



**ΑΛΕΞΑΝΔΡΕΙΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΕΡΑΙΩΝ VHF ΚΑΙ UHF ΜΕ
ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ**

(Κωδικός Πτυχιακής 07162EM)

**ΠΑΝΙΔΗΣ ΘΕΟΔΩΡΟΣ
(Κ.Α.Σ :504298)**

ΕΠΙΒΛΕΠΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ :ΙΩΑΝΝΙΔΟΥ Π. ΜΕΛΠΟΜΕΝΗ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2009

Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	Σελ.3
Περίληψη.....	Σελ.4
ABSTRACT.....	Σελ.5
Κεφάλαιο 1 : Εισαγωγή	
1.1 Ηλεκτρομαγνητικό πεδίο.....	Σελ.6
1.2. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα.....	Σελ.7
1.3. Ηλεκτρομαγνητικό κύμα	Σελ.8
1.4. Η Κεραία και εξέλιξη της ασύρματης μετάδοσης	Σελ.10
1.5 Παράμετροι και χαρακτηριστικά των κεραιών.....	Σελ.12
1.6 Δομή της εργασίας.....	Σελ.17
Κεφάλαιο 2 : Σχεδίαση κεραίας YAGI-UDA	
2.1 Γενικά.....	Σελ.18
2.2.Χαρακτηριστικά Κεραίας Yagi.....	Σελ.20
2.3.Συμπεράσματα-Συγκρίσεις	Σελ.25
Κεφάλαιο 3 : Σχεδίαση Αναδιπλωμένων διπόλων (folded dipole)	
3.1 Γενικά.....	Σελ.26
3.2. Χαρακτηριστικά Κεραίας Αναδιπλωμένου Διπόλου.....	Σελ.27
3.3 Αναδιπλωμένο δίπολο 1.....	Σελ.28
3.4 Αναδιπλωμένο δίπολο 2.....	Σελ.37
3.5 Αναδιπλωμένο δίπολο 3.....	Σελ.46
3.6 Αναδιπλωμένο δίπολο 4.....	Σελ.55
3.7.Συμπεράσματα-Συγκρίσεις	Σελ.61
Κεφάλαιο 4 : Συμπεράσματα	Σελ.64
Βιβλιογραφία – Πηγές	Σελ.65
Παράρτημα	Σελ.66

Πρόλογος

Η εποχή που ζούμε χαρακτηρίζεται από την ταχεία εξέλιξη σε όλους τους τομείς της επιστήμης των ηλεκτρονικών, ένας από τους τομείς όπου έχουν πραγματοποιηθεί αλματώδεις εξελίξεις είναι της διάδοσης πληροφοριών με τη χρήση Κεραιών και Ασύρματων ζεύξεων.

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής είναι να μας παρουσιάσει και να μας βοηθήσει να κατανοήσουμε την τεχνολογία κεραιών και τις θεωρίες που βασίζεται η γέννηση και εξέλιξη της, καθώς και να παρουσιάσει την κατασκευή και μελέτη με τη βοήθεια λογισμικού, μοντέλων από πρωτότυπα που βρίσκονται στο εργαστήριο A4 της σχολής .

Η σπουδαιότητα της συγκεκριμένης τεχνολογίας μπορεί να κατανοηθεί αν αναλογιστούμε ότι στην χρήση κεραιών στηρίζουν τη λειτουργία τους η τηλεόραση, το ραδιόφωνο, τα ραντάρ και γενικότερα όλες οι τηλεπικοινωνιακές δραστηριότητες του είδους μας, στον πλανήτη μας και έξω από αυτόν.

Θα θεωρήσουμε επιτυχής την εργασία αυτή εάν μέσα από την μελέτη της, ο αναγνώστης κατορθώσει να κατανοήσει ένα μέρος των βασικών αρχών που διέπουν την κατασκευή κεραιών και της διάδοσης πληροφοριών μέσω αυτών.

