



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ

**ΣΧΟΛΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ
ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ ΑΣΥΡΜΑΤΟΥ
ΔΙΚΤΥΟΥ (WIFI) ΣΤΗΝ ΜΠΑΝΤΑ ΤΩΝ 2.4 GHZ**

Ελευθέριος Μπουραντάς

Επιβλέπων: Δημήτριος Δημόπουλος, Λέκτορας

Άρτα, Ιανουάριος 2024

**CONSTRUCTION OF A WIRELESS NETWORK (WIFI)
INTERFERENCE SYSTEM IN THE 2.4 GHZ BAND.**

Εγκρίθηκε εξεταστική επιτροπή

Άρτα, 7 Φεβρουαρίου 2024

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1. Επιβλέπων καθηγητής
Δημήτριος Δημόπουλος
2. Μέλος επιτροπής
Νικόλαος Γιαννακέας
3. Μέλος επιτροπής

© Ελευθέριος Μπουραντάς, 2024

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Δήλωση μη λογοκλοπής

Δηλώνω υπεύθυνα και γνωρίζοντας τις κυρώσεις του Ν. 2121/1993 περί Πνευματικής Ιδιοκτησίας, ότι η παρούσα μεταπτυχιακή εργασία είναι εξ ολοκλήρου αποτέλεσμα δικής μου ερευνητικής εργασίας, δεν αποτελεί προϊόν αντιγραφής ούτε προέρχεται από ανάθεση σε τρίτους. Όλες οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν (κάθε είδους, μορφής και προέλευσης) για τη συγγραφή της περιλαμβάνονται στη βιβλιογραφία.

Μπουραντάς, Ελευθέριος

Υπογραφή

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Υπολογιστικών & Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων του τμήματος Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών του Πανεπιστημίου Ιωαννίνων με έδρα τη πόλη της Άρτας, κατά τα ακαδημαϊκά έτη 2020-2023, με αρχικό επιβλέποντα τον κ. Βασίλειο Ράπτη και τελικό επιβλέποντα τον κ. Δημήτριο Δημόπουλο .

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κύριο Βασίλειο Ράπτη και τον κύριο Δημήτριο Δημόπουλο και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξαν για την ανάληψη αυτής της διπλωματικής εργασίας, ακόμη για την άριστη καθοδήγηση τους με τις επιστημονικές τους γνώσεις, αφενός με την εργαστηριακή τους βοήθεια αφετέρου με την ηθική τους υποστήριξη για την ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας, αλλά και τους δυο για τις πολύτιμες γνώσεις που μου προσέφεραν κατά τη διάρκεια των σπουδών μου.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους φίλους μου και κυρίως την οικογένεια μου που στάθηκαν δίπλα μου και παρείχαν υποστήριξη με οποιοδήποτε τρόπο.

Άρτα, Δεκέμβριος 2023

Με σεβασμό, Ελευθέριος Μπουραντάς

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η κατασκευή ενός προηγμένου συστήματος παρεμβολής στο ασύρματο δίκτυο στη ζώνη συχνοτήτων των 2,4 GHz αναδεικνύεται ως διαδικασία τεχνολογικής προχωρημένης φύσης. Η έρευνα επισημαίνει τη σημασία της radio jamming στον τομέα των ασύρματων επικοινωνιών και εξετάζει τα συστατικά που επιτρέπουν την παρεμβολή και την επιδραστικότητά της. Η ανάλυση των βασικών στοιχείων, όπως ο διεγέρτης, ο πολυπλέκτης, ο ενισχυτής, το φίλτρο και η κεραία, αναδεικνύει τη σημασία της σωστής επιλογής και σύνδεσης για την αποτελεσματική λειτουργία του παρεμβολέα. Η προσεκτική επιλογή υλικών και η σωστή κατασκευή των στοιχείων, όπως πομποί και κεραίες, αναδεικνύουν την εξειδίκευση του συστήματος παρεμβολής Wi-Fi. Η δημιουργία διπολικής κεραίας συνεισφέρει στη βελτίωση του εύρους και της αποτελεσματικότητας. Η ενοποίηση όλων των στοιχείων σε ενιαία μονάδα, εμπλουτισμένη με λειτουργίες όπως διακόπτης και μπαταρία, διευκολύνει τη χρήση του παρεμβολέα. Η εργασία αναδεικνύει τη σημασία της διάκρισης μεταξύ παρεμβολής και εμπλοκής στις ασύρματες επικοινωνίες, προβάλλοντας την τεχνολογικά προηγμένη φύση της παρεμβολής στο ασύρματο δίκτυο.

ABSTRACT

The construction of an advanced intervention system in the wireless network in the 2.4 GHz frequency zone is highlighted as a process of advanced technological nature. The research emphasizes the significance of radio jamming in the field of wireless communications and examines the components that allow interference and its effectiveness. The analysis of key elements, such as the transmitter, multiplexer, amplifier, filter, and antenna, underscores the importance of proper selection and connection for the effective operation of the jammer. Careful selection of materials and the proper construction of elements, such as transmitters and antennas, showcase the specialization of the Wi-Fi interference system. The creation of a dipole antenna contributes to improving the range and efficiency. The integration of all elements into a unified unit, enriched with functions such as a switch and battery, facilitates the use of the jammer. The work highlights the importance of distinguishing between interference and involvement in wireless communications, showcasing the technologically advanced nature of interference in the wireless network.

Περιεχόμενα

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	iv
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	v
ABSTRACT	vi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	viii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	ix
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο : ΤΟ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟ ΦΑΣΜΑ	11
1.1. Το Τηλεπικοινωνιακό Φάσμα.....	11
1.2. Ασύρματα δίκτυα	13
1.3. Η ζώνη των 2.4 Gh	15
1.3.1. Το WI-FI	15
1.4. ETSI	25
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο : ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΕΜΒΟΛΩΝ	27
2.1. Συστήματα Παρεμβολών- Γενικά.....	27
2.2. Συστήματα Παρεμβολών- Στο Φάσμα Παρεμβολής.....	28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο : ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ	36
3.1. Ενισχυτές	36
3.2. Κεραίες	37
2.....	50
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο : ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ	51
4.1. Κατασκευή του κυματοδηγού κυλίνδρου- κεραιών (Con).....	51
4.1.2 Καντένα Wi-Fi (2,4 GHz)	52
4.2. Κατασκευή Jammer με τη χρήση TX6729-D01.....	57
4.4. Κατασκευή Jammer	59
4.5. Τελική Κατασκευή	63
4.6. Κόστος Κατασκευής.....	72
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	74
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	76

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 4.1: Τελικές μετρήσεις κεραιών.	64
Πίνακας 4.2: Το κόστος των επιμέρους κατασκευαστικών στοιχείων.	72

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Ρυθμός μετάδοσης ανά πρωτόκολλο.	18
Εικόνα 2: Ο συντελεστής κεραίας-Antenna factor (A_f) ορίζεται ως ο λόγος του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου που προσπίπτει στην κεραία στην έξοδο τάσης στον ακροδέκτη εξόδου της (βύσμα).....	37
Εικόνα 3: Γραφική απεικόνιση του παράγοντα κεραίας, με το τερματικό της κεραίας σε φορτίο (που αντιπροσωπεύει τον δέκτη).	38
Εικόνα 4: πυκνότητα ισχύος σε watt ανά τετραγωνικό μέτρο	39
Εικόνα 5: εξίσωση παράγοντα κεραίας.....	39
Εικόνα 6: συντελεστής κεραίας για φορτίο 50 ohm	39
Εικόνα 7: συντελεστής μαγνητικής κεραίας	40
Εικόνα 8: ασύρματος δρομολογητής για Wi-Fi.....	41
Εικόνα 9: δίκτυο δύο θυρών στοιχείων κεραίας	42
Εικόνα 10: διάγραμμα του S11 ή απώλεια επιστροφής σε σχέση με τη συχνότητα, μετρημένη με αναλυτή δικτύου.....	43
Εικόνα 11: Μοντέλο κυκλώματος κεραίας συνδεδεμένης σε πηγή τάσης.	45
Εικόνα 12: η ισχύς που παρέχεται στην κεραία.....	45
Εικόνα 13: η ιδανική τιμή για την αντίσταση της κεραίας.....	45
Εικόνα 14: Παράδειγμα υψηλής συχνότητας.	46
Εικόνα 15: Λεπτομέρειες στην Κατασκευή της Κεραίας.....	51
Εικόνα 16: Διαγραμματική απεικόνιση της κυλινδρικής κατασκευής.....	52
Εικόνα 17: Απεικόνιση της κεραίας από το αλουμινένιο κουτί, που χρησιμοποιήθηκε ως οδηγός για την κατασκευή των κεραιών. Με κόκκινα γράμματα απεικονίζεται το χάλκινο στοιχείο (Copper element) και με μπλε τα ραδιοκύματα (Radio waves).	53
Εικόνα 18: Διαγραμματική απεικόνιση της συχνότητας σε σχέση με τα μήκη κύματος που παράγονται.....	54
Εικόνα 19: Οι διαστάσεις της καντένας.	55
Εικόνα 20: Μέτρηση της θέσης του δείκτη.....	56
Εικόνα 21: σημείο όπου θα τοποθετηθεί το χάλκινο στοιχείο.....	56
Εικόνα 22: Η cantenna με το pigtail.	57
Εικόνα 23: Οι μετρήσεις στο τσιπάκι.	58
Εικόνα 24: Διαγραμματική Απεικόνιση του Κυκλώματος Εφαρμογής	59
Εικόνα 25: Η δομή από την μπαταρία τα καλώδια και το PCB, από την πάνω όψη.	62
Εικόνα 26: Απεικόνιση του Jammer από την πλάγια όψη, όπου διακρίνονται όλα τα στοιχεία.	63
Εικόνα 27: Οι κεραίες είναι στο πίσω μέρος.....	63
Εικόνα 28: Οι κεραίες που κατασκευάστηκαν από κουτιά αλουμινίου από την πλάγια όψη, όπου φαίνονται και τα χάλκινα στοιχεία.	64
Εικόνα 29: Οι κεραίες που κατασκευάστηκαν από κουτιά αλουμινίου από την εμπρόσθια όψη, όπου φαίνονται και τα χάλκινα στοιχεία.	65
Εικόνα 30: Πρώτη απεικόνιση της μετάδοσης της κεραίας 1.....	66
Εικόνα 31: Τελική κατασκευή της κεραίας 1.....	66
Εικόνα 32: Απεικόνιση του φάσματος μετάδοσης της κεραίας 1.	66
Εικόνα 33: Δεύτερη απεικόνιση της μετάδοσης της κεραίας 1.	67
Εικόνα 34: Πρώτη απεικόνιση της μετάδοσης της κεραίας 2.....	67
Εικόνα 35: Τελική κατασκευή της κεραίας 2.....	67
Εικόνα 36: Απεικόνιση του φάσματος μετάδοσης της κεραίας 2.	68
Εικόνα 37: Δεύτερη απεικόνιση της μετάδοσης της κεραίας 2.....	68

Εικόνα 38: Τελική κατασκευή της κεραίας 3.....	69
Εικόνα 39: Πρώτη απεικόνιση της μετάδοσης της κεραίας 3.....	69
Εικόνα 40: Απεικόνιση του φάσματος μετάδοσης της κεραίας 3.	69
Εικόνα 41: Δεύτερη απεικόνιση της μετάδοσης της κεραίας 3.....	70
Εικόνα 42: Τελική κατασκευή της κεραίας 4.....	70
Εικόνα 43: Απεικόνιση της μετάδοσης της κεραίας 4.....	71
Εικόνα 44: Απεικόνιση του φάσματος μετάδοσης της κεραίας 3.	71
Εικόνα 45:.....	72

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΤΟ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟ ΦΑΣΜΑ

1.1. Το Τηλεπικοινωνιακό Φάσμα

Οι τηλεπικοινωνίες ξεκίνησαν να υπάρχουν από τα πρώτα χρόνια της εμφάνισης του ανθρώπου μιας και ήταν αναγκαία καθώς οι άνθρωποι ήταν πολύ μακριά και έπρεπε να βρουν τρόπο να επικοινωνούν όσο το δυνατόν πιο γρήγορα. Τα σήματα καπνού, οι ήχοι των τυμπάνων και της καμπάνας και το άναμμα φωτιάς αποτελούσαν τους κύριους τρόπους επικοινωνίας από την προϊστορία μέχρι το 18ο αιώνα μ.Χ. Οι επικοινωνιακές αυτές μέθοδοι ωστόσο δεν ήταν ακριβείς και δεν είχαν πάντα επιτυχία (Περιοδικό Tech Business, 2001).

Επιπλέον, η ταχύτητα που μεταφερόταν οι πληροφορίες ήταν πάρα πολύ μικρή όπως και ο όγκος των πληροφοριών αλλά και η ασφάλεια τους ήταν αμελητέα. Οι επικοινωνιακές αυτές μορφές συνέχισαν να υπάρχουν μέχρι την εμφάνιση του ηλεκτρισμού. Στη θέση τους, ξεκίνησαν τα πρώτα βήματα του τηλεφώνου και του τηλεγράφου, για να καταλήξουμε εν τέλει στην τόσο γρήγορη ροή της ψηφιακής τεχνολογίας που καλπάζει σήμερα. Ο Samuel Morse το 1854 με τον τηλεγράφο και ο Graham Bell το 1876 με το τηλέφωνο ήταν οι πρωτοστάτες των σύγχρονων τηλεπικοινωνιών. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που ξεκίνησε να χρησιμοποιείται από τον 20ο αιώνα ήταν η έναρξη των εξελιγμένων τηλεπικοινωνιών. Η συχνότητα του ηλεκτρομαγνητικού κύματος αποτελεί ένα ξεχωριστό χαρακτηριστικό και κάθε εφαρμογή συνδέεται με τη χρήση ενός ορισμένου τμήματος από το φάσμα συχνοτήτων (Αλεξόπουλος et al., 2003).

Η ανάπτυξη της μικροηλεκτρονικής διεύρυνε τους ορίζοντες των τηλεπικοινωνιών ιδίως μετά το πέρας του 1950 όπου έχουμε την αλματώδη ανάπτυξη των υπολογιστών και της ηλεκτρονικής επεξεργασίας των πληροφοριών. Οι υπολογιστές άρχισαν να εισέρχονται για τα καλά στις ζωές των ανθρώπων και η χρήση τους να γίνεται καθημερινή, σε σημείο που επιρροή των υπολογιστών έπαψε να επηρεάζει μόνο την ατομική ζωή του καθενός αλλά επηρέαζε άμεσα και τον πολιτισμό σε παγκόσμιο επίπεδο.

Οι πιο γνωστές εφαρμογές τηλεπικοινωνιών που συναντώνται σήμερα είναι η Τηλεφωνία, το Διαδίκτυο (internet), η Ραδιοφωνία και η Τηλεόραση. Τεχνολογίες που είναι ευρέως διαδεδομένες σε όλο τον πληθυσμό ανεξαρτήτως ηλικίας. Ωστόσο, μιας και η σύγχρονη κοινωνία έθεσε ως επιτακτική ανάγκη την καθημερινή χρήση του

διαδικτύου και των υπολογιστών σε όλο τον κόσμο, συνεχώς δημιουργούνται νέες μορφές τηλεπικοινωνιών και ταυτόχρονα υπάρχει μια τάση συνένωσης και ολοκλήρωσης των τεχνολογιών αυτών.

Η ψηφιοποίηση των σημάτων μετάδοσης και η ψηφιακή επεξεργασία αποτελούν μερικές από τις νέες τεχνολογίες που βρήκαν πρόσβαση στα τηλεπικοινωνιακά συστήματα. Έτσι, με τον τρόπο αυτό οι αναλογικές τεχνολογίες στις οποίες στηριζόταν η κλασική τηλεφωνία, το ραδιόφωνο και η τηλεόραση αντικαθίστανται συνεχώς από την ψηφιακή τεχνολογία που αναπτύχθηκε κυρίως από τις επικοινωνίες data.

Ταυτόχρονα ξεκίνησε και η ραγδαία ανάπτυξη των μέσων μετάδοσης, της υποδομής όπως οι οπτικές ίνες οι δορυφορικές ζεύξεις, κλπ, αλλά και των τεχνικών μετάδοσης όπως το multiplexing, το compression, οι κωδικοποιήσεις, οι διαμορφώσεις. Τις τελευταίες δεκαετίες είναι ραγδαία η ανάπτυξη ενός νέου επιστημονικού κλάδου που ονομάζεται Τηλεπληροφορική. Με τη χρήση της τηλεπληροφορικής υπάρχουν πλέον περισσότερες δυνατότητες στον τομέα των επικοινωνιών, στην εξυπηρέτηση φωνής αλλά και άλλων μορφών πληροφορίας όπως είναι το κείμενο, τα δεδομένα (data), η εικόνα κλπ. που αναπτύσσονται συνεχώς με τα νέα δεδομένα της ψηφιακής εποχής.

Όσον αφορά τις πρόσφατες τεχνολογίες που σχετίζονται με τον τομέα των τηλεπικοινωνιών, έχουν σημειωθεί αρκετές εξελίξεις.

Η τεχνολογία 5G προσφέρει μεγαλύτερες ταχύτητες, χαμηλότερο λανθάνοντα χρόνο και αυξημένη χωρητικότητα, επιτρέποντας την ανάπτυξη νέων εφαρμογών και υπηρεσιών (5G Αμερικής, n.d.).

Το IoT Internet of Things (IoT) αναφέρεται στο δίκτυο φυσικών συσκευών που είναι ενσωματωμένοι με αισθητήρες, λογισμικό και συνδεσιμότητα, που επιτρέπει τη συλλογή και ανταλλαγή δεδομένων (Cisco, 2021).

Η Τεχνητή Νοημοσύνη (AI) στις Τηλεπικοινωνίες χρησιμοποιείται για βελτιστοποίηση δικτύου, προγνωστική συντήρηση, ανίχνευση απάτης και αυτοματοποίηση εξυπηρέτησης πελατών (Nash, 2020).

Η Εικονική πραγματικότητα (VR) και η Επαυξημένη πραγματικότητα (AR) επεκτείνονται στις τηλεπικοινωνίες, παρέχοντας καθηλωτικές εμπειρίες και εφαρμογές (Khoshgoftaar et al., 2022).

Η δικτύωση που καθορίζεται από λογισμικό (SDN) διαχωρίζει τις λειτουργίες ελέγχου και προώθησης δικτύου και η εικονικοποίηση λειτουργιών δικτύου (NFV) εικονικοποιεί τις υπηρεσίες δικτύου (Kreutz et al., 2015).

Το Cloud Computing διευκολύνει την παράδοση υπηρεσιών και εφαρμογών μέσω του Διαδικτύου, προσφέροντας επεκτασιμότητα και αποδοτικότητα κόστους (Armbrust et al., 2010).

Το Edge Computing φέρνει τον υπολογισμό και την αποθήκευση δεδομένων πιο κοντά στην πηγή παραγωγής δεδομένων, μειώνοντας τον λανθάνοντα χρόνο και επιτρέποντας την επεξεργασία σε πραγματικό χρόνο (Kumar et al., 2019).

Η τεχνολογία Blockchain διερευνάται στις τηλεπικοινωνίες για ασφαλείς συναλλαγές, διαχείριση ταυτότητας και έξυπνες συμβάσεις (Zhang et al., 2021).

Το VoIP- Φωνή μέσω IP επιτρέπει φωνητική επικοινωνία μέσω Διαδικτύου, προσφέροντας εξοικονόμηση κόστους και ευελιξία (Ma et al., 2019).

Τέλος, το Network Slicing- Τεμαχισμός Δικτύου επιτρέπει τη δημιουργία εικονικών, προσαρμοσμένων δικτύων μέσα σε μια κοινή φυσική υποδομή (Li et al., 2018).

1.2. Ασύρματα δίκτυα

Με τον όρο ασύρματο δίκτυο εννοείται το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο όπως το τηλεφωνικό ή το δίκτυο υπολογιστών. Για την μετάδοση της πληροφορίας τα ασύρματα δίκτυα χρησιμοποιούν ραδιοκύματα. Τα δεδομένα μεταφέρονται μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, με συχνότητα φέροντος που εξαρτάται σε κάθε περίπτωση από τον ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων που χρειάζεται για τη λειτουργία του δικτύου. Η βασική διαφορά της ασύρματης επικοινωνίας από την ενσύρματη είναι η χρήση καλωδίου που στην πρώτη δεν χρησιμοποιείται ως μέσο μετάδοσης. Παλαιότερα, τα δίκτυα τηλεφωνίας ήταν αναλογικά σε αντίθεση με σήμερα που όλα τα ασύρματα δίκτυα έχουν βάση την ψηφιακή τεχνολογία και ουσιαστικά είναι δίκτυα υπολογιστών (Najoua, 2012).

Τα ασύρματα δίκτυα περιλαμβάνουν τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, τις δορυφορικές επικοινωνίες, τα ασύρματα δίκτυα ευρείας περιοχής (WWAN), τα ασύρματα μητροπολιτικά δίκτυα (WMAN), τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN) και τα ασύρματα προσωπικά δίκτυα (WPAN). Ωστόσο, στα ασύρματα δίκτυα δεν περιλαμβάνονται η τηλεόραση και το ραδιόφωνο παρόλο που επί το πλείστον είναι ασύρματα μιας και η μετάδοση γίνεται προς όλες τις κατευθύνσεις χωρίς την ύπαρξη

δομημένου «δικτύου» τηλεπικοινωνιακών κόμβων (συσκευών) με τη συνήθη έννοια. Ακόμη, τα δεδομένα που μεταφέρονται, τις περισσότερες φορές είναι αναλογικά, συνεπώς δεν θεωρούνται δίκτυα υπολογιστών.

Τα ασύρματα δίκτυα κατέχουν πληθώρα πλεονεκτημάτων. Μερικά από αυτά είναι η ευκολία χρήσης του καθώς οι φορητοί υπολογιστές, τα σύγχρονα κινητά και τα tablets περιέχουν την τεχνολογία WiFi που επιτρέπει την άμεση εξ αποστάσεως σύνδεση τους σε ένα ασύρματο δίκτυο LAN. Ένα ακόμη θετικό τους είναι η φορητότητα. Ο καθένας μπορεί να παραμένει συνδεδεμένος στο δίκτυο, οπουδήποτε και αν βρίσκεται. Συνεπώς, όλοι μπορούν να δουν την ηλεκτρονική τους αλληλογραφία, να συνομιλήσουν, να δουλέψουν και να έχουν πρόσβαση στα προσωπικά τους έγγραφα από οποιοδήποτε μέρος.

Επιπροσθέτως η παραγωγικότητα ενθαρρύνεται και στηρίζεται μέσω των ασύρματων δικτύων. Για παράδειγμα, σε μια εταιρία η προσβασιμότητα στις πληροφορίες και στις βασικές εφαρμογές υποστηρίζεται από το προσωπικό κατά τη διεκπεραίωση των εργασιών και ενθαρρύνει τη συνεργασία. Την ίδια ώρα, οι πελάτες μπορούν να συνδεθούν με ασφάλεια στο διαδίκτυο και στα επιχειρηματικά δεδομένα τους (Durrani et al., 2013). Ακόμη, αφού τα καλώδια δεν είναι αναγκαία μπορεί να υπάρξει εύκολη ρύθμιση με μικρό κόστος σε σύντομο διάστημα.

Τα ασύρματα δίκτυα LAN μάλιστα, επιτρέπουν τη συνδεσιμότητα δικτύου σε δυσπρόσιτες περιοχές όπως οι αποθήκες και οι εγκαταστάσεις εργοστασιακής παραγωγής. Τα ενσύρματα δίκτυα απαιτούν καλώδια για την επέκτασή τους σε αντίθεση με τα ασύρματα που χρειάζονται μόνο τον υπάρχοντα εξοπλισμό. Γεγονός, που ωφελεί οικονομικά και τον χρήστη. Τέλος, οι καινοτόμες δυνατότητες του WiFi παρέχουν ισχυρή προστασία στα δεδομένα των χρηστών (Goldsmith, 2005).

Από την άλλη πλευρά υπάρχουν και αρκετά μειονεκτήματα. Η χρήση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων (ραδιοκυμάτων και υπέρυθρης ακτινοβολίας) για τη μεταφορά πληροφορίας κάνουν τα ασύρματα δίκτυα ευπρόσβλητα σε πολλά φαινόμενα παρεμβολής, τα οποία αλλοιώνουν την επικοινωνία των χρηστών. Τα κυριότερα από αυτά τα προβλήματα είναι οι παρεμβολές. Η παρεμβολή λόγω πολλαπλών διαδρομών είναι ένα βασικό πρόβλημα. Τα σήματα που μεταδίδονται πολύ πιθανό να μπερδευτούν με ανακλώμενα σήματα από επιφάνειες ή υπάρχοντα εμπόδια στην ευθεία μετάδοσης του σήματος.

Με το ζήτημα αυτό δημιουργούνται καθυστερημένες λήψεις του ίδιου σήματος εξαιτίας των σημάτων που κάνουν μεγαλύτερη διαδρομή λόγω αντανάκλασεων, έτσι

χρειάζεται περισσότερη επεξεργαστική ισχύ από τον δέκτη για να είναι σε θέση να επεξεργαστεί τα ανάλογα σήματα και να σειροδετήσει ορθά τα λαμβάνοντα δεδομένα.

Ένα ακόμη ζήτημα αποτελεί η απώλεια Διαδρομής (Path Loss) καθώς υπάρχει μερική ή ολική παρεμπόδιση του σήματος με μειωμένη απόδοση σε μεγάλο βαθμό. Επιπροσθέτως, οι παρεμβολές των ραδιοσημάτων (Radio Signal Interference) εμποδίζουν το σήμα να φτάνει στο δέκτη χωρίς αλλοιώσεις. Αυτές οι παρεμβολές ταξινομούνται ως εξωτερικές (Outward), οι οποίες προκαλούνται από άλλες συσκευές, και εσωτερικές (Inward, οι οποίες προκαλούνται από τον ίδιο τον πομπό σε άλλα συστήματα ασύρματης επικοινωνίας.

