



**ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ**

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ

**ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ
ΕΠΟΠΤΕΙΑΣ ΓΡΟΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΜΕΣΩ
ΟΤDR ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Εισηγητής: Αγγελάκης Χαράλαμπος Α.Μ.2604

Επιβλέπων: Λιοδάκης Γεωργιος Καθηγητής Εφαρμογών M.sc.

©

Δεκέμβριος 2012

Abstract

A passive optical network (PON) is a point-to-multipoint, fiber to the premises network architecture in which unpowered optical splitters are used to enable a single optical fiber to serve multiple premises. PON technologies are constantly advancing toward increased capacity by the introduction of various standards in the last few years (BPON, GPON, EPON AND 10GEAPON, ect).

As troubleshooting is an important network maintenance function that involves locating and identifying any source of fault in the network, there is a growing need for the monitoring of the PON fiber plant.

In this thesis, a GPON network configuration is set-up in a laboratory testing environment, in order to carry out OTDR(Optical Time Domain Reflectometer) measurements for monitoring purposes. Based on these measurements results, comments and conclusions related to accuracy, limitations, challenges and other requirements for OTDR-based PON monitoring, are included.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα πτυχιακή μελέτη εκπονήθηκε από το φοιτητή Αγγελάκη Χαράλαμπο του τμήματος Ηλεκτρονικής του Α.Τ.Ε.Ι. Κρήτης-Παράρτημα Χανίων.

Στον κύριο Λιοδάκη Γεώργιο οφείλω τις θερμές μου ευχαριστίες για την καθοδήγηση και υποστήριξή του καθ'όλη τη διάρκεια διεκπεραίωσης της πτυχιακής εργασίας.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την εταιρεία "OPTRONICS" για την παροχή του εργαστηριακού εξοπλισμού όσον αφορά το πειραματικό μέρος και τις τεχνικές γνώσεις που μου παρείχαν.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1.....</u>	<u>5</u>
<u>ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ.....</u>	<u>5</u>
<u>1.1 Γενική Σύνοψη</u>	<u>6</u>
<u>1.2 Αρχιτεκτονική δικτύων οπτικών ινών.....</u>	<u>7</u>
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2.....</u>	<u>8</u>
<u>ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ (PONs).....</u>	<u>8</u>
<u>2.1 Point-to-multipoint συνδέσεις: Παθητικό Οπτικό Δίκτυο (Passive Optical Network - PON)</u>	<u>8</u>
<u>2.2 Point-to-point συνδέσεις: Ενεργός κόμβος (Active Node – Ethernet Switch)</u>	<u>10</u>
<u>2.3 Υβριδικά PON.....</u>	<u>12</u>
<u>2.4 Αντίστροφη των PON δικτύων & Ιδιόκτητο Τελευταίο Μίλι.....</u>	<u>13</u>
<u>2.5 Δίκτυα πρόσβασης νέας γενιάς.....</u>	<u>14</u>
<u>2.6 Το PON είναι ο καλύτερος υποψήφιος.....</u>	<u>16</u>
<u>2.7 Σύνοψη της PON τεχνολογίας.....</u>	<u>17</u>
<u>2.8 Εφαρμογή της TDMA τεχνολογίας στα PONs</u>	<u>18</u>
<u>2.9 Gigabit PON</u>	<u>20</u>
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3.....</u>	<u>21</u>
<u>ΟΠΤΙΚΟΙ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΕΣ ΚΑΙ ΠΟΛΥΠΛΕΚΤΕΣ.....</u>	<u>21</u>
<u>3.1 Οπτικοί Διαχωριστές.....</u>	<u>21</u>
<u>3.2 Οπτικοί διαιρέτες/συνδυαστές (optical splitters/combiners).....</u>	<u>23</u>
<u>3.3 Συστήματα Πολυπλεξίας με Διαίρεση Μήκους Κύματος.....</u>	<u>24</u>
<u>3.4 Πολυπλέκτες διαίρεσης μήκους κύματος (WDM).....</u>	<u>26</u>
<u>3.5 Πολυπλέκτες CWDM.....</u>	<u>27</u>

<u>3.6 Πολυπλέκτες DWDM</u>	<u>27</u>
<u>3.7 Πολυπλέκτες add/drop</u>	<u>29</u>
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....</u>	<u>30</u>
<u>ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΑΝΑΚΛΑΣΙΜΕΤΡΟ ΣΕ PON ΔΙΚΤΥΟ</u>	<u>30</u>
<u>4.1 Τυπικά Δείγματα Ανάλυσης.....</u>	<u>30</u>
<u>4.2 Εμφάνιση εξασθενήσεων με οπτικό ανακλασίμετρο σε PON δίκτυο</u>	<u>31</u>
<u>4.3 Μέθοδος ανάλυσης με οπτικό ανακλασίμετρο σε ένα PON.....</u>	<u>32</u>
<u>4.4 Φάση απόκτησης.....</u>	<u>32</u>
<u>4.5 Αναγνώριση Οπτικού Κλαδου.....</u>	<u>34</u>
<u>4.6 Απόκλιση-Εξασθένιση.....</u>	<u>35</u>
<u>4.7 Εντοπισμός Σφαλμάτων και Εκτίμηση Εξασθένισης</u>	<u>35</u>
<u>4.8 Ακρίβεια και Περιορισμοί στη Μέθοδο.....</u>	<u>36</u>
<u>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....</u>	<u>38</u>
<u>ΠΡΑΚΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ</u>	<u>38</u>
<u>5.1 Αποτύπωση GPON Δικτύου</u>	<u>38</u>
<u>5.2 Πειραματική Διαδικασία.....</u>	<u>40</u>
<u>5.2.1 Σχεδιάγραμμα Διασυνδέσεων.....</u>	<u>41</u>
<u>5.3 Σχόλια – Παρατηρήσεις</u>	<u>41</u>
<u>5.4 Μετρήσεις με χρήση OTDR (Οπτικού ανακλασίμετρου)</u>	<u>44</u>
<u>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</u>	<u>56</u>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

1.1 Γενική Σύνοψη

Μέχρι πρόσφατα, η προσφορά ευρυζωνικής πρόσβασης με την αξιοποίηση του υφιστάμενου δημόσιου δικτύου χαλκού με την χρήση τεχνολογιών xDSL αποτελούσε σχεδόν επιχειρηματικό μονόδρομο για κάθε τηλεπικοινωνιακό πάροχο.

Όμως, οι περιορισμοί των χάλκινων δικτύων αρχίζουν σταδιακά να γίνονται αισθητές την στιγμή που πλέον η προσφορά ευρυζωνικών συνδέσεων αδυνατεί να καλύψει τις ανάγκες των τελικών χρηστών για ολοένα μεγαλύτερες ονομαστικές και πραγματικές ταχύτητες σύνδεσης.

Στο πλαίσιο της ανταγωνιστικής και συνεχώς διευρυνόμενης αγοράς ευρυζωνικής πρόσβασης, οι πάροχοι δικτυακών υπηρεσιών ενδιαφέρονται για επενδύσεις σε φυσικές υποδομές που μπορούν:

α) με επιτυχία να υποστηρίξουν τη ζήτηση για υπηρεσίες πρόσβασης υψηλών ταχυτήτων και β) να επιζήσουν της συνεχούς και ραγδαίας τεχνολογικής προόδου – αλλαγής. Έτσι τα τελευταία δέκα χρόνια, η χρήση οπτικών ινών για την κατασκευή Δικτύων Μητροπολιτικών Περιοχών (Metropolitan Area Networks – MANs) γίνεται ολοένα και πιο δημοφιλής για την εξυπηρέτηση των αναγκών πρόσβασης των τελικών χρηστών.

Αυτά τα δίκτυα πρόσβασης καλούνται εν γένει FTTx ενώ δύο είναι οι κύριες αρχιτεκτονικές σχεδιασμού ανάλογα με το αν στηρίζονται εξ' ολοκλήρου (Ίνα μέχρι το Σπίτι – Fiber To The Home – FTTH) ή μερικώς (Ίνα μέχρι τον Κόμβο – Fiber To The Node – FTTN) σε τεχνολογίες οπτικών ινών. Ένας δεύτερος, τεχνολογικός, δαχωρισμός των διαθέσιμων αρχιτεκτονικών επιλογών οπτικών δικτύων αφορά στην χρήση ενεργού εξοπλισμού (Active Ethernet) ή παθητικού εξοπλισμού (Passive Optical Networks-PONs) στο τμήμα από το κεντρικό καταναλωτή του δικτύου μέχρι τον τελικό καταναλωτή.

Παρά τα ξεκάθαρα πλεονεκτήματα των οπτικών ινών έναντι των εναλλακτικών τεχνολογιών χαλκού και ασύρματων δικτύων οι τηλεπικοινωνιακοί πάροχοι εμφανίζονται διστακτικοί και προσεκτικοί για επενδύσεις ευρείας κλίμακας. Οι σημαντικότεροι λόγοι αφορούν:

1. Στο υψηλό κόστος κατασκευής των οπτικών δικτύων (εκσκαφή, εγκατάσταση υποδομής και αποκατάσταση επιφάνειας).
2. Στην διαχείριση δικαιωμάτων διέλευσης και πρόσβασης (κυρίως εντός των αστικών κέντρων).
3. Στον μεγάλο χρονικό διάστημα (15-20 έτη) απόδοσης κεφαλαίου παρόμοιων έργων υποδομής.
4. Στο ασαφές ρυθμιστικό πλαίσιο για παρόμοιες επενδύσεις.

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, οι ενέργειες των τηλεπικοινωνιακών παρόχων να επικεντρώνονται στα μεγάλα αστικά και εμπορικά κέντρα καθώς αυτά αποτελούν τις κύριες αγορές ευρυζωνικής πρόσβασης και προσφέρουν άμεσα εμπορικά οφέλη εντάσσοντας την κατασκευή ευρυζωνικών υποδομών στην περιφέρεια στα μελλοντικά αναπτυξιακά σχέδιά τους.

Το «all-optical» αποτελεί το όραμα για τα καλωδιακά δίκτυα του μέλλοντος, όπου θα χρησιμοποιείται οπτική ίνα για όλα τα καλώδια τόσο σε MAN και WAN, όσο και για την ευρυζωνική πρόσβαση. Σήμερα, οι οπτικές ίνες είναι σχεδόν παντού εγκατεστημένες για την υποστήριξη δικτύων κορμού, αλλά η επέκτασή τους στα δίκτυα πρόσβασης θα είναι το επόμενο βήμα. Ένα δίκτυο πρόσβασης που βασίζεται σε οπτικές ίνες προσφέρει (σε σχέση με τις υπόλοιπες διαθέσιμες τεχνολογίες) πολύ μεγαλύτερες ταχύτητες και μπορεί να υποστηρίξει ένα πολύ μεγάλο σύνολο υπηρεσιών. Το FTTx θα ήταν έτσι μια μελλοντική λύση πρόσβασης. Η απαίτηση των χρηστών για ακόμα μεγαλύτερο εύρος ζώνης η οποία μπορεί να ικανοποιηθεί μόνο από το FTTx είναι ικανοποιητική. Μερικοί πιθανοί οδηγοί των εξελίξεων είναι οι ευρυζωνικές υπηρεσίες όπως η τηλεδιάσκεψη, τα πολυμέσα, η ψυχαγωγία, η εκπαίδευση από απόσταση και το βίντεο κατά απαίτηση. Σύμφωνα βέβαια με την έως σήμερα εμπειρία, η ταχύτητα φαίνεται να είναι ο σημαντικότερος οδηγός για τις νέες ευρυζωνικές εφαρμογές

1.2 Αρχιτεκτονική δικτύων οπτικών ινών

Ο βασικός στόχος των δικτύων οπτικών ινών είναι να φτάσει η οπτική ίνα στον τελικό οικιακό χρήστη και να αντικαταστήσει τα υπάρχοντα καλώδια χαλκού. Επομένως, η εξέλιξη του δικτύου θα περιοριστεί στο τμήμα που πηγαίνει από το Κεντρικό Γραφείο – Βασικό Κέντρο (central office-CO) στο σπίτι του οικιακού χρήστη. Σε ένα οπτικό δίκτυο πρόσβασης, το CO περιλαμβάνει ένα τερματικό οπτικών γραμμών (optical line terminal - OLT) που παρέχει τη διεπαφή δικτύου (network interface) και συνδέεται με μια ή περισσότερες μονάδες οπτικών δικτύων (optical network units - ONU) στην πλευρά του χρήστη. Η αντικατάσταση των συνδέσεων σε ένα δίκτυο πρόσβασης από οπτικά καλώδια οδηγεί σε πολλές πιθανές τοπολογίες.

Μια σημαντική εξέλιξη αναφορικά με το Ethernet αποτελεί το Gig-E PON (GEPON, Gigabit Ethernet Passive Optical Network).

Τα παθητικά οπτικά δίκτυα (Passive Optical Networks - PONs) χαρακτηρίζονται από μια δενδρική τοπολογία παρόμοια με αυτή του Ethernet. Έτσι η ανάπτυξη των Ethernet-based PONs (EPONs) αποτέλεσε μια λογική εξέλιξη που κυριάρχησε στην αγορά. Σύμφωνα με σχετικό άρθρο [1] οι παγκόσμιες πωλήσεις EPON έφθασαν το 90% των συνολικών πωλήσεων PON, στο δεύτερο τέταρτο του 2005.

Το επόμενο βήμα αναφορικά με το Ethernet είναι ο συνδυασμός των PONs με το Gigabit Ethernet για τη δημιουργία GEPONs. Το IEEE σε συνεργασία με το Metro Ethernet Forum συνεχίζουν τη δημιουργία νέων δυνατότερων προτύπων προκειμένου να πετύχουν ταχύτητες 10-40 Gigabit στο Ethernet. Στο Ethernet χρησιμοποιείται πλέον οπτική ίνα και όχι μόνο χαλκός και το κόστος γίνεται ολοένα και χαμηλότερο, ενώ η απόδοσή του αυξάνεται. Είναι αξιόλογο το γεγονός ότι οι πάροχοι υπηρεσιών αναζητούν λύσεις Ethernet δικτύων με χρήση οπτικών ινών για να μπορέσουν να δώσουν στους τελικούς χρήστες υπηρεσίες που περιλαμβάνουν μια πλήρη ποικιλία υπηρεσιών που βασίζονται στο δίκτυο, όπως τα δεδομένα, η φωνή και το βίντεο. Άλλες τοπολογίες περιγράφονται στις επόμενες παραγράφους.

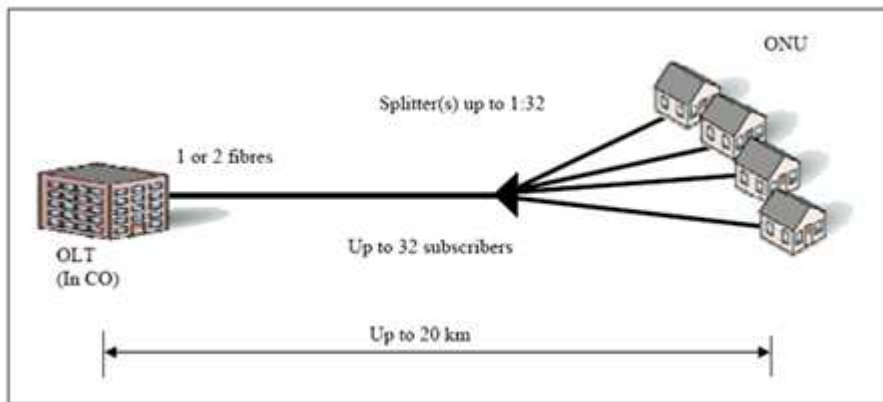
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΠΑΘΗΤΙΚΑ ΟΠΤΙΚΑ ΔΙΚΥΑ (PONs)

2.1 Point-to-multipoint συνδέσεις: Παθητικό Οπτικό Δίκτυο (Passive Optical Network - PON)

Μια πρώτη επιλογή είναι να χρησιμοποιηθούν συνδέσεις ενός-σημείο-προς-πολλά (point-to-multipoint), επεκτείνοντας ένα PON (παθητικό οπτικό δίκτυο), το οποίο παρουσιάζεται στην Σχήμα 2.1. Σήμερα, η κυριότερη point-to-multipoint διαμόρφωση ενός οπτικού δικτύου πρόσβασης είναι ένα TDM (time division multiplexing)-based PON με διαμοίραση ισχύος. Ένα PON αποτελείται από την καλωδίωση οπτικών ινών, από παθητικούς διαχωριστές (splitters) και συνδετήρες (couplers) που κατανέμουν ένα οπτικό σήμα μέσω μιας διακλαδωμένης τοπολογίας «δέντρων» στους συνδετήρες που τερματίζουν κάθε τμήμα ινών. Ένα PON έχει μερικά σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως τα επόμενα:

Η αρχιτεκτονική point-to-multipoint απαιτεί λιγότερες οπτικές ίνες για να καλύψει μια δεδομένη περιοχή σε σχέση με την αντίστοιχη point-to-point που χρησιμοποιεί διαφορετικές ίνες σε κάθε πελάτη (η πολυπλοκότητα ινών για αρχιτεκτονικές WDM PON είναι συγκρίσιμη). Ο εξοπλισμός στο CO απαιτεί χαμηλότερο κόστος καθώς μια οπτική διεπαφή εξυπηρετεί ένα ολόκληρο δίκτυο αντί να είναι αφιερωμένη σε ένα χρήστη. Η προσέγγιση PON, με την έλλειψη ενεργών συσκευών κατά μήκος της διαδρομής ινών, σημαίνει ότι απαιτείται ισχύς μόνο στην κατάληξη της ίνας (οικιακός χρήστης και CO).



Σχήμα 2.1 Παθητικό Οπτικό Δίκτυο (Passive Optical Network - PON)

Πίνακας 1 παρουσιάζει συνοπτικά τα βασικότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του PON.

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Δεν είναι ενεργός κανένας απομακρυσμένος κόμβος	Το ίδιο εύρος ζώνης πρέπει να διαιρεθεί μεταξύ διάφορων χρηστών
Πλήρως παθητικό δίκτυο	Η οπτική ισχύς διαχωρίζεται μεταξύ των θυρών εξόδου (output ports), γεγονός που περιορίζει την μέγιστη απόσταση
Επιτρέπει την εύκολη μετάδοση βίντεο και δεδομένων	Το ίδιο οπτικό σήμα παραλαμβάνεται από όλες τις μονάδες (ONUs), εγείροντας ανησυχίες για την ασφάλεια δικτύων
Υλοποίηση με το λιγότερο δυνατό αριθμό πομποδεκτών	Το εύρος ζώνης που χρησιμοποιείται για uploading δεν είναι broadcast (λιγότερο εύρος ζώνης από πλήρες P2P)
Χαμηλότερο κόστος κύκλου ζωής	Απαιτήση για έναν αυστηρό αλγόριθμο για την σύλληψη upstream κυκλοφορίας (καταμερισμός χρόνου για την upstream σύνδεση)
Ελάχιστη ίνα	Πιο σύνθετοι πομποδέκτες (οπτική ισχύς, δυνατότητα burst mode)

Σχήμα 2.2 του πίνακα 1 :Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα του PON

Έναντι άλλων τεχνολογιών πρόσβασης, το PON εξαλείφει ένα μεγάλο μέρος του κόστους εγκατάστασης, συντήρησης, και διαχείρισης, το οποίο απαιτείται για την διασύνδεση με τις

εγκαταστάσεις πελατών. Εντούτοις, ένα TDM-PON με διαμοίραση ισχύος έχει επίσης ορισμένα σημαντικά μειονεκτήματα.

