



**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ  
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ**

**Π.Σ.Ε. ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ & ΔΙΚΤΥΩΝ Η/Υ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΙΚΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΚΑΙ  
ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**

## **Πτυχιακή εργασία**

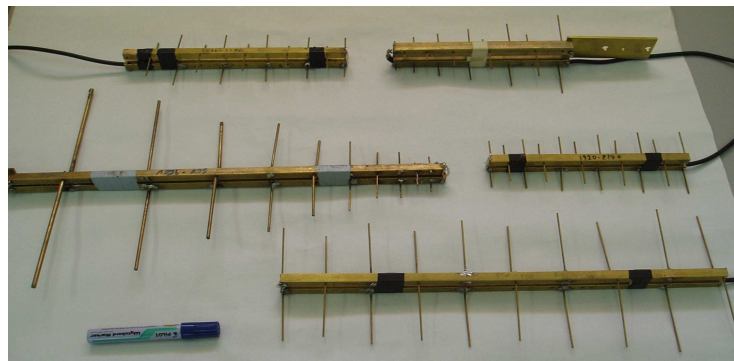
με θέμα

*Σχεδίαση και Κατασκευή Λογαριθμοπεριοδικών Κεραιών*

*Δίπολων για εκπομπή στις συχνότητες*

*880-960 MHz, 1.710-1.880 MHz, 1.920-2.170 MHz,*

*500-2.500 MHz και 1.500-3.000 MHz*



από τον **Γεώργιο Νικολαράκη** και τον **Χάρη Στρατήγη**.

*Εκπονήθηκε υπό την επίβλεψη του Επίκουρου Καθηγητή Δρ. **Ιωάννη Βαρδιάμπαση***

*στα πλαίσια του “ΕΠΕΑΕΚ II – Αρχιμήδης: Ενίσχυση Ερευνητικών Ομάδων στα ΤΕΙ –  
Μελέτη- σχεδίαση ευφρών κεραιών με τεχνικές υπολογιστικού ηλεκτρομαγνητισμού  
και πιλοτική ανάπτυξη- λειτουργία ψηφιακού ραδιοφωνικού σταθμού DAB  
στα Χανιά (SMART-DAB)”*

Χανιά, Ιούλιος 2004

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Με την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας αισθανόμαστε την ανάγκη να εκφράσουμε τις ειλικρινείς και ιδιαίτερες ευχαριστίες μας στον επιβλέποντα καθηγητή μας κ. Ιωάννη Βαρδιάμπαση, τόσο για την ανάθεση και επίβλεψη αυτής της εργασίας, όσο και για την πολύ σημαντική συνεργασία και εξαιρετική συνεισφορά του σε όλη τη διάρκεια της υλοποίησής της.

Θα θέλαμε επίσης να ευχαριστήσουμε θερμά τον κ. Δημήτριο Πατεράκη που μας βοήθησε πολύ στην ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας και ιδιαίτερα στις μετρήσεις των στάσιμων κυμάτων και των αντιστάσεων εισόδου των κεραίων με χρήση του network analyzer.

Τέλος, ευχαριστούμε πολύ τους τελειόφοιτους ηλεκτρονικούς μηχανικούς Νίκο Τρυφονόπουλο, Ιωάννα Σπίνου, Ευάγγελο Ζαούτη και Κωνσταντίνο Καραμιγάλη, που ως βοηθοί-συνεργάτες του Εργαστηρίου Μικροκυματικών Επικοινωνιών & Ηλεκτρομαγνητικών Εφαρμογών μας έδωσαν την πολύτιμη βοήθεια τους καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης του πειραματικού μέρους αυτής της εργασίας, και ιδιαίτερα στις μετρήσεις των διαγραμμάτων ακτινοβολίας οπότε επέδειξαν πολύ καλή συνεννόηση και συνεργασία.

Η εργασία αυτή εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Μικροκυματικών Επικοινωνιών και Ηλεκτρομαγνητικών Εφαρμογών του Τ.Ε.Ι. Κρήτης, στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος “**Αρχιμήδης: Ενίσχυση Ερευνητικών Ομάδων στα ΤΕΙ – Μελέτη-σχεδίαση ευφών κεραίων με τεχνικές υπολογιστικού ηλεκτρομαγνητισμού και πιλοτική ανάπτυξη-λειτουργία ψηφιακού ραδιοφωνικού σταθμού DAB στα Χανιά (SMART-DAB)**” που συγχρηματοδοείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση μέσω του ΕΠΕΑΕΚ II.

*Νικολαράκης Γιώργος - Στρατήγης Χάρης  
Χανιά, Ιούλιος 2004*

# ABSTRACT

In this thesis we will design and construct spread spectrum logarithmic antennas. Starting with an overview of the logarithmic-periodical antennas, we continue with a study of the dipole log-periodic antennas, and finally we design and construct five different log-periodic antennas for the following frequency range cases:

1. 500 – 2.500 MHz,
2. 1.920 – 2.170 MHz,
3. 1.710 – 1.880 MHz,
4. 1.500 – 3.000 MHz,
5. 880 – 960 MHz.

The various steps of the construction are described in detail with explanations and photos, while the various antenna characteristics are measured using the appropriate methods each time and the results are presented thoroughly with figures. VSWR (voltage standing wave ratio) designs are provided for the whole frequency range of each antenna, while antenna radiation patterns, directivity calculations and half-power angle measurements are given for selected frequencies.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	<b>5</b>
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1</b> .....	<b>6</b>
Λογαριθμικές περιοδικές κεραίες.	
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2</b> .....	<b>11</b>
Λογαριθμική περιοδική κεραία δίπολων. Εύρεση των χαρακτηριστικών της κεραίας. Σχηματικά διαγράμματα λογαριθμο-περιοδικών κεραιών και ακτινοβολούμενη ενέργεια.	
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3</b> .....	<b>22</b>
Σχεδίαση λογαριθμο-περιοδικής κεραίας δίπολων με εύρος ζώνης 500-2500 MHz. Παρουσίαση των μετρήσεων και των αποτελεσμάτων για την κεραία αυτή. Τα στάσιμα κύματα για όλο το εύρος συχνοτήτων, διάγραμμα ακτινοβολίας για κάποιες επιλεγμένες συχνότητες, κατευθυντικότητα και γωνία μισής ισχύος της κεραίας. Τεχνικός σχεδιασμός και περιγραφή των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή της κεραίας με φωτογραφικό υλικό.	
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4</b> .....	<b>39</b>
Σχεδίαση λογαριθμο-περιοδικής κεραίας δίπολων με εύρος ζώνης 1920-2170 MHz. Παρουσίαση των μετρήσεων και των αποτελεσμάτων για την κεραία αυτή. Τα στάσιμα κύματα για όλο το εύρος συχνοτήτων, διάγραμμα ακτινοβολίας για κάποιες επιλεγμένες συχνότητες, κατευθυντικότητα και γωνία μισής ισχύος της κεραίας.	
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5</b> .....	<b>46</b>
Σχεδίαση λογαριθμο-περιοδικής κεραίας δίπολων για εύρος ζώνης 1710-1880 MHz. Παρουσίαση των μετρήσεων και των αποτελεσμάτων για την κεραία αυτή. Τα στάσιμα κύματα για όλο το εύρος συχνοτήτων, διάγραμμα ακτινοβολίας για κάποιες επιλεγμένες συχνότητες, κατευθυντικότητα και γωνία μισής ισχύος της κεραίας.	
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6</b> .....	<b>54</b>
Σχεδίαση λογαριθμο-περιοδικής κεραίας δίπολων για εύρος ζώνης 1500-3000 MHz. Παρουσίαση των μετρήσεων και των αποτελεσμάτων για την κεραία αυτή. Τα στάσιμα κύματα για όλο το εύρος συχνοτήτων, διάγραμμα ακτινοβολίας για κάποιες επιλεγμένες συχνότητες, κατευθυντικότητα και γωνία μισής ισχύος της κεραίας.	
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7</b> .....	<b>62</b>
Σχεδίαση λογαριθμο-περιοδικής κεραίας δίπολων για εύρος ζώνης 880-960 MHz. Παρουσίαση των μετρήσεων και των αποτελεσμάτων για την κεραία αυτή. Τα στάσιμα κύματα για όλο το εύρος συχνοτήτων, διάγραμμα ακτινοβολίας για κάποιες επιλεγμένες συχνότητες, κατευθυντικότητα και γωνία μισής ισχύος της κεραίας.	
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	<b>70</b>

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε αυτή την πτυχιακή εργασία σχεδιάζονται και κατασκευάζονται διάφορες λογαριθμο-περιοδικές κεραίες ευρείας ζώνης.

Ο τρόπος με τον οποίο γίνεται η γραπτή παρουσίαση της εργασίας είναι ο εξής: Ξεκινάμε κάνοντας μια γενικότερη αναφορά στις λογαριθμικές περιοδικές κεραίες. Κατόπιν παρουσιάζουμε συνοπτικά ορισμένες από τις επίπεδες λογαριθμοπεριοδικές κεραίες, επειδή τα χαρακτηριστικά τους καθώς και η γενικότερη συμπεριφορά τους μοιάζει αρκετά με τη λογαριθμική περιοδική κεραία δίπολων. Στη συνέχεια εστιάζουμε στη λογαριθμική περιοδική κεραία δίπολων, ώστε να γίνει κατανοητή η λειτουργία της καθώς και η σημασία των χαρακτηριστικών παραμέτρων της. Τέλος σχεδιάζουμε πέντε λογαριθμικές περιοδικές κεραίες με εύρος ζώνης αντίστοιχα:

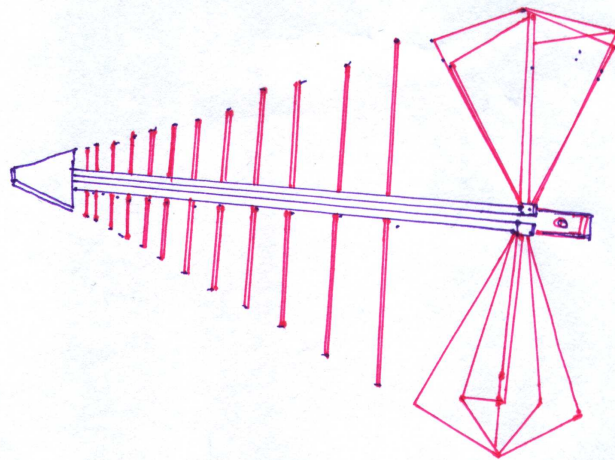
1. 500 – 2.500 MHz,
2. 1.920 – 2.170 MHz,
3. 1.710 – 1.880 MHz,
4. 1.500 – 3.000 MHz,
5. 880 – 960 MHz.

Η περιγραφή της κατασκευής γίνεται με λεπτομέρεια και φωτογραφικό υλικό, ενώ η παρουσίαση των μετρήσεων για όλες τις κεραίες γίνεται με φωτογραφίες και σχήματα. Συγκεκριμένα παρουσιάζονται μετρήσεις που έγιναν στο Εργαστήριο Μικροκυματικών Επικοινωνιών & Ηλεκτρομαγνητικών Εφαρμογών, και δίδονται αποτελέσματα για τα στάσιμα κύματα σε όλο το εύρος συχνοτήτων κάθε κεραίας, καθώς και για τα διαγράμματα ακτινοβολίας, την κατευθυντικότητα και τη γωνία μισής ισχύος σε επιλεγμένες συχνότητες κάθε κεραίας.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΛΟΓΑΡΙΘΜΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΔΙΚΕΣ ΚΕΡΑΙΕΣ

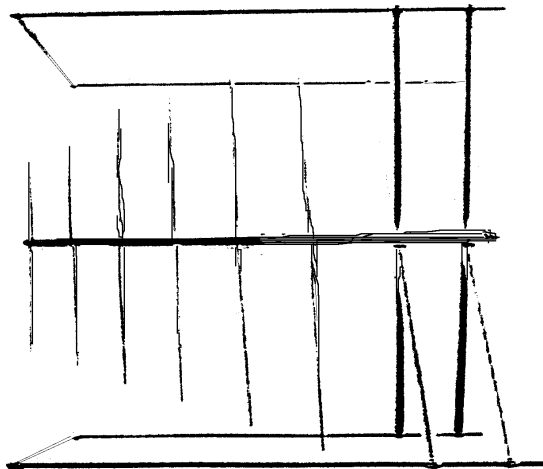
Στο Σχήμα 1 εικονίζεται η δικωνική λογαριθμοπεριοδική κεραία δίπολων, η οποία είναι ένας επιτυχημένος συνδυασμός λογαριθμοπεριοδικής και δικωνικής κεραίας, και η οποία σχεδιάστηκε εξαιτίας της ανάγκης λειτουργίας μιας κεραίας σε μεγάλο εύρος συχνοτήτων και με εκπομπή μεγάλης ισχύος.



**Σχήμα 1:** Δικωνική λογαριθμοπεριοδική κεραία.

Τα κωνικά εξαρτήματα που τοποθετούνται στο πίσω μέρος βελτιώνουν κατά πολύ την συμπεριφορά της κεραίας στις χαμηλές συχνότητες.

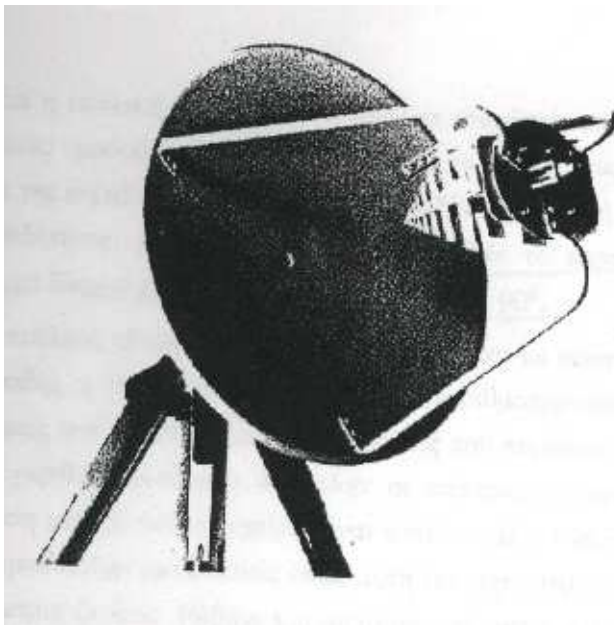
Στο Σχήμα 2 φαίνεται η υβριδική λογαριθμοπεριοδική κεραία.



**Σχήμα 2:** Υβριδική λογαριθμοπεριοδική κεραία.

Γενικά ισχύει ότι η ισχύς εξόδου ελαττώνεται, όσο αυξάνουμε το φάσμα συχνοτήτων λειτουργίας της κεραίας μας.

Στο Σχήμα 3 εικονίζεται η παραβολική λογαριθμοπεριοδική κεραία, η οποία είναι κατευθυντική και ευρείας ζώνης, καθώς λειτουργεί στο φάσμα συχνοτήτων 1-10 GHz.



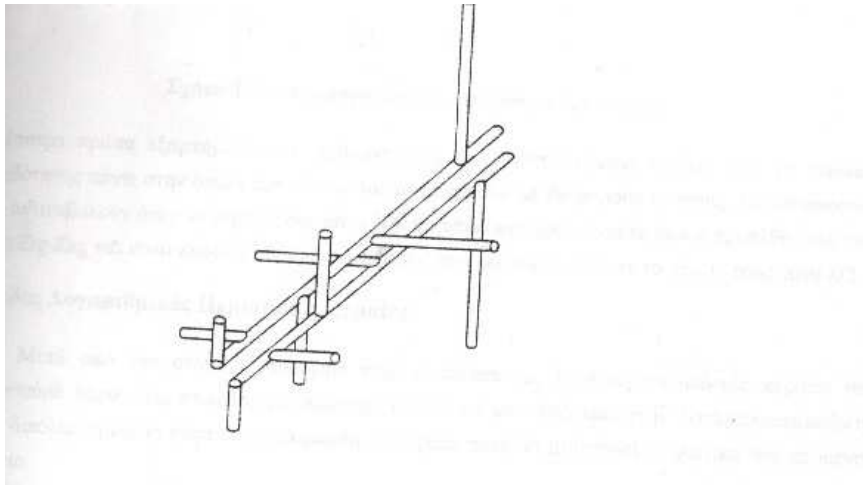
**Σχήμα 3:** Λογαριθμοπεριοδική παραβολική κεραία.

Ο παραβολικός ανακλαστήρας είναι τοποθετημένος σε ένα τρίποδο στήριγμα, που βοηθά στη σωστή λειτουργία της κεραίας, ενώ η τροφοδοσία της επιτυγχάνεται με τη χρήση δυο λογαριθμοπεριοδικών στοιχείων τοποθετημένων σε πυραμίδα. Η παραβολική κεραία του παραπάνω σχήματος έχει κέρδος που κυμαίνεται από 8 dB στο 1 GHz έως 26 dB στα 10 GHz. Η σύνθετη αντίσταση εισόδου της είναι 50 Ω ενώ έχει VSWR μικρότερο από 2.6:1. Η ακτινοβολούμενη δέσμη έχει άνοιγμα 45° στο 1 GHz και 6° στα 10 GHz.

Επίσης υπάρχουν οι λογαριθμοπεριοδικές κεραίες δίπολων με κυκλική πόλωση, που είναι μια εξελιγμένη μορφή της επίπεδης λογαριθμοπεριοδικής κεραίας δίπολων. Την κυκλική πόλωση μπορούμε να πετύχουμε τοποθετώντας τα δίπολα διασταυρωμένα πάνω στους άξονες τροφοδότησης. Η τροφοδοσία της κεραίας πραγματοποιείται με ομοαξονική γραμμή, η οποία περνάει μέσα από τον ένα άξονα τροφοδότησης για να καταλήξει στον άλλο. Με τον τρόπο αυτό παρατηρούμε ότι τα ρεύματα που διαρρέουν τα δυο διαδοχικά δίπολα θα παρουσιάζουν 90° διαφορά φάσης μεταξύ τους.

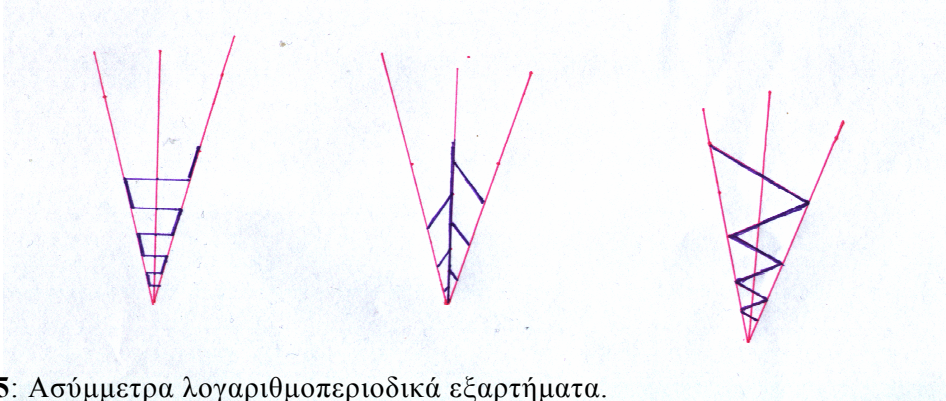
Βέβαια η κυκλική πόλωση μπορεί να επιτευχθεί και με κεραίες δακτυλοειδούς μορφής τοποθετώντας τέσσερα λογαριθμοπεριοδικά εξαρτήματα σε σχήμα πυραμίδας. Εξαιτίας όμως των προβλημάτων ακτινοβολίας που παρουσιάζονται από τις ασύμμετρες ζεύξεις γειτονικών λογαριθμοπεριοδικών στοιχείων, οι κατασκευές αυτές χρησιμοποιούνται μόνο όταν η

απόσταση μεταξύ των στοιχείων είναι πολύ μεγάλη. Υπάρχει όμως ο περιορισμός για τη γωνία  $\alpha$ , η οποία πρέπει να είναι μικρή ενώ η κεραία μεγάλου μήκους.



**Σχήμα 4:** Λογαριθμοπεριοδική κεραία δίπολων με κυκλική πόλωση.

Παραπάνω έγινε λόγος για ασύμμετρα λογαριθμοπεριοδικά εξαρτήματα ως προς τον άξονα τροφοδότησης τα οποία όταν τοποθετηθούν σε σχήμα πυραμίδας πολώνονται κυκλικά. Ορισμένα από αυτά τα λογαριθμοπεριοδικά εξαρτήματα παρουσιάζονται στο Σχήμα 5.



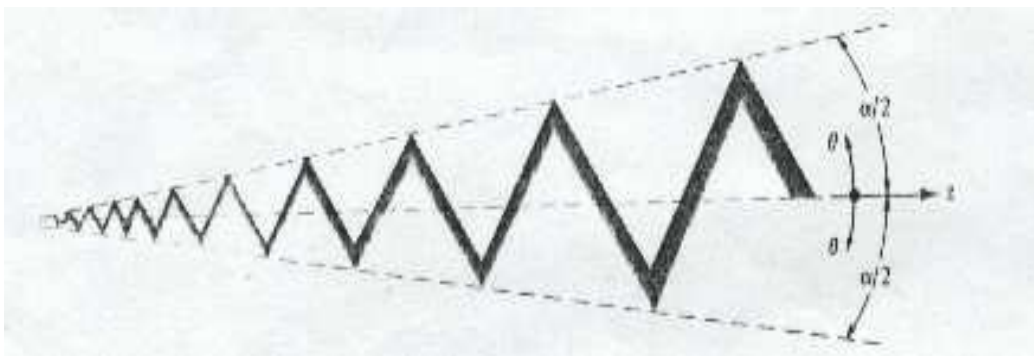
**Σχήμα 5:** Ασύμμετρα λογαριθμοπεριοδικά εξαρτήματα.

## ΕΠΙΠΕΔΕΣ ΛΟΓΑΡΙΘΜΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΔΙΚΕΣ ΚΕΡΑΙΕΣ

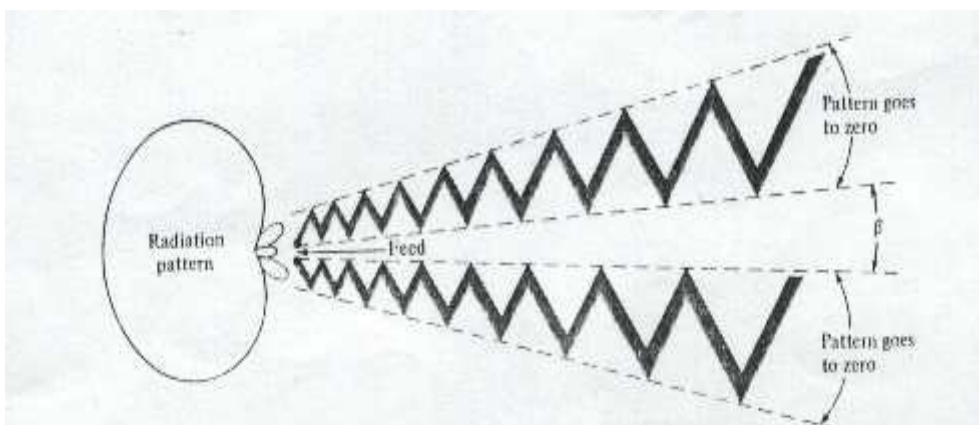
Στο Σχήμα 6, φαίνεται μία επίπεδη λογαριθμική περιοδική κεραία, κατασκευασμένη από μία μεταλλική λωρίδα, η οποία σχηματίζει μία γραμμή τεθλασμένη περιεχόμενη σε γωνία  $\alpha$ . Η γωνία  $\alpha$  διχοτομείται σε δύο γωνίες  $\alpha/2$ , ως προς τον άξονα ακτινοβολίας  $z$ .

Και στο Σχήμα 7, φαίνεται μία πιο εξελιγμένη μορφή επίπεδης λογαριθμικής περιοδικής κεραίας, αποτελούμενη από δύο βραχίονες μεταλλικής λωρίδας, με διάγραμμα ακτινοβολίας της κεραίας έχει ένα κύριο λοβό στην κατεύθυνση της κορυφής της. Η κορυφή της βρίσκεται στο σημείο τροφοδότησης της και το κύμα είναι γραμμικά πολωμένο. Το διάγραμμα ακτινοβολίας λοιπόν, θα μεταβάλλεται και αυτό περιοδικά μαζί με την συχνότητα της κεραίας.





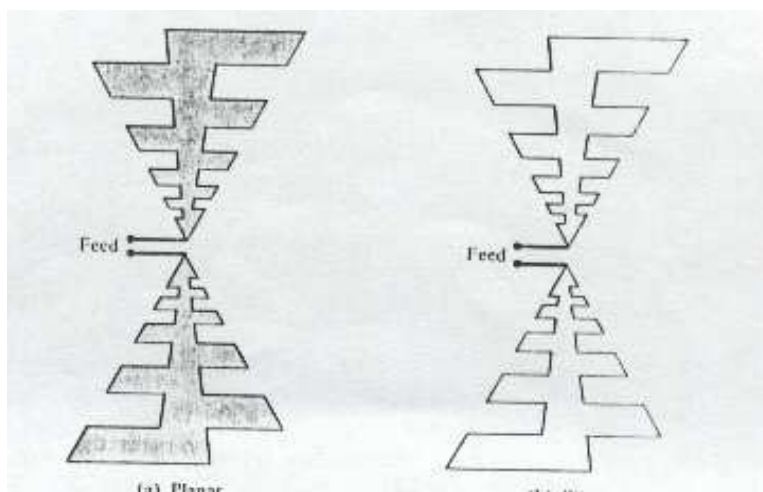
**Σχήμα 6:** Επίπεδη λογαριθμική περιοδική κεραία τεθλασμένης μεταλλικής λωρίδας με ένα βραχίονα.



**Σχήμα 7:** Επίπεδη λογαριθμική περιοδική κεραία τεθλασμένης μεταλλικής λωρίδας με δυο βραχίονες.

### ΤΡΑΠΕΖΟΕΙΔΗΣ ΕΠΙΠΕΔΗ ΛΟΓΑΡΙΘΜΙΚΗ ΚΕΡΑΙΑ ΟΔΟΝΤΩΣΕΩΝ

Η τραπεζοειδής επίπεδη λογαριθμική κεραία οδοντώσεων κατασκευάζεται με ευθύγραμμα τμήματα μεταλλικών λωρίδων ή με πλαίσιο σύρματος. Στα Σχήματα 8-9, φαίνονται δύο τραπεζοειδείς επίπεδες λογαριθμοπεριοδικές κεραίες.



