



ΤΕΙ ΗΠΕΙΡΟΥ

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ Τ.Ε.**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΕΡΑΙΣ VHF

Αβραμίδης Νικόλαος

Επιβλέπων Καθηγητής: Ράπτης Βασίλειος

Άρτα, Σεπτέμβριος, 2018

ANALYSIS AND DESIGN OF A VHF ANTENNA

Εγκρίθηκε από τριμελή εξεταστική επιτροπή

Άρτα

ΕΠΙΤΡΟΠΗ

1. Επιβλέπων Καθηγητής
Ράπτης Βασίλειος
Πανεπιστημιακός Υπότροφος

2. Μέλος Επιτροπής
Αγγέλης Κων/νος
Καθηγητής

3. Μέλος Επιτροπής
Χρονόπουλος Σπυρίδων
Πανεπιστημιακός Υπότροφος

©Αβραμίδης Νικόλαος

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 πτυχιακή εργασία είναι εξ ολοκλήρου αποτέλεσμα δικής μου 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.

Αβραμίδης Νικόλαος

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου που στάθηκαν δίπλα μου σε κάθε στιγμή και με τη στήριξη αυτών κατάφερα να αποδώσω το καλύτερο του εαυτού μου. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κύριο Ράπτη Βασίλειο για τη συμβολή του στην εκπόνηση αυτής της εργασίας. Τέλος θέλω να ευχαριστήσω το τμήμα και όλους τους καθηγητές για την προσπάθεια που κατέβαλαν και συνεχίζουν να καταβάλουν για να μεταδώσουν τις γνώσεις τους στους νέους φοιτητές και φοιτήτριες με σκοπό τη δημιουργία νέων ενεργών μελών στην κοινωνία.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η εν λόγω πτυχιακή εργασία πραγματεύεται την μελέτη και κατασκευή μιας κεραίας τύπου J-pole για τις συχνότητες VHF (144-146MHz).

Στο πρώτο κεφάλαιο δίνονται πληροφορίες σχετικά με τη θεωρία και τις παραμέτρους των κεραιών για να μπορεί ο αναγνώστης να έρθει πιο κοντά με ορισμένες σημαντικές έννοιες και την σημασία αυτών. Είναι σημαντικό να γνωρίζει κάποιος ορισμένες έννοιες σε περίπτωση που θέλει να κατασκευάσει μια κεραία. Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα είδη των κεραιών. Παρουσιάζονται γενικές πληροφορίες που αποτυπώνουν τις διαφορές ανάμεσα στις κεραίες που έχουν κατασκευαστεί έως και σήμερα, δείχνοντας κατά αυτό τον τρόπο τα διαφορετικά είδη που έχουν ανακαλυφθεί. Στο τρίτο κεφάλαιο αυτής της εργασίας παρουσιάζεται μια αναλυτική μελέτη πάνω στις κεραίες δίπολα μισού μήκους κύματος, θεωρία της κεραίας J-pole, προσομοίωση για δύο κεραίες J-pole για τις συχνότητες 145 και 146MHz και κατασκευή μιας για την συχνότητα 146MHz. Τέλος, στο τέταρτο κεφάλαιο δίνονται τα συμπεράσματα της εργασίας για την κεραία J-pole.

ABSTRACT

This thesis deals with the study and the construction of a J-pole antenna at VHF frequencies (144-146MHz). The first chapter provides information on antenna theory and parameters in order to help the reader be familiar with some specific meanings and their significance. It's really important to know some concepts if you want to build an antenna. In the second chapter a reference is made to the types of antennas. General information is presented that provide the differences between the antennas that have been built up to date, showing this way the different kinds that have been discovered. In the third chapter of this thesis is given a detailed construction and simulation of a J pole antenna at 145 and 146MHz right after an analytical study, which is presented, on the half-wavelength dipole antennas. Finally, in the fourth chapter are given the conclusions of this thesis for the J-pole antenna.

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	5
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	6
ABSTRACT.....	7
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο ΘΕΩΡΙΑ ΚΕΡΑΙΩΝ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	11
1.1 Εισαγωγή.....	11
1.2 Διάγραμμα Ακτινοβολίας.....	11
1.2.1 Λοβοί Ακτινοβολίας	13
1.2.2 Ισοτροπική, Κατευθυντική και Πανκατευθυντική Κεραία	14
1.2.3 Περιοχές Πεδίου	14
1.2.4 Ακτίνια-Στερακτίνα	16
1.3 Πυκνότητα Ισχύος Ακτινοβολίας.....	17
1.4 Ένταση Ακτινοβολίας	18
1.5 Εύρος Δέσμης.....	19
1.6 Κατευθυντικότητα.....	20
1.7 Αποδοτικότητα Ακτινοβολίας.....	21
1.8 Απολάβη.....	23
1.9 Αποδοτικότητα Δέσμης.....	24
1.10 Εύρος Ζώνης	24
1.11 Πόλωση	25
1.12 Σύνθετη Αντίσταση Εισόδου	25
1.13 Αποδοτικότητα Ακτινοβολίας Κεραίας	26
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο ΤΥΠΟΙ ΚΕΡΑΙΩΝ	27
2.1 Καλωδιακές Κεραίες (Διπολικές, Μονοπολικές και Κεραίες Βρόγχου)	27
2.1.1 Διπολικές και Μονοπολικές Κεραίες	27
2.1.2 Κεραίες Βρόγχου (Loop Antennas).....	27
2.2 Κεραίες Χοάνης (Horn Antennas)	28
2.3 Κεραίες Μικροταινίας (Microstrip Antennas)	29
2.4 Κεραίες Ανακλαστήρες (Reflector Antennas)	30
2.5 Κεραίες Ανεξαρτήτου Συχνότητας (Frequency Independent Antennas).....	31
2.6 Κεραίες Διαρρέοντος Κύματος (Leaky-Wave Antennas).....	33
2.7 Επαναπροσδιορίσιμες Κεραίες (Reconfigurable Antennas)	34
2.8 Ευρυζωνικές Κεραίες (Wideband Antennas).....	35
2.9 Κεραίες Οδεύοντος Κύματος (Travelling-Wave Antennas)	35

2.10 Κεραίες για Φορητή Χρήση (Antennas for Portable Use).....	36
2.10.1 Κεραία Κινητού Τηλεφώνου (Handset Antenna).....	36
2.10.2 Κεραίες Ετικέτας RFID (RFID Tag Antennas).....	37
2.10.3 Κεραίες NFC (Near-Field Communication Antennas).....	38
2.10.4 Κεραία Φορητού Υπολογιστή (Laptop Antenna).....	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΕΡΑΙΑΣ VHF (ΚΕΡΑΙΑ VHF J-POLE)	40
3.1 Θεωρία και Μελέτη Κεραίας J-pole.....	40
3.1.1 Χαρακτηριστικά Κεραίας J-pole	40
3.1.2 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της Κεραίας J-pole	42
3.1.3 Εφαρμογές της Κεραίας J-pole.....	43
3.2 Προσομοίωση και Κατασκευή Κεραίας J-pole.....	43
3.2.2 Προσομοίωση της Κεραίας με Χρήση του 4nec2	44
3.2.3 Σύγκριση Κεραιών συντονισμένες στα 145MHz και 146MHz.....	50
3.2.4 Υλικά Κατασκευής	51
3.2.5 Εικόνες και Βήματα για την Κατασκευή της Κεραίας.....	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	56
Προτάσεις Βελτίωσης.....	56
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	57

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στη σύγχρονη εποχή οι κεραίες και τα συστήματα κεραιών γενικότερα, έχουν παρουσιάσει μια απρόσμενα μεγάλη εξέλιξη κι αυτό γιατί ανά καιρούς όλο και περισσότερες τεχνολογίες αναπτύσσονται πάνω στις Τηλεπικοινωνίες και τις Επικοινωνίες. Τεχνολογίες οι οποίες για να μπορέσουν να φανούν χρήσιμες θα πρέπει να εξοπλιστούν και με την κατάλληλη κεραία για να μπορέσουν να έχουν την ορθή επικοινωνία με οποιοδήποτε άλλο σύστημα. Πιο συγκεκριμένα, στις ασύρματες επικοινωνίες οι κεραίες αποτελούν τα αυτιά και τα μάτια των ασύρματων επικοινωνιακών συστημάτων. Όλα τα συστήματα λοιπόν, ανεξαρτήτως το πόσο αποδοτικά είναι, δεν θα μπορούσαν ποτέ να μεταφέρουν την πληροφορία που θέλουν μέσω των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων αν δεν είχαν επάνω τους μια κεραία, είτε εκπομπής είτε λήψης αναλόγως με τις απαιτήσεις.

Η εφαρμογή των κεραιών έχει φανεί πολύ χρήσιμη σε διάφορες τεχνολογίες ή συστήματα. Έχει προσφέρει μεγάλη βοήθεια σε υπηρεσίες όπως η μετάδοση φωνής, το βίντεο, η πρόβλεψη του καιρού, το GPS, η τηλεόραση, το ασύρματο δίκτυο, οι δορυφόροι, το Bluetooth και πολλές ακόμη. Αυτό δείχνει το πόσο σημαντικό ρόλο παίζει η εξέλιξη των κεραιών καθώς όσο περνάνε τα χρόνια οι απαιτήσεις αυξάνονται κι έτσι οι κεραίες θα πρέπει να είναι εκεί και να ανταποκριθούν με τις δυνατότητές τους σε κάθε προσδοκία. Το μέλλον των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων προβλέπεται ιδιαίτερα απαιτητικό αλλά είναι και αυτό που θα φέρει την κατασκευή νέων και πρωτοπόρων συστημάτων και κεραιών.

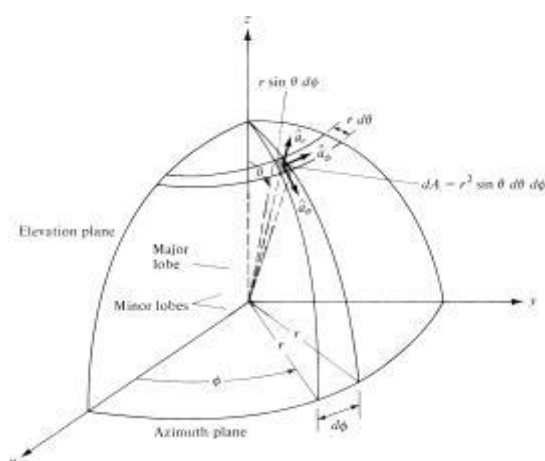
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο ΘΕΩΡΙΑ ΚΕΡΑΙΩΝ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ

1.1 Εισαγωγή

Για να μπορέσει κάποιος να περιγράψει την επίδοση μιας κεραίας θα πρέπει να είναι εξοικειωμένος με κάποιες βασικές παραμέτρους και με τους ορισμούς αυτών. Ορισμένες από τις παραμέτρους είναι αλληλένδετες και δεν θεωρείται απαραίτητο να διευκρινιστούν όλες για την περιγραφή της επίδοσης μια κεραίας. Παρακάτω δίνονται οι παράμετροι και οι ορισμοί τους.

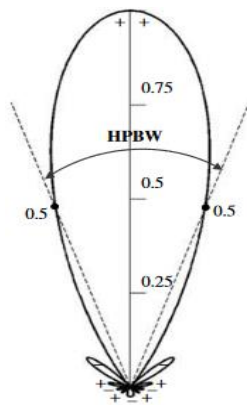
1.2 Διάγραμμα Ακτινοβολίας

Ένα διάγραμμα ακτινοβολίας (radiation pattern) κεραίας ή ένα διάγραμμα κεραίας ορίζεται ως μια μαθηματική συνάρτηση ή γραφική παράσταση των ιδιοτήτων ακτινοβολίας της κεραίας ως λειτουργία των συντεταγμένων του χώρου. Στις περισσότερες περιπτώσεις το διάγραμμα ακτινοβολίας προσδιορίζεται στην περιοχή του μακρινού πεδίου και παρουσιάζεται ως συνάρτηση των κατευθυντικών συντεταγμένων. Οι ιδιότητες της ακτινοβολίας περιλαμβάνουν την πυκνότητα ροής ισχύος, την ένταση ακτινοβολίας, την ένταση του πεδίου, την κατευθυντικότητα, τη φάση ή τη πόλωση. Η ιδιότητα στην οποία δίνεται μεγαλύτερη έμφαση είναι η δισδιάστατη και τρισδιάστατη κατανομή της ακτινοβολουμένης ενέργειας συναρτήσει της θέσης του παρατηρητή κατά μήκος μιας διαδρομής ή μιας επιφάνειας με σταθερή ακτίνα. Ένα ίχνος του λαμβανόμενου ηλεκτρικού (μαγνητικού) πεδίου σε μια σταθερή ακτίνα ονομάζεται πλάτος πεδίου. Από την άλλη πλευρά, ένα γράφημα της μεταβολής της πυκνότητας ισχύος σε μια σταθερή ακτίνα ονομάζεται πλάτος ισχύος. [1]

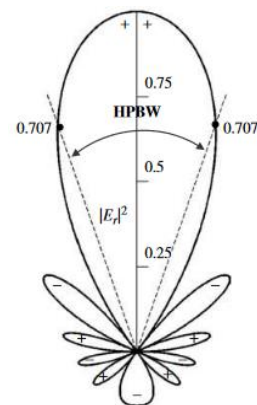


Εικόνα 1 Σύστημα Συντεταγμένων για Ανάλυση Κεραίας

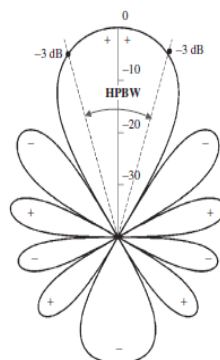
Συχνά το διάγραμμα πεδίου και ισχύος κανονικοποιούνται σε σχέση με τη μέγιστη τιμή τους, αποδίδοντας κανονικοποιημένα διαγράμματα πεδίου και ισχύος. Επίσης, το διάγραμμα ισχύος συνήθως αναπαρίσταται σε λογαριθμική κλίμακα ή πιο συχνά σε ντεσιμπέλ (dB). Αυτή η κλίμακα είναι συνήθως επιθυμητή διότι μια λογαριθμική κλίμακα μπορεί να δώσει μεγαλύτερη έμφαση στα σημεία εκείνα του διαγράμματος που έχουν πολύ χαμηλές τιμές, στα οποία θα γίνει αναφορά και είναι οι δευτερεύοντες λοβοί. Για μια κεραία, το διάγραμμα πεδίου (linear scale) αντιπροσωπεύει μια γραφική παράσταση του μεγέθους του ηλεκτρικού ή μαγνητικού πεδίου ως συνάρτηση του γωνιακού χώρου. Το διάγραμμα ισχύος αντιπροσωπεύει μια γραφική παράσταση, του τετραγώνου του μεγέθους, του ηλεκτρικού ή μαγνητικού πεδίου ως συνάρτηση του γωνιακού χώρου. Το διάγραμμα ισχύος (dB) αντιπροσωπεύει μια γραφική παράσταση του μεγέθους του ηλεκτρικού ή μαγνητικού πεδίου, σε ντεσιμπέλ, ως συνάρτηση του γωνιακού χώρου. Τα παρακάτω διαγράμματα είναι σε δισδιάστατη μορφή παρουσιάζοντας μια γραμμική συστοιχία (linear array) 10 στοιχείων με απόσταση $d=0.25\lambda$. [1]



Εικόνα 2 Διάγραμμα Πεδίου (linear scale)



Εικόνα 3 Διάγραμμα Ισχύος (linear scale)

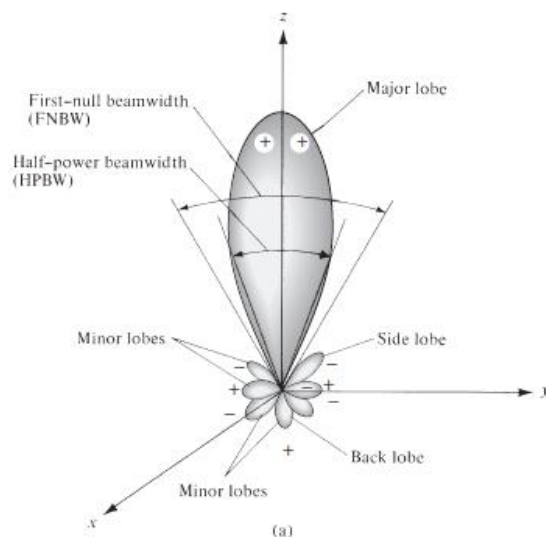


Εικόνα 4 Διάγραμμα ισχύος (σε dB)

1.2.1 Λοβοί Ακτινοβολίας

Υπάρχουν διάφορα σημεία σε ένα διάγραμμα ακτινοβολίας τα οποία αναφέρονται ως λοβοί (lobes) και υποδιαιρούνται στον κύριο λοβό (major lobe), στους δευτερεύοντες (minor lobes), στους πλευρικούς (side lobes) και οπίσθιους λοβούς (back lobes). Ο λοβός ακτινοβολίας είναι ένα μέρος του διαγράμματος ακτινοβολίας που οριοθετείται σε περιοχές με σχετικά χαμηλή ένταση ακτινοβολίας. [1][3]

