλεπίδρασης των φωτονίων με τα ταλαντευόμενα μόρια του πλέγματος του γυαλιού. Επίσης άλλοι εξωγενείς παράγοντες όπως ξένες προσμίξεις, ανομοιογένειες στη κατασκευή της ίνας συμβάλλουν στις απώλειες λόγω απορρόφησης.

II) Σκέδαση (Scattering)

Με τον όρο αυτό χαρακτηρίζουμε τη διάχυση (σκόρπισμα) που υφίσταται η φωτεινή ακτινοβολία στο περίβλημα, καθώς διαδίδεται στον πυρήνα της ίνας. Οφείλεται σε ανωμαλίες

στη σύνθεση του υλικού της ίνας που μπορεί να είναι είτε ξένες προσμείξεις είτε κάποια σημειακή ανομοιογένεια του δείκτη διάθλασης. Όταν αυτές οι ανωμαλίες έχουν μέγεθος r αρκετά μικρότερο από το χρησιμοποιούμενο μήκος κύματος λ ($r < 0.1\lambda$), η σκέδαση ονομάζεται **Rayleigh** και έχει ισχυρή εξάρτηση από το μήκος κύματος.

Διασπορά

Οι διάφοροι μηχανισμοί διασποράς στην οπτική ίνα έχουν σαν τελικό αποτέλεσμα τη διεύρυνση του πλάτους των φωτεινών παλμών καθώς αυτοί ταξιδεύουν στην ίνα. Καθώς διευρύνεται το πλάτος ενός παλμού, επικαλύπτεται με γειτονικούς παλμούς και έτσι δημιουργείται διασυμβολική παρεμβολή (Intersymbol Interference), με αποτέλεσμα την αύξηση του αριθμού των λαθών στο δέκτη. Τα φαινόμενα διασποράς του παλμού επηρεάζουν αρνητικά το ρυθμό μετάδοσης της πληροφορίας (bit rate)· δεν μπορούμε δηλαδή να αξιοποιήσουμε πλήρως το εύρος ζώνης της ίνας. Οι μηχανισμοί διασποράς που θα αναλυθούν είναι οι εξής:

- Χρωματική διασπορά
- Διασπορά τρόπων διάδοσης
- Διασπορά τρόπων πόλωσης

I) Χρωματική διασπορά

Συναντάται σε όλους τους τύπους των οπτικών ινών και οφείλεται στο πεπερασμένο εύρος ζώνης της οπτικής πηγής που τροφοδοτεί την ίνα. Η οπτική πηγή μπορεί να είναι LASER ή LED όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη παράγραφο. Οι προδιαγραφές των LASER είναι πιο αυστηρές σε σχέση με αυτές των LED, μια και το LASER είναι μια διάταξη που ενισχύει το φως, όντας σχεδόν μονοχρωματική πηγή, σε αντίθεση με το LED που έχει ευρύτερο χρωματικό φάσμα εκπομπής και χαμηλή οπτική ισχύ εξόδου. Οι φωτεινοί πομποί όμως δεν εκπέμπουν σε μια συχνότητα, αλλά σε μια ομάδα συχνοτήτων πεπερασμένου εύρους και γι αυτό το λόγο υπάρχουν διαφορετικές καθυστερήσεις στη διάδοση κάθε μιας από αυτές καθώς ταξιδεύουν με διαφορετική ταχύτητα μέσα στη ίνα. Αυτές οι χρονικές καθυστερήσεις των διαφόρων συχνοτήτων στο άλλο άκρο του δέκτη έχουν σαν αποτέλεσμα

τη χρονική διεύρυνση (διασπορά) του παλμού. Κατά κόρον οφείλονται στις ιδιότητες του υλικού τις ίνας και στην επιλεκτική με τη συχνότητα κυματοδότηση της ίνας.

Διασπορά κυματοδηγού: Η διασπορά κυματοδηγού εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οπτικής ίνας, και το μήκος κύματος και έχει ως αποτέλεσμα την διαπλάτυνση του διαδιδόμενου σήματος λόγω της διαφορετικής χρονικής καθυστέρησης των μικρών κύματος. Στην περίπτωση μονότροπης ίνας ο μοναδικός τρόπος διάδοσης συμπεριφέρεται ως εξής: Στα μικρά μήκη κύματος περιορίζεται σε μεγάλο βαθμό μέσα στον πυρήνα, στα μεσαία μήκη κύματος διαχέεται ελαφρά μέσα στο περίβλημα ενώ στα μεγάλα μήκη κύματος διαχέεται σε μεγάλο βαθμό στο περίβλημα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση του χρόνου διάδοσης καθώς το μήκος κύματος αυξάνεται και αυτό γιατί ο δείκτης διάθλασης του μανδύα είναι μικρότερος από του πυρήνα άρα η ταχύτητα των κυμάτων που διαδίδονται εκεί μεγαλύτερη. Η διασπορά κυματοδηγού συμβάλλει στη χρωματική διασπορά. Καθώς όμως εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της οπτικής ίνας μπορεί να πάρει ελεγχόμενες τιμές με την κατάλληλη σχεδίαση και μπορεί να αντισταθμίσει την χρωματική διασπορά. Το πρόβλημα της διασποράς εξαλείφεται πλήρως αν χρησιμοποιηθεί οπτική πηγή που να εκπέμπει σε ένα μόνο μήκος κύματος. Αυστηρά μονοχρωματικές πηγές βέβαια δεν υπάρχουν. Η διασπορά κυματοδηγού είναι παρούσα τόσο σε μονότροπη, όσο και σε πολύτροπη ίνα.

Διασπορά υλικού: Η διασπορά υλικού, οφείλεται στην εξάρτηση του δείκτη διάθλασης από το μήκος κύματος. Οι διάφορες φασματικές συνιστώσες του σήματος ταξιδεύουν στην ίνα με διαφορετικές ταχύτητες ομάδας, όποτε όταν διανύσουν το μήκος της ίνας, φθάνουν στον δέκτη χρονικά καθυστερημένα. Η διασπορά υλικού εμφανίζεται κατά κύριο λόγο σε μονότροπες ίνες.

Η συνολική διασπορά $D_{ολ}$ υπολογίζεται από το άθροισμα της διασποράς κυματοδηγού D_K και της διασποράς υλικού D_Y .

$$D_{ολ} = D_K + D_Y$$

Η μονάδα μέτρησης της $D_{ολ}$ είναι **psec/nm/km** και μεταφράζεται ως εξής: Δυο συχνότητες που απέχουν φασματικά κατά 1nm απομακρύνονται χρονικά με ρυθμό 1 psec ανά χιλιόμετρο διάδοσης.

Για την αντιμετώπιση του συνολικού φαινομένου της χρωματικής (υλικού και κυματοδηγού) διασποράς έχουν δημιουργηθεί διάφοροι τύποι μονότροπων οπτικών ινών. Οι ίνες αυτές έχουν ιδιαίτερο προφίλ δείκτη διάθλασης με το οποίο επιτυγχάνουν τη ρύθμιση της διασποράς κυματοδηγού και κατ' επέκταση της συνολικής διασποράς.

Οι κυριότεροι τύποι οπτικών ινών που χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση της διασποράς είναι:

- **Η ίνα επίπεδης διασποράς (Dispersion Flattened Fiber - DFF):** Είναι μονότροπες ίνες με πολύ μικρό συντελεστή διασποράς, περίπου 3 psec/nm/km, σε ένα ευρύ φάσμα μηκών κύματος από τα 1300-1700nm περίπου. Συνήθως, για τις κοινές μονότροπες ίνες η διασπορά είναι μηδενική στα 1310nm. Σε αυτό το μήκος κύματος η διασπορά κυματοδηγού αντισταθμίζει την διασπορά υλικού και έτσι η συνολική χρωματική διασπορά είναι μηδενική. Σε μικρότερα ή μεγαλύτερα μήκη κύματος όμως (850nm ή 1550nm) ο συντελεστής διασποράς παίρνει τιμές από -50 psec/km/nm έως και +20 psec/km/nm.
- **Η ίνα μετατοπισμένης διασποράς (Dispersion Shifted Fiber - DSF):** Έχουν σχεδιαστεί ώστε να παρουσιάζουν μηδενική διασπορά στα 1550nm και όχι στα 1310nm. Η περιοχή των 1550nm είναι ιδιαίτερα ελκυστική στις οπτικές επικοινωνίες, καθώς προσφέρει το πλεονέκτημα της χαμηλότερης εξασθένησης σε σχέση με την περιοχή των 1310nm. Επιπλέον, σ' αυτό το μήκος κύματος μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε και οπτικούς ενισχυτές κάτι που είναι ιδιαίτερα σημαντικό για WDM ζεύξεις μεγάλων αποστάσεων.
- **Η ίνα επανόρθωσης της διασποράς (Dispersion Compensation Fiber - DCF):** Είναι ίνες με μεγάλη τιμή του συντελεστή διασποράς $D_{ολ}$ αλλά με αντίθετο πρόσημο σε σχέση με τις κοινές μονότροπες, έτσι ώστε να αντισταθμίζουν τη διασπορά που δημιουργείται. Μικρά τμήματα DCF ινών παρεμβάλουν ανάμεσα σε μεγάλα τμήματα κοινών μονότροπων σε ζεύξεις μακρινών αποστάσεων για να αντισταθμιστεί η χρωματική διασπορά των παλμών που δημιουργήθηκε.

II) Διασπορά των τρόπων διάδοσης:

Η ισχύς ενός παλμού, καθώς αυτός καθοδηγείται σε οπτική ίνα με σταθερούς δείκτες διάθλασης, διαμοιράζεται ανάλογα με τις διαστάσεις του πυρήνα της με περισσότερους από έναν τρόπους. Η διεύρυνση ενός παλμού λόγω της διασποράς των τρόπων διάδοσης οφείλεται ουσιαστικά στις διαφορετικές χρονικές καθυστερήσεις που υφίστανται οι διάφοροι τρόποι στην πολύτροπη οπτική ίνα. Για μια ίνα μήκους L με βηματικό δείκτη διάθλασης πυρήνα (Step - Index), η διαπλάτυνση δίνεται από τη σχέση:

$$\Delta\tau_{(SI)} = n_c * \frac{L}{2 * c_0} * \Delta$$

Όπου: n_c , ο δείκτης διάθλασης του πυρήνα

c_0 , η ταχύτητα του φωτός στο κενό (3×10^8 m/s)

Δ , η σχετική διαφορά των δεικτών διάθλασης πυρήνα – περιβλήματος. $\Delta = \frac{-n_2 + n_1}{n_1}$

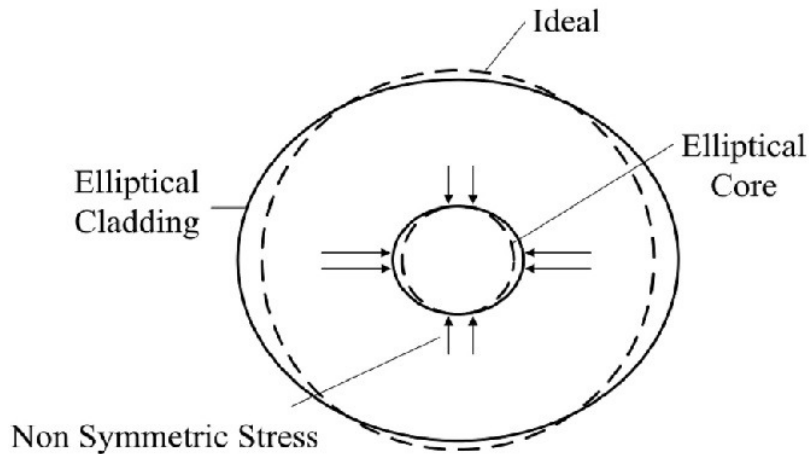
Το πρόβλημα μετριάζεται με τη χρήση οπτικής ίνας, στην οποία ο δείκτης διάθλασης του πυρήνα δεν είναι σταθερός, αλλά μειώνεται ακτινικά μέχρι το περίβλημα, δηλαδή την ίνα διαβαθμισμένου δείκτη διάθλασης (Graded - Index). Με αυτό τον τρόπο σχεδόν εξισώνεται ο χρόνος διάδοσης των διαφόρων τρόπων. Για μια τέτοια ίνα η διαπλάτυνση του παλμού δίνεται από τη σχέση:

$$\Delta\tau_{(GI)} = n_c * \frac{L}{4 * c_0} * \Delta^2$$

Η διασπορά των τρόπων διάδοσης παρατηρείται στις πολύτροπες ίνες.

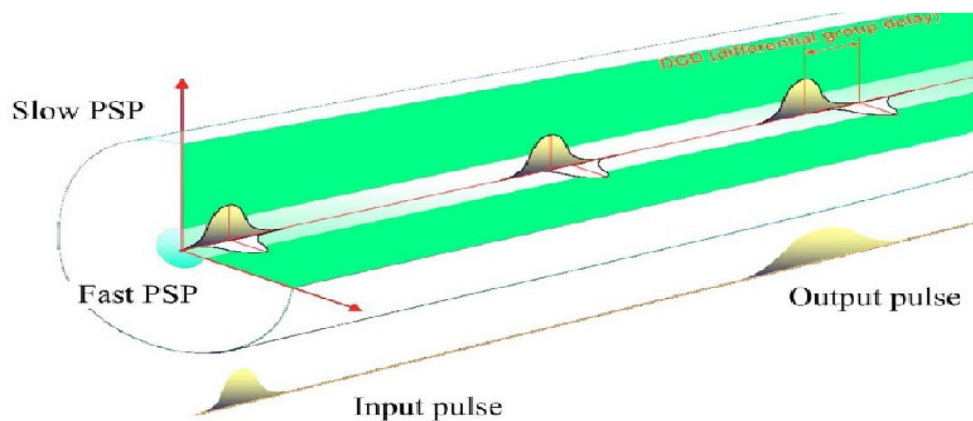
III) Διασπορά των τρόπων πόλωσης:

Οφείλεται στο γεγονός ότι κάθε τρόπος διάδοσης αποτελείται από δύο καταστάσεις πόλωσης κάθετες μεταξύ τους. Υπό ιδανικές συνθήκες ο πυρήνας της ίνας είναι κυκλικός και οι δύο αυτές καταστάσεις πόλωσης διαδίδονται με την ίδια ταχύτητα. Στην πραγματικότητα όμως λόγω κατασκευής ή λόγω μηχανικών ή ακόμα και θερμικών φορτίων που δέχεται η ίνα, το σχήμα του πυρήνα δεν είναι τέλεια κυκλικό αλλά ελαφρά ελλειπτικό (Εικόνα 2.11).



Εικόνα 2.11 – Ελλειπτικός πυρήνας σε μια οπτική ίνα

Λόγω του ελλειπτικού σχήματος, η ίνα έχει διαφορετικό δείκτη διάθλασης για κάθε κατάσταση πόλωσης. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται **διπλοθλαστικότητα** και αποτέλεσμα του είναι ότι οι δυο καταστάσεις πόλωσης διαδίδονται με διαφορετικές ταχύτητες κατά μήκος της ίνας. Η καθυστέρηση που δημιουργείται στις δυο κάθετες πολώσεις ονομάζεται διαφορική καθυστέρηση ομάδας (Differential Group Delay) και έχει ως αποτέλεσμα τη διασπορά του παλμού. Σε μικρές αποστάσεις η διασπορά αυτή είναι σχεδόν αμελητέα· δεν μπορούμε όμως να την αγνοήσουμε σε δίκτυα πολλών χιλιομέτρων, καθώς δημιουργεί μεγάλες τιμές DGD. Ένα παράδειγμα διασποράς παλμού λόγω τρόπων πόλωσης φαίνεται στην Εικόνα 2.12.

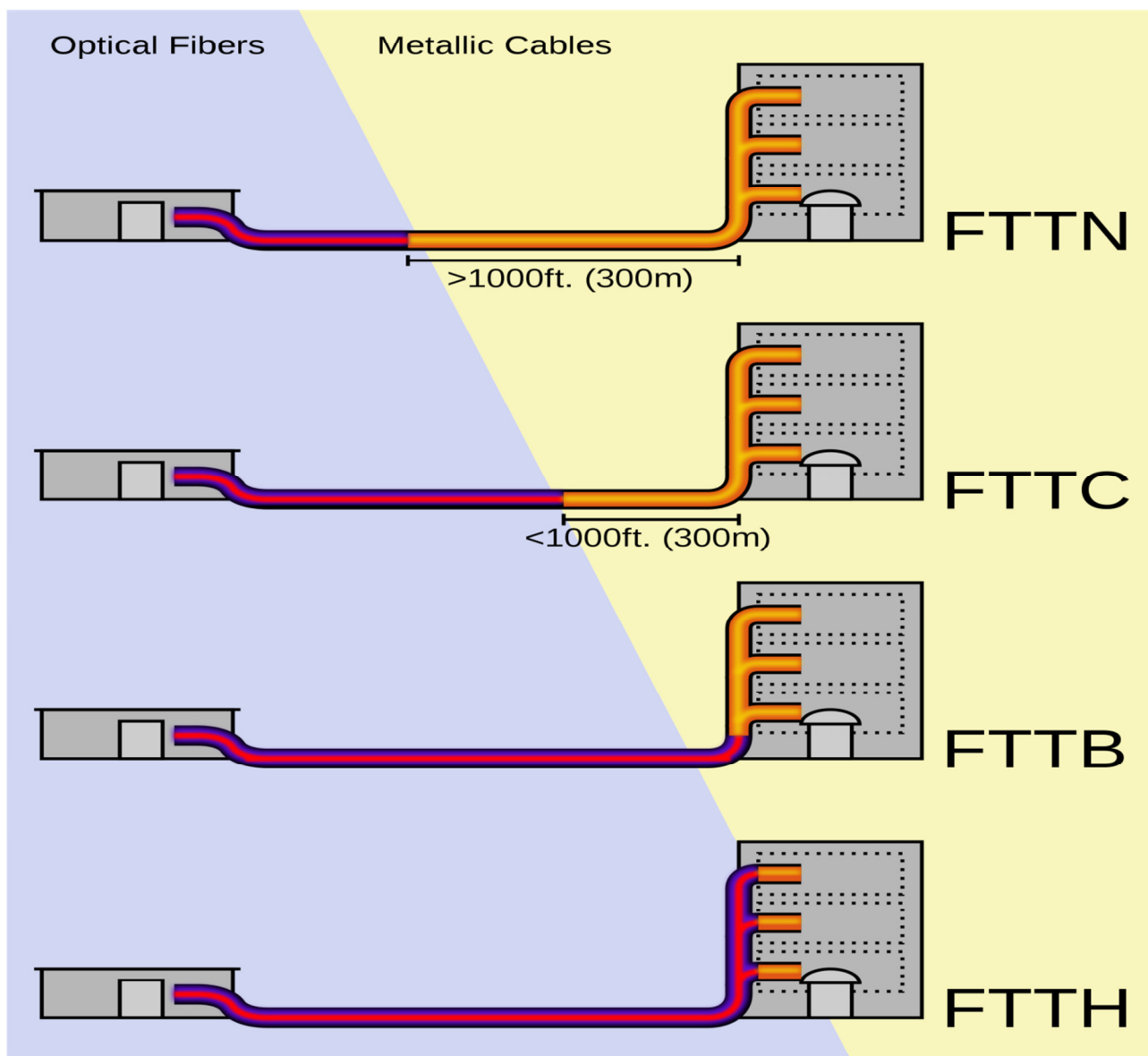


Εικόνα 2.12 – Διασπορά παλμού λόγω τρόπων πόλωσης

Πολύ σημαντικός είναι επίσης και ο θόρυβος που προκαλεί η διπλοθλαστικότητα στις ίνες. Στις συνηθισμένες ίνες, καθώς το οπτικό κύμα διαδίδεται, δε διατηρεί την πόλωση του. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας των ατελειών που υπάρχουν στη σύνθεση και τη γεωμετρία της ίνας. Χωρίς να υπάρχει συνολικά απώλεια ενέργειας, γίνεται μεταφορά ενέργειας από τον ένα άξονα πόλωσης στον άλλο. Το γεγονός αυτό δεν είναι επιθυμητό όταν υπάρχουν συσκευές ευαίσθητες στην πόλωση.

Για να αντιμετωπιστεί το φαινόμενο αυτό έχουν κατασκευαστεί ίνες με ειδική γεωμετρία και σύνθεση οι οποίες διατηρούν την πόλωση σταθερή χωρίς να υπάρχει μεταφορά ενέργειας από τη μια κατάσταση πόλωσης στην άλλη. Οι ίνες αυτές είναι γνωστές ως **Polarization Maintaining Fibers** (εν συντομία **PMF**). Η διατήρηση των δυο καταστάσεων πόλωσης επιτυγχάνεται κάνοντας τις ίνες έντονα διπλοθλαστικές, έτσι ώστε να έχουν πολύ διαφορετικές ταχύτητες και άρα να απέχουν ικανή απόσταση ώστε να μην μπορεί να γίνει σύζευξη (μεταφορά ενέργειας) μεταξύ τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3



3.1 ΕΙΔΗ ΟΠΤΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

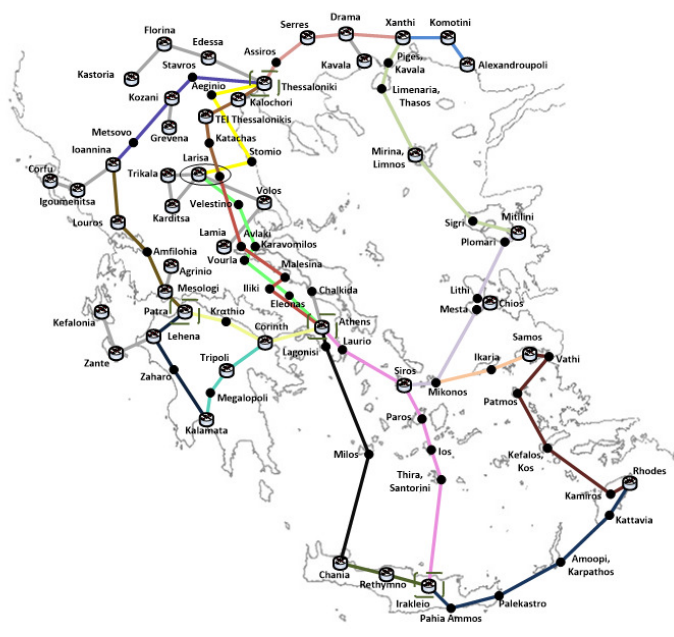
Σε αυτό το κεφάλαιο θα ασχοληθούμε με τα διάφορα είδη οπτικών δικτύων πρόσβασης καθώς και για τις κυριότερες αρχιτεκτονικές που χρησιμοποιούνται από τους παρόχους για να προσφέρουν ευρυζωνικές υπηρεσίες υψηλής ποιότητας στους τελικούς χρήστες. Πρώτα όμως, χρειάζεται να κατανοήσουμε τους βασικούς τύπους οπτικών δικτύων που έχουν καθιερωθεί ανά κατηγορία έτσι ώστε να συμπεράνουμε τα πλεονεκτήματα της καθεμίας από αυτές ανάλογα με το είδος του δικτύου που έχουμε να μελετήσουμε ή να σχεδιάσουμε.