**Σχήματα 8-9:** Τραπεζοειδείς οδοντωτές λογαριθμικές περιοδικές κεραίες κατασκευασμένες με μεταλλικό φύλλο ή με συρμάτινο αγωγό.

Τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά μεταβάλλονται περιοδικά. Έχουμε το γεωμετρικό λόγο θέσης  $\tau$  που μας δίνει το ρυθμό αύξησης της απόστασης των οδοντώσεων από την γωνία  $\alpha$  της κεραίας και ισχύει:

$$\frac{1}{\tau} = \frac{Rn}{Rn+1}$$

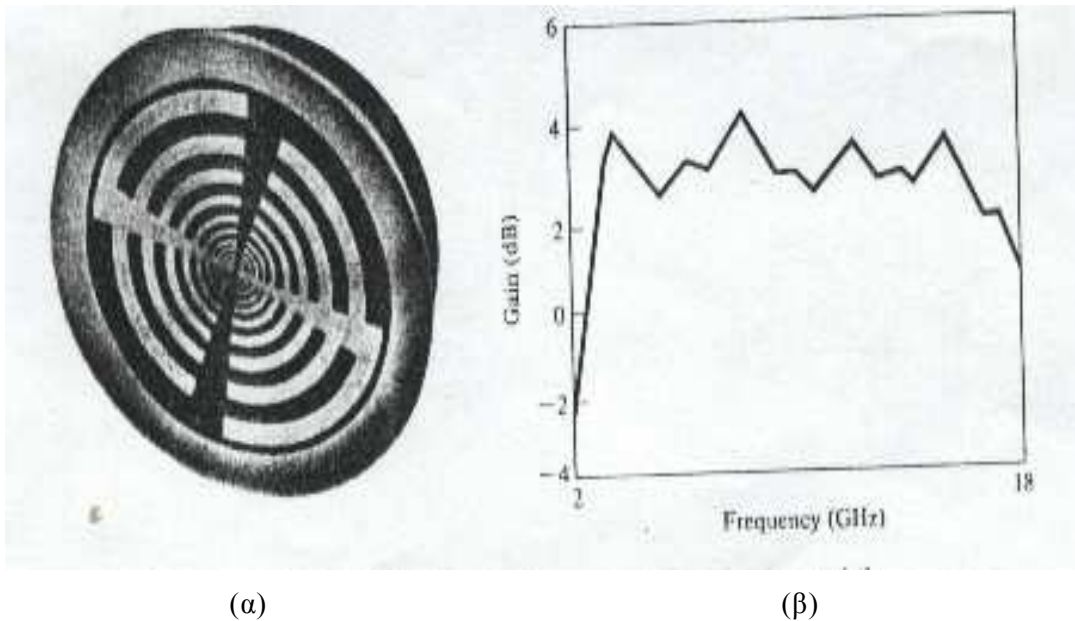
Σημαντικός είναι επίσης ο συντελεστής πάχους  $\chi$  της οδόντωσης, για τον οποίο:

$$\frac{1}{\chi} = \frac{r_n}{Rn+1}$$

Ο γεωμετρικός λόγος  $\tau$  υπάρχει σε όλες τις λογαριθμοπεριοδικές κεραίες και από αυτόν εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό και ο ρυθμός μεταβολής των χαρακτηριστικών τους.

Η κεραία τραπεζοειδούς οδόντωσης συναντάται συχνά σε κατασκευές με σύρμα και για εφαρμογές στις UHF συχνότητες. Χρησιμοποιείται κυρίως σε μικρά μήκη κύματος διότι στα μεγάλα μήκη κύματος, οι μεγάλες διαστάσεις της καθιστούν δύσκολη την κατασκευή της.

Στο Σχήμα 10 εικονίζεται μία οδοντωτή επίπεδη λογαριθμική περιοδική κεραία για μικροκυματικές συχνότητες, στην περιοχή των 2 μέχρι 18 GHz. Στο πίσω μέρος της κεραίας βρίσκεται μια μεταλλική κοιλότητα με ρόλο ανακλαστήρα, που χρησιμοποιείται για να πετύχουμε υψηλότερη κατευθυντικότητα.



**Σχήμα 10:** α) Οδοντωτή λογαριθμική περιοδική κεραία για μικροκυματικές συχνότητες 2 -18 GHz, β) Διάγραμμα απολαβής.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

### ΛΟΓΑΡΙΘΜΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΙΚΗ ΚΕΡΑΙΑ ΔΙΠΟΛΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιάσουμε αναλυτικά τη λογαριθμική περιοδική κεραία δίπολων (LPDA), η οποία είναι η πιο διαδεδομένη από τις κεραίες αυτού του είδους, εξαιτίας των πολύ καλών χαρακτηριστικών της που ανάλογα με τη σχεδίαση διατηρούνται σχεδόν αμετάβλητα σε ένα πολύ μεγάλο εύρος συχνοτήτων.

Οι λογαριθμοπεριοδικές κεραίες δίπολων (LPDAs) χρησιμοποιούνται από τις HF μέχρι τις SHF συχνότητες και διατηρούν τα χαρακτηριστικά μεγέθη τους σχεδόν σταθερά σε όλο το φάσμα τους. Χρησιμοποιούνται σε πλήθος τηλεπικοινωνιακών εφαρμογών (ραδιοφωνία, τηλεόραση, ραδιοερασιτεχνισμός, στρατιωτικές εφαρμογές, κτλ.), επειδή έχουν πολύ μεγάλο εύρος ζώνης με αποτέλεσμα τις καλές επιδόσεις σε αυτές τις εφαρμογές.

Η LPDA έχει ομοιότητες με την κεραία Yagi-Uda, ωστόσο έχει σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι αυτής. Η Yagi-Uda έχει ένα μόνο ενεργό δίπολο, ενώ τα υπόλοιπα στοιχεία της (ανακλαστήρες και κατευθυντήρες) είναι παθητικά. Αντίθετα στην LPDA όλα τα στοιχεία είναι ενεργά, με το μήκος τους να καθορίζεται από τη συχνότητα του σήματος τροφοδοσίας. Με αυτό τον τρόπο η LPDA πετυχαίνει παρόμοια κατευθυντικότητα με την Yagi-Uda (7-12 dB), αλλά σε πολύ μεγαλύτερο εύρος συχνοτήτων. Αυτό ισχύει επίσης για την αντίσταση εισόδου, το λόγο στάσιμων κυμάτων και τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά της κεραίας.

Στην LPDA μεταβάλλονται τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά (όπως η σύνθετη χαρακτηριστική αντίσταση εισόδου) περιοδικά με το λογάριθμο της συχνότητας, παρόλο που πρόκειται για μια κεραία με συμπεριφορά ουσιαστικά ανεξάρτητη της συχνότητας (καθώς π.χ. το κέρδος της διατηρείται σχεδόν σταθερό κατά τη μεταβολή της συχνότητας του σήματος εισόδου).

Καθώς η συχνότητα ολισθαίνει από μια ελάχιστη τιμή  $f_1$  σε μια μέγιστη  $f_n$  ισχύει ότι:

$$f_2 = \frac{f_1}{\tau}, f_3 = \frac{f_1}{\tau^2}, \dots, f_n = \frac{f_1}{\tau^{n-1}} \quad (n=2, 3, \dots) \quad (2.1)$$

όπου η σχεδιαστική παράμετρος  $\tau$  (με τιμές στην περιοχή από 0,8 έως και 0,96) είναι μια γεωμετρική σταθερά με τιμή κοντά στο 1, που χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του μήκους των δίπολων και της απόστασης μεταξύ τους.

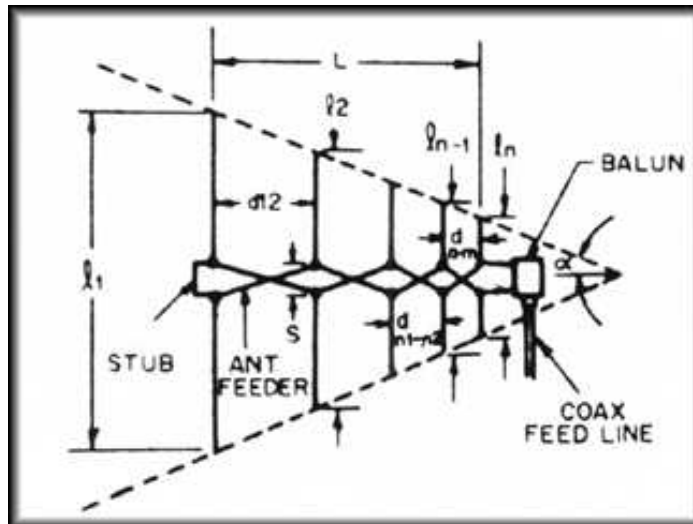
Έτσι έχουμε:

$$l_2 = \tau * l_1, l_3 = \tau * l_2, \dots, l_n = \tau * l_{n-1}, \quad (2.2)$$

όπου  $l_1$  το μήκος του μεγαλύτερου δίπολου. Επίσης:

$$d_{2,3} = \tau * d_{1,2}, d_{3,4} = \tau * d_{2,3}, \dots, d_{(n-1),n} = \tau * d_{(n-2),(n-1)}, \quad (2.3)$$

όπου  $d_{1,2}$  είναι η απόσταση μεταξύ του πρώτου και του δεύτερου δίπολου.



**Σχήμα 11:** Σχηματικό διάγραμμα μιας λογαριθμοπεριοδικής κεραίας δίπολων, όπου φαίνονται διάφορες σχεδιαστικές παράμετροι.

Οι σχεδιαστικές παράμετροι του Σχήματος 11 ορίζονται ως εξής:

$l$  = το μήκος κάθε δίπολου,

$h$  = το δίπολο μισού μήκους,

$d$  = η απόσταση μεταξύ των δίπολων,

$\tau$  = η σχεδιαστική σταθερά,

$\sigma$  = ο συντελεστής θέσης,

$s$  = τα διάκενα στα κέντρα των δίπολων,

$Z_0$  = η σύνθετη χαρακτηριστική αντίσταση εισόδου,

και υπολογίζονται από τις σχέσεις:

$$\tau = \frac{l_n}{l_{n-1}} = \frac{d_{n,n-1}}{d_{n-2,n-1}} \quad (2.4)$$

$$\sigma = \frac{d_{n,n-1}}{2l_{n-1}} \quad (2.5)$$

$$h_n = \frac{l_n}{2} \quad (2.6)$$

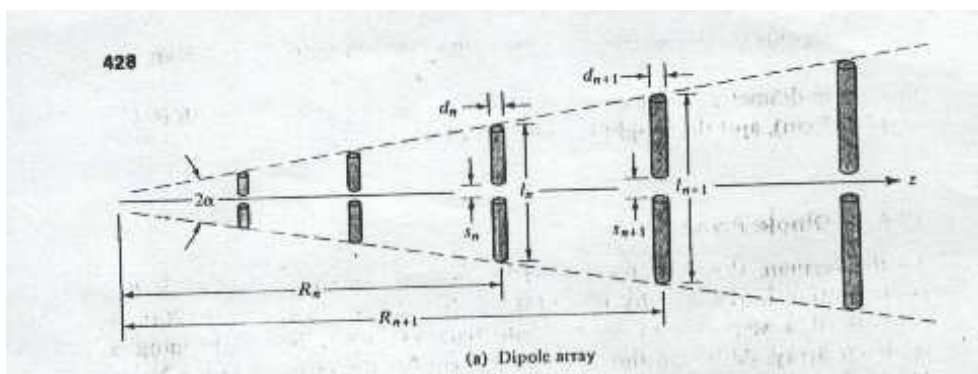
Στο Σχήμα 11 παρατηρούμε ότι αν φέρουμε δυο ευθείες που να περνούν από τα άκρα των δίπολων τότε αυτές τέμνονται σε ένα σημείο σχηματίζοντας γωνία  $2\alpha$ . Αυτό είναι ένα χαρακτηριστικό των κεραιών που λειτουργούν ανεξάρτητα της συχνότητας.

Στο Σχήμα 12 φαίνεται μια άλλη LPDA, για την οποία εκτός από το μήκος των δίπολων μεταβάλλεται και η διάμετρος τους, πράγμα που σημαίνει ότι για την κατασκευή της πρέπει να χρησιμοποιήσουμε ένα πλήθος σωλήνων με διαφορετικές διαμέτρους.

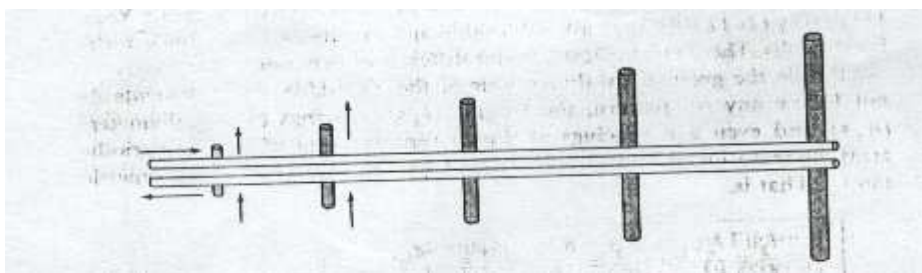
Η σωστότερη λύση είναι να επιλέξουμε σωλήνες με διάμετρο τιμής περίπου ίδιας με αυτές που έχουμε υπολογίσει στη σχεδίαση μας. Έτσι τα χαρακτηριστικά της κεραίας δεν

επηρεάζονται. Επίσης διατηρούμε σταθερά τα διάκενα  $s$  στα κέντρα των στοιχείων, γιατί διαφορετικά θα δυσκόλευε πολύ η κατασκευή της. Αυτή η LPDA μπορεί εναλλακτικά να συνδεθεί:

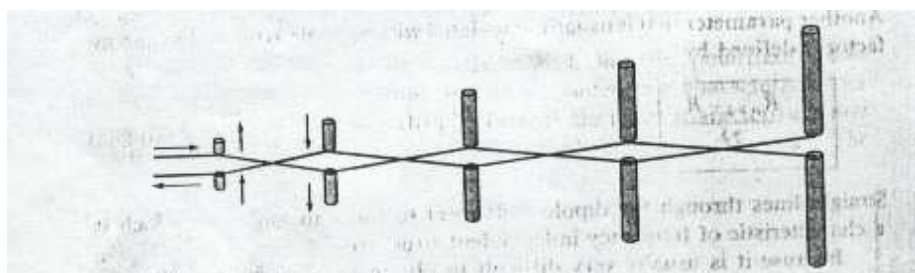
- α) είτε με ευθεία σύνδεση (Σχήμα 13α),
- β) είτε με διασταυρούμενη σύνδεση (Σχήμα 13β).



**Σχήμα 12:** Λογαριθμική περιοδική κεραία δίπολων (γεωμετρικά χαρακτηριστικά).



α)

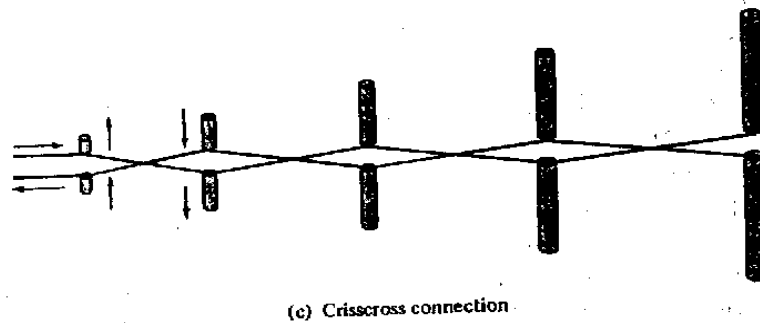


β)

**Σχήμα 13:** Λογαριθμική κεραία δίπολων α) με ευθεία και β) με διασταυρούμενη σύνδεση.

Στο Σχήμα 13α παρατηρούμε ότι στην ευθεία σύνδεση το ρεύμα σε όλα τα στοιχεία της κεραίας έχει την ίδια φάση με το σημείο τροφοδοσίας της.

Η διασταυρούμενη σύνδεση του Σχήματος 13β παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον και είναι το πλέον διαδεδομένο είδος σύνδεσης. Η κατασκευή των κεραιών που θα παρουσιαστεί στην εργασία αυτή είναι εφαρμογή μίας υποκατηγορίας της διασταυρούμενης σύνδεσης, της ομοαξονικής σύνδεσης.



Όπως φαίνεται και στο προηγούμενο σχήμα, έχουμε μια εναλλάξ τροφοδότηση των στοιχείων, δηλαδή τροφοδοτούνται με διαφορά φάσης  $180^\circ$  μεταξύ τους. Η συχνότητα του σήματος τροφοδότησης της κεραίας είναι αυτή που καθορίζει ποια στοιχεία είναι ενεργά και ποια παθητικά.

Συγκεκριμένα για κάθε σήμα τροφοδότησης μέσα στο φάσμα συχνοτήτων της κεραίας, υπάρχουν στοιχεία μήκους τέτοιου που να πλησιάζει το μήκος  $\lambda/2$  του μήκους κύματος του σήματος. Τότε σε αυτά τα στοιχεία θα παρατηρείται μέγιστο ρεύμα και συνεπώς μέγιστη ακτινοβολία. Αυτά τα στοιχεία αποτελούν τα ενεργά στοιχεία της κεραίας στο συγκεκριμένο μήκος κύματος.

Επειδή σε δύο διαδοχικά στοιχεία το ρεύμα που τα διαρρέει έχει διαφορά φάσης  $180^\circ$ , εάν αυτά είναι μικρού μήκους και η απόσταση μεταξύ τους είναι επίσης μικρή, οι ρευματικές κατανομές είναι και αυτές σχετικά μικρές, με αποτέλεσμα η ακτινοβολία να είναι σχεδόν αμελητέα.

Αυτό προϋποθέτει ότι η ενεργός περιοχή της κεραίας θα βρίσκεται περισσότερο προς το μέσο της κατασκευής. Σε αυτή την περίπτωση οι ρευματικές κατανομές είναι ισχυρότερες, στα μεγαλύτερου μήκους στοιχεία, εξαιτίας και της μεγαλύτερης απόστασης που υπάρχει μεταξύ τους, οι αλληλοαναιρέσεις του ακτινοβολούμενου πεδίου θα είναι μικρές και το συνολικό διάγραμμα ακτινοβολίας δεν θα επηρεάζεται σημαντικά.

Έτσι λοιπόν, η ακτινοβολούμενη ενέργεια θα προέρχεται από τα ενεργά στοιχεία και η συμβολή των μικρότερων στοιχείων στο συνολικό διάγραμμα ακτινοβολίας, θα είναι αμελητέα.

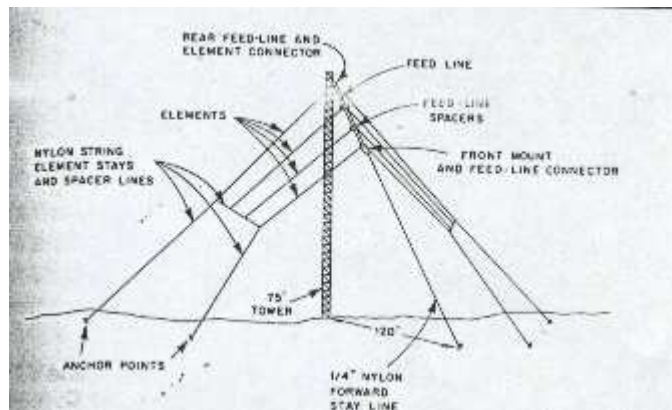
Με αυτό τον τρόπο (διασταυρούμενη σύνδεση), παράγεται μία δέσμη προς την κατεύθυνση των βραχύτερων στοιχείων.

Για τροφοδότηση με ομοαξονική γραμμή μεταφοράς στην κεραία αυτή, είναι υποχρεωτική η χρήση (balun).

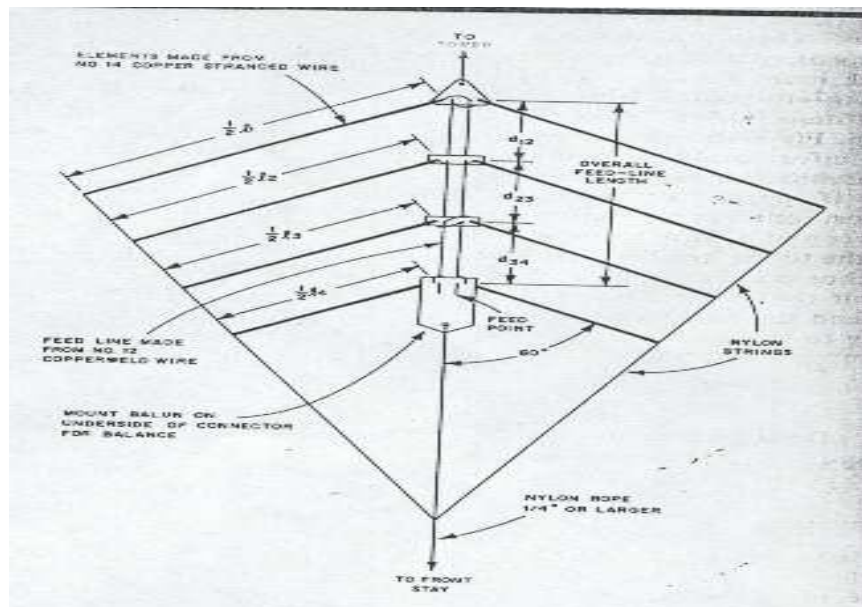
Η LPDA διασταυρούμενης σύνδεσης είναι μία συμμετρική κεραία και σαν τέτοια προσφέρεται για τροφοδότηση με συμμετρική γραμμή μεταφοράς.

Η διασταυρούμενη σύνδεση παρέχει τη δυνατότητα κατασκευής κεραιών για εφαρμογή σε μεγάλα μήκη κύματος με τη χρήση συρμάτων αγωγών. Με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να

κατασκευάσουμε κεραιές όπου τα στοιχεία τους δεν θα είναι κάθετα τοποθετημένα αλλά υπό γωνία. Οι κεραιές αυτές προέκυψαν μετά από μελέτες και πειράματα στις σχετικά χαμηλές συχνότητες Η.Φ.



**Σχήμα 13.γ:** Λογαριθμική περιοδική κεραία δίπολων τεσσάρων στοιχείων.



**Σχήμα 13.δ:** Λογαριθμική περιοδική κεραία δίπολων σύρματος με γωνία περίπου 60° μεταξύ στοιχείων και κεντρικών γραμμών τροφοδότησης.

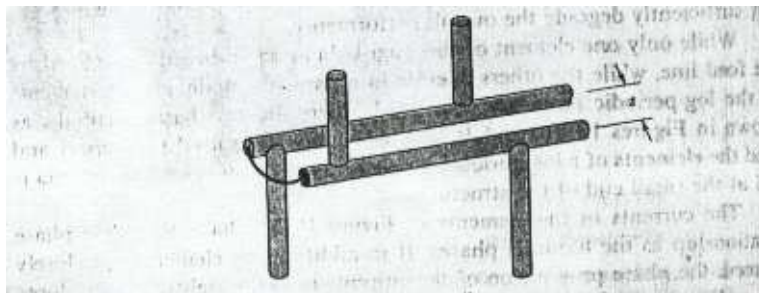
Στο Σχήμα 14 εικονίζεται μια πραγματική κεραία μεγάλου εύρους ζώνης 800-3000 MHz με χαρακτηριστικά:

- Μέγιστη ισχύ εισόδου: 500W
- Κατευθυντικότητα: 8 dB
- Σύνθετη αντίσταση εισόδου: 56 Ω
- VSWR: 2:1 κατά μέσο όρο
- Πόλωση: οριζόντια



**Σχήμα 14:** LPDA με εύρος ζώνης 800-3000 MHz.

Στον τρόπο σύνδεσης με ομοαξονική γραμμή μεταφοράς αποφεύγεται η χρήση του BALUN. Αυτός ο τρόπος σύνδεσης χρησιμοποιείται κυρίως στις υψηλές συχνότητες (VHF - UHF) με αποτέλεσμα η κατασκευή των κεραιών να απλοποιείται σημαντικά.



**Σχήμα 15:** Λογαριθμική περιοδική συστοιχία δίπολων με ομοαξονική σύνδεση.

Η ομοαξονική γραμμή μεταφοράς διέρχεται από το εσωτερικό ενός από τους δύο κεντρικούς σωλήνες τροφοδότησης, η θωράκιση (μπλεντάζ) της συνδέεται στο σημείο εξόδου της και στη συνέχεια προεκτείνεται και διέρχεται μέσα από το δεύτερο κεντρικό σωλήνα τροφοδότησης.

Με την κατάλληλη τοποθέτηση των δυο κεντρικών σωλήνων τροφοδότησης πετυχαίνουμε την τροφοδότηση των στοιχείων με διαφορά φάσης  $180^\circ$ , όπως και στη διασταυρούμενη σύνδεση και επίσης πετυχαίνουμε και προσαρμογή της κεραιάς με την ασύμμετρη ομοαξονική γραμμή χωρίς τη χρησιμοποίηση δικτύματος balun.

Η διέλευση της γραμμής μεταφοράς μέσα από τον κεντρικό σωλήνα έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία ενός ενσωματωμένου σε αυτήν balun. Η τροφοδότηση μιας κεραιάς με ομοαξονικό καλώδιο υλοποιείται κυρίως στις περιοχές VHF και UHF, όπου το μήκος των δίπολων μικραίνει σημαντικά. Δίνοντας την απαραίτητη προσοχή στην στήριξη των στοιχείων, μπορούμε να πετύχουμε πολύ ισχυρές κατασκευές με μεγάλη αντοχή.



Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της λογαριθμοπεριοδικής κεραίας δίπολων ομοαξονικής σύνδεσης καθορίζονται από τη σχέση:

$$\tau = \frac{l_2}{l_1} = \frac{l_{n+1}}{l_n} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{d_{n+1}}{d_n} = \frac{s_2}{s_1} = \frac{s_{n+1}}{s_n} = \frac{R_2}{R_1} = \frac{R_{n+1}}{R_n} \quad (2.7)$$

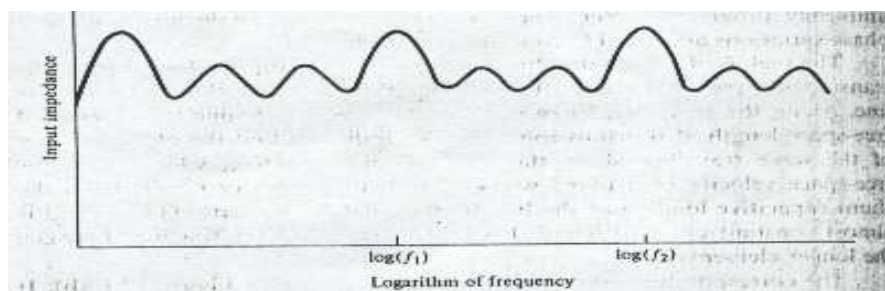
Το πλήθος των δίπολων εξαρτάται από το εύρος ζώνης.

Οι συχνότητες αποκοπής της κεραίας καθορίζουν το ηλεκτρικό μήκος των στοιχείων. Συγκεκριμένα, το μήκος του μεγαλύτερου στοιχείου καθορίζει την κάτω συχνότητα αποκοπής στην οποία το μισό μήκος κύματος  $\lambda/2$  ισούται με το μήκος  $l$  του δίπολου. Το μικρότερο στοιχείο καθορίζει την άνω συχνότητα αποκοπής στην περίπτωση όμως που το φάσμα λειτουργίας της κεραίας είναι σχετικά μικρό. Υπάρχουν δίπολα με φυσικό μήκος μικρότερο από το μήκος  $\lambda/2$  της άνω συχνότητας αποκοπής, όπως αυτές που θα παρουσιάσουμε στο επόμενο κεφάλαιο.

Στις λογαριθμοπεριοδικές κεραίες η συχνότητα του σήματος τροφοδότησης της κεραίας καθορίζει την ενεργό περιοχή της. Ως ενεργό περιοχή ονομάζουμε την περιοχή εκείνη της κεραίας στην οποία το μήκος των δίπολων  $l$  είναι περίπου ίσο ή μικρότερο από το μισό του μήκους κύματος του σήματος τροφοδότησης της κεραίας. Όσο η συχνότητα αυξάνει, η ενεργός περιοχή μετακινείται προς το σημείο τροφοδότησης και τα μικρότερα στοιχεία. Αντίθετα, όταν η συχνότητα ελαττώνεται η ενεργός περιοχή μετακινείται προς τα πίσω και τα μεγαλύτερα στοιχεία. Έτσι μπορούμε να πούμε, η ενεργός περιοχή, ολισθαίνει κατά μήκος της κεραίας. Θα μπορούσαμε να πούμε ότι τα δίπολα πίσω από την ενεργό περιοχή παίζουν κατά κάποιο τρόπο, τον ρόλο που παίζει ο ανακλαστήρας στην Yagi-Uda.

Το ακτινοβολούμενο κύμα μίας LPDA, είναι γραμμικά πολωμένο και έχει οριζόντια πόλωση όταν το επίπεδο της κεραίας είναι παράλληλο με το επίπεδο του εδάφους, ή κατακόρυφη πόλωση όταν το επίπεδο της κεραίας είναι κάθετο στο επίπεδο του εδάφους.

Όπως έχει αναφερθεί, τα χαρακτηριστικά της κεραίας δεν παραμένουν σταθερά σε όλο το φάσμα λειτουργίας της. Εάν για παράδειγμα, χαράξουμε το διάγραμμα μεταβολής της σύνθετης αντίστασης σε σχέση με την συχνότητα, θα δούμε ότι η αντίσταση μεταβάλλεται. Αν όμως απεικονίσουμε την συχνότητα σε λογαριθμικό άξονα θα παρατηρήσουμε ότι η μεταβολή είναι περιοδική, όπως φαίνεται στο Σχήμα 16.



**Σχήμα 16:** Περιοδικές μεταβολές της σύνθετης αντίστασης εισόδου σε LPDA σε συνάρτηση με τον λογάριθμο της συχνότητας.

Η προηγούμενη συμπεριφορά συμβαίνει επειδή οι διαστάσεις των στοιχείων της κεραίας, έχουν λογαριθμική σχέση μεταξύ τους. Παρόμοιες μεταβολές παρατηρούνται και σε άλλα χαρακτηριστικά της λογαριθμοπεριοδικής κεραίας δίπολων, όπως στην κατευθυντικότητα, στο εύρος της δέσμης καθώς και στους πλευρικούς λοβούς.

Ο αριθμός των κύκλων επανάληψης των μεταβολών, εξαρτάται από το εύρος ζώνης της κεραίας. Το εύρος του κάθε κύκλου εξαρτάται από την γεωμετρική σταθερά  $\tau$ , όπως είδαμε και στις λογαριθμικές περιοδικές κεραίες οδοντώσεων.

Το πλάτος των περιοδικών μεταβολών των χαρακτηριστικών της κεραίας, καθώς και το πόσο ραγδαίες θα είναι αυτές εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της ( $\tau$  και  $\alpha$ ). Μεταξύ των γεωμετρικών χαρακτηριστικών  $\tau$  και  $\alpha$ , υπάρχει αλληλεξάρτηση. Όσο η τιμή της γωνίας  $\alpha$  αυξάνει, ο γεωμετρικός λόγος  $\tau$  μειώνεται και αντίστροφα. Πρώτα επιλέγουμε τον γεωμετρικό λόγο  $\tau$  και βάσει αυτού υπολογίζουμε την γωνία  $\alpha$ , σύμφωνα με τις σχέσεις:

$$a = \tan^{-1}\left[\frac{1-\tau}{4\sigma}\right] \quad \text{ή} \quad \cot a = \frac{4\sigma}{1-\tau}, \quad (2.8)$$

όπου  $\sigma$  είναι ο συντελεστής θέσης.

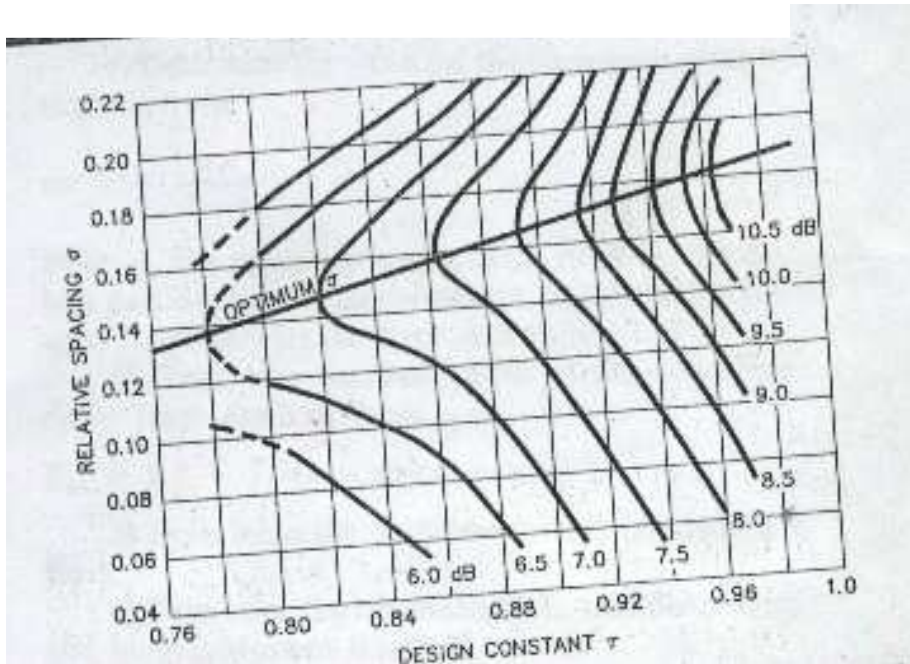
Έτσι λοιπόν, για μεγάλες τιμές της γωνίας  $\alpha$ , που σημαίνει ότι ο γεωμετρικός λόγος  $\tau$  είναι μικρός, οι κατασκευές είναι απλούστερες εξαιτίας του μικρού αριθμού των στοιχείων που βρίσκονται σε αρκετά μεγάλες αποστάσεις μεταξύ τους. Για τον λόγο αυτό, η ενεργός περιοχή σε τέτοιες απλές κατασκευές, μετατοπίζεται απότομα, πράγμα που σημαίνει ότι και οι μεταβολές των χαρακτηριστικών τους θα είναι επίσης μεγάλες και ραγδαίες.

Το πρόβλημα αυτό, μειώνεται δραστικά με πιο πολύπλοκες σχεδιάσεις, που περιλαμβάνουν μεγάλο σχετικά αριθμό στοιχείων, σε μικρές σχετικά αποστάσεις μεταξύ τους. Αυτό σημαίνει μεγάλο γεωμετρικό λόγο  $\tau$  και μικρή γωνία  $\alpha$ . Στις σχεδιάσεις αυτές, η ολίσθηση της ενεργού περιοχής γίνεται πιο ομαλά, καθώς υπάρχουν περισσότερα στοιχεία, των οποίων οι διαστάσεις πλησιάζουν σε μήκος το  $\lambda/2$  της συχνότητας τροφοδότησης. Έτσι οι μεταβολές των χαρακτηριστικών της κεραίας, είναι μικρότερες.

Τα τρία αυτά μεγέθη της κεραίας, ο γεωμετρικός λόγος  $\tau$ , η γωνία  $\alpha$  και ο συντελεστής θέσης  $\sigma$ , είναι πολύ σημαντικές παράμετροι στη σχεδίαση της LPDA και ουσιαστικά από τον προσδιορισμό των τριών αυτών μεγεθών, ξεκινά η σχεδίαση της κεραίας.

Πιο συγκεκριμένα, αφού καθορίσουμε την κατευθυντικότητα  $D$  σε dB για την κεραία που θέλουμε να σχεδιάσουμε, πηγαίνουμε στις καμπύλες του Σχήματος 17, όπου στον κατακόρυφο άξονα έχουμε τον συντελεστή θέσης  $\sigma$  και στον οριζόντιο άξονα τον γεωμετρικό λόγο  $\tau$  και οι καμπύλες αντιστοιχούν σε διάφορες τιμές κατευθυντικότητας.

Στο Σχήμα 17 βλέπουμε τις καμπύλες για την εύρεση του γεωμετρικού λόγου  $\tau$  και του συντελεστή θέσης  $\sigma$  σε μια λογαριθμική περιοδική κεραία δίπολων.



**Σχήμα 17:** Υπολογισμένες καμπύλες για την εύρεση του γεωμετρικού λόγου  $\tau$  και του συντελεστή θέσης  $\sigma$  σε λογαριθμική περιοδική κεραία δίπολων.

Οι συντεταγμένες που αντιστοιχούν στο σημείο τομής της καμπύλης που επιλέξαμε, με την διακεκομμένη γραμμή που μας δίνει τον βέλτιστο συντελεστή θέσης  $\sigma$ .

Το εύρος ζώνης της κεραίας, εξαρτάται αντίστοιχα από τις διαστάσεις του μεγαλύτερου και του μικρότερου δίπολου. Το εύρος της ενεργού περιοχής όμως δίνεται από τη σχέση:

$$Bar = 1,1 + 7,7(1 - \tau)^2 \cot a, \quad (2.9)$$

όπου  $bar$  το εύρος ενεργής περιοχής.

Στην πράξη όμως και για καλύτερα αποτελέσματα, πρέπει το εύρος ζώνης σχεδίασης να είναι ελαφρώς μεγαλύτερο από το απαιτούμενο.

$$B = \frac{f_{\max}}{f_{\min}}. \quad (2.10)$$

Έτσι έχουμε το εύρος ζώνης της σχεδίασης, που είναι το γινόμενο του απαιτούμενου από την σχεδίαση εύρος ζώνης  $B$  επί το εύρος ζώνης της ενεργού περιοχής  $bar$ :

$$Bs = B * Bar, \quad (2.11)$$

όπου:

$Bs$ : το εύρος ζώνης της σχεδίασης,

$B$ : το απαιτούμενο ή καθορισμένο εύρος ζώνης, και

$Bar$ : το ενεργό εύρος ζώνης της περιοχής.

Το ολικό μήκος της κεραίας εξαρτάται από το εύρος ζώνης της σχεδίασης καθώς και από τη μικρότερη συχνότητα αποκοπής και είναι:

$$L = \frac{\lambda_{\max}}{4} \left(1 - \frac{1}{Bs}\right) \cot a, \quad (2.12)$$

όπου

$$\lambda_{\max} = \frac{c}{f_{\min}}. \quad (2.13)$$

Ο αριθμός των στοιχείων εξαρτάται και αυτός από το εύρος ζώνης, αλλά και από το γεωμετρικό λόγο  $\tau$  και είναι:

$$N = 1 + \frac{\log(Bs)}{\log(1/\tau)}. \quad (2.14)$$

Η απόσταση  $S$  μεταξύ των κέντρων των δύο κεντρικών σωλήνων, καθορίζεται από την απαιτούμενη σύνθετη αντίσταση εισόδου της κεραίας, καθώς και από τις διαμέτρους των κεντρικών σωλήνων (τις οποίες θα επιλέξουμε όπως θα δούμε στη συνέχεια).

Για να υπολογιστεί η απόσταση  $S$  μεταξύ των κέντρων των δύο κεντρικών σωλήνων υπολογίζουμε πρώτα τη μέση χαρακτηριστική σύνθετη αντίσταση των στοιχείων, που δίνεται από τη σχέση:

$$Z_{av} = 120 \left[ \ln\left(\frac{l_n}{d_n}\right) - 2,25 \right], \quad (2.15)$$

όπου

$\frac{l_n}{d_n}$  το μήκος του  $n$ -οστού μικρότερου στοιχείου προς τη διάμετρο του.

Σε μια ιδανική σχεδίαση ο λόγος αυτός πρέπει να παραμένει σταθερός για όλα τα στοιχεία της κεραίας. Επειδή όμως οι σωλήνες που υπάρχουν στο εμπόριο έχουν τυποποιημένες διαμέτρους, τελικά χρησιμοποιούνται οι πλησιέστερες τιμές, χωρίς σημαντική υποβάθμιση των γενικά καλών χαρακτηριστικών της κεραίας για μια καλή σχεδίαση.

Έτσι μια LPDA μπορεί να είναι κατασκευασμένη από σωλήνες με δύο ή και περισσότερες διαμέτρους, οι οποίες θα σχηματίζουν ομάδες μεταξύ τους με τις μικρού διαμέτρου σωλήνες να βρίσκονται στα μπροστινά μικρού μήκους στοιχεία.

Μία πιο συνηθισμένη πρακτική είναι η χρησιμοποίηση δύο ή και πιο πολλών ομάδων στοιχείων (ανάλογα φυσικά με το εύρος ζώνης και τον αριθμό των στοιχείων), με τοποθέτηση τέτοια, ώστε οι μικρότερες διαμέτροι να βρίσκονται στα μικρότερα στοιχεία κοντά στο σημείο τροφοδότησης και προοδευτικά η διάμετρος των στοιχείων να αυξάνει προς τα μεγαλύτερα στοιχεία της κεραίας.

Ο υπολογισμός της απόστασης  $S$  μεταξύ των κέντρων των δύο κεντρικών σωλήνων είναι μία πολύ βασική παράμετρος στον υπολογισμό της κεραίας, μια και από αυτήν εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό η αντίσταση εισόδου της κεραίας και το κατά πόσο η τιμή της θα προσεγγίζει την επιθυμητή, καθορισμένη από τη σχεδίαση τιμή. Για να υπολογίσουμε την

απόσταση  $S$  υπολογίζουμε πρώτα τον σχετικό συντελεστή θέσης  $\sigma'$ , που δίνεται από τη σχέση:

$$\sigma' = \frac{\sigma}{\sqrt{\tau}}. \quad (2.16)$$

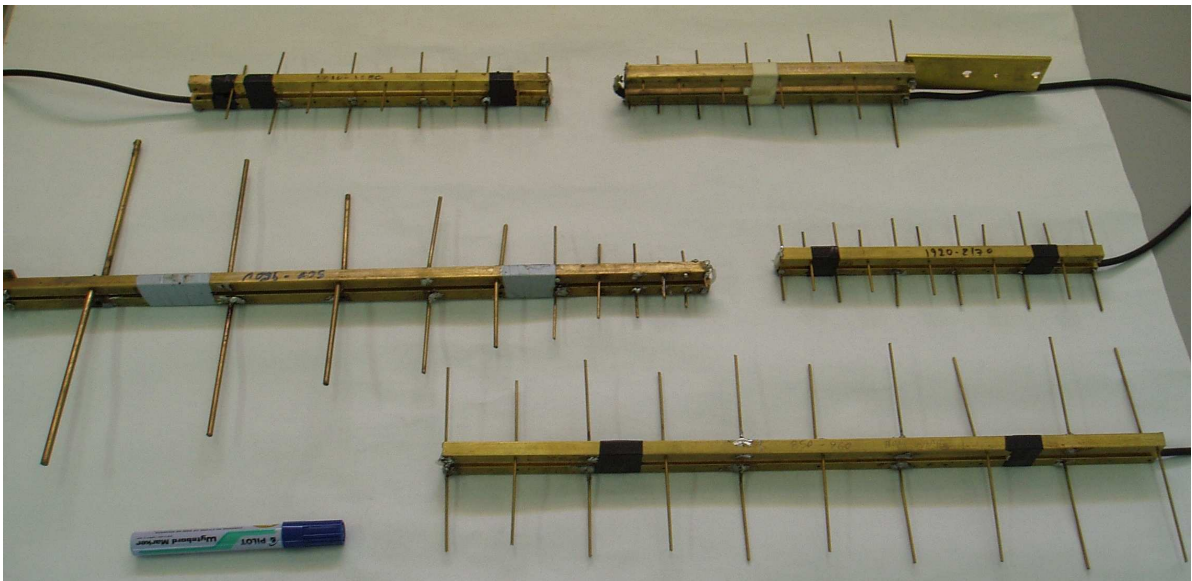
Έπειτα υπολογίζουμε τη σύνθετη αντίσταση εισόδου της κεραίας  $Z_0$ , ως εξής:

$$Z_0 = \frac{R_0^2}{8\sigma'Z_{av}} + R_0 \sqrt{\left(\frac{R_0}{8\sigma'Z_{av}}\right)^2 + 1}, \quad (2.17)$$

όπου την πραγματική αντίσταση της κεραίας  $R_0$  την θεωρούμε  $50\Omega$ . Στη συνέχεια αντικαθιστώντας το  $Z_0$  στην επόμενη σχέση, υπολογίζουμε την απόσταση  $S$  μεταξύ των δύο κεντρικών σωλήνων.

$$S = d \cosh\left(\frac{Z_0}{120}\right), \quad (2.18)$$

όπου  $d$  η διάμετρος των κεντρικών σωλήνων τροφοδότησης της κεραίας.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### ΣΧΕΔΙΑΣΗ LPDA ΜΕ ΕΥΡΟΣ ΖΩΝΗΣ 500-2500 MHz

Για να σχεδιάσουμε μια λογαριθμοπεριοδική κεραία δίπολων πρέπει να καθορίσουμε πρώτα την κατευθυντικότητα της κεραίας, το εύρος ζώνης της και την διάμετρο των κεντρικών σωλήνων της. Η τελευταία παράμετρος είναι πολύ σημαντική για τη σχεδίαση της κεραίας και πρέπει να γίνουν δοκιμές κατά τον υπολογισμό για διάφορες τιμές διαμέτρων, γιατί από την διάμετρο των σωλήνων εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό η απόσταση  $S$  μεταξύ των κέντρων των δίπολων.

Για κάποιες λοιπόν τιμές διαμέτρων, η απόσταση  $S$  μεταξύ των κέντρων των δύο κεντρικών σωλήνων, είναι τέτοια που η κατασκευή γίνεται πολύ δύσκολη ή και αδύνατη αν λάβουμε υπόψη και το μέγεθος της κεραίας το οποίο γίνεται αρκετά μεγάλο σε χαμηλές συχνότητες ή όταν το εύρος ζώνης είναι αρκετά μεγάλο.

Μπορεί δηλαδή για κάποιες διαμέτρους των σωλήνων να προκύπτει στον υπολογισμό μεγάλη απόσταση μεταξύ τους καθιστώντας αδύνατη την κατασκευή. Σε αυτή την περίπτωση επαναλαμβάνουμε τον υπολογισμό χρησιμοποιώντας άλλες διαμέτρους σωλήνων, μέχρι να έχουμε το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Επιλέγουμε λοιπόν για την κεραία τα εξής:

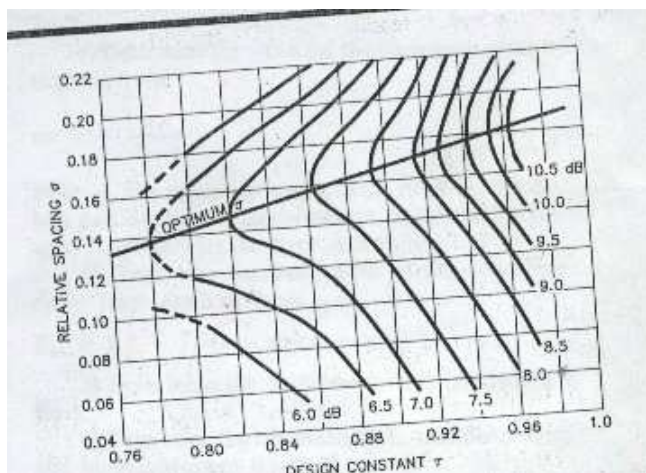
α) κατευθυντικότητα  $D=8$  dB,

β) εύρος ζώνης  $B = \frac{f_{\max}}{f_{\min}} = \frac{2500\text{MHz}}{500\text{MHz}} = 5$  (3.1)

γ) τετράγωνους κεντρικούς σωλήνες τροφοδότησης (boom) με πλευρά 1 cm.

Στη συνέχεια χρησιμοποιούμε τις καμπύλες του παρακάτω σχήματος όπου βρίσκουμε το συντελεστή θέσης  $\sigma$ , καθώς και τη τιμή του γεωμετρικού λόγου  $\tau$  που αντιστοιχούν στην τιμή της κατευθυντικότητας που έχουμε επιλέξει για την κεραία και οι οποίες είναι:

$\tau = 0.8$ ,  $\sigma = 0.162$ .



Επιλογή γεωμετρικού λόγου  $\tau$  και συντελεστή θέσης  $\sigma$  από τις καμπύλες για LPDA με κατευθυντικότητα 6.5dB.

Έχουμε λοιπόν γεωμετρικό λόγο  $\tau=0.8$  και συντελεστή θέσης  $\sigma=0.162$ . Τις τιμές αυτές των  $\tau$  και  $\sigma$  τις αντικαθιστούμε για να βρούμε τη γωνία  $a$ :

$$\cot a = \frac{4\sigma}{1-\tau} = \frac{4 \cdot 0,162}{1-0,8} \Rightarrow \cot a = 3,24. \quad (3.2)$$

Το επόμενο βήμα στη σχεδίαση της κεραίας είναι να υπολογίσουμε το εύρος ζώνης της ενεργού περιοχής. Αντικαθιστώντας λοιπόν έχουμε:

$$\text{Bar} = 1,1 + 7,7(1-\tau)^2 \cot a = 1,1 + 7,7 \cdot (1-0,8)^2 \cdot 3,24 \Rightarrow \text{Bar} = 2,09792. \quad (3.3)$$

Υπολογίζουμε τώρα το εύρος ζώνης της σχεδίασης  $B_s$ , πολλαπλασιάζοντας το εύρος ζώνης της ενεργού περιοχής που βρήκαμε προηγουμένως με το καθορισμένο από τη σχεδίαση εύρος ζώνης:

$$B_s = B \cdot \text{Bar} = 5 \cdot 2,0979 = 10,4896. \quad (3.4)$$

Στη συνέχεια υπολογίζουμε το συνολικό μήκος της κεραίας  $L$ . Πρώτα υπολογίζουμε το μέγιστο μήκος κύματος της συχνότητας τροφοδότησης της κεραίας  $\lambda_{\max}$  που για τη συγκεκριμένη LPDA αντιστοιχεί στους 500 MHz:

$$\lambda_{\max} = \frac{c}{f_{\min}} = \frac{300}{500 \text{ MHz}} \Rightarrow \lambda_{\max} = 0,6 \text{ m} \quad (3.5)$$

Και το συνολικό μήκος της κεραίας είναι:

$$L = \frac{\lambda_{\max}}{4} \left(1 - \frac{1}{B_s}\right) \cot a = \frac{0,6}{4} \cdot \left(1 - \frac{1}{10,49}\right) \cdot 3,24 \Rightarrow L = 0,4396 \text{ m} \quad (3.6)$$

Οπότε βρίσκουμε τον αριθμό των στοιχείων της κεραίας:

$$N = 1 + \frac{\log(B_s)}{\log(1/\tau)} = 1 + \frac{\log(10,44)}{\log\left(\frac{1}{0,8}\right)} \Rightarrow N = 11,533. \quad (3.7)$$

Έτσι μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε 11 ή 12 στοιχεία αν και για αυτή τη σχεδίαση η χρησιμοποίηση 12 στοιχείων είναι δύσκολη λόγω του μήκους της κεραίας που δεν επιτρέπει την τοποθέτηση δωδέκατου στοιχείου. Θα έπρεπε δηλαδή να επεκταθεί το συνολικό μήκος της κεραίας πάνω από 0,44m κάτι που θα άλλαζε αρκετά τη γεωμετρία της κεραίας με αμφίβολα αποτελέσματα γιατί θα άλλαζε κατά πολύ και το ηλεκτρικό μήκος της. Έτσι η σχεδίαση αυτής της λογαριθμοπεριοδικής κεραίας δίπολων έγινε με 11 στοιχεία όπως θα δούμε.

