



Πτυχιακή Εργασία
του
Γεωργιάδη Αλέξανδρου

**Πειραματικός προσδιορισμός βασικών παραμέτρων
και αποτύπωση διαγράμματος ακτινοβολίας
παραβολικής κεραίας**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Ασαρίδης Ηλίας

ANTIPPIO 2018

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή

Αντίρριο, Ημερομηνία

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ

1.Ονοματεπώνυμο, Υπογραφή

2.Ονοματεπώνυμο, Υπογραφή

3.Ονοματεπώνυμο, Υπογραφή

Περίληψη

Η μετάδοση σημάτων είναι πλέον το απαραίτητο στοιχείο προκειμένου να προσδιοριστεί και να αναπτυχθεί η επικοινωνία. Στόχος της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη και η παρουσίαση των τρόπων και των μέσων διάδοσης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και η πειραματική αποτύπωση των διαγραμμάτων λήψης των κεραιών.

Προτού αναπτυχθεί το πείραμα και αναλυθεί η διαδικασία που θα ακολουθηθεί για την ανάπτυξη αυτού, θα γίνει στην εργασία μια μελέτη και παρουσίαση των βασικών στοιχείων των κεραιών και της ακτινοβολίας. Στόχος είναι να μπορέσει ο αναγνώστης να κατανοήσει τον τρόπο που λειτουργούν οι κεραιές, να διαχωρίσει τα είδη τους και να μπορέσει να λάβει γνώσεις οι οποίες θα χρειαστούν για την παρουσίαση της πειραματικής διαδικασίας.

Abstract

Signal transmission is necessary element for identifying and developing communication. The aim of this thesis is to study and present the ways and means of propagation of electromagnetic radiation and to experimentally illustrate the antenna receiving diagrams.

Before developing the experimental model and analyzing the process that will follow for its development, the study and presentation of the basic elements of the antennas and the radiation will be carried out at work. The aim is to enable the reader to understand how the antennas operate, to separate their types and to be able to acquire the knowledge they will need to present the experimental process.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου Ασαρίδη Ηλία ο οποίος μου έδωσε το συγκεκριμένο θέμα πτυχιακής και με βοηθούσε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησής της.

Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου, οι οποίοι με υποστήριξαν όλα αυτά τα χρόνια. Ιδιαίτερα θα ήθελα να ευχαριστήσω τα αδέρφια μου Παναγιώτη και Στέφανο για την υποστήριξη τους και τη βοήθειά τους στην εκπόνηση της παρούσας πτυχιακής.

Περιεχόμενα

Περίληψη	3
Abstract	4
Ευχαριστίες	5
Περιεχόμενα	6
Πίνακας Εικόνων	8
Πίνακας πινάκων	9
1. Εισαγωγή	10
1.1 Αντικείμενο εργασίας.....	10
1.2 Σύνοψη εργασίας	11
2. Κεραίες: τύποι και χαρακτηριστικά	13
2.1. Είδη κεραιών.....	14
2.1.1 Κατευθυντικές Κεραίες Υψηλής Συχνότητας.....	14
2.1.2 Κεραίες Χοάνης	15
2.1.3 Κεραίες Φακοί	18
2.1.4 Ευρείας Ζώνης Και Ειδικών-Σκοπών Κεραίες	19
2.1.5 Αναδιπλώμενο Δίπολο	19
2.1.6 Ελικοειδής Κεραία	20
2.1.7 Κεραία Πομπός	21
2.1.8 Κεραία Δέκτης	22
2.2. Βασικές παράμετροι κεραιών	22
2.2.1 Απόδοση	22
2.2.2 Πόλωση κεραιών.....	23
2.2.3 Ενεργό Ύψος	24

2.2.4 Αντίσταση Απωλειών	24
2.3. Απώλειες Κεραίων	25
2.3.1 Απώλειες Μέσα Στους Αγωγούς	25
2.3.2 Απώλειες στα διηλεκτρικά και το Έδαφος	26
2.4 Κέρδος Κεραίων	26
2.5 Κατευθυντικότητα	26
3. Ακτινοβολία και χαρακτηριστικά αυτής.....	28
3.1. Είδη ακτινοβολίας.....	28
3.1.1 Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.....	28
3.1.2 Ακτινοβολία στοιχειώδους διπόλου.....	30
3.2. Ραδιοκύματα	32
3.3 Μονάδες Μέτρησης	33
3.4 Πόλωση Πεδίου	34
3.5 Διαγράμματα.....	38
3.5.1 Διάγραμμα Έντασης Πεδίου.....	38
3.5.2 Διάγραμμα Ισχύος.....	40
4. Παραβολική-δορυφορική κεραία.....	43
5. Παρουσίαση και ανάλυση πειραματικής διαδικασίας.....	45
5.1 Εκτέλεση πειράματος.....	45
5.2 Λογαριθμικές Καμπύλες.....	51
6. Συμπεράσματα και μελλοντικές επεκτάσεις.....	54
Βιβλιογραφία.....	55

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1: Γεωμετρία κεραίας.	14
Εικόνα 2: Κατευθυντική κεραία.	15
Εικόνα 3: Χοάνη πομπού και δέκτη, οι μεταλλικές επιφάνειες τους λειτουργούν ως ανακλαστήρες για τα μικροκύματα.....	16
Εικόνα 4: Αναδιπλωμένο δίπολο.	20
Εικόνα 5: Ελικοειδής Κεραία.	20
Εικόνα 6: Γραμμή μεταφοράς με κεραία.	21
Εικόνα 7: Διάγραμμα κατευθυντικότητας κεραίας.....	27
Εικόνα 8: Ένταση ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου σε ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα.	29
Εικόνα 9: Σχηματική αναπαράσταση για την παρουσίαση του τρόπου ακτινοβολίας του στοιχειώδους διπόλου.....	31
Εικόνα 10: Επίπεδο κύμα.....	35
Εικόνα 11: Ελλειπτικά Πολωμένο Κύμα.....	36
Εικόνα 12: (α) Γραμμική (β) Κυκλική και (γ) ελλειπτική πόλωση.....	37
Εικόνα 13: Διάγραμμα πεδίου (α) Τρισδιάστατου (β) Πρωτευόντων επιπέδων. [1]...40	
Εικόνα 14: Διάγραμμα ισχύος	41
Εικόνα 15: Κάτοπτρα παραβολικών αναλογία κεραίων.....	44
Εικόνα 16:Γραφική παράσταση ισχύς σε αναλογία με την απόσταση.....	47
Εικόνα 17:Γραφική παράσταση ισχύς $P(W)$ σε αναλογία με το αντίστροφο του τετραγώνου της απόστασης($1/R^2$).....	50
Εικόνα 18:Γραφική παράσταση $\log P(R)$ σε αναλογία με $\log R$	53

Πίνακας πινάκων

Πίνακας 1: Πίνακας συχνοτήτων ραδιοκυμάτων.....	32
Πίνακας 2: Βασικά μεγέθη που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή ενός Η/Μ κύματος,.....	34
Πίνακας 3: Πειραματικά δεδομένα. Ισχύς βάσει απόστασης.....	46
Πίνακας 4: Ισχύς ως προς το αντίστροφο του τετραγώνου της απόστασης.....	48
Πίνακας 5: Λογάριθμος απόστασης και ισχύος.....	52

1. Εισαγωγή

Το πρώτο κεφάλαιο της εργασίας αυτής σχετίζεται με την παρουσίαση του αντικειμένου της εργασίας, τους στόχους της, το περιεχόμενο της, καθώς και μια μικρή σύνοψη των κεφαλαίων της εργασίας. Το κεφάλαιο αυτό αποτελεί σημαντικό δομικό στοιχείο, καθώς παρουσιάζει αναλυτικά τα σημαντικότερα στοιχεία της εργασίας και δίνει στον αναγνώστη μια οπτική του τι θα ακολουθήσει στα επόμενα κεφάλαια. Επιπλέον, μέσα από το κεφάλαιο αυτό, δίνεται η δυνατότητα στον αναγνώστη να κατανοήσει το θέμα και το σκοπό αυτού, προκειμένου να καταλάβει καλύτερα τις έννοιες οι οποίες θα παρουσιαστούν στα επόμενα κεφάλαια.

1.1 Αντικείμενο εργασίας

Στη σημερινή εποχή οι τηλεπικοινωνίες έχουν αναπτυχθεί κατά κόρον, δίνοντας αυξημένες δυνατότητες στους χρήστες. Πλέον, η επικοινωνία έχει γίνει ένα στοιχείο άμεσο και αδιαπραγμάτευτο, το οποίο υποστηρίζεται με αρκετούς τρόπους και μέσα. Μια σημαντική τεχνολογία η οποία έχει αναπτυχθεί αφορά τις κεραίες. Η κεραία είναι το αντικείμενο το οποίο είναι υπεύθυνο για την αποστολή και τη λήψη πληροφοριών σε ένα τηλεπικοινωνιακό πλαίσιο. Τα χαρακτηριστικά αυτού του μέσου συμβάλουν στην ποιότητα της επικοινωνίας, της αποστολής και λήψης ενός σήματος ειδικότερα, καθώς και στα χαρακτηριστικά τα οποία φέρει το σήμα αυτό.

Η παρούσα εργασία αφορά το σχεδιασμό, την ανάπτυξη, την εκτέλεση και την αξιολόγηση μιας πειραματικής διαδικασίας με στόχο τον πειραματικό προσδιορισμό των βασικών παραμέτρων μιας παραβολικής κεραίας. Στο πείραμα αυτό θα ληφθούν κάποιες μετρήσεις της ισχύος και της απόστασης μεταξύ των κεραιών πομπού και δέκτη και έπειτα θα αποτυπωθούν σε πίνακες και γραφικές παραστάσεις τα δεδομένα

αυτά. Έπειτα με τα δεδομένα και τις παραμέτρους που θα έχουμε θα βρούμε την απολαβή της κεραίας στον δέκτη.

1.2 Σύνοψη εργασίας

Η δομή του κειμένου χωρίζεται σε πέντε κεφάλαια. Στόχος κάθε κεφαλαίου είναι να παρουσιάσει ένα διαφορετικό θέμα το οποίο σχετίζεται με την ανάπτυξη της εργασίας. Σε κάθε κεφάλαιο εμπεριέχεται αναλυτική και λεπτομερής επεξήγηση του κάθε στοιχείου, με απώτερο σκοπό την καλύτερη κατανόηση αυτού από τον αναγνώστη. Επιπλέον, στα κεφάλαια αυτά παρουσιάζονται και οι έννοιες και οι μέθοδοι οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν για την επίτευξη του πειράματος.

Το πρώτο κεφάλαιο της εργασίας αποτελεί παρουσίαση του αντικειμένου, του σκοπού και των στόχων της εργασίας αυτής. Η εισαγωγή είναι σημαντικό κομμάτι της ανασκόπησης, προκειμένου να κατανοήσει ο αναγνώστης το θέμα και τις έννοιες τις οποίες πραγματεύεται η εργασία.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, παρουσιάζεται το θεωρητικό υπόβαθρο της εργασίας. Η θεωρητική αυτή ανασκόπηση αφορά την παρουσίαση των ειδών, των χαρακτηριστικών των κεραιών και την κατανόηση του τρόπου χρήσης και λειτουργίας τους. Προκειμένου να μπορέσει ο αναγνώστης να εισαχθεί και να κατανοήσει την πειραματική διαδικασία θα πρέπει να γίνει αντιληπτός ο τρόπος λειτουργίας των κεραιών και η διαφορετικότητα του κάθε είδους.

Το τρίτο κεφάλαιο και εφόσον έχει παρουσιαστεί το κομμάτι των κεραιών, παρουσιάζονται όλα τα απαραίτητα στοιχεία που αφορούν την ακτινοβολία. Στο κεφάλαιο αυτό ο αναγνώστης μπορεί να βρει σχετικά διαγράμματα και παρουσίαση μαθηματικών τύπων προκειμένου να κατανοήσει την εκάστοτε έννοια.

Στο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η κεραία παραβολικού ανακλαστήρα με τις ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά της. Αναλύεται ο τρόπος λειτουργίας του παραβολικού ανακλαστήρα και παρουσιάζονται επίσης οι κεραίες offset και

Cassegrain παραβολικοί ανακλαστήρες με τις ιδιαίτερες ιδιότητες και χαρακτηριστικά τους.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, παρουσιάζεται ο σχεδιασμός και η εκτέλεση της πειραματικής διαδικασίας. Στο κεφάλαιο αυτό γίνεται εισαγωγή του αναγνώστη αρχικά στην διαδικασία του πειράματος και στη συνέχεια αναλύεται και επεξηγείται το εκάστοτε στοιχείο το οποίο έχει μελετηθεί μέσα από πίνακες και διαγράμματα προκειμένου να παρουσιαστεί το τελικό αποτέλεσμα και τα συμπεράσματα της διαδικασίας.

Τέλος, το τελευταίο κεφάλαιο συνοψίζει όλα τα στοιχεία που έχουν παρουσιαστεί στην υπόλοιπη εργασία και καταγράφει τα συμπεράσματα στα οποία έχει οδηγηθεί ο συγγραφέας.

