



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

UNIVERSITY OF THE AEGEAN  
DEPARTMENT OF INFORMATION AND COMMUNICATION SYSTEMS ENGINEERING

## 321-7803– Ασύρματες Επικοινωνίες

Διδάσκων: Βουγιούκας Δημοσθένης, Μαλιάτσος Κωνσταντίνος

---

### Απαλλακτική Εργασία Κεραία Yagi-Uda 9 στοιχείων

---

Εργαστηριακοί Συνεργάτες: Τάτσης Βασίλειος, Τσίπης Λευτέρης

3212018107 Κυριαζής Ιωάννης

Σάμος, Ιούλιος 2022



321-7803– Ασύρματες Επικοινωνίες

Τίτλος Μελέτης: Απαλλακτική Εργασία – Κεραία Yagi Uda 9 στοιχείων

Κυριαζής Ιωάννης

## Κατάλογος Περιεχομένων

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1</b>	Θεωρητική Προετοιμασία .....	σελ. 03
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2</b>	Προδιαγραφές Κατασκευής .....	σελ. 09
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3</b>	Μελέτη της Κατασκευής .....	σελ. 11
----- <b>3.1</b>	Σχέδια .....	σελ. 12
----- <b>3.2</b>	Υλικά .....	σελ. 15
----- <b>3.3</b>	Προσομοίωση (MMANA-GAL) .....	σελ. 18
----- <b>3.4</b>	Χρήσεις της Κατασκευής – Αποτελέσματα Μετρήσεων .....	σελ. 21
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4</b>	Σύνοψη .....	σελ. 26
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5</b>	Βιβλιογραφία .....	σελ. 28



321-7803– Ασύρματες Επικοινωνίες

Τίτλος Μελέτης: Απαλλακτική Εργασία – Κεραία Yagi Uda 9 στοιχείων

Κυριαζής Ιωάννης

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1**

Θεωρητική Προετοιμασία



## Κεραία Yagi-Uda [1][2][3]

Πάνω από έναν αιώνα πριν δύο άνδρες εφηύραν ανεξάρτητα την κεραία Yagi-Uda. Εφευρέθηκε το 1926 από τον Shintaro Uda του Tohoku Imperial University και τους Hidetsugu Yagi, Kiyoshi Kawakami και άλλους συναδέλφους του στο ίδιο πανεπιστήμιο, ήταν η πρώτη κεραία που σχεδιάστηκε για να εκμεταλλεύεται το πλεονέκτημα της λήψης σημάτων από πολλές κατευθύνσεις για την εξάλειψη του θορύβου ή την εμπλοκή με υψηλό κέρδος, υψηλή κατευθυντικότητα και αδιάκοπη οπτική επαφή. Το ζευγάρι Yagi και Uda έγιναν γνωστά ως «οι πατέρες των κεραιών». Αυτό το άρθρο εξηγεί ξεκάθαρα τα βασικά της κεραίας yagi uda, τα σχεδιαστικά στοιχεία, τα εξαρτήματα και τις εφαρμογές της.

Η κεραία Yagi Uda ονομάζεται επίσης κεραία Yagi, η οποία είναι μια κατευθυντική κεραία που έχει είτε δύο ή περισσότερα παράλληλα στοιχεία κεραίας συντονισμού που λειτουργούν ως δίπολα μισού κύματος. Αυτή η κεραία αποτελείται κυρίως από τρία στοιχεία τα οποία είναι ο ανακλαστήρας, το στοιχείο κίνησης και οι κατευθυντήρες, όπου το μοναδικό οδηγούμενο στοιχείο έχει σύνδεση είτε με τον πομπό/δέκτη μέσω μιας γραμμής μετάδοσης ή άλλων παρασιτικών εξαρτημάτων. Γενικά, τα παρασιτικά στοιχεία είναι ο ανακλαστήρας και ένας αριθμός κατευθυντήρων. Αυτά τα παρασιτικά στοιχεία δεν συνδέονται ηλεκτρικά με τον πομπό ή τον δέκτη, αλλά αντίθετα λειτουργούν ως παθητικά αντηχεία, λειτουργώντας σε συνδυασμό με το κινούμενο στοιχείο. Οι κεραίες Yagi κατασκευάζονται γενικά για να λειτουργούν σε εύρη HF και UHF και παρέχουν τη λειτουργική συχνότητα μεταξύ 30 MegaHertz έως 3 GigaHertz, ακόμη και όταν το εύρος ζώνης είναι πολύ ελάχιστο. Αυτές οι κεραίες είναι μοναδικά σχεδιασμένες για να έχουν καλές τιμές απολαβής που είναι περισσότερες από 10dB.

Ενεργό στοιχείο: Το ενεργό στοιχείο παρέχει το απαραίτητο ρεύμα που απαιτείται για την ακτινοβολία ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας στον χώρο και είναι συνήθως το ίδιο μήκος με το μισό μήκος κύματος στην προβλεπόμενη συχνότητα λειτουργίας. Όλα τα άλλα στοιχεία είναι ηλεκτρικά πολλαπλάσια μήκους μισού μήκους κύματος έτσι ώστε να αντηχούν στην ίδια συχνότητα με το ενεργό στοιχείο. Το επιπλέον μήκος ή πολλαπλάσιο των μισών μηκών κύματος επιτυγχάνεται με την εισαγωγή μιας επαγωγής ή χωρητικότητας σε κάθε παρασιτικό στοιχείο, που έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του ηλεκτρικού τους μήκους χωρίς να αλλάζει το φυσικό τους μήκος.

Ανακλαστήρας: Το μήκος του ανακλαστήρα είναι γενικά 5% μεγαλύτερο από το ενεργό στοιχείο. Κυρίως, κάθε κεραία Yagi Uda αποτελείται από ένα στοιχείο ανακλαστήρα που βρίσκεται στο πίσω μέρος του ενεργού στοιχείου που σημαίνει στο πλάι από όπου συμβαίνει η μέγιστη ευαισθησία. Επίσης, οι ανακλαστήρες που βρίσκονται στο πίσω μέρος του ενεργού στοιχείου δεν παρουσιάζουν αισθητή διαφορά στην απόδοση της κεραίας. Ωστόσο ορισμένα σχέδια χρησιμοποιούν ανακλαστήρες με ανακλαστική πλάκα ή μια ακολουθία παράλληλων ράβδων που μοιάζουν με ανακλαστική πλάκα. Με αυτό, θα υπάρξει ελάχιστη αύξηση στην απόδοση της συσκευής, μειώνοντας έτσι το επίπεδο ακτινοβολίας. Επιπλέον, αυτό το σχέδιο σχεδίασης μειώνει το εύρος των παρεμβολών. Γενικά, ένας ανακλαστήρας προσθέτει περίπου 4 – 5dB κέρδος στην εμπρόσθια διαδρομή.

Κατευθυντήρας: Ακόμη και όταν υπάρχει ένας μόνο κατευθυντήρας ή περισσότεροι κατευθυντήρες, η διάρκεια των κατευθυντήρων είναι μικρότερη από την καθοδηγούμενη συνιστώσα. Η τοποθέτηση των κατευθυντήρων θα είναι μπροστά από την καθοδηγούμενη συνιστώσα που σημαίνει σε μια κατεύθυνση που έχει υψηλό επίπεδο ευαισθησίας. Κυρίως, θα υπάρχει κέρδος 1 dB σε κάθε στοιχείο κατευθυντήρα στην πορεία προς τα εμπρός, παρόλο που αυτό το επίπεδο μειώνεται όταν υπάρχουν περισσότεροι κατευθυντήρες. Ο αριθμός των κατευθυντήρων καθορίζει πόσοι λοβοί εμφανίζονται στο μοτίβο ακτινοβολίας



321-7803– Ασύρματες Επικοινωνίες

Τίτλος Μελέτης: Απαλλακτική Εργασία – Κεραία Yagi Uda 9 στοιχείων

Κυριαζής Ιωάννης

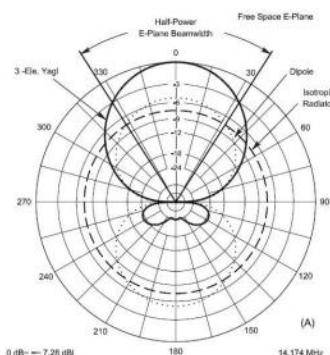
αυτής της κεραίας. Όσο περισσότεροι λοβοί υπάρχουν, τόσο στενεύουν, πράγμα που σημαίνει ότι μπορούν να εστιάσουν σε μια συγκεκριμένη κατεύθυνση.

## Μετάδοση

Καθώς η τοποθέτηση του κατευθυντήρα βρίσκεται στην μπροστινή θέση του ενεργού στοιχείου, τότε ο κατευθυντήρας προσθέτει το πεδίο ενεργού στοιχείου στην αντίθετη κατεύθυνσή του (μακριά από αυτό). Όταν υπάρχουν πολλοί κατευθυντήρες, τότε κάθε κατευθυντήρας δίνει διέγερση στον επόμενο του και ούτω καθεξής. Και, ο ανακλαστήρας προσθέτει το πεδίο του ενεργού στοιχείου προς τη δική του κατεύθυνση (κοντά σε αυτό). Αυτό συμβαίνει για να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες λόγω του σήματος που εκπέμπεται προς τα πίσω. Για να επιτευχθεί πρόσθετο κέρδος, συνιστάται η χρήση περισσότερων κατευθυντήρων στην κατεύθυνση της δέσμης. Βασικά, η επαγόμενη τάση και η ροή ρεύματος λόγω της επαγόμενης τάσης κατά μήκος του στοιχείου διαφέρουν ως προς την απόσταση που είναι μεταξύ παρασιτικών και ενεργών στοιχείων μαζί με το φαινόμενο της αντίδρασης που σχετίζεται με τα εξαρτήματα. Αυτό που πρέπει να προσέξουμε εδώ είναι ότι στη λειτουργία της κεραίας Yagi Uda όταν αυξάνεται η απόσταση μεταξύ του κατευθυντήρα και του ενεργού στοιχείου, τότε αυξάνεται η ανάγκη για χωρητική αντίδραση ώστε να παρέχεται ακριβής και σωστή φάση στο κατευθυντήρα. Επομένως, το μήκος του κατευθυντήρα διατηρείται μικρό για να επιτευχθεί χωρητική αντίδραση. Σε γενικές γραμμές, είναι κατανοητό ότι η διέγερση στο ενεργό στοιχείο παρέχεται μέσω γραμμών τροφοδοσίας που επιτρέπουν την εκπομπή ακτινοβολίας από τον ανακλαστήρα προς την κατεύθυνση του κατευθυντήρα. Επίσης, αυτή η εκπομπή ακτινοβολίας επάγει τα παρασιτικά στοιχεία τα οποία εκ νέου ακτινοβολούν ξανά τις ακτινοβολίες. Έτσι, το μήκος του στοιχείου και η απόστασή του έχουν μεγαλύτερη σημασία λόγω του λόγου ότι η ακτινοβολία που εκπέμπεται από κάθε στοιχείο προστίθεται στην μπροστινή διαδρομή και στη συνέχεια ακυρώνει το προς τα πίσω ακτινοβολούμενο κύμα.

