

Τ.Ε.Ι. ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΝΙΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ

ANTENNAS DESIGN

AUTHOR: MAVREDAKIS MICHALIS
STUDENT: PRENTAKIS MANOLIS

INTRODUCTION

With this project I studied the design of six basic kinds of antennas. To be more specific, these six kinds are:

1. Microstrip Antenna
2. Yagi Uda
3. Horn E
4. Elikoeidis grammikis polosis
5. Logarithmic periodic dipole antenna
6. Horn

Microstrip

The procedure of the design, construction and measurements of the microstrip antenna at the frequency of 10GHz is described in every detail.

YagiUda,

The design and construction of a Yagi Uda antenna with its central frequency at 850MHz, is described in every detail.

Horn E,

A horn type E antenna is designed at the frequency of 10 GHz. The phase delay is also described.

Elikoidis Kerea,

The design of this type of antenna is also described in every detail, except the way of calculating the matching distance between the right and left spirals that could not be found in any of my sources.

Periodic logarithmic dipole antenna,

This antenna is designed for the radio band FM (88 – 108 MHz)

Horn,

The horn antenna is designed to work at 9,6GHz and has 18dB gain. The design procedure is described in every detail.

Radio diagramms and measurements are included for all 6 types.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΜΙΚΡΟΤΑΙΝΙΑΚΩΝ ΚΕΡΑΙΩΝ ΣΧΕΔΙΑΣΗ - ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ - ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφεται με κάθε λεπτομέρεια όλη η διαδικασία που ακολουθείται για τον σχεδιασμό, την κατασκευή και την διεξαγωγή μετρήσεων μιας μικροταινιακής κεραίας. Επίσης υπογραμμίζονται όλα τα συμπεράσματα που εξάγονται από την πρακτική μελέτη, καθώς και ο βαθμός συμβιβασμού μεταξύ θεωρίας και πράξης.

Ο τύπος της κεραίας που μελετήθηκε είναι ο ακόλουθος: *Μικροταινιακή κεραία τόξου 4 ορθογωνίων στοιχείων συχνότητας $f = 10\text{GHz}$.*

Η κεραία σχεδιάστηκε για να λειτουργεί στην X-band συχνοτήτων, η οποία προτιμήθηκε επειδή περιλαμβάνει μικρότερα μεγέθη κεραιών και μικροταινιακών γραμμών.

4.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

Το διηλεκτρικό υπόστρωμα της μικροταινιακής κεραίας είναι πλακέτα χαλκού FR4 με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- Διηλεκτρική σταθερά : $\epsilon_r = 4.4$
- Πάχος : $h = 1.5\text{mm}$
- Συντελεστή απωλειών loss tangent : $\tan \delta = 0.01$

Αυτό το υλικό υποστρώματος έχει πολύ καλή σταθερότητα διαστάσεων και κατασκευής και είναι συγκριτικά φτηνό. Απ'την άλλη πλευρά έχει μεγάλη διηλεκτρική σταθερά και κατά συνέπεια συγκριτικά μεγάλες απώλειες.

Για την συχνότητα των 10GHz ήταν προτιμότερο να χρησιμοποιηθεί ως υλικό υποστρώματος Fiber glass ή ενισχυμένο PTFE. Όμως λόγω ελλείψεως των συγκεκριμένων υλικών από τον εργαστηριακό χώρο άλλα και λόγω του πολύ υψηλού κόστους αγοράς και κατασκευής τους προτιμήθηκε το FR4. Για τον περιορισμό αυτών των απωλειών πραγματοποιήθηκε επαργύρωση του χαλκού.

4.3 ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΜΙΚΡΟΤΑΙΝΙΑΚΗΣ ΚΕΡΑΙΑΣ

Το σχήμα 4.1 δείχνει το σχέδιο μιας μικροταινιακής κεραίας τόξου 2 x 2 , τεσσάρων ορθογωνίων στοιχείων , για συχνότητα λειτουργίας 10GHz. Η ιδέα για την κατασκευή της κεραίας ήταν να επιτύχουμε μεγαλύτερο κέρδος και ιδιαίτερα να βελτιώσουμε την κατευθυντικότητά της. Τόσο το κέρδος όσο και η κατευθυντικότητα της κεραίας εξαρτώνται , όπως ήδη έχουμε αναφέρει στο κεφάλαιο2 , από τον αριθμό των στοιχείων , την απόσταση μεταξύ τους και το άνοιγμα της κεραίας.

Η διαδικασία που ακολουθήσαμε για την σχεδίαση της κεραίας και τον καθορισμό των διαστάσεων της παρουσιάζονται παρακάτω :

Μήκος L, Ο λόγος L/W επιλέχθηκε να είναι 1 : 2 . Το μήκος είναι περίπου ίσο με $\lambda d/2$ και

υπολογίζεται από την σχέση $L = 0,49\lambda d = 0,49 \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}}$

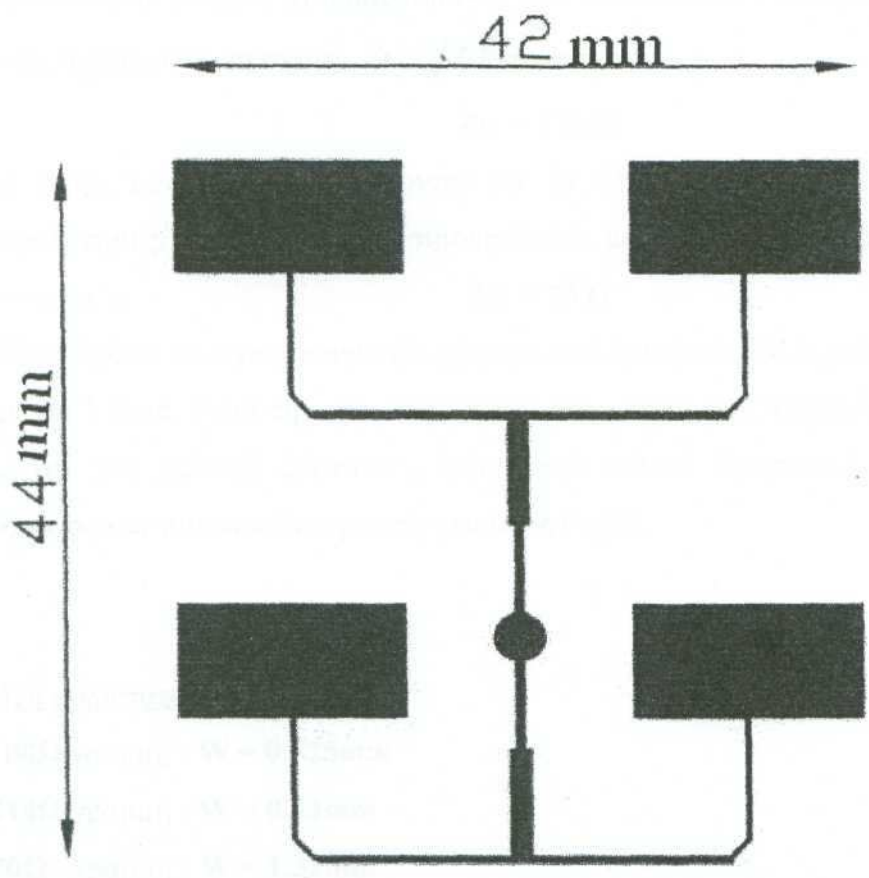
Για $P = 10 \text{ GHz}$, $\lambda_0 = 30\text{mm}$, $\lambda d = 14\text{mm}$ και το μήκος L του στοιχείου είναι:

$$L = 7 \text{ mm}$$

Πάχος W

Το πάχος του στοιχείου επιλέγεται να είναι ίσο με το μήκος κύματος του διηλεκτρικού

$$W = 14 \text{ mm}$$



Έτσι για να προσαρμόσουμε την αντίσταση εισόδου 129Ω στην 100Ω μικροταινιακή γραμμή χρησιμοποιούμε ένα μετατροπέα τετάρτου κύματος Z_{t1} ο οποίος δίδεται από τη σχέση $Z_t = \sqrt{ZfRin}$ και είναι

$$Z_{t1} = 114 \Omega$$

Τα ζεύγη των 100Ω συνδυάζονται για να δώσουν αντίσταση 50Ω στο σημείο τροφοδότησης. Αντιστοίχως χρησιμοποιώ ένα μετατροπέα τετάρτου κύματος Z_{t2} ο οποίος είναι

Τέλος πρέπει να αναφέρουμε ότι χρησιμοποιούμε έναν SMA connector διαμέτρου περίπου 1.3 mm . Κατά την τοποθέτηση του στο κάτω μέρος της πλακέτας, μία μικρή περιοχή του χαλκού ξύστηκε, έτσι ώστε πιθανό βραχυκύκλωμα μεταξύ του βύσματος και του επιπέδου γείωσης να αποφευχθεί.

Πάχη μικροταινιακών γραμμών

100Ω γραμμή : $W = 0.525 \text{ mm}$

114Ω γραμμή : $W = 0.33$

70Ω γραμμή : $W = 1.32 \text{ mm}$

Όλοι οι υπολογισμοί γίνονται με τη βοήθεια του διαγράμματος του σχήματος 1.3

Μήκη μικροταινιακών γραμμών

100Ω γραμμή : $L = 8,3075 \text{ mm}$

114Ω γραμμή : $L = 8.9825 \text{ mm}$

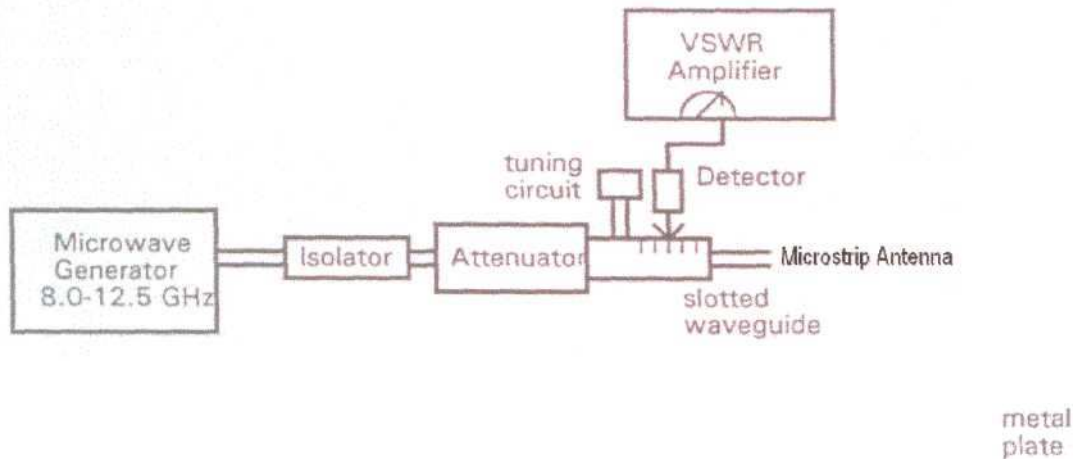
100Ω γραμμή : $L = 6.99 \text{ mm}$

Όλοι οι υπολογισμοί γίνονται με τη βοήθεια των σχέσεων (1.1) και (1.3) και

$$L = \lambda d / 4$$

4.4 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα πραγματοποιήσαμε τις παρακάτω συνδέσεις στον εργαστηριακό χώρο για την λήψη των απαραίτητων μετρήσεων.



Αρχικά συνδέσαμε την κεραία και βρήκαμε ότι συντονίζεται στην συχνότητα των 8.6 GHz και όχι στην αναμενόμενη τιμή των 10 GHz. Υπήρχε δηλαδή μια απόκλιση η οποία οφείλεται σε λόγους οι οποίοι αναπτύσσονται αναλυτικά παρακάτω.

Στη συνέχεια προσδιορίσαμε την πόλωση της κεραίας και για τον σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκε η εξής διαδικασία. Καθώς η κεραία εκπομπής και η κεραία λήψης βρίσκονταν στην θέση των 0 μοιρών, παρεμβάλλαμε στη δέσμη ακτινοβολίας μία σχάρα από παράλληλα σύρματα με δύο τρόπους, την πρώτη φορά τα σύρματα είχαν διεύθυνση παράλληλη της το οριζόντιο επίπεδο και τη δεύτερη φορά κάθετη της αυτό. Την δεύτερη φορά η ένδειξη του οργάνου ελαχιστοποιήθηκε πράγμα που σημαίνει ότι η πόλωση της κεραίας είναι κατακόρυφη.

Τέλος πραγματοποιήσαμε της απαραίτητες μετρήσεις για τον σχεδιασμό των διαγραμμάτων ακτινοβολίας σε οριζόντιο και κατακόρυφο επίπεδο και τον υπολογισμό της κατευθυντικότητας της κεραίας.

4.5 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Για να υπολογίσουμε τα διαγράμματα ακτινοβολίας της κεραίας σε οριζόντιο και κατακόρυφο επίπεδο ακολουθήσαμε την εξής διαδικασία. Κρατώντας σταθερή την κεραία λήψης ,περιστρέψαμε την κεραία εκπομπής σε διάφορες γωνίες παίρνοντας κάθε φορά την σταθερή ένδειξη του οργάνου. Έτσι συγκεντρωτικά προκύπτουν οι παρακάτω πίνακες :

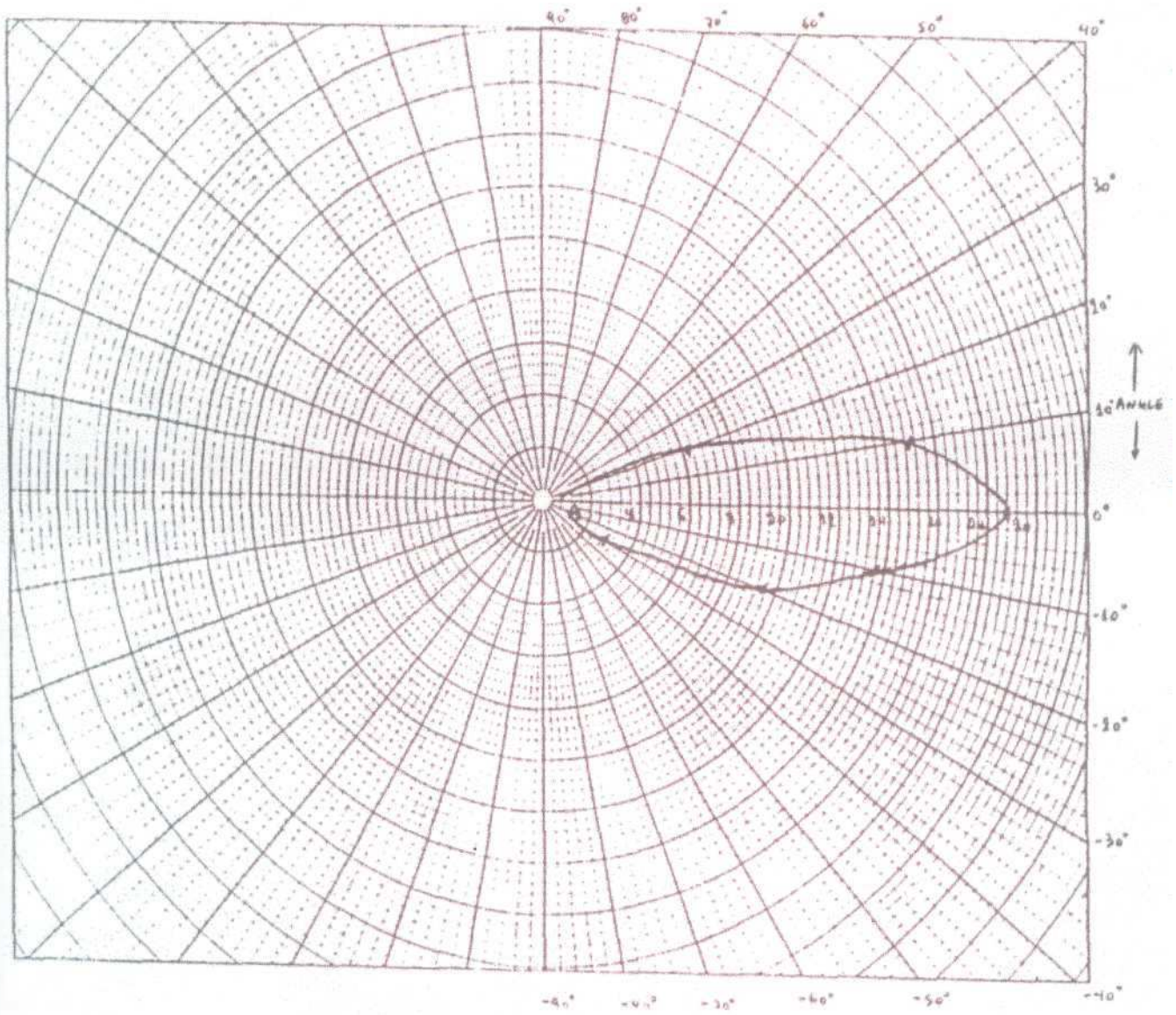
Γωνία (°)	Τάση εξόδου (mV)
0	18.1
10	15
20	6.0
30	0.6
40	0.2
50	0.3
60	0
70	0
80	0
90	0
-10	14.7
-20	10.3
-30	2.6
-40	0.2
-50	0.2
-60	0.2
-70	0.18
-80	0.1
-90	0

(a)

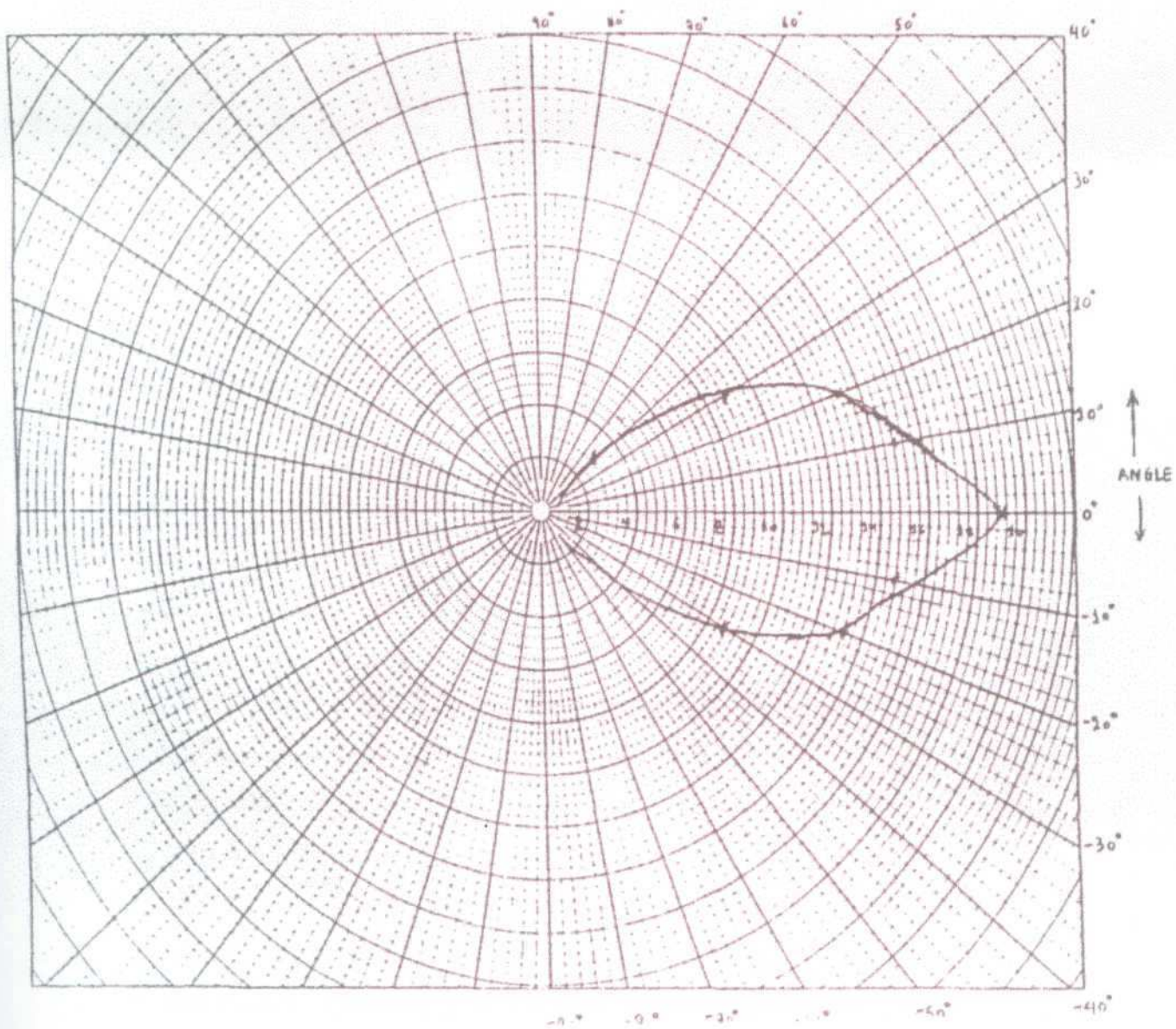
Γωνία (°)	Τάση εξόδου (mV)
0	20
10	15
20	12.8
30	8.3
40	2.5
50	0.6
60	0.7
70	0.5
80	0.2
90	0

(b)

Πίνακας : (a) Ε - επιπέδου
(β) Η - επιπέδου



Διάγραμμα ακτινοβολίας Ε-επιπέδου



Διάγραμμα ακτινοβολίας Η – επιπέδου

4.6 ΚΑΤΕΥΘΥΝΤΙΚΟΤΗΤΑ

Γνωρίζουμε ότι οι γωνίες μισής ισχύος αντιστοιχούν σε εκείνες τις γωνίες του διαγράμματος ακτινοβολίας για τις οποίες η τάση εξόδου είναι ίση με 0.707 της μεγίστης. Έτσι από το διάγραμμα ακτινοβολίας E - επιπέδου της μικροταινιακής κεραίας βρίσκουμε ότι $\Theta_1 = 25^\circ = 0.436 \text{ rads}$ και $\Theta_2 = 40^\circ = 0.68 \text{ rads}$.

