

Optical Power Meter Measurements

Πρακτικές συμβουλές για μια σωστή μέτρηση
οπτικής ίνας με ισχύόμετρο

Άρθρο του **Παναγιώτη Γκούμα**
SOT
e-mail: pgoumas@sot.gr

Ο εντοπισμός τυχόν προβλημάτων που μπορεί να επηρεάζουν την λειτουργία μιας εγκατάστασης οπτικών ινών είναι αναπόσπαστο κομμάτι του συνόλου των εργασιών που πρέπει να πραγματοποιηθούν είτε αφορά νέα εγκατάσταση, είτε αφορά προληπτική συντήρηση ή αντιμετώπιση βλάβης μιας υφιστάμενης υποδομής.

Προκείμενου ένα καλώδιο οπτικών ινών να είναι κατάλληλο για χρήση, εκτελείται μια σειρά μετρήσεων για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών απόδοσης (fiber characterization) που μπορεί να επηρεάσουν τις τρέχουσες ή μελλοντικές εφαρμογές μιας οπτικής ζεύξης. Τα χαρακτηριστικά των ινών επιτρέπουν την αξιολόγηση της ποιότητας του οπτικού καλωδίου, συμπεριλαμβανομένων της αναγνώρισης του τύπου και της ποιότητας των ήδη εγκαταστημένων ινών. Ένας πλήρης χαρακτηρισμός μιας οπτικής καλωδίωσης σύμφωνα με το πρότυπο ITU-T G.650.3 περιλαμβάνει την επιθεώρηση της επιφάνειας των ακροδεκτών (Visual inspection), τον έλεγχο οπτικής συνέχειας (Visual tracing), την μέτρηση απώλειας οπτικής

ισχύς (IL - Insertion Loss), την μέτρηση απώλειας επιστροφής (ORL - Optical Return Loss), τον έλεγχο χρωματικής διασποράς (CD - Chromatic Dispersion), τη μέτρηση διασποράς κατά τη λειτουργία πόλωσης (PMD - Polarization Mode Dispersion) και φασματικής εξασθένησης.

Πρακτικά, μέσα από μετρήσεις και ελέγχους με τη βοήθεια κατάλληλων οργάνων μέτρησης οπτικών ινών πραγματοποιούνται βασικές ενέργειες όπως είναι:

- Ο υπολογισμός οπτικών απωλειών σε όλο το μήκος μιας οπτικής ζεύξης (από άκρη σε άκρη (E2E) και σε οποιοδήποτε στάδιο κατασκευής της).
- Η χαρτογράφηση μιας καλωδίωσης οπτικών ινών.

- Ο υπολογισμός του μήκους μιας οπτικής καλωδίου.
- Ο εντοπισμός σφαλμάτων εντός μιας υφιστάμενης οπτικής υποδομής.

Το πλέον σημαντικό είναι η γνώση των παραγόντων που πρέπει να ληφθούν υπόψιν (μήκος καλωδίου, εάν αφορά εσωτερική ή εξωτερική εγκατάσταση, μήκος κύματος λειτουργίας, αρχιτεκτονική δικτύου κ.α.) και οι εκάστοτε προδιαγραφές που πρέπει να ακολουθηθούν ώστε να αποφευχθούν λάθη και αστοχίες. Επιπλέον πρέπει να ληφθεί υπόψιν πως κάποιες μετρήσεις είναι απαραίτητες, άλλες είναι λιγότερο σημαντικές, άλλες απαιτούν πρόσβαση μόνο στο ένα άκρο, άλλες χρήζουν εξειδικευμένων γνώσεων και εμπειρίας και επομένως με σωστή οργάνωση μπορεί να γίνει επένδυση στον σωστό εξοπλισμό μειώνοντας τους χρόνους υλοποίησης των εργασιών, εξοικονομώντας χρήματα και παραμένοντας ανταγωνιστικοί στην αγορά εργασίας.