2. Κεραίες: τύποι και χαρακτηριστικά

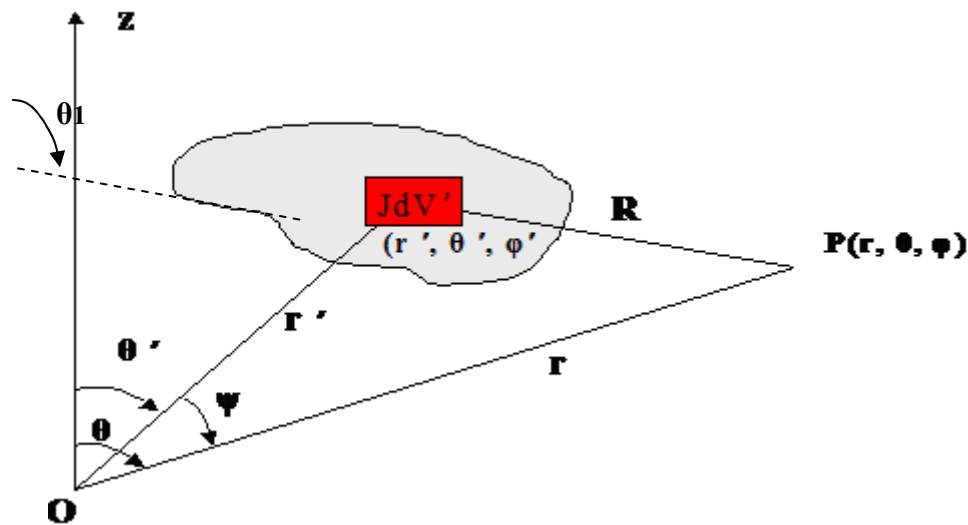
Κάθε τηλεπικοινωνιακή σύνδεση πραγματοποιείται με την εκπομπή της πληροφορίας από έναν “πομπό” και τη λήψη της από έναν “δέκτη”. Μια διάταξη εκπομπής έχει σκοπό, να μεταβιβάσει ρεύμα υψηλής συχνότητας σε ειδικό κύκλωμα το οποίο λόγω της μορφής του “ακτινοβολεί” ισχύ στον μονωτικό χώρο που το περιβάλλει. Ανάλογο κύκλωμα διεγερόμενο απ’ την παραπάνω ισχύ, αποτελεί τη διάταξη λήψης. Έτσι και στην εκπομπή και στη λήψη χρησιμοποιούνται κυκλώματα με κατάλληλη μορφή που ονομάζονται «κεραίες». Τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία γύρω από μια κεραία χωρίζονται σε δύο ζώνες:

- ζώνη Fresnel: είναι η περιοχή κοντά στην κεραία με πεδίο επαγωγής
- ζώνη Fraunhofer: είναι η περιοχή μακριά από την κεραία και αντίστοιχα το πεδίο της ονομάζεται πεδίο μακρινό ή ακτινοβολίας.

Για την μεγάλη απόσταση r ισχύει ότι $r \gg \lambda$ και $r \gg$ φυσικών διαστάσεων κεραίας.

Η ζεύξη πομπού-δέκτη επιτυγχάνεται στο μακρινό πεδίο, και όπως φαίνεται στην γεωμετρία της Εικόνας 1 γίνονται οι ακόλουθες παραδοχές:

- Εφόσον $r \gg \lambda$ και $r \gg$ φυσικών διαστάσεων κεραίας οι διαφορές στις ακτινικές αποστάσεις R και r θεωρούνται αμελητέες, όσον αφορά το πλάτος του υπολογιζόμενου μεγέθους δηλ. $1/R \cong 1/r$.
- Οι ευθείες που ενώνουν τις θέσεις (r', θ', φ') των στοιχειωδών ρευματικών κατανομών και το μακρινό σημείο υπολογισμού $P(r, \theta, \varphi)$ θεωρούνται παράλληλα μεταξύ τους.



Εικόνα 1: Γεωμετρία κεραίας.

2.1. Είδη κεραίων

Κάθε κεραία φέρει ένα διάγραμμα ακτινοβολίας, το οποίο αναπαριστά στο χώρο τη συμπεριφορά αυτής ως προς την ισοτροπική κεραία. Μία κεραία μπορεί να χαρακτηριστεί, από το διάγραμμα ακτινοβολίας, ως κατευθυντική. Στην παρούσα ενότητα θα παρουσιαστούν τα διάφορα είδη των κεραίων παράλληλα με τα χαρακτηριστικά τους[4].

2.1.1 Κατευθυντικές Κεραίες Υψηλής Συχνότητας

Οι κατευθυντικές κεραίες υψηλής συχνότητας (High Frequency/ HF) διαφέρουν από τις κεραίες χαμηλής συχνότητας για δύο λόγους. Ο πρώτος λόγος σχετίζεται με τις απαιτήσεις μετάδοσης/ λήψης στις υψηλές συχνότητες. Ο δεύτερος λόγος αφορά τη δυνατότητα επίτευξής τους. Απαιτούνται αρκετά συγκεντρωμένες δέσμες ακτινοβολίας αντί της μη κατευθυντικής μετάδοσης, καθώς ένα μεγάλο μέρος της

επικοινωνίας HF είναι σημείο προς σημείο. Οι κεραίες αυτές επίσης φέρουν και τα αντίστοιχα διαγράμματα ακτινοβολίας σε υψηλές συχνότητες. Οι κεραίες μπορούν να κατασκευαστούν σε διαστάσεις αρκετών μηκών κύματος, διατηρώντας παράλληλα ένα εύχρηστο μέγεθος.



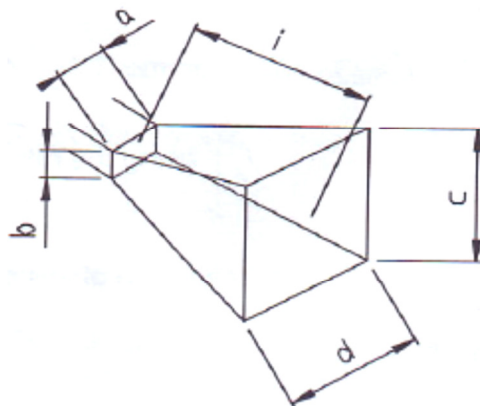
Εικόνα 2: Κατευθυντική κεραία.

Οι HF κεραίες είναι πιο πιθανό να χρησιμοποιηθούν για να επιτευχθεί κατευθυντική συμπεριφορά. Επιπλέον, σημειώνεται ότι ένα στοιχείο που συνδέεται με τον πομπό ονομάζεται διεγερόμενο (driven), ενώ ένα στοιχείο που δεν συνδέεται με τον πομπό ονομάζεται παρασιτικό (parasitic). Τα παρασιτικά στοιχεία δεν είναι απαραίτητο να συνδέονται με όλα τα στοιχεία της διάταξης, αν και παρατηρείται ότι εισάγονται σε έναν μεγάλο αριθμό στοιχειοκεραιών. Τα παρασιτικά στοιχεία λαμβάνουν ενέργεια μέσω του πεδίου επαγωγής το οποίο δημιουργείται από ένα διεγερόμενο στοιχείο, και όχι μέσω της απευθείας σύνδεσης στη γραμμή μεταφοράς.

2.1.2 Κεραίες Χοάνης

Προκειμένου να ακτινοβολήσει ενέργεια ένας κυματοδηγός σε ανοιχτό χώρο πρέπει να διεγερθεί κατάλληλα το ένα του άκρο και να είναι ανοιχτός από το άλλο. Το ποσό της ακτινοβολίας αυτής είναι πολύ μεγαλύτερο από αυτή που λαμβάνεται από μία δυσύρματη γραμμή μεταφοράς. Το ποσό το οποίο εκπέμπεται από το μπροστά μέρος του κυματοδηγού είναι μικρό, και ένα μεγάλο μέρος της ανακλάται προς τα πίσω από το ανοιχτό κύκλωμα. Το διάγραμμα ακτινοβολίας θα είναι μη κατευθυντικό, λόγω περιθλάσεων. Προκειμένου να αντιμετωπιστούν τα προβλήματα

των περιθλάσεων, πρέπει να αυξηθεί το άνοιγμα του κυματοδηγού προκειμένου να προκύψει μια ηλεκτρομαγνητική χοάνη.



Εικόνα 3: Χοάνη πομπού και δέκτη, οι μεταλλικές επιφάνειες τους λειτουργούν ως ανακλαστήρες για τα μικροκύματα.

Βασικές Χοάνες

Όταν ένας κυματοδηγός τερματίζεται από μία χοάνη, η απότομη ασυνέχεια που υπήρχε αντικαθίσταται από μία σταδιακή αλλαγή, έχοντας ως συνέπεια την ακτινοβολία όλης της ενέργειας προς τα μπροστά από τον κυματοδηγό βελτιώνοντας έτσι την κατευθυντικότητα, και μειώνοντας τις περιθλάσεις.

Δυνατοί Τύποι Χοανών

Υπάρχουν τρεις δυνατοί τύποι χοανών:

- **Η χοάνη τομέα (sectoral horn).** Η χοάνη αυτή εκπέμπει σε μία μόνο κατεύθυνση.
- **Η πυραμοειδής χοάνη (pyramidal horn).** Ο τύπος αυτός χοάνης είναι μια δικατευθυντική κεραία και έχει το σχήμα κόλουρης πυραμίδας.

- **Η κωνική χοάνη (conical horn).** Ο τύπος αυτός είναι παρόμοιος με την πυραμοειδή και αποτελεί ένα λογικό τερματισμό για τους κυκλικούς κυματοδηγούς.

Η κατευθυντικότητα της κεραίας εξαρτάται από την γωνία εκπομπής φ . Αν η γωνία εκπομπής φ είναι τόσο μικρή, οδηγεί σε μία ρηχή χοάνη με σφαιρικό μέτωπο του κύματος και η δέσμη ακτινοβολίας δεν θα είναι κατευθυντική. Το ίδιο ισχύει και για τις δύο γωνίες εκπομπής της πυραμοειδούς χοάνης. Αν η γωνία φ είναι πολύ μικρή, το ίδιο μικρό θα είναι και το στόμιο της χοάνης, και η κατευθυντικότητα θα είναι μειωμένη. Επομένως, η γωνία εκπομπής έχει μία βέλτιστη τιμή, η οποία σχετίζεται με το μήκος L , εκφρασμένο σε μήκη κύματος.

Η κεραία χοάνης δεν είναι τόσο κατευθυντική, όσο μία κεραία με παραβολικό ανακλαστήρα, αλλά έχει αρκετά αυξημένη κατευθυντικότητα, ικανοποιητικό εύρος ζώνης και απλή μηχανική κατασκευή. Η συγκεκριμένη κεραία χρησιμοποιείται πολύ συχνά μαζί με κυματοδηγούς. Οι απλές χοάνες χρησιμοποιούνται συχνά είτε μόνες τους, ή ως πρωταρχικές κεραίες εκπομπής για παραβολοειδείς ανακλαστήρες. Ανάλογα με τις συνθήκες και το μέτωπο του κύματος χρησιμοποιούνται και οι κατάλληλες κεραίες.

Ειδικές Χοάνες

Υπάρχουν ακόμη κάποιες κεραίες οι οποίες αποτελούν διασταύρωση μεταξύ μίας χοάνης και ενός παραβολικού ανακλαστήρα. Οι κεραίες αυτές είναι η Cass χοάνη και η τριπλά αναδιπλούμενη χοάνη ανακλαστήρα, η οποία ονομάζεται και τοξοειδής χοάνη. Στην Cass-χοάνη, τα ραδιοκύματα συλλέγονται από μια μεγάλη επιφάνεια βάσης η οποία είναι παραβολική. Τα ραδιοκύματα στην κεραία αυτή ανακλώνται προς τα πάνω σε γωνία 45° και μόλις ανακλαστούν στην επιφάνεια, ανακλώνται προς τα κάτω στην εστία, η οποία, βρίσκεται στο κέντρο της επιφάνειας της βάσης. Εκεί, οι ακτίνες συλλέγονται από την κωνική χοάνη που είναι τοποθετημένη στην εστία. Στην περίπτωση της εκπομπής συμβαίνουν τα ακριβώς αντίθετα.

Η κεραία χοάνης-ανακλαστήρα έχει κέρδος και εύρος δέσμης συγκρίσιμο με αυτό ενός παραβολοειδούς ανακλαστήρα. Όπως και το Cassegrain feed, από το οποίο πήρε και το όνομά του, η γεωμετρία της Cass- χοάνης επιτρέπει την τοποθέτηση του δέκτη ή του πομπού στην εστία, χωρίς εμπόδια. Επιπλέον, η κεραία αυτή είναι χαμηλού θορύβου και χρησιμοποιείται στην παρακολούθηση δορυφόρων και τηλεπικοινωνιακών σταθμών.

2.1.3 Κεραίες Φακοί

Η κεραία φακού χρησιμοποιείται για την ευθυγράμμιση της δέσμης σωματιδίων σε συχνότητες πολύ πάνω των 3 GHz και λειτουργεί με τον ίδιο τρόπο που λειτουργούν οι γυάλινοι φακοί στην οπτική, βασίζονται δηλαδή στο φαινόμενο της διαθλάσεως. Οι ακτίνες που προσπίπτουν στις άκρες του φακού διαθλώνται περισσότερο από ότι εκείνες που προσπίπτουν κοντά στο κέντρο. Η αποκλίνουσα δέσμη ευθυγραμμίζεται και οι ακτίνες που εγκαταλείπουν τον φακό είναι παράλληλες. Σημειώνεται ότι η λειτουργία επομένως των φακών αφορά την ευθυγράμμιση του μετώπου κύματος.

Με βάση την θεωρία των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, παρατηρείται ότι ένα κυρτό μέτωπο κύματος παρουσιάζεται στην πλευρά του φακού που βρίσκεται η πηγή. Είναι γνωστό ότι για την εξασφάλιση μιας σωστής σχέσης φάσης, είναι απαραίτητο ένα επίπεδο μέτωπο κύματος στην άλλη πλευρά του φακού. Τα τμήματα του μετώπου κύματος κοντά στις άκρες του φακού επιβραδύνονται ελαφρά, εφόσον συναντήσουν ένα μικρό πάχος του διηλεκτρικού υλικού στο οποίο μειώνεται η ταχύτητα.