Επομένως χρησιμοποιώντας τη σχέση $D = 10 \log_{10} 4\pi / \Theta_1 \Theta_2$ βρίσκουμε ότι η κατευθυντικότητα της κεραίας είναι $D = 16.3 \text{ dB}$.

4.7 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάστηκε η μελέτη σχεδιασμού της μικροταινιακής κεραίας τόξου 4 ορθογωνίων στοιχείων καθώς επίσης η κατασκευή και η διεξαγωγή μετρήσεων των χαρακτηριστικών της.

Η κεραία υπολογίστηκε για να λειτουργεί στην συχνότητα των 10 GHz. Πειραματικά όμως η κεραία αυτή εκπέμπει στην συχνότητα των 8.6 GHz. Η απόκλιση αυτή στην συχνότητα εκπομπής οφείλεται στους παρακάτω λόγους:

- > Οι μικροταινιακές κεραίες που λειτουργούν σε συχνότητες της τάξεως των 10 GHz απαιτούν υλικά υποστρώματος με μικρή διηλεκτρική σταθερά όπως Teflon , PTFE κλπ. Όμως λόγω έλλειψης των συγκεκριμένων υλικών από των εργαστηριακό χώρο αλλά και του πολύ υψηλού κόστους αγοράς τους , χρησιμοποιήθηκε χαλκός ο οποίος έχει πολύ μεγάλη διηλεκτρική σταθερά.
- > Για τον σχεδιασμό των μικροταινιακών κεραιών έχουν αναπτυχθεί πολλές και εκτεταμένες μαθηματικές αναλύσεις με πολύπλοκους τύπους οι οποίοι ορισμένες φορές είναι και αναξιόπιστοι. Επομένως κατά τον υπολογισμό των στοιχείων της κεραίας χρειάστηκε να γίνουν ορισμένες προσεγγίσεις , στρογγυλοποιήσεις αλλά και να χρησιμοποιηθούν μερικοί εμπειρικοί τύποι. Όμως οι ελάχιστες έστω αποκλίσεις των στοιχείων της κεραίας (L , W , κτλ.) επιφέρουν και απόκλιση στη συχνότητα ακτινοβολίας της κεραίας.

Αντίθετα με τα παραπάνω , όπως είδαμε από τα διαγράμματα ακτινοβολίας η κεραία έχει πολύ μεγάλη κατευθυντικότητα και εύρος . Αυτό ήταν και το θεωρητικά αναμενόμενο αποτέλεσμα αλλά και ο λόγος που μας οδήγησε στην κατασκευή της παραπάνω κεραίας.

Τέλος πρέπει να σημειώσουμε ότι δεν είχαμε την δυνατότητα να υπολογίσουμε το κέρδος της κεραίας και πειραματικά λόγω ελλείψεως των κατάλληλων εργαστηριακών οργάνων.

Γενικά μπορούμε να πούμε ότι η κατασκευή της μικροταινιακής κεραίας 4 ορθογωνίων στοιχείων ήταν επιτυχής διότι αν και παρουσιάστηκαν ορισμένες αποκλίσεις των θεωρητικών εκ των πειραματικών αποτελεσμάτων , η κεραία παρουσίασε πάρα πολύ καλά χαρακτηριστικά.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΟΠΤΙΚΕΣ

Σκοπός αυτής της πτυχιακής εργασίας ήταν η ανάλυση και η μελέτη κατασκευής των μικροταινιακών κεραιών , ιδιαίτερα των τόξων ορθογωνίων στοιχείων και η λεπτομερή ανάλυση των χαρακτηριστικών τους (κατευθυντικότητα , κέρδος , απόδοση κλπ.) που αφορούν την βέλτιστη λειτουργία τους.

Αρχικά παρουσιάστηκαν όλες οι βασικές αρχές των μικροταινιακών κεραιών με σκοπό την βαθύτερη κατανόηση της λειτουργίας και των χαρακτηριστικών των κεραιών αυτών. Έπειτα αναπτύχθηκαν όλες οι απαιτούμενες μαθηματικές εκφράσεις για τον σχεδιασμό των κεραιών και στο τέλος παρουσιάστηκε ολοκληρωμένα η κατασκευή της μικροταινιακής κεραίας τόξου 4 ορθογωνίων στοιχείων και η διεξαγωγή των μετρήσεων της.

Τα αποτελέσματα που αποκομίσαμε , λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά της κεραίας , μπορούν να θεωρηθούν ικανοποιητικά δεδομένου και των διαθέσιμων υλικοτεχνικών εργαστηριακών υποδομών. Όλα τα συμπεράσματα που εξήχθησαν αναφέρονται αναλυτικά στο τέλος του κεφαλαίου 4. Ωστόσο αξίζει να αναφέρουμε ορισμένες προτάσεις που θα μπορούσαν να αναπτυχθούν στο μέλλον.

- > Τα τόξα ορθογωνίων στοιχείων όπως 2×2 , 4×4 κτλ., αποτελούν την βάση για τον σχεδιασμό ακόμα μεγαλύτερων τόξων , τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν ιδιαίτερα στην τεχνολογία των Radar και των

Μικροκυμάτων. Για το λόγο αυτό θα πρέπει να διερευνηθούν ακόμα περισσότερο έτσι ώστε να βελτιστοποιηθούν τα χαρακτηριστικά τους και να προκύψουν καινούργιες ιδέες για τον σχεδιασμό μικρών , πρακτικών και εμπορικών αξιόπιστων τόξων μικροταινιακών κεραιών.

- > Θα μπορούσαν να αναπτυχθούν εξελιγμένες τεχνικές Software σε Η/Υ έτσι ώστε να υπολογίζονται με ευκολία και ακρίβεια τα μεγέθη και τα χαρακτηριστικά των μικροταινιακών κεραιών .

Τελικά , όπως αποδείχτηκε οι μικροταινιακές κεραίες αποτελούν τη βάση πολλών σημερινών αλλά και μελλοντικών τεχνολογικών εφαρμογών και η μελέτη και πραγματοποίηση αυτή της πτυχιακής εργασία αποδείχτηκε πολύτιμη.

Yagi – Uda

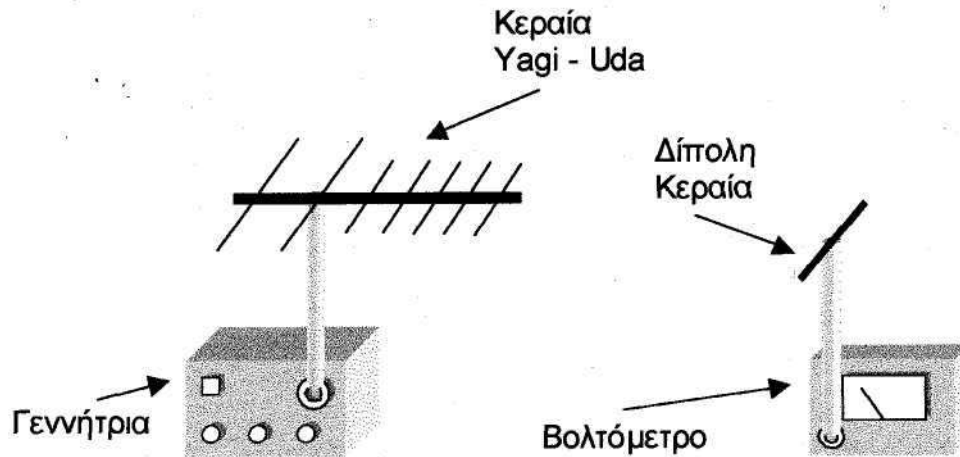
Σκοπός μας είναι να κατασκευάσουμε μια κεραία Yagi – Uda με κεντρική συχνότητα λειτουργίας $f=850$ MHz. Ο πρώτος υπολογισμός που κάνουμε είναι για να βρούμε το μήκος κύματος αυτής της συχνότητας. Θα πρέπει όμως να λάβουμε υπόψη μας ότι η ταχύτητα του φωτός που είναι ίση με $c=3*10^8$ m/sec στον ελεύθερο, μειώνεται στην περίπτωση που μεταδίδεται σε άλλο υλικό. Εφόσον λοιπόν το υλικό που είχαμε στη διάθεση μας για να κατασκευάσουμε την κεραία ήταν μπρούτζος, ο συντελεστής ταχύτητας είναι 0,95, και επομένως η $c'=2.85*10^8$ m/sec. Άρα το μήκος κύματος είναι $\lambda= c'/ f = 2.85*10^8/850*10^6 = 33,53$ cm. Αυτό είναι και το μήκος κύματος που θα χρησιμοποιήσουμε για τους υπολογισμούς μας. Ένα σημείο που θα πρέπει να γίνει συμβιβασμός είναι το κέρδος της κεραίας σε σχέση με το λόγο F/B, αφού όσο μεγαλύτερο κέρδος έχει η κεραία τόσο λιγότερο κατευθυντική θα είναι. Ακόμα, η αντίσταση εισόδου της κεραίας θα πρέπει να έχει πραγματικό μέρος τέτοιο, ώστε να μπορεί να γίνει προσαρμογή με τα ομοαξονικά καλώδια του εμπορίου, που έχουν χαρακτηριστική αντίσταση 50Ω και 75Ω, και το φανταστικό μέρος να είναι όσο το δυνατόν μικρότερο. Η κεραία που βασιστήκαμε είναι αυτή που υπάρχει στις σημειώσεις του μαθήματος Κεραίες στην σελίδα 135. Για να βελτιώσουμε τον λόγο F/B, προσθέσαμε έναν ακόμα κατευθυντήρα. Έτσι η κεραία που κατασκευάσαμε είναι η εξής:

Στοιχείο	Μήκος (λ)	Μήκος (cm)	Απόσταση (λ)	Απόσταση (cm)	Διάμετρος (λ)	Διάμετρος (cm)
A	0,51	17,10	0,00	0,00	0,0089	0,30
ΕΔ	0,50	16,77	0,24	8,05	0,0075	0,25
K ₁	0,40	13,412	0,50	16,77	0,0075	0,25
K ₂	0,40	13,412	0,65	21,79	0,0075	0,25
K ₃	0,40	13,412	0,80	26,82	0,0075	0,25
K ₄	0,40	13,412	0,95	31,85	0,0075	0,25
K ₅	0,40	13,412	1,10	36,88	0,0075	0,25

Ο πίνακας 2 περιέχει αναλυτικά τις διαστάσεις της κεραίας. Ένας περιορισμός που παρουσιάστηκε ήταν η διάμετρος των στοιχείων. Τα διαθέσιμα υλικά είχαν διάμετρο 2,5mm και 3mm, ενώ οι θεωρητικοί υπολογισμοί απαιτούσαν υλικά διαμέτρου περίπου 1,5mm και 2mm. Οι μπρούτζινες βέργες, αφού κόπηκαν στο κατάλληλο μέγεθος, τοποθετήθηκαν σε μια κυλινδρική βάση από αλουμίνιο, το οποίο είχε τρυπηθεί στα κατάλληλα σημεία. Τα παρασιτικά στοιχεία στερεώθηκαν με κόλλα και λόγω της αγωγίμης βάσης, ήταν ηλεκτρικά συνδεδεμένα μεταξύ τους. Το ενεργό δίπολο αντίθετα απομονώθηκε ηλεκτρικά από τη βάση για να μην βραχυκυκλωθεί, και στερεώθηκε με μονωτική ταινία. Η σύνδεσή του έγινε με ομοαξονικό καλώδιο 50Ω.

Η τροφοδοσία της κεραίας έγινε με γεννήτρια με συχνότητα 910 MHz. Αυτό σημαίνει ότι το κέρδος της κεραίας θα είναι μικρότερο από το αναμενόμενο, αφού η κεραία

κατασκευάστηκε αρχικά για την συχνότητα των 850MHz. Επιπλέον, δεν χρησιμοποιήθηκαν κυκλώματα προσαρμογής, δηλαδή ο λόγος στασίμου κύματος ήταν λίγο διαφορετικός από την μονάδα. Η διάταξη των μετρήσεων είναι η παρακάτω.



Η πόλωση της κεραίας Yagi – Uda είναι οριζόντια. Αυτό επαληθεύτηκε κι πειραματικά με μια σχάρα από παράλληλους αγωγούς. Όταν αυτή τοποθετήθηκε οριζόντια ως προς το έδαφος μεταξύ της κεραίας μας και της κεραίας λήψης, το ηλεκτρικό επίπεδο στον δέκτη μειώθηκε αισθητά. Αυτό δείχνει ότι οι γραμμές του ηλεκτρικού πεδίου είναι παράλληλες στο επίπεδο του εδάφους, άρα η πόλωση της κεραίας είναι οριζόντια.

Για να υπολογίσουμε την κατευθυντικότητα υπολογίζουμε το εμβαδό του διαγράμματος ακτινοβολίας του E – επιπέδου, $E = 42,7 \text{ cm}^2$. Αυτό αντιστοιχεί σε μια μέση ακτίνα $r_{\text{mean}} = 3.69 \text{ cm}$. Η μέγιστη ακτίνα του διαγράμματος ακτινοβολίας είναι $r_{\text{max}} = 9.2 \text{ cm}$. Επομένως η κατευθυντικότητα μπορεί να υπολογιστεί από τον τύπο

$$d = r_{\text{max}}^2 / r_{\text{mean}}^2 = 6.21$$

$$D = 20 \log d = 15.87 \text{ dB}$$

Για να υπολογίσουμε το κέρδος της κεραίας σε αναφορά με το δίπολο, μετράμε την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου στον δέκτη με κεραία εκπομπής την κεραία μας. Κατόπιν στην ίδια απόσταση την αντικαθιστούμε με μια δίπολη κεραία που εκπέμπει την ίδια ισχύ, και μετράμε εκ νέου την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου στον δέκτη. Ο λόγος των δύο αυτών μεγεθών παριστά το κέρδος της κεραίας σε αναφορά με το δίπολο.

$$G = E_{\text{YAGI-UDA}} / E_{\text{DIPOLE}} = 5.27 = 7.2 \text{ dBd}$$

$$F/B = r_{\text{front}} / r_{\text{back}} = 3.17 = 10.2 \text{ dB}$$

Ο λόγος F/B υπολογίστηκε από το διάγραμμα ακτινοβολίας, και είναι ο λόγος της ακτίνας του προστινού λοβού προς την ακτίνα του πίσω λοβού.

Η αντίσταση εισόδου της κεραίας υπολογίστηκε με την βοήθεια του προγράμματος Yagimax 3.11. Το πρόγραμμα αυτό που τρέχει σε PC, είναι ικανό να παράγει αξιόπιστα διαγράμματα ακτινοβολίας αλλά και να υπολογίσει διάφορα μεγέθη για την κεραία σε

συνάρτηση με την συχνότητα, όπως είναι το κέρδος, ο λόγος F/B, ο λόγος στάσιμου κύματος και άλλα. Ο πίνακας 5 έχει προκύψει από αυτό το πρόγραμμα, και δείχνει τις τιμές διαφόρων παραμέτρων της κεραίας, για συχνότητες από 850MHz έως 910MHz.

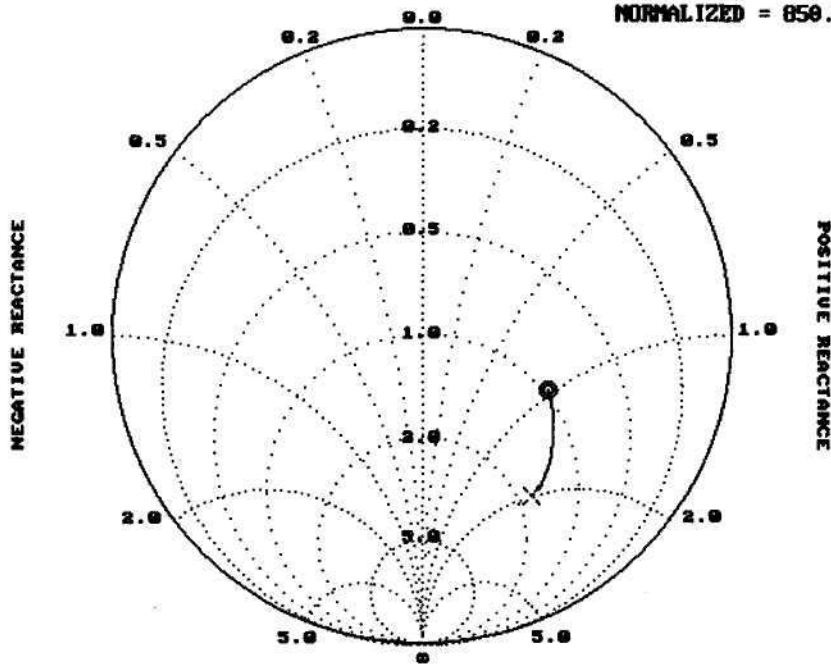
Η γωνία μισής ισχύος είναι $\theta=52,5^{\circ}$. Σε αυτή τη γωνία το ηλεκτρικό πεδίο πέφτει στο 70,7%, άρα και η ισχύς κατά 3 dB.

Συχνότητα (MHz)	Κέρδος (dBi)	Λόγος F/B dB	Αντίσταση Ohm	Λόγος στασίμου κύματος
850.000	9.78	11.88	49.45+j49.84	1.00
853.000	9.79	11.77	50.83+j53.01	1.07
856.000	9.79	11.63	52.25+j56.17	1.14
859.000	9.79	11.47	53.72+j59.32	1.22
862.000	9.79	11.31	55.26+j62.46	1.29
865.000	9.79	11.15	56.85+j65.59	1.37
868.000	9.79	10.98	58.52+j68.69	1.45
871.000	9.78	10.81	60.25+j71.77	1.54
874.000	9.77	10.65	62.07+j74.80	1.62
877.000	9.76	10.50	63.95+j77.77	1.70
880.000	9.74	10.36	65.92+j80.68	1.79
883.000	9.73	10.23	67.96+j83.52	1.87
886.000	9.71	10.12	70.08+j86.26	1.95
889.000	9.69	10.03	72.26+j88.88	2.03
892.000	9.67	9.95	74.50+j91.38	2.11
895.000	9.65	9.89	76.79+j93.73	2.18
898.000	9.62	9.86	79.11+j95.92	2.25
901.000	9.60	9.85	81.44+j97.92	2.31
904.000	9.58	9.87	83.75+j99.72	2.37
907.000	9.57	9.91	86.02+j101.30	2.42
910.000	9.56	10.00	88.21+j102.66	2.46

Το πρόγραμμα Yagimax έχει ακόμα την δυνατότητα να σχεδιάσει έναν χάρτη Smith. Στο σχήμα 16 φαίνεται ο χάρτης Smith, και τα σημεία O και X αντιπροσωπεύουν την αντίσταση εισόδου στα 850 και 910 MHz αντίστοιχα. Τα σημεία είναι κανονικοποιημένα για αντίσταση $z=52\Omega$

SMITH CHART OF KERAIES YAGI

START (0) = 850.000
 END (X) = 910.000
 NORMALIZED = 850.000

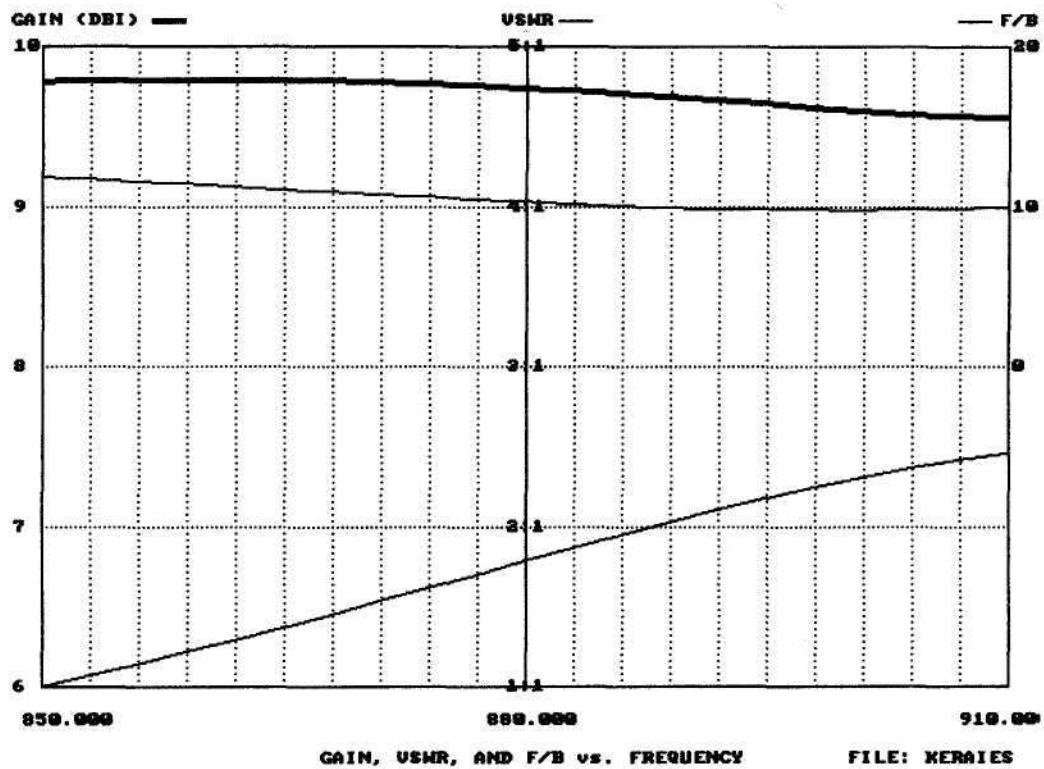


YAGIMAX 3.0

NORMALIZED TO 52.0

Ο χάρτης Smith μπορεί να μας χρησιμεύσει σε θέματα προσαρμογής. Η γραμμή μεταφοράς που χρησιμοποιούμε έχει χαρακτηριστική αντίσταση $z=50\Omega$, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως. Παρατηρούμε λοιπόν ότι η κεραία που κατασκευάσαμε κάνει πολύ καλή προσαρμογή με την γραμμή μεταφοράς, αφού το πραγματικό της μέρος για συχνότητα $f=850\text{ MHz}$ είναι $Z_{in}=49.45+j49.84\Omega$. Εάν θέλαμε να εξαλείψουμε εντελώς το φανταστικό μέρος για τέλεια προσαρμογή, θα μπορούσαμε να εφαρμόσουμε την μέθοδο του βραχυκυκλωμένου stub. Αν σε κατάλληλο μήκος από το σημείο τροφοδοσίας της κεραίας βραχυκυκλώσουμε 2 παράλληλους αγωγούς, τότε η ισοδύναμη αντίσταση εισόδου της κεραίας θα αποτελείται μόνο από πραγματικό μέρος και θα έχουμε επιτύχει τέλεια προσαρμογή.