## Διάγραμμα ανύψωσης κεραίας Yagi ή Διάγραμμα επιπέδου E

Για μια διπολική κεραία, και επομένως για μια κεραία Yagi, το ηλεκτρικό πεδίο είναι παράλληλο με την κατεύθυνση στην οποία βρίσκονται τα στοιχεία. Το επίπεδο που περιέχει το διάνυσμα ηλεκτρικού πεδίου ονομάζεται επίπεδο (E) και για την Yagi είναι το επίπεδο ανύψωσης.





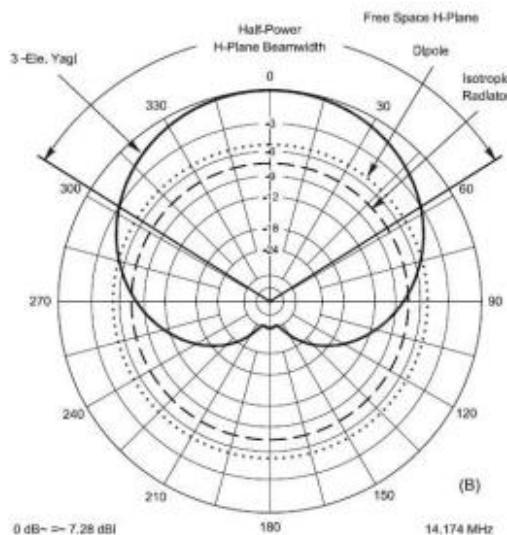
321-7803– Ασύρματες Επικοινωνίες

Τίτλος Μελέτης: Απαλλακτική Εργασία – Κεραία Yagi Uda 9 στοιχείων

Κυριαζής Ιωάννης

### Διάγραμμα αζιμουθίου ή διάγραμμα πεδίου H (H plane)

Το επίπεδο (H) περιέχει το διάνυσμα του μαγνητικού πεδίου. Αφού αυτό είναι κάθετο στο ηλεκτρικό πεδίο, το διάγραμμα ακτινοβολίας του διανύσματος (H) για την κεραία Yagi βρίσκεται στο επίπεδο του αζιμουθίου. Βλέπουμε ότι η κεραία Yagi εκπέμπει πιο κατευθυντικά (με μεγαλύτερο κέρδος) από τη διπολική κεραία προς την κατεύθυνση της μέγιστης απολαβής. Επιπλέον, η κεραία Yagi έχει μικρότερο οπίσθιο λοβό στο διάγραμμα επιπέδου (E).



### Υπολογισμός Κατευθυντικότητας D

Ο υπολογισμός της κατευθυντικότητας γίνεται βάσει της εξίσωσης:

$$D = \frac{41253}{\theta_1 \theta_2}$$

όπου  $\theta_1$  είναι το άνοιγμα ημίσειας ισχύος (HPBW) σε μοίρες στο επίπεδο (E) και  $\theta_2$  το άνοιγμα ημίσειας ισχύος στο επίπεδο (H). Το αποτέλεσμα αυτής της εξίσωσης είναι σε καθαρό αριθμό.

Είναι χρήσιμο πολλές φορές να εκφράσουμε την κατευθυντικότητα σε dB. Έτσι, για αυτό το σκοπό παίρνουμε την εξίσωση:

$$D(\text{dB}) = 10 \log_{10}(D)$$



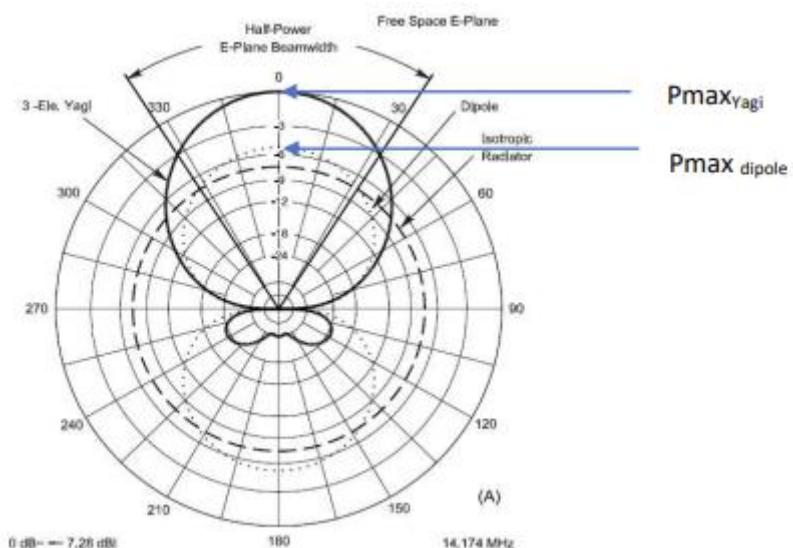
321-7803– Ασύρματες Επικοινωνίες

Τίτλος Μελέτης: Απαλλακτική Εργασία – Κεραία Yagi Uda 9 στοιχείων

Κυριαζής Ιωάννης

### Υπολογισμός Κέρδους κεραίας (G)

Το κέρδος μιας κεραίας Yagi υπολογίζεται με αναφορά στο διάγραμμα ακτινοβολίας ενός διπόλου μεγέθους  $\lambda / 2$ . Κατά τη σχεδίαση του απόλυτου διαγράμματος του διπόλου (όχι του κανονικοποιημένου), θα ληφθεί υπόψη η ισχύς προς την διεύθυνση του μέγιστου σε dBm. Η διαφορά ισχύος μεταξύ της κεραίας Yagi και της μέγιστης ισχύος του διπόλου θα καθορίσει το κέρδος της κεραίας Yagi σε dBd (dB dipole).



Αναλυτικότερα ισχύει:

$$G_{Yagi}(dBd) = P_{max,Yagi} - P_{max,dipole}$$

Το αποτέλεσμα της εξίσωσης είναι ένας θετικός αριθμός. Ακολούθως, για τον υπολογισμό του κέρδους σε dBi χρησιμοποιούμε την εξίσωση:

$$G(dBi) = G(dBd) + 2.15$$



### Υπολογισμός Απόδοσης κεραίας (e)

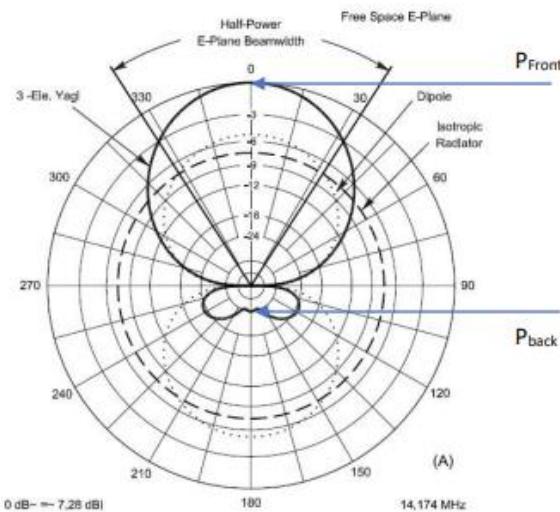
Αφού έχουμε υπολογίσει την κατευθυντικότητα και το κέρδος σε καθαρούς αριθμούς, μπορούμε να υπολογίσουμε την απόδοση της κεραίας. Ειδικότερα ισχύει:

$$G = eD \Leftrightarrow e = \frac{G}{D}$$

Η απόδοση (e) της κεραίας είναι ένας αδιάστατος αριθμός και ισχύει  $0 \leq e \leq 1$

### Front-to-Back Ratio

Το Front-to-Back Ratio είναι η αναλογία της μέγιστης ισχύος του κύριου λοβού προς αυτή του οπίσθιου. Όταν οι δυνάμεις είναι λογαριθμικές, τότε αυτό το μέγεθος είναι ίσο με τη διαφορά μεταξύ τους. Αυτό το μέγεθος υποδεικνύει πόσο εστιάζεται η ακτινοβολία της κεραίας προς τα εμπρός σε σύγκριση με το πίσω μέρος.