Τα σημερινά TDM-PON πρότυπα καθορίζουν τον μέγιστο ρυθμό μετάδοσης των γραμμών στα 2,5 Gbps και τη μέγιστη απόσταση συνδέσεων στα 20 χιλιόμετρα, με μια τυπική αναλογία διαχωρισμού (split ratio) στα 1:32.

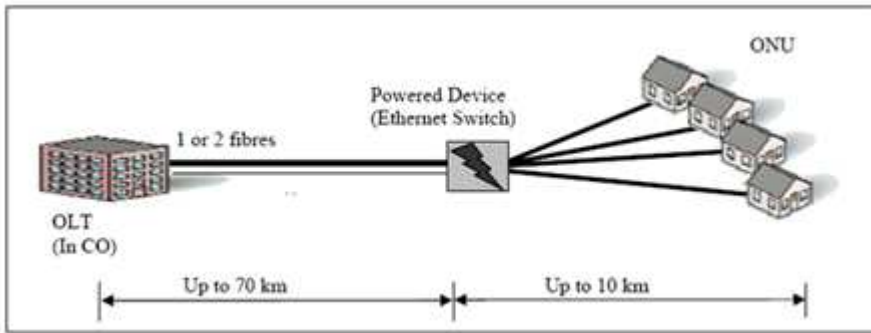
Στα οπτικά δίκτυα πρόσβασης πρώτης γενιάς, η σημαντικότερη ώθηση ήταν η οικονομική επέκταση, και ένα PON με διαμοίραση ισχύος ήταν η καταλληλότερη λύση. Σήμερα, το κόστος των οπτικών συσκευών έχει μειωθεί πολύ και οι μελέτες σχεδιασμού αρχίζουν να γίνονται σημαντικές. Για να ξεπεραστούν μερικά από τα μειονεκτήματα ενός TDM-PON με διαμοίραση ισχύος, είναι επίσης διαθέσιμοι μερικοί διαφορετικοί τύποι των PONs: WDM PONs, WDM power splitting PONs, WDM PONs με επικάλυψη για broadcast.

Χάρη στο WDM ένα PON μπορεί επίσης να δημιουργήσει μια εικονική σύνδεση point-to-point. Το WDM θεωρείται ως η ιδανική λύση για την αναβάθμιση των δυνατοτήτων των PONs χωρίς τη δραστική αλλαγή της υπάρχουσας υποδομής οπτικών. Επιπλέον διατηρεί πολλά από τα οφέλη του TDM-PON.

2.2 Point-to-point συνδέσεις: Ενεργός κόμβος (Active Node – Ethernet Switch)

Αντί της εγκατάστασης ενός PON, είναι επίσης δυνατό να επεκταθεί ένα ενεργό δίκτυο, που είναι παρόμοιο με ένα PON, αλλά έχει μερικές σημαντικές διαφορές. Η κύρια διαφορά είναι η αντικατάσταση του παθητικού splitter από έναν ενεργό κόμβο, όπως παρουσιάζεται στην Σχήμα 2.3. Μια σημαντική συνέπεια είναι ότι είναι απαραίτητο ένα ηλεκτροφόρο καλώδιο (power line) μεταξύ του CO και του ενεργού κόμβου. Εκτός από μια διακλαδισμένη δενδρική αρχιτεκτονική όπως χρησιμοποιείται σε ένα PON, ένα ενεργό δίκτυο μπορεί επίσης να υλοποιείται με μια αρχιτεκτονική δακτυλίου ή αστέρα. Η επιλογή οποιασδήποτε ιδιαίτερης αρχιτεκτονικής εξαρτάται από τον τύπο υλοποίησης, τη διαθεσιμότητα και την τοπολογία της ίνας, το κόστος και τη διαθεσιμότητα του εξοπλισμού.

Δεύτερον, αντί της διανομής του εύρους ζώνης μεταξύ πολλαπλών συνδρομητών, σε κάθε τελικό χρήστη παρέχεται αφιερωμένη σύνδεση που του παρέχει το συνολικό αμφίδρομο εύρος ζώνης. Αυτό μπορεί να εφαρμοστεί χρησιμοποιώντας τεχνικές SDM (Space Division Multiplexing) ή WDM. Λόγω της φύσης του, αυτός ο τύπος αρχιτεκτονικής αναφέρεται επίσης ως από-σημείο-σε-σημείο (point-to-point - P2P).



Σχήμα 2.3 Point-to-point συνδέσεις με έναν ενεργό κόμβο (Ethernet Switch)

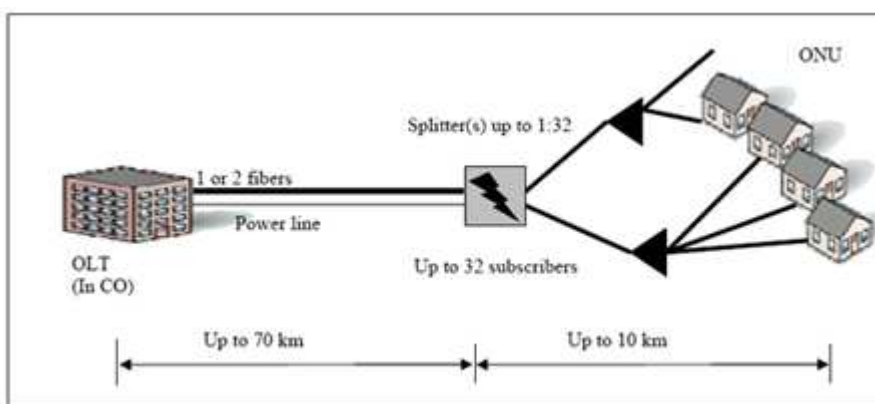
Ο Πίνακας του Σχήματος 2.4 παρουσιάζει συνοπτικά τα βασικότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της χρήσης ενός ενεργού κόμβου

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Υψηλότερο εύρος ζώνης	Ανάγκη ενός ηλεκτροφόρου καλωδίου
Υψηλότερη πιθανή απόσταση	Πιο πολύπλοκη υποδομή καλωδίων
Μεγαλύτερη ασφάλεια	-

Η τρίτη διαφορά στην αρχιτεκτονική του PON και του ενεργού κόμβου είναι ο περιορισμός της απόστασης. Σε ένα PON, ο πιο απομακρυσμένος συνδρομητής πρέπει να βρίσκεται σε μια ακτίνα 10-20km από το CO, ανάλογα με το συνολικό αριθμό των διαμοιράσεων (μέγιστο 1:32). Αντίθετα, ένα ενεργό δίκτυο, έχει έναν περιορισμό απόστασης περίπου 80km, ανεξάρτητα από τον αριθμό συνδρομητών που εξυπηρετεί. Ο αριθμός συνδρομητών περιορίζεται μόνο από τους κόμβους μεταγωγής (switches) που χρησιμοποιούνται και όχι από την ίδια την υποδομή, όπως στην περίπτωση PON. Ο ενεργός κόμβος θα είναι χαρακτηριστικά ένα Ethernet Switch και ο διαθέσιμος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων θα είναι πάνω από 10 Gbps.

2.3 Υβριδικά PON

Επίσης, αναπτύσσονται υβριδικά PON τα οποία αποτελούν ένα συνδυασμό ενός ενεργού κόμβου και μιας αρχιτεκτονικής PON. Η αρχιτεκτονική των υβριδικών PON παρουσιάζεται στην Σχήμα 2.3. Η εφικτή απόσταση είναι υψηλότερη από ότι στην περίπτωση χρησιμοποίησης ενός PON με διαμοίραση ισχύος. Παράλληλα, αυτό επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας μια απλούστερη υποδομή σε σχέση με μια απολύτως ενεργή τοπολογία.



Σχήμα 2.4 Υβριδικό PON

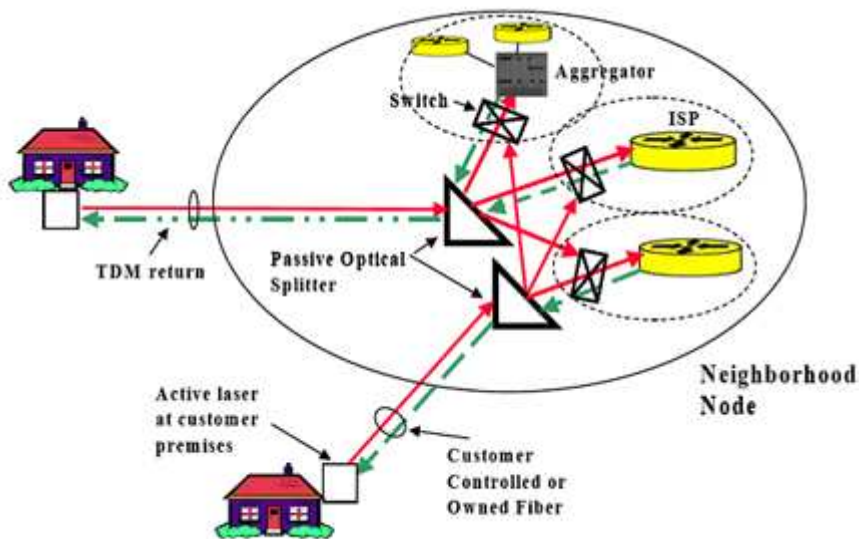
Ο Πίνακας του σχήματος 2.4 παρουσιάζει συνοπτικά τα βασικότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ενός υβριδικού PON.

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Υψηλή εφικτή απόσταση	Ανάγκη ενός ηλεκτροφόρου καλωδίου
Απλούστερη υποδομή απ' ότι στην ενεργή τοπολογία	-

2.4 Αντίστροφη των PON δικτύων & Ιδιόκτητο Τελευταίο Μίλι

Τα τελευταία χρόνια έχει αναπτυχθεί και παρουσιάζεται δειλά-δειλά η ιδέα των υποδομών οπτικών ινών που συνδέουν τελικούς χρήστες και ανήκουν στους ίδιους. Η πρόταση αυτή έρχεται σε «σύγκρουση» με τις υπάρχουσες κρατικές πολιτικές των τηλεπικοινωνιακών παρόχων και των service providers. Η εφαρμογή της ιδέας αυτής έχει αρχίσει να δοκιμάζεται σε διάφορα projects και πιλοτικές δράσεις ανα τον κόσμο. Γενικά, εισάγει αναγκαστικά την δημιουργία ανοικτών κόμβων συνεγκατάστασης (carrier neutral colo facilities), όπου οι «ιδιωτικές» οπτικές ίνες των τελικών χρηστών διασυνδέονται και δρομολογούν υπηρεσίες από τους service providers. Μια (η βασικότερη) από τις αρχιτεκτονικές που δημιουργείται καλείται reverse PON και ουσιαστικά αποτελεί την αντιστροφή της κλασικής αρχιτεκτονικής PON, με τον εξοπλισμό του πελάτη να παρέχει διακριτές «συνδέσεις» με διάφορους service providers. Παράλληλα, η ιδέα της υποδομής που ανήκει στον πελάτη μπορεί να λειτουργήσει και με άλλες αρχιτεκτονικές, όπως του ενεργού κόμβου κλπ.

Ένα τυπικό παράδειγμα της αρχιτεκτονικής Reverse PON παρουσιάζεται στην Σχήμα 2.5



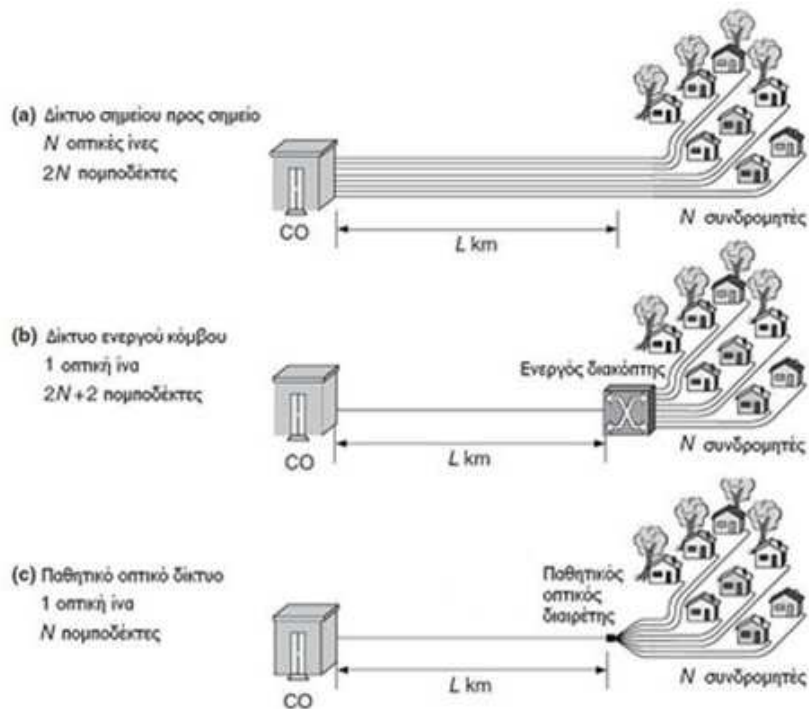
Σχήμα 2.5 Αρχιτεκτονική Reverse PON

Ο Πίνακας του σχήματος 2.5 παρουσιάζει τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της αρχιτεκτονικής αυτής:

Πλεονεκτήματα	Μειονεκτήματα
Υψηλή εφικτή απόσταση	Ανάγκη για διαχείριση της οπτικής ίνας και του τερματικού εξοπλισμού από τον τελικό χρήστη
Μεγαλύτερη ασφάλεια	Υψηλό αρχικό κόστος απόκτησης
Υψηλότερο εύρος ζώνης και πλήρως διαχειρίσιμο	-
Ευελιξία στην επιλογή services	-

2.5 Δίκτυα πρόσβασης νέας γενιάς

Οι οπτικές ίνες μπορούν να παραδώσουν ενοποιημένες και που απαιτούν μεγάλο εύρος ζώνης υπηρεσίες φωνής, δεδομένων και βίντεο σε αποστάσεις άνω των 20 km στο δίκτυο πρόσβασης. Ένας άμεσος τρόπος εγκατάστασης οπτικών ινών σε τοπικά δίκτυα πρόσβασης είναι η χρήση τοπολογίας σημείου προς σημείο (Point to Point - P2P), με μία αφιερωμένη οπτική ίνα ανά χρήστη, που τοποθετείται εξολοκλήρου από το CO μέχρι κάθε τελικό χρήστη (Σχήμα 2.6a). Ενώ αυτή είναι μια απλή αρχιτεκτονική, στις περισσότερες περιπτώσεις είναι οικονομικά απαγορευτική, επειδή απαιτεί σημαντική εξωτερική εγκατάσταση οπτικών ινών. Λαμβάνοντας υπόψη N συνδρομητές σε μια μέση απόσταση L km από το CO, μια τοπολογία P2P απαιτεί $2N$ πομποδέκτες και $N \times L$ km συνολικό μήκος ινών (υποθέτοντας ότι μια μονότροπη ίνα χρησιμοποιείται για μετάδοση διπλής κατεύθυνσης). Το κόστος εξοπλισμού του χρήστη, που θα μετατρέψει το οπτικό σήμα σε ηλεκτρικό και αντίστροφα, και το κόστος εγκατάστασης της ίνας μέχρι την περιοχή του χρήστη αποτρέπουν την επιλογή αυτής της λύσης.



Σχήμα 2.6 Σενάρια εγκατάστασης δικτύου οπτικών ινών μέχρι την οικία (Fiber to the Home-FTTH)

Για να μειώσουμε την εγκατάσταση μεγάλου μήκους οπτικών ινών, είναι πιθανό να εγκαταστήσουμε έναν απομακρυσμένο διακόπτη (συγκεντρωτή), δηλαδή έναν ενεργό κόμβο, που θα βρίσκεται κοντά στους τελικούς χρήστες. Αυτή είναι μια αρχιτεκτονική ενεργού αστέρα (Active Star architecture). Αυτή θα μειώσει την εγκατάσταση οπτικών ινών σε μόλις L km (υποθέτοντας αμελητέα την απόσταση μεταξύ του διακόπτη και των πελατών), αφού θα γίνει εγκατάσταση οπτικής ίνας μόνο στο τμήμα από το CO μέχρι τον ενεργό κόμβο. Όμως, στην πραγματικότητα, αυξάνεται ο αριθμός των πομποδεκτών σε $2N + 2$, αφού υπάρχει ακόμα μια ζεύξη η οποία προστίθεται στο δίκτυο σε σχέση με την προηγούμενη τοπολογία (Σχήμα 2.6b). Επίσης, η αρχιτεκτονική αυτή προϋποθέτει την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος καθώς και αποθηκευμένη εφεδρική ενέργεια στο διακόπτη.

Πλέον, μια από τις πιο σημαντικές λειτουργικές δαπάνες είναι η παροχή και η συντήρηση της ηλεκτρικής ενέργειας στον τοπικό ενεργό κόμβο. Να σημειώσουμε πως οι τελικοί χρήστες συνδέονται με τον ενεργό κόμβο με τη χρήση χάλκινων καλωδίων ή με οπτική ίνα είτε μέσω ασύρματης ζεύξης.

Επομένως, είναι λογικό να αντικαθίσταται ο ενεργός διακόπτης “στην πλευρά του πεζοδρομίου” με ένα φθινό παθητικό οπτικό διαιρέτη (splitter) και συνδυαστή (combiner).

Με αυτό τον τρόπο δημιουργείται ένα παθητικό οπτικό δίκτυο (Passive Optical Network - PON), που είναι η τεχνολογία που πολλοί την θεωρούν ελκυστική λύση για το πρόβλημα του πρώτου μιλίου. Ένα PON μειώνει τον αριθμό των οπτικών πομποδεκτών, και την εγκατάσταση μεγάλου μήκους οπτικών ινών. Η ύπαρξη παθητικών διατάξεων σε ένα PON μειώνει στο ελάχιστο το κόστος παροχής ενέργειας στον κόμβο, πράγμα που έχει αυξήσει

τη δημοτικότητα των PONs και τα οποία αποτελούν τη βέλτιστη λύση για την εισαγωγή οπτικής ίνας στα δίκτυα πρόσβασης.

Ένα PON είναι ένα οπτικό δίκτυο σημείου προς πολλαπλά σημεία (Point-to-Multipoint - PtMP) στην κατερχόμενη κατεύθυνση (downstream), δηλαδή με φορά από το τηλεπικοινωνιακό κέντρο προς τους χρήστες, και πολλαπλών σημείων προς σημείο (Multipoint-to-Point - MPtP) στην ανερχόμενη κατεύθυνση, δηλαδή με αντίθετη φορά από την προηγούμενη, όπως ακριβώς δηλαδή και για το δίκτυο ενεργού αστέρα. Ένα PON διαθέτει μη ενεργά στοιχεία στο μονοπάτι του σήματος από την πηγή μέχρι τον προορισμό.

Τα μόνα εσωτερικά στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν στο PON είναι παθητικά οπτικά στοιχεία, όπως οπτικές ίνες, συνδέσεις (spllices), διαιρέτες (splitters) και συνδυαστές (combiners). Ένα δίκτυο πρόσβασης που βασίζεται σε ένα PON μονότροπης οπτικής ίνας, απαιτεί μόνο $N + 1$ πομποδέκτες και L km οπτικής ίνας (Σχήμα 2.6c).