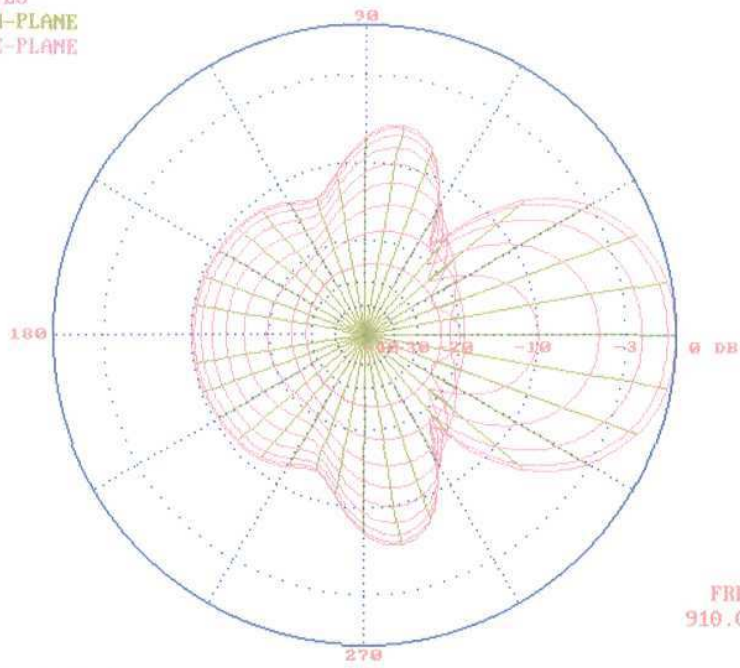
Στο σχήμα 17 φαίνονται με γραφικό τρόπο οι μεταβολές στο κέρδος, τον λόγο F/B και τον λόγο στασίμου κύματος της κεραίας, για τις συχνότητες από 850MHz έως 910MHz.



Τέλος στο σχήμα 18 φαίνεται μια 3D απεικόνιση του διαγράμματος ακτινοβολίας για το E επίπεδο και το H επίπεδο ταυτόχρονα.

3-D PLOT OF 7 EL YAGI
FILE: KEB01ES
10 DEGREE H-PLANE
10 DEGREE E-PLANE

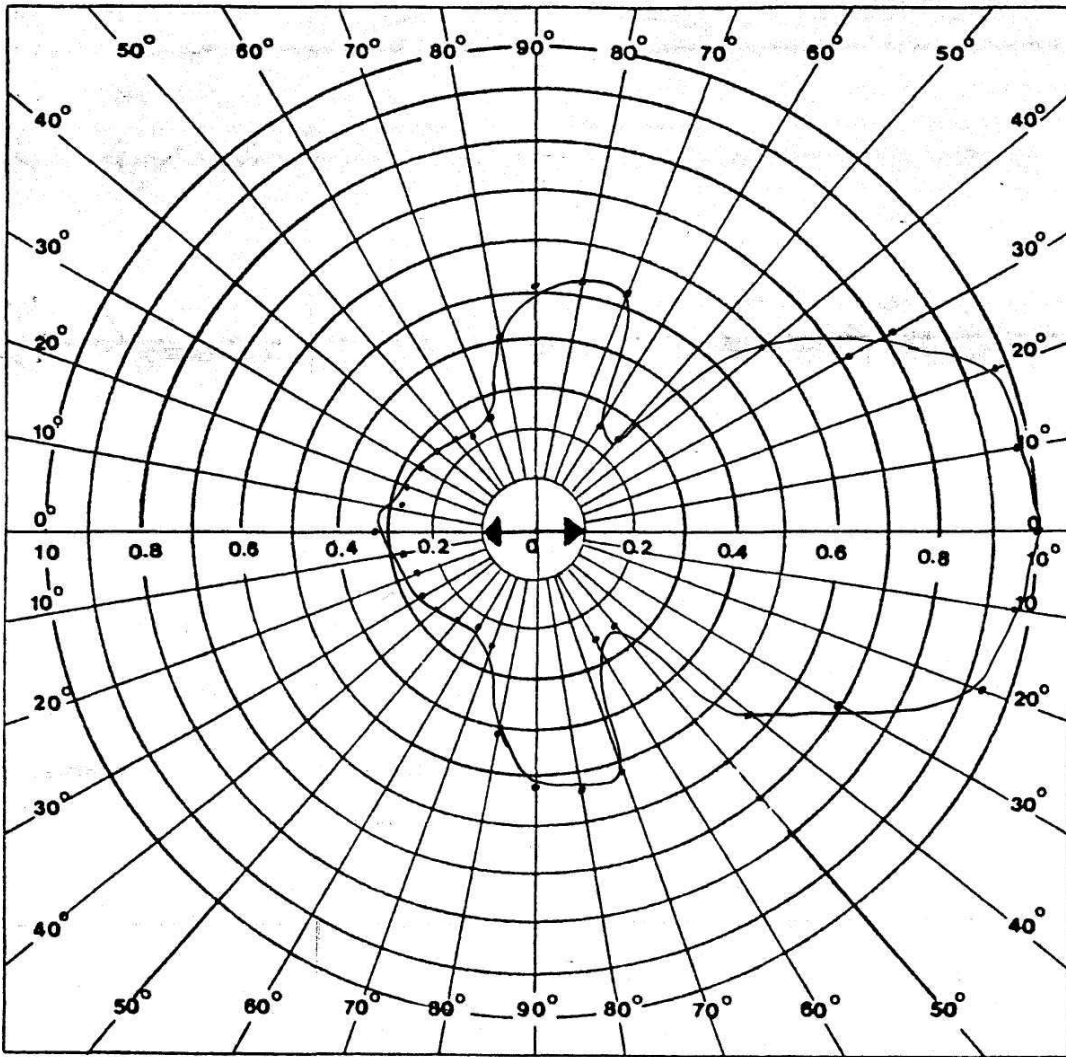
NORMALIZED AT 9.56 DBI



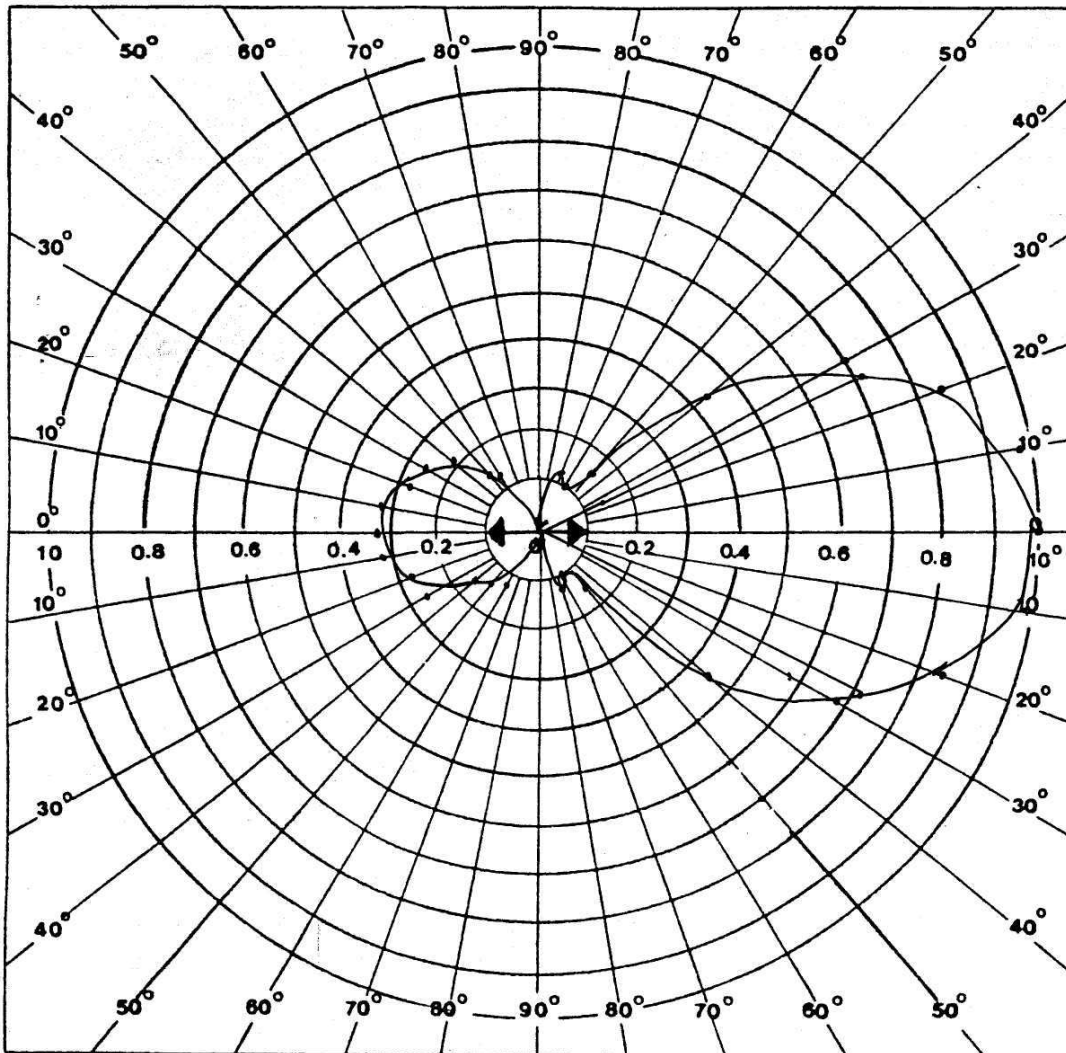
FREQUENCY
910.000 MHZ

YAGIMAX 3.0 BY K4UX

Το διάγραμμα ακτινοβολίας για το Η-επίπεδο είναι το εξής:



Το διάγραμμα ακτινοβολίας για το Ε-επίπεδο είναι το εξής:



ΧΟΑΝΗ ΤΥΠΟΥ Ε

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΕΡΑΙΑΣ

Όπως ήδη έχουμε αναφέρει οι γεωμετρικοί τύποι για την κεραία είναι οι εξής

$$(L_e)^2 = (R_2)^2 + \left(\frac{B}{2}\right)^2$$

$$a_E = 2 \tan^{-1}\left(\frac{B}{2R_2}\right)$$

$$R_E = (B - b) \sqrt{\left(\frac{L_E}{B}\right)^2 - \frac{1}{4}}$$

Το κύριο πρόβλημα που αντιμετωπίσαμε στον σχεδιασμό της κεραίας ήταν η έλλειψη στοιχείων, αφού τα μόνα γνωστά μεγέθη ήταν η συχνότητα των 10 GHz, η μια πλευρά του ανοίγματος της κεραίας a και το μήκος δ του οποίου η βέλτιστη τιμή του για το Ε επίπεδο είναι 0.25λ . Πρέπει σε αυτό το σημείο να αναφέρουμε, ότι αρκετές από τις παραμέτρους οι οποίες χρησιμοποιούνται θα αναλυθούν ικανοποιητικά στα παρακάτω κεφάλαια της εργασίας αυτής.

Όπως ήδη αναφέραμε στο άνοιγμα της χοάνης παρουσιάζεται μια καθυστέρηση φάσης μεταξύ των σημείων του κύματος που φτάνουν στα άκρα του ανοίγματος και αυτών που βρίσκονται ήδη στο κέντρο του. Η σταθερά φάσης β αλλάζει τιμή καθώς το κύμα προχωρά από τον κυματοδηγό προς τον ελεύθερο χώρο. Η μεταβολή της φάσης στο άνοιγμα της κεραίας στο επίπεδο γ δίνεται από τον τύπο

$$\beta - i\beta_1(\kappa - \kappa_2)$$

Η φάση στο επίπεδο χ είναι ομοιόμορφη.

Το μήκος δ υπολογίζεται αρχικά σαν συνάρτηση του ύψους γ από το Πυθαγόρειο θεώρημα ως εξής :

$$(R)^2 = (R_2)^2 + (y)^2 \Leftrightarrow R = R_2 \sqrt{1 + \left(\frac{y}{R_2}\right)^2}$$

Χρησιμοποιώντας το θεώρημα Taylor και κρατώντας τους δύο πρώτους όρους προκύπτει ότι

$$R \approx R_2 \left[1 + \frac{1}{2} \left(\frac{y}{R_2} \right)^2 \right]$$

με την προϋπόθεση ότι $y \ll R_2$ έτσι ώστε για τη μέγιστη τιμή του y (η οποία είναι $B/2$) να ισχύει $B/2 \ll R_2$. Τότε

$$R - R_2 = \frac{1}{2} \left(\frac{y^2}{R_2} \right) \Leftrightarrow \delta(y) = \frac{1}{2} \left(\frac{y^2}{R_2} \right)$$

Το δ γίνεται μέγιστο όταν το y πάρει την μέγιστη τιμή του $B/2$. Τότε από τον τελευταίο τύπο προκύπτει ότι

$$\delta_{\max} = \left(\frac{\beta}{2R_2} \right) \left(\frac{B}{2} \right)^2 = 2\pi \left(\frac{B^2}{8\lambda R_2} \right) = \frac{1}{8} \left(\frac{B^2}{R_2} \right)$$

Γνωρίζουμε ότι το δ είναι ένα μικρό κλάσμα του μήκους κύματος λ Έστω λοιπόν ότι

$$\delta = s\lambda$$

τότε

$$s\lambda = \frac{1}{8} \left(\frac{B^2}{R_2} \right)$$

και

$$s = \frac{1}{8} \left(\frac{B^2}{\lambda R_2} \right)$$

Με αυτό τον τρόπο ορίζουμε τον παράγοντα phase errors ο οποίος την όσο το δυνατόν ομοιόμορφη κατανομή πεδίου στο άνοιγμα κεραίας παίρνει την τιμή 0.25 (βέλτιστη τιμή του 2) .

Φτάνοντας σε αυτό το σημείο έγινε φανερό ότι εάν δεν κάποιο από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της κεραίας (π.χ. ακτίνα R_2 , γωνία διεύρυνσης α ή το μήκος του ανοίγματος B της κεραίας) ή κάποια από τα φυσικά χαρακτηριστικά της κεραίας όπως η κατευθυντικότητα ή το κέρδος δεν θα μπορούσαμε να προχωρήσουμε στον σχεδιασμό . Γι' αυτό τον λόγο αποφασίστηκε σε συνεργασία με τον κύριο Μαυρεδάκη ότι η παράμετρος

που θα χρησιμοποιήσουμε για την περάτωση της εργασίας θα είναι το κέρδος O της κεραίας το οποίο και ορίσαμε ίσο με 17dB . Η επιλογή αυτή έγινε λαμβάνοντας υπ' όψιν τους παρακάτω παράγοντες:

ο παράγοντας δ για βέλτιστη σχεδίαση θα είναι ίσος με 0.25. Επομένως το q_1 θα είναι ίσο με

$$q_1 = 2\sqrt{s}$$

Τα ολοκληρώματα Fresnel για $q_1=1$, έχουν τις εξής τιμές :

$$C(q_1) = C(1) = 0,77989 \Leftrightarrow C^2(1) = 0,608228412$$

$$S(q_1) = S(1) = 0,43826 \Leftrightarrow S^2(1) = 0,192071827$$

Το μήκος κύματος στον ελεύθερο χώρο στην συχνότητα των 10 GHz δίνεται από τον γνωστό τύπο $\lambda=c/f$ και είναι ίσο με 3cm (όπου c η ταχύτητα του φωτός). Το μήκος κύματος μέσα στον κυματοδηγό για τον ρυθμό TE₁₀ και την συχνότητα των 10 GHz δίνεται από τον τύπο

A) Ο τύπος του κέρδους όπως θα διαπιστώσουμε και παρακάτω περιλαμβάνει εκτός των άλλων παραμέτρων και το μήκος κύματος του κυματοδηγού, λ_g .

B) Στα 17dB οι διαστάσεις της κεραίας είναι περισσότερο εφαρμόσιμες από αυτές που θα προέκυπταν στα 20dB, τα οποία είχαμε επιλέξει αρχικά.

Στις κεραίες χοάνης, το κέρδος είναι περίπου ίσο με την κατευθυντικότητα και δίνεται από τον εξής τύπο :

Όπου a : η μικρή πλευρά του κυματοδηγού B : το άνοιγμα της χοάνης λ : το μήκος κύματος στον ελεύθερο χώρο λ_g : το μήκος κύματος στον κυματοδηγό $C(q_1)$: το ολοκλήρωμα του συνημίτονου Fresnel $S(q_1)$: το ολοκλήρωμα του ημίτονου Fresnel

$$q_1 = 2\sqrt{s}$$

Τα ολοκληρώματα Fresnel δίνονται από πίνακες, μέρος των οποίων παρατίθεται στο τέλος της εργασίας.

Για κυματοδηγό χρησιμοποιήσαμε τον w90 με διαστάσεις $a=2.286\text{cm}$ και $b=1.016\text{cm}$.

$$q_1 = 2\sqrt{s}$$

Για ολοκληρώματα Fresnel για $q_1=1$, έχουν τις εξής τιμές :

$$C(q_1) = C(1) = 0,77989 \Leftrightarrow C^2(1) = 0,608228412$$

$$S(q_1) = S(1) = 0,43826 \Leftrightarrow S^2(1) = 0,192071827$$

Ο παράγοντας 3 για βέλτιστη σχεδίαση θα είναι ίσος με 0.25 .

Επομένως το q_1 θα είναι ίσο με

Το μήκος κύματος στον ελεύθερο χώρο στην συχνότητα των 10 GHz δίνεται από τον γνωστό τύπο $\lambda = c/f$ και είναι ίσο με 3cm (όπου c η ταχύτητα του φωτός) . Το μήκος κύματος μέσα στον κυματοδηγό για τον ρυθμό TE₁₀ και την συχνότητα των 10 GHz δίνεται από τον τύπο

$$\lambda_g = \frac{\lambda}{\sqrt{1 - \left(\frac{\lambda}{2a}\right)^2}} = 3,978cm$$

Εφαρμόζοντας τα παραπάνω νούμερα στον τύπο του κέρδους , προκύπτει ότι

$$\mathbf{G=6.775662941B}\Leftrightarrow$$

$$\mathbf{17dB=6.775662941B}\Leftrightarrow$$

$$\mathbf{50.118=6.775662941B}$$

$$\mathbf{B=7.396\text{ cm}}$$

Από τον τύπο του phase error: $s = \frac{1}{8} \left(\frac{B^2}{\lambda R_2} \right)$ και για s ίσο με 0.25

προκύπτει ότι η ακτίνα R_2 θα είναι ίση με

$$\mathbf{R_2=9.116\text{ cm}}$$

Για το μήκος l_e θα έχουμε

$$(L_e)^2 = (R_2)^2 + \left(\frac{B}{2}\right)^2$$

$$\mathbf{l_e=9.838\text{ cm}}$$

Για την γωνία ανοίγματος , από τον τύπο

$$a_E = 2 \tan^{-1} \left(\frac{B}{2R_2} \right)$$

προκύπτει ότι είναι ίση με

$$\mathbf{a_E=44.16^\circ}$$

Τέλος , το μήκος R_E θα είναι ίσο με

$$\mathbf{R_E = 7.864\text{ cm}}$$

Για την κατασκευή της κεραίας , χρησιμοποιήθηκε χαλκός . Η κεραία κατασκευάστηκε στο εργαστήριο του Μηχανουργίου του ΤΕΙ. Όπως είναι φυσικό , οι τελικές διαστάσεις της κεραίας είναι ελάχιστα διαφοροποιημένες (λόγω των δεκαδικών ψηφίων) , σε σχέση με τις θεωρητικές τιμές που υπολογίσαμε προηγουμένως , και διαμορφώνονται ως εξής:

$$\mathbf{B =7.3\text{ cm}}$$

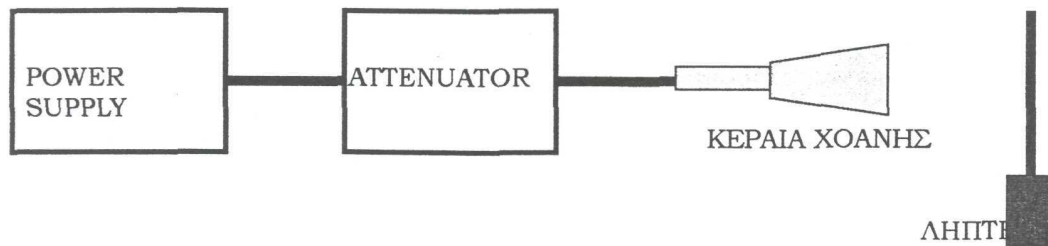
$$\mathbf{R_2 =9.15\text{ cm}}$$

$L_e = 9.9 \text{ cm}$ $R_E = 7.7 \text{ cm}$

Αυτές θα είναι λοιπόν οι θεωρητικές τιμές για τις διαστάσεις της κεραίας .
Εδώ θα πρέπει να σημειώσουμε , ότι έχουμε μια πολύ μικρή απόκλιση
από αυτές τις παραπάνω τιμές στην κατασκευή της κεραίας .

