



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**Μελέτη, υλοποίηση και εργαστηριακή ανάλυση
επικοινωνιακών συστημάτων οπτικών ινών σε
περιβάλλον Matlab/Simulink**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

ΚΑΡΑΓΙΑΝΝΗ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑ

(ΑΕΜ: 3121)

Επιβλέπων : Βαγιονάς Χρήστος
Επιστημονικός Συνεργάτης

Καστοριά Οκτώβριος - 2024



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

**Μελέτη, υλοποίηση και εργαστηριακή ανάλυση
επικοινωνιακών συστημάτων οπτικών ινών σε
περιβάλλον Matlab/Simulink**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

της

ΚΑΡΑΓΙΑΝΝΗ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑ

(ΑΕΜ: 3121)

Επιβλέπων : Βαγιωνάς Χρήστος
Επιστημονικός Συνεργάτης

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 25/10/24

Σπυρίδων Νικολάου
Λέκτορας

Βαρδάκας Ιωάννης
Αναπληρωτής Καθηγητής

Βαγιωνάς Χρήστος
Επιστημονικός Συνεργάτης

Καστοριά Οκτώβριος - 2024

Copyright © 2024 – ΚΑΡΑΓΙΑΝΝΗ ΕΛΕΥΘΕΡΙΑ

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν αποκλειστικά τον συγγραφέα και δεν αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πανεπιστημίου Δυτικής Μακεδονίας.

Ως συγγραφέας της παρούσας εργασίας δηλώνω πως η παρούσα εργασία δεν αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και δεν περιέχει υλικό από μη αναφερόμενες πηγές.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή μου, Δρ. Βαγιωνά Χρήστο για την αδιάλειπτη υποστήριξη, την καθοδήγηση και την πολύτιμη συμβολή του σε όλη τη διάρκεια της εκπόνησης αυτής της πτυχιακής εργασίας. Ακολουθώ, το Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Σχολή Θετικών Επιστήμων, Τμήμα Πληροφορικής πρώην ΤΕΙ Δυτικής Μακεδονίας, Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών (Σ.Τ.ΕΦ), Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής Τ.Ε. που αποφοιτώ για την υποστήριξη και τις γνώσεις που μου παρείχαν, σε όλη διάρκεια των σπουδών μου. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον συνεργάτη μου, για την παροχή πληροφοριών σχετικά με τις διαφορετικές κατηγορίες οπτικών ινών και τις χρησιμοποιούμενες τεχνολογίες και εξοπλισμό συγκόλλησης και εγκατάστασης οπτικών ινών σε εγκατεστημένα δίκτυα πρόσβασης χρηστών, σε πραγματικά περιβάλλοντα FTTH, που χρησιμοποιήθηκαν κατά την εκτέλεση της πτυχιακής εργασίας, στο επαγγελματικό υπόβαθρο που χρησιμοποιήθηκε.

Περίληψη

Η συγκεκριμένη πτυχιακή εργασία εξετάζει την μελέτη και την υλοποίηση επικοινωνιακών συστημάτων οπτικών ινών και διατρέχει ένα μέρος εργαστηριακών αναλύσεων με το πρόγραμμα Matlab/Simulink. Στο πρώτο κεφάλαιο, προβάλλονται τα βασικά χαρακτηριστικά και οι κατηγορίες των οπτικών ινών και δικτύων. Στη συνέχεια, διερευνάται η χρονική ιστορική ανάδρομη και η εξέλιξη της δομής των οπτικών ινών. Επιπλέον, τεκμηριώνονται οι μηχανισμοί και τα φαινόμενα, τα οποία αντιμετωπίζονται κατά τη μετάδοση του οπτικού σήματος διαμέσου μιας οπτικής ίνας, που είναι η εξασθένιση, η διασπορά, τα μη γραμμικά φαινόμενα και τα φαινόμενα πόλωσης. Στο δεύτερο κεφάλαιο, παρουσιάζεται, αναλυτικά, ο συνήθης εξοπλισμός, που χρησιμοποιείται για την εγκατάσταση οπτικών ινών σε πραγματικό πεδίο, όπως για παράδειγμα συγκόλληση οπτικών ινών σε πραγματικά δίκτυα οπτικής ίνας στο σπίτι (Fiber To The Home - FTTH), σε συνεργασία με μία εταιρία που αναλαμβάνει σχετικές εγκαταστάσεις και ανάπτυξη δικτύου εκ μέρους ενός από τους μεγαλύτερους τηλεπικοινωνιακούς παρόχους της Ελλάδος, με εκτενή παρουσίαση, βιβλιογραφική μελέτη των χαρακτηριστικών προδιαγραφών σε διαφορετικούς τύπους οπτικών ινών. Η παρούσα μελέτη συγκρίνει τις θεωρητικές τιμές των προδιαγραφών, οι οποίες αναφέρονται στη βιβλιογραφία, ως προς τις ρεαλιστικές τιμές που επιτυγχάνουν οι εμπορικές διαθέσιμες τεχνολογίες οπτικών ινών, που χρησιμοποιούνται και εγκαθίστανται σήμερα στα οπτικά δίκτυα πρόσβασης FTTH. Αξίζει να σημειωθεί πως, τη δεδομένη στιγμή, στο συγκεκριμένο τομέα τηλεπικοινωνιακών ζεύξεων και οπτικών δικτύων πρόσβασης της χώρας, παρατηρείται ραγδαία άνοδος και εξέλιξη, με περαιτέρω διεύρυνση των τεχνολογιών οπτικών ινών στις ζεύξεις τελευταίου χιλιομέτρου. Φτάνοντας συνεχώς εγγύτερο στο χρήστη, που καθιστά αναγκαία την ανάπτυξη εργαλείων μελέτης και προσομοίωσης των οπτικών ινών από την επιστημονική κοινότητα, τους μηχανικούς δικτύων και τους τεχνικούς εγκατάστασης. Επιπλέον, μελετώνται θεμελιώδη επικοινωνιακά συστήματα διαμόρφωσης, που διδάχθηκαν στο πρόγραμμα σπουδών, τα όποια είναι η διαμόρφωση πλάτους (AM) και η διαμόρφωση συχνότητας (FM). Έπειτα, γίνεται λεπτομερής αναφορά στο φάσμα και στον παλμογράφο της τρίτης ενότητας του τρίτου κεφαλαίου, για τη μελέτη και καταγραφή του φασματικού περιεχομένου και της χρονικής αναπαράστασης των επικοινωνιακών σημάτων. Επιπρόσθετα, παρουσιάζεται το περιβάλλον προσομοίωσης Simulink, με στόχο να αποτελέσει έναν σύντομο οδηγό εκμάθησης για αρχάριους χρηστές, καθώς και η αναλυτική περιγραφή της μοντελοποίησης των συστημάτων διαμόρφωσης και βασικών απωλειών εισόδου οπτικών ινών, όπως απώλειες διάδοσης σε dB/χλμ ή απώλειες του ακροδέκτη διασύνδεσης (connector) εισόδου-εξόδου. Τέλος, το πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο πραγματεύεται με την τελική υλοποίηση της συνολικής μοντελοποίησης των εργαστηριακών

Μελέτη, υλοποίηση και εργαστηριακή ανάλυση επικοινωνιακών συστημάτων οπτικών ινών σε περιβάλλον Matlab/Simulink– Καραγιάννη Ελευθερία

ασκήσεων/προγραμμάτων, που παράγουν αποτελέσματα. Η εκπόνηση της πτυχιακής εργασίας ολοκληρώνεται με την βιβλιογραφία και τα συμπεράσματα.

Λέξεις-Κλειδιά: *οπτική ίνα, Simulink, συστήματα FTTH, AM, FM, υφιστάμενος τεχνικός, μαθηματικό πρόγραμμα Matlab, Simulink, οπτικά δίκτυα, εγκαταστάσεις οπτικών ινών πεδίου*

Abstract

This thesis examines the design and implementation of fiber optic communication systems and runs through a part of laboratory analyses using Matlab/Simulink. In the first chapter the basic characteristics and categories of optical fibres and networks are presented, along with a time-historical retrospective and evolution of the optical fibre structure. Next, the mechanisms and phenomena encountered during the transmission of the optical signal through an optical fiber are documented, which namely are the attenuation, the dispersion, nonlinear effects and polarization phenomena. In the second chapter, some common equipment used for real field installation of optical fibres is presented in detail, such as fibre splicing in real deployed Fibre To The Home (FTTH) networks, in cooperation with a company that undertakes related installations and network deployments on behalf of one of the largest telecommunication providers in Greece, presenting an extensive literature study of the characteristic specifications of different types of optical fibres. This study compares the theoretical specification values reported in the literature against the realistic values achieved by commercially available fibre optic technologies currently used and installed in FTTH optical access networks. It is worth noting that at this moment, the specific sector of telecommunication links and optical access networks in the country is experiencing a rapid growth and evolution, with further penetration of fibre optic technologies in last mile links. As deployed fiber is gradually reaching ever closer to the user, it makes it of significant importance for the scientific community, network engineers and installation technicians to develop tools and numerical models for the study and simulation of optical fibre systems. In addition, fundamental communication modulation schemes, taught throughout the lectures and curriculum of the Department, are being studied and presented, which are amplitude modulation (AM) and frequency modulation (FM). Then, the spectrum and oscilloscope of the third section of chapter three are discussed in detail, to study and record the spectral content and temporal representation of communication signals. In addition, the use of the Simulink simulation environment is presented, aiming to provide a short learning guide for novice users, as well as a detailed description of the modelling of the modulation schemes and of basic fibre input losses, such as propagation losses in dB/km or input/output connector losses. Finally, the fifth and last chapter deals with the final implementation of the overall modeling of the laboratory exercises/programs that produce results, thus concluding the thesis with the bibliography and conclusions.

Key Words: *optical fiber, Simulink, FTTH systems, AM, FM, existing technician, Matlab, optical networks, Deployed Fiber in the Field*

Πίνακας Περιεχομένων

Εισαγωγή.....	1
1. Βασικές έννοιες οπτικών ινών και δικτύων	4
1.1 Ιστορική ανασκόπηση οπτικών ινών και δικτύων.....	4
1.2 Ιστορία και ανάπτυξη οπτικών δικτύων.....	7
1.2.1 Σύγκριση της οπτικής ίνας με χαλκό	10
1.3 Τι είναι η οπτική ίνα;	11
1.3.1 Χαρακτηριστικά της οπτικής ίνας.....	12
1.3.2 Συνδετήρες (Connectors) της οπτικής ίνας.....	13
1.3.3 Κατηγορίες/Τύποι της οπτικής ίνας	15
1.3.4 Μήκη κύματος της οπτικής ίνας.....	20
1.4 Μηχανισμοί μετάδοσης στην οπτική ίνα	22
1.4.1 Εξασθένιση/Παράγοντας απωλειών	22
1.4.2 Διασπορά.....	23
1.4.3 Μη γραμμικά φαινόμενα	25
1.4.4 Φαινόμενα πόλωσης.....	26
2. Εξοπλισμός τεχνικού πεδίου εγκατάστασης οπτικών ινών και δικτύων	27
3. Πομποδέκτες/Μετάδοση σημάτων και συστήματα διαμόρφωσης	48
3.1 Συστήματα επικοινωνίας και διαμόρφωσης (αναλογικές επικοινωνίες)	48
3.1.1 Διαμόρφωση πλάτους (Amplitude Modulation).....	49
3.1.2 Διαμόρφωση συχνότητας (Frequency Modulation)	50
3.1.3 Η έννοια του φάσματος και του παλμογράφου	51
4. Υλοποίηση και περιγραφή του προγράμματος Simulink	53
4.1 Συνολικές πληροφορίες για το Simulink	53
4.1.1 Simulink για αρχάριους/Οδηγός εκμάθησης	54
4.1.2 Βασικές βιβλιοθήκες/Εργαλεία.....	56
5. Υλοποιήσεις εργαστηριακών ασκήσεων.....	59
5.1 Υλοποίηση διαμόρφωσης πλάτους (Amplitude Modulation).....	59
5.1.1 Πρώτη μελέτη προσομοίωσης AM, Μέρος 1 ^ο : Αύξηση της συχνότητας	61
5.1.1.1 Πρώτη μελέτη προσομοίωσης AM, Μέρος 2 ^ο : Αύξηση της συχνότητας.....	65

5.1.2 Δεύτερη μελέτη προσομοίωσης AM: Αύξηση του παράγοντα ευαισθήσιας.....	67
5.1.3 Τρίτη μελέτη προσομοίωσης AM: Αύξηση του παράγοντα απωλειών της οπτικής ίνας.....	70
5.2 Υλοποίηση διαμόρφωσης συχνότητας (Frequency Modulation)	76
Συμπεράσματα.....	78
Βιβλιογραφία.....	79

Λίστα Εικόνων

Εικόνα 1. Χάρτης ευρυζωνικότητας και μητρώο δικτύων FTTH	1
Εικόνα 2. Εισαγωγική εικόνα διέλευσης οπτικής ίνας	3
Εικόνα 3. Διάγραμμα ιστορικής εξέλιξης οπτικών ινών.....	6
Εικόνα 4. Εφεύρεση φωτοφώνου	6
Εικόνα 5. Πείραμα κυματοδήγησης φωτός στο νερό	7
Εικόνα 6. Λειτουργία οπτικού πομπού και δεκτή.....	9
Εικόνα 7. Οπτικός πομπός υψηλής ταχύτητας με laser και διαμορφωτή φάσης.....	10
Εικόνα 8. Λογικό διάγραμμα οπτικού τηλεπικοινωνιακού συστήματος.....	10
Εικόνα 9. Διαφορές καλωδίου οπτικής ίνας με καλώδιο χαλκού.....	11
Εικόνα 10. Κατασκευαστική δομή οπτικής ίνας.....	12
Εικόνα 11. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα οπτικών ινών.....	13
Εικόνα 12. Τύποι βυσμάτων οπτικών ινών	15
Εικόνα 13. Σχηματική αναπαράσταση της πολύτροπης οπτικής ίνας βηματικού και βαθμιαίου δείκτη διάθλασης.....	16
Εικόνα 14. Μονότροπη και πολύτροπη οπτική ίνα.....	17
Εικόνα 15. Πολυπυρηνική οπτική ίνα σε μικροσκόπιο με διατομή 7,19 και 19 πυρήνων με επίστρωση.....	18
Εικόνα 16. Χρονοδιάγραμμα της εξέλιξης των HCF και εξασθένιση με μήκος κύματος 1550 nm.....	18
Εικόνα 17. Δομή πλαστικής οπτικής ίνας.....	18
Εικόνα 18. Μήκη κύματος και απώλεια μετάδοσης οπτικών ζωνών	21
Εικόνα 19. Παρουσίαση απωλειών οπτικής ίνας	23
Εικόνα 20. Σχεδιάγραμμα του μέγιστου ρυθμού συμβόλων σε συνάρτηση με την απόσταση μετάδοσης για οπτικές ίνες SI-MMF, GI-MMF με ένδειξη διασποράς των τρόπων διάδοσης.....	24
Εικόνα 21. Χρωματική διασπορά κατά μήκος της οπτικής ίνας	25
Εικόνα 22. Γραμμικές και μη γραμμικές αλληλεπιδράσεις	25

Εικόνα 23. Αναπαράσταση οδήγησης οπτικής ίνας από καμπίνα cabinet (KV) σε τελικό σημείο οικείας.....	28
Εικόνα 24. Εξοπλισμός/Εργαλεία 1: Router εγκαταστάσεων οπτικής ίνας.....	28
Εικόνα 25. Εξοπλισμός/Εργαλεία 2: PONS εγκαταστάσεων οπτικής ίνας.....	30
Εικόνα 26. Εξοπλισμός/Εργαλεία 1: Κανάλια και ελικωτοί σωλήνες.....	30
Εικόνα 27. Εξοπλισμός/Εργαλεία 2: Σκάλες τεχνικού.....	31
Εικόνα 28. Εξοπλισμός/Εργαλεία 3: Κόφτες καναλιών και σωλήνων.....	31
Εικόνα 29. Εξοπλισμός/Εργαλεία 4: Τρυπάνι.....	32
Εικόνα 30. Εξοπλισμός/Εργαλεία 5: Βαλίτσα οπτικής ίνας.....	32
Εικόνα 31. Εξοπλισμός/Εργαλεία 6: Συγκολλητής Splicer οπτικής ίνας.....	33-34
Εικόνα 32. Κόπτης Cleaver οπτικής ίνας.....	34
Εικόνα 33. Εξοπλισμός/Εργαλεία 8: Μετρητής/Πολύμετρο οπτικής ίνας.....	35
Εικόνα 34. Εξοπλισμός/Εργαλεία 9: Ξεγυμνωτής οπτικής ίνας.....	35
Εικόνα 35. Εξοπλισμός/Εργαλεία 10: Ψαλίδι οπτικής ίνας.....	36
Εικόνα 36. Εξοπλισμός/Εργαλεία 11: Αποστειρωτικά μαντηλάκια και οινόπνευμα.....	36
Εικόνα 37. Εξοπλισμός/Εργαλεία 12: Θερμοσυστολικό κόλλησης οπτικής ίνας.....	37
Εικόνα 38. Καλώδιο σύνδεσης Patch Cord οπτικής ίνας.....	37
Εικόνα 39. Εξοπλισμός/Εργαλεία 14: Πρίζα κατάληξης οπτικής ίνας.....	38
Εικόνα 40. Βήματα κόλλησης 1: Οπτική ίνα πρώτο στάδιο.....	38
Εικόνα 41. Βήματα κόλλησης 2: Οπτική ίνα δεύτερο στάδιο.....	38
Εικόνα 42. Βήματα κόλλησης 3: Οπτική ίνα τρίτο στάδιο.....	39
Εικόνα 43. Βήματα κόλλησης 4: Γύμνωση συνδετήρα.....	39
Εικόνα 44. Βήματα κόλλησης 5: Κόπτης με οπτική ίνα.....	40
Εικόνα 45. Βήματα κόλλησης 6: Τοποθέτηση δυο καλωδίων στον συγκολλητή.....	40
Εικόνα 46. Βήματα κόλλησης 7: Επιτυχής κόλληση οπτικής ίνας με συνδετήρα.....	41
Εικόνα 47. Βήματα κόλλησης 8: Σφάλμα συγκολλητή Recut Fiber.....	42
Εικόνα 48. Βήματα κόλλησης 9: Σφάλμα συγκολλητή Fusion Failed.....	42

Εικόνα 49. Βήματα κόλλησης 10: Βήμα πριν την θέρμανση του ολοκληρωμένου καλωδίου.....	43
Εικόνα 50. Βήματα κόλλησης 11: Ολοκληρωμένο επιτυχές καλώδιο οπτικής ίνας.....	43
Εικόνα 51. Συγκρίσεις και πλεονεκτήματα από κατηγορίες οπτικών	45
Εικόνα 52. Καλώδια οπτικών ινών 10,30,50,20,30,50m	46-47
Εικόνα 53. Διαφορά σήματος, διαμόρφωσης πλάτους και συχνότητας	48
Εικόνα 54. Παράδειγμα και απεικόνιση φάσματος.....	51
Εικόνα 55. Απεικόνιση πραγματικού παλμογράφου	52
Εικόνα 56. Εικονίδιο προγράμματος Matlab/Simulink	53
Εικόνα 57. Στιγμιότυπο οθόνης αρχικού περιβάλλοντος προγράμματος Simulink	54
Εικόνα 58. Στιγμιότυπο οθόνης κύριου καταλόγου προγράμματος Simulink.....	55
Εικόνα 59. Στιγμιότυπο οθόνης παραδείγματος και αποτελέσματος παλμογράφου προγράμματος Simulink	56
Εικόνα 60. Στιγμιότυπα οθόνης βιβλιοθηκών προγράμματος Simulink.....	57
Εικόνα 61. Υλοποίηση AM προγράμματος Simulink.....	60
Εικόνα 62. Αποτέλεσμα παλμογράφου AM προγράμματος Simulink	60
Εικόνα 63. Αποτέλεσμα φάσματος προγράμματος AM Simulink.....	61
Εικόνα 64. Στιγμιότυπο οθόνης 1: Αποτέλεσμα φάσματος (95Hz) προγράμματος Simulink.....	62
Εικόνα 65. Στιγμιότυπο οθόνης 2: Αποτέλεσμα φάσματος (100Hz) προγράμματος Simulink.....	62
Εικόνα 66. Στιγμιότυπο οθόνης 3: Αποτέλεσμα φάσματος (200Hz) προγράμματος Simulink.	63
Εικόνα 67. Στιγμιότυπο οθόνης 4: Αποτέλεσμα φάσματος (300Hz) προγράμματος Simulink	63
Εικόνα 68. Στιγμιότυπο οθόνης 5: Αποτέλεσμα φάσματος (400Hz) προγράμματος Simulink.	64
Εικόνα 69. Στιγμιότυπο οθόνης 6: Αποτέλεσμα φάσματος (500Hz) προγράμματος Simulink.....	64

Εικόνα 70. Στιγμιότυπο οθόνης 7: Αποτέλεσμα φάσματος (600Hz) προγράμματος Simulink.....	65
Εικόνα 71. Στιγμιότυπο οθόνης 8: Αποτέλεσμα φάσματος (300Hz) προγράμματος Simulink Simulink	66
Εικόνα 72. Στιγμιότυπο οθόνης 9: Αποτέλεσμα φάσματος (500Hz) προγράμματος Simulink Simulink	66
Εικόνα 73. Στιγμιότυπο οθόνης 10: Αποτέλεσμα φάσματος (700Hz) προγράμματος Simulink	67
Εικόνα 74. Στιγμιότυπο οθόνης 11: Αποτέλεσμα φάσματος (950Hz) προγράμματος Simulink	67
Εικόνα 75. Στιγμιότυπο οθόνης 12: Αποτέλεσμα παλμογράφου χρόνου (0) προγράμματος Simulink	68
Εικόνα 76. Στιγμιότυπο οθόνης 13: Αποτέλεσμα παλμογράφου χρόνου (0.5) προγράμματος Simulink	68
Εικόνα 77. Στιγμιότυπο οθόνης 14: Αποτέλεσμα παλμογράφου χρόνου (0.7) προγράμματος Simulink	69
Εικόνα 78. Στιγμιότυπο οθόνης 15: Αποτέλεσμα παλμογράφου χρόνου (0.8) προγράμματος Simulink	69
Εικόνα 79. Στιγμιότυπο οθόνης 16: Αποτέλεσμα παλμογράφου χρόνου (1) προγράμματος Simulink	70
Εικόνα 80. Στιγμιότυπο οθόνης 17: Αποτέλεσμα παλμογράφου χρόνου (1.2) προγράμματος Simulink	70
Εικόνα 81. Στιγμιότυπο οθόνης 18: Αποτέλεσμα παλμογράφου-φάσματος (1.5) προγράμματος Simulink.....	71-72
Εικόνα 82. Στιγμιότυπο οθόνης 19: Αποτέλεσμα παλμογράφου-φάσματος (0.9) προγράμματος Simulink	72-73
Εικόνα 83. Στιγμιότυπο οθόνης 20: Αποτέλεσμα παλμογράφου-φάσματος (0.7) προγράμματος Simulink	73-74
Εικόνα 84. Στιγμιότυπο οθόνης 21: Αποτέλεσμα παλμογράφου-φάσματος (0.4) προγράμματος Simulink	74-75
Εικόνα 85. Στιγμιότυπο οθόνης 22: Αποτέλεσμα παλμογράφου-φάσματος (0.1) προγράμματος Simulink	75
Εικόνα 86. Υλοποίηση FM προγράμματος Simulink.....	77
Εικόνα 87. Αποτέλεσμα παλμογράφου FM προγράμματος Simulink.....	77

Μελέτη, υλοποίηση και εργαστηριακή ανάλυση επικοινωνιακών συστημάτων οπτικών ινών σε περιβάλλον Matlab/Simulink– Καραγιάννη Ελευθερία

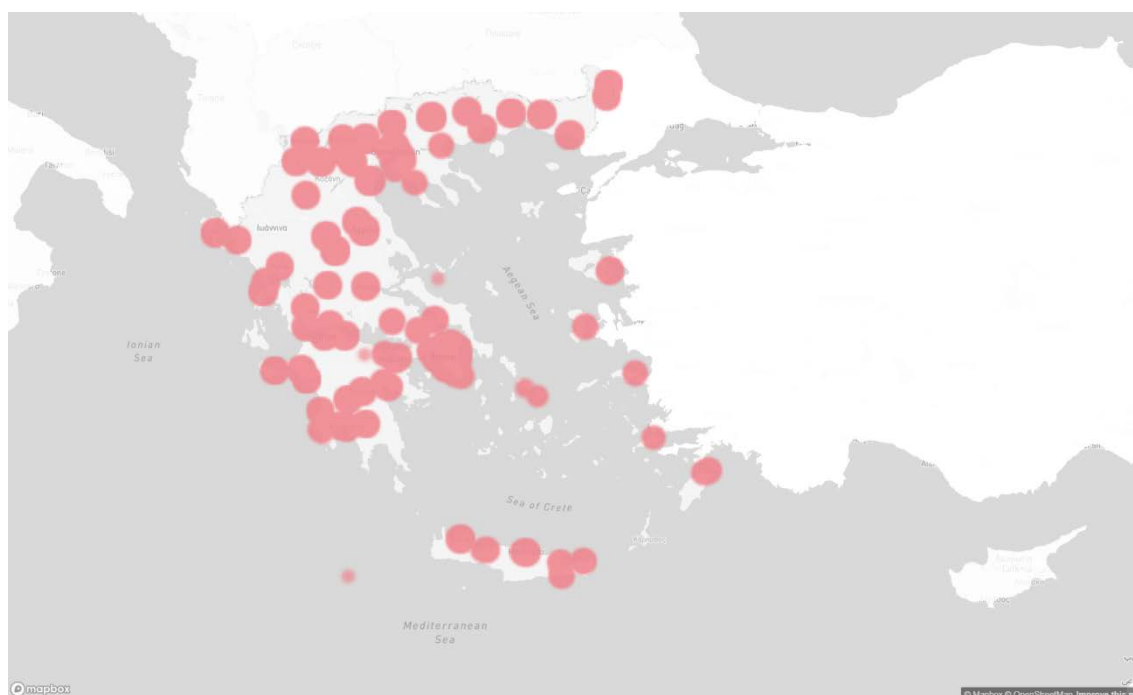
Εικόνα 88. Αποτέλεσμα φάσματος FM προγράμματος Simulink.....77

Λίστα Πινάκων

Πίνακας 1. Παράμετροι βιβλιογραφικών οπτικών ινών.....	19-20
Πίνακας 2. Παράμετροι πραγματικών-εμπορικών οπτικών ινών.....	45-46

Εισαγωγή

Ο κλάδος των οπτικών ινών αποτελεί κυρίαρχο και ραγδαία εξελίξιμο ορό στον τομέα της τεχνολογίας και των τηλεπικοινωνιών. Πλέον, η μεταφορά πληροφορίας και επικοινωνίας πραγματοποιείται με την διάδοση του φωτός στο καλώδιο της οπτικής ίνας του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Σταδιακά, υπάρχει αντικατάσταση των ομοαξονικών χάλκινων καλωδίων. Η οπτική ίνα υλοποιεί ευρυζωνικές διασυνδέσεις και παρέχει βέλτιστη μεταφορά δεδομένων στο uploading και στο downloading, αποτιμιά, δηλαδή, μεγαλύτερες ταχύτητες. Έχει μικρότερο βάρος και μέγεθος σε σχέση με το χάλκινο καλώδιο. Καθώς η διείσδυση των οπτικών ινών, εγγύτερα του χρήστη, προωθείται έντονα τα τελευταία χρόνια στην Ελλάδα, με την ανάπτυξη του οπτικού δικτύου πρόσβασης FTTH, καθίσταται πλέον, αναγκαία η μελέτη και προσομοίωση της διάδοσης και των απωλειών σε δίκτυα οπτικών ινών με ρεαλιστικές συνθήκες και παραμέτρους προσομοίωσης. Πιο συγκεκριμένα, η Ελλάδα σε ποσοστό διερχόμενων οπτικών ινών με το πρόγραμμα Fiber To The home – (FTTH) το χρονολογικό έτος 2024 έχει κάλυψη 40%, καθώς η ταχύτητα είναι ικανοποιητική με βάση το σήμα. Ωστόσο, σε σχέση με τις υπόλοιπες ευρωπαϊκές χώρες βρίσκεται χαμηλά και απαιτούνται ακόμη αρκετά βήματα για την ανάπτυξη και την εφαρμοσμένη λειτουργία των οπτικών δικτύων, σε σχέση τις προϋποθέσεις που χρειάζεται ενδεχομένως για τις υψηλές ταχύτητες. Η **εικόνα 1**, με **λεζάντα: Χάρτης ευρυζωνικότητας και μητρώο δικτύων FTTH** προδιαγραφεί την ευρυζωνική κάλυψη σε όλη την επικράτεια της Ελλάδας με το διεθνές πρόγραμμα FTTH. Υπολήπτεται από τον ηλεκτρονικό προσβάσιμο σύνδεσμο του υπουργείου.



Εικόνα 1. Χάρτης ευρυζωνικότητας και μητρώο δικτύων FTTH [1]

Επιπρόσθετα, διάφοροι πάροχοι τηλεφωνίας και δικτύων έχουν αναλάβει την διαδικασία των εγκαταστάσεων οπτικών ινών. Οι εγκαταστάσεις επεκτείνονται και εφαρμόζονται σε γρήγορο ρυθμό. Συνυπολογίζεται πως, μέχρι το τέλος του 2024, αναμένεται να έχουν καλυφτεί 500.000 ακίνητα. Επί του παρόντος, όμως, η Ελλάδα υστερεί και το ποσοστό διέλευσης των οπτικών ινών ανέρχεται γύρω στο 36%, αν και καθημερινά γίνονται προσπάθειες για την εγρήγορση και την κάλυψη των οπτικών δικτύων και εγκαταστάσεων.

Ως εκ τούτου, βασική προϋπόθεση για τη σωστή και ακριβή μελέτη αποτελούν, η μελέτη και προσομοίωση των φαινομένων διάδοσης όπως, οι απώλειες που εξασθενούν το μεταδιδόμενο σήμα πληροφορίας, η διασπορά, όπου οι συνιστώσες του σήματος διέρχονται με διαφορετικό ρυθμό ταχύτητας στην ίνα. Μετέπειτα, τα μη γραμμικά φαινόμενα και τα φαινόμενα πόλωσης αποτελούν δύο ακόμα φαινόμενα παραμόρφωσης των σημάτων, προκαλώντας συχνά μη αναστρέψιμη υποβάθμιση του σήματος. Οι οπτικές ίνες εξυπηρετούν όλο και περισσότερες απαιτητικές εφαρμογές δικτύου με τη μετάδοση πολλαπλών σημάτων ευρυζωνικών χρηστών σε μεγάλες αποστάσεις μερικών δεκάδων χιλιομέτρων. Απαιτείται η έγκυρη μελέτη μιας εγκατάστασης και η προσομοίωση των φαινομένων διάδοσης, στη νέα ζεύξη, σε κάποιο ρεαλιστικό περιβάλλον μοντελοποίησης, πριν οι εγκαταστάσεις και μηχανικοί του δικτύου προχωρήσουν σε οποιαδήποτε εγκατάσταση νέας ζεύξης σε πραγματικό επαγγελματικό πλαίσιο, που μπορεί να αποδειχθεί χρονοβόρα, με μεγάλο κόστος ή ακόμα και εντελώς ανέφικτη λόγω μη-ρεαλιστικού προϋπολογισμού οπτικής ισχύος της ζεύξης.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εμβαθύνει στα φαινόμενα αυτά, καθώς επίσης, στα συστήματα FTTH και στην ανάπτυξη ενός σχετικού εργαλείου μοντελοποίησης, εκπονώντας μια εις βάθος βιβλιογραφική μελέτη και ανάλυση. Έπειτα, στο δεύτερο κεφάλαιο, περιγράφονται όλα τα απαραίτητα εργαλεία, κατά την διάρκεια της επιλογής του επαγγελματικού προσανατολισμού, ως υφιστάμενος τεχνικός. Κάθε οπτική ίνα περιέχει τις ανάλογες προδιαγραφές, όπου εμφανίζονται στους δυο πίνακες με βάση τα αποτελέσματα της αντίστοιχης μελέτης που έγινε. Τα επικοινωνιακά συστήματα που υλοποιούνται για τους οπτικούς πομποδέκτες χωρίζονται σε δυο βασικά συστήματα, τη διαμόρφωση πλάτους (AM) και τη διαμόρφωση συχνότητας (FM), ως αρκετά συνηθισμένα συστήματα διαμόρφωσης με γνωστές αναλυτικές εκφράσεις και έννοιες διαμόρφωση που έχουν διδαχτεί στο πρόγραμμα σπουδών¹.

Επιπρόσθετα, τα υλοποιήσιμα μοντέλα προσομοίωσης και οι πειραματικές αναλύσεις, που υλοποιήθηκαν, αναπτύχθηκαν στο πρόγραμμα Simulink. Το Simulink

¹ Αξίζει να σημειωθεί ότι τα επικοινωνιακά συστήματα στα παθητικά οπτικά δίκτυα PON, GPON, XGSPON, 10G-PON και HS-PON κατά βάση χρησιμοποιούν συστήματα διαμόρφωσης OOK, με απλή διαμόρφωση – αντιστοίχιση του λογικού "1" σε υψηλή στάθμη και του λογικού "0" σε χαμηλή – μηδενική στάθμη πλάτους. Ωστόσο, στην παρούσα εργασία υλοποιήθηκαν τα AM και FM συστήματα για εκπαιδευτικούς λόγους.

Μελέτη, υλοποίηση και εργαστηριακή ανάλυση επικοινωνιακών συστημάτων οπτικών ινών σε περιβάλλον Matlab/Simulink– Καραγιάννη Ελευθερία

είναι ένα πρόγραμμα ενσωματωμένο στο γνωστό μαθηματικό πρόγραμμα Matlab και χρησιμοποιείται κυρίως για την ανάλυση σημάτων.

Παρακάτω παρατίθενται όλα τα κεφάλαια, όπου δημιουργήθηκαν με βάση των πίνακα περιεχομένων. Στην **εικόνα 1**, με **λεζάντα: Εισαγωγική εικόνα διέλευσης οπτικής ίνας** προδιαγράφεται εικονικά για την εισαγωγή η διέλευση οπτικής ίνας στο πρόγραμμα FTTH.



Εικόνα 2. Εισαγωγική εικόνα διέλευσης οπτικής ίνας [2]

1. Βασικές έννοιες οπτικών ινών και δικτύων

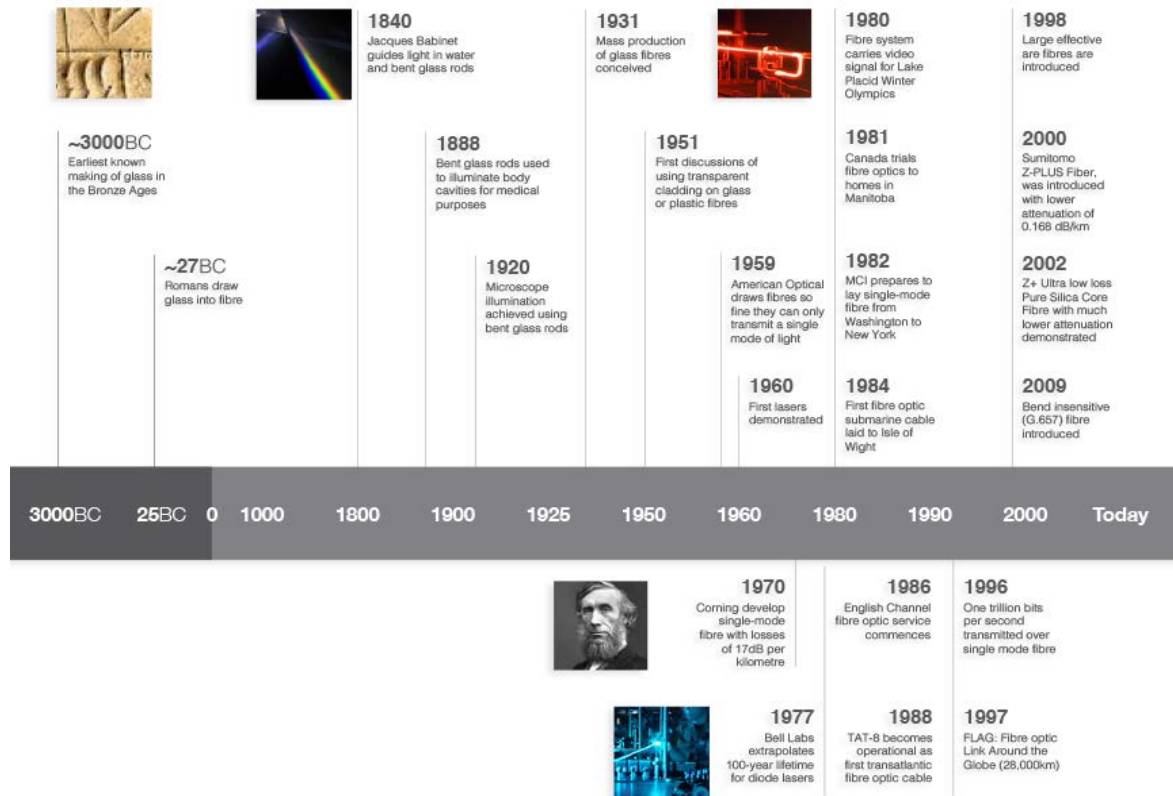
1.1 Ιστορική ανασκόπηση οπτικών ινών και δικτύων

Στην παρούσα πρώτη ενότητα, θα αναλυθεί η ιστορική χρονική εξέλιξη των οπτικών ινών, καθώς και σημαντικά ιστορικά επιτεύγματα στο χώρο των οπτικών τεχνολογιών. Η εφεύρεση των οπτικών ινών μέχρι και σήμερα έχει αναβαθμίσει την μορφή των δικτύων, με αποτέλεσμα να φτάσει στο επίπεδο δικτύου 5G και ακολουθεί επόμενη η γένια των 6G. Έχουν αποδοθεί ιστορικά ως πέντε γενιές οπτικών επικοινωνιών.