321-7803– Ασύρματες Επικοινωνίες

Τίτλος Μελέτης: Απαλλακτική Εργασία – Κεραία Yagi Uda 9 στοιχείων

Κυριαζής Ιωάννης

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2**

Προδιαγραφές Κατασκευής



Σε αυτήν την εργασία θα κατασκευαστεί μία κεραία Yagi-Uda 9 στοιχείων η οποία θα χρησιμοποιηθεί ως κεραία Wi-Fi. Επομένως θα σχεδιαστεί έτσι ώστε να λειτουργεί στα 2,4GHz. Επιλέχθηκαν 9 στοιχεία για αυτήν την κεραία έτσι ώστε να υπάρχει ικανοποιητικό Gain σε εξωτερικό χώρο με απώτερο σκοπό να βγουν σωστές οι μετρήσεις. Επίσης αυτή η κατασκευή θα μπορούσε να λειτουργήσει στην πραγματικότητα ως κεραία Wi-Fi για ειδικό δρομολογητή που περιέχει τον εκάστοτε connector. Σύμφωνα με την συχνότητα που θα λειτουργήσει η κεραία, θα πρέπει να υπολογιστούν οι διαστάσεις των στοιχείων. Επομένως έχουμε:

$$c = \lambda f \implies \lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8}{24 \cdot 10^8} \implies \lambda = 0.125m$$

Ανακλαστήρας :  $L_A = 0.125 \cdot 0.482 = 0.06025 / 2 = 0.030125$  (Αρα 3.0125cm ο κάθε αγωγός)

Δίπολο :  $L_A = 0.125 \cdot 0.45 = 0.05625 / 2 = 0.028125$  (Αρα 2.8125cm ο κάθε αγωγός)

Κατευθυντήρας 1 :  $L_{K1} = 0.125 \cdot 0.432 = 0.054 / 2 = 0.027$  (Αρα 2.7cm ο κάθε αγωγός)

Κατευθυντήρας 2 :  $L_{K2} = 0.125 \cdot 0.415 = 0.051875 / 2 = 0.0259375$  (Αρα 2.59375cm ο κάθε αγωγός)

Κατευθυντήρας 3 :  $L_{K3} = 0.125 \cdot 0.407 = 0.050875 / 2 = 0.0254375$  (Αρα 2.54375cm ο κάθε αγωγός)

Κατευθυντήρας 4 :  $L_{K4} = 0.125 \cdot 0.398 = 0.04975 / 2 = 0.024875$  (Αρα 2.4875cm ο κάθε αγωγός)

Κατευθυντήρας 5 :  $L_{K5} = 0.125 \cdot 0.390 = 0.04875 / 2 = 0.024375$  (Αρα 2.4375cm ο κάθε αγωγός)

Κατευθυντήρας 6 :  $L_{K6} = 0.125 \cdot 0.390 = 0.04875 / 2 = 0.024375$  (Αρα 2.4375cm ο κάθε αγωγός)

Κατευθυντήρας 7 :  $L_{K7} = 0.125 \cdot 0.390 = 0.04875 / 2 = 0.024375$  (Αρα 2.4375cm ο κάθε αγωγός)

Απόσταση ανάμεσα στα στοιχεία :  $d_{\text{στοιχείων}} = 0.125 \cdot 0.2 = 0.025$  (Αρα 2.5cm η απόσταση από κάθε στοιχείο)

Μήκος κεραίας :  $L_{\text{κεραίας}} = 0.125 \cdot 2.2 = 0.275$  (Αρα 27.5cm το μήκος της κεραίας)

Είναι πολύ σημαντικό, τα στοιχεία να είναι κομμένα σε μήκος ακριβώς όπως στο παραπάνω στιγμιότυπο. Λόγω του ότι χρησιμοποιούμε τον πίνακα με όλες τις μετρήσεις σε μήκος κύματος, η κεραία που θα κατασκευαστεί έχει μήκος 2,2 σε μήκος κύματος. Δεν θα χρησιμοποιηθεί όλο όμως διότι δεν θα χρησιμοποιηθούν 12 στοιχεία (όπως λέει ο πίνακας για αυτό το μήκος κεραίας) αλλά 9 στοιχεία. Επομένως το λειτουργικό μήκος κεραίας θα είναι περίπου 22 (υπολογίζεται ο χώρος ανάμεσα στα στοιχεία, 2,5 εκατοστά από τον τελευταίο κατευθυντήρα, 2,5 εκατοστά από τον ανακλαστήρα. Το λειτουργικό μήκος χωρίς τα 2,5 εκατοστά εμπρός και πίσω, είναι 17,5 εκατοστά). Το πραγματικό μήκος της κεραίας για λόγους ευκολίας και άνεσης θα είναι 52 cm για να υπάρχει «λαβή» πίσω από τον ανακλαστήρα έτσι ώστε να μεταφέρεται εύκολα.

Για να πραγματοποιηθεί η κατασκευή θα χρειαστούμε τις παρακάτω κατηγορίες υλικών (σε αυτό το κεφάλαιο αναφέρουμε γενικά τι χρειαζόμαστε. Περισσότερες λεπτομέρειες στο Κεφάλαιο 3.2):

1. Έναν πολύ καλό αγωγό που θα χρησιμοποιηθεί για τα στοιχεία.
2. Μονωτικά υλικά (ταινίες, ξύλα ή οτιδήποτε άλλο).
3. Καλώδιο τροφοδοσίας.
4. Εργαλεία για κόψιμο (ψαλίδι, κόφτη καλωδίων).
5. Εργαλεία για ένωση καλωδίων (πένσα, σύρμα περιέλιξης).
6. Connector για την τροφοδοσία της κεραίας.



321-7803– Ασύρματες Επικοινωνίες

Τίτλος Μελέτης: Απαλλακτική Εργασία – Κεραία Yagi Uda 9 στοιχείων

Κυριαζής Ιωάννης

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3**

### Μελέτη Κατασκευής



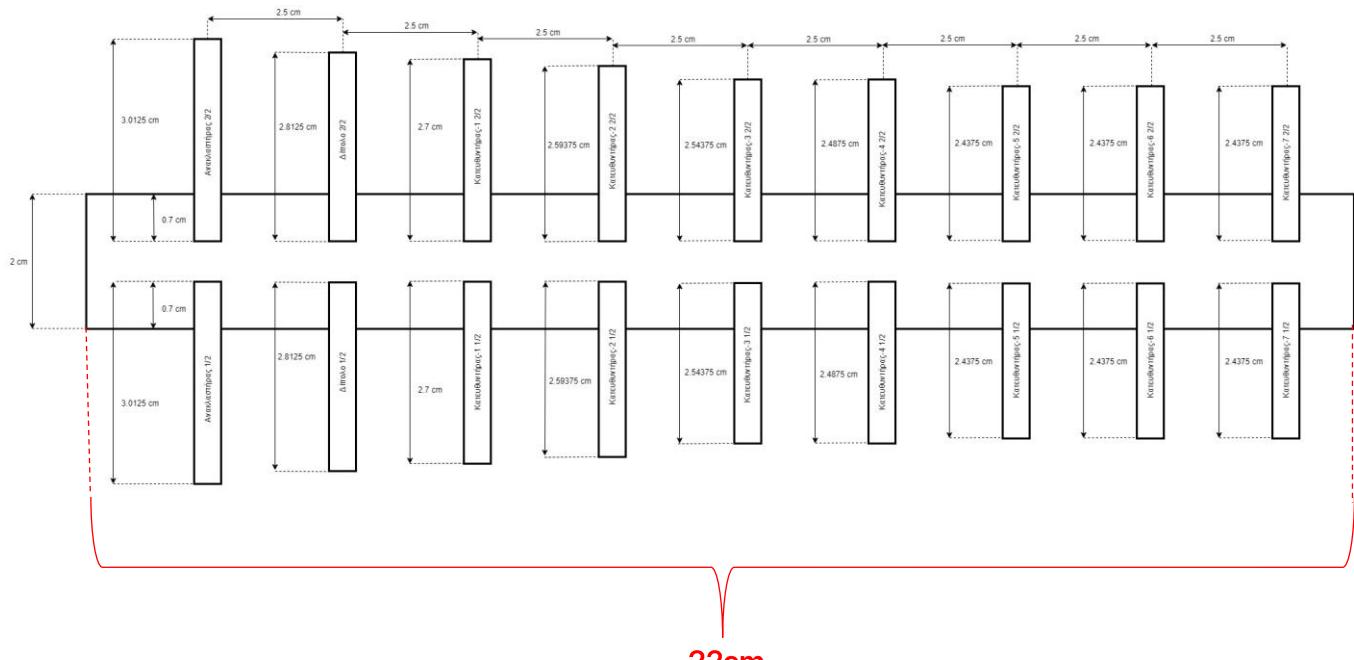
321-7803– Ασύρματες Επικοινωνίες

Τίτλος Μελέτης: Απαλλακτική Εργασία – Κεραία Yagi Uda 9 στοιχείων

Κυριαζής Ιωάννης

### 3.1: Σχέδια

Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιαστούν τα σχέδια της κεραίας καθώς και φωτογραφίες από την πραγματική κατασκευή.



Εικόνα 1: Σχέδιο της κεραίας. Φαίνεται μόνο το λειτουργικό μήκος (22cm) και όχι το πραγματικό μήκος το οποίο είναι 52cm.



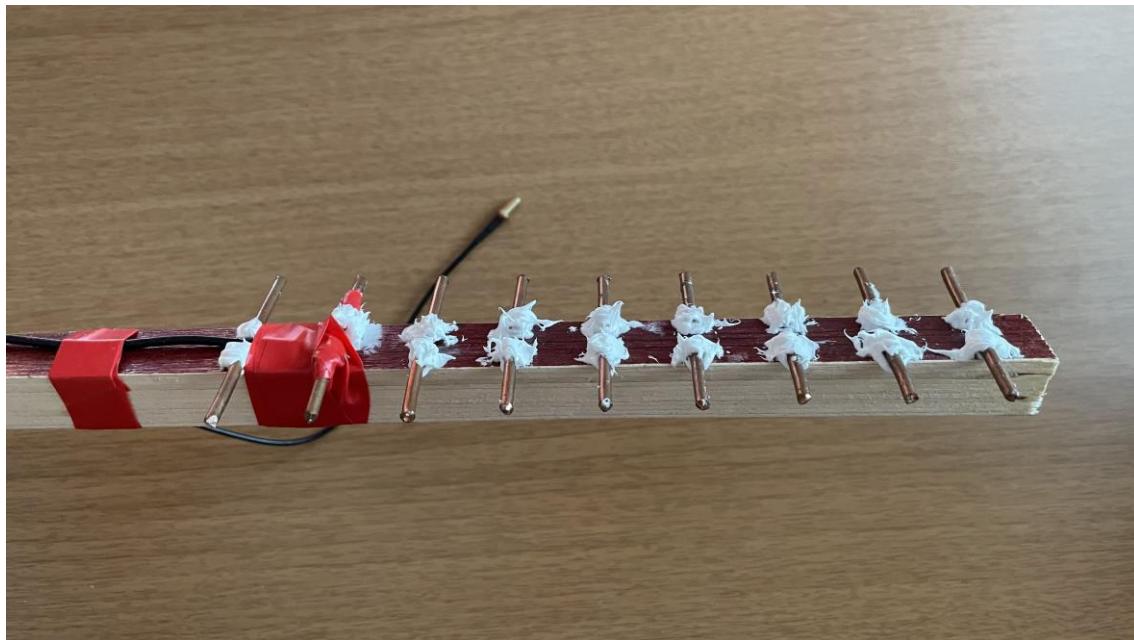
Εικόνα 2: Φωτογραφία από την πραγματική κεραία έτσι όπως κατασκευάστηκε και διαμορφώθηκε. Απεικονίζεται μόνο το λειτουργικό μέρος της κεραίας και όχι ολόκληρη έτσι ώστε να γίνει κατανοητό τι εννοείται όταν αναφέρεται η λέξη «λειτουργικό».