2.6 Το PON είναι ο καλύτερος υποψήφιος

Η τεχνολογία PON λαμβάνει όλο και περισσότερη προσοχή από τον τηλεπικοινωνιακό κλάδο ως η λύση του “πρώτου μιλίου” (first mile). Τα πλεονεκτήματα της χρήσης του PON για τα δίκτυα πρόσβασης είναι πολλά:

- Το PON είναι κατάλληλο για μεγαλύτερες αποστάσεις μεταξύ των τηλεπικοινωνιακών κέντρων (CO) και των εγκαταστάσεων των πελατών. Ένας τοπικός κόμβος, ο οποίος βασίζεται σε PON, μπορεί να λειτουργήσει σε αποστάσεις μήκους έως και 20 km, κάτι το οποίο υπερβαίνει κατά πολύ την μέγιστη κάλυψη που παρέχει η DSL.
- Το PON μειώνει την εγκατάσταση μεγάλου μήκους οπτικών ινών. Μόνο μια ίνα χρειάζεται στη ζεύξη και μόνο μία θύρα (port) ανά PON απαιτείται στο τηλεπικοινωνιακό κέντρο (CO). Αυτό επιτρέπει τη χρήση πολύ πυκνού εξοπλισμού στο CO και χαμηλή κατανάλωση ισχύος .
- Το PON παρέχει μεγαλύτερο εύρος ζώνης, της τάξης των Gbps, λόγω της διείσδυσης των ινών σε μεγαλύτερο βάθος. Ενώ οι λύσεις της ίνας μέχρι το κτίριο (FTTB), της ίνας μέχρι την κατοικία (FTTH) ή ακόμα και της ίνας μέχρι τον προσωπικό Η/Υ (FTTPC), έχουν ως απώτερο σκοπό να φτάνει η ίνα μέχρι και τους χώρους των πελατών, η ίνα μέχρι το πεζοδρόμιο (FTTC) μπορεί να είναι η πιο οικονομική περίπτωση σήμερα.

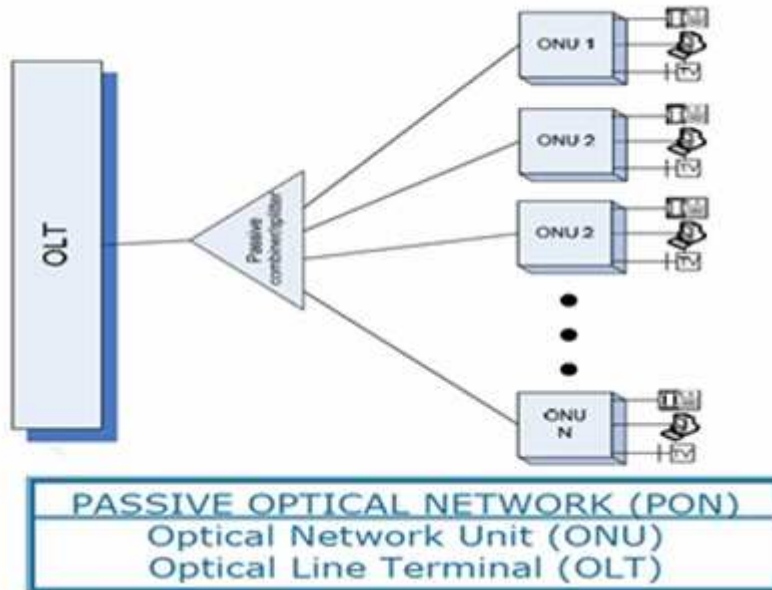
- Ως δίκτυο σημείου προς πολλαπλά σημεία, το PON επιτρέπει την ευρυεκπομπή (broadcasting) βίντεο στην καθοδική κατεύθυνση (downstream) του δικτύου.

Πολλαπλά κανάλια μήκους κύματος μπορούν να προστεθούν σε PON χωρίς ιδιαίτερες τροποποιήσεις στα ηλεκτρονικά των τερματικών συσκευών του δικτύου.

- Το PON περιορίζει την ανάγκη εγκατάστασης πολυπλεκτών και αποπολυπλεκτών στα σημεία συνδυασμού και διαίρεσης των δεδομένων, απαλλάσσοντας έτσι τους διαχειριστές των δικτύων από τη φρικτή εργασία να τους συντηρεί και να τους παρέχει ισχύ. Αντί για ενεργές συσκευές σε αυτές τις περιοχές, το PON έχει παθητικά στοιχεία που μπορούν να θαφτούν στο έδαφος τη στιγμή της εγκατάστασης.
- Το PON επιτρέπει εύκολες αναβαθμίσεις σε υψηλότερους ρυθμούς bit ή με προσθήκη επιπρόσθετων μηκών κύματος. Αυτό είναι εφικτό επειδή οι παθητικοί διαιρέτες (splitters) και συνδυαστές (combiners) παρέχουν πλήρη διαφάνεια στο μονοπάτι μεταξύ του CO και των χρηστών.

2.7 Σύνοψη της PON τεχνολογίας

Η μετάδοση σε ένα PON πραγματοποιείται μεταξύ ενός τερματικού οπτικής γραμμής (Optical Line Terminal - OLT) και των μονάδων οπτικού δικτύου (Optical Network Units - ONUs) (Σχήμα 2.7). Το τερματικό οπτικής γραμμής (OLT) και η μονάδα οπτικού δικτύου (ONU) είναι διατάξεις που μετατρέπουν το ηλεκτρικό σήμα σε οπτικό και αντίστροφα. Το τερματικό οπτικής γραμμής (OLT) ανήκει σε ένα τηλεπικοινωνιακό κέντρο (central office - CO) που συνδέει το δίκτυο πρόσβασης με το δίκτυο μητροπολιτικής περιοχής (Metropolitan Area Network - MAN) ή το δίκτυο ευρείας περιοχής (Wide Area Network - WAN), το οποίο είναι επίσης γνωστό ως δίκτυο κορμού (backbone) ή δίκτυο μακράς διαδρομής (long haul). Όλες οι μεταδόσεις σε ένα PON πραγματοποιούνται μεταξύ ενός τερματικού οπτικής γραμμής (OLT) και των μονάδων οπτικού δικτύου (ONUs). Η μονάδα οπτικού δικτύου (ONU) εντοπίζεται είτε στην περιοχή του χρήστη (FTTH) είτε σε μια περιοχή που αποτελείται από ένα σύνολο χρηστών (FTTC, FTTB). Θα πρέπει να τονιστεί ότι στα PONs δεν είναι δυνατή η επικοινωνία μεταξύ των τελικών χρηστών. Ο κάθε χρήστης μπορεί να στείλει δεδομένα μόνο στο OLT, αφού στη διαδρομή των δεδομένων μέσω της οπτικής ίνας από το ONU μέχρι το OLT υπάρχει μόνο ο παθητικός συνδυαστής (passive combiner).



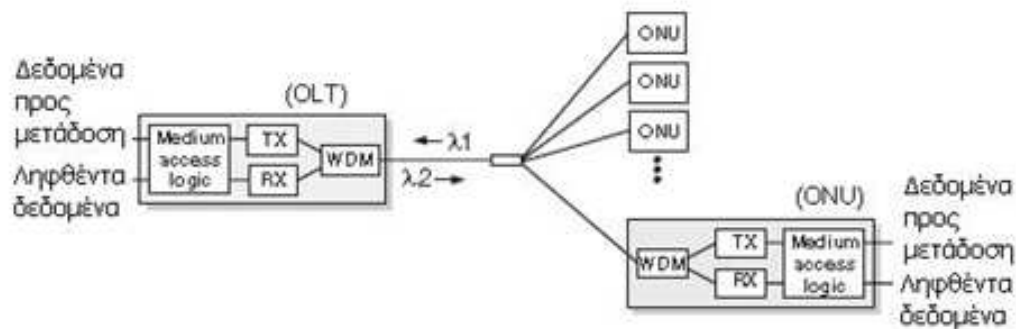
Σχήμα 2.7 Παθητικό οπτικό δίκτυο (Passive Optical Network – PON)

2.8 Εφαρμογή της TDMA τεχνολογίας στα PONs

Σε ένα TDMA PON, ταυτόχρονες μεταδόσεις από αρκετά ONUs θα συγκρουστούν όταν φτάσουν στο συνδυαστή. Για να αποφευχθούν οι συγκρούσεις δεδομένων, κάθε ONU πρέπει να μεταδίδει μέσα στο δικό του παράθυρο μετάδοσης (χρονοθυρίδα). Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα του TDMA PON, είναι ότι όλα τα ONUs μπορούν να λειτουργήσουν στο ίδιο μήκος κύματος και μπορούν να έχουν όμοια μέρη. Το OLT θα χρειαστεί επίσης ένα μόνο δέκτη. Ο πομποδέκτης μέσα ένα ONU πρέπει να λειτουργεί σε πλήρη ρυθμό μετάδοσης γραμμής, ακόμα και αν το εύρος ζώνης που είναι διαθέσιμο για το ONU μπορεί να είναι μικρότερο. Ωστόσο, η ιδιότητα αυτή επιτρέπει στο TDMA PON να αλλάξει αποτελεσματικά το εύρος ζώνης που έχει διατεθεί σε κάθε ONU αλλάζοντας το μέγεθος της χρονοθυρίδας που έχει ανατεθεί, ή ακόμα και να εφαρμόσει στατιστική πολυπλεξία για να αξιοποιήσει πλήρως τη χωρητικότητα καναλιού του PON.

Σε ένα δίκτυο πρόσβασης, η περισσότερη κίνηση κατευθύνεται καθοδικά (downstream), από το δίκτυο προς τους χρήστες, και ανοδικά (upstream), από ένα χρήστη προς το δίκτυο, αλλά όχι μεταξύ ομοτίμων (peer to peer), από ένα χρήστη σε άλλο χρήστη. Έτσι, φαίνεται λογικός ο διαχωρισμός ανάμεσα στα ανοδικά και στα καθοδικά κανάλια. Ένας απλός διαχωρισμός καναλιών μπορεί να βασιστεί σε μια πολυπλεξία διαίρεσης χώρου (Space Division Multiplexing - SDM), στην οποία παρέχονται ξεχωριστά PONs για καθοδικές και ανοδικές μεταδόσεις. Για να εξοικονομήσουμε οπτική ίνα και να μειωθεί το κόστος επιδιόρθωσης και συντήρησης, μια μόνο οπτική ίνα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μετάδοση δύο κατευθύνσεων. Σε αυτή την περίπτωση, δύο μήκη κύματος χρησιμοποιούνται: λ_1 για την ανοδική μετάδοση και το λ_2 για την καθοδική (Σχήμα 2.8). Η χωρητικότητα καναλιού σε κάθε μήκος κύματος μπορεί να διαιρεθεί εύκολα μεταξύ των ONUs χρησιμοποιώντας τεχνικές καταμερισμού του χρόνου (time-sharing).

Ο καταμερισμός χρόνου φαίνεται να είναι η μέθοδος που προτιμάται σήμερα για τον καταμερισμό των οπτικών καναλιών σε ένα δίκτυο πρόσβασης, μιας και επιτρέπει μόνο ένα μήκος κύματος στην ανοδική και ένα στην καθοδική κατεύθυνση, ώστε οι πομποί και οι δέκτες των ONUs να είναι συντονισμένοι σε μια συχνότητα λειτουργίας με αποτέλεσμα το κόστος τους να είναι χαμηλό, και ένα μόνο πομποδέκτη στο OLT. Αυτά διευκολύνουν την προσθήκη νέων χρηστών στο δίκτυο και παράλληλα καταλήγουν σε μια οικονομικά αποτελεσματική λύση.



Σχήμα 2.8 PON που χρησιμοποιεί μια μόνο οπτική ίνα

Τα TDMA PONs έχουν επιδείξει σημαντική πρόοδο σε ότι αφορά την τυποποίηση (standardization) και την εφαρμογή τους τα τελευταία χρόνια. Τα PONs που βασίζονται στον ασύγχρονο τρόπο μετάδοσης (Asynchronous Transfer Mode PONs - APONs) ή αλλιώς τα ευρυζωνικά PONs (Broadband PONs - BPONs) έχουν ήδη τυποποιηθεί από την ITU-T με την προδιαγραφή G.983. Επίσης, το Gigabit PON (GPON) έχει τυποποιηθεί με την προδιαγραφή G.984 και το Ethernet PON (EPON) με τη

προδιαγραφή IEEE 802.3ah[3].Στις επόμενες ενότητες παρουσιάζονται αυτές οι τεχνολογίες.

2.9 Gigabit PON

Η επέκταση της χωρητικότητας των PONs στην περιοχή των Gbps πραγματοποιήθηκε με την τυποποίηση του GPON από την ITU στη σειρά προδιαγραφών G.984.x. Η αρχιτεκτονική του δικτύου που περιγράφεται σε αυτά τα πρωτόκολλα έχει πολλές ομοιότητες με την αρχιτεκτονική του ATM-PON. Ο μέγιστος αριθμός διαχωρισμού του σήματος στον παθητικό διαιρέτη είναι 128 και η μέγιστη απόσταση ενός ONU από το OLT είναι 20Km. Στην κατερχόμενη κατεύθυνση (downstream) οι ρυθμοί μετάδοσης που υποστηρίζονται είναι 1244.16 ή 2488.32 Mbps, ενώ η φασματική περιοχή του καναλιού που χρησιμοποιείται σε αυτή την κατεύθυνση περιορίζεται στα 1480-1500 nm.

Στην ανερχόμενη κατεύθυνση (upstream) οι ρυθμοί μετάδοσης που χρησιμοποιούνται είναι 155.52, 622.08, 1244.16 και 2488.32 Mbps, ενώ το κανάλι λειτουργεί στην περιοχή των 1260-1360 nm[2]. Η προδιαγραφή G.984.2, η οποία ορίζει το επίπεδο που είναι εξαρτώμενο από το φυσικό επίπεδο (Physical Medium Dependent Layer - PMD Layer), καθορίζει τους ρυθμούς μετάδοσης της ανερχόμενης και της κατερχόμενης κατεύθυνσης. Παράλληλα, καθορίζει ότι στο δίκτυο μεταδίδονται πλαίσια σταθερής διάρκειας (125 μs), που μπορούν να υποστηρίξουν διάφορες μορφές πακέτων (Ethernet, ATM, IP κτλ.). Ταυτόχρονα, η προδιαγραφή G.984.3 ορίζει το επίπεδο σύγκλισης μετάδοσης (Transmission Convergence Layer), που πραγματοποιεί την προσαρμογή των δεδομένων του χρήστη πάνω στο PMD επίπεδο, ενώ παράλληλα παρέχει τις βασικές παραμέτρους διαχείρισης του δικτύου[4].

Με αυτό τον τρόπο τα GPONs έχουν τη δυνατότητα αξιόπιστης μετάδοσης διαφορετικών μορφών πακέτων, επιτυγχάνοντας παράγοντα αξιοποίησης του δικτύου πάνω από 95%. Ταυτόχρονα τα GPONs παρέχουν ποιότητα υπηρεσίας, καθώς επιτρέπουν διαπραγματεύσεις για συμφωνία του επιπέδου υπηρεσίας (Service Level Agreement - SLA) μεταξύ των ONUs και του OLT, που ορίζεται στην προδιαγραφή G.984.4. Τα τελευταία χρόνια μελετάται η επέκταση των GPONs ώστε να υποστηρίζουν ρυθμούς μετάδοσης έως 10 Gbps και στις δύο κατευθύνσεις[5]. Το βασικό πρόβλημα που πρέπει να επιλυθεί είναι η κατασκευή οικονομικών διατάξεων οπτοηλεκτρονικής μετατροπής, που να μπορούν να υποστηρίξουν αυτές τις ταχύτητες και να τοποθετηθούν στο χώρο των χρηστών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΟΠΤΙΚΟΙ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΕΣ ΚΑΙ ΠΟΛΥΠΛΕΚΤΕΣ

3.1 Οπτικοί Διαχωριστές

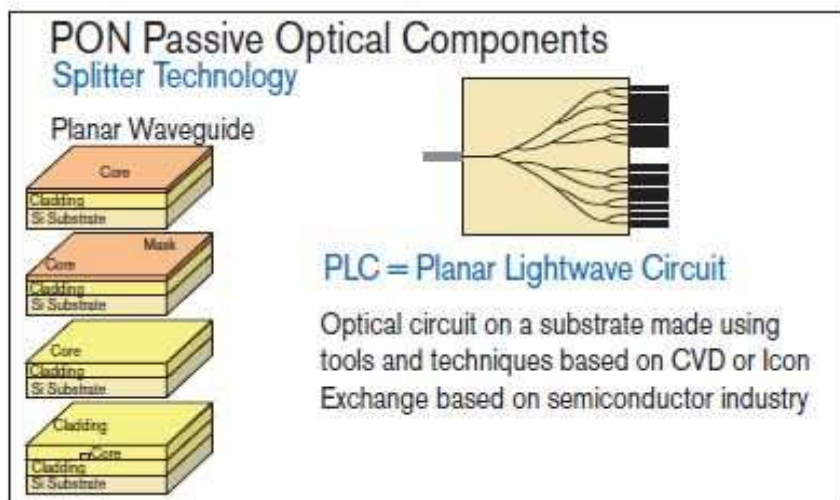
Η αμφίδρομη οπτική συσκευή διακλάδωσης που χρησιμοποιείται στο P2MP PON ονομάζεται οπτικός διαχωριστής (Optical Power Splitter), ο οποίος έχει μια είσοδο από την πόρτα F1 και πολλαπλές εξόδους. Οι διαχωριστές είναι παθητικοί γιατί δεν απαιτούν εξωτερική τροφοδοσία, μονάχα την δέσμη φωτός. Είναι ευρυζωνικοί και προσθέτουν μόνο απώλειες, κυρίως από το γεγονός που διαιρούν την εισερχόμενη ισχύς. Αυτή η απώλεια συνήθως εκφράζεται σε Decibel (dB) και εξαρτάται κυρίως από τον αριθμό των εξόδων του διαχωριστή, όπως φαίνεται στον πίνακα 3.1. Η είσοδος του οπτικού σήματος διαιρείται σε ίσα μέρη στους κλάδους, για παράδειγμα ένας 1x2 διαχωριστής έχει μόνο δύο κλάδους, ή διαφορετικά ένα διαχωρισμό που δημιουργεί μια απώλεια της τάξης των 3 dB από το αρχικό σήμα. Σε ένα διαχωριστή 1x4 άλλοι δύο κλάδοι θα προστεθούν σε κάθε έξοδο του 1x2 διαχωριστή, προσθέτοντας άλλα 3 dB μεσολογική απώλεια τα 6 dB. Σε ένα διαχωριστή 1x8 splitter άλλοι δύο κλάδοι θα προστεθούν (μια ακόμα διαίρεση 1x2 προσθέτοντας άλλα 3 dB σε κάθε έξοδο του αρχικού 1x4 διαχωριστή για μια συνολική απώλεια της τάξης των 9 dB. Επομένως ένας διαχωριστής 1x16 θα έχει 12 dB απώλειες, και ένας 1x32 θα έχει τουλάχιστον 15 dB απώλειες, χωρίς να συμπεριλάβουμε κάποια πρόσθετη απώλεια λόγω των συνδέσεων και ατελειών. (τυπικά 1dB θα προστεθεί στην αρχική απώλεια διαχωρισμού). Γι' αυτό ένας διαχωριστής 1x32 θα έχει τυπικά μία απώλεια στα 16 dB. Το PON χρησιμοποιεί το ίδιο ποσοστό μεταξύ των εξόδων στο F2, επιτρέποντας να μοιραστούν το εύρος ζώνης από μία οπτική ίνα πολλαπλοί χρήστες. Προς την αντίθετη κατεύθυνση (από το F2 στο F1), τα οπτικά σήματα συνδιάζονται και καταλήγουν σε μία μόνο ίνα στην F1.