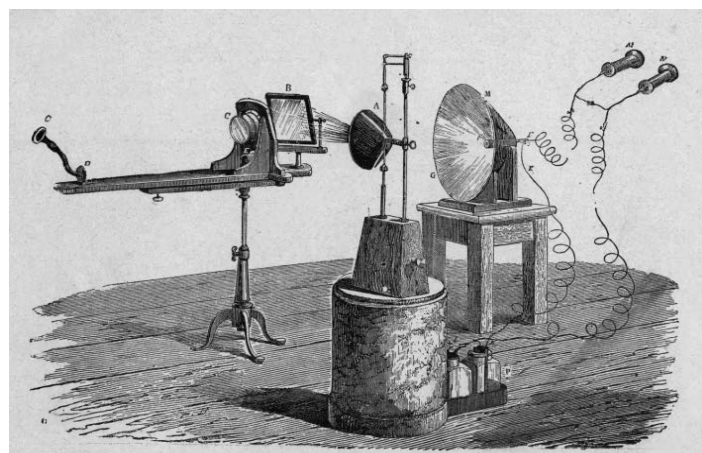
- **1790:** Ο Γάλλος μηχανικός Claude Chappe παρουσίασε τον οπτικό τηλέγραφο που αντικαταστάθηκε στα μέσα του 19^{ου} αιώνα με τον αντίστοιχο ηλεκτρικό.
- **1840:** Ο Ελβετός Daniel Collodon φυσικός και ο Γάλλος Jacques Babinet αποτύπωσαν, ότι το φως μπορεί να μεταδοθεί κατά μήκος νερού σε σιντριβάνια.
- **1854:** Ο Βρετανός φυσικός John Tyndall χρησιμοποίησε τη μετάδοση φωτός σε δεξαμενή. Αργότερα, διάφοροι εφευρέτες διαπίστωσαν, πως μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε φακό της ειδικότητας των οδοντιάτρων.
- **1880:** Ο Alexander Graham Bell εφηύρε το φωτόφωνο photophone, το οποίο χαρακτηρίστηκε σαν την πρώτη οπτική ζεύξη σε διαμόρφωση κατά πλάτους (AM), ενώ την ίδια χρονική περίοδο, ο William Wheeling κατοχύρωσε μια μέθοδο φωτός, το φως δια μέσου σωλήνα riping light.
- **1948:** Ο Claude Shannon διατύπωσε την μαθηματική θεωρία της επικοινωνίας που λέγεται το όριο Shannon ενός καναλιού επικοινωνίας.
- **1957:** Ο Charles Townes και ο Arthur Schawlow περιέγραψαν τις αρχές λειτουργίας του laser.
- **1966:** Ο Charles Kao ερεύνησε το θεμελιώδες όριο της διαφάνειας του γυαλιού ότι είναι κάτω από 20 decibel ανά χιλιόμετρο, χρήσιμο και πρακτικό για τις επικοινωνίες. Την ίδια χρονική περίοδο, ο Hockham υπολόγισε, ότι οι επενδυμένες ίνες με περίβλημα δεν πρέπει να εκπέμπουν πολύ φως. Έτσι, πρότειναν επικοινωνίες με οπτικές ίνες.
- **1970:** Ο Zhores Alferon κατασκεύασε τα πρώτα laser ημιαγωγών συνεχούς κύματος σε θερμοκρασία δωματίου.
- **1987:** Η ομάδα του David Payne δημιούργησε τον πρώτο ενισχυτή οπτικών ινών με προσμίξεις ερβίου (EDFA).
- **1988:** Ο Linn Mollenauer κατέδειξε τη μετάδοση σολιτονίων στα 4.000 km μονότροπης οπτικής ίνας.
- **1993:** Ο Andrew Chrplyngy κατάφερε να μεταδώσει 10 Gbps σε κάθε ένα από τα οκτώ μήκη κύματος μέσω 280 km οπτικής ίνας, το φαινόμενο της διασποράς.

- **1996:** Εισήχθησαν εμπορικά συστήματα πολυπλεξίας μήκους κύματος (WDM).
- **2002:** Το σχήμα διαμόρφωσης της διαφορικής μετατόπισης-στροφής φάσης (DPSK) επιδείχθηκε για πρώτη φορά με μεγάλη εμβέλεια 4.000 km σε ταχύτητα 40 Gbps. Η αντιστάθμιση μη γραμμικότητας στη μετάδοση μέσω οπτικών ινών εισήχθη για σήματα διαμόρφωση φάσης.
- **2003:** Τα παθητικά οπτικά δίκτυα με δυνατότητα Gigabit τυποποιήθηκαν από τον οργανισμό Τηλεπικοινωνιών της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών (ITU-T).
- **2009:** Δημιουργία υπερ-καναλιών, super channels σε μεγάλες τηλεπικοινωνιακές ζεύξεις.
- **2010:** Ο Rene Essiambre μελέτησε το όριο Shannon για την μη γραμμική μετάδοση οπτικών ινών.
- **2011:** Ο Peter Winzer ερεύνησε τη χωρική πολυπλεξία σε ίνες πολλαπλών πυρήνων ή μονότροπων ινών για τον περαιτέρω πολλαπλασιασμό της χωρητικότητας της οπτικής μεταφοράς.
- **2012:** Τυποποιήθηκε από την ITU-T το ευέλικτο πλέγμα WDM.
- **2016:** Οι οπτικές ίνες χαμηλών απωλειών χαμηλής μη γραμμικότητας προσδιορίστηκαν από την ITU-T.
- **2018:** Από τον Lumentum αναπτύχθηκαν, χαμηλών απωλειών, κόμβοι δρομολόγησης μήκους κύματος (CDC) ο διακόπτης/μεταγωγέας επιλεκτικού μήκους κύματος (WSS).
- **2019:** Η Huawei Technologies δημιούργησε την μετάδοση σούπερ-C-band με οπτικό εύρος ζώνης 6-THz.

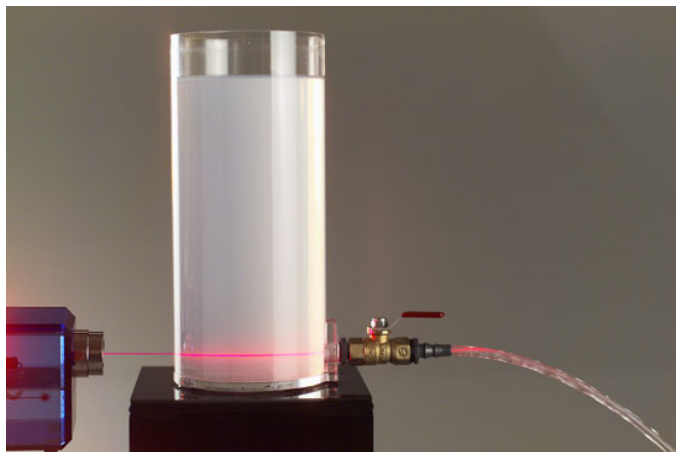
Στις εικόνες 3., 4., 5. με λεζάντες: **Διάγραμμα ιστορικής εξέλιξης οπτικών ινών, Εφεύρεση φωτοφώνου, Πείραμα κυματοδότησης του φωτός στο νερό** αφομοιώνεται, συνοπτικά, όλη η ιστορική ανασκόπηση των οπτικών ινών σε ένα ευρέως κατανοητό διάγραμμα. Στην συνέχεια, όπως αναφέρθηκε στην ανάλυση της ιστορίας το 1880 απεικονίζεται, η εφεύρεση του φωτοφώνου και τέλος το συγκεκριμένο πείραμα, πριν την εφεύρεση του laser του δημιουργού John Tyndall την χρονολογική περίοδο του 1870.



Εικόνα 3. Διάγραμμα ιστορικής εξέλιξης οπτικών ινών [3]



Εικόνα 4. Εφεύρεση φωτοφώνου [4]



Εικόνα 5. Πείραμα κυματοδότησης του φωτός στο νερό [5]

1.2 Ιστορία και ανάπτυξη οπτικών δικτύων

Σε αυτή την ενότητα, θα αναλυθούν τα δίκτυα οπτικών ινών και θα υπάρξει μια ιστορική εξέλιξη επί του παρόντος. Ο στόχος της αξιοποίησης τους ήταν η αναβάθμιση από τα τηλεπικοινωνιακά συστήματα μετάδοσης σε χάλκινα καλώδια σε γρήγορα οπτικά μέσα, με βέλτιστα αποτελέσματα της αύξησης του διαθέσιμου εύρους ζώνης και την μεγαλύτερη ικανοποίηση και λειτουργικότητα, σε σχέση με τα καλώδια της προηγούμενης γενιάς και των τηλεπικοινωνιακών δικτύων. Χωρίζονται σε δυο γενιές, την πρώτη και την δεύτερη.

Στην **πρώτη γενία**, τα φυσικά μέσα μετάδοσης χάλκινων καλωδίων υπέστησαν σταδιακή υποχώρηση, λόγω της εμφάνισης των οπτικών ινών. Έτσι, ο τρόπος επικοινωνίας και μετάδοσης πραγματοποιείται με οπτικούς πομποδέκτες στην οπτική ίνα, σε αντίθεση, με τις λειτουργίες της δρομολόγησης, της μεταγωγής και της μεταγωγικής λειτουργίας του δικτύου, που δεν ήταν εφικτό να υλοποιηθεί αμιγώς οπτικά. Στην εγκατάστασή τους, αντικαταστάθηκε μόνο το φυσικό μέσο μετάδοσης και όχι όλο το σύστημα. Παρατηρείται πως, ο σημαντικός παράγοντας της πολυπλεξίας δεν ήταν ακόμη σε λειτουργία, σε εμπορικό επίπεδο, αλλά ο τρόπος που υπήρχε, ήταν με ένα μοναδικό μήκος κύματος, επονομαζόμενο ως οπτικό δίκτυο πρώτης γενιάς, Fibre Distributed Data Interface (FDDI).

Στην **δεύτερη γενιά** οπτικών δικτύων, γίνεται αντιληπτό πως έχει ξεκινήσει η αντικατάσταση της παλαιάς τεχνολογίας με την νέα, χωρίς να γίνεται αποκλειστική χρήση, λόγω οικονομικών και τεχνικών δυσκολιών. Σήμερα, φαίνεται να υπάρχουν υβριδικά δίκτυα και να συνυπάρχουν οπτικές ίνες και χαλκός μαζί, με την διαφορά πως έχει καλύτερη απόδοση σε σχέση με την πρώτη γενία. Έχουμε και διάφορες ανερχόμενες αρχιτεκτονικές, όπως τα παθητικά οπτικά δίκτυα Passive Optical

Networks PONs, τα δίκτυα κορμού σε τοπολογία δέντρου κλπ. Σε αυτή την γενιά, διακρίνεται η ανάπτυξη πολυπλεξίας WDM καθώς και πως, εκτός της επιτυχούς μετάδοσης πληροφορίας, αναπτύσσεται και μεγαλύτερο σύνολο των λειτουργιών του δικτύου. Τέλος, παρέχονται τρεις τύποι υπηρεσίες: το οπτικό μονοπάτι, το εικονικό κύκλωμα και η υπηρεσία δεδομένο-γράμματος (datagram) με τα οποία, πραγματοποιούνται συνδέσεις σημείο σε σημείο “point to point” και σε σημείο προς πολλά σημεία “point to multipoint”.

Σαφώς, κύριος όρος των οπτικών δικτύων είναι το **οπτικό τηλεπικοινωνιακό σύστημα**, που αποτελείται από τρία χαρακτηριστικά:

- Οπτικός πομπός
- Οπτική ίνα
- Οπτικός δεκτής

Αντίστοιχα, παρουσιάζονται στην **εικόνα 8**. με **λεζάντα: Στιγμιότυπο οθόνης λογικού διαγράμματος οπτικού τηλεπικοινωνιακού συστήματος**, που αποτυπώνεται ένα λογικό διάγραμμα αυτού.

Με τις παρούσες τεχνολογίες, οι οπτικές επικοινωνίες καλύπτουν μεγάλες και μικρές αποστάσεις. Οι μεγάλες αποστάσεις είναι πάνω από 100 km με υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, ενώ οι μικρές αποστάσεις φτάνουν μέχρι 50 km και οι ρυθμοί μετάδοσης είναι, σαφώς, μικρότεροι.

Μετέπειτα, υπάρχουν δυο ακόμη όροι, οι οποίοι καλύπτουν ένα οπτικό τηλεπικοινωνιακό σύστημα: ο **οπτικός πομπός** και ο **οπτικός δεκτής**. “Ο **οπτικός πομπός** είναι το στοιχείο του τηλεπικοινωνιακού συστήματος που δημιουργεί το οπτικό σήμα και το μεταδίδει στην οπτική ίνα. Πιο συγκεκριμένα, η ωφέλιμη πληροφορία προς μετάδοση δημιουργείται στον ηλεκτρονικό εξοπλισμό του αποστολέα, είναι δηλαδή ένα ηλεκτρικό σήμα βασικής ζώνης.” [1]

Διακρίνονται σε δυο κατηγορίες:

- Στους πομπούς laser ημιαγωγού
- Στους πομπούς διόδου εκπομπής φωτός Light Emitting Diode (LED)

Περιλαμβάνει τρία στοιχειά δομής:

- Την οπτική πηγή
- Τον οπτικό διαμορφωτή
- Τον οπτικό ζευκτή

Η οπτική πηγή είναι το κύριο στοιχείο, που καταφθάνει το σήμα στο οπτικό πεδίο λειτουργίας. Ο οπτικός διαμορφωτής εναλλάσσει το σήμα της πληροφορίας πάνω στο οπτικό σήμα. Τέλος, ο οπτικός ζευκτή παρέχει την λειτουργία διεπαφής και συνδέει την έξοδο του διαμορφωτή με την οπτική ίνα.

“Ο **οπτικός δεκτής** είναι το στοιχείο εκείνο του παραλήπτη που λαμβάνει το οπτικό σήμα από την οπτική ίνα και το παραδίδει στα ηλεκτρονικά στοιχεία του προς επεξεργασία. Ειδικότερα, ο οπτικός δέκτης αποδιαμορφώνει το λαμβανόμενο

υψίσυχο οπτικό σήμα, οπότε προκύπτει η ωφέλιμη πληροφορία βασικής ζώνης.” [1]

Ένα από τα κυρία χαρακτηριστικά του είναι η ευαισθησία και εξαρτάται από την ισχύ του διαμορφωμένου σήματος (S) και την ισχύ του θορύβου (N), που είναι συνηθισμένο φαινόμενο στα οπτικά συστήματα, άρα, διατυπώνεται ο μαθηματικός τύπος: $SNR \frac{S}{N}$.

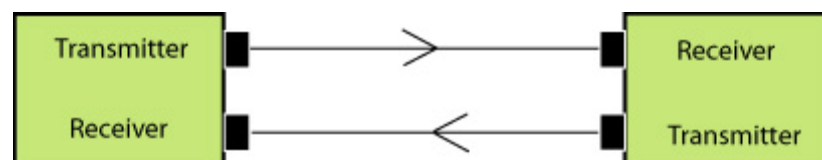
Περιλαμβάνει τρία στοιχεία δομής εξίσου:

- Τον οπτικό ζευκτή
- Τον φωτοανιχνευτή
- Τον ηλεκτρονικό αποδιαμορφωτή

Ο οπτικός ζευκτής συνδέει τον φωτοανιχνευτή με την οπτική ίνα, ώστε να υπάρξει οπτικό σήμα. “Ο φωτοανιχνευτής είναι μια φωτοδίοδος ημιαγωγών που ανιχνεύει το φως και επιλέγεται λόγω του μικρού μεγέθους και κόστους του.” [1] Τέλος, ο αποδιαμορφωτής αναδιαμορφώνει το σήμα αναλόγως με το σήμα της διαμόρφωσης.

Στην **εικόνα 6**, με **λεζάντα: Λειτουργία οπτικού πομπού και δεκτή** παρατίθεται σχηματικά η λειτουργία τους. Αμέσως μετά ακολουθεί η **εικόνα 7**, με **λεζάντα: Οπτικός πομπός υψηλής ταχύτητας με laser και διαμορφωτή φάσης**, όπου δείχνει ένα προϊόν εξελιγμένου γρήγορου οπτικού πομπού με προδιαγραφές laser και διαμορφωτή.

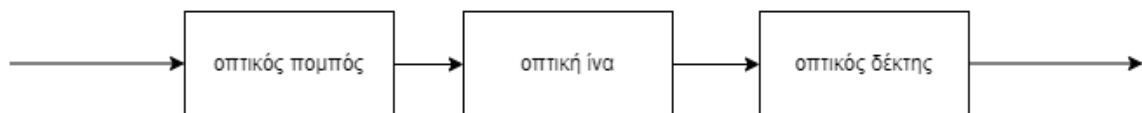
Το ποσοστό που κυμαίνεται περισσότερο διαδεδομένα είναι στα 100 Gbps. “Πάνω από περίπου 25Gb/s, το μέσο όριο για την άμεση διαμόρφωση τυπικών πηγών λέιζερ, χρησιμοποιούνται πολυπλεξία διαίρεσης μήκους κύματος, παράλληλη οπτική και συνεκτικά συστήματα οπτικών ινών.” [2]



Εικόνα 6. Λειτουργία οπτικού πομπού και δεκτή [6]



Εικόνα 7. Οπτικός πομπός υψηλής ταχύτητας με laser και διαμορφωτή φάσης [7]

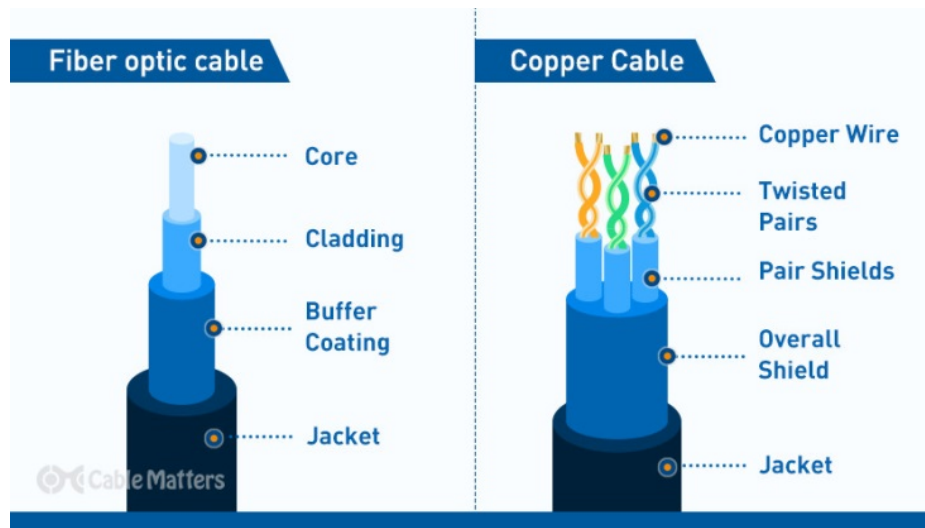


Εικόνα 8. Στιγμιότυπο οθόνης λογικού διαγράμματος οπτικού τηλεπικοινωνιακού συστήματος

1.2.1 Σύγκριση της οπτικής ίνας με χαλκό

Στην παρούσα ενότητα, θα αναλυθούν οι διαφορές μεταξύ της οπτικής ίνας και του χαλκού. Αρχικά, η οπτική ίνα διαθέτει ως βασικό πλεονέκτημα την φυσική μετάδοση με φωτόνια, με αποτέλεσμα να είναι πιο γρήγορη και εξυπηρετική. Οι οπτικές ίνες δεν επηρεάζονται από ηλεκτρικό ρεύμα. Επιπρόσθετα, οι οπτικές ίνες λειτουργούν βέλτιστα για μεγάλες αποστάσεις. Προσφέρουν μεγάλο εύρος συχνοτήτων και είναι αναβαθμισμένες, αφού παρέχουν μεγαλύτερη ταχύτητα, χωρίς να δημιουργεί παρεμβολές στο διαδίκτυο. Οι χάλκινοι αγωγοί, αντίθετα, λειτουργούν με ηλεκτρόνια, παράγουν παρεμβολές ραδιοσυχνοτήτων, με αποτέλεσμα να δημιουργείται συχνά πρόβλημα στην λειτουργία τους. Εκπέμπουν σήματα που συγκρούονται με κάποιον ηλεκτρικό εξοπλισμό, έχουν περισσότερες δυσλειτουργίες και παρουσιάζουν ευκολότερα και συχνότερα βλάβες. Η συντήρησή τους είναι δυσκολότερη σε σχέση με την οπτική ίνα. Η καθαριότητά τους είναι αναγκαία ανά τακτά χρονικά διαστήματα, εξαιτίας της εμφάνισης σκουριάς με το πέρασμα του χρόνου που παρεμβάλλει άμεσα την λειτουργικότητά τους. Επίσης, διαθέτουν χαμηλότερες ταχύτητες, σε σχέση με τις οπτικές ίνες το upload και στο download. Συγκεκριμένα, μια γραμμή οπτικής ίνας είναι προτιμότερη, διότι είναι πιο γρήγορη και με λιγότερα λειτουργικά ζητήματα σε

σχέση με την σύνδεση χαλκού. Εν κατακλείδι, η εξέλιξη της οπτικής ίνας είναι το μέλλον που προδιαγραφεί μια νέα εποχή διαδικτύου που θα λυθούν διάφορα κοινά προβλήματα βλαβών και εγκαταστάσεων του παλαιού δικτύου κατασκευαστικής τηλεφωνίας. Στην **εικόνα 9**, με **λεζάντα: Διαφορές καλωδίου οπτικής ίνας με καλώδιο χαλκού** παρουσιάζονται οι αισθητά διαφορές του καλωδίου της οπτικής ίνας και του χάλκινου καλωδίου που απασχολείται σε αυτή την ενότητα.



Εικόνα 9. Διαφορές καλωδίου οπτικής ίνας με καλώδιο χαλκού [8]

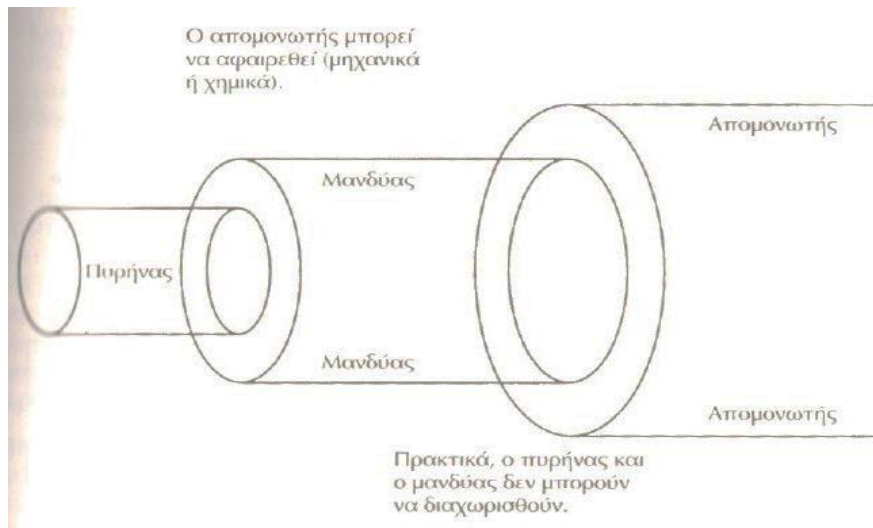
1.3 Τι είναι η οπτική ίνα;

Οι οπτικές ίνες είναι ένα μέσο μετάδοσης σημάτων επικοινωνιών σε φυσική μορφή φωτός που περιβάλλονται από γυαλί ή πλαστικό, είναι παρά πολύ λεπτές και προσεγγίζουν σε διαστάσεις μία ανθρώπινη τρίχα. Για την μηχανική τους προστασία βρίσκονται μέσα σε καλώδια-διατομές και περιλαμβάνουν συνήθως τρεις στρώσεις καλύμματος. Υπάρχουν διάφοροι τύποι προστατευτικών καλωδίων ανάλογα την εγκατάσταση και την τοποθέτησή τους σε εσωτερικούς ή εξωτερικούς χώρους, μέσα στο έδαφος, μέσα στο νερό, ακόμη και σε αντίξοες συνθήκες κλπ.

Μια οπτική ίνα² αποτελείται από τρία μέρη: τον πυρήνα, τον μανδύα ή περίβλημα και τον απομονωτή. Ο πυρήνας είναι γυαλί υψηλού δείκτη διάθλασης, τον περιβάλλει ένας μανδύας, που παγιδεύει το φως μέσα στον πυρήνα με βάση το φαινόμενο της εσωτερικής ολικής ανάκλασης. Πιο αναλυτικά, το φως εγκλωβίζεται μέσα στο κύριο κεντρικό μέρος που είναι ο πυρήνας και διαδίδεται

² Αξίζει να σημειωθεί πως η αγγλική λέξη "fiber" (ίνα) χρησιμοποιείται στην αμερικανική προφορά - ορθογραφία της αγγλικής γλώσσας ενώ η λέξη "fibre" (ίνα) στην βρετανική προφορά-ορθογραφία.

κατά μήκος της οπτικής ίνας. Για όλη την προστασία των προηγούμενων δύο, χρειάζεται ο απομονωτής, η εξωτερική περιοχή λεγόμενος ως κάλυμμα. Είναι συνήθως χρησιμοποιημένο υλικό λιωμένου πυριτικού γυαλιού, καλυμμένο με πλαστική επίστρωση, ώστε να διατηρεί την αντοχή του γυαλιού της οπτικής ίνας αλλά και την προστασία του από φυσικές καταστροφές. Τέλος, στην **εικόνα 10**, με **λεζάντα: Κατασκευαστική δομή οπτικής ίνας** αναπαριστά την δομή διαγραμματικά ενός καλωδίου οπτικής ίνας.



Εικόνα 10. Κατασκευαστική δομή οπτικής ίνας [3]

1.3.1 Χαρακτηριστικά της οπτικής ίνας

Τα χαρακτηριστικά οπτικών ινών περιέχουν διαφορές αναλύσεις καθώς είναι το μέλλον στην εξάπλωση πληροφορίας και η βελτίωση στο κομμάτι των τηλεπικοινωνιών και δικτύων στο σήμερα. Η διάδοση τους είναι όλο και μεγαλύτερη και γρηγορότερη σε διάφορους τομείς σε όλη την τεχνολογία. Τα πλεονεκτήματά τους υπερτερούν, όπως είναι το εύρος ζώνης. Κάποια από αυτά είναι τα βασικά χαρακτηριστικά της οπτικής ίνας, τα οποία έπονται στην κάτω λίστα. Επίσης, στην παρακάτω εικόνα της υποενότητας αυτής διαγράφει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των οπτικών ινών. Συμπερασματικά, γίνεται κατανοητή η ραγδαία άνοδος των οπτικών ινών και οι συνεχόμενες ανακαλύψεις και νέες τεχνολογίες πάνω σε αυτές.

- **“Μεγάλη χωρητικότητα πληροφορίας**, που οφείλεται στη χρήση της οπτικής περιοχής του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.
- **Μικρό κόστος**, διότι το γυαλί είναι πολύ πιο φθηνό από το χαλκό και τα αποθέματα του ανεξάντλητα. Ακόμη η μικρή εξασθένιση των οπτικών ινών μειώνει τον αριθμό των αναμεταδοτών/ενισχυτών σε μια ζεύξη μειώνοντας ακόμη περισσότερο το κόστος.

- **Χαμηλό βάρος και μικρό μέγεθος** της οπτικής ίνας. Πληροφοριακά, ένα καλώδιο οπτικών ινών ζυγίζει τέσσερις φορές λιγότερο από ένα συμβατικό και έχει περίπου τη μισή διάμετρο.
- **Αναισθησία στις ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές**, επειδή το γυαλί είναι διηλεκτρικό και δεν παρουσιάζει φαινόμενα ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής.
- **Ασφάλεια** γιατί είναι αδύνατον να γίνει υποκλοπή του οπτικού σήματος.

Επίσης, λόγω του ότι δεν έχουμε μεταφορά ηλεκτρικού σήματος, τα οπτικά συστήματα διαλέγονται σε περιοχές υψηλού κινδύνου εκρήξεων λόγω σπινθήρων (χώροι καυσίμων, εύφλεκτων αερίων κλπ.)’ [4]

Στην **εικόνα 11**. με **λεζάντα: Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα οπτικών ινών** παρουσιάζονται συνοπτικά τα θετικά και τα αρνητικά ενός καλωδίου οπτικής ίνας.

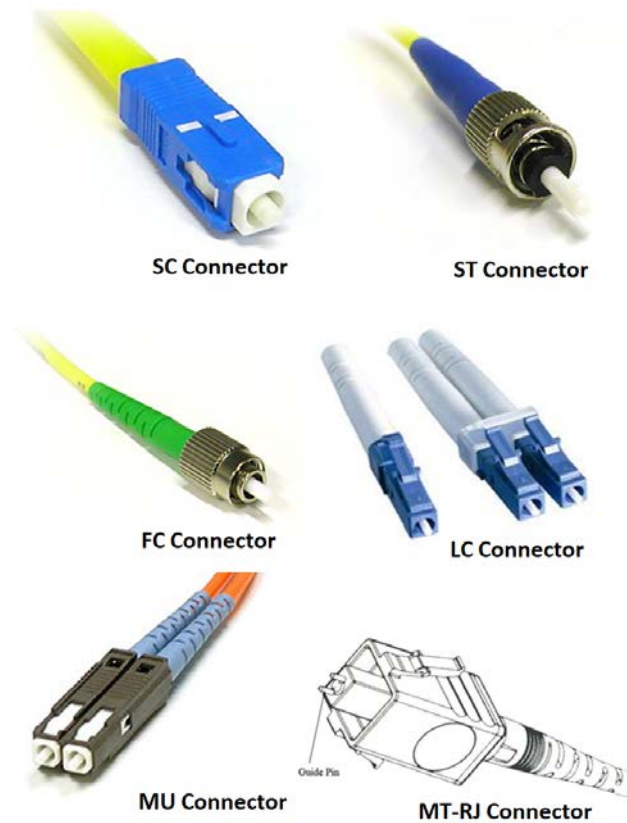


Εικόνα 11. Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα οπτικών ινών [9]

1.3.2 Συνδετήρες (Connectors) της οπτικής ίνας

Στην συγκεκριμένη ενότητα, θα υπάρξει ανάλυση και περιγραφή των συνδετήρων της οπτικής ίνας, που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές συμπεριλαμβανόμενων των τηλεπικοινωνιών και των δύσκολων περιβαλλόντων. Για την επιλογή του ανάλογου συνδετήρα, για να γίνει η ζεύξη, λαμβάνει υπόψη ο τύπος της οπτικής ίνας, η απαιτούμενη απόδοση και η συντήρηση. Υπάρχουν διάφοροι τύποι συνδετήρων συγκεκριμένα 110 τύποι σχεδιασμού συνδέσμων οπτικών ινών, κάποιιοι από αυτούς απεικονίζονται στην **εικόνα 12**. με **λεζάντα: Τύποι βυσμάτων οπτικών ινών**.

- **SC Connector:**
Αυτοί οι σύνδεσμοι, συνήθως, χρησιμοποιούνται για εφαρμογές δικτύου, έχουν χαμηλό κόστος και είναι αρκετά απλοί. Η διάμετρος τους ανέρχεται στα 124~127 μ, έπειτα ο σύνδεσμος μπορεί να υπάρξει και σε διαμόρφωση Duplex, έχει απώλεια 0.25 dB και χρησιμοποιείται σε μονότροπες και πολύτροπες οπτικές ίνες.
- **ST Connector:**
Αυτοί οι σύνδεσμοι χρησιμοποιούνται για μεγάλες αποστάσεις και όχι τόσο για εφαρμογές τοπικών δικτύων. Διατίθενται σε τύπους push in και twist, έχουν μεταλλικό και πλαστικό περίβλημα. Επιπρόσθετα, αναμένεται αυστηρά μόνο σε Simplex, η απώλεια τους είναι 0.25 dB και χρησιμοποιείται σε μονότροπες και πολύτροπες οπτικές ίνες.
- **FC Connector:**
Αυτοί οι σύνδεσμοι χρησιμοποιούνται, κυρίως, για τηλεπικοινωνιακές εφαρμογές και είναι ιδανικοί για μεγάλες αποστάσεις και ιδανικά σε τοπικά δίκτυα, διατίθεται μόνο σε διαμόρφωση Simplex. Η απώλεια τους είναι 0,25 dB και τα τελευταία χρόνια αντικαταστάθηκε, σταδιακά, από τους SC, LC συνδετήρες.
- **LC Connector:**
Αυτοί οι σύνδεσμοι χρησιμοποιούνται για μονόδρομους, έχουν μικρό μέγεθος και χρησιμοποιούνται για συνδέσεις υψηλής πυκνότητας. Η απώλεια τους είναι 0,2 dB και είναι ένας σύνδεσμος οπτικών ινών μικρού μεγέθους Small Form Factor (SFF).
- **MU Connector:**
Αυτοί οι σύνδεσμοι, συνήθως, χρησιμοποιούνται σε επικοινωνίες δεδομένων υψηλής ταχύτητας, δίκτυα φωνής και τηλεπικοινωνίες. Υποστηρίζουν πολυπλεξία πυκνής διαίρεσης μήκους κύματος Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM). Επιπρόσθετα, διατίθεται σε μορφή Simplex καθώς και σε μορφή Duplex. Έχουν απώλειες εισαγωγής 0,25 dB.
- **MT-RJ connector:**
Αυτοί οι σύνδεσμοι συνήθως χρησιμοποιούνται σε συστήματα επικοινωνίας κτιρίων για συνδέσεις διπλής κατεύθυνσης πολλαπλών τρόπων. Οι σύνδεσμοι MT-RJ έχουν σχεδιαστεί με πολικότητα αρσενικού και θηλυκού.