Περίληψη

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία μελετήθηκαν και σχεδιάστηκαν κεραίες (Yagi-Uda και αναδιπλωμένο δίπολο), στην περιοχή συχνοτήτων VHF (30-300MHz) και UHF (300-3000MHz). Για την σχεδίαση των μοντέλων και την απεικόνισή τους σε τρισδιάστατο περιβάλλον, με άξονες (x,y,z), τα μοντέλα χωρίστηκαν σε ευθύγραμμα τμήματα και υπολογίσθηκαν οι συντεταγμένες του κάθε τμήματος στο χώρο. Ειδικότερα για το αναδιπλωμένο δίπολο πραγματοποιήθηκαν υπολογισμοί, για τη καλύτερη δυνατή προσέγγιση των καμπύλων τμημάτων του με τη χρήση τεθλασμένων γραμμών. Εισάγοντας τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των κεραιών στο λογισμικό NecWin, δημιουργήθηκαν ένα μοντέλο της κεραίας Yagi και τέσσερα μοντέλα αναδιπλωμένου διπόλου και υπολογίσθηκαν το κέρδος και ο λόγος F/B. Επιπλέον, σχεδιάστηκαν τα διαγράμματα ακτινοβολίας και διερευνήθηκε η επίδραση, σε αυτά, των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των κεραιών.

ABSTRACT

This thesis deals with the study and design of antennas (Yagi-Uda , folded dipole), in the frequency range VHF (30-300MHz) and UHF (300-3000MHz). For the design of the models and their visualization in a 3D environment, (x,y,z) axes, the models were divided in straight line segments and the coordinates of each segment were calculated. Specifically for the folded dipole calculations were carried out for the best approach of its curved parts with the use of crooked lines. By inputting geometrical characteristics of the antennas in the NECWIN software a Yagi antenna and four folded dipole models were created and gain and front to back ratio of these models were calculated. Furthermore the radiation diagrams of these models were designed and the effects of the geometrical characteristics of the antennas on them were studied.

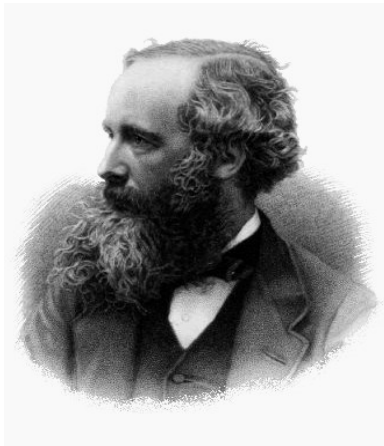
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Εισαγωγή

1.1 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

Το ηλεκτρομαγνητικό (ΗΜ) πεδίο είναι ένα φυσικό πεδίο το οποίο παράγεται από ηλεκτρικά φορτισμένα σωματίδια. Επηρεάζει την συμπεριφορά των φορτισμένων σωματιδίων στην περιοχή του πεδίου. Το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο εκτείνεται άπειρα στον χώρο και εκλύει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία αποτελείται από ραδιοκύματα, μικροκύματα, υπέρυθρες, ορατό φως, υπεριώδες, ακτίνες Χ και ακτίνες Γ.

Το ΗΜ πεδίο μπορούμε να το δούμε σαν συνδυασμό ενός ηλεκτρικού και ενός μαγνητικού πεδίου. Το ηλεκτρικό πεδίο παράγεται από στάσιμα φορτία και το μαγνητικό από κινούμενα φορτία (ρεύματα). Αυτά τα δυο συχνά περιγράφονται ως οι πηγές του πεδίου. Ο τρόπος με τον οποίο τα φορτία και τα ρεύματα αλληλεπιδρούν με το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο περιγράφεται από τις εξισώσεις του Maxwell και το νόμο της δύναμης του Lorentz.



James Clerk Maxwell (1831–1879)

Ο **James Clerk Maxwell** ήταν ένας Σκοτσέζος θεωρητικός φυσικός και μαθηματικός ο οποίος ανέπτυξε την κλασική ηλεκτρομαγνητική θεωρία. Οι εξισώσεις του έδειξαν ότι ο ηλεκτρισμός, ο μαγνητισμός ακόμη και το φως είναι εκδηλώσεις του ίδιου φαινομένου του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου.

Η δουλειά του στον ηλεκτρομαγνητισμό έχει ονομασθεί η δεύτερη μεγαλύτερη ενοποίηση στη φυσική (η πρώτη πραγματοποιήθηκε από τον Isaac Newton). Ο **Maxwell** διατύπωσε ότι τα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία ταξιδεύουν στο χώρο με τη μορφή κυμάτων και με την ταχύτητα του φωτός.