Θα πρέπει να προσέξουμε ότι, σε αντίθεση με το τι θα περιμέναμε, ο διαχωριστής προσθέτει σχεδόν την ίδια απώλεια και προς την αντίθετη κατεύθυνση (από το F2 στο F1). Μπορεί να υπάρχει ένας ή περισσότεροι διαχωριστές σε ένα FTTx δίκτυο, ανάλογα με την τοπολογία του δικτύου. Η ITU-T προτείνει το G.983 που συγκεκριμένα επιτρέπει την διαχώριση των κλάδων μέχρι 32, ενώ το G.984 επεκτείνει τον λόγο στο 1:64. Ανεξάρτητα της τοπολογίας, θα πρέπει να συνεργάζεται με την επιτρεπτή πομπολογισμένη οπτική απώλεια. [6]

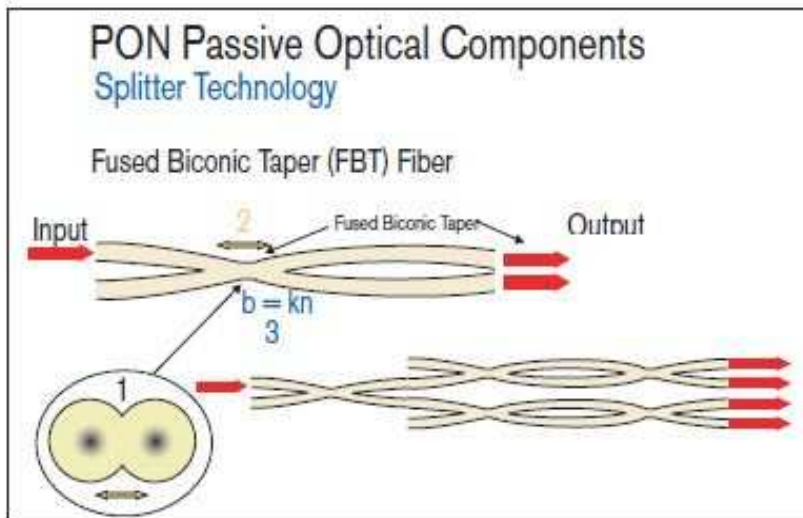
Number of Ports	Splitter Loss (dB) (excluding connectors and excess splitter loss)
2	3
4	6
8	9
16	12
32	15
64	18

Πίνακας 3.1 Απώλειες Οπτικου Διαχωριστή

Οι οπτικοί διαχωριστές μπορούν να έχουν διάφορα σχήματα και μεγέθοι, ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη τεχνολογία. Οι πιο κοινοί τύποι είναι ο επίπεδος κυματοδηγός, (συνήθως χρησιμοποιείται για υψηλές αναλογίες διαχωρισμού) Σχήμα 3.2. Ο δεύτερος είναι ο κωνικός με τη χρήση ηλεκτρικής σύντηξης (fusion) και χρησιμοποιείται για μικρές τιμές στην αναλογία διαχωρισμού. Σχήμα 3.3.



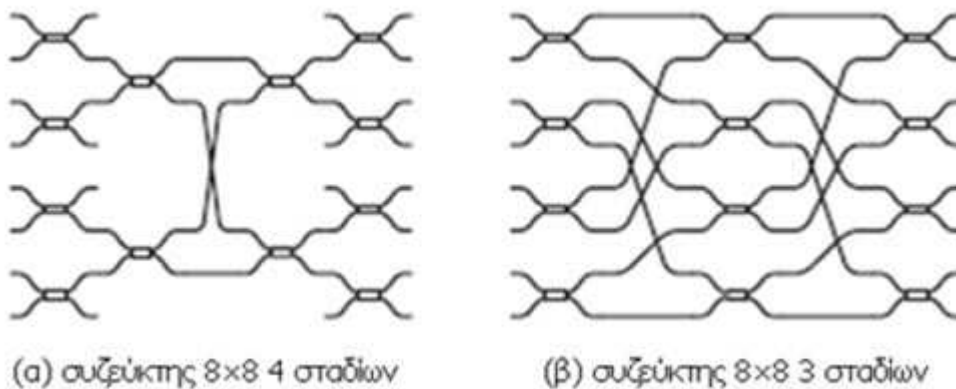
Σχήμα 3.2 Επίπεδος κυματοδηγός



Σχήμα 3.3 FBT Splitter

3.2 Οπτικοί διαιρέτες/συνδυαστές (optical splitters/combiners)

Το PON έχει μια παθητική συσκευή (δηλαδή δεν απαιτεί καθόλου ισχύ) για να διαιρεί το οπτικό σήμα από μια οπτική ίνα σε αρκετές οπτικές ίνες και, αντίστροφα, για να συνδυάζει τα οπτικά σήματα από πολλές οπτικές ίνες σε μία. Η συσκευή αυτή είναι ο οπτικός συζεύκτης (optical coupler). Στην πιο απλή του μορφή, ο οπτικός συζεύκτης αποτελείται από δύο οπτικές ίνες, ενωμένες μεταξύ τους μετά από τήξη. Η ισχύς του σήματος που εισέρχεται στη θύρα εισόδου διαιρείται μεταξύ των δύο θυρών εξόδου. Ο λόγος διαίρεσης (splitting ratio) της ισχύος ενός διαιρέτη μπορεί να ρυθμιστεί από το μήκος της κοινής περιοχής των δύο ινών μετά την τήξη τους και για αυτό το λόγο αποτελεί μια σταθερή παράμετρο.



Σχήμα 3.4 Συζεύκτες 8x8 που δημιουργούνται από πολλαπλούς συζεύκτες 2x2

Οι ΝΧΝ συζεύκτες κατασκευάζονται χρησιμοποιώντας σε βαθμίδες πολλαπλούς 2Χ2 συζεύκτες (Σχήμα 3.4) ή χρησιμοποιώντας τεχνολογία επίπεδου κυματοδηγού. Οι συζεύκτες χαρακτηρίζονται από τις ακόλουθες παραμέτρους:

- Απώλειες διαίρεσης (splitting loss): Ο λόγος του επιπέδου της ισχύος στην έξοδο του συζεύκτη προς το επίπεδο της ισχύος στην είσοδό του, και μετράται σε ντεσιμπέλ (dB). Για ένα ιδανικό συζεύκτη 2Χ2 με ίση διαίρεση ισχύος, η τιμή αυτού του λόγου είναι 3dB. Το Σχήμα 2.8 απεικονίζει δύο τοπολογίες για συζεύκτες 8Χ8 οι οποίοι βασίζονται στους συζεύκτες 2Χ2. Σε μια τοπολογία 4 σταδίων (Σχήμα 2.8α), παραδίδεται μόλις το 1/16 της ισχύος εισόδου σε κάθε έξοδο. Το Σχήμα 2.8β δείχνει ένα πιο αποτελεσματικό σχέδιο, που αποκαλείται δίκτυο διασύνδεσης πολλαπλών σταδίων [1]. Σε αυτή τη διεύθετηση, κάθε έξοδος λαμβάνει το 1/8 της ισχύος εισόδου.
- Απώλειες παρεμβολής(insertion loss): Πρόκειται για απώλειες ισχύος που προκύπτουν από ατέλειες που δημιουργήθηκαν κατά την κατασκευαστική διαδικασία του συζεύκτη. Τυπικά, η τιμή αυτών των απωλειών κυμαίνεται από 0.1 έως 1dB.
- Κατευθυντικότητα (directivity): Είναι η ποσότητα της ισχύος εισόδου που διαρρέει από μια θύρα εισόδου και προστίθεται σε μια άλλη θύρα εισόδου. Οι συζεύκτες είναι αρκετά κατευθυντικές συσκευές, με την παράμετρο κατευθυντικότητας να φτάνει τα -40 με -50 dB.

Πολύ συχνά, οι συζεύκτες κατασκευάζονται έτσι ώστε να έχουν μόνο μια είσοδο ή μια έξοδο. Ο συζεύκτης που έχει μόνο μία είσοδο αναφέρεται ως διαιρέτης (splitter). Ο συζεύκτης που έχει μόνο μια έξοδο λέγεται συνδυαστής (combiner). Μερικές φορές, οι συζεύκτες 2Χ 2 κατασκευάζονται αρκετά ασύμμετροι (με λόγο διαίρεσης 5/95 ή 10/90). Αυτού του είδους ο συζεύκτης χρησιμοποιείται για να δεσμεύει ένα μικρό ποσοστό της ισχύος του σήματος, π.χ. για σκοπούς παρακολούθησης. Αυτές οι συσκευές ονομάζονται συζεύκτες λήψης (tap couplers).

3.3 Συστήματα Πολυπλεξίας με Διαίρεση Μήκους Κύματος

Τα συστήματα Πολυπλεξίας με Πυκνή Διαίρεση Μήκους Κύματος (DWDM) προσφέρουν μεγάλη χωρητικότητα, με αυξημένο όμως κόστος. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται συνήθως για την κατασκευή μητροπολιτικών δικτύων και όχι δικτύων πρόσβασης. Σήμερα ωστόσο, είναι διαθέσιμες διάφορες τεχνολογίες οπτικής δικτύωσης ανάλογα με τις απαιτήσεις της εκάστοτε εφαρμογής. Για παράδειγμα, τα δίκτυα μεγάλων αποστάσεων (long haul networks) υιοθετούν τεχνολογίες που, ως επί το πλείστον, χρησιμοποιούνται για την τηλεπικοινωνιακή ζεύξη Αστικών Κέντρων μεταξύ απομακρυσμένων πόλεων (οι ενδεικτικές αποστάσεις ξεπερνούν τα 600 χλμ.). Μια τυπική κατηγοριοποίηση των λύσεων

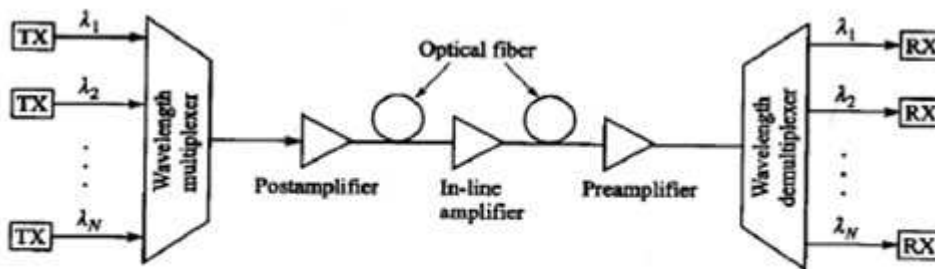
αυτών μπορεί να πραγματοποιηθεί με βάση το δείκτη «Κόστος ανά Bit ανά Χιλιόμετρο» (Cost/Bit/Km), όπου το κόστος καθορίζεται ως συνάρτηση της απόστασης. Οι εν λόγω λύσεις αποτελούνται από τεχνολογικά προηγμένα οπτικά μέρη, εκμεταλλεύονται μεγάλο αριθμό μηκών κύματος και χρησιμοποιούν ενισχυτές υψηλής οπτικής ισχύος ώστε να επιτυγχάνουν ταχύτητες μεταφοράς της τάξης των 10G, 40G και 100G. Η ιδέα της χρήσης συστημάτων WDM στα μητροπολιτικά δίκτυα κορμού (metro/regional WDM systems) είναι σχετικά νέα. Όπως συμβαίνει και στην περίπτωση των δικτύων μεγάλων αποστάσεων, τα εν λόγω δίκτυα χρησιμοποιούν επίσης προηγμένα ηλεκτρονικά και οπτικά στοιχεία, ενώ η συνεργασία τους με τα υπόλοιπα επίπεδα δικτύωσης είναι εξίσου ομαλή. Οι λύσεις αυτές κατηγοριοποιούνται τυπικά με βάση το δείκτη «Κόστος ανά Σύνδεση» (Cost/Connectivity) και συνήθως χρησιμοποιούνται ως σημεία «φόρτωσης» και «εκφόρτωσης» μεγάλου όγκου δεδομένων από και προς τα δίκτυα μεγάλων αποστάσεων. Όπως προαναφέρθηκε, χρησιμοποιούν παρόμοια οπτική τεχνολογία με τα δίκτυα αυτά, λειτουργώντας όμως σε μικρότερες ταχύτητες της τάξης των 2.5G και 10G. Επίσης, μέσω του Ρυθμιζόμενου Οπτικού Πολυπλέκτη Προσθαφαίρεσης Μηκών Κύματος (Reconfigurable Optical Add Drop Multiplexer R/OADM) προσφέρουν τη δυνατότητα απομακρυσμένης διαχείρισης των σημάτων που εισέρχονται και εξέρχονται από έναν οπτικό δακτύλιο μέσω του Κέντρου Λειτουργίας Δικτύου (NOC). Ωστόσο, οι εν λόγω λύσεις παραμένουν εξαιρετικά ακριβές και το κόστος τους είναι συγκρίσιμο με εκείνο των δικτύων μεγάλης απόστασης.

Εξάλλου, ένα πολύ σημαντικό στοιχείο που χαρακτηρίζει τα συστήματα WDM είναι η ανάγκη προσεκτικού σχεδιασμού του δικτύου και των μηκών κύματος που θα χρησιμοποιούν σε κάθε ζεύξη (wavelength planning). Δεδομένου ότι τα εν λόγω συστήματα χρησιμοποιούν συσκευές που αντιστοιχούν ένα οπτικό σήμα της περιοχής των 1310nm σε ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος της μπάντας ITU G.694, η αντιστοίχιση θα πρέπει να είναι μοναδική και στα δύο άκρα της ζεύξης (πομπός/δέκτης). Το γεγονός αυτό τα καθιστά μάλλον ακατάλληλα για τα δίκτυα πρόσβασης.

Ένας τρόπος παράκαμψης του προαναφερθέντος προβλήματος είναι η εγκατάσταση συντονιζόμενων διόδων laser (wavelength stabilized DFB laser) στις αντίστοιχες τερματικές συσκευές. Το κόστος όμως των διόδων αυτών είναι εξαιρετικά υψηλό, ενώ μπορούν να συντονίσουν μόνο σε συγκεκριμένα μήκη κύματος που ανήκουν σε συγκεκριμένες μπάντες. Το γεγονός λοιπόν ότι οι τελικές τερματικές συσκευές θα είναι «χρωματισμένες» (colored) δημιουργεί σοβαρούς προβληματισμούς αναφορικά με το συνολικό κόστος λειτουργίας του δικτύου (εγκατάσταση, διαχείριση, διατήρηση αποθεμάτων σε περίπτωση βλάβης κ.λπ.). Ωστόσο, τα πρόσφατα τεχνολογικά επιτεύγματα της οπτοηλεκτρονικής εξαλείφουν ουσιαστικά την ανάγκη χρήσης περίπλοκων laser που λειτουργούν σε συγκεκριμένα μήκη κύματος. Οι νέες τεχνικές διαμόρφωσης που αναπτύχθηκαν τα τελευταία χρόνια έπαιξαν καθοριστικό ρόλο στην άρση πολλών από τους περιορισμούς που υπήρχαν αναφορικά με τον πολύπλοκο σχεδιασμό εκχώρησης μηκών κύματος στις διόδους laser καθώς και τη διατήρηση εφεδρικών αποθεμάτων σε περίπτωση που η αντικατάστασή τους κριθεί αναγκαία.

3.4 Πολυπλέκτες διαίρεσης μήκους κύματος (WDM)

Η πολυπλεξία WDM είναι μια τεχνική η οποία χρησιμοποιείται ευρέως στα δίκτυα FTTH και είναι παρόμοια με την FDM όπου πολυπλέκονται διάφορες συχνότητες στο ίδιο κανάλι, με την διαφορά ότι στην WDM πολυπλέκονται μήκη κύματος. Τα δυο είδη πολυπλεξίας είναι παρόμοια λόγω της σχέσης μεταξύ μήκους κύματος και συχνότητας: $v = c/\lambda$, όπου v η ταχύτητα του κύματος. Η εφαρμογή της WDM επιτρέπει στον χρήστη να επεκτείνει την χωρητικότητα του δικτύου χωρίς εγκατάσταση παραπάνω οπτικού καλωδίου. Επιπλέον ένα WDM οπτικό κανάλι μπορεί να μεταφέρει κάθε είδους μετάδοση. Σχήμα 3.5.



Μία απλοποιημένη ζεύξη WDM

Σχήμα 3.5 Ζεύξη WDM

Ο πολυπλέκτης στη μεριά του πομπού συνδιάζει τα σήματα εισόδου και τα περνάει μέσα από την οπτική ίνα. Το σήμα ενισχύεται από έναν EDFA ή Raman οπτικό ενισχυτή και διαχωρίζεται ξανά στο αποπολυπλέκτη του δέκτη. Ο διαχωρισμός των μηκών κύματος πραγματοποιείται με την χρήση οπτικών φίλτρων παρεμβολής Fabry-Pérot. Τα φίλτρα αυτά αποτελούνται από δυο επίπεδες ανακλώμενες επιφάνειες οι οποίες περιέχουν ανάμεσά τους αέρα ή οποιοδήποτε άλλο υλικό. Η λειτουργία του διαχωρισμού βασίζεται στην παρεμβολή που προκαλείται ανέμεσα στην ανακλώμενη δέσμη και στις δυο επίπεδες επιφάνειες. Η παρεμβολή μπορεί να είναι εποικοδομητική ή καταστροφική. Η εποικοδομητική παρεμβολή συμβαίνει όταν η διαφορά φάσης των εκπεμπόμενων κυμάτων είναι 0, ενώ καταστροφική όταν $\delta \neq 0$.

3.5 Πολυπλέκτες CWDM

Η πολυπλεξία CWDM (Coarse Wavelength Division Multiplexing) έχει απόσταση μεταξύ των καναλιών 20nm και χρησιμοποιεί μήκη κύματος από 1270 μέχρι 1570nm. Παρουσιάζει χαμηλή απώλεια εισόδου και χαμηλό PDL (Polarization Depended Loss $\leq 0.1\text{dB}$). Το PDL δείχνει πόσο αλλάζει η ισχύς εξόδου του προσπίπτοντος κύματος όταν αλλάζει η πολικότητά του και δίνεται από τον τύπο: $\text{PDL} = 10\log(\text{Pmax}/\text{Pmin})$ όπου το πηλίκο Pmax/Pmin είναι η peak to peak διαφορά ισχύος του οπτικού σήματος σε συνάρτηση με την πολικότητά του. Η CWDM πολλαπλασιάζει την χωρητικότητα των υφισταμένων μονότροπων ινών συνδιάζοντας μέχρι 16 ITU-T G.694.2 συμβατά κανάλια σε μητροπολιτικά δίκτυα και σε εφαρμογές CATV. Αποτελούν μια χαμηλού κόστους προσέγγιση, για συστήματα που χρησιμοποιούν μικρής ακρίβειας πηγές laser και μια εναλλακτική λύση στα πιο ακριβά DWDM συστήματα.