1.3. Η ζώνη των 2.4 Gh

Η ζώνη συχνοτήτων στα 2.4GHz είναι μία περιοχή συχνοτήτων που μπορεί να χρησιμοποιηθεί χωρίς άδεια σχεδόν σε όλες τις χώρες. Είναι ευρέως γνωστή σε όλο τον κόσμο μιας και το κόστος κατασκευής πομπών και δεκτών είναι πολύ μικρό. Η μπάντα των 2.4GHz χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές και όχι μόνο για WLAN όπως πιστεύουν οι περισσότεροι. Η διανομή των καναλιών της ζώνης 2.4GHz, όπως χρησιμοποιείται στο 802.11 b/g πρότυπο, διασπάται σε 13 κανάλια τα οποία απέχουν μεταξύ τους απόσταση 5.5MHz. Ωστόσο, αυτό δεν σημαίνει πως 13 ξεχωριστές συχνότητες είναι διαθέσιμες για κάθε WLAN. Για τους χρησιμοποιούμενους ρυθμούς μεταγωγής έως 54Mbps, κάθε ξεχωριστός μεταδότης χρησιμοποιεί μία ζώνη με πλάτος μεγαλύτερο από 40 MHz. Η απόσταση αυτή είναι απαραίτητη για τη διαφύλαξη της παρενόχλησης μεταξύ των πομπών ενός WLAN. Έτσι μειώνεται ο αριθμός των συχνοτήτων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε τρεις. Συνήθως, μόνο τα κανάλια 1,6,11 (non- overlapping) χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα για τα 802.11 δίκτυα.

1.3.1. Το WI-FI

Μέσω του ασύρματου δρομολογητή, οι συσκευές που χρησιμοποιούν Wi-Fi στέλνουν πληροφορίες μεταξύ του δικτύου και του διαδικτύου. Χρησιμοποιώντας έναν ασύρματο δρομολογητή μπορούμε να συνδεόμαστε στο δίκτυό μας μέσω του υπολογιστή χρησιμοποιώντας ραδιοκύματα αντί για καλώδια. Υπάρχουν πολλά διαφορετικά είδη τεχνολογιών ασύρματου δικτύου, μεταξύ των οποίων τα 802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11n, 802.11ac και 802.11ax (Microsoft).

ω Γενικότερα, το Wi-Fi είναι η τεχνολογία ασύρματης δικτύωσης που με τη χρήση ραδιοκυμάτων δημιουργεί συνδέσεις ασύρματου δικτύου, την παροχή πρόσβασης στο Διαδίκτυο ή τη μετάδοση δεδομένων. Δίνει τη δυνατότητα στον χρήστη να έχει πρόσβαση σε δίκτυα χωρίς την ανάγκη για φυσικό μέσο μετάδοσης, όπως τα καλώδια, μεταξύ της συσκευής και του πομπού. Όταν μία ραδιοσυχνότητα τροφοδοτείται σε μία κεραία, δημιουργείται ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο το οποίο διαδίδεται μέσω οποιουδήποτε χώρου.

Αυτό δημιουργεί ένα σημείο πρόσβασης στο οποίο συνδέονται οι χρήστες. Αυτά τα σημεία πρόσβασης έχουν εμβέλεια από 20 έως και 50 μέτρα. Ωστόσο, για να συνδεθεί κάποιος χρήστης με ένα σημείο πρόσβασης, πρέπει η συσκευή του να έχει εγκατεστημένο προσαρμογέα ασύρματου δικτύου.

Η ζώνη συχνοτήτων Wi-Fi 2,4 GHz έχει εύρος ζώνης ή πλάτος 83,5 MHz (megahertz). Αυτή η ζώνη χωρίζεται σε πολλαπλά κανάλια, με κάθε κανάλι να έχει πλάτος 20 MHz (εκτός από το κανάλι 14, το οποίο έχει πλάτος 12 MHz σε ορισμένες περιοχές). Αυτά τα κανάλια χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση και λήψη δεδομένων μέσω δικτύων Wi-Fi (Agora et al., 2020).

Αξίζει να σημειωθεί ότι λόγω του περιορισμένου αριθμού μη επικαλυπτόμενων καναλιών στη ζώνη των 2,4 GHz, μπορεί να προκύψουν παρεμβολές μεταξύ γειτονικών δικτύων, οδηγώντας σε πιθανά προβλήματα απόδοσης σε πυκνοκατοικημένες περιοχές (Limbasiya et al., 2018). Ωστόσο, χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνικές όπως η σύνδεση καναλιού και η μετάβαση συχνότητας για τον μετριασμό των παρεμβολών και τη βελτιστοποίηση της απόδοσης του Wi-Fi.

Το ραδιοφάσμα αποτελεί κομμάτι του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που έχει συχνότητες από 3 Hz έως 5,8 GHz.

Για να επιτευχθούν μειωμένες παρεμβολές στην τηλεπικοινωνία χρησιμοποιείται ένα ασύρματο δίκτυο με πιο υψηλή συχνότητα όπως τα 5 GHz. Κάποιες εκδόσεις εξοπλισμού δικτύου χρησιμοποιούν 2,4 GHz ραδιοσυχνότητα. Αυτή τη ραδιοσυχνότητα χρησιμοποιούν σχεδόν όλοι οι φούρνοι μικροκυμάτων και τα πιο πολλά τηλέφωνα. Για αυτό αν δουλεύει ο φούρνος μικροκυμάτων ή υπάρχει κλήση με το ασύρματο τηλέφωνό, πολύ πιθανό να διακοπεί το δίκτυο αν υπάρξουν παρεμβολές (Microsoft).

Συνοπτικά, τα κύματα που εκπέμπονται σε αυτό το εύρος συχνοτήτων ονομάζονται ραδιοκύματα και χρησιμοποιούνται παγκοσμίως για τις τηλεπικοινωνίες. Παρόλα αυτά, είναι ευάλωτα σε παρεμβολές σε διάφορες συχνότητες, γι' αυτό

υπάρχουν αυστηρές ρυθμίσεις από την εθνική νομοθεσία σε συνεργασία με τη Διεθνή Ένωση Τηλεπικοινωνιών (ITU).

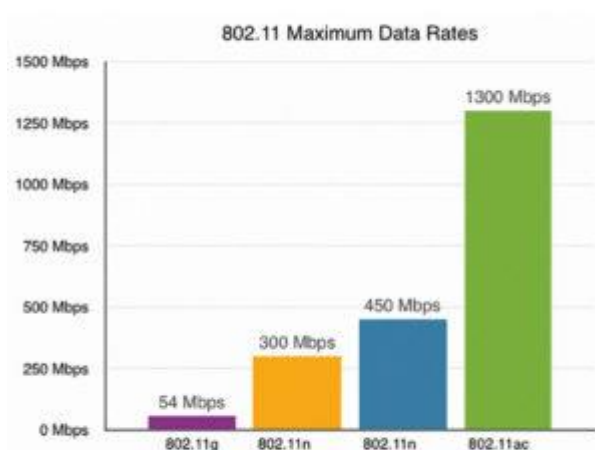
Το Wi-Fi έχει πολλά πλεονεκτήματα. Πριν από αυτό, οι χρήστες χρειάζονταν καλώδια Ethernet για σύνδεση με το δίκτυο. Αυτό αντιμετωπίστηκε με το Wi-Fi, που επιτρέπει πρόσβαση σε δίκτυα και στο διαδίκτυο χωρίς φυσικές συνδέσεις. Η ασύρματη σύνδεση του Wi-Fi επιτρέπει πρόσβαση από οπουδήποτε εντός εμβέλειας, αναπτύσσοντας ένα ευρύ δίκτυο. Επιπλέον, η παραγωγή και η μετάδοση ραδιοκυμάτων υπόκεινται σε αυστηρούς κανονισμούς για να διασφαλιστεί η ασφαλής χρήση.

Σήμερα, λόγω της ασύρματης σύνδεσης του Wi-Fi, οι χρήστες έχουν πρόσβαση σε δίκτυα από οποιοδήποτε σημείο εντός εμβέλειας. Τα ραδιοκύματα μπορούν να διεισδύσουν μέσα από τα τοίχους, επιτρέποντας σύνδεση σε απόσταση 20-50 μέτρων. Η πρόσβαση στο διαδίκτυο μέσω Wi-Fi απλοποιείται, χρειάζεται μόνο πάροχος διαδικτύου και δρομολογητής Wi-Fi. Αυτό καθιστά το Wi-Fi δημοφιλές σε παγκόσμιο επίπεδο. Από την άλλη πλευρά ωστόσο, υπάρχουν και τα μειονεκτήματά. Ένα από τα κυριότερα θέματα που αντιμετωπίζει μια σύνδεση Wi-Fi είναι με την ασφάλεια της, αυτό οφείλεται στο ευρύ φάσμα στο οποίο κάποιος μπορεί να έχει πρόσβαση στο δίκτυο σε ακτίνα 20 έως 50 μέτρα. Με τον τρόπο αυτό επιτρέπεται η πρόσβαση στο δίκτυο σε όλους όσους είναι εντός της εμβέλειας τη δεδομένη χρονική στιγμή της σύνδεσης.

Ακόμη και στις περιπτώσεις που έχει τεθεί ασφάλεια πρόσβασης με μοναδικό κωδικό για τη σύνδεση στο δίκτυο, υπάρχουν τρόποι αν κάποιος το επιθυμεί να επιτευχθεί παράκαμψη του τοίχους προστασίας αυτού και να καταφέρει τελικά να συνδεθεί στο δίκτυο αφήνοντας όλα τα ιδιωτικά δεδομένα του δικτύου ευάλωτα. Για να αντιμετωπισθεί αυτό το τόσο σημαντικό πρόβλημα, χρησιμοποιούνται καινοτόμες τεχνικές οι οποίες χρησιμοποιούν τεχνολογίες αιχμής για την προστασία των δεδομένων και του δικτύου. Παρόλα αυτά όμως ακόμα και αυτές οι εξελιγμένες τεχνικές έχουν τις δικές τους αδυναμίες που μπορούν και πάλι να οδηγήσουν κάποιον στο να καταφέρει εν τέλει πρόσβαση, και κάποιες άλλες έχουν πολύ υψηλό κόστος έτσι ώστε να εφαρμοστούν. Ένα άλλο μειονέκτημα είναι ότι τα σήματα δεν είναι πάντα αξιόπιστα.

Αυτό συμβαίνει διότι οι ραδιοσυχνότητες εξακολουθούν να υπόκεινται σε διάφορες εξωτερικές παρεμβολές. Αυτές οι παρεμβολές μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα στη σύνδεση, όπως η παροχή αδύναμου σήματος, η κακή λήψη ή

ακόμη και η απώλεια σύνδεσης. Επιπλέον, οι συνδέσεις Wi-Fi εμφανίζουν χαμηλότερες ταχύτητες σε σχέση με τις ενσύρματες συνδέσεις λόγω απωλειών που προκαλούνται από διάφορους παράγοντες. Για παράδειγμα, η παρουσία φούρνου μικροκυμάτων ή καθρέφτη στον χώρο μπορεί να προκαλέσει παρεμβολές στο σήμα Wi-Fi. Τέλος, ένα άλλο πρόβλημα που μπορεί να προκύψει είναι η χρήση γειτονικών δικτύων Wi-Fi σε κοντινά κανάλια, προκαλώντας ακόμα και αποσυνδέσεις στο Wi-Fi (Remus & Kay, 2013).



Εικόνα 1: Ρυθμός μετάδοσης ανά πρωτόκολλο.

802.11(WiFi): Ξεκινώντας να εμφανίζονται τα πρώτα δίκτυα ηλεκτρονικών υπολογιστών με ενσύρματη σύνδεση, ξεκίνησαν ταυτόχρονα πολλές ομάδες να προσπαθούν να δημιουργήσουν ασύρματα τοπικά δίκτυα που θα αποδέσμευαν την επικοινωνία από τα ενσύρματα μέσα. Η πρώτη προσπάθεια που έγινε πρακτικά ήταν η εξόπλιση των χώρων του γραφείου και των φορητών υπολογιστών με πομπούς και δέκτες ραδιοκυμάτων μικρής εμβέλειας, για να μπορούν να επικοινωνούν.

Η προσπάθεια αυτή άμεσα οδήγησε σε ασύρματα LAN, όμως υπήρχε ένα σοβαρό πρόβλημα καθώς δεν υπήρχαν δίκτυα που να ήταν συμβατά με άλλα δίκτυα. Αυτή η πληθώρα προτύπων πρακτικά σήμαινε πως αν ένας υπολογιστής είχε εξοπλιστεί με ένα ραδιοπομπό μάρκας X δεν ήταν σε θέση να δουλέψει σε ένα χώρο εξοπλισμένο με ένα σταθμό βάσης μάρκας Y. Για να λυθεί αυτό το ζήτημα μιας και τα ασύρματα LAN ήταν πολύ καλή ιδέα, η IEEE που τυποποίησε τα ενσύρματα LAN αποφάσισε να σχεδιάσει ένα πρότυπο. Το πρότυπο που δημιουργήθηκε ονομάστηκε 802.11, ωστόσο το εμπορικό του όνομα είναι το Wi-Fi.

Ταυτόχρονα ωστόσο, υπήρξαν πολλές ανησυχίες που απασχόλησαν τους ειδικούς όπως η χρήση μιας κατάλληλης ζώνης συχνοτήτων που να είναι διαθέσιμη σε παγκόσμια κλίμακα, η αντιμετώπιση της πεπερασμένης εμβέλειας των ραδιοκυμάτων, η εξασφάλιση των ιδιωτικών δεδομένων των χρηστών, η αντοχή της μπαταρίας, η ασφάλεια του πληθυσμού, μιας και πολλοί θεωρούσαν ότι τα ραδιοκύματα προκαλούσαν καρκίνο (Atallah et al., 2016).

Στα δίκτυα Ethernet, ένας υπολογιστής πρέπει να ακούσει τη φυσική διεπαφή για κατάσταση αδράνειας πριν από τη μετάδοση δεδομένων. Ωστόσο, τα ασύρματα LAN αποτελούν πρόκληση για την επίτευξη αυτού του στόχου, καθώς η εμβέλεια μιας συσκευής μετάδοσης μπορεί να είναι περιορισμένη. Για παράδειγμα, σε ένα σενάριο με τρεις υπολογιστές (A, B και C), εάν ο A εκπέμπει στο B αλλά δεν μπορεί να φτάσει στο C λόγω μικρής εμβέλειας ραδιοπομπού, ο C μπορεί να αντιμετωπίσει δυσκολία στον προσδιορισμό εάν η διεπαφή είναι αδρανής πριν από τη μετάδοση στο B. Για την αντιμετώπιση αυτού του ζητήματος, αναπτύχθηκε το πρότυπο 802.11 (Gast, 2005).

Ένα ακόμη μείζον θέμα που έπρεπε να επιλυθεί ήταν ότι ένα ραδιοκυματικό σήμα Αυτό είναι δυνατόν να συμβεί διότι οι ραδιοσυχνότητες μπορούν να ανακλαστούν πάνω σε συμπαγή αντικείμενα, προκαλώντας πολλαπλούς διαδρομείς. Οι παρεμβολές που προκύπτουν μεταξύ αυτών των σημάτων ονομάζονται "εξασθένηση πολλαπλών διαδρομών" (multipath fading).

Τελικά, μετά από πολυετή έρευνα, το 1997 δημιουργήθηκε ένα πρότυπο που ξεπέρασε τα προαναφερθέντα προβλήματα. Το ασύρματο LAN που περιγράφηκε λειτουργούσε σε ρυθμούς μετάδοσης 1 ή 2 Mbps στη μάντα των 2.4GHz, και έπειτα ξεκίνησαν οι πρώτες αναβαθμίσεις.

1. **IEEE 802.11:** Χρησιμοποιείται σε ασύρματα τοπικά δίκτυα προσφέροντας ρυθμούς μετάδοσης 1 ή 2 Mbps στη ζώνη 2.4GHz.
2. **IEEE 802.11a - OFDM in 5GHz Band:** Λειτουργεί στα 5 GHz, με μειωμένες παρεμβολές και ρυθμούς μετάδοσης έως 54 Mbps.
3. **IEEE 802.11b – High Rate DSSS:** Στοιχεύει σε αυξημένους ρυθμούς μετάδοσης έως 10 Mbps, χρησιμοποιώντας διαμόρφωση CCK.
4. **IEEE 802.11g – Union of .11a and .11b:** Συνδυάζει τα πλεονεκτήματα των 802.11a και 802.11b, παρέχοντας ρυθμούς μετάδοσης έως 54 Mbps και συμβατότητα με το 802.11b.

802.11n: Το πρότυπο 802.11n, γνωστό και ως Wi-Fi 4, εισήγαγε σημαντικές βελτιώσεις σε σχέση με τα προηγούμενα πρότυπα Wi-Fi. Εισήγαγε τη χρήση της

τεχνολογίας Multiple-Input Multiple-Output (MIMO), επιτρέποντας πολλαπλές κεραίες τόσο στο άκρο του πομπού όσο και του δέκτη. Αυτή η τεχνολογία επιτρέπει υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων, αυξημένο εύρος και βελτιωμένη αξιοπιστία (Halperin et al., 2011).

- 802.11ac: Το πρότυπο 802.11ac, γνωστό και ως Wi-Fi 5, έφερε σημαντικές βελτιώσεις στην απόδοση του Wi-Fi. Εισήγαγε ευρύτερα εύρη ζώνης καναλιών, έως και 160 MHz, και υιοθέτησε πιο προηγμένη τεχνολογία MIMO, όπως το MIMO πολλαπλών χρηστών (MU-MIMO). Αυτές οι εξελίξεις οδήγησαν σε υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων, βελτιωμένη χωρητικότητα και καλύτερη υποστήριξη για ταυτόχρονες συνδέσεις σε πολλαπλές συσκευές (Rangan et al., 2014).

- 802.11ax: Το πρότυπο 802.11ax, γνωστό και ως Wi-Fi 6, είναι το πιο πρόσφατο πρότυπο Wi-Fi. Επικεντρώνεται στην ενίσχυση της χωρητικότητας του δικτύου σε περιβάλλοντα υψηλής πυκνότητας. Εισάγει τεχνολογίες όπως η Ορθογώνια Διαίρεση συχνότητας πολλαπλής πρόσβασης (OFDMA) και ο χρόνος αφύπνισης στόχου (TWT). Το OFDMA επιτρέπει την πιο αποτελεσματική χρήση του φάσματος διαιρώντας τα κανάλια σε μικρότερα υποκανάλια, ενώ το TWT βελτιώνει τη διαχείριση ενέργειας για καλύτερη ενεργειακή απόδοση (Khoron et al., 2017).

Τα κύρια χαρακτηριστικά του 802.11ax, γνωστό και ως Wi-Fi 6, είναι τα εξής (Khoron et al., 2018):

Υψηλότεροι ρυθμοί δεδομένων: Σε αντίθεση με τα προηγούμενα πρότυπα Wi-Fi, όπως τα 802.11n και 802.11ac, τα οποία σημείωσαν σημαντικές αυξήσεις στους ρυθμούς δεδομένων, το 802.11ax προσφέρει μια πιο μέτρια αύξηση. Οι ονομαστικοί ρυθμοί δεδομένων στο 802.11ax μπορούν να φτάσουν έως και 9,6 Gbps, που είναι μόλις 37% υψηλότεροι από το 802.11ac.

Βελτιωμένη απόδοση φάσματος: Το 802.11ax επιτυγχάνει υψηλότερη απόδοση του χρήστη χρησιμοποιώντας το φάσμα πιο αποτελεσματικά. Εισάγει μια προσέγγιση πολλαπλής πρόσβασης ορθογώνιας διαίρεσης συχνότητας (OFDMA), η οποία ομαδοποιεί γειτονικούς υποφορείς σε μονάδες πόρων. Αυτό επιτρέπει καλύτερη αναλογία σήματος προς παρεμβολή και θόρυβο, διαμόρφωση, σχήμα κωδικοποίησης και απόδοση.

OFDMA: Το OFDMA, δανεισμένο από δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, είναι μια νέα δυνατότητα στο Wi-Fi που εισήχθη στο 802.11ax. Αντικαθιστά τα ευρεία κανάλια που χρησιμοποιούνται σε προηγούμενα πρότυπα Wi-Fi που υπέφεραν από παρεμβολές

επιλεκτικής συχνότητας. Το OFDMA εκχωρεί την καλύτερη μονάδα πόρων σε κάθε δέκτη, με αποτέλεσμα υψηλότερη απόδοση. Παρέχει έως και 6 φορές υψηλότερη απόδοση σε σύγκριση με την παλαιού τύπου Λειτουργία Κατανεμημένου Συντονισμού (DCF).

Συνύπαρξη με συσκευές παλαιού τύπου: Το 802.11ax λειτουργεί πάνω από την παλαιού τύπου Λειτουργία Κατανεμημένου Συντονισμού (DCF) και συντονίζεται από το σημείο πρόσβασης (AP). Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να λειτουργεί παράλληλα με παλαιότερες συσκευές Wi-Fi. Υποστηρίζει μετάδοση Downlink Multi-User (DL MU) χρησιμοποιώντας OFDMA, Multiple-Input Multiple-Output (MIMO) ή και τα δύο.

OFDMA που βασίζεται σε πλαίσιο: Σε αντίθεση με το OFDMA που βασίζεται στο χρόνο που χρησιμοποιείται σε δίκτυα κινητής τηλεφωνίας όπως το LTE, το 802.11ax χρησιμοποιεί OFDMA που βασίζεται σε πλαίσιο. Σε αυτήν την προσέγγιση, ένα πλαίσιο MU περιέχει δεδομένα για διαφορετικούς χρήστες, και διάφοροι τόνοι εκχωρούνται στους χρήστες για ολόκληρη τη διάρκεια του καρέ. Αυτό επιτρέπει τον αποτελεσματικό προγραμματισμό και συγχρονισμό των STA που συμμετέχουν στη μετάδοση UL MU.

Τροποποιήσεις PHY: Το 802.11ax εισάγει αρκετές τροποποιήσεις στο επίπεδο Φυσικό (PHY). Τα σύμβολα OFDM που χρησιμοποιούνται για το ωφέλιμο φορτίο PHY τετραπλασιάζονται σε διάρκεια, παρέχοντας καλύτερη ανθεκτικότητα στο jitter μεταξύ των χρηστών και μειώνοντας την επιβάρυνση λόγω των διαστημάτων προστασίας. Εισάγονται επίσης νέες τεχνικές διαμόρφωσης, συμπεριλαμβανομένων των προαιρετικών 1024-QAM και Dual Carrier Modulation (DCM).

Το OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) για δίκτυα 802.11 έχει διερευνηθεί σε διάφορες εργασίες.

Το TGax έχει σχεδιάσει ένα ευέλικτο και ισχυρό πλαίσιο για το OFDMA που υποστηρίζει ντετερμινιστική και τυχαία πρόσβαση. Στο 802.11ax, οι πόροι καναλιού κατανέμονται με την πάροδο του χρόνου και της συχνότητας σε βάση ανά καρέ. Τα πλαίσια μπορούν να μεταφέρουν πληροφορίες από ή προς πολλαπλά STA (Station) στο 802.11ax. Οι μονάδες πόρων (RU) εκχωρούνται σε διαφορετικά STA μέσα σε ένα πλαίσιο και η διάρκεια όλων των RU σε ένα πλαίσιο είναι η ίδια (Khoron et al., 2018).

Οι μεταδόσεις UL (Uplink) MU μπορούν να εκτελεστούν αμέσως μετά τις μεταδόσεις DL (Downlink) MU, επιτρέποντας την ταυτόχρονη μετάδοση πλαισίων επιβεβαίωσης και μπορούν να περιλαμβάνουν ένα πλαίσιο ενεργοποίησης για να υποδεικνύουν τις εκχωρήσεις UL RU ή πληροφορίες μπορούν να συμπεριληφθούν

στην κεφαλίδα MAC της μονάδας δεδομένων πρωτοκόλλου DL PPDU (Μονάδα δεδομένων πρωτοκόλλου φυσικού επιπέδου) για να ζητηθούν μεταδόσεις UL MU.

Υποστηρίζονται διαδοχικές μεταδόσεις MU, όπου οι μεταδόσεις DL MU και UL MU εναλλάσσονται σε ένα TXOP (Ευκαιρία μετάδοσης).

Τα STA μπορούν να κατακερματίσουν καρέ για να γεμίσουν τον υπόλοιπο χρόνο ομιλίας και να συγκεντρώσουν καρέ από διαφορετικές Κατηγορίες Πρόσβασης (AC) για να βελτιώσουν την αποτελεσματικότητα.

Το 802.11ax περιλαμβάνει έναν προαιρετικό μηχανισμό για τυχαίες μεταδόσεις UL OFDMA. Η τυχαία πρόσβαση είναι χρήσιμη όταν το AP (Σημείο Πρόσβασης) δεν γνωρίζει ποια συσχετισμένα STA έχουν δεδομένα για μετάδοση ή όταν ένα μη συσχετισμένο STA θέλει να μεταδώσει ένα αίτημα συσχέτισης (Khoron et al., 2018).

Για τον προσδιορισμό του δημιουργού ενός πλαισίου χωρίς αποκωδικοποίηση ολόκληρου του πλαισίου, χρησιμοποιείται το χρωματικό πεδίο BSS. Είναι ένα μη μοναδικό αναγνωριστικό του BSS που μεταδίδεται στο προοίμιο του πλαισίου. Αρχικά, το χρωματικό πεδίο BSS είχε μήκος 3 bit σε 802.11ah για μείωση της κατανάλωσης ενέργειας.

Η αρχή της ακρόασης πριν από τη συζήτηση στο Wi-Fi περιλαμβάνει την ανίχνευση φορέα πριν από τη μετάδοση ενός καρέ. Η ανίχνευση εικονικού φορέα, γνωστή ως NAV, χρησιμοποιείται για να υποδείξει τη διάρκεια του κατελημμένου καναλιού. Στο Wi-Fi παλαιού τύπου, τα STA ορίζουν το NAV με βάση οποιοδήποτε πλαίσιο που λαμβάνεται, συμπεριλαμβανομένων των καρέ από επικαλυπτόμενα BSS (OBSS). Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε συγκρούσεις όταν το STA επαναφέρει το NAV αφού λάβει ένα πλαίσιο CF-End από ένα OBSS. Για να αποφευχθεί αυτό, το TGax εισάγει δύο NAV: ένα για το δικό του BSS του STA και το άλλο για OBSS. Τα STA τροποποιούν αυτά τα NAV ξεχωριστά για να αποφύγουν την επαναφορά του NAV λόγω πλαισίων CF-End από OBSS.