Ανάλογα με τη γεωγραφική κάλυψη του εκάστοτε δικτύου, προκύπτουν δυο μεγάλες κατηγορίες :

- Wide Area Network (WAN)
- Metropolitan Area Network (MAN)

WAN

Όπως συμπεραίνεται από την ονομασία του, είναι ένα δίκτυο ευρείας περιοχής, το οποίο αποτελείται από συστάδες μητροπολιτικών ή και τοπικών δικτύων και εκτείνεται σε μια ευρεία γεωγραφική περιοχή. Η διασύνδεση αυτών των επιμέρους δικτύων γίνεται κατά κύριο λόγο με μισθωμένες δημόσιες τηλεπικοινωνιακές γραμμές οπτικών ινών. Στην Εικόνα 3.1 βλέπουμε το

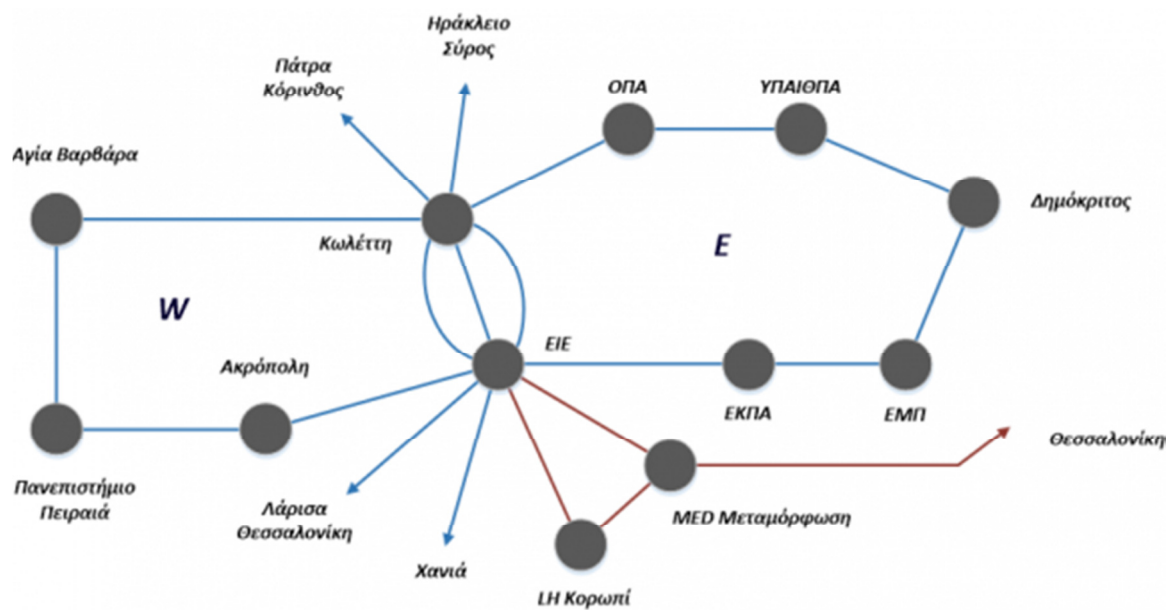


Εικόνα 3.1 - WAN Ελλάδας

WAN της Ελλάδας.

MAN

Όταν αναφερόμαστε σε ένα μητροπολιτικό οπτικό δίκτυο, στην ουσία μιλάμε για ένα δίκτυο υπολογιστών το οποίο καλύπτει γεωγραφικά την έκταση μιας μεγάλης πόλης. Συνδέει συνήθως τοπικά δίκτυα με ένα δίκτυο κορμού (Backbone) υψηλού εύρους ζώνης και παρέχει διασυνδέσεις για δίκτυα ευρείας περιοχής (WAN). Τα κυριότερα MAN στην Ελλάδα είναι εγκατεστημένα σε Αθήνα, Θεσσαλονίκη, Ηράκλειο και Πάτρα. Ένα παράδειγμα MAN φαίνεται στην Εικόνα 3.2.



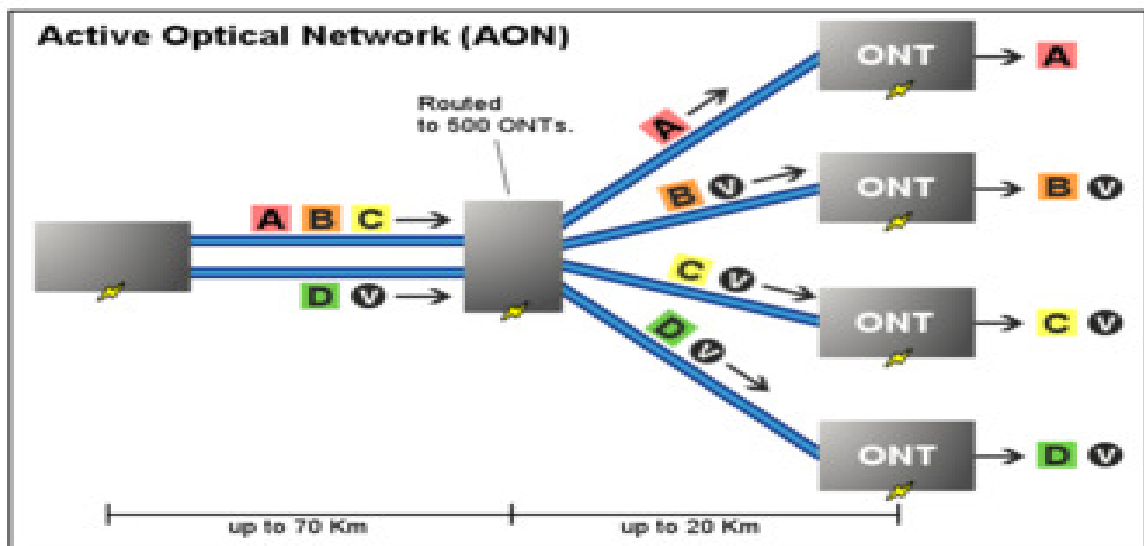
Εικόνα 3.2 – MAN Αττικής

Η βασικότερη διάκριση των οπτικών δικτύων βασίζεται στη χρήση ή μη χρήση ενεργών στοιχείων Ethernet/IP. Αν και η διάκριση αυτή φαίνεται καθαρά τεχνολογική, στην ουσία αντικατοπτρίζει δύο σχολές σκέψης και διαφορετικές πολιτικές ανάπτυξης των δικτύων. Οι δυο κατηγορίες που έχουν καθιερωθεί είναι:

- Ενεργά Οπτικά Δίκτυα (Active Optical Networks – AON)
- Παθητικά Οπτικά Δίκτυα (Passive Optical Networks – PON)

Active Optical Networks (AON)

Τα AON είναι point to point (P2P) δίκτυα που χρησιμοποιούν ενεργούς μεταγωγείς επίπεδου L2 και L3 για να διασυνδεθεί ο πάροχος (Central Office) με τον τελικό χρήστη. Κάθε σήμα δηλαδή, που αποστέλλεται από τον πάροχο έχει έναν μοναδικό παραλήπτη. Λόγω του ότι αυτή η αρχιτεκτονική απαρτίζεται από ενεργά στοιχεία, η συνεχής παροχή του ρεύματος είναι υποχρεωτική, όπως επίσης σε αρκετά σημεία του δικτύου (π.χ. οπτικοί επαναλήπτες) απαιτείται η μετατροπή του σήματος από οπτικό - ηλεκτρικό – οπτικό. Ένα ενεργό οπτικό δίκτυο συνήθως αποτελείται από ένα πομπό LASER σε συνδυασμό με μονότροπη οπτική ίνα (Single Mode Fiber) που καταλήγει σε ένα δεκτή. Η δρομολόγηση των δεδομένων γίνεται μέσω switches και routers και ανάλογα με το γεωγραφικό εύρος του δικτύου, εάν δηλαδή το σήμα έχει να καλύψει μεγάλη απόσταση χρησιμοποιούμε και οπτικούς επαναλήπτες για τη ενίσχυση του. Αξίζει να σημειωθεί ότι ένα switching cabinet μπορεί να εξυπηρετήσει μέχρι και 1000 συνδρομητές, αλλά συνήθως το περιορίζουμε στους 400-500 για λόγους εύρυθμης λειτουργίας. Λόγω της αξιοπιστίας που παρέχουν τα ενεργά δίκτυα, πέρα από τη χρήση τους για διασύνδεση μεταξύ Central Office – τελικού χρήστη (είτε είναι ιδιώτης είτε κάποια πολυεθνική εταιρία) σε μητροπολιτικό επίπεδο, έχουν επικρατήσει και στις WAN υποδομές διασύνδεουν χώρες ή ακόμα και ηπείρους με ασύλληπτους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων. Στην Εικόνα 3.3 βλέπουμε πως διαμοιράζονται τα δεδομένα σε μια υποδομή AON ανάλογα με τις υπηρεσίες που ζητά ο καθένας από τους 4 χρήστες.



Εικόνα 3.3 – Downstream δραστηριότητα τεσσάρων χρηστών σε ένα AON

Passive Optical Networks (PON)

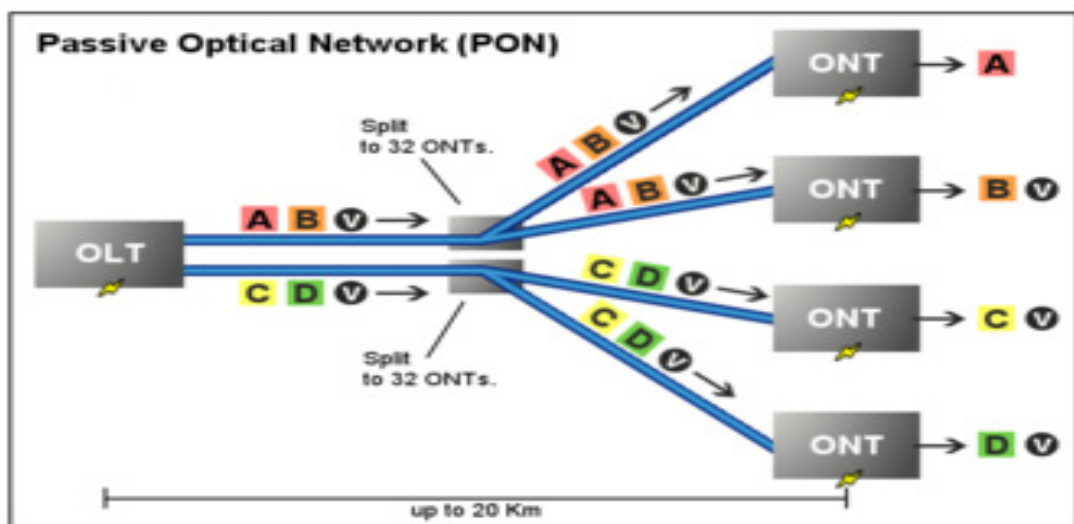
Τα Παθητικά Οπτικά Δίκτυα (Passive Optical Networks – PON) είναι οπτικά δίκτυα σημείου προς πολλαπλά σημεία, τα οποία δεν περιέχουν ενεργά στοιχεία, δηλαδή δεν έχουμε μετατροπή του σήματος από οπτικό σε ηλεκτρικό από την πηγή μέχρι τον προορισμό του. Τα μόνα στοιχεία που χρησιμοποιούνται είναι παθητικοί ζεύκτες (couplers), διαιρέτες (splitters) και συνδυαστές (combiners).

Τα PON είναι μια αξιόπιστη λύση για τα Δίκτυα Πρόσβασης (Access Networks – AN) αφού επιτρέπουν τη χρήση υπηρεσιών ευρείας ζώνης με οικονομικούς όρους, ώστε να είναι εφικτή η πρόσβαση από μεμονωμένους χρήστες ή μικρές επιχειρήσεις οι οποίοι δεν έχουν την οικονομική δυνατότητα χρησιμοποίησης οπτικών ινών αποκλειστικής χρήσης. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της χρήσης PON σε Δίκτυα Πρόσβασης είναι τα παρακάτω :

- Επιτρέπουν μεγαλύτερες αποστάσεις μεταξύ του κέντρου σύνδεσης και του συνδρομητή. Μια ενσύρματη γραμμή που χρησιμοποιεί την τεχνολογία DSL επιτρέπει μέγιστη απόσταση 5,5 km μεταξύ του κέντρου και του συνδρομητή, ενώ ένας τοπικός βρόχος PON μπορεί να λειτουργήσει με αποστάσεις 20 km ή και μεγαλύτερες.
- Μειώνουν το πλήθος και συνεπώς το κόστος των οπτικών ινών στον τοπικό βρόχο.
- Παρέχουν μεγάλο εύρος ζώνης, εξαιτίας της εγκατάστασης οπτικών ινών μέχρι το χρήστη. Αν και οι λύσεις fiber to the home (FTTH), fiber to the building (FTTB) παρέχουν το μέγιστο εύρος ζώνης εξαιτίας της μεγάλης διεισδυτικότητας της ίνας, η λύση fiber to the curb (FTTC) κρίνεται ως η πιο αποδοτική από άποψη κόστους. Θα αναφερθούμε αναλυτικά για τις υποδομές FTTx σε επόμενο υποκεφάλαιο.
- Επειδή είναι δίκτυα σημείου προς πολλαπλά σημεία είναι κατάλληλα για κοινοποίηση πληροφορίας, όπως η αναμετάδοση video (video broadcasting).
- Εξαλείφουν την ανάγκη χρήσης πολυπλεκτών και αποπολυπλεκτών στα σημεία διαχωρισμού, και έτσι απαλλάσσει τους διαχειριστές του δικτύου από την επίπονη και ακριβή διαδικασία συντήρησης και τροφοδότησης των στοιχείων αυτών. Αντί για ενεργά στοιχεία στα σημεία διαχωρισμού εγκαθίστανται παθητικά στοιχεία τα οποία παρουσιάζουν το πλεονέκτημα ότι δεν χρειάζονται τροφοδοσία, και μπορούν να θαφτούν στο έδαφος κατά την εγκατάσταση του δικτύου χωρίς να απαιτούν συντήρηση μελλοντικά.
- Επιτρέπουν την εύκολη αναβάθμιση σε υψηλότερους ρυθμούς μεταφοράς δεδομένων καθώς και τη χρήση πολλαπλών μηκών κύματος.

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης τεχνολογίας PON σε Δίκτυα Πρόσβασης υποδεικνύουν τη σημασία σωστής σχεδίασης του δικτύου, δεδομένου ότι η σχεδίαση του δικτύου παίζει καθοριστικό ρόλο στην αποδοτικότητα των εν λόγω δικτύων. Συνοψίζοντας τα παραπάνω οδηγούμαστε στο συμπέρασμα ότι το γεγονός ότι ο τοπικός βρόχος συσσωρεύει κίνηση από ένα μικρό αριθμό χρηστών, συγκριτικά με ένα μητροπολιτικό δίκτυο καθιστά το κόστος εγκατάστασης και χρήσης ως τη σημαντικότερη παράμετρος κατά τη σχεδίασή του.

Σε ένα PON η ανταλλαγή δεδομένων γίνεται μεταξύ του **Οπτικού Τερματιστή Γραμμής** (Optical Line Termination – **OLT**) και μιας **Οπτικής Μονάδας Δικτύου** (Optical Network Units – **ONU**) ή ενός **Οπτικού Τερματιστή Δικτύου** (Optical Network Termination – **ONT**). Η ανταλλαγή δεδομένων σε ένα PON, όπως προαναφέραμε είναι σημείου προς πολλαπλά σημεία για το ρεύμα καθόδου (Εικόνα 3.4), δηλαδή μετάδοση από το OLT στο ONU, ενώ είναι πολλαπλών σημείων προς σημείο για το ρεύμα ανόδου. Το OLT αποτελεί το σημείο προσαρμογής μεταξύ του PON και του δικτύου μεταγωγής. Το ONT βρίσκεται στο κτήριο του συνδρομητή και αποτελεί τον τερματιστή του δικτύου (FTTH, FTTB), όμως πιο συνηθισμένη είναι η χρήση ONU (FTTC), η οποία μπορεί κατόπιν να παρέχει σημεία προσαρμογής για να υποστηρίξει περισσότερους από ένα χρήστη και έτσι είναι πιο συμφέρουσα οικονομικά.



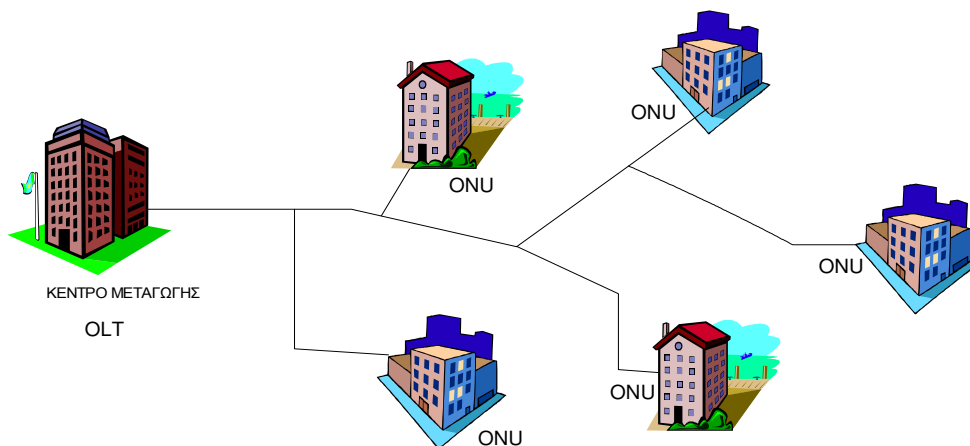
Εικόνα 3.4 - Downstream δραστηριότητα τεσσάρων χρηστών σε ένα PON

Τοπολογίες Παθητικών Οπτικών Δικτύων

Τα δίκτυα πρόσβασης μπορεί να έχουν διάφορες τοπολογίες: δένδρου, δακτυλίου ή διαύλου. Τα κριτήρια που λαμβάνονται υπόψη για την επιλογή της καταλληλότερης τοπολογίας είναι η ευκολία στην αναβάθμιση του δικτύου, το κόστος, η αξιοπιστία, η συντήρηση και η ασφάλεια.

I) Παθητικό Δέντρο

Χαρακτηριστικό της τοπολογίας δένδρου είναι η διαίρεση του σήματος από παθητικούς διαχωριστές, οι οποίοι βρίσκονται σε διαδοχικά σημεία διακλάδωσης (Εικόνα 3.5). Με αυτήν τη στρατηγική μία μόνο οπτική ίνα που εξέρχεται από το τοπικό κέντρο μπορεί να συνδεθεί με πολλά σημεία τερματισμού, δημιουργώντας έτσι συνδέσεις σημείου προς πολλαπλά σημεία μεταξύ του OLT και των ONU. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η κοινοχρησία όχι μόνο του εξοπλισμού που βρίσκεται στο κέντρο μεταγωγής, αλλά και της



Εικόνα 3.5 – Τοπολογία Δένδρου σε PON

ίδιας της οπτικής ίνας, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους. Εξαιτίας της διαδοχικής διαίρεσης του οπτικού σήματος, προκαλείται μείωση της οπτικής ισχύος μετά από κάθε διακλάδωση και έτσι περιορίζεται ο αριθμός των συνδρομητών που μπορούν να εξυπηρετηθούν από ένα δίκτυο. Εναλλακτικά είναι δυνατή η χρήση εκπομπών με μεγάλη ισχύ εξόδου ή πολύ ευαίσθητων δεκτών, ώστε να καθίσταται εφικτή η σύνδεση μεγαλύτερου αριθμού χρηστών.

Μία σημαντική ιδιότητα της τοπολογίας παθητικού δέντρου, αποτελεί ο τρόπος με τον οποίο επιτυγχάνεται η ανοδική και καθοδική εκπομπή. Στις περισσότερες περιπτώσεις ένα σήμα εκπέμπεται από το τοπικό κέντρο προς όλους τους συνδρομητές για τις καθοδικές μεταδόσεις, ενώ για την ανοδική εκπομπή εφαρμόζεται ένα πρωτόκολλο TDMA (πολλαπλή προσπέλαση διαίρεσης χρόνου), ώστε να γίνεται πολυπλεξία των δεδομένων των χρηστών στο κοινό κανάλι ανόδου. Για την υλοποίηση των τεχνικών αυτών απαιτείται επιπρόσθετος ηλεκτρονικός εξοπλισμός τόσο στο τοπικό κέντρο όσο και στην πλευρά του συνδρομητή. Οι οπτικές πολυπλεξίες / αποπολυπλεξίες γίνονται από συσκευές WDM (πολυπλεξίας μήκους κύματος). Η δομή του δικτύου τύπου δέντρου είναι σχεδόν όμοια με το δίκτυο τύπου αστέρα του τηλεφωνικού δικτύου, που βασίζεται στο χαλκό, και άρα μπορεί να εγκατασταθεί εύκολα.

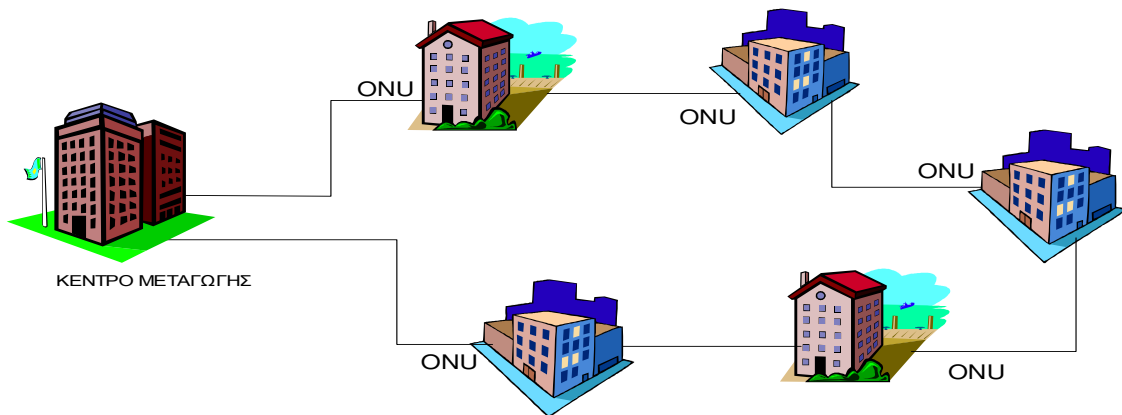
Η τοπολογία δέντρου μπορεί να αναβαθμιστεί με έναν πολύ αποτελεσματικό τρόπο, αφού υπάρχει η δυνατότητα της μετάδοσης σε διαφορετικά μήκη κύματος. Έτσι είναι δυνατή η προσθήκη νέων υπηρεσιών με μεγαλύτερες απαιτήσεις σε εύρος ζώνης, αλλά ταυτόχρονα θα υπάρξει και επιπρόσθετο κόστος από την εγκατάσταση του απαραίτητου εξοπλισμού. Συγκεκριμένα απαιτείται η εγκατάσταση συσκευών WDM στα ONTs και στο OLT, ενώ δεν απαιτείται καμία μετατροπή στο δίκτυο διανομής.

Η συντήρηση απαιτεί απλές λειτουργίες, αλλά αντίθετα η παρακολούθηση του δικτύου και ο εντοπισμός των σφαλμάτων απαιτούν την ανάπτυξη κατάλληλων διαδικασιών ελέγχου, όπως η υλοποίηση αλγορίθμων ελέγχου και διαίτησίας του μέσου, εντοπισμού και διόρθωσης σφαλμάτων. Όσον αφορά στις απαιτήσεις ασφάλειας αυτές μπορεί να εμπεριέχουν την εφαρμογή τεχνικών κρυπτογράφησης, αφού η καθοδική TDMA είναι διαθέσιμη σε όλους τους τερματιστές του δικτύου. Όμως ακόμα και στην περίπτωση που δε χρησιμοποιείται κρυπτογράφηση, ο βαθμός ασφάλειας φαίνεται να είναι κατά πολύ σύμφωνος με τα πρότυπα των υπάρχοντων δημοσίων δικτύων.

Οι δομές παθητικών δέντρων είναι κατάλληλες και για την περίπτωση κατανεμημένων υπηρεσιών, χρησιμοποιώντας για παράδειγμα ένα ξεχωριστό μήκος κύματος για κάθε υπηρεσία. Το παθητικό δέντρο παρέχει ένα καλό βαθμό μερισμού πόρων, μειώνοντας έτσι το κόστος ανά συνδρομητή.

II) Παθητικός Δακτύλιος

Στην τοπολογία του παθητικού δακτυλίου ενεργητικές P2P ζεύξεις δημιουργούν ένα δακτύλιο, του οποίου ένας κόμβος είναι το κέντρο μεταγωγής (Εικόνα 3.6). Η τοπολογία δακτυλίου παρέχει οικονομία, αφού στο κέντρο μεταγωγής υπάρχει ανάγκη για ένα μόνο OLT. Επιπλέον, η τοπολογία αυτή απαιτεί λιγότερο συνολικό μήκος ίνας από τις άλλες τοπολογίες.