Εικόνα 12. Τύποι βυσμάτων οπτικών ινών [5]

1.3.3 Κατηγορίες/Τύποι της οπτικής ίνας

Οι βασικοί τύποι οπτικών ινών είναι κατά κύριο λόγο δυο:

- **Μονότροπες Single Mode Optical Fiber (SMF)**
- **Πολύτροπες Multi Mode Optical Fiber (MMF)**

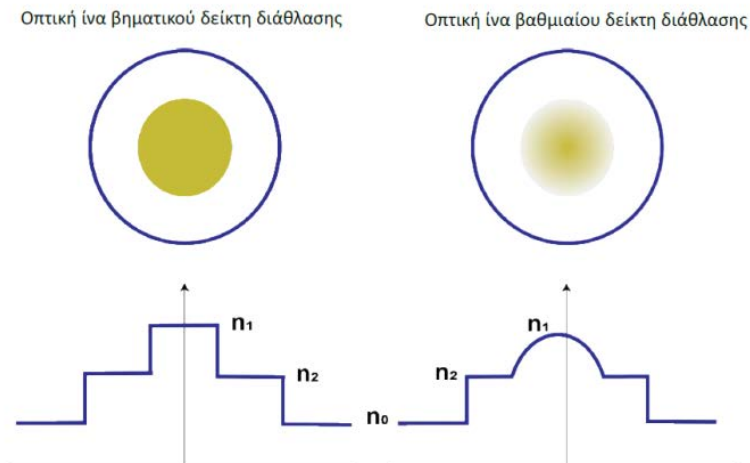
Οι **πολύτροπες ίνες** ήταν ο πρώτος τύπος που εμπορευματοποιήθηκε, έχουν μεγαλύτερο πυρήνα, που αυτό οδηγεί και επιτρέπει εκατοντάδες ακτίνες φωτός να μετακινούνται και να διασκορπίζονται ταυτόχρονα μέσα τους και υπάρχει μεγαλύτερη εξασθένηση. Είναι αναγκαίο να σημειωθεί πως, έχουν μεγαλύτερο πυρήνα και έπρεπε δικαιοματικά να διακατέχουν μεγαλύτερο εύρος ζώνης και πιο γρήγορη μεταβίβαση ανάλογων πληροφοριών, αυτό, ωστόσο δεν συμβαίνει.

Οι **πολύτροπες οπτικές ίνες** που διακρίνονται σε:

- **Οπτική ίνα βηματικού δείκτη διάθλασης Step Index Multi Mode Fibre (SI-MMF):** “Ο δείκτης λαμβάνει μία τιμή στον χώρο του μανδύα και μία τιμή στον χώρο του πυρήνα.” [1]
- **Οπτική ίνα βαθμιαίου δείκτη διάθλασης Graded Index Multi Mode Fibre (GI-MMF):** “Ο δείκτης διάθλασης αυξάνεται προοδευτικά από την τιμή n_2 που

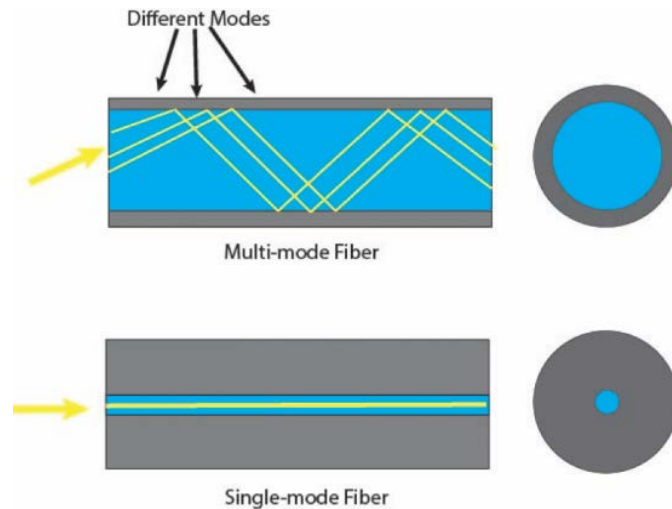
αντιστοιχεί στον δείκτη διάθλασης του μανδύα στην τιμή n_1 που αντιστοιχεί στον δείκτη διάθλασης του πυρήνα.” [1]

Τι είναι ο δείκτης διάθλασης; : “Ο δείκτης διάθλασης ενός υλικού είναι ο λόγος της ταχύτητας του φωτός στο κενό προς την ταχύτητα του φωτός μέσα στο υλικό αυτό.” [3] Στην **εικόνα 13**. με **λεζάντα: Σχηματική αναπαράσταση της πολύτροπης οπτικής ίνας βηματικού και βαθμιαίου δείκτη διάθλασης** αφομοιώνει σχηματικά τον βηματικό και βαθμιαίο δεκτή μιας πολύτροπης (MMF) οπτικής ίνας.



Εικόνα 13. Σχηματική αναπαράσταση της πολύτροπης οπτικής ίνας βηματικού και βαθμιαίου δείκτη διάθλασης [1]

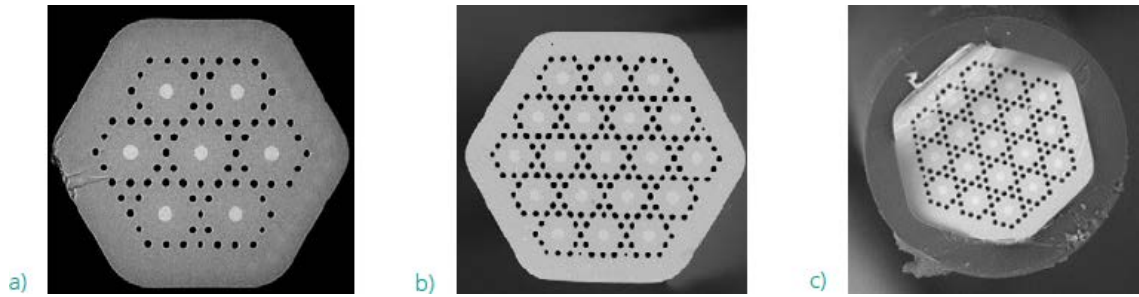
Οι **μονότροπες ίνες** έχουν αρκετά μικρότερο πυρήνα, με αποτέλεσμα να φέρνει περίπου έξι φορές διερχόμενο μήκος κύματος και η διάδοση του φωτός να γίνεται μόνο σε ένα ρυθμό. Είναι καλύτερες, συγκριτικά, από τις πολύτροπες, προτιμούνται περισσότερο στον εμπορικό τομέα, διότι είναι πιο πρακτικές σε μεγαλύτερες αποστάσεις, έχουν μικρότερη διασπορά, υψηλότερο εύρος ζώνης και τέλος χαμηλότερη εξασθένιση. Στις ακόλουθες **εικόνες 14., 15., 16., 17.** με **λεζάντες: Μονότροπη και πολύτροπη οπτική ίνα, Πολυπυρηνική οπτική ίνα σε μικροσκόπιο με διατομή 7,19 και 19 πυρήνων με επίστρωση, Χρονοδιάγραμμα της εξέλιξης των HCF και εξασθένιση με μήκος κύματος 1550 nm, Δομή πλαστικής οπτικής ίνας** δείχνουν όλες τις κατηγορίες οπτικών ινών με διάφορες αναπαραστάσεις.



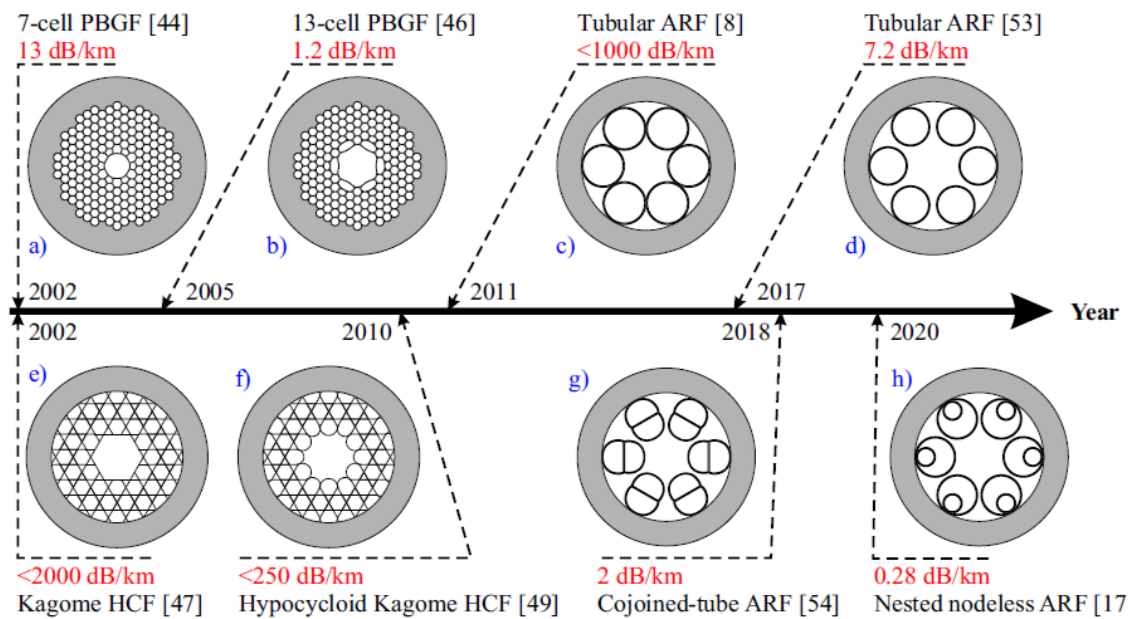
Εικόνα 14. Μονότροπη και πολύτροπη οπτική ίνα [10]

Υπάρχουν και άλλες πιο πρόσφατες κατηγορίες οπτικών ινών, οι οποίες είναι υπό εξέλιξη και απεικονίζονται παρακάτω:

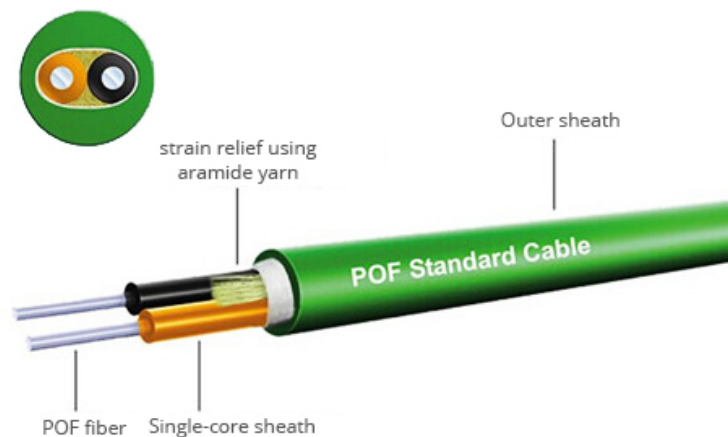
- **Πολυπυρηνικές Multi Core Fiber (MCF):**
“Επιτρέπουν την παράλληλη μετάδοση πολλών ρών δεδομένων χάρη στην ταυτόχρονη αποστολή δεδομένων σε πολλούς πυρήνες.” [1]
- **Κοίλου πυρήνα Hollow Core Fiber (HCF):**
“Έχουν έναν πυρήνα γεμάτο αέρα, περιβάλλεται από με μικροδομημένο γυάλινο περίβλημα και επιτρέπει υψηλό επίπεδο περιορισμού του φωτός. Προσφέρουν εξαιρετικά χαμηλή μη γραμμικότητα, χαμηλή καθυστέρηση, υψηλό κατώφλι βλάβης και θερμοκρασιακή αναισθησία. εφαρμογές, π.χ. κυψέλες αερίων μεγάλου μήκους, παροχή υψηλής ισχύος, συμπίεση παλμών, μη γραμμικά φαινόμενα, διάδοση και ανίχνευση στο μέσο υπέρυθρο (MIR), MIR γεμάτα με αέριο λέιζερ και γυροσκοπία οπτικών ινών ακρίβειας.” [6]
- **Πλαστικές plastic optical fiber (POF):**
“Έχουν πολύ μεγάλη διάμετρο που προσεγγίζει το 1 mm και υποστηρίζουν εκατομμύρια τρόπους διάδοσης. Λόγω της ευχρηστίας τους μπορούν να αποτελέσουν βασικά μέσα μετάδοσης σε τοπικά δίκτυα αποστάσεων 100 m με δυνατότητα μεταφοράς έως και 1 Gbs αποτελώντας ανταγωνιστικά μέσα μετάδοσης σε σχέση με τα χάλκινα καλώδια σε περιβάλλοντα με ισχυρή ηλεκτρομαγνητική επαγωγή. Επίσης, για τον ίδιο λόγο είναι ιδανικές για την κατασκευή πολύ φτηνών αισθητήρων πίεσης.” [1]



Εικόνα 15. Πολυπυρηνική οπτική ίνα σε μικροσκόπιο με διατομή 7,19 και 19 πυρήνων με επίστρωση [11]



Εικόνα 16. Χρονοδιάγραμμα της εξέλιξης των HCF και εξασθένιση με μήκος κύματος 1550 nm [6]



Εικόνα 17. Δομή πλαστικής οπτικής ίνας [12]

Πίνακας 1. Παράμετροι βιβλιογραφικών οπτικών ινών

Ο παρακάτω πίνακας που αναλύεται είναι σύμφωνα με την εταιρεία τηλεπικοινωνιών International Telecommunication Union Telecommunication Standardization Sector (ITU-T). Ένα από τα πρότυπα **μονότροπων** οπτικών ινών, είναι το ισχυρό G.652 που εμφανίστηκε στην δεκαετία 1984 και χωρίζεται σε τέσσερις κατηγορίες τις: A,B,C,D. Αυτή η οπτική ίνα παρουσιάζει μήκος κύματος μηδενικής διασποράς Zero Dispersion Wavelength (ZDW), ανέρχεται στα 1300~1324 nm και το τεστ απόδειξης περιγράφει την αντοχή του υλικού χωρίς παραμόρφωση που ανέρχεται στα 0.69 Giga Pascal (GPa).

Ένα από τα πρότυπα **πολύτροπων** οπτικών ινών, είναι το G.651 που πλέον με την αναβάθμιση ονοματίζεται G.651.1. Εμφανίστηκε στην δεκαετία 1980, έχει λειτουργίες διαβαθμισμένου δείκτη, υποστηρίζει την αρχιτεκτονική οπτικές ίνες στην ζώνη Fiber to the Zone (FTTZ), έχει διάμετρο 50-125 mm και το τεστ απόδειξης που περιγράφει την αντοχή του υλικού χωρίς παραμόρφωση ανέρχεται στα 0.69 Giga Pascal (GPa). Κάτω στον πίνακα αναγράφονται οι παράμετροι τους.

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΟΠΤΙΚΗΣ ΙΝΑΣ	Μονότροπη οπτική ίνα (SMF) G.652.A	Μονότροπη οπτική ίνα (SMF) G.652.B	Μονότροπη οπτική ίνα (SMF) G.652.C	Μονότροπη οπτική ίνα (SMF) G.652.D	Πολύτροπη Οπτική ίνα (MMF) G.651.1
Χρωματική διασπορά	1300, 1324 nm=0.092 ps/nm/km	1300, 1324 nm=0.092 ps/nm/km	1300, 1324 nm=0.092 ps/nm/km	1300, 1324 nm=0.092 ps/nm/km	1295, 1310 nm= \leq 0.105 ps/nm/km
Συντελεστής εξασθένησης (απώλειες α)	1310 nm=0.5 1550 nm= 0.4 dB/km	1310 nm=0.4 1550 nm= 0.35 1625 nm=0.4 dB/km	1310-1625 nm=0.4 dB/km	1310-1625 nm=0.4 dB/km	850 nm=3.5 1300 nm= 1.0 dB/km
Δείκτης διάθλασης n	1310 nm=1.467, 1550 nm=1.4682	1310nm=1.467 1550 nm=1.468	1310 nm=1.467	1310nm=1.467 1550nm=1.468	850 nm 1.482
Συντελεστής διασποράς D	-	-	-	-	-
Ταχύτητα διάδοσης (χρόνος)	1310 nm =6268617 nsec 1550 nm =6271236 nsec	1310 nm =6268617 nsec 1550 nm =6271236 nsec	1310 nm =6268617 nsec 1550 nm =6271236 nsec	1310 nm =6268617 nsec 1550 nm =6271236 nsec	-
Μπάντα μηκών κύματος	1310-1550 nm	1310-1550 nm	1310-1550 nm	1310-1550 nm	850-1300nm
Ακτίνα	30 mm ακτίνα, 100	10 mm ακτίνα,	30 mm ακτίνα,	30 mm ακτίνα,	15 mm ακτίνα,

καμπύλης (Macrobend)	στροφές, 1550=0.1 dB	100 στροφές, 1625=0.1 dB	100 στροφές, 1625=0.1 dB	100 στροφές, 1625=0.1 dB	2 στροφές, 850-1300=1.0 dB
Διασπορά τροπών μετάδοσης	-	-	-	-	-
Μέγιστη απόσταση	400 km-10 Gbits, 40 km (ethernet)-10 Gbits, 2 km-40 Gbits	3000 km, 10 Gbits, 80 km, 40 Gbits	Παρόμοια με την A (χαμηλή εξασθένιση 1550 nm)	Συνδυασμός B,C	1 Gbits (ethernet), 550 m
Συντελεστής μη γραμμικών φαινομένων	n^2/A_{eff}	n^2/A_{eff}	n^2/A_{eff}	n^2/A_{eff}	-

Πηγές: Για SMF: <https://www.m2optics.com/blog/bid/70587/calculating-optical-fiber-latency> ,
https://www.researchgate.net/figure/Results-of-Comparisons-of-Standards-of-Propagation-Time-for-G652-and-G653-Optical-Fibers_tbl3_323174440 ,

<https://www.fiberoptics4sale.com/blogs/optical-fibers-and-cables/100267590-itu-standard-fiber-categories> ,

https://www.dipolnet.com/optical_fiber_standards_bib327.htm ,

<https://www.anfkomftth.com/introduction-to-g651g652g653g654g655g656g657-fiber/> ,

https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=s&id=T-REC-G.652-200911-S!!PDF-E&type=items .

Για MMF: https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.651.1-201811-!!PDF-E&type=items ,

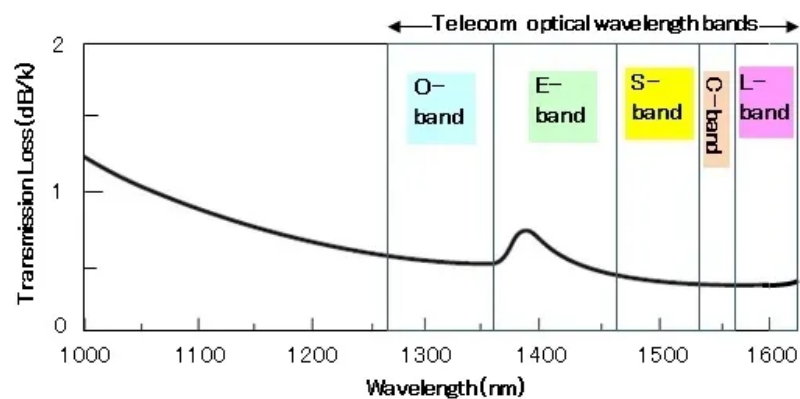
https://www.prysmian.com/sites/default/files/business_markets/markets/downloads/datasheets/MMF--Graded-Index-Multimode-Optical-Fiber-50_125-m.pdf ,

<https://www.fiberoptics4sale.com/blogs/optical-fibers-and-cables/100267590-itu-standard-fiber-categories>

1.3.4 Μήκη κύματος της οπτικής ίνας

Στην τρέχουσα ενότητα, θα αναλυθεί το μήκος κύματος μιας οπτικής ίνας, αυτό το κομμάτι στέκεται κυρίως και βοήθα την επικοινωνία της οπτικής ζώνης. Διεξάγεται στην περιοχή μήκους κύματος, όταν οι ίνες έχουν ελάχιστες απώλειες μετάδοσης. Το διάστημα που διακρίνεται είναι στα 1260nm μέχρι 16258nm και έχει πέντε κατηγορίες που συγκεκριμένα ονομάζονται ζώνες. Στην **εικόνα 18**. με **λεζάντα: Μήκη κύματος και απώλεια μετάδοσης οπτικών ζωνών** αναλύονται τα μήκη κύματος και ποσό εξασθένιση προσδοκούν σε ένα διάγραμμα από τις οπτικές πρωτοαναφέρουσες ζώνες. Παρακάτω ακολουθούν αναλυτικά:

- **Ζώνη O, O Band:**
Αυτή η ζώνη είναι η πρώτη που χρησιμοποιήθηκε για τις οπτικές ίνες. Η παραμόρφωση του σήματος ήταν ελάχιστη, λόγω της χρωματικής διασποράς, κυμαίνεται στα 1260-1360 nm. Η δεκαετία που υπήρξε ήταν το 1970.
- **Ζώνη E, E Band:**
Αυτή η ζώνη έχει την μεγαλύτερη εξασθένιση από όλες τις υπόλοιπες ζώνες, ωστόσο, στην διάρκεια βελτιώθηκε και κυμαίνεται στα 1360-1460 nm.
- **Ζώνη S, S Band:**
Αυτή η ζώνη χρησιμοποιείται, κυρίως, στα συστήματα Passive Optical Network (PON), διέρχεται στα 1460-1530 nm. Συγκεντρώνει, επίσης, την μετάδοση της πυκνή πολυπλεξία με διαίρεση μήκους κύματος Dense Wavelength Division Multiplexing (DWDM).
- **Ζώνη C, C Band:**
Αυτή η ζώνη κυμαίνεται στα 1530-1565 nm, είναι κατάλληλη για μεγάλες αποστάσεις, χρησιμοποιείται σε δίκτυα μητροπολιτικά και υποθαλάσσια συστήματα οπτικής μετάδοσης, με βοήθεια της τεχνολογίας πολυπλεξία με διαίρεση μήκους Wavelength Division Multiplexing (WDM) και ανιχνευτή ινών έρβιου Erbium Doped Fiber Amplifier (EDFA).
- **Ζώνη L, L Band:**
Αυτή η ζώνη είναι η δεύτερη κατά σειρά που έχει την χαμηλότερη απώλεια και χρησιμοποιείται σε υπερωκεάνια υποθαλάσσια συστήματα μετάδοσης. Τέλος, κυμαίνεται στα 1565-1625 nm.



Εικόνα 18. Μήκη κύματος και απώλεια μετάδοσης οπτικών ζωνών [13]

1.4 Μηχανισμοί μετάδοσης στην οπτική ίνα

Αυτή η ενότητα έχει ως επίκεντρο τα φαινόμενα διάδοσης, που είναι μη προσπελάσιμα για τις οπτικές ίνες. Τα φαινόμενα αυτά επηρεάζουν την διάδοση του φως στις οπτικές ίνες. Στη τρέχουσα ενότητα θα αναλυθούν τα εξής:

- Εξασθένιση/παράγοντας απωλειών
- Διασπορά/Χρωματική διασπορά
- Φαινόμενα πόλωσης
- Μη γραμμικά φαινόμενα

1.4.1 Εξασθένιση/Παράγοντας απωλειών

Η εξασθένιση μειώνει την ισχύ κατά τη διάδοση ενός οπτικού σήματος και καθορίζει τον αριθμό των ενισχυτών μεταξύ του γνωστού μοντέλου του πομπού με τον δεκτή, στην διαδικασία της ζεύξης. Είναι ένα γραμμικό φαινόμενο και καθορίζεται αναλόγως την απόσταση της ζεύξης και έχει ως μονάδα μέτρησης τα db/km. Η εξασθένιση του σήματος, οφείλεται στην απορρόφηση του υλικού λόγω αλληλεπίδρασης των φωτονίων στο γυαλί, σε σκεδάσεις στο εσωτερικό της οπτικής ίνας που ουσιαστικά είναι το σκόρπισμα στην φωτεινή ακτινοβολία του μανδύα μέχρι τον πυρήνα. Ακόμη, περιέχει τέσσερις κατηγορίες την σκέδαση Rayleigh, έχει ισχυρή εξάρτηση από το μήκος κύματος, την σκέδαση Tyndall, την σκέδαση Raman και την σκέδαση Brillouin. Οι δυο τελευταίες ανήκουν στα μη γραμμικά φαινόμενα. Ο τελευταίος μηχανισμός απωλειών είναι τα σημεία συνενώσεων δυο οπτικών ινών. Στην **εικόνα 19**, με **λεζάντα: Παρουσίαση απωλειών οπτικής ίνας** αφομοιώνονται οι αιτίες που μπορεί να παρουσιάσει εξασθένιση, δηλαδή, απώλειες μια οπτική ίνα.

Σε μια αναλυτική-μαθηματική προσέγγιση των απωλειών, ο συντελεστής μεταβάλλεται εκθετικά με την απόσταση, ακολουθώντας τη μαθηματική έκφραση

$$P_{out} = P_{in} e^{-\alpha L}$$

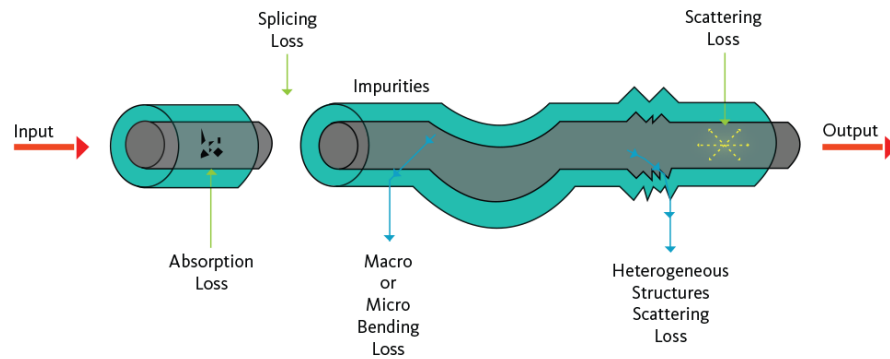
όπου

α : Είναι η σταθερά με 1/km

P_{in} : Είναι η ισχύς του φωτός με την είσοδο και

P_{out} : Η ισχύς στην έξοδο

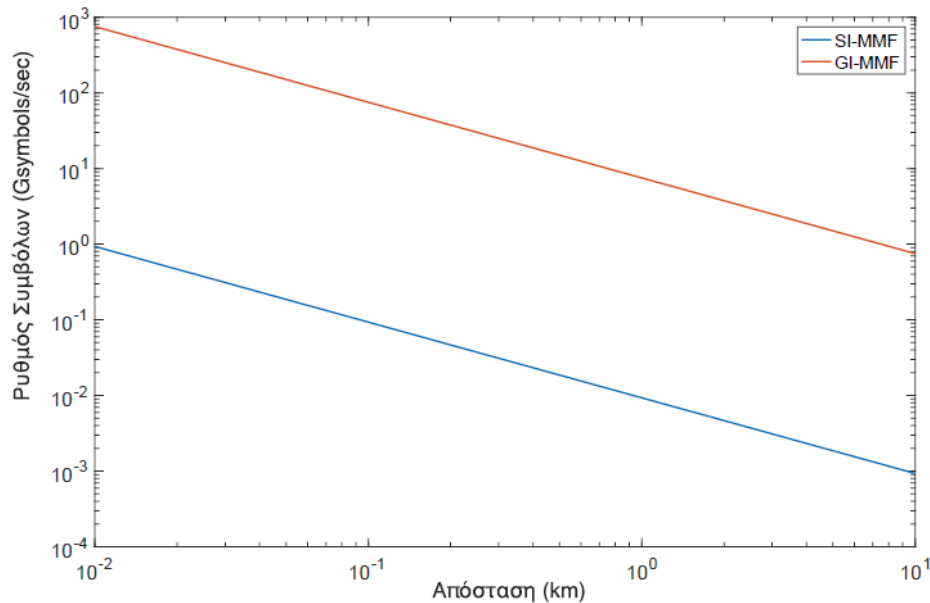
L : το μήκος της σε km.



Εικόνα 19. Παρουσίαση απωλειών οπτικής ίνας [14]

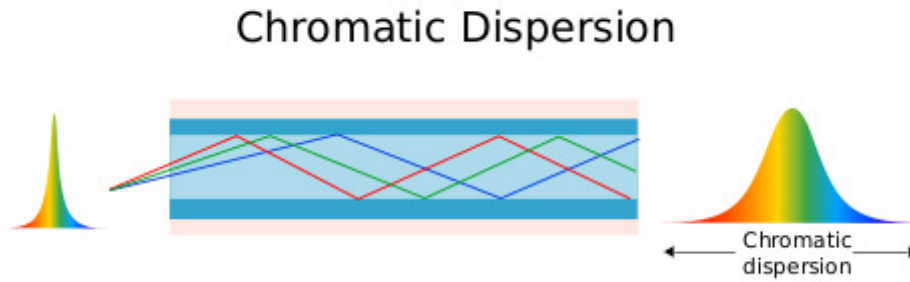
1.4.2 Διασπορά

Η διασπορά είναι ένα ακόμη φαινόμενο διάδοσης, το οποίο δεν χρησιμοποιείται μόνο στις οπτικές ίνες αλλά και στην στατιστική του κλάδου των μαθηματικών και συνήθως, αποτυπώνεται σαν εικονικό σχέδιο καμπάνας. Επηρεάζει την απόδοση των οπτικών ινών, μπορεί να αντισταθμιστεί μέσω τεχνικών ηλεκτρονικής εξισορρόπησης στην περιοχή IF. Εμφανίζεται σε διάφορες μορφές στις οπτικές επικοινωνίες, προκαλεί την διασυμβολική παρεμβολή, είτε στο επίπεδο της συχνότητας, είτε του χώρου, αφού δεν φτάνουν ταυτόχρονα στον δεκτή. Οι τρόποι μετάδοσης αφορά τις πολύτροπες οπτικές ίνες, που υποστηρίζουν διάφορες ενεργειακές κατανομές του φωτός λόγω του πυρήνα. Η διασπορά τρόπων διάδοσης είναι διαφορετική για τις οπτικές ίνες πολλαπλών τρόπων με βαθμιδωτό δείκτη διάθλασης (SI-MMF) και για τις οπτικές ίνες πολλαπλών τρόπων με διαβαθμισμένο δείκτη διάθλασης (GI-MMF). Επειδή ακολουθούν διαφορετικές διαδρομές, οι ακτίνες ανήκουν σε διαφορετικούς τρόπους, η ενέργεια τους που είναι ενός στενού παλμού θα έχει διασπορά στο χρόνο. Ονομάζεται διασπορά τρόπων διάδοσης και είναι επιτυχής, λόγω της διασποράς του χρόνου άφιξης Delay Spread. Στην **εικόνα 20. με λεζάντα: Σχεδιάγραμμα του μέγιστου ρυθμού συμβόλων σε συνάρτηση με την απόσταση μετάδοσης για οπτικές ίνες SI-MMF, GI-MMF με ένδειξη διασποράς των τρόπων διάδοσης** εκθέτει ένα σχεδιάγραμμα που θιγεί την διασπορά σε οπτικές ίνες του είδους αυτού.



Εικόνα 20. Σχεδιάγραμμα του μέγιστου ρυθμού συμβόλων σε συνάρτηση με την απόσταση μετάδοσης για οπτικές ίνες SI-MMF, GI-MMF με ένδειξη διασποράς των τρόπων διάδοσης [1]

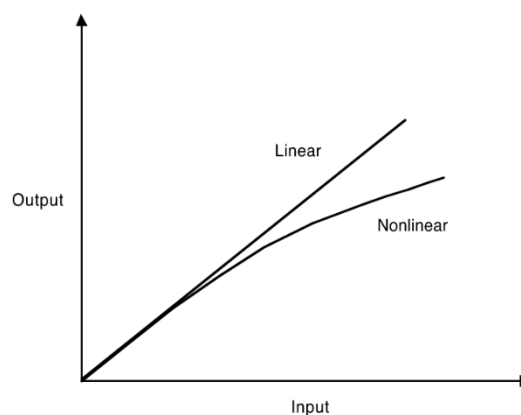
Η χρωματική διασπορά σχετίζεται με όλους τους τύπους των οπτικών ινών και έχει σκοπό το πεπερασμένο εύρος ζώνης της οπτικής πηγής, που τροφοδοτεί την οπτική ίνα. Αργότερα, η οπτική πηγή συνήθως εμφανίζεται σαν laser και δίοδοι εκπομπής φωτός Light Emitting Diodes (LED). Επίσης, “η χρωματική διασπορά συσχετίζεται με τις φασματικές συνιστώσες ενός σήματος που ταξιδεύουν σε διαφορετικές ταχύτητες. Εκδηλώνεται πως είναι η τιμή του δείκτη διάθλασης n και εξαρτάται από την συχνότητα με αποτέλεσμα να προκαλεί την διασπορά του υλικού, που είναι κυρίαρχη της χρωματικής διασποράς. Για να περιγραφτεί η χρωματική διασπορά χρησιμοποιείται η παράμετρος D , μια ολοκληρωμένη σχέση είναι η $D = -\frac{2\pi c}{\lambda^2} \beta_2$. Σε μία μονότροπη οπτική ίνα, ο συντελεστής D δίνεται από τη σχέση $D = \frac{s_0}{4} \left(\lambda - \frac{\lambda_0^4}{\lambda^2} \right)$ όπου s_0 η κλίση του συντελεστή D με τιμές που προσεγγίζουν τα **0.08 -0.09 ps/nm²/km**. Θεωρώντας ότι στις κλασικές μονότροπες οπτικές ίνες (σύμφωνα με το πρότυπο της ITU-T G.652) το μήκος κύματος μηδενικής διασποράς λ_0 κυμαίνεται από 1300 nm έως 1320 nm και προκύπτει ο συντελεστής διασποράς σε συνάρτηση φέρνει με το κατάλληλο μήκος κύματος.” [1] Στην **εικόνα 21**, με **λεζάντα: Χρωματική διασπορά κατά μήκος της οπτικής ίνας** υπογραμμίζεται η χρωματική διασπορά και το πως διαπερνά το καλώδιο της οπτικής ίνας.



Εικόνα 21. Χρωματική διασπορά κατά μήκος της οπτικής ίνας [15]

1.4.3 Μη γραμμικά φαινόμενα

Μέχρι την ανακάλυψη του laser τα οπτικά μέσα μετάδοσης θεωρούνταν γραμμικά. Πρόσθετα, σε πρακτικό επίπεδο, οι ιδιότητες τους, όπως ο δείκτης διάθλασης και ο συντελεστής απορρόφησης ήταν ελεύθεροι από την ένταση της ακτινοβολίας που είχαν διάδοση, σε εξελικτικά γεγονότα. Ωστόσο, με την ανακάλυψη του laser άνοιξε μια νέα πτυχή που υπήρχε επιτυχία σε μεγαλύτερες εντάσεις ακτινοβολίας, με αποτέλεσμα να εμφανιστεί η διάγνωση, πως τα μέσα μετάδοσης παρουσιάζουν και μη γραμμική συμπεριφορά στις μεγάλες τιμές στην ακτινοβολία. Η οπτική ίνα είναι εκ φύσης μη γραμμικό μέσο, που αυτό έχει ως αποτέλεσμα να είναι επιβλαβή για τα διαδομένα σήματα. Οι μη γραμμικότητες στις οπτικές ίνες χωρίζονται σε ελαστικές. Στην περίπτωση αυτή, δεν ανταλλάσσεται ενέργεια μεταξύ του κύματος και του μέσου και τα φαινόμενα περιγράφονται από την εξάρτηση του δείκτη διάθλασης από την ένταση του διαδομένου κύματος. Επισημαίνεται, πως οι ερχόμενες προέρχονται από ανελαστική σκέδαση του διαδομένου κύματος και του μέσου μετάδοσης. Στη δεύτερη περίπτωση, μεταφέρεται ενέργεια από φωτόνια του κύματος σε φωτόνια του μέσου, με αποτέλεσμα να υπάρχουν φωτόνια χαμηλότερης συχνότητας, δηλαδή, μεγαλύτερου μήκους κύματος χάρη την διάφορα ενεργείας. Στην **εικόνα 22**, με **λεζάντα: Γραμμικές και μη γραμμικές αλληλεπιδράσεις** αναδεικνύει μια γραμμική παράσταση με άξονα x, y που διαθέτει γραμμικά και μη γραμμικά φαινόμενα.



Εικόνα 22. Γραμμικές και μη γραμμικές αλληλεπιδράσεις [16]

1.4.4 Φαινόμενα πόλωσης

Η κλασική μονότροπη οπτική ίνα μπορεί να υποστηρίξει δυο τρόπους κάθετα πολωμένους μεταξύ τους. Ένα παράδειγμα που μπορεί να αποδοθεί είναι, στην περίπτωση ενός κύματος γραμμικά πολωμένου σε τυχαία διεύθυνση που περιβάλλεται από οπτική ίνα το κύμα εισαγόμενο στην ίνα θα προκαλέσει και τους δυο τρόπους διάδοσης. Σε περίπτωση συμμετρικής ολοκληρωτικά ίνας, αυτοί οι τρόποι θα οδηγηθούν και θα φτάσουν μαζί στο δεκτή. Στην πραγματικότητα, όμως, δεν υπάρχει ακριβής κυκλική δομή και ακριβώς χαρακτηριστικά εξαιτίας των φυσικών ατελειών την ώρα της κατασκευής. Επιπρόσθετα, υπάρχουν και άλλες ατέλειες, όπως οι κάμψεις στην γεωμετρία τους, η μηχανική τάση, η συγκόλληση και οι αλλαγές θερμοκρασίας.