Ο Δυναμικός Έλεγχος Ευαισθησίας (DSC) προτείνεται για τη βελτίωση της χωρικής επαναχρησιμοποίησης σε πυκνά περιβάλλοντα. Το DSC προσαρμόζει δυναμικά το όριο ανίχνευσης φορέα (όριο DSC). Για να αποτρέψετε τις μεταδόσεις OBSS από το να μπλοκάρουν τις μεταδόσεις μέσα σε ένα BSS, το όριο DSC θα πρέπει να αυξηθεί. Ωστόσο, για να επιτρέπεται η επικοινωνία εντός του BSS, το όριο DSC θα πρέπει να είναι αρκετά μικρό. Το κατώφλι DSC μπορεί να οριστεί με βάση την ισχύ εκπομπής του AP, την εξασθένιση του σήματος και μια ρυθμιζόμενη παράμετρο που ονομάζεται περιθώριο. Διάφορες μέθοδοι έχουν προταθεί για την αντιμετώπιση της

αύξησης των κρυφών κόμβων λόγω DSC, όπως ο συνδυασμός DSC με μηχανισμό RTS/CTS ή TDMA μεταξύ BSS (Khorov et al., 2018).

Τα STA στο 802.11ac μπορούν να επιλέξουν προσαρμοστικά το εύρος ζώνης για τη μετάδοση πλαισίου. Το TGax επεκτείνει αυτήν την ιδέα με σύνδεση καναλιού, επιτρέποντας στα STA να χρησιμοποιούν ευρύτερα εύρη ζώνης. Η διάτρηση του προοιμίου χρησιμοποιείται για τη μείωση της επιβάρυνσης μετάδοσης σε μεγαλύτερα εύρη ζώνης. Αυτό επιτρέπει την αποτελεσματική χρήση του φάσματος και τη βελτιωμένη απόδοση (Khorov et al., 2018).

Το έργο IEEE 802 (Hiertz et al, 2010a) εστιάζει σε πρότυπα για το επίπεδο φυσικού επιπέδου (PHY) και μεσαίου επιπέδου ελέγχου πρόσβασης (MAC) σε ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN). Αρχικά, το WLAN θεωρήθηκε ότι ήταν ένα άλλο PHY του υπάρχοντος προτύπου 802.3 (Ethernet). Ωστόσο, λόγω των σημαντικών διαφορών μεταξύ ενσύρματων και ασύρματων μέσων, χρειαζόταν ένα μοναδικό MAC για την ασύρματη επικοινωνία. Το 1991 εγκρίθηκε το έργο 802.11, που οδήγησε στη δημοσίευση του πρώτου προτύπου 802.11 το 1997.

Το πρότυπο 802.11 λειτουργεί στο στρώμα PHY με λύσεις όπως η αναπήδηση συχνότητας (FHSS), το φάσμα άμεσης διασποράς ακολουθίας (DSSS) και το υπέρυθρο PHY. Στο επίπεδο MAC, χρησιμοποιεί ένα σχήμα ακρόασης πριν από την ομιλία, γνωστό ως κατανεμημένη συνάρτηση συντονισμού (DCF), η οποία υλοποιεί πολλαπλή πρόσβαση με αίσθηση φέροντος με αποφυγή σύγκρουσης (CSMA/CA) αντί για ανίχνευση σύγκρουσης. Το αρχικό πρότυπο 802.11 εισήγαγε επίσης τη λειτουργία συντονισμού σημείων (PCF), η οποία βασιζόταν σε μια κεντρική οντότητα συντονισμού που ονομάζεται συντονιστής σημείων (PC). Ωστόσο, το PCF είχε περιορισμένη υιοθέτηση λόγω προβλημάτων με κρυφούς κόμβους.

Για να διασφαλιστεί η συμβατότητα μεταξύ συσκευών, ιδρύθηκε το 1999 η Συμμαχία Συμβατότητας Ασύρματου Ethernet (WECA), η οποία αργότερα μετονομάστηκε σε Συμμαχία Wi-Fi (WFA). Η WFA καθιέρωσε το πρόγραμμα πιστοποίησης Wi-Fi, το οποίο έγινε μια πολύ γνωστή πιστοποίηση με σημαντικό αντίκτυπο στην αγορά.

Η επιτυχία του 802.11 και οι αντιληπτές ελλείψεις του οδήγησαν σε μια σειρά βελτιώσεων και επεκτάσεων, συμπεριλαμβανομένων των 802.11a, 802.11g, 802.11h, 802.11j και 802.11n. Αυτές οι τροποποιήσεις εισήγαγαν χαρακτηριστικά όπως ορθογώνια πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας (OFDM), υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων, δυνατότητα MIMO και υποστήριξη για διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων.

Οι τροπολογίες 802.11ac και 802.11ad στόχευαν σε πολύ υψηλή απόδοση, ενώ το 802.11p στόχευε την επικοινωνία οχημάτων και το 802.11y επικεντρώθηκε στην κάλυψη ευρείας περιοχής.

Όσον αφορά τις τροποποιήσεις που σχετίζονται με το MAC, το 802.11e εισήγαγε υποστήριξη για την ποιότητα της υπηρεσίας (QoS) και τη λειτουργία υβριδικού συντονισμού (HCF). Τα 802.11n, 802.11s, 802.11r και άλλες τροποποιήσεις έφεραν περαιτέρω βελτιώσεις στο επίπεδο MAC, αντιμετωπίζοντας ζητήματα που σχετίζονται με την ασφάλεια, τη διαχείριση WLAN, τη ρύθμιση του φάσματος, τις βελτιώσεις QoS και τα πρωτόκολλα σημείων διασύνδεσης.

Η συνεχής εξέλιξη και η βελτίωση των προτύπων 802.11 επέτρεψαν στα WLAN να ανταποκριθούν στις αυξανόμενες απαιτήσεις για υψηλότερους ρυθμούς δεδομένων, βελτιωμένη απόδοση και καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών (Hiertz et al, 2010a).

Τα ασύρματα LAN (WLAN) γίνονται όλο και πιο δημοφιλή καθώς αυξάνεται η ζήτηση για πανταχού παρούσα ασύρματη συνδεσιμότητα. Ωστόσο, οι κανονιστικοί περιορισμοί περιορίζουν την ισχύ μετάδοσης των συσκευών WLAN. Για να ξεπεραστεί αυτό, η έννοια των ασύρματων δικτύων πλέγματος (WMN) έχει αναδειχθεί ως πιθανή λύση. Τα WMN επιτρέπουν την επικοινωνία πολλαπλών βημάτων και παρέχουν ασύρματη συνδεσιμότητα χωρίς να βασίζονται σε ενσύρματη υποδομή.

Τα υπάρχοντα WMN βασίζονται στο επίπεδο IP για επικοινωνία πολλαπλών βημάτων, η οποία δεν είναι εγγενώς ασύρματη λύση. Οι ασύρματες συνδέσεις σε ένα WMN είναι λιγότερο αξιόπιστες από τις ενσύρματες συνδέσεις, επομένως ένα πρωτόκολλο δρομολόγησης πολλαπλών βημάτων που λειτουργεί σε ασύρματο περιβάλλον πρέπει να λαμβάνει υπόψη τη φύση των ασύρματων συνδέσεων. Τα ad hoc πρωτόκολλα δρομολόγησης που αναπτύχθηκαν για κινητά ad hoc δίκτυα (MANET) βασίζονται σε έμμεσες μετρήσεις για την παρατήρηση του ραδιοπεριβάλλοντος, αλλά αυτές οι μετρήσεις έχουν περιορισμένη ακρίβεια. Από την άλλη πλευρά, το επίπεδο MAC έχει πιο ακριβείς και ενημερωμένες πληροφορίες για τη γειτονιά του ραδιοφώνου.

Για την αντιμετώπιση αυτών των περιορισμών, μια ολοκληρωμένη λύση δικτύωσης πλέγματος αναπτύσσεται στο IEEE 802.11 Task Group S. Αυτή η λύση, γνωστή ως 802.11s, εισάγει δυνατότητες δρομολόγησης στο επίπεδο MAC. Οι λύσεις multihop που βασίζονται σε MAC μπορούν να υποστηρίξουν την κυκλοφορία επιπέδου 2 με διαφάνεια σε οποιοδήποτε πρωτόκολλο υψηλότερου επιπέδου. Με την εξέλιξη

των WLAN για την αντιμετώπιση των αναδυόμενων αναγκών, τα WLAN μπορούν να επωφεληθούν σημαντικά από τα WMN που βασίζονται σε MAC.

Η ιδέα του 802.11s περιλαμβάνει το σχηματισμό και τη διαχείριση πλέγματος, τη δομή πλαισίου, τη διασύνδεση με άλλες έννοιες δικτύωσης, τον συγχρονισμό, τη διαχείριση ενέργειας και τον έλεγχο πρόσβασης μέσου. Οι σταθμοί πλέγματος επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω πλαισίων ελέγχου πλέγματος που μεταφέρουν πληροφορίες όπως το αναγνωριστικό πλέγματος και τη διαμόρφωση. Οι σταθμοί πλέγματος μπορούν να σχηματίσουν ομότιμες συνδέσεις για τη δημιουργία συνδέσεων και μπορούν να λειτουργήσουν σε ένα κανάλι συχνότητας. Ο συγχρονισμός και η διαχείριση ενέργειας επιτρέπουν λειτουργίες εξοικονόμησης ενέργειας και ο έλεγχος πρόσβασης μέσου επιτυγχάνεται μέσω πρωτοκόλλων που βασίζονται σε διαμάχες όπως η Enhanced Distributed Channel Access (EDCA) και προαιρετικά πρωτόκολλα όπως η Mesh Coordinated Channel Access (MCCA) για βελτιωμένη ποιότητα υπηρεσίας.

Η ανάπτυξη ασύρματων δικτύων πλέγματος με βάση το πρότυπο 802.11s προσφέρει μια πολλά υποσχόμενη λύση για την επέκταση της κάλυψης και των δυνατοτήτων των WLAN. Με την ενσωμάτωση των δυνατοτήτων δρομολόγησης στο επίπεδο MAC και την αντιμετώπιση των περιορισμών των υπαρχόντων WMN, τα WMN που βασίζονται σε MAC μπορούν να παρέχουν διαφανή υποστήριξη για την κίνηση του επιπέδου 2 και να ενεργοποιήσουν νέες εφαρμογές και λειτουργίες για WLAN. Η ιδέα 802.11s περιλαμβάνει διάφορες πτυχές όπως ο σχηματισμός πλέγματος, η δομή πλαισίου, η διασυνεργασία, ο συγχρονισμός, η διαχείριση ενέργειας και ο έλεγχος πρόσβασης μέσου, όλα με στόχο τη δημιουργία μιας αυτόνομης και επεκτάσιμης λύσης ασύρματης δικτύωσης (Hiertz et al, 2010b).

1.4. ETSI

Ο οργανισμός ETSI - European Telecommunications Standards Institute αποτελεί μη κερδοσκοπικό οργανισμό που είναι ανεξάρτητος και έχει ως στόχο να δημιουργεί τηλεπικοινωνιακά πρότυπα (standards). Ο ETSI έχει δημιουργήσει το πρότυπο ETSI EN 300 328 για τις ασύρματες επικοινωνίες. Ειδικότερα αυτό το πρότυπο απευθύνεται σε συσκευές που χρησιμοποιούν ασύρματης τεχνολογίας IEEE 802.11, HomeRF και Bluetooth.

Το συγκεκριμένο πρότυπο αναφέρει τις κατάλληλες προδιαγραφές που πρέπει να ακολουθεί ένα κεραιο-σύστημα για να είναι ασφαλές για τον άνθρωπο και το περιβάλλον και να μην παρεμβάλει ή δημιουργεί προβλήματα σε άλλα ασύρματα

συστήματα. Στα πιο πολλά κράτη μάλιστα, είναι υποχρεωτικό από τον νόμο οι χρήστες να κάνουν χρήση συσκευών που ακολουθούν αυτό το πρότυπο (Paso et al., 2015). Ασχολείται με τηλεπικοινωνίες, ραδιοηλεκτρονικές εκπομπές και άλλα δίκτυα και υπηρεσίες ηλεκτρονικών επικοινωνιών. Τα πρότυπα που αναπτύχθηκαν από τον ETSI αναγνωρίζονται ως Ευρωπαϊκά Πρότυπα (EN).

Αρχικά ιδρύθηκε για να εξυπηρετήσει τις ευρωπαϊκές ανάγκες, αλλά τελικά κυριάρχησε σε παγκόσμιο επίπεδο αφού τα πρότυπά της ακολουθούνται από τις περισσότερες χώρες σε όλο τον κόσμο. Τέλος, είναι εταίρος στο διεθνές Third Generation Partnership Project (3GPP TM). Μέσω αυτού του έργου, βοηθάνε την εξέλιξη των κινητών επικοινωνιών 4G και 5G (ETSI).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΑΡΕΜΒΟΛΩΝ

2.1. Συστήματα Παρεμβολών- Γενικά

Ένα φαινόμενο που πλήττει τα δίκτυα πολλαπλών χρηστών είναι οι παρεμβολές. Οι παρεμβολές στα συμβατικά δίκτυα είναι αναγκαίο να αντιμετωπίζονται αφού περιορίζουν την απόδοση του συστήματος και επί το πλείστον αποφεύγεται ή μειώνεται μέσω της σωστής κατανομής των πόρων. Όμως, στα συστήματα SWIPT, οι δέκτες δέχονται τις παρεμβολές αυτές αφού αποτελούν πηγές ενέργειας ζωτικής σημασίας. Δηλαδή, σκόπιμα εισάγονται στο δίκτυο επικοινωνίας τεχνητές παρεμβολές που μπορεί να αποφέρουν οφέλη στη συνολική απόδοση του συστήματος, ιδίως όταν οι δέκτες δεν κατέχουν την επιθυμητή ενέργεια έτσι ώστε να υποστηρίξουν τις βασικές λειτουργίες τους. Παρόλα αυτά όμως, οι παρεμβολές είναι ανεπιθύμητες για την μεταφορά πληροφορίας.

Στα κυψελοειδής δίκτυα κινητών επικοινωνιών εξαιτίας των πολλών κυψελών τους αλλά και των επαναχρησιμοποιούμενων συχνοτήτων τους, εμφανίζονται 3 κατηγορίες παρεμβολών Αυτές είναι οι:

❖ Παρεμβολή Ενδοδιαμόρφωσης (Intermodulation Interference)

Αυτή η μορφή παρεμβολής προκύπτει όταν δύο σήματα με διαφορετική συχνότητα διαπερνούν ένα μη γραμμικό σύστημα, προκαλώντας τη δημιουργία παράγωγων συχνοτήτων που μπορεί να λειτουργήσουν ως σήματα παρεμβολής σε άλλες επικοινωνίες. Όταν αυτά τα σήματα διαπεράσουν ένα μη γραμμικό σύστημα, ενδέχεται να παράγονται προϊόντα έως και N-τάξης, με την ισχύ τους να μειώνεται όσο αυξάνεται η τάξη. Ειδικότερα, οι ερευνητές επικεντρώνονται συνήθως στα προϊόντα ενδοδιαμόρφωσης 3ης έως 5ης τάξης. Για την αντιμετώπιση των παρεμβολών, χρησιμοποιούνται διάφορες τεχνικές, όπως η τεχνική του "mirroring". Σε αυτήν την τεχνική, οι συχνότητες εναλλάσσονται μεταξύ των κυψελών για να αποφευχθούν συγκεκριμένοι συνδυασμοί συχνοτήτων. Ωστόσο, αυτή η εναλλαγή μπορεί να οδηγήσει στη χρήση γειτονικών συχνοτήτων στην ίδια κυψέλη, το οποίο διορθώνεται με κατάλληλα φίλτρα στον πομπό και τον δέκτη.

❖ Ομοκαναλική παρεμβολή (Co-channel Interference).

Η παρεμβολή αυτή κάνει την εμφάνιση της όταν δύο διαφορετικοί χρήστες που βρίσκονται σε διαφορετικές κυψέλες είναι συνδεδεμένοι σε διαύλους επικοινωνίας που χρησιμοποιούν τις ίδιες συχνότητες. Σε αυτή την περίπτωση, ο δέκτης δέχεται το σήμα από τον πομπό που πρέπει κανονικά να λάβει αλλά λαμβάνει και ένα πιο ασθενές σήμα

από τον πομπό που βρίσκεται στη διαφορετική κυψέλη και χρησιμοποιεί την ίδια συχνότητα. Το κύριο πλεονέκτημα των κυψελοειδών δικτύων είναι η επαναχρησιμοποίηση των συχνοτήτων και για να επιτευχθεί αυτό αρκεί να διατηρείται μια συγκεκριμένη απόσταση μεταξύ των κυψελών έτσι ώστε να μην έχουμε επικάλυψη μεταξύ των δύο σημάτων όταν εκπέμπουν στην ίδια συχνότητα.

❖ Παρεμβολή γειτονικού καναλιού (Adjacent Channel Interference).

Αυτή η κατάσταση εμφανίζεται όταν δύο ή περισσότεροι πομποδέκτες που λειτουργούν σε γειτονικές συχνότητες επηρεάζονται από αλληλεπιδράσεις λόγω μη ιδανικής εκπομπής. Για να προστατευτούν από τέτοιου είδους παρεμβολές, είναι απαραίτητο το φιλτράρισμα με υψηλής ποιότητας φίλτρα για κάθε συχνότητα εκπομπής. Επιπλέον, στα κινητά τηλέφωνα χρησιμοποιούνται φίλτρα για την αντιμετώπιση των παρεμβολών (Liu et al., 2014).

2.2. Συστήματα Παρεμβολών- Στο Φάσμα Παρεμβολής

Οποιαδήποτε αντικείμενα που έχουν τοποθετηθεί τυχαία στον χώρο ενός ασύρματου δικτύου, είναι ικανά να παρεμβάλουν στο δίκτυο αν σταλούν ίδιας συχνότητας σήματα με αυτά που χρησιμοποιούνται από τους εκπομπούς του. Παρόλο που οι γραμμές προστατεύονται αρκετά εύκολα δεν ισχύει το ίδιο και για τα ασύρματα δίκτυα που είναι ευάλωτα σε παρεμβολές από οποιαδήποτε συσκευή του περιβάλλοντος τους. Η συσκευή αυτή συνεχώς ή διακεκομμένα είναι σε θέση να ακτινοβολήσει σε αυστηρώς περιορισμένα κανάλια ή να εκπέμψει ακτινοβολία ευρείας ζώνης. Τέτοιες συσκευές είναι το Bluetooth, οι φούρνοι μικροκυμάτων, οι συσκευές συγκόλλησης κλπ.

Οι Θόρυβοι και οι παρεμβολές που δέχονται τα δίκτυα ταξινομούνται σε εσωτερικούς και εξωτερικούς παράγοντες σε σχέση με την λειτουργία των συσκευών των δικτύων αυτών.

Οι εσωτερικοί παράγοντες μπορεί να περιέχουν είτε θόρυβο θερμικής ηλεκτρομαγνητικής συχνότητας (EMF) ο οποίος προέρχεται από την ελεύθερη κίνηση των ηλεκτρονίων των εξαρτημάτων των συσκευών, είτε θόρυβο αρμονικό που παράγεται από το κύκλωμα ραδιοσυχνότητας (RF).

Οι εξωτερικοί παράγοντες προέρχονται από τους ανθρώπους, από τα φυσικά φαινόμενα που διαδραματίζονται στη φύση όπως οι κεραυνοί και οι ηλιακές κηλίδες. Από τον ήλιο εκπέμπεται ένα ευρύ φάσμα ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων σε όλες τις συχνότητες και έτσι προκαλείται θόρυβος. Επίσης, στην επιφάνεια του ήλιου

εμφανίζονται σκοτεινά σημεία ή λάμπει που διοχετεύουν πολύ ισχυρά ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Από αυτά προκαλούνται παρεμβολές στις ραδιομεταδόσεις και στα επικοινωνιακά συστήματα. Η δημιουργία Θορύβων RF που προέρχονται από τους ανθρώπους πιθανόν να προκαλέσουν παρεμβολή στις ραδιοσυχνότητες μέσω των RF αρμονικών. Παραδείγματος χάρη το πλάτος θορύβου ηλεκτρικών ενεργειακών συσκευών (δηλαδή 50-60Hz) έχει διαφορά σε σχέση με τις συχνότητες που χρησιμοποιούνται στα βιομηχανικά προϊόντα (150MHz-5GHz) και μπορεί καν να μην γίνει αντιληπτή. Όμως ο RF θόρυβος κοντά στην συχνότητα μετάδοσης θα έχει επιπτώσεις και πρέπει να λαμβάνεται υπόψιν (Βασιλέλλη, 2018).

Επίσης, σημειώνονται παρεμβολές στα ετερογενή δίκτυα μεταξύ των διαφόρων επιπέδων, χρησιμοποιώντας διάφορους τρόπους και τεχνικές για την αποτελεσματική διαχείριση και μείωσή τους. Στον τομέα των τηλεπικοινωνιών, οι παρεμβολές αποτελούν ένα κύριο ζήτημα, καθώς μπορούν να προκαλέσουν διαταραχές σε ένα σήμα πληροφορίας, εισάγοντας ανεπιθύμητα σήματα κατά τη μετάδοση από έναν πομπό σε έναν δέκτη μέσω ενός καναλιού επικοινωνίας (Zhang et al., 2013).

Τα είδη και οι μορφές παρεμβολών στα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα, ειδικά στα δίκτυα 5ης γενιάς (5G), είναι ποικίλα (Elayoubi et al., 2020). Αυτές οι παρεμβολές μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δύο κύριες κατηγορίες, λαμβάνοντας υπόψη τα χωρικά και λειτουργικά τους χαρακτηριστικά. Πρώτον, υπάρχουν παρεμβολές εντός του εσωτερικού δικτύου ενός τηλεπικοινωνιακού συστήματος, επηρεάζοντας άμεσα τη μετάδοση πληροφοριών (Barakabitze et al., 2019). Δεύτερον, υπάρχουν παρεμβολές μεταξύ γειτονικών τηλεπικοινωνιακών συστημάτων (Elayoubi et al., 2020).

Συνολικά, οι παρεμβολές αποτελούν το κύριο πρόβλημα στα τηλεπικοινωνιακά συστήματα, επηρεάζοντας τη διαθεσιμότητα και την αξιοπιστία τους. Οι κυριότεροι τύποι παρεμβολών περιλαμβάνουν την παρεμβολή συν-καναλιού (co-channel interference ή CCI), την παρεμβολή από γειτονικό κανάλι (Adjacent channel interference ή ACI), την αυτό-παρεμβολή (Self Interference ή SI), την παρεμβολή πολλαπλής πρόσβασης, την παρεμβολή μεταξύ συμβόλων (Inter-symbol interference ή ISI), τις ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές (Electromagnetic Interference ή EMI), τις παρεμβολές μεταξύ φορέων (Inter-Carrier Interference ή ICI) και τις παρεμβολές κοινής λειτουργίας (Common-Mode Interference ή CMI) (Nasir et al., 2013).

✓ **Παρεμβολή συν-καναλιού (CCI)**

Η παρεμβολή αυτή αναφέρεται στο crosstalk μεταξύ δύο πομπών που μεταδίδουν πληροφορίες μέσω ενός κοινού καναλιού επικοινωνίας. Πρόκειται για μια διαδικασία όπου ο ένας πομπός εκπέμπει σήματα που επηρεάζουν τον άλλον πομπό, προκαλώντας ταυτόχρονη μεταφορά δεδομένων και από τους δύο. Ουσιαστικά, πρόκειται για διασταυρούμενη-ομιλία των δύο πομπών χρησιμοποιώντας το ίδιο κανάλι επικοινωνίας.

Ως αποτέλεσμα, η απόδοση του κάθε δέκτη μειώνεται εξαιτίας των σημάτων που λαμβάνει από διάφορους μη επιθυμητούς πομπούς σε άλλες κυψέλες. Αυτό οφείλεται στην επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων για τη μετάδοση δεδομένων στο πλαίσιο των κυψελοειδών επικοινωνίας. Το φάσμα αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την αξιόπιστη μετάδοση πληροφοριών και χωρίζεται σε διακριτικές, ανεξάρτητες ζώνες που ανατίθενται σε διάφορες κυψέλες του δικτύου. Το φάσμα μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί σε συγκεκριμένες γεωγραφικές αποστάσεις.

✓ **Παρεμβολή μεταξύ κυψελών (ICI)**

Το πιο σημαντικό ίσως πρόβλημα είναι η ορθή διαχείριση και η μετρίαση των παρεμβολών μεταξύ κυψελών (Inter-Cell Interference ή ICI). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι με την ύπαρξη αυτού του είδους παρεμβολών μπορεί να παρατηρηθεί η χαρακτηριστική υποβάθμιση της ενεργειακής και της φασματικής απόδοσης της δομής, γεγονός που είναι σημαντικά φανερό στους χρήστες που βρίσκονται στα όρια της συγκεκριμένης κυψέλης. Με τον όρο φασματική απόδοση (Spectrum Efficiency ή SE) εννοούμε τον βαθμό αξιοποίησης του διαθέσιμου φάσματος από το ίδιο το σύστημα, ενώ με τον όρο της ενεργειακής απόδοσης (Energy Efficiency ή EE) εννοούμε τον βαθμό της αποδοτικής κατανάλωσης ενέργειας στο σύστημα αυτό. Αξιοσημείωτη είναι η ανταλλαγή των κατάλληλων πληροφοριών μεταξύ ενεργειακής και φασματικής απόδοσης έτσι ώστε να επιτευχθεί ο αποδοτικός σχεδιασμός ενός συστήματος σε μία δομή πολλαπλών κυψελών (Kang et al., 2015).

Με κύριο μέλημα την ανάπτυξη της ενεργειακής και της φασματικής απόδοσης χρησιμοποιούνται ποικίλες τεχνικές μετριασμού της ICI μέσω στατιστικών ή δυναμικών προσεγγίσεων κατανομής των ήδη υπάρχοντων πόρων. Ωστόσο, δεν καταλήγουν πάντα στα επιθυμητά αποτελέσματα, με αρκετές φορές μάλιστα να προκαλείται η μείωση του διαθέσιμου εύρους ζώνης του σταθμού βάσης με αποτέλεσμα να προκύπτει πολλές φορές η υποβάθμιση της φασματικής απόδοσης. Για μια πιο εποικοδομητική λύση όσον αφορά τη μετρίαση αυτής της παρεμβολής έχουν

προταθεί πολυποίκιοι μέθοδοι αντιμετώπισής της, όπως η αφαίρεση ή ο διαχωρισμός σημείων που παρουσιάζουν τις πιο ισχυρές παρεμβολές ή η αύξηση της απόστασης μεταξύ των σταθμών βάσης (Wang et al., 2013; Liu et al., 2012).