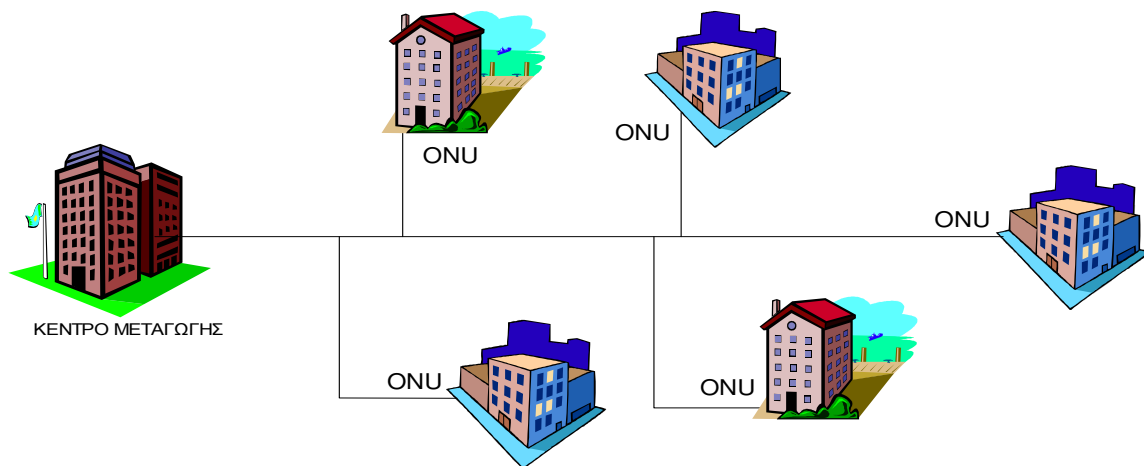


Εικόνα 3.6 – Τοπολογία Δακτυλίου σε ένα PON

Ένα πρόσθετο πλεονέκτημα είναι ότι όταν ένα πακέτο φθάσει στον προορισμό του, η πληροφορία αφαιρείται, και μία άδεια χρονοθυρίδα (η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ξανά) εκπέμπεται προς τον επόμενο σταθμό. Η ιδιότητα αυτή, η οποία θα μπορούσε να φανεί χρήσιμη στο τοπικό συνδρομητικό δίκτυο, είναι μικρής αξίας για τον τοπικό βρόχο, όπου δεν υπάρχει σημαντική τοπική κίνηση και όλες οι μεταγωγές γίνονται στο κέντρο μεταγωγής.

III) Παθητικός Δίαυλος

Η τοπολογία παθητικού διαύλου μειώνει τον αριθμό των οπτικών πομποδεκτών που απαιτούνται στο μισό, σε σχέση με την τοπολογία δέντρου. Για κάθε κατεύθυνση χρησιμοποιείται μία ξεχωριστή ίνα (Εικόνα 3.7). Στους κόμβους σύνδεσης του συνδρομητή, ένας οπτικός διαχωριστής παγιδεύει μέρος του οπτικού σήματος για να το κατευθύνει προς το συνδρομητή. Η κύρια συσκευή σε ένα τέτοιο δίκτυο είναι ο ασύμμετρος οπτικός διαχωριστής / συνδυαστής. Οι συσκευές αυτές στην καθοδική κατεύθυνση πρέπει να διαχωρίζουν από το δίαυλο



Εικόνα 3.7 – Τοπολογία Διαύλου σε ένα PON

τουλάχιστον το ελάχιστο ποσό οπτικής ισχύος που απαιτείται για τη σωστή λειτουργία του δέκτη κάθε συνδρομητή, επιτρέποντας να μείνει αρκετή ισχύς στο δίαυλο για τους άλλους συνδρομητές. Κατά την ανοδική κατεύθυνση, η ισχύς η οποία εκπέμπεται από τους συνδρομητές, οδηγεί στη δημιουργία, μέσω των συνδυαστών, της συνολικής ανοδικής κυκλοφορίας σε μία ίνα που οδηγεί προς το τοπικό κέντρο. Τα προβλήματα που υπάρχουν οφείλονται στο γεγονός ότι οι διαφορετικές μεταξύ τους παγιδεύσεις δεν είναι τέλειες και εισάγουν ανακρίβειες στην ποσότητα της οπτικής ισχύος που παγιδεύτηκε. Έτσι, ο ισολογισμός της ισχύος είναι κρίσιμος σε αυτόν τον τύπο τοπολογίας γιατί πρέπει να προνοήσουμε για τις αστάθειες που παρουσιάζονται στην απόδοση της παγίδευσης.

Η αναβάθμιση του δικτύου μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση διαφορετικών μηκών κύματος, όπως και στην περίπτωση του παθητικού δένδρου. Τα θέματα αξιοπιστίας, συντήρησης και ασφάλειας είναι και αυτά παρόμοια με αντίστοιχα της τοπολογίας δέντρου. Όσον αφορά τη γεωγραφική μορφή, η τοπολογία αυτή προφανώς δεν είναι συμβατή με τη μορφή της υπάρχουσας υποδομής και έτσι η ανάπτυξη της θα απαιτούσε σημαντικό όγκο εργασίας.

Η τοπολογία του παθητικού διαύλου προσφέρεται και για καταναμημένες υπηρεσίες, αν και ζητήματα οπτικού προϋπολογισμού που σχετίζονται με τον οπτικό παγιδευτή να φανούν στην περίπτωση αυτή κρίσιμα.

Η τοπολογία αυτή επιτυγχάνει καλύτερο μερισμό της ίνας σε σύγκριση με το οπτικό δέντρο. Ο αριθμός των οπτικών εξαρτημάτων είναι παρόμοιος αν και οι παθητικοί παγιδευτές μπορεί να είναι πιο ακριβοί από τους διαχωριστές λόγω πιο αυστηρών απαιτήσεων κατασκευής. Αν

εξαιρέσουμε τον προβληματισμό για την αξιοπιστία των παγιδευτών τότε το κόστος λειτουργίας της τοπολογίας θα είναι παρόμοιο με την περίπτωση του παθητικού δέντρου.

Τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των τοπολογιών που αναλύθηκαν στις προηγούμενες ενότητες συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα, έτσι ώστε να δοθεί μία συνολική εικόνα για τις τοπολογίες αυτές:

ΚΡΙΤΗΡΙΟ/ ΤΥΠΟΣ	ΔΕΝΤΡΟ	ΔΑΚΤΥΛΙΟΣ	ΔΙΑΥΛΟΣ
ΕΥΚΟΛΙΑ ΑΝΑΒΑΘΜΙΣΗΣ	ΑΡΙΣΤΗ		
ΑΞΙΟΠΙΣΤΙΑ	ΚΑΛΗ		
ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ	ΑΡΙΣΤΗ		
ΑΣΦΑΛΕΙΑ	ΚΑΛΗ		
ΕΞΕΛΙΞΗ	ΚΑΛΗ	ΜΗΔΕΝΙΚΗ	
ΣΥΜΒΑΤΟΤΗΤΑ ΜΕ ΥΠΑΡΧΟΝΤΑ ΔΙΚΤΥΑ	ΚΑΛΗ	ΜΗΔΕΝΙΚΗ	
ΚΑΤΑΝΕΜΗΜΕΝΕΣ ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ	ΕΥΝΟΪΚΟ	ΑΔΥΝΑΤΟΝ	
ΑΡΧΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ ΕΓΚΑΤΑΤΑΞΗΣ	ΧΑΜΗΛΟ		
ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟ ΚΟΣΤΟΣ	ΧΑΜΗΛΟ		

Η κατανομή του κόστους στο χρόνο, που απορρέει από την ευκολία αναβάθμισης των δικτύων αυτών, είναι ένα σαφές πλεονέκτημα των παθητικών δομών, αφού επιτρέπει τη μείωση του κόστους ανά συνδρομητή.

Η δομή παθητικού δέντρου είναι προτιμητέα για το δίκτυο πρόσβασης. Αν και έχει ένα ελαφρό οικονομικό μειονέκτημα συγκρινόμενο με τη δομή παθητικού διαύλου / δακτυλίου, αυτό υπερκαλύπτεται από άλλους παράγοντες:

- την ευκολία αναβάθμισης σε μελλοντικά συστήματα
- την καταλληλότητα για παροχή διανεμημένων υπηρεσιών
- τη συμβατότητα με υπάρχουσες δομές
- τα απλά οπτικά εξαρτήματα (ειδικά οι διαχωριστές συγκρινόμενοι με τους παγιδευτές)

Ένα δίκτυο πρόσβασης που βασίζεται σε PON έχει να αντιμετωπίσει διάφορες προκλήσεις κατά το σχεδιασμό του, ανεξαρτήτως της φυσικής του τοπολογίας. Το πρώτο βήμα είναι η επιλογή του πρωτοκόλλου που θα χρησιμοποιηθεί για το στρώμα δεδομένων. Υπάρχουν τρεις διαφορετικές επιλογές:

1)SONET(Synchronous Optical Networking)

- + Ανοχή στα λάθη
- + Διαχείριση λαθών
- + Χρησιμοποιείται σε πολλά δίκτυα
- Ακριβό υλικό
- Μεγάλο κόστος για τοπικό βρόγχο
- Μη αποδοτικό για κίνηση δεδομένων

2)ATM(Asynchronous Transfer Mode)

- + Είναι δυνατή η παροχή διαφορετικών QoS (Quality of Service) και εγγυημένου εύρους ζώνης στα δεδομένα που υπάρχουν στο OLT και στο ONU ώστε να είναι εφικτή η μετάδοση δεδομένων πραγματικού χρόνου.
- Επειδή τα δεδομένα τόσο στο OLT όσο και στο ONU είναι σε πακέτα IP, για τη μεταφορά μέσω PON είναι απαραίτητος ο τεμαχισμός των πακέτων και η επανασυναρμολόγησή τους στο άλλο άκρο. Αυτό δημιουργεί επιπρόσθετο κόστος και πολυπλοκότητα στο δίκτυο.

3)Ethernet

- + Είναι αποδοτικό στην μεταφορά πακέτων IP
- + Διαδεδομένο, φθινό και αξιόπιστο υλικό
- + Υποστηρίζει διάφορους ρυθμούς δεδομένων(10Mbps, 100Mbps, 1Gbps κ.τ.λ.)

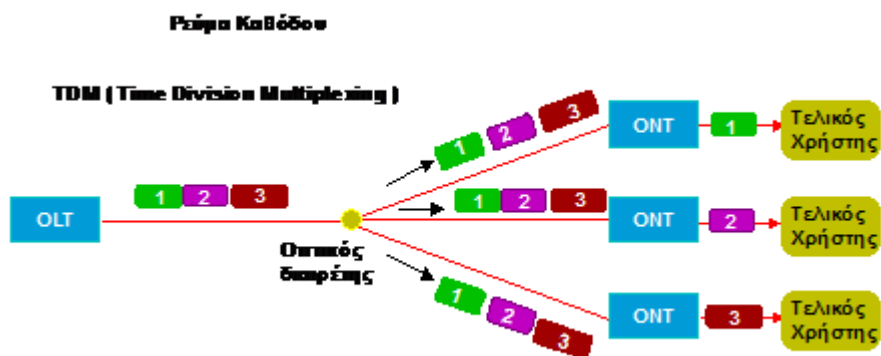
- Απαιτεί την ανάπτυξη τεχνικών QoS για την μεταφορά δεδομένων σε πραγματικό χρόνο

ΕΙΔΗ ΠΑΘΗΤΙΚΩΝ ΟΠΤΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ (PON)

APON (ATM-PON)

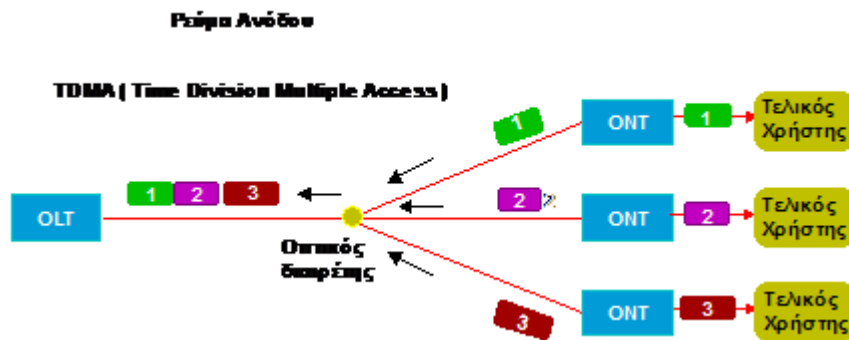
Ο συνδυασμός της τεχνολογίας PON με τον ασύγχρονο τρόπο μεταφοράς (ATM) αναπτύχθηκε το 1995 από την FSAN, διότι θεωρήθηκε τότε ως η πιο πολλά υποσχόμενη τεχνολογία για να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις σε υπηρεσίες των διαφόρων χρηστών, οπότε δημιουργήθηκαν τα APON τα οποία υποστήριζαν διάφορες αρχιτεκτονικές FTTx. Η θεώρηση αυτή βασίστηκε στο γεγονός ότι εκείνη την εποχή οι λογικότερες και πιο συμφέρουσες επιλογές ήταν για τον τρόπο μεταφοράς δεδομένων ο ATM και για την τοπολογία των δικτύων πρόσβασης τα δίκτυα PON. Ο ATM θεωρείτο ο καταλληλότερος για να υποστηρίξει πολλαπλά πρωτόκολλα και τα PON η οικονομικότερη ευρυζωνική οπτική λύση.

Στο APON με κριτήρια την απλότητα και το κόστος επιλέχθηκαν η τεχνική TDM για την προς τα κάτω (downstream) ζεύξη και για την πολλαπλή προσπέλαση στο μέσο για την προς τα άνω (upstream) ζεύξη η TDMA τεχνική. Στην Εικόνα 3.8 και 3.9 βλέπουμε το downstream και upstream αντίστοιχα σε μια υποδομή APON.



Εικόνα 3.8 – Downstream σε APON

Στο APON μία οπτική ίνα διαιρείται παθητικά μέχρι και 64 φορές με αποτέλεσμα 64 ONU/ONT να μοιράζονται τη χωρητικότητα της. Η παθητική διαίρεση επιτρέπει στους χρήστες να μοιράζονται το εύρος ζώνης και κατ' επέκταση το κόστος. Το κόστος μειώνεται ακόμα περισσότερο με την ελάττωση του αριθμού των οπτικοηλεκτρονικών στοιχείων που απαιτούνται για το OLT δεδομένου ότι μία διεπαφή μοιράζονται περισσότερα του ενός ONU/ONT.



Εικόνα 3.9 – Upstream σε APON

Το APON χρησιμοποιεί τοπολογία διπλού αστέρα. Ο πρώτος αστέρας βρίσκεται στο OLT όπου η διεπαφή του δικτύου ευρείας ζώνης για τις υπηρεσίες διαιρείται λογικά και οδηγείται στη διεπαφή ATM-PON. Ο δεύτερος αστέρας υλοποιείται στον διαιρέτη όπου η πληροφορία διαιρείται παθητικά και οδηγείται σε κάθε ONT. Το OLT, που τοποθετείται στο κέντρο μεταγωγής, είναι το σημείο διασύνδεσης μεταξύ του Δικτύου Πρόσβασης και των σημείων υπηρεσιών στο δίκτυο κορμού (backbone). Όταν δεδομένα από το δίκτυο φθάνουν στο OLT οδηγούνται στον παθητικό διαιρέτη χρησιμοποιώντας την τεχνική TDM. Το OLT λειτουργεί ως ATM τελικός μεταγωγέας με ATM-σύγχρονη οπτική (SONET) διεπαφή από την πλευρά του δικτύου κορμού και ATM-PON διεπαφή από την πλευρά του συνδρομητή.

Το κάθε ONT φιλτράρει τα κελιά που φθάνουν και ανακτά μόνο αυτά που προορίζονται για αυτό. Κάθε κελί έχει ένα 28-bit πεδίο που καθορίζει τις τιμές που αφορούν στη νοητή διαδρομή και στο νοητό δίαυλο, που αναφέρονται ως VPI/VCI. Κάθε OLT αρχικά στέλνει ένα μήνυμα στο ONT για να το προετοιμάσει να δεχτεί κελιά με συγκεκριμένες τιμές VPI/VCI. Τα πεδία VPI/VCI, της επικεφαλίδας του πακέτου ATM, χρησιμοποιούνται για την επίτευξη της πολυπλεξίας πακέτων σε μια κοινή ζεύξη.

Δεδομένου ότι στο upstream κανάλι χρησιμοποιείται το πρωτόκολλο TDMA, κάθε ONT πρέπει να είναι συγχρονισμένο χρονικά με κάθε άλλο ONT. Αυτό πραγματοποιείται με μία

διαδικασία που ονομάζεται αποστασιομέτρηση (ranging) των ONU και βασίζεται στη λογική ότι το OLT πρέπει να καθορίσει πόσο μακριά του βρίσκεται το κάθε ONT έτσι ώστε να του παραχωρήσει τη βέλτιστη χρονική σχισμή μέσα στην οποία θα πρέπει να εκπέμψει για να αποφευχθούν προβλήματα συγκρούσεων μετάδοσης. Στη συνέχεια το OLT στέλνει μήνυμα παραχώρησης μέσω των κελιών διαχείρισης PLOAM του φυσικού επιπέδου για να αναθέσει στο κάθε ONT συγκεκριμένες χρονικές σχισμές. Τέλος το ONT προσαρμόζει τη διεπαφή υπηρεσιών σε ATM και στη συνέχεια για την επικοινωνία με το OLT θα χρησιμοποιήσει τη τεχνική TDMA.

Στο APON χρησιμοποιείται μία οπτική ίνα τόσο για το upstream όσο και για το downstream κανάλι οπότε χρησιμοποιούνται δύο μήκη κύματος -1550 nm για το downstream κανάλι και 1310nm για το upstream κανάλι. Συμπληρωματικά αναφέρουμε ότι θα ήταν δυνατό να χρησιμοποιηθεί ένα μήκος κύματος, η επιλογή όμως για δύο παρέχει καλύτερη οπτική απομόνωση για τους πομπούς και τους δέκτες laser και εξαλείφει την ανάγκη των ακριβών διαιρετών δέσμης φωτός.

Τα κελιά ATM μετατρέπονται απευθείας σε οπτικό κύμα και στέλνονται στο δίκτυο PON. Αυτό επιτυγχάνεται με τον κατάλληλο οπτικοηλεκτρικό εξοπλισμό, ειδικό για τη μετάδοση κίνησης σε ταχύτητες Mbit/sec. Επιπλέον δεδομένου ότι υπάρχουν καθοδικά κανάλια κοινοποίησης (broadcast channels) στα PON χρησιμοποιούνται τεχνικές κρυπτογράφησης για να επιτευχθεί ασφάλεια. Το APON δεν εξαρτάται από τις διάφορες υπηρεσίες με αποτέλεσμα να μπορούν να υλοποιηθούν τόσο οι κλασικές όσο και μελλοντικές υπηρεσίες. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι μπορεί να μεταφέρει πακέτα Ethernet και να υποστηρίζει T1.

Οφέλη APON

Η συντήρηση της οπτικής ίνας είναι οικονομικότερη από αυτή των συστημάτων που βασίζονται στο χαλκό με αποτέλεσμα οι πάροχοι να μειώνουν το κόστος και να αυξάνεται το κέρδος τους ή να έχουν τη δυνατότητα να χαμηλώνουν τις τιμές με αποτέλεσμα να γίνονται πιο ανταγωνιστικοί.

Στα ATM-PON οι οπτικές διεπαφές βρίσκονται στα OLT οπότε μία μόνο ίνα χρησιμοποιείται για να εξυπηρετήσει μέχρι 64 τελικές τοποθεσίες χρηστών. Συνεπώς έχουμε μείωση των οπτικών διεπαφών από 64 σε 1 σε σχέση με τα P2P οπτικά συστήματα.

Ένα ακόμα πλεονέκτημα είναι ότι στα APON πραγματοποιείται συσσώρευση κελιών ATM στα OLT. Η συσσώρευση αυτή επιτρέπει στους παρόχους να εξυπηρετούν πολύ

περισσότερους χρήστες από ότι στην περίπτωση που θα χρησιμοποιούνταν μόνο τεχνικές βασισμένες στο TDM. Έχει υπολογιστεί ότι η τεχνολογία APON μπορεί να είναι από 20 έως 40 τα εκατό οικονομικότερη από συστήματα πρόσβασης με κυκλώματα. Η οικονομία οφείλεται στην προαναφερθείσα συγκέντρωση του ATM και τη στατιστική πολυπλεξία σε συνδυασμό με την από κοινού χρήση των ενεργητικών οπτικοηλεκτρονικών εξαρτημάτων μεταξύ των διαιρετών.

Επιπλέον επειδή τα ONT μοιράζονται την ίδια ίνα και οπτικό διαιρέτη, μοιράζονται κατ' επέκταση και το εύρος ζώνης οπότε με κατάλληλα πρωτόκολλα δυναμικής ανάθεσης του εύρους ζώνης είναι δυνατό να εξυπηρετεί ο πάροχος ακόμα περισσότερους χρήστες.

Το APON έχει ως πυρήνα την τεχνολογία ATM συνεπώς ένα απλό σύστημα διαχείρισης μπορεί να προβλέψει το απαιτούμενο εύρος από άκρο σε άκρο. Ακόμα κρίνεται εύκολη η αύξηση του εύρους ζώνης μιας δεδομένης ζεύξης αν αυτό απαιτηθεί μελλοντικά. Επιπλέον μπορεί να εξυπηρετήσει σχεδόν κάθε επιθυμητή υπηρεσία.

Τέλος, τα ενεργητικά εξαρτήματα του APON τοποθετούνται στο κτίριο του πελάτη ή στο κέντρο μεταγωγής και όχι σε εξωτερικά εγκατεστημένα τερματικά. Με τον τρόπο αυτό εξαλείφονται οι δαπάνες για συστήματα εφεδρικών μπαταριών και τα ενεργητικά στοιχεία που πρέπει να είναι ανθεκτικά στις μεγάλες μεταβολές της θερμοκρασίας.

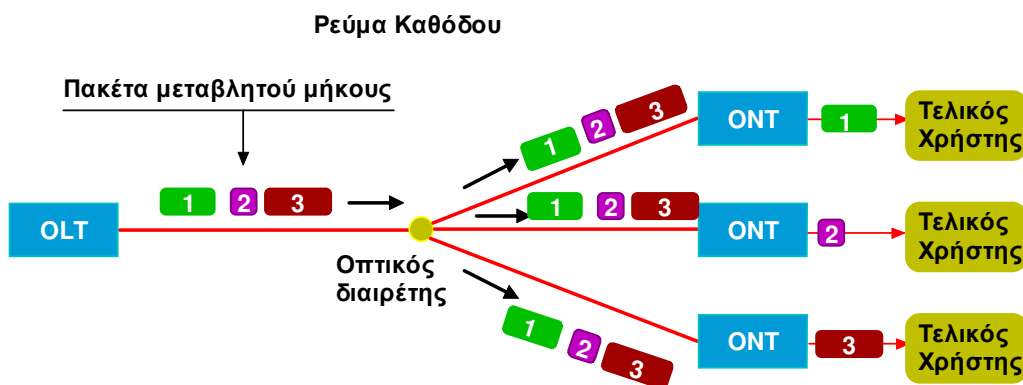
BPON (Broadband PON)

Είναι η μετεξέλιξη του APON, καθώς προσθέτει υποστήριξη για WDM, υψηλότερη ρυθμαπόδοση, δυναμική απόδοση χωρητικότητας και έχει τη δυνατότητα να υποστηρίζει επιπλέον ευρυζωνικές υπηρεσίες, όπως υπηρεσίες video. Συνοδεύεται από το πρότυπο OMCI για διαχείριση των στοιχείων μεταξύ OLT και ONU/ONT, επιτρέποντας την ανάμιξη συσκευών από διαφορετικούς κατασκευαστές. Μία τυπική αρχιτεκτονική BPON παρέχει 622 Mbps downstream και 155 Mbps upstream, αν και το πρότυπο υποστηρίζει θεωρητικά και μεγαλύτερες ταχύτητες.

EPON (Ethernet PON)

Με το πέρασμα του χρόνου το APON θεωρήθηκε ως ακατάλληλη λύση για τον τοπικό βρόχο εξαιτίας της αδυναμίας του να υποστηρίζει υπηρεσίες video, το ανεπαρκές του εύρος, την πολυπλοκότητά του και το κόστος του. Η ευρεία χρήση του Ethernet έδινε την εντύπωση ότι η χρήση των Ethernet-PON (EPON) θα εξάλειφε την ανάγκη για μετατροπή από ATM σε IP πρωτόκολλο στην σύνδεση WAN/LAN. Οι κατασκευαστές EPON εστίαζαν αρχικά στην ανάπτυξη FTTB και FTTC λύσεων με μακροπρόθεσμο στόχο την ανάπτυξη μίας FTTH λύσης για τη διανομή δεδομένων, video και φωνής πάνω από την ίδια πλατφόρμα. Το EPON παρέχει μεγαλύτερο εύρος ζώνης, ελάττωση κόστους και ευρύτερες υπηρεσίες από το APON ενώ η αρχιτεκτονική του είναι παρόμοια και κληρονομεί πολλά χαρακτηριστικά του G.983 που αφορά στα APON.