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΧΟΑΝΗΣ

Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο κεραιών του Τ.Ε.Ι. ,
όπου χρησιμοποιήσαμε την παρακάτω διάταξη :



Οι μετρήσεις προέκυψαν κρατώντας σταθερή τη κεραία λήψης και
περιστρέφοντας την κεραία χοάνης ανά 10 μοίρες , τόσο κατά το Ε , όσο
και κατά το Η επίπεδο . Οι μετρήσεις οι οποίες προέκυψαν είναι οι εξής:

Επίπεδο Ε		Επίπεδο Η	
Γωνία(°)	νεξ(πν)	Γωνία(°)	νεξ(μν)
0	22,5	0	24,5
10	21,3	10	24,5
20	18,2	20	23,3
30	14,4	30	21,7
40	10,1	40	19,6
50	7,9	50	17,1
60	4,5	60	14,6
70	2,5	70	12,2
80	1,2	80	9,3
90	1,0	90	2,5
-10	21,3	-10	24,5
-20	18,2	-20	23,3
-30	14,4	-30	21,7
-40	10,1	-40	19,6
-50	7,9	-50	17,1
-60	4,5	-60	14,6
-70	2,5	-70	12,2
-80	1,2	-80	9,3
-90	1,0	-90	2,5

Για να βρούμε τη πόλωση της κεραίας , χρησιμοποιήσαμε μια σχάρα με παράλληλα σύρματα , την οποία αρχικά την οποία παρεμβάλαμε ανάμεσα στη κεραία και τον δέκτη . αρχικά τα σύρματα έχουν διεύθυνση παράλληλη με το οριζόντιο επίπεδο , ενώ στη συνέχεια σε διεύθυνση κάθετη στο οριζόντιο επίπεδο . Τη δεύτερη φορά , η ένδειξη του οργάνου ελαχιστοποιήθηκε , επομένως η πόλωση της κεραίας είναι κατακόρυφη .

ΚΑΤΕΥΘΥΝΤΙΚΟΤΗΤΑ

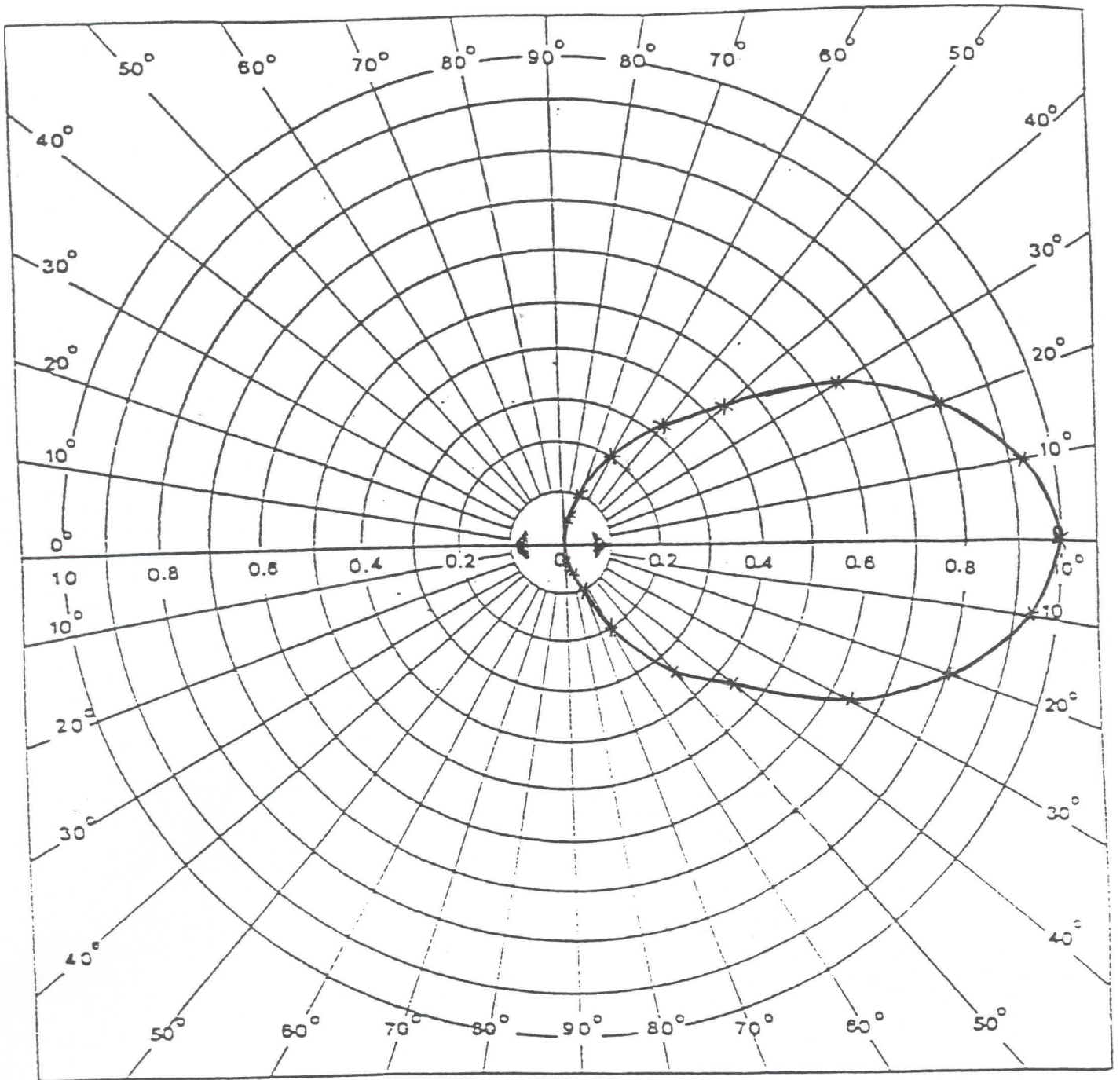
Όπως είναι ήδη κατανοητό , σε μια κεραία χοάνης Επιπέδου Ε , αυτό που μας ενδιαφέρει είναι η κατευθυντικότητα στο Ε επίπεδο . Από το διάγραμμα ακτινοβολίας που παραθέτουμε στην επόμενη σελίδα , το εμβαδόν που περικλείει το διάγραμμα (και το οποίο μετρήσαμε με (millimeter χαρτί) είναι ίσο με $34,1\text{cm}^2$. Αυτό το εμβαδόν είναι ίσο με

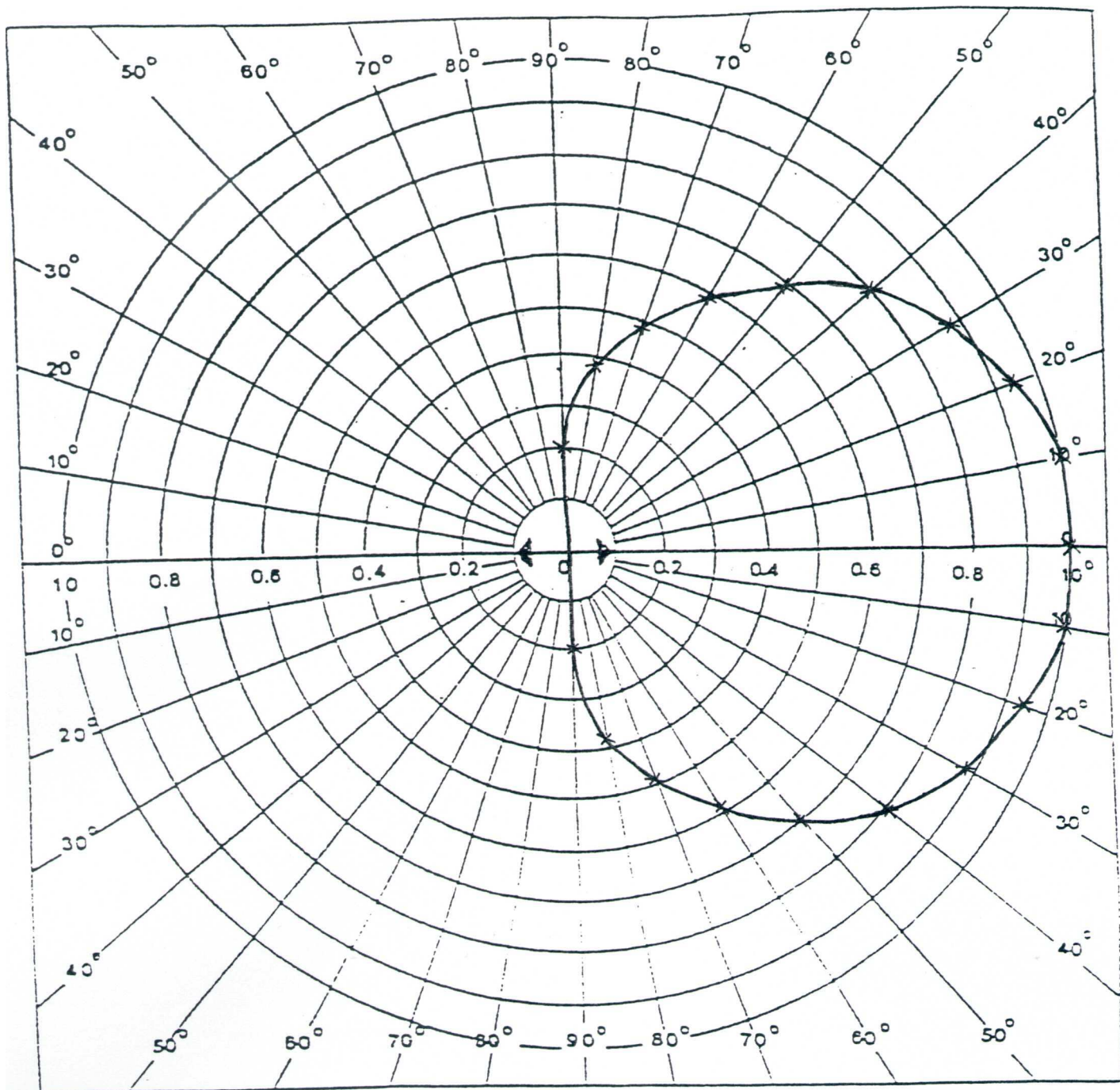
εμβαδόν κύκλου $\pi R_{2_{\eta\epsilon\alpha\eta}}^2$, επομένως $R_{2_{\eta\epsilon\alpha\eta}} = 10.85987261$. Διαιρώντας τη μέγιστη ακτίνα $R_{2_{\max}}$ με την $R_{2_{\text{Mean}}}$, έχουμε ότι $d = 6,49731378$.

Γνωρίζουμε όμως ότι $D = 20 \log_{10} d = 16,25 \text{ dB}$. Όπως βλέπουμε, έχουμε κάποιες απώλειες οι οποίες οφείλονται τόσο στο μέταλλο με το οποίο κατασκευάσαμε τη κεραία (χαλκός), όσο και στις στρογγυλοποιημένες τιμές των διαστάσεων που χρησιμοποιήσαμε κατά τη κατασκευή της κεραίας.

ΓΩΝΙΑ ΜΙΣΗΣ ΙΣΧΥΟΣ

Όπως ήδη έχουμε αναφέρει, η γωνία μισής ισχύος θεωρητικά υπολογίζεται από τον τύπο $HP_E = 54 \lambda/B$. Θεωρητικά λοιπόν, η γωνία μισής ισχύος θα είναι $HP_E = 21,9$. Όπως μπορούμε να δούμε από το διάγραμμα ακτινοβολίας του E επιπέδου, αν μετρήσουμε τη γωνία στο σημείο όπου η τάση εξόδου πέφτει στο 0,707 της μεγίστης, η γωνία μισής ισχύος με βάση το διάγραμμα θα είναι περίπου 25° .





Διάγραμμα Η-επιπέδου

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην εργασία αυτή , παρουσιάστηκε μια μελέτη γύρω από μια κεραία χοάνης Επιπέδου Ε , τόσο σε θεωρητικό όσο και σε πρακτικό επίπεδο . Σε πρακτικό επίπεδο , το κύριο πρόβλημα στη κατασκευή , ήταν οι διαστάσεις της κεραίας και το ότι δεν μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε και το τρίτο δεκαδικό ψηφίο (το οποίο προέκυπτε από τα θεωρητικά αποτελέσματα) στο κόψιμο του χαλκού . Γι'αυτό το λόγο και στρογγυλοποιήσαμε τις τιμές κατά το κόψιμο του χαλκού .

Οι μετρήσεις της κεραίας έγιναν στο εργαστήριο κεραιών του Τ.Ε.Ι. . Όπως ήδη είδαμε , τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν από την επεξεργασία των μετρήσεων , ως προς την κατευθυντικότητα και ως προς την γωνία μισής ισχύος , είναι κοντά στα θεωρητικά , αποτέλεσμα το οποίο και περιμέναμε , μιας και οι κεραίες χοάνης φημίζονται για το υψηλό τους κέρδος και τη πολύ καλή τους απόδοση . Οι μικρές απώλειες που παρουσιάστηκαν , οφείλονται στο μέταλλο του χαλκού που χρησιμοποιήσαμε καθώς και στις στρογγυλοποιημένες τιμές των διαστάσεων κατά τη κατασκευή της χοάνης .

Τέλος μπορούμε να πούμε , ότι η παραπάνω μελέτη μπορεί να αποτελέσει το δρόμο για μελέτες στις κεραίες χοάνης , τόσο στο Η επίπεδο , όσο και στις χοάνες πυραμίδας , μιας και ο τρόπος σκέψης και οι ενέργειες που θα πρέπει να γίνουν , παραμένουν οι ίδιες.

Ελικοειδούς κεραίας γραμμικής πόλωσης στα 10GHz.

Γνωρίζουμε ότι $f = 10\text{GHz}$ οπότε για $C = 3 \cdot 10^8 \text{ m/sec}$, έχουμε:

$$\lambda = \frac{C}{f} = \frac{3 \cdot 10^8 \text{ m / sec}}{10 \cdot 10^9 \cdot 1 / \text{sec}} = 30 \text{ mm}$$

Τώρα για γωνία $\alpha = 13^\circ$, διάμετρο σπείρας $D = 10\text{mm}$ και αριθμό σπειρών $N = 5 + 5 = 10$ έχουμε:

Περίμετρος έλικας D :

$$C = \pi \cdot D = 3,14 \cdot 10\text{mm} = 31,4\text{mm} \text{ Ή σε}$$

μήκη κύματος:

$$C_\lambda = \frac{C}{\lambda} = 1,05 \cdot \lambda$$

δηλαδή

$$\frac{3}{4} \cdot \lambda \leq C_\lambda \leq \frac{4}{3} \cdot \lambda$$

Το βήμα της έλικας θα είναι:

$$S = C \cdot \tan \alpha = 31,4\text{mm} \cdot \tan 13^\circ = 7,25\text{mm}$$

Και σε μήκη κύματος:

$$S_\lambda = \frac{S}{\lambda} = 0,2417 \cdot \lambda$$

Το μήκος της κάθε σπείρας θα είναι:

$$L = \frac{C}{\cos a} = \frac{31,4 \text{ mm}}{\cos 13^\circ} = 32,23 \text{ mm}$$

Και σε μήκη κύματος:

$$L_\lambda = \frac{L}{\lambda} = 1,07 \cdot \lambda$$

Οπότε το συνολικό μήκος του σύρματος Π θα είναι: $\Pi =$

$$N \cdot L = 10 \cdot 32,23 \text{ mm} = 32,23 \text{ mm}$$

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ.

Η γωνία μισής ισχύος θ θα είναι:

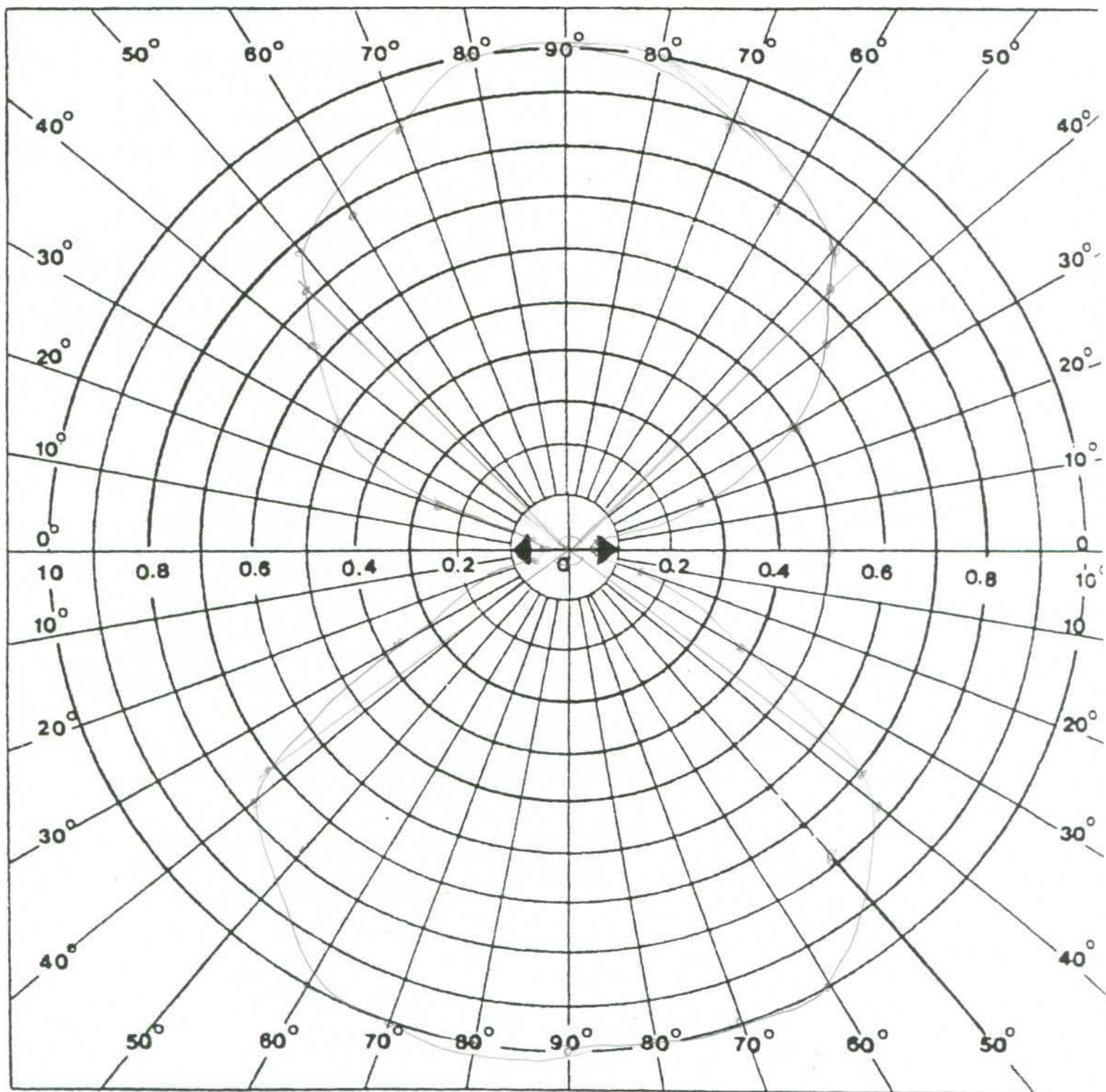
$$\theta = \frac{52}{C_\lambda \cdot \sqrt{N \cdot S_\lambda}} = \frac{52}{1,05 \cdot \sqrt{10 \cdot 0,2417}} = 31,85^\circ$$

Ενώ το κέρδος G θα είναι:

$$G = 10 \log \frac{15 \cdot C^2 \cdot N \cdot S}{\lambda^3} = 10 \log \frac{15 \cdot 31,4^2 \cdot 10 \cdot 7,25}{30^3} = 15,98 \text{ dB}$$

Γωνία	Κανονικοποιημένη
0	0,05
10	0,063
20	0,28
30	0,50
40	0,63
50	0,79
60	0,79
70	0,89
80	1
90	1
-90	1
-80	1
-70	1
-60	1
-50	0,79
-40	0,79
-30	0,39
-20	0,15
-10	0,063

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΟ Ε ΕΠΙΠΕΔΟ



Για το Η επίπεδο έχουμε: Πίνακας 2.

Γωνία	Κανονικοποιημένη Τιμή
0	0,9
30	0,95
45	1
60	1
90	1
-90	0,8
-60	0,85
-45	0,95
-30	0,95

- Για την γωνιά μισής ισχύος από το διάγραμμα ακτινοβολίας στο Ε επίπεδο έχουμε:

$$A=90$$

$$B=105$$

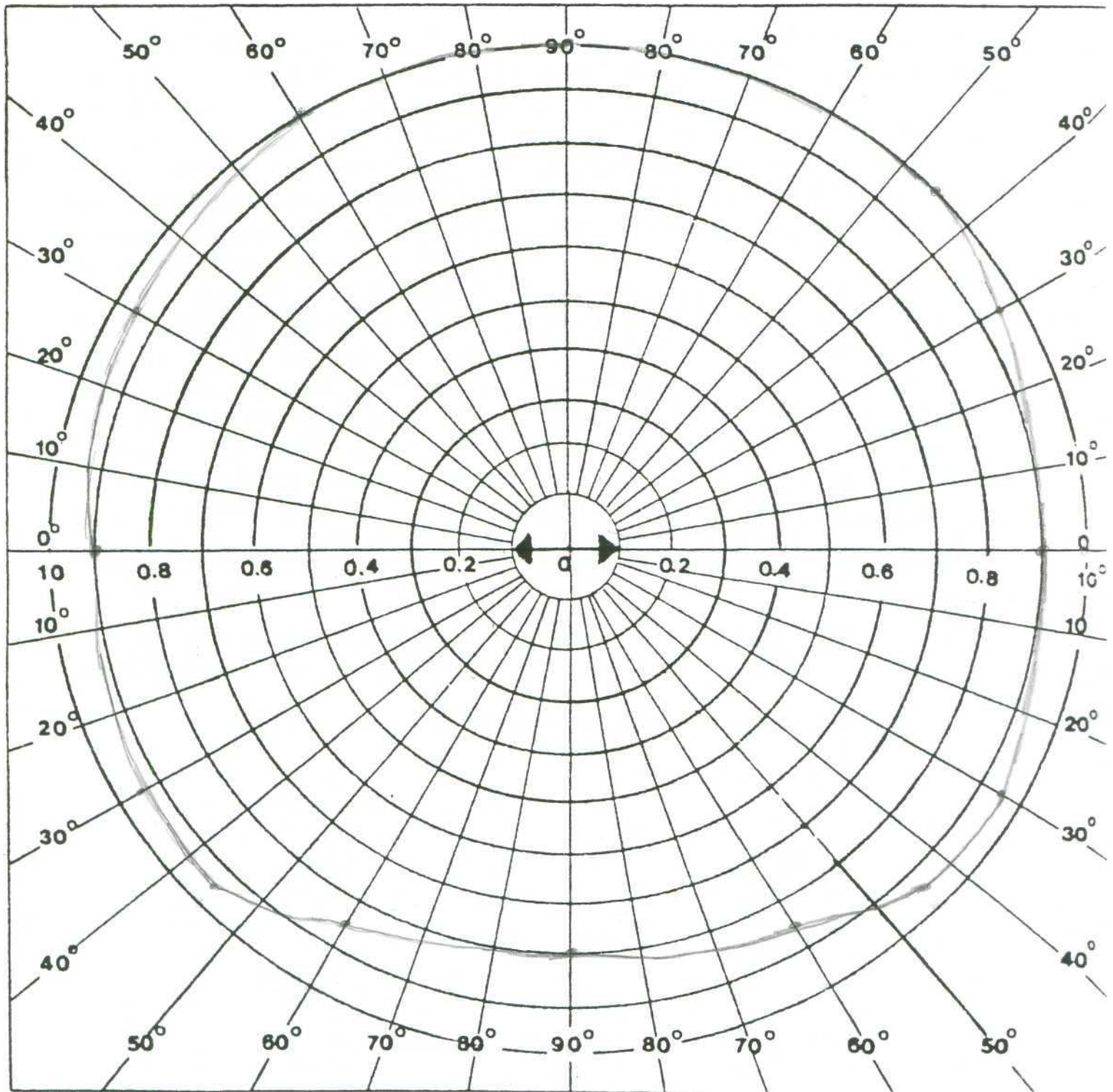
$$A+B=195^{\circ}$$

- Να προσδιοριστεί η κατευθυντικότητα της κεραίας. Από το διάγραμμα ακτινοβολίας στο Ε επίπεδο έχουμε:

$$\pi r^2 = 135 \Rightarrow r^2 = 43$$

$$d = r \max^2 / r^2 = 90/43 = 2,09$$

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΣΤΟ Η ΕΠΙΠΕΔΟ



ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΣΧΟΛΙΑ.

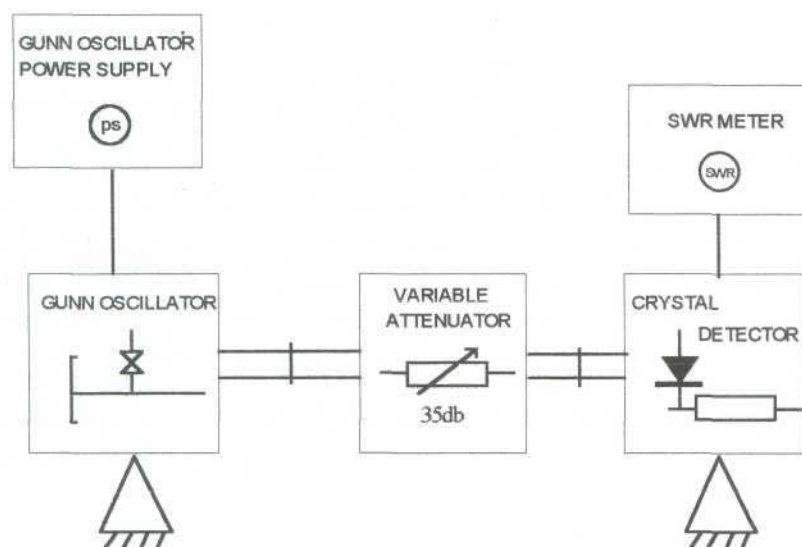
Η κεραία που μας δόθηκε προς κατασκευή ήταν μια ελικοειδής, γραμμικής πόλωσης, στα 10 GHz. Επιλέξαμε να λειτουργεί στον αξονικό ρυθμό και οι υπολογισμοί που φαίνονται παραπάνω έγιναν για δεδομένη διάμετρο σύρματος 1mm, για γωνία κλήσης 13° και 10 σπείρες. Μετά την μελέτη της κεραίας ακολούθησε η κατασκευή της στο μηχανουργείο της σχολής οπού, και χρησιμοποιήσαμε ένα τρυπάνι κατάλληλης διαμέτρου (10mm) πάνω στο οποίο τυλίξαμε το σύρμα. Με την βοήθεια ενός μικρομέτρου μετρήσαμε με ακρίβεια την απόσταση μεταξύ των σπειρών (7,25mm).

Το σημαντικότερο πρόβλημα που συναντήσαμε στην κατασκευή της κεραίας ήταν το σημείο στο οποίο έπρεπε να αλλάξουμε την φορά στο τύλιγμα των σπειρών για να επιτύχουμε την γραμμική πόλωση. Σε κανένα βιβλίο δεν μπορέσαμε να βρούμε πληροφορίες για την κατάλληλη απόσταση προσαρμογής των δεξιόστροφων σπειρών με τις αντίστοιχες αριστερόστροφες. Έτσι αυθαίρετα επιλέξαμε η απόσταση αυτή να είναι ίση με το βήμα της έλικας. Αυτή μάλλον ήταν και η αιτία στο να μην δουλέψει η κεραία μας στον επιθυμητό ρυθμό.

Μετά την κατασκευή της κεραίας την προσαρμόσαμε πάνω στον κατάλληλο connector και στη συνέχεια αφού κάναμε μια τελευταία επαλήθευση των τελικών διαστάσεων της κεραίας πήγαμε στο εργαστήριο κεραιών για να πάρουμε τις μετρήσεις.

Στο εργαστήριο, τις μετρήσεις τις πήραμε με την βοήθεια της διάταξης της χοανοειδούς κεραίας. Η διαδικασία των μετρήσεων ήταν η εξής:

1. Calibration του οργάνου. Όπου η διάταξη που χρησιμοποιήθηκε ήταν:

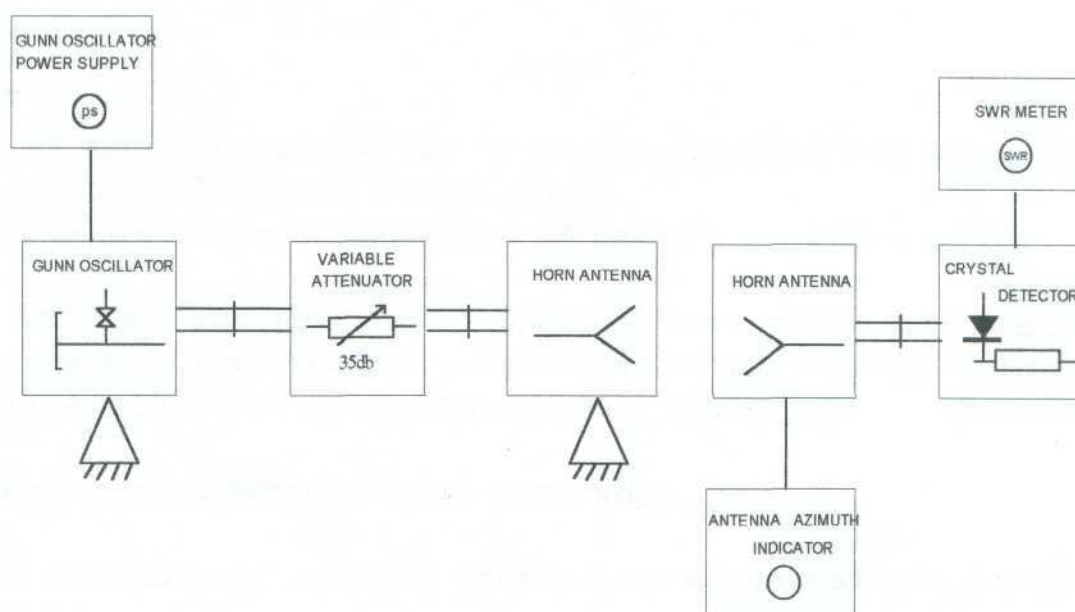


Διάταξη λήψης σήματος αναφοράς για την μέτρηση του κέρδους της χοανοκεραίας.

Α) Ρυθμίσαμε τον μεταβλητό εξασθενητή στη θέση 11 mm και ξανασυνδέσαμε το καλώδιο τροφοδοσίας.

Β) Ρυθμίσαμε τον μεταβλητό εξασθενητή για να λάβουμε ένδειξη -30dB στο SWR Meter. Αυτή είναι η στάθμη αναφοράς και αντιστοιχεί στην εκπεμπόμενη ισχύ P_t .

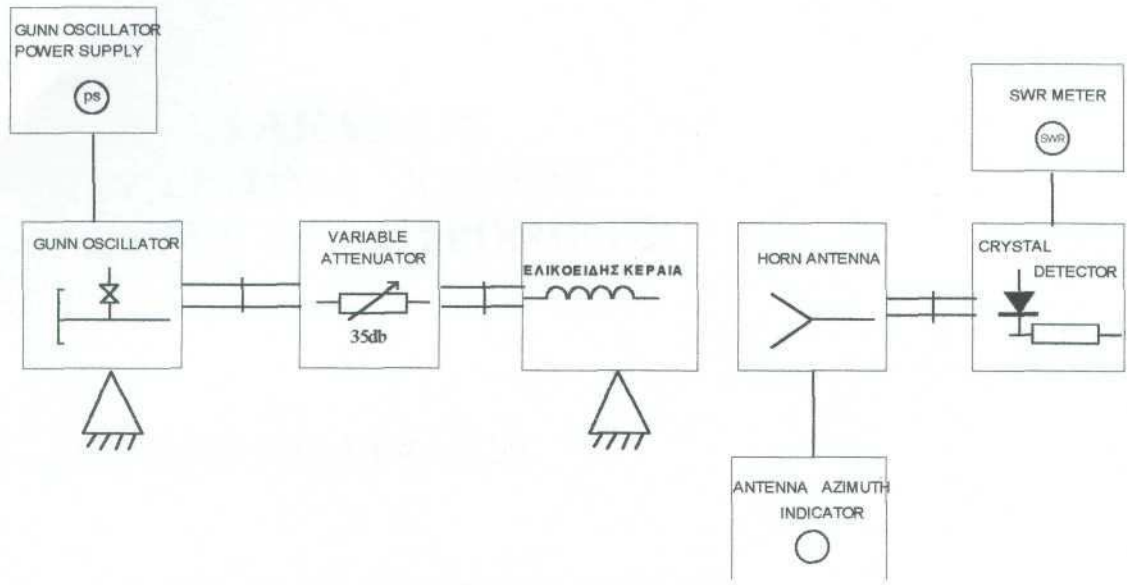
Γ) Αποσυνδέσαμε το καλώδιο τροφοδοσίας της GUNN και χωρίς να αλλάξουμε τη θέση του μεταβλητού εξασθενητή πραγματοποιήσαμε την παρακάτω συνδεσμολογία:



Σχήμα 1

Με αυτή την διάταξη υπολογίσαμε την απολαβή της χοανοειδούς κεραίας την οποία είχαμε και σαν κεραία αναφοράς για τις μετρήσεις μας λόγω του ότι ήταν γνωστή η απολαβή της σε σχέση με το ισότροπο δίπολο. Ήταν εύκολο λοιπόν να βρούμε την απολαβή της κεραίας μας αρχικά, ως προς την χοανοειδή κεραία και στην συνέχεια με απλούς υπολογισμούς ως προς το ισότροπο δίπολο.

Έτσι χρησιμοποιώντας την παραπάνω διάταξη βρήκαμε ότι η απολαβή της χοανοειδής κεραίας ήταν 42dB. Στην συνέχεια με την βοήθεια της διάταξης του σχήματος 2, χρησιμοποιώντας αυτή την φορά την κεραία μας πήραμε απολαβή 57,5dB. Έτσι καταλήξαμε στο συμπέρασμα ότι η απολαβή της κεραίας μας είναι 15,5dB ως προς την χοανοειδή.



Σχήμα2

Στη συνέχεια χρησιμοποιώντας την ίδια διάταξη πήραμε τις μετρήσεις για τα διαγράμματα ακτινοβολίας στο Η και Ε επίπεδο.

Προβλήματα που συναντήσαμε κατά την διάρκεια των μετρήσεων είναι:

A) Στο χώρο του εργαστηρίου δημιουργούνται πολλές ανακλάσεις από τα διάφορα τοιχώματα και αντικείμενα τα οποία βρίσκονται μέσα στο εργαστήριο και έτσι οι μετρήσεις μας δεν ήταν απόλυτα ακριβείς.

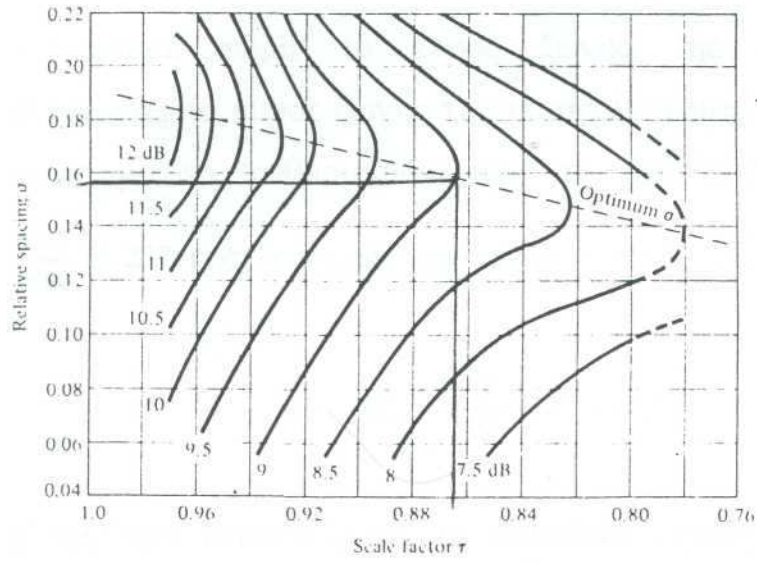
B) Επίσης είχαμε παρεμβολές από γειτονικές κεραίες.

Γ) Η απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη της πειραματικής μας διάταξης ήταν αρκετά μικρή.

ΣΧΕΔΙΑΣΗ – ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΕΡΙΟΔΙΚΗΣ ΛΟΓΑΡΙΘΜΙΚΗΣ ΚΕΡΑΙΑΣ ΔΙΠΟΛΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΜΠΑΝΤΑ ΤΗΣ ΡΑΔΙΟΦΩΝΙΑΣ FM, 88 - 108 MHz

Για να σχεδιάσουμε μια λογαριθμική περιοδική κεραία διπόλων πρέπει να καθορίσουμε πρώτα τα εξής μεγέθη : α) την κατευθυντικότητα που θέλουμε να έχει η κεραία, β) το εύρος **B** που επιθυμούμε να έχει η κεραία που θέλουμε να σχεδιάσουμε και γ) την διάμετρο των κεντρικών σωλήνων της κεραίας που για αυτό το μοντέλο σχεδίασης, πρέπει να είναι ίδια με τη διάμετρο του μεγαλύτερου στοιχείου της κεραίας. Η παράμετρος αυτή είναι πολύ σημαντική για τη σχεδίαση της κεραίας και πρέπει να γίνουν δοκιμές κατά τον υπολογισμό για διάφορες τιμές διαμέτρων d , γιατί από την διάμετρο των σωλήνων εξαρτάται σε πολύ μεγάλο βαθμό όπως είδαμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο (σχέση 13.2) η απόσταση δ μεταξύ των κέντρων των διπόλων. Για κάποιες λοιπόν τιμές διαμέτρων d , η απόσταση δ 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 κεντρικών 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 αποτέλεσμα.

λοιπόν για την κεραία τα



Έτσι έχουμε:

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{1-\tau}{4\sigma}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{1-0.865}{4\sigma}\right) = 12.13^\circ$$

Το επόμενο βήμα στη σχεδίαση της κεραίας είναι να υπολογίσουμε το εύρος ζώνης της ενεργού περιοχής. Αντικαθιστώντας λοιπόν στην (6.2), έχουμε:

$$B_{ar} = 1.1 + 7.7(1-\tau)^2 \cot \alpha = \\ 1.1 + 7.7(1-0.865)^2 \cot 12.13^\circ = 1.753$$

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

$B = \frac{B_{ar}}{88} = 1.227$ έτσι αντικαθιστώντας στην (7.2) έχουμε:

$$B_s = B B_{ar} = \frac{108}{88} 1.753 = 2.151$$

Στη συνέχεια υπολογίζουμε το συνολικό μήκος της κεραίας L , χρησιμοποιώντας την (8.2) που αναφέρθηκε προηγουμένως. Για το λόγο αυτό υπολογίζουμε πρώτα το μέγιστο μήκος κύματος της συχνότητας τροφοδότησης της κεραίας λ_{max} που για την συγκεκριμένη Λ.Π.Κ. δίπολων είναι το μήκος κύματος των 88Mhz έτσι

έχουμε :

$$\lambda_{max} = \frac{c}{f_{min}} = \frac{3 \times 10^8 \frac{m}{s}}{88 \times 10^6 \frac{c}{s}} = 3.4m$$

Από την (8.2) βρίσκουμε το συνολικό μήκος της κεραίας που είναι:

$$L = \frac{\lambda_{\max}}{4} \left(1 - \frac{1}{B_s} \right) \cot \alpha^0 = \frac{3.4}{4} \left(1 - \frac{1}{1.753} \right) \cot 12.13^\circ = 2.116 \text{ m}$$

Αντικαθιστώντας στη (10.2) βρίσκουμε τον αριθμό των στοιχείων της κεραίας:

$$N = 1 + \frac{\ln(B_s)}{\ln\left(\frac{1}{\tau}\right)} = 1 + \frac{\ln(2.151)}{\ln\left(\frac{1}{0.865}\right)} = 6.281 \text{ στοιχεία .}$$

Έτσι όπως είναι φυσικό χρησιμοποιούμε 6 ή 7 στοιχεία αν και για αυτή τη σχεδίαση όπως θα δούμε παρακάτω η χρησιμοποίηση 7 στοιχείων δεν είναι εύκολη λόγω του μήκους της κεραίας που δεν επιτρέπει την τοποθέτηση έβδομου στοιχείου .

Θα έπρεπε δηλαδή να επεκταθεί το συνολικό μήκος της κεραίας L , πάνω από 2.116π 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 Α.Π.Κ.διπόλων έγινε με έξι στοιχεία όπως θα δούμε.

Το επόμενο βήμα στη σχεδίαση της κεραίας είναι ο υπολογισμός των μηκών l όλων των στοιχείων της κεραίας. Όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως στη θεωρητική παρουσίαση της κεραίας, η κάτω συχνότητα αποκοπής στη Α.Π.Κ.διπόλων εξαρτάται από το φυσικό μήκος του μεγαλύτερου στοιχείου το οποίο πρέπει να έχει μήκος όσο το

μισό μήκος $\lambda_{\max}/2$ κύματος της κάτω συχνότητας αποκοπής. Η χαμηλότερη συχνότητα αποκοπής λοιπόν για τη σχεδίαση αυτή έχει μήκος κύματος όπως το είδαμε και προηγουμένως 3.4m .Έτσι το μεγαλύτερο δίπολο της κεραίας το οποίο βρίσκεται στο μεγάλο άκρο της κεραίας (στο απέναντι

από το σημείο τροφοδότησης σημείο), θα έχει μήκος $l_6 = \frac{\lambda_{\max}}{2} = \frac{3.4}{2} = 1.7$.

Το μήκος λοιπόν του αμέσως μικρότερου στοιχείου λοιπόν θα είναι όπως γνωρίζουμε από τη σχέση (1.2) το $I_6 \cdot \tau$. Έτσι το μήκος του κάθε στοιχείου της κεραίας, θα είναι:

$$l_6 = 1.7m$$

$$l_5 = \tau \cdot I_6 = 0.865 \cdot 1.7 = 1.474m$$

Με τον ίδιο ακριβώς τρόπο υπολογίζουμε και τα υπόλοιπα στοιχεία της κεραίας που το μήκος του κάθε ενός από αυτά είναι: $l_4 = 1.275m$

$$l_3 = 1.103m \quad l_2 =$$

$$0.954m$$

Και τέλος το μικρότερο και πλησιέστερο στο σημείο τροφοδότησης στοιχείο, θα έχει μήκος:

$$l_1 = 0.825m$$

Ο υπολογισμός της απόστασης που πρέπει να έχουν τα στοιχεία μεταξύ τους προκύπτει από το γεωμετρικό σχήμα της κεραίας το οποίο είναι όπως είναι γνωστό, ένα ισοσκελές τρίγωνο με γωνία κορυφής 2α και βάση ίση με το μεγαλύτερο στοιχείο l_6 ή αν φέρουμε την μεσοκάθετο στην βάση του ισοσκελούς τριγώνου έχουμε δύο ορθογώνια τρίγωνα με

τη μία τους πλευρά να είναι ίση με $\frac{l_6}{2}$ και μια γωνία ίση με α . Έτσι μπορούμε να υπολογίσουμε την απόσταση του μεγαλύτερου στοιχείου της κεραίας l_6 από την κορυφή του τριγώνου (γωνία α), από το γεωμετρικό σχήμα της κεραίας ως εξής:

$$R_6 = \cot \alpha \left(\frac{l_6}{2} \right) = \cot 12.13^\circ \left(\frac{1.7}{2} \right) = 3.95m$$

Όπως βλέπουμε η απόσταση του μεγαλύτερου στοιχείου l_6 από την κορυφή του τριγώνου που ορίζεται από την γωνία α είναι 3.95m ενώ το συνολικό μήκος της κατασκευής είναι όπως το βρήκαμε προηγουμένως 2.116πι. Βλέπουμε δηλαδή ότι το γεωμετρικό σχήμα της κεραίας (τρίγωνο) εκτείνεται σε μεγαλύτερο μήκος από αυτό της κεραίας ί κατά 1.834m. Το μεγαλύτερο στοιχείο της κεραίας l_6 βρίσκεται στο άκρο της κεραίας οπότε από εκεί ξεκινά ο υπολογισμός των αποστάσεων των στοιχείων. Κατά τον ίδιο τρόπο υπολογίζουμε την απόσταση R_6 και των υπολοίπων στοιχείων της κεραίας από την κορυφή του τριγώνου και η διαφορά μεταξύ των αποστάσεων που βρίσκουμε μας δίνει την απόσταση μεταξύ τους. Έτσι κατά τον ίδιο τρόπο έχουμε:

$$R_5 = 3.429m$$

$$R_4 = 2.966m$$

$$R_3 = 2.565m$$

$$R_2 = 2.219m$$

$$R_1 = 1.919m$$

Τα ίδια αποτελέσματα για τις αποστάσεις K των στοιχείων από τη κορυφή της κεραίας, θα είχαμε αν την απόσταση R_6 τη

πολλαπλασιάζαμε με τον γεωμετρικό λόγο τ . Τότε θα προέκυπτε η απόσταση R_5 , όπως γνωρίζουμε από την (2.1).