✓ **Παρεμβολή γειτονικού καναλιού (ACI)**

Αυτός ο τύπος παρεμβολής εμφανίζεται όταν συστατικά στοιχεία επικοινωνούν χρησιμοποιώντας γειτονικές ζώνες συχνοτήτων. Η παρεμβολή αυτή παρουσιάζεται μεταξύ συνδέσεων που βρίσκονται στην ίδια γεωγραφική τοποθεσία. Κάθε πιθανός πομπός που χρησιμοποιεί μια συγκεκριμένη ζώνη συχνοτήτων για τη μετάδοση πληροφοριών επηρεάζει τη διπλανή ζώνη συχνοτήτων, εκπέμποντας ενέργεια προς αυτήν. Για να μελετηθούν οι επιπτώσεις των εκπομπών έξω από μια ζώνη συχνοτήτων, χρησιμοποιείται ο δείκτης ισχύος του γειτονικού καναλιού (ACPR). Από πλευράς δέκτη, τα παρεμβαλλόμενα σήματα εκτός των ορίων της απαιτούμενης ζώνης συχνοτήτων παράγουν στοιχεία παρεμβολής στις συχνότητες εντός της ζώνης. Ωστόσο, η ευαισθησία του γειτονικού καναλιού (ACS) καθορίζει πόσο ικανός είναι ο δέκτης να ανταπεξέλθει σε αυτές τις παρεμβολές έξω από τη ζώνη συχνοτήτων. Η τιμή του ACS καθορίζεται από ιδιότητες της αλυσίδας ραδιοσυχνοτήτων, όπως το πλάτος bit του μετατροπέα από αναλογικό σε ψηφιακό σήμα, η γραμμικότητα των ενισχυτών και των αναμικτών, καθώς και η ποιότητα των φίλτρων επιλογής καναλιών.

✓ **Παρεμβολή πολλαπλής πρόσβασης (MAI)**

Μια άλλη παρεμβολή που επηρεάζει τις τηλεπικοινωνίες είναι η παρεμβολή πολλαπλής πρόσβασης (Multiple Access Interference ή MAI). Αυτό συμβαίνει όταν πολλά σημεία εκπομπής πληροφορίας χρησιμοποιούν τους ίδιους πόρους συχνότητας, και η ίδια πληροφορία μεταφέρεται στον ίδιο δέκτη. Το CDMA (Code Division Multiple Access) αναφέρεται σε αυτό το είδος τεχνολογίας, χρησιμοποιώντας την πολλαπλή πρόσβαση διαιρεμένου κώδικα σε ένα κανάλι επικοινωνίας. Μέσω αυτής της παρεμβολής, πολλοί πομποί σε ένα σύστημα καταφέρνουν να μεταδώσουν πληροφορίες ταυτόχρονα μέσω του συγκεκριμένου καναλιού επικοινωνίας, χρησιμοποιώντας μια κοινή ζώνη συχνοτήτων (Xiang et al., 2012).

✓ **Αναλογία του σήματος ως προς την παρεμβολή λόγω του θορύβου (SINR)**

Στις ασύρματες επικοινωνίες, είναι συχνό το φαινόμενο του θορύβου κατά τη μετάδοση πληροφορίας. Αυτό συμβαίνει όταν πολλά κανάλια διάδοσης χρησιμοποιούνται ταυτόχρονα ή όταν άλλα κανάλια παρεμβαίνουν στη διάδοση αυτών των καναλιών. Είναι απαραίτητο, λοιπόν, να γνωρίζουμε την ποσότητα αυτού του είδους παρεμβολής, που αναφέρεται ως SINR (Signal to Interference plus Noise Ratio). Κάθε ασύρματο δίκτυο περιλαμβάνει πολλά κανάλια διάδοσης πληροφορίας που μοιράζονται χώρο και ένα κοινό εύρος συχνοτήτων. Κάθε κανάλι αποτελείται από πομπούς που στοχεύουν στη διάδοση πληροφορίας προς τους δέκτες. Ένα απλό κανάλι περιλαμβάνει έναν πομπό και έναν δέκτη. Στα κυψελοειδή δίκτυα, στην ανερχόμενη ζεύξη (uplink), υπάρχει ένα κανάλι πολλαπλής πρόσβασης με πολλούς πομπούς που μεταδίδουν διαφορετικά δεδομένα σε έναν δέκτη. Στην κατερχόμενη ζεύξη (downlink), ο πομπός μεταδίδει διαφορετικά δεδομένα σε ένα σύνολο δεκτών στο πλαίσιο του καναλιού εκπομπής. Συνεπώς, ο θόρυβος είναι η παρεμβολή που δημιουργείται από διάφορους πομπούς διάδοσης (Τριπάθη, 2019).

✓ **Παρεμβολή μεταξύ συμβόλων (ISI)**

Αυτή η παρεμβολή στις τηλεπικοινωνίες είναι ιδιαίτερα σημαντική, καθώς αποτελεί μια μορφή παραμόρφωσης που συμβαίνει σε ένα σήμα, όταν το σύμβολό του επηρεάζει τα σύμβολα που ακολουθούν. Η αρνητική επίδραση αυτής της παρεμβολής στις τηλεπικοινωνίες είναι σημαντική, καθώς περιορίζει την απόδοση και την αξιοπιστία τους λόγω του προκαλούμενου θορύβου. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται παρεμβολές μεταξύ γειτονικών συμβόλων, όταν η διάδοση ενός συμβόλου υπερβαίνει το προκαθορισμένο χρονικό όριο του. Αυτή η παρεμβολή οδηγεί σε σφάλματα κατά τη διάδοση της πληροφορίας μεταξύ πομπού και δέκτη, με αποτέλεσμα να μη μεταφέρεται η σωστή πληροφορία στον δέκτη. Για τον λόγο αυτό, απαιτούνται κατάλληλα μέτρα, όπως η χρήση φίλτρων, προκειμένου να εξασφαλιστεί η ορθή μετάδοση και λήψη του σήματος, με σκοπό τη μείωση του ποσοστού σφάλματος στο τελικό σήμα που φτάνει στον δέκτη (Ding et al., 2015).

✓ **Παρεμβολή μεταξύ φορέων (ICI)**

Είναι απαραίτητο να διατηρείται συνεχώς υψηλή ποιότητα στις ασύρματες επικοινωνίες και να επεκτείνεται η χρήση καινοτόμων τεχνολογιών. Η ενίσχυση της ταχύτητας μετάδοσης δεδομένων και η βελτιστοποίηση της επικοινωνίας μεταξύ των χρηστών αποτελούν κρίσιμα ζητήματα στον τομέα των τηλεπικοινωνιών. Παρ' όλα αυτά, υπάρχουν προκλήσεις που πρέπει να ξεπεραστούν για μια άμεση αναβάθμιση, όπως οι παραλλαγές στο χρόνο του καναλιού και η περιορισμένη διαθεσιμότητα φάσματος που σχετίζεται με τη διάδοση των δεδομένων. Οι ερευνητές εξετάζουν την επίτευξη αυτών των στόχων με την εφαρμογή της πολυπλεξίας ορθογώνιας διαίρεσης συχνοτήτων (OFDM), δηλαδή μια οικονομική υλοποίηση σε σχέση με το υλικό και την απλοποίηση των δεκτών στο κανάλι μετάδοσης. Το OFDM λειτουργεί ως φίλτρο στον τομέα των συχνοτήτων, λαμβάνοντας υπόψη ότι το κανάλι παραμένει σταθερό εντός ενός μπλοκ μετάδοσης. Ωστόσο, δεν είναι πάντα εφικτή η πλήρης τήρηση αυτής της προϋπόθεσης, λόγω σφαλμάτων συγχρονισμού ή ταχυτήτων σε υψηλά επίπεδα στα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας (Levin, 2012).

✓ **Παρεμβολές πολλαπλών επιπέδων**

Στο πλαίσιο των παρεμβολών του τύπου αυτού στις επικοινωνίες από συσκευή σε συσκευή (Device-to-Device - D2D), διακρίνουμε δύο κατηγορίες. Καταρχάς, υπάρχουν παρεμβολές που προκύπτουν μεταξύ διαφορετικών καναλιών και εκείνες που εμφανίζονται μεταξύ συν-καναλιών επικοινωνίας. Η πρώτη κατηγορία αναφέρεται σε παρεμβολές μεταξύ χρηστών που ανήκουν σε διαφορετικά κανάλια επικοινωνίας, όπως όταν ένας χρήστης από κυψελοειδές δίκτυο παρεμβαίνει στην επικοινωνία D2D. Από την άλλη πλευρά, η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει παρεμβολές μεταξύ δύο χρηστών που χρησιμοποιούν το ίδιο φάσμα συχνοτήτων. Στις παρεμβολές της πρώτης κατηγορίας, η ταυτόχρονη χρήση φάσματος επικάλυψης μπορεί πιθανώς να αντιμετωπίσει τέτοιες παρεμβολές. Η σωστή λειτουργία αυτού του μηχανισμού είναι κρίσιμη, καθώς υπάρχει κίνδυνος υποβάθμισης της απόδοσης της επικοινωνίας D2D (Krikidis, 2014).

✓ **Παρεμβολές στο ίδιο επίπεδο**

Ως αποτέλεσμα της προηγούμενης αναφοράς στη D2D επικοινωνία και στις κατηγορίες παρεμβολών που επηρεάζουν το επίπεδό τους, θα εξετάσουμε κάποια

χαρακτηριστικά των παρεμβολών που προκύπτουν ανάμεσα σε στοιχεία που ανήκουν στο ίδιο επίπεδο του δικτύου. Στην D2D επικοινωνία, κάθε χρήστης έχει τη δυνατότητα να προκαλέσει παρεμβολές με άλλο χρήστη του ίδιου επιπέδου, εφόσον βρίσκονται σε κοντινή απόσταση. Η τιμή της αναλογίας σήματος προς παρεμβολή συν θόρυβο (SINR) παίζει καθοριστικό ρόλο στη σύνδεση μεταξύ των χρηστών D2D επικοινωνίας.

Εάν η SINR είναι υψηλότερη από ένα προκαθορισμένο κατώφλι, τότε οι διάφοροι χρήστες D2D μπορούν να συνδεθούν απευθείας μεταξύ τους. Επιπλέον, αυτού του είδους παρεμβολές προκαλούνται κάθε φορά που ο D2D δέκτης λαμβάνει σήμα από τον αντίστοιχο D2D πομπό σε διάφορα ζεύγη D2D. Αυτά τα ζεύγη χρησιμοποιούν τους ίδιους πόρους από το κυψελοειδές δίκτυο, χωρίς να υπάρχει εξάρτηση από τον τρόπο επαναχρησιμοποίησης των πόρων, είτε πρόκειται για ανερχόμενη επαναχρησιμοποίηση είτε για κατερχόμενη (Krikidis, 2014).

✓ Αυτο-παρεμβολή (Self-Interference, SI)

Αυτή η παρεμβολή προκαλείται από παρεμβολές που προέρχονται από διάφορα σήματα που εκπέμπονται από έναν κοινό πομπό σε ένα δίκτυο επικοινωνίας (Liu et al., 2014). Ο ανελέητος ρυθμός εξέλιξης του τομέα της τεχνολογίας, ειδικότερα στον τομέα των ασύρματων και κυψελοειδών δικτύων επικοινωνίας, σε συνδυασμό με την συνεχή ζήτηση για προηγμένες ψηφιακές συσκευές, οδηγεί στην αυξημένη χρήση έξυπνων συσκευών, όπως φορητοί υπολογιστές και άλλες που υιοθετούν το Internet of Things (IoT).

Παράλληλα, η έκρηξη της ανάπτυξης και η σταδιακή εφαρμογή του κινητού δικτύου 5ης γενιάς (5G) καθιστούν αναγκαία την αποτελεσματικότερη διαχείριση των νέων απαιτήσεων χωρητικότητας στα ασύρματα δίκτυα επικοινωνιών, με σκοπό την άμεση και εξατομικευμένη εξυπηρέτηση των καταναλωτών που αναζητούν έξυπνες συσκευές. Αυτή η ανάγκη για άμεση αύξηση της χωρητικότητας, σε συνδυασμό με τη φασματική απόδοση στα ασύρματα συστήματα τηλεπικοινωνιών, επωφελείται σημαντικά από την τεχνολογία των πλήρους διπλέξιμων (Full-Duplex) συστημάτων.

Με αυτήν την τεχνολογία, οι ασύρματοι ακροδέκτες σε ένα δίκτυο μπορούν πλέον να μεταδίδουν και να λαμβάνουν σήματα ταυτόχρονα, χρησιμοποιώντας το ίδιο εύρος συχνοτήτων. Επιπλέον, με τη χρήση αυτής της τεχνολογίας παρατηρούνται και οι παρεμβολές από Συνέχιση (SI interference), όπου οι κεραίες που λειτουργούν ως δέκτες στο σύστημα λαμβάνουν παρεμβαίνοντα σήματα από τους αντίστοιχους

πομπούς, καθώς και τις χρήσιμες πληροφορίες σε μορφή σημάτων, μαζί με παρεμβολές από άλλα στοιχεία μετάδοσης (Liu et al., 2014).

Το σήμα των παρεμβολών SI αποτελεί ένα από τα ισχυρότερα και πιο χρήσιμα σήματα, καθώς περιλαμβάνει την αναγκαία πληροφορία. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι ο πομπός και ο δέκτης βρίσκονται πολύ κοντά μεταξύ τους σε ένα σταθμό βάσης. Κατά τη διάρκεια της μετάδοσης, σύμφωνα με την τεχνική OFDM, η παρεμβολή SI παρατηρείται μεταξύ των υποφορέων, λόγω του φαινομένου Doppler και της εξασθένισης από τις ενέργειες των πομποδεκτών, προκαλώντας μετατόπιση συχνότητας. Τέλος, το Μαζικό Είσοδος-Μαζικό Έξοδο (MIMO), που αποτελεί σημαντικό τμήμα των δικτύων 5G, συμβάλλει στην παραγωγή παρεμβολών SI (Nasir et al., 2013).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ

3.1. Ενισχυτές

Οι ενισχυτές μπορούν να ταξινομηθούν με βάση τα λειτουργικά χαρακτηριστικά τους, όπως Κατηγορία Α, Κατηγορία Β, Κατηγορία ΑΒ, Κατηγορία Γ κ.λπ. Κάθε κατηγορία έχει τα δικά της πλεονεκτήματα και αντισταθμίσεις όσον αφορά την απόδοση, τη γραμμικότητα και την παραμόρφωση (Gonzalez & Baxendale, 2016). Για παράδειγμα, οι ενισχυτές κατηγορίας Α παρέχουν υψηλή γραμμικότητα αλλά χαμηλή απόδοση, ενώ οι ενισχυτές κατηγορίας D προσφέρουν υψηλή απόδοση, αλλά μπορούν να εισάγουν μεγαλύτερη παραμόρφωση.

Οι ενισχυτές μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε γραμμικούς ή μη γραμμικούς με βάση την απόκρισή τους στα σήματα εισόδου. Οι γραμμικοί ενισχυτές διατηρούν το σχήμα και την πιστότητα του σήματος εισόδου, ενώ οι μη γραμμικοί ενισχυτές εισάγουν παραμόρφωση και μεταβάλλουν την κυματομορφή (Sedra & Smith, 2019). Οι γραμμικοί ενισχυτές χρησιμοποιούνται συνήθως σε εφαρμογές ήχου όπου η πιστή αναπαραγωγή σήματος είναι ζωτικής σημασίας, ενώ οι μη γραμμικοί ενισχυτές χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπως οι ραδιοπομποί όπου οι τεχνικές διαμόρφωσης βασίζονται στην αλλαγή του σήματος.

Στα συστήματα ήχου, οι ενισχυτές κατηγοριοποιούνται συχνά σε διαφορετικές κατηγορίες, όπως Κατηγορία Α, Κλάση ΑΒ, Κατηγορία D και Κατηγορία Η. Οι ενισχυτές κλάσης Α λειτουργούν σε κατάσταση όπου οι συσκευές εξόδου είναι πάντα αγώγιμες, παρέχοντας υψηλή -ποιοτικό ήχο αλλά με χαμηλή απόδοση (Gonzalez & Baxendale, 2016). Οι ενισχυτές κατηγορίας ΑΒ συνδυάζουν τα πλεονεκτήματα των ενισχυτών κατηγορίας Α και κατηγορίας Β, βελτιώνοντας την απόδοση διατηρώντας παράλληλα αποδεκτή ποιότητα ήχου. Οι ενισχυτές κατηγορίας D χρησιμοποιούν διαμόρφωση πλάτους παλμού για να επιτύχουν υψηλή απόδοση, αλλά μπορούν να εισάγουν τεχνουργήματα μεταγωγής. Οι ενισχυτές κατηγορίας Η χρησιμοποιούν πολλαπλές τάσεις τροφοδοσίας για να βελτιώσουν την απόδοση ρυθμίζοντας δυναμικά την τάση τροφοδοσίας με βάση το επίπεδο σήματος εισόδου (Self, 2018).

Η ανάδραση παίζει ζωτικό ρόλο στη σχεδίαση του ενισχυτή για τη βελτίωση της γραμμικότητας, τη μείωση της παραμόρφωσης και τη βελτίωση της σταθερότητας. Η αρνητική ανάδραση χρησιμοποιείται συνήθως για τη μείωση της παραμόρφωσης

συγκρίνοντας το σήμα εξόδου με το σήμα εισόδου και δημιουργώντας ένα σήμα σφάλματος για τη διόρθωση τυχόν αποκλίσεων (Sedra & Smith, 2019). Ωστόσο, η ακατάλληλη εφαρμογή της ανάδρασης μπορεί να οδηγήσει σε αστάθεια, ταλαντώσεις ή υπερβολική μετατόπιση φάσης, η οποία μπορεί να επηρεάσει την απόδοση και την αξιοπιστία του ενισχυτή.

Ο σχεδιασμός του ενισχυτή ποικίλλει ανάλογα με το εύρος συχνοτήτων λειτουργίας. Για παράδειγμα, οι ενισχυτές ισχύος ραδιοσυχνοτήτων που χρησιμοποιούνται σε συστήματα ασύρματων επικοινωνιών απαιτούν συγκεκριμένες σχεδιαστικές εκτιμήσεις λόγω των υψηλών συχνοτήτων που εμπλέκονται. Τεχνικές όπως η αντιστοίχιση σύνθετης αντίστασης, το αρμονικό φιλτράρισμα και οι μέθοδοι γραμμικοποίησης χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση της απόδοσης ισχύος, της γραμμικότητας και της φασματικής καθαρότητας σε σχέδια ενισχυτών ισχύος ραδιοσυχνοτήτων (Gonzalez & Baxendale, 2016).

3.2. Κεραίες

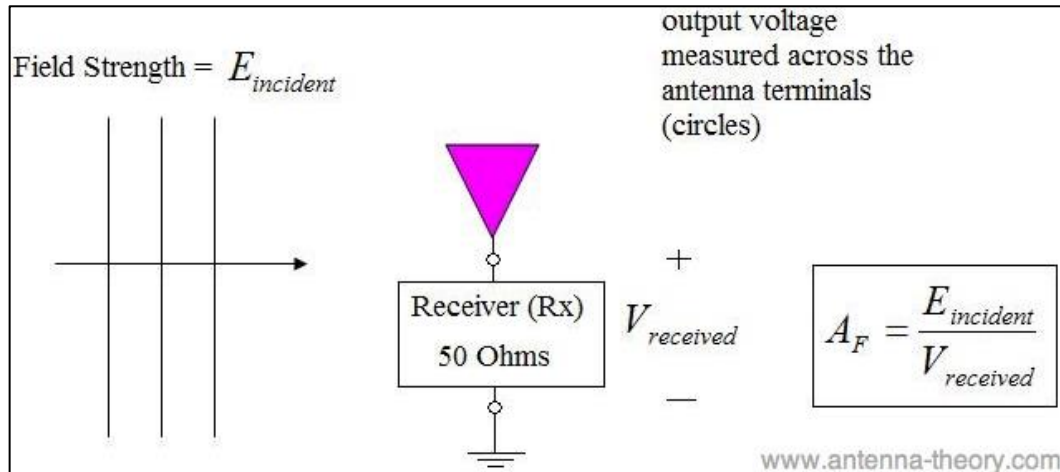
Ο παράγοντας κεραίας χρησιμοποιείται από μηχανικούς κεραίας RF ή EMC για να περιγράψει την απαιτούμενη ένταση ηλεκτρικού πεδίου που παράγει 1 Volt στους ακροδέκτες μιας κεραίας. Εναλλακτικά, η έννοια του παράγοντα «κεραία» καθορίζει ποια είναι η λαμβανόμενη τάση παρουσία ηλεκτρικού πεδίου. Ορίζεται μαθηματικά ως:

$$A_F = \frac{E_{incident}}{V_{received}}$$

Εικόνα 2: Ο συντελεστής κεραίας-Antenna factor (A_f) ορίζεται ως ο λόγος του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου που προσπίπτει στην κεραία στην έξοδο τάσης στον ακροδέκτη εξόδου της (βύσμα).

Τεχνικά, ο παραπάνω ορισμός είναι λίγο διαφορετικός. Για παράδειγμα, εάν οι ακροδέκτες της κεραίας είναι βραχυκυκλωμένοι ή η λαμβανόμενη τάση είναι πάντα μηδέν, ο Συντελεστής κεραίας δεν ορίζεται. Ως εκ τούτου, ο παράγοντας κεραίας έχει μια υπονοούμενη σύνθετη αντίσταση που σχετίζεται με τους ακροδέκτες της κεραίας,

συνήθως 50 Ohm. Ωστόσο, μερικές φορές συζητείται ένας παράγοντας κεραίας "ανοικτού κυκλώματος", ο οποίος είναι η διαθέσιμη τάση για μια κεραία με ανοιχτό κύκλωμα (χωρίς δέκτη ή φορτίο συνδεδεμένο). Η βασική ιδέα του συντελεστή κεραίας με σύνθετη αντίσταση τερματικού (θύρα, δέκτης ή φορτίο) φαίνεται στην Εικόνα 2.



Εικόνα 3: Γραφική απεικόνιση του παράγοντα κεραίας, με το τερματικό της κεραίας σε φορτίο (που αντιπροσωπεύει τον δέκτη).

Στο παραπάνω σχήμα, το πεδίο E φαίνεται ως μέρος ενός κύματος διάδοσης (κάτι που δεν συμβαίνει απαραίτητα). Η κεραία δέχεται το πεδίο με μια τάση που εμφανίζεται στους ακροδέκτες της, οι κύκλοι που φαίνονται στην Εικόνα 2. Η σύνθετη αντίσταση του δέκτη (ή το φορτίο ή μια συσκευή μέτρησης όπως ένας αναλυτής δικτύου) φαίνεται συνδεδεμένη στους ακροδέκτες της κεραίας. Ο λόγος της έντασης του προσπίπτοντος πεδίου προς την τάση εξόδου είναι ο παράγοντας κεραίας. Η παραπάνω εξίσωση για τον παράγοντα κεραίας προϋποθέτει ότι η πόλωση του πεδίου E και της κεραίας ταιριάζουν (χωρίς απώλεια ασυμφωνίας πόλωσης).

Ταυτόχρονα, μπορεί να προκύψει σχέση για τον παράγοντα κεραίας ως προς το κέρδος της κεραίας και τη συχνότητα λειτουργίας. Υποθέτοντας ότι η κεραία λαμβάνει ένα κύμα διάδοσης (όπως συμβαίνει αν η κεραία λαμβάνει από μακρινό πεδίο μιας άλλης κεραίας), προκύπτει μια δεύτερη σχέση. Εάν το προσπίπτον πεδίο είναι μέρος ενός κύματος διάδοσης, η πυκνότητα ισχύος S [σε Watts/μέτρο-τετράγωνο (W/m^2)] του κύματος δίνεται από:

$$S_{inc} = E \cdot H = \frac{|E|^2}{\eta}$$

Εικόνα 4: πυκνότητα ισχύος σε watt ανά τετραγωνικό μέτρο

Στα παραπάνω, η εσωτερική σύνθετη αντίσταση είναι η εγγενής σύνθετη αντίσταση του ελεύθερου χώρου. Η ποσότητα της διαθέσιμης ισχύος από την κεραία μπορεί να προσδιοριστεί χρησιμοποιώντας το ενεργό διάφραγμα της κεραίας. Επομένως, η ισχύς που συλλαμβάνεται από το επίπεδο κύμα δίνεται από:

$$P_{received} = S_{inc} A_e = S_{inc} \frac{\lambda^2 G}{4\pi} = S_{inc} \frac{c^2 G}{4\pi f^2}$$

$$= \frac{E^2 \lambda^2 G}{4\pi \eta} = \frac{E^2 c^2 G}{4\pi \eta f^2}$$

Εικόνα 5: εξίσωση παράγοντα κεραίας

Στην παραπάνω εξίσωση έχουμε αντικαταστήσει στον τύπο για το ενεργό διάφραγμα, όπου f είναι η συχνότητα του επίπεδου κύματος, c είναι η ταχύτητα του φωτός και G είναι το κέρδος της κεραίας.

Εάν η σύνθετη αντίσταση φορτίου είναι 50 Ohms, τότε ο παράγοντας κεραίας μπορεί να γραφτεί με μια μορφή που συνήθως φαίνεται:

$$A_F = \frac{9.73}{\lambda \sqrt{G}}$$

Εικόνα 6: συντελεστής κεραίας για φορτίο 50 ohm

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι δύο προηγούμενες σχέσεις ισχύουν μόνο για τη διάδοση των επίπεδων κυμάτων (συνθήκες μακρινού πεδίου) και ότι η πόλωση

ταιριάζει με τα πεδία. Η αναντιστοιχία σύνθετης αντίστασης μεταξύ κεραίας και δέκτη περιλαμβάνεται στον παράγοντα κεραίας - μόνο η διαθέσιμη τάση μετράται στον δέκτη.

Επιπλέον, δεδομένου ότι το κέρδος μιας κεραίας ποικίλλει ανάλογα με την κατεύθυνση, ο παράγοντας κεραίας ποικίλλει επίσης ως συνάρτηση της κατεύθυνσης των εισερχόμενων πεδίων προς την κεραία. Εάν δεν καθορίζεται κατεύθυνση, η κατεύθυνση που εννοείται είναι πάντα η κατεύθυνση του μέγιστου κέρδους.