Μια παρατήρηση που μπορεί να αποδοθεί είναι πως, οι ατέλειες που αναφέρθηκαν δεν είναι το ίδιο προσανατολισμένες κατά μήκος της οπτικής ίνας, άρα επηρεάζουν διαφορετικά το σήμα στους πολωτικούς άξονες. Οι άξονες αυτοί είναι οι γνωστοί x , y . Οι τρόποι εμφανίζουν διαφορετικές σταθερές διάδοσης β και έτσι διαχωρίζονται. Γίνονται ελαφρά διαφορετικές ή ισοδύναμα διαδίδονται σε διαφορετική ταχύτητα Differential Group Delay (DGD). Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται διαθλαστικότητα και αναφέρεται στην διάφορα των δεικτών διάθλασης των αξόνων. Ο x είναι ο μεγαλύτερος άξονας και ο y είναι ποιο γρήγορος με αποτέλεσμα η κατάσταση πόλωσης να είναι ελλειπτική και να ταλαντώνεται.

2. Εξοπλισμός τεχνικού πεδίου εγκατάστασης οπτικών ινών και οπτικών δικτύων

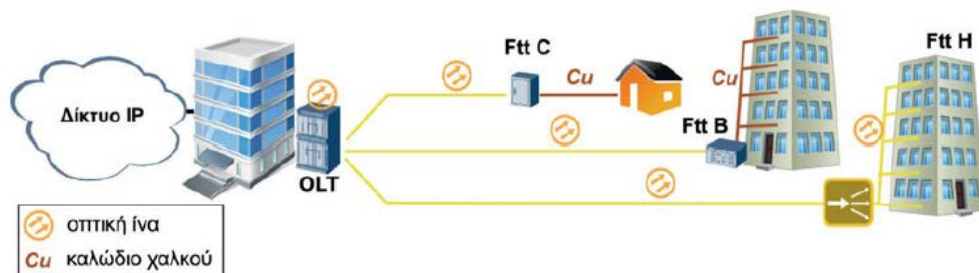
Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλυθεί η τεχνική εγκατάσταση των οπτικών ινών με εισαγωγή στην αρχική διαδικασία βημάτων, που συμβαίνουν στη διάρκεια του επαγγελματικού περιεχομένου, καθώς και το τι είναι ένα παθητικό οπτικό δίκτυο. Παρακάτω επισημαίνονται ο εξοπλισμός των εγκαταστάσεων, η επεξήγηση των μηχανημάτων, η διαδικασία κόλλησης της οπτικής ίνας και σφαιμάτων που μπορούν να προκύψουν, οι κατηγορίες οπτικών ινών με όλα τα απαραίτητα χαρακτηριστικά και τέλος, η σύγκριση πραγματικών ινών με βιβλιογραφικές οπτικές ίνες.

Διασαφηνίζονται οι διάφοροι πάροχοι διαδικτύου και τηλεφωνικής επικοινωνίας, που παρέχουν πλέον την δυνατότητα της νέας τεχνολογίας των οπτικών ινών. Ονομάζεται οπτική ίνα στο σπίτι Fiber To The Home (FTTH), είναι μια πολύ εξελιγμένη διαδικασία με πολλά και εκτενή οφέλη, ολόκληρη η διαδικασία βημάτων ξεκινά αναλυτικά ως εξής:

- 1.1) Ο μηχανικός δημιουργεί το σχέδιο και επιλέγει σε ποιο σημείο θα τοποθετηθούν οι απαραίτητες εργασίες για τις οπτικές ίνες.
- 1.2) Ο εργολάβος μετά την υπόδειξη του μηχανικού, παραπέμπει το συνεργείο να σκάψει και να τοποθετήσει τις προστατευτικές σωληνώσεις που περιλαμβάνουν οπτικές ίνες. Συνήθως, η κόλληση των οπτικών ινών σε κομβικά σημεία, γίνεται τις νυχτερινές ώρες, καθώς η ατμόσφαιρα είναι πιο καθαρή.
- 2) Ο οργανισμός τηλεπικοινωνιών, μετά την υπόδειξη του εργολάβου, αναλαμβάνει να εγκαταστήσει την οπτική ίνα στην αντίστοιχη οικοδομή. Ο απεσταλμένος τεχνικός τοποθετεί το κουτί δαπέδου (Floor Box) ή το σημείο εισόδου κτηρίου Building Entry Point (BEP) (συνήθως βρίσκεται στο ισόγειο και παρέχει περισσότερες γραμμές) και ανατρέχει στους ορόφους, που έχει κάνει ο πελάτης αίτηση για FTTH. Η κύρια εργασία του είναι να φέρει τις σωστές γραμμές προς ολοκλήρωση της διαδικασίας, κατά απαίτηση και εντολή του πελάτη.
- 3) Ο πάροχος διαδικτύου και τηλεφωνικής επικοινωνίας που επιλέγει ο πελάτης, αναλαμβάνει την εγκατάσταση του κουτιού δαπέδου (Floor Box) ή του σημείου εισόδου κτηρίου Building Entry Point (BEP) να οδηγήσει και να καταλήξει την οπτική ίνα μέσα στην οικεία του πελάτη. Αρχικά, την

μεταφέρει, την κολλάει και αυτό έχει ως αποτέλεσμα, να μεταδίδεται από το παθητικό οπτικό δίκτυο Passive Optical Network (PON) και το δρομολογητή router, που παρέχει υπηρεσίες ασύρματου δικτύου (wifi) με αρκετά μεγάλη εμβέλεια.

Στην **εικόνα 23**. με **λεζάντα: Αναπαράσταση οδήγησης οπτικής ίνας από καμπίνα cabinet (KV) σε τελικό σημείο οικίας** προσεγγίζει ένα πιθανό σχέδιο της διαδικασίας ολόκληρης του FTTH.



Εικόνα 23. Αναπαράσταση οδήγησης οπτικής ίνας από καμπίνα cabinet (KV) σε τελικό σημείο οικίας [7]

Στην **εικόνα 24**. με **λεζάντα: Εξοπλισμός/Εργαλεία 1: Router εγκαταστάσεων οπτικής ίνας** διακρίνεται ο δρομολογητής από την όψη των θυρών, που παρέχει αναβαθμισμένες και καινούργιες υπηρεσίες wifi 6 (πλέον στις οπτικές ίνες εφαρμόζεται με το καλώδιο σύνδεσης στην θύρα WAN). Χρησιμοποιείται σε πραγματικές εγκαταστάσεις οπτικών ινών κατά την διάρκεια του επαγγελματικού περιεχομένου που περιγράφεται σε αυτό το κεφάλαιο.

(Οι συγκεκριμένες φωτογραφίες τραβήχτηκαν από προσωπική μου επαγγελματική ενασχόληση ως τεχνικός εγκαταστάσεων οπτικών ινών.)



Εικόνα 24. Εξοπλισμός/Εργαλεία 1: Router εγκαταστάσεων οπτικής ίνας

Τι είναι ένα παθητικό οπτικό δίκτυο Passive Optical Network (**PON**);

Το παθητικό οπτικό δίκτυο είναι ένα είδος δικτύου οπτικής ίνας με την μορφή τυπολογίας tyrology σημείων σε πολλαπλά σημεία point to multipoint, που εφαρμόζει οπτικούς διαχωριστές για την μεταφορά δεδομένων από το ένα σημείο μετάδοσης σε πολλαπλά ολοκληρωμένα σημεία χρηστών. Δεν είναι ευάλωτο σε ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές και διατηρεί την καλή ποιότητα και εμβέλεια του. Τέλος, χρησιμοποιεί την πολυπλεξία διαίρεσης κυμάτων Wave Division Multiplexing (WDM), που καλεί τον διαχωρισμό της ροής των δεδομένων κατά βάση του μήκος κύματος. Διακρίνεται σε 6 τύπους³:

- **APON/BPON:**

Αυτό το PON είναι το πρώτο, που κατέφυγε στο εμπόριο επιτυχώς το A σημαίνει ATM Asynchronous Transfer Mode (APON). Το Broadband (BPON) είναι η αναβαθμισμένη έκδοση του APON και παρέχει υπηρεσίες ethernet, μετάδοση βίντεο κλπ.

- **GPON:**

Αυτό το PON είναι το πρότυπο της ITU-T, παρέχει εύρος ζώνης έως και 2.5 Gbps και διαθέτει μηχανισμό προστασίας σε επίπεδο δικτύου πρόσβασης που είναι αρκετά διαδεδομένος στα δίκτυα FTTH.

- **EPON:**

Αυτό το PON δεν χρειάζεται πρωτόκολλα ενθυλάκωσης και παρέχει συμμετρικές ταχύτητες έως και 1.25 Gbps.

- **XG-PON:**

Αυτό το PON υποστηρίζει έως και 10 Gbps στο downstream και 2.5 Gbps στο upstream.

- **10G-E-PON:**

Αυτό το PON αυξάνει τις ταχύτητες στα 10 Gbps και λειτουργεί σε διαφορετικά μήκη κύματος.

- **NG-PON2:**

Αυτό το PON χρησιμοποιεί διαφορετικά μήκη κύματος και επιτρέπει την συνύπαρξη στο ίδιο δίκτυο PON.

Στην **εικόνα 25**, με **λεζάντα: Εξοπλισμός/Εργαλεία 2: PONS εγκαταστάσεων οπτικής ίνας** διακρίνονται τα οπτικά παθητικά δίκτυα, που χρησιμοποιούνται στις πραγματικές εγκαταστάσεις οπτικών ινών (είναι δυο ειδών) το μαύρο είναι εκτός λειτουργίας και το άσπρο είναι σε λειτουργία και η ολοκλήρωση επιτυχής

³ Τα GPON, XG-PON και NG-PON2 χρησιμοποιούνται κυρίως σε μεγάλες εγκαταστάσεις πολλαπλών μισθωτών ή επιχειρηματικών πελατών και ως μέρος των ασύρματων δικτύων 5G.

εγκατάστασης οπτικής ίνας κατά την διάρκεια του επαγγελματικού περιεχομένου που περιγράφεται σε αυτό το κεφάλαιο.

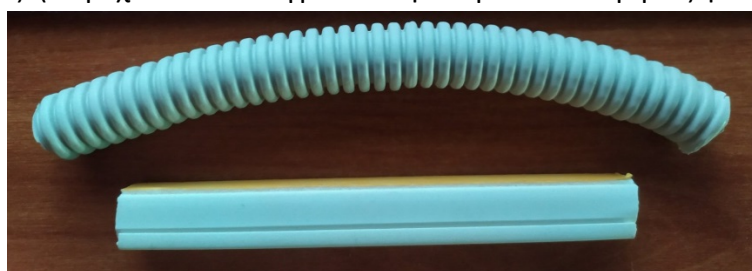


Εικόνα 25. Εξοπλισμός/Εργαλεία 2: PONS εγκαταστάσεων οπτικής ίνας

Παρακάτω ακολουθεί ο απαραίτητος εξοπλισμός για τις εγκαταστάσεις οπτικών ινών και γενικότερα τα απαραίτητα αντικείμενα και εργαλεία για τις εγκαταστάσεις οπτικής ίνας.

- **Κανάλια και ελικωτοί σωλήνες spiral:**

Στην **εικόνα 26**, με **λεζάντα: Εξοπλισμός/Εργαλεία 3: Κανάλια και ελικωτοί σωλήνες** δείχνει τα απαραίτητα αντικείμενα για τις εγκαταστάσεις οπτικής ίνας. Χρησιμοποιούνται για την προστασία της οπτικής ίνας, ουσιαστικά είναι ο οδηγός της μέσα σε αυτά τα δυο αντικείμενα. Τα κανάλια συνήθως είναι για εσωτερικές εγκαταστάσεις και οι σωλήνες χρησιμοποιούνται σε εξωτερικές. (Παρέχονται τα δείγματα στην παρακάτω ακριβώς φωτογραφία)



Εικόνα 26. Εξοπλισμός/Εργαλεία 3: Κανάλια και ελικωτοί σωλήνες

- **Σκάλες:**

Στην **εικόνα 27**, με **λεζάντα: Εξοπλισμός/Εργαλεία 4: Σκάλες τεχνικού** είναι ένα από τα απαραίτητα αντικείμενα για τις εγκαταστάσεις οπτικής ίνας, που χρειάζεται ο τεχνικός δικτύων στις συνθήκες εργασίας. Χρησιμοποιείται από τον τεχνικό, αναλόγως, την απόσταση που υπάρχει στο κουτί δαπέδου. Διακρίνονται σε δυο είδη, η γκρι ειδική σκάλα που χρησιμοποιείται σε μεγαλύτερες αποστάσεις, καθώς και η κόκκινη σκάλα που χρησιμοποιείται

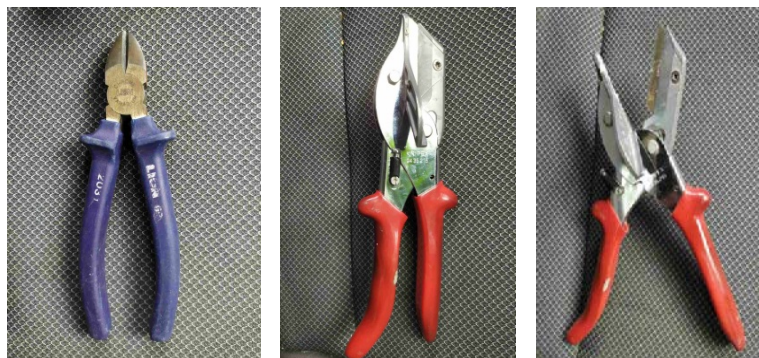
σε μικρές αποστάσεις. Η γκρι ειδική σκάλα σε αντίθεση με την κόκκινη είναι πιο βαριά και χρησιμοποιείται σε ειδικές περιπτώσεις.



Εικόνα 27. Εξοπλισμός/Εργαλεία 4: Σκάλες τεχνικού

- **Κοπτάκια:**

Στην εικόνα 28. με λεζάντα: Εξοπλισμός/Εργαλεία 5: Κόφτες καναλιών και σωλήνων δηλώνονται τα χρήσιμα γενικά εργαλεία κοπής. Διακρίνονται σε δυο είδη και χρησιμοποιούνται για κοπή καναλιών και σωλήνων.



Εικόνα 28. Εξοπλισμός/Εργαλεία 5: Κόφτες καναλιών και σωλήνων

- **Τρυπάνι:**

Στην εικόνα 29. με λεζάντα: Εξοπλισμός/Εργαλεία 6: Τρυπάνι ονομάζεται το εργαλείο που χρησιμοποιείται για την δημιουργία τρύπας που θα εισέρθει η οπτική ίνα στο χώρο εργασίας (πελάτη).



Εικόνα 29. Εξοπλισμός/Εργαλεία 6: Τρυπάνι

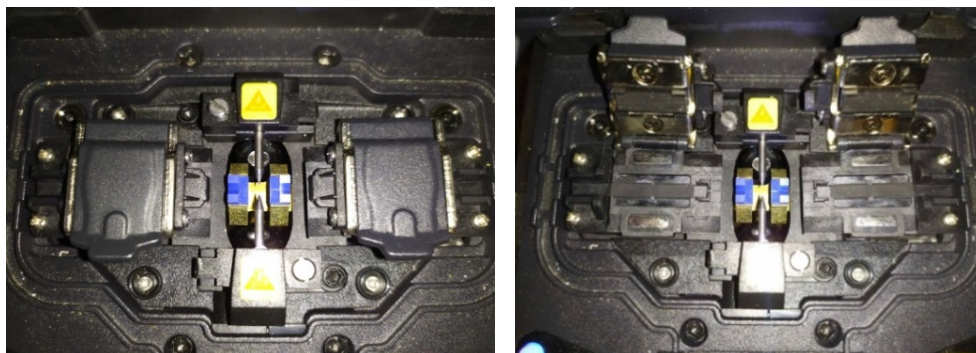
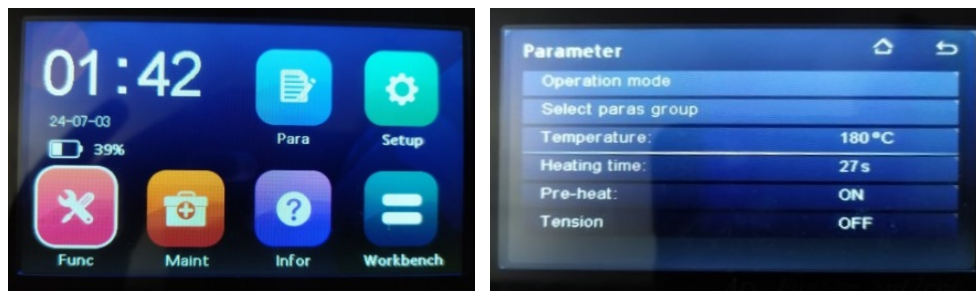
- **Σύνολο εξαρτημάτων (βαλίτσα) οπτικής ίνας:**
Στην εικόνα 30. με λεζάντα: Εξοπλισμός/Εργαλεία 7: Βαλίτσα οπτικής ίνας προβάλλεται η βαλίτσα που χρησιμοποιεί ο τεχνικός δικτύων κατά το στάδιο της κόλλησης της οπτικής ίνας. Είναι αναγκαίο και απαραίτητο για κάθε εγκατάσταση.



Εικόνα 30. Εξοπλισμός/Εργαλεία 7: Βαλίτσα οπτικής ίνας

- **Συγκολλητής Splicer:**

Στην εικόνα 31. με λεζάντα: Εξοπλισμός/Εργαλεία 8: Συγκολλητής Splicer οπτικής ίνας παρουσιάζεται το συγκεκριμένο ειδικό μηχάνημα. Αυτό προσφέρει την ένωση της οπτικής ίνας ως προς τον ανάλογο συνδετήρα connector και την ζεστή κόλληση με το θερμοσυστολικό σε υψηλή θερμοκρασία. Στις φωτογραφίες διακρίνεται η μπροστινή, η πρισινή, η πλάγια όψη και το menu. Παρακάτω παρατίθενται φωτογραφίες από το εσωτερικό που ανοίγει, κολλάει και ενώνει την οπτική ίνα με τον συνδετήρα.





Εικόνα 31. Εξοπλισμός/Εργαλεία 8: Συγκολλητής Splicer οπτικής ίνας

- **Κόπτης Cleaver:**

Στην **εικόνα 32**, με **λεζάντα: Εξοπλισμός/Εργαλεία 9: Κόπτης Cleaver οπτικής ίνας** εισηγείται το μηχάνημα που κόβει τις οπτικές ίνες. Αυτό το μηχάνημα χρησιμοποιείται πριν την χρήση του Splicer και βοηθά στο σωστό και ίσιο κόψιμο της οπτικής ίνας, δημιουργεί τις ανάλογες μοίρες που απαιτείται για την λειτουργία της. Μετέπειτα, το περιττό βγαίνει και πετιέται στο μικρό κάδο που διαθέτει. Στις φωτογραφίες διακρίνονται οι πλευρές του και ο τροχός κοπής του διατιθέμενου μηχανήματος.



Εικόνα 32. Εξοπλισμός/Εργαλεία 9: Κόπτης Cleaver οπτικής ίνας

- **Πολύμετρο οπτικής ισχύος Optical Power Multi Meter:**

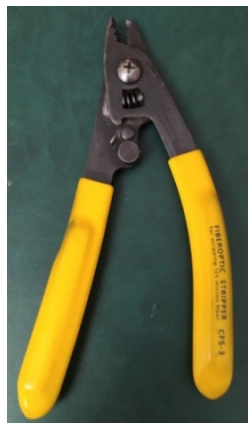
Στην εικόνα 33. με λεζάντα: **Εξοπλισμός/Εργαλεία 10: Μετρητής/Πολύμετρο οπτικής ίνας** προβάλλεται ο λεγόμενος μετρητής. Αυτό το μηχάνημα είναι ο μετρητής της οπτικής ίνας, μετράει τα νανόμετρα nm, υπολογίζονται περίπου σε μέτρα και τα db που πρέπει να είναι, αναλόγως, με τα μέτρα από την εγκατάσταση που έχει πραγματοποιήσει ο τεχνικός δικτύων. Σε περίπτωση σφάλματος βγάζει πολλά db, πάνω από -30 περίπου. Σε περίπτωση αφαίρεσης οπτικής ίνας αποτυπώνεται στο μηχάνημα το σήμα χαμηλό low.



Εικόνα 33. Εξοπλισμός/Εργαλεία 10: Μετρητής/Πολύμετρο οπτικής ίνας

- **Fiber Optic Stripper:**

Στην εικόνα 34. με λεζάντα: **Εξοπλισμός/Εργαλεία 11: Ξεγυμνωτής οπτικής ίνας** ονομάζεται το εργαλείο της κοπής της οπτικής ίνας. Είναι το κοπτάκι, ξεγυμνωτής οπτικής ίνας, έχει τρεις όψεις και η χρήση του έχει να κάνει με την γύμνωση της οπτικής ίνας.



Εικόνα 34. Εξοπλισμός/Εργαλεία 11: Ξεγυμνωτής οπτικής ίνας

- **Βοηθητικό Ψαλίδι:**

Στην **εικόνα 35**, με **λεζάντα: Εξοπλισμός/Εργαλεία 12: Ψαλίδι οπτικής ίνας** αποδεικνύεται το ψαλίδι της οπτικής ίνας. Χρησιμοποιείται για κόψιμο περιττών σημείων.



Εικόνα 35. Εξοπλισμός/Εργαλεία 12: Ψαλίδι οπτικής ίνας

- **Ειδικά μαντηλάκια και οινόπνευμα σε ειδικό δοχείο:**

Στην **εικόνα 36**, με **λεζάντα: Εξοπλισμός/Εργαλεία 13: Αποστειρωτικά μαντηλάκια και οινόπνευμα** εξετάζονται τα αντικείμενα καθαρισμού της οπτικής ίνας. Χρησιμοποιούνται για καθαρισμό και αποστείρωση της οπτικής ίνας, καθώς έχει αφαιρεθεί το τρίτο στρώμα της.



Εικόνα 36. Εξοπλισμός/Εργαλεία 13: Αποστειρωτικά μαντηλάκια και οινόπνευμα

- **Θερμοσυστολικό:**

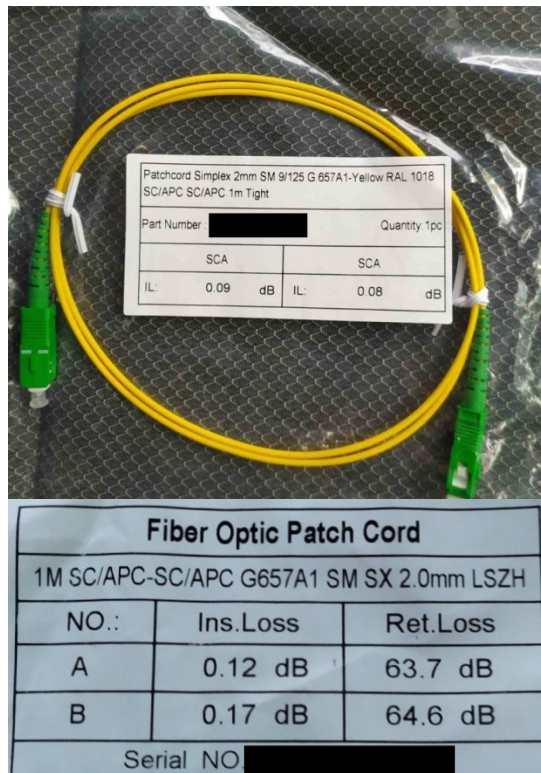
Στην **εικόνα 37**. με **λεζάντα: Εξοπλισμός/Εργαλεία 14: Θερμοσυστολικό κόλλησης οπτικής ίνας** καταγράφεται το θερμοσυστολικό για την κόλληση οπτικής ίνας από συνδετήρα σε οπτική ίνα.



Εικόνα 37. Εξοπλισμός/Εργαλεία 14: Θερμοσυστολικό κόλλησης οπτικής ίνας

- **Patch Cord:**

Στην **εικόνα 38**. με **λεζάντα: Εξοπλισμός/Εργαλεία 15: Καλώδιο σύνδεσης Patch Cord οπτικής ίνας** δηλώνεται το καλώδιο σύνδεσης οπτικών ινών, που συνδέεται από την πρίζα κατάληξης στο PON.



Εικόνα 38. Εξοπλισμός/Εργαλεία 15: Καλώδιο σύνδεσης Patch Cord οπτικής ίνας

- **Πρίζα κατάληξης:**

Στην **εικόνα 39**. με **λεζάντα: Εξοπλισμός/Εργαλεία 16: Πρίζα κατάληξης οπτικής ίνας** ονομάζεται η πρίζα κατάληξης της οπτικής ίνας. Εισέρχεται εσωτερικά το καλώδιο της οπτικής ίνας με τις ανάλογες σβούρες που υπάρχουν κατά την άφιξη του.



Εικόνα 39. Εξοπλισμός/Εργαλεία 16: Πρίζα κατάληξης οπτικής ίνας

Στη παρούσα παράγραφο, θα αποδοθεί η **διαδικασία κόλλησης** της οπτικής ίνας με όλα τα βήματα φωτογραφιών και επεξηγήσεων. Αρχικά η **εικόνα 40.** με **λεζάντα: Βήματα κόλλησης 1: Οπτική ίνα πρώτο στάδιο** παρουσιάζει την οπτική ίνα σε αρχική μορφή. Αναλυτικά, χρησιμοποιείται η παρακάτω οπτική ίνα: (σαν παράδειγμα θα χρησιμοποιηθεί η συγκεκριμένη)



Εικόνα 40. Βήματα κόλλησης 1: Οπτική ίνα πρώτο στάδιο

Στην **εικόνα 41.** με **λεζάντα: Βήματα κόλλησης 2: Οπτική ίνα δεύτερο στάδιο** παρουσιάζεται η κοπή της οπτικής ίνας. Κόβεται με το ψαλίδι με τον παρακάτω τρόπο:



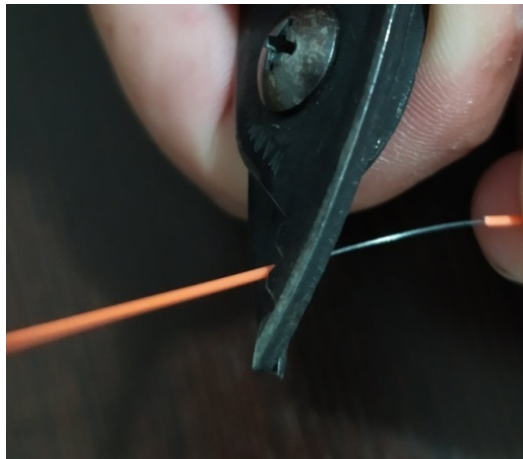
Εικόνα 41. Βήματα κόλλησης 2: Οπτική ίνα δεύτερο στάδιο

Στην **εικόνα 42. με λεζάντα: Βήματα κόλλησης 3: Οπτική ίνα τρίτο στάδιο** παρουσιάζεται η διαδικασία της οπτικής ίνας με το κοπτάκι, όπου γυμνώνεται το μπλε στρώμα της οπτικής ίνας:



Εικόνα 42. Βήματα κόλλησης 3: Οπτική ίνα τρίτο στάδιο

Στην **εικόνα 43. με λεζάντα: Βήματα κόλλησης 4: Γύμνωση συνδετήρα** παρουσιάζεται η αντίστοιχη διαδικασία με τον συνδετήρα. Με τον ίδιο τρόπο γυμνώνεται ο συνδετήρας στην δεύτερη στρώση, όπου εμφανίζεται η τρίτη και τελευταία λεπτότερη στρώση:



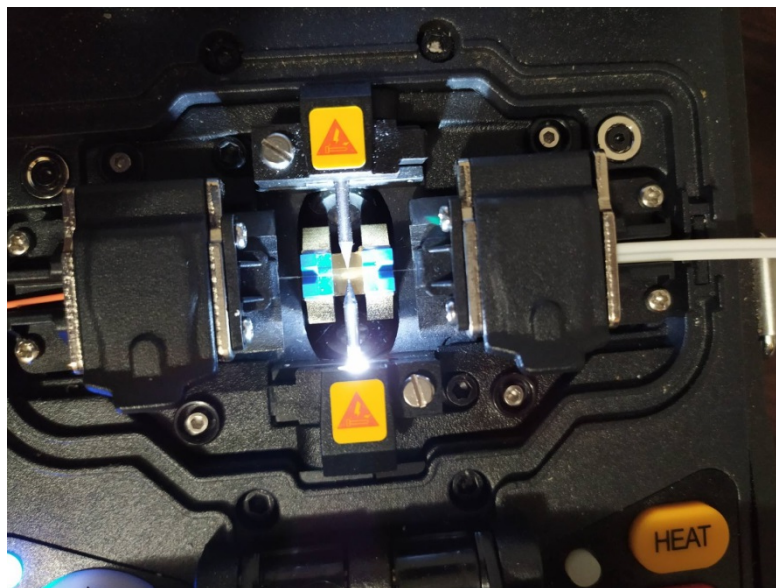
Εικόνα 43. Βήματα κόλλησης 4: Γύμνωση συνδετήρα

Στην **εικόνα 44. με λεζάντα: Βήματα κόλλησης 5: Κόφτης με οπτική ίνα** παρουσιάζεται η διέλευση της οπτικής ίνας με τον κόπτη, όπου στο Cleaver τοποθετείται το καλώδιο και κόβονται στις κατάλληλες μοίρες:



Εικόνα 44. Βήματα κόλλησης 5: Κόπτης με οπτική ίνα

Στην **εικόνα 45. με λεζάντα: Βήματα κόλλησης 6: Τοποθέτηση των δυο καλωδίων στον συγκολλητή** αναλύεται η τοποθέτηση του συνδετήρα από την μια πλευρά (στην προκειμένη περίπτωση είναι το πορτοκαλί) και την οπτική έτοιμη ίνα από την άλλη:



Εικόνα 45. Βήματα κόλλησης 6: Τοποθέτηση δυο καλωδίων στον συγκολλητή

Στην **εικόνα 46. με λεζάντα: Βήματα κόλλησης 7: Επιτυχής κόλληση οπτικής ίνας με συνδετήρα** αξιολογείται η επιτυχία της διαδικασίας. Αφού κλείσει το καπάκι, κολλάει την οπτική όπως αναγράφεται στην οθόνη του μηχανήματος με επιτυχία:

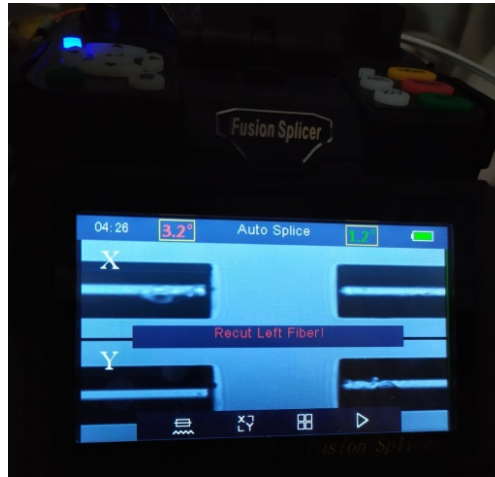


Εικόνα 46. Βήματα κόλλησης 7: Επιτυχής κόλληση οπτικής ίνας με συνδετήρα

Στις εικόνες 47., 48. με λεζάντες: Βήματα κόλλησης 8: Σφάλμα συγκολλητή Recut Fiber, Βήματα κόλλησης 8: Σφάλμα συγκολλητή Fusion Failed διατυπώνεται η γνώμη των πιθανών σφαλμάτων που μπορεί να εμφανιστούν:

- **Recut Left Fiber:**

Η ερμηνεία από αυτό εδώ το σφάλμα είναι πως η αριστερή πλευρά έχει κοπεί λάθος από το cleaver, το ίδιο μπορεί να συμβεί και στην δεξιά πλευρά φυσικά.



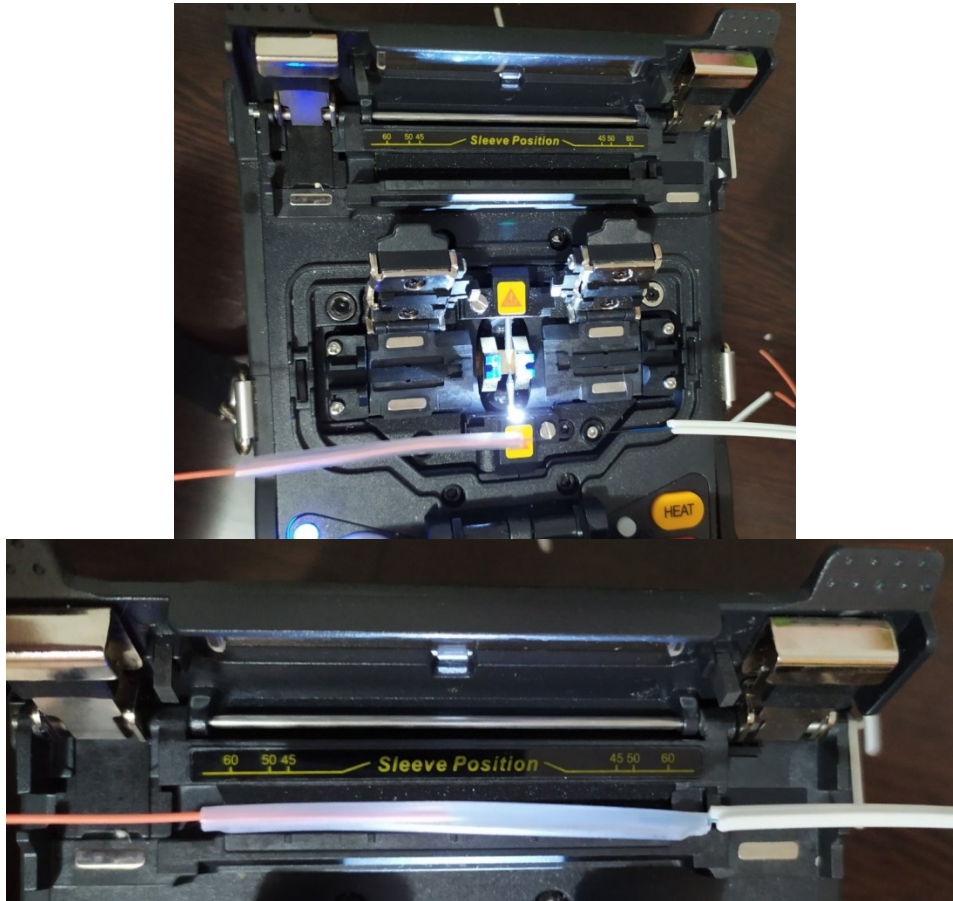
Εικόνα 47. Βήματα κόλλησης 8: Σφάλμα συγκολλητή Recut Fiber

- **Fusion Failed:** Αποτυχία αντιστοιχίας.



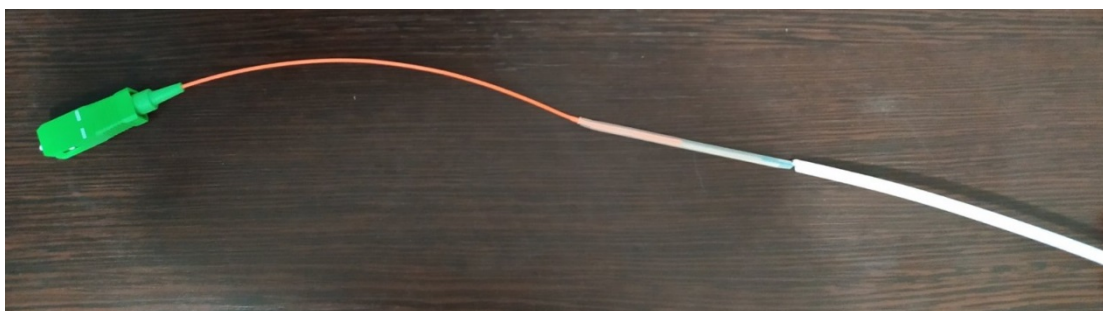
Εικόνα 48. Βήματα κόλλησης 9: Σφάλμα συγκολλητή Fusion Failed

Στη **εικόνα 49. με λεζάντα: Βήματα κόλλησης 10: Βήμα πριν την θέρμανση του ολοκληρωμένου καλωδίου** εκθέτει το βήμα πριν την ολοκλήρωση της διαδικασίας. Αφού έχει κολλήσει η ίνα και έχει τοποθετηθεί από πριν το θερμοσυστολικό, οδηγείται στην κόλληση, ώστε η θερμότητα να κάνει την απαραίτητη διαδικασία και να κολληθεί επιτυχώς, η οπτική ίνα.