Το πρώτο μεγαλύτερο στοιχείο της κεραίας 16 απέχει από το αμέσως επόμενο μικρότερο στοιχείο I_5 , όπως είναι φυσικό κατά απόσταση $D_{6,5} = R_6 - R_5 = 3.95 - 3.429 = 0.521\text{m}$. Κατά τον ίδιο τρόπο υπολογίζουμε τις αποστάσεις ανάμεσα και στα υπόλοιπα στοιχεία που είναι:

$$D_{5,4} = 0.463\text{m}$$

$$D_{4,3} = 0.401\text{m}$$

$$D_{3,2} = 0.346\text{m}$$

$$D_{2,1} = 0.3\text{m}$$

Με βάση τους παραπάνω υπολογισμούς, το μικρότερο από το μεγαλύτερο στοιχείο της κεραίας θα απέχει απόσταση $K^{\wedge} - K_6 = 2.031/\eta$. Με δεδομένο λοιπόν ότι το συνολικό μήκος της κεραίας το έχουμε υπολογίσει και είναι $l = 2.116\text{m}$ και το πρώτο μεγαλύτερο στοιχείο της κεραίας πρέπει να βρίσκεται τοποθετημένο στο ένα άκρο της κατασκευής, ένα μικρό κομμάτι από τους δύο κεντρικούς σωλήνες τροφοδότησης μήκους 8.5cm θα προεξέχει στο σημείο τροφοδότησης της κεραίας μπροστά από το μικρότερο στοιχείο I_1 . Έτσι φαίνεται καθαρά η δυσκολία που αναφέρθηκε προηγουμένως, για επέκταση της κατασκευής πέρα από τα έξι στοιχεία.

Το επόμενο βήμα στον υπολογισμό της κεραίας είναι ο υπολογισμός της μέσης σύνθετης χαρακτηριστικής σύνθετης αντίστασης των στοιχείων Z_{α} , που υπολογίζεται από τη σχέση (11.2) και είναι:

Το μεγαλύτερο στοιχείο l_{\max}

$$Z_{\alpha} = 120 \left[\ln \left(\frac{l_{\max}}{d_{\max}} \right) - 2.25 \right]$$

σχεδίαση μας είναι το στοιχείο 16 με μήκος 1.7m όπως είπαμε και για μοντέλο σχεδίασης που

ακολουθήθηκε, πρέπει να έχει διάμετρο ίση | τους σωλήνες τροφοδότησης, που είναι 15mm όπως έχει αναφερθεί.

Αντικαθιστώντας λοιπόν στην (11.2) έχουμε:

$$Z_{\alpha} = 120 \left[\ln \left(\frac{l_6}{d_6} \right) - 2.25 \right] = 120 \left[\ln \left(\frac{1.7}{0.015} \right) - 2.25 \right] = 297,6\Omega$$

Ο λόγος μήκους προς διάμετρο $\frac{l}{d}$ πρέπει να τον διατηρούμε όσο μπορούμε σταθερό για να μην μεταβάλλεται η αντίσταση εισόδου της κεραίας. Για το μεγαλύτερο στοιχείο l_6 της κεραίας, ο λόγος μήκους προς διάμετρο είναι $\frac{1.7}{0.015} = 113.333$. Για το αμέσως επόμενο μικρότερο στοιχείο l_5 που το μήκος του υπολογίστηκε 1.474m, την καλύτερη προσέγγιση από τις διαθέσιμες τυποποιημένες διαμέτρους στο εμπόριο την έχουμε χρησιμοποιώντας σωλήνες διαμέτρου 13mm και πετυχαίνουμε λόγο μήκους προς διάμετρο $\frac{1.474}{0.013} = 113.38$. Μια πάρα πολύ καλή προσέγγιση έχουμε για το στοιχείο αυτό μια και ο λόγος μήκους προς διάμετρο διατηρείται ουσιαστικά σταθερός για τα δύο μεγαλύτερα στοιχεία της κεραίας.

Με ανάλογο τρόπο επιλέγουμε τις διαμέτρους και των υπολοίπων στοιχείων της κεραίας προσπαθώντας να επιλέγουμε πάντα διαμέτρους τέτοιες που να έχουμε τη μικρότερη δυνατή απόκλιση.

Για τα υπόλοιπα στοιχεία της κεραίας με τον ίδιο ακριβώς τρόπο οι διαμέτροι που χρησιμοποιήθηκαν είναι:

Για το στοιχείο I_4 με μήκος 1.275 την καλύτερη προσέγγιση την έχουμε χρησιμοποιώντας σωλήνα διαμέτρου 12 και πετυχαίνουμε λόγο μήκους προς διάμετρο $\sigma' = 106.25$.

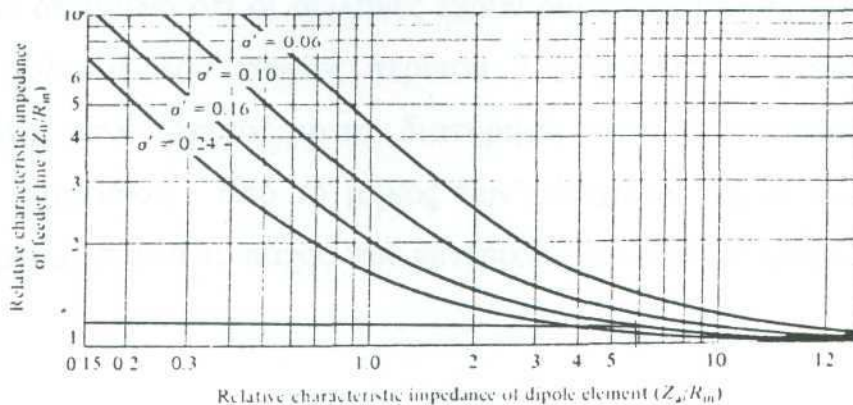
Για το επόμενο στοιχείο I_3 επιλέγουμε σωλήνες διαμέτρου 10mm και ο λόγος μήκους προς διάμετρο για το στοιχείο αυτό είναι $\sigma' = 110.3$. Τέλος για τα δύο τελευταία μικρότερα στοιχεία I_2 και I_1 , την καλύτερη προσέγγιση έχουμε χρησιμοποιώντας σωλήνες διαμέτρου 8mm με λόγο μήκους προς διάμετρο 119.25 και 103.25 αντίστοιχα.

Ο υπολογισμός της Α.Π.Κ. διπόλων τελειώνει με τον υπολογισμό της απόστασης μεταξύ των δύο κεντρικών σωλήνων τροφοδότησης της κεραίας, μέγεθος πολύ καθοριστικό για την λειτουργία της που καθορίζεται από την επιθυμητή αντίσταση εισόδου της κεραίας.

Υπολογίζουμε πρώτα τον σχετικό συντελεστή θέσης που δίνεται από την (12.2) και είναι:

$$\sigma' = \frac{\sigma}{\sqrt{\tau}} = \frac{0.157}{\sqrt{0.865}} = 0.168$$

Πηγαίνουμε στη συνέχεια στις καμπύλες του σχήματος 9.2 και χαράζουμε την καμπύλη που αντιστοιχεί στην τιμή του σ' που βρήκαμε όπως βλέπουμε στο επόμενο σχήμα, (σχ.2.3).



Σχήμα 2.3) Εύρεση του Z_0 μέσω του σ' και των καμπυλών

Υπολογίζουμε την τιμή του λόγου $\frac{Z_a}{R_{in}}$ όπου Z_a η μέση χαρακτηριστική αντίσταση των στοιχείων που υπολογίσαμε προηγουμένως και R_{in} η επιθυμητή πραγματική σύνθετη αντίσταση εισόδου της κεραίας που έχει επιλεγεί να είναι 50Ω . Έχουμε λοιπόν $\frac{Z_a}{R_{in}} = \frac{297.6}{50} = 5.952$. Βρίσκουμε λοιπόν το σημείο που αντιστοιχεί στην τιμή αυτή στον οριζόντιο άξονα και προβάλλοντας το σημείο αυτό στον κατακόρυφο άξονα βρίσκουμε την τιμή του λόγου $\frac{Z_0}{R_{in}}$ (όπου Z_0 η χαρακτηριστική σύνθετη αντίσταση των γραμμών τροφοδότησης των στοιχείων ή καλύτερα η χαρακτηριστική σύνθετη αντίσταση στο σημείο τροφοδότησης).

Έχουμε λοιπόν $\frac{Z_0}{R_{in}} \approx 1.25 \Rightarrow Z_0 = 1.25 \cdot 50\Omega = 62.5\Omega$. Υπολογίζουμε λοιπόν την απόσταση S μεταξύ των κέντρων των δύο κεντρικών σωλήνων από την (13.2) που είναι :

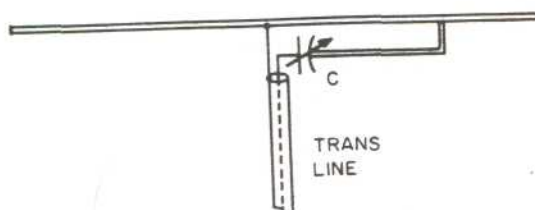
$$S = d \cosh\left(\frac{Z_0}{120}\right) = 15mm \cdot \cosh\left(\frac{62.5}{120}\right) = 17.08mm$$

Έτσι με τα κέντρα των σωλήνων να απέχουν μεταξύ τους $17.08mm$. και με δεδομένο ότι οι σωλήνες έχουν διάμετρο $15mm$, ένας αποστάτης από φύλο τεφλόν πάχους περίπου 2 χιλιοστών ανάμεσα στους δύο σωλήνες είναι αρκετός για την διατήρηση αυτής της απόστασης.

Σημείωση : από το μήκος των στοιχείων της κεραίας πρέπει να αφαιρούμε πάντα το πάχος των κεντρικών σωλήνων τροφοδότησης .

Εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε

Σαν κεραία αναφοράς, χρησιμοποιήθηκε ένα δίπολο με προσαρμογή GAMMA MATCH όπως αυτό του επομένου σχήματος, το οποίο παρουσιάζει σταθερό λόγο V.S.W.R. σε όλη την μπάντα της ραδιοφωνίας FM.



Σχήμα 3.3) Δίπολο με προσαρμογή *gamma match*

Το μήκος του δίπολου είναι 1.5π και η διάμετρος του 12mm. Η επαγωγική γραμμή που χρησιμοποιήθηκε, έχει μήκος 34 cm και διάμετρο 5mm (Σ αυτού του τύπου τις κεραίες, πρέπει η διάμετρος της επαγωγικής γραμμής να είναι περίπου το $\frac{1}{3}$ με - της διαμέτρου του δίπολου). Η απόσταση μεταξύ του δίπολου και της επαγωγικής γραμμής είναι 16 mm. Το μήκος της επαγωγικής γραμμής μεταβάλλεται καθώς η επαγωγική γραμμή συνδέεται με το δίπολο με μεταλλικό συνδετήρα ο οποίος ολισθαίνει κατά μήκος των δύο σωλήνων και με την χρήση βιδών, στηρίζεται στο κατάλληλο κάθε φορά σημείο. Ο πυκνωτής που χρησιμοποιήθηκε είναι μεταβλητός με χωρητικότητα 30-60 (pf). Τα δύο μεταβλητά στοιχεία της κεραίας (πυκνωτής και πηνίο) μεταβάλλονται

μέχρι να συντονίσει η κεραία (Σε περίπτωση εκπομπής για ελάχιστο λόγο S.W.R. σε περίπτωση λήψης για μέγιστη ένδειξη).

Ως πομπός αναφοράς χρησιμοποιήθηκε ένας πομπός Ιταλικής προέλευσης αγνώστων λοιπών στοιχείων με P.L.L., ισχύ εξόδου 1 watt και σταθερό λόγο S.W.R. σε όλη την μάντα (ελέγχθηκε σε όλη την μάντα με τη χρήση εικονικού φορτίου - dummy load).

Η γέφυρα στάσιμων κυμάτων που χρησιμοποιήθηκε είναι Ιταλικής κατασκευής και προελεύσεως Zetagi 201.

**ΣΩΛΗΝΕΣ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ, ΔΙΑΘΕΣΙΜΕΣ ΣΤΟ ΕΜΠΟΡΙΟ
(ΚΑΤΑ ΔΙΑΜΕΤΡΟ)**

Οι τιμές των διαμέτρων (εξωτερικών) των σωλήνων αλουμινίου, οι οποίες είναι διαθέσιμες στο εμπόριο είναι οι ακόλουθες :

- 5 mm
- 6mm
- 8mm
- 10mm
- 12mm
- 13mm
- 15mm
- 16mm
- 17mm
- 19mm
- 20mm
- 22mm
- 24mm
- 25mm

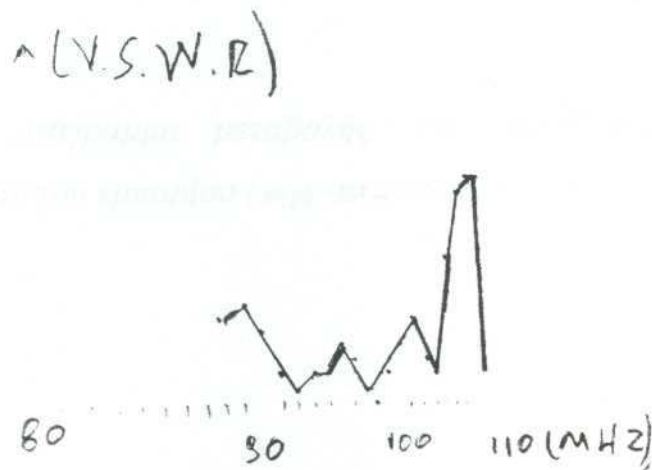
ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ

Οι διακυμάνσεις του λόγου στασίμων κυμάτων της κεραίας μετά από τις σχετικές μετρήσεις που πάρθηκαν βρέθηκαν να είναι μέσα στα επιτρεπτά για μία ευρείας ζώνης κεραία παρουσιάζοντας μέγιστη απόκλιση V. S.W.R. στην συχνότητα των 106 (MHz) 2:1.

MHz	S.W.R
88	1.3
88.5	1.35
89	1.35
89.5	1.3
90	1.25
90.5	1.2
91	1.1
91.5	1.1
92	1.05
92.5	1.05
93	1.1
93.5	1.1
94	1.15
94.5	1.2
95	1.2
95.5	1.2
96	1.15
96.5	1.1
97	1.05
97.5	1
98	1
98.5	1.04

MHz	S.W.R
99	1.1
99.5	1.15
100	1.2
100.5	1.3
101	1.3
101.5	1.2
102	1.15
102.5	1.1
103	1.15
103.5	1.35
104	1.55
104.5	1.9
105	1.9
105.5	2
106	2
106.5	1.7
107	1.45
107.5	1.2
108	1.1

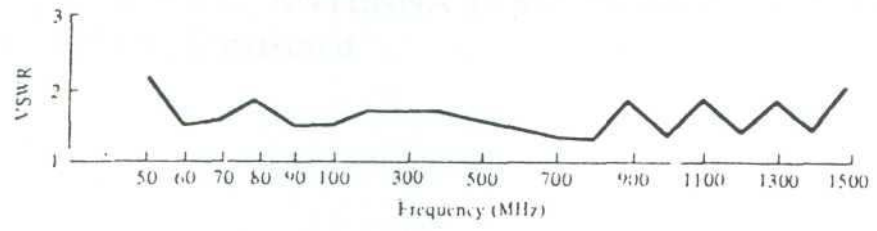
Από τις μετρήσεις του πίνακα προκύπτει το διάγραμμα μεταβολής του λόγου στασίμων κυμάτων της κεραίας του επόμενου σχήματος (σχ. 4.3).



Σχήμα 4.3) μεταβολή του λόγου στάσιμων κυμάτων (V.S.W.R.) σε συνάρτηση με την συχνότητα.

Όπως βλέπουμε στον πίνακα καθώς και στο σχήμα υπάρχουν κάποιες μεταβολές του λόγου στάσιμων κυμάτων (V.S.W.R.). Οι μεταβολές αυτές είναι μέσα σε λογικά πλαίσια και οφείλονται πιθανότατα στην ολίσθηση της ενεργού περιοχής κατά μήκος της κεραίας, η οποία δεν γίνεται σε όλες τις συχνότητες το ίδιο ομαλά όπως έχει ήδη αναφερθεί.

Ανάλογους μεγέθους μεταβολές παρουσιάζονται και σε Α.Π.Κ.δίπολων του εμπορίου, όπως η κεραία της οποίας παρουσιάζεται το διάγραμμα στο επόμενο σχήμα (σχ.5.3).



Σχήμα 5.3) Διάγραμμα μεταβολής του λόγου στασίμων κυμάτων

HORN ANTENNA
(Emission frequency 9,6GHz / Gain 18dB)

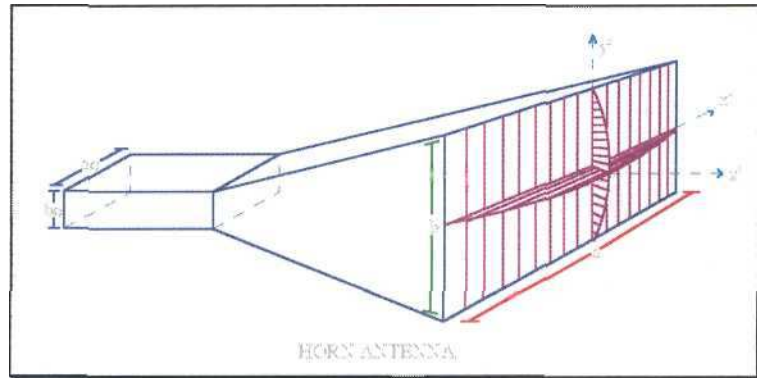
HORN ANTENNA

ΓΕΝΙΚΑ

Η κεραία αποτελεί το μέσο για την λήψη και εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από και προς τον ελεύθερο χώρο. Ωστόσο η μετάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων σε υψηλές - μικροκυματικές συχνότητες απαιτεί την χρήση ειδικών διατάξεων κεραιών. Μια κατηγορία κεραιών οι οποίες είναι κατάλληλες για την εκπομπή - λήψη Η/Μ κυμάτων σε τέτοιες (υψηλές) συχνότητες (πάνω από 1GHz) είναι οι κεραιές χοάνης. Οι κεραιές αυτές γενικά παρουσιάζουν μεγάλη απολαβή, χαμηλό VSWR, σχετικά μεγάλο εύρος συχνοτήτων και μικρό βάρος. Συναντώνται σε διάφορους τύπους (λ.χ. πυραμιδικές -pyramidal, χοάνες τομέα - sectoral, κωνικές - conical, παραβολικές - parabola κ.τ.λ.)

ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΚΕΡΑΙΑΣ

Η παρούσα κεραία χοάνης (horn) φέρει συχνότητα λειτουργίας 9,6GHz ενώ το κέρδος της έχει καθοριστεί στα 18dB . Το όλο σύστημα προσαρμόζεται σε ένα παραλληλόγραμμο διατομής κυματοδηγό με διαστάσεις ($a_0=0,9in$ και $b_0=0,4in$ περίπου). Οι διάφοροι συλλογισμοί και υπολογισμοί που παρατίθενται στη συνέχεια έχουν ως γνώμονα τις παραπάνω προδιαγραφές και απαιτήσεις.



Κατά την σχεδίαση και υλοποίηση μιας κεραιάς χοάνης γενικά απαιτείται η γνώση:
του επιθυμητού κέρδους της συχνότητας λειτουργίας (μήκος κύματος) των διαστάσεων και του τύπου (και της μορφής) του κυματοδηγού τροφοδοσίας

ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΕΡΑΙΑΣ

Η επιθυμητή συχνότητα λειτουργίας (f_0) της κεραιάς είναι τα 9,6GHz. Το μήκος κύματος της εκπέμπουσας (σε αυτή τη συχνότητα) ακτινοβολίας είναι:

$$c = \lambda_0 \cdot f_0 \Leftrightarrow \lambda_0 = \frac{c}{f_0} \Leftrightarrow \lambda_0 = \frac{3 \cdot 10^8}{9,6 \cdot 10^9} \Leftrightarrow \lambda_0 = 0,03125m$$

ή

$$\lambda_0 = 3,125cm$$

Οι διαστάσεις του κυματοδηγού επί του οποίου θα προσαρμοστεί η κεραία είναι:

$$a_0 = 0,9in \Leftrightarrow a_0 = 2,286cm \Leftrightarrow a_0 = 0,73152\lambda_0$$

$$b_0 = 0,4in \Leftrightarrow b_0 = 1,016cm \Leftrightarrow b_0 = 0,32512\lambda_0$$

Προκειμένου να είναι εφικτή η μετάδοση των Η/Μ κυμάτων συγκεκριμένης συχνότητας μέσω ενός κυματοδηγού πρέπει να ικανοποιείται η παρακάτω σχέση:

$$\frac{c}{2 \cdot a_0} \leq f_0 \leq \frac{c}{2 \cdot b_0}$$

όπου f_0 η συχνότητα του διαδιδόμενου κύματος και a_0, b_0 οι διαστάσεις του κυματοδηγού.