321-7803– Ασύρματες Επικοινωνίες

Τίτλος Μελέτης: Απαλλακτική Εργασία – Κεραία Yagi Uda 9 στοιχείων

Κυριαζής Ιωάννης



**Εικόνα 3:** Φωτογραφία από την πραγματική κεραία έτσι όπως κατασκευάστηκε και διαμορφώθηκε. Απεικονίζεται η πλάγια άποψη του λειτουργικού μέρους της κεραίας



**Εικόνα 4:** Φωτογραφία από την πραγματική κεραία έτσι όπως κατασκευάστηκε και διαμορφώθηκε. Απεικονίζεται ολόκληρη η κεραία (πραγματικό μήκος ίσο με 52cm). Το μέρος πίσω από τον ανακλαστήρα που εκτείνεται για αρκετά εκατοστά, χρησιμοποιήθηκε ως λαβή για την μεταφορά της κεραίας.



### Παρατηρήσεις σχετικά με τα παραπάνω σχέδια-φωτογραφίες

1. Τα στοιχεία έχουν κοπεί ακριβώς στις διαστάσεις που προαναφέρθηκαν. Δεν υπάρχουν σημαντικές αποκλείσεις ανάμεσα στο πραγματικό κομμένο μήκος των στοιχείων και στις διαστάσεις υπολογισμένες από τύπους.
2. Η σχεδιαστική επιλογή να κοπούν όλα τα στοιχεία στην μέση (για παράδειγμα, μήκος ανακλαστήρα που ισούται με 6,025cm, κόπηκε στην μέση ως 2 x 3,0125cm. Άρα το πρώτο κομμάτι 3,0125cm μπαίνει στην αριστερή πλευρά του ξύλου και το δεύτερο κομμάτι 3,0125cm μπαίνει στην δεξιά πλευρά του ξύλου) ήταν λάθος κατανόηση των κατασκευών που κάναμε στο εργαστήριο (μετράγαμε τους αγωγούς στο μισό του μήκους και τοποθετούσαμε τον έναν δεξιά και τον άλλον αριστερά του σκελετού της κεραίας). Το κάθε αυτό κομμάτι αγωγού εφάπτει την επιφάνεια του ξύλου κατά 0,7cm προχωρώντας προς το κέντρο του. Άρα το πρώτο κομμάτι του ανακλαστήρα είναι κατά 0,7cm στην επιφάνεια του ξύλου από αριστερά και το άλλο κατά 0,7cm στην επιφάνεια του ξύλου από δεξιά. Επομένως η μεταξύ απόσταση των δύο αυτών κομματιών είναι 0,6cm (2cm είναι η επιφάνεια του ξύλου).
3. Η σχεδιαστική επιλογή που αναφέρθηκε στην παρατήρηση 2 προχώρησε σε υλοποίηση λαμβάνοντας υπόψιν ότι οι διαστάσεις του σκελετού της κεραίας (ξύλο) είναι αδιάφορες. Με λίγα λόγια το ξύλο είναι σαν να μην υπάρχει. Υπάρχει μόνο για να στηρίζει τα στοιχεία.
4. Για την σύνδεση της κεραίας με τον δρομολογητή χρησιμοποιήθηκε connector SMA Female και όχι RP-SMA Female. Αυτό συνέβη διότι το SMA Female είναι αρκετά πιο λεπτό καλώδιο με αποτέλεσμα οι σύνδεση με το δίπολο να γίνει σωστά. Μην έχοντας συσκευή συγκόλλησης, το RP-SMA Female δεν θα έκανε καλή επαφή στο δίπολο με αποτέλεσμα να μην διαρρέεται από ρεύμα και έτσι να μην λειτουργεί η κεραία.
5. Ο connector SMA Female αγοράσθηκε ως καλώδιο SMA Female to SMA Male και κόπηκε κατάλληλα. Αυτό συνέβη διότι δεν διαθέτω εργαλεία κατάλληλα για την πραγματοποίηση ενώσεων καλωδίων μεταξύ τους ή με connectors καθώς και για λόγους ευκολίας και εξοικονόμησης χρόνου. Εάν δεν γίνουν σωστά οι ενώσεις των καλωδίων τότε η κεραία δεν θα λειτουργεί σωστά.



321-7803– Ασύρματες Επικοινωνίες

Τίτλος Μελέτης: Απαλλακτική Εργασία – Κεραία Yagi Uda 9 στοιχείων  
Κυριαζής Ιωάννης

### 3.2: Υλικά

Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιαστούν όλα τα υλικά και εργαλεία που αγοράσθηκαν και συλλέχθηκαν, οι τιμές τους και τα καταστήματα από όπου αγοράσθηκαν καθώς και ένα μικρό χρονοδιάγραμμα για την κατασκευή της κεραίας.

Αρχικά, θα παρουσιαστούν δύο πίνακες με όλες τις πληροφορίες των υλικών και των εργαλείων αντίστοιχα που χρησιμοποιήθηκαν.

#### ΥΛΙΚΑ ΠΟΥ ΣΥΛΛΕΧΘΗΚΑΝ

ΥΛΙΚΟ	ΠΩΣ ΣΥΛΛΕΧΘΗΚΕ	ΤΟΠΟΣ ΣΥΛΛΟΓΗΣ (ΚΑΤΑΣΤΗΜΑ)	ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΣΥΛΛΟΓΗΣ	ΤΙΜΗ ΜΑΖΙ ΜΕ ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΑ	ΕΦΑΡΜΟΓΗ
Ξύλο 62,5cm	Ήδη διαθέσιμο στο σπίτι	-	19/04/2022	-	Σκελετός κεραίας
Καλώδιο ρεύματος χαλκού μονόκλωνο για εγκαταστάσεις	Ήδη διαθέσιμο στο σπίτι	-	19/04/2022	-	Στοιχεία κεραίας (Ανακλαστήρας, Ενεργό Στοιχείο, Κατευθυντήρες)
2x Καλώδια 50Ω SMA Female to SMA Male 3m	Αγορά	Gadget-Shop.gr	22/04/2022	10,2€	Σύνδεση δρομολογητή με κεραία (Connector)
Μονωτική ταινία αντοχής έως 600 Volts	Ήδη διαθέσιμο στο σπίτι	-	30/04/2022	-	Σταθεροποίηση ενεργού στοιχείου επάνω στο ξύλο, Σταθεροποίηση καλωδίου τροφοδοσίας επάνω στο ξύλο, Μόνωση ένωσης καλωδίου τροφοδοσίας με το ενεργό στοιχείο
Σύρμα περιέλιξης	Ήδη διαθέσιμο στο σπίτι	-	19/04/2022	-	Σταθεροποίηση ενεργού στοιχείου
Άσπρη σιλικόνη αδιάβροχη	Αγορά	Οικοδομικά Υλικά Χατζής Παναγιώτης (Καρλόβασι)	19/05/2022	2,8€	Κόλληση στοιχείων επάνω στο ξύλο
2x Καλώδια 50Ω RP-SMA Female to RP-SMA Male 3m	Αγορά	CosmoMarket.gr	29/04/2022	23,44€	Δεν χρησιμοποιήθηκε (Ενότητα 3.1-Παρατήρηση 4)
<b>ΣΥΝΟΛΟ ΣΕ €</b>				<b>36,44€</b>	



321-7803– Ασύρματες Επικοινωνίες

Τίτλος Μελέτης: Απαλλακτική Εργασία – Κεραία Yagi Uda 9 στοιχείων

Κυριαζής Ιωάννης

#### Παρατηρήσεις σχετικά με τα υλικά που συλλέχθηκαν

1. Ορισμένα υλικά αγοράσθηκαν σε σχετικά μεγάλες ποσότητες σε σύγκριση με τις απαιτήσεις της κατασκευής έτσι ώστε να υπάρχει σημαντικό απόθεμα σε περίπτωση λάθους.
2. Το καλώδιο RP-SMA Female to RP-SMA Male δεν χρησιμοποιήθηκε στην κατασκευή αλλά δοκιμάστηκε. Τα αποτελέσματα της δοκιμής αναγράφονται αναλυτικά στην Ενότητα 3.1 στην Παρατήρηση 4.
3. Τα σημαντικότερα υλικά τα διέθετα στο σπίτι λόγω επαγγελμάτων συγγενικών προσώπων. Άλλα υλικά τα διέθετα στο σπίτι στο Καρλόβασι.
4. Χρησιμοποιήθηκε χαλκός ως αγωγός διότι με σύντομη έρευνα στο Διαδίκτυο ήταν καλύτερος αγωγός από αλουμίνιο, σίδερο κ.α.
5. Χρησιμοποιήθηκε ξύλο ως σκελετός της κεραίας διότι κόβεται εύκολα με απλό πριόνι, είναι ήδη μονωτικής (άρα δεν χρειάζεται να μονωθούν πάλι τα στοιχεία) και δεν είναι βαρύ στην μεταφορά.
6. Το ξύλο υπέστη τρίψιμο με γυαλόχαρτο και λίμα για να μην υπάρχουν αιχμηρά σημεία που μπορούν να προκαλέσουν τραυματισμό.

#### ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ

ΕΡΓΑΛΕΙΟ	ΕΦΑΡΜΟΓΗ
Πένσα	Ίσιωμα στοιχείων σε περίπτωση που είναι διπλωμένα, Γύμνωση καλωδίου που χρησιμοποιήθηκε για τα στοιχεία, Εφαρμογή ενώσεων καλωδίου με το ενεργό στοιχείο
Κόφτης Καλωδίων	Κόψιμο στοιχείων, Κόψιμο καλωδίων τροφοδοσίας, Γύμνωση καλωδίου που χρησιμοποιήθηκε για τα στοιχεία
Ψαλίδι	Γύμνωση καλωδίου που χρησιμοποιήθηκε για τα στοιχεία, Κόψιμο καλωδίων, Κόψιμο μονωτικής ταινίας
Χάρακας	Μέτρημα διαστάσεων όλων των υλικών
Στυλό	Σημείωση κατάλληλων αποστάσεων επάνω στο ξύλο για την τοποθέτηση των στοιχείων
Πριόνι	Κόψιμο του ξύλου από την μεριά των κατευθυντήρων
Λίμα και Γυαλόχαρτο	Τρίψιμο ξύλου για να μην υπάρχουν αιχμηρά σημεία που μπορούν να προκαλέσουν τραυματισμό

#### Παρατηρήσεις σχετικά με τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν

1. Όλα τα εργαλεία τα διέθετα σπίτι.