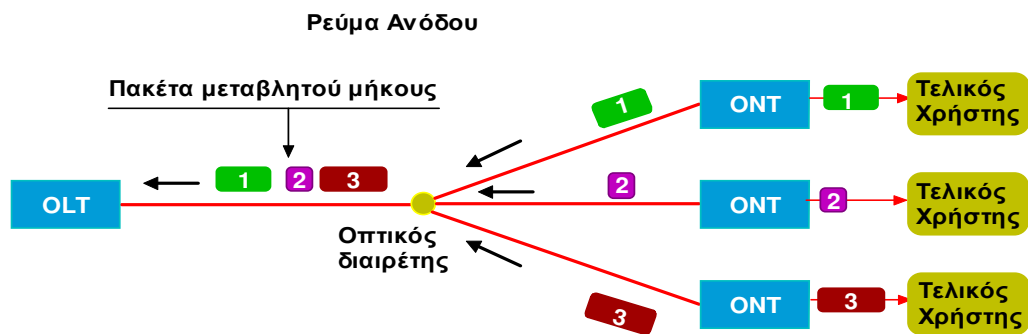
Η κύρια διαφορά μεταξύ APON και EPON είναι ότι τα δεδομένα στο EPON μεταφέρονται σε πακέτα μεταβλητού μήκους ως και 1518 bytes σύμφωνα με το πρωτόκολλο της IEEE 802.3 για το Ethernet. Ενώ στο APON σε κελιά ATM των 53 bytes όπως επιβάλλεται από το πρωτόκολλο ATM, αυτό έχει ως αποτέλεσμα να είναι δύσκολη και όχι αποδοτική η μεταφορά σε ένα δίκτυο APON κίνησης που βασίζεται στο IP όπου τα δεδομένα χωρίζονται σε πακέτα μεταβλητού μήκους ως και 65535 bytes. Για να μεταφερθεί η IP κίνηση στο APON τα πακέτα θα πρέπει να καταταμηθούν σε κομμάτια των 48-bytes και στο κάθε ένα από αυτά να προσαρτηθεί επικεφαλίδα ATM των 5-bytes. Η διαδικασία αυτή είναι χρονοβόρα, πολύπλοκη και προσθέτει επιπλέον κόστος στα ONT και OLT. Επιπλέον για κάθε τμήμα δεδομένων των 48-bytes έχουμε σπατάλη εύρους 5-bytes. Αντίθετα το Ethernet είναι φτιαγμένο για να καλύψει κίνηση IP και μειώνει δραστικά τις επικεφαλίδες σε σχέση με το ATM.



Εικόνα 3.10 – Downstream σε EPON

Στην Εικόνα 3.10 τα δεδομένα εκπέμπονται από το OLT προς τα ONT σε πακέτα μεταβλητού μήκους με μέγιστο μήκος 1518 bytes, σύμφωνα με το πρωτόκολλο της IEEE 802.3. Κάθε πακέτο φέρει μία επικεφαλίδα που καθορίζει το ONT στο οποίο προορίζεται το πακέτο. Επιπλέον κάποια πακέτα είναι δυνατό να προορίζονται για όλα τα ONT (broadcast packets) ενώ άλλα για μία δεδομένη ομάδα ONT (multicast packets).

Στο δεδομένο σχήμα η κίνηση χωρίζεται στον διαιρέτη σε τρία διαφορετικά σήματα που κάθε ένα φέρει όλα τα πακέτα. Όταν τα πακέτα φτάσουν σε ένα ONT τότε αυτό δέχεται μόνο τα πακέτα που προορίζονται για αυτό ενώ απορρίπτει όλα τα υπόλοιπα πακέτα. Συγκεκριμένα στο παράδειγμά μας το ONT-1 δέχεται τα πακέτα 1,2 και 3 αλλά διανέμει στο τελικό χρήστη 1 μόνο το πακέτο 1.



Εικόνα 3.11 – Upstream σε EPON

Όσον αφορά την προς τα άνω ζεύξη η λειτουργία της οποίας συνοψίζεται στην Εικόνα 3.11, χρησιμοποιείται η τεχνική TDM, κατά την οποία χρονικές σχισμές εκπομπής ανατίθενται σε κάθε ONT. Οι χρονικές σχισμές είναι συγχρονισμένες έτσι ώστε να μην υπάρχουν συγκρούσεις όταν τα πακέτα από διαφορετικά ONT συνδυάζονται στην κοινή ίνα.

Στο συγκεκριμένο παράδειγμα το ONT-1 εκπέμπει το πακέτο 1 στην πρώτη χρονική σχισμή, το ONT-2 εκπέμπει το πακέτο 2 στη δεύτερη μη επικαλυπτόμενη με την πρώτη χρονική σχισμή και το ONT-3 εκπέμπει το πακέτο 3 στη τρίτη μη επικαλυπτόμενη με την δεύτερη χρονική σχισμή.

Οφέλη των EPON

Τα EPON θεωρήθηκαν απλούστερα, πιο αποδοτικά και λιγότερο δαπανηρά από οποιαδήποτε εναλλακτική λύση πολλαπλών υπηρεσιών δικτύου πρόσβασης την εποχή που προτάθηκαν. Τα EPON προσέφεραν το υψηλότερο εύρος ζώνης στους πελάτες συγκριτικά με οποιοδήποτε άλλο δίκτυο PON. Το γεγονός αυτό είχε ως αποτέλεσμα να μπορούν να υποστηριχθούν περισσότεροι συνδρομητές από το EPON, να διατίθεται περισσότερο εύρος ανά συνδρομητή, καλύτερο QoS και να υπάρχει η δυνατότητα υποστήριξης υπηρεσιών video.

Επιπλέον τα EPON οδηγούσαν σε μείωση των δαπανών μέσω της εξάλειψης των πολύπλοκων και ακριβών στοιχείων ATM και SONET και δραματική απλοποίηση της αρχιτεκτονικής του δικτύου. Ακόμα η εξάλειψη του κόστους συντήρησης των εξωτερικών εγκαταστάσεων δεδομένου ότι δεν χρησιμοποιούνται ηλεκτρονικά στοιχεία σε αυτές λόγω χρήσης των μεγάλης διάρκειας ζωής παθητικών εξαρτημάτων οδηγούσε σε μείωση της συνολικής δαπάνης. Τέλος, οι Ethernet διεπαφές εξάλειψαν την ανάγκη για επιπλέον DSL ή cable modems γεγονός που οδηγούσε σε περαιτέρω μείωση του κόστους.

Η τεχνολογία EPON δεδομένου ότι μπορεί να υποστηρίξει υπηρεσίες, video και φωνής έδινε τη δυνατότητα στους παρόχους να προσφέρουν ένα ευρύ φάσμα υπηρεσιών και κατ' επέκταση να αυξήσουν τα έσοδά τους. Συγκεκριμένα, εκτός τις υπηρεσίες POTS, T1, 10/100BASE-T και DS3 τα EPON υποστηρίζουν και εξελιγμένες λειτουργίες όπως επιπέδου 2 και 3 μεταγωγή και δρομολόγηση, voice over IP, IP multicast, VPN 802.1Q και κατανομή και μορφοποίηση του εύρους ζώνης.

Συνοψίζοντας τα EPON εξαιτίας της απλότητας τους, που προέρχεται από τη χρήση των τοπολογιών Ethernet, έδιναν τη δυνατότητα στους παρόχους να μπορούν εύκολα να αναπτύσσουν, να προβλέπουν και να διαχειρίζονται τις υπηρεσίες.

GPON (Gigabit PON)

Το 2001 η FSAN ξεκίνησε μία προσπάθεια έτσι ώστε να αναγνωριστούν ως standard τα δίκτυα PON τα οποία λειτουργούσαν σε ταχύτητες μεγαλύτερες του 1Gbps. Εκτός από την ανάγκη να υποστηριχθούν υψηλότερα bit rates το συνολικό πρωτόκολλο θα έπρεπε να είναι ανοιχτό για επανεξέταση έτσι ώστε η τελική μορφή που αυτό θα λάμβανε να είναι η βέλτιστη και η πιο αποδοτική όσον αφορά στην υποστήριξη πολλαπλών υπηρεσιών και λειτουργιών διαχείρισης, συντήρησης και πρόβλεψης.

Το αποτέλεσμα της προσπάθειας της FSAN ήταν μία νέα λύση στην αγορά οπτικών δικτύων πρόσβασης τα GPON που προσφέρουν πολύ υψηλά bit rates, έως και 2,048 Gbps, ενώ ταυτόχρονα υποστηρίζουν τη μεταφορά πολλαπλών υπηρεσιών σε απλές διατάξεις και με μεγάλη αποδοτικότητα.

Το GPON διατηρεί, όπου αυτό είναι δυνατό, τα χαρακτηριστικά των τεχνολογιών που χρονικά προηγήθηκαν αυτού, έτσι ώστε να είναι συμβατά με όλες τις τεχνολογίες PON που προηγήθηκαν. Τα GPON εξαιτίας του μεγάλου εύρους ζώνης που παρέχουν υποστηρίζουν ένα ευρύ φάσμα υπηρεσιών συμπεριλαμβανομένων υπηρεσιών φωνής, video, Ethernet, 10/100BASE-T, μισθωμένες γραμμές και επεκτάσεις χωρίς καλώδιο. Επίσης είναι δυνατό να εξυπηρετήσουν αποστάσεις των 60 km μεταξύ ONT/ONU και OLT, η απόσταση όμως αυτή υπολογίζεται χωρίς να ληφθούν υπόψη οι περιορισμοί του φυσικού μέσου και αποτελεί τη λογική απόσταση. Σε αντίθεση με την τιμή αυτή η μέγιστη φυσική απόσταση που είναι δυνατό να καλυφθεί είναι ίση με 20 km. Τα GPON υποστηρίζουν 7 διαφορετικά bit rates χρησιμοποιώντας για όλα το ίδιο πρωτόκολλο.

DOWNSTREAM	UPSTREAM
1.2 Gbps	155 Mbps
1.2 Gbps	622 Mbps
1.2 Gbps	1.2 Gbps
2.4 Gbps	155 Mbps
2.4 Gbps	622 Mbps
2.4 Gbps	1.2 Gbps
2.4 Gbps	2.4 Gbps

Επιπλέον το GPON έχει μεγάλες δυνατότητες όσον αφορά στις λειτουργίες ανάπτυξης, πρόβλεψης και διαχείρισης του δικτύου ενώ παρέχει και ασφάλεια σε επίπεδο πρωτοκόλλου για την downstream κίνηση. Συγκεκριμένα, δεδομένου του multicast χαρακτήρα του μεριμνά ώστε να μην είναι εύκολη η αποκωδικοποίηση των downstream δεδομένων από όλους τους χρήστες παρά μόνο από αυτόν για τον οποίο προορίζονται τα δεδομένα και επιτρέπει προς την κατεύθυνση αυτή οικονομικά αποδοτικές υλοποιήσεις.

Ένα δίκτυο GPON βασίζεται στη μεταφορά πακέτων αλλά με ένα πιο γενικό τρόπο σε σύγκριση με τους άλλους τύπους δικτύων (EPON, APON). Πιο συγκεκριμένα το σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως EPON, αλλά μπορεί να μεταδώσει και γνήσια πακέτα IP, με την προσθήκη μιας επικεφαλίδας MPLS (Multi Protocol Label Switching) ή ακόμα και πακέτων ATM. Αυτό είναι εφικτό επειδή το πλαίσιο του στρώματος μετάδοσης (TC layer) σχεδιάστηκε εκ νέου, χωρίς να βασιστεί σε κάποια ήδη υπάρχουσα δομή που αφορούσε σε προγενέστερο δίκτυο (EPON, APON), με βασικό κριτήριο την αποδοτική και οικονομική υποστήριξη μεταβλητού μήκους πακέτων κάνοντας χρήση διαδοχικών σχισμών σταθερού μήκους. Η διαχείριση των πακέτων γίνεται από το πρωτόκολλο MAC (Medium Access Protocol) που λειτουργεί με γνώμονα την Ποιότητα Υπηρεσιών (QoS).

Έτσι το GPON είναι ένα πλήρες δίκτυο πρόσβασης σε αντίθεση με το EPON που δεν λαμβάνει υπόψη του τη QoS. Η καινούργια αυτή σχεδίαση του πλαισίου επιτρέπει την αποδοτικότερη εκμετάλλευση του εύρους ζώνης για την παροχή υπηρεσιών πακέτου από παθητικά δίκτυα υψηλής ταχύτητας. Κατά τον καινούριο αυτό σχεδιασμό λήφθηκαν υπόψη διάφοροι περιορισμοί όπως το επίπεδο ισχύος, η λήψη δεδομένων σε εκρηκτική μετάδοση (burst mode), ο συγχρονισμός των ρολογιών καθώς επίσης και ζητήματα όπως η μειωμένη πολυπλοκότητα του συστήματος και ο περιορισμός του κόστους. Στο ρεύμα ανόδου (upstream – από ONU προς το OLT) χρησιμοποιείται μη γραμμική κωδικοποίηση σε συνδυασμό με διόρθωση λαθών. Θα πρέπει να τονίσουμε ότι ο συνδυασμός των δύο αυτών μεθόδων χρησιμοποιείται για πρώτη φορά σε δίκτυο PON με λειτουργία burst mode στο ρεύμα ανόδου. Αυτό γίνεται έτσι ώστε να υπάρχει μεγαλύτερο απόθεμα ισχύος, που είναι απαραίτητο για να αυξηθεί η μέγιστη απόσταση καθώς και ο λόγος της διαίρεση του σήματος της οπτικής ίνας στον οπτικό διαιρέτη, με τελικό και σημαντικό αποτέλεσμα να εξυπηρετούνται από το δίκτυο περισσότεροι χρήστες.

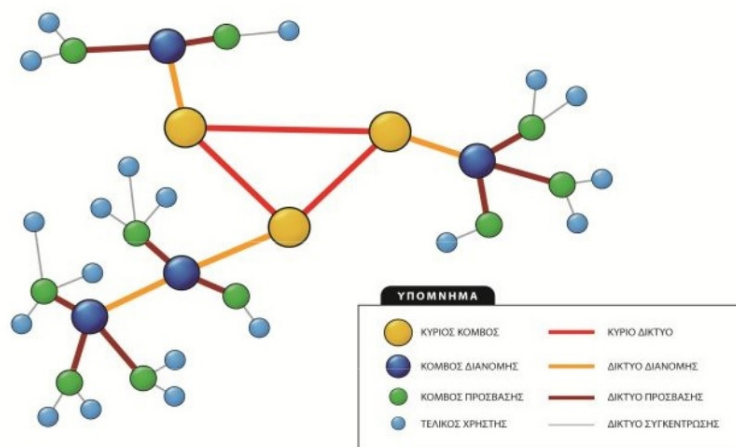
WDM PON (Wave Division Multiplexing PON)

Είναι ένας τύπος PON ο οποίος προωθείται τελευταία από διάφορους κατασκευαστές με το επιχείρημα της εκτεταμένης χρήσης διακριτών μηκών κύματος ώστε να μπορεί να ικανοποιηθεί η συνεχώς αυξανόμενη απαίτηση για μεγαλύτερο εύρος ζώνης αλλά και για περαιτέρω προστασία των δεδομένων. Η τεχνολογία αυτή ποντάρει στη μελλοντική αύξηση της ζήτησης, μείωση του σχετικού κόστους και ευκολία μαζικής παραγωγής. Η WDM-PON υπόσχεται πολλαπλάσιο εύρος ζώνης σε μεγαλύτερες αποστάσεις αυξάνοντας το περιθώριο απωλειών ισχύος, με αποφυγή των ευαίσθητων σε απώλειες διαχωριστών. Τα πολλαπλά μήκη κύματος μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε για τη δημιουργία virtual PON εγκατεστημένων στην ίδια συσκευή, είτε για την εκμετάλλευση με στατιστική πολυπλεξία χαμηλότερων καθυστερήσεων και μεγαλύτερης ρυθμαπόδοσης.

Δεν υπάρχει πρότυπο για την WDM-PON ούτε συμφωνία για τον ορισμό της. Σύμφωνα με κάποιες προσεγγίσεις η WDM-PON δεν είναι παρά ένα αφιερωμένο μήκος κύματος για κάθε ONU. Άλλες προσεγγίσεις προτείνουν τη χρήση του όρου για οποιαδήποτε χρήση της WDM αρχιτεκτονικής.

3.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ Fiber To The x

Προτού, αναλύσουμε τις τεχνικές FTTx θα πρέπει να κατανοήσουμε την βασική δομή του δικτύου από τον πάροχο έως και τον τελικό χρήστη. Μια απλουστευμένη μορφή της δομής αυτής φαίνεται στην Εικόνα 3.12.



Εικόνα 3.12 – Παράδειγμα υποδομών οπτικού δικτύου

Κύριο δίκτυο : Το δίκτυο υποδομών και οπτικών καλωδίων υπεύθυνο για τη διασύνδεση των κυρίων κόμβων. Αποτελείται από παραπάνω από έναν κύριους κόμβους στους οποίους εγκαθίστανται ενεργές οπτικοακουστικές διατάξεις και προβλέπει πρόσβαση σε διαχειριστές για την συνολική εποπτεία του δικτύου και παροχή υπηρεσιών και εφαρμογών.

Δίκτυο Διανομής: Αποτελείται από έναν ή παραπάνω κόμβους διανομής και διασυνδέει τους κόμβους αυτούς με το κυρίως δίκτυο. Ένα δίκτυο διανομής συνήθως είναι ένα μητροπολιτικό δίκτυο όσον αφορά την γεωγραφική του έκταση. Για λόγους διαθεσιμότητας της υποδομής, συνηθίζεται η έμμεση σύνδεση κάθε κόμβου διανομής με παραπάνω από έναν κυρίους κόμβους ή ακόμα και με άλλους κόμβους διανομής.

Δίκτυο Πρόσβασης: Υπεύθυνο για τη διασύνδεση κόμβων πρόσβασης με κόμβους διανομής. Το δίκτυο πρόσβασης κατά κύριο λόγο συνδέει τον τελικό χρήστη με το δίκτυο διανομής.

Η διείσδυση των οπτικών ινών στο δίκτυο πρόσβασης εξυπηρετείται από μια ομάδα δικτυακών τεχνολογιών, που είναι γνωστές ως FTTx, όπου η παράμετρος x υπονοεί τον βαθμό διείσδυσης της οπτικής ίνας στο δίκτυο. Οι πιο κοινές αρχιτεκτονικές είναι:

- Fiber To The Curb (FTTC)
- Fiber To The Building (FTTB)
- Fiber To The Home (FTTH)

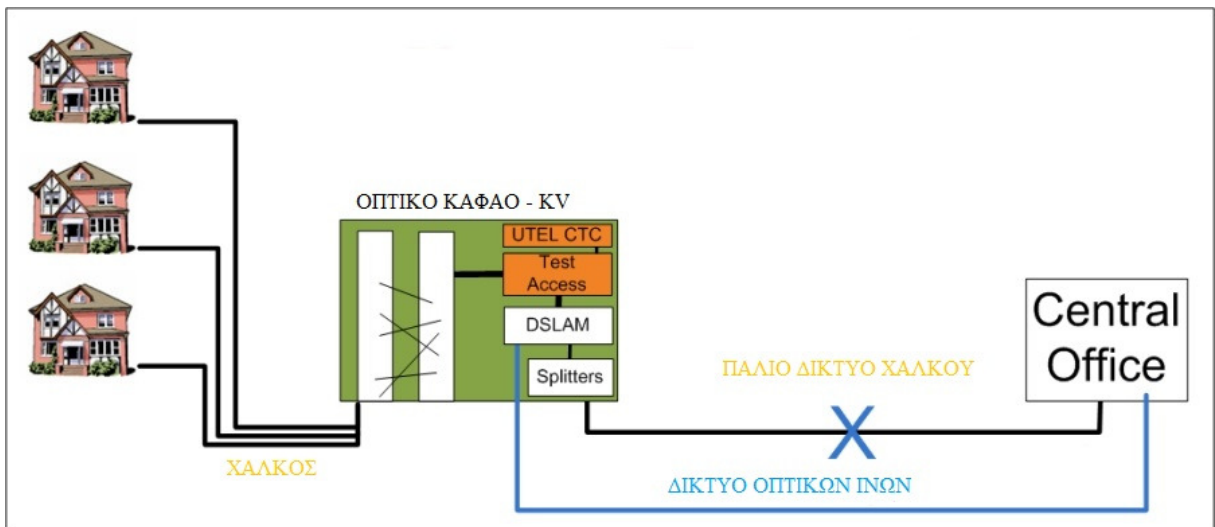
Fiber To The Curb (FTTC)

Ως Fiber To The Curb ορίζεται η τηλεπικοινωνιακή αρχιτεκτονική σύμφωνα με την οποία η επικοινωνιακή οδός εκτείνεται με χρήση αποκλειστικά οπτικού καλωδίου από το κεντρικό κτίριο του δικτυακού παρόχου (Central Office) μέχρι τουλάχιστον μία καμπίνα εξωτερικού χώρου (KV- Οπτικό καφάο – Εικόνα 3.13), η οποία υποστηρίζει μια ολόκληρη γειτονιά. Η ολοκλήρωση της επικοινωνιακής οδού από το KV έως τους χρήστες υλοποιείται συνήθως με συνεστραμμένο καλώδιο χαλκού.



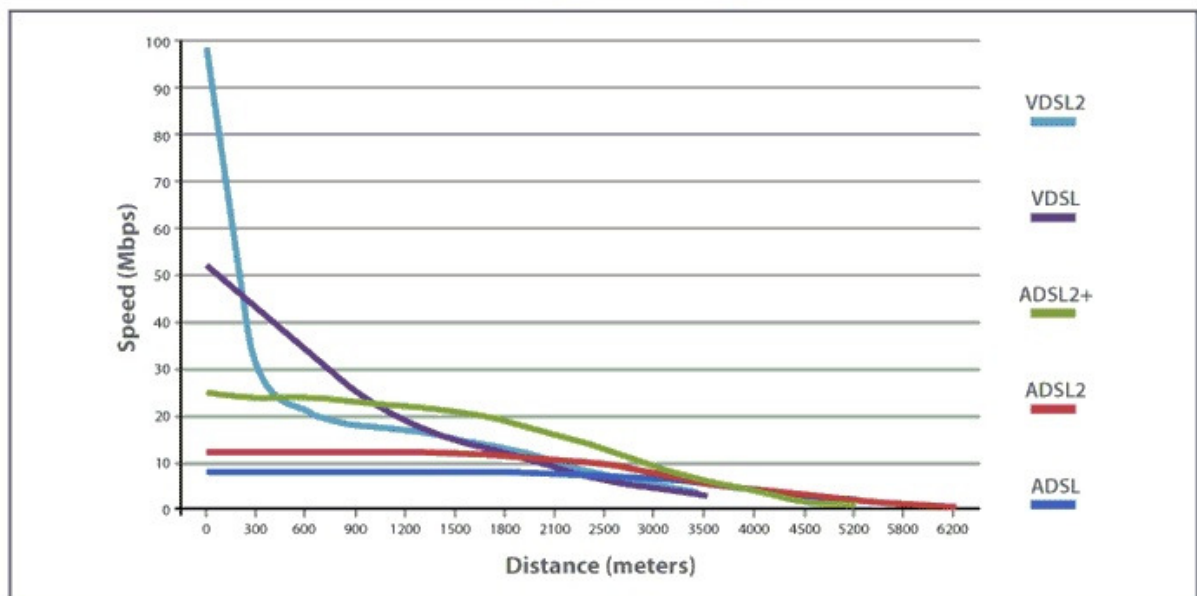
Εικόνα 3.13 - Οπτικό KV – Παλαιού τύπου KV

Πιο αναλυτικά, η δομή μιας αρχιτεκτονικής FTTC φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Ξεκινώντας από το κεντρικό κτίριο του παρόχου (Central Office), υπάρχει εγκατεστημένο ένα OLT. Μέσω ενός δικτύου οπτικών ινών το οποίο καταλήγει συνήθως σε ένα οπτικό KV, το OLT επικοινωνεί με το ONU που με την σειρά του μετατρέπει το οπτικό σήμα σε ηλεκτρικό. Τέλος, το ηλεκτρικό σήμα διαμοιράζεται στους τελικούς χρήστες από το προϋπάρχον δίκτυο χαλκού.