Εικόνα 49. Βήματα κόλλησης 10: Βήμα πριν την θέρμανση του ολοκληρωμένου καλωδίου

Στην εικόνα 50. με λεζάντα: Βήματα κόλλησης 11: Ολοκληρωμένο επιτυχές καλώδιο οπτικής ίνας προσεγγίζεται η ολοκλήρωση της διαδικασίας κόλλησης. Έτσι, αναδεικνύεται το επιθυμητό αποτέλεσμα και την οπτική ίνα έτοιμη για χρήση.



Εικόνα 50. Βήματα κόλλησης 11: Ολοκληρωμένο επιτυχές καλώδιο οπτικής ίνας

Ο παρακάτω πίνακας παρουσιάζει παραμέτρους πραγματικών-εμπορικών οπτικών ινών, που χρησιμοποιούνται κατά την διάρκεια εγκατάστασης του νέου προγράμματος Fiber To The Home (FTTH). Η κατηγορία ινών ονοματίζεται G657A2, είναι

μια προ-τερματισμένη **μονότροπη** οπτική ίνα, αυτό σημαίνει πως διαθέτει τον συνδετήρα από την μια πλευρά, άρα χρειάζεται μόνο κόλληση στο τελικό στάδιο, που αναλύεται στο κεφάλαιο “Εξοπλισμός τεχνικού πεδίου εγκατάστασης οπτικών ινών και δικτύων”. Διακρίνεται σε κίτρινο και άσπρο περίβλημα. Το κίτρινο περίβλημα διαθέτει την τεχνολογία Low Smoke Zero Halogen (LSZH), που “είναι ένα υλικό καλωδίου χαμηλού καπνού και μηδέν αλογόνου, συνδυάζει αντοχή, αξιοπιστία, υψηλή εύρος ζώνης, και συμπαγή σχεδιασμό με περιβαλλοντικά κατασκευή.” [8] Ακόμη, περιέχει το ανάλογο κίτρινο περίβλημα, την προστατευτική τρίχα και το τελικό λειτουργικό στρώμα. Συνήθως, αυτές οι ίνες επιλέγονται σε εσωτερικούς και μικρών αποστάσεων χώρους και τα μέτρα τα όποια υποστηρίζεται είναι τα δέκα, τριάντα και πενήντα.

Το άσπρο περίβλημα διαθέτει και αυτό την τεχνολογία Low Smoke Zero Halogen (LSZH) που “είναι ένα υλικό καλωδίου χαμηλού καπνού και μηδέν αλογόνου, συνδυάζει αντοχή, αξιοπιστία, υψηλή εύρος ζώνης, και συμπαγή σχεδιασμό με περιβαλλοντικά κατασκευή.” [8] Επίσης, εσωτερικά περιέχει εξίσου το άσπρο προστατευτικό περίβλημα, την μπλε χρωματικά στρώση και το τελικό λειτουργικό στρώμα. Συνήθως, επιλέγεται σε εξωτερικούς, επαγγελματικούς χώρους και μεγάλων αποστάσεων χώρους και τα μέτρα τα όποια υποστηρίζει είναι τα είκοσι, τα τριάντα και τέλος τα πενήντα.

Συγκριτικά, οι τιμές των πραγματικών-εμπορικών οπτικών ινών σε σχέση με τις βιβλιογραφικών οπτικών ινών αποδίδονται με το παράδειγμα της **μονότροπης** οπτικής ίνας G652.A,B,C,D και της **μονότροπης** εξίσου οπτικής ίνας G657A2. Στην καρτέλα της εξασθένισης/απωλειών αριθμητικά διακρίνεται στο πρώτο σκέλος να εμφανίζει τους αριθμούς που υπάρχουν στους ανάλογους πίνακες, αναλυτικά με ένα παράδειγμα της πρώτης στήλης εξασθενίσεων απωλειών.

Βιβλιογραφική οπτική ίνα: G652.A= 0.22, 56 dB

Πραγματική-εμπορική οπτική ίνα: G657A2=0.5, 0.4 dB

Άρα συμπερασματικά, αυτό υποδεικνύει πως η οπτική ίνα G657A2 είναι αποδοτικότερη σε σχέση με την G652.A. Ανακεφαλαιώνοντας, οι πραγματικές-εμπορικές οπτικές ίνες είναι βέλτιστες, προτιμότερες και κατάλληλες για εγκαταστάσεις οπτικής ίνας FTTH σε αντίθεση, με την δεδομένη βιβλιογραφική οπτική μονότροπη ίνα με βάση όλων των συγκρίσεων των δυο πινάκων που έχει αναδειχθεί στην παρούσα πτυχιακή εργασία.

ITU-T CATEGORY	APPLICATION BENEFITS
G.652.(A, B, C, D)	Standard single-mode fibers can be used everywhere from long haul to shorter reach in-building applications.
G.653.(A, B)	Developed to support long-haul single-mode transmission systems using erbium-doped fiber amplifiers (EDFA) that only operate in the third window.
G.654.(A, B, C)	Long haul fiber with optimized large effective area designed specially to support coherent systems
G.655.(A, B, C, D, E) & G.656	Non-Zero Dispersion fibers (NZDF) that have reduced chromatic dispersion characteristics to simplify dispersion compensation.
G.657 (A1, A2 & B1, B2)	Bend insensitive single-mode fibers

Εικόνα 51. Συγκρίσεις και πλεονεκτήματα από κατηγορίες οπτικών ινών [17]

Πίνακας 2. Παράμετροι πραγματικών-εμπορικών οπτικών ινών

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΟΠΤΙΚΗΣ ΙΝΑΣ	Optical Fiber Cable (SM) G657A2	Optical Fiber Cable (SM) G657A2	Optical Fiber Cable (SM) G657A2	Optical Drop Cable GJXFH-1 G657A2	Optical Drop Cable GJXFH-1 G657A2	Optical Drop Cable GJXFH-1 G657A2
Μήκος	10 m	30 m	50 m	20 m	30 m	50 m
Περιβλήμα	Κίτρινο (LSZH)	Κίτρινο (LSZH)	Κίτρινο (LSZH)	Άσπρο (LSZH)	Άσπρο (LSZH)	Άσπρο (LSZH)
Διάμετρος	-	-	-	2.0*3.0 mm	2.0*3.0 mm	-
Απώλεια εισαγωγής (dB)	0.22 dB	0.23 dB	0.24 dB	0.12 dB [9]	0.15 dB	0.3 dB
Απώλεια επιστροφής (dB)	56 dB	56 dB	57 dB	64 dB	62.8 dB	60 dB
Διάμετρος πυρήνα, επένδυσης	9/125 um	9/125 um	9/125 um	-	-	-
Συνδετήρας	SC/APC	SC/APC	SC/APC	SC/APC	SC/APC	ASCI
Τεστ απόδειξης	100 kpsi (1.0% παραμόρφωση)	100 kpsi (1.0% παραμόρφωση)	100 kpsi (1.0% παραμόρφωση)	100 kpsi (1.0% παραμόρφωση)	100 kpsi (1.0% παραμόρφωση)	100 kpsi (1.0% παραμόρφωση)
Συντελεστής	1285-1340	1285-1340	1285-1340	1285-1340	1285-1340	1285-1340

Μελέτη, υλοποίηση και εργαστηριακή ανάλυση επικοινωνιακών συστημάτων οπτικών ινών σε περιβάλλον Matlab/Simulink– Καραγιάννη Ελευθερία

διασποράς	nm= (-)3.5 1550nm= \leq 18 1625nm= \leq 22 ps/nm/km	nm= (-)3.5 1550nm= \leq 18 1625nm= \leq 22 ps/nm/km	nm= (-)3.5 1550nm= \leq 18 1625nm= \leq 22 ps/nm/km	nm= (-)3.5 1550nm= \leq 18 1625nm= \leq 22 ps/nm/km	nm= (-)3.5 1550nm= \leq 18 1625nm= \leq 22 ps/nm/km	nm= (-)3.5 1550nm= \leq 18 1625nm= \leq 22 ps/nm/km
Μπάντα μήκων κύματος	1310-1550 nm	1310-1550 nm	1310-1550 nm	1310-1550 nm	1310-1550 nm	1310-1550 nm
Ακτίνα καμπύλης (Macro bend)	15 mm ακτίνα, 10 στροφές, 1550= \leq 0.25 dB, 1625= \leq 1.0	15 mm ακτίνα, 10 στροφές, 1550= \leq 0.25 dB, 1625= \leq 1.0	15 mm ακτίνα, 10 στροφές, 1550= \leq 0.25 dB, 1625= \leq 1.0	15 mm ακτίνα, 10 στροφές, 1550= \leq 0.25 dB, 1625= \leq 1.0	15 mm ακτίνα, 10 στροφές, 1550= \leq 0.25 dB, 1625= \leq 1.0	15 mm ακτίνα, 10 στροφές, 1550= \leq 0.25 dB, 1625= \leq 1.0
Δείκτης διάθλασης	1310nm=1.46 6 1550nm=1.46 7	1310nm=1.46 6 1550nm=1.46 7	1310nm=1.46 6 1550nm=1.46 7	1310nm=1.46 6 1550nm=1.46 7	1310nm=1.46 6 1550nm=1.46 7	1310nm=1.46 6 1550nm=1.46 7

Πηγή: <https://www.jiahomeopticable.com/g657a2-fiber-optic-cable-bare-fiber-product/> ,
<https://www.optokon.com/ms/product/258-single-mode-fiber-g-657-a2>

Παρακάτω παρουσιάζονται στην **εικόνα 52**. με **λεζάντα: Καλώδια οπτικών ινών 10,30,50,20,30,50m** που αποδίδουν τις οπτικές ίνες σε αντιστοιχία των μέτρων με την σειρά, Επιπλέον, αναγράφονται κάποιες προδιαγραφές στο αυτοκόλλητο τους που χρησιμοποιήθηκαν με βάση του πίνακα 2.



Μελέτη, υλοποίηση και εργαστηριακή ανάλυση επικοινωνιακών συστημάτων οπτικών ινών σε περιβάλλον Matlab/Simulink– Καραγιάννη Ελευθερία



Εικόνα 52. Καλώδια οπτικών ινών 10,30,50,20,30,50m

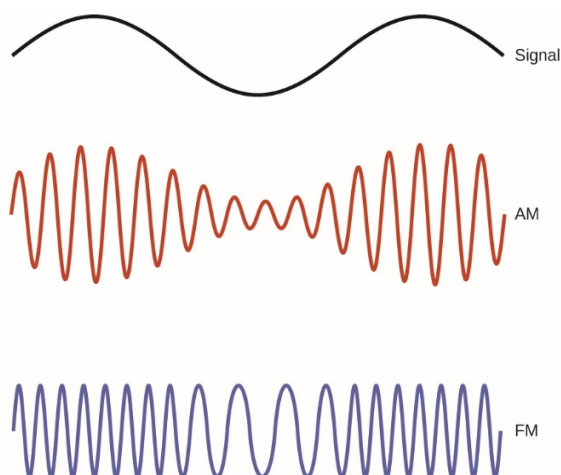
3. Πομποδέκτες/Μετάδοση σημάτων και συστήματα διαμόρφωσης

3.1 Συστήματα επικοινωνίας και διαμόρφωσης (αναλογικές επικοινωνίες)

Οι αναλογικές επικοινωνίες σχετίζονται με την εκπομπή, την λήψη και την πολυπλεξία αναλογικών σημάτων. Με άλλα λόγια, είναι σήματα συνεχούς χρόνου, χρησιμοποιούνται συνήθως για το ραδιόφωνο και την τηλεόραση, αλλά, με την εισαγωγή την ψηφιοποίησης προβλέπεται να είναι παρελθόν. “Η διαμόρφωση και η αποδιαμόρφωση έχουν κάποιες τεχνικές στις ψηφιακές επικοινωνίες για τα ψηφιακά σήματα πληροφορίας. Διαμόρφωση είναι η μετατόπιση της περιοχής των συχνοτήτων ενός σήματος.” [10] Ένα φέρον σήμα μεταβάλλεται σύμφωνα με το σήμα διαμόρφωσης και πάντα είναι σε ημιτονοειδούς κορυφής \sin στην γλωσσά του Matlab με την μαθηματική έννοια. Αντίστοιχα, αποδιαμόρφωση είναι ακριβώς το αντίθετο με την διαδικασία της διαμόρφωσης. Οι αναλογικές διαμορφώσεις χρησιμοποιούν συνεχές κύμα και εκτίθενται σε δυο κατηγορίες την

- Διαμόρφωση πλάτους **Amplitude Modulation (AM)**
- Διαμόρφωση γωνίας που επιμέρους διακρίνεται σε:
 - ο Διαμόρφωση συχνότητας **Frequency Modulation (FM)**
 - ο Διαμόρφωση φάσης **Phase Modulation (PM)**

Η εικόνα 53. με λεζάντα: Διαφορά σήματος, διαμόρφωσης πλάτους και συχνότητας απεικονίζει και περιγράφει οπτικά τη λειτουργία των δυο ειδών διαμόρφωσης. Στην αμέσως επομένη ενότητα θα αναλυθούν οι δυο βασικές κατηγορίες.



Εικόνα 53. Διαφορά σήματος, διαμόρφωσης πλάτους και συχνότητας [18]

3.1.1 Διαμόρφωση πλάτους (Amplitude Modulation)

Στην παρούσα ενότητα θα διασαφηνιστεί η διαδεδομένη έννοια της διαμόρφωσης πλάτους Amplitude Modulation (AM). Διαμόρφωση γενικά σαν όρος και διαδικασία φέρεται ως στο ήδη υπάρχον σήμα, η προσθήκη πληροφορίας πάνω σε ένα σήμα μεγάλης συχνότητας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, την προσαρμογή του σήματος στα χαρακτηριστικά του καναλιού μετάδοσης. Η μετάδοση υλοποιείται στο σήμα μεγάλης συχνότητας, το οποίο έχει μετατραπεί για να φέρει τις χαμηλές συχνότητες από το υλικό πληροφορίας. Πιστοποιείται πως, η αρχή της υπέρθεσης που αν το $m(t)$ είναι ένα άθροισμα σημάτων τότε, το $x(t)$ είναι και αυτό άθροισμα. Κινείται σε ημιτονοειδές σήματα \sin , που αποτελεί τον μαθηματικό ορισμό στο Matlab.

Οι μαθηματικοί τύποι που μπορούν να αποδώσουν την διαμόρφωση πλάτους είναι:

$$\text{Φέρον σήμα:} \quad c(t) = A_c \cos(2\pi f_c t + \varphi)$$

$$\text{Σήμα πληροφορίας:} \quad m(t) = A_m \cos(2\pi f_m t + \varphi)$$

$$\text{Διαμορφωμένο τελικό σήμα:} \quad s(t) = [A_c + k_a m(t)] c(t)$$

Στην παραπάνω μαθηματική έκφραση τεκμηριώνεται:

A_c : Πλάτος φέροντος

f_c : Συχνότητα φέροντος

k_a : Πολλαπλασιαστικός παράγοντας του σήματος πληροφορίας που πρέπει να είναι τέτοιος, ώστε να αποφευχθεί η υπερδιαμόρφωση, μια παρατήρηση που μπορεί να αποδοθεί είναι πως ο δείκτης διαμόρφωσης πρέπει να είναι πάντα ≤ 1 .

Οι τεχνικές διαμόρφωσης λέγονται και γραμμικές διαμόρφωσης εξαιτίας της γραμμικής σχέσης μεταξύ του πλάτους του σήματος πληροφορίας $m(t)$ και του πλάτους του διαμορφωμένου σήματος $x(t)$. Αν το $m(t)$ είναι πραγματικό σήμα βασικής ζώνης με εύρος ζώνης W και φάσμα $M(f)$, τότε $M(f)=0, |f| \geq W$, τότε το διαμορφωμένο κατά πλάτος σήμα είναι:

$$x(t) = xI(t)\cos 2\pi f_c t - xQ(t)\sin 2\pi f_c t$$

Επεξηγηματικά της παραπάνω έκφρασης όπου:

$xI(t)$: Συμφαστική

$xQ(t)$: Ορθογώνια συνιστώσα

A_c : Πλάτος φέροντος

f_c : Συχνότητα φέροντος

Αυτό έχει την εξής μαθηματική ανάλυση:

$$c(t) = A_c \cos 2\pi f_c t$$

Οι δυο συνιστώσες του $x(t)$ περιέχουν την ανάλογη πληροφορία για την ανάκτηση του $m(t)$ στο δεκτή.

3.1.2 Διαμόρφωση συχνότητας (Frequency Modulation)

Στην παρούσα ενότητα θα αναλυθεί ο αντίστοιχος ορισμός διαμόρφωσης συχνότητας Frequency Modulation (FM). Ερμηνεύεται το FM, δηλαδή η λειτουργία του ραδιοφώνου, που εκπέμπει τις συχνότητες και μεταδίδεται το σήμα μέσα από αυτό, με αποτέλεσμα να αναπαράγεται ο ήχος ή η μουσική. Ειδικότερα, είναι η στιγμιαία συχνότητα, η οποία είναι μεταβαλλόμενη γραμμικά σε σχέση με το βασικό σήμα ζώνης η ευαισθησία συχνότητας μετριέται σε Hz/volt. Χωρίζεται ονομαστικά στην διαμόρφωση γωνίας και έχει δύο υποκατηγορίες την διαμόρφωση φάσης Phase Modulation (PM) και την διαμόρφωση συχνότητας frequency modulation (FM). Σε σχέση με την διαμόρφωση πλάτους, παρέχει βέλτιστες δυνατότητες ως προς τον θόρυβο και την παρεμβολή. Ωστόσο, έχει κόστος στην αύξηση του εύρους ζώνης, κάτι το οποίο δεν παρέχει η προηγούμενη διαμόρφωση.

Οι μαθηματικοί τύποι που μπορούν να αποδώσουν την διαμόρφωση συχνότητας είναι:

“Η στιγμιαία συχνότητα $f_i(t)$ μεταβάλλεται γραμμικά σε σχέση με το εύρος ζώνης $m(t)$

$$f_i(t) = f_c + k_f(t)$$

Στην παραπάνω μαθηματική έκφραση έχουμε όπου βρίσκεται:

k_f ευαισθησία συχνότητας frequency sensitivity και μετριέται σε Hz/volt

Η στιγμιαία συχνότητα ορίζεται ως $f_i(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\theta_i(t)}{dt}$

Κάνοντας την πράξη του πολλαπλασιασμού με 2π έχουμε:

$$\theta_i(t) = 2\pi f_c t + 2\pi k_f \int_0^t m(\tau) d\tau$$

Άρα στο πεδίο του χρόνου έρχεται ως

$$s(t) = A_c \cos [2\pi f_c t + 2\pi k_f \int_0^t m(\tau) d\tau]$$

Σε άλλη περίπτωση που $m(t) = A_m \cos(2\pi f_m t)$

Η διαμορφωμένη κατά συχνότητα κυματομορφή $s(t)$ είναι:

$$s(t) = A_c \cos [2\pi f_c t + \frac{k_f A_m}{2\pi f_m} \sin(2\pi f_m t)]$$

Στην συνέχεια, ορίζεται ο δείκτης διαμόρφωσης $\beta = (k_f \cdot A_m) / 2\pi f_m$

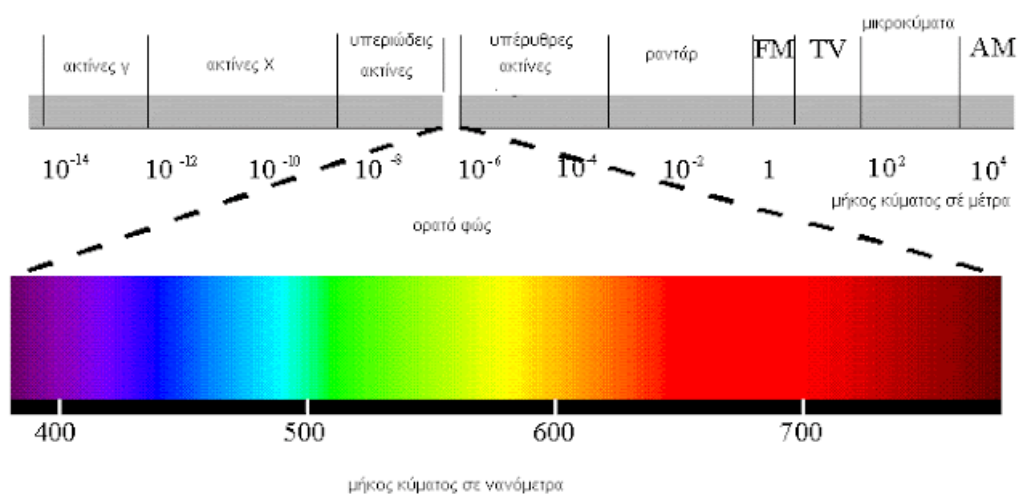
Ανάλογα με την τιμή του δείκτη διαμόρφωσης β διακρίνονται δυο περιπτώσεις διαμόρφωσης της συχνότητας:

- FM στενής ζώνης (Narrow Band FM) για την οποία $\beta < 1$ rad
- FM ευρείας ζώνης (Wide Band FM) για την οποία $\beta > 1$ rad.

Ο λόγος για την διάκριση αυτή είναι ότι το εύρος ζώνης μετάδοσης της κυματομορφής FM στενής ζώνης είναι περίπου ίσο με 2FM, ενώ στην περίπτωση της κυματομορφής FM ευρείας ζώνης είναι αρκετά πάνω από αυτή την τιμή.” [11]

3.1.3 Η έννοια του φάσματος και του παλμογράφου

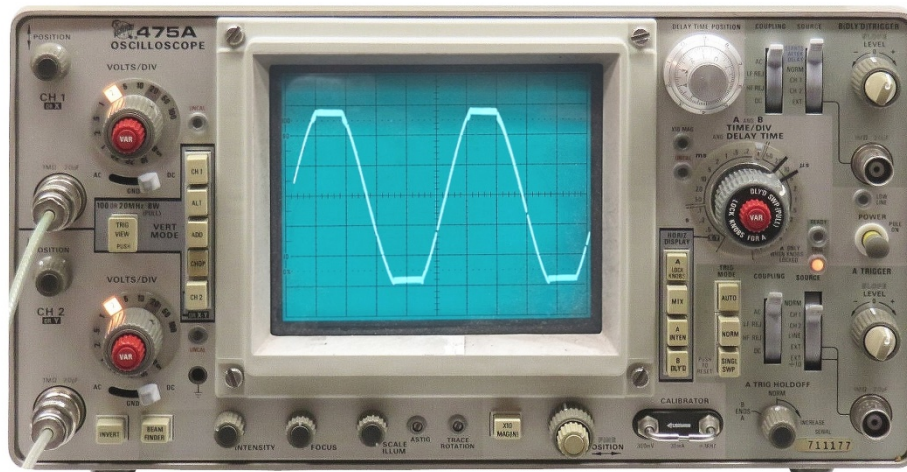
Σε αυτή την ενότητα εισάγεται η έννοια του φάσματος. “Ο ορισμός του φάσματος προκύπτει από μια συλλογή ημιτονικών κυμάτων που, όταν συνδυάζονται κατάλληλα, παράγουν το υπό εξέταση σήμα στο πεδίο του χρόνου. Η παρακολούθηση του φάσματος είναι μια άλλη σημαντική δραστηριότητα μέτρησης στο πεδίο της συχνότητας. Οι κυβερνητικοί ρυθμιστικοί οργανισμοί κατανέμουν διαφορετικές συχνότητες για διάφορες ραδιοφωνικές υπηρεσίες, όπως η ραδιοτηλεόραση και το ραδιόφωνο, τα συστήματα κινητής τηλεφωνίας, οι επικοινωνίες της αστυνομίας και των υπηρεσιών έκτακτης ανάγκης και πολλές άλλες εφαρμογές.” [12] Φυσικά, όμως, εφόσον υπάρχει έννοια του φάσματος, είναι αναγκαίο να υπάρχει και ένας μετρητής που να το απεικονίζει. Ουσιαστικά, είναι ο φασματικός αναλυτής, ένα όργανο μέτρησης. Υπάρχει σε πραγματικές διαστάσεις αλλά και σε ηλεκτρονική μορφή με το Spectrum Analyzer, που χρησιμοποιείται στο πρόγραμμα Simulink. Αυτό καταγράφει το φέρον ανάλογο σήμα. Στην **εικόνα 54**, με **λεζάντα: Παράδειγμα και απεικόνιση φάσματος** αναδεικνύει την αναπαράσταση του φάσματος.



Εικόνα 54. Παράδειγμα και απεικόνιση φάσματος [19]

Ο παλμογράφος υπάρχει σε φυσική μορφή και είναι ένα αρκετά χρήσιμο όργανο μέτρησης καταγραφής σημάτων. “Αποτελεί από μόνος του μια ξεχωριστή κατηγορία ηλεκτρικού οργάνου καθώς είναι ένα ισχυρό εργαλείο για την μέτρηση όχι μόνο της τιμής μεγεθών σε ηλεκτρικά/ηλεκτρονικά κυκλώματα αλλά και της χρονικής τους εξέλιξης. Επομένως, η συνεισφορά του είναι μοναδική για την καταγραφή αλλά και την απεικόνιση περιοδικών ή παλμικών σημάτων ακόμα και πολύ μικρής χρονικής διάρκειας (ns).

Βασικά χαρακτηριστικά του παλμογράφου είναι η οπτική απεικόνιση του σήματος, οπότε μπορεί να μετρηθεί πλάτος και περίοδος ή χρονική διάρκεια παλμού, η δυνατότητα για ανάλυση και επεξεργασία του σήματος, από ομαλοποίηση έως μαθηματικές πράξεις και μετασχηματισμό Fourier, η μεγάλη αντίσταση εισόδου και το μεγάλο εύρος ζώνης συχνοτήτων (διαφορά μεταξύ της ελάχιστης και μέγιστης συχνότητας που μπορεί να απεικονιστεί με ακρίβεια.)” [13] Όπως και ο φασματικός αναλυτής παρέχεται σε πλασματική μορφή, έτσι και ο παλμογράφος και βρίσκεται εξίσου στο πρόγραμμα Simulink, που είναι κατάλληλο για αυτές τις ερευνητικές ασκήσεις. Η εργασία του είναι να εμφανίζει σήματα στο πεδίο του χρόνου, να μετρά και να απεικονίζει το φέρον σήμα. Τέλος, εμφανίζει το τελικό αποτέλεσμα με διάφορες σχηματικές μορφές. Στην **εικόνα 55**, με **λεζάντα: Απεικόνιση πραγματικού παλμογράφου** δείχνει ένα πραγματικό μηχάνημα παλμογράφου.



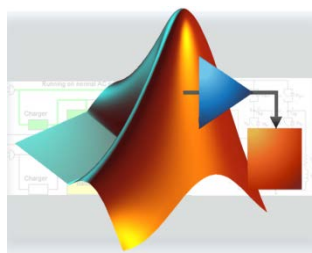
Εικόνα 55. Απεικόνιση πραγματικού παλμογράφου [20]

4. Υλοποίηση και περιγραφή του προγράμματος Simulink

4.1 Συνολικές πληροφορίες για το Simulink

Στην παρούσα ενότητα διερευνάται το πρόγραμμα Simulink και κάποιες βασικές πληροφορίες για αυτό, σε τι είναι χρήσιμο και για ποιο λόγο παρίσταται. Αρχικά, διασαφηνίζεται το περιβάλλον/εργαλείο που παρέχει το πρόγραμμα μαθηματικού περιεχόμενου Matlab και αναλύεται που χρησιμοποιείται και υλοποιείται στην προσομοίωση με τους κατάλληλους αλγορίθμους, την σχεδίαση διάφορων μοντέλων, την αυτόματη παράγωγή κώδικα και την συνεχή δοκιμή και επαλήθευση ενσωματωμένων συστημάτων. Οι υπηρεσίες που παρέχει είναι ο γραφικός επεξεργαστής, προσαρμόσιμες βιβλιοθήκες μπλοκ και επιλυτές για τη μοντελοποίηση και προσομοίωση δυναμικών συστημάτων, μπορεί να υποστηρίξει υλικό όπως Arduino και Raspberry Pi. Το εργαλείο χρησιμοποιείται, κυρίως, για ανάλυση σημάτων και οπτικών ινών με την βοήθεια των κατάλληλων εργαλείων που θα καταγραφούν στις παρακάτω ενότητες αναλυτικά.

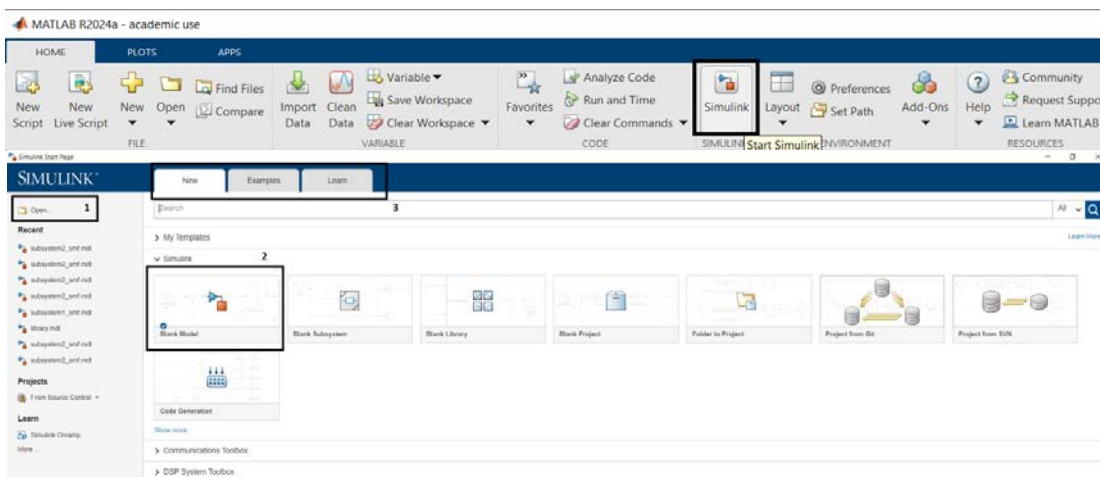
Είναι ένα εύκολο και εύχρηστο εργαλείο για την ανάλογη ειδικότητα του χρηστή αλλά και για απλούς και αρχαίους χρήστες, που στοχεύουν στον εμπλουτισμό των γνώσεων τους. Η εταιρία που το παρέχει είναι η Mathworks, στην ιστοσελίδα της έχει όλες τις απαραίτητες πληροφορίες. Υπάρχει και σε online μορφή που τα ερευνητικά σχέδια project αποθηκεύονται απευθείας στο σύννεφο cloud. Οι υποστηριζόμενες πλατφόρμες, που το παρέχουν είναι τα windows, macOS και linux. Οι απαιτήσεις του συστήματος είναι ελάχιστες αλλά χρειάζεται να παρέχεται ένα πλήρες σύστημα υπολογιστή με τις απαραίτητες προδιαγραφές. Η τελευταία καινούργια έκδοση παροχής είναι η R2024a και από την έκδοση 7.0 και μετά υπάρχει μέσα η προσομοίωση του Simulink, είναι επί πληρωμή καθώς υπάρχουν και άδειες που μπορούν να παραχωρηθούν σε περίπτωση φοίτησης σε ακαδημαϊκό επίπεδο κλπ. Στην **εικόνα 56**, με **λεζάντα: Εικονίδιο προγράμματος Matlab/Simulink** καταγράφει τα εικονίδια των αναφερόμενων προγραμμάτων.



Εικόνα 56. Εικονίδιο προγράμματος Matlab/Simulink [21]

4.1.1 Simulink για αρχάριους/Οδηγός εκμάθησης

Αυτή η ενότητα αναπαριστά έναν ψηφιακό οδηγό εκμάθησης του προγράμματος Simulink. Αναλυτικότερα, βοηθά τον χρήστη να κατανοήσει και να αντιληφθεί από την αρχή το πρόγραμμα Simulink. Παρακάτω παρατίθεται μια λίστα με τον οδηγό τριών βημάτων και αντίστοιχων εικόνων, διαδοχικά, που πρέπει να ακολουθήσει ο χρήστης.

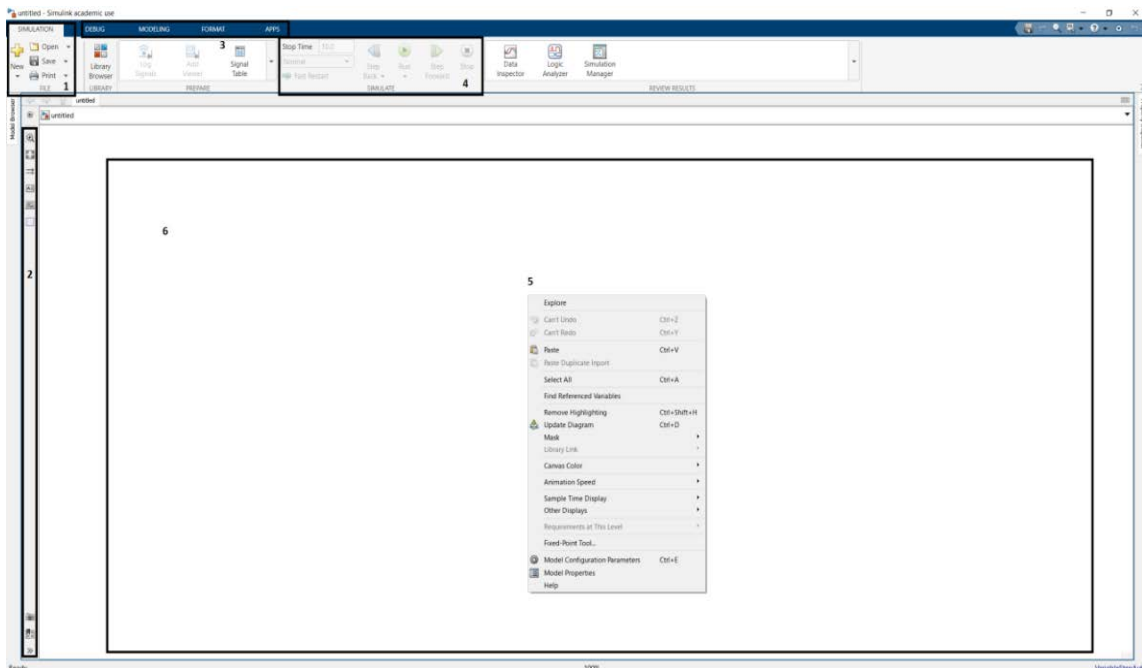


Εικόνα 57. Στιγμιότυπο οθόνης αρχικού περιβάλλοντος προγράμματος Simulink

Η εικόνα 57. με λεζάντα: Στιγμιότυπο οθόνης αρχικού περιβάλλοντος προγράμματος Simulink αναπαριστά το πρώτο περιβάλλον που βλέπει ο χρήστης πριν χρησιμοποιήσει το κυρίως μενού.

- Στο block 1 υπάρχει η διαλογή από το ερευνητικό σχέδιο/project για να ανοίξει ο φάκελος.
- Στο block 2 υπάρχει η δημιουργία κενού μοντέλου, ενώ ταυτόχρονα υπάρχει η δυνατότητα επιλογής άλλων ετοιμών ερευνητικών σχεδίων/project .
- Στο block 3 υπάρχουν τρεις καρτέλες new, examples, learn, οι οποίες είναι για την εκμάθηση του προγράμματος.