Ο παράγοντας κεραίας εμφανίζεται επίσης μερικές φορές σε διαφορετικές ποικιλίες - συνθήκες κοντινού και μακρινού πεδίου. Επειδή τα κοντινά πεδία μπορούν να συμπεριφέρονται διαφορετικά από τα μακρινά πεδία (γενικά τα κοντινά πεδία είναι πιο αντιδραστικά και πολύπλοκα για να τα καταλάβουμε), μια κεραία συμπεριφέρεται διαφορετικά παρουσία των δύο. Ως εκ τούτου, μερικές φορές μια κεραία έχει καθορισμένους παράγοντες κεραίας κοντινού και μακρινού πεδίου (Antenna Theory-Antenna Factor).

Τέλος, αν και πολύ λιγότερο συνηθισμένος, ο παράγοντας κεραίας μπορεί επίσης να οριστεί ως προς το μαγνητικό πεδίο:

$$A_F^{Magnetic} = \frac{H_{incident}}{V_{received}}$$

Εικόνα 7: συντελεστής μαγνητικής κεραίας

Αυτή είναι απλώς η απαιτούμενη ένταση μαγνητικού πεδίου για την παραγωγή βολτ στους ακροδέκτες της κεραίας. Οι κατασκευαστές ασύρματων τηλεφώνων συχνά διαφημίζουν αυτές τις συσκευές με κύριο χαρακτηριστικό ότι «λειτουργεί στα 900 MHz». Αυτό όμως δεν σχετίζεται με φυσικό τρόπο.

Μια κεραία ή σύστημα 2,4 GHz είναι απλώς μια συσκευή που εκπέμπει και λαμβάνει στη συχνότητα 2,4 GHz. Όλες οι συσκευές πρέπει να λειτουργούν σε μια στενή ζώνη συχνοτήτων. Οι ασύρματοι δρομολογητές αναγκάζονται (από κυβερνητικό κανονισμό) να λειτουργούν στα 2,4 GHz. Αν η κυβέρνηση είχε πει ότι πρέπει να

δουλέψουν στα 2,9 GHz ή στα 1,3 GHz, δεν θα είχε καμία σημασία. Το περιβάλλον ασύρματης μετάδοσης είναι διαφορετικό για 2,4 GHz ή 1 GHz, αλλά για οικιακές προσωπικές ασύρματες επικοινωνίες δεν θα είχε ιδιαίτερη σημασία.

Η μόνη παράμετρος που όντως σχετίζεται στα 2,4 GHz είναι ότι το μήκος κύματος είναι $c/f = (3e8 \text{ m/s})/(2,4e9 \text{ 1/s}) = 0,125 \text{ μέτρα} = 4,92 \text{ ίντσες}$. Όταν συνδέεται ο ασύρματος δρομολογητής, οι κεραίες θα είναι πιθανώς διπολικές, επειδή λαμβάνουν πληροφορίες ομοιόμορφα στο οριζόντιο επίπεδο και ο δρομολογητής δεν θα γνωρίζει πού βρίσκεται ο υπολογιστής σας. Δεδομένου ότι οι διπολικές κεραίες λειτουργούν εξαιρετικά όταν έχουν μήκος μισού μήκους κύματος, οι κεραίες θα πρέπει να έχουν μήκος $\lambda/2$, δηλαδή περίπου 2,5 ίντσες, όπως περίπου συμβαίνει αν κοιτάξετε τον τυπικό δρομολογητή.



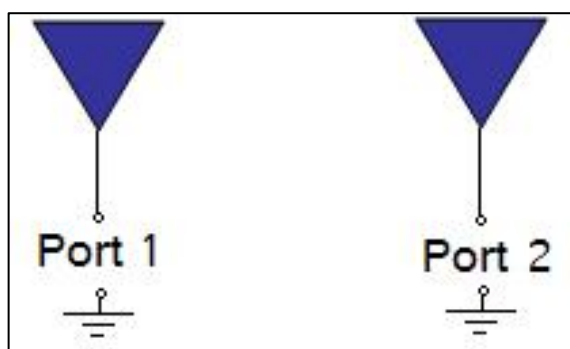
Εικόνα 8: ασύρματος δρομολογητής για Wi-Fi

Υπάρχουν δύο κεραίες κυρίως. Για ασύρματο internet, χρειάζεται μια κατευθυντική κεραία υψηλής απολαβής στα 2,4 GHz. Για να λειτουργήσει αυτό, θα χρειαστεί να συνδεθεί ο δρομολογητή σε μια κεραία υψηλής απολαβής που είναι στραμμένη προς ένα μέρος που παρέχει Wi-Fi. Μια κεραία υψηλού κέρδους είναι απλώς μια κεραία που έχει ένα πολύ-κατευθυντικό μοτίβο ακτινοβολίας, στο ότι λαμβάνει ενέργεια πιο έντονα από συγκεκριμένες κατευθύνσεις και τις καταστέλλει από άλλες κατευθύνσεις.

Οι συσκευές Bluetooth χρησιμοποιούν επίσης τη ζώνη 2,4 GHz, εκτός από ορισμένα ασύρματα τηλέφωνα και ραδιοελεγχόμενα παιχνίδια. Το ασύρματο πρότυπο IEEE 802.11 καθορίζει την επικοινωνία υπολογιστή WLAN στα 2,4 GHz (Antenna Theory- 2p4GHzAntenna).

Οι παράμετροι S περιγράφουν τη σχέση εισόδου-εξόδου μεταξύ θυρών (ή τερματικών) σε ένα ηλεκτρικό σύστημα. Για παράδειγμα, εάν υπάρχουν 2 θύρες (που ονομάζονται έξυπνα Θύρα 1 και Θύρα 2), τότε το S12 αντιπροσωπεύει την ισχύ που μεταφέρεται από τη Θύρα 2 στη Θύρα 1. Το S21 αντιπροσωπεύει την ισχύ που μεταφέρεται από τη Θύρα 1 στη Θύρα 2. Γενικά, το SNM αντιπροσωπεύει την ισχύ που μεταφέρεται από τη Θύρα M στη Θύρα N σε ένα δίκτυο πολλαπλών θυρών.

Μια θύρα μπορεί να οριστεί ως οποιοδήποτε μέρος όπου παραδίδεται τάση και ρεύμα. Έτσι, εάν υπάρχει ένα σύστημα επικοινωνίας με δύο συσκευές ασύρματης επικοινωνίας (ασύρματη συσκευή 1 και ασύρματη συσκευή 2), τότε οι ακροδέκτες του βύσματος (που παρέχουν ρεύμα στις δύο κεραίες) θα είναι οι δύο θύρες. Το S11 τότε θα είναι ανακυκλωμένη ισχύς 1 που προσπαθεί να παραδώσει στην κεραία 1. Το S22 θα είναι το ανακλώμενη ισχύς 2 που προσπαθεί να παραδώσει στην κεραία 2. Και το S12 είναι η ισχύς από το ασύρματο σύστημα 2 που παρέχεται μέσω της κεραίας 1 στο ασύρματο σύστημα 1. Γενικά οι παράμετροι S είναι συνάρτηση της συχνότητας (δηλαδή ποικίλλουν ανάλογα με τη συχνότητα).

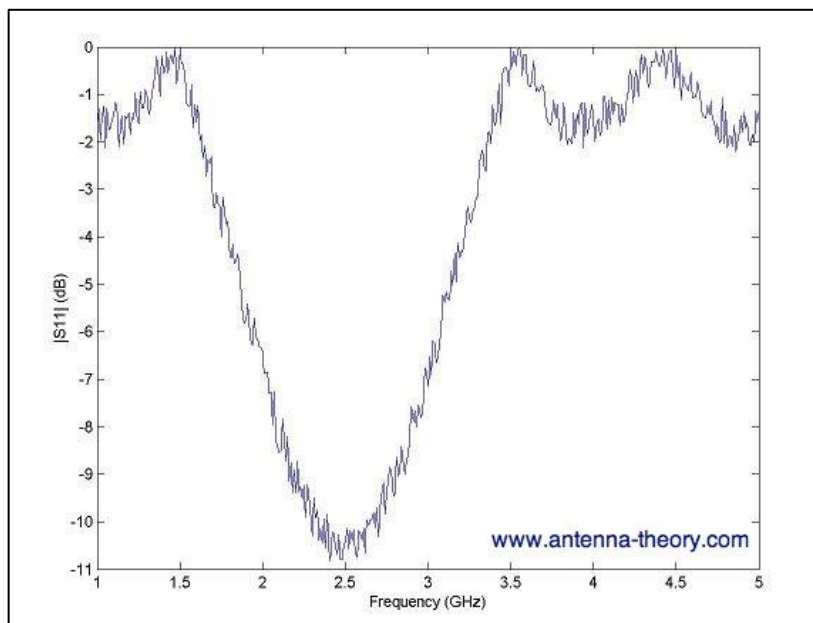


Εικόνα 9: δίκτυο δύο θυρών στοιχείων κεραίας

Στο παραπάνω σχήμα, το S21 αντιπροσωπεύει την ισχύ που λαμβάνεται στην κεραία 2 σε σχέση με την ισχύ εισόδου στην κεραία 1. Για παράδειγμα, S21=0 dB υποδηλώνει ότι όλη η ισχύς που παρέχεται στην κεραία 1 καταλήγει στους ακροδέκτες της κεραίας 2. Εάν S21= -10 dB, τότε εάν παραδίδεται 1 Watt (ή 0 dB) στην κεραία 1, τότε λαμβάνεται -10 dB (0,1 Watt) ισχύος στην κεραία 2.

Εάν υπάρχει ενισχυτής στο κύκλωμα, τότε ο S_{21} μπορεί να δείξει κέρδος (δηλαδή $S_{21} > 0$ dB). Αυτό σημαίνει ότι για 1 W ισχύος που παραδίδεται στη Θύρα 1, λαμβάνεται πάνω από 1 W ισχύος στη Θύρα 2.

Στην πράξη, η πιο συχνά αναφερόμενη παράμετρος σε σχέση με τις κεραίες είναι η S_{11} . Το S_{11} αντιπροσωπεύει πόση ισχύς ανακλάται από την κεραία, και ως εκ τούτου είναι γνωστός ως συντελεστής ανάκλασης (μερικές φορές γράφεται ως Γ): ή απώλεια επιστροφής. Εάν $S_{11}=0$ dB, τότε όλη η ισχύς ανακλάται από την κεραία και τίποτα δεν ακτινοβολείται. Εάν $S_{11}=-10$ dB, αυτό σημαίνει ότι εάν 3 dB ισχύς παραδοθεί στην κεραία, -7 dB είναι η ανακλώμενη ισχύς. Το υπόλοιπο της ισχύος έγινε "αποδεκτό" ή παραδόθηκε στην κεραία. Αυτή η αποδεκτή ισχύς είτε ακτινοβολείται ή απορροφείται ως απώλειες εντός της κεραίας. Επειδή οι κεραίες είναι συνήθως σχεδιασμένες να έχουν χαμηλές απώλειες, ιδανικά το μεγαλύτερο μέρος της ισχύος που παρέχεται στην κεραία ακτινοβολείται. Δείτε επίσης το VSWR, το οποίο σχετίζεται άμεσα με το S_{11} .



Εικόνα 10: διάγραμμα του S_{11} ή απώλεια επιστροφής σε σχέση με τη συχνότητα, μετρημένη με αναλυτή δικτύου

Τα παραπάνω μετρώνται τυπικά χρησιμοποιώντας έναν Αναλυτή Διανυσματικού Δικτύου (VNA), ο οποίος μπορεί να σχεδιάσει το S_{11} . Το παραπάνω σχήμα υποδηλώνει ότι η κεραία ακτινοβολεί καλύτερα στα 2,5 GHz, όπου $S_{11}=-10$ dB. Επιπλέον, στα 1,5 GHz η κεραία δεν θα ακτινοβολεί σχεδόν τίποτα, καθώς το S_{11} είναι κοντά στα 0 dB (άρα ανακλάται όλη η ισχύς). Το εύρος ζώνης της κεραίας μπορεί

επίσης να προσδιοριστεί από το παραπάνω σχήμα. Εάν το εύρος ζώνης ορίζεται ως το εύρος συχνοτήτων όπου το S11 πρέπει να είναι μικρότερο από -6 dB, τότε το εύρος ζώνης θα είναι περίπου 1 GHz, με 3 GHz το υψηλό άκρο και 2 GHz το χαμηλό άκρο της ζώνης συχνοτήτων <https://www.antenna-theory.com/definitions/sparameters.php>

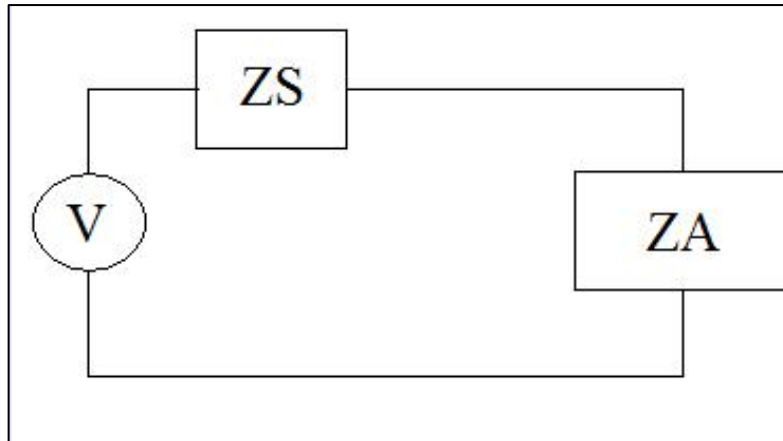
Η σύνθετη αντίσταση της κεραίας συσχετίζει την τάση με το ρεύμα στην είσοδο της κεραίας. Εάν μια κεραία έχει σύνθετη αντίσταση 50 ohms και εφαρμοστεί μια ημιτονοειδής τάση στους ακροδέκτες της κεραίας με πλάτος 1 Volt, τότε το ρεύμα θα έχει πλάτος $1/50 = 0,02$ Amps. Δεδομένου ότι η σύνθετη αντίσταση είναι ένας πραγματικός αριθμός, η τάση είναι σε φάση με το ρεύμα.

Εναλλακτικά, εάν η σύνθετη αντίσταση δίνεται από έναν μιγαδικό αριθμό, ας πούμε $Z=50 + j*50$ ohms, όπου "j" είναι η τετραγωνική ρίζα του -1, η σύνθετη αντίσταση είναι εντελώς πραγματική [$Z=50 + j*0$], και η τάση και το ρεύμα είναι ακριβώς σε χρονική φάση.

Ως εκ τούτου, η σύνθετη αντίσταση κεραίας είναι μια απλή έννοια. Η σύνθετη αντίσταση συσχετίζει την τάση και το ρεύμα στην είσοδο της κεραίας. Το πραγματικό μέρος της σύνθετης αντίστασης της κεραίας αντιπροσωπεύει την ισχύ που είτε ακτινοβολείται είτε απορροφάται μέσα στην κεραία. Το φανταστικό τμήμα της σύνθετης αντίστασης αντιπροσωπεύει την ισχύ που αποθηκεύεται στο κοντινό πεδίο της κεραίας. Αυτή είναι η ισχύς που δεν ακτινοβολείται. Μια κεραία με πραγματική αντίσταση εισόδου (μηδενικό φανταστικό μέρος) λέγεται ότι είναι συντονισμένη. Σημειώστε ότι η σύνθετη αντίσταση μιας κεραίας θα ποικίλλει ανάλογα με τη συχνότητα.

Όταν υπάρχουν χαμηλές συχνότητες, η γραμμή μετάδοσης που συνδέει τον πομπό ή τον δέκτη με την κεραία είναι μικρή. Μικρή στη θεωρία κεραίας σημαίνει πάντα "σε σχέση με ένα μήκος κύματος". Ως εκ τούτου, τα 5 μέτρα μπορεί να είναι μικρά ή πολύ μεγάλα, ανάλογα με τη συχνότητα στην οποία λειτουργεί η κεραία. Στα 60 Hz, το μήκος κύματος είναι περίπου 3100 μίλια, επομένως η γραμμή μετάδοσης μπορεί σχεδόν πάντα να παραμεληθεί. Ωστόσο, στα 2 GHz, το μήκος κύματος είναι 15 cm, επομένως το μικρό μήκος της γραμμής μέσα στο κινητό σας μπορεί συχνά να θεωρηθεί «μακριά γραμμή». Βασικά, εάν το μήκος της γραμμής είναι μικρότερο από το ένα δέκατο του μήκους κύματος, θεωρείται εύλογα μια μικρή γραμμή.

Έστω μια κεραία (η οποία αντιπροσωπεύεται ως μια αντίσταση που δίνεται από το Z_A) συνδεδεμένη σε μια πηγή τάσης (μεγέθους V) με σύνθετη αντίσταση πηγής που δίνεται από το Z_S . Το ισοδύναμο κύκλωμα αυτού φαίνεται στην Εικόνα 10.



Εικόνα 11: Μοντέλο κυκλώματος κεραίας συνδεδεμένης σε πηγή τάσης.

Από τη θεωρία του κυκλώματος, ότι $P=I \cdot V$, οπότε η ισχύς που παρέχεται στην κεραία είναι:

$$P_A = \frac{V^2 \cdot Z_A}{(Z_A + Z_S)^2}$$

Εικόνα 12: η ισχύς που παρέχεται στην κεραία

Εάν το Z_A είναι πολύ μικρότερο σε μέγεθος από το Z_S , τότε δεν θα παραδοθεί ισχύς στην κεραία και δεν θα εκπέμπει ούτε θα λαμβάνει ενέργεια. Εάν το Z_A είναι πολύ μεγαλύτερο σε μέγεθος από το Z_S , τότε δεν θα παραδοθεί επίσης ισχύς. Για να μεταφερθεί μέγιστη ισχύς από τη γεννήτρια στην κεραία, η ιδανική τιμή για την αντίσταση της κεραίας δίνεται από τη σχέση:

$$Z_A = Z_S^*$$

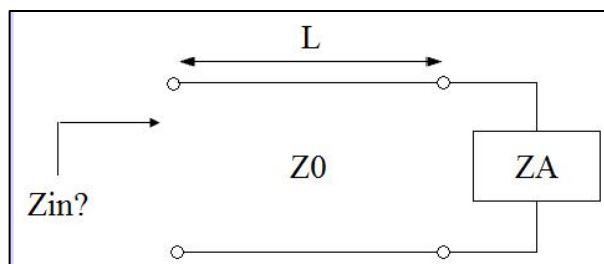
Εικόνα 13: η ιδανική τιμή για την αντίσταση της κεραίας

Το * στην παραπάνω εξίσωση αντιπροσωπεύει μιγαδικό συζυγές. Αν λοιπόν $Z_S=30+j*30$ ohms, τότε για μέγιστη μεταφορά ισχύος η κεραία πρέπει να έχει αντίσταση $Z_A=30-j*30$ ohms. Τυπικά, η σύνθετη αντίσταση της πηγής είναι πραγματική (το φανταστικό μέρος ισούται με μηδέν), οπότε η μέγιστη μεταφορά ισχύος συμβαίνει όταν $Z_A=Z_S$.

Ως εκ τούτου, για να λειτουργεί σωστά μια κεραία, η σύνθετη αντίστασή της δεν πρέπει να είναι πολύ μεγάλη ή πολύ μικρή. Αποδεικνύεται ότι αυτή είναι μια από τις θεμελιώδεις παραμέτρους σχεδιασμού για μια κεραία και δεν είναι πάντα εύκολο να σχεδιάσετε μια κεραία με τη σωστή αντίσταση - ιδιαίτερα σε ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων.

Όσον αφορά την υψηλή συχνότητα, αυτό το τμήμα θα είναι λίγο πιο προχωρημένο. Στη θεωρία των κυκλωμάτων χαμηλής συχνότητας, τα καλώδια που συνδέουν τα πράγματα δεν έχουν σημασία. Για παράδειγμα, ένα βραχυκύκλωμα έχει σύνθετη αντίσταση μηδέν ohms. Ωστόσο, εάν η σύνθετη αντίσταση μετρηθεί στο τέλος μιας γραμμής μετάδοσης ενός κύματος $\lambda/4$, η σύνθετη αντίσταση φαίνεται να είναι άπειρη, παρόλο που υπάρχει μια διαδρομή αγωγιμότητας συνεχούς ρεύματος.

Γενικά, η γραμμή μετάδοσης θα μεταμορφώσει την αντίσταση μιας κεραίας, καθιστώντας πολύ δύσκολη την παροχή ισχύος, εκτός εάν η κεραία ταιριάζει με τη γραμμή μετάδοσης. Η σύνθετη αντίσταση πρέπει να μετρηθεί στο άκρο μιας γραμμής μετάδοσης (με χαρακτηριστική σύνθετη αντίσταση Z_0) και το μήκος L . Το άκρο της γραμμής μετάδοσης είναι αγκιστρωμένο σε μια κεραία με σύνθετη αντίσταση Z_A .



Εικόνα 14: Παράδειγμα υψηλής συχνότητας.

Εάν η κεραία ταιριάζει με τη γραμμή μετάδοσης ($Z_A=Z_0$), τότε η είσοδος παρεμποδίζεται δεν εξαρτάται από το μήκος της γραμμής μεταφοράς. Αυτό κάνει τα πράγματα πολύ πιο απλά. Εάν η κεραία δεν ταιριάζει, η σύνθετη αντίσταση εισόδου θα ποικίλλει ευρέως ανάλογα με το μήκος της γραμμής μετάδοσης. Και αν η σύνθετη

αντίσταση εισόδου δεν είναι καλά προσαρμοσμένη στην αντίσταση της πηγής, δεν θα παραδοθεί πολύ μεγάλη ισχύς στην κεραία. Αυτή η ισχύς καταλήγει να αντανακλάται πίσω στη γεννήτρια, κάτι που μπορεί να είναι πρόβλημα από μόνο του (ειδικά εάν μεταδίδεται υψηλή ισχύς). Αυτή η απώλεια ισχύος είναι γνωστή ως αναντιστοιχία σύνθετης αντίστασης. Ως εκ τούτου, η ύπαρξη μιας συντονισμένης αντίστασης για μια κεραία είναι εξαιρετικά σημαντική. Για περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τις γραμμές μεταφοράς, ανατρέξτε στον οδηγό γραμμής μεταφοράς.

Η σύνθετη αντίσταση μιας κεραίας είναι σημαντική για την ελαχιστοποίηση της απώλειας σύνθετης αντίστασης-αναντιστοιχίας. Μια κακώς προσαρμοσμένη κεραία δεν εκπέμπει ισχύ. Αυτό μπορεί να μετριαστεί κάπως μέσω της αντιστοίχισης σύνθετης αντίστασης, αν και αυτό δεν λειτουργεί πάντα σε επαρκές εύρος ζώνης (το επόμενο θέμα είναι το εύρος ζώνης) (antenna-theory. Antenna Impedance).

Ένα κοινό μέτρο για το πόσο καλά ταιριάζει η κεραία με τη γραμμή μετάδοσης ή τον δέκτη είναι γνωστός ως λόγος τάσης στάσιμων κυμάτων (Voltage Standing Wave Ratio- VSWR). Το VSWR είναι ένας πραγματικός αριθμός που είναι πάντα μεγαλύτερος ή ίσος του 1. Ένα VSWR 1 υποδεικνύει καμία απώλεια αναντιστοιχίας (η κεραία ταιριάζει απόλυτα με τη γραμμή tx). Οι υψηλότερες τιμές του VSWR υποδεικνύουν μεγαλύτερη απώλεια αναντιστοιχίας.

Ως παράδειγμα κοινών τιμών VSWR, ένα VSWR 3,0 υποδηλώνει ότι περίπου το 75% της ισχύος παρέχεται στην κεραία (1,25 dB απώλειας ασυμφωνίας). ένα VSWR 7,0 υποδηλώνει ότι το 44% της ισχύος παρέχεται στην κεραία (3,6 dB απώλειας ασυμφωνίας). Ένα VSWR 6 ή περισσότερο είναι αρκετά υψηλό και γενικά θα πρέπει να βελτιωθεί.

Η παράμετρος VSWR ακούγεται σαν μια υπερβολικά περίπλοκη ιδέα. Ωστόσο, η ισχύς που ανακλάται από μια κεραία σε μια γραμμή μεταφοράς παρεμβαίνει στην ισχύ που οδηγεί προς τα εμπρός - και αυτό δημιουργεί ένα κύμα στάσιμης τάσης - το οποίο μπορεί να εκτιμηθεί αριθμητικά από την ποσότητα του Λόγου Σταθερών Κυμάτων Τάσης (VSWR)

Πιο αναλυτικά, το VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) Το Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) αντιπροσωπεύει το πόσο αποτελεσματικά μεταδίδεται η ισχύς ραδιοσυχνότητων από μια πηγή ισχύος μέσω μιας γραμμής μετάδοσης σε ένα φορτίο, όπως ένας ενισχυτής ισχύος προς μια κεραία.

Σε ένα ιδανικό σύστημα, όπου όλες οι αντιστάσεις είναι ακριβώς αντιστοιχισμένες, μεταδίδεται το 100% της ενέργειας, απαιτώντας ακριβή αντιστοίχιση της πηγής, της γραμμής μετάδοσης και του φορτίου. Στην πραγματικότητα, λανθασμένες αντιστάσεις προκαλούν ανακλάσεις, και η ανακλαστική ισχύς επιστρέφει προς την πηγή, προκαλώντας κορυφές και κοίλα στην τάση κατά μήκος της γραμμής.

Το VSWR μετρά αυτές τις διακυμάνσεις τάσης και είναι ο λόγος της υψηλότερης τάσης σε σχέση με τη χαμηλότερη κατά μήκος της γραμμής μετάδοσης. Σε ένα ιδανικό σύστημα χωρίς ανακλάσεις, το VSWR είναι 1,0 (ή 1:1). Όταν υπάρχουν ανακλάσεις, το VSWR αυξάνεται, π.χ. 1,2 (ή 1,2:1), ενδεικτικό της υψηλότερης τάσης λόγω των ανακλάσεων.

Μαθηματικά, το VSWR είναι ο λόγος τάσης του σήματος στη γραμμή μεταφοράς, δηλαδή ισχύει $VSWR = |V(max)| / |V(min)|$, όπου $V(max)$ είναι η μέγιστη τάση του σήματος κατά μήκος της γραμμής και $V(min)$ είναι η ελάχιστη τάση κατά μήκος της γραμμής.