321-7803– Ασύρματες Επικοινωνίες

Τίτλος Μελέτης: Απαλλακτική Εργασία – Κεραία Yagi Uda 9 στοιχείων

Κυριαζής Ιωάννης

### Χρονοδιάγραμμα

Σε αυτό το κομμάτι, θα παρουσιαστεί ένα μικρό χρονοδιάγραμμα σχετικά με την καταγραφή των υλικών, την συλλογή τους, την κατασκευή της κεραίας καθώς και την συγγραφή της αναφοράς.

Καταγραφή υλικών: διάρκεια 3 ημέρες από 12/4 έως 15/4. Σε αυτή την φάση κατέγραφα όλα τα υλικά που χρειάζονται για την κατασκευή της κεραίας.

Αγορά υλικών: διάρκεια 1 μήνας και 3 ημέρες από 16/4 έως 19/5. Σκεφτόμουν αρκετές σχεδιαστικές λύσεις. Έτσι έκανα κάποιες δοκιμές με υλικά που είχα ήδη σπίτι και αφού απέκλεια κάθε αδύνατη σχεδιαστική λύση, κατέληξα σε μία συγκεκριμένη. Αυτή είναι η σχεδιαστική λύση που έχω ήδη υλοποιήσει. Τα περισσότερα υλικά τα παράγγειλα από το διαδίκτυο λόγω έλλειψης αποθέματος στα τοπικά καταστήματα. Άλλα υλικά άργησαν να έρθουν και άλλα ήρθαν στην ώρα τους. Επίσης, επειδή σιλικόνη διέθετα σπίτι σε μικρή ποσότητα, αγόρασα επιπλέον ένα σωληνάριο όταν είχα σχεδόν φτάσει στα 2/9 της ολοκλήρωσης της κατασκευής.

Μέτρηση προδιαγραφών: διάρκεια 2 ημέρες από 7/5 έως 9/5. Κατά αυτό το στάδιο, λαμβάνοντας υπόψιν ότι οι μετρήσεις θα γίνουν σε ανοιχτό χώρο και ότι θα πρέπει η κεραία να έχει αρκετά μεγάλη απολαβή προκειμένου να βγουν όσο το δυνατόν πιο σωστές οι μετρήσεις, μέτρησα τα μήκη των στοιχείων για κεραία Yagi-Uda 9 στοιχείων.

Χρήση του προσομοιωτή MMANA-GAL: διάρκεια 2 ημέρες από 10/5 έως 12/5. Σε αυτό το στάδιο μετέφερα όλες τις μετρήσεις στο λογισμικό αυτό έτσι ώστε να δω αν λειτουργεί σωστά η κεραία και αν βγαίνουν σωστά τα διαγράμματα. Αφού έβγαλα τα κατάλληλα στιγμιότυπα, προχώρησα στο επόμενο στάδιο.

Κόψιμο στοιχείων: διάρκεια 4 ημέρες από 13/5 έως 17/5. Ίσως το πιο δύσκολο στάδιο διότι όλα τα στοιχεία θα έπρεπε να συμφωνούν ακριβώς με τις μετρήσεις που πραγματοποίησα. Για να μην μπερδέψω τα στοιχεία μεταξύ τους μετά το κόψιμό τους, τα έβαλα ξεχωριστά σε ξεχωριστούς φακέλους.

Κατασκευή κεραίας: διάρκεια 8 ημέρες από 18/5 έως 26/5. Αυτό το στάδιο ήθελε αρκετή υπομονή διότι η σιλικόνη θέλει αρκετή ώρα να στεγνώσει και να σταθεροποιήσει τα στοιχεία. Τις ίδιες ημέρες πραγματοποίησα και την ένωση του καλωδίου με το ενεργό στοιχείο. Αφού κόλλησα όλα τα στοιχεία εκτός από το ενεργό στοιχείο, προσπαθούσα να βρω τρόπο να το κολλήσω διότι το καλώδιο που ήταν κολλημένο επάνω του, του άλλαζε συνεχώς την θέση επάνω στο ξύλο. Χρησιμοποίησα σύρμα περιέλιξης και έτσι κατάφερα να σταθεροποιήσω το ενεργό στοιχείο.

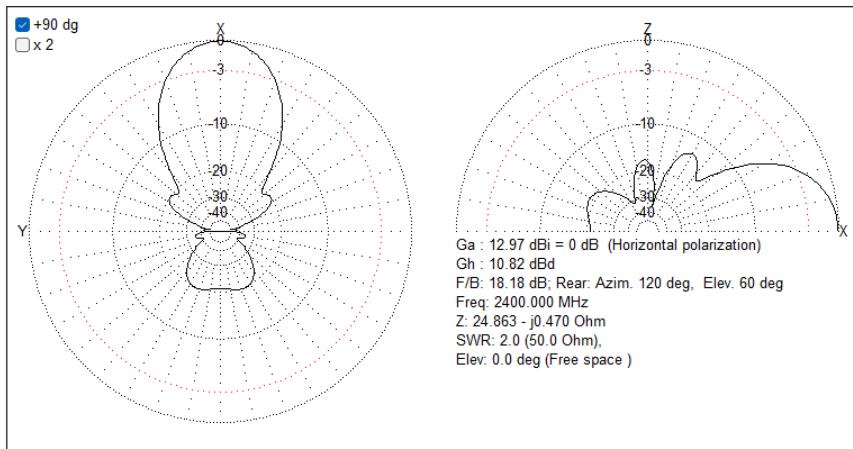
Δοκιμή κεραίας στο εργαστήριο: προκειμένου να είμαι σίγουρος ότι στο δίπολο ρέει ρεύμα και ότι έχουν γίνει σωστά οι συνδέσεις, πήγα στο εργαστήριο στις 6/6 για να δω αν λειτουργεί η κεραία. Αφού επιβεβαίωσα την σωστή λειτουργία της άρχισα να δουλεύω επάνω στην αναφορά.

Συγγραφή αναφοράς: διάρκεια 21 ημέρες από 9/6 έως 30/6 (κάποιες μέρες δεν ασχολήθηκα με την αναφορά). Κατά την συγγραφή έψαξα στο διαδίκτυο για την θεωρητική προετοιμασία, δημιούργησα σχέδια και διαγράμματα σύμφωνα με τις μετρήσεις και υπολόγισα τα τεχνικά χαρακτηριστικά

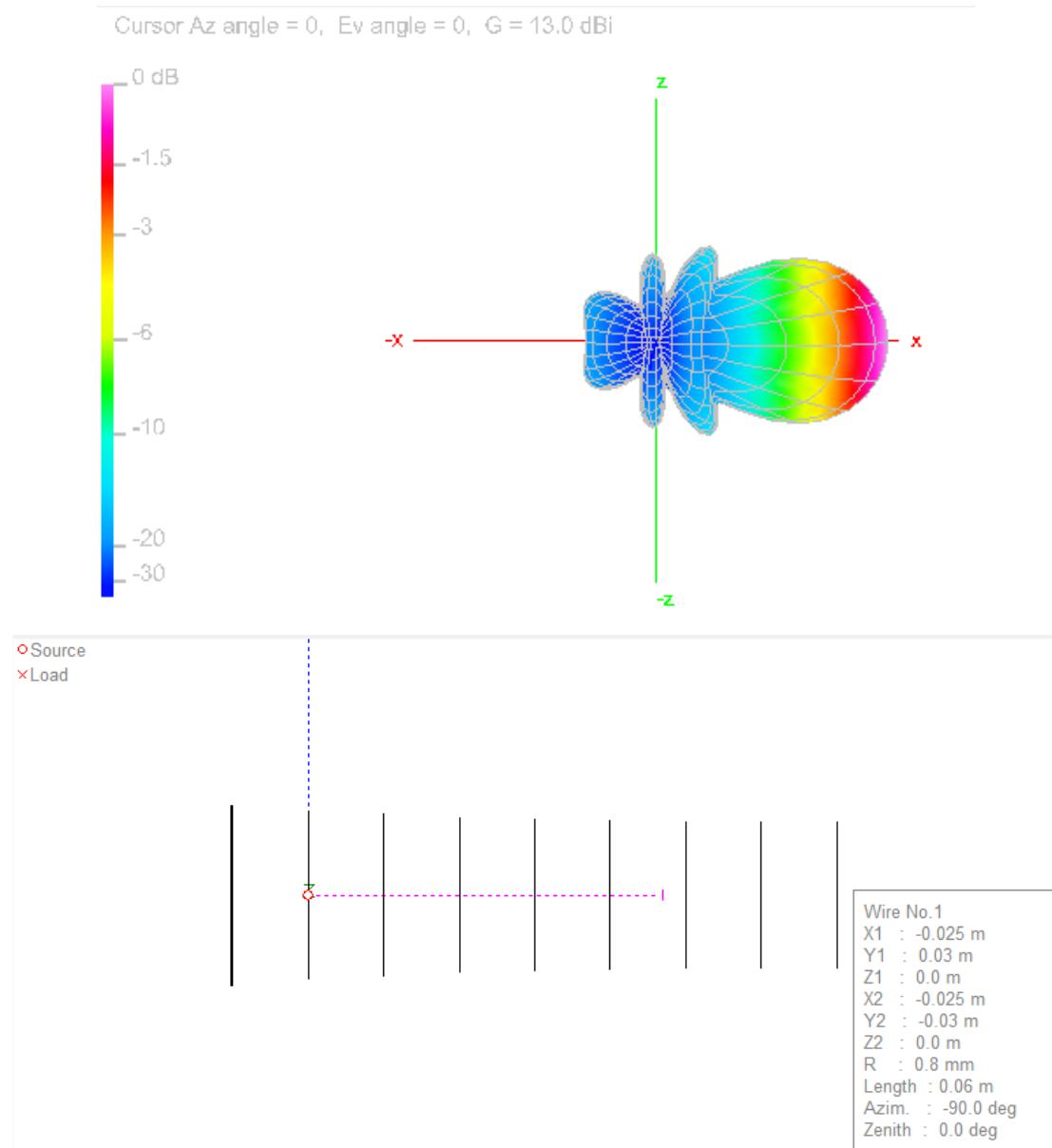


### 3.3: Προσομοίωση στο MMANA-GAL

Σε αυτή την ενότητα θα παρουσιαστούν τα διαγράμματα που προέκυψαν από την κατασκευή της κεραίας στην εφαρμογή προσομοίωσης MMANA-GAL.