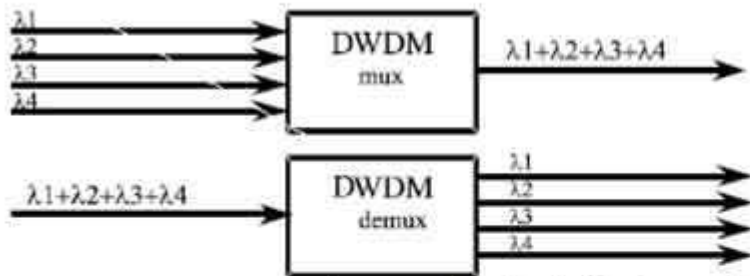
3.6 Πολυπλέκτες DWDM

Η πολυπλεξία DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) έχει απόσταση καναλιών από 100 έως 200 GHz (Σχήμα 3.6). Χρησιμοποιεί υψηλής ακρίβειας πηγή laser η οποία δημιουργεί κανάλια με μικρή απόσταση μεταξύ τους. Λειτουργεί στην μπάντα των 1550nm και μπορεί να αυξήσει δραματικά την χωρητικότητα του οπτικού δικτύου. Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται στην πολυπλεξία DWDM αποτελείται από laser υψηλής ακρίβειας, οπτικούς επαναλήπτες πολλαπλών μηκών κύματος (MOR) και ενισχυτές EDFA. Για πολυπλεξία DWDM η alfarphonet προσφέρει τους πολυπλέκτες σειράς SFW-D οι οποίοι παρουσιάζουν:

- Μεγάλο εύρος ζώνης καναλιού
- Μεγάλη απομόνωση γειτονικών καναλιών
- Χαμηλό PDL
- Μικρή χρωματική διασπορά
- Μικρό μέγεθος
- Πολλές επιλογές συσκευασίας

Technical specifications:

Block diagram of typical applications:



Λειτουργία πολυπλεξίας/αποπολυπλεξίας

Channel number	2	4	8	16	32	40
Insertion Loss, dB (typ)	1.4	1.6	2.6	3.8	4.8	5.2
Insertion Loss, dB (max)	1.8	2.0	3.2	4.5	5.5	6.0
Channel uniformity, dB	≤0.5	≤1.0	≤1.0	≤1.0	≤1.0	≤1.0
PMD, ps	≤0.10	≤0.10	≤0.10	≤0.15	≤0.15	≤0.15
PDL, dB	≤0.10	≤0.15	≤0.20	≤0.25	≤0.30	≤0.30
Isolation – adjacent channel, dB	≥25 dB					
Isolation – non adjacent channel, dB	≥45 dB					
Return loss	≥45 dB					
Directivity	≥50 dB					
Operating temperature*, °C	-5 to +65					
Storage temperature*, °C	-40 to +85					

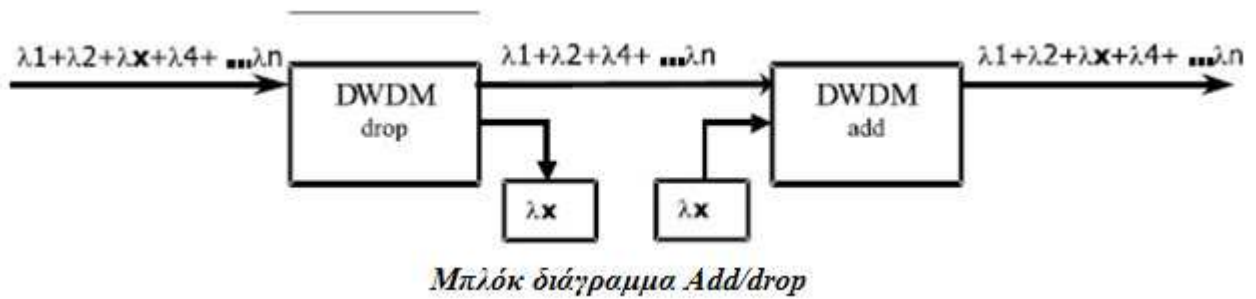
*) Conditioned by the cable type

Τεχνικά χαρακτηριστικά του SFW-D

Σχήμα 3.6

3.7 Πολυπλέκτες add/drop

Οι πολυπλέκτες DWDM και CWDM υποστηρίζουν την λειτουργία add/drop η οποία αφαιρεί ή προσθέτει ένα μήκος κύματος στο ήδη υπάρχων πολυπλεγμένο σήμα.



Σχήμα 3.7

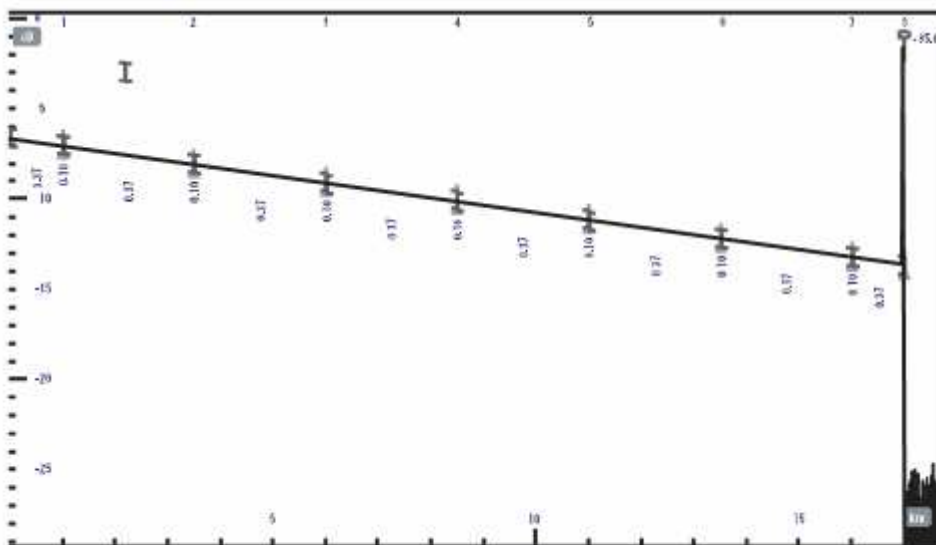
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΑΝΑΚΛΑΣΙΜΕΤΡΟ ΣΕ PON ΔΙΚΤΥΟ

4.1 Τυπικά Δείγματα Ανάλυσης

Σε αυτόν τον τομέα θα συγκρίνουμε δύο πιθανά σενάρια, ένα δίκτυο από σημείο σε σημείο (P2P) και ένα από σημείο σε πολλαπλά σημεία (P2MP), για να εξηγήσουμε πόσο σημαντικό είναι η ανάλυση σε PON δίκτυα.

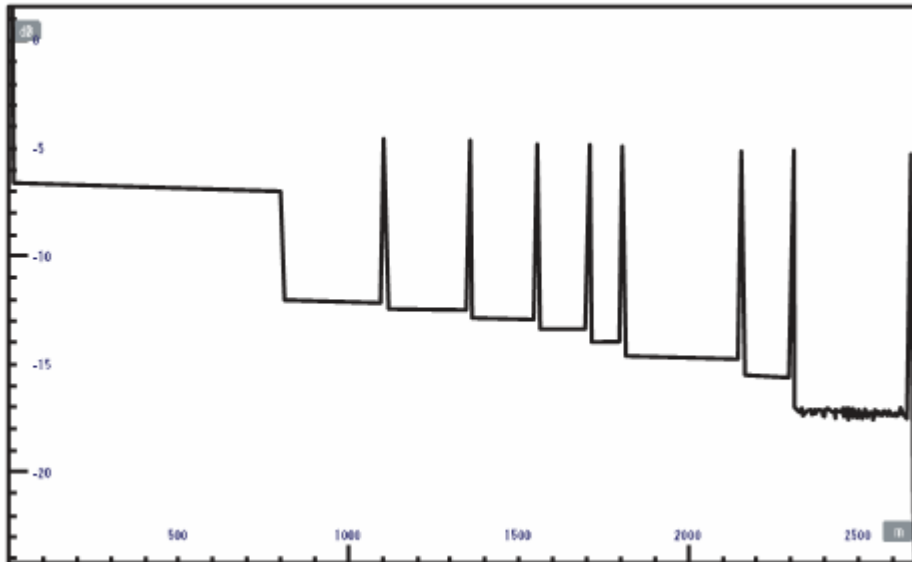
Για τα P2P δίκτυα, το οπτικό ανακλασίμετρο (OTDR) μπορεί να μας αποτυπώσει τις συγκολλήσεις και τις συνδέσεις κατά μήκος της διαδρομής που εξετάζουμε. Η ανάλυση είναι απλή και γίνεται από τα περισσότερα οπτικά ανακλασίμετρα (OTDRs) που υπάρχουν στην αγορά. Το OTDR παρέχει επίσης και ένα πίνακα με τα συμβάντα που υπήρχαν κατά την αποτύπωση της διαδρομής, τα οποία μπορούν να αποθηκευτούν για μελλοντική χρήση σε περίπτωση συντήρησης του οπτικού δικτύου.



Σχημα 4.1 OTDR τον εντοπισμό ενός δικτύου πυρήνα

Σε ένα PON δίκτυο, το OTDR μπορεί να μας δείξει σε ποια σημεία υπάρχει ο οπτικός διαχωριστής (Splitter), οι συγκολλήσεις και οι οπτικοί συνδετήρες. Πριν τον διαχωρισμό της ίνας, η ανάλυση του ανακλασίμετρου παραμένει ίδια όπως σε ένα P2P δίκτυο. Αλλά μετά τον διαχωριστή, η ανάλυση γίνεται πιο περίπλοκη. Με τα αποτελέσματα μόνο του OTDR κατά μήκος της ίνας και τα συμβάντα που αναγράφει, μπορούν να εντοπιστούν οι μετρήσεις από διαφορετικές εξόδους του οπτικού διαχωριστή (Splitter). Το OTDR δεν λαμβάνει υπόψιν τις εξόδους του διαχωριστή, μόνο αναλύει την ανάκλαση του φωτός ολόκληρου του δικτύου.

(Σχήμα 4.2). Όλες οι πληροφορίες βρίσκονται στην μέτρηση του OTDR, αλλά είναι απαραίτητο να αποκωδικοποιηθούν.



Σχήμα 4.2 OTDR Ανάλυση σε δίκτυο «Σημείου-σε-πολλαπλά-σημεία»

4.2 Εμφάνιση εξασθενήσεων με οπτικό ανακλασίμετρο σε PON δίκτυο

Υπάρχουν δύο τύποι εξασθένησης στην λαμβανόμενη οπισωσκέδαση από ένα σήμα σε μια ίνα όπου έχει περάσει από οπτικό διαχωριστή. Ο πρώτος τύπος, AC, εντοπίζεται στον διαχωριστή. Ο δεύτερος τύπος, AFEI εντοπίζεται στο τέλος κάθε κλάδου εξόδου του διαχωριστή. Αυτές οι εξασθενήσεις εξαρτώνται από τις παρακείμενες παραμέτρους (συντελεστές οπισωσκέδασης) καθώς και από τις παραμέτρους του διαχωριστή (προς τα εμπρός ή προς τα πίσω απώλειες εισαγωγής).

Για να καταλάβουμε καλύτερα την ανάλυση, ορίζεται μια πιο απλή μέθοδος της θεωρητικής. Χρειάζονται οι ακόλουθες υποθέσεις:

1. Οι διαφορετικές συνδεδεμένες ίνες στον διαχωριστή έχουν πολλά κοινά χαρακτηριστικά, συμπεριλαμβανομένης της αμφίδρομης συμμετρικής συμπεριφοράς, συντελεστές οπισωσκέδασης, και εξασθένησης.
2. Ο διαχωριστής έχει τα ίδια χαρακτηριστικά και για τις δύο κατευθύνσεις.

Λαμβάνοντας υποψιν και τις δύο αυτές υποθέσεις, οι διαφορετικοί τύποι εξασθένησης υπολογίζονται από τις ακόλουθους τύπους:

$$A_c = 5 \times \log(m) + E.L.$$

$$AF_{Ei} = 5 \times \log[(m-i+1)/(m-i)]$$

όπου E.L. είναι η excess loss του διαχωριστή, m ο αριθμός των εξόδων, και i ο εκάστοτε κλάδος που αναλύουμε.

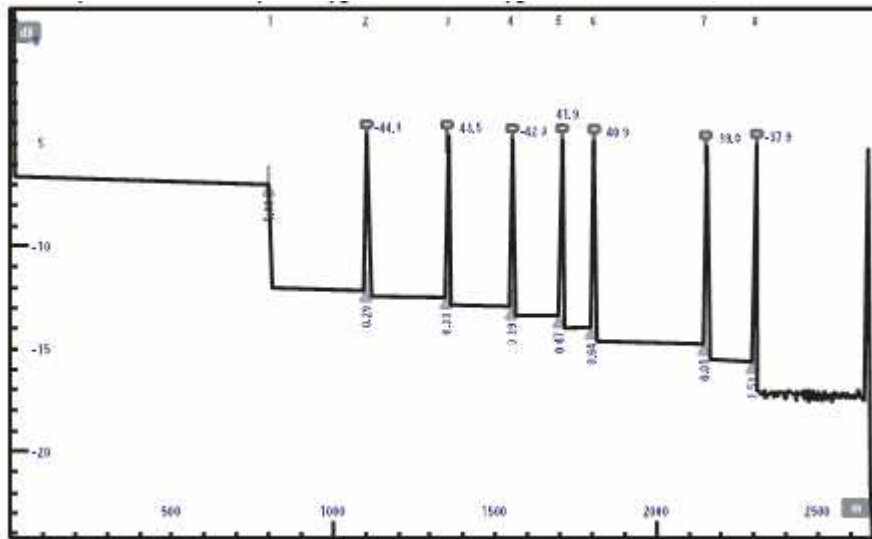
4.3 Μέθοδος ανάλυσης με οπτικό ανακλασίμετρο σε ένα PON

Αυτό το παράδειγμα χρησιμοποιεί έναν οπτικό διαχωριστή 1:8 με τις ίδιες υποθέσεις όπως στη θεωρητική μέθοδο. Ένα κοινό οπτικό ανακλασίμετρο (OTDR) χρησιμοποιείται για να εξασφαλίσει την απαιτούμενη μέτρηση. Η μέθοδος ανάλυσης απαιτεί την ανάκτηση φάσης (Acquisition Phase). Αυτή τη φάση χρησιμοποιεί ένα οπτικό ανακλασίμετρο. Αυτή η καινοτόμα προσομοίωση, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και από τα δύο δίκτυα σημείο-σε-σημείο (point-to-point) και σημείο-σε-πολλαπλά σημεία (point-to-multipoint). Επιπρόσθετα στην κλασική ίνα, ο οπτικός συνδετήρας, η συγκόλληση, και η προσομοίωση της εξασθένησης, οι αλγόριθμοι του προγράμματος ενσωματώνουν το n σε m συγκολήσεις βασισμένοι στην εξασθένηση που μας δείχνει η διαδικασία σύμφωνα με τους υπολογισμούς του A_c και του AF_{Ei} . [7]

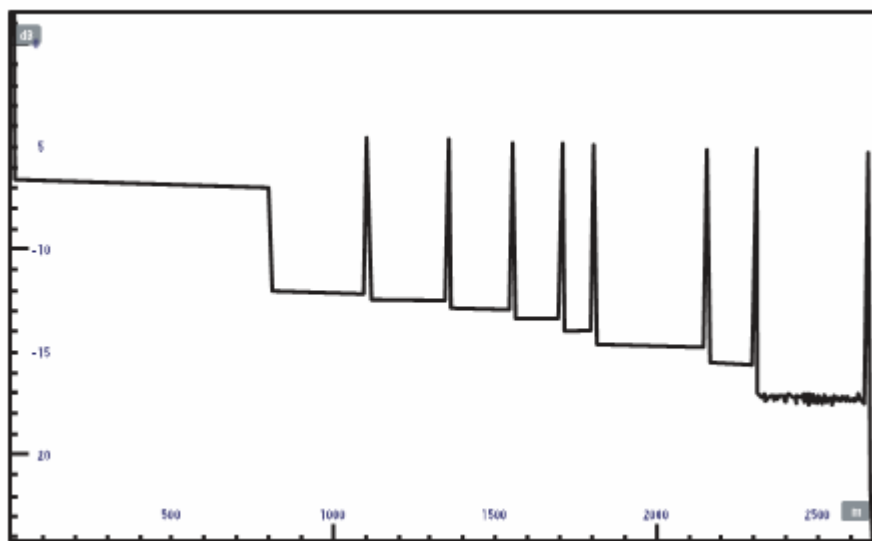
4.4 Φάση απόκτησης

Η φάση απόκτησης (Acquisition Phase) μπορεί να χωριστεί σε δύο βήματα:

1. Προσομοίωση απόκτησης σε οπτικό ανακλασίμετρο OTDR με τα δεδομένα κατασκευής (Σχήμα 4.3).
2. Απόκτηση στο πεδίο με OTDR κάτω από αληθινές συνθήκες (Σχήμα 4.4).
3. Συγρίνοντας μεταξύ δύο αποκτήσεων, περιλαμβανομένων των διακυμάνσεων λόγω της απόστασης.



Σχήμα 4.3 Προσομοίωση απόκτησης σε οπτικό ανακλασίμετρο OTDR με τα δεδομένα κατασκευής



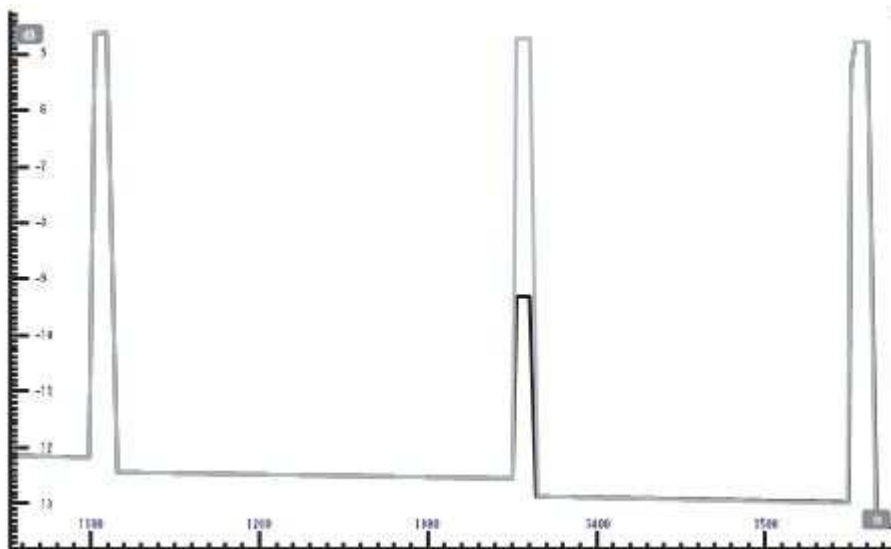
Σχήμα 4.4 Απόκτηση στο πεδίο με OTDR κάτω από αληθινές συνθήκες

4.5 Αναγνώριση Οπτικού Κλάδου

Κατά την διάρκεια της αναγνώρισης, δύο διαφορετικές πιθανότητες μπορούν να υπάρξουν:

1. Εξάλειψη της ανάκλασης (Fresnel) ή της εξασθένησης.