2.1.4 Ευρείας Ζώνης Και Ειδικών-Σκοπών Κεραίες

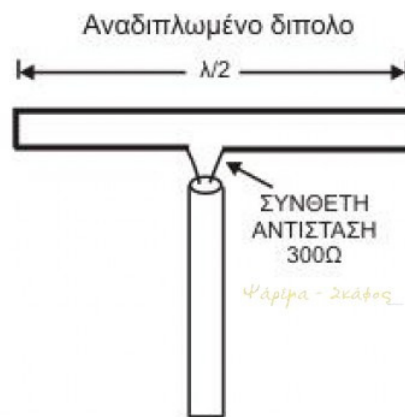
Υπάρχει μια επιτακτική ανάγκη για κεραίες των οποίων τα χαρακτηριστικά του διαγράμματος ακτινοβολίας και της σύνθετης αντίστασης εισόδου παραμένουν σταθερά για ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων. Ουσιαστικά, υπάρχει ανάγκη για κεραίες ευρείας ζώνης οι οποίες θα μπορούν να λειτουργήσουν σε ένα ευρύ φάσμα συχνοτήτων. Από τις κεραίες που έχουν αναφερθεί ως τώρα, η χοάνη και το αναδιπλωμένο δίπολο παρουσιάζουν ευρείας ζώνης ιδιότητες

Οι ειδικών σκοπών κεραίες περιλαμβάνουν την δίσκου-κόνου, την ελικοειδή και τις λογαριθμικές-περιοδικές κεραίες, όπως επίσης και μερικές από τις απλές κεραίες πλαισίου που χρησιμοποιούνται στα ραδιογωνιόμετρα για την εύρεση της κατεύθυνσης.

2.1.5 Αναδιπλωμένο Δίπολο

Το αναδιπλωμένο δίπολο είναι παράλληλα συντονισμένο στην συχνότητα συντονισμού του δίπολου μισού κύματος. Σε αυτή τη συχνότητα η σύνθετη αντίσταση του κυκλώματος είναι μια υψηλή αντίσταση η οποία δεν επηρεάζει την συνολική σύνθετη αντίσταση που υπάρχει από την γραμμή μεταφοράς. Κάτω από τη συχνότητα συντονισμού η αντίσταση της κεραίας γίνεται χωρητική, ενώ η αντίσταση του LC κυκλώματος γίνεται επαγωγική.

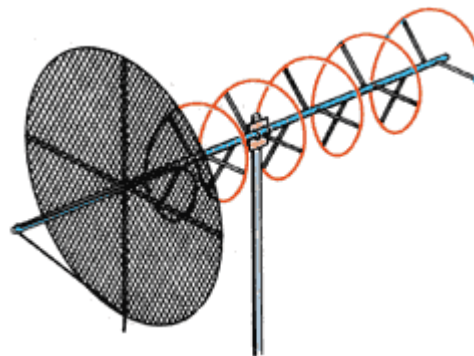
Σε μια μικρή περιοχή γύρω από τον συντονισμό, υπάρχει μια τάση προκειμένου να αντικατασταθούν οι αλλαγές στην αντίσταση της κεραίας, σε περιπτώσεις στις οποίες η σύνθετη αντίσταση της κεραίας από μόνη της θα ήταν σε μεγάλο βαθμό αντίδραση. Η αντιστάθμιση βελτιώνεται και διευρύνεται, όταν ο συντελεστής ποιότητας Q του συντονισμένου κυκλώματος μειώνεται. Επιπλέον, η αντιστάθμιση μπορεί να πραγματοποιηθεί το ίδιο εύκολα με μια βραχυκυκλωμένη τετάρτου-κύματος γραμμή μεταφοράς. Το αναδιπλωμένο δίπολο παρέχει τον ίδιο τύπο αντιστάθμισης όπως και η εκδοχή της γραμμής μεταφοράς αυτού του δικτύου.



Εικόνα 4: Αναδιπλωμένο δίπολο.

2.1.6 Ελικοειδής Κεραία

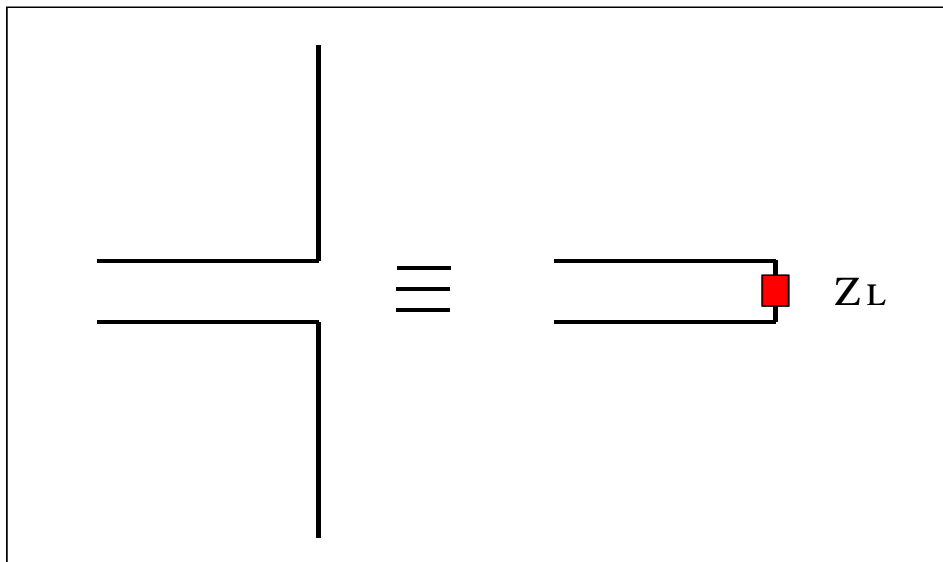
Η ελικοειδής κεραία, είναι μια ευρείας ζώνης κεραία. Η κεραία αυτή χρησιμοποιείται όταν επιθυμείται εξασφάλιση χαρακτηριστικών κυκλικής πόλωσης. Σε περιπτώσεις όπου η περιφέρεια του έλικα είναι πολύ μικρή συγκρινόμενη με το μήκος κύματος L , η συνολική ακτινοβολία ισούται με τον συνδυασμό της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από ένα μικρό δίπολο και εκείνης από έναν μικρό βρόχο τοποθετημένου στις στροφές του έλικα.



Εικόνα 5: Ελικοειδής Κεραία.

2.1.7 Κεραία Πομπός

Ο ρόλος του πομπού είναι να τροφοδοτεί μια κεραία μέσα από μια γραμμή μεταφοράς. Στο είδος αυτό οι απώλειες αυτές αφορούν αρχικά ένα μέρος της τροφοδοτούμενης ισχύος το οποίο «καταναλώνεται» στον περιβάλλοντα χώρο, με τη μορφή ακτινοβολίας, και αποδίδεται τμηματικά στον δέκτη. Επιπλέον, ένα άλλο μέρος μπορεί να καταναλωθεί με τη μορφή θερμικών απωλειών πάνω στα αγωγία μέρη της κεραίας. Σε επίπεδο αναπαράστασης οι απώλειες που χαρακτηρίζουν την κεραία θα μπορούσαν να εκπροσωπηθούν από μια καθαρά ωμική αντίσταση.



Εικόνα 6: Γραμμή μεταφοράς με κεραία.

Ο πομπός–γραμμή μεταφοράς χρησιμοποιεί οποιαδήποτε κεραία ως ένα φορτίο, στο οποίο αποδίδεται η παραγόμενη από τον πομπό ισχύς. Το φορτίο αυτό έχει τόσο πραγματικό, όσο και φανταστικό μέρος. Κατά τη σχεδίαση μιας διάταξης πομπού και γραμμής μεταφοράς θεωρείται ότι η κεραία ισοδυναμεί με μια σύνθετη αντίσταση, η οποία ονομάζεται αντίσταση στο σημείο οδήγησης ή τροφοδοσίας. Εάν η κεραία είναι μακριά από έδαφος και άλλα αντικείμενα η αντίσταση ονομάζεται σύνθετη αντίσταση και έχει ένα πραγματικό μέρος που μπορεί να διακριθεί σε δύο εν σειρά ωμικές αντιστάσεις, την αντίσταση ακτινοβολίας και την αντίσταση απωλειών. Όσον αφορά το φανταστικό μέρος της σχετίζεται με την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια, η

οποία εγκλωβίζεται στην κεραία, στοιχείο το οποίο μεταβάλει την συμπεριφορά της και την κάνει να συμπεριφέρεται σαν πηνίο ή πυκνωτής.

2.1.8 Κεραία Δέκτης

Η κεραία δέκτης συλλέγει την ισχύ από το προσπίπτον κύμα και την αποδίδει στη γραμμή μεταφοράς. Ο δέκτης και η γραμμή μεταφοράς συνδέονται στο σημείο των ακροδεκτών της κεραίας ως μια σύνθετη αντίσταση Z_L . Η σύνθετη αντίσταση Z_A , η οποία ανήκει σε μια ισοδύναμη γεννήτρια κατά Thevenin, και σύμφωνα με το θεώρημα της αμοιβαιότητας, ταυτίζεται με την ίδια σύνθετη αντίσταση της κεραίας, εάν αυτή λειτουργούσε ως πομπός.

2.2. Βασικές παράμετροι κεραιών

Τα μεγέθη και τα χαρακτηριστικά των κεραιών παρουσιάζονται στην παρούσα ενότητα αναλυτικά, προκειμένου να μπορέσει ο αναγνώστης να σημειώσει τα απαραίτητα για την εργασία στοιχεία.

2.2.1 Απόδοση

Η απόδοση μίας κεραίας αποτελεί σημαντικό μετρικό στοιχείο του ποσοστού του σήματος που φτάνει στο σημείο συγκέντρωσης και στην είσοδο του μεταλλάκτη χαμηλού θορύβου (Low Noise Block Downconverter, LNB). Ανάλογα με το είδος της κεραίας, η απόδοσή τους κυμαίνεται μεταξύ 55 και 70%. Η μέγιστη απόδοση της εκάστοτε κεραίας εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως είναι ο τρόπος λειτουργίας, η ποιότητα των υλικών και το μέσο χρήσης τους. Επιπλέον, στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθούν και οι παραμορφώσεις που υπάρχουν στην παραβολική επιφάνεια μιας κεραίας κατά την κατασκευή της, οι οποίες χαρακτηρίζονται με τον

όρο RMS deviation. Όσο πιο μικρή τιμή έχει αυτός ο όρος, τόσο καλύτερη ποιότητα κατασκευής έχει το κάτοπτρο.

Η ισχύς η οποία υπάρχει στην κεραία δεν ακτινοβολείται όλη από αυτή. Συνεπώς, πρέπει να οριστεί μια παράμετρος η οποία θα αναφέρεται στην απόδοση της (n). Αν $P_{ολ}$ η προσφερόμενη στην κεραία ισχύς και $P_{ακτ}$ η ακτινοβολουμένη ισχύς, τότε η απόδοση είναι ίση με[5]:

$$n = \frac{P_{ακτ}}{P_{ολ}} \quad (1.1)$$

Επειδή $P_{ολ} = P_{ακτ} + P_{απ}$ θα είναι:

$$n = \frac{P_{ακτ}}{P_{ακτ} + P_{απ}} = \frac{I_{εν}^2 \cdot R_{ακτ}}{I_{εν}^2 \cdot R_{ακτ} + I_{εν}^2 \cdot R_{απ}} \quad \text{και τελικά: (1.2)}$$

$$n = \frac{P_{ακτ}}{P_{ακτ} + P_{απ}} \quad (1.3)$$

2.2.2 Πόλωση κεραιών

Ένα άλλο χαρακτηριστικό των κεραιών είναι η πόλωση την οποία εκπέμπει το ηλεκτρομαγνητικό κύμα. Οι κατηγορίες πόλωσης είναι οι εξής:

1. **Κάθετη πόλωση:** Το διάνυσμα της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου είναι κάθετο.
2. **Οριζόντια πόλωση:** Το διάνυσμα της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου είναι οριζόντιο.
3. **Κυκλική πόλωση:** Υπάρχει και κάθετο και οριζόντιο διάνυσμα και μάλιστα είναι ίσα τα δυο διανύσματα.
4. **Ελλειπτική πόλωση:** Υπάρχει και κάθετο και οριζόντιο διάνυσμα τα οποία είναι άνισα. (δεν χρησιμοποιείται πολύ)

Η παράμετρος αυτή προσδιορίζει τον προσανατολισμό (στο χώρο) των πεδίων του εκπεμπόμενου ηλεκτρομαγνητικού κύματος. Το μαγνητικό πεδίο του κύματος

είναι κάθετο στη διεύθυνση του ηλεκτρικού πεδίου και η διεύθυνση διάδοσής του είναι κάθετη και στα δύο επαγόμενα πεδία. Η πολικότητα της κεραίας καθορίζεται από την πολικότητα του εκπεμπόμενου ηλεκτρομαγνητικού κύματος. Όταν η διεύθυνση του ηλεκτρικού πεδίου είναι κάθετη, η κεραία εμφανίζει κάθετη πόλωση, ενώ σε αντίθετη περίπτωση η διεύθυνση του ηλεκτρικού πεδίου είναι οριζόντια και η κεραία εμφανίζει οριζόντια πόλωση.

2.2.3 Ενεργό Ύψος

Το ενεργό ύψος ($h_{\text{εν}}$) σε μια κεραία είναι το μέγεθος της ακτινοβολίας της, το οποίο μετράται κατά το οριζόντιο επίπεδο σε μια κατακόρυφη κεραία. Ως ενεργό ύψος ορίζεται το ύψος h μιας άλλης υποθετικής κεραίας, η οποία διαρρέεται από ρεύμα σταθερής έντασης.