Μπορεί επίσης να προκύψει από τις σύνθετες αντιστάσεις: $VSWR = (1+\Gamma)/(1-\Gamma)$, όπου Γ είναι ο συντελεστής ανάκλασης τάσης κοντά στο φορτίο, που προκύπτει από την σύνθετη αντίσταση φορτίου (Z_L) και την αντίσταση πηγής (Z_0): $\gamma = (Z_L - Z_0)/(Z_L + Z_0)$. Εάν το φορτίο και η γραμμή μεταφοράς ταιριάζουν, $\gamma = 0$ και $VSWR = 1,0$ (ή 1:1) (electronics-notes, 2022).

Για να σχεδιαστεί μια κεραία πρέπει να κατανοήσουμε τα βασικά στοιχεία των κεραιών, που είναι οι θεμελιώδεις παράμετροι που χαρακτηρίζουν μια κεραία. Στο πλαίσιο αυτό, ξεκινάμε με μια συχνότητα και θα ξεπεράσουμε τα μοτίβα ακτινοβολίας, την κατευθυντικότητα και το κέρδος, και τελικά θα κλείσουμε με μια εξήγηση για το γιατί οι κεραίες ακτινοβολούν.

1. Συχνότητα

Τα βασικά των ημιτονοειδών (ημιτονοειδή και συνημιτονοειδή κύματα), το μήκος κύματος, τη συχνότητα και την ταχύτητα του φωτός.

2. Ζώνες συχνοτήτων.
3. Μοτίβο ακτινοβολίας

Υπάρχουν τρισδιάστατα γραφήματα πραγματικών μοτίβων ακτινοβολίας κεραίας, με συζήτηση για ισοτροπικά, πανκατευθυντικά και κατευθυντικά μοτίβα ακτινοβολίας. Τα μοτίβα ακτινοβολίας είναι υψίστης σημασίας στη συζήτηση των βασικών στοιχείων της κεραίας.

4. Περιοχές Πεδίου

Η εισαγωγή στις κεραίες συνεχίζεται με μια συζήτηση για τις Περιοχές Πεδίου. Παρουσιάζονται οι περιοχές Μακρινού Πεδίου, Κοντού Πεδίου και Φρέσνελ για μια κεραία.

5. Κατευθυντικότητα

Η κατευθυντικότητα είναι θεμελιώδης για τις κεραίες. Είναι ένα μέτρο του πόσο «κατευθυντικό» είναι το μοτίβο ακτινοβολίας μιας κεραίας.

6. Απόδοση κεραίας

Η απόδοση μιας κεραίας είναι ένα μέτρο της ποσότητας ισχύος που ακτινοβολείται από την κεραία σε σχέση με την ισχύ εισόδου της κεραίας.

7. Κέρδος κεραίας

Το κέρδος κεραίας είναι ένα μέτρο της ισχύος που ακτινοβολείται σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση (συνήθως η διεύθυνση κορυφής της ακτινοβολίας).

8. Beamwidths και Sidelobes

Το μοτίβο ακτινοβολίας μιας κεραίας στο μακρινό πεδίο χαρακτηρίζεται συχνά από το πλάτος της δέσμης και τα επίπεδα πλευρικού λοβού. Αυτή η εισαγωγή στις κεραίες το επεξηγεί με ένα παράδειγμα.

9. Αντίσταση

Η σύνθετη αντίσταση κεραίας παρουσιάζεται ως ο λόγος της τάσης προς το ρεύμα στους ακροδέκτες της κεραίας. Παρουσιάζονται μοντέλα χαμηλής και υψηλής συχνότητας για γραμμές μεταφοράς. Οι θεμελιώδεις αρχές της θεωρίας της κεραίας απαιτούν η κεραία να είναι «ταιριασμένη με την αντίσταση» στη γραμμή μετάδοσης, διαφορετικά η κεραία δεν θα ακτινοβολεί. Η έννοια του VSWR εισάγεται ως μέτρο του πόσο καλά ταιριάζει μια κεραία.

10. Εύρος ζώνης

Το εύρος ζώνης μιας κεραίας είναι το εύρος συχνοτήτων πάνω από το οποίο ακτινοβολεί η κεραία. Το εύρος ζώνης μπορεί να οριστεί με διαφορετικούς τρόπους. Αυτή η σελίδα παρουσιάζει μια εισαγωγή στο εύρος ζώνης κεραίας.

11. Πόλωση κυμάτων

Όλα τα ηλεκτρομαγνητικά επίπεδα κύματα έχουν μια σχετική πόλωση. Παρουσιάζονται οι έννοιες της κεραίας της Γραμμικής, Κυκλικής και Ελλειπτικής Πόλωσης.

12. Πόλωση Κεραίων

Οι κεραίες ταξινομούνται επίσης με βάση την πόλωσή τους. Αυτό καθορίζει τον τύπο της πόλωσης επίπεδων κυμάτων στην οποία είναι πιο ευαίσθητη η κεραία. Αυτή είναι μια θεμελιώδης ιδέα κεραίας.

13. Αποτελεσματικό διάφραγμα

Το ενεργό διάφραγμα είναι μια βασική ιδέα κεραίας που είναι ένα μέτρο της ισχύος που συλλαμβάνει μια κεραία από ένα επίπεδο κύμα. Το ενεργό διάφραγμα μπορεί να εκφραστεί ως συνάρτηση του κέρδους της κεραίας και του μήκους κύματος ενδιαφέροντος.

14. Εξίσωση μετάδοσης Friis

Ο τύπος μετάδοσης Friis είναι η πιο θεμελιώδης εξίσωση της θεωρίας της κεραίας. Αυτή η εξίσωση συσχετίζει την ισχύ εκπομπής, τα κέρδη κεραίας, την απόσταση και το μήκος κύματος με τη λαμβανόμενη ισχύ. Θερμοκρασία κεραίας

Η θερμοκρασία κεραίας είναι μια ιδιότητα μιας κεραίας και του περιβάλλοντος στο οποίο λειτουργεί. Είναι ένα μέτρο του θορύβου που λαμβάνεται από την κεραία λόγω των θερμικών (ή θερμοκρασιακών) επιδράσεων (Antenna-Theory- Antenna Basics).

2.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗΣ

4.1. Κατασκευή του κυματοδηγού κυλίνδρου- κεραιών (Con).

Η κατασκευή της κεραιάς έγινε με την κατασκευή κυματοδηγού κυλίνδρου. Επιλέχθηκε να κατασκευαστεί κεραιά για 2,442 GHz ή κανάλι 7, καθώς βρίσκεται κοντά στο κέντρο διαθέσιμων καναλιών.

Το τελικό προϊόν χρειάζεται μόνο να είναι ακριβές σε περίπου 1 χιλιοστό, καθώς αυτό θα μετατοπίσει τη συχνότητα μόνο εντός του εύρους του φάσματος 802.11. Ένα μικρότερο μήκος κοιλότητας θα μετατοπίσει την απόκριση συχνότητας σε αυτήν την υποδοχή σε ένα υψηλότερο κανάλι. Το μεγαλύτερο μήκος της κοιλότητας της υποδοχής θα το μετατοπίσει προς τα κάτω.

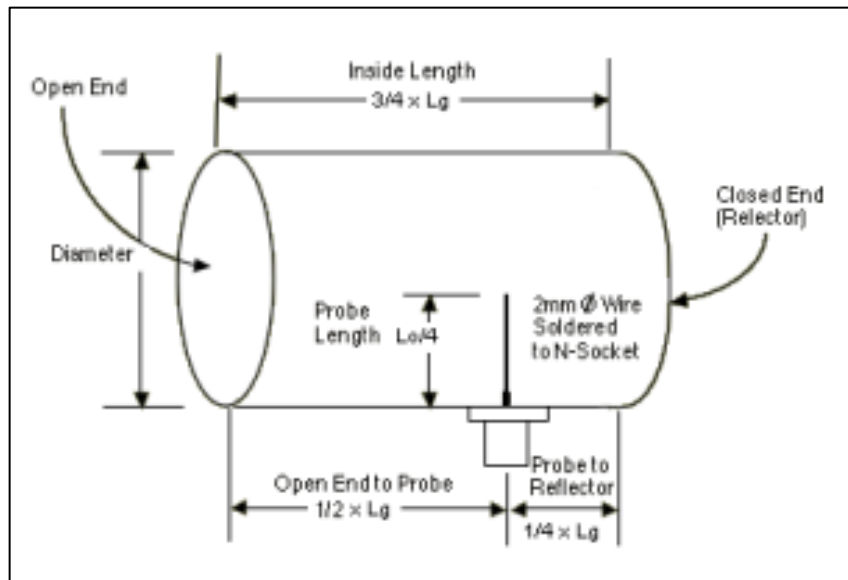
Αρχικά, μετρήθηκε με ψηφιακό παχύμετρο ακριβείας 0,005 χιλιοστών, με την υπόθεση ότι τα σφάλματα στην κοπή μπορεί να το φέρουν πιο κοντά στο όριο σφάλματος 1 mm.

Frequency	2.442	GHz
Diameter	82	mm (Inside Measurement)
Free Space Wavelength	122.7	mm
Waveguide Wavelength	256.2	mm
Max Frequency	2.611	GHz
Min Frequency	2.284	GHz
Cut Off Frequency	2.144	GHz
Probe Length	30.7	mm
Open End to Probe	128.1	mm (Open End to probe center)
Probe to Reflector	64.1	mm (Probe center to Reflector)
Inside Length	192.2	mm (Reflector to Opening)

Εικόνα 15: Λεπτομέριες στην Κατασκευή της Κεραιάς

Κατά την κατασκευή, πραγματοποιήθηκαν επιπλέον τα κάτωθι:

- Ο ακροδέκτης του κυματοδηγού είναι ένα χάλκινο σύρμα διαμέτρου 2,6 mm, συγκολλημένο σε N-connector και κομμένο στα 31 mm: [1/4] N-connector.
- Ο N-connector έχει κολληθεί ώστε να μην χρησιμοποιηθούν βίδες και να μην προεξέχουν της κοιλότητας της κεραίας (wikarekare.org).



Εικόνα 16: Διαγραμματική απεικόνιση της κυλινδρικής κατασκευής

4.1.2 Καντένα Wi-Fi (2,4 GHz)

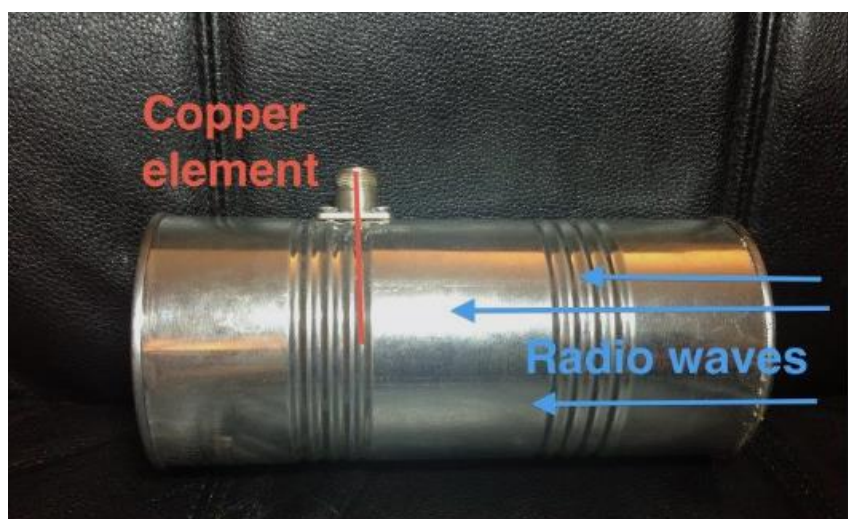
Για να ενισχυθεί το σήμα του Wi-Fi δημιουργήθηκε μια Cantantenna- antenna η οποία μπορεί να λειτουργεί παράλληλα με έναν δρομολογητή που διαθέτει εξωτερικές κεραίες, όπως το κλασικό WRT54G.

Απαιτήσεις για την πορεία της διαδικασίας:

1. Υλικά
 - Jammer
2. Εργαλεία
 - Άδειο κουτάκι αλουμινίου παρόμοιου μεγέθους
 - Θηλυκός σύνδεσμος N, βάση πλαισίου
 - Καλώδιο N-male σε PR-SMA- male
 - Χαλκός 2,6mm

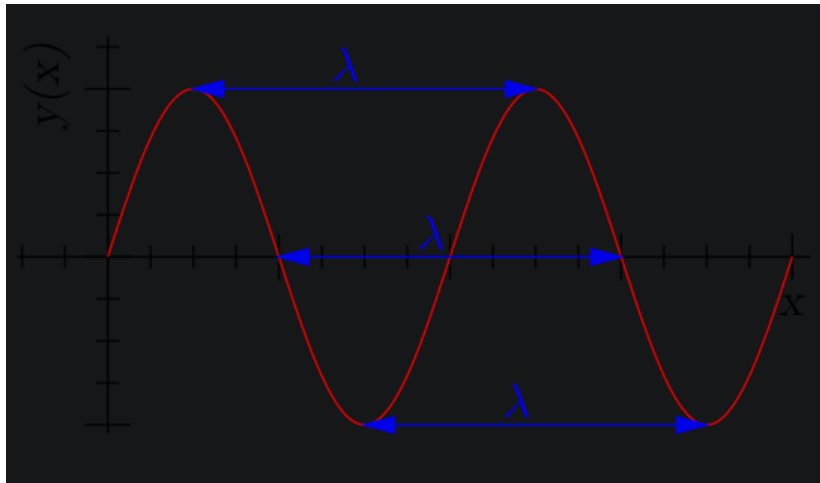
- Κολλητήρι (ένα λεπτό άκρο με χαμηλότερη θερμότητα λειτουργεί καλύτερα)
- Κόλλα μετάλλων
- Ψηφιακό παχύμετρο
- Μέτρο
- Ανοιχτήρι κονσέρβας για να αφαιρεθεί το καπάκι

Όσον αφορά τη λειτουργία της καντένας αρχικά περιγράφεται ο οδηγός κύματος. Το αλουμινένιο κουτί μπορεί να λειτουργεί ως μέσο για την καθοδήγηση των ραδιοκυμάτων. Τα ραδιοκύματα θα «καθοδηγηθούν» στο κουτί και θα αλληλεπιδράσουν με το στοιχείο κυματοδηγού, το οποίο στέλνει ένα σήμα και στη συνέχεια στον υπολογιστή ή τον δρομολογητή.



Εικόνα 17: Απεικόνιση της κεραίας από το αλουμινένιο κουτί, που χρησιμοποιήθηκε ως οδηγός για την κατασκευή των κεραίων. Με κόκκινα γράμματα απεικονίζεται το χάλκινο στοιχείο (Copper element) και με μπλε τα ραδιοκύματα (Radio waves).

Οι διαστάσεις του αλουμινένιου κουτιού μπορεί να έχει σημασία. Αυτό έχει συμβαίνει για κάθε ραδιοσυχνότητα έχει διαφορετικό μήκος κύματος. Το μήκος κύματος ενός σήματος είναι η ταχύτητα του κύματος διαιρούμενη με τη συχνότητα. Η ταχύτητα είναι ο ρυθμός με τον οποίο το κύμα αλλάζει θέση. Η συχνότητα είναι πόσα κύματα μπορούν να παραχθούν σε x χρονικό διάστημα. Το μήκος κύματος θα είναι η απόσταση μεταξύ κάθε κύματος που παράγεται.



Εικόνα 18: Διαγραμματική απεικόνιση της συχνότητας σε σχέση με τα μήκη κύματος που παράγονται.

Το μέγεθος έχει σημασία καθώς πρέπει ορισμένα κύματα να «πιαστούν» στο κουτί αλουμινίου. Αν τα κύματα είναι πολύ μεγάλα, σε σχέση με το κουτί, δεν θα πιαστούν πολλά ή απλώς θα χωριστούν. Εάν ταιριάζει τέλεια το μέγεθος των κυμάτων για να χωρέσουν μέσα στο δοχείο, θα συλληφθεί το μεγαλύτερο μέρος από το ασύρματο σήμα. Για να μάθουμε το σωστό μέγεθος του κουτιού, πρέπει να κάνουμε κάποια μαθηματικά.

Στη συνέχεια περιγράφονται οι οδηγίες που ακολουθήθηκαν για τις διαστάσεις της καντένας. Υπάρχουν μερικές βασικές οδηγίες που πρέπει να ακολουθηθούν για την κατασκευή μιας καντένας Το μήκος του δοχείου πρέπει να είναι μεγαλύτερο από τα 3/4 του μήκους κύματος.

- Η διάμετρος του δοχείου πρέπει να είναι μεγαλύτερη από το 1/2 του μήκους κύματος.
- Το χάλκινο στοιχείο πρέπει να είναι περίπου το 1/4 του μήκους κύματος.
- Το μονόπολο πρέπει να απέχει x χιλιοστά από το πίσω μέρος του δοχείου– αυτό βασίζεται στη συνολική διάμετρο του δοχείου.

Ο υπολογισμός των διαστάσεων της καντένας έγινε βάση μιας ηλεκτρονικής αριθμομηχανής, όπου είναι ενσωματωμένος ο τύπος για τον υπολογισμό του μήκους κύματος. Πρώτον, είναι σημαντικό να γνωρίζουμε ότι τα ραδιοκύματα ταξιδεύουν με την ταχύτητα του φωτός, η οποία είναι περίπου $c = 3 \times 10^8$ m/s (η ακριβής ταχύτητα είναι 299.792.458 m/s).

$$\text{Μήκος κύματος (m)} \approx \text{Ταχύτητα κύματος (m/s)} / \text{Συχνότητα (GHz)}$$

$$w = v / f$$

$$\text{Οπότε: } w = 300 \text{ Mm} / 2,437 \text{ GHz. Άρα } w = 123,102175$$

Αφού υπολογίσαμε το μήκος κύματος για τη ραδιοσυχνότητά μας, ακολούθησαν οι υπολογισμοί που σχετίζονται με τις διαστάσεις του κουτιού με βάση τις οδηγίες που αναφέρθηκαν προηγουμένως.

Το φάσμα των 2,4 GHz δεν περιορίζεται μόνο σε αυτή τη συχνότητα 2,4 GHz, αλλά μεταξύ 2,401- 2,483 GHz, ήτη 82 GMHz. Αν και αυτό μπορεί να μην φαίνεται πολύ, αν έχετε αλλάξει ποτέ το κανάλι των ασύρματων δρομολογητών σας για να λάβετε καλύτερο σήμα, ξέρετε ότι κάνει τη διαφορά.

Δημιουργία Καντένας- Αναλυτικά Βήματα

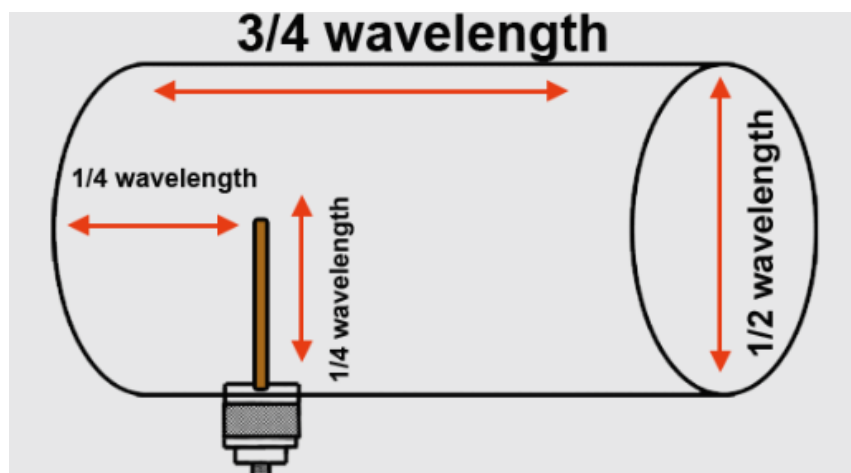
Διαστάσεις για το δοχείο: Το μέγεθος του κουτιού θα κάνει τη διαφορά στην ποιότητα του σήματος. Οι διαστάσεις υπολογίστηκαν όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Για να μετατραπεί το δοχείο σε καντένα ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

1.Καθαρισμός στο δοχείο:

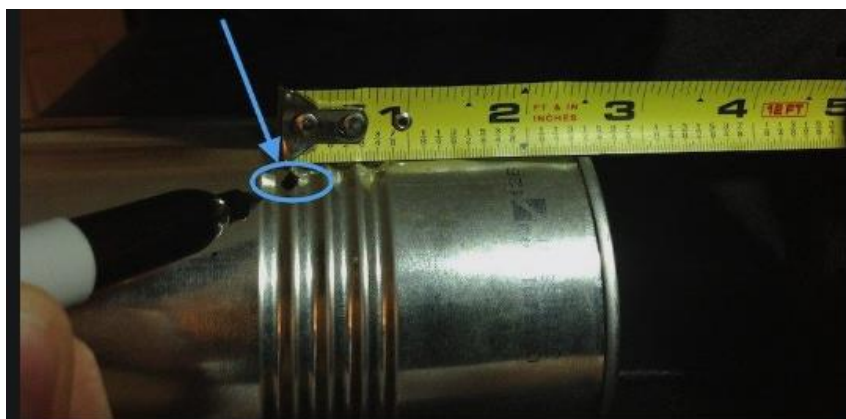
- καθαρισμός του κουτιού
- αφαίρεση του καπακιού
- αφαίρεση της ετικέτας του κουτιού

2. Προετοιμασία του δοχείο για τον σύνδεσμο N

- Μέτρηση ~ 61,6 mm cm από το πίσω μέρος του κουτιού.
- Σημείωση: Αυτή θα είναι η θέση του ακροδέκτη της κεραίας.

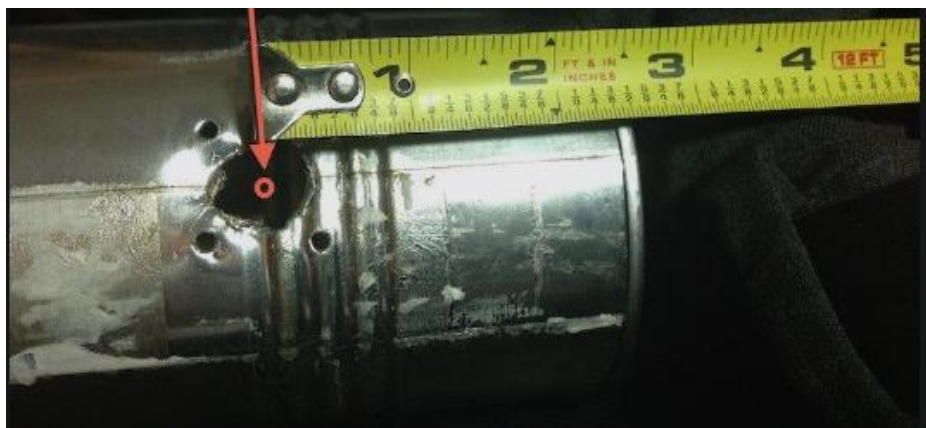


Εικόνα 19: Οι διαστάσεις της καντένας.



Εικόνα 20: Μέτρηση της θέσης του δείκτη.

- Άνοιγμα μιας τρύπας στο δοχείο- επιβεβαίωση ότι το κέντρο του κύκλου ευθυγραμμίζεται με την παραπάνω μέτρηση.



Εικόνα 21: σημείο όπου θα τοποθετηθεί το χάλκινο στοιχείο.

- Κόψιμο του στοιχείου χαλκού σε συγκεκριμένο μέγεθος.
- Κόψιμο ενός χάλκινου στοιχείου διαμετρήματος 1 mm περίπου 30,7 mm.

Χρησιμοποιώντας ένα κολλητήρι θερμαίνουμε τον N-connector προσέχοντας να μην λιώσει η πλαστική μόνωση. Κολλάμε το χάλκινο ακροδέτη της κεραίας.

3. Συγκόλληση του Χάλκινου Στοιχείου στον σύνδεσμο N

Προσοχή: Προσέξτε να μην λιώσει το πλαστικό που περιέχεται στον σύνδεσμο N. Λιώνει εύκολα, γι' αυτό θα πρότεινα να χρησιμοποιήσετε ένα κολλητήρι που έχει χαμηλότερη θερμοκρασία και λεπτό άκρο.

4. Σύνδεση του βύσματος N στο δοχείο

Μόλις ολοκληρωθεί ο σύνδεσμος N, αυτός τοποθετείται στο δοχείο χρησιμοποιώντας τις τέσσερις βίδες.

5. Βίδωμα του βύσματος N στο δοχείο

6. Σύνδεση με πλαστικές βίδες καθώς δεν παρεμβάλουν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Επίσης, κολλήθηκαν με κόλλα στον κυματοδηγό. σ

Στο στάδιο αυτό, η καντένα έχει σχεδόν τελειώσει και χρειάζεται απλώς να συνδεθεί το καλώδιο pigtail από την καντένα σε έναν ασύρματο δρομολογητή στις εξόδους των πομπών του jammer. Ο δρομολογητής ή το dongle πρέπει να έχουν αφαιρούμενη κεραία.



Εικόνα 22: Η cantenna με το pigtail.

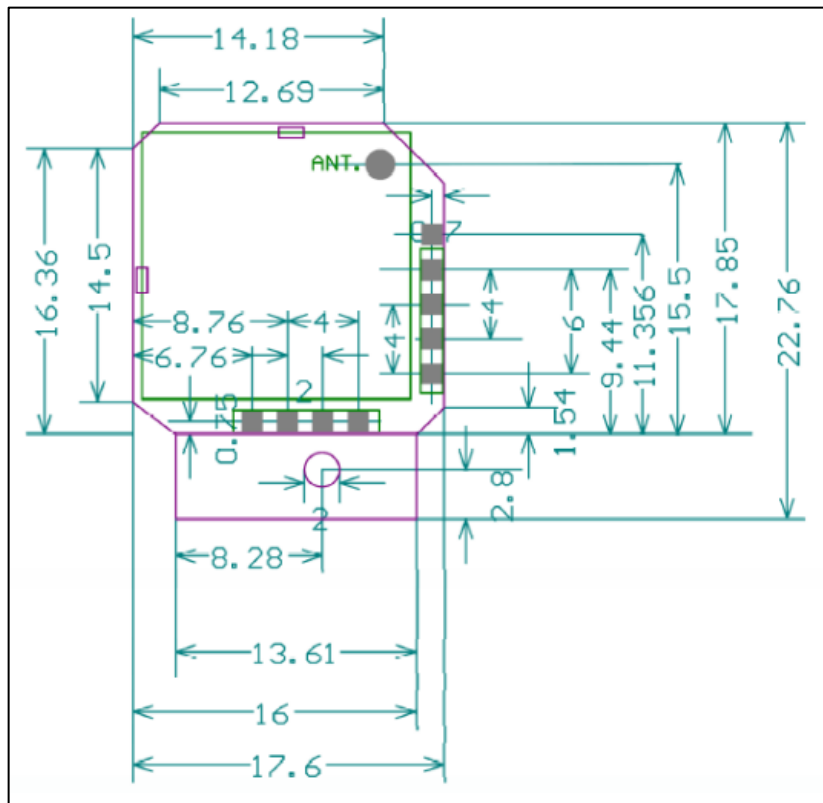
7. Κοπή χάλκινου ακροδέκτη 30,7 mm
8. Κόλληση ακροδέκτη- N- connector
9. Κόλληση κουτιού με την cantenna.