Φυσικά υπάρχουν αξιόπιστες εμπορικές All-in-ONE λύσεις οργάνων που συνδυάζουν πολλαπλές λειτουργίες (Multi Functions) όπως για παράδειγμα ένα OTDR το οποίο εμπεριέχει Optical Power Meter, Optical Light Source, Visual Fault Locator, Live port, link mapper Application κ.α. Ως επί τω πλείστω τέτοιες λύ-

σεις προσφέρουν ευελιξία και εξοικονόμηση χώρου και χρόνου άλλα δεν παύουν να είναι αρκετά δαπανηρές.

Στον Πίνακα 1, εμφανίζεται επιγραμματικά το κατάλληλο όργανο που πρέπει να χρησιμοποιηθεί με βάση την αντίστοιχη εργασία προς υλοποίηση.

Μέτρηση οπτικής ισχύος με Optical Power Meter (OPM)

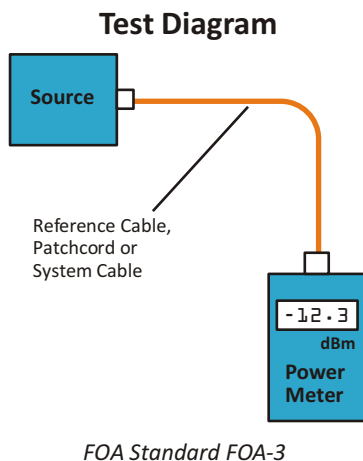
Ένα από τα πλέον αναγκαία όργανα ελέγχου που πρέπει να έχει πάντα στη εργαλειοθήκη του ένας εγκαταστάτης οπτικών καλωδίων είναι ο μετρητής οπτικής ισχύος - Optical Power Meter ή εν συντομία P.M.

Η οπτική ισχύς σχετίζεται με τη θερμαντική ισχύ του φωτός και το P.M. στην πραγματικότητα μετράει τη θέρμανση που προκαλεί η απορρόφηση του φωτός σε έναν φωτοανιχνευτή. Οι περισσότερες μετρήσεις οπτικών ινών βασίζονται στην οπτική ισχύ. Ελέγχεται η ισχύς στην έξοδο της πηγής μετάδοσης ή η ισχύς στην είσοδο του δέκτη. Οι μετρήσεις οπτικής ισχύος, χρησιμοποιούνται επίσης για την μέτρηση της απώλειας των ινών, των καλωδίων και άλλων μερών του συστήματος (βύσματα, μόνιμες συνδέσεις κ.α.).

Η οπτική ισχύς μετρείται με το P.M. συνδεδε-

Test	Instrument
Visual inspection of connectors	Fiber optic inspection microscope
Visual tracing - MM fibers	Fiber tracer (LED or flashlight)
Visual tracing and fault location	Visual fault locator (VFL)
Optical power	Fiber optic power meter
Insertion loss	Test source and power meter or optical loss test set (OLTS)
Cable plant testing - length, loss, reflectance and fault location	OTDR
Reflectance	OCWR or OTDR
Long distance fiber dispersion	Fiber characterization testers

Πίνακας 1. Fiber Optic Testing Requirements



Σχήμα 1. Μέτρηση Οπτικής Ισχύος μιας οπτικής πηγής

μένο με το καλώδιο του συστήματος ή με ένα δοκιμαστικό καλώδιο αναφοράς (reference cable). Η ισχύς μπορεί να μετρηθεί σε milli-Watts ή dBm (0dB αντιστοιχούν σε 1mW).

Το πρότυπο FOTP-95 της EIA/TIA καλύπτει τις μετρήσεις οπτικής ισχύος. Σύμφωνα με το πρότυπο η ποσότητα του φωτός που περνάει σε μία ίνα από μία πηγή υπολογίζεται τοποθετώντας ένα καλώδιο αναφοράς (patchcord) στην πηγή, ονομαζόμενο καλώδιο εκπομπής (Launch Reference Cable). Το καλώδιο που χρησιμοποιείται πρέπει να έχει βύσμα που να ταιριάζει με αυτό του πομπού και μέγεθος ίνας ίδιο με αυτό του συστήματος (50/125, 62,5/125 ή SM) γνωρίζοντας ότι η ισχύς εξαρτάται από το μέγεθος του πυρήνα της ίνας. Ο προσαρμοστής (coupler) του P.M. πρέπει να ταιριάζει με το προσαρμοστή του καλωδίου για να επιτρέπει την μεταξύ τους σύνδεση. Πριν πραγματοποιηθεί μέτρηση θα πρέπει το όργανο να έχει ρυθμιστεί κατάλληλα ώστε να μετράει σε dBm ή Watt άλ-