Το βέλτιστο ενεργό ύψος μιας κεραίας είναι λίγο μεγαλύτερο του μισού μήκους κύματος λ . Τα διαγράμματα ακτινοβολίας κεραίων με ύψη μεταξύ ενός τετάρτου και $\lambda/2$ είναι επίσης αποδεκτά. Όταν μια κεραία είναι τοποθετημένη σε μεγάλο ύψος, παρουσιάζονται πλευρικοί λοβοί οι οποίοι δημιουργούν παρεμβολές στο ακτινοβολούμενο κύμα. Αντίθετα, αν η κεραία είναι τοποθετημένη κοντά στο έδαφος, η κατευθυντικότητα της κατά μήκος του εδάφους και η αντίσταση ακτινοβολίας είναι χαμηλές.

2.2.4 Αντίσταση Απωλειών

Όπως παρουσιάστηκε και στις παραπάνω ενότητες και έχει γίνει κατανοητό, ένα μέρος της ισχύος η οποία έχει μια κεραία ακτινοβολείται, ενώ το υπόλοιπο καταναλώνεται υπό μορφή θερμότητας στις διάφορες απώλειες. Η αντίσταση απωλειών ορίζεται ως $R_{\text{ακτ}}$ και αναφέρεται ως ωμική αντίσταση, η οποία θα καταναλώνει ισχύ, όσο η ισχύς απωλειών, όταν διαρρέεται απ' το ρεύμα εισόδου της κεραίας. Ο τύπος της αντίστασης αυτής είναι:

$$R_{αγ} = \frac{Rh}{3} R_{απ} = \frac{P_{απ}}{I_{εν}^2} \quad (1.4)$$

2.3. Απώλειες Κεραιών

Οι απώλειες των κεραιών έχουν διάφορες διακρίσεις, ανάλογα με το είδος των υλικών, τη φύση του εδάφους και άλλες παραμέτρους. Οι κατηγορίες των απωλειών είναι οι εξής[2]:

- Απώλειες μέσα στους αγωγούς.
- Απώλειες μέσα στα διηλεκτρικά.
- Απώλειες στο έδαφος.

Στις ακόλουθες υποπαραγράφους θα μελετηθούν τα στοιχεία τα οποία εμπεριέχονται στην εκάστοτε κατηγορία των απωλειών.

2.3.1 Απώλειες Μέσα Στους Αγωγούς

Οι απώλειες σε έναν αγωγό που διαρρέεται από συνεχές ή εναλλασσόμενο ρεύμα εξαρτώνται απ' την πραγματική ωμική αντίσταση $R_{αγ}$ και τη διαφυγή στους μονωτές. Ωστόσο σε περιπτώσεις εναλλασσόμενου ρεύματος υψηλής συχνότητας, λόγω του επιδερμικού φαινομένου, η τιμή της $R_{αγ}$ αυξάνεται. Σε όσα προαναφέρθηκαν, εξαίρεση αποτελούν οι κεραίες πολύ μικρού ύψους ($h < \frac{\lambda}{20}$). Σε μια κατακόρυφη κεραία ύψους h και διαμέτρου d η $R_{αγ}$ δίνεται απ' τη σχέση:

$$R_{αγ} = 6,33 \cdot 10^{-4} \frac{h}{d} \sqrt{f \cdot \rho \cdot \mu} \quad (1.5)$$

Όπου f η συχνότητα, ρ η ειδική αντίσταση και μ η μαγνητική διαπερατότητα. Από την παραπάνω σχέση προκύπτει ότι η $R_{αγ}$ εξαρτάται απ' την κατανομή ρεύματος.

2.3.2 Απώλειες στα διηλεκτρικά και το Έδαφος

Οι απώλειες των κεραιών μέσα στο διηλεκτρικό (dielectric losses) εμφανίζονται κυρίως με τη μορφή θερμότητας στα διάφορα μονωτικά μέρη της κεραίας.

Όσον αφορά τις απώλειες στο έδαφος, αυτές αφορούν προσγειωμένες κεραίες. Προκειμένου να μετρηθούν και να υπολογιστούν οι απώλειες στο έδαφος, πρέπει αρχικά να προσδιοριστεί η κατανομή ρεύματος θεωρώντας το έδαφος τελείως αγωγίμο. Επομένως, γνωρίζοντας την κατανομή ρεύματος και την αγωγιμότητα του εδάφους μπορεί να γίνει εύκολος υπολογισμός των απωλειών εδάφους.

2.4 Κέρδος Κεραιών

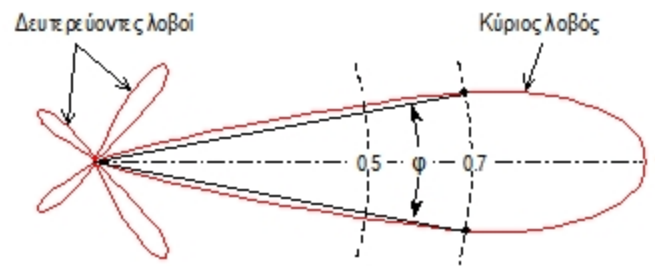
Το κέρδος κεραίας (G) παρουσιάζει την ικανότητα αυτής να κατευθύνει την εκπεμπόμενη ηλεκτρομαγνητική ενέργεια προς μία κατεύθυνση και να λαμβάνει ενέργεια επίσης από μία κατεύθυνση. Προκειμένου να υπολογιστεί το κέρδος πρέπει να βρεθεί ο λόγος της έντασης ακτινοβολίας στην κάθε κατεύθυνση προς τη συνολική ισχύ εισόδου της κεραίας (P_{in}). Η ισχύς αυτή αντισταθμίζει την ακτινοβολούμενη ισχύ P_a και την ισχύ όλων των απωλειών P_{loss} .

$$G(\theta, \varphi) = \frac{4\pi\rho(\theta, \varphi)}{P_{in}} = \frac{4\pi\rho(\theta, \varphi)}{P_a + P_{loss}} \quad (1.6)$$

2.5 Κατευθυντικότητα

Η κατευθυντικότητα των κεραιών παρουσιάζει την ικανότητα της να λαμβάνει ισχυρότερα σήματα από ορισμένες διευθύνσεις. Όσον αφορά τον δέκτη είναι επιθυμητό να λαμβάνονται σήματα μόνο από μία διεύθυνση και να απορρίπτονται τα σήματα από όλες τις άλλες διευθύνσεις. Η ιδιότητα αυτή αυξάνει την ισχυρότητα του

σήματος από τον πομπό καθώς απορρίπτονται τα σήματα τα οποία εμπεριέχουν παρεμβολές ή θόρυβο. Η κατευθυντικότητα της κεραίας ορίζεται ως ο λόγος της μέγιστης έντασης ακτινοβολίας προς την πυκνότητα ισχύος μιας ισοτροπικής κεραίας και εκπέμπεται η ίδια συνολική ισχύ στην ίδια διεύθυνση. Για την περιγραφή της χρησιμοποιούνται πολικά διαγράμματα, στα οποία δίνεται η ένταση του σήματος σε διάφορες διευθύνσεις σε σύγκριση με τη μέγιστη.



Εικόνα 7: Διάγραμμα κατευθυντικότητας κεραίας.

3. Ακτινοβολία και χαρακτηριστικά αυτής

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει παρουσίαση των στοιχείων που αφορούν τα ραδιοκύματα τα οποία εκπέμπονται από τις κεραίες και θα παρουσιαστούν επιπλέον τα είδη ακτινοβολίας και άλλα απαραίτητα χαρακτηριστικά για την παρούσα εργασία. Στόχος του κεφαλαίου είναι να παρουσιαστούν οι μονάδες μέτρησης και τα διαγράμματα τα οποία είναι απαραίτητα και για την κατανόηση των στοιχείων των πειραμάτων.

3.1. Είδη ακτινοβολίας

Στην παρούσα υποενότητα παρουσιάζονται τα διάφορα είδη ακτινοβολίας και δίνεται περισσότερη βάση στην ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και τις εξισώσεις Maxwell.

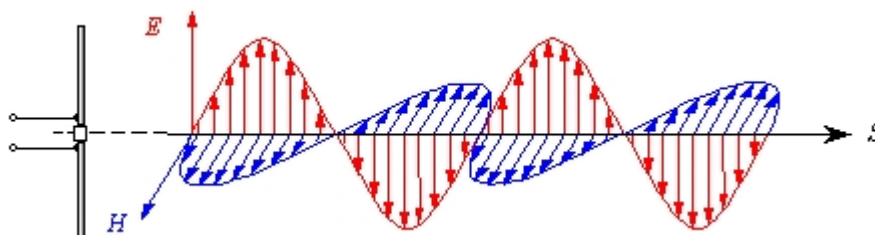
3.1.1 Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία

Η μεταφορά της πληροφορίας από την εκπομπή στη λήψη γίνεται με ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα αφορά την ταυτόχρονη διάδοση ενός ηλεκτρικού και ενός μαγνητικού πεδίου. Τα κύματα αυτά διαδίδονται στο κενό με την ταχύτητα του φωτός $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$, ενώ η ταχύτητά τους μειώνεται όταν διαδίδονται σε κάποιο άλλο μέσο. Τα κύρια χαρακτηριστικά των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων είναι[11]:

- το μήκος κύματος, δηλαδή η απόσταση που καλύπτεται από ένα κύκλο του κύματος,

- η συχνότητα, δηλαδή ο αριθμός των κύκλων του κύματος που διέρχονται από ένα συγκεκριμένο σημείο κατά τη διάρκεια ενός δευτερολέπτου.

Η ακτινοβολία γενικότερα αποτελεί καθολικό φαινόμενο, που μελετάται σε διάφορα κεφάλαια της Φυσικής. Τα ηλεκτρομαγνητικά ή ραδιοηλεκτρικά ή ερτζιανά κύματα είναι αόρατα και βρίσκονται σε ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο το οποίο συνιστά τη σύζευξη του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου. Ο Oersted ήταν ο πρώτος που ανακάλυψε ότι ο μαγνητισμός συνυπάρχει με τον ηλεκτρισμό. Σύμφωνα με αυτόν, γύρω από έναν αγωγό που διαρρέεται από ρεύμα δημιουργείται μαγνητικό πεδίο και μεταδίδεται ηλεκτρομαγνητική ενέργεια, χάρη στις ταλαντώσεις που προκαλούν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Η μεταφορά ισχύος από την κεραία εκπομπής στην κεραία λήψης και επομένως η επικοινωνία, γίνεται μέσω του μονωτικού χώρου ο οποίος παρεμβάλλεται ανάμεσα σε δύο κεραίες.



Εικόνα 8: Ένταση ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου σε ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα.

Εξισώσεις Maxwell

Οι εξισώσεις Maxwell περιγράφουν τους θεμελιώδεις νόμους και καθορίζουν τη συμπεριφορά τόσο του ηλεκτρικού, όσο και του μαγνητικού πεδίου. Ο Maxwell μέσα από τις σχέσεις του απέδειξε την κοινή ηλεκτρομαγνητική θεωρία, και τονίζεται ότι τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα είναι αποτέλεσμα των εξισώσεών του. Κατά τον

Maxwell η διάδοση ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος μέσα σε ένα υλικό φέρει τις παρακάτω σχέσεις[10]:

$$\int E - dA = \frac{Q}{\epsilon_0} \quad (1.7)$$

$$\int B - dA = 0 \quad (1.8)$$

$$\int E - ds = \frac{d\Phi}{dt} \quad (1.9)$$

$$\int B - ds = \mu_0 - I + \mu_0 - \epsilon_0 \frac{d\Phi_e}{dt} \quad (1.10)$$

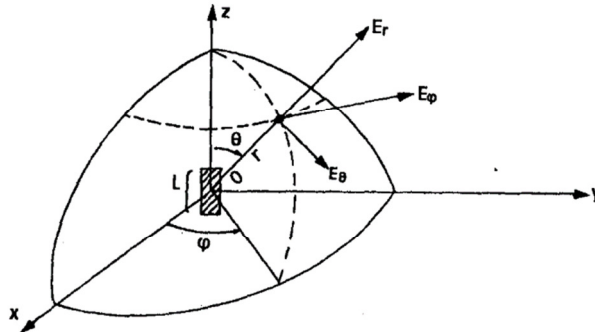
Συνδυάζοντας τις σχέσεις (1.9) και (1.10) λαμβάνεται η κυματική εξίσωση που περιγράφει τη διαταραχή του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου. Στο κενό διάστημα οι κυματικές εξισώσεις επιδέχονται κυματική λύση κατά την οποία η ταχύτητα διάδοσης του κύματος στο χώρο είναι $(\mu_0 \epsilon_0)^{-1/2}$ και ίση με την μετρημένη ταχύτητα του φωτός στο κενό $c=3*10^8$ m/s.

Με μια σειρά από πειράματα ο Hertz απέδειξε ότι τα κύματα, σε ραδιοσυχνότητες (λέγονται και ραδιοκύματα) έχουν τις ίδιες ιδιότητες της συμβολής, της περίθλασης, της ανάκλασης, της διάθλασης και της πόλωσης όπως και το φως. Απέδειξε έτσι ότι τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα σε ραδιοσυχνότητες που παρήγαγε είναι παρόμοια με το φως και διαφέρουν μόνο ως προς την συχνότητα και το μήκος κύματος. [3]

3.1.2 Ακτινοβολία στοιχειώδους διπόλου

Το φαινόμενο της ακτινοβολίας του στοιχειώδους διπόλου παρουσιάζεται στον υπολογισμό της έντασης του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου. Προκειμένου να γίνει πιο κατανοητή η έννοια αυτή, θα πρέπει να θεωρηθεί ένα μονωμένο στοιχειώδες δίπολο μικρού μήκους διαρρεόμενο από ένα ρεύμα. Για την περιγραφή του πεδίου γύρω απ' το δίπολο χρησιμοποιείται ένα σύστημα σφαιρικών συντεταγμένων (r, θ, ϕ) , στο

κέντρο των οποίων τοποθετείται το δίπολο που παρουσιάζεται στην ακόλουθη εικόνα.