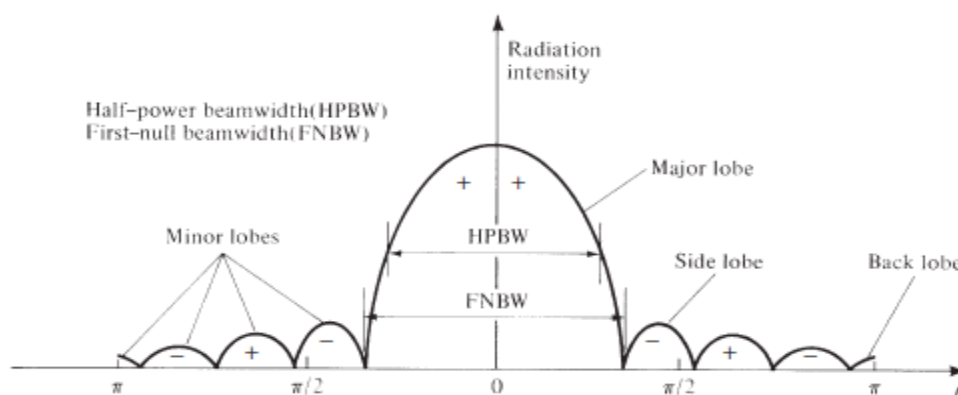
Ο κύριος λοβός (major lobe) ορίζεται ως ο λοβός ακτινοβολίας που περιέχει την κατεύθυνση της μέγιστης ακτινοβολίας. Σε ορισμένες κεραίες, όπως την κεραία χωριστής δέσμης (split-beam antenna), μπορεί να υπάρχουν περισσότεροι από ένας κύριοι λοβοί. Δευτερεύων λοβός (minor lobe) είναι οποιοσδήποτε λοβός εκτός του κύριου. Ένας πλευρικός λοβός (side lobe) είναι ένας λοβός ακτινοβολίας προς οποιαδήποτε κατεύθυνση εκτός από τον προοριζόμενο λοβό. Συνήθως βρίσκεται δίπλα στον κύριο λοβό και καταλαμβάνει το ημισφαίριο προς την κατεύθυνση της κύριας δέσμης. Ο οπίσθιος λοβός (back lobe) είναι ένας λοβός ακτινοβολίας του οποίου ο άξονας σχηματίζει μια γωνία περίπου 180 μοιρών σε σχέση με την ακτίνα της κεραίας. Συνήθως αναφέρεται σε έναν δευτερεύοντα λοβό που καταλαμβάνει το ημισφαίριο σε κατεύθυνση αντίθετη προς εκείνη του κύριου λοβού. [1]



Εικόνα 5 Λοβοί Ακτινοβολίας και Δέσμες Κεραίας

Οι δευτερεύοντες λοβοί (minor lobes) παρουσιάζουν ακτινοβολία προς ανεπιθύμητες κατευθύνσεις κι έτσι θα πρέπει να ελαχιστοποιηθούν. Οι πλευρικοί λοβοί (side lobes), συνήθως, είναι οι μεγαλύτεροι από τους δευτερεύοντες λοβούς. Το επίπεδο των

δευτερευόντων λοβών (minor lobes) συνήθως εκφράζεται ως αναλογία της πυκνότητας ισχύος στον εν λόγω λοβό σε σχέση με τον κύριο λοβό. Η συγκεκριμένη αναλογία ονομάζεται λόγος πλευρικού λοβού ή επίπεδο πλευρικού λοβού. Επίπεδα των λοβών που βρίσκονται στα -20dB ή χαμηλότερα δεν είναι πολύ επιθυμητά στις



Εικόνα 6 Γραμμική Αναπαράσταση Διαγράμματος Ισχύος με τους Λοβούς και τις Δέσμες

περισσότερες εφαρμογές. [1]

1.2.2 Ισοτροπική, Κατευθυντική και Πανκατευθυντική Κεραία

Μια ισοτροπική (isotropic) κεραία ορίζεται ως μια υποθετική κεραία χωρίς απώλειες που εκπέμπει την ίδια ακτινοβολία προς όλες τις κατευθύνσεις. Αν και είναι ιδανική αλλά και φυσικά μη υλοποιήσιμη, λαμβάνεται συνήθως υπόψη ως αναφορά για την υλοποίηση των πραγματικών κεραιών. Μια κατευθυντική (directional) κεραία θεωρείται εκείνη που μπορεί να ακτινοβολήσει ή να λάβει ηλεκτρομαγνητικά κύματα πιο αποτελεσματικά σε συγκεκριμένες περιοχές-κατευθύνσεις από ότι σε άλλες. Ο συγκεκριμένος όρος χρησιμοποιείται σε κεραίες των οποίων η μέγιστη κατευθυντικότητα είναι αισθητά μεγαλύτερη σε σχέση με αυτήν ενός δίπολου ημίσεος κύματος. Πανκατευθυντική κεραία (omnidirectional) ονομάζεται εκείνη που παρουσιάζει ένα ουσιαστικά μη κατευθυντικό διάγραμμα σε ένα δεδομένο-δοθέν επίπεδο και ένα κατευθυντικό διάγραμμα σε οποιοδήποτε ορθογώνιο επίπεδο. [1] [3]

1.2.3 Περιοχές Πεδίου

Ο χώρος (field region) που περικλείει μια κεραία χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες. Αυτές οι κατηγορίες είναι :

- Το αντιδρών κοντινό πεδίο (Reactive near field region)
- Το ακτινοβοληθέν κοντινό πεδίο (Radiating near field region)
- Το μακρινό πεδίο (Far field region)

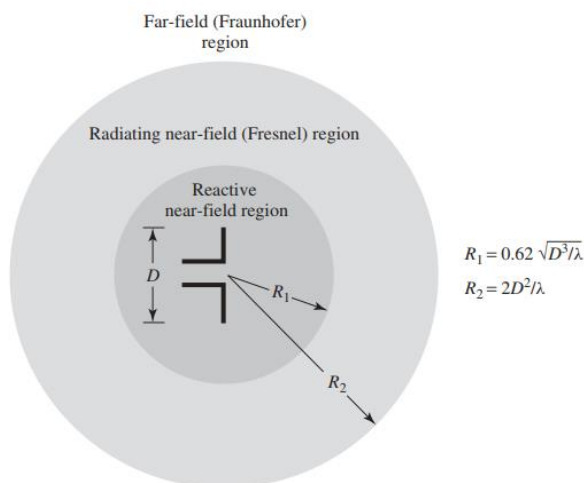
Η διαμόρφωση των πεδίων, καθώς ξεπερνούν τα όρια, δεν εμφανίζει σημαντικές αλλαγές. Ωστόσο υπάρχουν κάποιες καθοριστικές διαφορές μεταξύ των περιοχών. Τα όρια που υπάρχουν και ξεχωρίζουν τις περιοχές δεν θεωρούνται μοναδικά. Παρόλα αυτά υπάρχουν κάποια κριτήρια που χρησιμοποιούνται για να εντοπιστούν αυτές οι περιοχές.

Αντιδρών κοντινό πεδίο ορίζεται η περιοχή που περιβάλλει την κεραία όπου κυριαρχεί το αντιδρών κοντινό πεδίο. Στις περισσότερες κεραίες αυτό το όριο βρίσκεται σε απόσταση $R < 0.62\sqrt{D^3/\lambda}$ από την επιφάνεια της κεραίας, όπου λ είναι το μήκος κύματος και D το μέγιστο της διάστασης της κεραίας. Για ένα χαμηλό δίπολο, ή κάποια ισοδύναμη κεραία, το εξωτερικό όριο θεωρείται ότι βρίσκεται σε απόσταση $\lambda/2\pi$ από την επιφάνεια της κεραίας. [1]

Ακτινοβοληθέν κοντινό πεδίο ονομάζεται η περιοχή πεδίου της κεραίας η οποία βρίσκεται μεταξύ του αντιδρώντος κοντινού πεδίου και του μακρινού πεδίου όπου κυριαρχεί το πεδίο ακτινοβολίας και η κατανομή γωνιακού πεδίου εξαρτάται από την απόσταση από την κεραία. Αν η μέγιστη διάσταση της κεραίας είναι μικρή σε σχέση με το μήκος κύματος τότε αυτή η περιοχή μπορεί να μην εμφανίζεται. Το εσωτερικό όριο θεωρείται πως βρίσκεται σε απόσταση ακτίνας $R \geq 0.62\sqrt{D^3/\lambda}$ και το εξωτερικό όριο σε απόσταση ακτίνας $R < 2D^2/\lambda$, όπου D είναι η μέγιστη διάσταση της κεραίας. [1]

Μακρινό πεδίο ονομάζεται η περιοχή του πεδίου μιας κεραίας όπου η κατανομή του γωνιακού πεδίου είναι ανεξάρτητη από την απόσταση από την κεραία. Αν η συνολική μέγιστη διάσταση της κεραίας είναι D , η περιοχή του μακρινού πεδίου θεωρείται πως βρίσκεται σε μια απόσταση ακτίνας, από την κεραία, μεγαλύτερη του $2D^2/\lambda$. Σε ορισμένους τύπους κεραιών, όπως οι πολυδεσμικές ανακλαστικές κεραίες (multibeam reflector antennas), τα διαγράμματα του μακρινού πεδίου παρουσιάζονται ευαίσθητα καθώς μεταβάλλεται η φάση. Το $2D^2/\lambda$, για τέτοιου είδους κεραίες, καθίσταται ανεπαρκές. Στα φυσικά μέσα, αν η συνολική μέγιστη διάσταση D μιας κεραίας είναι μεγαλύτερη σε σύγκριση με το $\pi/|\gamma|$, το μακρινό πεδίο θεωρείται ότι εμφανίζεται για πρώτη φορά σε απόσταση $|\gamma|D^2/\pi$ από την κεραία. Το εσωτερικό

όριο θεωρείται ότι βρίσκεται σε απόσταση ακτίνας $R=2D^2/\lambda$ ενώ το εξωτερικό όριο θεωρείται στο άπειρο.[1]



Εικόνα 7 Περιοχές Πεδίου μιας Κεραίας

1.2.4 Ακτίνα-Στερακτίνα

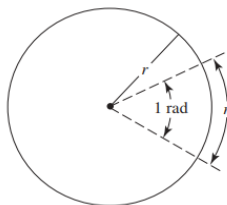
Ένα ακτίνιο (radian) είναι το μέτρο μιας επίπεδης γωνίας. Ακτίνιο θεωρείται μια επίπεδη γωνία με κορυφή στο κέντρο ενός κύκλου ακτίνας r , που εμπεριέχεται σε ένα τόξο του οποίου το μήκος είναι η ακτίνα r . Δεδομένου ότι η περιφέρεια ενός κύκλου ακτίνας r είναι $C=2\pi r$, αυτό σημαίνει ότι υπάρχουν 2π ακτίνια ($2\pi r/r$) σε έναν πλήρη κύκλο. [1]

Ένα στερακτίνο (steradian) είναι το μέτρο μιας στερεής γωνίας. Στερακτίνο θεωρείται μια στερεά γωνία με κορυφή στο κέντρο μιας σφαίρας ακτίνας r , που εμπεριέχεται στην περιοχή μιας σφαιρικής επιφάνειας ίσης με αυτής ενός τετραγώνου του οποίου το μήκος κάθε πλευράς είναι ίσο με r . Γνωρίζοντας ότι η επιφάνεια μιας σφαίρας ακτίνας r είναι $A= 4\pi r^2$, υπάρχουν 4π στερακτίνια ($4\pi r^2/r^2$) σε μια ολοκληρωμένη σφαίρα. Η περιοχή dA στην επιφάνεια μιας σφαίρας ακτίνας r δίνεται από τον τύπο, [1]

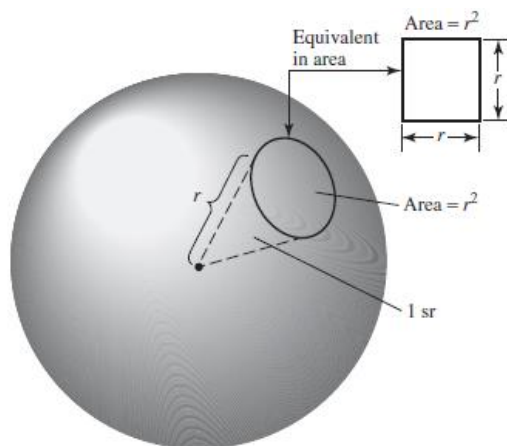
$$dA= r^2 \sin\theta \, d\theta \, d\phi \quad (\text{m}^2)$$

επομένως το στοιχείο μιας στερεής γωνίας $d\Omega$ θα μπορούσε να γραφτεί ως εξής,

$$d\Omega= dA/r^2 = \sin\theta \, d\theta \, d\phi \quad (\text{sr}).$$



Εικόνα 8 Ακτίνιο



Εικόνα 9 Στερεακτίνιο

1.3 Πυκνότητα Ισχύος Ακτινοβολίας

Η μεταφορά της πληροφορίας γίνεται με τη χρήση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων μέσω ενός ασύρματου μέσου ή μιας δομής καθοδήγησης από το ένα σημείο στο άλλο. Η ενέργεια και η ισχύς σχετίζονται άμεσα με τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Το διάνυσμα Poynting (Poynting vector) είναι αυτό που περιγράφει την ενέργεια που σχετίζεται με ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα και ορίζεται από τον τύπο, [1]

$$\mathbf{W} = \mathbf{E} \times \mathbf{H}$$

όπου,

$$\mathbf{W} = \text{στιγμιαίο διάνυσμα Poynting} \quad (\text{W/m}^2)$$

$$\mathbf{E} = \text{στιγμιαία ένταση ηλεκτρικού πεδίου} \quad (\text{V/m})$$

$$\mathbf{H} = \text{στιγμιαία ένταση μαγνητικού πεδίου} \quad (\text{A/m})$$

Από τη στιγμή που το διάνυσμα Poynting είναι η πυκνότητα ισχύος (power density), η συνολική ισχύς που διασχίζει μια κλειστή επιφάνεια μπορεί να πραγματοποιηθεί με βάση το ολοκλήρωμα διανύσματος Poynting στο σύνολο της επιφάνειας. Ο τύπος είναι

$$P = \iint \mathbf{W} \cdot d\mathbf{s} = \iint \mathbf{W} \cdot \mathbf{n} \, d\mathbf{a}$$

όπου,

P = στιγμιαία συνολική ισχύς (W)

n = μοναδιαίο διάνυσμα κανονικοποίησης στην επιφάνεια

da = απειροελάχιστη περιοχή της κλειστής επιφάνειας (m^2)

Το μέσο χρονικό διάνυσμα (μέση πυκνότητα ισχύος) γράφεται ως εξής,

$$W_{av}(x, y, z) = [W(x, y, z:t)]_{av} = \frac{1}{2} \text{Re}(E \times H) \text{ (W/m}^2\text{)}$$

Ο παράγοντας $\frac{1}{2}$ στην παραπάνω εξίσωση εμφανίζεται επειδή τα πεδία E και H αναπαριστούν τιμές κορυφής και θα πρέπει να παραλειφθούν για RMS τιμές (ενεργές τιμές). Με βάση την παραπάνω εξίσωση η μέση ακτινοβολούμενη ισχύς μιας κεραίας γράφεται ως εξής, [1]

$$P_{rad} = P_{av} = \iint W_{rad} ds = \iint W_{av} n da = \frac{1}{2} \iint \text{Re}(E \times H) ds$$

1.4 Ένταση Ακτινοβολίας

Σε μια δεδομένη κατεύθυνση η ένταση της ακτινοβολίας (radiation intensity) ορίζεται ως η ακτινοβολούμενη ισχύς μιας κεραίας ανά μονάδα στερεής γωνίας. Η ένταση ακτινοβολίας είναι παράμετρος του μακρινού πεδίου και παράγεται από τον πολλαπλασιασμό της πυκνότητας ακτινοβολίας με το τετράγωνο της απόστασης. Με μαθηματικούς όρους αυτό εκφράζεται ως εξής, [1]

$$U = r^2 W_{rad}$$

όπου,

U = ένταση ακτινοβολίας (W/μονάδα στερεάς γωνίας)

W_{rad} = πυκνότητα ακτινοβολίας (W/ m^2)

Η ένταση της ακτινοβολίας συνδέεται άμεσα επίσης και με το ευρείας ζώνης ηλεκτρικό πεδίο (far zone electric field) μιας κεραίας μέσα απ τη σχέση,

$$\begin{aligned} U(\theta, \phi) &= r^2/2\eta |E(r, \theta, \phi)|^2 \approx r^2/2\eta [|E_\theta(r, \theta, \phi)|^2 + |E_\phi(r, \theta, \phi)|^2] \\ &\approx 1/2\eta [|E_\theta^0(\theta, \phi)|^2 + |E_\phi^0(\theta, \phi)|^2] \end{aligned}$$

όπου,

$E(r, \theta, \phi)$ = ένταση ευρείας ζώνης ηλεκτρικού πεδίου της κεραίας =

$$E^0(\theta, \phi) e^{-j\omega t} / r$$

E_θ, E_ϕ = συνιστώσες ευρείας ζώνης ηλεκτρικού πεδίου της κεραίας

η = αντίσταση του μέσου

Η συνολική ισχύς επιτυγχάνεται ολοκληρώνοντας την ένταση της ακτινοβολίας ως προς τη στερεά γωνία των 4π παράγοντας τον εξής τύπο,

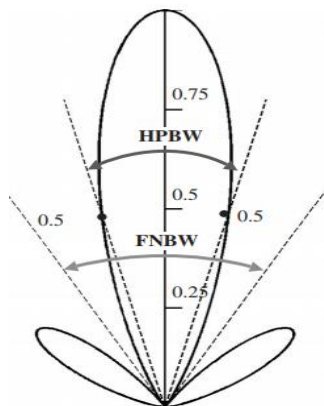
$$P_{\text{rad}} = \iint U \, d\Omega = \int_0^{2\pi} \int_0^\pi U \sin\theta \, d\theta \, d\phi$$

όπου,

$$d\Omega = \text{στοιχείο στερεής γωνίας} = \sin\theta \, d\theta \, d\phi$$

1.5 Εύρος Δέσμης

Σε σχέση με το διάγραμμα μιας κεραίας υπάρχει μια παράμετρος που ορίζεται ως εύρος δέσμης (beamwidth). Εύρος δέσμης είναι ο γωνιακός διαχωρισμός δυο κοινών σημείων σε αντίθετες πλευρές του διαγράμματος. Μια από τις ευρύτερα χρησιμοποιημένες δέσμες είναι το εύρος δέσμης μισής ισχύος (half-power beamwidth, HPBW) που ορίζεται ως γωνία μεταξύ δύο κατευθύνσεων όπου η ένταση της ακτινοβολίας είναι η μισή τιμή της δέσμης. Άλλο ένα σημαντικό εύρος δέσμης που εξετάζεται στις κεραίες είναι το εύρος δέσμης πρώτου μηδενισμού (first null beamwidth, FNBW). Ωστόσο, σε πρακτικό επίπεδο, όταν γίνεται αναφορά στον όρο εύρος δέσμης αν δεν υπάρχει κάποιο άλλο δεδομένο, συνήθως αφορά το εύρος δέσμης μισής ισχύος. Το εύρος δέσμης μιας κεραίας χρησιμοποιείται ως αντιστάθμισμα μεταξύ αυτής και του επιπέδου του πλευρικού λοβού. Όσο το εύρος δέσμης μειώνεται, τόσο αυξάνεται ο πλευρικός λοβός και το αντίστροφο. [1][3]