λα και στο σωστό μήκος κύματος (wavelength). Στον Πίνακα 2 αναγράφονται ορισμένα τυπικά επίπεδα ισχύος των συστημάτων οπτικών ινών.

Έλεγχος οπτικών απωλειών με OLTS (Optical Loss Test Sets)

Μια διάταξη ελέγχου οπτικών απωλειών αποτελεί συνδυασμό ενός οργάνου μέτρησης ισχύος οπτικών ινών P.M. με κάποια συμβατή οπτική πηγή και χρησιμοποιείται για τη μέτρηση απωλειών σε ίνες, βύσματα και τερματισμένα καλώδια.

Ο έλεγχος απωλειών εισαγωγής (Insertion loss) προσομοιώνει τον τρόπο με τον οποίο θα χρησιμοποιηθεί το καλώδιο πάνω στο σύστημα. Μία πηγή, παρόμοια με την πηγή του σήματος, χρησιμοποιείται για να εισάγει φως στο καλώδιο ελέγχου. Ένα P.M. χρησιμοποιείται για να υπολογισθούν οι απώλειες από την έξοδο της πηγής, έως το άκρο της καλωδίωσης που ελέγχεται.

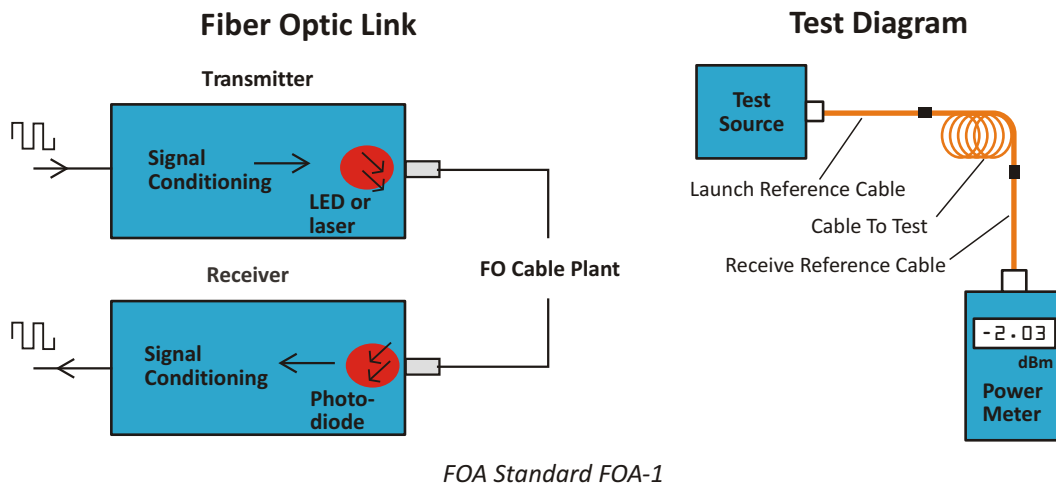
Με τον έλεγχο OLTS δύο άκρων, μετρώνται οι απώλειες της ίνας και των βυσμάτων και στα δύο άκρα, συν οτιδήποτε ενδιάμεσα. Πριν την πραγματοποίηση ενός ελέγχου δύο άκρων με OLTS θα πρέπει να έχει ελεγχθεί ότι:

- Η πηγή ταιριάζει με τον τύπο της πηγής του συστήματος (LED ή Laser) και με το μήκος κύματος (850 ή 1300 για LED και 1300, 1310 ή 1550 nm για Laser).
- Το P.M. έχει βαθμονομηθεί σε NIST (πρότυπο US national standards labs) και να μπορεί να μετρήσει στα κατάλληλα μήκη κύματος (850, 1310 ή 1550nm).