Το εύρος ζώνης μιας υλοποίησης FTTC εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την απόσταση του ΚV από τον τελικό χρήστη, λόγω του ότι αυτό κομμάτι του δικτύου αποτελείται από χαλκό. Οι κυριότερες ονομαστικές ταχύτητες που έχουν επικρατήσει στην αρχιτεκτονική αυτή είναι 30Mbps ή 50Mbps χρησιμοποιώντας την τεχνολογία VDSL και 100Mbps με την τεχνολογία VDSL2. Οι ταχύτητες αυτές είναι εγγυημένες από τον πάροχο σε περίπτωση που το ΚV έχει απόσταση 300m από τον χώρο του τελικού χρήστη. Στο παρακάτω διάγραμμα βλέπουμε το διαθέσιμο bandwidth σε συνάρτηση με την απόσταση από το αστικό κέντρο για διάφορες τεχνολογίες xDSL.

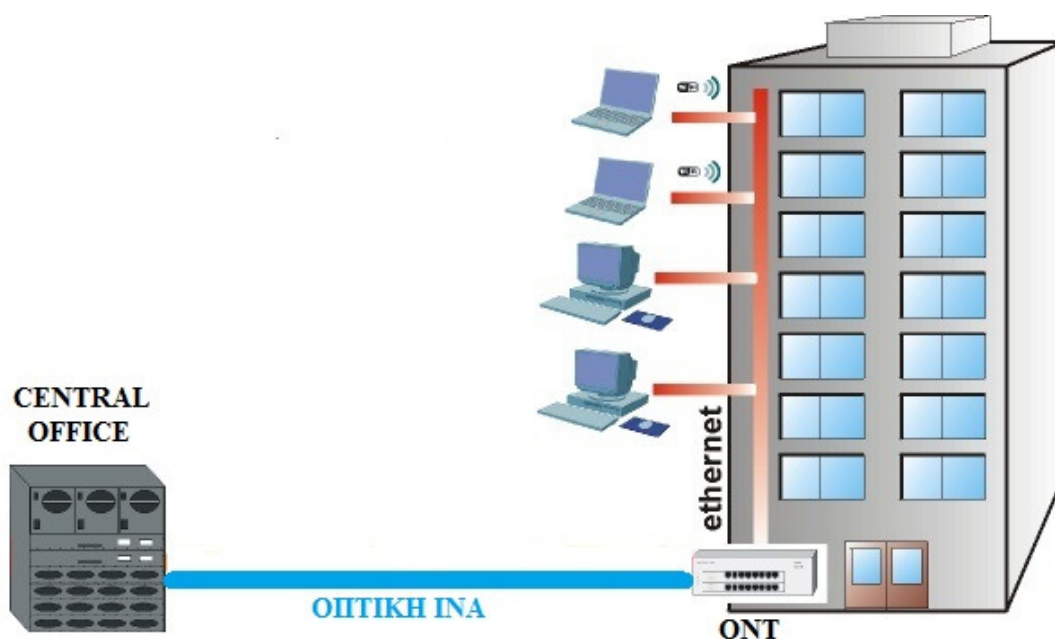


Fiber To The Building (FTTB)

Ως Fiber to the Building ορίζεται η τηλεπικοινωνιακή αρχιτεκτονική σύμφωνα με την οποία η επικοινωνιακή οδός εκτείνεται με χρήση αποκλειστικά οπτικού καλωδίου από το central office του παρόχου έως τουλάχιστον το όριο της ιδιοκτησίας που περιβάλλει το χώρο διαμονής ή εργασίας ενός ή περισσοτέρων χρηστών και τερματίζεται πριν από τον καθ' αυτό χώρο διαμονής ή εργασίας του καθενός από τους παραπάνω χρήστες. Το επικοινωνιακό μονοπάτι προς τον ή τους χρήστες ολοκληρώνεται με χρήση άλλου μέσου, όπως ομοαξονικό καλώδιο, συνεστραμμένα ζεύγη χαλκού ή ασύρματη ζεύξη. Η προαναφερθείσα επικοινωνιακή οδός παρέχεται με σκοπό την εξυπηρέτηση τηλεπικοινωνιακής κίνησης από και προς έναν ή περισσότερους χρήστες, για μία ή περισσότερες υπηρεσίες και από ή προς έναν ή περισσότερους παρόχους υπηρεσιών.

Είναι προφανές ότι η τεχνολογία FTTB αποτελεί μια μεταβατική αρχιτεκτονική για την παροχή υπηρεσιών σε υπάρχοντα κτίρια και μπορεί να είναι συμπληρωματική ως προς την FTTN, η οποία αναπτύσσεται κυρίως σε νέα κτίρια. Βέβαια, με εισαγωγή σε δεύτερη φάση, οπτικών καλωδίων εντός του κτιρίου, η αρχιτεκτονική FTTB μπορεί να μετεξελιχθεί σε πλήρη αρχιτεκτονική FTTH.

Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε την δομή μιας αρχιτεκτονικής FTTB:



Σε αυτή την υλοποίηση έχουμε ένα ενιαίο δίκτυο οπτικής ίνας από το κέντρο μεταγωγής έως τον καταναμητή της πολυκατοικίας (Εικόνα 3.14). Ο καταναμητής αυτός αντικαθίσταται από ένα ONT (Εικόνα 3.15), το οποίο είναι υπεύθυνο για την μετατροπή του οπτικού σήματος σε ηλεκτρικό. Στο τελικό χρήστη, το σήμα φτάνει είτε μέσω εσωτερικής καλωδίωσης της πολυκατοικίας (Ethernet συνήθως), είτε μέσω Wi-Fi adaptor.



Εικόνα 3.14 – Καταναμητής πολυκατοικίας



Εικόνα 3.15 – ONT εξωτερικού χώρου σε FTTB υποδομή

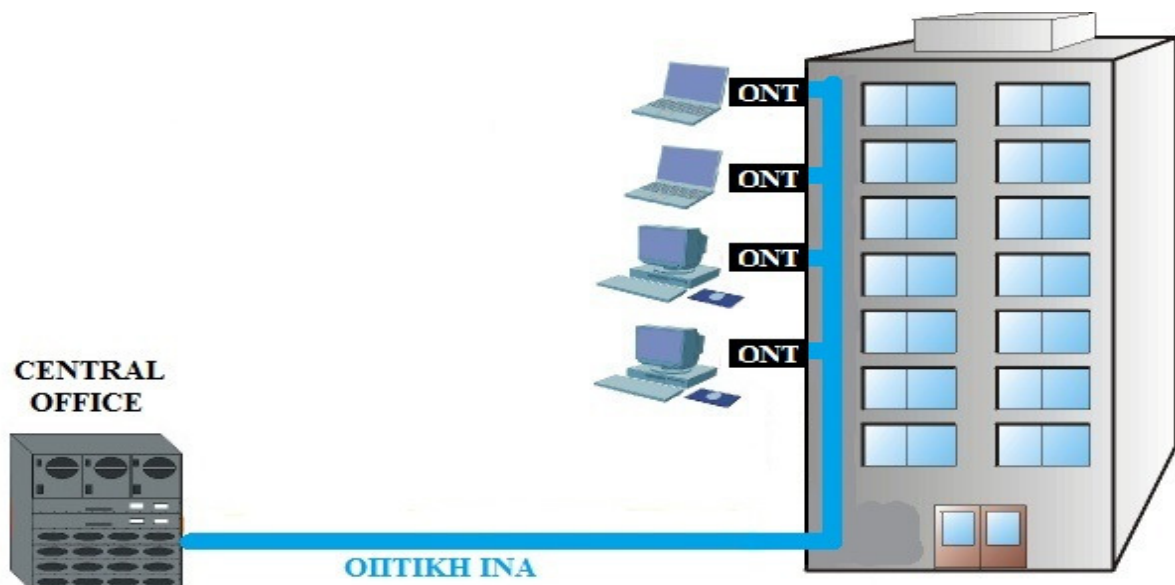
Fiber To The Home (FTTH)

Σύμφωνα με τον ορισμό του FTTH council, ως Fiber to the Home ορίζεται η τηλεπικοινωνιακή αρχιτεκτονική σύμφωνα με την οποία μία επικοινωνιακή οδός εκτείνεται με χρήση αποκλειστικά οπτικού μέσου από το κέντρο μεταγωγής ενός δικτυακού παρόχου έως το χώρο διαμονής ή εργασίας κάθε χρήστη. Η οπτική ίνα τερματίζεται εντός του καθατού χώρου διαμονής ή εργασίας του καθενός από τους παραπάνω χρήστες. Το FTTH, λόγω του ότι χρησιμοποιεί 100% οπτική ίνα, μπορεί να πετύχει πάρα πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων.

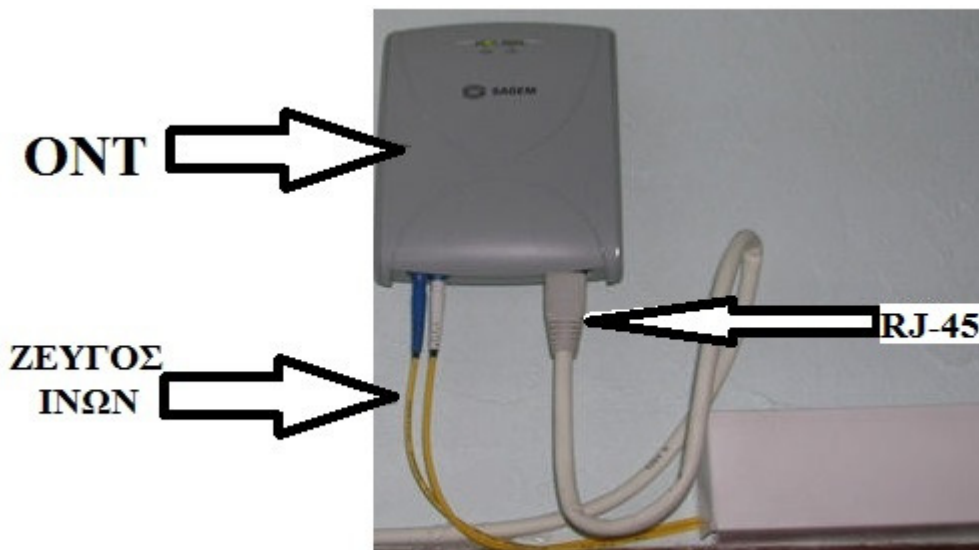
Μερικά από τα πλεονεκτήματα της FTTH αρχιτεκτονικής είναι:

- το μεγάλο εύρος ζώνης που διαθέτει, το οποίο ξεπερνά τα 10 THz
- Μηδενικές παρεμβολές από γειτονικές πηγές
- Ελάχιστες απώλειες κατά την μετάδοση
- Μεγάλη ασφάλεια σήματος

Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε την δομή μιας αρχιτεκτονικής FTTH:



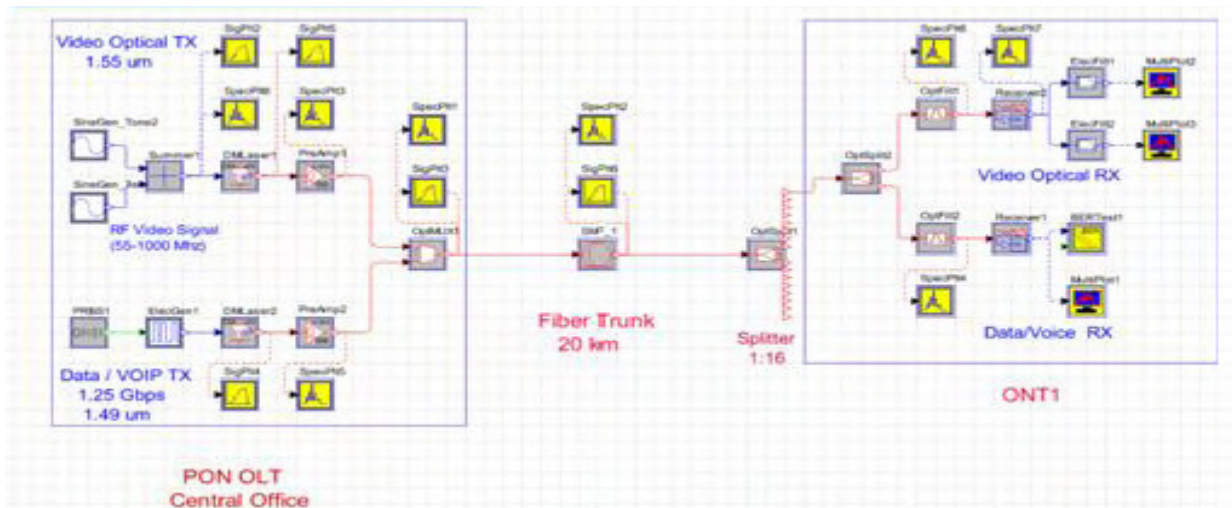
Σε αυτή τη περίπτωση το δίκτυο, από το OLT στο κέντρο μεταγωγής έως και τον τελικό χρήστη, αποτελείται εξολοκλήρου από οπτική ίνα. Όπως βλέπουμε, σε κάθε συνδρομητή αντιστοιχεί ένα ONT υπεύθυνο να παρέχει triple play υπηρεσίες (VoIP , data , video). Το κάθε ONT στο συγκεκριμένο σχήμα βρίσκεται εντός της οικίας του χρήστη και οι μόνες συνδέσεις που έχει είναι για δυο καλώδια οπτικών ινών (downstream / upstream) και μια υποδοχή για RJ-45 (καλώδιο Ethernet). Στην Εικόνα 3.16 βλέπουμε ένα Sagem ONT εσωτερικού χώρου.



Εικόνα 3.16 – ONT εσωτερικού χώρου σε FTTH

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

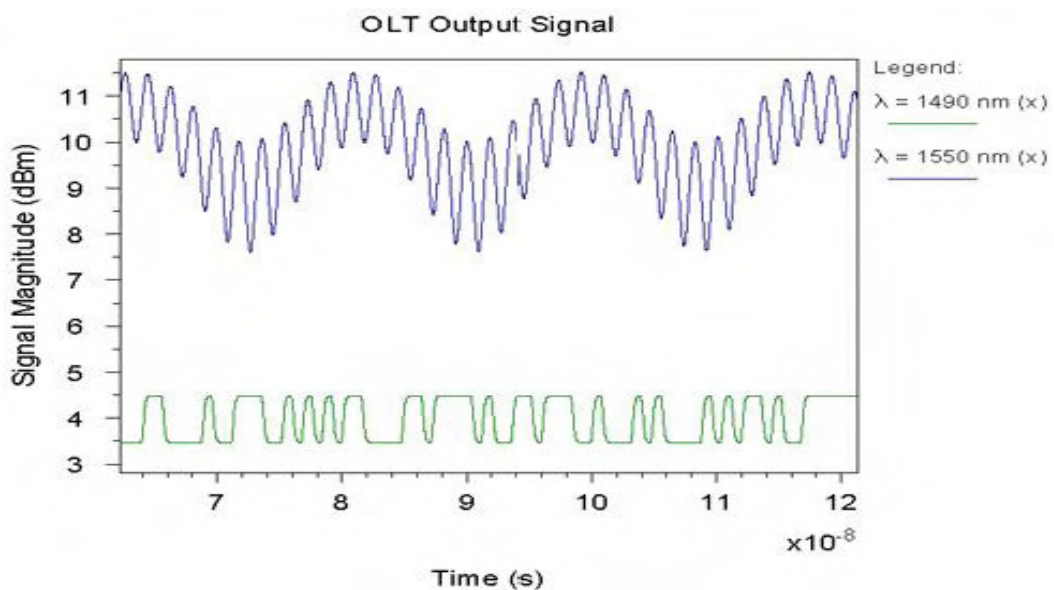
Στο παρακάτω παράδειγμα σε OptSim, βλέπουμε μια υλοποίηση FTTH πάνω σε αρχιτεκτονική GEPON (Gigabit Ethernet PON). Από το Central Office θέλουμε να μεταδώσουμε τηλεπικοινωνιακή κίνηση triple play στον τελικό χρήστη. Από την μεριά του παρόχου στο OLT έχουμε έναν video transmitter και έναν data / VoIP transmitter, που λειτουργούν σε διαφορετικά παράθυρα εκπομπής. Η απόσταση παρόχου – χρήστη είναι 20km. Από την μεριά του χρήστη έχουμε το ONT που περιέχει έναν video receiver και έναν data / VoIP receiver αντίστοιχα. Η υλοποίηση φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Συγκεντρώνοντας τις παραμέτρους έχουμε τα εξής:

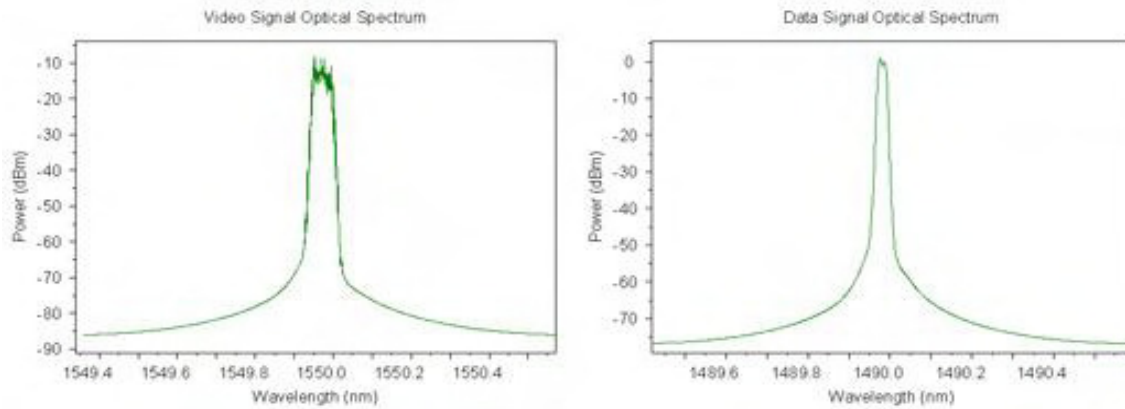
- Ρυθμός αποστολής δεδομένων - 1.25Gbps
- 20km οπτικής ίνας
- Video Tx 1550nm
- Data / VoIP Tx 1490nm

Παίρνοντας τις μετρήσεις από την έξοδο του OLT βλέπουμε τις κυματομορφές των 2 σημάτων που αποστέλλουμε. Στο Διάγραμμα 3.1 παρατηρούμε ότι το video signal κυμαίνεται στα 11.2dBm, ενώ το data signal στα 3.8dBm.



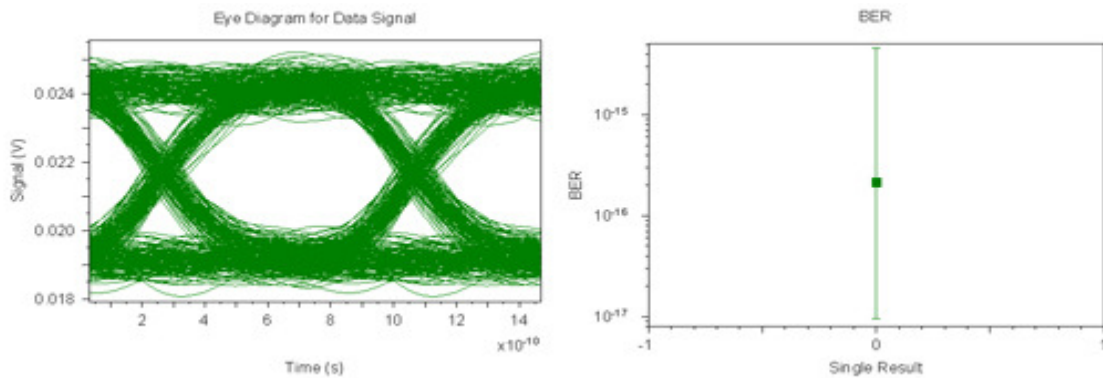
Διάγραμμα 3.1 – OLT Output Signal

Στο επόμενο διάγραμμα μπορούμε να παρατηρήσουμε τα παράθυρα εκπομπής στο χρωματικό φάσμα των δυο σημάτων.



Διάγραμμα 3.2 – Παράθυρα εκπομπής video και data σημάτων αντίστοιχα

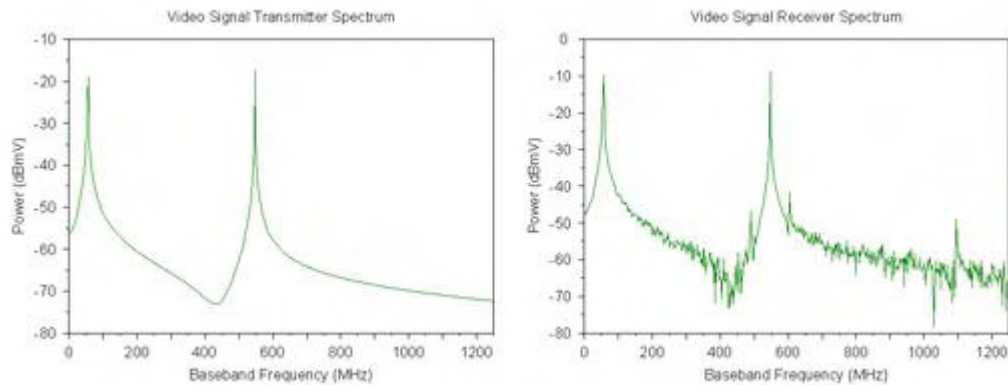
Από την μεριά του ONT, αφού τελειώσει η προσομοίωση, μπορούμε να πάρουμε μετρήσεις από τους δυο receivers για να εξετάσουμε τα διαφορετικά σήματα ξεχωριστά. Όσον αφορά το data signal έχουμε το διάγραμμα ματιού και το αντίστοιχο BER του.



Διάγραμμα 3.3 – Eye Diagram / BER

Παρατηρούμε, ότι στο διάγραμμα ματιού έχουμε ένα πεντακάθαρο «μάτι» χωρίς φανερά σημάδια αλλοίωσης του σήματος όσον αφορά τη διασπορά του παλμού. Επίσης, το BER (Bit Error Rate) κινείται και αυτό σε πολύ καλά επίπεδα.

Τέλος, στο Διάγραμμα 3.4, μπορούμε να συγκρίνουμε το video signal που έλαβε το ONT σε σχέση με αυτό που έστειλε το OLT.



Διάγραμμα 3.4 – Σύγκριση video signal μεταξύ transmitter – receiver

Παρατηρούμε ότι το σήμα παρουσιάζει μια μικρή εξασθένιση της τάξεως των 7dBmV, το οποίο ήταν αναμενόμενο λόγω της απόστασης του Central Office από τον χρήστη.

3.3 ΕΠΟΠΤΕΙΑ ΟΠΤΙΚΟΥ ΔΙΚΤΥΟΥ

Σε αυτό το υποκεφάλαιο θα ασχοληθούμε με την εποπτεία ενός εγκατεστημένου οπτικού δικτύου και θα αναλύσουμε τον εξοπλισμό που χρησιμοποιούμε για να εντοπίσουμε τυχόν σφάλματα στο δίκτυο αυτό. Ο έλεγχος σε ένα οπτικό δίκτυο γίνεται με τη βοήθεια μιας συσκευής OTDR. Ο έλεγχος με OTDR πρέπει να γίνεται υπό προϋποθέσεις καθώς ενώ από τη μια μπορεί να δώσει χρήσιμα στοιχεία (π.χ. όταν υπάρχει σε κάποιο σημείο της ζεύξης κάποια σημαντική απώλεια και θέλουμε να εντοπίσουμε το σημείο αυτό), σε μερικές περιπτώσεις (π.χ. σε μικρά LAN) δίνει αναξιόπιστες μετρήσεις. Για να γίνουν κατανοητά τα παραπάνω πρέπει να κάνουμε μια σύντομη περιγραφή του τρόπου λειτουργίας του.

Το **OTDR** (Optical Time Domain Reflectometer) είναι μια οπτικοηλεκτρονική συσκευή η οποία εκπέμπει φωτεινούς παλμούς μικρής διάρκειας μέσα στην ίνα (από 1nsec ως και 100μsec περίπου). Οι παλμοί αυτοί ανακλώνται από τις ασυνέχειες που υπάρχουν στην ίνα (splices, connectors, τραυματισμοί κλπ.) και επιστρέφουν στη συσκευή μετά από κάποιο μικρό χρονικό διάστημα. Αυτό το χρονικό διάστημα φυσικά εξαρτάται από τη θέση του σημείου όπου έγινε η ανάκλαση του παλμού. Το OTDR αναλύει το χρόνο άφιξης αλλά και

την ισχύ των ανακλώμενων παλμών και υπολογίζει τις θέσεις και το μέγεθος των απωλειών στην ίνα.