Εικόνα 10 HPBW και FNBW σε δισδιάστατο διάγραμμα ισχύος

1.6 Κατευθυντικότητα

Ο λόγος της έντασης ακτινοβολίας σε μια δεδομένη κατεύθυνση από την κεραία προς τη μέση ένταση ακτινοβολίας είναι η κατευθυντικότητα (directivity) μιας κεραίας. Η μέση ένταση ακτινοβολίας είναι ίση με τη συνολική ακτινοβολούμενη ισχύ της κεραίας διαιρεμένη με 4π . Αν η κατεύθυνση δεν είναι δεδομένη τότε χρησιμοποιείται η κατεύθυνση της μέγιστης έντασης ακτινοβολίας. Απλούστερα, η κατευθυντικότητα μιας μη ισοτροπικής πηγής είναι ίση με το λόγο έντασης ακτινοβολίας της σε μια δεδομένη κατεύθυνση προς αυτή μιας ισοτροπικής πηγής. Ο παραπάνω ορισμός δίνεται από τον τύπο [1][2]

$$D = U/U_0 = 4\pi U / P_{\text{rad}}$$

Αν δεν έχει οριστεί η κατεύθυνση τότε χρησιμοποιείται η κατεύθυνση της μέγιστης έντασης ακτινοβολίας (μέγιστη κατευθυντικότητα) με βάση τον τύπο,

$$D_{\text{max}} = D_0 = U_{\text{max}} / U_0 = 4\pi U_{\text{max}} / P_{\text{rad}}$$

όπου,

D = κατευθυντικότητα	(δίχως διαστάσεις)
D_0 = μέγιστη κατευθυντικότητα	(δίχως διαστάσεις)
U = ένταση ακτινοβολίας	(W/μονάδα στερεής γωνίας)
U_{max} = μέγιστη ένταση ακτινοβολίας	(W/μονάδα στερεής γωνίας)
U_0 = ένταση ακτινοβολίας ισοτροπικής πηγής	(W/μονάδα στερεής γωνίας)
P_{rad} = συνολική ακτινοβολούμενη ισχύς	(W)

Η κατευθυντικότητα μιας ισοτροπικής πηγής είναι ίση με τη μονάδα καθώς τα μεγέθη U , U_{max} και U_0 έχουν κοινές τιμές δηλαδή είναι ίσα μεταξύ τους. Ακόμη, σε κεραίες που αποτελούνται από στοιχεία ορθογώνιας πόλωσης ορίζεται η μερική κατευθυντικότητα μιας κεραίας με δεδομένη πόλωση προς μια δεδομένη κατεύθυνση, ως η περιοχή εκείνη της έντασης ακτινοβολίας με δεδομένη πόλωση διαιρούμενη με τη μέση συνολική ένταση ακτινοβολίας προς όλες τις κατευθύνσεις. Με τον παραπάνω ορισμό για την μερική κατευθυντικότητα, με δεδομένο την κατεύθυνση, η συνολική κατευθυντικότητα είναι το άθροισμα των μερικών κατευθυντικοτήτων για

δυο ορθογώνιες πολώσεις. Για ένα σύστημα σφαιρικών συντεταγμένων η συνολική μέγιστη κατευθυντικότητα D_0 για τα ορθογώνια στοιχεία μιας κεραίας δίνεται από τον τύπο, [1]

$$D_0 = D_\theta + D_\phi$$

Επίσης οι τύποι κατευθυντικότητας για τα ορθογώνια στοιχεία θ και ϕ μιας κεραίας είναι,

$$D_\theta = 4\pi U_\theta / (P_{\text{rad}})_\theta + (P_{\text{rad}})_\phi$$

$$D_\phi = 4\pi U_\phi / (P_{\text{rad}})_\theta + (P_{\text{rad}})_\phi$$

όπου,

U_θ = ένταση ακτινοβολίας σε μια δεδομένη κατεύθυνση μέσα στο πεδίο του στοιχείου θ

U_ϕ = ένταση ακτινοβολίας σε μια δεδομένη κατεύθυνση μέσα στο πεδίο του στοιχείου ϕ

$(P_{\text{rad}})_\theta$ = ακτινοβολούμενη ισχύς προς όλες τις κατευθύνσεις μέσα στο πεδίο του στοιχείου θ

$(P_{\text{rad}})_\phi$ = ακτινοβολούμενη ισχύς προς όλες τις κατευθύνσεις μέσα στο πεδίο του στοιχείου ϕ

1.7 Αποδοτικότητα Ακτινοβολίας

Η συνολική αποδοτικότητα μιας κεραίας (antenna efficiency) συμβολίζεται με το e_0 και χρησιμοποιείται για να ληφθούν υπόψη απώλειες κατά την είσοδο στους ακροδέκτες της κεραίας αλλά και στην εσωτερική δομή της κατασκευής. Αυτές οι απώλειες οφείλονται αρχικά σε ανακλάσεις λόγω ασυμφωνίας μεταξύ της γραμμής μεταφοράς και της κεραίας και δεύτερον, λόγω της διηλεκτρικής απόδοσης και της αγωγιμότητας (I^2R losses, απώλειες ισχύς). Έτσι η συνολική αποδοτικότητα της κεραίας δίνεται από τον εξής τύπο, [1]

$$e_0 = e_r e_c e_d$$

όπου,

e_0 = συνολική αποδοτικότητα κεραίας (μέγεθος δίχως διάσταση)

e_r = αποδοτικότητα ανάκλασης (αναντιστοιχία)= $(|1 - \Gamma^2|)$ (μέγεθος δίχως διάσταση)

e_c = αποδοτικότητα αγωγιμότητας (μέγεθος δίχως διάσταση)

e_d = διηλεκτρική αποδοτικότητα (μέγεθος δίχως διάσταση)

Γ = συντελεστής ανάκλασης τάσης στους ακροδέκτες εισόδου της κεραίας

$$(\Gamma = (Z_{in} - Z_0) / (Z_{in} + Z_0)) \text{ όπου,}$$

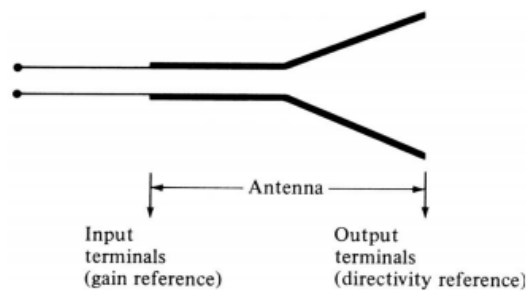
Z_{in} = αντίσταση εισόδου κεραίας

Z_0 = χαρακτηριστική αντίσταση γραμμής μετάδοσης)

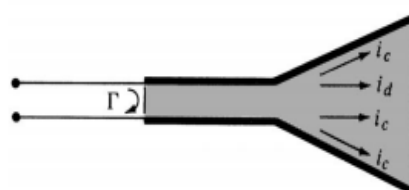
Τα μεγέθη e_c και e_d συνήθως προσδιορίζονται πειραματικά καθώς θεωρείται πολύ δύσκολο να υπολογιστούν. Αυτά τα δυο μεγέθη δεν μπορούν να διαχωριστούν για αυτό η εξίσωση της συνολικής αποδοτικότητας μπορεί να γραφεί και ως εξής, [1]

$$e_0 = e_r e_{cd} = e_{cd} (|1 - \Gamma^2|)$$

όπου, $e_{cd} = e_c e_d$ = αποδοτικότητα ακτινοβολίας κεραίας, δημιουργώντας έτσι ένα συσχετισμό ανάμεσα σε απολαβή και κατευθυντικότητα.



Εικόνα 11 Εσωτερικοί και Εξωτερικοί Ακροδέκτες Κεραίας



(b) Reflection, conduction, and dielectric losses

Εικόνα 12 Ακροδέκτες Αναφοράς και Απώλειες Κεραίας

1.8 Απολάβη

Μια ακόμη σημαντική και χρήσιμη παράμετρος, για την περιγραφή της επίδοσης μιας κεραίας, είναι η απολαβή (gain). Παρόλο που η απολαβή μιας κεραίας είναι στενά συνδεδεμένη με την κατευθυντικότητα, θεωρείται ένα μέτρο που λαμβάνει υπόψιν του την απόδοση της κεραίας (γίνεται αναφορά παρακάτω) καθώς και τις κατευθυντήριες ικανότητές της. Η απολαβή μιας κεραίας ορίζεται ως ο λόγος της έντασης ακτινοβολίας σε μια δεδομένη κατεύθυνση προς την ένταση ακτινοβολίας που θα επιτευχθεί εάν η ακτινοβολούμενη ισχύς που δέχεται η κεραία, εκπέμπεται ισοτροπικά. Η ένταση ακτινοβολίας που αντιστοιχεί στην ισοτροπικά ακτινοβολούμενη ισχύ είναι ίση με την ακτινοβολούμενη ισχύ που δέχεται η κεραία διαιρεμένη με 4π . [1][2]

$$G = \text{ένταση ακτινοβολίας} / (\text{ολική ισχύς εισόδου}/4\pi) \text{ (απόλυτη απολαβή)}$$

Στις περισσότερες περιπτώσεις γίνεται αναφορά στη σχετική απολαβή μιας κεραίας η οποία ορίζεται ως ο λόγος της απολαβής ισχύος σε μια δεδομένη κατεύθυνση προς την απολαβή ισχύος μιας κεραίας αναφοράς στην δική της αναφερόμενη κατεύθυνση. Η ισχύς εισόδου θα πρέπει να είναι ισόποση και στις δυο κεραίες. Ως κεραία αναφοράς συνήθως εννοείται ένα δίπολο ή μια κεραία χοάνης (horn antenna) ή οποιαδήποτε άλλη κεραία της οποίας η απολαβή μπορεί να υπολογιστεί ή είναι ήδη γνωστή. Συνήθως η κεραία αναφοράς είναι μια ισοτροπική πηγή χωρίς απώλειες.

$$G = 4\pi U(\theta, \varphi) / P_{in} \text{ (ισοτροπική πηγή χωρίς απώλειες)} (\text{μέγεθος δίχως διάσταση})$$

Όταν η κατεύθυνση δεν είναι δεδομένη, η απολαβή ισχύος λαμβάνει τιμή από την κατεύθυνση της μέγιστης ακτινοβολίας. Η συνολική ακτινοβολούμενη ισχύς σχετίζεται με τη συνολική ισχύ εισόδου μέσα από τον τύπο,

$$P_{rad} = e_{cd} P_{in}$$

όπου e_{cd} είναι η αποδοτικότητα ακτινοβολίας της κεραίας, ένα μέγεθος χωρίς διάσταση το οποίο έχει οριστεί στην προηγούμενη ενότητα που αφορούσε την αποδοτικότητα της κεραίας. [1][2]

1.9 Αποδοτικότητα Δέσμης

Για ακόμα καλύτερη μελέτη μιας κεραίας μια ακόμη παράμετρος που λαμβάνεται υπόψιν είναι η αποδοτικότητα δέσμης (beam efficiency) η οποία θεωρείται το κριτήριο για την ποιότητα μιας κεραίας, είτε εκπομπής είτε λήψης. Για την κεραία της οποίας ο κύριος λοβός κατευθύνεται κατά μήκος του z'z άξονα (γωνία $\theta=0$) η αποδοτικότητα δέσμης (BE) ορίζεται από τον εξής τύπο, [1]

$$BE = (\text{ισχύς μετάδοσης-λήψης εντός κωνικής γωνίας } \theta_1) / (\text{ισχύς μετάδοσης-λήψης από την κεραία}) \text{ (δίχως διάσταση)}$$

όπου,

θ_1 = η μισή γωνία ενός κώνου εντός του οποίου βρίσκεται το ποσοστό της συνολικής ισχύς

$$BE = \int_0^{2\pi} \int_0^{\theta_1} U(\theta, \varphi) \sin\theta \, d\theta \, d\varphi / \int_0^{2\pi} \int_0^\pi U(\theta, \varphi) \sin\theta \, d\theta \, d\varphi$$

Αν η θ_1 επιλεγεί ως η γωνία στην οποία συμβαίνει ο πρώτος μηδενισμός ή ελαχιστοποίηση τότε η αποδοτικότητα της δέσμης θα παρουσιάζει την ποσότητα της ισχύος στον κύριο λοβό σε σύγκριση με τη συνολική ισχύ. Σε κεραίες στις οποίες τα ληφθέντα σήματα πρέπει να ελαχιστοποιηθούν, η αποδοτικότητα της δέσμης θα πρέπει να είναι πολύ υψηλή. [2]

1.10 Εύρος Ζώνης

Εύρος ζώνης (bandwidth) μιας κεραίας ονομάζεται το φάσμα συχνοτήτων μέσα στο οποίο η αποδοτικότητα της κεραίας ακολουθεί ένα συγκεκριμένο πρότυπο σε σχέση με κάποια χαρακτηριστικά της κεραίας. Μπορεί να θεωρηθεί πως το εύρος συχνοτήτων είναι το εύρος σε κάθε πλευρά μιας κεντρικής συχνότητας στο οποίο τα βασικά χαρακτηριστικά μιας κεραίας, όπως η απολαβή, οι πλευρικοί λοβοί, η κατευθυντικότητα, η αποδοτικότητα της ακτινοβολίας κ.α., βρίσκονται εντός αποδεκτών τιμών σε σύγκριση με τα αντίστοιχα χαρακτηριστικά της κεραίας στην κεντρική συχνότητα. Ωστόσο δεν μπορεί να δοθεί κάποιος συγκεκριμένος χαρακτηρισμός για το εύρος ζώνης γιατί τα χαρακτηριστικά μιας κεραίας δεν

συμπεριφέρονται κατά τον ίδιο τρόπο, ούτε επηρεάζονται σημαντικά από τη συχνότητα. [1]

1.11 Πόλωση

Η πόλωση (polarization) μιας κεραίας προς μια δεδομένη κατεύθυνση ορίζεται ως η πόλωση ενός εκπεμπόμενου (ακτινοβοληθέντος) κύματος από την κεραία. Όταν η κατεύθυνση δεν είναι δεδομένη η πόλωση θεωρείται πως βρίσκεται προς την κατεύθυνση του μέγιστου κέρδους. Πιο συγκεκριμένα η πόλωση της ακτινοβολουμένης ενέργειας παρουσιάζει διαφορετικές συμπεριφορές ανάλογα με την κατεύθυνση από το κέντρο μιας κεραίας, που σημαίνει ότι διαφορετικά τμήματα του διαγράμματος μπορεί να έχουν διαφορετικό τύπο πόλωσης. [1][3]

Η πόλωση ενός κύματος ορίζεται ως ένα κύμα το οποίο εκπέμπεται ή λαμβάνεται από μια κεραία προς μια δεδομένη κατεύθυνση. Η πόλωση ενός κύματος που ακτινοβολείται από μια κεραία σε μια καθορισμένη κατεύθυνση σε ένα σημείο στο μακρινό πεδίο ορίζεται ως η πόλωση του επίπεδου κύματος το οποίο χρησιμοποιείται για να αντιπροσωπεύει το ακτινοβολούμενο κύμα στο συγκεκριμένο σημείο. Σε μια κεραία, σε οποιοδήποτε σημείο στο μακρινό πεδίο, το ακτινοβολούμενο κύμα παρουσιάζεται ως ένα κύμα του οποίου η ισχύς του ηλεκτρικού πεδίου είναι ίδια με εκείνη του κύματος και της οποίας η διεύθυνση διάδοσης βρίσκεται στην ακτινική διεύθυνση από την κεραία. Η πόλωση ενός κύματος που λαμβάνεται από μια κεραία ορίζεται ως η πόλωση ενός επίπεδου κύματος, που προσπίπτει από μια δεδομένη κατεύθυνση και έχει δεδομένη πυκνότητα ροής ισχύος, που έχει ως αποτέλεσμα τη μέγιστη δυνατή ισχύ στους ακροδέκτες της κεραίας. Η πόλωση παρουσιάζει τρεις διαφορετικούς τύπους και μπορεί να οριστεί ως γραμμική, κυκλική ή ελλειπτική. [1]

1.12 Σύνθετη Αντίσταση Εισόδου

Η σύνθετη αντίσταση εισόδου (input impedance) εμφανίζεται από μια κεραία στους ακροδέκτες της ή ως αναλογία της τάσης προς το ρεύμα σε ένα ζεύγος ακροδεκτών ή ως αναλογία των κατάλληλων συνιστωσών του ηλεκτρικού προς τα μαγνητικά πεδία σε ένα σημείο. Η αναλογία της τάσης προς το ρεύμα στους ακροδέκτες μιας κεραίας, χωρίς συνδεδεμένο φορτίο, ορίζει την σύνθετη αντίσταση της κεραίας και δηλώνεται από τον εξής τύπο, [1]

$$Z_A = R_A + jX_A$$

όπου,

Z_A = σύνθετη αντίσταση κεραίας στους ακροδέκτες a-b (antenna impedance) (ohms)

R_A = αντίσταση κεραίας στους ακροδέκτες a-b (antenna resistance) (ohms)

X_A = ηλεκτρική επαγωγική αντίσταση κεραίας στους ακροδέκτες a-b (antenna reactance) (ohms)

Η αντίσταση R_A αποτελείται από δύο συνιστώσες που αφορούν την ακτινοβολία και τις απώλειες. Συγκεκριμένα ο τύπος που δίνει την αντίσταση R_A είναι,

$$R_A = R_r + R_l$$

όπου,

R_r = αντίσταση ακτινοβολίας της κεραίας

R_l = απώλεια αντίστασης της κεραίας

Η αντίσταση ακτινοβολίας χρησιμοποιείται για να αντιπροσωπεύει την ισχύ που παραδίδεται στην κεραία για ακτινοβολία. Η σύνθετη αντίσταση εισόδου είναι μια συνάρτηση της συχνότητας. Για αυτό η κεραία θα ταιριάζει με τη διασυνδεδεμένη γραμμή μετάδοσης και με άλλο εξοπλισμό μόνο εντός του εύρους ζώνης. [1]

1.13 Αποδοτικότητα Ακτινοβολίας Κεραίας

Η αποδοτικότητα ακτινοβολίας μιας κεραίας λαμβάνει υπόψη ανακλαστικές, αγωγικές και διηλεκτρικές απώλειες. Οι αγωγικές και διηλεκτρικές απώλειες είναι πολύ δύσκολο να υπολογιστούν. Έτσι, η αποδοτικότητα ακτινοβολίας μιας κεραίας ορίζεται ως ο λόγος της ισχύς που παραδίδεται στην αντίσταση ακτινοβολίας R_r προς την ισχύ που παραδίδεται στις αντιστάσεις R_r και R_l . Ο τύπος της αποδοτικότητας ακτινοβολίας είναι,

$$e_{cd} = R_r / (R_r + R_l) \quad [1]$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο ΤΥΠΟΙ ΚΕΡΑΙΩΝ

2.1 Καλωδιακές Κεραίες (Διπολικές, Μονοπολικές και Κεραίες Βρόγχου)

Οι πιο γνωστές, σε χρήση, κεραίες που χρησιμοποιούνται για συστήματα επικοινωνίας, μετάδοση και μέτρηση του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου είναι κεραίες όπως οι διπολικές (Dipole), οι μονοπολικές (Monopole) καθώς και οι κεραίες βρόγχου (Loop Antenna). Η μελέτη μιας διπολικής κεραίας αφορά τη συγκεκριμένη εργασία της οποίας η ανάλυση γίνεται στο επόμενο κεφάλαιο. Παρακάτω παρουσιάζεται μια μικρή ανάλυση για τις διπολικές, τις μονοπολικές και τις κεραίες βρόγχου.