Εικόνα 9: Σχηματική αναπαράσταση για την παρουσίαση του τρόπου ακτινοβολίας του στοιχειώδους διπόλου.

Το δίπολο αυτό διαρρέεται από εναλλασσόμενο ρεύμα συχνότητας f , με αποτέλεσμα να αναπτυχθούν δύο πεδία, ένα ηλεκτρικό E και ένα μαγνητικό H τα οποία είναι κάθετα μεταξύ τους. Η ένταση E στο σημείο $\Sigma (r, \varphi, \theta)$ του χώρου έχει τη διεύθυνση, E η οποία αναλύεται σε τρεις συνιστώσες E_r, E_θ, E_φ κάθετες μεταξύ τους:

1) Η πρώτη συνιστώσα E_r έχει τη διεύθυνση της επιβατικής ακτίνας ($O\Sigma$)

$$E_r = \frac{L \cos \theta I_0 e^{j\omega(t - \frac{r}{u_0})}}{2\pi\epsilon} \left(\frac{1}{j\omega r^3} + \frac{1}{u_0 r^2} \right) \quad (1.11)$$

όπου

- I_0 , το πλάτος του εναλλασσόμενου ρεύματος,
- L , το μήκος του διπόλου με $L \ll \lambda$,
- ω , η κυκλική συχνότητα του ρεύματος
- U_0 , η ταχύτητα του φωτός
- r , η απόσταση του Σ απ' το δίπολο
- ϵ , η διηλεκτρική σταθερά του περιβάλλοντος μέσου.

2) Η δεύτερη E_θ που είναι εφαπτομένη στον κατακόρυφο κύκλο στο σημείο Σ :

$$E_\theta = \frac{L \sin \theta I_0 e^{j\omega(t - \frac{r}{u_0})}}{4\pi\epsilon} \left(\frac{1}{j\omega r^3} + \frac{1}{u_0 r^2} + \frac{j\omega}{u_0^2 r} \right) \quad (1.12)$$

3) Την τρίτη Εφ εφαπτομένη η οποία είναι παράλληλη στο Σ με Εφ = 0

Το μαγνητικό πεδίο θα είναι:

$$H_{\theta} = H_r = 0 \quad \text{και}$$

$$H_{\phi} = \frac{L \sin \theta l_0 e^{j\omega(t-\frac{r}{u_0})}}{4\pi} \left(\frac{1}{r^2} + \frac{j\omega}{u_0 r} \right) \quad (1.13)$$

Μέσα από την παραπάνω μελέτη διακρίνονται δυο περιοχές του μαγνητικού πεδίου:

- Η πρώτη ($r \ll \lambda$) είναι το πεδίο επαγωγής και
- η δεύτερη ($r \gg \lambda$) είναι το μακρινό πεδίο ή πεδίο ακτινοβολίας. Για το πεδίο ακτινοβολίας ισχύει:

$$E_r = 0, E_{\theta} = \frac{L \sin \theta \cdot l_0}{2\epsilon} e^{j\omega(t-\frac{r}{u_0})} \frac{j}{u_0 \cdot r \cdot \lambda} \quad (1.14)$$

3.2. Ραδιοκύματα

Ως ραδιοκύματα χαρακτηρίζονται τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα με συχνότητα από περίπου 3 Hz- 300 GHz. Μεγαλύτερες συχνότητες από αυτές εμπίπτουν στο φάσμα της υπέρυθρης ακτινοβολίας. Ο χαρακτηρισμός των ζωνών συχνοτήτων έχει τη βάση του σε στρατιωτικούς κωδικούς του Β' Παγκοσμίου Πολέμου.

Ζώνη	Περιοχή συχνοτήτων	Προέλευση ονομασίας
HF band	3 - 30 MHz	H igh F requency
VHF	30-300 MHz	V ery H igh F requency

band		
UHF band	300-1000 MHz	Ultra High Frequency Η περιοχή από 216 έως 450 MHz ονομαζόταν P-band: Previous.
L band	1 - 2 GHz	Longwave
S band	2 - 4 GHz	Shortwave
C band	4 - 8 GHz	Compromise (συμβιβασμός) ανάμεσα στο S και το X
X band	8 - 12 GHz	
K_u band	12-18 GHz	Kurz-under
K band	18 - 27 GHz	Kurz(βραχεία)
K_a band	27-40 GHz	Kurz-above
V band	40 - 75 GHz	
W band	75 - 110 GHz	
Mm band	110 - 300 GHz	(χιλιοστομετρικά κύματα)

Πίνακας 3: Πίνακας συχνοτήτων ραδιοκυμάτων.

3.3 Μονάδες Μέτρησης

Στον Πίνακα 2 αναφέρονται τα βασικά μεγέθη που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος και οι μονάδες μέτρησης τους.

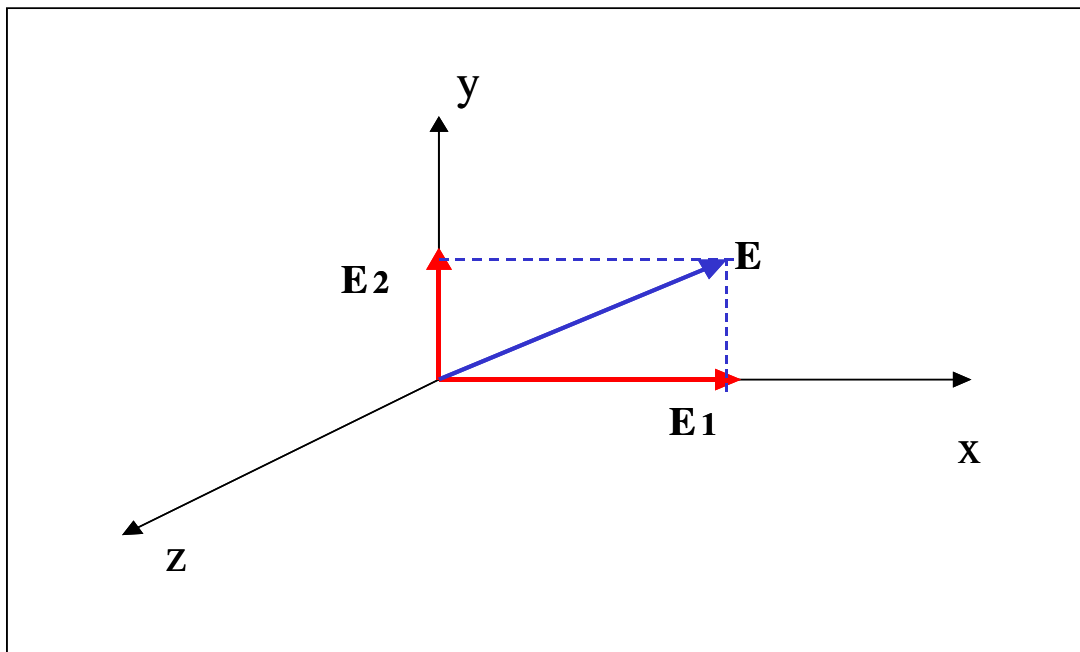
ΦΥΣΙΚΟ ΜΕΓΕΘΟΣ	ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΜΟΝΑΔΑ ΜΕΤΡΗΣΗΣ
Ένταση Ηλεκτρικού πεδίου	E	Volts/meter(V/m)
Ένταση Μαγνητικού πεδίου	B	Tesla(T) ή Gauss(G)
Μήκος Κύματος	λ	Meter (m)
Συχνότητα	ν ή f	Hertz (Hz)
Ισχύς	N	Watt (W)
Πυκνότητα Ισχύος	P ή S	Watt / (meter) ² (W/m ²)
Χρόνος	T	Second (s)

Πίνακας 4: Βασικά μεγέθη που χρησιμοποιούνται για την περιγραφή ενός Η/Μ κύματος,

3.4 Πόλωση Πεδίου

Μια σημαντική ιδιότητα του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου αφορά την πόλωση του πεδίου, δηλαδή τον προσανατολισμό του διανύσματος της έντασης των πεδιακών μεγεθών E και H. Τα διανύσματα αυτά είναι κάθετα μεταξύ τους, επομένως, η γνώση του προσανατολισμού ενός, αρκεί για να καθοριστεί ο προσανατολισμός του άλλου. Πρακτικά η πόλωση του ηλεκτρομαγνητικού κύματος έχει προσανατολισμό το διάνυσμα του ηλεκτρικού πεδίου \vec{E} .

Το ηλεκτρικό πεδίο γενικά, περιλαμβάνει τις δύο συνιστώσες τις E_{θ} και E_{ϕ} . Στο μακρινό πεδίο, το ηλεκτρομαγνητικό κύμα δεν φέρει σφαιρικά χαρακτηριστικά και έχει συμπεριφορά σαν επίπεδο κύμα. Προκειμένου να καθοριστεί η πόλωση, αρκεί να οριστεί το επίπεδο των καρτεσιανών συντεταγμένων (x,y,z) όπως φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.



Εικόνα 10: Επίπεδο κύμα.

Προκειμένου να γίνει κατανοητή η πόλωση του κύματος, αρκεί να παρουσιαστούν οι εξισώσεις που χρησιμοποιούνται αρχικά για τις 2 συνιστώσες E_x και E_y :

$$E_x = E_1 \eta \mu(\omega t - kz), E_y = E_2 \eta \mu(\omega t - kz + \delta) \quad (1.15)$$

τότε το συνολικό στιγμιαίο διάνυσμα \vec{E} , δίνεται από την ακόλουθη σχέση

$$\vec{E} = \hat{x}E_1 \eta \mu(\omega t - kz) + \hat{y}E_2 \eta \mu(\omega t - kz + \delta) \quad (1.16)$$

Θέτοντας $z=0$, οι παραπάνω εκφράσεις τροποποιούνται ως εξής:

$$E_x = \eta \omega t, E_y = E_2 \eta \mu(\omega t + \delta) = E_2 [\eta \mu(\omega t) \sigma \nu \nu \delta + \sigma \nu \nu(\omega t) \eta \mu \delta] \quad (1.17)$$

Απαλείφοντας τα $\eta \mu \omega t$ και $\sigma \nu \nu \omega t$ από την (1.17), σύμφωνα με τις ακόλουθες σχέσεις

$$\eta \mu \omega t = \frac{E_x}{E_1}, \sigma \nu \nu \omega t = \sqrt{1 - \frac{E_x^2}{E_1^2}} \quad (1.18)$$

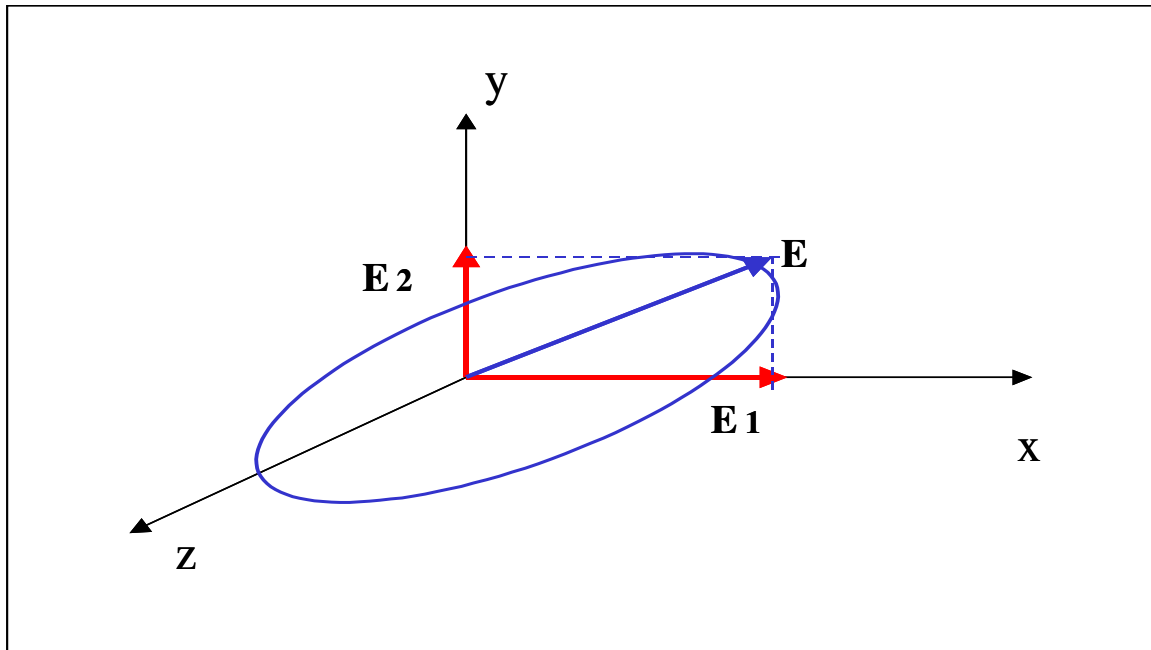
το E_y γράφεται ως εξής

$$E_y = E_2 \left[\frac{E_x}{E_1} \cos \delta + \eta \mu \delta \sqrt{1 - \frac{E_x^2}{E_1^2}} \right] \quad (1.19)$$

Υψώνοντας την (1.19) στο τετράγωνο και αναδιατάσσοντας τους όρους της εξίσωσης προκύπτει η ακόλουθη έκφραση

$$\frac{E_x^2}{E_1^2} - \frac{2E_x E_y \cos \delta}{E_1 E_2} + \frac{E_y^2}{E_2^2} = \eta^2 \mu^2 \delta \Leftrightarrow a E_x^2 - b E_x E_y + c E_y^2 = 1 \quad (1.20)$$

Η παραπάνω εξίσωση παρουσιάζει μια έλλειψη με κλίση, η οποία παρουσιάζεται στην εικόνα που ακολουθεί. Η έλλειψη αυτή σημαίνει ότι το διάνυσμα \vec{E} , κινείται πάντα στην περιφέρεια μιας νοητής έλλειψης, με αποτέλεσμα το κύμα να χαρακτηρίζεται ελλειπτικά πολωμένο.