Για την ακρίβεια όταν εκπέμπεται ένας παλμός από το OTDR και διαδίδεται στην ίνα η ισχύς του μειώνεται. Κυρίως λόγω της σκέδασης ένα μέρος της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας επιστρέφει προς τα πίσω (οπισθοσκέδαση – backscattering) και ανιχνεύεται από τη συσκευή μαζί βέβαια με την ακτινοβολία που προέρχεται από πιθανές ανακλάσεις του παλμού σε ασυνέχειες όπως αναφέρθηκε πιο πάνω. Καθώς ο παλμός ταξιδεύει κατά μήκος της ίνας και η ισχύς του μειώνεται, μειώνεται ανάλογα και το ποσό της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας. Μπορούμε να φανταστούμε τον παλμό του OTDR σαν μια πηγή φωτός που απομακρύνεται από τον ανιχνευτή (OTDR) οπότε το φως του φαίνεται όλο και πιο αχνό. Όσο μικρότερη η οπισθοσκεδαζόμενη ακτινοβολία που ανιχνεύεται τόσο μικρότερη η ένταση του παλμού, άρα μεγαλύτερες οι απώλειες που έχει υποστεί.

Όργανα μέτρησης και OTDR

Το OTDR είναι ένα όργανο που χρησιμοποιείται ευρέως για τον έλεγχο της ποιότητας εγκατεστημένων ή προς εγκατάσταση καλωδίων και τον ευρύτερο χαρακτηρισμό τους όσον αφορά τις απώλειες που εμφανίζουν κατά το μήκος τους. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμο στην διαδικασία εύρεσης σημείων που προκαλούν τη διακοπή μίας ζεύξης ή την υπερβολική υποβάθμισή της από πλευράς ισχύος. Ένα τυπικό OTDR απεικονίζεται στην παρακάτω εικόνα.



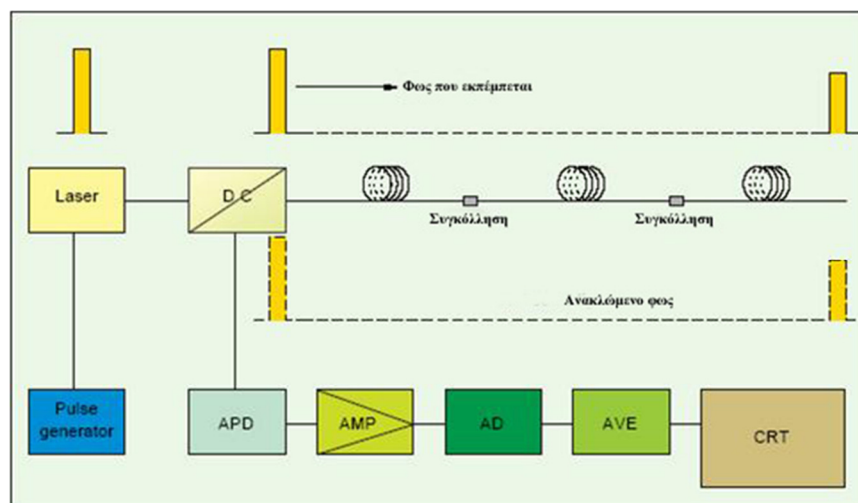
Εικόνα 3.19 – Συσκευή ODTR

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

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

Αρχή λειτουργίας του OTDR

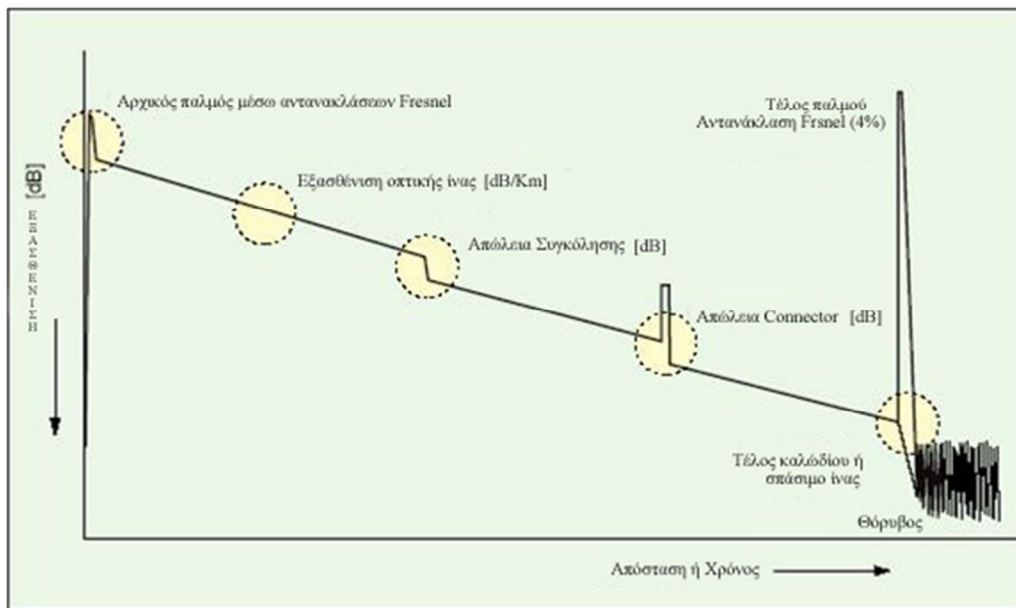
Το OTDR λειτουργεί με βάση τη διάδοση φωτός σε οπτική ίνα κατά τη διάρκεια ενός συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος. Μία γεννήτρια σχετικά στενών ηλεκτρικών παλμών (π.χ. από 0.01μs έως 0.10μs) παράγει τους παλμούς αυτούς ανά συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα. Οι παλμοί αυτοί οδηγούνται σε μία πηγή Laser, η οποία παράγει μία διαμορφωμένη δέσμη φωτός που στέλνεται μέσω ενός κατευθυντικού συζεύκτη στην οπτική ίνα. Λόγω των εγγενών ανωμαλιών που χαρακτηρίζουν την οπτική ίνα αλλά και λόγω ασυνεχειών (συνδετήρες, συγκολλήσεις, τέλος μίας ζεύξης) κατά τη διάδοση συγκεκριμένη ποσότητα φωτός θα επιστρέψει στο όργανο μέσω σκέδασης Rayleigh ή ανακλάσεων. Η επιστρεφόμενη δέσμη θα ανιχνευθεί από μία φωτοδίοδο χιονοστιβάδας (Avalanche Photodiode - APD) και το ηλεκτρικό σήμα που θα παραχθεί από αυτή ενισχύεται και γίνεται αντικείμενο επεξεργασίας από εσωτερικό ενός μικροϋπολογιστή.



Εικόνα 3.20 – Δομή λειτουργίας ODTR

Η διαδικασία επαναλαμβάνεται πολλές φορές και έτσι τα αποτελέσματα που προβάλλονται στην οθόνη του οργάνου προκύπτουν από στατιστική επεξεργασία. Η ισχύς του σήματος απεικονίζεται στον κάθετο άξονα του οργάνου και η απόσταση, που έχει υπολογισθεί από το χρόνο διάδοσης στον οριζόντιο.

Το σύστημα συντεταγμένων απεικονίζεται μαζί με άλλα χρήσιμα στοιχεία στην οθόνη του οργάνου. Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται ένα πρότυπο της μέτρησης του OTDR.



Εικόνα 3.21 – Παράδειγμα μέτρησης ODTR

Μέτρηση απόστασης ίνας

Με τη χρήση ενός OTDR είναι δυνατό να προσδιοριστεί το μήκος μίας οπτικής ζεύξης με ιδιαίτερα υψηλή ακρίβεια. Η μέτρηση αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική επίσης για να προσδιορισθεί σημείο διακοπής μίας ζεύξης, ή εισαγωγής υψηλής εξασθένησης. Η μέτρηση επιτυγχάνεται μέσω της παρακάτω σχέσης:

$$L = \frac{c * t}{2} = \frac{c_0}{2 * n_c} * t$$

όπου c η ταχύτητα διάδοσης του φωτός στην οπτική ίνα, t ο χρόνος που απαιτείται να διαδοθεί και να ανακλαστεί το φως πίσω στο όργανο, L το μήκος της οπτικής ίνας, c_0 η ταχύτητα του φωτός στο κενό και n_c ο δείκτης διάθλασης του πυρήνα της οπτικής ίνας .

Στην ουσία το όργανο μετράει το χρόνο διάδοσης και επιστροφής της φωτεινής δέσμης και έχοντας μία τιμή του δείκτη διάθλασης n_c υπολογίζει το μήκος με βάση τη παραπάνω σχέση. Είναι λοιπόν προφανές ότι η σωστή επιλογή δείκτη διάθλασης παίζει πολύ σημαντικό ρόλο στην ακρίβεια της μέτρησης.

Απώλεια οπτικής ισχύος - Εξασθένηση

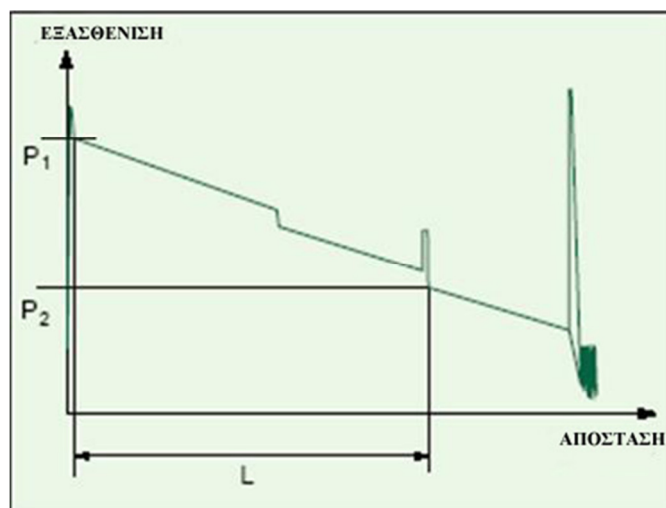
Η απώλεια οπτικής ισχύος σε ένα διάστημα μπορεί να υπολογιστεί αφαιρώντας τα επίπεδα ισχύος των δύο σημείων που ορίζουν το διάστημα με βάση την απλή σχέση:

$$A(dB) = P_1 - P_2$$

Η εξασθένηση αντίστοιχα υπολογίζεται διαιρώντας με το αντίστοιχο διάστημα:

$$a\left(\frac{dB}{km}\right) = \frac{P_1 - P_2}{L}$$

Όπως φαίνεται στο παρακάτω αλλά και στα προηγούμενα σχήματα, στην οθόνη του OTDR φαίνεται πώς εξασθενεί η ισχύς σε ένα τμήμα οπτικής ζεύξης. Αν η ζεύξη περιέχει συγκολλήσεις ή συνδέσεις, αυτές θα εμφανιστούν σαν «σκαλοπάτια» στην καμπύλη, όπως και στο σχήμα. Η απώλεια της συγκόλλησης ή της σύνδεσης μπορεί να προσδιοριστεί μετρώντας την υποβάθμιση της ισχύος στα δύο σημεία του «σκαλοπατιού».



Εικόνα 3.21 – Απώλειες λόγω συγκόλλησης / σύνδεσης

Ρύθμιση ενός OTDR

Οι σωστές ρυθμίσεις ενός OTDR παίζουν σημαντικό ρόλο στην εξαγωγή αξιόπιστων μετρήσεων. Χαρακτηριστικά κρίσιμης σημασίας είναι τα παρακάτω:

1. Νεκρή Ζώνη

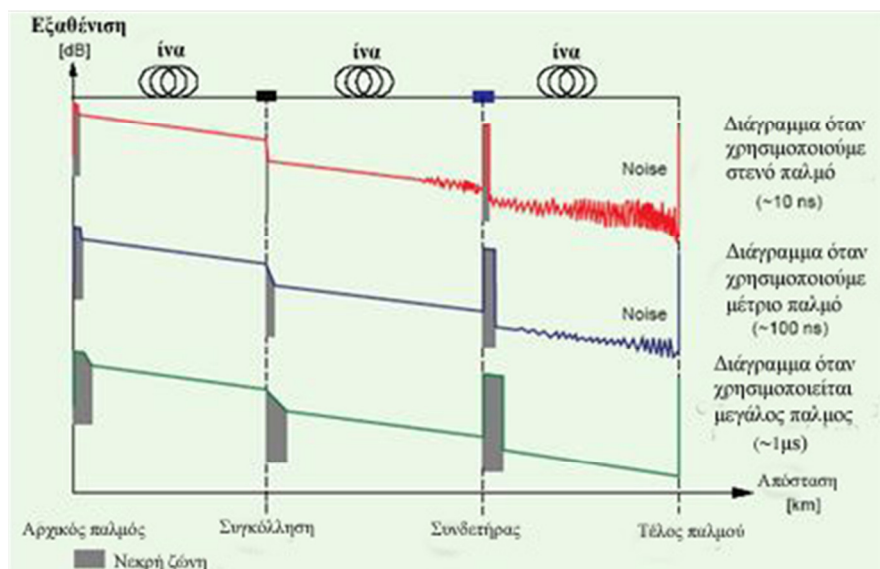
Κάθε συγκόλληση ή συνδετήρας προκαλούν μία παρενόχληση στο διαδιδόμενο και ανακλώμενο οπτικό σήμα. Αυτού του είδους η επίδραση επιβάλλει μία ζώνη συγκεκριμένου μήκους μετά την ένωση για την οποία δεν είναι δυνατό να μελετήσουμε το οτιδήποτε. Για παράδειγμα η συγκόλληση που βρίσκεται στο εσωτερικό ενός κατανεμητή (Optical Distribution Frame) δεν είναι δυνατό να ανιχνευθεί από ένα OTDR, αφού πριν από αυτή υπάρχει ο συνδετήρας που ενώνει την οπτική ίνα με τον κατανεμητή. Σε αυτή τη περίπτωση αν η συγκόλληση δεν είχε γίνει σωστά θα βλέπαμε στο διάγραμμα του OTDR ότι η εξασθένιση είναι μεγαλύτερη από τη προβλεπόμενη τιμή που αναμένεται. Θα πρέπει τότε πρώτα να ελέγξουμε το συνδετήρα αν είναι καθαρισμένος και μετά αν η μέτρηση μας εμφανίζει τις ίδιες τιμές, θα πρέπει να ξαναγίνει η συγκόλληση. Επίσης για μία οπτική ίνα που έχει συγκολληθεί δύο φορές σε απόσταση μερικών μέτρων (έως 3m) δεν είναι δυνατή η διάκριση των δύο συγκολλήσεων από το όργανο. Αντί αυτών θα φανεί μία συγκόλληση της οποίας οι συνολικές απώλειες είναι το άθροισμα των επιμέρους απωλειών. Πρέπει να τονίσουμε όμως ότι στην πράξη ποτέ δεν θα κάναμε δύο συγκολλήσεις σε απόσταση έως 3m διότι δεν είναι αποδεκτό κάτι τέτοιο από οποιαδήποτε εταιρεία που κάνει συγκολλήσεις. Αντί για δύο συγκολλήσεις θα αποκόπταμε το ελαττωματικό σημείο της οπτικής ίνας και θα κάναμε μία συγκόλληση.

2. Εύρος παλμών

Η «νεκρή ζώνη» μπορεί να περιοριστεί σε μέγεθος αν οι παλμοί που εκπέμπονται από το OTDR είναι όσο το δυνατό στενότερου εύρους. Δυστυχώς μία τέτοια ρύθμιση αποφέρει μειονεκτήματα, μιας και οι στενοί παλμοί δεν είναι δυνατό να διαδίδονται για μεγάλες αποστάσεις. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ένας στενός παλμός, λόγω των απωλειών και των εξασθενίσεων που συμβαίνουν κατά τη μετάδοση στην οπτική ίνα, αν χρησιμοποιηθεί σε μεγάλες αποστάσεις θα “χαθεί” μετά από συγκεκριμένο χρονικό διάστημα και το OTDR θα εμφανίζει ότι η σύνδεση “κόβεται” (σπάσιμο ή τέλος ίνας) και τα αποτελέσματα θα είναι ανακριβή για το δίκτυο που ελέγχουμε. Σ’ αυτή την περίπτωση λοιπόν περιορίζεται η ικανότητα του οργάνου για τον καθορισμό χαρακτηριστικών στις μεγάλες αποστάσεις.

Συμπερασματικά, οι μεγάλοι εύρους παλμοί είναι κατάλληλοι για το χαρακτηρισμό μίας οπτικής ζεύξης μεγάλης σχετικά απόστασης, με τίμημα την μεγέθυνση της νεκρής ζώνης. Για παράδειγμα αν θέλουμε να μετρήσουμε δίκτυο 2 έως 4 χιλιόμετρα θα χρησιμοποιούσαμε παλμό των 100ns. Για μεγαλύτερη απόσταση όπως 40 χιλιόμετρα θα χρησιμοποιούνταν παλμός 1μs. Αντίθετα οι στενοί παλμοί αυξάνουν τη διακριτική ικανότητα του οργάνου, μειώνοντας το μήκος της νεκρής ζώνης, αλλά ταυτόχρονα λόγω της ευαισθησίας τους, μειώνουν την απόκριση του οργάνου στις μεγάλες αποστάσεις και αποφεύγονται να χρησιμοποιούνται διότι όταν κάνουμε μετρήσεις με OTDR μας ενδιαφέρει, οι συνολικές απώλειες του δικτύου που κάνουμε μετρήσεις, να τηρούν τα όρια με βάση τις προδιαγραφές που έχει δώσει ο κατασκευαστής.

Συνήθως η σωστή ρύθμιση επιτυγχάνεται από την αυτόματη λειτουργία που διαθέτουν σαν επιλογή σχεδόν όλα τα εμπορικά διαθέσιμα όργανα. Η αυτόματη λειτουργία επιλέγει το σωστό εύρος παλμών με κριτήριο την όσο το δυνατόν καλύτερη απόδοσή του για τον ικανοποιητικό καθορισμό όλων των χαρακτηριστικών της ζεύξης.



Εικόνα 3.23 – Διαφορετικού τύπου παλμοί σε ένα OTDR

3. Δυναμική περιοχή

Η δυναμική περιοχή του OTDR καθορίζεται από το πόσο ισχυρή είναι η οπτική πηγή του οργάνου και ταυτόχρονα από το πόσο ευαίσθητη είναι η φωτοδίοδος χιονοστιβάδας

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

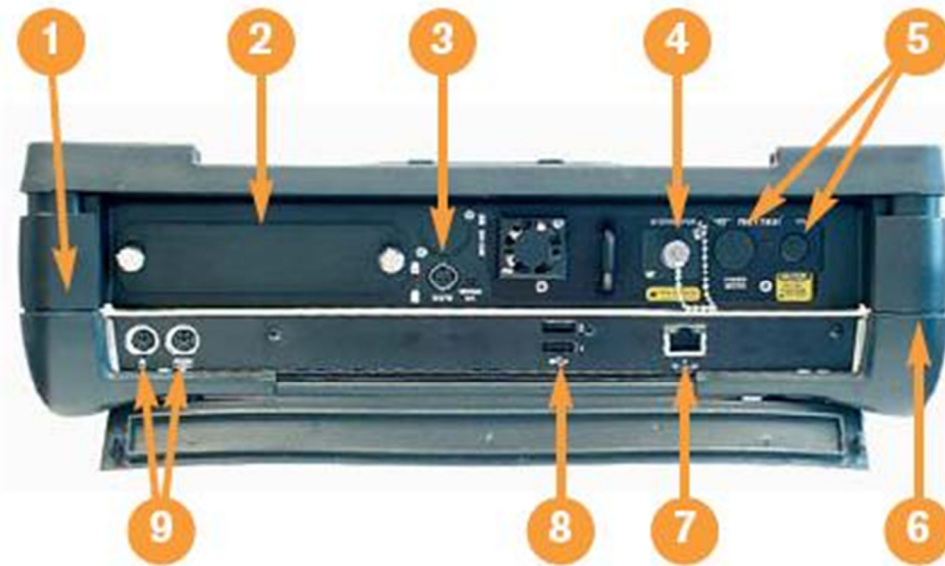
Συμβουλές για την αποδοτική χρήση ενός OTDR

1. Η σμίκρυνση της «νεκρής ζώνης» επιτυγχάνεται με τη χρήση στενών παλμών
2. Η ελαχιστοποίηση του θορύβου στη μέτρηση επιτυγχάνεται με ευρύτερους παλμούς.
3. Πιο ευκρινή διαγράμματα επιφέρει η χρήση της επιλογής στατιστική επεξεργασίας (averaging)
4. Για απόλυτο χαρακτηρισμό μίας ζεύξης, μπορεί να πραγματοποιηθεί μέτρηση σε στάδια ανάλογα με το τι επιθυμούμε να ανιχνεύσουμε. Π.χ. αν μας ενδιαφέρει ο ακριβής χαρακτηρισμός του πρώτου άκρου της, χρησιμοποιούμε στενούς παλμούς για την όσο το δυνατό εξάλειψη των «νεκρών ζωνών». Σε δεύτερη προσέγγιση για το χαρακτηρισμό του μήκους της χρησιμοποιούμε ευρείς παλμούς, ανθεκτικούς στις απώλειες. Έτσι η πραγματοποίηση της μέτρησης σε περισσότερα από ένα στάδια, συμβάλλει στον ακριβή καθορισμό των ιδιοτήτων της ζεύξης σε όλο το μήκος της.

Το μοντέλο CMA5000

Το CMA5000 είναι μία ισχυρή συσκευή βασισμένη στο λειτουργικό σύστημα των Windows XP, με οθόνη με υψηλής ανάλυσης χρωμάτων που είναι εύκολο να διαβαστεί και

σε εσωτερικούς χώρους και σε εξωτερικούς. Επίσης η οθόνη είναι αφής, έχει ειδικά interfaces για τον χρήστη και διάφορες οπτικές επιλογές για να καλύψουν ανάγκες ελέγχου είτε σε μονότροπες είτε σε πολύτροπες ίνες σε αποστάσεις που ξεκινούν από 10 μέτρα και φτάνουν τα 250 χιλιόμετρα. Περιλαμβάνει επιπλέον χαρακτηριστικά όπως USB θύρες, interface 10/100 Ethernet και αφιερωμένοι μέθοδοι ελέγχου για μεγαλύτερη ευκολία στη χρήση και ευελιξία.



Εικόνα 3.24 – CMA5000 Model

1. Μηχανισμός CD-R/W ή εσωτερική δισκέτα
2. Μπαταρία λιθίου
3. Φορτιστής/Adapter Εναλλασσόμενου ρεύματος με ένδειξη σε τι επίπεδο βρίσκεται η φόρτιση
4. Σύνδεσμος γενικής χρήσεως ο οποίος δέχεται όλων των ειδών adapters.
5. Επιλογές για το συνολικό έλεγχο απωλειών για ολοκληρωμένο έλεγχο(all-in-one)
6. 20 GB σκληρός δίσκος
7. Θύρα Ethernet 10(Ethernet)/100(fast Ethernet) για σύνδεση δικτύου.
8. Θύρα USB

9. Θύρες PS/2 για να συνδέσουμε εξωτερικό πληκτρολόγιο και ποντίκι.