2.1.1 Διπολικές και Μονοπολικές Κεραίες

Οι απλούστεροι τύποι καλωδιακών κεραίων είναι οι μονοπολικές και οι διπολικές κεραίες. Μια διπολική κεραία είναι συνήθως ένα γραμμικό μεταλλικό σύρμα ή ράβδος και το σημείο τροφοδοσίας βρίσκεται στο κέντρο. Συνήθως μια διπολική κεραία αποτελείται από δύο συμμετρικούς ακτινοβολούμενους βραχίονες. Αντιθέτως, μια μονοπολική κεραία αποτελείται από έναν ακτινοβολούμενο βραχίονα, ωστόσο συνηθίζεται να χρησιμοποιείται πάνω από ένα πλήρες ή μερικό επίπεδο εδάφους. Οι αντανάκλασεις από το επίπεδο του εδάφους παράγουν μια εικονική μονοπολική κεραία κάτω από το έδαφος, έτσι μια μονοπολική κεραία πάνω από ένα τέλειο επίπεδο από το έδαφος μπορεί να αξιολογηθεί με τον ίδιο τρόπο όπως μια διπολική κεραία. Το σχήμα των λοβών ακτινοβολίας της κεραίας εξαρτάται από το μέγεθος της κεραίας και γενικότερα οι διπολικές και μονοπολικές κεραίες χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπου η ακτινοβολία είναι επιθυμητή στους άξονες x-y της κεραίας. [1]

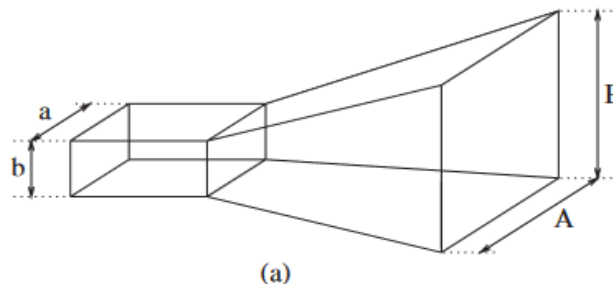
2.1.2 Κεραίες Βρόγχου (Loop Antennas)

Ένας άλλος απλός, φθηνός και πολύ ευέλικτος τύπος κεραίας είναι η κεραία βρόγχου. Στη συγκεκριμένη κεραία έχουν δοθεί πολλές διαφορετικές μορφές όπως αυτή του ορθογωνίου, του τετραγώνου, του τριγώνου, της έλλειψης, του κύκλου αλλά και άλλες μορφές. Λόγω της απλότητας σε ανάλυση αλλά και στην κατασκευή, ο κυκλικός βρόγχος είναι η πιο δημοφιλής κεραία στην οικογένεια των βρόγχων και έχει λάβει την μεγαλύτερη προσοχή. [4]

Οι κεραίες βρόγχου ταξινομούνται συνήθως σε δύο κατηγορίες, στις ηλεκτρικά μικρές και στις ηλεκτρικά μεγάλες. Ηλεκτρικά μικρές κεραίες είναι εκείνες των οποίων το συνολικό μήκος (περιφέρεια) είναι συνήθως μικρότερο από το ένα δέκατο του μήκους κύματος ($C < \lambda/10$). Ηλεκτρικά μεγάλες κεραίες είναι εκείνες των οποίων η περίμετρος είναι περίπου ένα μήκος κύματος στον ελεύθερο χώρο ($C \approx \lambda$). Η κεραία βρίσκει εφαρμογή στις ζώνες συχνοτήτων HF (3-30MHz) [5], VHF (30-300MHz), UHF(300MHz - 3GHz). Ωστόσο, όταν χρησιμοποιούνται ως ανιχνευτές πεδίου οι κεραίες βρόγχου βρίσκουν εφαρμογή και στις μικροκυματικές συχνότητες (300MHz – 300GHz). [4]

2.2 Κεραίες Χοάνης (Horn Antennas)

Τα ραντάρ, οι δορυφορικές επικοινωνίες, οι μετρήσεις ηλεκτρομαγνητικής συμβατότητας αλλά και άλλες εφαρμογές απαιτούν ακριβείς μετρήσεις στην απολαβή μιας κεραίας. Η αξιολόγηση της απολαβής μιας κεραίας και η απόδοσή της συνήθως έρχεται σε σύγκριση με ένα καλά βαθμονομημένο πρότυπο. Για το συγκεκριμένο σκοπό χρησιμοποιούνται οι κεραίες χοάνης συγκεκριμένης απολαβής (standard-gain horns). Τέτοια κεραία είναι και η πυραμιδική χοάνη (pyramidal horn) της οποίας η ορθογώνια γεωμετρία επιτρέπει την εύκολη κατασκευή της με χαμηλό κόστος. Ακόμη μια παρόμοια κεραία είναι η κωνική χοάνη (conical horn) στην οποία η απολαβή κεραίας ξεπερνάει τα 15dBi. Κατά τον υπολογισμό της απολαβής θεωρείται ότι οι συγκεκριμένες κεραίες τερματίζονται στο άπειρο. Ωστόσο, στην πράξη στις συγκεκριμένες κεραίες υπάρχει το πάχος του μεταλλικού τοιχώματος το οποίο συχνά οδηγεί σε ανακρίβειες κατά τον υπολογισμό της απολαβής. [1][6]



Εικόνα 13 Πυραμιδική Χοάνη (Pyramidal Horn)

2.3 Κεραίες Μικροταινίας (Microstrip Antennas)

Με τη δημιουργία της κεραίας μικροταινίας, η ζήτησή της και η εφαρμογή της αυξανόταν ολοένα και περισσότερο. Λόγω των πολλών ιδιοτήτων της κεραίας μικροταινίας, αποδεικνύεται δίχως αμφιβολία ότι θα συνεχίσει να βρίσκει πολλές εφαρμογές και στο μέλλον. Αυτές οι ιδιότητες περιλαμβάνουν το χαμηλό προφίλ, το χαμηλό βάρος, η κεραία είναι συμπαγής και προσαρμόσιμη κατά την τοποθέτηση, την εύκολη κατασκευή και την ενσωμάτωση με συσκευές στερεάς κατάστασης (solid-state devices). [7][8] Οι ιδιότητες αυτές είχαν συμβολή στην επιτυχία των κεραιών μικροταινίας με αποτέλεσμα τη χρήση τους όχι μόνο σε στρατιωτικές εφαρμογές όπως πυραύλους και αεροσκάφη, αλλά και σε κινητές δορυφορικές επικοινωνίες, σε συστήματα δορυφορικής εκπομπής (DBS, direct broadcast satellite system), σε συστήματα παγκόσμιας τοποθεσίας (GPS, global positioning system), στην ανίχνευση που έχουν τα ραντάρ και άλλα συστήματα και σε άλλες εφαρμογές. [1]

Η κεραία μικροταινίας χαρακτηρίζεται για το μικρό εύρος ζώνης της, ωστόσο η εξέλιξη στην τεχνολογία έδωσε τη δυνατότητα στους ανθρώπους να βελτιώσουν κατά μεγάλο ποσοστό το εύρος ζώνης αυτής της κεραίας. Για την κατανόηση της απόδοσης της κεραίας μικροταινίας και την απλοποίηση της διαδικασίας κατασκευής της, έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές αριθμητικής ανάλυσης και έχουν μετατραπεί σε εργαλεία σχεδίασης με υπολογιστή (CAD, computer-aided design tools). Κάποιες από αυτές τις τεχνικές ανάλυσης βοηθούν πολύ τους σχεδιαστές να αποκτήσουν μια πιο σαφή εικόνα για τον μηχανισμό λειτουργίας της κεραίας. [1][8]

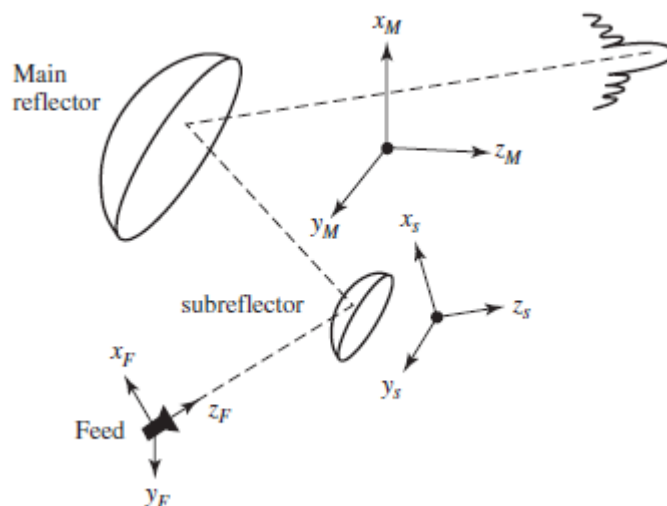
Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα, η κεραία μικροταινίας παρουσιάζει διάφορα πλεονεκτήματα όπως η εύκολη κατασκευή και το πολύ χαμηλό βάρος. Η κεραία καθίσταται συμβατή με διάφορες εφαρμογές παρόλα αυτά παρουσιάζει και κάποια μειονεκτήματα. Όταν το υπόστρωμα της κεραίας είναι πολύ λεπτό αυτό προκαλεί το χαμηλό εύρος ζώνης στη κεραία σε ποσοστό μικρότερο του 5%. Με την πρόοδο της τεχνολογίας ωστόσο, οι σχεδιαστές έχουν καταφέρει να ανεβάσουν αυτό το ποσοστό σχεδόν στο 50%. Ακόμη η συστοιχία της κεραίας αποφέρει μεγαλύτερη ωμική απώλεια στην κεραία σε σχέση με άλλες κεραίες με παρόμοιο άνοιγμα. Η ζήτηση αυτού του είδους ολοένα και αυξάνεται κάνοντας έτσι τους σχεδιαστές να αναζητούν νέους τρόπους για την βελτίωση των κεραιών. [1]

2.4 Κεραίες Ανακλαστήρες (Reflector Antennas)

Οι κεραίες ανακλαστήρες θεωρούνται ως μια από τις καλύτερες λύσεις στις απαιτήσεις για συστήματα κεραιών υψηλής απόδοσης με υψηλή απολαβή και αντάξια του κόστους τους. Η πλειοψηφία των κεραιών των επίγειων σταθμών αλλά και των τεχνητών δορυφόρων που βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τη γη είναι κεραίες ανακλαστήρα διαφορετικών τύπων. Για την κατασκευή κεραιών με πολύ μεγάλο άνοιγμα χρησιμοποιούνται οι ανακλαστήρες ή οι συστοιχίες, με τους ανακλαστήρες να θεωρούνται πιο εύχρηστοι και απλούστεροι σε σχέση με τις συστοιχίες. Με άφθονο χώρο και χαμηλούς ρυθμούς σάρωσης οι ανακλαστήρες θεωρούνται καλύτεροι στο σχεδιασμό σε σχέση με τις συστοιχίες. Ένας ανακλαστήρας χρησιμοποιεί μια απλή τροφοδοσία και τον ελεύθερο χώρο ως δίκτυο της τροφοδοσίας του. [1]

Για ραδιοεπικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων (ραδιοφωνικές συνδέσεις και δορυφορικές συνδέσεις), ραντάρ υψηλής ανάλυσης και άλλα συστήματα απαιτούνται κεραίες υψηλής απολαβής. [9] Οι ανακλαστήρες και συστήματα αυτών θεωρούνται οι πιο διαδεδομένες κεραίες υψηλής απολαβής. Μπορούν εύκολα να επιτύχουν απολαβή ύψους μεγαλύτερου των 30dB για μικροκύματα και υψηλότερες συχνότητες. Λειτουργούν με βάση κάποιες αρχές γνωστές εδώ και πολύ καιρό από τα γεωμετρικά οπτικά στοιχεία. [1]

Η απλούστερη κεραία ανακλαστήρα αποτελείται από δυο διαφορετικά στοιχεία. Το ένα είναι μια αντανakλαστική επιφάνεια και το άλλο μια πολύ μικρότερη κεραία τροφοδοσίας στο σημείο εστίασης του ανακλαστήρα. Πιο πολύπλοκες κατασκευές περιλαμβάνουν ένα δεύτερο ανακλαστήρα στο σημείο εστίασης, ο οποίος διεγείρεται από μια κύρια τροφοδοσία. Αυτές οι κατασκευές ονομάζονται κεραίες διπλού ανακλαστήρα. Ο πιο γνωστός και κοινός κύριος ανακλαστήρας είναι ο παραβολικός. Ωστόσο, υπάρχουν και άλλα είδη ανακλαστήρων όπως οι κυλινδρικοί, οι γωνιακοί και οι σφαιρικοί. [1]



Εικόνα 14 Σύστημα συντεταγμένων διπλού ανακλαστήρα

2.5 Κεραίες Ανεξαρτήτου Συχνότητας (Frequency Independent Antennas)

Οι κεραίες ανεξαρτήτου συχνότητας προήλθαν σαν ιδέα από την κλίμακα των συχνοτήτων που χρησιμοποιείται στις μετρήσεις μοντέλων κεραιών. Καθώς μειώνεται το μήκος κύματος (αύξηση συχνότητας) μειώνεται και το μέγεθος του μοντέλου κατά την ίδια αναλογία. Για τη δημιουργία κεραιών ανεξαρτήτου συχνότητας χρειάζονται δομές που μπορούν και είναι τα δικά τους μοντέλα κλίμακας. Μια πρώτη προσέγγιση είναι η αφαίρεση οποιουδήποτε χαρακτηριστικού μήκους προσδιορίζοντας έτσι την κεραία μόνο από τις γωνίες της. Αυτή η μέθοδος οδηγεί στο πρώτο είδος κεραιών ανεξαρτήτου συχνότητας που είναι οι σπειροειδείς κεραίες (spirals). [10] Μια άλλη προσέγγιση είναι να συμπεριληφθούν τμήματα της κεραίας τα οποία κλιμακώνουν ένα μέρος της κεραίας σε διακριτά διαστήματα συχνοτήτων. Η κλιμάκωση αυτών των τμημάτων γίνεται λογαριθμικά ώστε τα διαστήματα μεταξύ των συχνοτήτων της κλιμάκωσης να αυξάνονται με συχνότητα και αυτές είναι οι λογαριθμικά περιοδικές κεραίες (log-periodics). Οι λογαριθμικά περιοδικές κλιμακούμενες κεραίες έχουν διάφορα χαρακτηριστικά μεταξύ των σημείων κλιμάκωσης των οποίων ο κυματισμός μειώνεται καθώς η σταθερά κλιμάκωσης αγγίζει το 1 (συνεχής κλιμάκωση), αλλά ο αριθμός των τμημάτων αυξάνεται. Μια κεραία αυτόματης κλιμάκωσης θα πρέπει να λειτουργεί ως μια δομή γραμμής μεταφοράς που παρέχει ισχύ σε μια ενεργή περιοχή όπου τροφοδοτείται το άκρο υψηλής συχνότητας και χρησιμεύει ως γραμμή μεταφοράς για το τμήμα μικρότερης συχνότητας. [1] [2]

Μια κεραία ανεξαρτήτου συχνότητας έχει σταθερό εύρος δέσμης πάνω στη ζώνη συχνοτήτων της. Το σταθερό εύρος των δεσμών μπορεί να ληφθεί μόνο εάν οι διαστάσεις της ενεργού περιοχής κλιμακώνονται με το μήκος κύματος. Μια κεραία αυτόματης κλιμάκωσης δεν μπορεί να ακτινοβολεί προς την περιοχή επέκτασης της δομής. Αν η κεραία ακτινοβολούσε προς εκείνη την κατεύθυνση τότε τμήματα της δομής θα έμπαιναν σε λειτουργίες υψηλότερου βαθμού πέραν του κανονικού. Οι λογαριθμικά περιοδικές κεραίες και οι κωνικές λογαριθμικές σπειροειδείς κεραίες πυροδοτούν προς το σημείο τροφοδοσίας. Για να θεωρηθεί μια κεραία αυτόματης κλιμάκωσης επιτυχής θα πρέπει να ικανοποιεί τις παρακάτω απαιτήσεις, [2]