Οπότε έχουμε:

$$\frac{c}{2 \cdot a_0} = \frac{3 \cdot 10^8}{2 \cdot 0,0286} \Leftrightarrow \frac{c}{2 \cdot a_0} = 6,561168 \text{GHz}$$

$$\frac{c}{2 \cdot b_0} = \frac{3 \cdot 10^8}{2 \cdot 0,01016} \Leftrightarrow \frac{c}{2 \cdot b_0} = 14,76378 \text{GHz}$$

και

$$6,56168 \text{GHz} < f_0 = 9,6 \text{GHz} < 14,76378 \text{GHz}$$

Από την παραπάνω σχέση είναι προφανές ότι η απαιτούμενη συνθήκη ικανοποιείται και η διάδοση των δεδομένων Η/Μ κυμάτων στον κυματοδηγό είναι εφικτή.

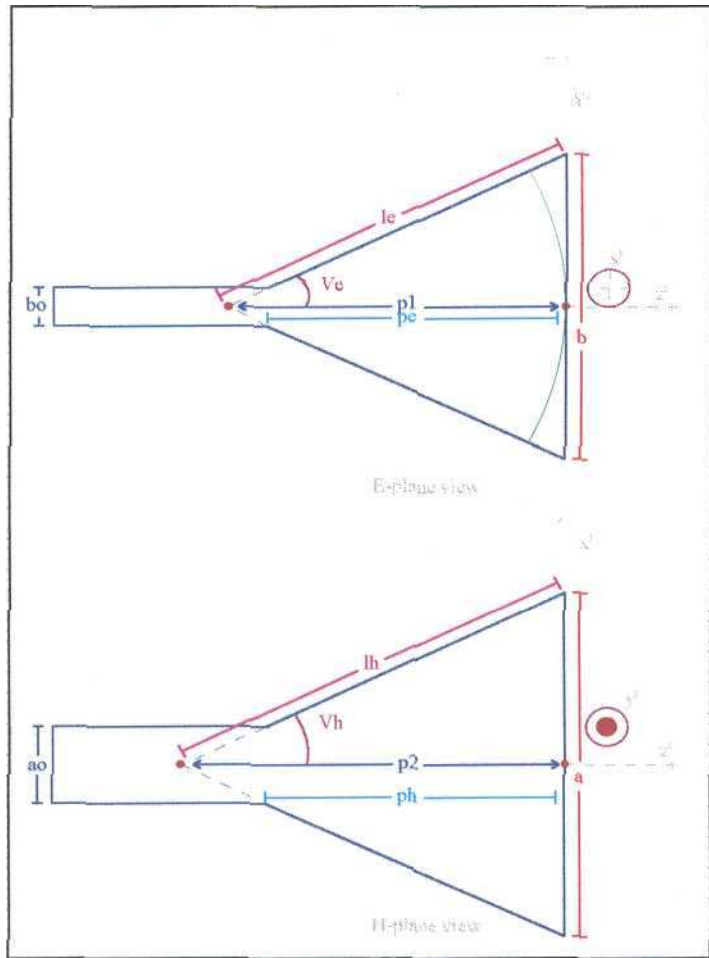
Η όλη σχεδίαση της κεραίας αποσκοπεί σε απολαβή 18dB. Οπότε έχουμε:

$$18 \text{dB} = 10 \cdot \log G_0 \Leftrightarrow G_0 = 10^{1,8} \Leftrightarrow G_0$$

=63,0973 Δηλαδή το αριθμητικό κέρδος της κεραίας είναι:

$$G_0 = 63,09573$$

Το διάγραμμα της κεραίας στο Ε και Η επίπεδο παρατίθεται στο διπλανό σχήμα:



Η κατασκευή μιας κεραίας τις περισσότερες φορές αποσκοπεί στο γεγονός αυτή να φέρει βέλτιστη συμπεριφορά. Κάτω από αυτές τις συνθήκες και προκειμένου αυτή (πυραμιδική κεραία χοάνης) να είναι φυσικά πραγματοποιήσιμη πρέπει να ισχύει η παρακάτω σχέση:

$$\left(\sqrt{2 \cdot x} - \frac{b_0}{\lambda_0}\right)^2 \cdot (2 \cdot x - 1) = \left(\frac{G_0}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{3}{2 \cdot \pi}} \cdot \frac{1}{\sqrt{x}} - \frac{a_0}{\lambda_0}\right)^2 \cdot \left(\frac{G_0^2}{6 \cdot \pi^3} \cdot \frac{1}{x} - 1\right) \quad \|01$$

όπου:

$$\frac{l_e}{\lambda_0} = x \quad \|02$$

$$\frac{l_h}{\lambda_0} = \frac{G_0^2}{8 \cdot \pi^3} \cdot \frac{1}{x} \quad \|03$$

Από την επεξεργασία και επίλυση της παραπάνω σχέσης (01) έχουμε:

$$x = 3,759 \text{ Με εφαρμογή της τιμής}$$

του x στις σχέσεις (02), (03) διαδοχικά έχουμε:

$$\frac{l_e}{\lambda_0} = x \Leftrightarrow l_e = x \cdot \lambda_0 \Leftrightarrow l_e = 3,759 \cdot 3,125 \Leftrightarrow l_e = 11,74688 \text{ cm}$$

$$\frac{l_h}{\lambda_0} = \frac{G_0^2}{8 \cdot \pi^3} \cdot \frac{1}{x} \Leftrightarrow l_h = \frac{G_0^2}{8 \cdot \pi^3} \cdot \frac{\lambda_0}{x} \Leftrightarrow l_h = \frac{63,09573^2}{8 \cdot \pi^3} \cdot \frac{3,125}{3,759} \Leftrightarrow l_h = 13,34253 \text{ cm}$$

όπου l_e και l_h αντιστοιχούν σε διακριτά διαστήματα επί της υλικής επιφάνειας της κεραίας στο Ε και Η επίπεδο αντίστοιχα.

Γνωρίζουμε ότι η μέγιστη απόκλιση φάσης για το Ε και Η επίπεδο δίνονται από τις σχέσεις:

$$s = \frac{b^2}{8 \cdot \rho_1 \cdot \lambda_0} \quad (\text{για το Ε επίπεδο})$$

και

$$i = \frac{a^2}{8 \cdot \rho_2 \cdot \lambda_0} \quad (\text{για το Η επίπεδο})$$

Προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή απολαβή, οι διαστάσεις ανοίγματος φάσης στο Ε και Η επίπεδο πρέπει να είναι $1/4\lambda$ και $3/8\lambda$ αντίστοιχα (τα s και i δίδονται σε μήκη κύματος). Σε αυτή την περίπτωση έχουμε:

$$s = \frac{b^2}{8 \cdot \rho_1 \cdot \lambda_0} \Leftrightarrow \frac{1}{4} = \frac{b^2}{8 \cdot \rho_1 \cdot \lambda_0} \Leftrightarrow b = \sqrt{2 \cdot \rho_1 \cdot \lambda_0}$$

και

$$i = \frac{a^2}{8 \cdot \rho_2 \cdot \lambda_0} \Leftrightarrow \frac{3}{8} = \frac{a^2}{8 \cdot \rho_2 \cdot \lambda_0} \Leftrightarrow a = \sqrt{3 \cdot \rho_2 \cdot \lambda_0}$$

οπότε τελικά έχουμε:

$$a = \sqrt{3 \cdot \rho_2 \cdot \lambda_0}$$

και

$$b = \sqrt{2 \cdot \rho_1 \cdot \lambda_0}$$

Οι παραπάνω σχέσεις (για μεγάλο μήκος κεραίας) προσεγγιστικά είναι δυνατό να λάβουν τη μορφή:

$$a = \sqrt{3 \cdot \rho_2 \cdot \lambda_0} \Leftrightarrow a \cong \sqrt{3 \cdot l_h \cdot \lambda_0} \Leftrightarrow a \cong \frac{G_0}{2 \cdot \pi} \cdot \lambda_0 \sqrt{\frac{3}{2 \cdot \pi \cdot x}}$$

και

$$b = \sqrt{2 \cdot \rho_1 \cdot \lambda_0} \Leftrightarrow b \cong \sqrt{2 \cdot l_e \cdot \lambda_0} \Leftrightarrow b \cong \lambda_0 \sqrt{2 \cdot x}$$

- Με την εφαρμογή των προσεγγιστικών τύπων για τον υπολογισμό των διαστάσεων ανοίγματος της κεραίας χοάνης (α και b) έχουμε:

$$a = \sqrt{3 \cdot l_h \cdot \lambda_0} \Leftrightarrow a = \sqrt{3 \cdot 13,34252 \cdot 3,125} \Leftrightarrow a \cong 11,18419 \text{ cm}$$

και

$$b = \sqrt{2 \cdot l_e \cdot \lambda_0} \Leftrightarrow b = \sqrt{2 \cdot 11,74688 \cdot 3,125} \Leftrightarrow b \cong 8,56843 \text{ cm}$$

Ο παραπάνω τύπος από την φύση του φέρει σφάλμα το οποίο έχει να κάνει με την προσέγγιση των ρ_1, ρ_2 με τα l_e και l_h αντίστοιχα. Το σφάλμα αυτό επηρεάζει τον υπολογισμό των διαστάσεων στο στόμιο της πυραμιδικής χοάνης (οι οποίες υπολογίζονται ελαφρώς μεγαλύτερες από τις πραγματικές).

Οι παρούσες υπολογίσιμες τιμές έχουν φυσική υπόσταση και αποτελούν ικανοποιητικές λύσεις - προσεγγίσεις των πραγματικών τιμών.

- Ωστόσο στην παρούσα περίπτωση είναι δυνατός ο ακριβής προσδιορισμός και η παρουσίαση των τιμών - διαστάσεων ανοίγματος χοάνης.

Κατά την διαδικασία σχεδίασης προσδιορίσαμε τα μεγέθη a και b κατά τέτοιο τρόπο ώστε να έχουμε την μέγιστη δυνατή απολαβή. Στα πλαίσια της παραπάνω λογικής οι τιμές για την απόκλιση φάσης τόσο στο E όσο και στο H επίπεδο οριοθετήθηκαν

και προσδιορίστηκαν ως: $s = \frac{1}{4} \lambda_0$ (E επίπεδο)

και $i = \frac{3}{8} \lambda_0$ (H επίπεδο)

Το γεγονός αυτό ουσιαστικά καθορίζει τη διαφορά μεταξύ των μεγεθών - διαστημάτων:

$$\rho_1 \leftrightarrow l_e$$

$$\rho_2 \leftrightarrow l_h$$

Οπότε έχουμε:

$$\rho_1 = l_e - s \Leftrightarrow \rho_1 = l_e - \frac{1}{4} \cdot \lambda_0 \Leftrightarrow \rho_1 = 11,74688 - \frac{1}{4} \cdot 3,125 \Leftrightarrow \rho_1 = 10,96563 \text{ cm}$$

και

$$\rho_2 = l_h - i \Leftrightarrow \rho_2 = l_h - \frac{3}{8} \cdot \lambda_0 \Leftrightarrow \rho_2 = 13,34252 - \frac{3}{8} \cdot 3,125 \Leftrightarrow \rho_2 = 12,17064 \text{ cm}$$

Οπότε με την εφαρμογή των τύπων για τον προσδιορισμό των διαστάσεων στο άνοιγμα της χοάνης έχουμε:

$$a = \sqrt{3 \cdot \rho_2 \cdot \lambda_0} \Leftrightarrow a = \sqrt{3 \cdot 12,17064 \cdot 3,125} \Leftrightarrow a = 10,68175 \text{ cm}$$

και

$$b = \sqrt{2 \cdot \rho_1 \cdot \lambda_0} \Leftrightarrow b = \sqrt{2 \cdot 10,96563 \cdot 3,125} \Leftrightarrow b = 8,27860 \text{ cm}$$

Δηλαδή έχουμε:

$$\begin{aligned} a_0 &= 2,286 \text{ cm} \\ b_0 &= 1,016 \text{ cm} \\ l_e &= 11,74688 \text{ cm} \\ l_h &= 13,34252 \text{ cm} \\ \rho_1 &= 10,96563 \text{ cm} \\ \rho_2 &= 12,17064 \text{ cm} \\ a &= 10,68175 \text{ cm} \\ b &= 8,27860 \text{ cm} \end{aligned}$$

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ

- Πα το E επίπεδο έχουμε:

γνωρίζουμε ότι $\rho_1 = 10,96563 \text{ cm}$ και $l_e = 11,74688 \text{ cm}$

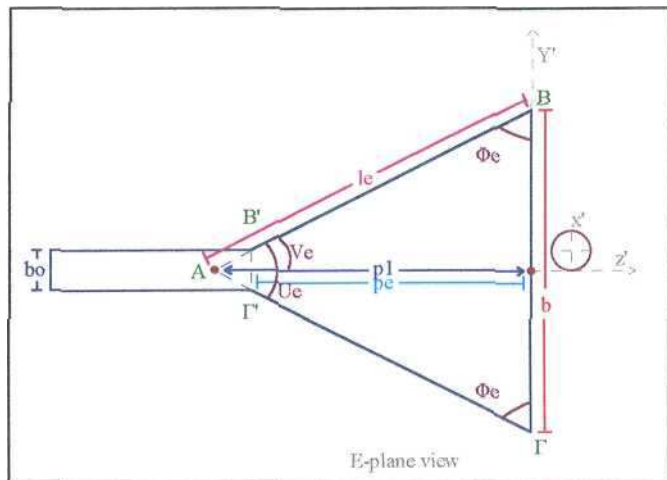
οπότε έχουμε:

$$\cos(Ve) = \frac{\rho_1}{l_e} \Leftrightarrow Ve = \cos^{-1}\left(\frac{\rho_1}{l_e}\right) \Leftrightarrow Ve = \cos^{-1}\left(\frac{10,96563}{11,74688}\right) \Leftrightarrow Ve = 21,01398^\circ$$

$$U_E = 2 \cdot Ve \Leftrightarrow U_e = 2 \cdot 21,01398 \Leftrightarrow U_e = 42,02795^\circ$$

και

Το άθροισμα των γωνιών της σχηματιζόμενης τριγωνικής ισοσκελούς επιφάνειας είναι 180 μοίρες. Οπότε προκειμένου να προσδιορίσουμε το μέγεθος έκαστης εκ των δυο ίσων γωνιών έχουμε:



$$\Phi_e = \frac{180 - U_e}{2} \Leftrightarrow \Phi_e = \frac{180 - 42,02795}{2} \Leftrightarrow \Phi_e = 68,98602^\circ$$

Επίσης προκειμένου να προσδιορίσουμε το μέγεθος της επιφάνειας της κεραίας (μήκος) που αναλύσεται μέσα στον κυματοδηγό διαδοχικά έχουμε:

Τα σχηματιζόμενα τρίγωνα ABΓ και AB'Γ εξ' ορισμού είναι όμοια. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να ισχύει η ισότητα:

$$\frac{b}{l_e} = \frac{b_0}{l_x} \Leftrightarrow l_x = \frac{l_e \cdot b_0}{b} \Leftrightarrow l_x = \frac{11,74688 \cdot 1,016}{1} \Leftrightarrow l_x = 11,94165 \text{ cm}$$

επίσης ισχύει:

$$\cos V_e = \frac{\rho_x}{l_x} \Leftrightarrow \rho_x = l_x \cdot \cos V_e$$

και

$$p_e = \rho_1 - \rho_x \Leftrightarrow p_e = 10,96563 - 1,3$$

$$s_e = l_e - l_x \Leftrightarrow s_e = 11,74688 - 1,441$$

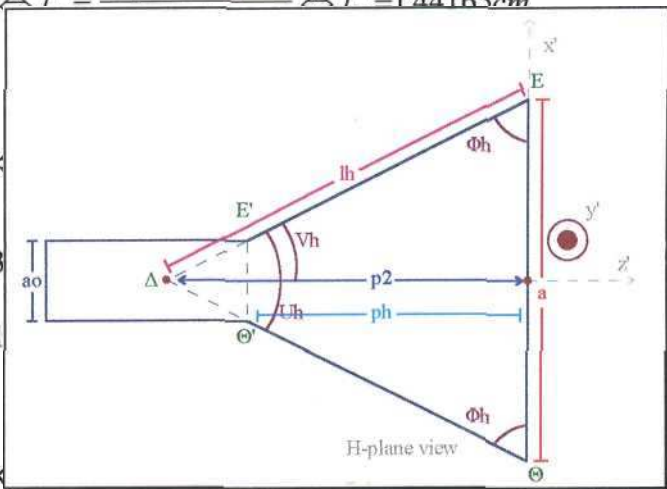
• Για το Η επίπεδο έχουμε:

γνωρίζουμε ότι $\rho_2 = 12,17064 \text{ cm}$ και
οπότε έχουμε:

$$\cos(V_h) = \frac{\rho_2}{l_h} \Leftrightarrow V_h = \cos^{-1}\left(\frac{\rho_2}{l_h}\right) \Leftrightarrow V_h = \cos^{-1}\left(\frac{12,17064}{13,34252}\right) \Leftrightarrow V_h = 24,19309^\circ$$

και

$$U_h = 2 \cdot V_h \Leftrightarrow U_h = 2 \cdot 24,19309 \Leftrightarrow U_h = 48,38619^\circ$$



Το άθροισμα των γωνιών της σχηματιζόμενης τριγωνικής ισοσκελούς επιφάνειας είναι 180 μοίρες. Οπότε

προκειμένου να προσδιορίσουμε το μέγεθος έκαστης εκ των δυο ίσων γωνιών έχουμε:

$$\Phi_h = \frac{180 - U_h}{2} \Leftrightarrow \Phi_e = \frac{180 - 48,38619}{2} \Leftrightarrow \Phi_h = 65,80690^\circ$$

Επίσης προκειμένου να προσδιορίσουμε το μέγεθος της επιφάνειας της κεραίας (μήκος) που αναλίσκται μέσα στον κυματοδηγό διαδοχικά έχουμε: Τα σχηματιζόμενα τρίγωνα ΔΕΘ και ΔΕ'Θ' εξ' ορισμού είναι όμοια. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να ισχύει η ισότητα:

$$\frac{a}{l_h} = \frac{a_0}{l_y} \Leftrightarrow l_y = \frac{l_h \cdot a_0}{a} \Leftrightarrow l_y = \frac{13,34252 \cdot 2,286}{10,68175} \Leftrightarrow l_y = 2,85543 \text{ cm}$$

επίσης ισχύει:

$$\cos Vh = \frac{\rho_h}{l_y} \Leftrightarrow \rho_y = l_y \cdot \cos Vh \Leftrightarrow \rho_y = 2,85543 \cdot \cos(24,19309^\circ) \Leftrightarrow \rho_y = 2,60464 \text{ cm}$$

και

$$p_h = \rho_2 - \rho_y \Leftrightarrow p_h = 12,17064 - 2,60464 \Leftrightarrow p_h = 9,56600 \text{ cm}$$

$$s_h = l_h - l_y \Leftrightarrow s_h = 13,34252 - 2,85543 \Leftrightarrow s_h = 10,48709 \text{ cm}$$

Τα σχέδια της κεραίας με τις διαστάσεις αυτής για το Ε και Η επίπεδο παρατίθενται στο τέλος της παρούσας εργασίας.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ - ΕΛΕΓΧΟΣ

Ιδιαίτερα σημαντικό χαρακτηριστικό μίας κεραίας είναι ο τρόπος που κατανέμει την ισχύ που ακτινοβολεί στο χώρο. Αυτό περιγράφεται με το διάγραμμα ακτινοβολίας. Ο προσδιορισμός και η σχεδίαση του διαγράμματος ακτινοβολίας της κεραίας αποτελεί μια στερεομετρική διαδικασία. Ωστόσο οι τεχνικές δυσκολίες που εμφανίζονται κατά τη λήψη μετρήσεων και υλοποίηση ενός τέτοιου διαγράμματος μας προτρέπουν στην υιοθέτηση ενός δισδιάστατου τρόπου σχεδίασης. Έτσι σχεδιάζουμε τα διαγράμματα ακτινοβολίας Ε (οριζόντιο επίπεδο) και Η (κάθετο-κατακόρυφο επίπεδο). Οι τιμές των διαφόρων πειραματικών μετρήσεων ακτινοβολίας της κεραίας για ποικίλες γωνίες απόκλισης εκατέρωθεν του κεντρικού άξονα εκπομπής καθώς και οι κανονικοποιημένες τιμές αυτών ως προς τη μέγιστη μετρηθείσα τιμή (στον κεντρικό άξονα εκπομπής) δίνονται στους παρακάτω πίνακες. Τα διαγράμματα ακτινοβολίας για το Ε και Η επίπεδο παρατίθενται στο τέλος της παρούσας εργαστηριακής εργασίας.

Ε επίπεδο

ΓΩΝΙΑ ΑΠΟΚΛΙΣΗΣ ΣΕ ΜΟΙΡΕΣ (°)	ΕΝΔΥΚΝΥΜΕΝΗ ΤΙΜΗ ΤΑΣΗΣ ΔΕΚΤΗ ΣΕ Volt	ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΜΕ ΝΗ ΤΙΜΗ ΤΑΣΗΣ
-0	0.000	0.000
-10	0.000	0.000
-20	0.000	0.000
-30	0.000	0.000
-40	0.000	0.000
-50	0.000	0.000
-60	0.020	0.001
-70	0.420	0.150
-80	1.300	0.464
90	2.800	1.000
+80	1.300	0.464
+70	0.420	0.150
+60	0.020	0.001
+50	0.000	0.000
+40	0.000	0.000
+30	0.000	0.000
+20	0.000	0.000
+10	0.000	0.000
+0	0.000	0.000

Ηεπίπεδο

ΓΩΝΙΑ ΑΠΟΚΛΙΣΗΣ ΣΕ ΜΟΙΡΕΣ (°)	ΕΝΔΥΚΝΥΜΕΝΗ ΤΙΜΗ ΤΑΣΗΣ ΔΕΚΤΗ ΣΕ Volt	ΚΑΝΟΝΙΚΟΠΟΙΗΜΕ ΝΗ ΤΙΜΗ ΤΑΣΗΣ
0	2.800	1.000
+10	1.450	0.518
+20	0.250	0.089
+30	0.150	0.054
+40	0.020	0.001
+50	0.020	0.001
+60	0.000	0.000
+70	0.000	0.000
+80	0.000	0.000
+90	0.000	0.000

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ:

- Πα τα διαγράμματα ακτινοβολίας στο Ε επίπεδο με το σύμβολο (+) χαρακτηρίζονται οι γωνίες μέτρησης δεξιά του κεντρικού άξονα εκπομπής ενώ με το σύμβολο (-) χαρακτηρίζονται οι γωνίες αριστερά του κεντρικού άξονα εκπομπής. Ο κεντρικός άξονας εκπομπής για το Ε επίπεδο βρίσκεται στις 90°. Οι διάφορες μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν μέσω μιας διόδου λήψης και σε απόσταση 80cm από την κεραία εκπομπής.
- Για τα διαγράμματα ακτινοβολίας στο Η επίπεδο με το πρόσημο (+) χαρακτηρίζονται οι γωνίες που μεταφέρουν τη διαδικασία της λήψης μπροστά από την επιφάνεια εκπομπής της κεραίας.