Το επόμενο βήμα στη σχεδίαση της κεραίας είναι ο υπολογισμός των μηκών όλων των στοιχείων της κεραίας. Η κάτω συχνότητα αποκοπής στη λογαριθμοπεριοδική κεραία δίπολων εξαρτάται από το μήκος του μεγαλύτερου στοιχείου το οποίο πρέπει να έχει μήκος όσο το μισό μήκος κύματος  $\lambda$  της κάτω συχνότητας αποκοπής.

Η χαμηλότερη συχνότητα αποκοπής λοιπόν για τη σχεδίαση αυτή έχει μήκος κύματος όπως το είδαμε και προηγουμένως 0,6m. Έτσι το μεγαλύτερο δίπολο της κεραίας το οποίο βρίσκεται στο μεγάλο άκρο της κεραίας (στο απέναντι σημείο τροφοδότησης), θα έχει μήκος:

$$l_1 = \frac{\lambda_{\max}}{2} = \frac{0,6\text{m}}{2} = 30\text{cm} . \quad (3.8)$$

Το μήκος λοιπόν του αμέσως μικρότερου στοιχείου λοιπόν θα είναι:

$$l_2 = l_1 \cdot \tau = 24\text{cm} , \quad (3.9)$$

και το μήκος των υπολοίπων στοιχείων της κεραίας είναι:

$$l_3 = l_2 \cdot \tau = 19,2\text{cm} ,$$

$$l_4 = l_3 \cdot \tau = 15,36\text{cm} ,$$

$$l_5 = l_4 \cdot \tau = 12,29\text{cm} ,$$

$$l_6 = l_5 \cdot \tau = 9,83\text{cm} ,$$

$$l_7 = l_6 \cdot \tau = 7,86\text{cm} ,$$

$$l_8 = l_7 \cdot \tau = 6,29\text{cm} ,$$

$$l_9 = l_8 \cdot \tau = 5,03\text{cm} ,$$

$$l_{10} = l_9 \cdot \tau = 4,03\text{cm} ,$$

$$l_{11} = l_{10} \cdot \tau = 3,22\text{cm} .$$

Ο υπολογισμός της θέσης που πρέπει να έχει το μεγαλύτερο στοιχείο προκύπτει από το γεωμετρικό σχήμα της κεραίας το οποίο όπως είναι γνωστό, είναι ένα ισοσκελές τρίγωνο με γωνία κορυφής  $2\alpha$  και βάση ίση με το μεγαλύτερο στοιχείο  $l_1$  (ή διαφορετικά αν φέρουμε τη μεσοκάθετο στη βάση του ισοσκελούς τριγώνου έχουμε δύο ορθογώνια τρίγωνα με τη μία τους πλευρά να είναι ίση με  $l_1 / 2$  και με γωνία ίση με  $\alpha$ ).

Έτσι μπορούμε να υπολογίσουμε την απόσταση του μεγαλύτερου στοιχείου της κεραίας  $l_1$  από την κορυφή του τριγώνου (γωνία  $\alpha$ ), από το γεωμετρικό σχήμα της κεραίας ως εξής:

$$R_1 = \cot \alpha \cdot \frac{l_1}{2} = 3,24 \cdot \frac{30}{2} = 48,6\text{cm} \quad (3.10)$$

Όπως βλέπουμε η απόσταση του μεγαλύτερου στοιχείου  $l_1$  από την κορυφή του τριγώνου που ορίζεται από την γωνία  $\alpha$  είναι 48,6 cm, ενώ το συνολικό μήκος της κατασκευής είναι όπως βρήκαμε προηγουμένως 44 cm, δηλαδή το γεωμετρικό σχήμα της κεραίας (τρίγωνο) εκτείνεται σε μεγαλύτερο μήκος από αυτό της κεραίας.

Το μεγαλύτερο στοιχείο της κεραίας  $l_1$  βρίσκεται στο άκρο της κεραίας, οπότε από εκεί ξεκινά ο υπολογισμός των αποστάσεων των στοιχείων.

Έπειτα βρίσκουμε τις αποστάσεις μεταξύ των στοιχείων ως εξής:



$$d_{1,2} = \frac{1}{2}(l_1 - l_2) \cot a = \frac{1}{2} * (30 - 24) * 3,24 = 9,72 \text{ cm} \quad (3.11)$$

κατόπιν πολλαπλασιάζουμε αυτήν την απόσταση με το  $\tau$  και βρίσκουμε την επόμενη απόσταση.

Ομοίως πράττουμε για τις επόμενες αποστάσεις:

$$\begin{aligned} d_{2,3} &= d_{1,2} \cdot \tau = 7,776 \text{ cm} \\ d_{3,4} &= d_{2,3} \cdot \tau = 6,221 \text{ cm} \\ d_{4,5} &= d_{3,4} \cdot \tau = 4,977 \text{ cm} \\ d_{5,6} &= d_{4,5} \cdot \tau = 3,981 \text{ cm} \\ d_{6,7} &= d_{5,6} \cdot \tau = 3,185 \text{ cm} \\ d_{7,8} &= d_{6,7} \cdot \tau = 2,548 \text{ cm} \\ d_{8,9} &= d_{7,8} \cdot \tau = 2,038 \text{ cm} \\ d_{9,10} &= d_{8,9} \cdot \tau = 1,631 \text{ cm} \\ d_{10,11} &= d_{9,10} \cdot \tau = 1,305 \text{ cm} \end{aligned} \quad (3.12)$$

Επειδή η κεραία έχει πολύ μεγάλο εύρος ζώνης οι διάμετροι μεταξύ των στοιχείων διαφέρουν. Οπότε θα βρούμε τις διαμέτρους των στοιχείων ως εξής:

$$Z_0 = \frac{R_0^2}{8\sigma' Z_{av}} + R_0 \sqrt{\left(\frac{R_0}{8\sigma' Z_{av}}\right)^2 + 1} \quad (3.13)$$

όπου  $Z_0$  είναι η χαρακτηριστική σύνθετη αντίσταση της τροφοδοσίας της κεραίας,

$\sigma'$  είναι ο κεντρικός συντελεστής απόστασης που είναι ίσος με

$$\sigma' = \frac{\sigma}{\sqrt{\tau}} = \frac{0,162}{\sqrt{0,8}} = 0,1811, \quad (3.14)$$

και  $Z_{av}$  είναι η μέση χαρακτηριστική σύνθετη αντίσταση του ενός δίπολου που είναι ίση με

$$Z_{av} = 120 \cdot \left[ \ln\left(\frac{l_n}{d_n}\right) - 2,25 \right], \quad (3.15)$$

όπου  $l_n$  είναι το μήκος του ενός δίπολου και  $d_n$  η διάμετρος του.

Τώρα θα υπολογίσουμε το μεγαλύτερο στοιχείο της κεραίας και έχουμε:

$$Z_{av} = 120 \cdot \left[ \ln\left(\frac{l_{\max}}{d_{\max}}\right) - 2,25 \right].$$

Επειδή θέλουμε η  $Z_0$  να είναι περίπου 50-60  $\Omega$ , βρίσκουμε τέτοιο  $Z_{av}$  για το οποίο η  $Z_0$  να είναι μεταξύ 50 και 60  $\Omega$ . Έτσι για  $Z_{av}=250\Omega$ :

$$Z_0 = \frac{50^2}{8 * 0,1811 * 250} + 50 * \sqrt{\left(\frac{50}{8 * 0,1811 * 250}\right)^2 + 1} = 57,38 \Omega.$$

Οπότε για  $Z_{av}=250\Omega$ , βρίσκω το  $d_1$  (διάμετρο του πρώτου στοιχείου  $l_1$ ) από τη σχέση:

$$Z_{av} = 120 \cdot \left[ \ln\left(\frac{l_1}{d_1}\right) - 2,25 \right] \Rightarrow d_1 = 3,94 \text{ mm}, d_2 = d_1 \cdot \tau, \dots, d_{11} = d_{10} \cdot \tau,$$

και αφού  $l_2 = l_1 \cdot \tau, \dots, l_{11} = l_{10} \cdot \tau$ , γενικά πρέπει να ισχύει:

$$\frac{l_1}{d_1} = \frac{l_2}{d_2} = \dots = \frac{l_{11}}{d_{11}},$$

για να είναι η  $Z_{av}=250 \Omega$  πάντα.

Οπότε θεωρητικά οι διάμετροι των στοιχείων προκύπτουν:

	mm
$d_1$	3,93
$d_2$	3,15
$d_3$	2,52
$d_4$	2,02
$d_5$	1,61
$d_6$	1,29
$d_7$	1,03
$d_8$	0,83
$d_9$	0,66
$d_{10}$	0,53
$d_{11}$	0,42

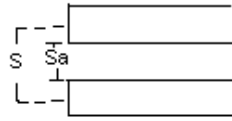
Όμως επειδή τέτοιες διάμετροι δεν υπάρχουν στο εμπόριο και έτσι χρησιμοποιήσαμε:

	mm
$d_1$	5
$d_2$	4
$d_3$	4
$d_4$	3
$d_5$	3
$d_6$	2
$d_7$	2
$d_8$	2
$d_9$	2
$d_{10}$	2
$d_{11}$	2

Και τέλος πρέπει να υπολογίσουμε την απόσταση μεταξύ των 2 boom. Συγκεκριμένα η απόσταση  $S$  των 2 boom από κέντρο σε κέντρο (αν αυτά ήταν κυλινδρικά) είναι:

$$S = d \cdot \cosh\left(\frac{Z_0}{120}\right) \Rightarrow S = \sqrt{\frac{4E}{\pi}} \cdot \cos\left(\frac{Z_0}{120}\right) \quad (3.16)$$

όπου  $d$  η διάμετρος του boom και  $E$  η κάθετη επιφάνεια της τομής του κυλινδρικού σωλήνα.



Επειδή ο τύπος είναι για κύλινδρο και το boom είναι τετράγωνο έχουμε:

$$S = \frac{2a}{\sqrt{\pi}} * \cosh\left(\frac{Z_0}{120}\right) = \frac{2 * 1}{\sqrt{3,14}} * \cos\left(\frac{57,39}{120}\right),$$

όπου  $a$  είναι η πλευρά των σωλήνων τροφοδότησης, οπότε  $S=1,26$  cm, άρα η απόσταση των 2 boom από άκρη σε άκρη είναι:

$$S_a = 1,26 - 1 = 2,6 \text{ mm.}$$

Το αποτέλεσμα των βημάτων που ακολουθήθηκαν στο προηγούμενες σελίδες που αφορούσαν το σχεδιασμό μιας λογαριθμοπεριοδικής κεραίας δίπολων με εύρος συχνοτήτων 500-2500 MHz, παρουσιάζονται από τεχνική άποψη παρακάτω.

### Υλικά που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή της κεραίας

- Ένα ομοαξονικό καλώδιο μαύρο RG223 με μήκος 30 cm για την τροφοδότηση της κεραίας.
- Δυο κεντρικοί σωλήνες τροφοδότησης μήκους 26 cm και διάμετρο 1 cm.
- Για τα δίπολα στοιχεία της κεραίας με διαφορεική διάμετρο (π.χ. 2 mm) συνήθως χρησιμοποιούμε την καλύτερη προσέγγιση από τις διαθέσιμες τυποποιημένες διαμέτρους στο εμπόριο.
- Η κεραία αποτελείται από 11 δίπολα με διαστάσεις και αποστάσεις που υπολογίστηκαν παραπάνω.
- Ένας συνδετήρας BNC τοποθετείται στο πίσω μέρος της κεραίας.
- Για την στήριξη της κεραίας επάνω στον ιστό κατασκευάσαμε ένα παραλληλόγραμμο εξάρτημα από ανοξείδωτο υλικό, στο οποίο ανοίγουμε τέσσερις τρύπες για να περάσουν οι δυο βίδες που συγκρατούν το εξάρτημα στήριξης και κατ' επέκταση την κεραία πάνω στον ιστό ή στη βάση.

### Βοηθητικά υλικά και εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν

- Τανάλιες και κόφτης σύρματος.
- Λίμες και κοπίδια.
- Κολλητήρια και καλάι κόλλησης.
- Ηλεκτρικό δρέπανο.

- Τρυπάνια διαφόρων διαμετρημάτων.
- Φλόγιστρο προπανίου.
- Σολντερίνη για τις κολλήσεις.
- Σφικτήρες για στερέωση.
- Μέγγενη και σφυράκι.
- Παχύμετρο και κολλητική ταινία.

Στις παρακάτω φωτογραφίες διακρίνονται ορισμένα από τα βασικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή των κεραιών.



Καταρχήν η κεραία αποτελείται από τα δυο κεντρικά μεταλλικά κομμάτια μήκους 26 cm, τα οποία είναι τετράγωνου σχήματος και το εσωτερικό τους είναι κενό με πλευρά 0,8 cm που θα χρησιμοποιηθούν ως κεντρικοί σωλήνες τροφοδότησης (οι διαστάσεις των οποίων καθώς και οι αποστάσεις μεταξύ τους έχουν υπολογιστεί με ακρίβεια).



Η κεραία αυτή αποτελείται από 11 δίπολα, οι διαστάσεις των οποίων μετρώνται με ακρίβεια χιλιοστού με τη βοήθεια του παχύμετρου και κατόπιν κόβονται στη μέση και στερεώνονται πάνω στους κεντρικούς σωλήνες τροφοδότησης, αφού προηγουμένως είχαν τρυπηθεί με τρυπάνια ίσης διαμέτρου με την διάμετρο κάθε δίπολου. Η διαδικασία της κατασκευής των δίπολων φαίνεται στις επόμενες φωτογραφίες.



Τρύπημα των κεντρικών σωλήνων τροφοδότησης.

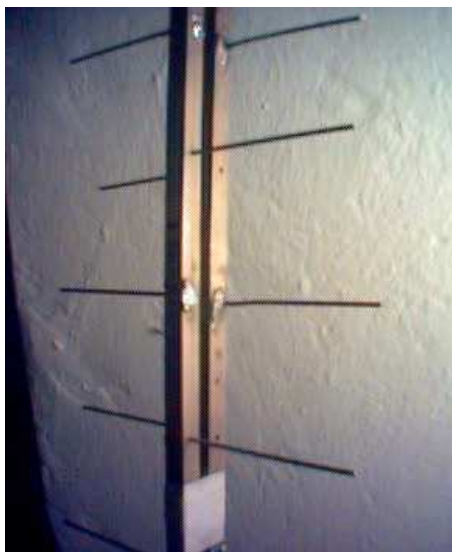


Τα μονόπολα που προέκυψαν από την κοπή των δίπολων τοποθετήθηκαν στους άξονες τροφοδότησης, τρυπήθηκαν και σφηνώθηκαν πάνω σε αυτούς.



Σφηνώμα του μονοπόλου πάνω στον κεντρικό σωλήνα. Αφού σφηνώσαμε τα μονόπολα μετά με τη βοήθεια του φλόγιστρου τα στερεώνουμε με καλώς γερά πάνω στους κεντρικούς σωλήνες τροφοδότησης.

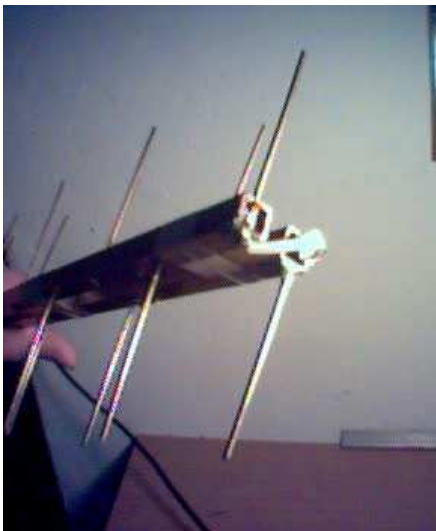
Από τη σχέση  $s = d \cosh(Z_0 / 120)$  υπολογίσαμε την απόσταση που πρέπει να έχουν οι κεντρικοί άξονες τροφοδότησης από κέντρο σε κέντρο και βρήκαμε ότι είναι ίση με 1,26 cm. Η στήριξη των αξόνων σε αυτή την απόσταση επιτεύχθηκε με την κατασκευή δυο τεμαχίων από μονωτικό υλικό (όπως φαίνεται και στην παρακάτω φωτογραφία) που κατόπιν στερεώθηκαν με μονωτική ταινία σε δυο διαφορετικά σημεία.



Τα μονόπολα στερεωμένα και κολλημένα με καλώς πάνω στους κεντρικούς σωλήνες τροφοδότησης.

Έτσι με τα κέντρα των σωλήνων να απέχουν μεταξύ τους 1,26 cm, δυο αποστάτες από μονωτικό υλικό πάχους 4 mm (στερεωμένο με κολλητική ταινία ανάμεσα στους δύο σωλήνες) είναι αρκετοί για τη διατήρηση αυτής της απόστασης σε όλο το μήκος της κατασκευής. Η απόσταση μεταξύ των κέντρων των δύο κεντρικών σωλήνων είναι μία πολύ βασική παράμετρος στη λειτουργία της κεραίας, μια και από αυτήν εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό η σύνθετη αντίσταση εισόδου της κεραίας και το κατά πόσο η τιμή της θα προσεγγίζει ή όχι την καθορισμένη από τη σχεδίαση τιμή. Θεωρήσαμε ότι η πραγματική

αντίσταση εισόδου της κεραίας είναι 50 Ω. Κατά συνέπεια και η σύνθετη αντίσταση της τροφοδοσίας της κεραίας είναι 58 Ω. Ο τρόπος τροφοδότησης φαίνεται στις επόμενες φωτογραφίες.



Διακρίνονται εύκολα οι ενώσεις στο μπροστινό τμήμα της κεραίας.



Διακρίνεται η σύνδεση στο πίσω μέρος της κεραίας, ο συνδετήρας και η βάση στερέωσης.

Όπως βλέπουμε στη φωτογραφία, η γραμμή ξεκινάει από το πίσω μέρος της κεραίας (όπου έχει τοποθετηθεί ένας συνδετήρας BNC), περνάει μέσα από τον κάτω άξονα τροφοδότησης και καταλήγει στο μπροστινό μέρος της κεραίας. Στη πρώτη φωτογραφία φαίνεται το μπροστινό μέρος της κεραίας, όπου απογυμνώνεται το μπλεντάζ με τη βοήθεια κοπιδιού και κατόπιν κολλιέται το μπλεντάζ στον άξονα τροφοδότησης. Δημιουργείται το αρνητικό τμήμα της κεραίας (γείωση) ενώ το εσωτερικό καλώδιο καταλήγει στον πάνω άξονα τροφοδότησης, όπου και το κολλάμε για να κάνουμε το θετικό τμήμα της κεραίας.



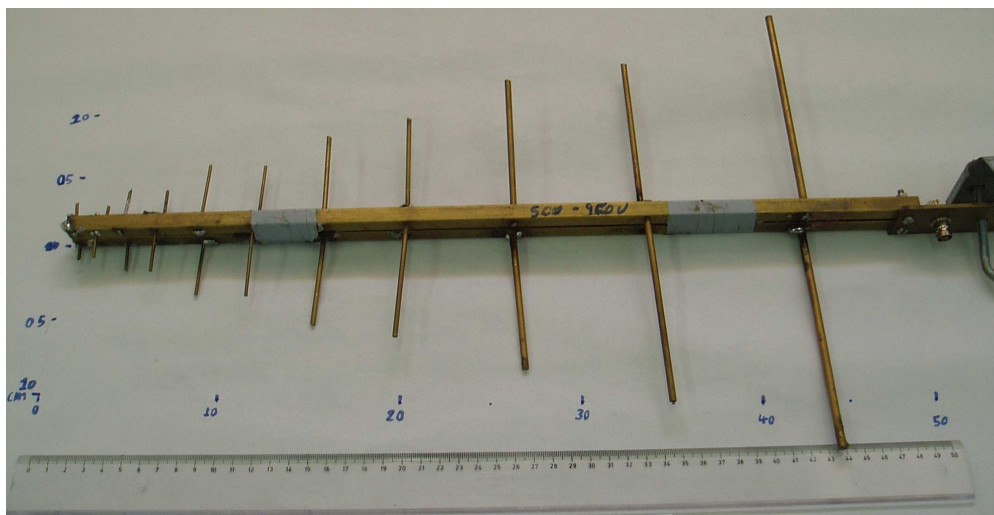
Για την στήριξη της κεραίας ανοίξαμε συνολικά τέσσερις τρύπες στη μεταλλική βάση με τη βοήθεια τρυπανιού.

Δυο τρύπες έγιναν για να περάσουν οι βίδες, οι οποίες συγκρατούν το εξάρτημα στήριξης και την κεραία πάνω στον ιστό ή στη βάση και δυο τρύπες για να στερεωθούν οι σωλήνες της κεραίας όπως φαίνεται στην επόμενη φωτογραφία.



Όλες οι μετρήσεις έγιναν με τη μέγιστη δυνατή ακρίβεια χρησιμοποιώντας παχύμετρο.

Βέβαια η θεωρία δεν συμφωνεί πάντα με το πρακτικό τμήμα της κατασκευής μια κεραίας, πράγμα που ισχύει και στις κατασκευές της παρούσας εργασίας, με συνέπεια να παρουσιαστούν αρκετές δυσκολίες οι οποίες τελικά ξεπεράστηκαν.

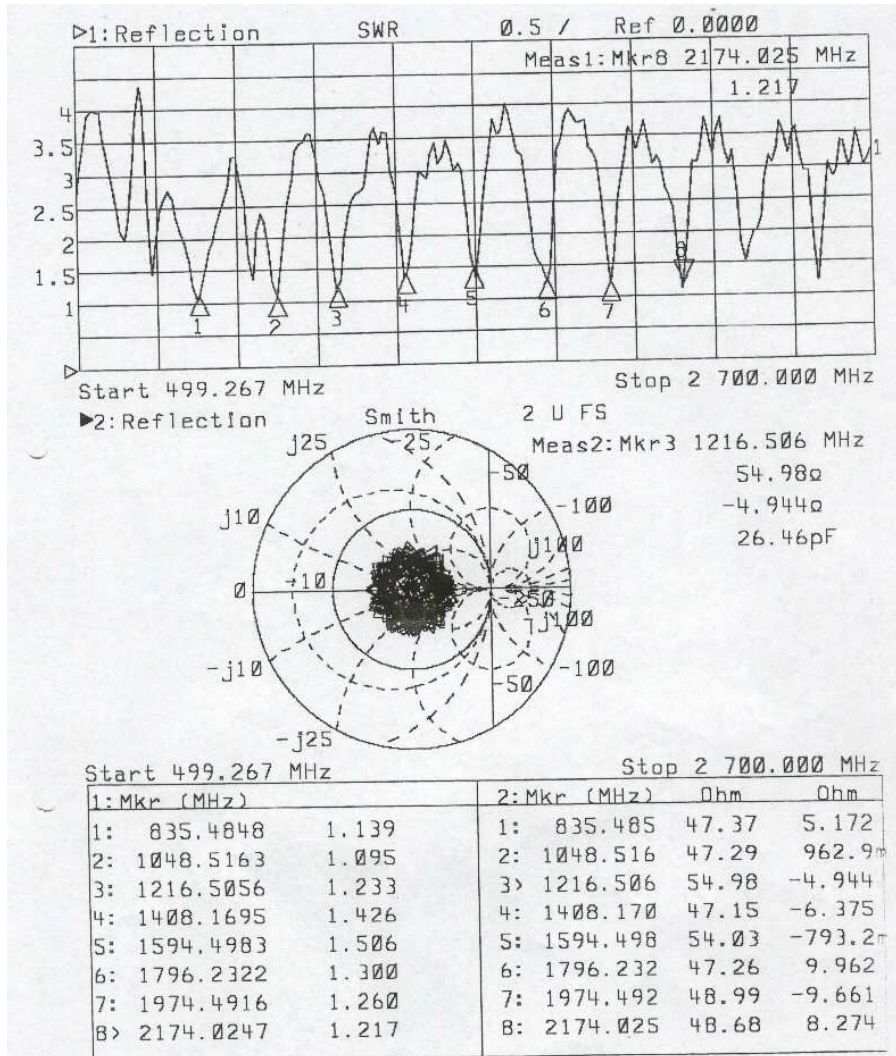




### Μετρήσεις Κεραίας LPDA 500-2500 MHz

Για να πάρουμε το επόμενο διάγραμμα των στάσιμων κυμάτων σε όλο το εύρος ζώνης της κεραίας χρησιμοποιήσαμε τον Network Analyzer του Εργαστηρίου Μικροκυματικών Επικοινωνιών & Ηλεκτρομαγνητικών Εφαρμογών. Βλέπουμε επίσης τα στάσιμα σε 8 συχνότητες, τις οποίες διαλέγουμε καθώς και την πραγματική αντίσταση της κεραίας σε κάθε συχνότητα.

Το συνολικό μήκος αυτής της κεραίας είναι 44 cm, ενώ το συνολικό πλάτος της είναι 30 cm.



Βλέπουμε ότι τα στάσιμα κύματα (SWR) μεταβάλλονται σε όλο το εύρος ζώνης από 1,095 μέχρι και 4. Επίσης βλέπουμε σε αρκετές συχνότητες ότι τα στάσιμα είναι πολύ χαμηλά (έτσι όπως πρέπει να είναι δηλαδή). Επίσης η πραγματική αντίσταση της κεραίας  $R_0$  μεταβάλλεται από 47.15 Ω μέχρι 54.98 Ω, οι οποίες είναι πολύ καλές τιμές.

Για την τροφοδοσία των κεραιών LPDA χρησιμοποιήσαμε μια γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος που βρίσκεται στο Εργαστήριο Μικροκυματικών Επικοινωνιών.