Network Type	Wavelength, nm	Power Range, dBm	Power Range, W
Telecom	1310, 1550	+3 to -45 dBm	50 nW to 2mW
Datcom	650, 850, 1300	0 to -30 dBm	1 to 100uW
CATV, DWDM	1310,1550	+20 to -6 dBm	250 uW to 10mW

<https://www.thefoa.org/tech/ref/testing/test/power.html>

Πίνακας 2. Optical power levels typical of fiber optic communication systems



Σχήμα 2. Μέτρηση Οπτικής Ισχύος μιας οπτικής πηγής με εξασθένιση

Σημείωση: Τα όργανα μέτρησης οπτικής ισχύος παρουσιάζουν μια αβεβαιότητα διακρίβωσης περίπου +/- 5%, συγκριτικά με τα πρότυπα NIST.

- Τα καλώδια αναφοράς (Reference Cables) είναι κατάλληλα και παρέχουν τις συνθήκες για τη μέτρηση των απωλειών.
- Έχουν επιλεχθεί οι κατάλληλοι προσαρμοστές (couplers), ίδιου τύπου, ανάλογα με την εκάστοτε συνδεσμολογία.
- Τα καθαριστικά είναι κατάλληλα για καθαρισμό των βυσμάτων.

Πως πραγματοποιείται μια σωστή μέτρηση

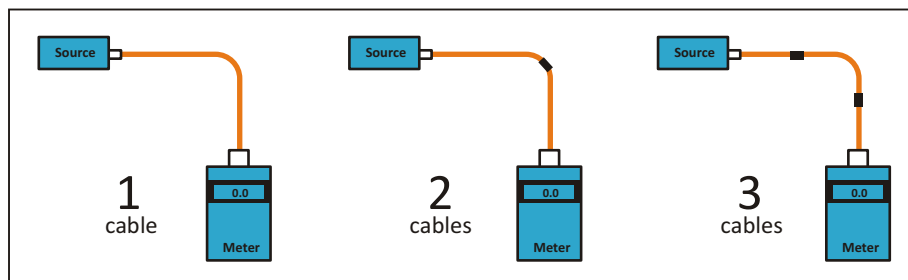
Δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί μια μέτρηση καλωδίου οπτικών ινών με χρήση ενός P.M. και μίας πηγής εάν δεν έχει αρχικά ρυθμιστεί (calibration) κατάλληλα το P.M., ώστε να δίνει τις πραγματικές απώλειες της καλωδίωσης και όχι μεγαλύτερες ή μικρότερες. Σε όλες τις μεθόδους μετρήσεων, σύμφωνα με τα πρότυπα TIA OFSTP-14(MM)/OFSTP-7(SM), χρησιμοποιούνται τουλάχιστον 2 ειδικά καλώδια αναφοράς (launch reference cable, receive reference cable). Δεδομένου ότι ο τύπος της οπτικής ίνας είναι ίδιος σε όλο το μήκος της συνολικής καλωδίωσης, εφόσον δεν επιτρέπεται η διασύνδεση διαφορετικού τύπου ίνας, ο παράγοντας που καθορίζει την μεθοδολογία μέτρησης που

θα ακολουθείται, είναι ο τύπος των βυσμάτων που εμπεριέχονται στη καλωδίωση. Ελέγχεται εάν τα βύσματα του καλωδίου του P. M. και της πηγής είναι ίδιου ή διαφορετικού τύπου.