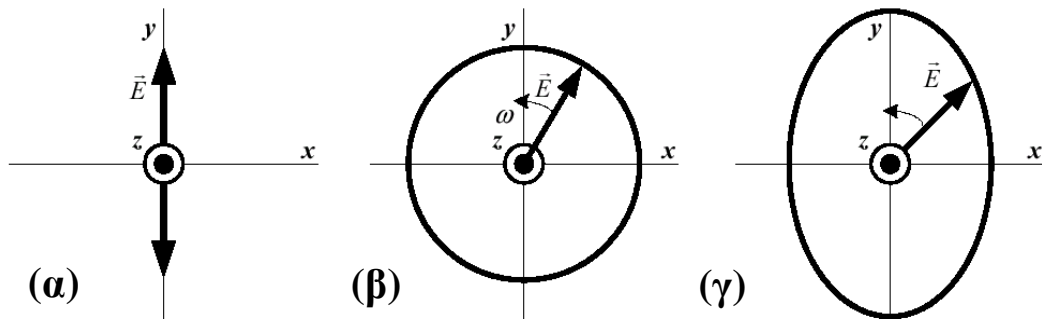


Εικόνα 11: Ελλειπτικά Πολωμένο Κύμα.

Όταν η διεύθυνση του ηλεκτρικού πεδίου παραμένει σταθερή, δηλ. όταν το μέτρο του μεταβάλλεται αλλά η διεύθυνση του ορίζεται πάνω σε μια σταθερή ευθεία, τότε το κύμα χαρακτηρίζεται σαν **γραμμικά πολωμένο**, το οποίο αποτελεί ειδική περίπτωση της ελλειπτικής πόλωσης. Σύμφωνα με την παραπάνω εικόνα και τις εξισώσεις που προαναφέρθηκαν όταν η ένταση $E=0$ το κύμα έχει σταθερή διεύθυνση

στον χρόνο, που ταυτίζεται με τον άξονα $\hat{y}(\hat{x})$. Επίσης, όταν η διαφορά φάσης είναι $\delta=0, \pm\pi$, το κύμα θεωρείται, επίσης, γραμμικά πολωμένο έχοντας κλίση ως προς τους άξονες \hat{x}, \hat{y} .

Επιπλέον, όταν το διάνυσμα του ηλεκτρικού πεδίου μεταβάλλει τη διεύθυνση του, σε συνάρτηση με το χρόνο, διαγράφεται η περιφέρεια ενός νοητού κύκλου. Στην περίπτωση αυτή το κύμα χαρακτηρίζεται κυκλικά πολωμένο, πόλωση η οποία αποτελεί εξειδίκευση της ελλειπτικής, όταν στην τελευταία ισχύουν οι συνθήκες: $E_1=E_2$ και $\delta=\pm\pi/2$.



Εικόνα 12: (α) Γραμμική (β) Κυκλική και (γ) ελλειπτική πόλωση

Τόσο στην περίπτωση της ελλειπτικής, όσο της κυκλικής πόλωσης, προκειμένου να προσδιοριστεί πλήρως η πόλωση, απαιτείται η γνώση της φοράς, με την οποία κινείται το διάνυσμα του ηλεκτρικού πεδίου. Παρατηρώντας το κύμα να πλησιάζει το διάνυσμα \vec{E} κινείται με τη φορά των δεικτών του ρολογιού. Στην περίπτωση αυτή η πόλωση ονομάζεται αριστερόστροφη, ενώ σε αντίθετη φορά η περιστροφή ονομάζεται δεξιόστροφη.

3.5 Διαγράμματα

Ο τρόπος με τον οποίο ακτινοβολεί στο χώρο μια κεραία, περιγράφεται στα διαγράμματα ακτινοβολίας. Ανάλογα με το πεδιακό μέγεθος το οποίο αναπαρίσταται σε κάθε διάγραμμα, υπάρχουν και οι αντίστοιχες κατηγορίες στις οποίες διακρίνονται τα διαγράμματα αυτά, σε διαγράμματα πεδίου και ισχύος[6]. Στην παρούσα ενότητα θα γίνει ανάλυση των στοιχείων τα οποία συμπεριλαμβάνονται σε κάθε κατηγορία.

3.5.1 Διάγραμμα Έντασης Πεδίου

Το ηλεκτρικό πεδίο \vec{E} , συνδέεται με μια απλή γραμμική σχέση με την ένταση του μαγνητικού πεδίου \vec{H} . Επομένως, ο πλήρης καθορισμός του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου μιας κεραίας γίνεται εάν υπολογιστεί το ένα από τα δύο πεδιακά μεγέθη. Πρακτικά συνήθως υπολογίζεται το ηλεκτρικό πεδίο και σε αυτό αναφέρονται τα διαγράμματα πεδίου.

Η μεταβολή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου είναι αντιστρόφως ανάλογη της απόστασης r . Για το λόγο αυτό το ενδιαφέρον στην ερευνητική κοινότητα παρουσιάζεται κυρίως στη μελέτη της μεταβολής της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου ως προς τα (θ, φ) . Τα διαγράμματα πεδίου καλούνται για το λόγο αυτό και αναπαραστάσεις της μεταβολής της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου, έχοντας αρχικά μια σταθερή ακτίνα r σαν συνάρτηση της θέσης (θ, φ) .

Γενικότερα, το ηλεκτρικό πεδίο έχει δύο συνιστώσες E_θ , E_φ και διαδίδεται κάθετα προς το επίπεδο που ορίζουν οι συνιστώσες αυτές. Τα διαγράμματα πεδίου δίνονται ξεχωριστά για τις συνιστώσες αυτές, καθώς είναι σημαντικό να ληφθούν οι κατάλληλες πληροφορίες από αυτά και να μπορέσει να γίνει μια σωστή και πλήρης μελέτη. Το ολικό ηλεκτρικό πεδίο υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$|E| = \sqrt{|E_\theta|^2 + |E_\varphi|^2} = \frac{1}{r} F(\theta, \varphi) \quad (1.21)$$

όπου

$$|E_{\theta}| = \frac{1}{r}|F_1(\theta, \varphi)|, |E_{\varphi}| = \frac{1}{r}|F_2(\theta, \varphi)|, F(\theta, \varphi) = \sqrt{|F_1(\theta, \varphi)|^2 + |F_2(\theta, \varphi)|^2} \quad (1.22)$$

Τα διαγράμματα πεδίου αφορούν κυρίως την αναπαράσταση της μεταβολής των συναρτήσεων

$$|F_1(\theta, \varphi)| = |rE_{\theta}(\theta, \varphi)| \quad (1.23)$$

$$|F_2(\theta, \varphi)| = |rE_{\varphi}(\theta, \varphi)| \quad (1.24)$$

Η μονάδα μέτρησης της έντασης πεδίου όταν αυτή υπολογίζεται σε απόλυτες τιμές (απόλυτο διάγραμμα πεδίου) είναι Volts/m. Όταν η ένταση του πεδίου εκφράζεται συγκριτικά με κάποια διεύθυνση, τότε προκύπτει το σχετικό διάγραμμα πεδίου

$$\frac{E_{\theta}}{E_{\theta \max}}, \frac{E_{\varphi}}{E_{\varphi \max}} \quad (1.25)$$

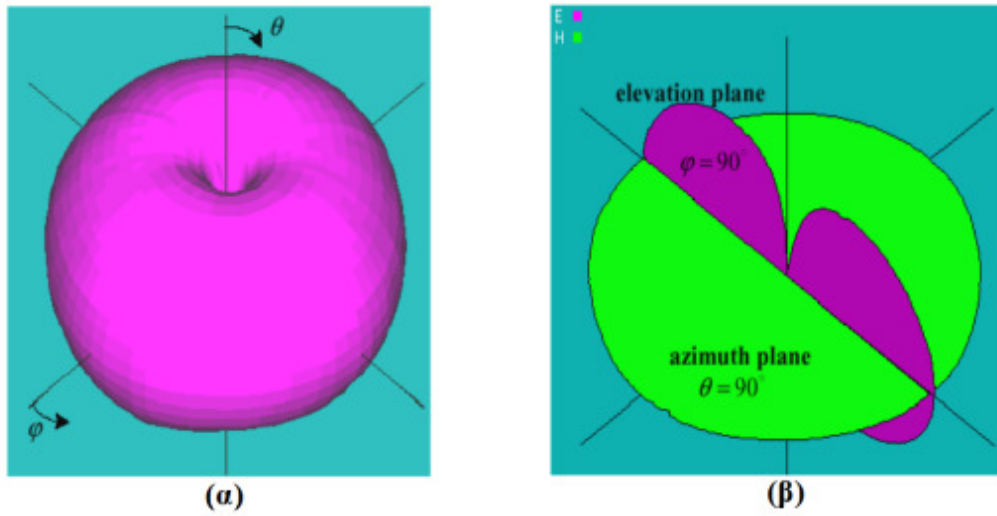
Ο πλήρης καθορισμός του πεδίου προϋποθέτει εκτός από τον προσδιορισμό του μέτρου του και τη γνώση της διεύθυνσης του. Εφόσον υπολογιστούν τα πλάτη και οι φάσεις των πεδίων, σαν συνάρτηση των (θ, φ) , ή η διαφορά φάσης μεταξύ των δύο συνιστωσών E_{θ} και E_{φ} , τότε είναι δυνατή η αναπαράσταση τόσο του μέτρου όσο και της διεύθυνσης του ηλεκτρικού πεδίου.

Στην ειδική περίπτωση, όπου υπάρχει μόνο μια από τις δύο συνιστώσες E_{φ} ή E_{θ} , τότε τα διαγράμματα πεδίου έχουν τις αντίστοιχες τιμές:

- $E_{\varphi}(\varphi=0, \theta)$ και $E_{\varphi}(\varphi, \theta=90)$
- $E_{\theta}(\varphi=0, \theta)$ και $E_{\theta}(\varphi, \theta=90)$.

Στην περίπτωση όπου υπάρχουν και οι δύο συνιστώσες (E_{φ} , E_{θ}), τότε ο συνδυασμός των τεσσάρων παραπάνω διαγραμμάτων είναι ο συνηθέστερος.

Ο γενικός κανόνας αφορά την αναπαράσταση των διαγραμμάτων σε επίπεδα, τα οποία διχοτομούν την κύρια δέσμη. Τα επίπεδα αυτά διαγράμματα πεδίου ονομάζονται διαγράμματα πρωτευόντων επιπέδων.



Εικόνα 13: Διάγραμμα πεδίου (α) Τρισδιάστατου (β) Πρωτεύοντων επιπέδων.[1]

3.5.2 Διάγραμμα Ισχύος

Σχετικά με την δεύτερη κατηγορία των διαγραμμάτων, παρουσιάζονται τα διαγράμματα ισχύος. Τα διαγράμματα αυτά δίνουν σημαντικές πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά μιας πηγής που ακτινοβολεί, όπως είναι ο τρόπος με τον οποίο ακτινοβολεί την ισχύ του. Τα διαγράμματα που αναπαριστούν τη μεταβολή της ισχύος ανά μονάδα επιφανείας (διάνυσμα Poynting), ονομάζονται διαγράμματα ισχύος.

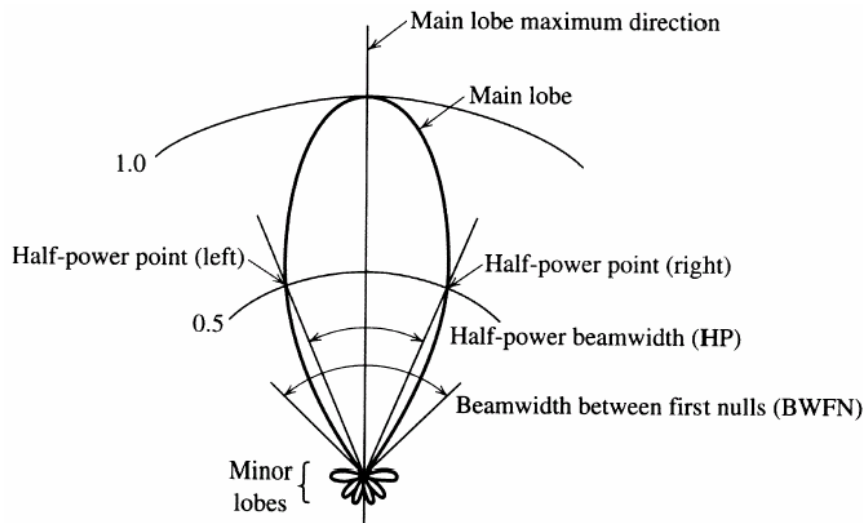
Θεωρώντας δεδομένη την εξάρτηση της ροής της ισχύος από την απόσταση r , (ανάλογη του $1/r^2$) και σταθερή, το ενδιαφέρον των διαγραμμάτων αυτών περιορίζεται στη μεταβολή της ισχύος συναρτήσει των (θ, ϕ) . Γνωρίζοντας τα στοιχεία αυτά σημειώνεται ότι το διάγραμμα ισχύος αφορά τη μεταβολή της έντασης ακτινοβολίας η οποία δίνεται από τον τύπο:

$$U(\theta, \phi) = r^2 P_r \quad (1.26)$$

Όταν το διάγραμμα ισχύος κανονικοποιείται, ως προς τη μέγιστη τιμή του, τότε αναφέρεται ως σχετικό (ή ανοιγμένο) διάγραμμα ισχύος, και ο υπολογισμός του γίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$P(\theta, \varphi) = \frac{P_{av}(\theta, \varphi)}{P_{av}(\theta, \varphi)_{\max}} = \frac{U(\theta, \varphi)}{U(\theta, \varphi)_{\max}} \quad (1.27)$$

Ένα πλήρες διάγραμμα ισχύος αναπαρίσταται σε τρισδιάστατες σφαιρικές συντεταγμένες και σε αναλογία με τα διαγράμματα πεδίου. Από το διάγραμμα προκύπτει ότι υπάρχουν δύο επίπεδα που τέμνουν τον κύριο λοβό και είναι κάθετα μεταξύ τους. Τα επίπεδα αυτά καλούνται διαγράμματα πρωτεύοντων επιπέδων.