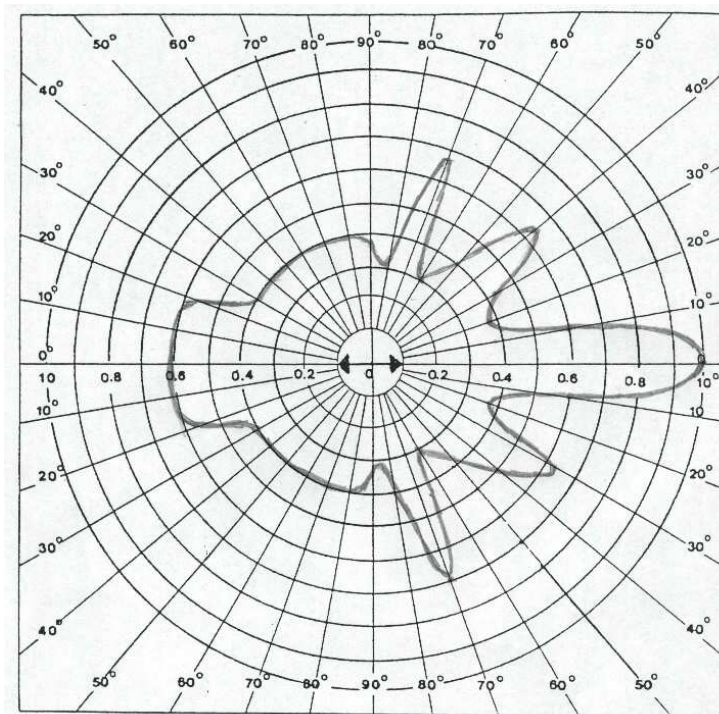
Σε όλες τις μετρήσεις τροφοδοτούμε τις κεραίες με ισχύ 0 dBm, ενώ πειραματικά βρίσκουμε τις συχνότητες στις οποίες η κεραία έχει μέγιστη ακτινοβολία:

Συχνότητες (MHz)	Τάση στον δέκτη (mV)
619	0,8
685	0,6
756	1
835	0,8
880 μέχρι 900	1
972	0,8
1039	0,8
1048	0,9
1187 μέχρι 1201	1
1408	0,85
1409 μέχρι 1420	1

Με βάση τις καλύτερες μετρήσεις στάσιμων κυμάτων και ακτινοβολίας, επιλέγουμε 3 συχνότητες στις οποίες μελετάμε το διάγραμμα ακτινοβολίας και υπολογίζουμε την κατευθυντικότητα και τη γωνία μισής ισχύος.

Για να κάνουμε τις μετρήσεις ακτινοβολίας, χρησιμοποιούμε μια δίοδο στερεωμένη μπροστά από ένα τετραγωνικό κομμάτι μετάλλου σε ρόλο ανακλαστήρα, που με τη σειρά του ήταν στερεωμένος πάνω σε μονωτικό σωλήνα με ύψος ίδιο με την κεραία εκπομπής LPDA. Τοποθετήσαμε την δίοδο σε μια απόσταση περίπου 50 cm από την κεραία εκπομπής και περιστρέψαμε την κεραία εκπομπής γύρω από τον εαυτό της από 0° έως 180° και σημειώναμε την ένδειξη σε mV ανά 10°. Μετά κανονικοποιούμε τις μετρήσεις και σχηματίζουμε το διάγραμμα ακτινοβολίας (διάγραμμα έντασης ηλεκτρικού πεδίου).

**Διάγραμμα ακτινοβολίας της LPDA εύρους 500-2500 MHz για τη συχνότητα 835 MHz**



Γωνία περιστροφής (μοίρες)	Τάση στον δέκτη (mV)
0	0,8
10	0,4
20	0,3
30	0,35
40	0,6
50	0,35
60	0,25
70	0,55
80	0,25
90	0,3
100	0,3
110	0,3
120	0,3
130	0,3
140	0,3
150	0,3
160	0,4
170	0,4
180	0,4

Το διάγραμμα της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου έχει ένα κύριο λοβό, τέσσερις πλάγιους λοβούς και έναν οπίσθιο λοβό ακτινοβολίας. Ωστόσο και ανάμεσα στους λοβούς η κεραία ακτινοβολεί, αντίθετα με τα αναμενόμενα. Για αυτό μάλλον ευθύνονται οι αντανακλάσεις από τα μεταλλικά αντικείμενα που βρισκόταν κοντά στο χώρο των μετρήσεων.

Τώρα για να βρούμε την κατευθυντικότητα υπολογίζουμε:

$$R_{\text{mean}} = \sqrt{\frac{E}{\pi}} = \sqrt{\frac{50\text{cm}^2}{3,14}} = 3,99 \text{ cm},$$

όπου  $R_{\text{mean}}$  είναι η ακτίνα που θα είχε η κεραία αν ακτινοβολούσε ιστροπικά και  $E$  είναι το εμβαδόν του διαγράμματος ακτινοβολίας της.

$$R_{\text{max}} = 8,5 \text{ cm και}$$

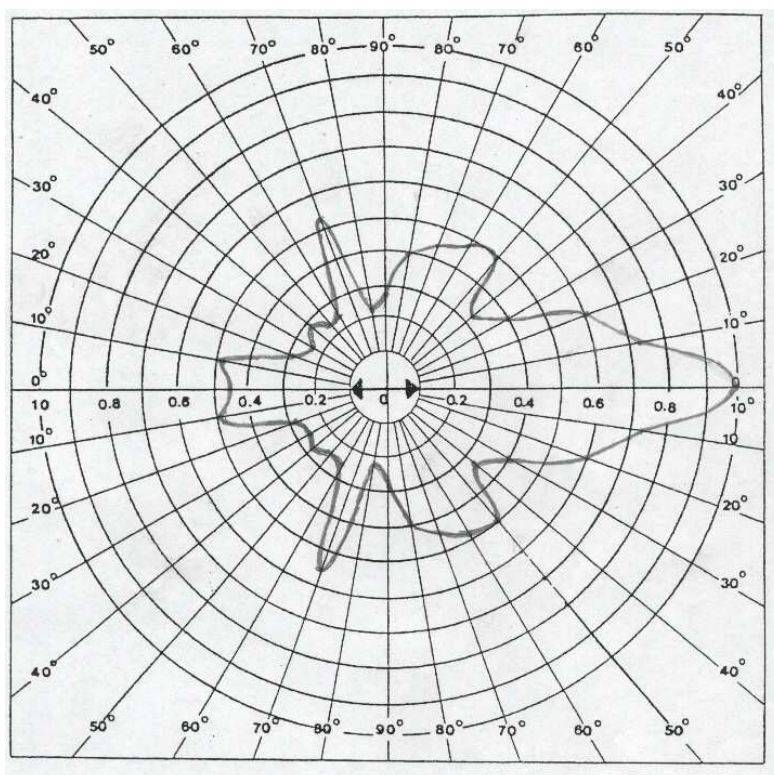
$$D(\text{dB}) = 20 \log \frac{R_{\text{max}}}{R_{\text{mean}}} = 6,56 \text{ dB.}$$

Βλέπουμε πως η κατευθυντικότητα  $D$  που μετρήσαμε πειραματικά είναι ίδια με την αναμενόμενη θεωρητική.

Επίσης η γωνία μισής ισχύος οριζόμενη στο 0,707 της μέγιστης έντασης του πεδίου της κεραίας (αφού αναφέρεται σε διάγραμμα έντασης ηλεκτρικού πεδίου) είναι 18 μοίρες.

**Διάγραμμα ακτινοβολίας της LPDA εύρους 500-2500 MHz για τη συχνότητα 1048 MHz**

Γωνία περιστροφής (μοίρες)	Τάση στον δέκτη (Volt)
0	0,9
10	0,65
20	0,45
30	0,35
40	0,3
50	0,45
60	0,45
70	0,4
80	0,35
90	0,25
100	0,2
110	0,5
120	0,2
130	0,2
140	0,25
150	0,2
160	0,25
170	0,45
180	0,4



Το διάγραμμα αυτό έχει τον κύριο λοβό, τέσσερις λίγο μεγαλύτερους πλάγιους λοβούς, δυο πολύ μικρούς πλάγιους λοβούς και έναν οπίσθιο λοβό ακτινοβολίας. Επίσης βλέπουμε ότι η κεραία ακτινοβολεί και ανάμεσα σε αυτούς τους λοβούς.

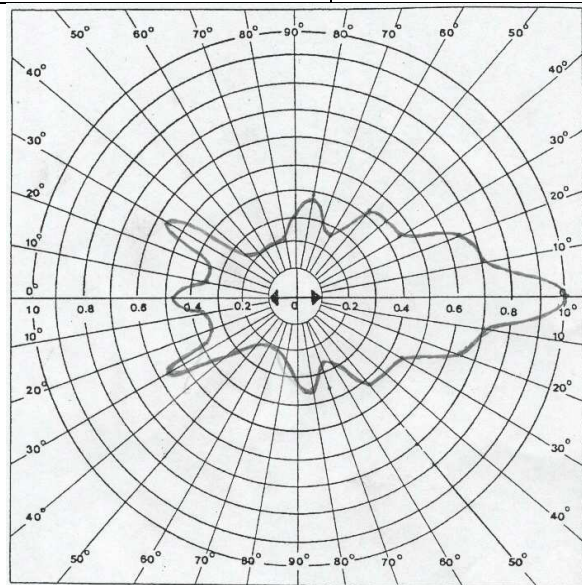
$$R_{\text{mean}} = \sqrt{\frac{E}{\pi}} = \sqrt{\frac{40,5\text{cm}^2}{3,14}} = 3,59 \text{ cm}$$

$$D(\text{dB}) = 20 \log \frac{R_{\text{max}}}{R_{\text{mean}}} = 20 \log \frac{8,5\text{cm}}{3,59\text{cm}} = 7,49\text{dB}$$

Παρατηρούμε πως για τη συχνότητα των 1.048 MHz, η κατευθυντικότητα D ξεπερνά την θεωρητική τιμή, ενώ η γωνία μισής ισχύος είναι 23 μοίρες.

**Διάγραμμα ακτινοβολίας της LPDA εύρους 500-2500 MHz για τη συχνότητα 1408 MHz**

Γωνία περιστροφής (μοίρες)	Τάση στο δέκτη (Volt)
0	0,85
10	0,6
20	0,55
30	0,4
40	0,4
50	0,4
60	0,3
70	0,35
80	0,4
90	0,35
100	0,25
110	0,25
120	0,25
130	0,25
140	0,3
150	0,5
160	0,3
170	0,3
180	0,4



Το διάγραμμα αυτό έχει έναν κύριο λοβό, 6 μικρούς πλάγιους λοβούς και 3 οπίσθιους λοβούς ακτινοβολίας. Επίσης η κεραία ακτινοβολεί και ανάμεσα σε αυτούς τους λοβούς.

$$R_{\text{mean}} = \sqrt{\frac{E}{\pi}} = \sqrt{\frac{44,75\text{cm}^2}{3,14}} = 3,77 \text{ cm}$$

$$D(\text{dB}) = 20 \log \frac{R_{\text{max}}}{R_{\text{mean}}} = \frac{8,5\text{cm}}{3,77\text{cm}} = 7,06 \text{ dB}$$

Παρατηρούμε πως και για τη συχνότητα των 1.408 MHz, η κατευθυντικότητα  $D$  ξεπερνά την αντίστοιχη θεωρητική τιμή, και η γωνία μισής ισχύος είναι 21 μοίρες.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### ΣΧΕΔΙΑΣΗ LPDA ΜΕ ΕΥΡΟΣ ΖΩΝΗΣ 1920-2170 MHz

Για τη σχεδίαση και αυτής της κεραίας κάνουμε τα ίδια βήματα όπως και στο προηγούμενο κεφάλαιο, αλλάζοντας μόνο το εύρος ζώνης. Επιλέγουμε κατευθυντικότητα  $D=10.5$  dB.

$$\sigma = 0,18 \quad \tau = 0,963$$

Επιλέγουμε για κεντρικούς σωλήνες (boom) τετράγωνους σωλήνες με πλευρά 1 cm.

Υπολογίζουμε το εύρος ζώνης και τη γωνία  $\alpha$ :

$$B = \frac{2170}{1920} = 1,1302,$$

$$\cot \alpha = \frac{4\sigma}{1-\tau} = \frac{4 \cdot 0,18}{1-0,963} = 19,459.$$

Υπολογίζουμε το εύρος ζώνης της ενεργού περιοχής:

$$Bar = 1,1 + 7,7(1-\tau)^2 \cot \alpha = 1,1 + 7,7 \cdot (1-0,963)^2 \cdot 19,459 = 1,3051,$$

και το εύρος ζώνης της σχεδίασης:

$$Bs = B \cdot Bar = 1,1302 \cdot 1,3051 = 1,4751.$$

Κατόπιν υπολογίζουμε το μέγιστο μήκος κύματος της συχνότητας τροφοδότησης της κεραίας:

$$\lambda_{\max} = \frac{c}{f_{\min}} = \frac{300}{1920 \text{ MHz}} = 0,15625 \text{ m},$$

και το συνολικό μήκος της κεραίας:

$$L = \frac{\lambda_{\max}}{4} \left(1 - \frac{1}{Bs}\right) \cot \alpha = \frac{0,15625}{4} \cdot \left(1 - \frac{1}{1,4751}\right) \cdot 19,459 = 0,245 \text{ m}.$$

Αντικαθιστώντας στην προηγούμενη σχέση βρίσκουμε τον αριθμό των στοιχείων της LPDA:

$$N = 1 + \frac{\log(Bs)}{\log(1/\tau)} = 1 + \frac{\log(1,4751)}{\log\left(\frac{1}{0,963}\right)} = 11,31 \Rightarrow 11 \text{ στοιχεία}.$$

Υπολογίζουμε το μήκος του μεγαλύτερου στοιχείου:

$$l_1 = \frac{\lambda_{\max}}{2} = \frac{0,15625 \text{ m}}{2} = 7,81 \text{ cm},$$

καθώς και τα υπόλοιπα  $l_2 = l_1 \tau, \dots, l_{11} = l_{10} \tau$  με αποτέλεσμα:

$$l_1 = 7,81 \text{ cm}$$

$$l_2 = 7,52 \text{ cm}$$

$$l_3 = 7,24 \text{ cm}$$

$$l_4 = 6,97 \text{ cm}$$

$$l_5 = 6,72 \text{ cm}$$

$$l_6 = 6,47 \text{ cm}$$

$$l_7 = 6,23 \text{ cm}$$

$$l_8 = 6 \text{ cm}$$

$$l_9 = 5,78 \text{ cm}$$

$$l_{10} = 5,56 \text{ cm}$$

$$l_{11} = 5,36 \text{ cm}$$

Υπολογίζουμε την απόσταση του μεγαλύτερου στοιχείου της κεραίας  $l_1$  από την κορυφή του τριγώνου (γωνία  $\alpha$ ), από το γεωμετρικό σχήμα της κεραίας ως εξής:

$$R_1 = \cot \alpha \cdot \frac{l_1}{2} = 19,459 \cdot \frac{7,81}{2} = 75 \text{ cm}.$$

Τώρα αρχίζουμε από εκεί να μετράμε τις αποστάσεις μεταξύ των υπολοίπων στοιχείων, υπολογίζοντας την απόσταση  $d_{1,2}$  και μετά τις υπόλοιπες  $d_{2,3}, \dots, d_{10,11}$ :

$$d_{1,2} = \frac{1}{2}(l_1 - l_2) \cot \alpha = \frac{1}{2} * (7.81 - 7.52) * 19,459 = 2.81 \text{ cm},$$

$$d_{2,3} = d_{1,2} \cdot \tau, \dots, d_{10,11} = d_{9,10} \cdot \tau,$$

$$d_{1,2} = 2,81 \text{ cm}$$

$$d_{2,3} = 2,71 \text{ cm}$$

$$d_{3,4} = 2,61 \text{ cm}$$

$$d_{4,5} = 2,51 \text{ cm}$$

$$d_{5,6} = 2,42 \text{ cm}$$

$$d_{6,7} = 2,33 \text{ cm}$$

$$d_{7,8} = 2,24 \text{ cm}$$

$$d_{8,9} = 2,16 \text{ cm}$$

$$d_{9,10} = 2,1 \text{ cm}$$

$$d_{10,11} = 2 \text{ cm}$$

Στη συνέχεια θα βρούμε τις διαμέτρους των στοιχείων. Υπολογίζουμε λοιπόν τη χαρακτηριστική σύνθετη αντίσταση της τροφοδοσίας της κεραίας:

$$Z_0 = \frac{R_0^2}{8\sigma' Z_{av}} + R_0 \sqrt{\left(\frac{R_0}{8\sigma' Z_{av}}\right)^2 + 1},$$

όπου  $R_0 = 50\Omega$ ,  $\sigma'$  ο κεντρικός συντελεστής διαστήματος με τιμή:

$$\sigma' = \frac{\sigma}{\sqrt{\tau}} = \frac{0,18}{\sqrt{0,963}} = 0,1834$$



και  $Z_{av}$  η μέση χαρακτηριστική σύνθετη αντίσταση του ενός διπόλου με τιμή:

$$Z_{av} = 120 \cdot \left[ \ln\left(\frac{l}{d_n}\right) - 2,25 \right] \quad (\text{όπου } l \text{ είναι το μήκος του ενός διπόλου και } d_n \text{ η διάμετρος του}).$$

Τώρα χρησιμοποιώντας το μεγαλύτερο στοιχείο της κεραίας έχουμε:

$$Z_{av} = 120 \left[ \ln\left(\frac{l_{\max}}{d_{\max}}\right) - 2,25 \right],$$

και επειδή θέλουμε η  $Z_0$  να είναι περίπου 50-60  $\Omega$ , βρίσκουμε κατάλληλο  $Z_{av}$ :

$$\text{για } Z_{av} = 250 \Omega \Rightarrow Z_0 = \frac{50^2}{8 * 0,1834 * 250} + 50 * \sqrt{\left(\frac{50}{8 * 0,1834 * 250}\right)^2 + 1} = 57,28 \Omega.$$

Οπότε για  $Z_{av} = 250 \Omega$  βρίσκουμε τη διάμετρο του πρώτου στοιχείου ( $d_1$ ):

$$Z_{av} = 120 \left[ \ln\left(\frac{l}{d_1}\right) - 2,25 \right] \Rightarrow d_1 = 1,03 \text{ mm},$$

καθώς και τα υπόλοιπα  $d_2 = d_1 \tau, \dots, d_{11} = d_{10} \tau$ , και αφού  $l_2 = l_1 \tau, \dots, l_{11} = l_{10} \tau$ , γενικά πρέπει να ισχύει:

$$\frac{l_1}{d_1} = \frac{l_2}{d_2} = \dots = \frac{l_{11}}{d_{11}},$$

ώστε να είναι πάντα η  $Z_{av} = 250 \Omega$ .

Οπότε θεωρητικά οι διάμετροι των στοιχείων είναι:

$$d_1 = 1,03 \text{ mm}$$

$$d_2 = 0,99 \text{ mm}$$

$$d_3 = 0,95 \text{ mm}$$

$$d_4 = 0,92 \text{ mm}$$

$$d_5 = 0,88 \text{ mm}$$

$$d_6 = 0,85 \text{ mm}$$

$$d_7 = 0,82 \text{ mm}$$

$$d_8 = 0,79 \text{ mm}$$

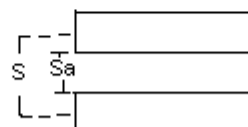
$$d_9 = 0,76 \text{ mm}$$

$$d_{10} = 0,73 \text{ mm}$$

$$d_{11} = 0,7 \text{ mm}$$

Επειδή είναι αδύνατο να βρούμε τέτοιες διαμέτρους στο εμπόριο, χρησιμοποιούμε διάμετρο 2 mm για όλα τα στοιχεία.

Τέλος υπολογίζουμε την απόσταση  $S$  από κέντρο σε κέντρο μεταξύ των 2 boom,



η οποία αν τα boom ήταν κυλινδρικά θα ήταν:

$$S = d \cosh\left(\frac{Z_0}{120}\right) \Rightarrow S = \sqrt{\frac{4E}{\pi}} \cdot \cos\left(\frac{Z_0}{120}\right),$$

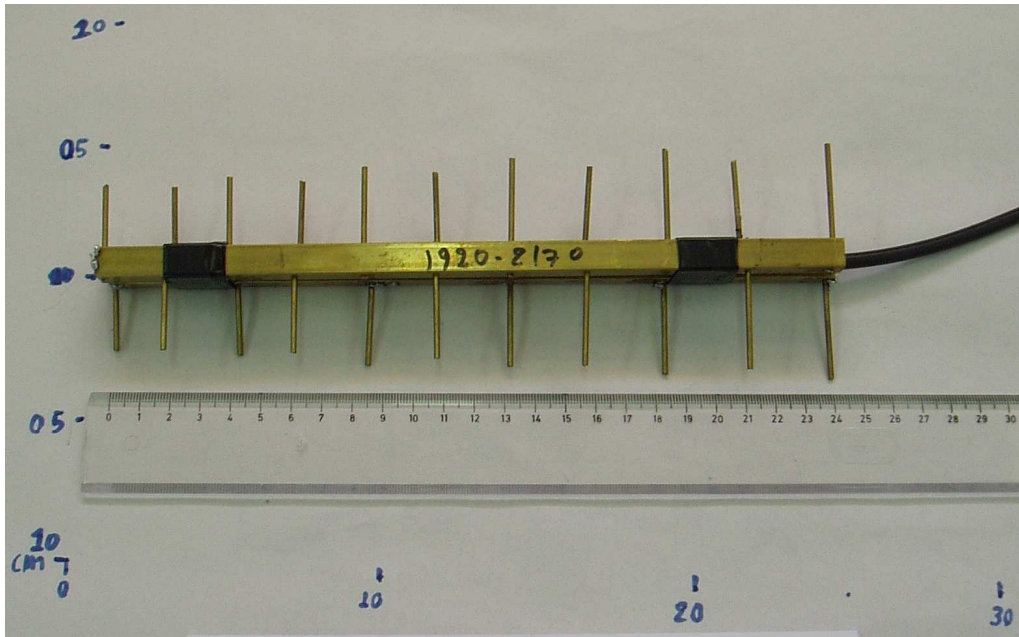
όπου  $d$  η διάμετρος του boom και  $E$  η κάθετος επιφάνεια της τομής του κυλινδρικού σωλήνα.

Επειδή όμως ο τύπος είναι για κύλινδρο και το boom είναι τετράγωνο έχουμε:

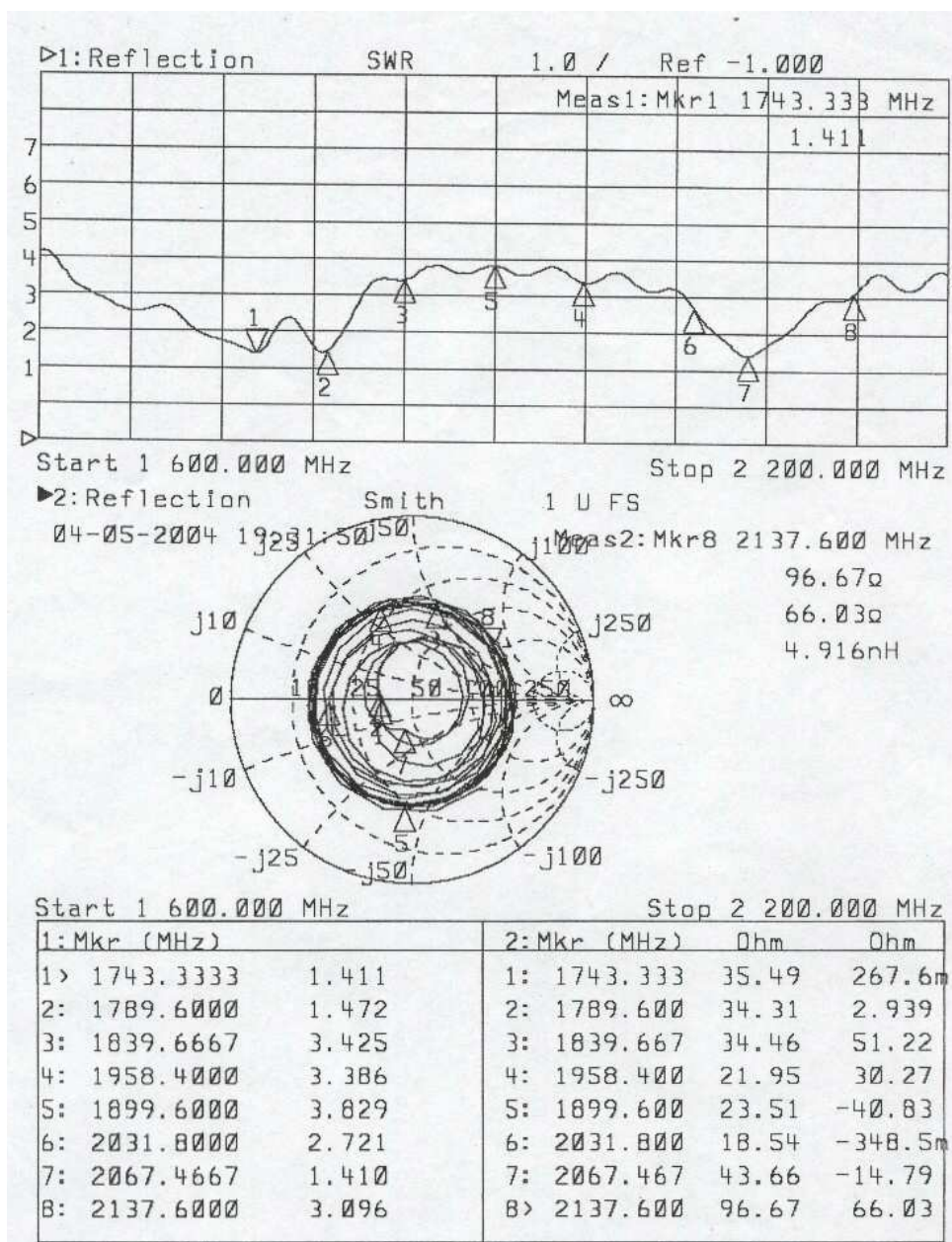
$$S = \frac{2a}{\sqrt{\pi}} \cosh \frac{Z_0}{120} = \frac{2 * 1}{\sqrt{3,14}} * \cos\left(\frac{57,28}{120}\right) = 1,26 \text{ cm}.$$

Έτσι η απόσταση των 2 boom από άκρη σε άκρη είναι:

$$S_a = 1,26 - 1 = 2,6 \text{ mm}.$$



### Μετρήσεις Κεραίας LPDA 1920-2170 MHz



Βλέπουμε ότι τα στάσιμα κύματα (SWR) μεταβάλλονται σε όλο το εύρος ζώνης από 1,410 μέχρι και 3,829. Δυστυχώς τα στάσιμα είναι απαράδεκτα για τις συχνότητες που σχεδιάστηκε η κεραία. Επίσης η πραγματική αντίσταση της κεραίας  $R_o$  μεταβάλλεται από 18.54 Ω μέχρι 96.67 Ω.