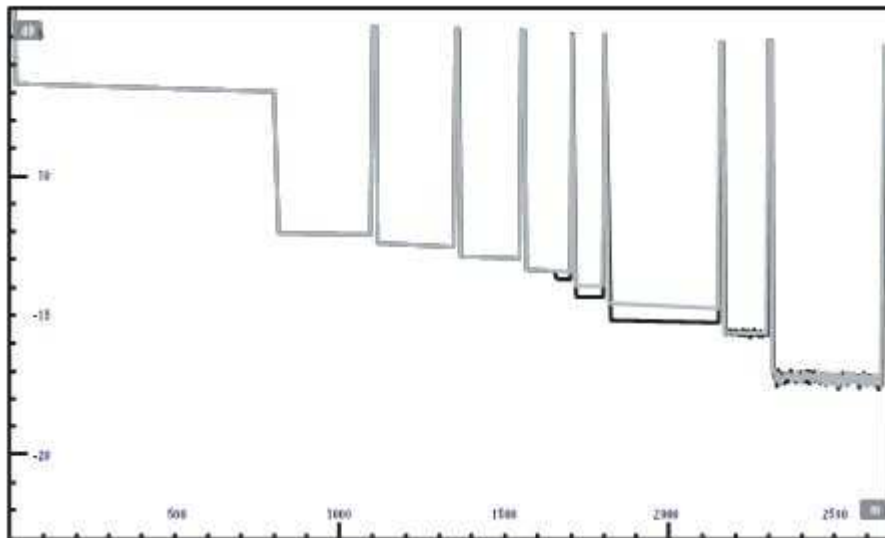
Όταν αναλύουμε το συγκρίσιμο μοτίβο και ανιχνεύεται ένα συμβάν, τότε ο επηρεαζόμενος οπτικός κλάδος μπορεί άμεσα να ταυτοποιηθεί. (Σχήμα 4.5)



Σχήμα 4.5 Ανάκλαση απόκλισης

4.6 Απόκλιση-Εξασθένηση

Κατά την ανάλυση στο συγκρινόμενο μοτίβο, αν ανιχνευτεί μια απόκλιση-εξασθένηση, τότε η επηρεαζόμενη ίνα είναι αυτή που τελειώνει στην ίδια απόσταση με την απόκλιση. (Σχήμα 4.6). Σε αυτό το παράδειγμα, επηρεάζεται ο κλάδος 6.

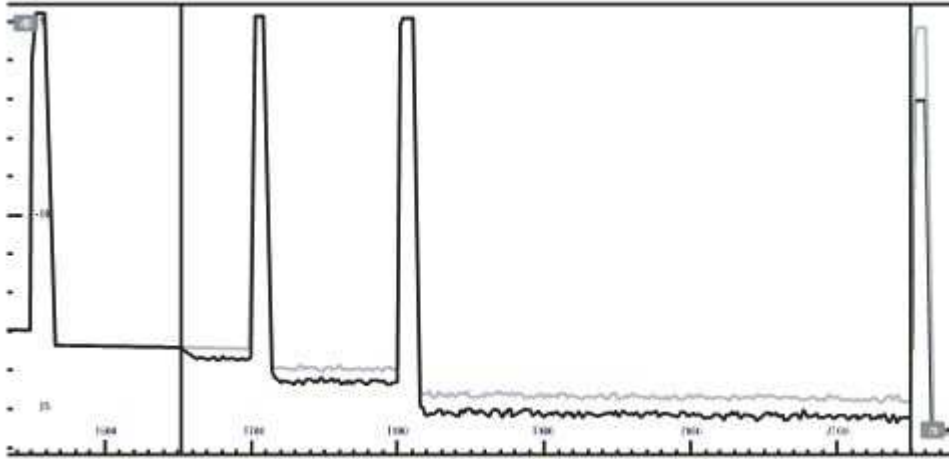


Σχήμα 4.6 Παρέκλιση Εξασθένησης

4.7 Εντοπισμός Σφαλμάτων και Εκτίμηση Εξασθένησης

Αφού εντοπίσαμε την απόσταση που ξεκινάει και εμφανίζεται η απόκλιση εξασθένησης, η τοποθεσία του σφάλματος μπορεί να εντοπιστεί.

Τελικά το λάθος μπορεί να συνδεθεί με το καταγραφόμενο συμβάν στο πλαίσιο αναφοράς του ανακλασίμετρου. Εξαιτίας των πολλαπλών κλάδων, το σφάλμα εξασθένησης μπορεί να υπολογιστεί από την απόκλιση-εξασθένηση μεταξύ των δύο καμπυλών (Σχήμα 4.7).



Σχήμα 4.7 Ο προσδιορισμός της θέσης και εξασθένηση της βλάβης

Χρησιμοποιώντας έναν πρότυπο προσομοιωτή, αν και μπορούμε να εισάγουμε έναν εικονικό εξασθενητή στον επηρεαζόμενο κλάδο και η εξασθένηση να αυξηθεί μέχρι να επιτευχθεί η ίδια απόκλιση από το πρότυπο αναφοράς. Αυτή η τεχνική επιτρέπει να προσεγγίσουμε το λανθασμένο επίπεδο εξασθένησης.

4.8 Ακρίβεια και Περιορισμοί στη Μέθοδο

Εξαιτίας αυτού του τύπου της ανάλυσης περιλαμβάνονται μετρήσεις και είναι απαραίτητο να επισημάνουμε την ακρίβεια και τους περιορισμούς. Όσον αφορά την ακρίβεια, εκφράζεται η ανησυχία πως η κύρια πηγή του σφάλματος βρίσκεται στην πραγματικότητα από τα μοντέλα προσομοίωσης και στην αβεβαιότητα κατά την εισαγωγή δεδομένων. Για παράδειγμα στους οπτικούς ενισχυτές μπορεί να χρειαστεί να εισάγουμε παραμέτρους και προς τις δύο κατευθύνσεις (εμπρός-πίσω). Οι οπτικές αποκλίσεις συντελεστή οπισθοσκέδασης προσθέτει κάποια αβεβαιότητα σχετικά με την εκτίμηση εξασθένησης και θα μπορούσε να ενταχθεί στο θεωρητικό τύπο.[7]

Εξάλλου, όταν μετράμε για τετοια δίκτυα (από ένα-σε-πολλαπλά σημεία) με μεγάλο αριθμό διαχωρισμού, η ευαισθησία εξαρτάται από το ποσοστό της συνεισφοράς οπισθοσκέδασης που χάνεται. Γι'αυτό, ευαισθησία εξαρτάται από την περιοχή της βλάβης σε σχέση με το που τελειώνει η οπτική ίνα.

Όπως και σε άλλες μετρήσεις OTDR, Ο λόγος σήματος προς θόρυβο (όπως για παράδειγμα, το δυναμικό εύρος) μπορεί να διαταράξει την απόκτηση. Εάν το δίκτυο έχει μεγάλη συνολική απώλεια, τότε η δυναμική περιοχή του OTDR μπορεί να μην είναι αρκετή για να παρέχει ένα ίχνος οπισθοσκέδασης σε όλο το μήκος της οπτικής ίνας. Ως εκ τούτου, είναι σημαντικό να έχουν αρκετό δυναμικό εύρος για να περάσει μέσω του διαχωριστή με την χρήση OTDR. Εάν το δίκτυο έχει κλάδους με παρόμοιες αποστάσεις, τότε το OTDR δεν μπορεί να διαφοροποιήσει τα διάφορα γεγονότα και τους κλάδους. Γι'αυτό το λόγω, τα καινούργια OTDRs σχεδιάζονται, παρέχουν δυνατότητα χωρικής ανάλυσης του ενός μέτρου η και

καλύτερης. Σε κάθε περίπτωση, εάν η έννοια της επίλυσης λαμβάνεται υπόψη κατά τη διάρκεια της κατασκευής του δικτύου για να αποφευχθεί οποιοδήποτε πρόβλημα, τότε η συντήρηση του δικτύου θα είναι ευκολότερο να εκτελέσει.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΠΡΑΚΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

5.1 Αποτύπωση GPON Δικτύου

Στο παρακάτω Σχήμα 5.1 αποτυπώνεται ένα δίκτυο GPON, όπως θα μπορούσε πρακτικά να είναι υλοποιήσιμο σε ένα παθητικό οπτικό δίκτυο. Τα υλικά που θα χρησιμοποιούνται είναι ένας μεταγωγέας (switch) που θα μας βοηθήσει να μεταφέρουμε τα πακέτα δεδομένων προς τους τελικούς χρήστες. Τα δεδομένα στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι:

A) Δεδομένα-Διαδίκτυο (Data-Internet)

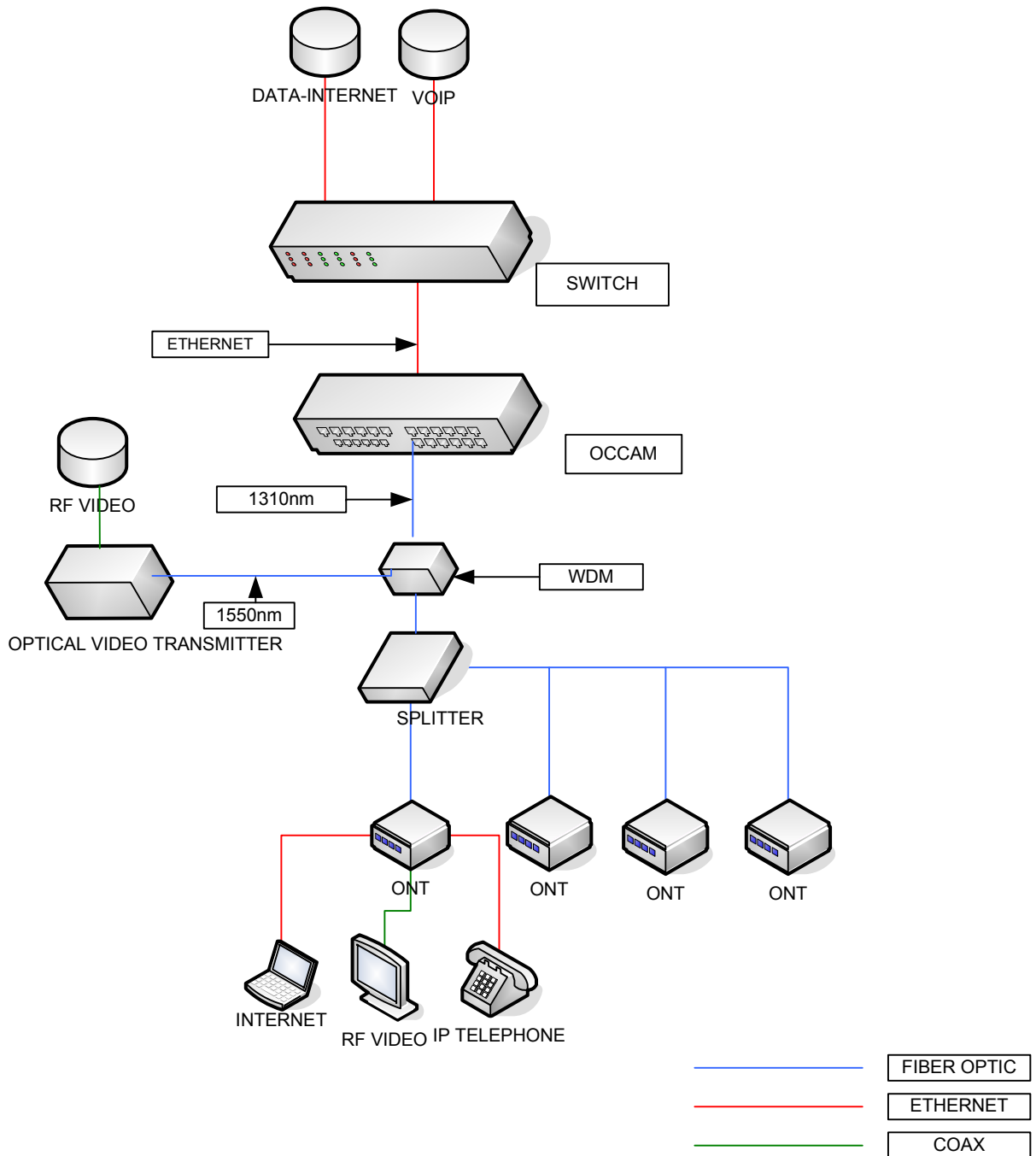
B) Τηλεφωνία VoIP (Voice Over Ip)

Στην ουσία με το παρουσιαζόμενο GPON δίκτυο θέλουμε να παρέχουμε υπηρεσίες Triple Play (Internet, Τηλεφωνία, RF-Video) σε χρήστες. Για να είναι εφικτή η μετάδοση των δεδομένων (A+B) μέσα από μία μόνο οπτική ίνα θα πρέπει να περάσουν από τον μεταγωγέα (Switch) μέσω Ethernet διασύνδεσης, και από εκεί στον μετατροπέα (Occam), ο οποίος θα μετατρέψει την όποια πληροφορία σε φως και θα τη στείλει στη συνέχεια με οπτική ίνα στον WDM (Wavelength Division Multiplexer) Πολυπλέκτη χρησιμοποιώντας το μήκος κύματος των 1310nm. Επίσης ο πολυπλέκτης θα λάβει ένα ακόμα σήμα, το RF-Video, το οποίο θα πρέπει πρώτα να μετατραπεί από πληροφορία σε φως, μέσω του Optical Video Transmitter για να σταλθεί τελικά μέσα από οπτική ίνα στο μήκος κύματος των 1550nm. Ο WDM στην εξοδό του θα μπορέσει να στείλει μέσα από μια και μόνο οπτική ίνα και τις πληροφορίες που έχει λάβει (A+B) στον οπτικό διαχωριστή.

Η οπτική ίνα που μεταφέρει τις υπηρεσίες στους χρήστες θα περάσει μέσα από τον οπτικό παθητικό διαχωριστή (Splitter) 2x32 (Δύο εισόδων -32 Εξόδων), ο οποίος θα αναλάβει να ισομοιράσει την εισερχόμενη ισχύ του στις 32 του εξόδους. Ως αποτέλεσμα του παθητικού αυτού διαχωρισμού θα έχουμε απώλειες της τάξης περίπου των 15dB σε κάθε έξοδο του οπτικού διαχωριστή, σε σχέση με την ισχύ του σήματος εισόδου. Κάθε μία έξοδος του διαχωριστή (Splitter) αντιστοιχεί και σε έναν χρήστη, ο οποίος για να λάβει τις παρεχόμενες υπηρεσίες θα πρέπει η οπτική ίνα που καταλήγει σε έναν αποπολυπλέκτη (ONT-Optical Network Terminal), ο οποίος κάνει την απαραίτητη αποδιαμόρφωση του σήματος, καταλήγει σε τρεις εξόδους και παρέχει στον τελικά τις παρεχόμενες υπηρεσίες που αναφέρονται παραπάνω.

Στο πρακτικό μέρος που ακολουθεί χρησιμοποιήθηκε ένας παθητικός οπτικός διαχωριστής (Splitter) και με τις κατάλληλες πειραματικές διατάξεις (Σχήμα 5.2) πάρθηκαν οι απαραίτητες μετρήσεις για να αποτυπωθούν οι πραγματικές απώλειες που θα συναντήσουμε κατά την κατασκευή ενός παθητικού (GPON) δικτύου, οι οποίες δεν

ταυτίζονται απόλυτα με τις θεωρητικές τιμές ,όπως αναφέρονται στο προηγούμενο κεφάλαιο.



Σχήμα 5.1 Αποτύπωση Γρον Δικτύου

5.2 Πειραματική Διαδικασία

Στο κεφάλαιο 3 αναφέρονται θεωρητικά οι μετρήσεις που θα μπορούσαμε να πάρουμε από ένα GPON δίκτυο με έναν διαχωριστή (splitter) 1:32 και οπτικές ίνες διαφορετικών μηκών στην έξοδό του. Πρακτικά όμως δε θα μπορούσαμε να πούμε ότι είναι εντελώς ρεαλιστικά τα αποτελέσματα που αποτυπώθηκαν στις μετρήσεις του ODTR, καθώς όπως θα δούμε παρακάτω, σε πειραματικό επίπεδο απέχουν αρκετά, τόσο στην οπτική απεικόνιση τους (Κεφάλαιο 4), όσο και στις πειραματικές τιμές της εξασθένησης που δημιουργούνται. Κατά το πειραματικό μέρος τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν είναι:

A) Ένας οπτικός διαχωριστής 2:32 (Splitter) Σχήμα 5.12.

B) Τρία διαφορετικά μήκη μονότροπων οπτικών καλωδίων και ινών (600m, 12500m, 674m)

Γ) Ένα οπτικό ανακλασίμετρο (OTDR) ως όργανο μέτρησης Σχήμα 5.13.

Δ) Ένα Fusion Splicer (για τις απαραίτητες οπτικές συγκολλήσεις)

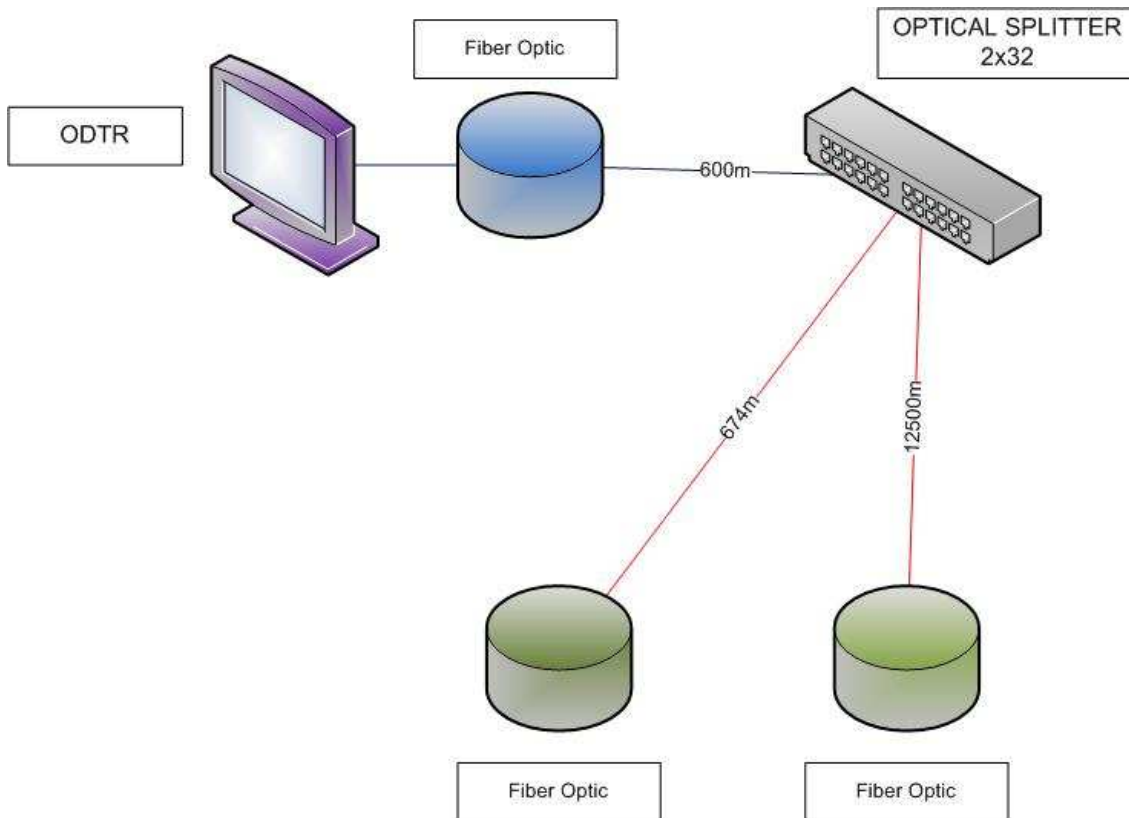
Ε) Τρεις προ-τερματισμένες μονότροπες οπτικές ίνες τύπου LC (pigtails)

Αρχικά έγιναν οι απαραίτητες συγκολλήσεις και διασυνδέσεις των οπτικών καλωδίων και ινών με τις προ-τερματισμένες ίνες με τη χρήση του Fusion Splicer ώστε να μπορούν να ενωθούν με τον παθητικό οπτικό διαχωριστή (Splitter) και το οπτικό ανακλασίμετρο (OTDR) όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.2. Χρησιμοποιήθηκε ο LC τύπος οπτικού συνδετήρα γιατί τόσο στην είσοδο, αλλά και στην έξοδο του οπτικού διαχωριστή υπάρχει ο αντίστοιχος οπτικός συνδετήρας (coupler), όπως και αντίστοιχα ο SC τύπος συνδετήρα στην είσοδο του οπτικού ανακλασίμετρου (OTDR).