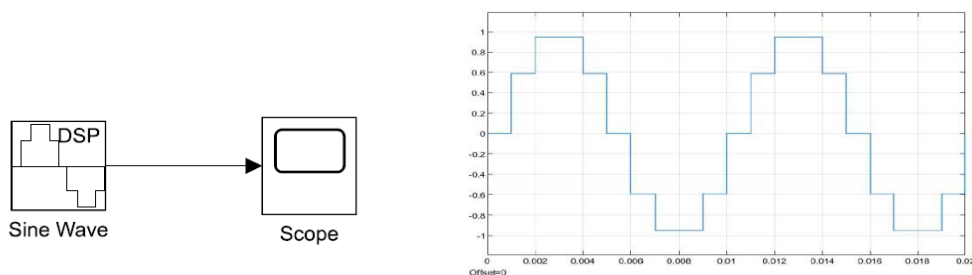
Στην εικόνα 58. με λεζάντα: Στιγμιότυπο οθόνης κύριου καταλόγου προγράμματος Simulink διακρίνεται ο κύριος κατάλογος του προγράμματος:



Εικόνα 58. Στιγμιότυπο οθόνης κύριου καταλόγου προγράμματος Simulink

- Στο block 1 υπάρχουν οι κλασικές επιλογές του νέου project/ερευνητικού σχεδίου, του φακέλου, της αποθήκευσης και της εκτύπωσης.
- Στο block 2 υπάρχει η δυνατότητα φωτογραφίας μέσα στο άσπρο περιθώριο βγάζοντας το ανάλογο σχεδιάγραμμα.
- Στο block 3 υπάρχει η καρτέλα simulation που παρέχει όλα τα βασικά εργαλεία για την διαδικασία της υλοποίησης ερευνητικού σχεδίου/project. Η καρτέλα debug περιέχει έλεγχο διαγνωστικών σφαλμάτων, η καρτέλα modeling περιέχει τις ανάλογες ρυθμίσεις του προγράμματος, την εισαγωγή ενός υποσυστήματος και την αναβάθμιση του μοντέλου με όλες τις απαραίτητες νέες εκδόσεις. Η καρτέλα format περιέχει τις μορφοποιήσεις εμφάνισης και αλλαγής. Τέλος, η καρτέλα format περιέχει το Get Add Ons, όπου ο χρήστης κατεβάζει όλες τις απαραίτητες βιβλιοθήκες για να προσθέσει.
- Στο block 4 διατρέχουν οι ρυθμίσεις χρόνων και η επιλογή της εκτέλεσης, παύσης και διακοπής της προσομοίωσης.
- Στο block 5 εμφανίζονται οι ρυθμίσεις κάνοντας δεξιά κλικ στο οδηγητή ποντίκι με αποτέλεσμα να εμφανίζονται οι επιλογές της παραπάνω (2) απεικόνισης της φωτογραφίας.
- Στο block 6 είναι το περιβάλλον εργασίας, όπου εισέρχονται τα εργαλεία.

3. Το τρίτο βήμα είναι το τελικό στάδιο, όπου θα υλοποιηθεί ένα απλό παράδειγμα προσθήκης και εκτέλεσης εργαλείων στο περιβάλλον εργασίας.
- Γίνεται επιλογή των εργαλείων κατά την προσομοίωση. Στην προκειμένη περίπτωση, η επιλογή είναι το εργαλείο Sine Wave, βρίσκεται στα αριστερά και το Scope δεξιά και απεικονίζει το σήμα. Στην συνέχεια, ενώνονται με την γραμμή που παρέχεται και γίνεται η εκτέλεση. Ο χρόνος έχει ρυθμιστεί 0.02 δευτερόλεπτα. Στην **εικόνα 59**, με **λεζάντα: Στιγμιότυπο οθόνης παραδείγματος και αποτελέσματος παλμογράφου προγράμματος Simulink** αναπαριστά το παραπάνω ζητούμενο.



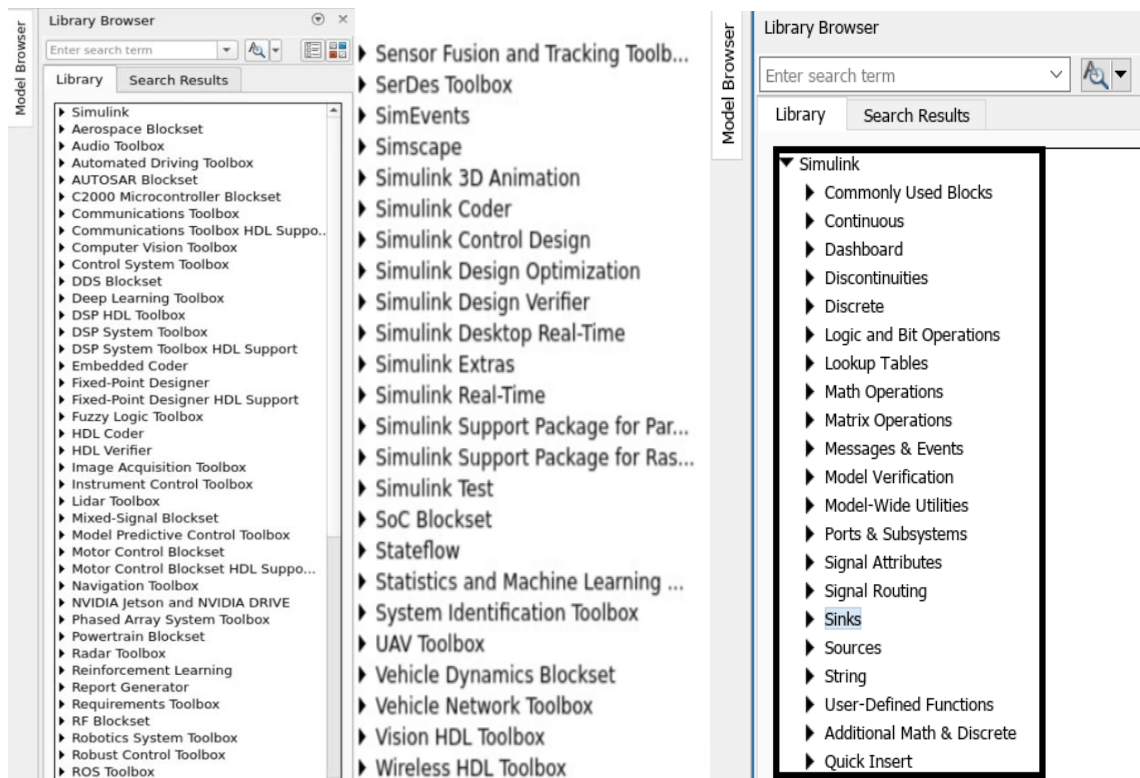
Εικόνα 59. Στιγμιότυπο οθόνης παραδείγματος και αποτελέσματος παλμογράφου προγράμματος Simulink

4.1.2 Βασικές βιβλιοθήκες/Εργαλεία

Στην παρούσα ενότητα, απεικονίζονται οι βιβλιοθήκες και τα εργαλεία που διατρέχει το Simulink. Η διαδικτυακή πλατφόρμα παρέχει όλες τις βιβλιοθήκες ήδη κατεβασμένες, διότι παρέχονται σε υπηρεσίες σύννεφου cloud. Στην μη διαδικτυακή πλατφόρμα του προγράμματος, ο χρήστης επιλέγει αυτά που θα κατεβάσει από τον εφαρμογή της Mathworks. Βρίσκονται μέσα στο Library Browser και έχει την δυνατότητα να επιλέξει την μπάρα αναζήτησης και να διαλέξει οποιοδήποτε εργαλείο ψάχνει.

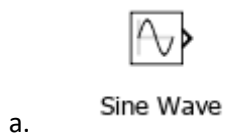
Στην **εικόνα 60**, με **λεζάντα: Στιγμιότυπα οθόνης βιβλιοθηκών προγράμματος Simulink** αναφέρονται όλα τα ονόματα των βιβλιοθηκών, που υπάρχουν στο Simulink. Η τελευταία εικόνα δεξιά περιέχει την βασική βιβλιοθήκη του προγράμματος και περιλαμβάνει τα εργαλεία, που χρησιμοποιεί ο χρήστης. Ακολουθεί επεξηγηματική ανάλυση με λίστα κάποιων βασικών εργαλείων, που έχουν χρησιμοποιηθεί στην εκπόνηση της πτυχιακής εργασίας. Στην συνέχεια της εργασίας, αναλύονται τα μοντέλα και οι ιδιότητες τους.

Μελέτη, υλοποίηση και εργαστηριακή ανάλυση επικοινωνιακών συστημάτων οπτικών ινών σε περιβάλλον Matlab/Simulink– Καραγιάννη Ελευθερία



Εικόνα 60. Στιγμιότυπα οθόνης βιβλιοθηκών προγράμματος Simulink

Sources: Στην γράμμα α. παρουσιάζεται το εργαλείο Sine Wave που έχει δυο εκδοχές, είναι γεννήτρια ημιτόνου και λειτουργεί με βάση το χρόνο.



Sinks: Στο γράμμα β. παρουσιάζεται το εργαλείο Scope είναι παλμογράφος, έχει τρεις εκδοχές. Το Scope εμφανίζει εισερχόμενα σήματα, το Time Scope εμφανίζει εισερχόμενα σήματα και πεδία χρόνου και το Floating Scope εμφανίζει εισερχόμενα σήματα και πεδία χρόνου αλλά σε σχέση με τον χρόνο της προσομοίωσης.





Time Scope



Floating Scope

DSP system toolbox: Στο γράμμα c. παρουσιάζεται το εργαλείο Spectrum Analyzer είναι αναλυτής φάσματος, εμφανίζει το φάσμα του εισερχομένου σήματος και έχει διαφορές χρήσιμες άλλες επιλογές σχετικά με αυτό.



Spectrum Analyzer

c.

Math operations: Στο γράμμα d. υπάρχει το εργαλείο Product, το οποίο είναι στην μαθηματική στήλη/βιβλιοθήκη εξάγει το αποτέλεσμα του πολλαπλασιασμού δύο εισόδων, δύο κλιμάκων, ενός κλιμακίου και ενός μη κλιμακίου ή δύο μη κλιμακίων που έχουν τις ίδιες διαστάσεις.



Product

d.

5. Υλοποιήσεις εργαστηριακών ασκήσεων

5.1 Υλοποίηση διαμόρφωσης πλάτους (Amplitude Modulation)

Η υλοποίηση της διαμόρφωσης AM αναγράφεται στην **εικόνα 61**. με **λεζάντα: Υλοποίηση AM προγράμματος Simulink** και περιγράφεται με πέντε στήλες:

- Δεδομένα της ημιτονοειδής συχνότητας με προθήκη ενός φέρον σήμα, Data-Information (sin-frequency) is added with 1x carrier.
- Φορτίο στον φορέα, Load on Carrier.
- Απώλειες συνδέσμου εισόδου, Input connector losses.
- Κύριες απώλειες διάδοσης οπτικών ινών, Fiber propagation losses.
- Απώλειες συνδέσμου εξόδου, Output connector losses.

Αναλυτικότερα, το σήμα πληροφορίας (Sine Wave) εισάγεται σε ένα ημιτονοειδές σήμα, αυτό έχει συντελεστή διαμόρφωσης 0.2 (Constant1), που σημαίνει ότι καθορίζει το πλάτος της πληροφορίας. Μετέπειτα, ο συντελεστής φέροντος (Constant) είναι 1 άρα, το σήμα που έρχεται είναι χωρίς πολλαπλασιασμό και λοιπές μετατροπές.

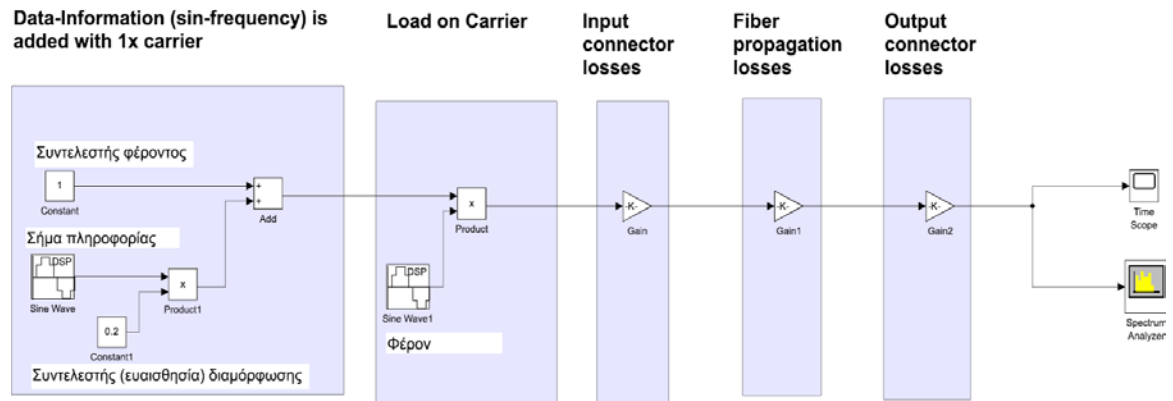
Συμπερασματικά, το σήμα πληροφορίας διατρέχει πράξη πολλαπλασιασμού, με το φέρον σήμα και έτσι δημιουργείται το ζητούμενο της ενότητας αυτής, το οποίο είναι η **διαμόρφωση πλάτους**. Σε αυτή την υλοποίηση υπάρχουν τρεις τύποι ειδών απώλειας: οι απώλειες κατά τη σύνδεση με την είσοδο της οπτικής ίνας, οι απώλειες διάδοσης μέσα στην ίνα και οι απώλειες κατά τη σύνδεση της εξόδου της ίνας. Τέλος, το σήμα εξάγεται σε αναπαράσταση στις **εικόνες 62, 63**. με **λεζάντες: Αποτέλεσμα παλμογράφου AM προγράμματος Simulink, Αποτέλεσμα φάσματος προγράμματος AM Simulink** δείχνουν τον παλμογράφο Time Scope και τον φασματικό αναλυτή Spectrum Analyzer να αποτυπώνουν τις μετρήσεις, τις διαμορφώσεις και τις απώλειες της **διαμόρφωσης πλάτους AM**.

Κατά την υλοποίηση της συγκεκριμένης άσκησης αναγράφεται η **περιγραφή λειτουργίας της εγκατάστασης**:

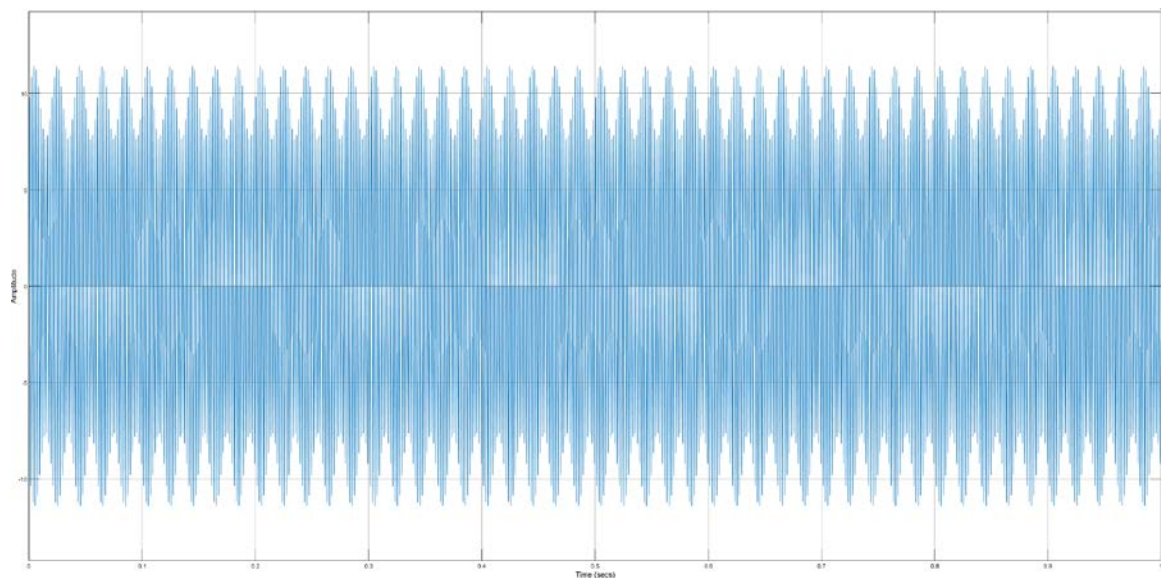
- Απαραίτητες βιβλιοθήκες, ώστε να χρησιμοποιούνται τα αναζητούμενα εργαλεία.
- Το λειτουργικό σύστημα που χρησιμοποιήθηκε ήταν τα windows 10.
- Ο χρόνος που την αποτέλεσε είναι το 1 δευτερόλεπτο sec.

Οι **μετρήσεις των εργαλείων** είναι:

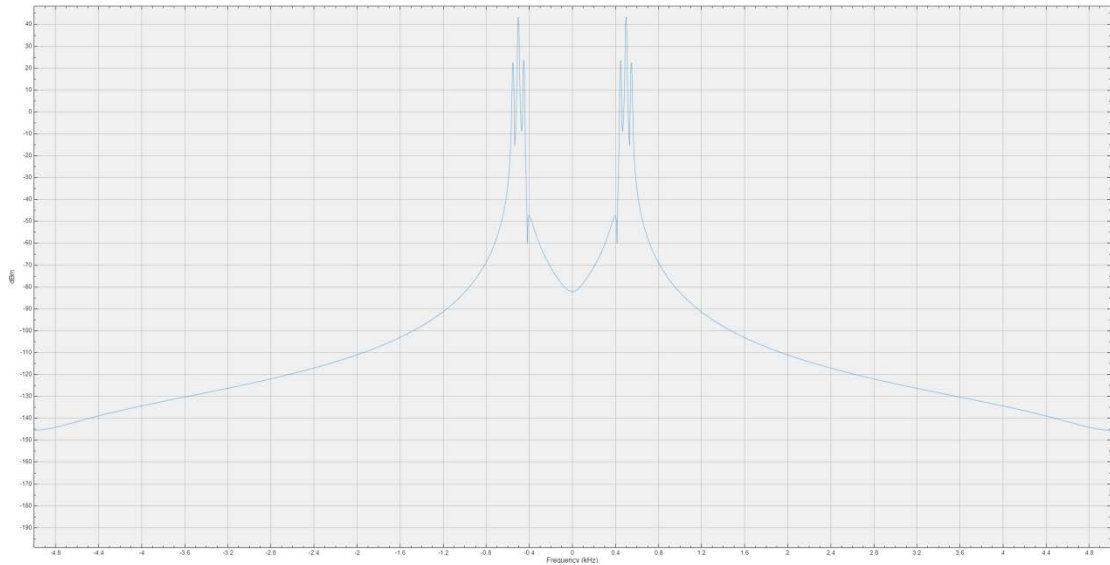
- Sine Wave: Τοποθετείται με πλάτος Amplitude 1, η συχνότητα Frequency ως 50 και ο χρόνος του δείγματος sample time σε κλίμακα 1/10000.
- Sine Wave1: Τοποθετείται με πλάτος Amplitude 1, η συχνότητα Frequency ως 500 και ο χρόνος του δείγματος Sample Time σε κλίμακα 1/10000.
- Gain: Το πρώτο σε σειρά Gain εφαρμόζεται με την πράξη $10^{(-0.1/10)}$, το δεύτερο Gain με την πράξη $(10^{(-0.02/10)}) * 10$ και το τρίτο και τελευταίο Gain με την πράξη $10^{(-0.1/10)}$.



Εικόνα 61. Υλοποίηση AM προγράμματος Simulink



Εικόνα 62. Αποτέλεσμα παλμογράφου AM προγράμματος Simulink



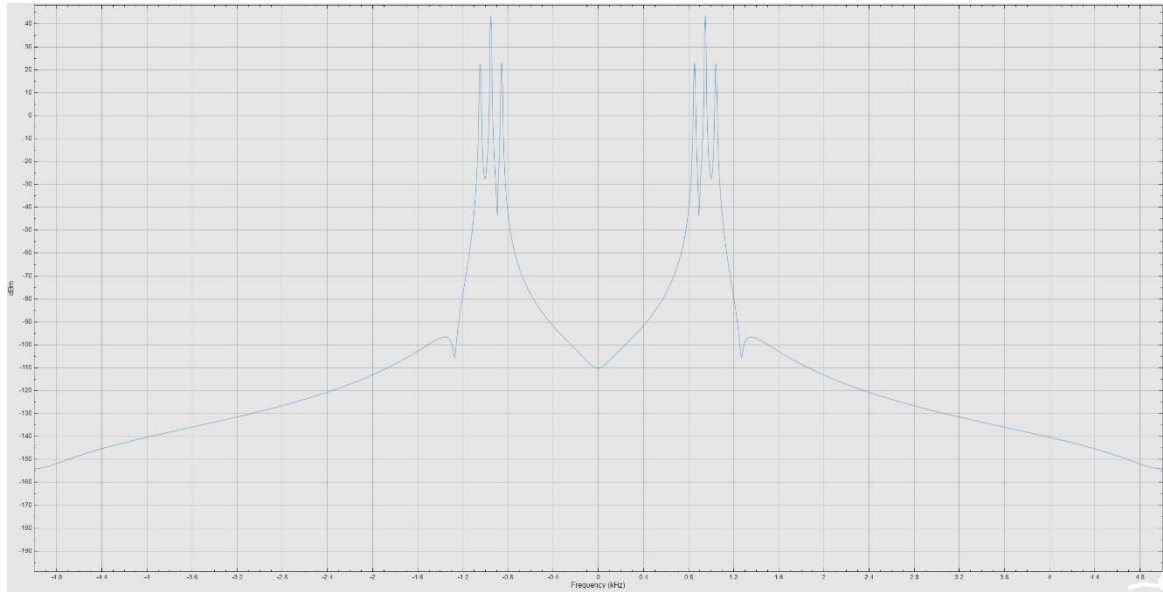
Εικόνα 63. Αποτέλεσμα φάσματος προγράμματος AM Simulink

5.1.1 Πρώτη μελέτη προσομοίωσης AM, Μέρος 1^ο: Αύξηση της συχνότητας

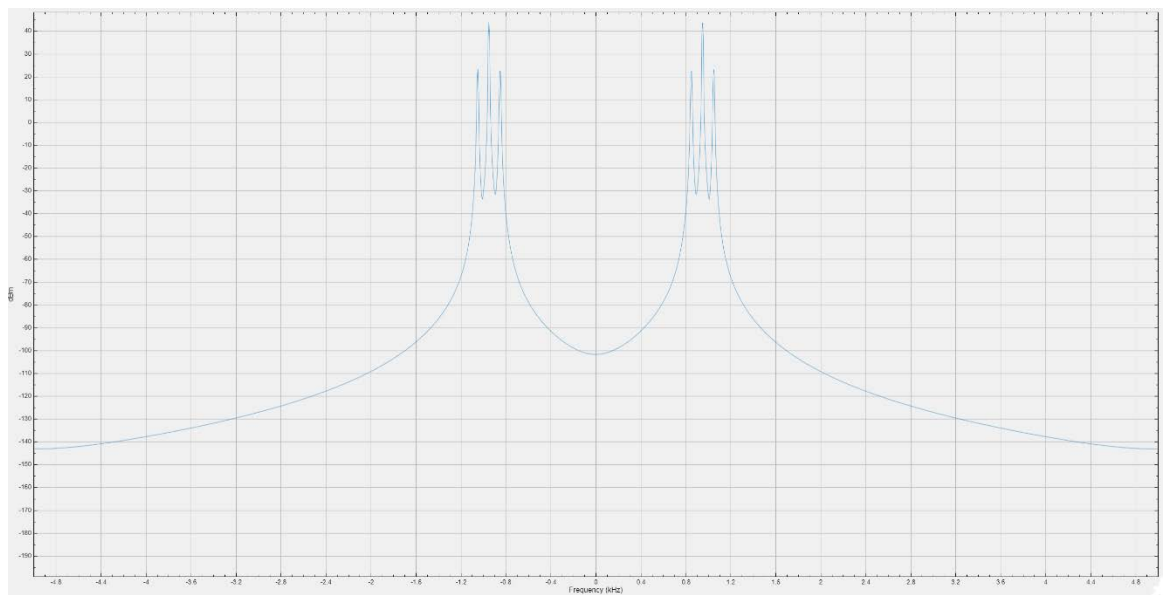
Στην παραπάνω εργαστηριακή άσκηση έχουν υλοποιηθεί τρία είδη προσομοιώσεων στην **διαμόρφωση** του **πλάτους**. Αναλυτικά, στην **πρώτη** προσομοίωση του **πρώτου μέρους** παρουσιάζεται μια αύξηση της συχνότητας στο εργαλείο Sine Wave, όπου στην προκειμένη περίπτωση είναι το **σήμα πληροφορίας**. Αυτό υποδηλώνει, πως ο χρόνος θα πρέπει να είναι μικρότερος του εργαλείου Sine Wave1 ονομαστικά στο **φέρον σήμα**.

Στόχος της προσομοίωσης είναι να μετατοπιστεί το φάσμα και το εύρος ζώνης, το οποίο είναι αναγκαίο για να υπάρχει βελτιστοποίηση της μετάδοσης του σήματος χωρίς παραμορφώσεις. Στις **εικόνες 64.-70.** με **ανάλογες λεζάντες** απεικονίζονται τα αποτελέσματα του φασματικού αναλυτή Spectrum Scope με συμπληρωμένο το πεδίο της συχνότητας Frequency, στο **σήμα πληροφορίας** με τις τιμές: 95, 100, 200, 300, 400, 500, 600 Hz και στο **φέρον σήμα** σταθερό με την τιμή: 950 Hz.

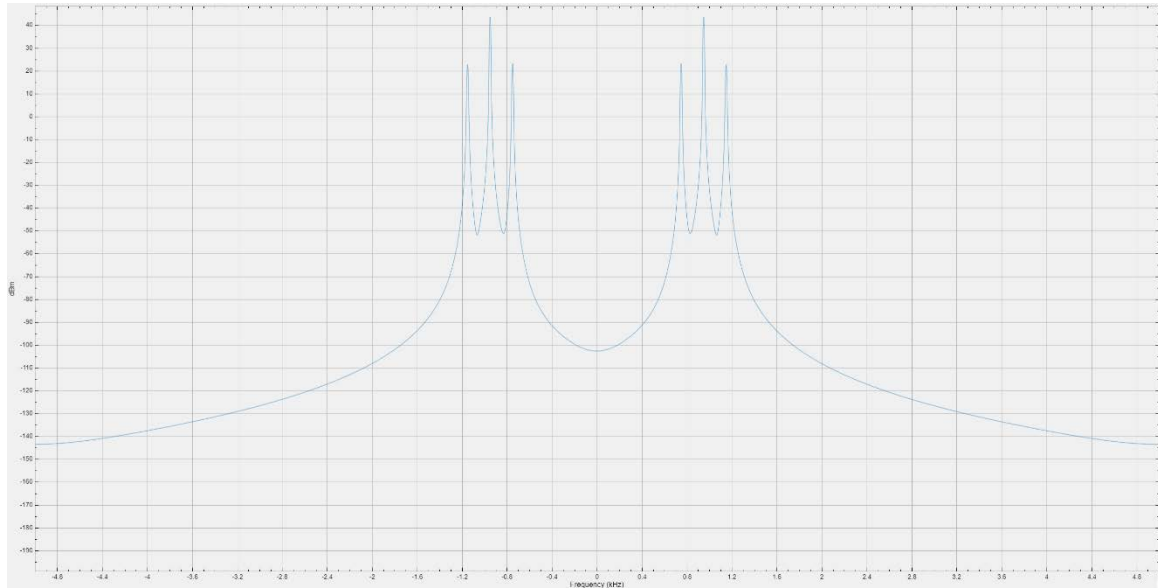
Συμπερασματικά, ανακαλύπτεται και προδιαγράφεται η εμφανής αλλαγή στο φάσμα με τις διαφορετικές αυτές τιμές και έτσι επιτυγχάνει τον στόχο της **πρώτης** προσομοίωσης του **πρώτου μέρους** της διαμόρφωσης πλάτους.



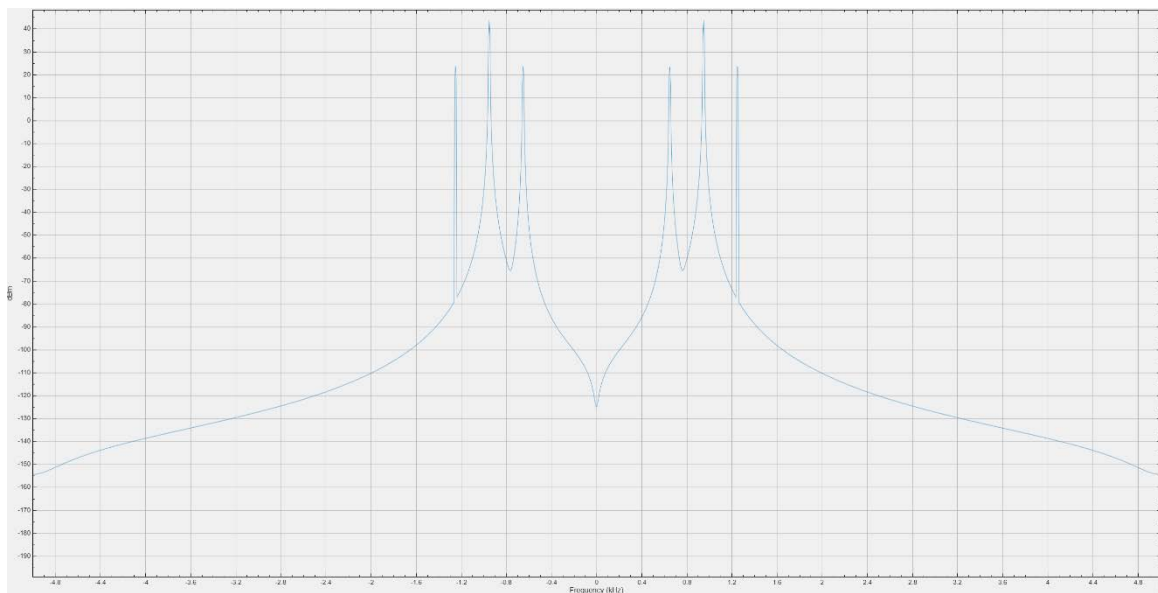
Εικόνα 64. Στιγμιότυπο οθόνης 1: Αποτέλεσμα φάσματος (95Hz) προγράμματος Simulink



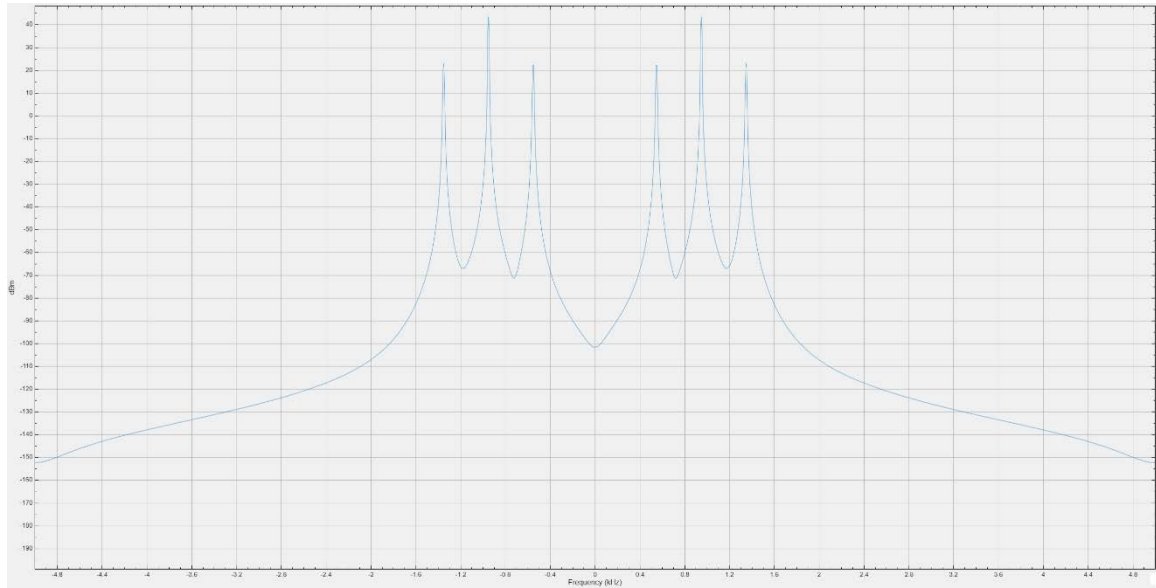
Εικόνα 65. Στιγμιότυπο οθόνης 2: Αποτέλεσμα φάσματος (100Hz) προγράμματος Simulink



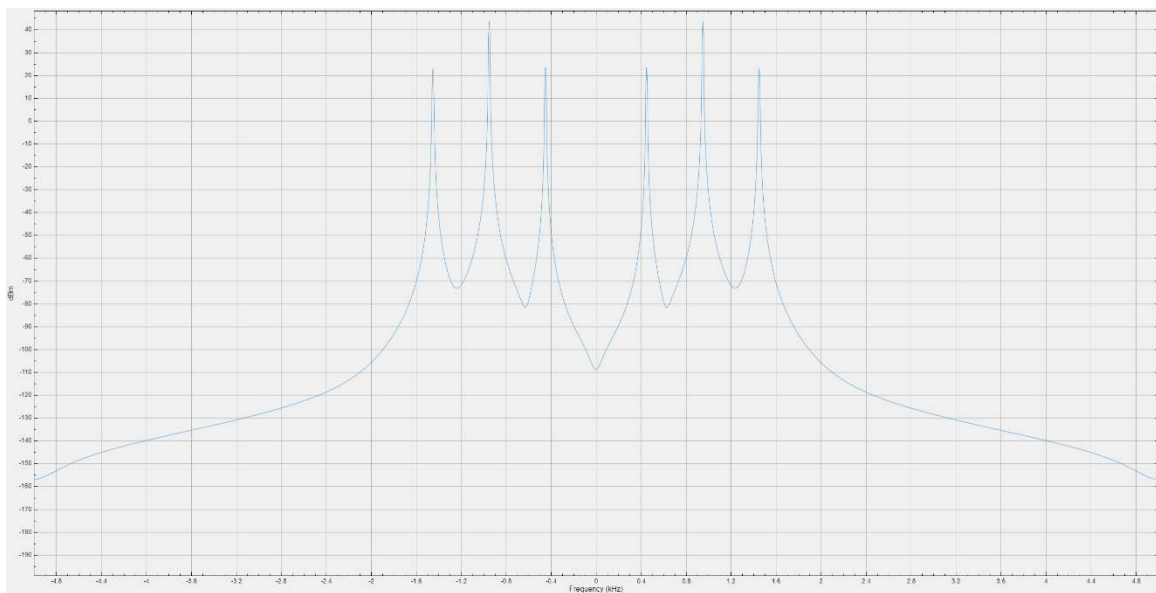
Εικόνα 66. Στιγμιότυπο οθόνης 3: Αποτέλεσμα φάσματος (200Hz) προγράμματος Simulink



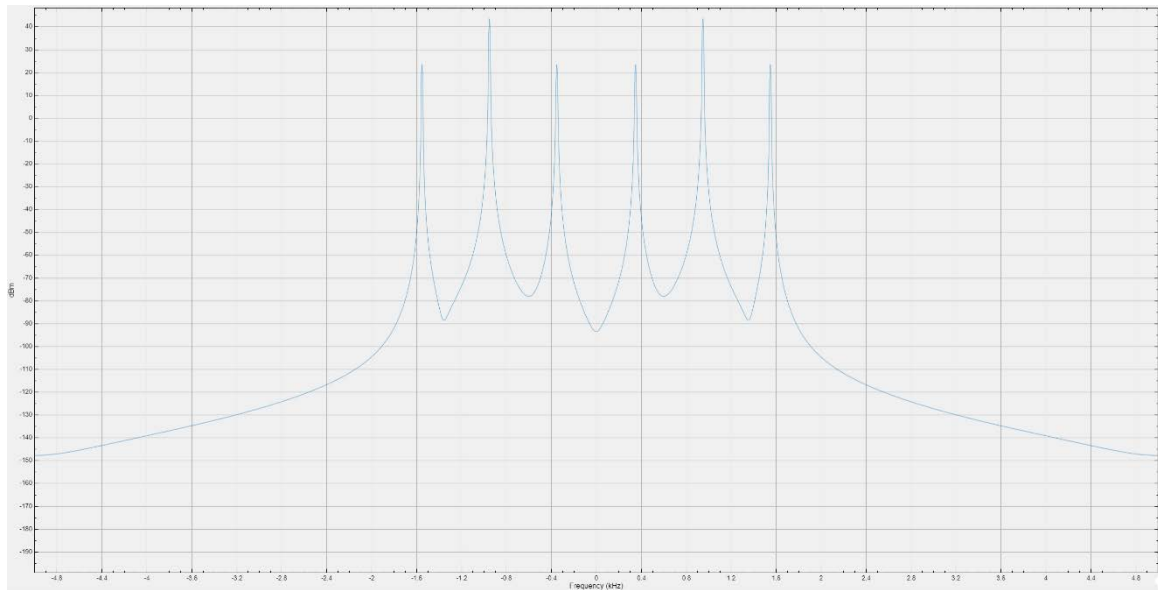
Εικόνα 67. Στιγμιότυπο οθόνης 4: Αποτέλεσμα φάσματος (300Hz) προγράμματος Simulink