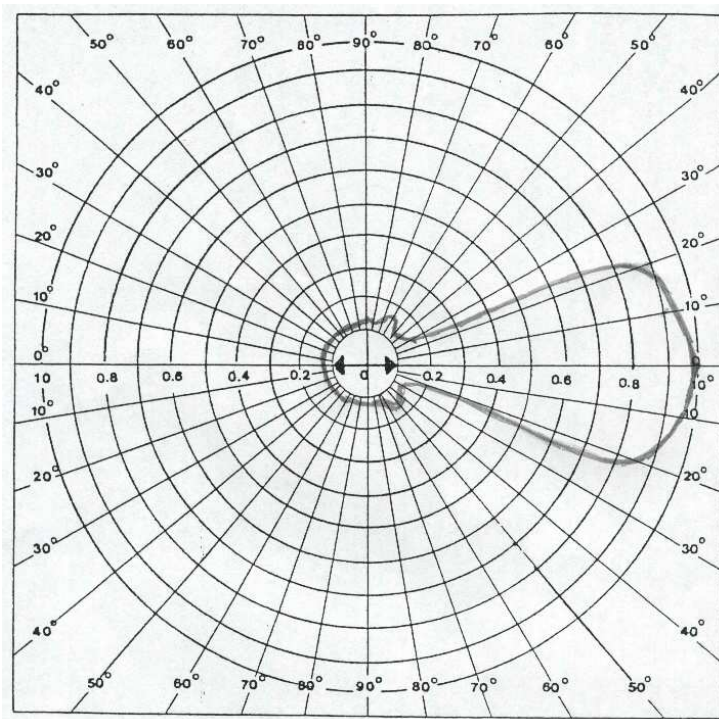
Πειραματικά βρήκαμε ότι η κεραία αυτή ακτινοβολεί πολύ καλά έξω από το εύρος ζώνης για το οποίο σχεδιάστηκε, ενώ μέσα σε αυτό ακτινοβολεί καλά μόνο στη συχνότητα 1932 MHz, ενώ στις υπόλοιπες συχνότητες του εύρους ζώνης της ακτινοβολεί πολύ χαμηλά.

Οι συχνότητες στις οποίες η κεραία αυτή έχει μέγιστη ακτινοβολία είναι οι ακόλουθες:

MHz	mV
137	1,2

MHz	mV
149	1
234	0,7
542	1
615	1
675	1
747	1
824	0,9
1034	0,7
1101	1
1186	0.6
1932	1

**Διάγραμμα ακτινοβολίας της LPDA εύρους 1920-2170 MHz για τη συχνότητα 1932 MHz**



Γωνία περιστροφής (μοίρες)	Τάση στο δέκτη (Volt)
0	1
10	0.92
20	0,9
30	0,6
40	0,3
50	0,1
60	0,08
70	0,1
80	0,15
90	0,2
100	0,2

Γωνία περιστροφής (μοίρες)	Τάση στο δέκτη (Volt)
110	0,2
120	0,1
130	0,1
140	0,12
150	0,12
160	0,15
170	0,1
180	0,1

Βλέπουμε ότι το διάγραμμα έχει έναν κύριο λοβό και δύο πολύ μικρούς πλάγιους λοβούς.

$$R_{\text{mean}} = \sqrt{\frac{E}{\pi}} = \sqrt{\frac{25,75\text{cm}^2}{3,14}} = 2,86 \text{ cm},$$

$$D(\text{dB}) = 20 \log \frac{R_{\text{max}}}{R_{\text{mean}}} = 20 \log \frac{8,5\text{cm}}{2,86\text{cm}} = 9,46 \text{ dB}.$$

Για αυτήν τη συχνότητα βλέπουμε πως η κατευθυντικότητα  $D$  έχει πλησιάσει αρκετά τη θεωρητική τιμή που είναι 10,5 dB. Η γωνία μισής ισχύος είναι 45 μοίρες.

Δυστυχώς και σε αυτή την κεραία δεν είχαμε τη δυνατότητα μετρήσεων και ελέγχου πάνω από τους 2 GHz, επειδή η διαθέσιμη γεννήτρια δεν ξεπερνά αυτή τη συχνότητα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

### ΣΧΕΔΙΑΣΗ LPDA ΜΕ ΕΥΡΟΣ ΖΩΝΗΣ 1710-1880 MHz

Ακολουθώντας τα ίδια βήματα με αυτά του Κεφαλαίου 3, επιλέγουμε κατευθυντικότητα  $D=10,5$  dB,

$$\sigma = 0,18 \quad \tau = 0,963.$$

Επιλέγουμε για κεντρικούς σωλήνες (boom) τετράγωνους σωλήνες με πλευρά 1 cm.

Υπολογίζουμε το εύρος ζώνης και τη γωνία  $a$ :

$$B = \frac{f_{\max}}{f_{\min}} = \frac{1880}{1710} = 1,0994,$$

$$\cot a = \frac{4\sigma}{1-\tau} = \frac{4 \cdot 0,18}{1-0,963} = 19,459.$$

Υπολογίζουμε το εύρος ζώνης της ενεργού περιοχής:

$$B_{ar} = 1,1 + 7,7(1-\tau)^2 \cot a = 1,1 + 7,7 \cdot (1-0,963)^2 \cdot 19,459 = 1,3051,$$

και το εύρος ζώνης της σχεδίασης:

$$B_s = B \cdot B_{ar} = 1,0994 \cdot 1,3051 = 1,4349.$$

Υπολογίζουμε το μέγιστο μήκος κύματος της συχνότητας τροφοδότησης της κεραίας:

$$\lambda_{\max} = \frac{c}{f_{\min}} = \frac{300}{1710 \text{ MHz}} = 0,1754 \text{ m}.$$

Το συνολικό μήκος της κεραίας υπολογίζεται:

$$L = \frac{\lambda_{\max}}{4} \left(1 - \frac{1}{B_s}\right) \cot a = \frac{0,1754}{4} \cdot \left(1 - \frac{1}{1,4349}\right) \cdot 19,459 = 0,259 \text{ m},$$

και ο αριθμός των στοιχείων της κεραίας:

$$N = 1 + \frac{\log(B_s)}{\log(1/\tau)} = 1 + \frac{\log(1,4349)}{\log\left(\frac{1}{0,963}\right)} = 10,57 \Rightarrow 10 \text{ στοιχεία}.$$

Υπολογίζουμε το μεγαλύτερο στοιχείο:

$$l_1 = \frac{\lambda_{\max}}{2} = \frac{0,1754 \text{ m}}{2} = 8,77 \text{ cm}$$

και τα υπόλοιπα:

$$l_2 = l_1 \tau, \dots, l_{11} = l_{10} \tau,$$

οπότε:

$$\begin{aligned}
 l_1 &= 8,77 \text{ cm} \\
 l_2 &= 8,44 \text{ cm} \\
 l_3 &= 8,13 \text{ cm} \\
 l_4 &= 7,83 \text{ cm} \\
 l_5 &= 7,54 \text{ cm} \\
 l_6 &= 7,26 \text{ cm} \\
 l_7 &= 6,99 \text{ cm} \\
 l_8 &= 6,73 \text{ cm} \\
 l_9 &= 6,49 \text{ cm} \\
 l_{10} &= 6,24 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Υπολογίζουμε την απόσταση του μεγαλύτερου στοιχείου της κεραίας  $l_1$  από την κορυφή του τριγώνου (γωνία  $\alpha$ ), από το γεωμετρικό σχήμα της κεραίας ως εξής:

$$R_1 = \cot \alpha \cdot \frac{l_1}{2} = 19,459 \cdot \frac{8,77}{2} = 85,33 \text{ cm} .$$

Τώρα αρχίζουμε από εκεί να μετράμε τις αποστάσεις μεταξύ των υπολοίπων στοιχείων, συγκεκριμένα θα υπολογίσουμε την απόσταση  $d_{1,2}$  και μετά τις υπόλοιπες  $d_{2,3}, \dots, d_{10,11}$  :

$$d_{1,2} = \frac{1}{2}(l_1 - l_2) \cot \alpha = \frac{1}{2} * (8,77 - 8,45) * 19,459 = 3,16 \text{ cm} ,$$

$$d_{2,3} = d_{1,2} \tau, \dots, d_{10,11} = d_{9,10} \tau$$

και έτσι έχουμε:

$$\begin{aligned}
 d_{1,2} &= 3,16 \text{ cm} \\
 d_{2,3} &= 3,04 \text{ cm} \\
 d_{3,4} &= 2,93 \text{ cm} \\
 d_{4,5} &= 2,82 \text{ cm} \\
 d_{5,6} &= 2,72 \text{ cm} \\
 d_{6,7} &= 2,62 \text{ cm} \\
 d_{7,8} &= 2,52 \text{ cm} \\
 d_{8,9} &= 2,42 \text{ cm} \\
 d_{9,10} &= 2,33 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

Στη συνέχεια θα βρούμε τις διαμέτρους των στοιχείων. Υπολογίζουμε λοιπόν τη χαρακτηριστική σύνθετη αντίσταση της τροφοδοσίας της κεραίας:

$$Z_0 = \frac{R_0^2}{8\sigma' Z_{av}} + R_0 \sqrt{\left(\frac{R_0}{8\sigma' Z_{av}}\right)^2 + 1} ,$$

όπου  $R_0$   $50\Omega$ ,  $\sigma'$  ο κεντρικός συντελεστής διαστήματος με τιμή:

$$\sigma' = \frac{\sigma}{\sqrt{\tau}} = \frac{0,18}{\sqrt{0,963}} = 0,1834$$

και  $Z_{av}$  η μέση χαρακτηριστική σύνθετη αντίσταση του ενός διπόλου με τιμή:

$$Z_{αν} = 120 \cdot \left[ \ln\left(\frac{l_n}{d_n}\right) - 2,25 \right] \text{ (όπου } l_n \text{ είναι το μήκος του ενός διπόλου και } d_n \text{ η διάμετρος του).}$$

Τώρα χρησιμοποιώντας το μεγαλύτερο στοιχείο της κεραίας έχουμε:

$$Z_{αν} = 120 \left[ \ln\left(\frac{l_{\max}}{d_{\max}}\right) - 2,25 \right],$$

και επειδή θέλουμε η  $Z_0$  να είναι περίπου 50-60 Ω, βρίσκουμε κατάλληλο  $Z_{αν}$ :

$$\text{για } Z_{αν} = 250\Omega \Rightarrow Z_0 = \frac{50^2}{8 * 0,1834 * 250} + 50 * \sqrt{\left(\frac{50}{8 * 0,1834 * 250}\right)^2 + 1} = 57,28\Omega.$$

Οπότε για  $Z_{αν} = 250\Omega$  βρίσκουμε τη διάμετρο του πρώτου στοιχείου ( $d_1$ ):

$$Z_{αν} = 120 \left[ \ln\left(\frac{l_1}{d_1}\right) - 2,25 \right] \Rightarrow d_1 = 1,03 \text{ mm},$$

καθώς και των υπολοίπων  $d_2 = d_1 \tau, \dots, d_{11} = d_{10} \tau$ , και επειδή  $l_2 = l_1 \tau, \dots, l_{11} = l_{10} \tau$ , γενικά πρέπει να ισχύει:

$$\frac{l_1}{d_1} = \frac{l_2}{d_2} = \dots = \frac{l_{11}}{d_{11}},$$

για να είναι η  $Z_{αν} = 250 \Omega$  πάντα. Οπότε θεωρητικά οι διαμέτροι των στοιχείων είναι:

$$d_1 = 1,15 \text{ mm}$$

$$d_2 = 1,11 \text{ mm}$$

$$d_3 = 1,07 \text{ mm}$$

$$d_4 = 1,03 \text{ mm}$$

$$d_5 = 0,99 \text{ mm}$$

$$d_6 = 0,95 \text{ mm}$$

$$d_7 = 0,92 \text{ mm}$$

$$d_8 = 0,88 \text{ mm}$$

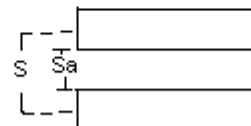
$$d_9 = 0,85 \text{ mm}$$

$$d_{10} = 0,81 \text{ mm}$$

Τέτοιες διαμέτρους είναι αδύνατο να βρούμε στο εμπόριο οπότε χρησιμοποιούμε διάμετρο 2mm για όλα τα στοιχεία

Τέλος υπολογίζουμε την απόσταση  $S$  μεταξύ των 2 boom, που από κέντρο σε κέντρο (αν τα boom ήταν κυλινδρικά) είναι:

$$S = d \cdot \cosh\left(\frac{Z_0}{120}\right) \Rightarrow S = \sqrt{\frac{4E}{\pi}} \cdot \cos\left(\frac{Z_0}{120}\right),$$



όπου  $d$  η διάμετρος του boom και  $E$  η κάθετος επιφάνεια της τομής του κυλινδρικού σωλήνα.

Επειδή ο τύπος είναι για κύλινδρο και το boom είναι τετράγωνο έχουμε :

$$S = \frac{2a}{\sqrt{\pi}} \cdot \cosh\left(\frac{Z_0}{120}\right) = \frac{2 * 1}{\sqrt{3,14}} * \cos\left(\frac{57,28}{120}\right) \Rightarrow S = 1,26 \text{ cm},$$

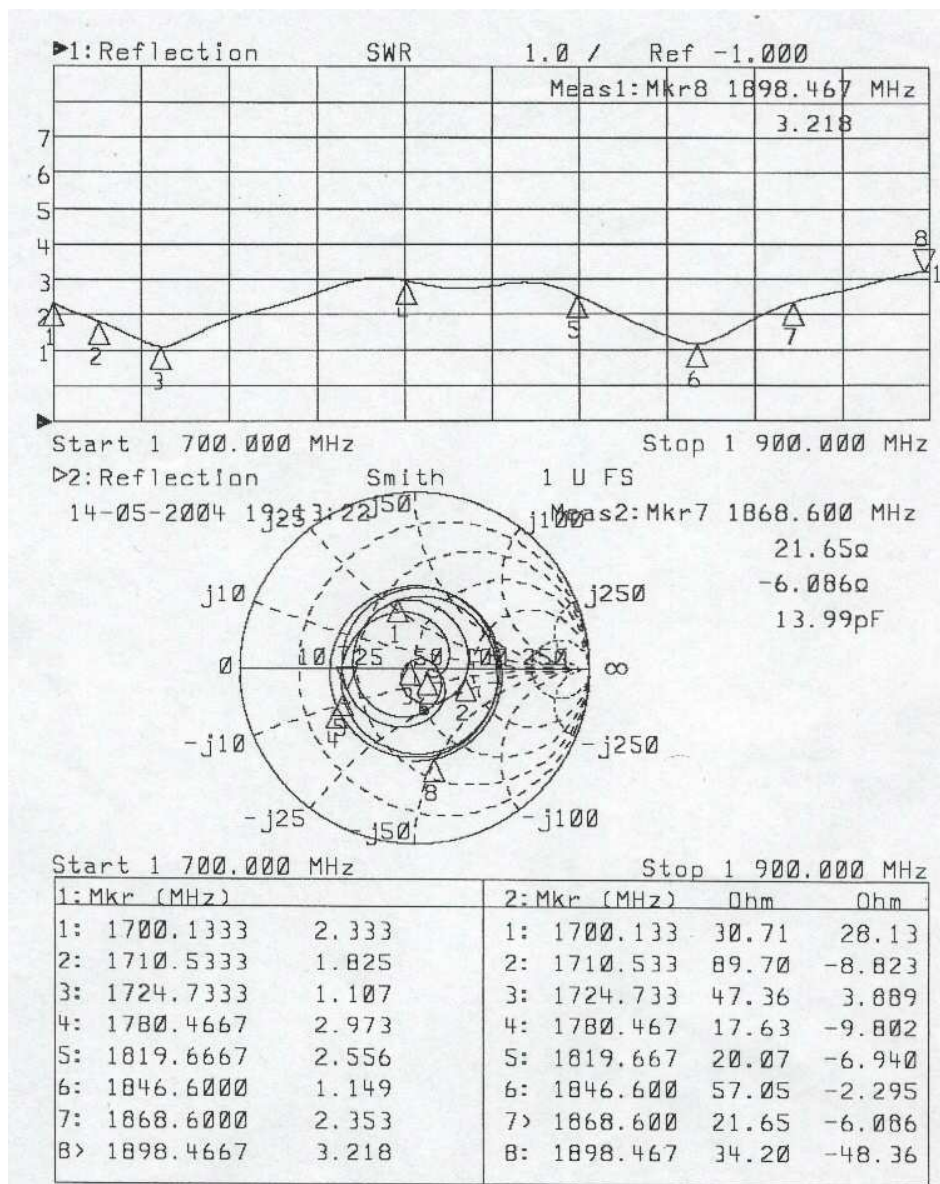
οπότε η απόσταση των 2 boom από άκρη σε άκρη είναι:

$$S_a = 1,26 - 1 = 2,6 \text{ mm}.$$



### Μετρήσεις Κεραίας LPDA 1710-1880 MHz

Παρακάτω βλέπουμε την καμπύλη των στάσιμων κυμάτων σε όλο το εύρος ζώνης της κεραίας. Βλέπουμε επίσης τα στάσιμα σε 8 συχνότητες αυτής και την πραγματική αντίσταση της σε κάθε συχνότητα.



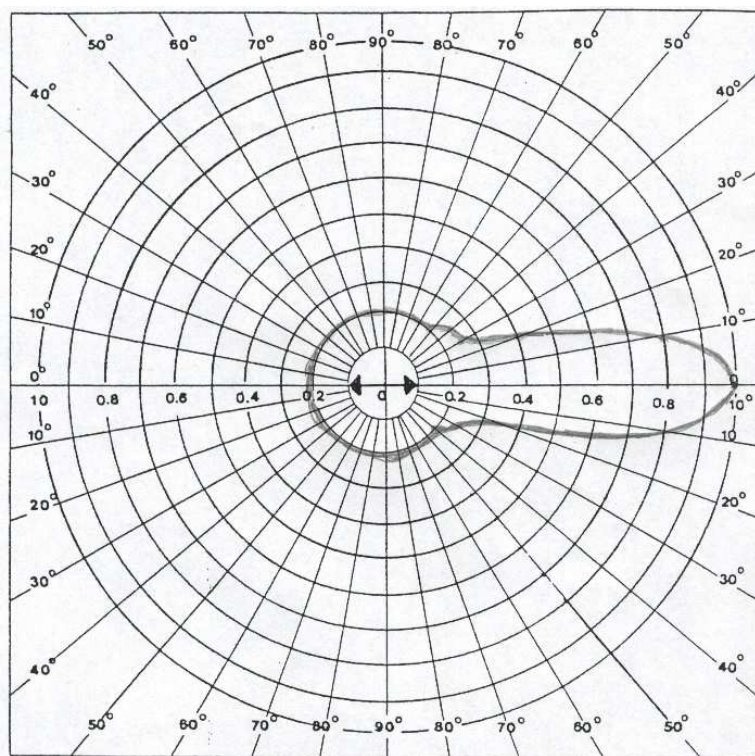
Βλέπουμε ότι τα στάσιμα κύματα (SWR) μεταβάλλονται σε όλο το εύρος ζώνης από 1,107 μέχρι και 3. Όπως βλέπουμε σε αρκετές συχνότητες τα στάσιμα είναι υψηλά. Επίσης η πραγματική αντίσταση της κεραίας  $R_o$  μεταβάλλεται από 17,63 Ω μέχρι 89,7 Ω, δηλαδή έχει τιμές όχι πολύ καλές, αφού θα έπρεπε να είναι γύρω στα 50 Ω.

Πειραματικά βρίσκουμε τις συχνότητες στις οποίες η κεραία έχει μέγιστη ακτινοβολία:

MHz	mV
1710	1
1746	0,5
1760	0.5
1846	0.45

**Διάγραμμα ακτινοβολίας της LPDA εύρους 1710-1880 MHz για τη συχνότητα 1710 MHz**

Γωνία περιστροφής (μοίρες)	Τάση στο δέκτη (mVolt)
0	1
10	0,8
20	0,4
30	0,25
40	0,25
50	0,2
60	0,2
70	0,2
80	0,2
90	0,2
100	0,15
110	0,15
120	0,2
130	0,2
140	0,2
150	0,2
160	0,2
170	0,2
180	0,2



Βλέπουμε ότι το διάγραμμα έχει μόνο έναν κεντρικό λοβό.

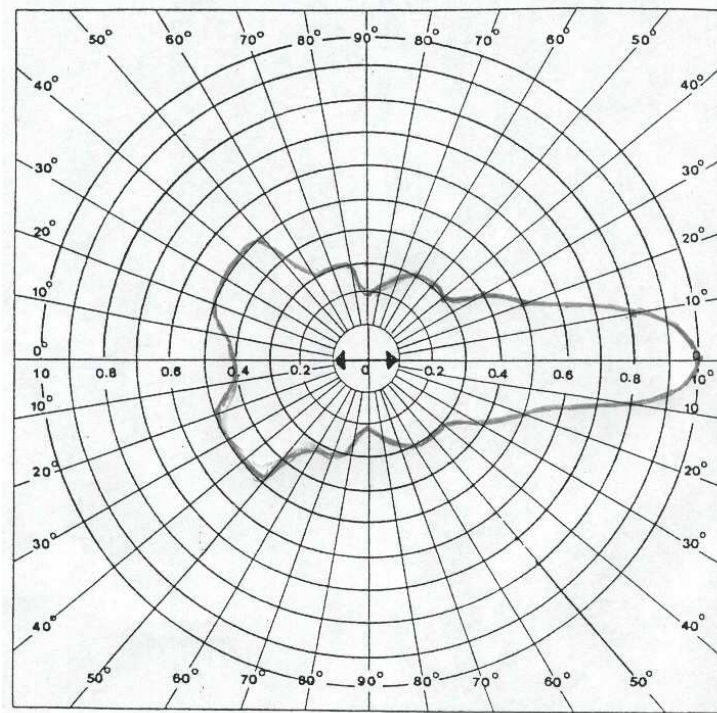
$$R_{\text{mean}} = \sqrt{\frac{E}{\pi}} = \sqrt{\frac{22,5\text{cm}^2}{3,14}} = 2,67 \text{ cm,}$$

$$D(\text{dB}) = 20 \log \frac{R_{\text{max}}}{R_{\text{mean}}} = 20 \log \frac{8,5\text{cm}}{2,67\text{cm}} = 10 \text{ dB.}$$

Για αυτήν τη συχνότητα η κατευθυντικότητα  $D$  πλησιάζει την θεωρητική τιμή της, που είναι 10,5 dB. Η γωνία μισής ισχύος είναι 24 μοίρες.

**Διάγραμμα ακτινοβολίας της LPDA εύρους 1710-1880 MHz για τη συχνότητα 1724 MHz**

Γωνία περιστροφής (μοίρες)	Τάση στο δέκτη (Volt)
0	0,5
10	0,4
20	0,25
30	0,2
40	0,15
50	0,15
60	0,15
70	0,15
80	0,12
90	0,1
100	0,15
110	0,15
120	0,15
130	0,25
140	0,25
150	0,25
160	0,25
170	0,2
180	0,2



Βλέπουμε ότι έχει έναν κύριο λοβό, τέσσερις μικρούς πλάγιους λοβούς και δύο οπίσθιους μικρούς λοβούς ακτινοβολίας. Εξάλλου:

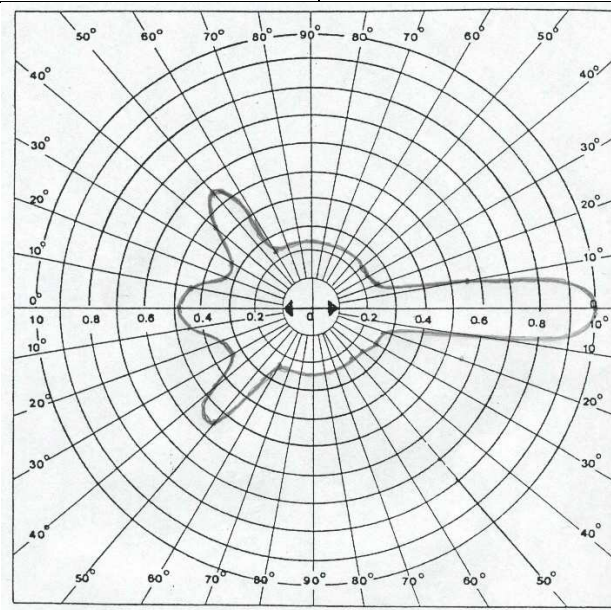
$$R_{\text{mean}} = \sqrt{\frac{E}{\pi}} = \sqrt{\frac{40\text{cm}^2}{3,14}} = 3,57 \text{ cm},$$

$$D(\text{dB}) = 20 \log \frac{R_{\text{max}}}{R_{\text{mean}}} = 20 \log \frac{8,5\text{cm}}{3,57\text{cm}} = 7,54 \text{ dB}.$$

Για αυτήν τη συχνότητα βλέπουμε πως η κατευθυντικότητα D είναι πολύ χαμηλότερη σε σχέση με την θεωρητική τιμή της, ενώ η γωνία μισής ισχύος είναι 25 μοίρες.