Εικόνα 14: Διάγραμμα ισχύος

Τα διαγράμματα ισχύος σχεδιάζονται τόσο σε γραμμική όσο και σε λογαριθμική κλίμακα ($20\log P(\theta, \varphi)$ σε dB). Οι πιο σημαντικές πληροφορίες οι οποίες μπορούν να ληφθούν από τα διαγράμματα αυτά αφορούν:

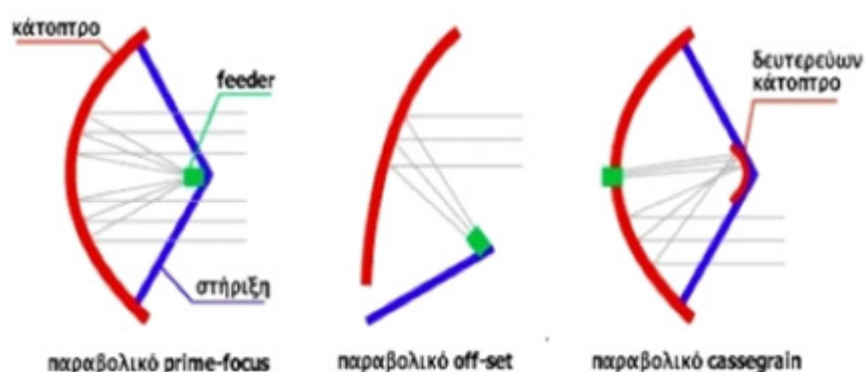
1. Τους λοβούς ακτινοβολίας που ορίζονται μεταξύ διαδοχικών μηδενισμών (ελάχιστων) του διαγράμματος ακτινοβολίας. Οι λοβοί διακρίνονται σε:
 - Κύριους: Συγκεντρώνουν μεγαλύτερο τμήμα της ακτινοβολουμένης ισχύος.
 - δευτερεύοντες ή πλευρικούς, και
 - πίσω λοβούς (backlobes)· ακτινοβολούν αντιδιαμετρικά του κύριου λοβού.
2. Τις γωνίες μηδενισμού που αντιστοιχούν σε σημεία μηδενικής ακτινοβολίας.

3. Την γωνία που αντιστοιχεί μεταξύ δύο μηδενισμών του διαγράμματος ακτινοβολίας και ονομάζεται εύρος λοβού.
4. Τις γωνίες ημίσειας ισχύος, που ορίζονται εκατέρωθεν του μέγιστου και αντιστοιχούν στις διευθύνσεις που η κεραία ακτινοβολεί το μισό της μέγιστης ισχύος. Η γωνία που ορίζεται μεταξύ των σημείων ημίσειας ισχύος, ονομάζεται εύρος δέσμης ημίσειας ισχύος.

4. Παραβολική-δορυφορική κεραία

Ο πιο συνηθισμένος τύπος κατευθυντικής κεραίας που προσφέρει υψηλή κατευθυντικότητα σε λήψη και εκπομπή με μικρές σχετικά διαστάσεις είναι η παραβολική – δορυφορική κεραία. Μια τυπική παραβολική κεραία αποτελείται από ένα παραβολικό κάτοπτρο που φωτίζεται από μια μικρή κεραία το οποίο λειτουργεί ως τροφοδότης(feeder). Το κάτοπτρο είναι μια παραβολική μεταλλική επιφάνεια η οποία σχηματίζει ένα κυρτό πλαίσιο το οποίο αποτελεί και την διάμετρο της κεραίας. Το κάτοπτρο αυτό αποτελεί παθητικό στοιχείο και η χρήση του περιορίζεται στο να ανακλά τα ραδιοκύματα που δέχεται από το feeder παράλληλα προς μία κατεύθυνση όταν εκπέμπει ή να συγκεντρώνει τα ραδιοκύματα που δέχεται προς το feeder.

Ο τροφοδότης (feeder) είναι μια χαμηλής κατευθυντικότητας μικρή κεραία που εστιάζει στο κάτοπτρο, όπως ένα δίπολο, ένας κυματοδηγός (wave guide horn), ή ακόμα και μια μικρή yagi. Σε πιο πολύπλοκες (και πιο σπάνιες) κατασκευές, όπως η Cassegrain παραβολική κεραία, για ακόμα καλύτερη απόδοση χρησιμοποιείται και δεύτερο βοηθητικό κάτοπτρο έτσι ώστε να αποφευχθεί η τοποθέτηση του feeder μέσα στην κεντρική δέσμη εστίασης της κεραίας. Το feeder είναι συνδεδεμένο μέσω καλωδίου με την συσκευή που παίζει το ρόλο του πομπού ή του δέκτη. Η κατασκευή του κατόπτρου μπορεί να είναι είτε συμπαγής είτε πλέγματος (grid). Γενικά τα κάτοπτρα που είναι συμπαγή εμφανίζουν καλύτερες ιδιότητες αλλά είναι πιο βαριά και δέχονται μεγαλύτερες πιέσεις από τον αέρα. Ειδικές περιπτώσεις παραβολικών κεραίων είναι τα offset και τα cassegrain.



Εικόνα 15: Κάτοπτρα παραβολικών κεραίων.

Στα παραβολικά κάτοπτρα off-set, το feeder τοποθετείται πάλι μπροστά από το κάτοπτρο αλλά αυτή την φορά αντίθετα με τα prime focus εστιάζει μόνο σε ένα μέρος του κατόπτρου (το οποίο παρότι μοιάζει κυκλικό δεν είναι συμμετρικό προς όλες τις μεριές). Με αυτό τον τρόπο αποφεύγεται να μπει το feeder που είναι ενεργό στοιχείο μπροστά από την κεντρική εκπομπή. Η επιλογή του off-set είναι συνήθης στους ραδιοερασιτέχνες αφού εύκολα και φτηνά μπορούν να φτιάξουν μια ποιοτική κεραία.

Τα cassegrain είναι διαφορετικές κατασκευές και όπως προαναφέρθηκε χρησιμοποιούν δεύτερο βοηθητικό ανακλαστήρα-κάτοπτρο. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμα στην περίπτωση που θέλουμε να τοποθετήσουμε το ράδιο πάνω στο feeder και πίσω από το κάτοπτρο (με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να μειώσουμε στο ελάχιστο τις απώλειες του καλωδίου).

Σημαντική παράμετρος σε ένα παραβολικό πιάτο είναι η αποφυγή του υπερφωτισμού (spillover) που μπορεί να προκληθεί από λάθος επιλογή και τοποθέτηση του feeder (ή του βοηθητικού κατόπτρου στην περίπτωση του cassegrain) κάτι που μπορεί να αλλοιώσει αρκετά το διάγραμμα ακτινοβολίας της κεραίας και να ενισχύσει τους πλάγιους λοβούς της. Σε πιο ακριβά – επαγγελματικά κεραιοσυστήματα για την μείωση των φαινομένων που προκαλούνται από τον υπερφωτισμό, μερικές φορές χρησιμοποιούνται πλαϊνοί απορροφητές μικροκυμάτων (microwave absorbers). Ίσως έχετε δει κάποιες παραβολικές κεραίες που στην εξωτερική τους εμφάνιση θυμίζουν “τύμπανα” οι οποίες εσωτερικά στα πλαϊνά τους είναι ενισχυμένες με φύλλα από υλικά όπως η πολυορεθάνη ή η σιλικόνη και που απορροφούν μέρος των μη ωφέλιμων μικροκυμάτων.

5. Παρουσίαση και ανάλυση πειραματικής διαδικασίας

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζεται η μεθοδολογία πίσω από την ανάπτυξη και την εκτέλεση του πειράματος. Για να εκτελεστεί σωστά ένα πείραμα, πρέπει πρώτα να γίνει σωστός σχεδιασμός και καθορισμός των απαιτήσεων πριν ξεκινήσει η πειραματική διαδικασία. Ακόμη, πρέπει να καθοριστεί ο σκοπός του πειράματος και τα αποτελέσματα τα οποία θέλουμε να παρουσιάσουμε – αναλύσουμε.

Σκοπός του συγκεκριμένου πειράματος είναι να μελετήσουμε την παραβολική κεραία και τις ιδιότητες της. Τα αποτελέσματα που θα παραχθούν θα είναι η ισχύς στην κεραία δέκτης βάσει της απόστασης, καθώς και η ισχύς στον δέκτη σε σχέση με το αντίστροφο του τετραγώνου της απόστασης ($1/R^2$) έτσι ώστε να προσδιορίσουμε το κέρδος (Gain) και να ελέγξουμε αν τα αποτελέσματα συμφωνούν με τη θεωρία.

5.1 Εκτέλεση πειράματος

Κατά την εκτέλεση του πειράματος τοποθετήθηκαν τα διάφορα όργανα. Τοποθετήθηκαν πομπός και δέκτης έτσι ώστε να είναι στην ίδια ευθεία και οι χοάνες τους να έχουν τον ίδιο προσανατολισμό. Ακολούθως πήραμε μετρήσεις της ισχύος σε αναλογία με την απόσταση.

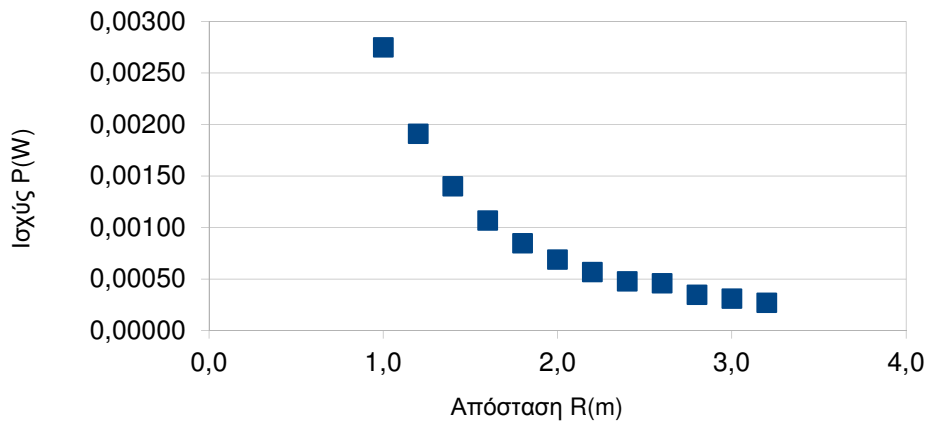
Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι μετρήσεις που πήραμε

A/A	$R \pm 10^{-3}$ απόσταση σε m	$P \pm 10^{-10}$ ισχύς σε W
1	1,0	0,00275
2	1,2	0,00191
3	1,4	0,0014
4	1,6	0,00107
5	1,8	0,00085
6	2,0	0,00069
7	2,2	0,00057
8	2,4	0,00048
9	2,6	0,00046
10	2,8	0,00035
11	3,0	0,00031
12	3,2	0,00027

Πίνακας 3: Πειραματικά δεδομένα. Ισχύς βάσει απόστασης

Τα δεδομένα του πειράματος απεικονίζονται και στην παρακάτω γραφική παράσταση, όπου από ότι φαίνεται προκύπτει μια καμπύλη.

Διάγραμμα Ισχύος σε αναλογία με την απόσταση



Εικόνα 16:Γραφική παράσταση: ισχύς σε αναλογία με την απόσταση

Το αποτέλεσμα αυτό είναι σε συμφωνία και με τη θεωρία αφού η σχέση που

περιγράφει την εξάρτηση του P_R με το R είναι η σχέση

$$P_R = \left(\frac{P_e \cdot G^2 \cdot \lambda_0^2}{(4\pi)^2} \right) \cdot \frac{1}{R^2}$$

Στην συνέχεια και αφού γνωρίζουμε το μήκος κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας λ_0 μπορεί να προσδιοριστεί και η απολαβή της κεραίας G , μέσω της σχέσης:

$$P_R = \left(\frac{P_e \cdot G^2 \cdot \lambda_0^2}{(4\pi)^2} \right) \cdot \frac{1}{R^2}$$

όπου:

- P_R : η ισχύς που εκπέμπει η κεραία σε απόσταση R , μετρημένη σε W ,
- λ_0 : το μήκος κύματος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στο κενό,

- G : το κέρδος της κεραίας στην κατεύθυνση ενδιαφέροντος,
- R : η απόσταση από το κέντρο της κεραίας της θέσης υπολογισμού της ισχύος ακτινοβολίας, σε m (για αποστάσεις μεγαλύτερες από R_{ff})

Για τον προσδιορισμό του G χρησιμοποιήθηκε η ίδια διάταξη με το προηγούμενο πείραμα με τη μόνη διαφορά ότι τώρα καταγραφόταν η απόσταση R μεταξύ πομπού και δέκτη καθώς και το σήμα του δέκτη σε διάφορες αποστάσεις R . Το σήμα του δέκτη καταγραφόταν μέσω ενός παλμογράφου, όπου λόγω των στάσιμων κυμάτων μεταξύ πομπού και δέκτη είχε ληφθεί μέριμνα ο δέκτης να δείχνει μέγιστο σήμα, να απομακρύνεται από τον πομπό και να σταματά σε μέγιστο σήμα και στη συνέχεια να μετριέται η απόσταση μεταξύ πομπού και δεκτή.