Εικόνα 68. Στιγμιότυπο οθόνης 5: Αποτέλεσμα φάσματος (400Hz) προγράμματος Simulink



Εικόνα 69. Στιγμιότυπο οθόνης 6: Αποτέλεσμα φάσματος (500Hz) προγράμματος Simulink



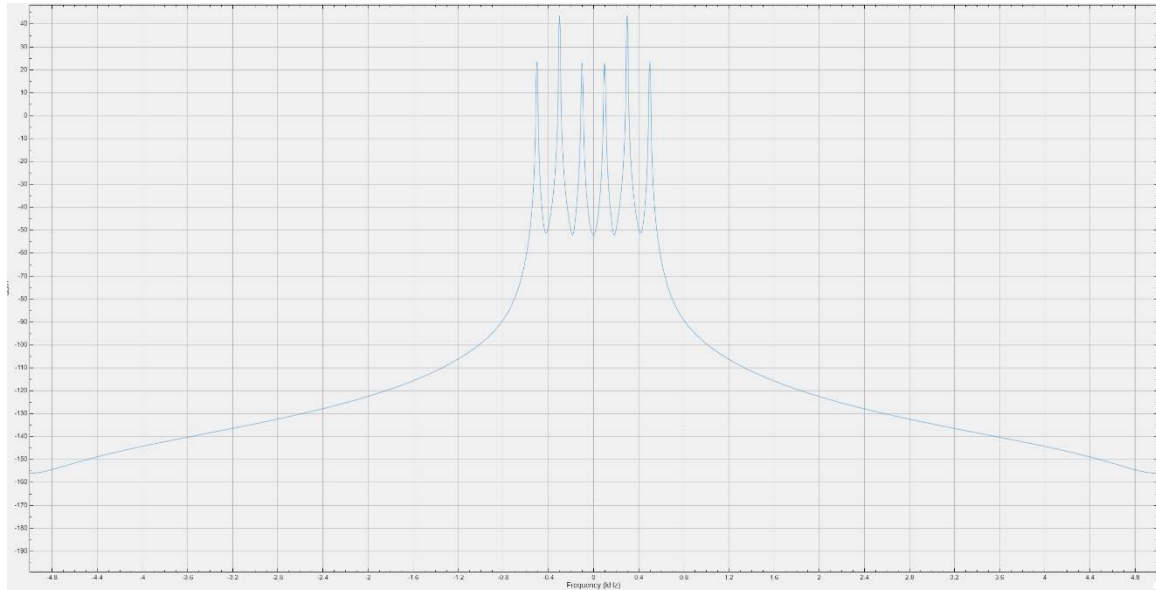
Εικόνα 70. Στιγμιότυπο οθόνης 7: Αποτέλεσμα φάσματος (600Hz) προγράμματος Simulink

5.1.1.1 Πρώτη μελέτη προσομοίωσης AM, Μέρος 2^ο: Αύξηση της συχνότητας

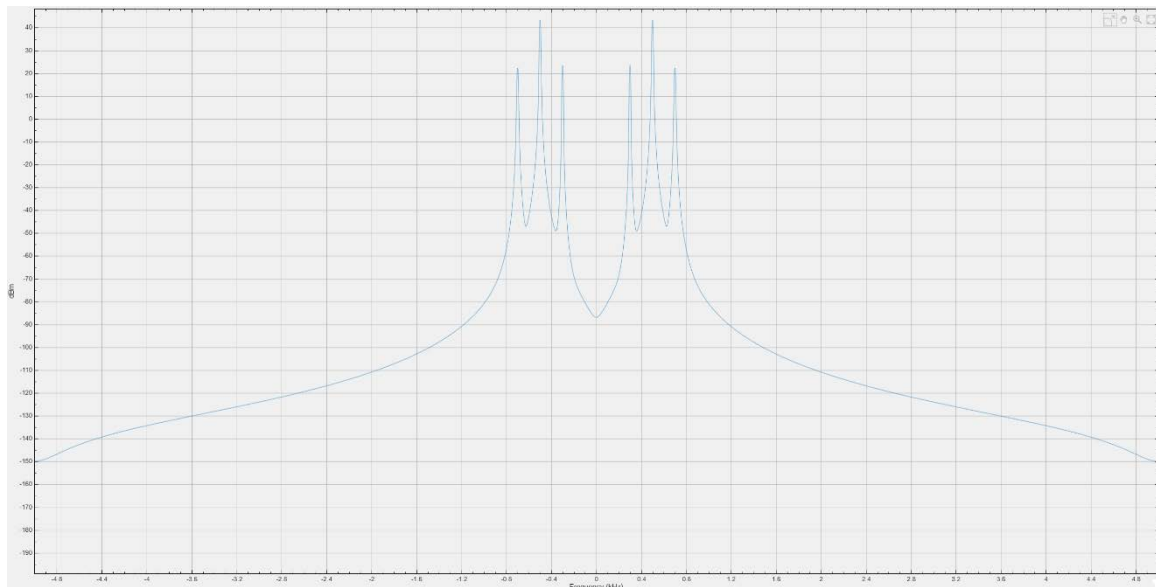
Στην **πρώτη** προσομοίωση του **δευτέρου μέρους** παρουσιάζεται μια αύξηση της συχνότητας στο εργαλείο Sine Wave, όπου στην προκειμένη περίπτωση είναι το **φέρον σήμα**. Αυτό υποδηλώνει, πως ο χρόνος θα πρέπει να είναι μικρότερος του εργαλείου Sine Wave1 ονομαστικά στο **σήμα πληροφορίας**. Επισημαίνεται πως, είναι η ακριβώς αντίστροφη διαδικασία με την πρώτη προσομοίωση του πρώτου μέρους.

Στόχος της προσομοίωσης είναι να μετατοπιστεί το φάσμα και το εύρος ζώνης, το οποίο είναι αναγκαίο για να υπάρχει βελτιστοποίηση της μετάδοσης του σήματος χωρίς παραμορφώσεις. Στις **εικόνες 71.-74.** με **ανάλογες λεζάντες** απεικονίζονται τα αποτελέσματα του φασματικού αναλυτή Spectrum Scope με συμπληρωμένο το πεδίο της συχνότητας Frequency, στο **φέρον σήμα** με τις τιμές: 300, 500, 700, 950Hz και στο σταθερό **σήμα πληροφορίας** με την τιμή: 200 Hz.

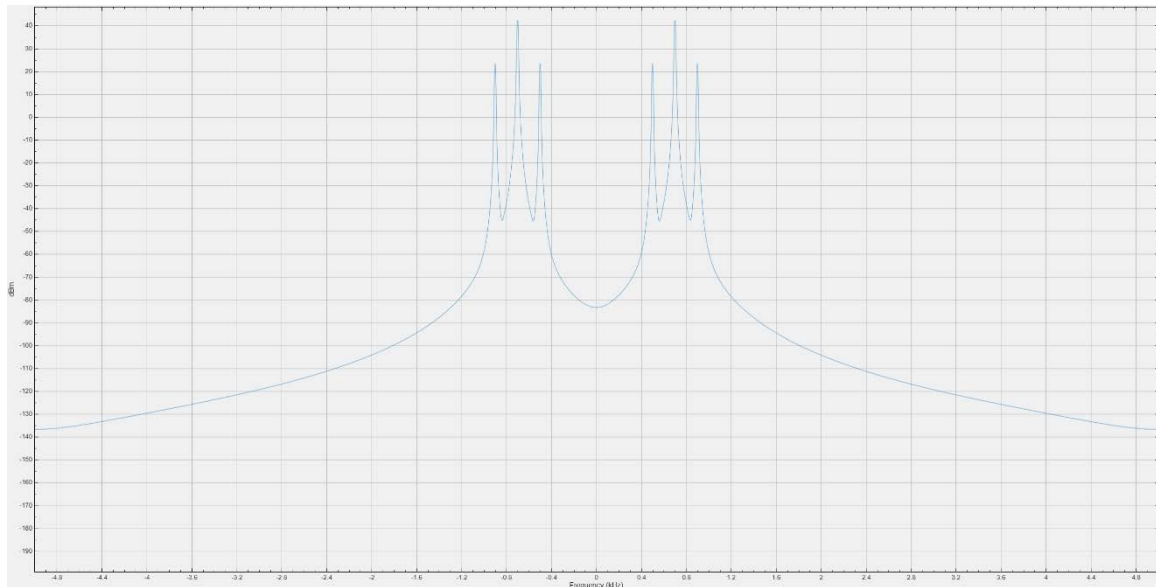
Συμπερασματικά, ανακαλύπτεται και προδιαγράφεται η εμφανής αλλαγή στο φάσμα με τις διαφορετικές αυτές τιμές και έτσι επιτυγχάνει τον στόχο της **πρώτης** προσομοίωσης του **δευτέρου μέρους** της διαμόρφωσης πλάτους.



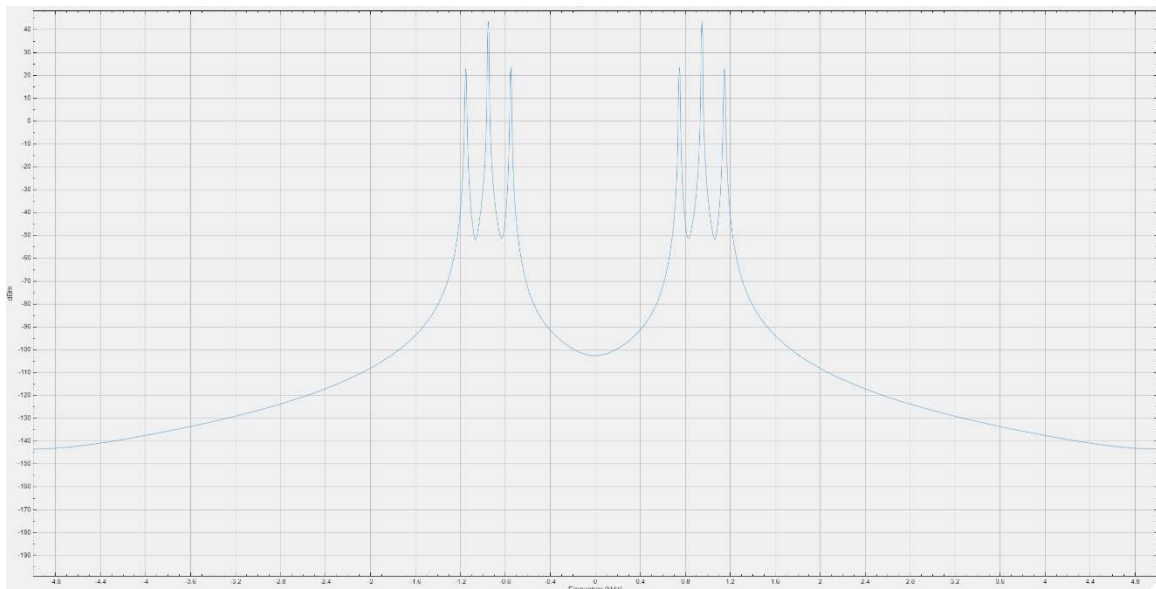
Εικόνα 71. Στιγμιότυπο οθόνης 8: Αποτέλεσμα φάσματος (300Hz) προγράμματος Simulink



Εικόνα 72. Στιγμιότυπο οθόνης 9: Αποτέλεσμα φάσματος (500Hz) προγράμματος Simulink



Εικόνα 73. Στιγμιότυπο οθόνης 10: Αποτέλεσμα φάσματος (700Hz) προγράμματος Simulink



Εικόνα 74. Στιγμιότυπο οθόνης 11: Αποτέλεσμα φάσματος (950Hz) προγράμματος Simulink

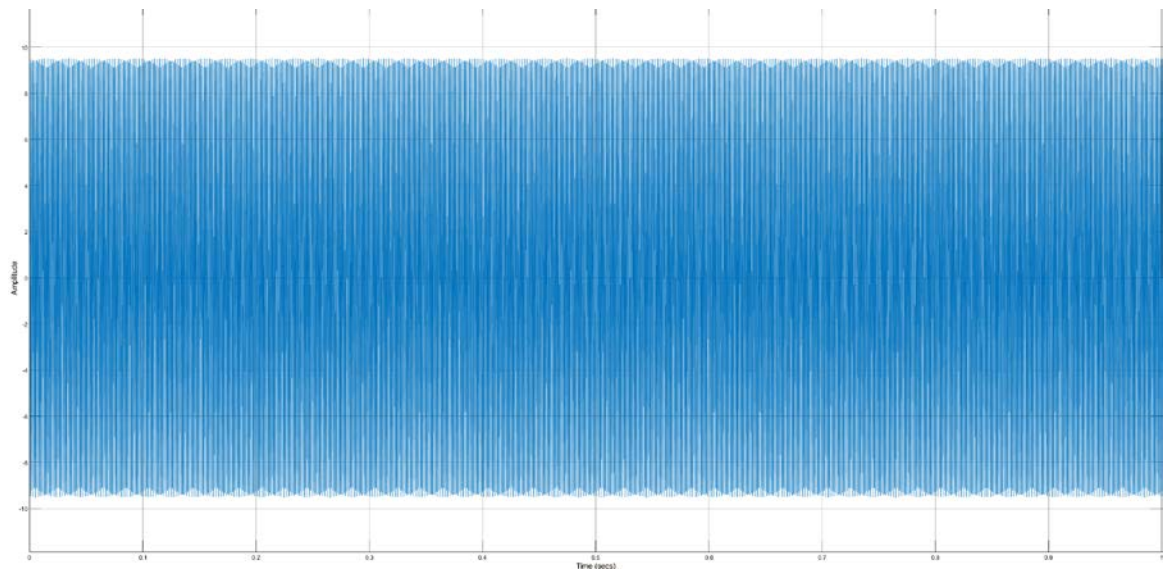
5.1.2 Δεύτερη μελέτη προσομοίωσης AM: Αύξηση του παράγοντα ευαισθησίας

Στην **δεύτερη** προσομοίωση παρουσιάζεται η αύξηση του συντελεστή, παράγοντα ευαισθησίας διαμόρφωσης ονομαστικά το εργαλείο Constant1 μεταβαλλόμενο με τις τιμές: 0, 0.5, 0.7, 0.8, 1, 1.2. Οι μετρήσεις των υπολοίπων εργαλείων ακολουθούν την διαμόρφωση της **υλοποίησης AM** της ενότητας 5.1. .

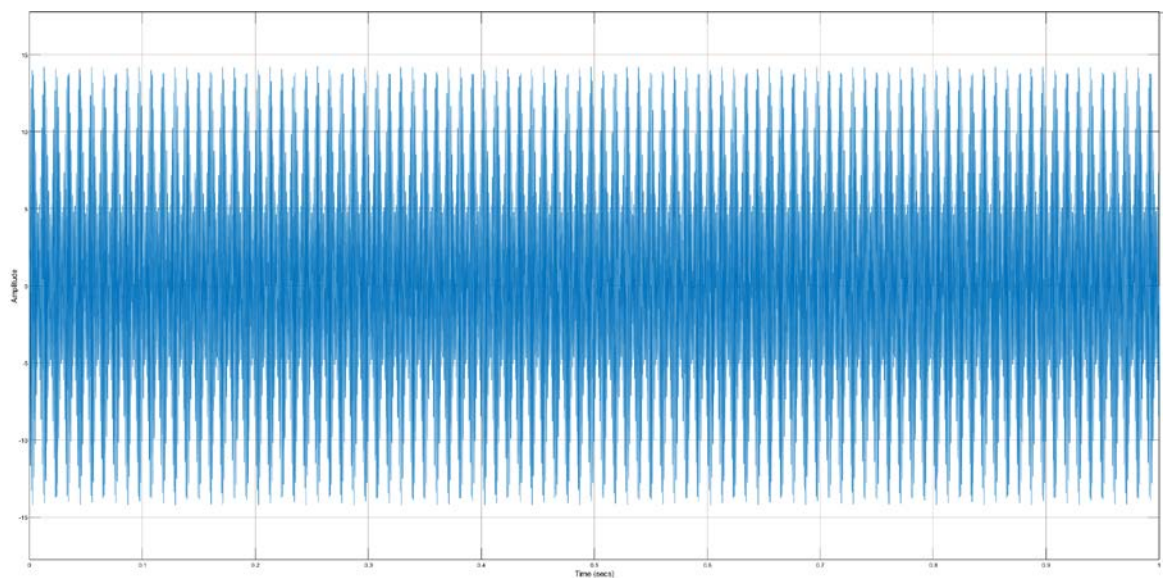
Στόχος της προσομοίωσης είναι η παρατήρηση της παραμόρφωση στις μεγαλύτερες τιμές μετά την τιμή 0. Από την τιμή 0.5 υπάρχει ομοιομορφία και μετέπειτα, αφού ξεπεραστεί ο συντελεστής $k=1$ τιμής, προκαλείται κάποιου είδους

μικρής υπερδιαμόρφωσης. Στις εικόνες 75.-80. με ανάλογες λεζάντες αποτυπώνεται ο παλμογράφος Time Scope με τα ανάλογα αποτελέσματα των τιμών. Τέλος, διακρίνεται ιδιαιτέρως στην αριστερή στήλη πλάτους στον αριθμό 0 κεντρικά.

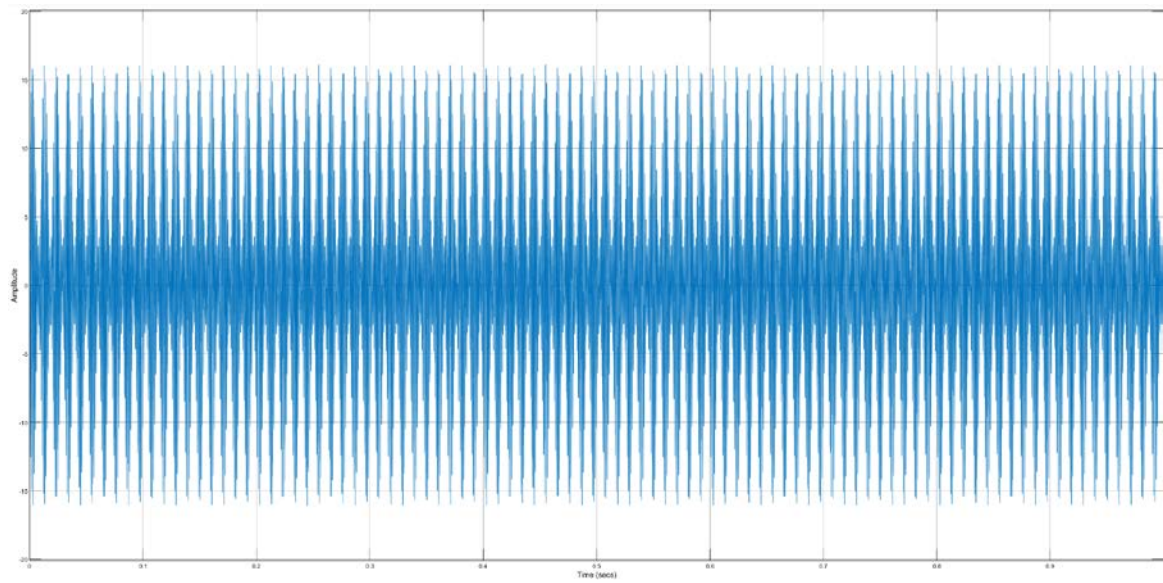
Συμπερασματικά, ανακαλύπτεται και προδιαγράφεται η εμφανής αλλαγή στο διάγραμμα του χρόνου με τις διαφορετικές αυτές τιμές και έτσι επιτυγχάνει τον στόχο της **δεύτερης** προσομοίωσης της διαμόρφωσης πλάτους.



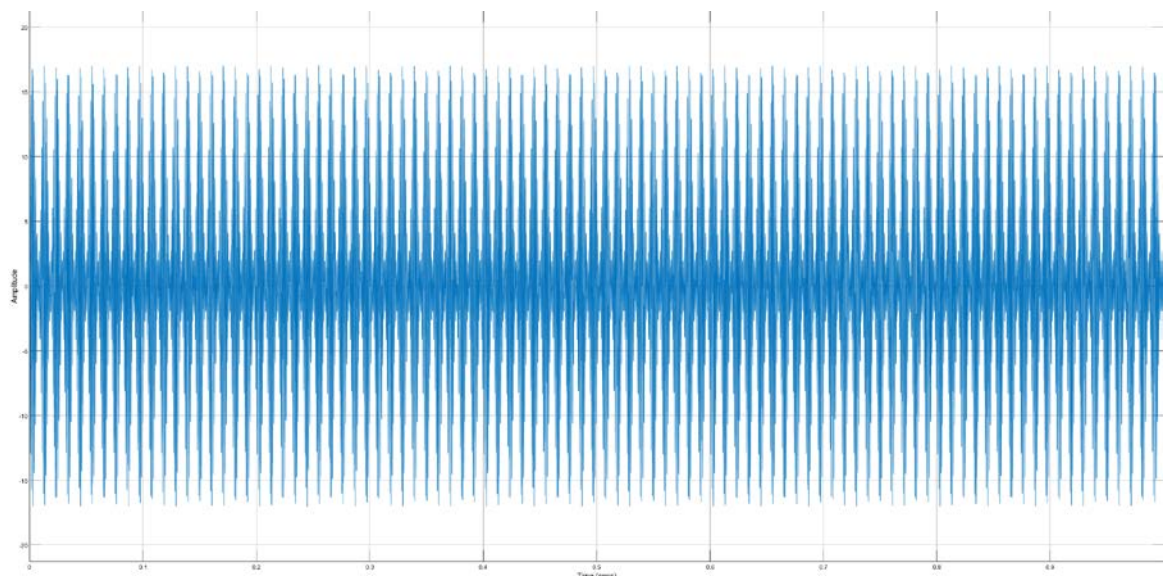
Εικόνα 75. Στιγμιότυπο οθόνης 12: Αποτέλεσμα παλμογράφου χρόνου (0) προγράμματος Simulink



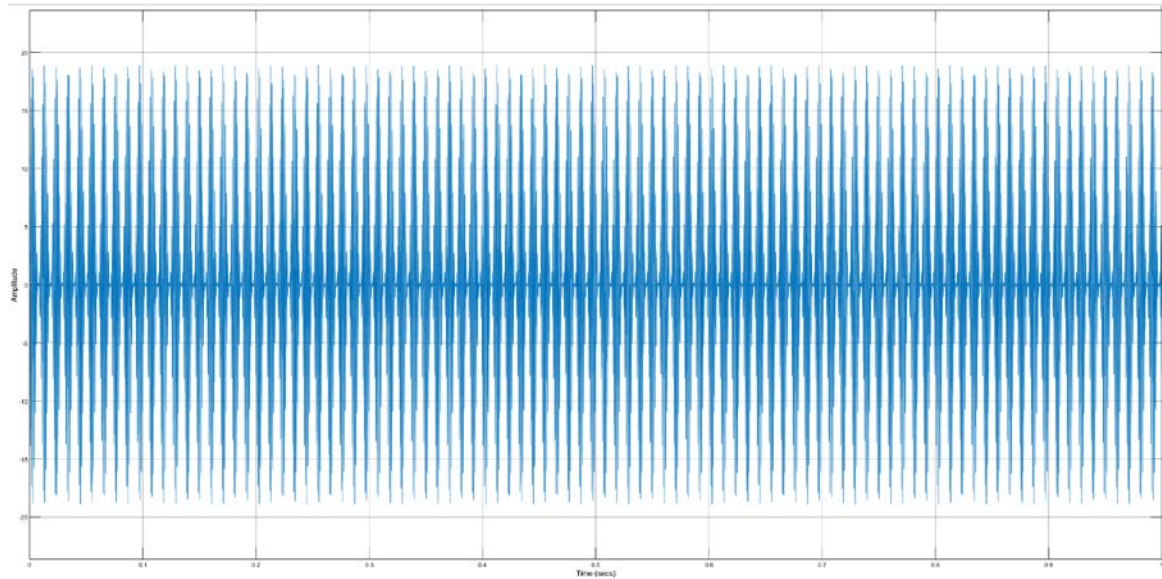
Εικόνα 76. Στιγμιότυπο οθόνης 13: Αποτέλεσμα παλμογράφου χρόνου (0.5) προγράμματος Simulink



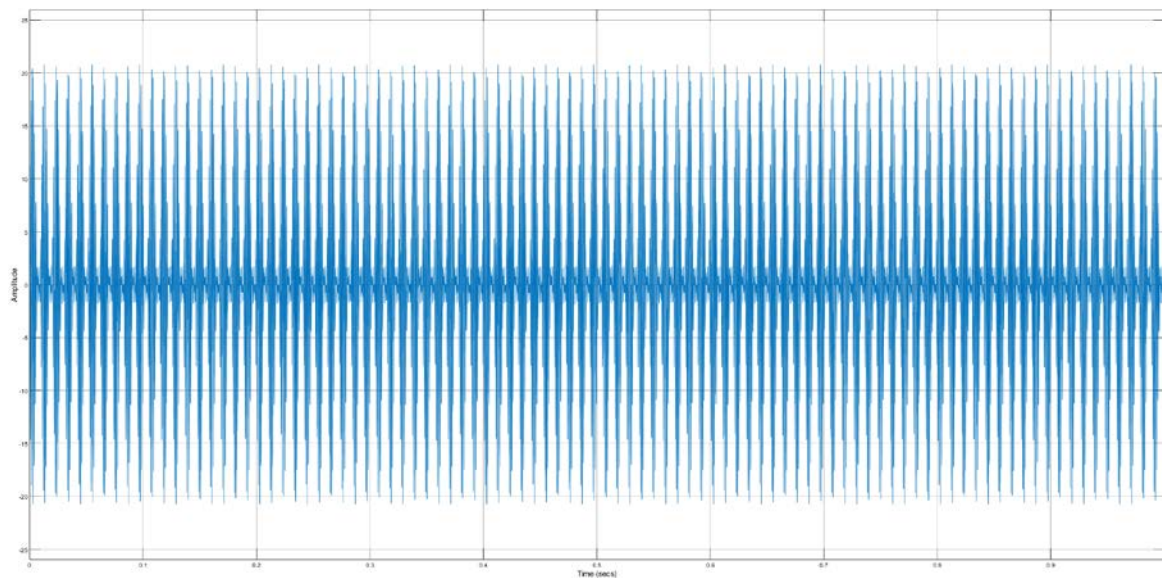
Εικόνα 77. Στιγμιότυπο οθόνης 14: Αποτέλεσμα παλμογράφου χρόνου (0.7) προγράμματος Simulink



Εικόνα 78. Στιγμιότυπο οθόνης 15: Αποτέλεσμα παλμογράφου χρόνου (0.8) προγράμματος Simulink



Εικόνα 79. Στιγμιότυπο οθόνης 16: Αποτέλεσμα παλμογράφου χρόνου (1) προγράμματος Simulink



Εικόνα 80. Στιγμιότυπο οθόνης 17: Αποτέλεσμα παλμογράφου χρόνου (1.2) προγράμματος Simulink

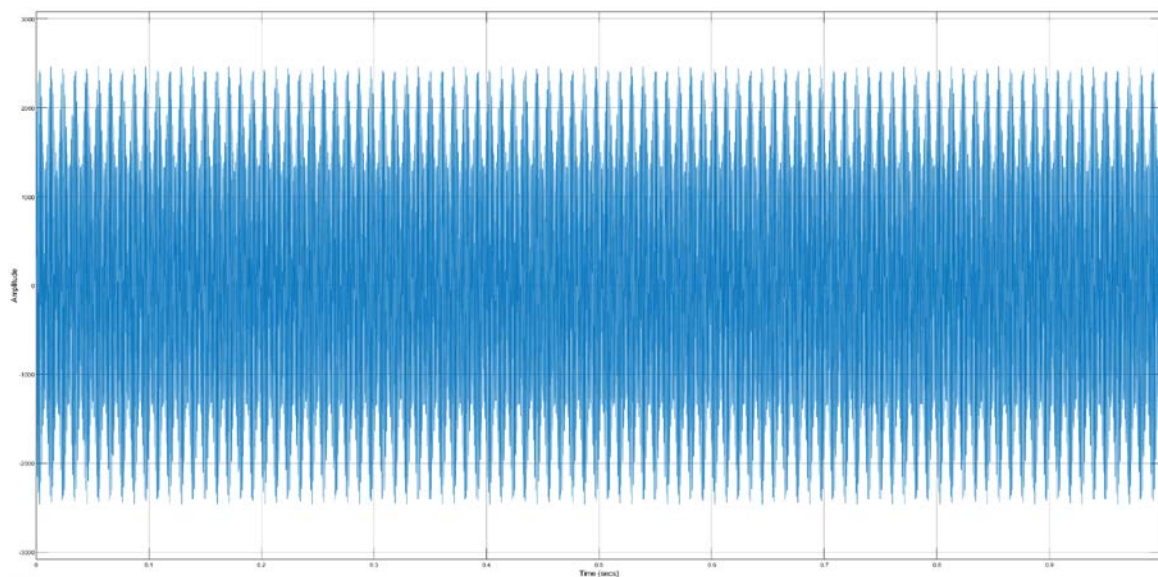
5.1.3 Τρίτη μελέτη προσομοίωσης AM: Αύξηση του παράγοντα απωλειών της οπτικής ίνας

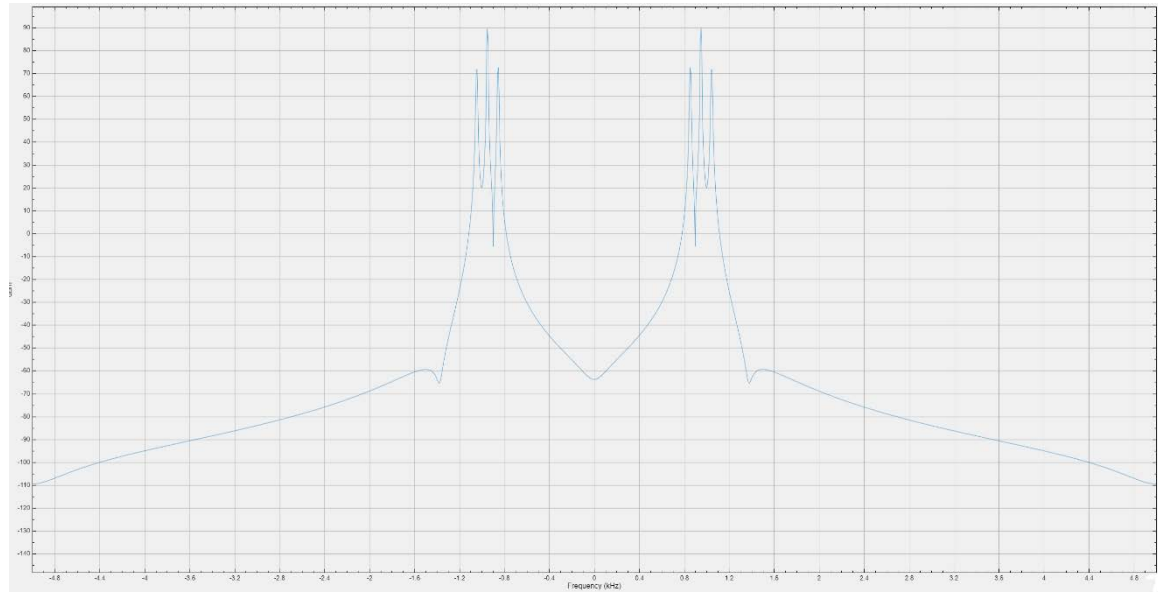
Στην **τρίτη** και τελευταία προσομοίωση, υφίσταται αύξηση ***10** φορές στους τρεις συντελεστές απώλειας των οπτικών ινών στην **διαμόρφωση πλάτους**.

Στόχος της προσομοίωσης είναι να μειωθεί το πλάτος και η μεγαλύτερη τιμή του σήματος. Πρακτικά, στο πρώτο εργαλείο Gain, ονομαστικά στην απώλεια συνδέσμου εισόδου, συμβάλει η εμφάνιση της πράξης: $10^{-(0.1/10)*10}$ που έχει ως αποτέλεσμα το 97724. Ακολουθείται, διαδοχικά, στο δεύτερο εργαλείο Gain1,

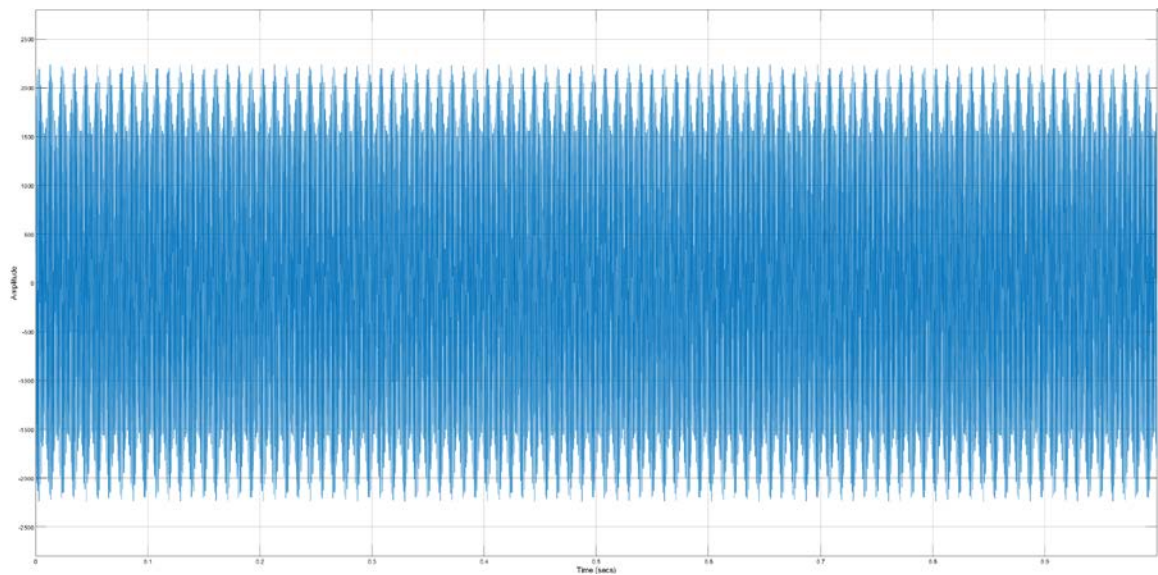
ονομαστικά στις κύριες απώλειες διάδοσης οπτικών ινών, η εμφάνιση της πράξης: $(10^{(-0.02/10)}) \cdot 10$, που έχει ως αποτέλεσμα 99541. Τέλος, στο τρίτο Gain2, ονομαστικά στις απώλειες συνδέσμου εξόδου, συμβάλει η εμφάνιση της πράξης: $10^{(-0.1/10)} \cdot 10$ με το αποτέλεσμα 97724. Η μείωση του πλάτους έγινε με σταθερό το φέρον στην κλίμακα με τιμή: 2 και το σήμα πληροφορίας εφαρμόστηκε στις τιμές: 1.5, 0.9, 0.7, 0.4, 0.1. Στις **εικόνες 81.-85.** Με **ανάλογες λεζάντες** αποτυπώνονται τα αποτελέσματα σε εφαρμογή των πράξεων με τις ανάλογες τιμές στον παλμογράφο Time Scope και τον φασματικό αναλυτή Spectrum Scope. Οι μετρήσεις των υπολοίπων εργαλείων ακολουθούν την διαμόρφωση της **υλοποίησης AM** της ενότητας 5.1. .