Στο παραπάνω στιγμιότυπο παρατηρούμε τα διαγράμματα Ανύψωσης ή E Plane (αριστερά) και Αζιμουθιακό ή H Plane (δεξιά). Από το παραπάνω διάγραμμα μπορούμε να δούμε ότι η δέσμη ακτινοβολίας εστιάζεται προς την κατεύθυνση ενδιαφέροντος. Αυτό συμβαίνει διότι οι κατευθυντήρες αλλά και το κατάλληλο μήκος των στοιχείων καταφέρνουν να κατευθύνουν την ακτινοβολία προσφέροντας έτσι στον δέκτη μεγαλύτερη απολαβή. Υπάρχει και ένας οπίσθιος λοβός ο οποίος υπάρχει επειδή ο ανακλαστήρας δεν είναι δυνατόν να ανακλάσει όλη την ακτινοβολία προς την κατεύθυνση ενδιαφέροντος. Επομένως είναι λογικό να υπάρχει οπίσθιος λοβός μιας και δεν επηρεάζει σημαντικά την κατευθυντικότητα της κεραίας. Στην ιδανική περίπτωση θα ήταν προτιμότερο να μην υπήρχε διότι μιλάμε για κατευθυντική κεραία κάτι που είναι αδύνατο (μιλάμε πάντα για τις κεραίες Yagi-Uda έτσι όπως έχουμε μάθει να φτιάχνουμε στο εργαστήριο). Το Input Impedance ισούται με  $50\Omega$  και αναγράφεται δίπλα από το SWR. Όπως φαίνεται παραπάνω, το SWR ισούται με 2. Όσο μικρότερη είναι η τιμή αυτής της ποσότητας, τόσο καλύτερη είναι η προσαρμογή και έτσι έχουμε μεγαλύτερη ισχύ να απορροφάται από την κεραία. Στην ιδανική περίπτωση ο λόγος στάσιμων κυμάτων λαμβάνει τη τιμή 1. Τότε δεν έχουμε καθόλου ανακλώμενη ενέργεια. Στις πρακτικές εφαρμογές είμαστε ικανοποιημένοι όταν ο λόγος λαμβάνει τιμή κάτω από 2. Τότε θεωρούμε ότι έχουμε καλή προσαρμογή. Επομένως η τιμή που βρήκαμε είναι ανεκτή. Το Real Load Impedance ισούται με 24,863 και το Imaginary Load Impedance ισούται με 0,470. Αν πάμε να μετρήσουμε το Εύρος Ημίσειας Ισχύος για 3dB θα βρούμε 40° από το διάγραμμα Ανύψωσης και 46° από το Αζιμουθιακό διάγραμμα.



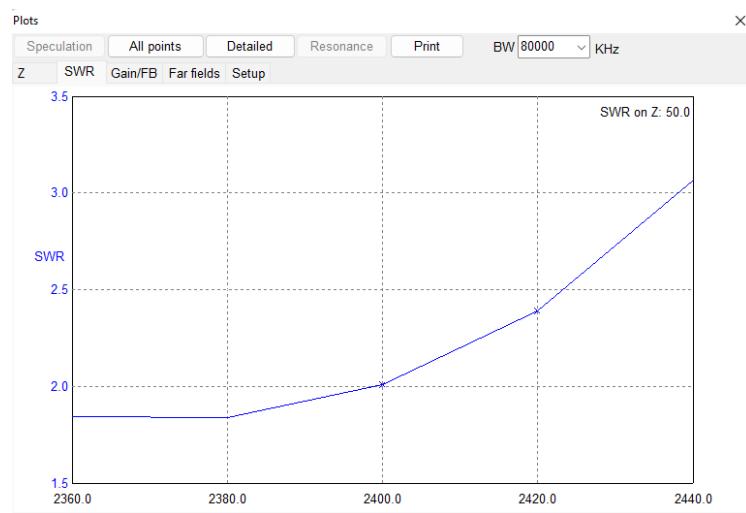
Στο πρώτο στιγμιότυπο παρατηρούμε την τρισδιάστατη δέσμη ακτινοβολίας προς την κατεύθυνση ενδιαφέροντος σύμφωνα με την προσομοίωση. Δημιουργείται ένας μεγάλος λοβός προς την κατεύθυνση X μαρτυρώντας ότι η κεραία παράγει μεγάλη απολαβή προς την κατεύθυνση των κατευθυντήρων. Οι κατευθυντήρες προσθέτουν ισχύ στην συνολική εκπομπή με αποτέλεσμα να εστιάζουν την ακτινοβολία προς την κατεύθυνση ενδιαφέροντος. Όσο περισσότερους κατευθυντήρες έχουμε, τόσο πιο μεγάλη η απολαβή της κεραίας αφού η ακτινοβολία εστιάζεται προς την κατεύθυνση ενδιαφέροντος. Ο ανακλαστήρας ανακλά την περισσότερη ακτινοβολία που εκπέμπεται προς τα πίσω με αποτέλεσμα να μικραίνει τον οπίσθιο λοβό. Στο κάτω στιγμιότυπο απεικονίζεται η κεραία έτσι όπως φαίνεται στην λειτουργία View της εφαρμογής προσομοίωσης MMANA-GAL.



321-7803– Ασύρματες Επικοινωνίες

Τίτλος Μελέτης: Απαλλακτική Εργασία – Κεραία Yagi Uda 9 στοιχείων

Κυριαζής Ιωάννης



Στο παραπάνω στιγμιότυπο απεικονίζεται το VSWR από τον προσομοιωτή MMANA-GAL. Με Impedance ίσο με  $50\Omega$  και βήμα 20MHz παρατηρούμε ότι το VSWR παίρνει την χαμηλότερη τιμή στα 2380MHz. Αυτό σημαίνει ότι, για την κατασκευή, η συχνότητα που δείχνει μικρότερο VSWR (περίπου 1.82) άρα και καλύτερο συντονισμό είναι η 2380MHz. Αυτό συμβαίνει διότι οι μετρήσεις των στοιχείων στην πραγματικότητα έχουν απόκλιση από τις ιδανικές συνθήκες. Ακόμα και το 1 χιλιοστό του μέτρου θα κάνει την διαφορά.



Στο παραπάνω στιγμιότυπο απεικονίζεται το διάγραμμα μεταβολής εμπέδησης για την περιοχή συχνοτήτων από 2360MHz έως 2440MHz. Συντονισμός θα συμβεί εκεί όπου το φανταστικό μέρος  $jx$  θα είναι 0. Άρα για την τιμή 0 του  $jx$  η σύνθετη αντίσταση θα είναι περίπου  $25\Omega$ . Η συχνότητα στην οποία επιτυγχάνεται ο συντονισμός είναι τα 2400.958MHz.

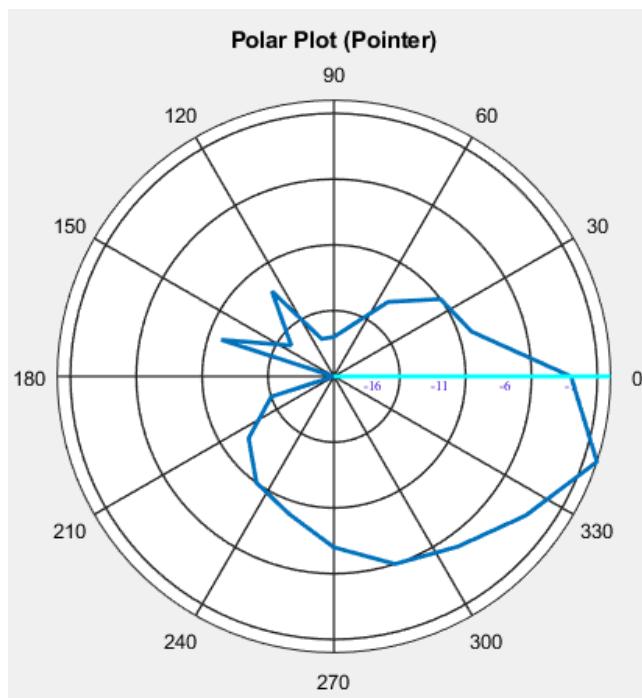


### 3.4: Χρήσεις της Κατασκευής-Αποτελέσματα Μετρήσεων

Η κατασκευή αυτή (φωτογραφίες στην Ενότητα 3.1) είναι προορισμένη για κεραία Wi-Fi η οποία λειτουργεί αποκλειστικά στα 2,4GHz (με αυτές τις διαστάσεις, παράγει μέγιστο κέρδος στα 2,4GHz). Σύμφωνα με τις μετρήσεις που κάναμε, λαμβάνουμε τα παρακάτω διαγράμματα με την βοήθεια του λογισμικού MATLAB. Αναλυτικά, για να δημιουργήσουμε τα διαγράμματα γράψαμε τις παρακάτω εντολές με την σειρά όπως αναγράφονται:

Διάγραμμα Ανύψωσης ή E Plane (αρχείο «metriseis.xlsx» και «polar\_pointer.m»)

```
a=xlswread('metriseis.xlsx')
deg_mat=a(:,1)
rad_mat=deg2rad(deg_mat)
power=a(:,2)
power=power-max(power)
polar_pointer(rad_mat,power,[-21,0])
```