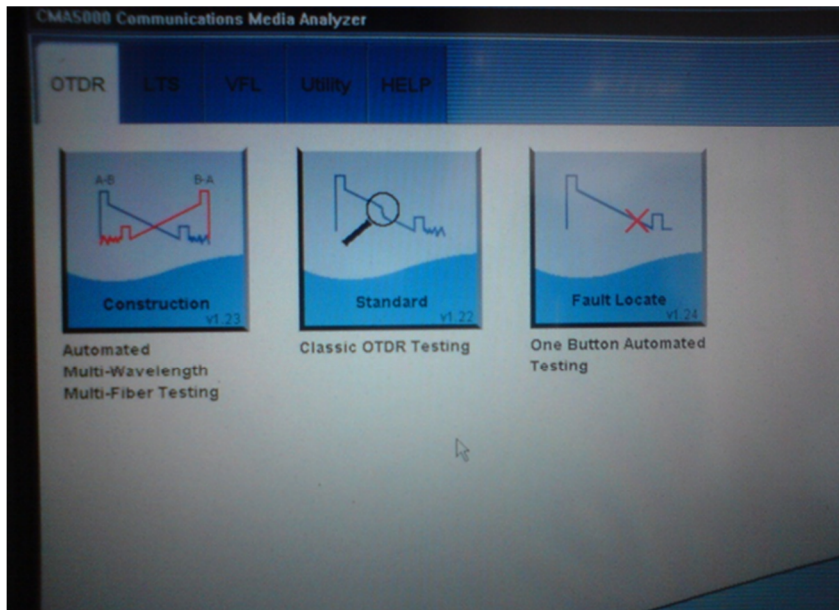
Οδηγός εγκατάστασης ίνας και χρήση OTDR

Μέσω του συγκεκριμένου λογισμικού εξοικονομούμε χρόνο που θα χρειαζόταν για επαναλαμβανόμενες διεργασίες όσον αφορά την επιλογή παραμέτρων, ανάλυση και αποθήκευση αρχείου. Ένας “οδηγός εγκατάστασης” καθοδηγεί τον χρήστη μέσω μερικών γρήγορων βημάτων, μετά διαχειρίζεται ολόκληρη τη λειτουργία του ελέγχου, δίνοντας ακόμα και οδηγίες για το ποια ίνα θα συνδέσει. Έτσι ο χρήστης συγκεντρώνεται στον έλεγχο και όχι στο να βρει ποιο πλήκτρο θα χρησιμοποιήσει, μειώνοντας τη πιθανότητα ο χρήστης να κάνει λάθη στην ονομασία αρχείου και στην ιχνηλάτηση δεδομένου ότι στην κατασκευή OTDR γίνεται αυτόματα. Έτσι αυτοματοποιούνται κάποιες διεργασίες και απλοποιεί τον έλεγχο σε περίπτωση που έχουμε μεγάλο αριθμό ιών. Έχοντας ανοικτό το OTDR θα εμφανιστεί το μενού της Εικόνας 3.25.



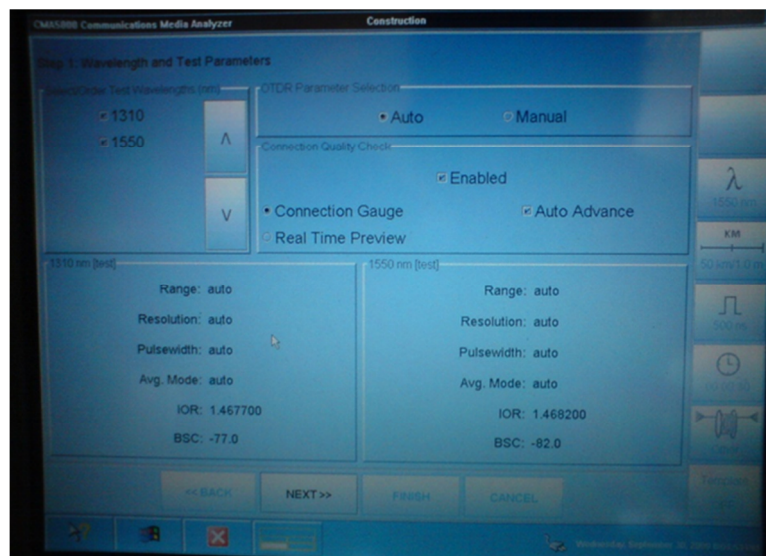
Εικόνα 3.25 – Αρχικό μενού σε ένα ODTR

Το αριστερό IDLE είναι το module και αφορά τις μονότροπες ίνες και μήκος κύματος 1330 και 1550 μέτρα. Το δεξί IDLE είναι το module που αφορά τις πολύτροπες ίνες και μήκος κύματος 800 και 1550 μέτρα. Πιέζουμε στην οθόνη αφής ένα από τα δύο IDLE και θα εμφανιστεί το παρακάτω μενού.

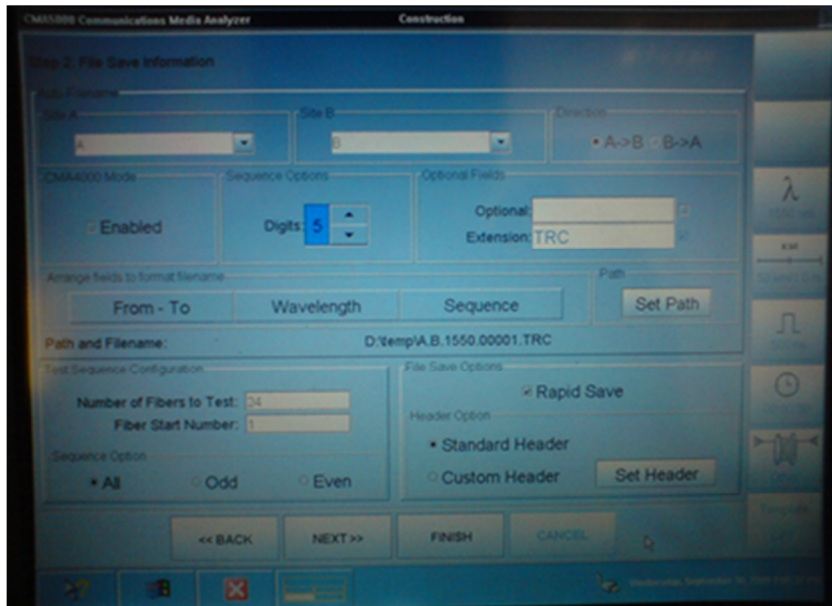


Εικόνα 3.26 – Μενού επιλογής λειτουργιών

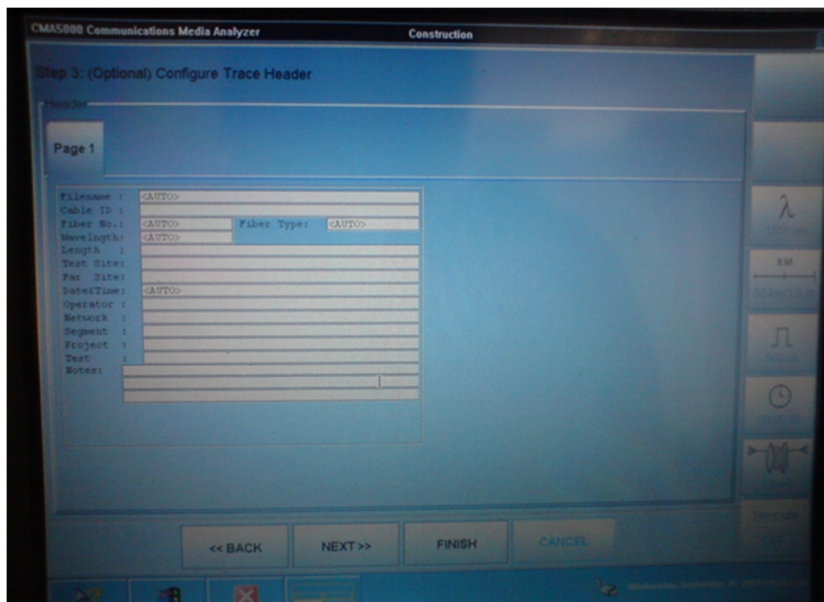
Επιλέγουμε αριστερά το Construction (Κατασκευή OTDR) πιέζοντας την οθόνη αφής. Μόλις το επιλέξουμε ακολουθούν 4 βήματα όπου ρυθμίζουμε κάποιες παραμέτρους πριν ξεκινήσει ο έλεγχος OTDR. Τα 4 αυτά βήματα φαίνονται στις παρακάτω εικόνες.



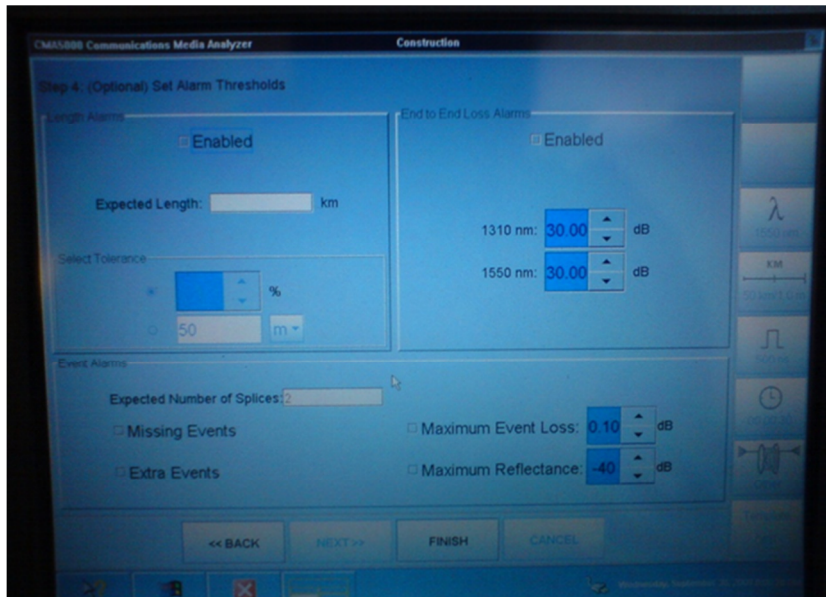
Βήμα 4 – Επιλογή μήκους κύματος



Βήμα 5 – Επιλογές αποθήκευσης αρχείου

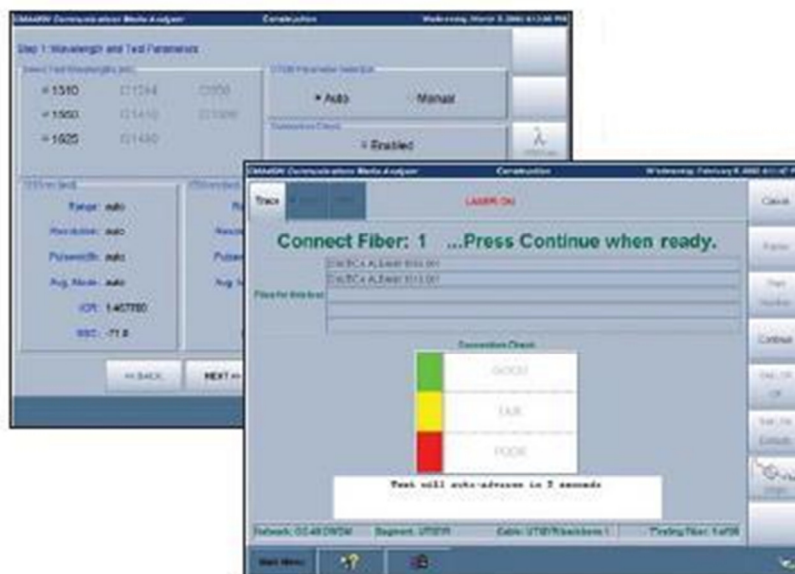


Βήμα 6 – Προαιρετική επιλογή Trace Header



Βήμα 7 – Παράμετροι κατοφλίου

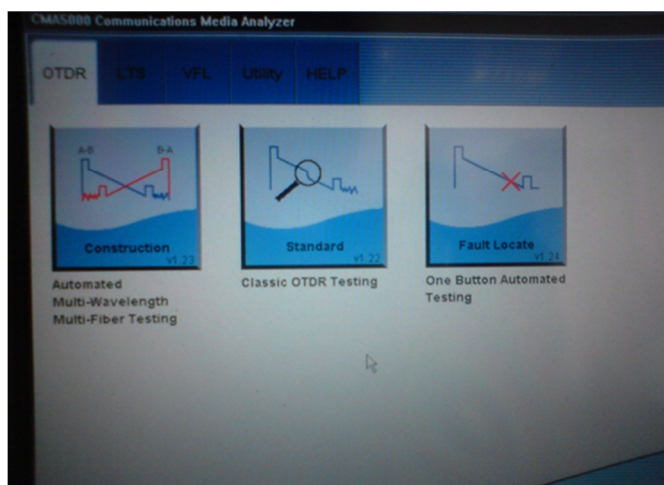
Μόλις γίνει η ρύθμιση των παραμέτρων στο επόμενο μενού εμφανίζεται αν η σύνδεση των συνδέσμων (connectors) έχει γίνει σωστά. Αν έχει γίνει σωστά μετά από λίγα δευτερόλεπτα ξεκινάει ο έλεγχος.



Εικόνα 3.26 – Έλεγχος συνδέσμων

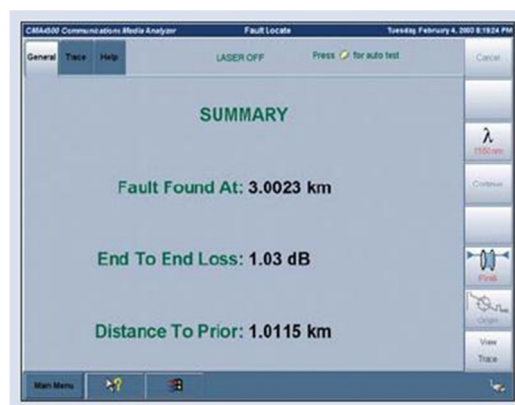
Οπτικός ανιχνευτής λάθους

Με τη μέθοδο αυτή επιτρέπεται στο χρήστη να εντοπίσει οπτικά αν υπάρχει κάποιο σπάσιμο ή απότομη καμπύλη της ίνας. Το μόνο που χρειάζεται είναι να συνδεθεί η ίνα που θέλουμε να ελέγξουμε με το μηχάνημα και μετά επιλέγουμε Fault Locate, ώστε η συσκευή μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα να μας παρέχει λεπτομέρειες της βλάβης, όπως σε ποιο χιλιόμετρο υπάρχει βλάβη και συνολικές απώλειες. Σε περίπτωση που δεν υπάρχει βλάβη μας εμφανίζει τις συνολικές απώλειες και το μέγεθος του δικτύου που μετράμε (σε km).



Εικόνα 3.27 – Ανιχνευτής λάθους (Fault Locate)

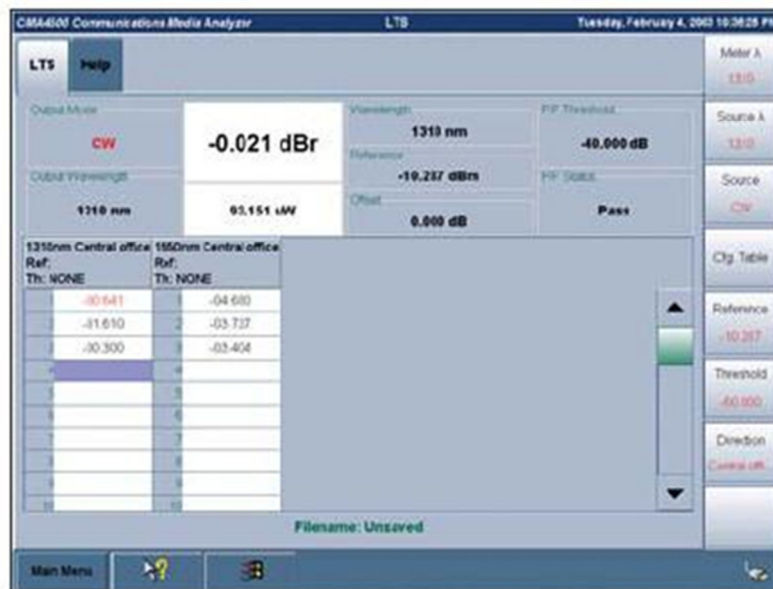
Έτσι μόλις επιλέξουμε module στο μενού που εμφανίζεται επιλέγουμε One Button Automated Testing. Αμέσως μετά ελέγχει αν συνδέθηκε σωστά οι σύνδεσμοι (connectors) και ξεκινάει ο έλεγχος.



Εικόνα 3.28 – Έλεγχος Ίνας

Συνολικός έλεγχος απωλειών (Loss Test Set)

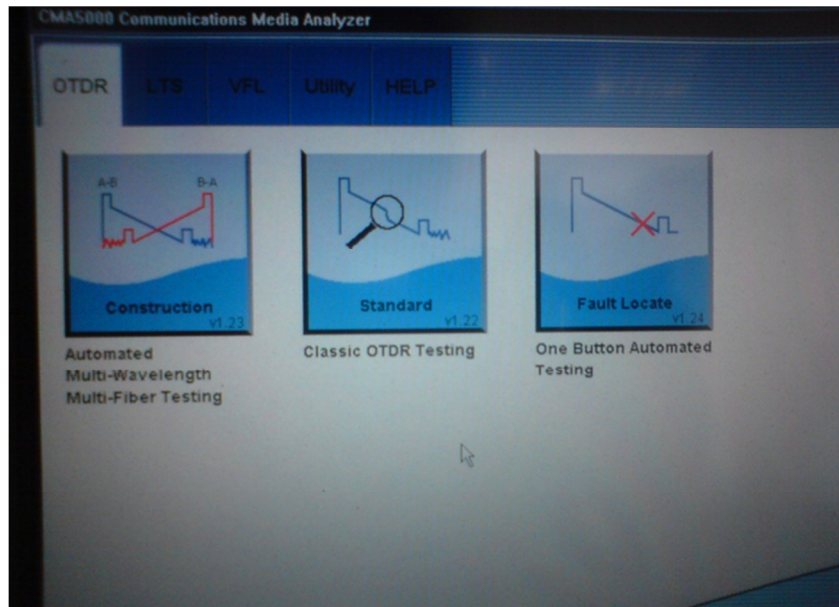
Στον συνολικό έλεγχο απωλειών προσφέρεται μια 'προαιρετική' πηγή φωτός και ένας μετρητής ισχύος για να έχουμε πιο ακριβείς μετρήσεις απωλειών λόγω ανοίγματος. Παρέχει ένα GUI που είναι εύκολο να χρησιμοποιηθεί, με χρήσιμα χαρακτηριστικά όπως ενδείξεις PASS/FAIL (επιτυχίας/αποτυχίας) που βασίζονται στις ρυθμίσεις του κατωφλίου που έχει ορίσει ο χρήστης και ένα πλήρως ρυθμιζόμενο πίνακα δεδομένων που υποστηρίζει πολλαπλά μήκη κύματος και αμφίδρομο averaging (τεχνική κατά την οποία, το ίδιο σήμα μεταδίδεται πολλές φορές και καταγράφεται η μέση τιμή του).



Εικόνα 3.29 – Συνολικός έλεγχος απωλειών

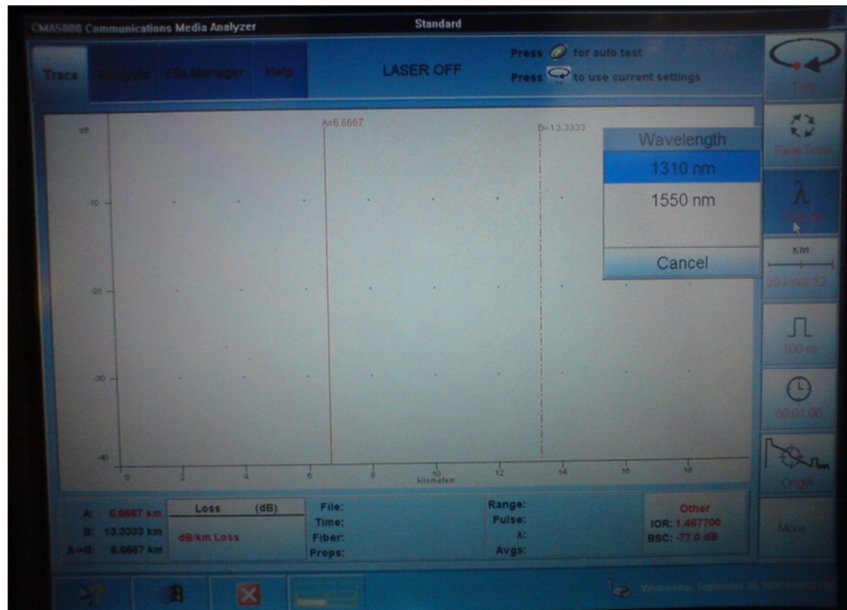
Standard OTDR

Επιλέγουμε το επιθυμητό module και μεταβαίνουμε στο παρακάτω μενού όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:

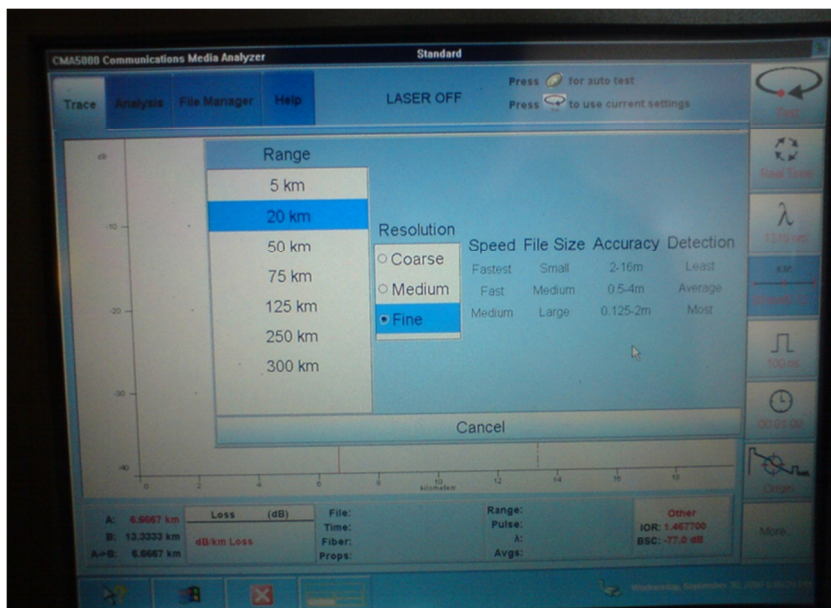


Εικόνα 3.30 – Επιλογή Classic ODTR Testing

Στο μενού που εμφανίζεται επιλέγουμε Classic OTDR Testing και πιέζουμε την οθόνη αφής. Μέσω του standard OTDR μπορούμε να κάνουμε, ανάλογα με τις ανάγκες, μερικές ή όλες τις ρυθμίσεις χειροκίνητα παρέχοντας τη δυνατότητα βελτιστοποίησης των παραμέτρων. Προϋποθέτει να υπάρχει εμπειρία από το χρήστη ώστε να μπορεί να έχει μεγαλύτερο έλεγχο στις λειτουργίες του OTDR. Έτσι κάποιες παράμετροι όπως μήκος κύματος, μέγεθος παλμού, εμβέλεια/ανάλυση και κατάσταση averaging μπορούν εύκολα να ρυθμιστούν μέσω της οθόνης αφής και το ειδικό interface με πλήκτρα του CMA5000. Επίσης η αποθήκευση δεδομένων μπορεί να ρυθμιστεί με μεγάλη ευκολία με τον σκληρό δίσκο 20GB που περιλαμβάνει χωρίς να υπάρχουν περιορισμοί στα ονόματα των αρχείων ή τη χωρητικότητα. Ακόμα ο χρήστης μπορεί να επιλέξει το format του αρχείου που επιθυμεί. Επιπλέον χαρακτηριστικά που παρέχονται όπως η ταυτόχρονη *επικάλυψη(overlay) 8 ιχνών (traces), 4 επιλογές εμφάνισης στην οθόνη και η δυνατότητα από το χρήστη να επιλέξει την κατάσταση απωλειών που χρειάζεται, διασφαλίζει στο χρήστη όλα τα εργαλεία που χρειάζεται για να ελέγξει ένα δίκτυο.

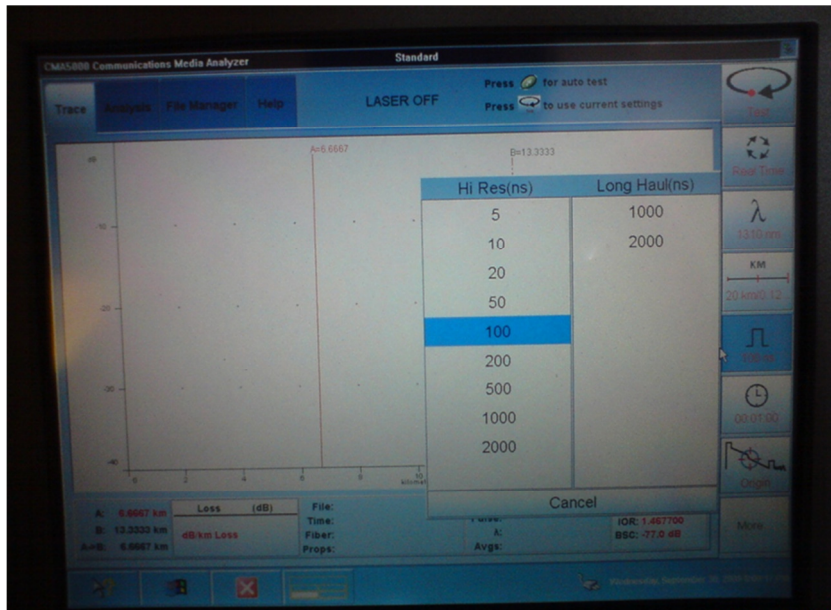


Εικόνα 3.31 – Επιλογή μήκους κύματος σε Classic ODTR Testing



Εικόνα 3.32 – Εμβέλεια μέτρησης ODTR

Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται το μενού επιλογής για την εμβέλεια που θα μετρήσει το OTDR.