Για την καλύτερη αποτύπωση των μετρήσεων στο όργανο μέτρησης (OTDR) θεωρήθηκε απαραίτητο να χρησιμοποιηθεί ένα μήκος οπτικής ίνας (600m) πριν την είσοδο του οπτικού διαχωριστή (splitter) ώστε να γίνεται πιο ευδιάκριτη η απώλεια που δημιουργεί. Τα άλλα δύο μήκη συνδέθηκαν σε δύο τυχαίες από τις 32 εξόδους του οπτικού διαχωριστή.

Οι τύποι καλωδίων που χρησιμοποιήθηκαν είναι τρεις, καλώδιο με επένδυση (Patchcord), καλώδιο για προτερματισμένες οπτικές ίνες (Pigtail) και οπτική ίνα χωρίς καμία επένδυση (extra light) όπως φαίνονται στο σχήμα 5.14, όπου είναι μια γενική άποψη του εργαστηριακού χώρου.

5.2.1 Σχεδιάγραμμα Διασυνδέσεων



Σχήμα 5.2

5.3 Σχόλια – Παρατηρήσεις

Για τις μετρήσεις που πήραμε με τη χρήση του οπτικού ανακλασίμετρου (OTDR), χρησιμοποιήσαμε διαφορετικές παραμέτρους, γιατί ο συνδυασμός τους, θα μας βοηθούσε στην καλύτερη αποτύπωση της απόστασης που είχαμε ορίσει. Χαρακτηριστικά, τα μήκη κύματος που χρησιμοποιήσαμε στις ρυθμίσεις του OTDR ήταν τα **1310nm, 1550nm** και τα **1620 nm**.

Σημαντικό ρόλο έπαιξε η είσοδος της οπτικής ίνας στον οπτικό διαχωριστή 2x32 (splitter) σχήμα 5.11, η οποία δημιούργησε μια απώλεια της τάξης των 15db θεωρητικά, καθώς τα μήκη κύματος που χρησιμοποιήσαμε στην εξοδό του, διαφοροποίησαν σε κάθε περίπτωση τα αποτελέσματα των μετρήσεων.

Στα 1620 nm δεν ήταν εφικτό να πάρουμε μετρήσεις των απωλειών ισχύος (Attenuation) σε σχέση με την απόσταση (Σχήμα 5.9) , όπως τις αντίστοιχες μετρήσεις όταν χρησιμοποιήσαμε το μήκος κύματος των 1550 nm(Σχήμα 5.5, Σχήμα 5.5, Σχήμα 5.8) και 1310nm(Σχήμα 5.3), στις οποίες η εξασθένηση που αποτύπωσε το οπτικό ανακλασίμετρο (OTDR) δεν είχαν σχεδόν καθόλου απόκλιση μεταξύ τους. Ανάλογα με το μήκος κύματος που χρησιμοποιούμε η συμπεριφορά της οπτικής ίνας διαφέρει, έτσι ώστε να λαμβάνουμε διαφορετικές τιμές εξασθένησης κάθε φορά στον πίνακα (Table) του οπτικού ανακλασίμετρου (ODTR).

Άλλοι δύο παράγοντες που έπαιξαν σημαντικό ρόλο στην αποτύπωση των αποτελεσμάτων ήταν η επιλογή του χρόνου παλμού (ns- nanosecond) και ο ορισμός του χρόνου απόκτησης (Acq.Time).

Στην πρώτη περίπτωση η επιλογή του χρόνου παλμού θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μικρότερη ώστε να επιτύχουμε καλύτερη ανάλυση των απωλειών ισχύος με καλύτερη ανάλυση ανα μέτρο. Αντίθετα ο χρόνος απόκτησης θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερος για να έχει τη δυνατότητα το οπτικό ανακλασίμετρο να επεξεργαστεί και να αποτυπώσει σωστότερα τα αποτελέσματα των μετρήσεων, εξασφαλίζοντας την απαιτούμενη λεπτομέρεια (Σχήμα5.6, Σχήμα5.7).

Όπως φαίνεται στα παρακάτω σχήματα, σε τρεις μόνο περιπτώσεις καταφέραμε να έχουμε ως αποτέλεσμα απώλειες ισχύος στα 1550 nm.Στις υπόλοιπες μετρήσεις το όργανο δεν μπόρεσε να καταγράψει τις απώλειες, μόνο κάποιες ανακλάσεις, χωρίς να σημαίνει αυτό ότι δεν κατάφερε να εντοπίσει το μήκος των οπτικών ινών, να το αποτυπώσει και να δώσει τυπικές τιμές απωλειών στο “ίχνος” τους (Σχήμα 5.6, Σχήμα 5.7, Σχήμα 5.9).

Στις μετρήσεις εξασθένησης που πήραμε, παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει σημαντική διαφοροποίηση μεταξύ τους και είναι ελάχιστα μικρότερες από τις θεωρητικές τιμές των απωλειών στις οποίες αναφερθήκαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο (15 dB). Οι τιμές έχουν ως εξής:

- 13,37 dB
- 13,36 dB
- 13,36 dB
- 14,33 dB

Η απόκλιση που υπάρχει της τάξης του ενός (1)dB σε μία από τις μετρήσεις, οφείλεται στο μήκος κύματος που χρησιμοποιήσαμε (1310nm), καθώς η συμπεριφορά της οπτικής ίνας διαφοροποιείται σε σχέση με τα άλλα μήκη κύματος, όπως εξηγήσαμε και πιο πάνω.

Σε όλες σχεδόν όμως τις κυματομορφές μπορούμε αν και με δυσκολία να αναγνωρίσουμε τα διαφορετικά μήκη οπτικών ινών και καλωδίων που χρησιμοποιήσαμε, το οποίο είναι πολύ σημαντικό σε περιπτώσεις συντήρησης σε ένα οπτικό δίκτυο. Σίγουρα είναι διαφορετικές οι θεωρητικές από τις πειραματικές μετρήσεις,όσον αφορά την οπτική αποτύπωση τους,η οποία είναι σαφώς καλύτερη στο Κεφάλαιο 4, που αναφερθήκαμε σε αντίστοιχες θεωρητικές μετρήσεις. Στις πειραματικές μετρήσεις τα όχι τόσο διακριτά “ίχνη” των οπτικών ινών είναι δυνατόν να οφείλονται στον εργαστηριακό εξοπλισμό που χρησιμοποιήθηκε.

Στις παρακάτω μετρήσεις, πρέπει να επισημάνουμε την εμφάνιση μιας ίνας περίπου 2258m-2259m, η οποία δεν θα έπρεπε να υπήρχε. Αυτό συμβαίνει εξαιτίας κάποιας ανάκλασης που δημιουργείται σαν είδωλο, καθώς το φως που διατρέχει την οπτική ίνα περνάει απο τον έναν δεικτη διάθλασης n_1 σε κάποιον άλλο n_2 το οπτικό ανακλασίμετρο μετράει ένα μέρος της διαφοράς αυτής ως ανάκλαση και μπορεί να αποθηκεύσει λάθος αποτέλεσμα στον πίνακα συμβάντων (Table).

5.4 Μετρήσεις με χρήση OTDR (Οπτικού ανακλασίμετρου)

Fiber Trace Viewer v5.44 © ACTERNA 8/2/2012 3:32:24 μs

File : 31 00101 62.sor Device : MTS 8000 Num. 1378
 Date : 25/1/2012 3:03:19 μμ Module : 8136HD Num. 743

Configuration

Technic. :	Way :	O->E	Backscatter coeff. :	-79,00 dB
ORIGIN	Origin :		Loss thresholds :	No (H-M)
Cable :	End :		Slope thresholds :	0,000 dB/km
Fiber :	Wavelength (nm) :	1319	Reflectance threshold :	All (H-M)
Color :	Index :	1,465000		
END	Pulse (ns) :	30		
Cable :	Range (km) :	20,464		
Fiber :	Acq. time :	20s		
Color :	Resolution :	1,25 m		

Comment :

Cable manufacturer :

Cable type :

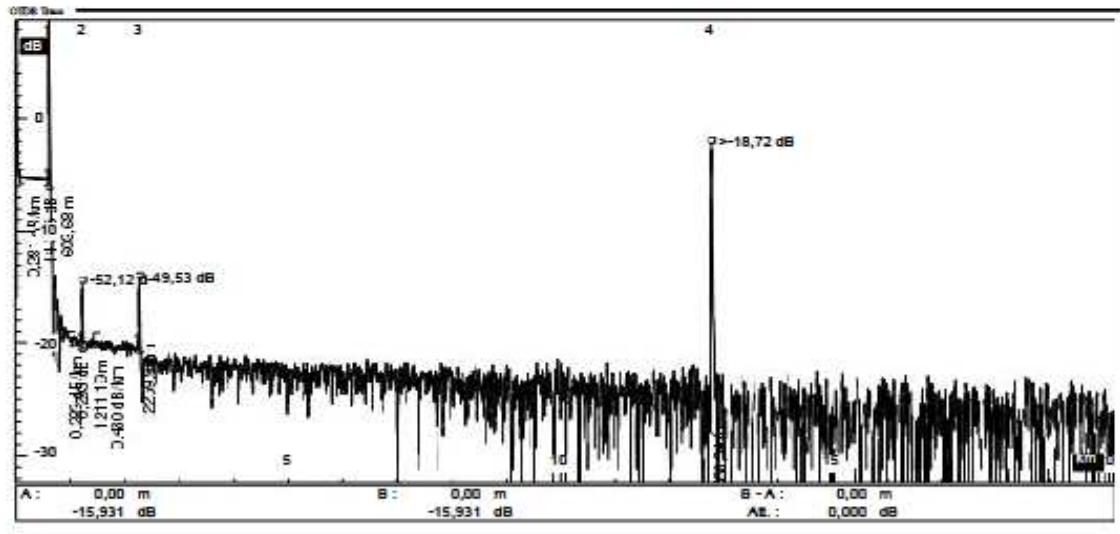
Fiber manufacturer :

Fiber type :

Contractor :

Project manager :

Operator :



Event (S)	Distance (m)	Attenuation (dB)	Reflectance (dB)	Slope (dB/km)	Rel. Dist. (m)	Link Budget (dB)	Uncertainty
1	603,68	14,336	-29,05	0,281	603,68	0,170	
2	1211,19	0,293	-52,12	0,223	607,51	14,708	
3	2259,95		-49,53	0,430	1048,76	15,358	
4	12768,04		>-18,72		10508,08	22,248	
5			<-29,75				

Σχήμα 5.3

Fiber Trace Viewer v5.44 © ACTERNA 02/2012 3:33:50 μμ 1

File : 55 00101 62.sor Device : MTS 8000 Num. 1378
 Date : 25/1/2012 3:01:54 μμ Module : 8136HD Num. 743

Configuration

Technic. :	Way :	O-->E	Backscatter coeff. :	-81,00 dB
ORIGIN	Origin :		Loss thresholds :	No (H-M)
Cable :	End :		Slope thresholds :	0,000 dB/km
Fiber :	Wavelength (nm) :	1558	Reflectance threshold :	All (H-M)
Color :	Index :	1,465000		
END	Pulse (ns) :	30		
Cable :	Range (km) :	20,464		
Fiber :	Acq. time :	20s		
Color :	Resolution :	1,25 m		

Comment :

Cable manufacturer :

Cable type :

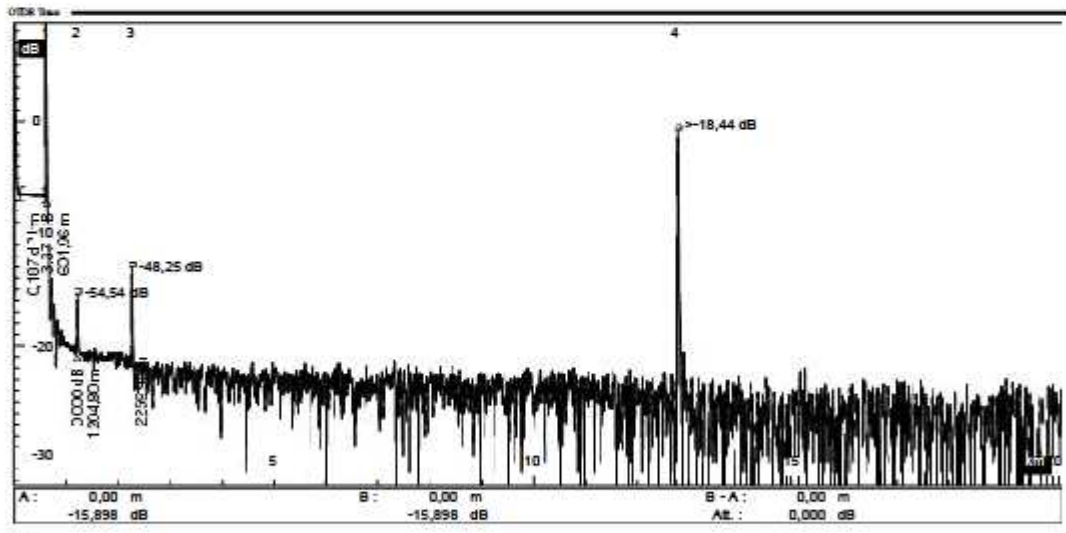
Fiber manufacturer :

Fiber type :

Contractor :

Project manager :

Operator :



Event (s)	Distance (m)	Attenuation (dB)	Reflectance (dB)	Slope (dB/km)	Rel. Dist (m)	Link Budget (dB)	Uncertainty
1	604,96	13,371	-28,86	0,187	604,96	0,113	
2	1204,80	0,000	-54,54		599,84	13,905	
3	2259,95		-48,25		1055,16	14,452	
4	12756,53		>-18,44		10496,57	26,298	
5			<29,66				

Σχήμα 5.4

Fiber Test Viewer v5.44 © ACTERNA 02/2012 3:34:23 μμ 1

File : 55 00201 62 12km.sor Device : MTS 8000 Num. 1378
 Date : 25/1/2012 3:06:12 μμ Module : 8136HD Num. 743

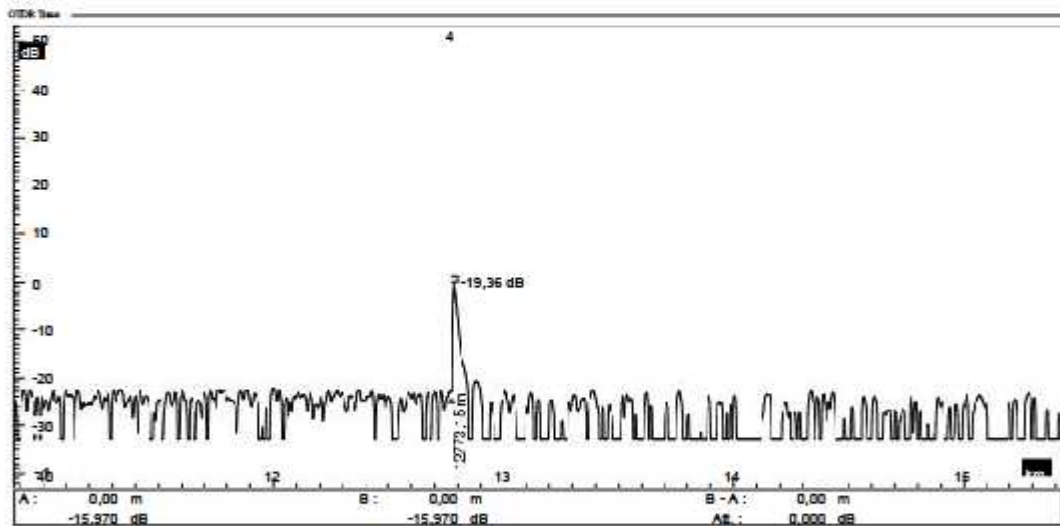
Configuration

Technic. :	Way :	O→E	Backscatter coeff. :	-81,00 dB
ORIGIN	Origin :		Loss thresholds :	No (H-M)
Cable :	End :		Slope thresholds :	0,000 dB/km
Fiber :	Wavelength (nm) :	1558	Reflectance threshold :	All (H-M)
Color :	Index :	1,465000		
END	Pulse (ns) :	30		
Cable :	Range (km) :	20,464		
Fiber :	Acq. time :	20s		
Color :	Resolution :	1,25 m		

Comment :

File

Cable manufacturer :
 Cable type :
 Fiber manufacturer :
 Fiber type :
 Contractor :
 Project manager :
 Operator :



Event (S)	Distance (m)	Attenuation (dB)	Reflectance (dB)	Slope (dB/km)	Rel. Dist. (m)	Link Budget (dB)	Uncertainty
1	604,96	13,360	-29,40	0,185	604,96	0,112	
2	1203,52	0,000	-53,49		598,56	13,959	
3	2259,95	2,277	-47,59		1056,44	14,803	
4	12773,15		-19,36		10513,20	16,586	
5			<30,11				

Σχήμα 5.5

Fiber Test Viewer v5.44 © ACTERNA 02/2012 3:35:03 μμ 1

File : 55 00201 62 100ns.sor Device : MTS 8000 Num. 1378
 Date : 25/1/2012 4:57:11 μμ Module : 8136HD Num. 743

Configuration

Technic :	Way :	O->E	Backscatter coeff. :	-81,00 dB
ORIGIN	Origin :		Loss thresholds :	No (H-M)
Cable :	End :		Slope thresholds :	0,000 dB/km
Fiber :	Wavelength (nm) :	1558	Reflectance threshold :	All (H-M)
Color :	Index :	1,465000		
END	Pulse (ns) :	30		
Cable :	Range (km) :	20,464		
Fiber :	Acq. time :	30s		
Color :	Resolution :	1,25 m		

Comment :

Cable manufacturer :

Cable type :