**Διάγραμμα ακτινοβολίας της LPDA εύρους 1710-1880 MHz για τη συχνότητα 1846 MHz**

Γωνία περιστροφής (μοίρες)	Τάση στο δέκτη (Volt)
0	0,45
10	0,25
20	0,15
30	0,15
40	0,15
50	0,15
60	0,15
70	0,15
80	0,15
90	0,15
100	0,15
110	0,15
120	0,15
130	0,25
140	0,2
150	0,15
160	0,15
170	0,2
180	0,2



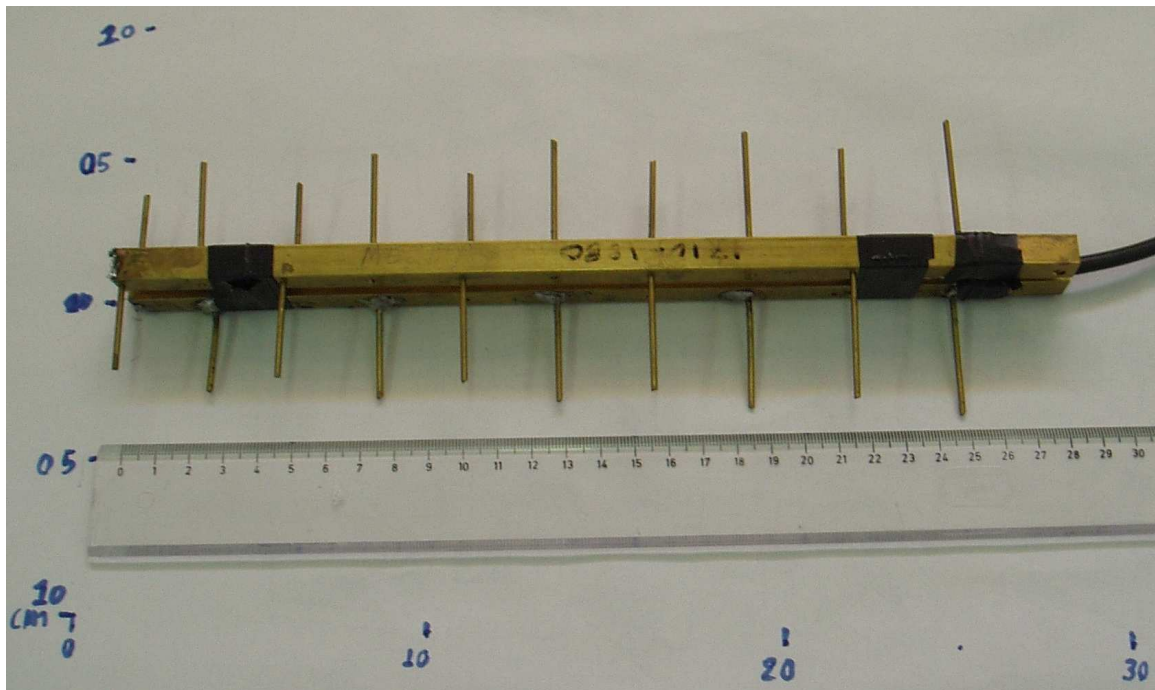
Βλέπουμε ότι έχει έναν κύριο λοβό και τρεις οπίσθιους λοβούς.

Εξάλλου:

$$R_{\text{mean}} = \sqrt{\frac{E}{\pi}} = \sqrt{\frac{33,25\text{cm}^2}{3,14}} = 3,25 \text{ cm},$$

$$D(\text{dB}) = 20 \log \frac{R_{\text{max}}}{R_{\text{mean}}} = 20 \log \frac{8,5\text{cm}}{3,25\text{cm}} = 8,35 \text{ dB}.$$

Για αυτήν τη συχνότητα βλέπουμε πως η κατευθυντικότητα  $D$  είναι και πάλι αρκετά χαμηλότερη σε σχέση με την θεωρητική τιμή της, ενώ η γωνία μισής ισχύος είναι 16 μοίρες.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

### ΣΧΕΔΙΑΣΗ LPDA ΜΕ ΕΥΡΟΣ ΖΩΝΗΣ 1500- 3000 MHz

Επιλέγουμε κατευθυντικότητα  $D=7,5$  dB,

$$\sigma = 0,18, \quad \tau = 0,88.$$

Επιλέγουμε για κεντρικούς σωλήνες (boom) τετράγωνους σωλήνες με πλευρά 1,4 cm.

Υπολογίζουμε το εύρος ζώνης και τη γωνία  $\alpha$ :

$$B = \frac{f_{\max}}{f_{\min}} = \frac{3000}{1500} = 2,$$

$$\cot \alpha = \frac{4\sigma}{1-\tau} = \frac{4 \cdot 0,18}{1-0,88} = 6.$$

Υπολογίζουμε το εύρος ζώνης της ενεργού περιοχής:

$$B_{ar} = 1,1 + 7,7(1-\tau)^2 \cot \alpha = 1,1 + 7,7 \cdot (1-0,88)^2 \cdot 6 = 1,7653,$$

και το εύρος ζώνης της σχεδίασης:

$$B_s = B \cdot B_{ar} = 2 \cdot 1,7653 = 3,5306.$$

Υπολογίζουμε το μέγιστο μήκος κύματος της συχνότητας τροφοδότησης της κεραίας:

$$\lambda_{\max} = \frac{c}{f_{\min}} = \frac{300}{1500 \text{ MHz}} = 0,2 \text{ m},$$

και το συνολικό μήκος της κεραίας:

$$L = \frac{\lambda_{\max}}{4} \left(1 - \frac{1}{B_s}\right) \cot \alpha = \frac{0,2}{4} \cdot \left(1 - \frac{1}{3,5306}\right) \cdot 6 = 0,215 \text{ m}.$$

Βρίσκουμε τον αριθμό των στοιχείων της κεραίας:

$$N = 1 + \frac{\log(B_s)}{\log(1/\tau)} = 1 + \frac{\log(3,5306)}{\log\left(\frac{1}{0,88}\right)} = 10,87 \Rightarrow 11 \text{ στοιχεία}.$$

και υπολογίζουμε το μεγαλύτερο στοιχείο  $l_1 = \frac{\lambda_{\max}}{2} = \frac{0,2 \text{ m}}{2} = 10 \text{ cm}$  και τα υπόλοιπα

$$l_2 = l_1 \tau, \dots, l_{11} = l_{10} \tau:$$

$$l_1 = 10 \text{ cm}$$

$$l_2 = 8,8 \text{ cm}$$

$$l_3 = 7,74 \text{ cm}$$

$$l_4 = 6,81 \text{ cm}$$

$$l_5 = 6 \text{ cm}$$

$$l_6 = 5,28 \text{ cm}$$

$$l_7 = 4,64 \text{ cm}$$

$$l_8 = 4,09 \text{ cm}$$

$$l_9 = 3,6 \text{ cm}$$

$$l_{10} = 3,16 \text{ cm}$$

$$l_{11} = 2,79 \text{ cm}$$

Υπολογίζουμε την απόσταση του μεγαλύτερου στοιχείου της κεραίας  $l_1$  από την κορυφή του τριγώνου (γωνία  $\alpha$ ), από το γεωμετρικό σχήμα της κεραίας ως εξής:

$$R_1 = \cot \alpha \cdot \frac{l_1}{2} = 6 \cdot \frac{10}{2} = 30 \text{ cm} .$$

Τώρα αρχίζουμε από εκεί να μετράμε τις αποστάσεις μεταξύ των υπολοίπων στοιχείων, και συγκεκριμένα θα υπολογίσουμε την απόσταση  $d_{1,2}$  και μετά τις υπόλοιπες  $d_{2,3}, \dots, d_{10,11}$ :

$$d_{1,2} = \frac{1}{2}(l_1 - l_2) \cot \alpha = \frac{1}{2} * (10 - 8,8) * 6 = 3,6 \text{ cm} ,$$

$$d_{2,3} = d_{1,2} \tau, \dots, d_{10,11} = d_{9,10} \tau, \text{ οπότε έχουμε:}$$

$$d_{1,2} = 3,6 \text{ cm}$$

$$d_{2,3} = 3,16 \text{ cm}$$

$$d_{3,4} = 2,79 \text{ cm}$$

$$d_{4,5} = 2,45 \text{ cm}$$

$$d_{5,6} = 2,16 \text{ cm}$$

$$d_{6,7} = 1,89 \text{ cm}$$

$$d_{7,8} = 1,67 \text{ cm}$$

$$d_{8,9} = 1,47 \text{ cm}$$

$$d_{9,10} = 1,29 \text{ cm}$$

$$d_{10,11} = 1,14 \text{ cm}$$

Στη συνέχεια θα βρούμε τις διαμέτρους των στοιχείων. Υπολογίζουμε λοιπόν τη χαρακτηριστική σύνθετη αντίσταση της τροφοδοσίας της κεραίας:

$$Z_0 = \frac{R_0^2}{8\sigma' Z_{av}} + R_0 \sqrt{\left(\frac{R_0}{8\sigma' Z_{av}}\right)^2 + 1} ,$$

όπου  $R_0 = 50\Omega$ ,  $\sigma'$  ο κεντρικός συντελεστής διαστήματος με τιμή:

$$\sigma' = \frac{\sigma}{\sqrt{\tau}} = \frac{0,18}{\sqrt{0,88}} = 0,1919$$

και  $Z_{av}$  η μέση χαρακτηριστική σύνθετη αντίσταση του ενός διπόλου με τιμή:

$$Z_{av} = 120 \cdot \left[ \ln\left(\frac{l_n}{d_n}\right) - 2,25 \right] \text{ (όπου } l_n \text{ είναι το μήκος του ενός διπόλου και } d_n \text{ η διάμετρος του).}$$

Τώρα χρησιμοποιώντας το μεγαλύτερο στοιχείο της κεραίας έχουμε:

$$Z_{av} = 120 \left[ \ln\left(\frac{l_{\max}}{d_{\max}}\right) - 2,25 \right],$$

και επειδή θέλουμε η  $Z_0$  να είναι περίπου 50-60 Ω, βρίσκουμε κατάλληλο  $Z_{av}$ :

$$\text{για } Z_{av} = 250 \Omega \Rightarrow Z_0 = \frac{50^2}{8 * 0,1919 * 250} + 50 * \sqrt{\left(\frac{50}{8 * 0,1919 * 250}\right)^2 + 1} = 56,94 \Omega.$$

Οπότε για  $Z_{av}=250\Omega$  βρίσκουμε τη διάμετρο του πρώτου στοιχείου ( $d_1$ ):

$$Z_{av} = 120 \left[ \ln\left(\frac{l_1}{d_1}\right) - 2,25 \right] \Rightarrow d_1 = 1,31 \text{ mm},$$

καθώς και των υπολοίπων  $d_2 = d_1 \tau, \dots, d_{11} = d_{10} \tau$ , και επειδή  $l_2 = l_1 \tau, \dots, l_{11} = l_{10} \tau$ , γενικά πρέπει να ισχύει:

$$\frac{l_1}{d_1} = \frac{l_2}{d_2} = \dots = \frac{l_{11}}{d_{11}},$$

ώστε να είναι η  $Z_{av}=250$  πάντα.

Οπότε θεωρητικά οι διαμέτροι των στοιχείων είναι:

$$d_1 = 1,31 \text{ mm}$$

$$d_2 = 1,15 \text{ mm}$$

$$d_3 = 1,02 \text{ mm}$$

$$d_4 = 0,89 \text{ mm}$$

$$d_5 = 0,79 \text{ mm}$$

$$d_6 = 0,69 \text{ mm}$$

$$d_7 = 0,61 \text{ mm}$$

$$d_8 = 0,54 \text{ mm}$$

$$d_9 = 0,47 \text{ mm}$$

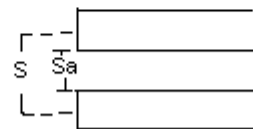
$$d_{10} = 0,42 \text{ mm}$$

$$d_{11} = 0,37 \text{ mm}$$

Τέτοιες διαμέτρους είναι αδύνατο να βρούμε στο εμπόριο οπότε χρησιμοποιούμε διάμετρο 2mm για όλα τα στοιχεία.

Και τέλος υπολογίζουμε την από κέντρο σε κέντρο απόσταση  $S$  μεταξύ των 2 boom (αν αυτά ήταν κυλινδρικά):

$$S = d \cdot \cosh\left(\frac{Z_0}{120}\right) \Rightarrow S = \sqrt{\frac{4E}{\pi}} \cdot \cos\left(\frac{Z_0}{120}\right),$$



όπου  $d$  η διάμετρος του boom και  $E$  η κάθετος επιφάνεια της τομής του κυλινδρικού σωλήνα.

Επειδή ο τύπος είναι για κύλινδρο και το boom είναι τετράγωνο έχουμε:

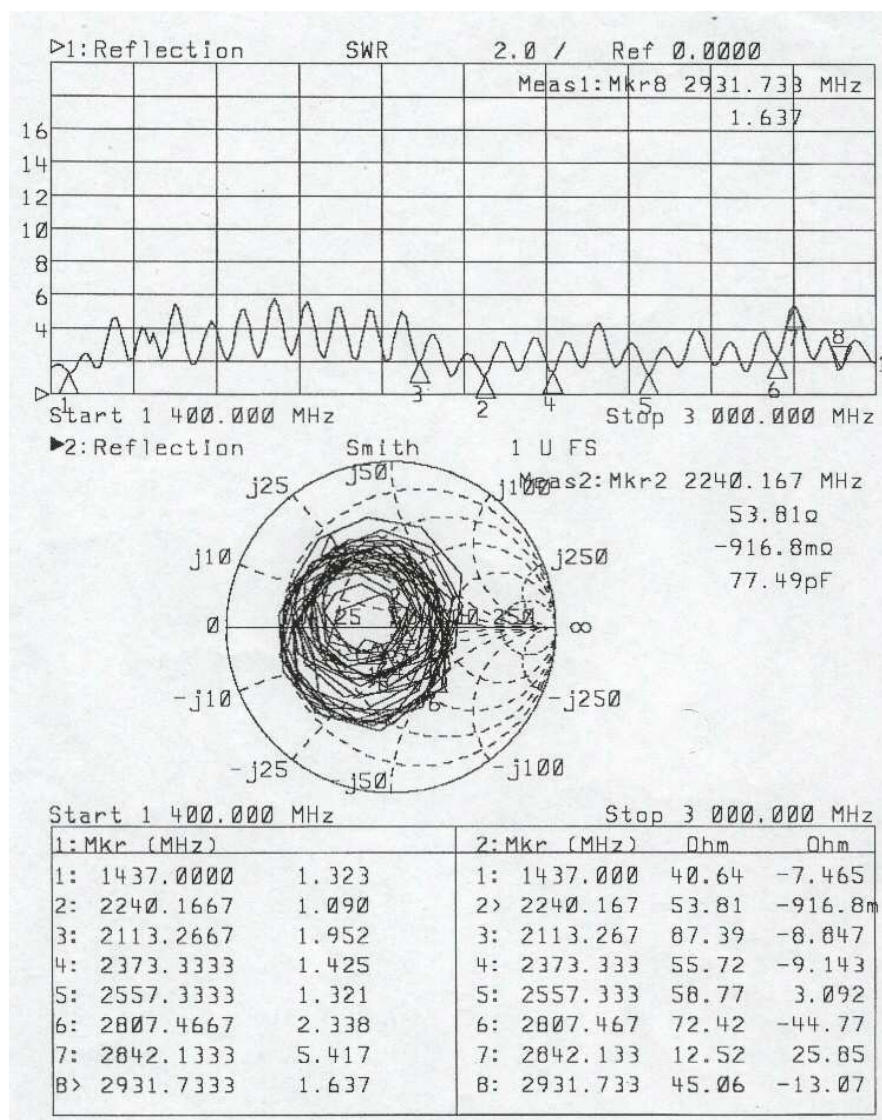


$$S = \frac{2a}{\sqrt{\pi}} \cdot \cosh \frac{Z_0}{120} = \frac{2 * 1,4}{\sqrt{3,14}} * \cos\left(\frac{56,94}{120}\right) = 1,76 \text{ cm.}$$

Τώρα η απόσταση των 2 boom από άκρη σε άκρη είναι:

$$S_a = 1,76 - 1,4 = 3,6 \text{ mm.}$$

### Μετρήσεις Κεραίας LPDA 1500-3000 MHz



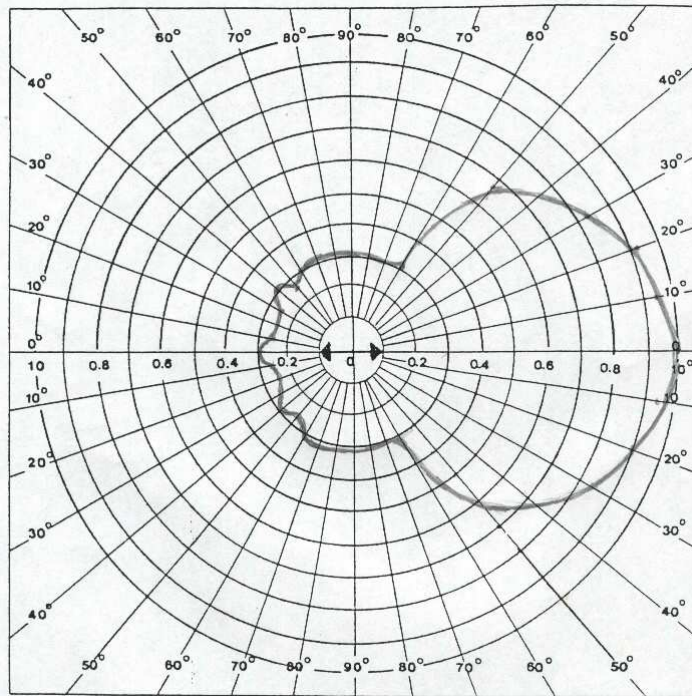
Βλέπουμε ότι τα στάσιμα κύματα (SWR) μεταβάλλονται σε όλο το εύρος ζώνης από 1,090 μέχρι και 6. Όπως βλέπουμε σε αρκετές συχνότητες τα στάσιμα είναι κάπως χαμηλά. Επίσης η πραγματική αντίσταση της κεραίας  $R_0$  μεταβάλλεται από 12,52 Ω μέχρι 87,39Ω.

Πειραματικά οι συχνότητες στις οποίες η κεραία έχει μέγιστη ακτινοβολία είναι:

MHz	mV
1465 έως 1500	0,95
1524	1
1578	0,6
2000	0,5

**Διάγραμμα ακτινοβολίας της LPDA εύρους 1500-3000 MHz για τη συχνότητα 1500 MHz**

Γωνία περιστροφής (μοίρες)	Τάση στο δέκτη (Volt)
0	0,95
10	0,9
20	0,9
30	0,8
40	0,65
50	0,3
60	0,3
70	0,3
80	0,3
90	0,3
100	0,3
110	0,3
120	0,3
130	0,25
140	0,3
150	0,25
160	0,25
170	0,25
180	0,3



Βλέπουμε ότι το διάγραμμα έχει έναν κύριο λοβό και τρεις πολύ μικρούς οπίσθιους λοβούς, ενώ η κεραία ακτινοβολεί λίγο και ανάμεσα στους λοβούς.

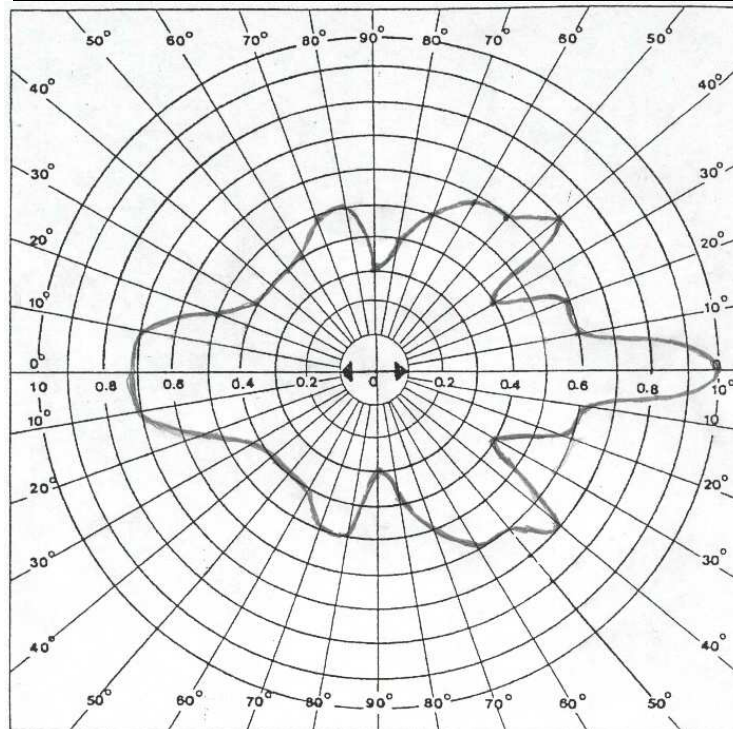
$$R_{\text{mean}} = \sqrt{\frac{E}{\pi}} = \sqrt{\frac{54\text{cm}^2}{3,14}} = 4,15 \text{ cm},$$

$$D(\text{dB}) = 20 \log \frac{R_{\text{max}}}{R_{\text{mean}}} = 20 \log \frac{8,5\text{cm}}{4,15\text{cm}} = 6,2 \text{ dB}.$$

Γι' αυτή τη συχνότητα βλέπουμε πως η κατευθυντικότητα D έχει λίγο πιο μικρή τιμή από τη θεωρητική τιμή των 7,5dB, ενώ η γωνία μισής ισχύος είναι 88 μοίρες.

**Διάγραμμα ακτινοβολίας της LPDA εύρους 1500-3000 MHz για τη συχνότητα 2000 MHz**

Γωνία περιστροφής (μοίρες)	Τάση στο δέκτη (Volt)
0	0,5
10	0,3
20	0,3
30	0,2
40	0,35
50	0,3
60	0,3
70	0,25
80	0,2
90	0,15
100	0,25
110	0,25
120	0,25
130	0,2
140	0,2
150	0,2
160	0,25
170	0,35
180	0,35



Βλέπουμε ότι το διάγραμμα έχει έναν κύριο λοβό, οκτώ πλάγιους λοβούς και έναν οπίσθιο λοβό, ενώ και ανάμεσα στους λοβούς η κεραία ακτινοβολεί. Εξάλλου:

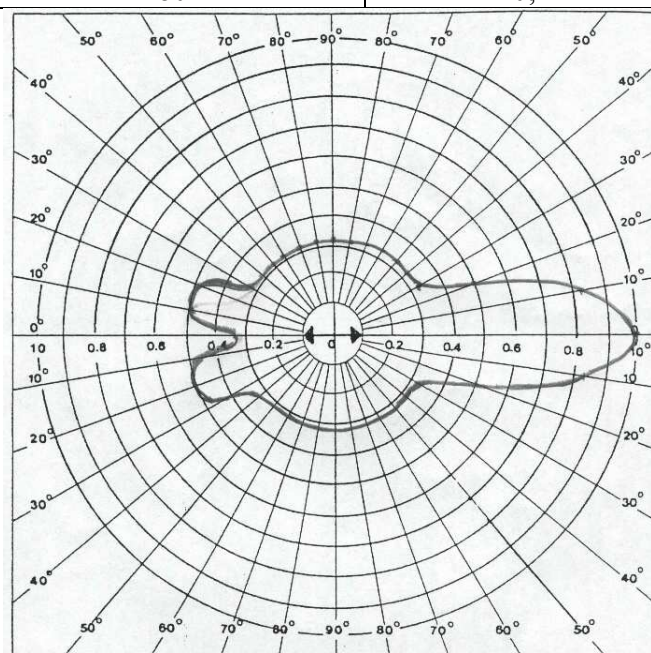
$$R_{\text{mean}} = \sqrt{\frac{E}{\pi}} = \sqrt{\frac{59\text{cm}^2}{3,14}} = 4,33 \text{ cm},$$

$$D(\text{dB}) = 20 \log \frac{R_{\text{max}}}{R_{\text{mean}}} = 20 \log \frac{8,5\text{cm}}{4,33\text{cm}} = 5,86 \text{ dB}.$$

Για αυτή τη συχνότητα βλέπουμε πως η κατευθυντικότητα D έχει αρκετά πιο μικρή τιμή σε σχέση με τη θεωρητική τιμή της, ενώ η γωνία μισής ισχύος είναι 14 μοίρες.

**Διάγραμμα ακτινοβολίας της LPDA εύρους 1500-3000 MHz για τη συχνότητα 1578 MHz**

Γωνία περιστροφής (μοίρες)	Τάση στο δέκτη (Volt)
0	0,6
10	0,5
20	0,3
30	0,2
40	0,2
50	0,2
60	0,2
70	0,2
80	0,2
90	0,2
100	0,2
110	0,2
120	0,2
130	0,2
140	0,2
150	0,2
160	0,3
170	0,3
180	0,2



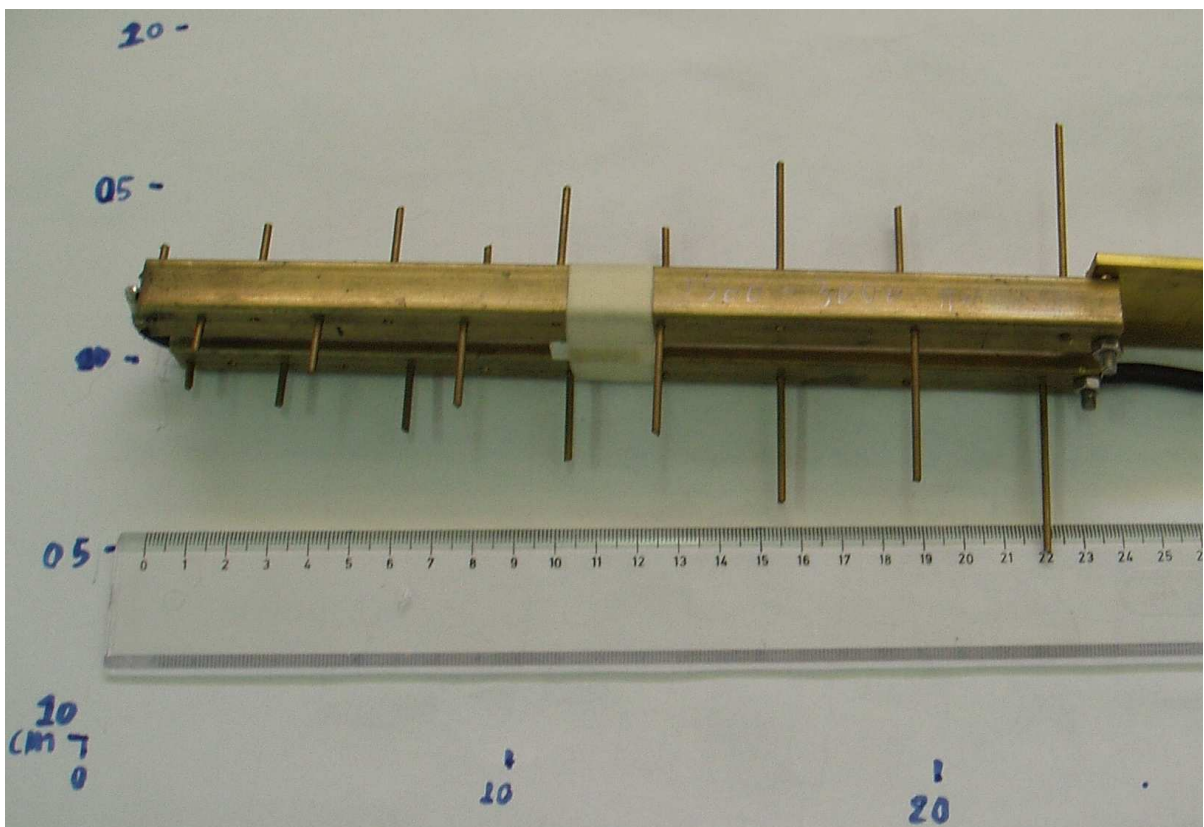
Το διάγραμμα έχει έναν κύριο λοβό και δύο οπίσθιους λοβούς, ενώ και ανάμεσα στους λοβούς η κεραία ακτινοβολεί. Εξάλλου:

$$R_{\text{mean}} = \sqrt{\frac{E}{\pi}} = \sqrt{\frac{38\text{cm}^2}{3,14}} = 3,49 \text{ cm},$$

$$D(\text{dB}) = 20 \log \frac{R_{\text{max}}}{R_{\text{mean}}} = 20 \log \frac{8,5\text{cm}}{3,49\text{cm}} = 7,73 \text{ dB}.$$

Για αυτή τη συχνότητα βλέπουμε πως η κατευθυντικότητα  $D$  έχει λίγο πιο μεγάλη τιμή σε σχέση με την αντίστοιχη θεωρητική τιμή της. Η γωνία μισής ισχύος είναι 28 μοίρες.