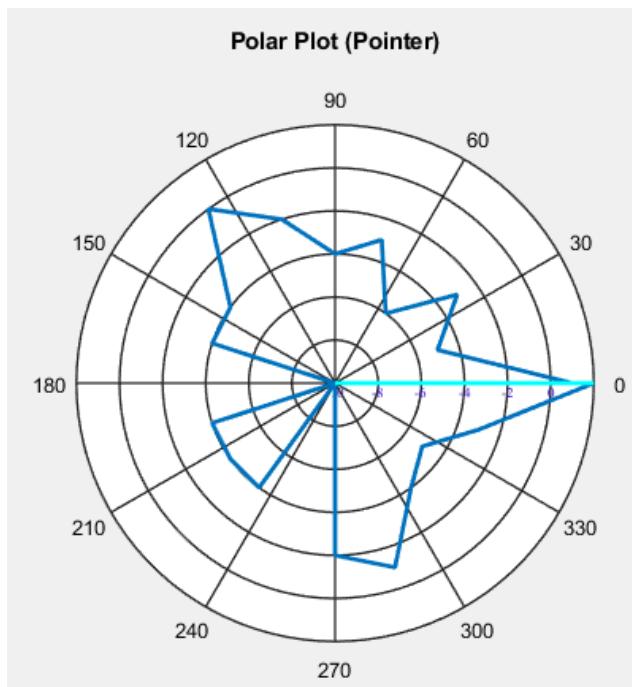
Στο παραπάνω διάγραμμα παρατηρούμε μέγιστο στις  $342^\circ$  ενώ ελάχιστο στις  $180^\circ$ . Σε σύγκριση με το διάγραμμα ανύψωσης της προσομοίωσης, οπίσθιος λοβός εμφανίζεται από τις  $120^\circ$  έως τις  $180^\circ$  λόγω εξωτερικών παραγόντων σε αντίθεση με την προσομοίωση που εμφανίζεται από τις  $140^\circ$  έως τις  $200^\circ$ . Ο μικρός οπίσθιος λοβός υπάρχει διότι ο ανακλαστήρας δεν είναι δυνατόν να «κόψει» όλη την μετάδοση προς τα πίσω. Η λειτουργία του όμως είναι καθοριστική. Οι μετρήσεις της ισχύς λήψης κάθε φορά πραγματοποιήθηκε με την βοήθεια smartphone Xiaomi Redmi Note 5 και χρησιμοποιώντας την εφαρμογή Wifi Signal Strength Meter. Το εν λόγω κινητό τηλέφωνο είναι σχετικά παλιό, επομένως, ίσως ευθύνεται και αυτό για την διαφορά στους λοβούς που αναφέρθηκε παραπάνω. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι στις  $360^\circ$  (όπου στην συγκεκριμένη γωνία μέτρησα την ισχύ μόνο μία φορά στην αρχή), τοποθετήθηκε ισχύς ίση με εκείνη στις  $0^\circ$ .



έτσι ώστε να κλείσει επιτυχώς ο λοβός. Επιπρόσθετα, έλαβα 20 μετρήσεις.  $360/20=18$ . Επομένως στο διάγραμμα προχώρησα στην επόμενη γωνία με βήμα  $18^\circ$  ( $0^\circ \rightarrow 18^\circ \rightarrow 36^\circ \rightarrow \dots \rightarrow 360^\circ$ ). Αυτό συνέβη έτσι ώστε να υπάρχει πλήρης αντιστοίχιση μεταξύ αριθμού μετρήσεων και γωνιών σε μοίρες.

#### Διάγραμμα Αζιμουθίου ή H Plane (αρχείο «metriseis.xlsx» και «polar\_pointer.m»)

```
a=xlsread('metriseis.xlsx')
deg_mat=a(:,1)
rad_mat=deg2rad(deg_mat)
power=a(:,3)
power=power-max(power)
polar_pointer(rad_mat,power,[-12,0])
```



Στο παραπάνω στιγμιότυπο βλέπουμε την ακτινοβολία της κεραίας όταν αυτή βρίσκεται κάθετα. Ο κύριος λοβός βρίσκεται στις  $0^\circ$  έως τις  $18^\circ$  ενώ από τις  $18^\circ$  έως τις  $162^\circ$  παρατηρείται αυξομείωση της ισχύς λήψης όπως παρατηρείται και στο δεξί διάγραμμα αζιμουθίου της προσομοίωσης MMANA-GAL. Λόγω παρεμβολών και διάφορων άλλων παραγόντων που θα μπορούσαν να μεταβάλλουν την ισχύ λήψης, το παραπάνω διάγραμμα δεν είναι συμμετρικό (από  $0^\circ$  έως  $180^\circ$  δεν είναι συμμετρικό με  $180^\circ$  έως  $360^\circ$ ).



## Υπολογισμοί τεχνικών χαρακτηριστικών

Εύρος Ημίσειας Ισχύος (3dB) για διάγραμμα Ανύψωσης και Αζιμουθίου (αρχείο «metriseis.xlsx» και «hpbw\_sc.m»)

Σύμφωνα με το παρακάτω στιγμιότυπο, υπολογίσαμε το Εύρος Ημίσειας Ισχύος για το διάγραμμα Ανύψωσης και το Εύρος Ημίσειας Ισχύος για το διάγραμμα Αζιμουθίου. Συγκεκριμένα, εκτελέσαμε τις παρακάτω εντολές στο MATLAB:

```
a=xlsread('metriseis.xlsx')
[hpbw_el,hpbw_az]=hpbw_sc(a)
```

Σύμφωνα με τις μετρήσεις που πήραμε, το Εύρος Ημίσειας Ισχύος για το διάγραμμα Ανύψωσης είναι  $36^\circ$ . Παρατηρούμε ότι είναι σχεδόν ίδιο με το διάγραμμα Ανύψωσης στην προσομοίωση ( $40^\circ$ ). Αυτό σημαίνει ότι η κατευθυντικότητα της κεραίας θα είναι εξίσου καλή όπως και στην προσομοίωση.

Σύμφωνα με τις μετρήσεις που πήραμε, το Εύρος Ημίσειας Ισχύος για το διάγραμμα Αζιμουθίου είναι  $72^\circ$ . Παρατηρούμε ότι έχει απόκλιση από διάγραμμα Ανύψωσης στην προσομοίωση ( $46^\circ$ ). Αυτό συμβαίνει λόγω των παρεμβολών εκείνη την στιγμή που λαμβάνονταν τις μετρήσεις ή λόγω λήψης κάποιας λάθος μέτρησης.

Command Window

```
hpbw_el =
36

hpbw_az =
72

fx >> |
```

Κατευθυντικότητα, Απολαβή σε dBd, Απολαβή σε dBi, Απόδοση, Front-to-Back Ratio, Impedance, VSWR (αρχείο «metriseis.xlsx»)

Σύμφωνα με τα Εύρη Ημίσειας Ισχύος που βρέθηκαν, θα βρεθούν όλα τα χαρακτηριστικά της κεραίας:

$$D = \frac{41253}{\Theta_1 \Theta_2} = \frac{41253}{36 \cdot 72} = 15.915 \text{ η κατευθυντικότητα της κεραίας (καθαρός αριθμός χωρίς μονάδες μέτρησης)}$$

$$D(dB) = 10 \log_{10}(D) = 10 \log_{10}(15.915) = 12.02dB \text{ η κατευθυντικότητα της κεραίας (μετρημένη σε dB)}$$

$$G_{Yagi}(dBd) = P_{max-Yagi} - P_{max-Dipole} = (-47) - (-53) = 6dBd \text{ (απολαβή σε σύγκριση με δίπολο } \lambda/2)$$

$$G(dBi) = G_{Yagi}(dBd) + 2.15 = 6 + 2.15 = 8.15dBi \text{ (μετατροπή απολαβής σε dBi)}$$

$$10 * \log_{10}(G_{Yagi}(dBi)) = 8.15dBi \implies G = 10^{8.15/10} = 6.53 \text{ (η απολαβή σε καθαρό αριθμό)}$$

$$G = eD \implies e = \frac{G}{D} = \frac{6.53}{15.915} = 0.4103 \text{ (απόδοση της κεραίας. Πρέπει } 0 \leq e \leq 1)$$

$$\text{Front - to - Back Ratio} = -3 - (-21) = +18dB$$

- Η κατευθυντικότητα της κεραίας σε καθαρό αριθμό χωρίς μονάδες υπολογίζεται με την βοήθεια των γωνιών που βρήκαμε από τα δύο Εύρη Ημίσειας Ισχύος. Οι γωνίες είναι σε μοίρες.
- Όσο πιο μεγάλος αριθμός D (dB), τόσο πιο μεγάλη είναι η κατευθυντικότητα της κεραίας. Συγκεκριμένα, η κατευθυντικότητα ορίζεται η εστίαση της δέσμης ακτινοβολίας προς την κατεύθυνση ενδιαφέροντος με αποτέλεσμα την παραγωγή μεγάλης απολαβής.
- Για την απολαβή της κεραίας ( $G_{Yagi}$ ) σε σχέση με δίπολο  $\lambda/2$ , χρησιμοποιήθηκε ισχύ λήψης διπόλου  $\lambda/2$  ίσο με -53dBm. Επιλέχθηκε το -53dBm λόγω του διαγράμματος Ανύψωσης όπου φαίνεται και η ακτινοβολία του διπόλου  $\lambda/2$  (βρίσκεται στο Κεφάλαιο 1). Έτσι παρατήρησα ότι το δίπολο  $\lambda/2$  έχει κατά 6dB περίπου μικρότερη ισχύ λήψης σε σχέση με την Yagi Uda. Στο διάγραμμα όμως αυτό απεικονίζεται η ακτινοβολία της κεραίας Yagi Uda 3 στοιχείων που σημαίνει ότι, σύμφωνα με αυτά τα νούμερα, η απόδοση της κεραίας δεν θα είναι καλή. Θα χρειαζόμασταν μέτρηση της μέγιστης ισχύς λήψης του διπόλου  $\lambda/2$  στην ίδια απόσταση και στον ίδιο χώρο που κάναμε τις μετρήσεις.
- Η απολαβή της κεραίας σε dBi υπολογίζεται από την απολαβή της κεραίας σε dBd συν το 2,15
- Η απόδοση της κεραίας είναι 0,4103. Όσο πιο κοντά στο 1 είναι αυτή η τιμή, τόσο πιο αποδοτική είναι η κεραία. Όπως αναφέρθηκε σε παραπάνω σημείο, δήλωσα ότι το δίπολο  $\lambda/2$  έχει 6 dB χαμηλότερη ισχύ λήψης στην κατεύθυνση του μεγίστου. Αυτό προέκυψε από το διάγραμμα ανύψωσης στην θεωρητική προετοιμασία. Όμως η κεραία που λήφθηκε υπόψιν με το δίπολο  $\lambda/2$  είναι Yagi 3 στοιχείων και γι' αυτό η απόδοση της κεραίας είναι σχετικά χαμηλή.
- Το Front-to-Back Ratio εκφράζει ουσιαστικά εκφράζει πόσο μεγαλύτερη είναι η εστίαση της ακτινοβολίας στην εμπρόσθια κατεύθυνση της κεραίας σε σχέση με την πίσω. Σύμφωνα με το παρακάτω στιγμιότυπο, βρέθηκε η τιμή στις  $0^\circ$  σε dB και