4.2. Κατασκευή Jammer με τη χρήση TX6729-D01

Το TX6729 αποτελεί ένα τσιπ υψηλής απόδοσης, με σταθερή και εύκολη χρήση και μπορεί να εφαρμοστεί καλά με ασύρματη σύνδεση βίντεο μικρής εμβέλειας. Το TX6729-4 αποτελεί ανεξάρτητο κανάλι εργασίας, μέσω του εξωτερικού καντράν που μπορεί εύκολα να αλλάξει μεταξύ διαφορετικών καναλιών λειτουργίας.

Σε μια απλή εφαρμογή, απλά συνδέεται το καλώδιο τροφοδοσίας, ήχου, βίντεο που είναι συνδεδεμένο στην κεραία μετάδοση εικόνων και μουσικής, με την εταιρεία XLR2188 σε ανοιχτό πεδίο με απόσταση 150 μέτρα.

Όσον αφορά το μέγεθος της μονάδας:



Εικόνα 23: Οι μετρήσεις στο τσιπάκι.

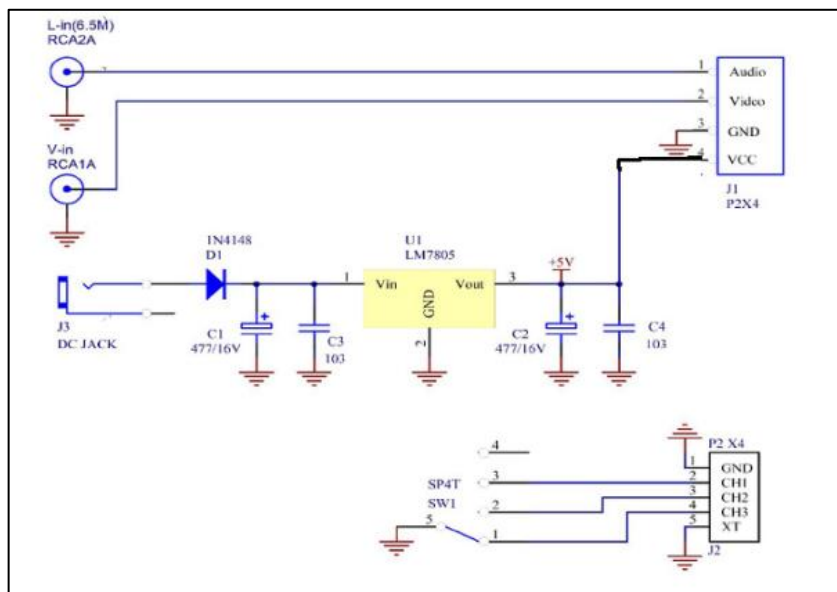
Όσον αφορά τη λειτουργία μονάδας, τα χαρακτηριστικά της περιλαμβάνουν 2.4G Broadband FM πομπό συγχρονισμού ήχου και βίντεο, Εσωτερικό PLL με υψηλή σταθερότητα, χαμηλή διαρροή ακαταστασίας, απευθείας είσοδο σημάτων ήχου και εικόνας, εκκίνηση τεσσάρων καναλιών.

Οι εφαρμογές της περιλαμβάνουν VCD / DVD / DVB Ασύρματη μετάδοση ήχου / βίντεο, Οθόνες, βρίσκουν χρήση στον Οικιακό αυτοματισμό και τα Σύστημα Μεταφοράς Ασφαλείας, εφαρμόζονται στην παρακολούθηση εικόνας σε πραγματικό χρόνο, στην εύρεση της τοποθεσίας PSP, στο Ασύρματο βίντεο πάρκινγκ, στην Ασύρματη θυροτηλεόραση.

Επιπλέον, διαθέτει και συγκεκριμένα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά. Οι συνθήκες δοκιμής περιλαμβάνουν τη θερμοκρασία περιβάλλοντος στους 25 °C, την τάση εισόδου βίντεο 1,0 V_{p-p}, 150 (IRE) και την τάση εισόδου ήχου: 1,0V_{p-p}, ενώ το σήμα ημιτονοειδούς κύματος είναι 1KHz.

Τέλος, στο κύκλωμα εφαρμογής (ΕΙΚΟΝΑ 17) πρέπει να δοθεί προσοχή στα παρακάτω:

- Στατικός ηλεκτρισμός:
Συσκευές ασύρματης μονάδας- ηλεκτροστατικά ευαίσθητες, χρειάζεται ηλεκτροστατική προστασία, ειδικά τον ξηρό χειμώνα. Δεν πρέπει να γίνει προσπάθεια αφαίρεσης των συσκευών αφής στη μονάδα, ώστε να αποφεύγετε περιττή ζημιά.
- Τροφοδοτικό:
Η ασύρματη μονάδα συνιστάται να χρησιμοποιεί ένα μικρό κυματιστό τροφοδοτικό DC, η τάση λειτουργίας συνιστάται εργασίες 5V. Το έδαφος πρέπει να είναι σταθερό, γενικά όσο το δυνατόν πιο κοντά στη γείωση ισχύος. Ως μεταχειρισμένο τροφοδοτικό μεταγωγής, πρέπει να περιλαμβάνει ενισχυμένη αποσύνδεση για να αποφευχθεί η αλλαγή των αιχμών και τα χαρακτηριστικά λειτουργίας κυματισμού που επηρεάζουν την τροφοδοσία της μονάδας.
- Δοκιμαστικό Test.
Μονάδες που χρησιμοποιούνται κεραίες τύπου 1/4 κυμάτων, κεραίες αυτές είναι ευάλωτες σε κρούση εξωτερικής γραμμής.



Εικόνα 24: Διαγραμματική Απεικόνιση του Κυκλώματος Εφαρμογής

4.4. Κατασκευή Jammer

Η Radio jamming είναι η σκόπιμη εμπλοκή, η παρεμπόδιση ή η παρεμβολή στις ασύρματες επικοινωνίες. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι παρεμβολές λειτουργούν με τη μετάδοση ραδιοσημάτων που διακόπτουν τις επικοινωνίες μειώνοντας την

αναλογία σήματος προς θόρυβο. Είναι δηλαδή η ασύρματη ηλεκτρομαγνητική επικοινωνία που οδηγεί στην παρεμπόδιση των ασύρματων επικοινωνιών.

Τα στοιχεία, τα οποία συμμετέχουν στο σήμα εμπλοκής ενός jammer, είναι:

- ένας διεγέρτης -exciter
- ένας πολυπλέκτης- multiplexer
- ένας ενισχυτής- amplifier
- ένα φίλτρο- filter
- μία κεραία- antenna.

Για τη συγκεκριμένη έρευνα δημιουργήσαμε το δικό μας παρεμβολέα WI-FI χρησιμοποιώντας πομπούς AV 2,4 GHz, όπου ο καθένας πομπός εμπίπτει σε ένα κανάλι.

Χρησιμοποιήθηκαν 4 πομποί AV και λειτουργούν σε φάσμα 2,4 GHz και προστέθηκαν μερικά μικρά jumpers για να επιλεγθεί το κανάλι στο οποίο θα εκπέμπει και υπάρχουν 4 κανάλια.

Επίσης, χρησιμοποιείται ένα jumper κάθε λεπτό για μετάδοση στο κανάλι 1 και άρρωστος ρίξτε μια ματιά σε αυτό σε ένα δευτερόλεπτο. Υπάρχουν επίσης καλώδια θετική γείωση. Έχουν τοποθετηθούν δύο βραχυκυκλωτήρες που κανονικά θα κολλούσατε για το σήμα βίντεο και τον ήχο. Υπάρχει και ένα καντράν, που δεν έχει ζυγοστάθμιση ή γείωση και στις προδιαγραφές έχουν απόσταση λειτουργίας εκπομπής γύρω στα 15 τετραγωνικά μέτρα. Το χρησιμοποιήσαμε ως παρεμβολή για το φάσμα Wi-Fi των 2,4 GHz.

Χρησιμοποιήθηκε φορητός υπολογιστής με 2.4 αναλυτή και συνδέθηκε με ένα μικρό πομπό AV μέχρι το breadboard για να μπορεί να τοποθετηθεί ρεύμα σε αυτόν. Η λειτουργία τους είναι με τάση τουλάχιστον 3,3 βολτ μέχρι λίγο πάνω από 5 βολτ, οπότε θα λειτουργούν εύκολα με USB, κάνοντάς τα αρκετά ευέλικτα.

Στη συνέχεια θα χρησιμοποιηθεί μια μπαταρία, ώστε να λειτουργήσει στο κανάλι 1. Ενεργοποιείστε την ώστε να μπορείτε να βλέπετε κόκκινο, λαμβάνοντας τα κανάλια 1,2 ή 3.

Υπάρχει διαφορά μεταξύ παρεμβολής και πραγματικής εμπλοκής. Η διαφορά είναι εάν γίνεται επί τούτου- jamming, αλλά αν δεν γίνεται επίτηδες είναι παρεμβολή- interference.

Αρχικά χρησιμοποιήθηκε μια διπολική κεραία από το router η οποία από τη βάση έως και την προέκταση έχει μήκος 25 mm, ενώ και η ίδια η προέκταση έχει μήκος 25 mm. Η κεραία με αυτά τα χαρακτηριστικά έχει καλύτερο εύρος.

Απαιτούνται υλικά για την κατασκευή μιας από αυτές τις μικρές διπολικές κεραίες που θα χρειαζόταν κάποιο είδος μεταλλικού περιβλήματος για τη δημιουργία της εξωτερικής μας θήκης που είναι το πραγματικό τμήμα γείωσης της κεραίας, και το στοιχείο κίνησης μέρος της κεραίας χρησιμοποιήθηκε κάποιο καλώδιο φορητού υπολογιστή- Ένα καλώδιο LMR.

Επειδή προσπαθούμε να δημιουργήσουμε όσο το δυνατόν περισσότερο θόρυβο, ένα λιγότερο ποιοτικό καλώδιο δεν θα δημιουργούσε πρόβλημα. Άλλωστε θέλουμε να διαρρεύσει όσο το δυνατόν περισσότερο και να δημιουργήσουμε όσο το δυνατόν παρεμβολές βλέννας.

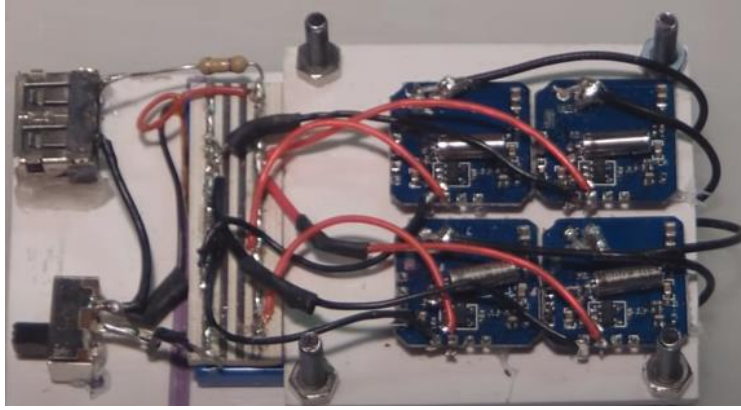
Πρώτα λοιπόν κόψαμε το μεταλλικό περίβλημα 25 χιλιοστά και πήραμε λίγο γυαλόχαρτο ώστε να καθαριστεί το χρωμιωμένο μέρος στο σημείο που έγινε το κόψιμο. Δεύτερον, πήραμε ένα καλώδιο μεγαλύτερο από αυτό που θα χρειαστούμε και το βάλαμε μέσα στη θήκη και το τέλος αυτό που θα μείνει έξω θα είναι το κινούμενο στοιχείο μας. Θέλουμε το κινούμενο στοιχείο μας να είναι χιλιοστά.

Τώρα το καλώδιο είναι εκτεθειμένο και αυτή η εξωτερική κλήση πρέπει να ωθηθεί προς τα πίσω για να δημιουργηθεί σαν μια μικρή σταγόνα εδώ. Τώρα πήραμε το μεταλλικό φύλλο και αυτό που κάναμε ήταν να το σπρώξουμε όλο πίσω. Στη συνέχεια, δουλέψαμε ανάποδα και τροφοδοτήσαμε τη συγκόλληση σε όλο τον εξωτερικό πυρήνα.

Τα αφήνουμε λίγο να πέσει η θερμοκρασία, ώστε να μην αυξηθεί πολύ από τις παράλληλες κινήσεις και λιώσει ο εσωτερικός πυρήνας που θα είναι το κινητό μας στοιχείο. Αν χρειαστεί να είναι πιο σφιχτό ενός συγκολλητικού σίδηρου. Στη συνέχεια, γίνεται έλεγχος περιμετρικά ώστε να διαπιστωθεί αν έχει αποκολληθεί λίγο, χωρίς να το κρατήσετε για μεγάλο χρονικό διάστημα, ώστε να μην ανέβει πολύ η θερμοκρασία.

Στο επόμενο στάδιο συνδυάζονται όλα τα στοιχεία παρέα. Το μόνο που χρησιμοποιήσαμε ήταν δύο επίπεδα κομμάτια από υαλοβάμβακα, σε μέγεθος πακέτου τσιγάρου. Στο πίσω μέρος αυτών τοποθετούμε τις κεραίες και στη συνέχεια τις αναποδογυρίζουμε. Επίσης χρησιμοποιήσαμε μια μπαταρία λιθίου τριών σημείων, επτά βολτ με σκοπό να δημιουργήσουμε το ενσωματωμένο κύκλωμα φόρτισης. Αυτό θα το χρησιμοποιήσουμε για να τροφοδοτήσουμε τις μονάδες μας.

Επίσης, χρησιμοποιήθηκαν μερικά μικρά δομοστοιχεία σε αυτή την πλακέτα και στερεώθηκαν οι μονάδες πάνω σε αυτό και προσθέσαμε ως διακόπτη για να μπορούμε να την ενεργοποιούμε και να την απενεργοποιούμε.



Εικόνα 25: Η δομή από την μπαταρία τα καλώδια και το PCB, από την πάνω όψη.

Στο στάδιο αυτό, το μπλοκάρισμα έχει σχεδόν τελειώσει και η καλωδίωση έχει φύγει, ενώ όλες οι μικρές μονάδες AV είναι πλέον καλωδιωμένες πηγαίνοντας στη ράγα που είναι κατασκευασμένη από τη λωρίδα PCB (ΕΙΚΟΝΑ 24).

Τα πρωτότυπα PCB επαναχρησιμοποιήθηκαν και δημιουργήθηκε μια παρτίδα κάθε τόσο και μπορώ να κολλήσω σε αυτά. Στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκε ένα κομμάτι από αυτό το κολλητικό διπλής όψης το οποίο κολλήθηκε πάνω από την μπαταρία και δημιουργήθηκε μια θετική ράγα από τη μία πλευρά και μια αρνητική ράγα από την άλλη πλευρά. Έτσι, όλα τα θετικά καλώδια και όλα τα αρνητικά καλώδια βρίσκονται πλέον συνδεδεμένα σε αυτήν τη ράγα.

Έχουμε την μπαταρία κάτω από το θετικό τρέχει κατευθείαν στη θετική ράγα σε όλους αυτούς τους πομπούς AV εδώ. Το αρνητικό σημείο στην μπαταρία τρέχει μέσω ενός καλωδίου στον διακόπτη ενώ υπάρχει ένα άλλο καλώδιο συνδεδεμένο σε την άλλη πλευρά της μπαταρίας που στη συνέχεια συνδέεται με την αρνητική ράγα, οπότε όταν ανοίξει ο διακόπτης κάνει μια επαφή και στη συνέχεια έχουμε ρεύμα προς τους πομπούς AV.

Έχω πάρει και σύνδεση USB απενεργοποιημένη και μια παλιά μητρική πλακέτα και πρέπει να την κόψουμε στη θέση της και θα τη χρησιμοποιήσουμε για να φορτίσουμε την μπαταρία λιθίου. Η μπαταρία λιθίου έχει το δικό της κύκλωμα προστασίας φόρτισης όπου τοποθετήθηκε αντίσταση 470 k ώστε η τάση να μειώνεται λίγο περισσότερο, οπότε η τάση είναι περίπου 4 βολτ. Έτσι, όλα τα στοιχεία του jammer βρίσκονται μαζί, σαν σάντουιτς (ΕΙΚΟΝΑ 25).



Εικόνα 26: Απεικόνιση του Jammer από την πλάγια όψη, όπου διακρίνονται όλα τα στοιχεία.



Εικόνα 27: Οι κεραίες είναι στο πίσω μέρος.

Χρησιμοποιήσαμε ένα άλλο κομμάτι σανίδας από πάνω για να προστατεύσουμε την καλωδίωση, αλλά θα αφήσουμε τον διακόπτη ανοιχτό για να μπορούμε να τον ενεργοποιήσουμε. Τέλος, συνδέσαμε όλα και τα κρατάμε όλα μαζί.

4.5. Τελική Κατασκευή

Για όλες τις κεραίες έχουν χρησιμοποιηθεί οι ίδιες διαστάσεις, ωστόσο έχουν διαφορετικά αποτελέσματα στις μετρήσεις τους λόγω των μικρών διάφορων που προέκυψαν από το κόστιμο των υλικών (σύρμα από χαλκό που χρησιμοποιήθηκε στον ακροδέκτη κυματοδηγού (probe) και στο μήκος της κεραίας).

Ο οδηγός για τις τελικές μετρήσεις των τεσσάρων κεραιών ήταν:

Μήκος κεραίας 184.9mm

Διάμετρος, $D=83\text{mm}$

Απόσταση κυματοδηγού με τον ανακλαστήρα, probe to reflector=61.6mm

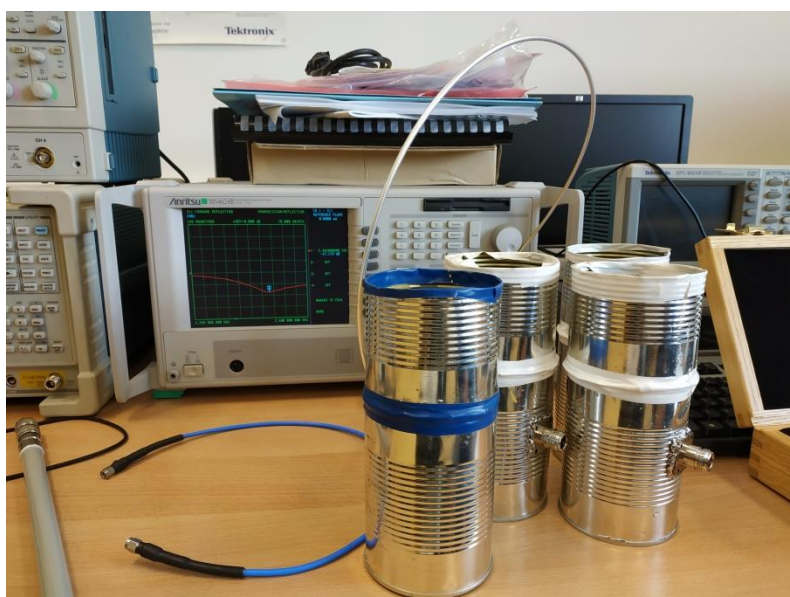
Μήκος κυματοδηγού 30.7mm

Μέγιστη και ελάχιστη συχνότητα λειτουργίας

Min freq=2257Mhz Max freq=2571Mhz

Πίνακας 4.1: Τελικές μετρήσεις κεραιών.

	Ant1	Ant2	Ant3	Ant4
Συχνότητα συντονισμού f (Ghz)	2.465	2.489	2.471	2.434
S11(dB)	-17.17	-20.48	-17.8	-18.7
VSWR	1.32	1.21	1.29	1.26
Z(Ω)	39,4+6,5j	43+5.4j	41.1+7.6j	40.2+3.7j

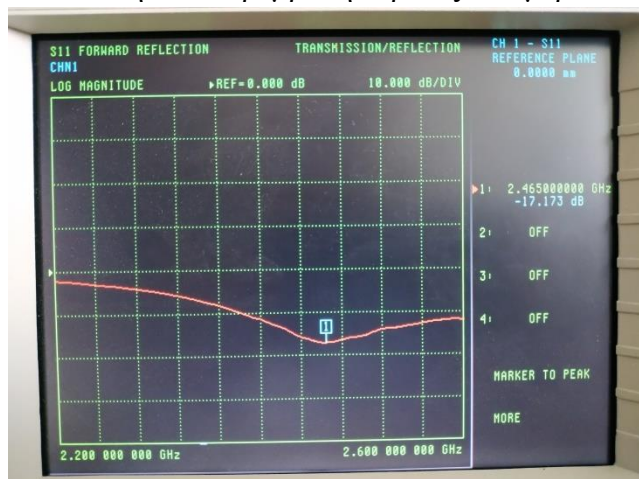


Εικόνα 28: Οι κεραιές που κατασκευάστηκαν από κουτιά αλουμινίου από την πλάγια όψη, όπου φαίνονται και τα χάλκινα στοιχεία.



Εικόνα 29: Οι κεραίες που κατασκευάστηκαν από κουτιά αλουμινίου από την εμπρόσθια όψη, όπου φαίνονται και τα χάλκινα στοιχεία.

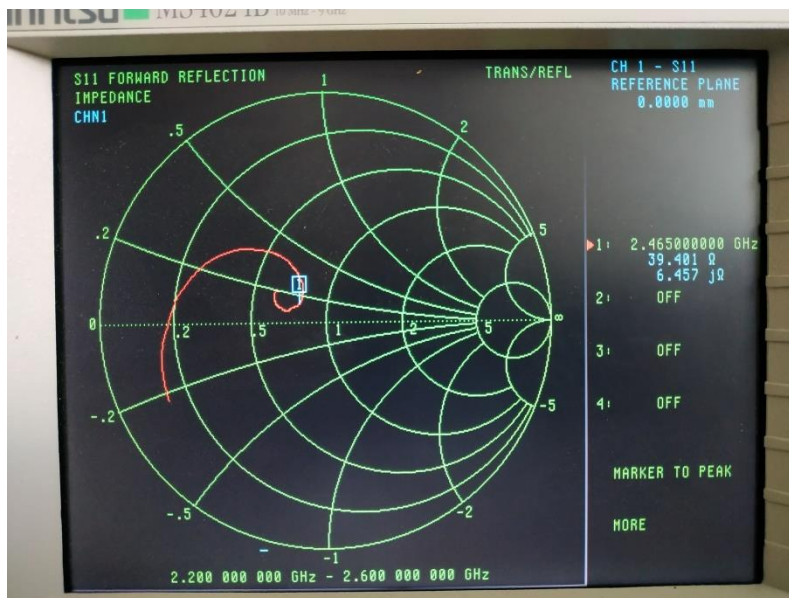
- Μετάδοση και Παρεμβολή κεραίας Νούμερο 1



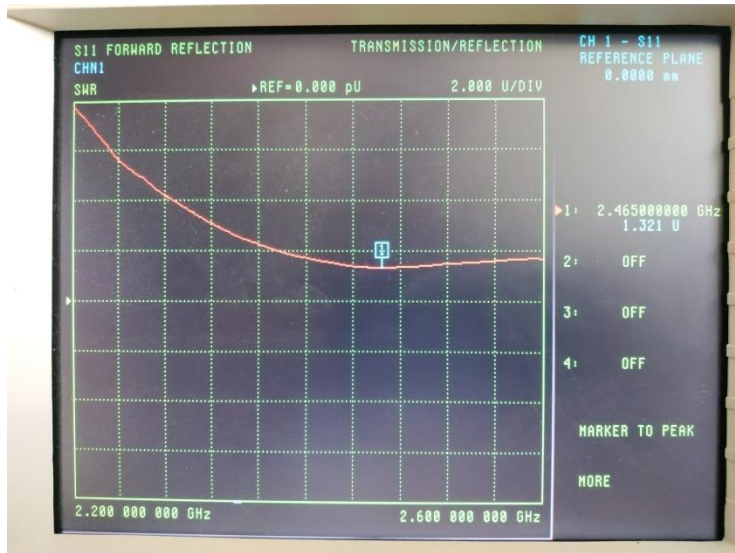
Εικόνα 30: Πρώτη απεικόνιση της μετάδοσης της κεραίας 1.



Εικόνα 31: Τελική κατασκευή της κεραίας 1.

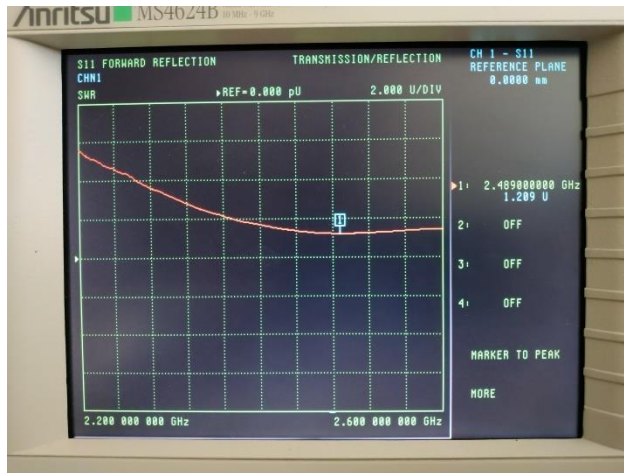


Εικόνα 32: Απεικόνιση του φάσματος μετάδοσης της κεραίας 1.



Εικόνα 33: Δεύτερη απεικόνιση της μετάδοσης της κεραίας 1.