Και σε αυτή την κεραία δεν είχαμε την δυνατότητα μετρήσεων πάνω από τους 2GHz διότι η διαθέσιμη γεννήτρια δεν ξεπερνά αυτή τη συχνότητα.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

### ΣΧΕΔΙΑΣΗ LPDA ΜΕ ΕΥΡΟΣ ΖΩΝΗΣ 880-960 MHz

Επιλέγουμε κατευθυντικότητα  $D=10,5$  dB,

$$\sigma = 0,18, \quad \tau = 0,963.$$

Επιλέγουμε για κεντρικούς σωλήνες τροφοδότησης (boom) τετράγωνους σωλήνες με πλευρά 1 cm.

Υπολογίζουμε το εύρος ζώνης και τη γωνία  $\alpha$ :

$$B = \frac{f_{\max}}{f_{\min}} = \frac{960}{880} = 1,0909,$$

$$\cot \alpha = \frac{4\sigma}{1-\tau} = \frac{4 \cdot 0,18}{1-0,963} = 19,459.$$

Υπολογίζουμε το εύρος ζώνης της ενεργού περιοχής:

$$\text{Bar} = 1,1 + 7,7(1-\tau)^2 \cot \alpha = 1,1 + 7,7 \cdot (1-0,963)^2 \cdot 19,459 = 1,3051,$$

και το εύρος ζώνης της σχεδίασης:

$$B_s = B \cdot \text{Bar} = 1,0909 \cdot 1,3051 = 1,42378.$$

Υπολογίζουμε το μέγιστο μήκος κύματος της συχνότητας τροφοδότησης της κεραίας:

$$\lambda_{\max} = \frac{c}{f_{\min}} = \frac{300}{880\text{MHz}} = 0,3409 \text{ m},$$

το συνολικό μήκος της κεραίας:

$$L = \frac{\lambda_{\max}}{4} \left(1 - \frac{1}{B_s}\right) \cot \alpha = \frac{0,3409}{4} \cdot \left(1 - \frac{1}{1,42378}\right) \cdot 19,459 = 0,494 \text{ m}.$$

και τον αριθμό των στοιχείων της κεραίας:

$$N = 1 + \frac{\log(B_s)}{\log(1/\tau)} = 1 + \frac{\log(1,42378)}{\log\left(\frac{1}{0,963}\right)} = 10,37 \Rightarrow 10 \text{ στοιχεία}.$$

Υπολογίζουμε το μεγαλύτερο στοιχείο:

$$l_1 = \frac{\lambda_{\max}}{2} = \frac{0,3409\text{m}}{2} = 17,05 \text{ cm},$$

και τα υπόλοιπα  $l_2 = l_1 \tau, \dots, l_{10} = l_1 \tau^9$ :

$$l_1 = 17,05 \text{ cm}$$

$$l_2 = 16,42 \text{ cm}$$

$$l_3 = 15,81 \text{ cm}$$

$$l_4 = 15,22 \text{ cm}$$

$$l_5 = 14,66 \text{ cm}$$

$$l_6 = 14,12 \text{ cm}$$

$$l_7 = 13,6 \text{ cm}$$

$$l_8 = 13,09 \text{ cm}$$

$$l_9 = 12,61 \text{ cm}$$

$$l_{10} = 12,14 \text{ cm}$$

Υπολογίζουμε την απόσταση του μεγαλύτερου στοιχείου της κεραίας  $l_1$  από την κορυφή του τριγώνου (γωνία  $\alpha$ ), από το γεωμετρικό σχήμα της κεραίας ως εξής:

$$R_1 = \cot \alpha \left( \frac{l_1}{2} \right) = 19,459 * \left( \frac{17,05}{2} \right) = 165,89 \text{ cm} .$$

Τώρα αρχίζουμε από εκεί να μετράμε τις αποστάσεις μεταξύ των υπολοίπων στοιχείων, και συγκεκριμένα την απόσταση  $d_{1,2}$  και μετά τις υπόλοιπες  $d_{2,3}, \dots, d_{10,11}$  :

$$d_{1,2} = \frac{1}{2} (l_1 - l_2) \cot \alpha = \frac{1}{2} * (17,05 - 16,42) * 19,459 = 6,14 \text{ cm} ,$$

$$d_{2,3} = d_{1,2} \tau, \dots, d_{10,11} = d_{9,10} \tau ,$$

οπότε:

$$d_{1,2} = 6,14 \text{ cm}$$

$$d_{2,3} = 5,91 \text{ cm}$$

$$d_{3,4} = 5,69 \text{ cm}$$

$$d_{4,5} = 5,48 \text{ cm}$$

$$d_{5,6} = 5,28 \text{ cm}$$

$$d_{6,7} = 5,08 \text{ cm}$$

$$d_{7,8} = 4,89 \text{ cm}$$

$$d_{8,9} = 4,71 \text{ cm}$$

$$d_{9,10} = 4,54 \text{ cm}$$

Ο κεντρικός συντελεστής διαστήματος  $\sigma'$  είναι:

$$\sigma' = \frac{\sigma}{\sqrt{\tau}} = \frac{0,18}{\sqrt{0,963}} = 0,1834 ,$$

ενώ βρίσκουμε τέτοιο  $Z_{av}$  για το οποίο το  $Z_0$  είναι μεταξύ 50 και 60  $\Omega$ :

$$Z_{av} = 120 \left[ \ln \left( \frac{l_{\max}}{d_{\max}} \right) - 2,25 \right] .$$

$$\text{Για } Z_{av}=250\Omega \Rightarrow Z_0 = \frac{50^2}{8 * 0,1834 * 250} + 50 * \sqrt{\left( \frac{50}{8 * 0,1834 * 250} \right)^2 + 1} = 57,28\Omega .$$

Οπότε για  $Z_{av}=250 \Omega$ , βρίσκουμε τη διάμετρο του πρώτου στοιχείου ( $d_1$ ), ως εξής:

$$Z_{av} = 120 \left[ \ln\left(\frac{l_1}{d_1}\right) - 2,25 \right] \Rightarrow d_1 = 2,24 \text{ mm},$$

$$d_2 = 2,15 \text{ mm}$$

$$d_3 = 2,07 \text{ mm}$$

$$d_4 = 1,99 \text{ mm}$$

$$d_5 = 1,92 \text{ mm}$$

$$d_6 = 1,85 \text{ mm}$$

$$d_7 = 1,78 \text{ mm}$$

$$d_8 = 1,72 \text{ mm}$$

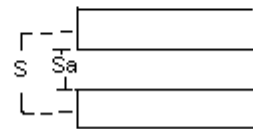
$$d_9 = 1,65 \text{ mm}$$

$$d_{10} = 1,59 \text{ mm}$$

Τέτοιες διαμέτρους είναι αδύνατο να βρούμε στο εμπόριο, οπότε χρησιμοποιούμε διάμετρο 2mm για όλα τα στοιχεία.

Και τέλος υπολογίζουμε την από κέντρο σε κέντρο απόσταση  $S$  μεταξύ των 2 boom (αν αυτά ήταν κυλινδρικά):

$$S = d \cdot \cosh\left(\frac{Z_0}{120}\right) \Rightarrow S = \sqrt{\frac{4E}{\pi}} \cdot \cos\left(\frac{Z_0}{120}\right)$$



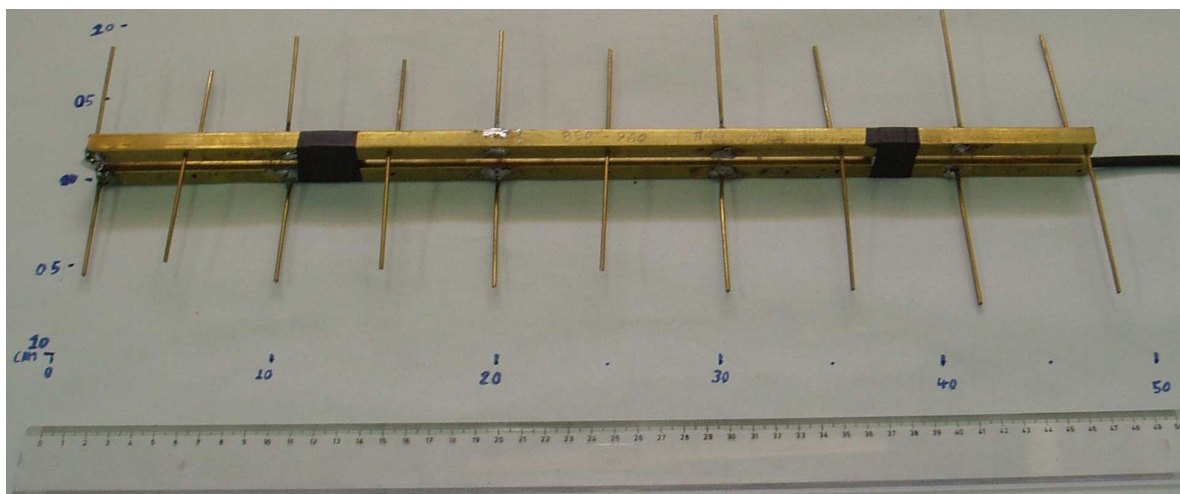
και επειδή ο τύπος είναι για κύλινδρο ενώ το boom είναι τετράγωνο:

$$S = \frac{2a}{\sqrt{\pi}} \cdot \cosh\left(\frac{Z_0}{120}\right) = \frac{2 \cdot 1}{\sqrt{3,14}} \cdot \cos\left(\frac{57,28}{120}\right),$$

όπου  $a$  είναι το μήκος της πλευράς των σωλήνων τροφοδότησης, οπότε  $S=1,26 \text{ cm}$ .

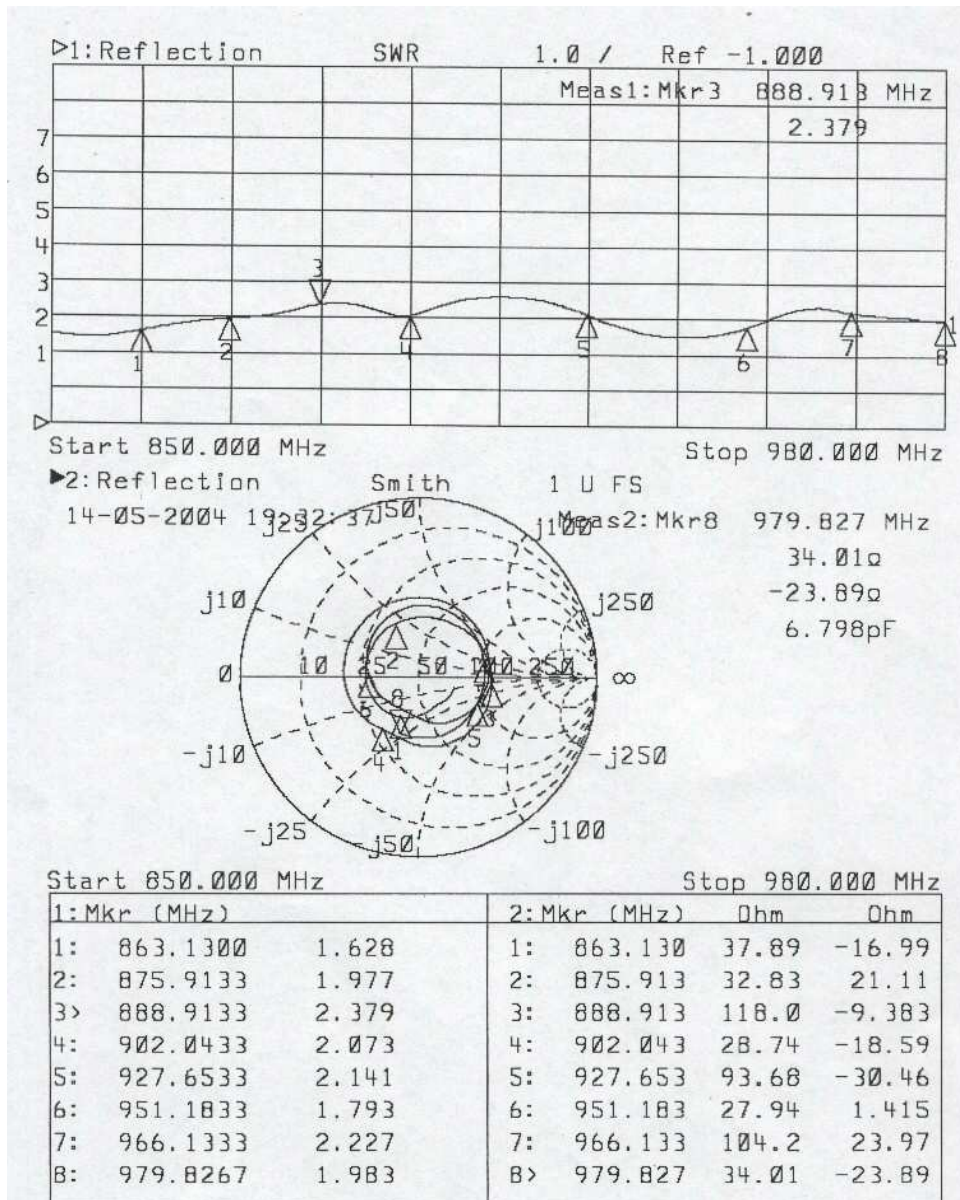
Τώρα η απόσταση των 2 boom από άκρη σε άκρη είναι:

$$S_a = 1,26 - 1 = 2,6 \text{ mm}$$





### Μετρήσεις Κεραίας LPDA 880-960 MHz



Βλέπουμε ότι τα στάσιμα κύματα (SWR) μεταβάλλονται σε όλο το εύρος ζώνης από 1,628 μέχρι και 2,5. Επίσης η πραγματική αντίσταση της κεραίας  $R_o$  μεταβάλλεται από 27,94 Ω μέχρι 118 Ω.

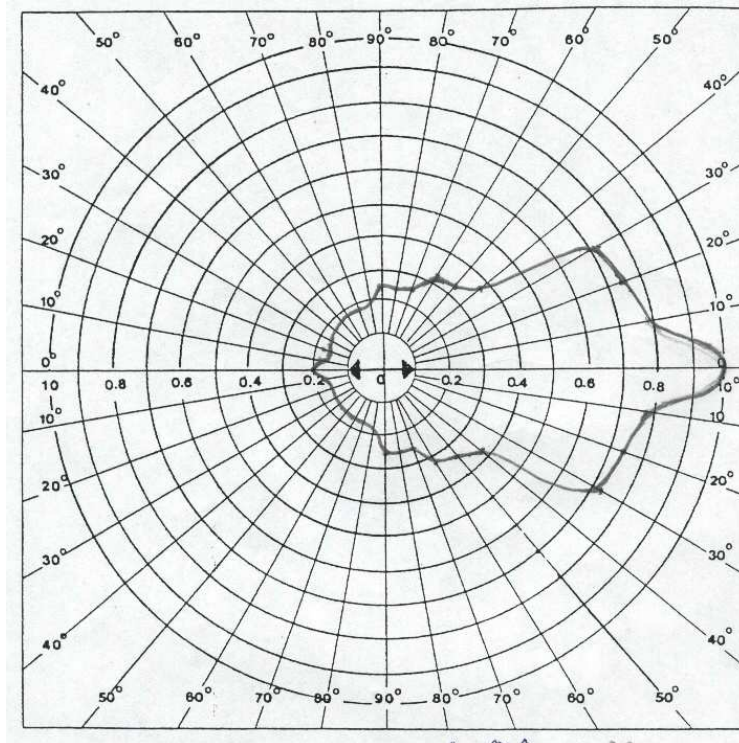
Πειραματικά η κεραία έχει μέγιστη ακτινοβολία στις εξής συχνότητες:

MHz	mV
869 έως 905	1,2
945 έως 960	1,2

#### Διάγραμμα ακτινοβολίας της LPDA εύρους 880-960 MHz για τη συχνότητα 872 MHz

Γωνία περιστροφής (μοίρες)	Τάση στο δέκτη (Volt)
0	1,2
10	0,95
20	0,9

Γωνία περιστροφής (μοίρες)	Τάση στο δέκτη (Volt)
30	0,9
40	0,45
50	0,4
60	0,4
70	0,3
80	0,3
90	0,3
100	0,2
110	0,2
120	0,2
130	0,2
140	0,2
150	0,2
160	0,2
170	0,15
180	0,15



Το διάγραμμα έχει έναν κύριο λοβό, τέσσερις πολύ μικρούς πλάγιους λοβούς και έναν πολύ μικρό οπίσθιο λοβό, ενώ και ανάμεσα στους λοβούς η κεραία ακτινοβολεί.

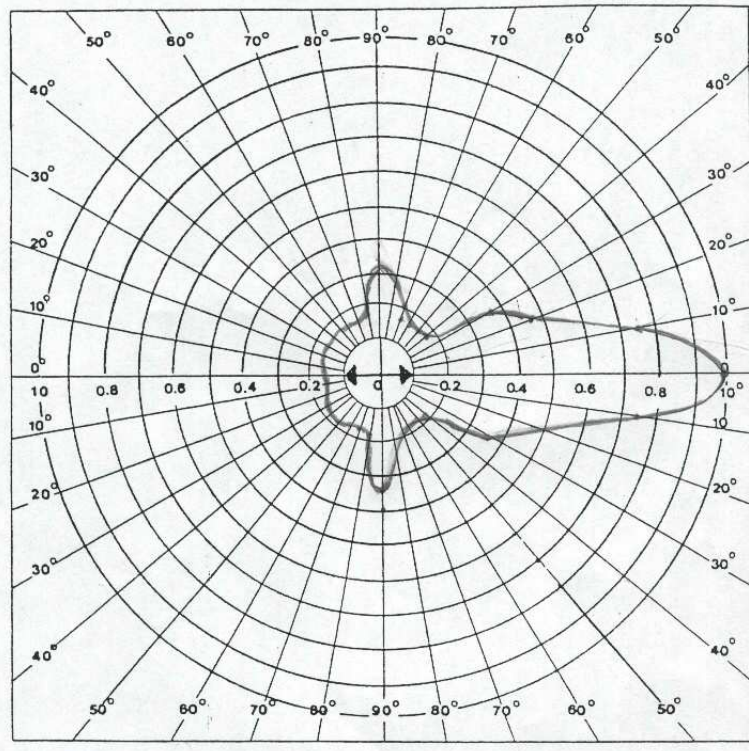
$$R_{\text{mean}} = \sqrt{\frac{E}{\pi}} = \sqrt{\frac{34,75\text{cm}^2}{3,14}} = 3,32 \text{ cm},$$

$$D(\text{dB}) = 20 \log \frac{R_{\text{max}}}{R_{\text{mean}}} = 20 \log \frac{8,5\text{cm}}{3,32\text{cm}} = 8,2 \text{ dB}.$$

Για αυτήν τη συχνότητα βλέπουμε πως η κατευθυντικότητα  $D$  έχει πιο μικρή τιμή σε σχέση με την θεωρητική τιμή των 10,5 dB. Η γωνία μισής ισχύος είναι 60 μοίρες.

**Διάγραμμα ακτινοβολίας της LPDA εύρους 880-960 MHz για τη συχνότητα 905 MHz**

Γωνία περιστροφής (μοίρες)	Τάση στο δέκτη (Volt)
0	1,2
10	0,9
20	0,55
30	0,4
40	0,2
50	0,2
60	0,2
70	0,2
80	0,3
90	0,4
100	0,2
110	0,2
120	0,2
130	0,2
140	0,2
150	0,2
160	0,2
170	0,2
180	0,2



Το διάγραμμα έχει έναν κύριο λοβό και δύο μικρούς πλάγιους.

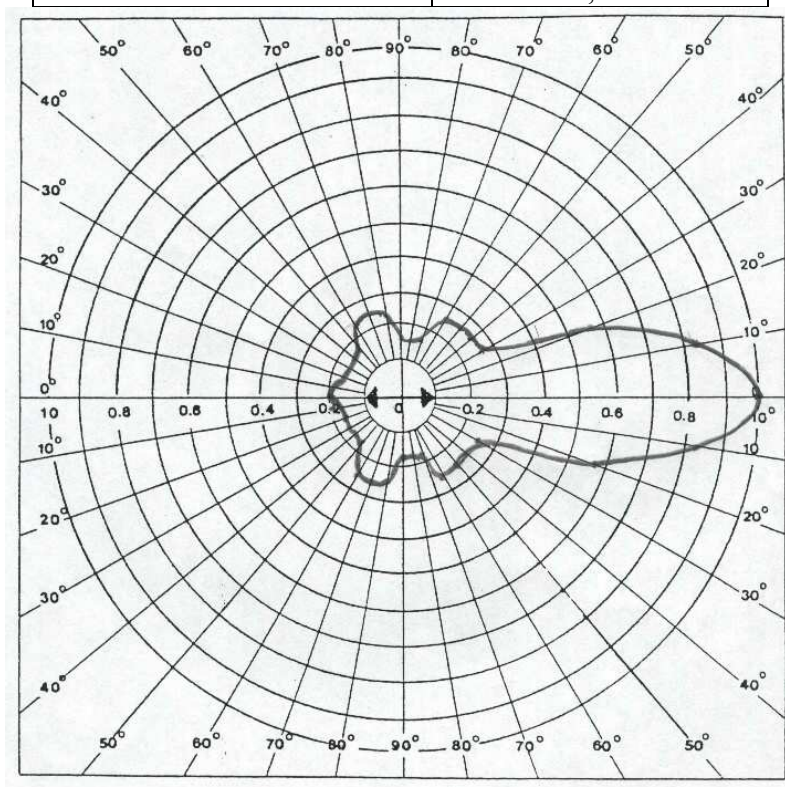
$$R_{\text{mean}} = \sqrt{\frac{E}{\pi}} = \sqrt{\frac{23\text{cm}^2}{3,14}} = 2,7 \text{ cm},$$

$$D(\text{dB}) = 20 \log \frac{R_{\text{max}}}{R_{\text{mean}}} = 20 \log \frac{8,5\text{cm}}{2,7\text{cm}} = 9,96 \text{ dB}.$$

Για αυτήν τη συχνότητα βλέπουμε πως η κατευθυντικότητα D έχει πλησιάσει αρκετά τη θεωρητική τιμή της. Η γωνία μισής ισχύος είναι 21 μοίρες.

**Διάγραμμα ακτινοβολίας της LPDA εύρους 880-960 MHz για τη συχνότητα 960 MHz**

Γωνία περιστροφής (μοίρες)	Τάση στο δέκτη (Volt)
0	1,2
10	1
20	0,7
30	0,3
40	0,3
50	0,2
60	0,3
70	0,2
80	0,2
90	0,2
100	0,3
110	0,3
120	0,3
130	0,2
140	0,2
150	0,2
160	0,2
170	0,2
180	0,25



Το διάγραμμα έχει έναν κύριο λοβό, τέσσερις μικρούς πλάγιους λοβούς και έναν μικρό οπίσθιο λοβό.

$$R_{\text{mean}} = \sqrt{\frac{E}{\pi}} = \sqrt{\frac{24,25\text{cm}^2}{3,14}} = 2,78 \text{ cm},$$

$$D(\text{dB}) = 20 \log \frac{R_{\text{max}}}{R_{\text{mean}}} = 20 \log \frac{8,5\text{cm}}{2,78\text{cm}} = 9,7 \text{ dB}.$$

Για αυτή τη συχνότητα βλέπουμε πως η κατευθυντικότητα  $D$  έχει πλησιάσει αρκετά τη θεωρητική τιμή της. Η γωνία μισής ισχύος είναι 29 μοίρες.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- [1] C.A. Balanis, “Antenna Theory and Design”.
- [2] J.L. Lawson, “Yagi Antenna Design”.
- [3] R.D. Straw, “The ARRL Antenna Compendium v1”.
- [4] R.D. Straw, “The ARRL Antenna Compendium v2 & v5”.
- [5] R.D. Straw, “The ARRL Antenna Book”.
- [6] P.D. Rhodes, “The Log-Periodic V-Array”.
- [7] J.J. Uhl, “Construct a Wire Log Periodic Dipole Array”.