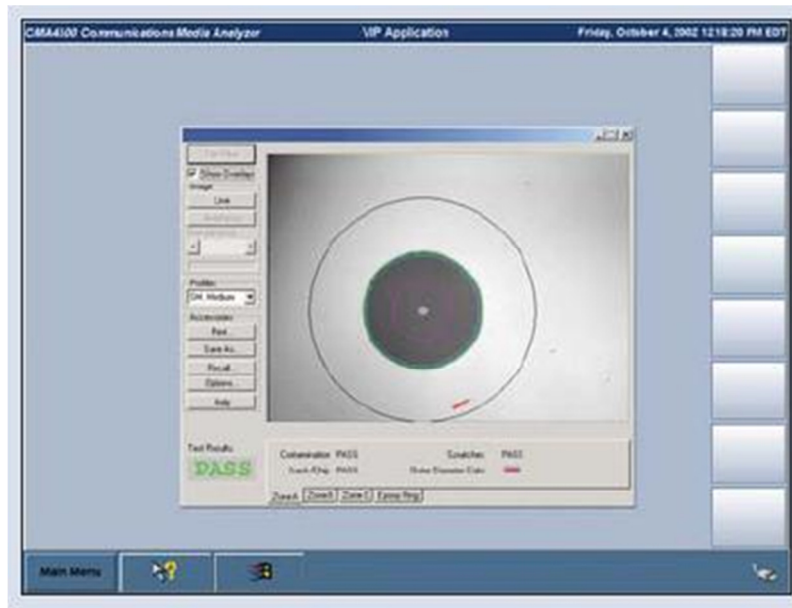


Εικόνα 3.33 – Εύρος παλμού για την μέτρηση

Στην παραπάνω εικόνα φαίνεται το μενού επιλογής για το παλμό που θα στέλνει το μηχάνημα.

Τηλεοπτικός καθετήρας επιθεώρησης connector

Έρευνες έδειξαν ότι το 75% της αποτυχίας για όλα τα οπτικά δίκτυα οφείλεται στο γεγονός της μη επαρκούς ποιότητας του συνδέσμου. Η εφαρμογή του τηλεοπτικού καθετήρα επιθεώρησης δίνουν τη δυνατότητα στο χειριστή να αναλύσει και να καταγράψει την κατάσταση του συνδέσμου με ασφάλεια και μεγάλη ευκολία. Ο τηλεοπτικός καθετήρας επιθεώρησης χρησιμοποιεί μία κάμερα 1/3" ίντσες για να μετατρέψει τις εικόνες του συνδέσμου σ' ένα ψηφιακό σήμα το οποίο εμφανίζεται μετά στην οθόνη. Τις εικόνες του συνδέσμου μπορούμε να τις δούμε ή να τις αποθηκεύσουμε σε ποικίλους τύπους γραφικών αρχείων για να τις ξαναδούμε αργότερα ή να καταγράψουμε την ποιότητα του συνδέσμου. Ο τηλεοπτικός καθετήρας επιθεώρησης connector έχει διάφορους adapters διαθέσιμους, ώστε να υπάρχει δυνατότητα να δούμε απευθείας το άκρο ενός καλωδίου patch καθώς και τα καλώδια που είναι ήδη συνδεδεμένα σ' ένα patch panel.

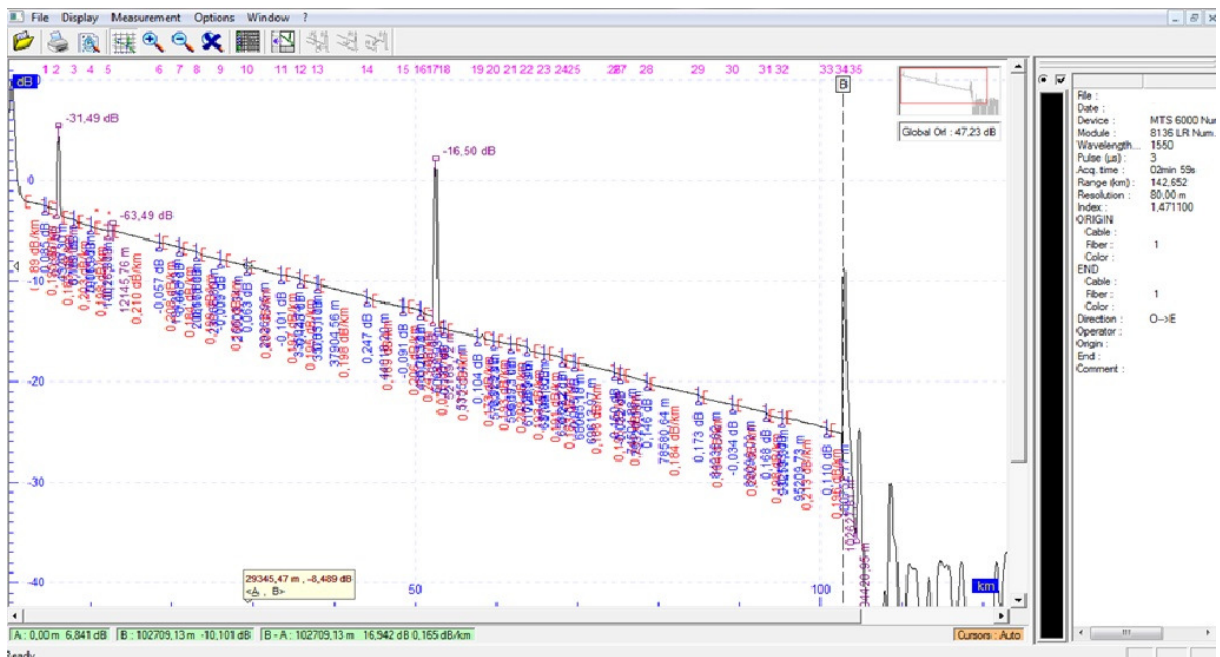


Εικόνα 3.34 – Τηλεοπτικός καθετήρας επιθεώρησης connector

3.4 ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΟΤDR

Χρησιμοποιώντας μια συσκευή OTDR πραγματοποιήθηκαν κάποιες μετρήσεις σε διάφορα οπτικά δίκτυα διαφορετικών αποστάσεων, από τις οποίες επιλέξαμε τέσσερις χαρακτηριστικές περιπτώσεις.

Μέτρηση 1''



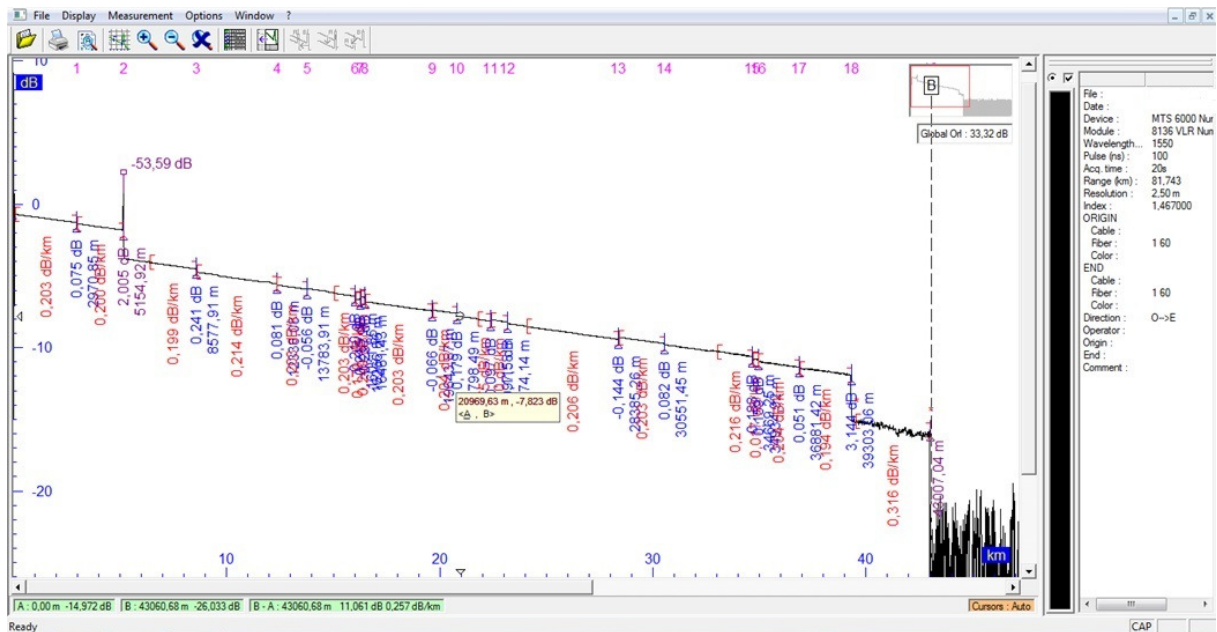
Η παραπάνω μέτρηση πραγματοποιήθηκε σε ένα δίκτυο εμβελείας WAN και το συνολικό μήκος της οπτικής ίνας είναι 102km. Η πηγή είναι τύπου Laser και εκπέμπει σε μήκος κύματος 1550nm.

Παρατηρούμε τέσσερις κορυφές κατά μήκος του γραφήματος. Η πρώτη κορυφή που βρίσκεται κοντά στο δέκτη προκύπτει από τη σύνδεση του με την οπτική ίνα, όπου για την συγκεκριμένη μέτρηση είναι -1 dB. Αυτό συμβαίνει λόγω της ανάκλασης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που εκπέμπει το Laser και εντοπίζεται από το OTDR σαν ατέλεια. Με τον ίδιο τρόπο μπορούμε να ερμηνεύσουμε την ατέλεια που είναι πολύ κοντά στο δέκτη.

Οι κορυφές που παρατηρούνται στα 5.7km και στα 52.2km εισάγουν στο δίκτυο - 31.5dB και -16.5dB αντίστοιχα, πιθανόν να οφείλονται σε κάποια συγκολλημένη ίνα, σε

κάποια κάμψη της ίνας ή ακόμα και σε βλάβη στα εν λόγω σημεία. Ο μέσος όρος απωλειών ανά χιλιόμετρο κυμαίνεται στα **0.2dB/km**.

Μέτρηση 2^η

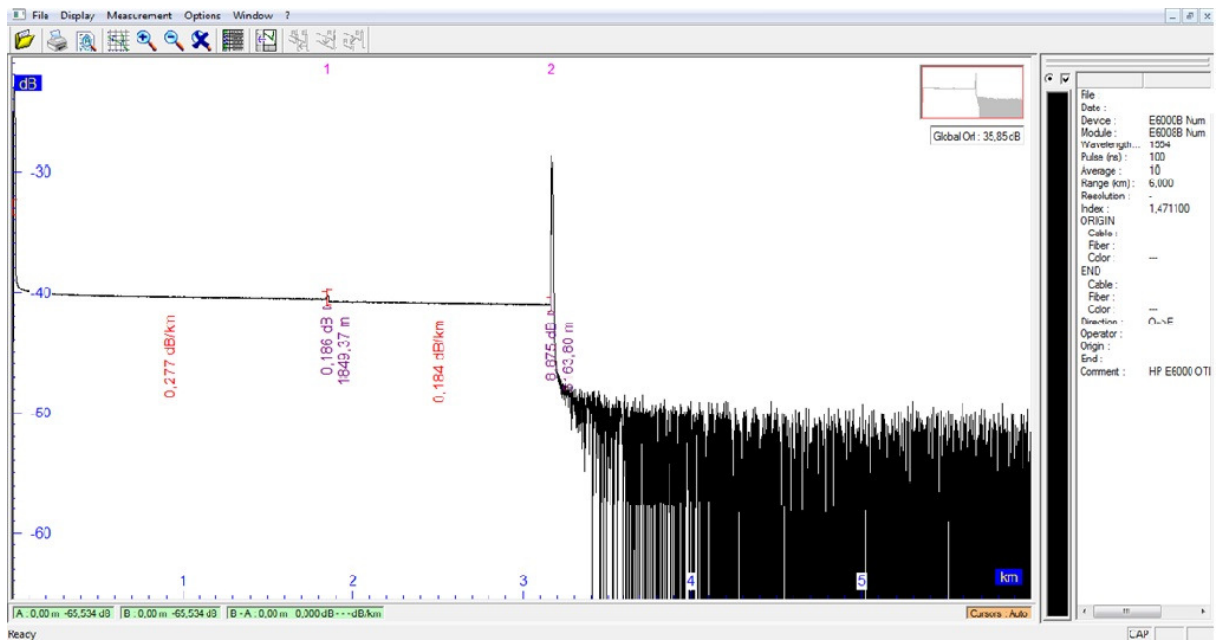


Σε αυτή την μέτρηση παρατηρούμαι ότι το συνολικό μήκος της οπτικής ίνας είναι περίπου 43 Km. Επίσης μπορούμε να προβούμε στα εξής συμπεράσματα:

Η οπτική ίνα δεν παρουσιάζει σταθερή απώλεια σε όλο το μήκος της, αλλά ο συντελεστής απωλειών παρουσιάζει διαφορετικές τιμές σε διάφορα σημεία της οπτικής ίνας. Επίσης παρατηρούνται δύο κορυφές στην αρχή και στο τέλος της οπτικής ζεύξης. Η πρώτη κορυφή στην αρχή της ζεύξης οφείλεται στην σύνδεση της οπτικής πηγής με την οπτική ίνα. Από το συγκεκριμένο peak και από την προέκταση της γραφικής παράστασης της μέτρησης μπορεί να εκτιμηθεί η οπτική ισχύς που εισέρχεται εντός της ίνας, όπου για την συγκεκριμένη μέτρηση είναι -1 dB. Αντίστοιχα ερμηνεύεται και η εμφάνιση του τελευταίου peak στο τέλος της μετρήσεις το οποίο οφείλεται στην σύνδεση οπτικής ίνας οπτικού δέκτη.

Τέλος, στην συγκεκριμένη μέτρηση εμφανίζονται ακόμα ένα γεγονός περίπου στα 5Km από την οπτική πηγή το οποίο παρουσιάζει εξασθένηση - 53,59 dB. Η ύπαρξη αυτής της κορυφής μπορεί να οφείλεται (όπως και στο προηγούμενο παράδειγμα) στο ότι η οπτική ίνα στα συγκεκριμένα σημεία να έχει υποστεί κάποια συγκόλληση ή κάποια μορφής θραύσης ή κάμψης.

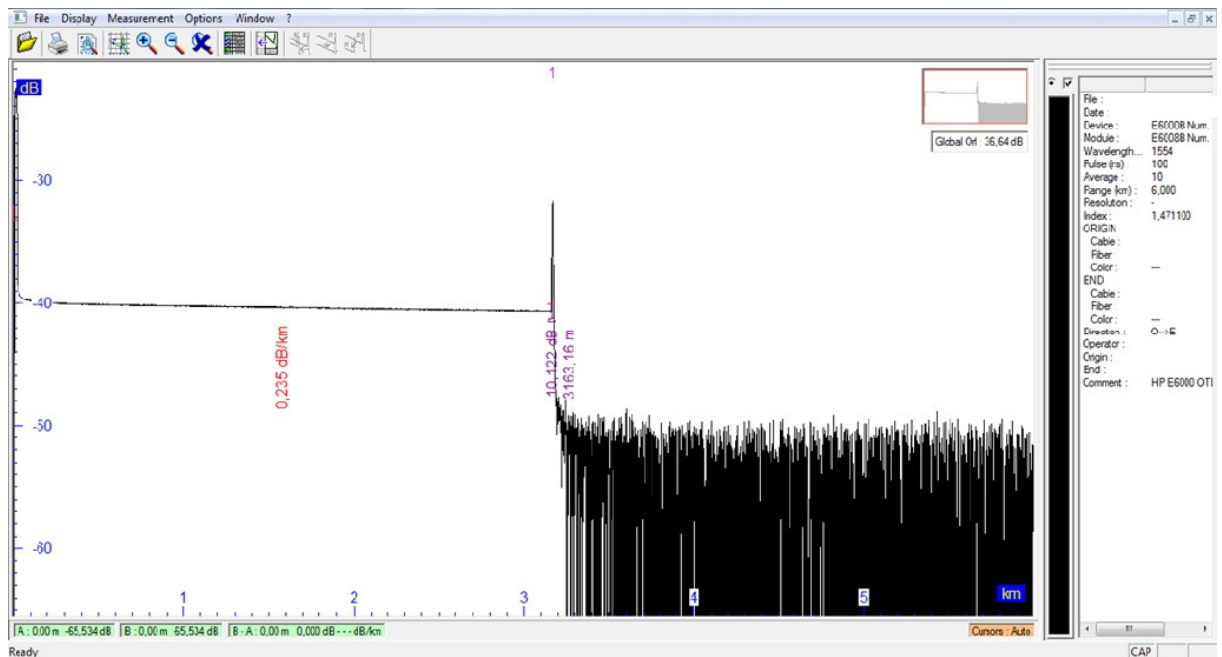
Μέτρηση 3"



Παρακολουθώντας την παραπάνω γραφική παράσταση προκύπτει ότι το συνολικό μήκος της οπτικής ίνας είναι περίπου 3163 m. Επίσης, η οπτική ίνα δεν παρουσιάζει σταθερή απώλεια σε όλο το μήκος της. Χωρίζεται σε δύο κομμάτια, ένα από την αρχή της μέτρησης μέχρι 1849 m όπου παρουσιάζει σταθερό συντελεστή απωλειών **0,277 dB/Km** και ένα δεύτερο από τα 1849 m έως το τέλος της μέτρησης με συντελεστή απωλειών **0,184 dB/Km**.

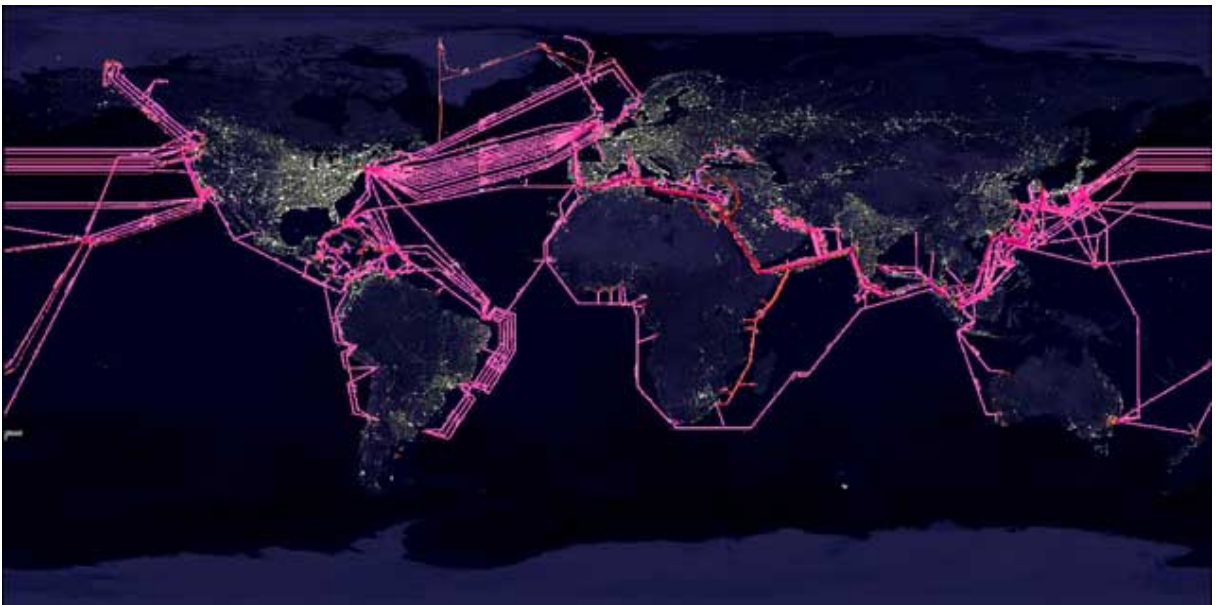
Επίσης παρατηρείται μία κορυφή στα 1849 m με εξασθένηση -0,186 dB. Η συγκεκριμένη μπορεί να ερμηνευτεί ως μία μικρή ατέλεια ή μια πρόσμιξη στην οπτική ίνα.

Μέτρηση 4^η



Από την γραφική παράσταση προκύπτει ότι το συνολικό μήκος της οπτικής ίνας είναι περίπου 3163 m. Η οπτική ίνα παρουσιάζει σταθερή απώλεια σε όλο το μήκος της, χωρίς να επηρεάζεται από κάποια δυσλειτουργία (θραύση, πρόσμιξη κτλ). Πιο συγκεκριμένα ο συντελεστής απωλειών είναι **0,235 dB/Km**.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4



4.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΣΥΝΟΨΗ

Τα συμπεράσματα που πρόεκυψαν κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της εν λόγω πτυχιακής εργασίας έχουν να κάνουν κυρίως με την αναγκαιότητα που έχουν δημιουργήσει οι οπτικές ίνες στις σύγχρονες τηλεπικοινωνιακές υποδομές. Ανάγκες που έχουν τεθεί από τον τελικό χρήστη, είτε αυτός είναι ένα μικρό νοικοκυριό είτε μια πολυεθνική εταιρία.

Κατά κύριο λόγο, το στοίχημα των τηλεπικοινωνιακών παροχών είναι να βρεθεί η οπτική ίνα όσο πιο κοντά στο τελικό χρήστη γίνεται έτσι ώστε αυτός με τη σειρά του να έχει την καλύτερη δυνατή ποιότητα υπηρεσιών και όσο το δυνατόν μεγαλύτερο εύρος ζώνης που να καλύπτει τις όλο και αυξανόμενες απαιτήσεις του.

Όπως έγινε αντιληπτό σημασία δεν έχει μονό η υλοποίηση ενός οπτικού δικτύου και η επιλογή των επιμέρους οπτικοηλεκτρονικών διατάξεων ανάλογα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους, αλλά και η εποπτεία και η συντήρηση του δικτύου αυτού χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα εργαλεία έτσι ώστε να διασφαλιστεί η ορθή λειτουργία του σε βάθος χρόνου. Αυτό απαιτεί σαφείς τεχνικές γνώσεις από τον εκάστοτε τεχνικό και η πλήρης κατανόηση της λειτουργίας και των απαιτήσεων που προκύπτουν από ένα οπτικό δίκτυο.

Όσον αφορά το μέλλον των οπτικών δικτύων κανείς δεν ξέρει τι επιφυλάσσει. Σίγουρα υπάρχουν τομείς που επιφέρουν βελτίωση κατά κύριο λόγο στις οπτικοηλεκτρονικές διατάξεις παρά στην οπτική ίνα αυτή καθαυτή, όπως παραδείγματος χάριν μια καθαρότερη πηγή φωτός που να πλησιάζει όσο πιο πολύ γίνεται την μονοχρωματικότητα. **Το μονό σίγουρο είναι ότι τα οπτικά δίκτυα ήρθαν για να μείνουν...**

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Gerry Pesavento : Ethernet Passive Optical Networks EPON, IEEE 802.3 Ethernet in the First Mile Study Group, 2001

eLUMINANT : Asynchronous Transfer Mode (ATM), Passive Optical Networks (PONs), The International Engineering Consortium, 2000

ITU Recommendations G.984.1 : Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): Transmission Convergence Layer specification, 2004

ITU Recommendations G.984.1 : Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): General characteristics, 2003

Broadlight, Flexlight : Comparing Gigabit PON Technologies ITU-T G.984 GPON vs. IEEE 802.3ah EPON

Alloptic : Ethernet Passive Optical Networks, The International Engineering Consortium, 2001

«Fiber-Optic Communications Systems», Third Edition, Govind P. Agrawal

Δίκτυα Υπολογιστών , Τέταρτη Έκδοση Andrew S. Tanenbaum

«Συστήματα Επικοινωνιών με Οπτικές Ίνες» Govind P. Agrawal