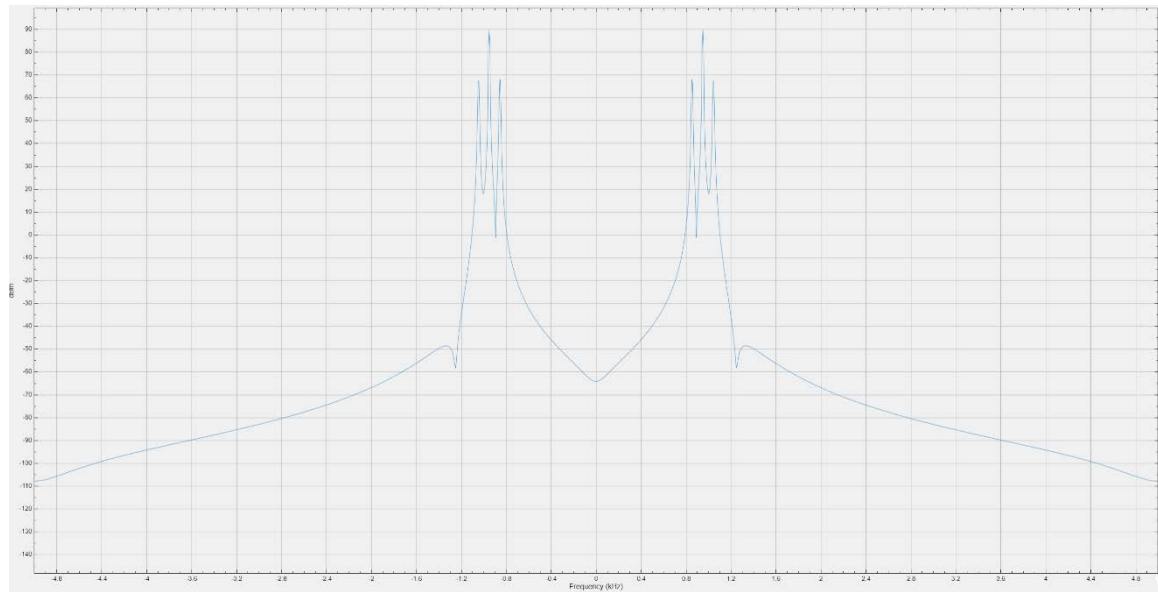
Συμπερασματικά, ανακαλύπτεται και προδιαγράφεται η εμφανής αλλαγή στο διάγραμμα του χρόνου και στον φασματικό αναλυτή με τις διαφορετικές αυτές τιμές και έτσι επιτυγχάνει τον στόχο της **τρίτης** προσομοίωσης της διαμόρφωσης πλάτους.



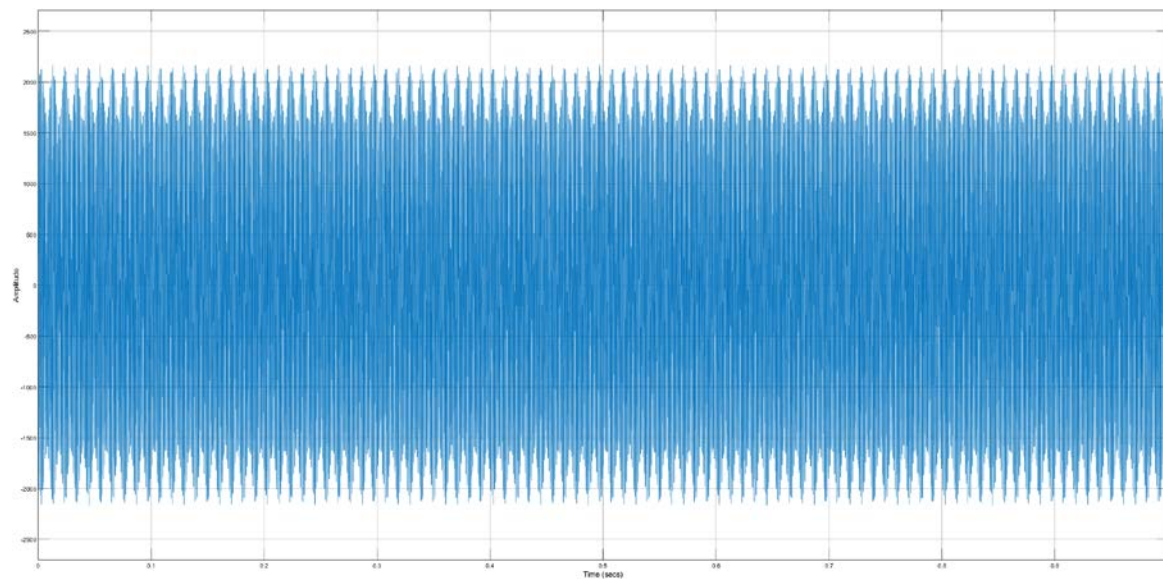


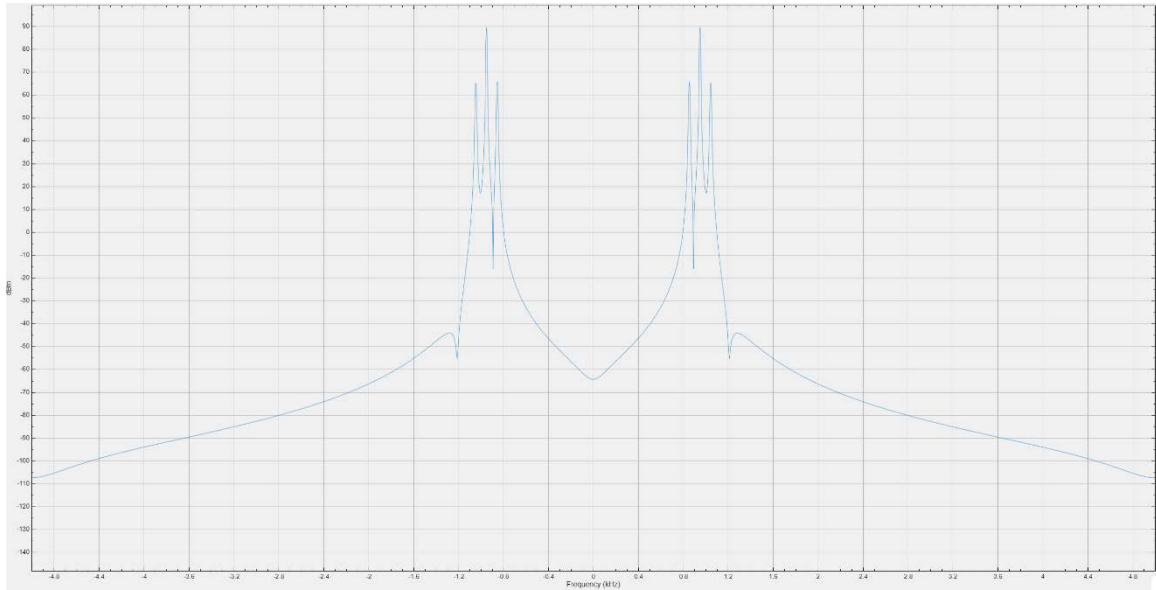
Εικόνα 81. Στιγμιότυπο οθόνης 18: Αποτέλεσμα παλμογράφου-φάσματος (1.5) προγράμματος Simulink



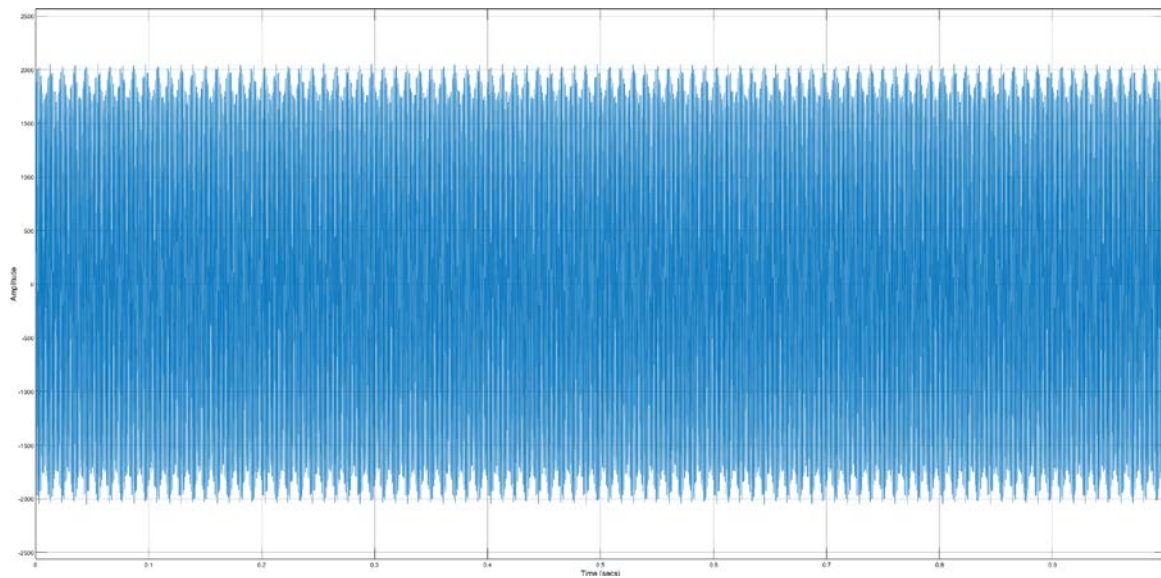


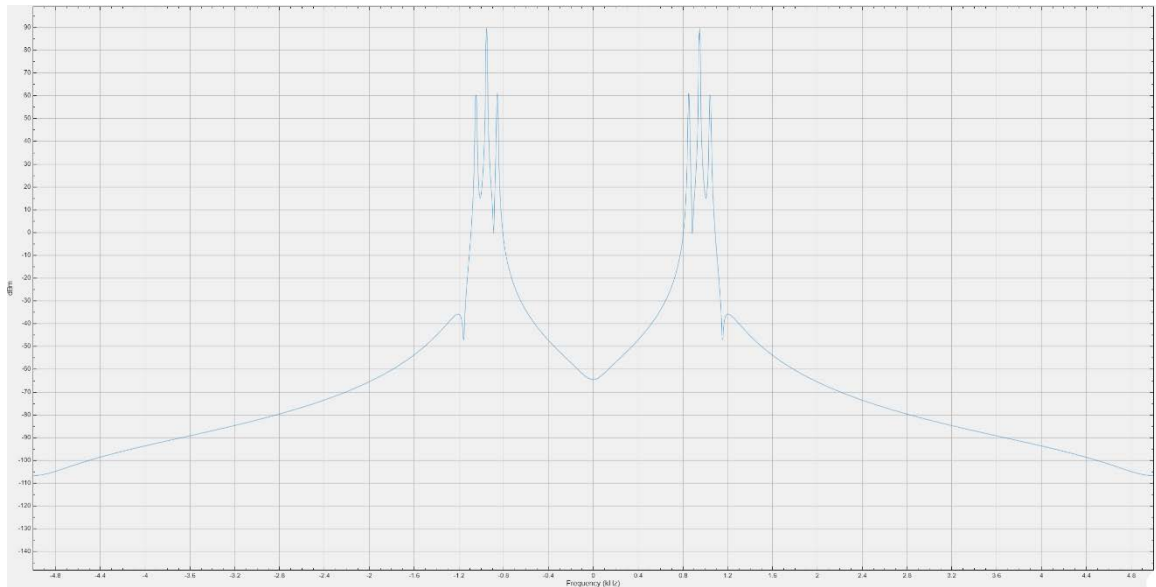
Εικόνα 82. Στιγμιότυπο οθόνης 19: Αποτέλεσμα παλμογράφου-φάσματος (0.9) προγράμματος Simulink



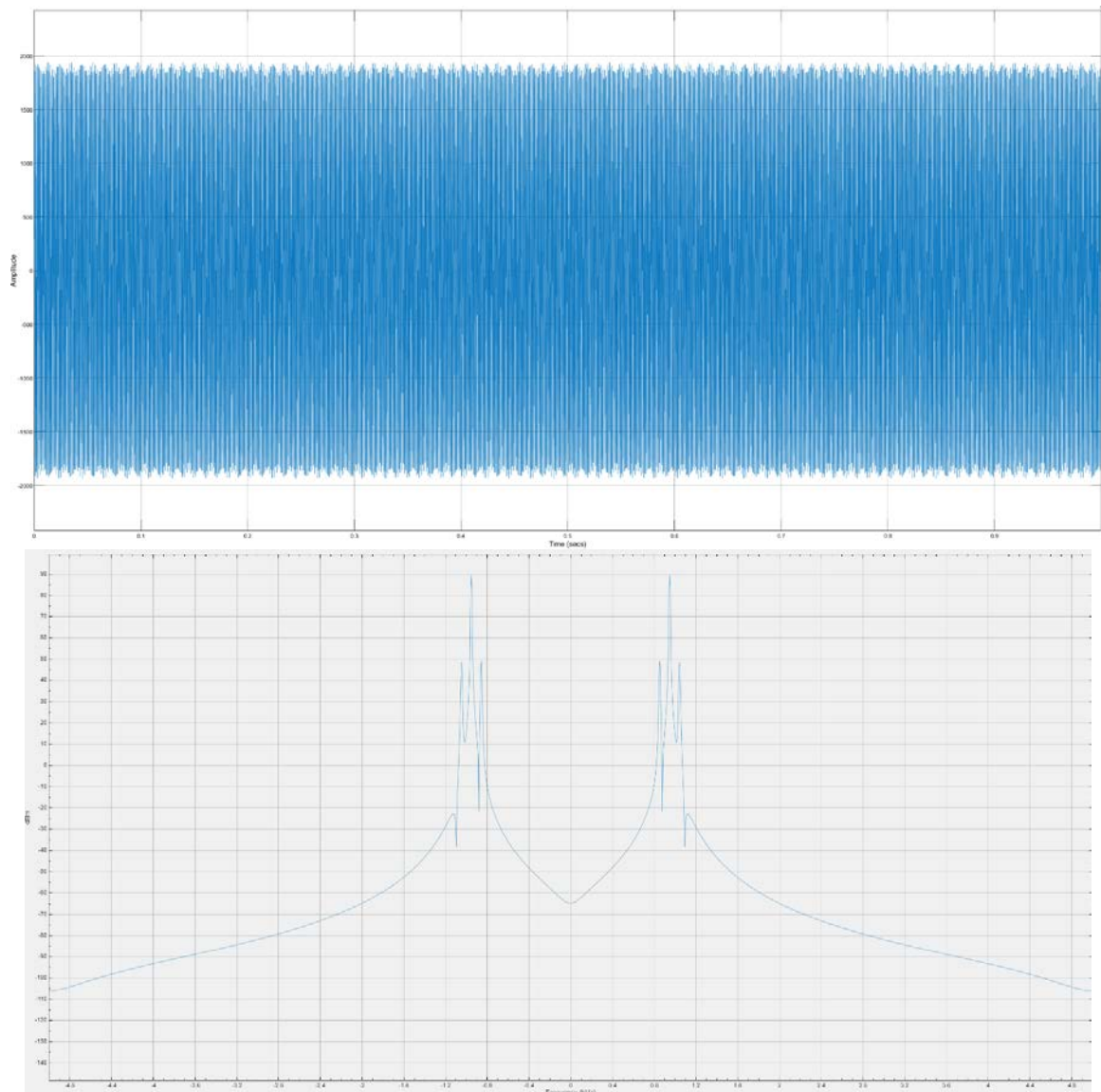


Εικόνα 83. Στιγμιότυπο οθόνης 20: Αποτέλεσμα παλμογράφου-φάσματος (0.7) προγράμματος Simulink





Εικόνα 84. Στιγμιότυπο οθόνης 21: Αποτέλεσμα παλμογράφου-φάσματος (0.4) προγράμματος Simulink



Εικόνα 85. Στιγμιότυπο οθόνης 22: Αποτέλεσμα παλμογράφου-φάσματος (0.1) προγράμματος Simulink

5.2 Υλοποίηση διαμόρφωσης συχνότητας (Frequency Modulation)

(Αυτή η ενότητα αναγράφηκε στο τελικό χρονικό όριο κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της πτυχιακής εργασίας, οπότε δεν είναι πλήρως ολοκληρωμένη και απλά συμπεριλήφθηκε. Μελλοντικά, θα ήταν επιθυμητό να υπάρξει επέκταση.)

Στο πλαίσιο της υλοποίησης της διαμόρφωσης συχνότητας χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Simulink με βάση ένα πακέτο ασκήσεων από το πανεπιστήμιο του Τορόντο. Η υλοποίηση ονομάζεται **διαμορφωτής FM** και αναγράφεται στην **εικόνα 86**. με **λεζάντα: Υλοποίηση FM προγράμματος Simulink**. Αντίστοιχα, στην **εικόνα 87., 88.** με **λεζάντες: Αποτέλεσμα παλμογράφου FM προγράμματος Simulink, Αποτέλεσμα φάσματος FM προγράμματος Simulink** απεικονίζονται τα αποτελέσματα του παλμογράφου χρόνου Time Scope και του φασματικού αναλυτή Spectrum Scope.

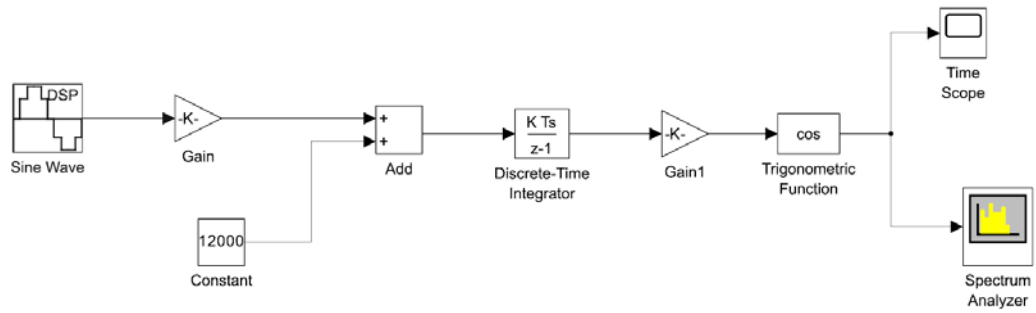
Στόχος σε αυτό το εργαστηριακό πείραμα είναι ο σχεδιασμός και η προσομοίωση ενός **διαμορφωτή FM** της βασικής ζώνης σήματος.

Κατά την υλοποίηση της συγκεκριμένης άσκησης αναγράφεται η **περιγραφή λειτουργίας της εγκατάστασης:**

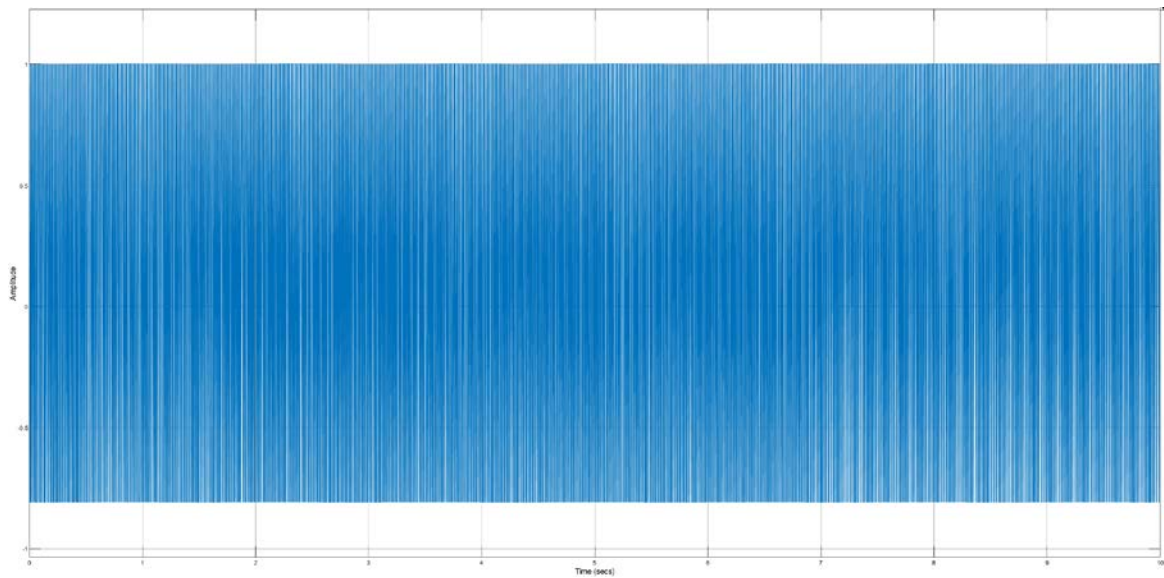
- Απαραίτητες βιβλιοθήκες, ώστε να χρησιμοποιούνται τα αναζητούμενα εργαλεία.
- Το λειτουργικό σύστημα που χρησιμοποιήθηκε είναι τα windows 10.
- Ο χρόνος που την αποτέλεσε είναι το 10.0 δευτερόλεπτο sec.
- Ρύθμιση κατάλληλων φίλτρων, μετρήσεων.
- Σωστές μαθηματικές πράξεις, που ζητούνται από την εργαστηριακή άσκηση.

Οι μετρήσεις των εργαλείων είναι:

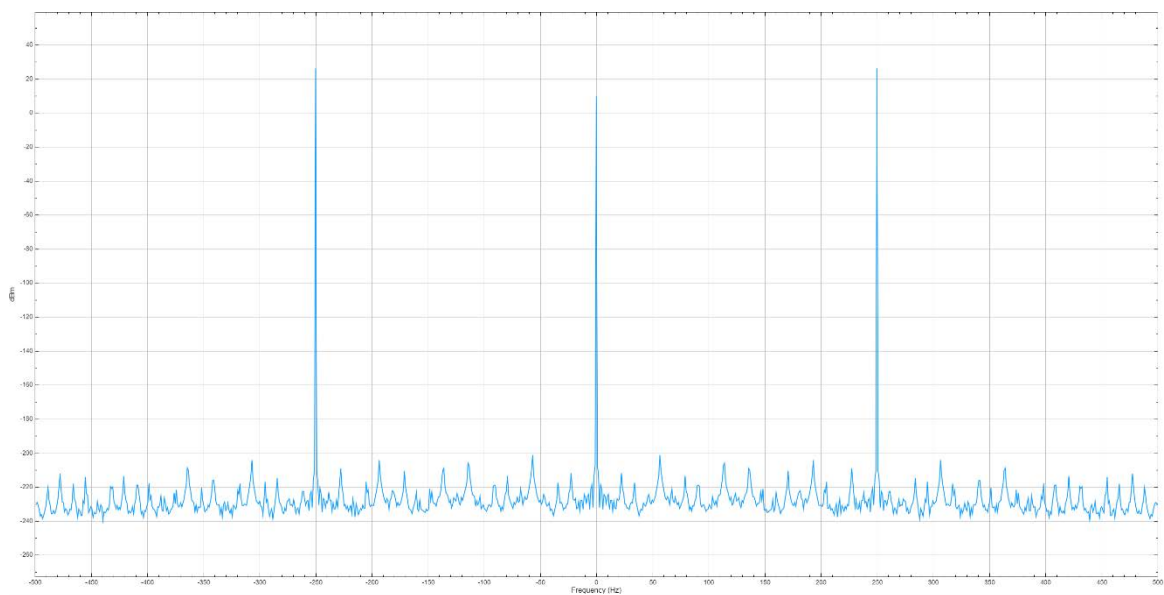
- Sine Wave: Τοποθετείται το πλάτος Amplitude 1, η συχνότητα Frequency ως 750 και ο χρόνος του δείγματος Sample Time σε κλίμακα 1/1000.
- Gain: Εφαρμόζεται σε αριθμό 3600.
- Gain1: Εφαρμόζεται σε πράξη $2 \cdot \pi$.



Εικόνα 86. Υλοποίηση FM προγράμματος Simulink



Εικόνα 87. Αποτέλεσμα παλμογράφου FM προγράμματος Simulink



Εικόνα 88. Αποτέλεσμα φάσματος FM προγράμματος Simulink

Συμπεράσματα

Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την πτυχιακή εργασία με τίτλο “Μελέτη, υλοποίηση και εργαστηριακή ανάλυση επικοινωνιακών συστημάτων οπτικών ινών σε περιβάλλον Matlab/Simulink” είναι πως, η οπτική ίνα είναι το μέλλον ως μέσο μετάδοσης και υπάρχει σαφής μεγάλη και ραγδαία εξέλιξη όπως υπογραμμίζεται στην ιστορική ανασκόπηση της. Έχει περισσότερα οφέλη με βάση τις ταχύτητες και την επικοινωνία των οπτικών ζωνών, που διατρέχουν τα μήκη κύματος, καθώς παρουσιάζουν ελάχιστες απώλειες στην μετάδοση τους. Αντίθετα, τα φαινόμενα διάδοσης όπως είναι η εξασθένιση, η διασπορά, τα μη γραμμικά συστήματα και τα φαινόμενα πόλωσης αποτελούν κρίσιμους παράγοντες, όπου επηρεάζουν την ποιότητα και την απόδοση των οπτικών συστημάτων. Επίσης, συντελούν σε απώλειες και παραμορφώσεις του σήματος μετάδοσης και δεν μπορούν να αποφευχθούν από την λειτουργία των οπτικών ινών. Με αυτό τον τρόπο, καθορίζεται η κατασκευή τους, καθώς χωρίς τους μηχανισμούς διάδοσης είναι αδύνατον να υπάρξουν οι οπτικές ίνες, ωστόσο υπάρχει η αντιμετώπιση και η συνύπαρξη αυτών. Γενικότερα, αυτό που αποδεικνύεται μέσω της αναλυτικής μελέτης που πραγματοποιήθηκε είναι ο κυρίαρχος τεχνολογικός πυλώνας με ανάπτυξη στις υπηρεσίες των τηλεπικοινωνιών. Έτσι, αποτελεσματικά καταφέρνουν να απομακρύνουν την τεχνολογία των ομοαξονικών χάλκινων καλωδίων και χρησιμοποιούνται όλο και λιγότερο.

Ακόμη, χρειάζεται να τονιστεί πως, ο υφιστάμενος τεχνικός της εγκατάστασης οπτικών ινών σε συστήματα FTTH πρέπει να είναι υπεύθυνος και λεπτομερής διότι, το επαγγελματικό υπόβαθρο, που περιγράφεται έχει δύσκολες συνθήκες εργασίας. Ωστόσο, με την γνωστική κατάρτιση και την απόκτηση εμπειρίας καταφέρνει να ανταπεξέλθει στον επαγγελματικό του προσανατολισμό των οπτικών δικτύων. Επιπλέον, όλη η διαδικασία FTTH ακολουθεί ένα συγκεκριμένο μοτίβο, που συμβαίνει σε κάθε εγκατάσταση.

Έπειτα, στις αναλογικές επικοινωνίες με έμφαση στη διαμόρφωση πλάτους και τη διαμόρφωση συχνότητας αλλά και την υλοποίηση των εργαστηριακών ασκήσεων διαφαίνεται ότι, η διαμόρφωση πλάτους είναι πολύ διαδεδομένη και απλή τεχνολογικά. Ωστόσο, είναι πιο ευάλωτη σε εξωτερικούς θορύβους και δημιουργεί παρεμβολές του σήματος. Η διαμόρφωση συχνότητας είναι πιο ανθεκτική στους θορύβους και χρησιμοποιείται κυρίως στις ραδιοφωνικές μεταδόσεις.

Κλείνοντας παρατηρείται, ότι το πρόγραμμα Simulink είναι εύχρηστο στην χρήση του, με αρκετές δυνατότητες που μπορεί να εξερευνήσει ο χρήστης. Παρέχει μεγάλο φόρτο βιβλιοθηκών και εργαλείων, που μπορεί να επεξεργαστεί ο κάθε χρήστης και να δημιουργήσει γραφιστική σχεδίαση εκτός από τις παροχές του προγραμματιστικού περιβάλλον με ανάλογο κώδικα.

Βιβλιογραφία

- 1] Μ. Α. Μπαζιάνα Μπέττυ, Οπτικές Επικοινωνίες και Δίκτυα, Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις, 2023.
- 2] Fiber Optic Association (FOA), «FOA,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.thefoa.org/tech/ref/appln/transceiver.html>. [Πρόσβαση 2024].
- 3] J. Hayes, ΕΓΧΕΙΡΙΔΙΟ ΟΠΤΙΚΩΝ ΙΝΩΝ, Β. Ιωάννης, Επιμ., Εκδόσεις ΙΩΝ Στέλλα Παρικού & ΣΙΑ Ο.Ε., 2004.
- 4] Ε. Χρήστος, «Εισαγωγή Στις Οπτικές Επικοινωνίες,» Τμήμα Πληροφορικής & Επικοινωνιών, ΣΕΡΡΕΣ, 2011.
- 5] F. O. C. 6. S. E. a. C. D. o. T. N. U. Shah Falak, «ResearchGate,» Νοέμβριος 2012. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.researchgate.net/publication/232768654_Fiber_connectors.
- 6] D. D. D. S. S. Z. Matej Komanec, «Hollow-Core Optical Fibers,» *Radioengineering*, τόμ. 29, αρ. 3, Σεπτέμβριος 2020.
- 7] Ξ. Ν. Π. Μ. Χ. Γ. Κωνσταντοπούλου Μ., Δίκτυα Υπολογιστών, ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΕΚΔΟΣΕΩΝ «ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ».
- 8] OFS A Furukawa Company, Indoor industrial cable specification sheet: Low smoke zero halogen cable (LSZH), «Industrial Fiber Optics,» 2007. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://www.i-fiberoptics.com/pdf/ofs-184_185.pdf.
- 9] P. O. N. T. Irving, «FS Community,» 7 Αύγουστος 2020. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://community.fs.com/article/passive-optical-network-tutorial.html>.
- 10] Β. Χρήστος, «Τηλεπικοινωνίες Ενότητα 5 : Συστήματα Αναλογικής Διαμόρφωσης,» Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, 2021.
- 11] Β. Χρήστος, ««ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ ΑΜ ΚΑΙ FM,» Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, 2021.
- 12] Keysight Technologies Inc, Spectrum Analysis Basics, «The University of British Columbia,» 2 Νοέμβριος 2016. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://courses.ece.ubc.ca/elec391/AN150.pdf>.
- 13] Κ. 5. Παλμογράφος, «Ελληνικό Μεσογειακό Πανεπιστήμιο- EClass,» [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://eclass.hmu.gr/modules/document/file.php/TH187/Chapter%205.pdf>.
- D. R. Goff, ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ Ένας πρακτικός οδηγός, Α. Ν. Αλεξανδρής, Επιμ., Θεσσαλονίκη

14] : ΕΚΔΟΣΕΙΣ Α. ΤΖΙΟΛΑ Ε. , 1999.

G. P. AGRAWAL, ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΜΕ ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ, 4η Έκδοση επιμ., Δ. Β. 15] Α. Κώτσος, Επιμ., Θεσσαλονίκη : ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ , 2014, 2012.

Δ. Κ. Ν. Π. Γεώργιος Κ. Καραγιαννίδης, ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ, 4η Έκδοση 16] επιμ., ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ , 2021, 2018.

Χ. Γ. Τ. Γ. Σ. Παπαγεωργίου, Αριθμητική Ανάλυση με εφαρμογές σε Mathematica και 17] Matlab, 6η Έκδοση επιμ., Αθήνα : ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΣΟΤΡΑΣ , 2015.

S. Attaway, MATLAB ΜΙΑ ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΝ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟ ΚΑΙ ΣΤΗΝ 18] ΕΠΙΛΥΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ, 3η αμερικάνικη έκδοση επιμ., Εκδόσεις Κλειδάριθμος ΕΠΕ, 2015.

A. Ν. Αλεξανδρή, ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ, Εκδόσεις ΙΩΝ , 2001. 19]

X. Liu, «Evolution of Fiber-Optic Transmission and Networking toward the 5G Era,» 20] *iScience*, Δεκέμβριος 2019.

Guilin GLsun Science and Tech Group Co., LTD, «GLsun Mall,» 15 Σεπτέμβριος 2023. 21] [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.glsunmall.com/fiber-optic-articles/how-to-distinguish-o-e-s-l-u-band-wavelengths-.html>.

Fiberlabs Inc, «FiberLabs,» 3 Αύγουστος 2023. [Ηλεκτρονικό]. Available: 22] <https://www.fiberlabs.com/glossary/optical-communication-band/>.

MathWorks, Inc, [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.mathworks.com/>. 23]

E.-C. S. E. O. -. F. M. Bruno Korst, «Univercity of Toronto,» Ιανουάριος 2017. 24] [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.comm.utoronto.ca/~bkf/comm/ECE363/>.

E.-C. S. E. O. -. A. M. a. N. Bruno Korst, «Univercity of Toronto,» Ιανουάριος 2017. 25] [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.comm.utoronto.ca/~bkf/comm/ECE363/>.

«FTTH networks: Gap between Greece and the EU,» *Η Ναυτεμπορική*, 26 Φεβρουάριος 26] 2024.

T. G. Analyst, «Substack,» 6 Οκτώβριος 2024. [Ηλεκτρονικό]. Available: 27] <https://greekanalyst.substack.com/p/the-internet-in-greece>.

Πηγές εικόνων :

[1]

https://www.broadbandassist.gov.gr/public/#%7B%22a3b_coverpointftthcoax_normal_dist_10th%22%3A1%2C%22FTTH%2FB%22%3A1%2C%22%CE%9A%CE%AC%CE%BB%CF%85%CF%88%CE%B7%20%CF%87%CE%B1%CE%BB%CE%BA%CE%BF%CF%8D%22%3A0%2C%22grid_square1000sq%22%3A0%2C%22%CE%9A%CE%B9%CE%BD%CE%B7%CF%84%CE%AE%22%3A0%7D

[2] <https://www.infocom.gr/2024/03/22/evropi-ftanei-121-ekatommyria-syndeseis-ftth-b/79526/>

[3] <https://www.megaopt.com/blog/a-brief-history-of-fibre-optics/>

[4] <https://www.thoughtco.com/alexander-graham-bells-photophone-1992318>

[5] <https://i-fiberoptics.com/laser-kits-projects-detail.php?id=2000>

[6] <https://www.thefoa.org/tech/ref/appln/transceiver.html>

[7] <https://www.thorlabs.com/thorproduct.cfm?partnumber=MX10C-1310>

[8] <https://www.cablematters.com/Blog/Networking/fiber-optic-vs-copper-cables>

[3]

[9] <https://www.ot.gr/2023/01/11/epixeiriseis/tilepikoinonies/optikes-ines-pos-tha-ftasoun-se-810-000-noikokyria-kai-epixeiriseis/>

[5]

[1]

[10] <https://www.lindenphotonics.com/singlemode-vs-multimode-fiber-optics-which-is-better-fo5-you>

[11] https://www.inphotech.com/images/products/InPhoTech_MCF_WhitePaper.pdf

[6]

[12] <https://www.fiberopticshare.com/plastic-optical-fiber-vs-glass-optical-fiber.html>

[13] <https://www.fiberlabs.com/glossary/optical-communication-band/>

[14] <https://cablesys.com/updates/fiber-loss-in-fiber-optic-performance/>

[1]

[15] <https://www.meetoptics.com/academy/optical-fiber-loss#intrinsic-losses>

[16] <https://www.semanticscholar.org/paper/Nonlinear-Effects-in-Optical-Fibers%3A-Origin%2C-and-Singh-Singh/27db708ee67b616a082259312d594bfa0fcb5223>

Μελέτη, υλοποίηση και εργαστηριακή ανάλυση επικοινωνιακών συστημάτων οπτικών ινών σε περιβάλλον Matlab/Simulink– Καραγιάννη Ελευθερία

[7]

[17] <https://www.cbo-it.de/shop/g652d-vs-g657a2-whats-the-difference>

[18] <https://ecampusontario.pressbooks.pub/genchemforgeegees/chapter/8-1-the-nature-of-light/>

[19] https://physiclessons.blogspot.com/2013/11/blog-post_927.html

[20]

<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CE%B1%CE%BB%CE%BC%CE%BF%CE%B3%CF%81%CE%AC%CF%86%CE%BF%CF%82>

[21] <https://ees.uni-wuppertal.de/en/studium-lehre/lehrveranstaltungen/translate-to-english-einfuehrung-in-matlab/simulink-fuer-die-elektrische-energietechnik/>