Προκειμένου να προσδιοριστεί η απολαβή G της κεραίας κατασκευάζεται η γραφική παράσταση $P_R \left(\frac{1}{R^2} \right)$ η οποία θα είναι μια ευθεία με κλίση $A_2 = \frac{P_e \cdot G^2 \cdot \lambda_0^2}{(4\pi)^2}$.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η συγκεκριμένη γραφική.

A/A	$1/R^2 \pm 10^{-6}$ απόσταση σε m	$P \pm 10^{-10}$ ισχύς σε W
1	1,00000	0,00275
2	0,69444	0,00191
3	0,51020	0,0014
4	0,39063	0,00107
5	0,30864	0,00085

6	0,25000	0,00069
7	0,20661	0,00057
8	0,17361	0,00048
9	0,14793	0,00046
10	0,12755	0,00035
11	0,11111	0,00031
12	0,09766	0,00027

Πίνακας 4: Ισχύς ως προς το αντίστροφο του τετραγώνου της απόστασης

5.2 ΛΟΓΑΡΙΘΜΙΚΕΣ ΚΑΜΠΥΛΕΣ

Μια συνηθισμένη σχέση μεταξύ των μεταβλητών y και x είναι η εξίσωση με τη μορφή:

$$y = y_0 + cx^n$$

όπου y_0 είναι η τιμή της μεταβλητής y όταν $x=0$ (τεταγμένη στην αρχή). Η c είναι μια σταθερή ποσότητα και n είναι ένας αριθμός. Εάν $n=1$ τότε η γραφική παράσταση της παραπάνω σχέσης είναι ευθεία και εάν $n=2$ είναι παραβολή. Πολλές φορές τυχαίνει y_0 να είναι μηδέν και τότε η εξίσωση θα έχει τη μορφή $y = cx^n$. Για να απλοποιήσουμε το πρόβλημα μας θα ασχοληθούμε με την τελευταία σχέση. Έτσι λοιπόν θα αναλύσουμε τη σχέση

$$y = cx^n$$

Λογαριθμίζοντας και τα δυο μέλη της παραπάνω εξίσωσης με βάση το 10 βρίσκουμε ότι

$$\log y = \log c + n \log x$$

Εάν $Y = \log y$, $C = \log c$ και $X = \log x$ η πιο πάνω εξίσωση γράφεται:

$$Y = C + nX$$

που είναι μια εξίσωση ευθείας. Επομένως, εάν αντί των τιμών y και x χρησιμοποιήσουμε τους λογάριθμους αυτών, τότε η καμπύλη της παραπάνω εξίσωσης ανάγεται σε ευθεία με κλίση ίση προς n που δίνεται από τη σχέση

$$n = \frac{\log y_2 - \log y_1}{\log x_2 - \log x_1}$$

όπου (x_1, y_1) και (x_2, y_2) είναι δυο ζεύγη τιμών που αντιστοιχούν σε δυο σημεία της ευθείας. Άρα, αν μεταξύ των $\log y$ και $\log x$ ισχύει γραμμική σχέση ($\log y = \log c + n \log x$) συνεπάγεται ότι μεταξύ των μεταβλητών τιμών y και x ισχύει

η σχέση $y = cx^n$. Άρα είναι δυνατόν να προσδιοριστεί η ακριβής τιμή του εκθέτη n

στη σχέση $P_R = \left(\frac{P_e \cdot G^2 \cdot \lambda_0^2}{(4\pi)^2} \right) \cdot \frac{1}{R^n}$

Ξεκινώντας από τη σχέση $P_R = \left(\frac{P_e \cdot G^2 \cdot \lambda_0^2}{(4\pi)^2} \right) \cdot \frac{1}{R^n}$ θα έχουμε:

$$P_R = \left(\frac{P_e \cdot G^2 \cdot \lambda_0^2}{(4\pi)^2} \right) \cdot \frac{1}{R^n} \Rightarrow P_R = A \cdot \frac{1}{R^n} \Rightarrow \log P_R = \log A + \log \frac{1}{R^n} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \log P_R = \log A - n \log R \Rightarrow Y = \log A - nX$$

Άρα είναι δυνατός ο προσδιορισμός του εκθέτη n μέσω της κλίσης της ευθείας

$$\log P_R = \log A - n \log R.$$

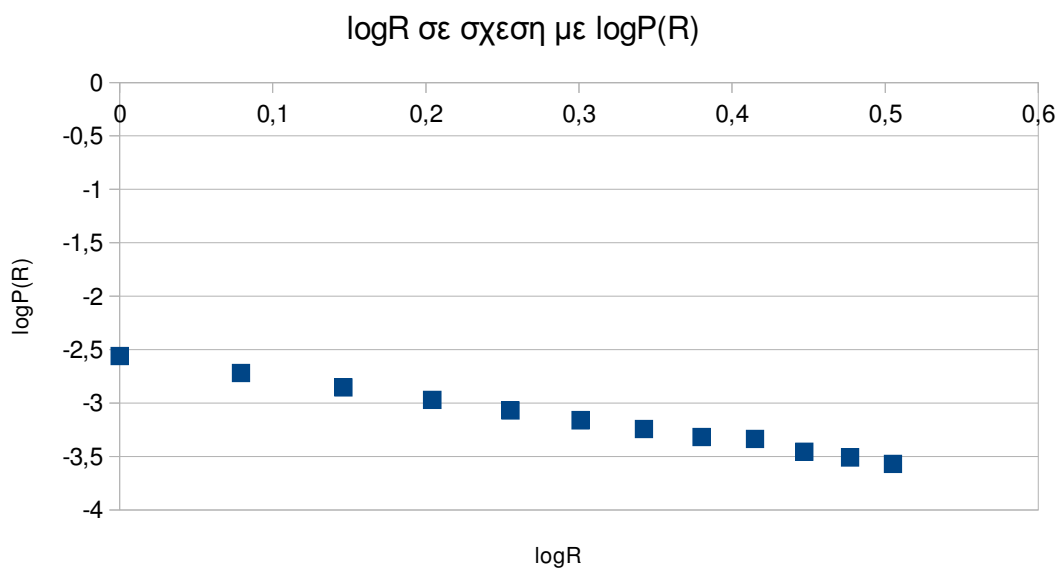
Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

A/A	Log R	-Log P(R)
1	0	2.56067
2	0,07918	2.71897
3	0,14613	2.85387
4	0,20412	2.97062
5	0,25527	3.07058
6	0,30103	3.16115
7	0,34242	3.24413
8	0,38021	3.31876
9	0,41497	3.33724
10	0,44716	3.45593

11	0,47712	3.50864
12	0,50515	3.56864

Πίνακας 5: Λογάριθμος απόστασης και ισχύος

Τα πειραματικά δεδομένα του παραπάνω πίνακα για τον προσδιορισμό του n απεικονίζονται στην παρακάτω γραφική παράσταση $\log P_r(R)$, όπου όπως φαίνεται σχηματίζεται μια ευθεία.



Εικόνα 18: Γραφική παράσταση $\log P(R)$ σε αναλογία με $\log R$

Χρησιμοποιώντας τη συνάρτηση SLOPE στο υπολογιστικό πακέτο EXCEL το n είναι: $n = -1,97$

6. Συμπεράσματα & μελλοντικές επεκτάσεις

Οι επικοινωνίες είναι ένας τομέας ο οποίος στις μέρες μας είναι σημαντικό στοιχείο έρευνας. Οι κεραίες είναι απαραίτητο στοιχείο των επικοινωνιών και θεωρείται εξαιρετικά σημαντικό μέρος της ασύρματης επικοινωνίας. Η κεραία ορίζεται ως συσκευή όπως το σύρμα ή η ράβδος που προορίζονται για ακτινοβολία και που λαμβάνουν ηλεκτρομαγνητική ενέργεια. Επίσης, χαρακτηρίζεται ως το τμήμα ενός συστήματος λήψης ή μετάδοσης που έχει σχεδιαστεί για να λαμβάνει ή να ακτινοβολεί τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Αυτό σημαίνει ότι η κεραία λειτουργεί ως σημείο διέλευσης μεταξύ του μέσου γραμμής μεταφοράς και του απεριόριστου μέσου όπου διαδίδεται η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια. Η γραμμή μεταφοράς ουσιαστικά χρησιμοποιείται για τη μεταφορά ραδιοκυμάτων από την πηγή εκπομπής στην κεραία ή από την κεραία στο άκρο λήψης. Οι κεραίες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τέσσερις κύριους τύπους ανάλογα με τον τομέα των εφαρμογών και τις επιδόσεις τους σε σχέση με συχνότητα: ηλεκτρικά μικρές κεραίες π.χ. σύντομο δίπολο, μονόπολο και μικρό βρόχο, συντονισμένες κεραίες π.χ. μισό δίπολο, κεραία yagi και κεραίες για ευρυζωνική σύνδεση π.χ. σπειροειδούς και λογαριθμικής περιόδου συστοιχίας διπόλων, και κεραίες ανοίγματος, π.χ. κέρατο και κάτοπτρο.

Η εργασία αυτή αποτελεί τόσο βιβλιογραφική όσο και ερευνητική, καθώς πέρα από τη σημείωση των γενικών γνωρισμάτων των κεραιών παρουσιάζεται και μια βασική πειραματική διαδικασία. Το πείραμα το οποίο πραγματεύεται η παρούσα εργασία αποτελεί όχι μόνο μελέτη της παραβολικής κεραίας, αλλά και των μετρήσεων και των ιδιοτήτων της. Μέσα στην εργασία αυτή και δει στο τελευταίο κεφάλαιο παρουσιάστηκαν στοιχεία όπως η ισχύς της κεραίας δέκτη βάσει της απόστασης, καθώς και η ισχύς στον δέκτη σε σχέση με το αντίστροφο του τετραγώνου της απόστασης ($1/R^2$). Από τις παραπάνω μετρήσεις προσδιορίστηκε και προέκυψε το κέρδος (Gain).

Τα αποτελέσματα του πειράματος επιβεβαιώνουν μεταξύ άλλων ότι η ισχύς με την απόσταση είναι δύο έννοιες αντιστρόφως ανάλογες, στοιχεία τα οποία αποδεικνύονται και μέσα από τη θεωρία. Στα αποτελέσματα επιπλέον συμπεριλαμβάνεται και η παρουσίαση των λογαριθμικών καμπυλών καθώς και ο

λογάριθμος απόστασης και ισχύος. Τα αποτελέσματα αυτά επιβεβαιώνουν την υπάρχουσα θεωρία που υπάρχει γύρω από το ζήτημα, καθώς και την επιμέρους έρευνα που έχει γίνει για την παρουσίαση και την ανάπτυξη της εργασίας.

Βιβλιογραφία

- [1].Σαββαΐδης Στυλιανός (2014), Κεραίες-Ραδιοζεύξεις-Ραντάρ, Τμήμα Ηλεκτρονικών Μηχανικών Τ.Ε., Ανώτατο Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά Τεχνολογικού Τομέα.
- [2].Ισμαήλ Ιωσήφ(2012), Διερεύνηση παραμέτρων σχεδίασης ασύρματου μητροπολιτικού δικτύου στις ζώνες 2.4GHz και 5GHz, τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Πατρών.
- [3].Σταθοπούλου Ευανθία (2016), Μελέτη παραμέτρων για τη σχεδίαση κεραιών με στόχο την αποφυγή παρεμβαλλόντων σημάτων, τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Τεχνολογίας Υπολογιστών της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Πατρών.
- [4].Constantine A. Balanis (1997), Antenna Theory: Analysis and Design, 2nd Edition.
- [5].John D. Kraus, Ronald J. Marhefka (2002), Antennas For All Applications.
- [6].«Διαγράμματα ακτινοβολίας κεραιών» Ιστοσελίδα:
<http://www.hlektronika.gr/forum/showthread.php?t=59270>
- [7].«Επίγειες τηλεοπτικές κεραίες: λειτουργία και εφαρμογές», Ιστοσελίδα:
<http://www.digitaltvinfo.gr/articles/group-test/item/10355->
- [8].Χρήστος Ν. Καψάλης, Π. Κωττής (2002), Κεραίες, ασύρματες ζεύξεις, Εκδόσεις Τζιόλα.
- [9].Γεώργιος Αλεξίου, Σημειώσεις Κεραιών με τίτλο «Κεραίες», τμήμα Μηχανικών Η/Υ & Πληροφορικής Παν. Πατρών, Ιστοσελίδα:

<https://www.ceid.upatras.gr/webpages/faculty/alexiou/ahts/notes/kef09.pdf>

- [10]. Taflove A & Hagness S C (2005). Computational Electrodynamics: The Finite-difference Time-domain Method. Boston MA: ArtechHouse. Chapters 6 & 7.
- [11]. David J. Griffiths, Εισαγωγή στην ηλεκτροδυναμική II, Πανεπιστημιακές εκδόσεις Κρήτης.
- [12]. Gbotemi, O. A. (2014). IMPACT OF ANTENNA TYPE ON MIMO PERFORMANCE IN MOBILE TERMINALS.