Έτσι λοιπόν, σύμφωνα με τα πρότυπα του TIA, οι τρόποι υλοποίησης μιας οπτικής μέτρησης είναι οι παρακάτω:

Αρχικοποίηση (0dB reference) με ένα καλώδιο αναφοράς (launch cable)

Η μέθοδος ενός άκρου "1 cable reference" ή Method B χρησιμοποιείται όταν όλα τα βύσματα της συνδεσμολογίας (καλωδίου, προσαρμοστή πηγής και P.M.) είναι του ίδιου τύπου. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η παρακάτω: Αρχικά ορίζεται η ισχύς αναφοράς. Αυτό πραγματοποιείται συνδέοντας την πηγή απευθείας με το P.M. μέσω του καλωδίου εκπομπής. Στη συνέχεια μηδενίζεται η ένδειξη του οργάνου, επιτυγχάνοντας ισχύ αναφοράς μηδενικών απωλειών (0dB reference). Σε αυτό το σημείο χρειάζεται προσοχή μην αποσυνδεθεί το καλώδιο εκπομπής από την πηγή και χαθεί η ρύθμιση. Συνδέεται διαδοχικά το άκρο που αφαιρέθηκε από το καλώδιο εκπομπής (launch cable), με το καλώδιο ελέγχου (test cable), το καλώδιο λήψης (receive cable) και το P.M. Με αυτόν τον τρόπο υπολογίζονται οι απώλειες από τα βύσματα των συνδέσεων, στα άκρα του καλωδίου



Σχήμα 3. Τρόποι αρχικοποίησης συστήματος OLTS

ελέγχου, όπως και οι απώλειες από την ενδιάμεση καλωδίωση. Ο ανιχνευτής του μετρητή, είναι τόσο μεγάλης διατομής και ευαισθησίας, που απορροφά όλο το φως και συνεπώς δεν δημιουργεί απώλειες το βύσμα του καλωδίου λήψης, το οποίο συνδέεται στον μετρητή.

Αρχικοποίηση (0dB reference) με δύο καλώδια αναφοράς (launch and receive cables)

Για την πραγματοποίηση μέτρησης με τη μέθοδο αρχικοποίησης δύο άκρων, ("2 cables reference" ή αλλιώς Method A), χρησιμοποιούνται 2 καλώδια αναφοράς όπου εκτός από το καλώδιο εκπομπής, συνδέεται ένα επιπλέον καλώδιο αναφοράς, το καλώδιο λήψης (receive cable). Η συγκεκριμένη μεθοδολογία εφαρμόζεται όταν τα βύσματα διαφέρουν μεταξύ τους όπως για παράδειγμα ST βύσμα στα άκρα του καλωδίου ελέγχου (test cable) και SC στους υποδοχείς της πηγής και του P.M. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η παρακάτω:

Αρχικά ορίζεται η ισχύς αναφοράς. Αυτό πραγματοποιείται συνδέοντας διαδοχικά: πηγή με

καλώδιο εκπομπής, προσαρμογέα, καλώδιο λήψης και P.M. Αφαιρείται το ένα βύσμα του καλωδίου λήψης από τον προσαρμογέα ώστε να τοποθετηθεί το καλώδιο ελέγχου ανάμεσα στο καλώδιο εκπομπής (launch cable) και το καλώδιο λήψης (receive cable). Με τον τρόπο αυτό υπολογίζονται οι απώλειες και από τα δύο βύσματα του καλωδίου (test cable), όπως και οι απώλειες ανάμεσά τους.

Αρχικοποίηση (0dB reference) με τρία καλώδια αναφοράς - εκπομπής, λήψης και ένα "χρυσό" καλώδιο αναφοράς (launch, receive and a "golden" reference cable)

Η μέτρηση με τη μέθοδο τριών καλωδίων αναφοράς, ("3 Cables Reference" ή αλλιώς Method C), χρησιμοποιεί 3 καλώδια αναφοράς: εκπομπής, λήψης και ένα ακόμα καλώδιο το επωνυμαζόμενο "Χρυσό" (golden cable). Η μέθοδος αυτή έχει την μεγαλύτερη απόκλιση ως μέτρηση συγκριτικά με τις άλλες δύο και χρησιμοποιείται μόνο όταν δεν μπορεί να μετρηθεί διαφορετικά η καλωδίωση. Για παράδειγμα όταν είναι διαφορετικά βύσματα στο καλώδιο ελέγχου και με διαφορετικά ferrules όπως LC βύσμα με SC βύσμα. Σε αυτή την περίπτωση χρησιμοποιείται ένα καλώδιο αναφοράς (golden) με τα αντίστοιχα βύσματα (LC to SC). Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η παρακάτω:

Αρχικά ορίζεται η ισχύς αναφοράς. Αυτό πραγματοποιείται συνδέοντας διαδοχικά: πηγή, καλώδιο εκπομπής, προσαρμογέα, χρυσό καλώδιο, προσαρμογέα, καλώδιο λήψης και P.M. Αφαιρείται το χρυσό καλώδιο και τοποθετείται



Reference Method (OFSTP-14)	Reference Cables	Connectors Included in Reference Measurement	Estimated reduction in measured loss	Estimated increase in errors
2 Cable Reference	2, launch and receive	1	0.2-0.75 dB	+/-0.2 dB
1 Cable Reference	1, launch	0	0 dB	0 dB
3 Cable Reference	3, launch, receive and "golden cable"	2	0.4-1.5 dB	+/-0.25 dB

<https://www.thefoa.org/tech/ref/testing/5ways/fiveways.html>

Πίνακας 3. Reference methods for fiber optic loss testing

στη θέση του το καλώδιο μέτρησης.

Ο Πίνακας 3 αφορά τις 3 μεθόδους ελέγχου οπτικής απώλειας.

Σε κάθε νέα εγκατάσταση οπτικής καλωδίωσης, θα έπρεπε να εκτελούνται μετρήσεις ποιότητας με OLTS & Power Meter σύμφωνα με τις προδιαγραφές των παγκοσμίων προτύπων ITU, EIA/TIA & ISO. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων θα πρέπει να βρίσκονται εντός των φυσιολογικών ορίων λειτουργίας που προβλέπονται από τους ανωτέρω φορείς ώστε το συνολικό power budget του δικτύου να διατηρείται σε ικανοποιητικά και αποδεκτά επίπεδα. Δυ-

στυχώς ενώ οι μετρήσεις με P.M. υπάρχουν σχεδόν πάντα μέσα στις προδιαγραφές και το scope of work του πελάτη, σχεδόν ποτέ δεν γίνονται απαιτητές απ' τους ίδιους, ζητώντας μόνο μετρήσεις με OTDR.

 **ΑΝΑΦΟΡΕΣ**

- FOA Reference Guide To Fiber Optics And Study Guide To FOA Certification
- FOA Standards - The Fiber Optic Association (FOA-1, FOA-2, FOA-3)
- ITU-T Recommendations (ITU-T Rec. G.650.3)
- TIA/EIA Standard (FOTP-95, OFSTP-7, OFSTP-14)

Λίγα λόγια για τον αρθρογράφο



Ο κ. **Παναγιώτης Γκούμας** γεννήθηκε στην Αθήνα & έλαβε το πτυχίο του Μηχανικού Υπολογιστικών Συστημάτων από το Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά (2008, Πειραιάς). Ολοκλήρωσε εκπαίδευση ενήλικων και δια βίου μάθησης στο τμήμα πρωτοβάθμιας Εκπαίδευσης, στο Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών (2017, Αθήνα) & έλαβε Πιστοποιητικό Εκπαιδευτικής Επάρκειας από την ΑΣΠΑΙΤΕ (2019, Αθήνα). Από το 2013 μέχρι σήμερα ηγείται του SCHOOL OF TELECOMS (Πειραιάς, Ελλάδα) ως επικεφαλής εκπαίδευσης. Έχει εκπαιδεύσει και προετοιμάσει πολλούς εκπαιδευόμενους ως μελλοντικούς τεχνικούς πεδίου. Έχει ειδικευση σε τεχνολογίες οπτικών ινών: Fiber optics communications, F.O Architecture, Termination and Splicing, Installation, Design and Safety. Πέρα από τις εκπαιδευτικές του δραστηριότητες είναι υπεύθυνος έργων στην εταιρεία Combotech.

Εάν επιθυμείτε το COMMUNICATION SOLUTIONS να δημοσιεύσει περισσότερα άρθρα για **Fiber Optics** επικοινωνήστε μαζί μας στο: info@comsol.gr