1. Η κεραία περιέχει τα δικά της τμήματα, συνεχόμενα ή διακριτά, που μπορούν να κλιμακωθούν σε ένα πάρα πολύ μικρό μέγεθος.
2. Η κεραία εκπέμπει το μεγαλύτερο μέρος της ισχύος σε μια πεπερασμένη ενεργό περιοχή, ώστε να μπορεί να τερματίζεται με ελάχιστη επίδραση
3. Τροφοδοτούμενη από το άκρο της υψηλής συχνότητας, η κεραία θα πρέπει να λειτουργεί ως γραμμή μεταφοράς που μεταφέρει την ισχύ προς το άκρο χαμηλής συχνότητας
4. Οι διαστάσεις της ενεργού περιοχής πρέπει να κλιμακώνονται με το μήκος κύματος
5. Η κεραία δεν πρέπει να ακτινοβολεί προς την κατεύθυνση της επέκτασης της δομής



Εικόνα 15 Κωνική Λογαριθμική Σπειροειδής Κεραία



Εικόνα 16 Λογαριθμική Περιοδική Κεραία

2.6 Κεραίες Διαρρέοντος Κύματος (Leaky-Wave Antennas)

Οι κεραίες διαρρέοντος κύματος είναι μια κατηγορία κεραιών που χρησιμοποιούν ένα κύμα, που ταξιδεύει πάνω σε μια δομή καθοδήγησης, ως τον κύριο μηχανισμό ακτινοβολίας. Οι συγκεκριμένες κεραίες είναι ικανές να παράγουν στενές δέσμες, με το εύρος της δέσμης να περιορίζεται από το μέγεθος της κατασκευής. Συχνά είναι επίπεδες ή σχεδόν επίπεδες με ελάχιστη απαίτηση βάθους. Χαρακτηριστικό αυτών των κεραιών είναι η απλότητα τους δεδομένου ότι δεν απαιτείται περίπλοκο δίκτυο τροφοδοσίας, όπως σε μια επίπεδη κεραία συστοιχίας. Αυτή η απλότητα κάνει τις συγκεκριμένες κεραίες πιο ελκυστικές για υψηλότερες συχνότητες μικροκυμάτων (microwave) και χιλιοστομετρικών κυμάτων (millimeter-wave). Οι περισσότερες κεραίες διαρρέοντος κύματος έχουν την εγγενή ιδιότητα ότι η δέσμη σαρώνει με τη συχνότητα. Αυτό είναι ένα πολύ σημαντικό πλεονέκτημα για τις εφαρμογές σάρωσης ωστόσο εμφανίζεται ως μειονέκτημα για τις επικοινωνίες από σημείο σε σημείο (point to point). [11] Λόγω αυτού, το διάγραμμα του εύρους δέσμης σε αυτές τις κεραίες, για σταθερές επικοινωνίες, συνήθως μειώνεται μαζί με το εύρος δέσμης. [1]

Οι κεραίες διαρρέοντος κύματος υποστηρίζουν ένα γρήγορο κύμα πάνω σε μια δομή καθοδήγησης, όπου η σταθερά φάσης β είναι μικρότερη από τον αριθμό κυμάτων k_0 στον ελεύθερο χώρο. Ως εκ τούτου το διαρρέον κύμα είναι θεμελιωδώς ένας τύπος ακτινοβολίας, που ακτινοβολεί ή “διαρρέει” ισχύ συνεχώς καθώς διαδίδεται στη δομή καθοδήγησης (έτσι και το όνομα της κεραίας). Συνεπώς η λειτουργία είναι αρκετά διαφορετική από μια κεραία που υποστηρίζει “αργά” κύματα

ή επιφανειακά κύματα, όπου η ακτινοβολία βρίσκεται στο άκρο της κεραίας. Λόγω της διαρροής ισχύος ο διαδιδόμενος αριθμός κυμάτων $k_z = \beta - j\alpha$ στη δομή καθοδήγησης είναι πολύπλοκος και αποτελείται από μια σταθερά φάσης β και μια σταθερά εξασθένισης α (ακόμη κι αν η κατασκευή δεν έχει απώλειες). [1]

Με το επίπεδο του πλευρικού λοβού να είναι χαμηλό, ο συγκεκριμένος τύπος κεραίας μπορεί να αποδώσει υψηλά κατευθυντικές δέσμες σε κάποια γωνία. Κατά γενικό κανόνα, η σταθερά φάσης του διαρρέοντος κύματος ελέγχει τη γωνία δέσμης, ενώ η σταθερά εξασθένισης ελέγχει το εύρος δέσμης. Η κατανομή του ανοίγματος μπορεί να είναι κωνική για να μπορεί να ελέγχει το επίπεδο του πλευρικού λοβού ή το σχήμα της δέσμης. [1]

2.7 Επαναπροσδιορίσιμες Κεραίες (Reconfigurable Antennas)

Οι επαναπροσδιορίσιμες κεραίες έχουν κάνει την εμφάνισή τους εδώ και πολλά χρόνια και έχουν αποκτήσει πλούσια και μεγάλη ιστορία σε θέματα καινοτομίας και σχεδιασμού. Ο επαναπροσδιορισμός μιας κεραίας επιτυγχάνεται μέσω μιας, εκ προθέσεως, ανακατανομής των ρευμάτων ή, ισοδύναμα, των ηλεκτρομαγνητικών πεδίων του αποτελεσματικού ανοίγματος της κεραίας, με αποτέλεσμα τις αναστρέψιμες αλλαγές στην αντίσταση της κεραίας ή/και στις ιδιότητες της ακτινοβολίας. [12] Αυτές οι αλλαγές ενεργοποιούνται μέσω διαφόρων μηχανισμών όπως η εναλλαγή, ο συντονισμός υλικού και οι κατασκευαστικές τροποποιήσεις. Στην συνέχεια εφαρμόζεται ο έλεγχος συστήματος για να επιφέρει την επιθυμητή απόδοση της κεραίας. Σύμφωνα με αυτόν τον ορισμό, ο επαναπροσδιορισμός δεν περιλαμβάνει τη χρήση περιφερειακών κυκλωμάτων ή τα αποτελέσματα από τη μετατόπιση της φάσης, τις γραμμές ελέγχου ή οποιαδήποτε άλλη συσκευή-στοιχείο που δεν αλληλοεπιδρά άμεσα με το μηχανισμό ακτινοβολίας. Έτσι μια επαναπροσδιορίσιμη κεραία παρέχει μια λύση με αυξημένη πολυπλοκότητα για την βελτίωση της απόδοσης. [1][13]

Οι τομείς εφαρμογών που οδηγούν στην ανάπτυξη και κατασκευή επαναπροσδιορίσιμων κεραιών περιλαμβάνουν πολυλειτουργικές ασύρματες συσκευές (multi-function wireless devices), συστήματα πολλαπλών εισόδων πολλαπλών εξόδων (MIMO, Multiple-Input Multiple-Output) [14], εξαιρετικά ευρείας ζώνης συστήματα (UWB, Ultra Wide Band), καθώς και αντιπαρασιτικές και ασφαλείς επικοινωνίες. Για να καλυφθούν οι ανάγκες αυτών των συστημάτων

εμφανίζονται διάφορες προκλήσεις. Μια από τις πιο θεμελιώδεις συμβαίνει όταν περιορίζεται η αναδιαμόρφωση σε μια συγκεκριμένη πλευρά της απόδοσης της κεραίας, ενώ παράλληλα απαιτείται η συνέχεια των υπόλοιπων παραμέτρων της κεραίας σε όλο το φάσμα των αναδιαμορφωμένων καταστάσεων. Η εφαρμογή και ο έλεγχος του μηχανισμού επαναπροσδιορισμού μπορεί να αποδειχθούν δύσκολα κατά τον προσδιορισμό τους. Λαμβάνοντας υπόψη όλες τις πτυχές αυτής της διαδικασίας, ο σχεδιασμός επαναπροσδιορίσιμων κεραιών μπορεί να είναι αρκετά απαιτητικός. Παρόλα αυτά παρέχει μια εξαιρετική ευκαιρία για να συνδυάσει υπερσύγχρονες τεχνολογίες με τη θεωρία κεραιών επιδιώκοντας περισσότερη ελευθερία στην απόδοση του συστήματος. [1][15]

2.8 Ευρυζωνικές Κεραίες (Wideband Antennas)

Οι ευρυζωνικές κεραίες αναφέρονται σε μια κατηγορία κεραιών με σχετικά σταθερή απόδοση σε μια ευρεία ζώνη συχνοτήτων. Το μέγεθος του εύρους ζώνης μπορεί να εξαρτάται από την εφαρμογή και ο όρος ευρυζωνικό (broadband) μπορεί να σημαίνει διαφορετική περιοχή συχνοτήτων για διαφορετικές εφαρμογές. Παρόμοιες δυσκολίες μπορούν επίσης αντιμετωπιστούν στην εξέταση ενός ειδικού τύπου κεραίας, όπου το εύρος ζώνης μπορεί να εξαρτάται από τους στόχους τους σχεδιασμού της κεραίας. Για παράδειγμα μια κεραία μικροταινίας μπορεί να είναι περιορισμένης ζώνης (narrowband) σε έναν σχεδιασμό κεραίας και ευρυζωνική (wideband) σε έναν άλλο. Έτσι ο ορισμός του εύρους ζώνης της κεραίας και η ταξινόμηση των κεραιών με βάση το εύρος ζώνης μπορεί να προκαλέσει σύγχυση και να εξαρτάται από την εκάστοτε περίπτωση. Οι επιδόσεις τις κάθε κατασκευής είναι διαφορετικές και μπορούν να γίνουν πολλές διαφορετικές κατασκευές για ένα τύπο κεραίας με αποτέλεσμα να επιτυγχάνονται πολλά διαφορετικά εύρη ζώνης. [1][16]

2.9 Κεραίες Οδεύοντος Κύματος (Travelling-Wave Antennas)

Οι κεραίες οδεύοντος κύματος αποτελούνται από δομές γραμμής μεταφοράς που ακτινοβολούν. Έχει αναπτυχθεί μια ενοποιημένη θεωρία για τις τερματικές κεραίες (end-fire line antennas) διότι το μήκος και η σταθερά διάδοσης κατά μήκος της δομής καθορίζουν τις περισσότερες από τις ιδιότητες τους. [2]

Οι κεραίες οδεύοντος κύματος κατασκευάζονται από δομές που κατευθύνουν κύματα. Οι δομές επιφανειακού κύματος (surface-wave structures) δεσμεύουν την

ισχύ στη γραμμή μεταφοράς και εκπέμπουν από ασυνέχειες όπως καμπύλες ή αλλαγές διαστάσεων. Σε ορισμένες περιπτώσεις αναλύεται το επιφανειακό κύμα που ακτινοβολεί καθ' όλη την έκτασή του στη γραμμή μεταφοράς. Οι κεραίες οδεύοντος κύματος μεταφέρουν εσωτερικά κύματα και ακτινοβολούν σε ανοίγματα που επιτρέπουν στην ενέργεια να διαφύγει. Ο μηχανισμός ακτινοβολίας διαφέρει στις δύο περιπτώσεις αλλά τα μαθηματικά που χρησιμοποιούνται είναι παρόμοια για την περιγραφή και των δύο τύπων. Μερικές κεραίες με μικρές αλλαγές στη δομή τους μπορούν να ακτινοβολούν σε οποιαδήποτε λειτουργία. Οι κεραίες οδεύοντος κύματος διαχωρίζονται από άλλες κεραίες από την παρουσία ενός κύματος που ταξιθεύει κατά μήκος της δομής, με το μεγαλύτερο μέρος της ισχύς να διαδίδεται σε μια μόνο κατεύθυνση. [2][17]

2.10 Κεραίες για Φορητή Χρήση (Antennas for Portable Use)

Εδώ διακρίνουμε τις κεραίες που υπάρχουν στα κινητά τηλέφωνα, τις κεραίες που χρησιμοποιούνται σε ετικέτες προϊόντων και καρτών, αυτές που υπάρχουν στους φορητούς υπολογιστές και σε άλλες ηλεκτρονικές συσκευές.

2.10.1 Κεραία Κινητού Τηλεφώνου (Handset Antenna)

Η εμπειρία του χρήστη ενός συστήματος κινητών επικοινωνιών εξαρτάται εξ ολοκλήρου από την απόδοση της αμφίδρομης ραδιοζεύξης μεταξύ του σταθμού βάσης και του κινητού τηλεφώνου. Κάθε φορέας δικτύου κινητής τηλεφωνίας δημιουργεί ένα σύστημα συνδεδεμένων σταθμών βάσης που βρίσκεται για να παρέχει κάλυψη όσο το δυνατόν μεγαλύτερης φυσικής περιοχής, παρέχοντας όσο το δυνατόν μεγαλύτερη κάλυψη και χωρητικότητα για την αναμενόμενη κυκλοφοριακή ζήτηση. Ενώ ο σταθμός βάσης θα είναι τυπικά εφοδιασμένος με μια κεραία υψηλής απολαβής και έναν πομπό ικανό να παράγει μερικές δεκάδες watts ισχύος ραδιοσυχνοτήτων (RF frequency), το κινητό τηλέφωνο βασίζεται σε μια κεραία της οποίας οι διαστάσεις περιορίζονται αυστηρά από εκείνες της συσκευής στην οποία είναι εξοπλισμένο με μέγιστη τυπική ακτινοβολούμενη ισχύ του ενός watt. Ενώ η κεραία του σταθμού βάσης είναι τοποθετημένη σε μια καθαρή θέση 10 μέτρα πάνω από το επίπεδο του εδάφους, το κινητό τηλέφωνο θα είναι στο χέρι του χρήστη, ίσως τοποθετημένο και στο κεφάλι του, σε απόσταση 1,5 μέτρο από το έδαφος. Αυτές οι αδυναμίες δεν είναι πολύ αισθητές όταν το κινητό τηλέφωνο χρησιμοποιείται σε ένα καλά

εξυπηρετούμενο αστικό περιβάλλον, αλλά γίνονται κρίσιμες όταν ο χρήστης βρίσκεται σε περιοχή οριακής κάλυψης δικτύου ή εντός ενός κτιρίου. [18][19]

Η πρόκληση του σχεδιασμού που τίθεται από τις κεραίες κινητών τηλεφώνων γίνεται ολοένα και πιο κρίσιμη καθώς τα δίκτυα εξελίσσονται για να προσφέρουν ένα ευρύτερο φάσμα υπηρεσιών. Οι σημερινές κινητές συσκευές είναι σε θέση να παρέχουν τηλεφωνία (ακόμη και βίντεο-κλήση), υπηρεσίες δεδομένων υψηλής ταχύτητας (4G), υπηρεσίες εντοπισμού θέσης και πλοήγησης (GPS), ψυχαγωγία και αναμένονται ακόμη περισσότερες υπηρεσίες στο μέλλον. Όχι μόνο ορισμένες από τις νέες υπηρεσίες απαιτούν υψηλότερες ταχύτητες μεταφοράς δεδομένων, αλλά ο αυξανόμενος αριθμός διαφορετικών εγκαταστάσεων εντός της συσκευής ασκεί μεγάλη πίεση στον διαθέσιμο χώρο για κεραίες. Οι σχεδιαστές κεραιών κινητών τηλεφώνων αναμένουν ότι πολλές κεραίες μπορούν να λειτουργούν με επιτυχία σε κοντινή απόσταση από εξαρτήματα όπως κάμερες, μεγάφωνο, μπαταρία κι ότι άλλο υλικό (hardware) απαιτείται για την υποστήριξη των αυξανόμενων δυνατοτήτων της συσκευής. [18]

2.10.2 Κεραίες Ετικέτας RFID (RFID Tag Antennas)

Η αναγνώριση ραδιοσυχνοτήτων (RFID, Radio Frequency Identification) η οποία αναπτύχθηκε κατά τον Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο, παρέχει δυνατότητα ασύρματης αναγνώρισης και εντοπισμού. Ο σκοπός ενός συστήματος RFID είναι να επιτρέπει τη μετάδοση δεδομένων από μια κινητή συσκευή, που ονομάζεται “ετικέτα”, η οποία διαβάζεται από έναν RFID αναγνώστη και επεξεργάζεται σύμφωνα με τις ανάγκες μια συγκεκριμένης εφαρμογής. Τα δεδομένα που μεταδίδονται από την ετικέτα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παροχή πληροφοριών ταυτοποίησης ή τοποθεσίας ή ειδικών στοιχείων σχετικά με το προϊόν ετικέτας, όπως η τιμή, το χρώμα και η ημερομηνία αγοράς. Η τεχνολογία RFID χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά σε εφαρμογές παρακολούθησης και πρόσβασης. Η εν λόγω τεχνολογία είναι δημοφιλής λόγω της ικανότητάς της να παρακολουθεί κινούμενα αντικείμενα και της, χαμηλού κόστους, εφαρμογής της. Καθώς η τεχνολογία εξελίσσεται είναι πιθανό να εμφανιστούν πιο διαδομένες και επεμβατικές χρήσεις για ετικέτες RFID. [18][20]

Σε κάθε παθητικό σύστημα RFID, κάθε μεμονωμένο αντικείμενο είναι εφοδιασμένο με μια μικρή ετικέτα (αναμεταδότης) η οποία περιλαμβάνει και ένα

ολοκληρωμένο κύκλωμα που χρησιμοποιεί ένα μοναδικό ηλεκτρονικό κωδικό προϊόντος. Ο αναγνώστης του συστήματος εκπέμπει ένα σήμα για να ενεργοποιήσει την ετικέτα, η οποία διέρχεται από την ηλεκτρομαγνητική ζώνη που παράγεται από μια κεραία αναγνώστη και αποκωδικοποιεί τα δεδομένα που έχουν κωδικοποιηθεί εντός του μικροτσίπ της ετικέτας. Στη συνέχεια τα δεδομένα διαβιβάζονται σε έναν κεντρικό υπολογιστή για επεξεργασία. Το σήμα που προέρχεται από τον αναγνώστη πρέπει να έχει αρκετή ισχύ για να ενεργοποιήσει το μικροτσίπ της ετικέτας, να εκτελέσει επεξεργασία δεδομένων, και να μεταδώσει μια διαμορφωμένη συμβολοσειρά κατά την απαιτούμενη απόσταση ανάγνωσης. Επειδή η μέγιστη ισχύς εξόδου του αναγνώστη περιορίζεται στην τοπικά ρυθμιζόμενη αποτελεσματική ιστροπικά εκπεμπόμενη ισχύς (EIRP, Effective Isotropically Radiated Power), η απόσταση ανάγνωσης που επιτυγχάνεται εξαρτάται από την απόδοση της ετικέτας, δηλαδή από το προεπιλεγμένο μικροτσίπ και τα χαρακτηριστικά της κεραίας. [18]