321-7803– Ασύρματες Επικοινωνίες

Τίτλος Μελέτης: Απαλλακτική Εργασία – Κεραία Yagi Uda 9 στοιχείων

Κυριαζής Ιωάννης

η τιμή στις  $180^{\circ}$  σε dB. Επειδή αυτοί οι αριθμοί είναι ήδη λογαριθμικοί, τότε κάνουμε απλώς αφαιρεση.

```
--> power=power-max(power)
power =
-3
-10
-11
-14
-17
-18
-19
-18
-13
-17
-12
-15
-14
-13
-11
-10
-8
-6
-5
-3
0
-3
>>> polar_pointter(rad_mat,power,[-21,0])
# >>
```

Το Impedance είναι  $50\Omega$ . Επίσης για να βρεθεί το VSWR καθώς και το εύρος των συχνοτήτων μέσα στις οποίες λειτουργεί σωστά η κεραία, θα πρέπει να ρυθμιστεί ο πομπός σε συγκεκριμένες συχνότητες και να ληφθούν τα dBs για κάθε μία από αυτές. Μετά, κάθε dBs θα αφαιρεθεί με την επαγόμενη τάση που οφείλεται στην συχνότητα του πομπού. Στην συνέχεια, πρέπει να βρεθεί ο συντελεστής ανάκλασης απολογαριθμοποιημένος και μετά να βρεθεί το VSWR το οποίο μπαίνει στο διάγραμμα. Το διάγραμμα αυτό δείχνει ότι η χαμηλότερη τιμή της καμπύλης λειτουργεί άψογα στην συγκεκριμένη συχνότητα.

Όσον αφορά το VSWR, μπορεί να προκύψει από διάγραμμα που προαναφέρθηκε. Όσο μικρότερη είναι η τιμή αυτής της ποσότητας, τόσο καλύτερη είναι η προσαρμογή και έτσι έχουμε μεγαλύτερη ισχύ να απορροφάται από την κεραία. Στην ιδανική περίπτωση ο λόγος στασίμων κυμάτων λαμβάνει τη τιμή 1. Τότε δεν έχουμε καθόλου ανακλώμενη ενέργεια. Στις πρακτικές εφαρμογές είμαστε ικανοποιημένοι όταν ο λόγος λαμβάνει τιμή κάτω από 2. Στην δική μας περίπτωση, μέσα από το πρόγραμμα προσομοίωσης MMANA-GAL, παρατηρούμε ότι το VSWR (όπου αναγράφεται SWR) έχει τιμή 2 ακριβώς κάτι που είναι ανεκτό.



321-7803– Ασύρματες Επικοινωνίες

Τίτλος Μελέτης: Απαλλακτική Εργασία – Κεραία Yagi Uda 9 στοιχείων

Κυριαζής Ιωάννης

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4**

Σύνοψη



Αυτή η εργασία, μας δίνει την δυνατότητα να ασχοληθούμε τόσο με θεωρία, υπολογισμούς και προσομοιωτές, όσο και με πρακτική υλοποίηση κεραίας. Αυτό δίνει μεγάλη ευκαιρία σε άτομα που θέλουν να ασχοληθούν στο μέλλον με τις Ασύρματες Επικοινωνίες, να καταλάβουν πλήρως το περιεχόμενο του μαθήματος τόσο από θεωρητικής πλευράς όσο και από πρακτικής.

Κατά την διάρκεια της κατασκευής της κεραίας, πέρασαν διάφορα σχέδια από το μυαλό μου. Κάποια από αυτά ήταν τα εξής:

- Να τρυπήσω το ξύλο από την αριστερή και την δεξιά μεριά, να κόψω τα στοιχεία στην μέση και να κολλήσω το πρώτο μισό στην αριστερή μεριά του ξύλου και το άλλο στην δεξιά μεριά του ξύλου.
- Να κόψω τα στοιχεία στην μέση και να τα κολλήσω επάνω στην επιφάνεια του ξύλου με κάποια απόσταση ανάμεσά τους.
- Να μην κόψω τα στοιχεία και να τα κολλήσω στην επιφάνεια του ξύλου.

Μαζί όμως με όλες αυτές τις σχεδιαστικές σκέψεις, δημιουργήθηκαν αρκετές απορίες που απαντήθηκαν σε μεταγενέστερο χρόνο. Κάποιες από αυτές ήταν:

- Αν το στοιχείο είναι λίγο πιο μεγάλο από τις συγκεκριμένες διαστάσεις έτσι ώστε να στερεωθεί καλύτερα στο ξύλο, θα υπάρχει πρόβλημα; Η απάντηση είναι ναι διότι αν μεγαλώσουμε τις διαστάσεις των στοιχείων είναι σαν να φτιάχνουμε διαφορετική κεραία.
- Θα μπορέσει η σιλικόνη να κρατήσει σταθερά τα στοιχεία επάνω στο ξύλο; Η απάντηση είναι ναι διότι τα στοιχεία δεν έχουν τόσο μεγάλη διάμετρο.
- Έχει σημασία πόση θα είναι η απόσταση ανάμεσα στα δύο μισά ενός στοιχείου; Η απάντηση είναι όχι διότι το ξύλο πρέπει να το θεωρούμε σαν να μην υπάρχει. Υπάρχει μόνο και μόνο για να στερεώνει τα στοιχεία.
- Αν κόψω τα στοιχεία στην μέση και τα τοποθετήσω αριστερά και δεξιά του ξύλου, θα υπάρξει πρόβλημα; Πιθανώς υπάρξει όσον αφορά την απολαβή της κεραίας διότι όταν κόβεται ένα αγώγιμο υλικό, σταματάει και η ροή ρεύματος. Επομένως ίσως χαθεί λίγο Gain με αυτή την κίνηση.

Σχεδιαστικά προβλήματα δεν ανέκυψαν ιδιαίτερα διότι πριν εκτελέσω οποιαδήποτε κίνηση (να κόψω το ξύλο ή τα στοιχεία ή να δημιουργήσω το δίπολο) είχα προετοιμαστεί για οποιαδήποτε αστοχία. Είχα μελετήσει τα πιθανά προβλήματα και προσπάθησα να τα εκμηδενίσω. Η κατασκευή της κεραίας διήρκεσε 8 ημέρες με διαρκείς δοκιμές αντοχής των στοιχείων επάνω στο ξύλο έτσι ώστε να μην συμβεί κάτι απρόσπτο κατά την διάρκεια μεταφοράς της κεραίας. Το μόνο πρόβλημα που ανέκυψε και καταναλώθηκε αρκετός χρόνος ήταν η στερέωση του ενεργού στοιχείου επάνω στο ξύλο. Η σιλικόνη θέλει χρόνο για να στεγνώσει. Το δίπολο λόγω των καλωδίων για την σύνδεση με τον connector δεν ήταν σταθερό με αποτέλεσμα να σχηματίζει γωνίες σε σχέση με τα υπόλοιπα στοιχεία. Αυτό το πρόβλημα λύθηκε με την χρήση σύρματος περιέλιξης. Το σύρμα κράτησε το καλώδιο ενωμένο με το ενεργό στοιχείο και σε παράλληλη θέση με τα υπόλοιπα στοιχεία.



321-7803– Ασύρματες Επικοινωνίες

Τίτλος Μελέτης: Απαλλακτική Εργασία – Κεραία Yagi Uda 9 στοιχείων

Κυριαζής Ιωάννης

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5**

### Βιβλιογραφία



321-7803– Ασύρματες Επικοινωνίες

**Τίτλος Μελέτης:** Απαλλακτική Εργασία – Κεραία Yagi Uda 9 στοιχείων

Κυριαζής Ιωάννης

[1]: <https://www.watelectronics.com/yagi-uda-antenna/>

[3]:[https://ecllass.icsd.aegean.gr/modules/document/file.php/ICSD139/%CE%95%CF%81%CE%BA%CE%B1%CF%83%CF%84%CE%AE%CF%81%CE%B9%CE%BF/6%CE%B7%20%CE%95%CF%81%CE%B3%CE%B1%CF%83%CF%84%CE%B7%CF%81%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CE%AE%20%CE%86%CF%83%CE%BA%CE%B7%CF%83%CE%B7%20%28%CE%9C%CE%B9%CE%BA%CF%81%CE%BF%CF%84%CE%B1%CE%B9%CE%BD%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CE%AE%20%CE%9A%CE%B5%CF%81%CE%B1%CE%AF%CE%B1-VSWR%29%CE%91%CC%81%CF%83%CE%BA%CE%B7%CF%83%CE%B7%206\\_2020.pdf](https://ecllass.icsd.aegean.gr/modules/document/file.php/ICSD139/%CE%95%CF%81%CE%BA%CE%B1%CF%83%CF%84%CE%AE%CF%81%CE%B9%CE%BF/6%CE%B7%20%CE%95%CF%81%CE%B3%CE%B1%CF%83%CF%84%CE%B7%CF%81%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CE%AE%20%CE%86%CF%83%CE%BA%CE%B7%CF%83%CE%B7%20%28%CE%9C%CE%B9%CE%BA%CF%81%CE%BF%CF%84%CE%B1%CE%B9%CE%BD%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CE%AE%20%CE%9A%CE%B5%CF%81%CE%B1%CE%AF%CE%B1-VSWR%29%CE%91%CC%81%CF%83%CE%BA%CE%B7%CF%83%CE%B7%206_2020.pdf)

# ΠΕΡΑΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΚΩΝ  
ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

UNIVERSITY OF THE AEGEAN  
DEPARTMENT OF INFORMATION AND  
COMMUNICATION SYSTEMS ENGINEERING

Kyriazis Ioannis

Copyright © 2022 – All Rights Reserved