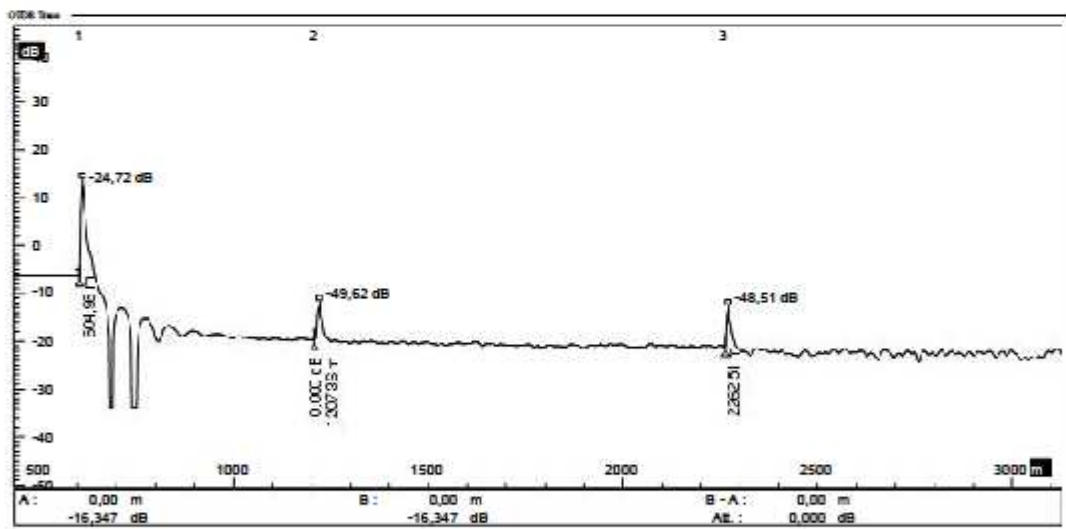
Fiber manufacturer :

Fiber type :

Contractor :

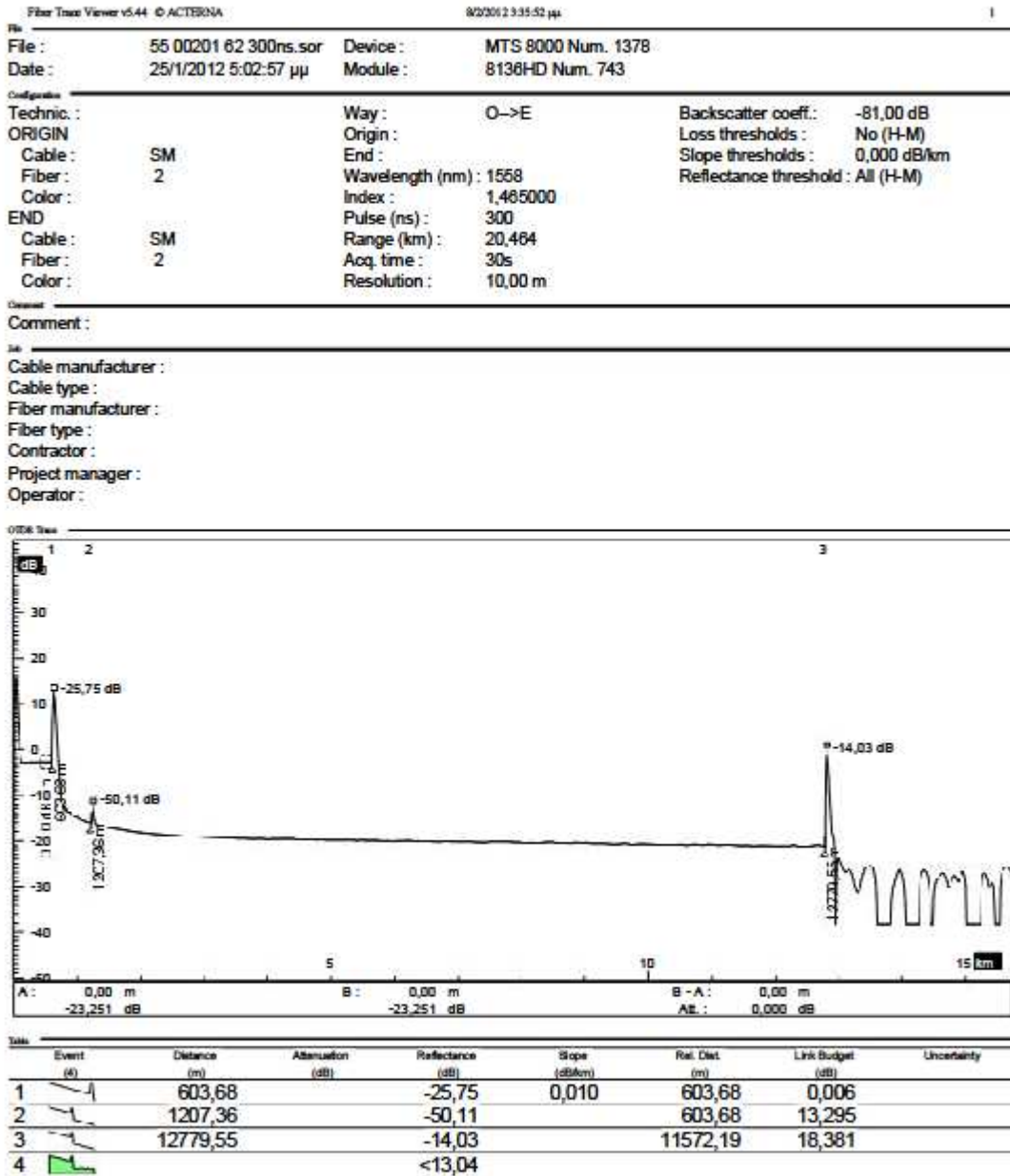
Project manager :

Operator :



Event (s)	Distance (m)	Attenuation (dB)	Reflectance (dB)	Slope (dB/km)	Rel. Dist. (m)	Link Budget (dB)	Uncertainty
1	604,96		-24,72	0,169	604,96	0,102	
2	1207,36	0,000	-49,62		602,40	13,281	
3	2262,51		-48,51		1055,16	14,706	
4	12769,32		>-18,16		10506,80	19,239	
5			<26,18				

Σχήμα 5.6



Σχήμα 5.7

Fiber Trace Viewer v5.44 © ACTERION 8/2012 3:36:32 µs 1

File: 55 00201 62 zoom start.sor Device: MTS 8000 Num. 1378
 Date: 25/1/2012 3:06:12 µµ Module: 8136HD Num. 743

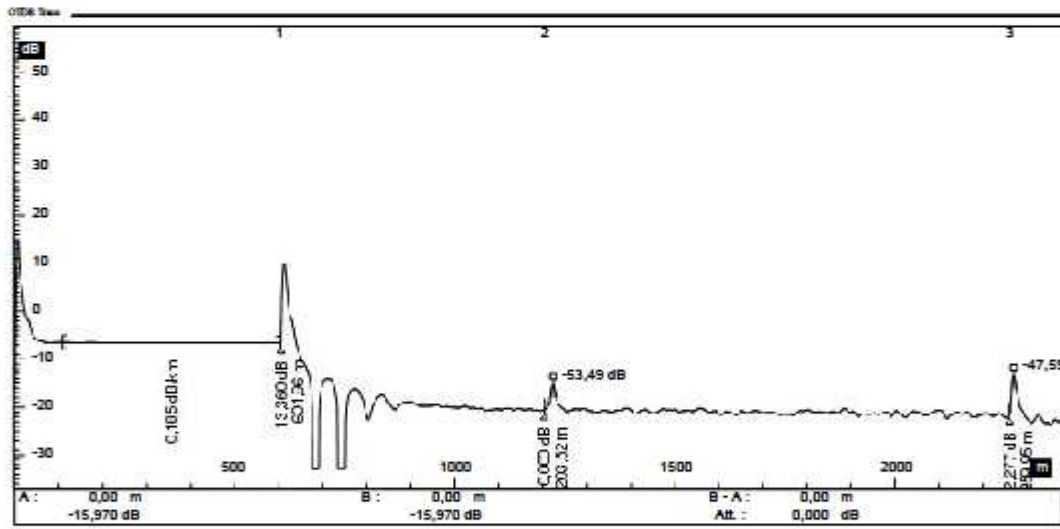
Configuration

Technic.:	Way:	O→E	Backscatter coeff.:	-81,00 dB
ORIGIN	Origin:		Loss thresholds:	No (H-M)
Cable: SM	End:		Slope thresholds:	0,000 dB/km
Fiber: 2	Wavelength (nm):	1558	Reflectance threshold:	All (H-M)
Color:	Index:	1,465000		
END	Pulse (ns):	30		
Cable: SM	Range (km):	20,464		
Fiber: 2	Acq. time:	206		
Color:	Resolution:	1,25 m		

Comment:

Job

Cable manufacturer:
 Cable type:
 Fiber manufacturer:
 Fiber type:
 Contractor:
 Project manager:
 Operator:



Event (s)	Distance (m)	Attenuation (dB)	Reflectance (dB)	Slope (dB/km)	Rel. Dist (m)	Link Budget (dB)	Uncertainty
1	604,96	13,360	-29,40	0,185	604,96	0,112	
2	1203,52	0,000	-53,49		598,56	13,959	
3	2259,95	2,277	-47,59		1056,44	14,803	
4	12773,15		-19,36		10513,20	16,586	
5			<30,11				

Σχήμα 5.8

File : 62 00101 62.sor Device : MTS 8000 Num. 1378
 Date : 25/1/2012 3:02:23 μμ Module : 8136HD Num. 743

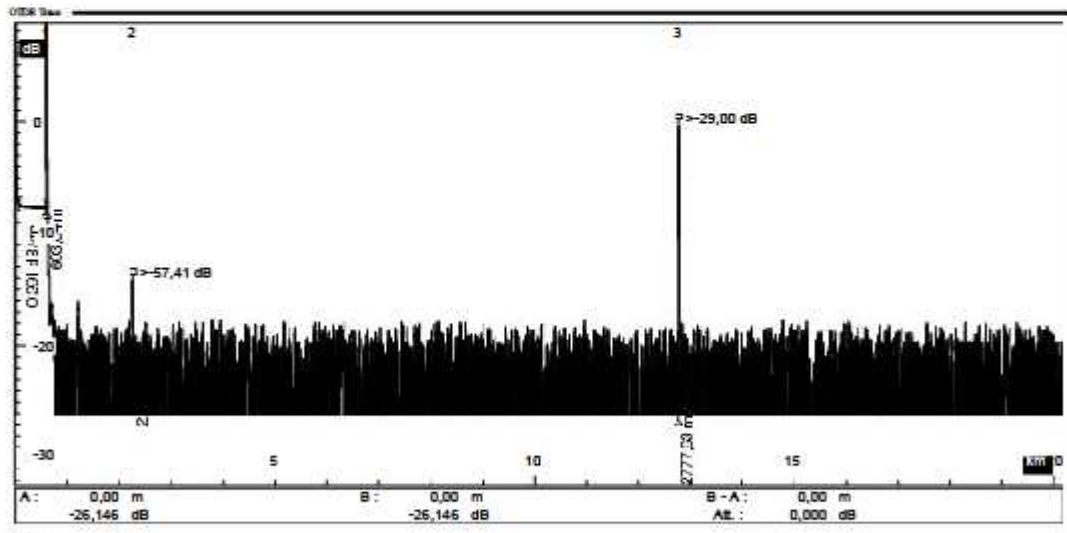
Configuration

Technic. :		Way :	O-->E	Backscatter coeff. :	-81,00 dB
ORIGIN :		Origin :		Loss thresholds :	No (H-M)
Cable :	SM	End :		Slope thresholds :	0,000 dB/km
Fiber :	1	Wavelength (nm) :	1620	Reflectance threshold :	All (H-M)
Color :		Index :	1,465000		
END :		Pulse (ns) :	10		
Cable :	SM	Range (km) :	20,464		
Fiber :	1	Acq. time :	50s		
Color :		Resolution :	64,00 cm		

Comment :

Job

Cable manufacturer :
 Cable type :
 Fiber manufacturer :
 Fiber type :
 Contractor :
 Project manager :
 Operator :



Event (s)	Distance (m)	Attenuation (dB)	Reflectance (dB)	Slope (dB/km)	Rel. Dist (m)	Link Budget (dB)	Uncertainty
1	603,04		-29,59	0,291	603,04	0,175	
2	2258,04		>57,41		1655,00	13,413	
3	12777,63		>29,00		10519,59	18,619	
4			<29,79				

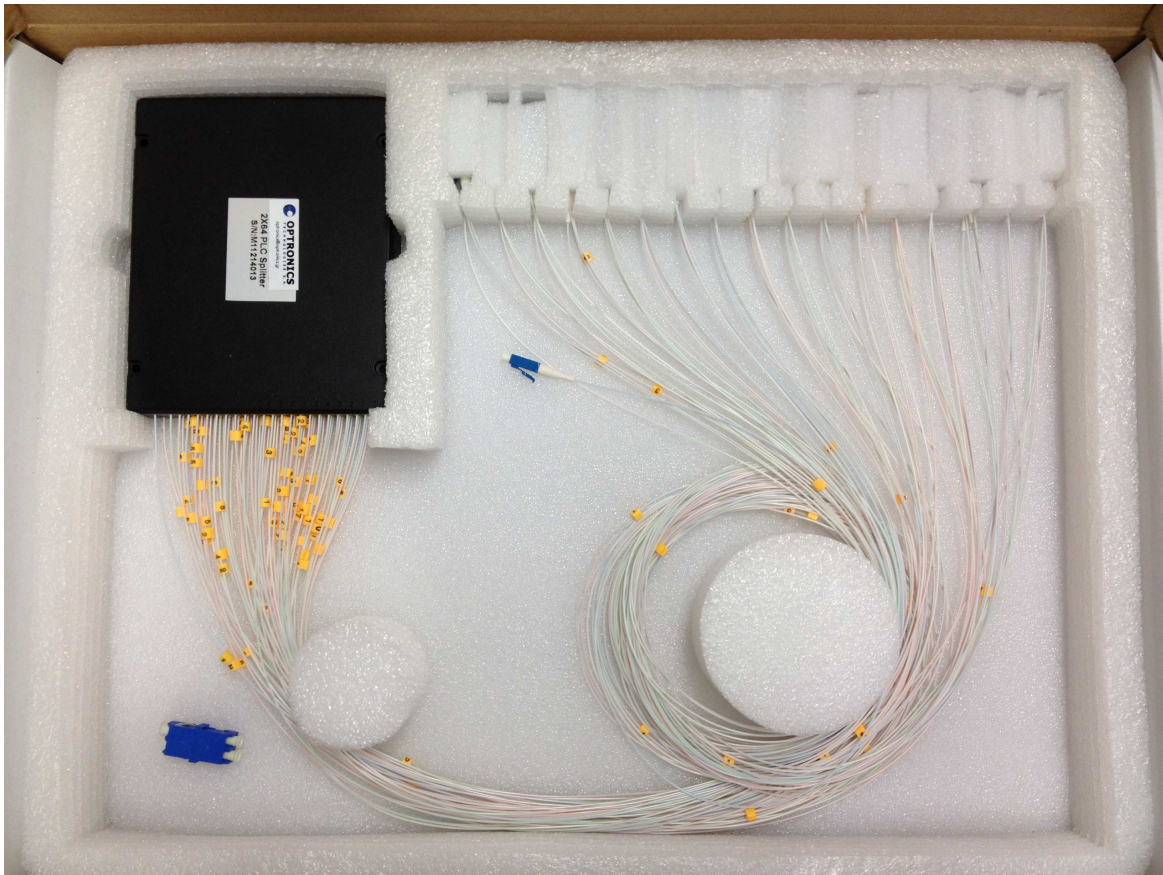
Σχήμα 5.9



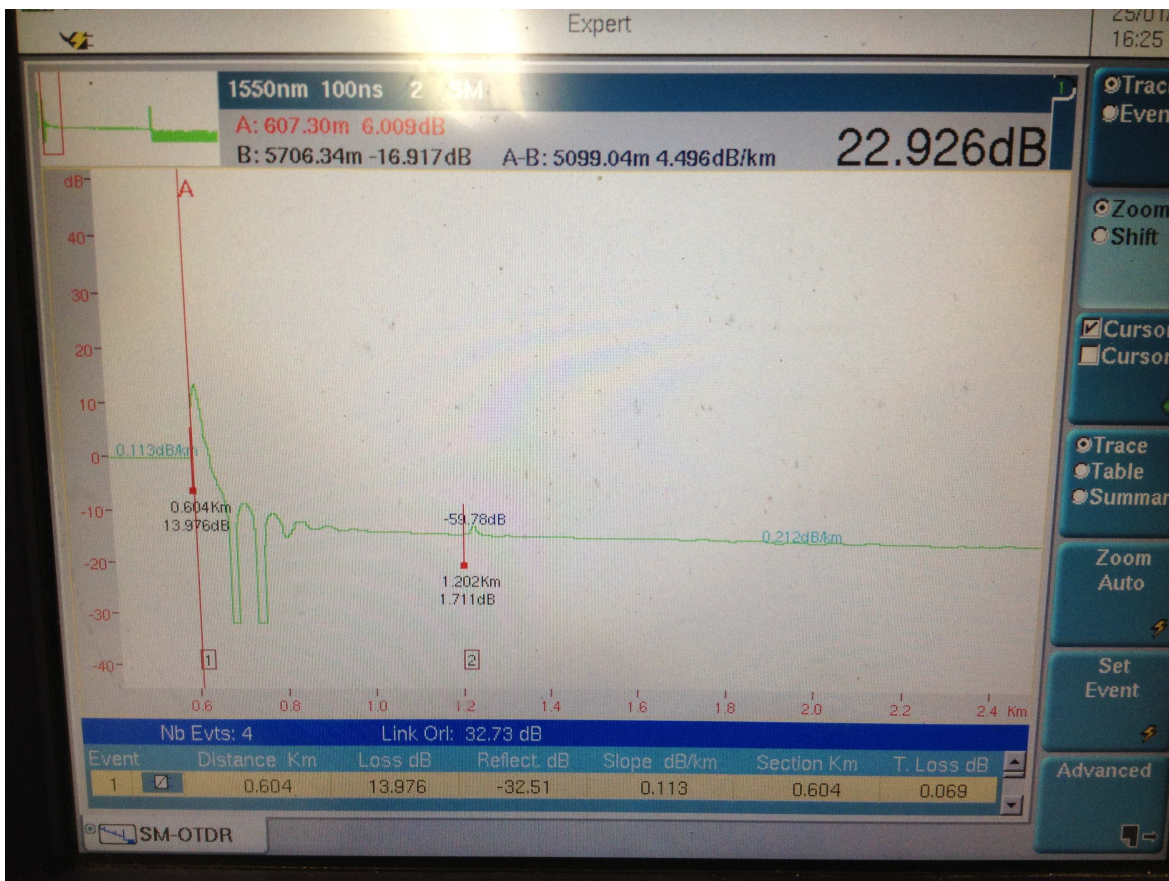
Σχήμα 5.10



Σχήμα 5.11



Σχήμα 5.12



Σχήμα 5.13



Σχήμα 5.14

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] B. Mukherjee, "Optical Communication Networks", McGraw-Hill, 1997
- [2] T. Koonen, "Fiber to the Home/Fiber to the Premises: What, Where, and When?", Proceedings of the IEEE, Vol. 94, No. 5, pp. 911-934, May 2006
- [3] Wikipedia, the free encyclopedia. <<http://en.wikipedia.org>>.
- [3] IEEE 802.3ah Ethernet in the first mile task force. [Online]. Available: <http://www.ieee802.org/3/efm/index.html>
- [4] F. Effenberger, D. Cleary, O. Haran, G. Kramer, R. Ding Li, M. Oron, T. Pfeiffer, "An Introduction to PON Technologies", IEEE Communications Magazine, pp. S17-S25, March 2007
- [5] R. Davey, F. Bourgart, and K. McCammon, "Options for Future Optical Access Networks", IEEE Communications Magazine, October 2006
- [6] FTTx-PON-Reference-Guide_JDSU
- [7] TriplePlayBook _JDSU_Oct_2007