2.10.3 Κεραίες NFC (Near-Field Communication Antennas)

Η επικοινωνία κοντινού επιπέδου (Near-field Communication ή NFC) είναι μια τεχνολογία ασύρματης επικοινωνίας με μικρή εμβέλεια και χαμηλή ισχύ. Οι κεραίες NFC χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρονικές συσκευές δίνοντας τη δυνατότητα να επικοινωνούν μεταξύ τους είτε αγγίζοντας τις συσκευές τη μια με την άλλη, είτε φέρνοντάς τις σε πολύ κοντινή απόσταση. Οι κεραίες NFC χρησιμοποιούνται σε κινητά τηλέφωνα, φορητούς υπολογιστές και άλλες ηλεκτρονικές συσκευές. Το πρωτόκολλο επικοινωνίας NFC βρίσκει εφαρμογή σε πολλούς τομείς όπως την ταυτοποίηση, σε συστήματα έκδοσης εισιτηρίων, σε τερματικά ηλεκτρονικών πληρωμών (POS) κ.α. [21]

2.10.4 Κεραία Φορητού Υπολογιστή (Laptop Antenna)

Η χρήση του ασύρματου τοπικού δικτύου (WLAN, Wireless Local Area Network) έχει αυξηθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, η μη εξουσιοδοτημένη ζώνη βιομηχανικών, επιστημονικών και ιατρικών στα 2,4 GHz έχει γίνει πολύ δημοφιλής και χρησιμοποιείται ευρέως για πολλά πρότυπα ασύρματης επικοινωνίας. [18]

Υπάρχουν μεγάλες προκλήσεις για το σχεδιασμό κεραιών που σχετίζονται με την ασύρματη ενσωμάτωση σε φορητούς υπολογιστές. Αρχικά, οι φορητοί υπολογιστές είναι ηλεκτρονικές συσκευές που αποτελούνται από διάφορα

μικροκυκλώματα αλλά και υλικό (hardware) κι έτσι δεν υπάρχει αρκετός χώρος για πρόσθετες λειτουργίες. Δεύτερον, οι απαιτήσεις εκπομπής της Ομοσπονδιακής Επιτροπής Επικοινωνιών (FCC, Federal Communications Commission) ανάγκασαν τους κατασκευαστές φορητών υπολογιστών να κάνουν εκτεταμένη χρήση αγωγίμων υλικών στα καλύμματα των φορητών υπολογιστών ή να παράγουν ασπίδες ακριβώς μέσα στα καλύμματα των φορητών υπολογιστών για να ελαχιστοποιήσουν στην ακτινοβολία από τους επεξεργαστές πολύ υψηλών ταχυτήτων. Έτσι είναι δύσκολο να τοποθετηθεί μια κεραία σε ένα περιβάλλον ελεύθερο από άλλους αγωγούς για να δημιουργηθεί ένας αποδοτικός πομπός ακτινοβολίας. Ακόμη, το μέγεθος, το σχήμα και η θέση της κεραίας μπορεί να επηρεαστούν από άλλους σχεδιαστικούς περιορισμούς όπως ο μηχανικός και ο βιομηχανικός σχεδιασμός. Συνεπώς, είναι αναγκαίο να γίνουν μηχανικοί συμβιβασμοί όσων αφορά τον σχεδιασμό, την απόδοση και την τοποθέτηση της κεραίας αφενός και συμβιβασμοί όσων αφορά το μέγεθος του φορητού υπολογιστή αφετέρου. [18]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΕΡΑΙΑΣ VHF (ΚΕΡΑΙΑ VHF J-POLE)

3.1 Θεωρία και Μελέτη Κεραίας J-pole

Η κεραία J-pole ανήκει στην οικογένεια των δίπολων. Χαρακτηριστικό αυτής της κεραίας είναι ο σχεδιασμός της, καθώς η κεραία μοιάζει ιδιαίτερα με το γράμμα 'J', από όπου προήλθε και η ονομασία της. Η κεραία είναι γνωστή ως κεραία 'J-pole' ή κεραία 'J'.

3.1.1 Χαρακτηριστικά Κεραίας J-pole

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως η κεραία J-pole είναι ένα δίπολο. Πιο συγκεκριμένα η κεραία είναι ένα δίπολο μισού μήκους κύματος (half-wavelength dipole) και θεωρείται μια από τις πιο χρησιμοποιούμενες κεραίες ($l=\lambda/2$). [22] Επειδή η αντίσταση ακτινοβολίας του είναι 73Ω , που είναι πολύ κοντά στα 75Ω , χαρακτηριστική αντίσταση μερικών γραμμών μεταφοράς, η τοποθέτηση και ο συντονισμός της κεραίας θεωρούνται εξαιρετικά εύκολα για να υλοποιηθούν. [4]

Οι εξισώσεις του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου της κεραίας που είναι ένα δίπολο $\lambda/2$ δηλαδή $l=\lambda/2$ είναι οι εξής,

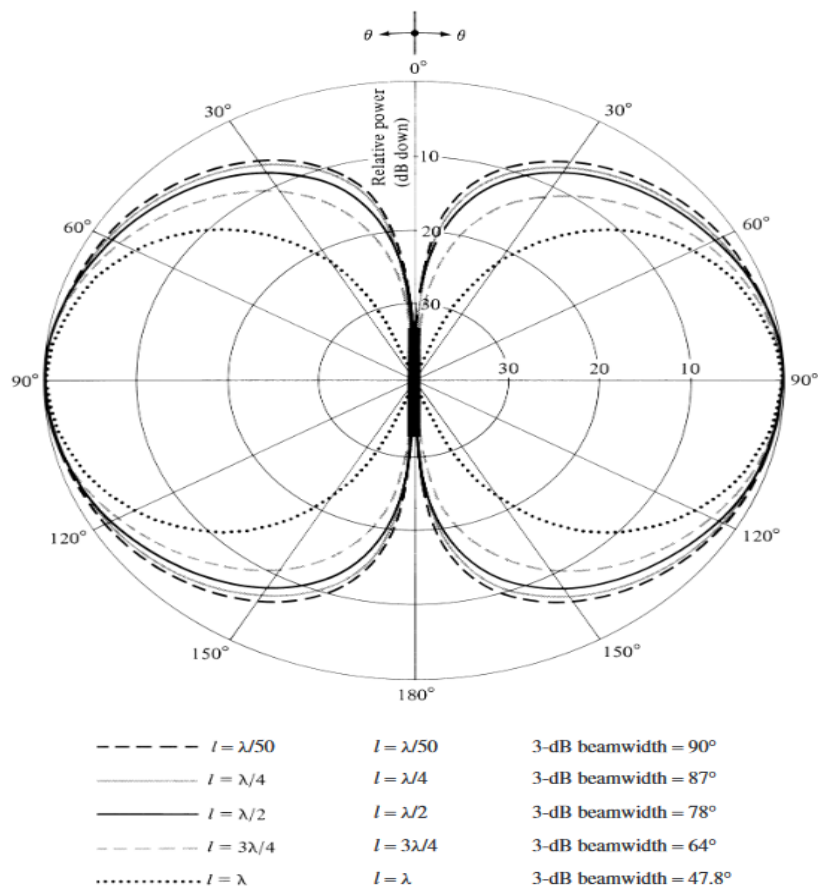
$$E_{\theta} = j\eta I_0 e^{-jkr} / 2\pi r [\cos(\pi/2 \cos \theta) / \sin \theta]$$

$$H_{\phi} = j I_0 e^{-jkr} / 2\pi r [\cos(\pi/2 \cos \theta) / \sin \theta] = E_{\theta} / \eta$$

Αντίστοιχα, οι εξισώσεις για το μέσο όρο της πυκνότητας ισχύος και της έντασης ακτινοβολίας της κεραίας γράφονται ως εξής, [4]

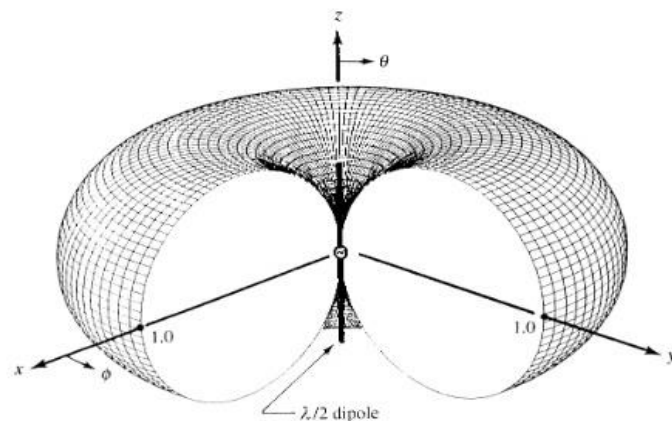
$$W_{av} = \eta |I_0|^2 / 8\pi^2 r^2 [\cos(\pi/2 \cos \theta) / \sin \theta]^2 = (\eta |I_0|^2 / 8\pi^2 r^2) \sin^3 \theta$$

$$U = r^2 W_{av} = \eta |I_0|^2 / 8\pi^2 [\cos(\pi/2 \cos \theta) / \sin \theta]^2 = (\eta |I_0|^2 / 8\pi^2) \sin^3 \theta$$



Εικόνα 17 2D Διάγραμμα συνολικής απολαβής σε κατακόρυφο επίπεδο για δίπολο με κατανομή ρεύματος ($l = \lambda/4, \lambda/2, 3\lambda/4, \lambda$)

Στην Εικόνα 17 παρουσιάζεται το δισδιάστατο διάγραμμα ακτινοβολίας σε κατακόρυφο επίπεδο για δίπολο πεπερασμένου μήκους με διαφορετικά μήκη κύματος, όπου το δίπολο μισού μήκους κύματος διακρίνεται από την έντονη μαύρη γραμμή, ενώ στην Εικόνα 18 παρουσιάζεται το τρισδιάστατο διάγραμμα ακτινοβολίας που αφορά μόνο το δίπολο μισού μήκους κύματος. [4]



Εικόνα 18 3D διάγραμμα ακτινοβολίας δίπολου με μήκος κύματος $\lambda/2$

Η ολική ακτινοβολούμενη ισχύς της κεραίας δίνεται από τον τύπο,

$$P_{\text{rad}} = \eta |I_0|^2 / 8\pi \int_0^{2\pi} (1 - \cos y/y) dy$$

Με τις παραπάνω εξισώσεις, της έντασης ακτινοβολίας και της ολικής ακτινοβολούμενης ισχύος, προκύπτει ο εξής τύπος που αφορά την κατευθυντικότητα της κεραίας, [4]

$$D_0 = 4\pi (U_{\text{max}} / P_{\text{rad}}) = 4\pi (U|_{\theta=\pi/2} / P_{\text{rad}})$$

Με βάση τον τύπο της κατευθυντικότητας μπορεί άμεσα να υπολογιστεί η μέγιστη ενεργός επιφάνεια της κεραίας μέσα από τον τύπο,

$$A_{\text{em}} = (\lambda^2 / 4\pi) D_0$$

Κατόπιν αυτού, μπορεί να υπολογιστεί και η αντίσταση ακτινοβολίας της κεραίας στον ελεύθερο χώρο που προέρχεται από τον εξής τύπο,

$$R_r = 2 P_{\text{rad}} / |I_0|^2$$

Ύστερα από μαθηματικούς υπολογισμούς στις παραπάνω εξισώσεις προκύπτει ότι η αντίσταση ακτινοβολίας της κεραίας $R_r = 73 \Omega$. Η αντίσταση ακτινοβολίας είναι και η αντίσταση στους ακροδέκτες εισόδου (αντίσταση εισόδου). Το φανταστικό μέρος της σύνθετης αντίστασης εισόδου ενός δίπολου είναι συνάρτηση του μήκους του, δηλαδή για ένα δίπολο μισού μήκους κύματος όπου $l = \lambda/2$ το φανταστικό μέρος είναι $j42.5 \Omega$. Έτσι, η ολική σύνθετη αντίσταση εισόδου για $l = \lambda/2$ είναι $Z_{\text{in}} = (73 + j42.5) \Omega$. Για να μπορέσει κάποιος να μειώσει το φανταστικό μέρος της σύνθετης αντίστασης εισόδου της κεραίας μέχρι να φτάσει στον μηδενισμό, θα πρέπει να μπορεί να προσαρμόσει την κεραία ή να μειώσει το μήκος της. Συνήθως οι σχεδιαστές επιλέγουν τον δεύτερο τρόπο, δηλαδή να μειώσουν το μήκος της κεραίας, για τα δίπολα μισού μήκους κύματος. [4]

3.1.2 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της Κεραίας J-pole

Κεραίες όπως η J-pole παρουσιάζουν αρκετά πλεονεκτήματα. Ένα από αυτά είναι ότι η σύνθετη αντίσταση εισόδου είναι αρκετά σταθερή κι αυτό διατηρεί σταθερή και την απόδοση της κεραίας. Ακόμη, σε σχέση με άλλες κεραίες, έχει σύνθετη αντίσταση πολύ κοντά στα 75Ω , που είναι η χαρακτηριστική αντίσταση μερικών γραμμών μεταφοράς. Το μήκος της κεραίας εξαρτάται από την συχνότητα

οπότε όσο πιο υψηλές συχνότητες τόσο μικρότερο το μήκος. Τέλος, το κόστος κατασκευής είναι αρκετά χαμηλό και προσιτό. [23]

Πέρα από τα πλεονεκτήματα όμως η κεραία J-pole, όπως και όλες οι κεραίες, παρουσιάζει και κάποια μειονεκτήματα. Ένα από αυτά είναι το ότι δεν έχει μεγάλη απολαβή λόγω του ενός μόνο στοιχείου της κεραίας. Επίσης η κεραία μπορεί να λειτουργήσει καλύτερα και πιο αποδοτικά όταν υπάρχει ένας συνδυασμός, δηλαδή ένα σύστημα κεραίων. Ακόμη, σημαντικό ρόλο παίζει και η τοποθέτηση της κεραίας καθώς η ανύψωση της θα πρέπει να είναι σε τέτοιο επίπεδο ώστε να μην επηρεάζεται από τις γύρω κεραίες της περιοχής έτσι ώστε να μην μεταβάλλεται ο λοβός ακτινοβολίας. Η κεραία θα πρέπει να τοποθετείται σε μακρινή απόσταση από άλλες κεραίες ή αναμεταδότες. [23]

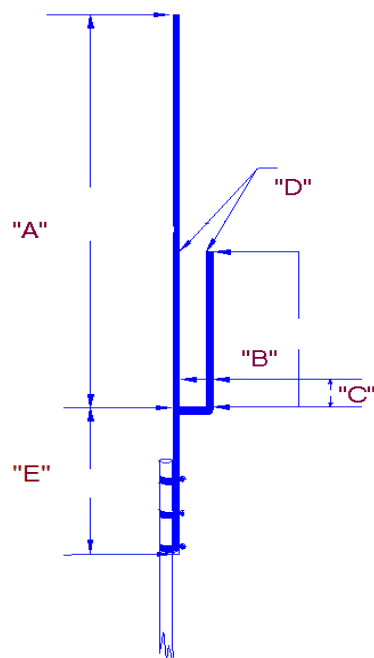
3.1.3 Εφαρμογές της Κεραίας J-pole

Συνήθως η κεραία J-pole βρίσκεται εφαρμογή στις VHF (30-300MHz) συχνότητες ή στις UHF (300MHz-3GHz) συχνότητες. Ωστόσο το εύρος της αποδεικνύει ότι μπορεί να γίνει χρήση και σε άλλα επίπεδα συχνοτήτων, ανάλογα με τις απαιτήσεις που υπάρχουν. Η πιο γνωστή χρήση αυτής της κεραίας είναι ως κεραία για την λήψη ραδιοσυχνοτήτων αλλά και τηλεοπτικών σημάτων. [23]

Όπως διακρίνεται και παραπάνω η κεραία J-pole, όπως και άλλες κεραίες δίπολα μισού μήκους κύματος, έχουν μεγάλη χρήση κυρίως οικιακή. Ωστόσο ένα σύστημα που αποτελείται από δίπολα ή ο συνδυασμός της κεραίας J-pole με άλλες κεραίες, για τη δημιουργία ενός συστήματος, χρησιμοποιείται για να καλυφθούν ανάγκες λήψης ή εκπομπής είτε σε ανώτερα είτε σε κατώτερα είτε στα ίδια επίπεδα συχνότητας με αυτά των VHF και UHF. Τέτοιες εφαρμογές είναι οι επίγειες επικοινωνίες, οι θαλάσσιες επικοινωνίες, συστήματα αυτόματου χειρισμού κ.α. [23]

3.2 Προσομοίωση και Κατασκευή Κεραίας J-pole

Η κατασκευή μιας κεραίας J-pole είναι ιδιαίτερα εύκολη, ανάλογα και με το υλικό που χρησιμοποιείται. Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζονται τα σχέδια και τα μέτρα για τη δημιουργία μιας κεραίας J-pole. Η κεραία της συγκεκριμένης εργασίας είναι φτιαγμένη για τα 2m ή συχνότητας συντονισμού 146MHz (VHF). [24]



Εικόνα 19 Διαστάσεις της Κεραίας

ΤΜΗΜΑ ΚΕΡΑΙΑΣ	ΜΗΚΟΣ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΤΗΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	ΜΗΚΟΣ ΣΕ mm
A	$219000\text{mm}/F \text{ (MHz)}$	1500mm
B	$71540\text{mm}/F \text{ (MHz)}$	490mm
C	$7154\text{mm}/F \text{ (MHz)}$	49mm
D	$6570\text{mm}/F \text{ (MHz)}$	45mm
E	$71540\text{mm}/F \text{ (MHz)}$	490mm

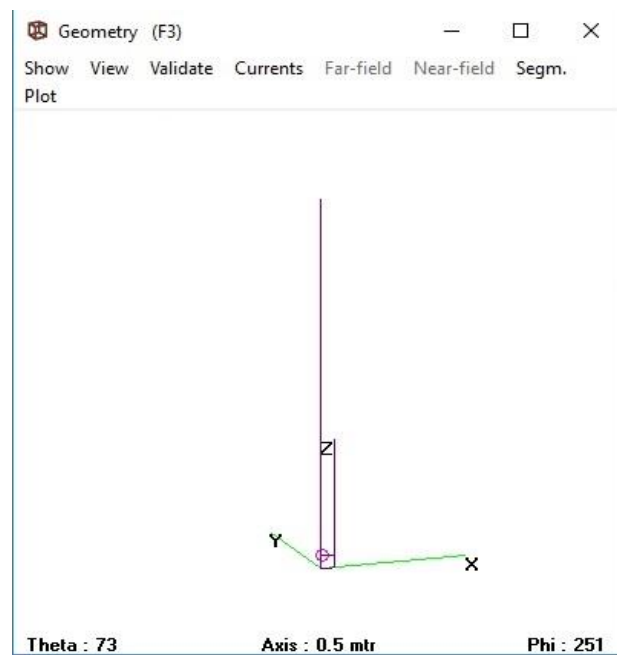
Όπως φαίνεται και παραπάνω το πιο σημαντικό κομμάτι στην κατασκευή είναι η κεραία να βγει στις σωστές διαστάσεις με βάση τη συχνότητα που θέλει να επιτύχει κάποιος.