Οι γωνίες μισής ισχύος όπως προκύπτουν από τα διαγράμματα ακτινοβολίας στο τέλος της παρούσας εργαστηριακής εργασίας είναι:

$$\varphi = \pm 7,0^\circ = 14,0^\circ \text{ (Ε επίπεδο)}$$

$$\varphi = \pm 7,0^\circ = 14,0^\circ \text{ (Η επίπεδο)}$$

Η κατευθυντικότητα της κεραίας δίνεται από τη σχέση:

$$D = \frac{R_{\max}^2}{R_{\text{mean}}^2}$$

όπου ο όρος R_{\max} αντιστοιχεί στο ευθύγραμμο τμήμα μεταξύ σημείου εκπομπής και σημείου λήψης στο διάγραμμα εκπομπής ακτινοβολίας για το οποίο έχουμε τη μέγιστη εκπομπή ακτινοβολίας. Ο όρος R_{mean} αντιστοιχεί στη απόσταση μεταξύ του σημείου εκπομπής ενός ισότροπου και ενός σημείου λήψης τέτοιου ώστε η συνολικά εκπεμπόμενη ισχύς (εμβαδόν του κύκλου) να ισούται με το εκπεμπόμενο ποσό ισχύος (εμβαδόν του διαγράμματος ακτινοβολίας) από την υπό μέτρηση κεραία.

Η διαδικασία προσδιορισμού της κατευθυντικότητας της παρούσας κεραίας πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια χιλιοστομετρικού χαρτιού (για τον προσδιορισμό του εμβαδού του λοβού της κεραίας). Από τις παραπάνω διαδικασίες για το Ε επίπεδο διαπιστώθηκε ότι:

εμβαδόν Ε επιπέδου λοβού κεραίας = 680 τετραγωνικές μονάδες (περίπου)

Το παραπάνω εμβαδόν οφείλει να είναι ίσο με το εμβαδόν ενός ισότροπου ακτίνας R_{mean} . Οπότε έχουμε :

$$\pi R_{mean}^2 = 680^{TM} \Leftrightarrow R_{mean} = \sqrt{\frac{680}{\pi}} \Leftrightarrow R_{mean} = 14,712$$

Από μέτρηση επί του χιλιοστομετρικού χαρτιού προκύπτει επίσης ότι :

$$R_{max} = 82$$

Από τα παραπάνω έχουμε :

$$D = \frac{R_{max}^2}{R_{mean}^2} \Leftrightarrow D = \frac{82^2}{14,712^2} \Leftrightarrow D = 31,066 \text{ (Ε επίπεδο)}$$

Με ανάλογες μεθόδους για το Η επίπεδο έχουμε :

εμβαδόν Η επιπέδου λοβού κεραίας=760 τετραγωνικές μονάδες

Οπότε έχουμε :

$$\pi R_{mean}^2 = 760^{TM} \Leftrightarrow R_{mean} = \sqrt{\frac{760}{\pi}} \Leftrightarrow R_{mean} = 15,554$$

και τελικά :

$$D = \frac{R_{max}^2}{R_{mean}^2} \Leftrightarrow D = \frac{82^2}{15,554^2} \Leftrightarrow D = 27,794 \text{ (Η επίπεδο)}$$

Ο προσδιορισμός της απολαβής της κεραίας με αναφορά το ισότροπο δίνεται από την σχέση:

$$G = n \cdot D$$

όπου $n \cong 0,95$

Είναι δυνατό από το διάγραμμα ακτινοβολίας και την κατευθυντικότητα της κεραίας να προσδιορίσουμε θεωρητικά την απολαβή της κεραίας, οπότε έχουμε:

- για το Ε επίπεδο:

$$G = n \cdot D \Leftrightarrow G = 0,95 \cdot 31,066 \Leftrightarrow G = 29,513$$

Η παραπάνω έκφραση της απολαβής μπορεί να πάρει την μορφή:

$$G(dB) = 10 \cdot \log G \Leftrightarrow G(dB) = 10 \cdot \log 29,513 \Leftrightarrow G(dB) = 14,700dB$$

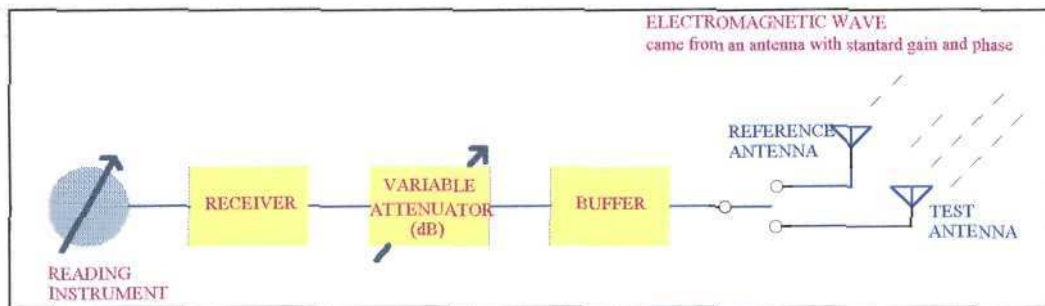
- για το Η επίπεδο:

$$G = n \cdot D \Leftrightarrow G = 0,95 \cdot 27,794 \Leftrightarrow G = 26,404$$

Η παραπάνω έκφραση της απολαβής μπορεί να πάρει την μορφή:

$$G(dB) = 10 \cdot \log G \Leftrightarrow G(dB) = 10 \cdot \log 26,404 \Leftrightarrow G(dB) = 14,217dB$$

Η απολαβή της κεραίας ωστόσο προσδιορίστηκε και πειραματικά στο εργαστήριο σε σχέση με την απολαβή μιας κεραίας αναφοράς. Κατά την διαδικασία αυτή συνδέσαμε την κεραία αναφοράς σε διάταξη λήψης όπως στο παρακάτω σχήμα. Στη συνέχεια ρυθμίσαμε - θέσαμε τον μεταβλητό εξασθενητή στην ένδειξη 0dB και σημειώσαμε την ένδειξη του οργάνου ενδείξεων. Στη συνέχεια συνδέσαμε την υπό μέτρηση κεραία στο σύστημα και μεταβάλαμε τον μεταβλητό εξασθενητή έτσι ώστε να λάβουμε στο όργανο ενδείξεων την ίδια ένδειξη όπως προηγουμένως. Η ενδεικνυόμενη τιμή του μεταβλητού εξασθενητή αντιστοιχεί στην απολαβή (σε dB) της υπό μέτρηση κεραίας σε σχέση με την κεραία αναφοράς. Η παρεχόμενη από τον εξασθενητή εξασθένιση προέκυψε από την χαρακτηριστική μεταφοράς του εξασθενητή (από το manual του κατασκευαστή) καθώς αυτός ήταν βαθμονομημένος σε χιλιοστά (mm).



Η απολαβή αυτή της κεραίας όπως προσδιορίστηκε πειραματικά στο εργαστήριο σύμφωνα με την παραπάνω διαδικασία και από την χαρακτηριστική (εξασθένιση - μεταβολή) του μεταβλητού εξασθενητή είναι περίπου (προσεγγιστικά) 18αΒ.

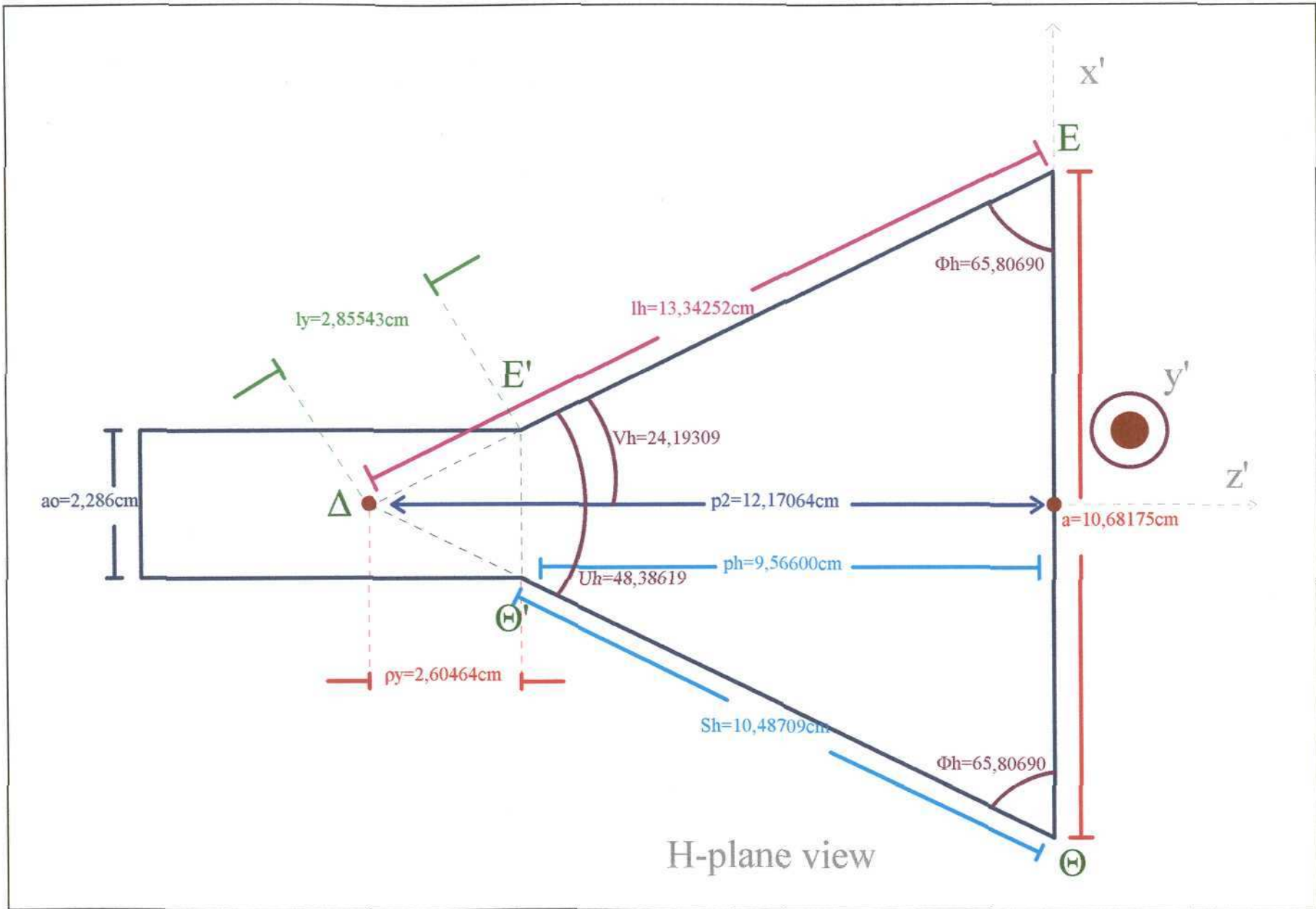
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ : Κατά την διαδικασία των πειραματικών μετρήσεων διαπιστώθηκε ότι η κατασκευάζουσα κεραία παρουσιάζει μέγιστη απολαβή για την συχνότητα 9,8GHz.

Η πόλωση της κεραίας προσδιορίστηκε στο εργαστήριο με πειραματικό τρόπο. Συγκεκριμένα μεταξύ σημείου εκπομπής και σημείου λήψης (μπροστά από την δίοδο λήψης) παρεμβάλαμε ένα είδος μεταλλικής κατασκευής αποτελούμενο από μικρής διαμέτρου (mm) παράλληλες μεταξύ τους ράβδους συγκολλημένων επί ενός μεταλλικού πλαισίου .

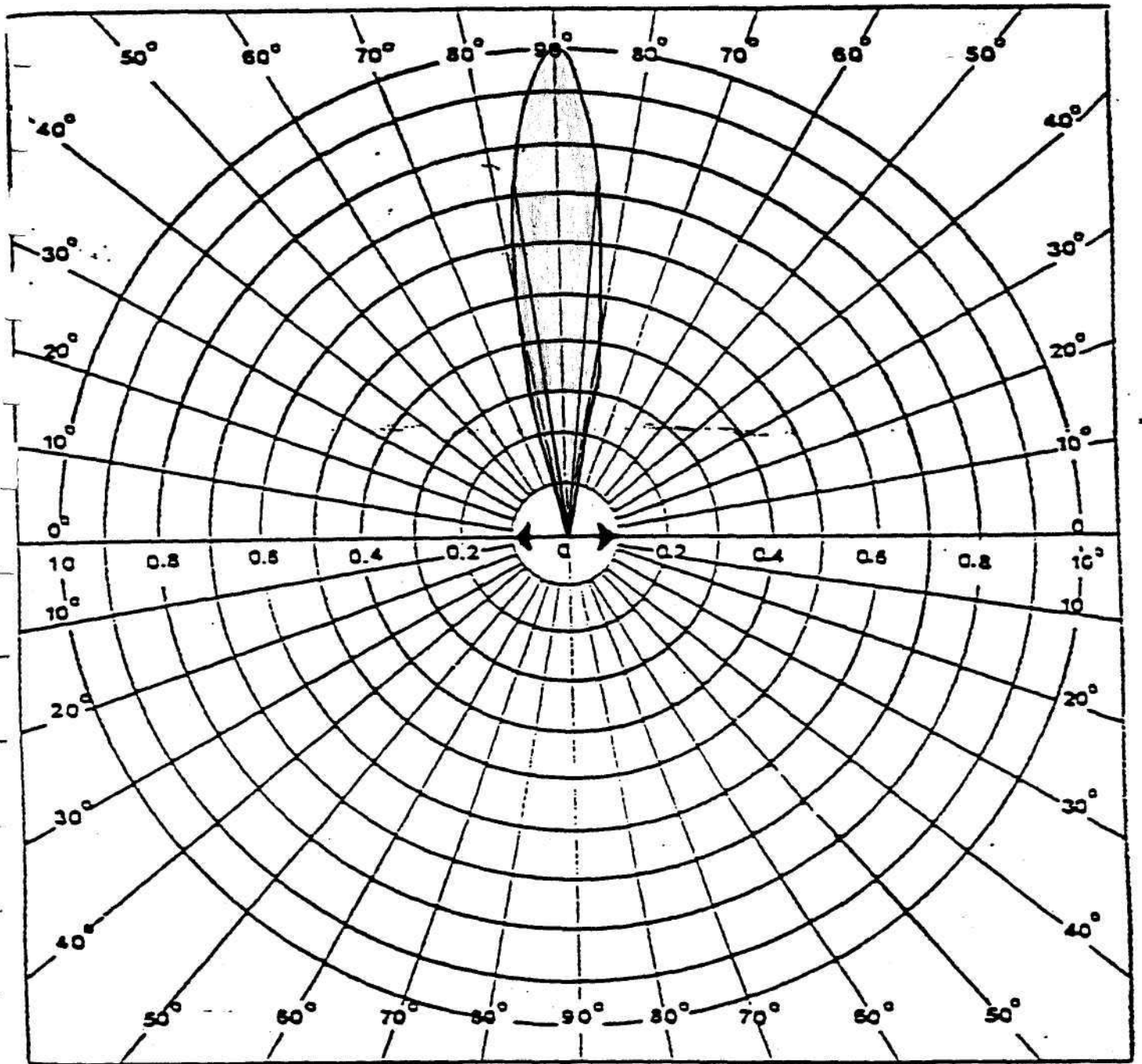
Κατά την εφαρμογή του αυτού πλαισίου έτσι ώστε οι ράβδοι αυτές να είναι παράλληλες με το οριζόντιο επίπεδο παρατηρήθηκε ένδειξη επί του συνδεδεμένου στο δέκτη βολτόμετρου της τάξης των 2,800Volt

Όταν το πλαίσιο τοποθετήθηκε προ του δέκτη κατά τέτοιο τρόπο έτσι ώστε οι ράβδοι να είναι κάθετες στο οριζόντιο επίπεδο η αντίστοιχη ένδειξη του βολτόμετρου ήταν της τάξης των 0,100Volt.

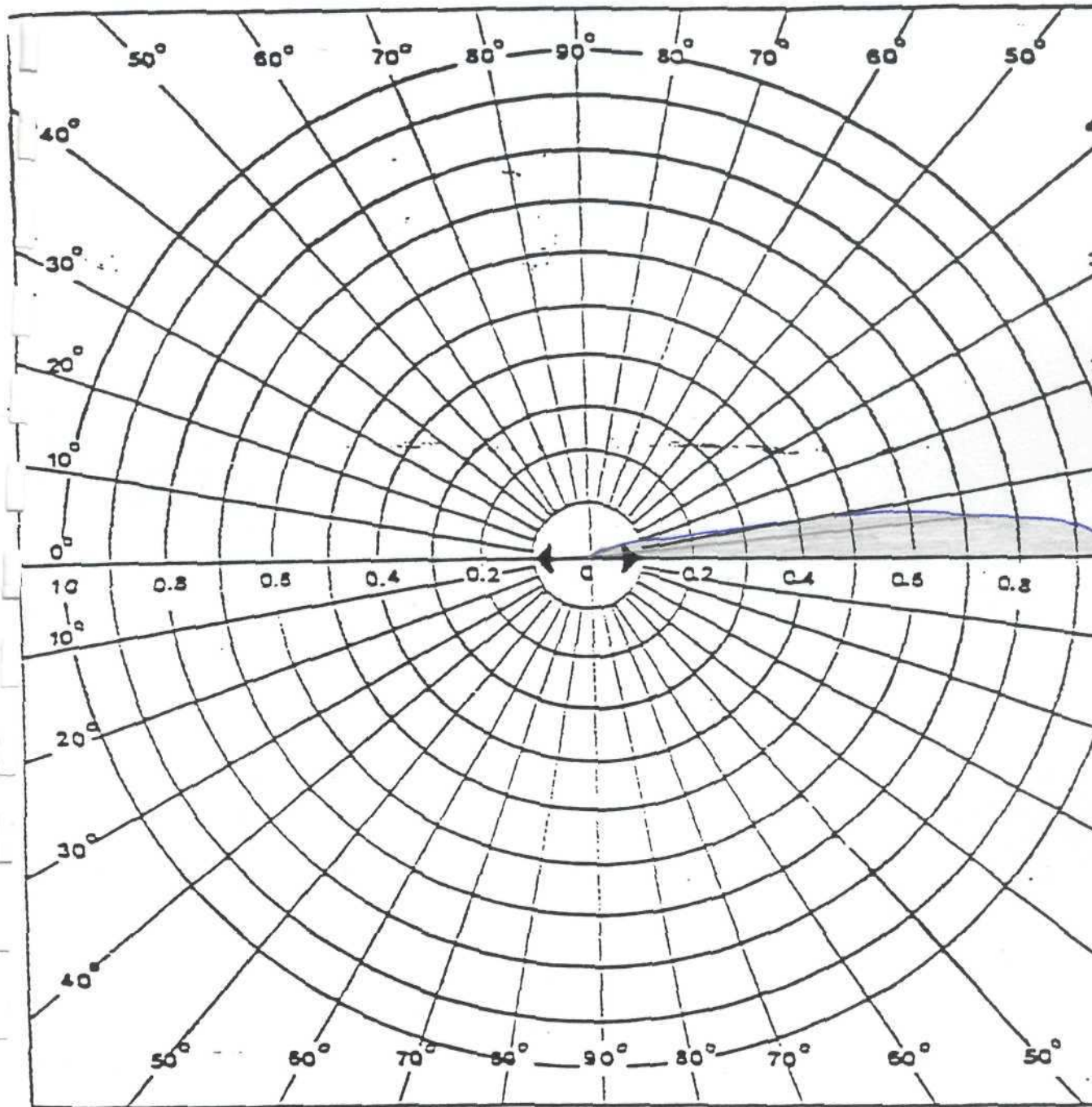
Από τα παραπάνω είναι προφανές ότι **η πόλωση της κεραίας είναι κάθετη (κατακόρυφη)**.



H-plane view



Ε ΕΠΙΠΕΔΟ - ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΚΕΡΑΙΑΣ ΧΟΑΝΗΣ.



Η ΕΠΙΠΕΔΟ - ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΚΕΡΑΙΑΣ ΧΟΑΝΗΣ.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ANTENNA THEORY ANALYSIS AND DESIGN του Constantine .A.Balanis
2. ANTENNAS HANDBOOK του Williams C. Jakes, JR
3. Handbook of Microstrips Antennas (Volume 1)
J.R James
P.S Hall
4. Microwave Devices and Circuits
Samuel Y. Liao
5. Cad of Micro strip Antennas for Wireless Applications
Robert A. Sainati
6. Micro strip Antennas , Theory and Design
J.R James
P.S Hall C. Wood
7. Antenna Engineering Handbook
H. Jasik
R. Johnson
8. Foundations for Micro strip Circuit Design
T.C. Edwards
9. ANTENNAS C.MPALLANIS
10. ΚΕΡΑΙΕΣ KRAUS
11. ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ ΚΕΡΑΙΩΝ
12. ΣΗΜΕΙΩΣΕΙΣ ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ
13. ΑΝΑΦΟΡΕΣ ΚΑΙ REPORT ΑΠΟ ΤΟ INTERNET ΤΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΩΝ
PAUL WADE
YOUNG-MIN JO MICHAEL H. THURSBY