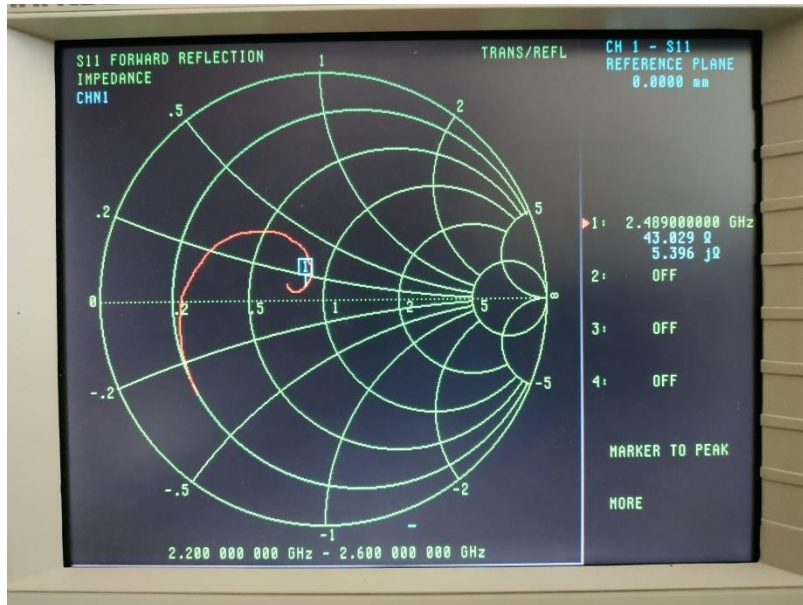
- Μετάδοση και Παρεμβολή κεραίας Νούμερο 2



Εικόνα 34: Πρώτη απεικόνιση της μετάδοσης της κεραίας 2.



Εικόνα 35: Τελική κατασκευή της κεραίας 2.

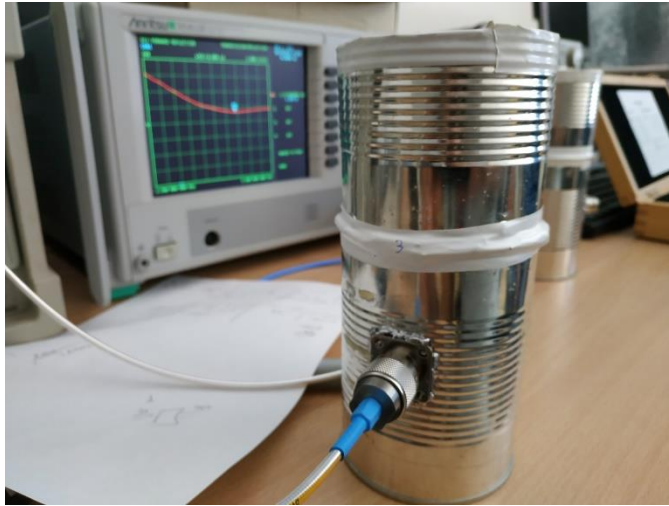


Εικόνα 36: Απεικόνιση του φάσματος μετάδοσης της κεραίας 2.

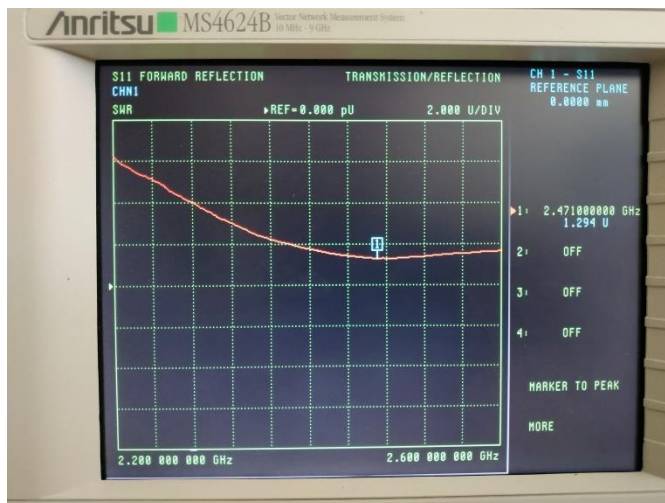


Εικόνα 37: Δεύτερη απεικόνιση της μετάδοσης της κεραίας 2.

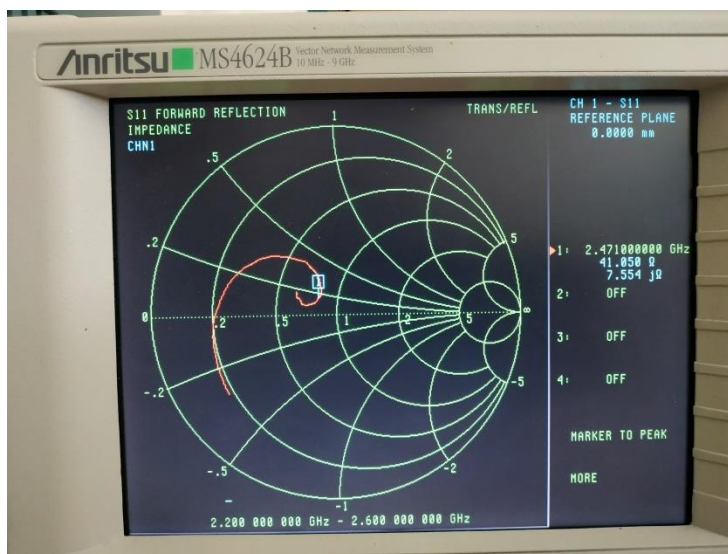
- Μετάδοση και Παρεμβολή κεραίας Νούμερο 3



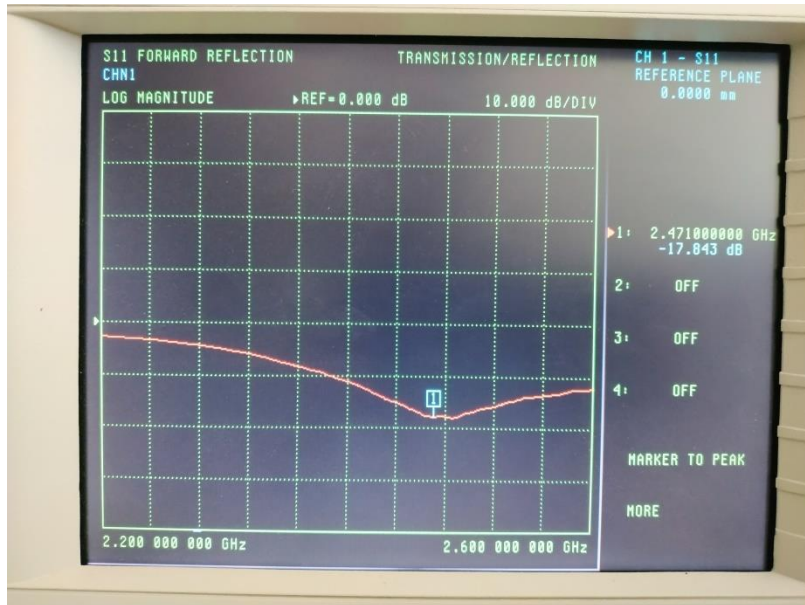
Εικόνα 38: Τελική κατασκευή της κεραίας 3.



Εικόνα 39: Πρώτη απεικόνιση της μετάδοσης της κεραίας 3.

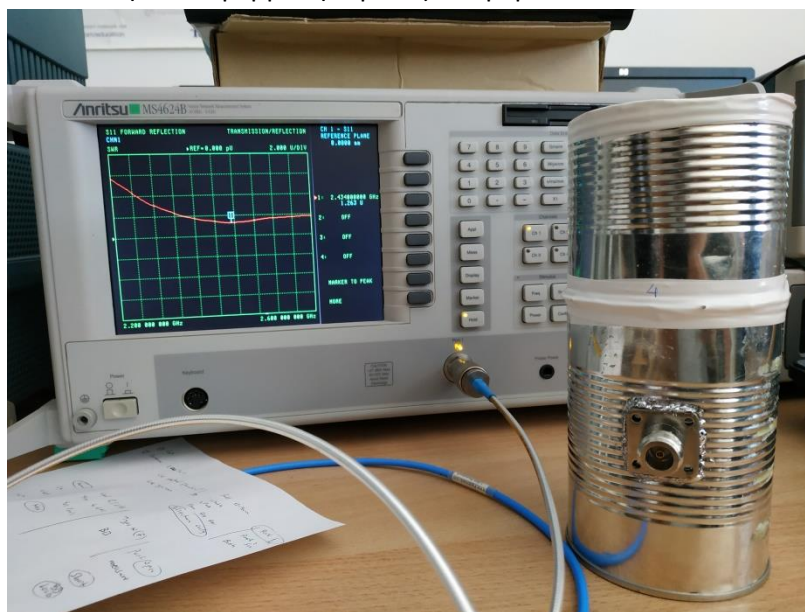


Εικόνα 40: Απεικόνιση του φάσματος μετάδοσης της κεραίας 3.

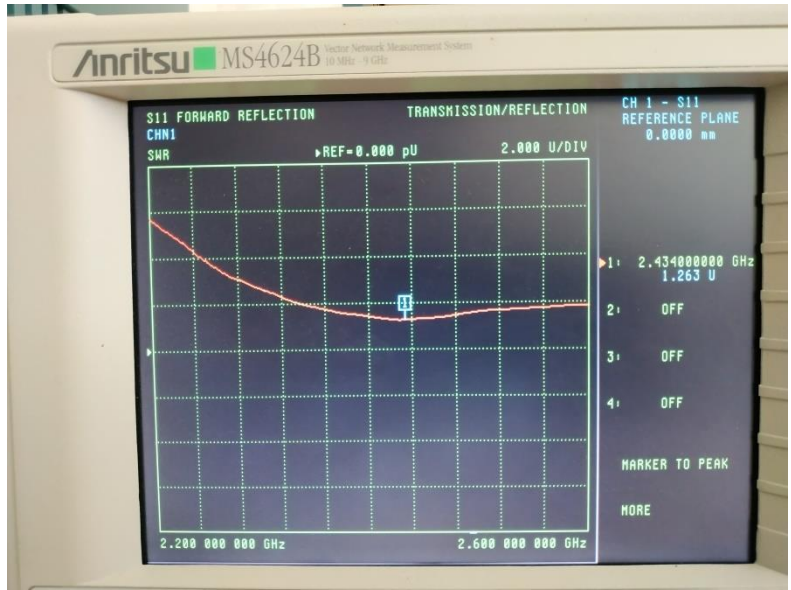


Εικόνα 41: Δεύτερη απεικόνιση της μετάδοσης της κεραίας 3.

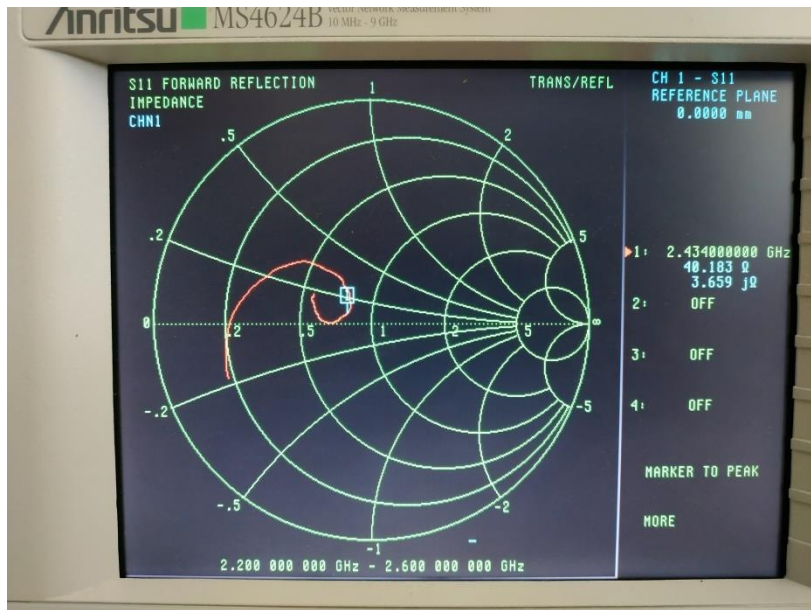
- Μετάδοση και Παρεμβολή κεραίας Νούμερο 4



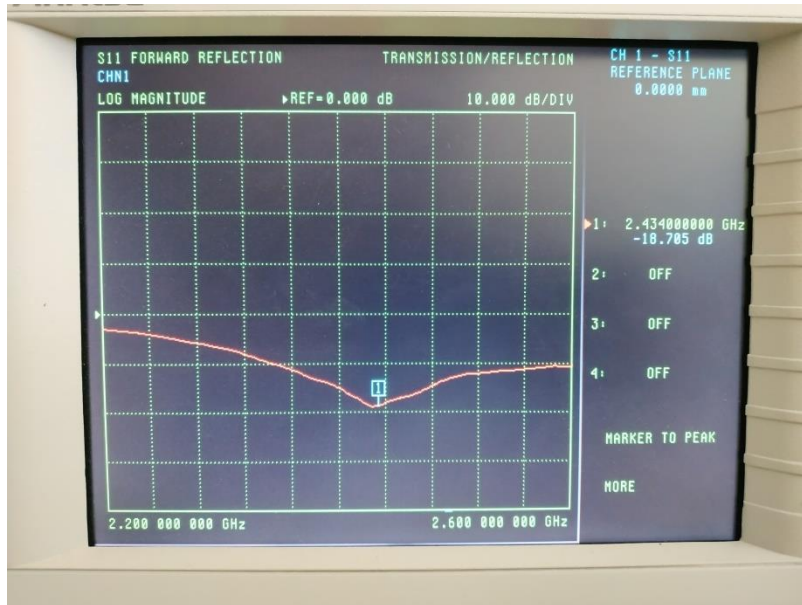
Εικόνα 42: Τελική κατασκευή της κεραίας 4.



Εικόνα 43: Πρώτη απεικόνιση της μετάδοσης της κεραίας 4.



Εικόνα 44: Απεικόνιση του φάσματος μετάδοσης της κεραίας 3.



Εικόνα 45: Δεύτερη απεικόνιση της μετάδοσης της κεραίας 4.

4.6. Κόστος Κατασκευής

Το κόστος της κατασκευής και των επιμέρους κατασκευών προέκυψε από 4 τεμάχια 2,4 GHz 4 CH Ασύρματη μονάδα μετάδοσης βίντεο ήχου FM Πομπός A/V, 4 τεμάχια σε μια παρτίδα 2,4 g 3dBi WiFi κεραία RP-SMA με αρσενικό ασύρματο δρομολογητή και IPX καλώδιο DS, 100x60x25mm Electronic Project Box Πλαστική θήκη οργάνων DIY HC, 30 εκ. SMA Θηλυκό προς SMA θηλυκό γρύλο κεντρικού παξιμαδιού διαφράγματος Crimp RG316 Cable Pigtail, Θήκη κουτιού αποθήκευσης πλαστικής βάσης μπαταρίας για 18650 με σύρμα (ΠΙΝΑΚΑΣ 2).

Πίνακας 4.2: Το κόστος των επιμέρους κατασκευαστικών στοιχείων.

Αντικείμενο	Κόστος Μονάδας	Τεμάχια	Συνολικό Κόστος
5pcs 2.4 GHz 4 CH Wireless FM Audio Video Transmitting Module A/V Transmitter	19,98	1	19,98
4Pcs/lot 2.4g 3dBi WiFi antenna aerial RP-SMA male wireless router IPX cable DS	2,57	1	2,57
100x60x25mm Electronic Project Box Plastic Enclosure Instrument Case DIY HC	1,11	2	2,22
30cm SMA female To SMA Female Jack Center Nut bulkhead Crimp RG316 Cable Pigtail	1,75	3	5,26
Plastic Battery Holder Storage Box Case for 18650 With Wire Lead	0,63	2	1,27
Κονσερβοκούτια		4	
N-connectors		4	
Καλώδια			
Μπαταρία τύπου 18650 3.7V Li-ion		1	

Καλώδια Ηλεκτρικά Μονόκλινα 2mm			
Διακόπτης			
Led και Αντίσταση			
Breadboard			

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η διεθνής βιβλιογραφία αναδεικνύει σημαντικά ζητήματα και τάσεις σχετικά με την κατασκευή συστημάτων παρεμβολής στα ασύρματα δίκτυα στη ζώνη συχνοτήτων των 2,4 GHz. Πρώτον, υπογραμμίζεται η αυξανόμενη σημασία της radio jamming για την επίτευξη παρεμβολής στις ασύρματες επικοινωνίες. Η ικανότητα ανίχνευσης και αντιμετώπισης αυτών των παρεμβολών αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα των ασύρματων δικτύων.

Επίσης, η έρευνα επισημαίνει τη σημασία της σωστής επιλογής υλικών και κατασκευής στοιχείων. Η σωστή σύνδεση διαφόρων συστατικών, όπως διεγέρτης, πολυπλέκτης, ενισχυτής, φίλτρο και κεραία, καθορίζει την αποτελεσματικότητα του συστήματος παρεμβολής.

Επιπλέον, η εφαρμογή διπολικών κεραιών έχει αναδειχθεί ως προηγμένη τεχνική που βελτιώνει την παρεμβολή Wi-Fi. Η διαχείριση της κεραίας αποτελεί κρίσιμο στάδιο για τη μεγιστοποίηση του εύρους και της αποτελεσματικότητας.

Τέλος, η προσέγγιση της παρεμβολής στα ασύρματα δίκτυα απαιτεί ολοκληρωμένη κατανόηση της διάκρισης μεταξύ παρεμβολής και εμπλοκής. Η ανάπτυξη εξειδικευμένων συστημάτων παρεμβολής αποτελεί κλειδί για την αντιμετώπιση προκλήσεων στον τομέα των ασύρματων επικοινωνιών.

Η κατασκευή ενός προηγμένου συστήματος παρεμβολής στο ασύρματο δίκτυο στη ζώνη συχνοτήτων των 2,4 GHz αναδεικνύεται ως διαδικασία τεχνολογικής προχωρημένης φύσης. Η έρευνα επισημαίνει τη σημασία της radio jamming στον τομέα των ασύρματων επικοινωνιών και εξετάζει τα συστατικά που επιτρέπουν την παρεμβολή και την επιδραστικότητά της.

Η ανάλυση των βασικών στοιχείων, όπως ο διεγέρτης, ο πολυπλέκτης, ο ενισχυτής, το φίλτρο και η κεραία, αναδεικνύει τη σημασία της σωστής επιλογής και σύνδεσης για την αποτελεσματική λειτουργία του παρεμβολέα.

Η προσεκτική επιλογή υλικών και η σωστή κατασκευή των στοιχείων, όπως πομποί AV και κεραίες, αναδεικνύουν την εξειδίκευση του συστήματος παρεμβολής Wi-Fi. Η δημιουργία διπολικής κεραίας συνεισφέρει στη βελτίωση του εύρους και της αποτελεσματικότητας.

Η ενοποίηση όλων των στοιχείων σε ενιαία μονάδα, εμπλουτισμένη με λειτουργίες όπως διακόπτης και μπαταρία, διευκολύνει τη χρήση του παρεμβολέα. Το έργο αναδεικνύει τη σημασία της διάκρισης μεταξύ παρεμβολής και εμπλοκής στις ασύρματες επικοινωνίες, προβάλλοντας την τεχνολογικά προηγμένη φύση της παρεμβολής στο ασύρματο δίκτυο.

Συνολικά, η εργασία αναδεικνύει την πολυπλοκότητα της κατασκευής συστήματος παρεμβολής Wi-Fi, υπογραμμίζοντας την ανάγκη για εξειδικευμένες γνώσεις και προσεγμένη σχεδίαση. Η κατανόηση της radio jamming, η επιλογή των κατάλληλων συστατικών, και η ένταξή τους σε ένα συνολικό, λειτουργικό σύστημα αναδεικνύουν τη σημασία της τεχνολογικής εξέλιξης στον τομέα των παρεμβολών στα ασύρματα δίκτυα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Atallah, R., Khabbaz, M., & Assi, C. (2016). Energy harvesting in vehicular networks: A contemporary survey. *IEEE Wireless Communications*, 23(2), 70-77.
- Ding, Z., Zhong, C., Ng, D. W. K., Peng, M., Suraweera, H. A., Schober, R., & Poor, H. V. (2015). Application of smart antenna technologies in simultaneous wireless information and power transfer. *IEEE Communications Magazine*, 53(4), 86-93.
- Durrani, Y. A., & Riesgo, T. (2013). High-level power analysis for intellectual property-based digital systems. *Journal of Low Power Electronics*, 9(4), 435-444.
- ETSI. Ανακτήθηκε από: <https://www.etsi.org/about>.
- Goldsmith, A. (2005). *Wireless communications*. Cambridge university press.
- Gonzalez, G., & Baxendale, M. (2016). *Power Amplifiers: An Overview*. In *Microwave Transistor Amplifiers: Analysis and Design* (3rd ed., pp. 1-23). Pearson.
- Ju, H., & Zhang, R. (2014). Optimal resource allocation in full-duplex wireless-powered communication network. *IEEE Transactions on Communications*, 62(10), 3528-3540.
- Kang, X., Ho, C. K., & Sun, S. (2015). Full-duplex wireless-powered communication network with energy causality. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 14(10), 5539-5551.
- Krikidis, I., Sasaki, S., Timotheou, S., & Ding, Z. (2014). A low complexity antenna switching for joint wireless information and energy transfer in MIMO relay channels. *IEEE Transactions on Communications*, 62(5), 1577-1587.
- Levin, G., & Loyka, S. (2012). Amplify-and-forward versus decode-and-forward relaying: Which is better?. In *22th International Zurich seminar on communications (IZS)*. Eidgenössische Technische Hochschule Zürich.
- Liu, L., Zhang, R., & Chua, K. C. (2012). Wireless information transfer with opportunistic energy harvesting. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 12(1), 288-300.
- Liu, L., Zhang, R., & Chua, K. C. (2014). Multi-antenna wireless powered communication with energy beamforming. *IEEE Transactions on Communications*, 62(12), 4349-4361.
- Microsoft. Ανακτήθηκε από: [Πύθμιση ασύρματου δικτύου στο Windows \(microsoft.com\)](http://www.microsoft.com).
- Najoua, C., Mohamed, B., & Hedi, B. M. (2012, May). Analytical dynamic power model for LUT based components. In *7th International Conference on Design & Technology of Integrated Systems in Nanoscale Era* (pp. 1-6). IEEE.
- Nasir, A. A., Zhou, X., Durrani, S., & Kennedy, R. A. (2013). Relaying protocols for wireless energy harvesting and information processing. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 12(7), 3622-3636.
- Paso T., Tanaka H., Hämmäläinen M., Chin W.H., Matsuo R., Subramani S., et al., "Μια επισκόπηση του πρωτοκόλλου ETSI TC SmartBAN MAC", το 9ο Διεθνές Συμπόσιο για την Ιατρική Τεχνολογία Πληροφοριών και Επικοινωνιών, 24-26.3.2015.
- Remus Hsu, Kay Chang, June 2013, Computex 2013 Observations: Networks Communications Products, Market Intelligence & Consulting Institute.
- Sedra, A. S., & Smith, K. C. (2019). *Amplifiers: Specifications and External Characteristics*. In *Microelectronic Circuits* (8th ed., pp. 501-505). Oxford University Press.
- Wang, W., Li, L., Sun, Q., & Jin, J. (2013, September). Power allocation in multiuser MIMO systems for simultaneous wireless information and power transfer. In *2013 IEEE 78th Vehicular Technology Conference (VTC Fall)* (pp. 1-5). IEEE.
- Xiang, Z., & Tao, M. (2012). Robust beamforming for wireless information and power transmission. *IEEE Wireless Communications Letters*, 1(4), 372-375.
- Zhang, R., & Ho, C. K. (2013). MIMO broadcasting for simultaneous wireless information and power transfer. *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 12(5), 1989-2001.
- Αλεξόπουλος Α., Λαγογιάννης Γ., Τηλεπικοινωνίες και Δίκτυα Υπολογιστών 6η έκδοση 2003. Βασιλέλλη, Ε. Μ. (2018). Τεχνικές συλλογής ενέργειας και εφαρμογές τους σε τηλεπικοινωνιακά συστήματα.
- Γρηγορόπουλος, Ι. (2020). Μελέτη παραμέτρων και σχεδίαση συστοιχίας κεραιών για εφαρμογές στα σύγχρονα επίγεια ασύρματα δίκτυα και στα ραντάρ.
- Περιοδικό Tech Business, Ο.Ο.Σ.Α., "Έκθεση καταπέλτης για τις τηλεπικοινωνίες" 2001.
- Τριτάθη, Σ. (2019, Ιούλιος). Προοπτική δυναμικής συστήματος για την υιοθέτηση του διαδικτύου των πραγμάτων: ένα εννοιολογικό πλαίσιο. Το 2019 10ο Διεθνές Συνέδριο Τεχνολογιών Πληροφορικής, Επικοινωνιών και Δικτύων (ICCCNT) (σελ. 1-10). IEEE.

Self, D. (2018). *Class H Audio Power Amplifiers*. In *Audio Power Amplifier Design Handbook* (6th ed., pp. 255-263). Focal Press.

antenna-theory. *2p4GHzAntenna*, Available at: <https://www.antenna-theory.com/definitions/2p4GHzAntenna.php>

antenna-theory. *Antenna basics*, Available at: <https://www.antenna-theory.com/basics/aperture.php>

antenna-theory. *Antenna Factor*, Available at: <https://www.antenna-theory.com/definitions/antennafactor.php>

antenna-theory. *Antenna Factor*, Available at: <https://www.antenna-theory.com/definitions/antennafactor.php>

antenna-theory. *Antenna Impedance*, Available at: <https://www.antenna-theory.com/basics/impedance.php>

electronics-notes.(2022). *What is VSWR: Voltage Standing Wave Ratio*. Available at: <https://www.electronics-notes.com/articles/antennas-propagation/vswr-return-loss/what-is-vswr.php>

Hiertz, G. R., Denteneer, D., Stibor, L., Zang, Y., Costa, X. P., & Walke, B. (2010). The IEEE 802.11 universe. *IEEE Communications Magazine*, 48(1), 62-70.

Khorov, E., Kiryanov, A., Lyakhov, A., & Bianchi, G. (2018). A tutorial on IEEE 802.11 ax high efficiency WLANs. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 21(1), 197-216.

Li, P. (2012). Recent developments in WiFi system and related challenges in power amplifier design. In *2012 IEEE 11th International Conference on Solid-State and Integrated Circuit Technology* (pp. 1-4). IEEE.

Mileusnić, M., Petrović, P., Pavić, B., Marinković-Nedelicki, V., Glišović, J., Lebl, A., & Marjanović, I. (2017, November). The radio jammer against remote controlled improvised explosive devices. In *2017 25th Telecommunication Forum (TELFOR)* (pp. 1-4). IEEE.

Wang, Y., & Naylor, R. (2014, January). Challenges in designing 5 GHz 802.11 ac WiFi power amplifiers. In *2014 IEEE Topical Conference on Power Amplifiers for Wireless and Radio Applications (PAWR)* (pp. 16-18). IEEE.