3.2.2 Προσομοίωση της Κεραίας με Χρήση του 4nec2

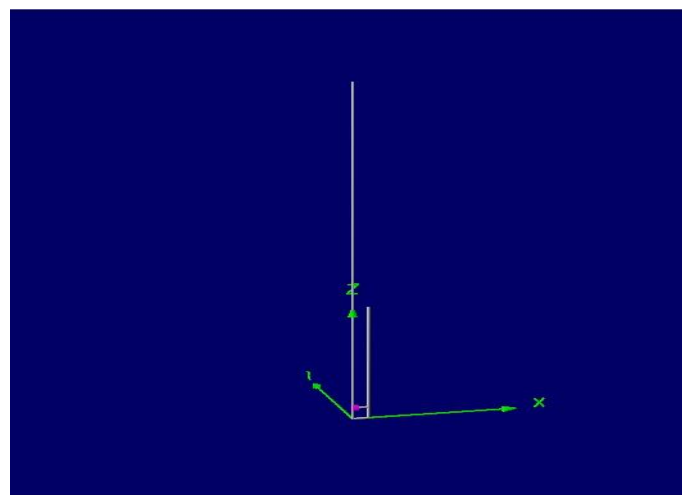
Παρακάτω παρουσιάζονται σε εικόνες τα αποτελέσματα από την κατασκευή και προσομοίωση της κεραίας J-pole με τη βοήθεια του προγράμματος 4nec2, για τις συχνότητες 145MHz και 146MHz. Στην ενότητα 3.2 παρουσιάστηκε ο πίνακας με τα μήκη των τμημάτων της κεραίας σε σχέση με τη συχνότητα για τα 146MHz. Παρακάτω δίνεται ο πίνακας και για τα 145MHz, με βάση την Εικόνα 19.

ΤΜΗΜΑ ΚΕΡΑΙΑΣ	ΜΗΚΟΣ ΣΕ mm
A	1510mm
B	493mm
C	49mm
D	45mm
E	493mm

Η Εικόνα 20 προβάλλει σε δισδιάστατη μορφή την προσομοίωση της κεραίας πάνω στο καρτεσιανό σύστημα.

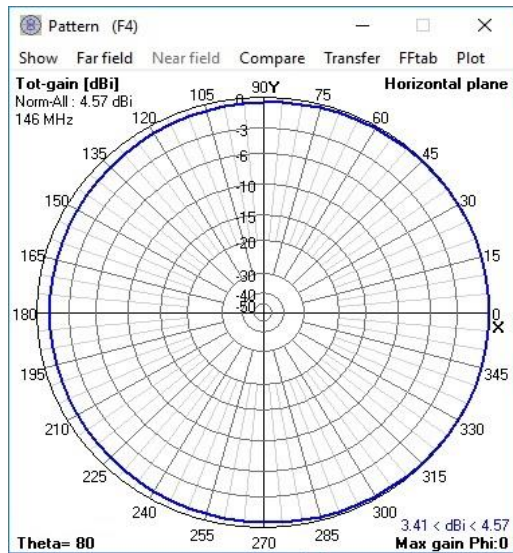


Εικόνα 20 2D Προσομοίωση Κεραίας

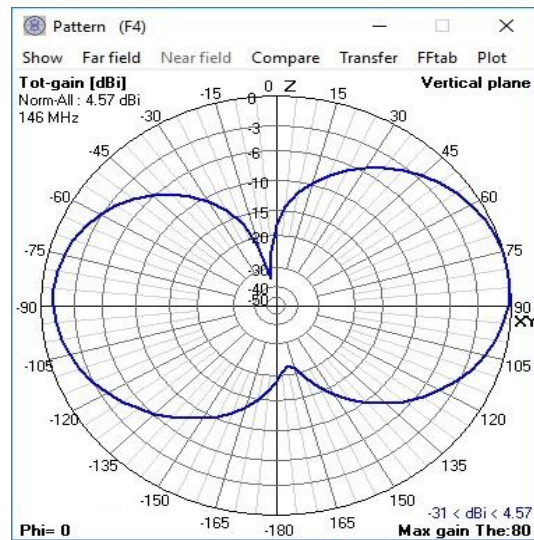


Εικόνα 21 3D Προσομοίωση Κεραίας

Στην παραπάνω εικόνα απεικονίζεται η προσομοίωση της κεραίας σε τρισδιάστατη μορφή.

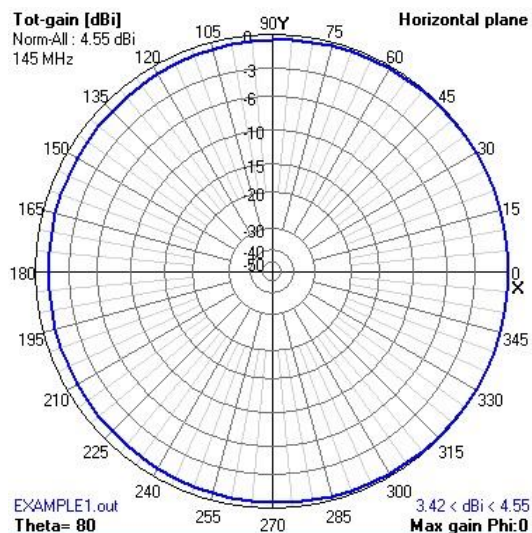


Εικόνα 22 Οριζόντιο επίπεδο για 146MHz

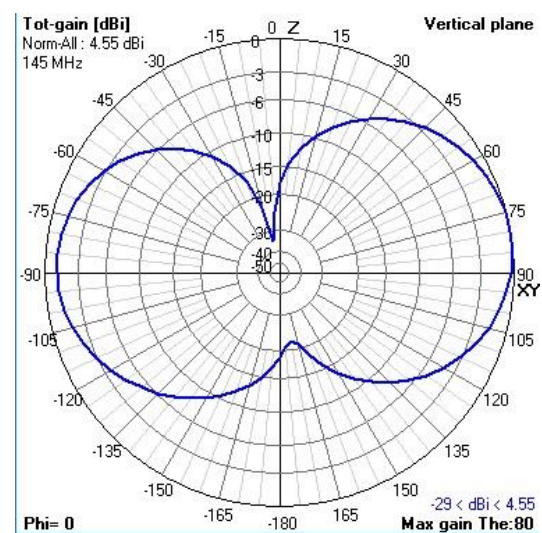


Εικόνα 23 Κατακόρυφο επίπεδο για 146 MHz

Οι Εικόνες 22 και 23 δείχνουν την συνολική απολαβή της κεραίας, σε οριζόντιο και κατακόρυφο επίπεδο αντίστοιχα, για τα 146 MHz. Ομοίως και οι Εικόνες 24 και 25 για τα 145 MHz. Όλες οι εικόνες είναι σε δισδιάστατη μορφή.

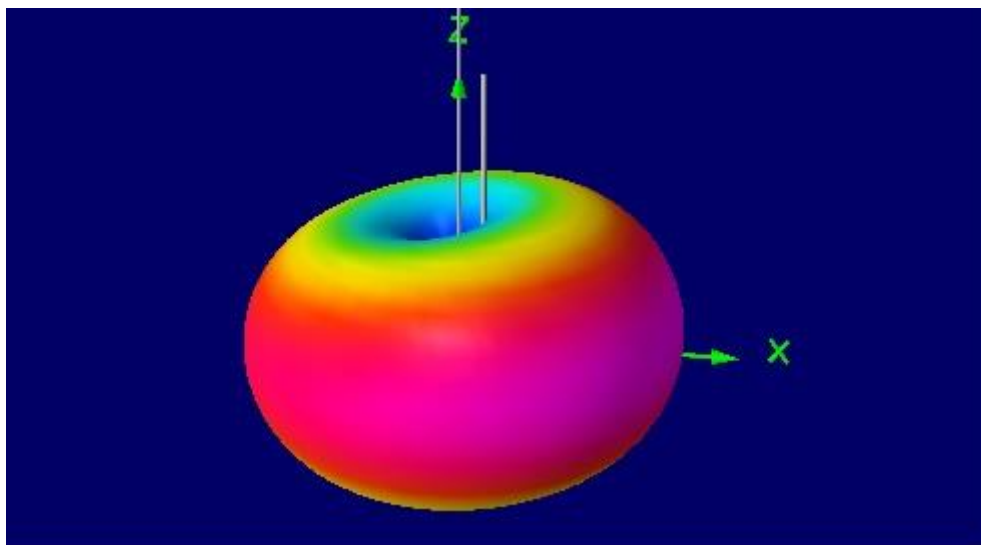


Εικόνα 24 Οριζόντιο επίπεδο για 145 MHz



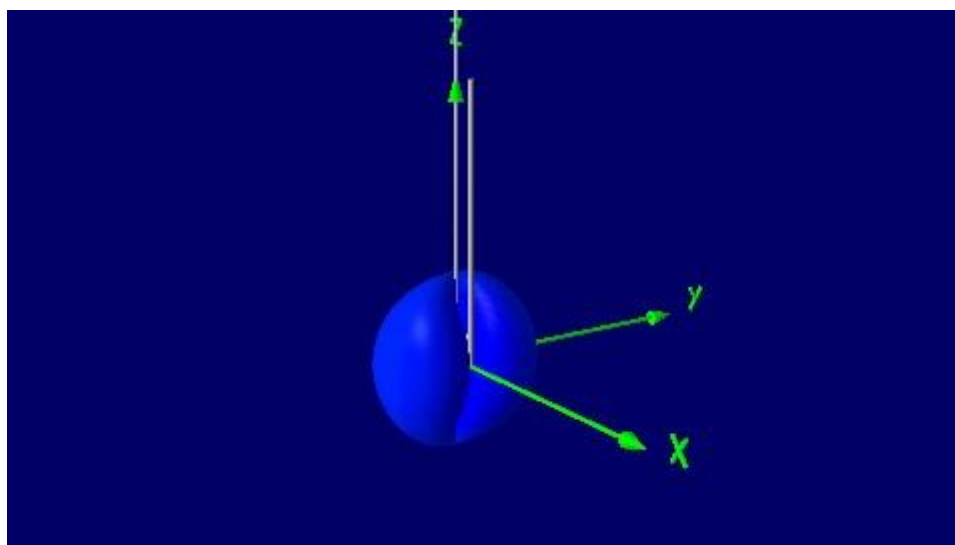
Εικόνα 25 Κατακόρυφο επίπεδο για 145MHz

Τα αποτελέσματα που δίνονται στις παρακάτω εικόνες είναι ίδια και για τα 145 MHz και για τα 146 MHz. Η επόμενη εικόνα παρουσιάζει σε τρισδιάστατη μορφή την συνολική απολαβή της κεραίας και για τις δυο συχνότητες.



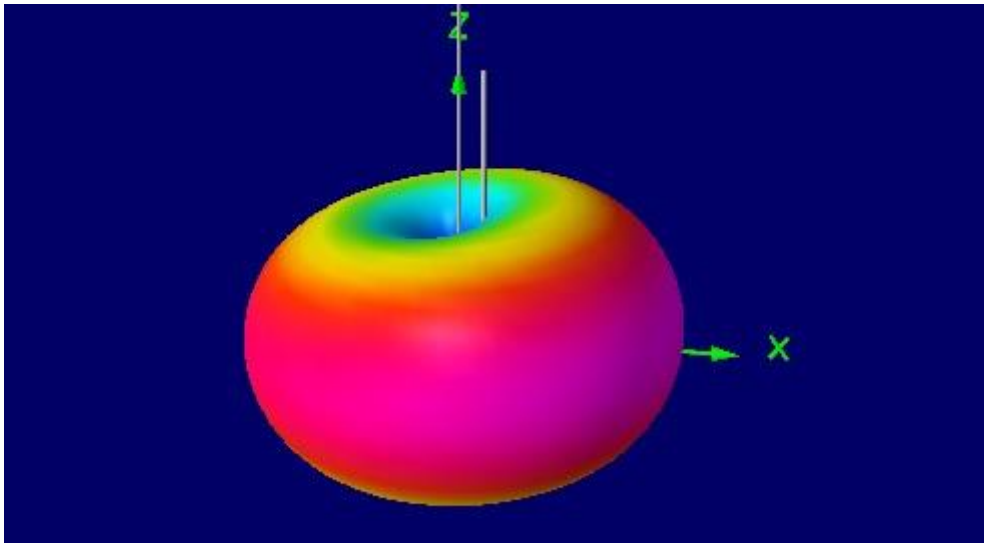
Εικόνα 26 Τρισδιάστατο διάγραμμα συνολικής απολαβής για 145 και 146 MHz

Η προσομοίωση της κεραίας στις δυο αυτές συχνότητες έδειξε πως ο λοβός ακτινοβολίας της κεραίας είναι παρόμοιος και στις δυο καταστάσεις με τη διαφορά των προσομοιώσεων να είναι ελάχιστη. Στην Εικόνα 27 αποτυπώνεται η συνολική απολαβή της κεραίας κατά το οριζόντιο επίπεδο, σε τρισδιάστατη μορφή.

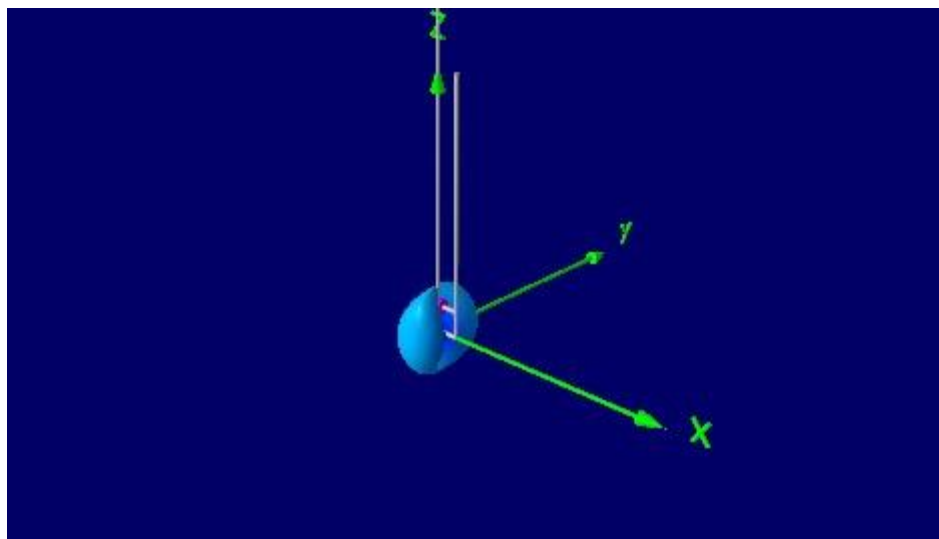


Εικόνα 27 Διάγραμμα συνολικής απολαβής σε οριζόντιο επίπεδο για 145 και 146 MHz

Ομοίως στην Εικόνα 28 διακρίνεται η συνολική απολαβή της κεραίας αλλά κατά το κατακόρυφο επίπεδο. Τα διαγράμματα εξακολουθούν να παραμένουν ίδια και στις δύο συχνότητες.

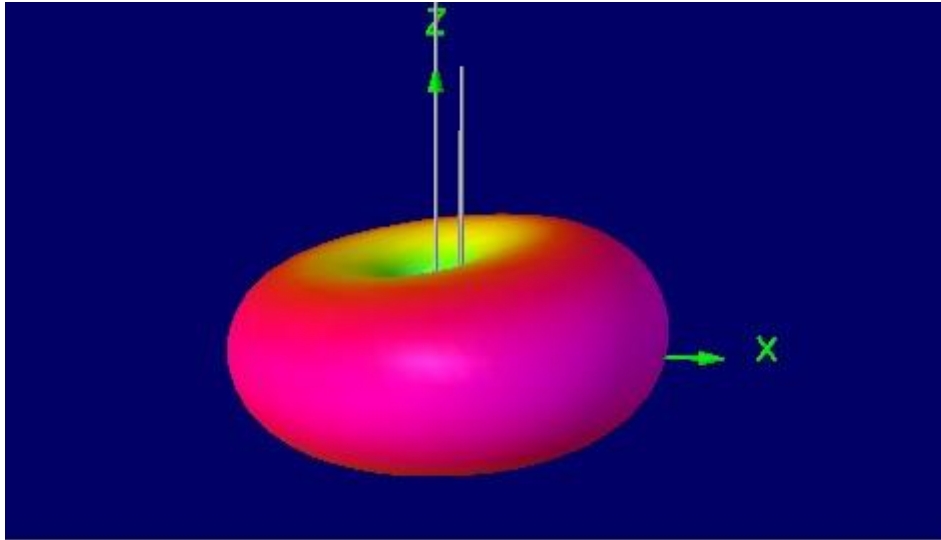


Εικόνα 28 Τρισδιάστατο διάγραμμα συνολικής απολαβής σε κατακόρυφο επίπεδο για 145 και 146 MHz



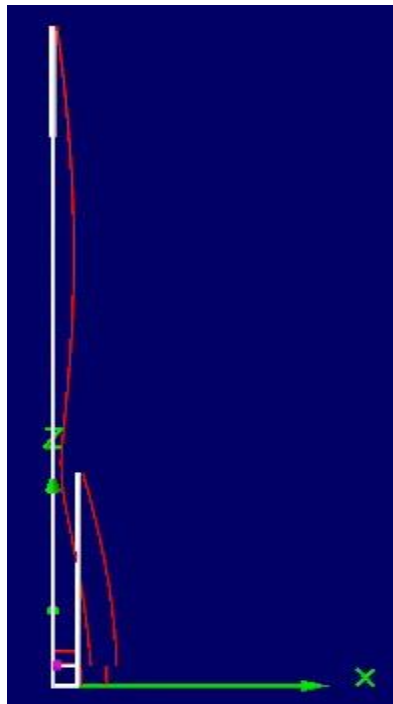
Εικόνα 29 Τρισδιάστατο διάγραμμα ηλεκτρικού πεδίου κατά τη γωνία ϕ για 145 και 146 MHz

Η παραπάνω εικόνα αφορά το ηλεκτρικό πεδίο της κεραίας κατά τη γωνία ϕ . Όπως και πριν, τα αποτελέσματα είναι κοινά.

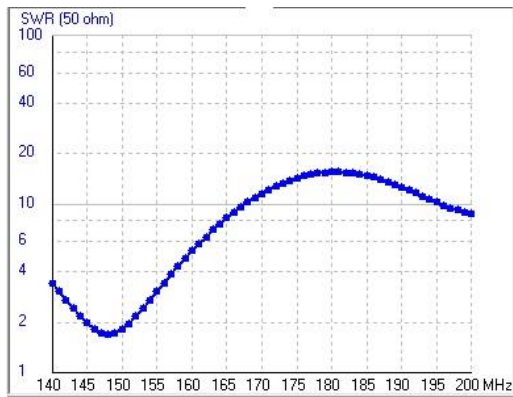


Εικόνα 30 Τρισδιάστατο διάγραμμα ηλεκτρικού πεδίου κατά τη γωνία θ για 145 και 146 MHz

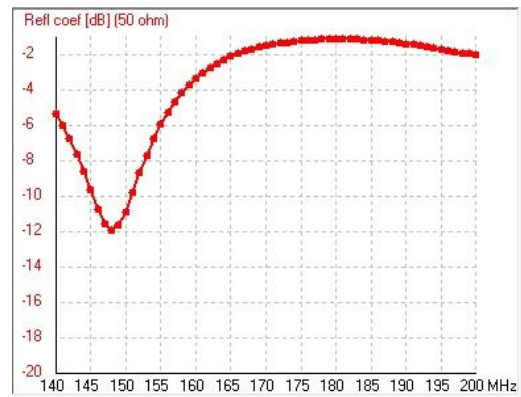
Η Εικόνα 30 αναπαριστά το ηλεκτρικό πεδίο της κεραίας κατά τη γωνία θ , σε τρισδιάστατη μορφή. Η επόμενη εικόνα παρουσιάζει, επίσης σε τρισδιάστατη μορφή, την κατανομή των ρευμάτων της κεραίας.



Εικόνα 31 Κατανομή ρευμάτων

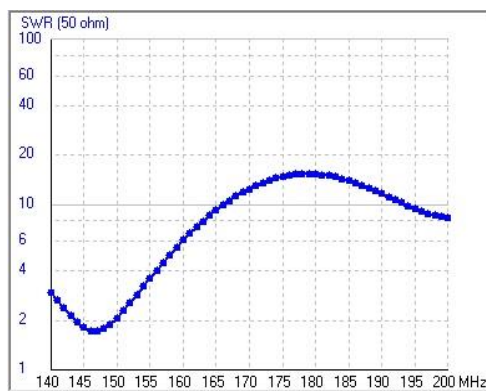


Εικόνα 32 SWR-146 MHz



Εικόνα 33 Συντελεστής ανάκλασης-146MHz

Οι Εικόνες 32 και 34 με το μπλε γράφημα απεικονίζουν τα στάσιμα κύματα της κεραίας, ενώ οι Εικόνες 33 και 35 με το κόκκινο γράφημα το συντελεστή ανάκλασης. Για τα 146 MHz η κεραία συντονίζεται από τα 145MHz-151MHz ενώ για τα 145MHz η κεραία συντονίζεται από τα 144MHz-150MHz.



Εικόνα 34 SWR-145MHz



Εικόνα 35 Συντελεστής ανάκλασης-145MHz

3.2.3 Σύγκριση Κεραιών συντονισμένες στα 145MHz και 146MHz

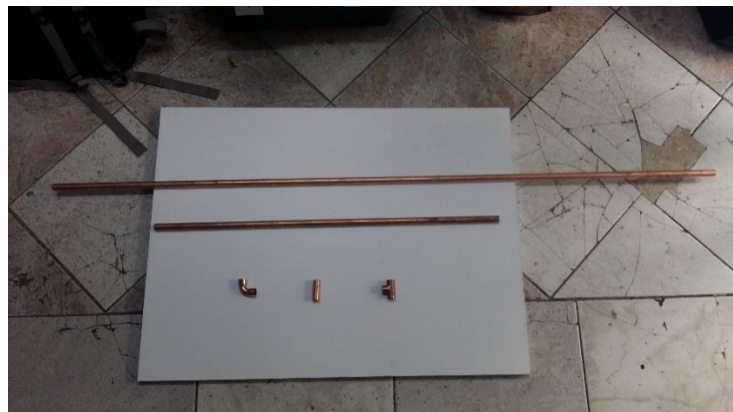
Κατά την προσομοίωση παρατηρήθηκε και διαπιστώθηκε ότι τα αποτελέσματα της κεραίας και στις δύο συχνότητες έχουν ελάχιστη διαφορά μεταξύ τους. Ωστόσο οι εφαρμογές για την κάθε συχνότητα είναι διαφορετικές. Η συχνότητα των 145 MHz χρησιμοποιείται για την ραδιοερασιτεχνική μπάντα ενώ η συχνότητα των 146 MHz αφορά τις υπηρεσίες μετάδοσης φωνής κρατικών-οργανισμών αδειοδοτημένων από το Υπουργείο Ψηφιακής Πολιτικής Τηλεπικοινωνιών και Ενημέρωσης. Στην παρούσα πτυχιακή εργασία η κεραία J-rod κατασκευάστηκε για την συχνότητα των 146 MHz και βρίσκει εφαρμογή σε υπηρεσίες ταξί, ασθενοφόρα κλπ.

3.2.4 Υλικά Κατασκευής

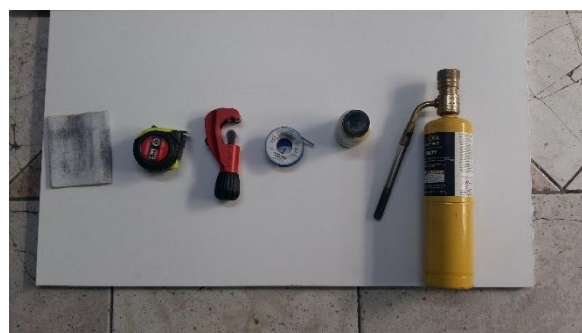
Τα υλικά που είναι απαραίτητα για την κατασκευή της κεραίας είναι τα εξής,

- Σωλήνα Χαλκού διαμέτρου Φ15
- Σύνδεσμος Χάλκινος τύπου T διαμέτρου Φ15
- Γωνία χάλκινη 90 μοιρών διαμέτρου Φ15
- Γυαλόχαρτο
- Μέτρο
- Κόφτης Σωλήνων (ή Σιδεροπρίονο)
- Καλάι
- Jel-Flux Καθαριστικό Χαλκοσωλήνων
- Καμινέτο (Συσκευή Προπανίου)
- Σύνδεσμος BNC(είτε αρσενικό είτε θηλυκό)
- Καλώδιο RG58

Στις παρακάτω εικόνες απεικονίζονται τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή της κεραίας.



Εικόνα 36 Κομμάτια Χαλκοσωλήνα, T, γωνία 90 μοιρών



Εικόνα 37 Χρήσιμα εργαλεία και υλικά

3.2.5 Εικόνες και Βήματα για την Κατασκευή της Κεραίας

Το πρώτο βήμα για την κατασκευή της κεραίας είναι η μέτρηση και η κοπή των σωλήνων χαλκού. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στην λείανση των επιφανειών για την αποφυγή ανεπιθύμητων συντονισμών. Η κοπή των κομματιών μας έγινε με τη χρήση εξαρτήματος κοπής σωλήνων που δεν δημιουργεί ανωμαλίες στις επιφάνειες.



Εικόνα 38 Κομμένα κομμάτια χαλκοσωλήνα πριν την κόλληση

Αμέσως μετά τοποθετείται το καθαριστικό σωλήνων στις άκρες του συνδέσμου τύπου T και του τμήματος (A) της κεραίας για την αποφυγή σκουριάς και γίνεται η πρώτη κόλληση όπως φαίνεται παρακάτω.



Εικόνα 39 Ένωση T με σωλήνα χαλκού

Επόμενο βήμα είναι η ένωση της γωνίας με το μικρό κομμάτι χαλκοσωλήνα (B) όπως φαίνεται στην Εικόνα 40.



Εικόνα 40 Ένωση γωνίας με τη σωλήνα χαλκού

Το επόμενο στάδιο είναι η ένωση μεταξύ του συνδέσμου T και της γωνίας 90 μοιρών διαμέσου του κομματιού χαλκοσωλήνα (D).



Εικόνα 41 Κόλληση βασικού κορμού κεραίας

Ακολούθως ενώνεται το καλώδιο με τον σύνδεσμο BNC από την μια μεριά (Εικόνα 42) και τοποθετείται το καλώδιο τροφοδοσίας στην κεραία όπως φαίνεται στην Εικόνα 43. Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται στην απομόνωση του εσωτερικού αγωγού από το περίβλημά του για την αποφυγή βραχυκυκλώματος.



Εικόνα 42 Ένωση συνδέσμου BNC με το ομοαξονικό καλώδιο RG-58

Με οδηγό το αρχικό σχήμα της κατασκευής, γίνεται πρώτα μέτρηση για το που πρέπει να τοποθετηθεί η τροφοδοσία επάνω στην κεραία κι έπειτα τοποθετείται το συρμάτινο πλέγμα του καλωδίου στο κομμάτι χαλκοσωλήνα(B), με βάση το σχέδιο, και ο κεντρικός αγωγός του ομοαξονικού καλωδίου στο κομμάτι χαλκοσωλήνα(A). Το αποτέλεσμα εμφανίζεται στην επόμενη εικόνα.



Εικόνα 43 Τοποθέτηση τροφοδοσίας στην κεραία

Με την παραπάνω ενέργεια σχεδόν έχει τελειώσει η κατασκευή της κεραίας. Απομένει η τοποθέτηση του κομματιού χαλκοσωλήνα(E) στο κάτω μέρος του συνδέσμου τύπου T. Το τελικό αποτέλεσμα εμφανίζεται στην επόμενη εικόνα.



Εικόνα 44 Ολοκλήρωση της κατασκευής

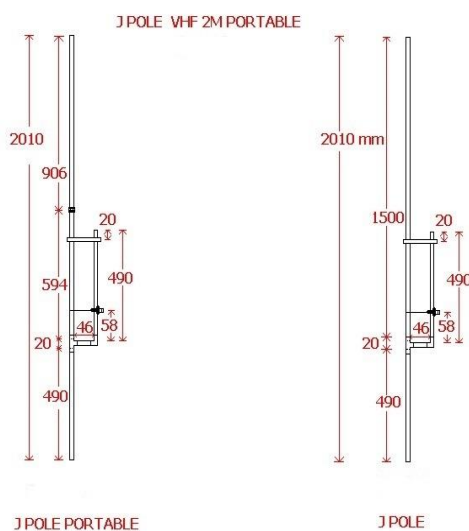
Η κεραία στη συγκεκριμένη φάση είναι έτοιμη για χρήση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σύμφωνα με τα παραπάνω αποτελέσματα συμπεραίνεται ότι η κεραία J-pole μοιάζει σε χαρακτηριστικά με ένα δίπολο αλλά παρουσιάζει και μια μικρή κατευθυντικότητα. Είναι πιο μικρή από την κεραία δίπολο και έχει ιδιαίτερα εύκολη κατασκευή σε σχέση με άλλες κεραίες. Επίσης η δυνατότητα δημιουργίας της κεραίας και σε φορητό μοντέλο την κάνει ιδιαίτερα ελκυστική. Η κεραία θα πρέπει να τοποθετείται σε τέτοιο σημείο και απόσταση ώστε να μην επηρεάζεται από άλλες κεραίες.

Προτάσεις Βελτίωσης

Για την διατήρηση της κατασκευής στον χρόνο, προτείνεται η βαφή για μη σιδηρούχα μέταλλα για την αποτροπή της οξείδωσης. Οτιδήποτε άλλο θεωρείται λάθος διότι θα επηρεάσει τα αποτελέσματα και την απόδοση της κεραίας. Τέλος, υπάρχει η δυνατότητα μετατροπής της κεραίας σε φορητή. Αυτό που χρειάζεται είναι η τοποθέτηση ενός συνδέσμου τύπου ρακόρ, ίδιας διαμέτρου με τον σωλήνα χαλκού, σε απόσταση 906mm από το ελεύθερο άκρο της κεραίας, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχέδιο.



Εικόνα 45 Σχέδια κατασκευής φορητής κεραίας (αριστερά) και μη φορητής (δεξιά) για τα 146 MHz

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Balanis C. A., (2008). *Modern Antenna Handbook*, Canada: John Willey & Sons, Inc.
2. Milligan T. A., (2005). *Modern Antenna Design*, Canada: John Willey & Sons, Inc.
3. Struzak R., (2004). *Basic Antenna Theory*, Italy: Ryszard Struzak
4. Balanis C. A., (2005). *Antenna Theory Analysis and Design*, 3rd Edition, Canada: John Willey & Sons, Inc.
5. Austin B. A., Boswell A. & Perks M. A., (2014). Loss Mechanism in the Electrically Small Loop Antenna. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, Volume 56, No. 4.
6. Sharma S, (2014). Design and Analysis of Pyramidal Horn Antenna at 8 GHz Frequency. *International Journal of Advanced Research in Electronics and Communication Engineering*, Volume 3, Issue 2.
7. Kavitha R. J., Aravinda H. S., (2017). Reviewing the Effectiveness of Contribution of Microstrip Antenna in the Communication System. *Open Journal of Antennas and Propagation*, Volume 5, pp 47-62.
8. Yang S. M., Huang C. H. & Hong C. C., (2014). Design and Analysis of Microstrip Antenna Arrays in Composite Laminated Substrates. *Journal of Electromagnetic Analysis and Applications*, Volume 6, pp 115-124.
9. Baars J. W. M., Lucas R., Magnum J. G. & Lopez-Perez J. A., (2007). Near-Field Radio Holography of Large Reflector Antennas. *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, Volume 49, No. 5.
10. Dyson J. D., (1962). A Survey of the Very Wide Band and Frequency Independent Antennas-1945 to the Present. *Journal of Research of the National Bureau of Standards- D.Radio Propagation*, Volume 66D, No.1.
11. Podilchak S. K., Baccarelli P., Burghingoli P., Freundorfer A. P. & Antar Y. M. M., (2013). Optimization of a Planar “Bull-Eye” Leaky-Wave Antenna Fed by a Printed Surface-Wave Source. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, Volume 12.

12. Hassan M. U., Arshad F., Naqvi S. I., Amin Y., Tebhunen H., (2017). A Compact Flexible and Frequency Reconfigurable Antenna for Quintuple Applications. *Radioengineering*, Volume 26, No.3.
13. Costantine J., Tawk Y., Barbin S. E. & Christodoulou C. G., (2015). Reconfigurable Antennas: Design and Applications. *Proceedings of the IEEE*, Volume 103, No.3.
14. Jervase-Yak J. and Al-Shamsi A. H., (2016). MIMO Antenna for UWB Communications. *Int. J. Communications, Network and System Sciences*, Volume 9, pp 177-183
15. Raptis V., Tatsis G., Chonopoulos S. K., Mallios S., Kostarakis P., (2013). Development and Experimental Measurements of a Tunable Antenna. *Communications and Network*, Volume 5, pp 220-224.
16. Tatsis G., Raptis V., Kostarakis P., (2010). Design and Measurements of Ultra-Wideband Antenna. *Int. J. Communications, Network and System Sciences*, Volume 3, pp 177-183
17. Onofrio Losito and Vincenzo Dimiccoli (2012). Travelling Planar Wave Antenna for Wireless Communications, *Wireless Communications and Networks - Recent Advances*, Dr. Ali Eksim (Ed.), ISBN: 978-953-51-0189-5, InTech, Available from: <http://www.intechopen.com/books/wireless-communications-and-networks-recent-advances/travelling-planar-wave-antenna-for-wireless-communications>
18. Chen Z. N., (2007). *Antennas for Portable Devices*, England: John Willey & Sons, Inc.
19. Ali A. S., Pramono S. H., Sarosa M., (2012). Handset Antenna Design for Mobile Communication System. *IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering*, Volume 2, Issue 4, pp 30-35.
20. Gonzalez G. Z., (2013). Radio Frequency Identification (RFID) Tags and Reader Antennas Based on Conjugate Matching and Metamaterial Concepts. Ph.D Thesis, Bellatera, Cerdanyola del Valles.

21. Abdel-Gaber D., Ali A. A., (2015). Near-Field Communication Technology and Its Impact in Smart University and Digital Library: Comprehensive Study. *Journal of Library and Information Sciences*, Volume 3, No.2, pp 43-77.
22. Carr J. J. & Hippisley G. W., (2012). *Practical Antenna Handbook*, 5th Edition, USA: McGraw -Hill Companies, Inc.
23. Gupta S. K., Jangam H. K. & Sharma N., (2018). Theory of Antennas, Its Advantage and Application in Communication Systems. *International Journal of Engineering Development and Research*, Volume 6, Issue 1, pp 925-930.
24. Τσαγκάρης, Κ. (2012, 10 Φεβρουαρίου). *J POLE VHF 2M PORTABLE*. Ανακτήθηκε από <http://sv3gli.blogspot.com/2012/02/j-pole-vhf-2m-portable.html>