Heinrich Rudolf Hertz

Την ορθότητα της θεωρίας του **Maxwell**, απέδειξε πειραματικά ο **Hertz**, ο οποίος παρήγαγε μέσω ταχέων ηλεκτρικών ταλαντώσεων κύματα της ίδιας φύσης με αυτή του φωτός, αλλά με μικρότερη συχνότητα. Απέδειξε ότι: η ταχύτητα διάδοσης του ηλεκτρομαγνητικού κύματος (**c**) είναι ίση με το γινόμενο της συχνότητας (**f**) και του μήκους κύματος (**λ**) κι εξαρτάται από το μέσο διάδοσης του κύματος.

$c = \lambda * f$ θεμελιώδης εξίσωση της κυματικής.

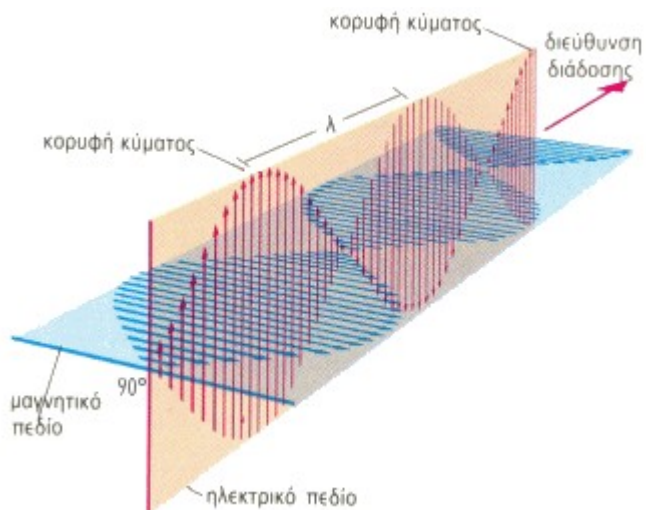
1.2 ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΦΑΣΜΑ

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθενται οι ζώνες συχνοτήτων του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, καθώς και οι κυριότερες εφαρμογές.

Μπάντα	Συντομογραφία	Συχνότητα	Μήκος κύματος	Χρήση
Ακρως Χαμηλές Συχνότητες	ELF	3 - 30 Hz	100,000 km - 10,000 km	Υπόηχοι
Λιαν Χαμηλές Συχνότητες	SLF	30 - 300 Hz	10,000 km - 1000 km	Επικοινωνία υποβρυχίων.
Υπερχαμηλές Συχνότητες	ULF	300 - 3000 Hz	1000 km - 100 km	Συχνότητες φωνής, υπέρηχοι.
Πολύ Χαμηλές Συχνότητες	VLF	3 - 30 KHz	100 km - 10 km	Ραδιοφωνία, ραδιοερασιτέχνες, στρατιωτικές και ναυτιλιακές εφαρμογές, αεροναυτικές επικοινωνίες, ραδιοφάροι, ιατρικά εμφυτεύματα, CB, ραδιοηλεκτρονία
Χαμηλές Συχνότητες	LF	30 - 300 KHz	10 km - 1 km	
Μεσαίες Συχνότητες	MF	300 - 3000KHz	1 km - 100 m	
Υψηλές Συχνότητες	HF	3 - 30 MHz	100 m - 10 m	Ραδιοφωνία, TV, ραδιοερασιτέχνες, ραδιομικρόφωνα, αμυντικά συστήματα.
Πολύ Υψηλές Συχνότητες	VHF	30 - 300 MHz	10 m - 1m	
Υπερυψηλές Συχνότητες	UHF	300 - 3000 MHz	1 m - 10 cm	TV, ραδιοερασιτέχνες, WLAN, radar, PMR, μικροκυματικοί αναμεταδότες, κινητά τηλέφωνα, DECT, GPS.
Λιαν Υψηλές Συχνότητες	SHF	3 - 30 GHz	10 cm - 1 cm	Δορυφορική ραδιοπλοήγηση, δορυφορική εξερεύνηση της γης, MVDS, ραντάρ, ραδιοερασιτέχνες, ραδιοαστρονομία, μικροκυματικοί αναμεταδότες, σταθερή δορυφορική.
Ακρως Υψηλές Συχνότητες	EHF	30 - 300 GHz	1 cm - 1 mm	
Χιλιοστομετρικά Κύματα		300 GHz - 3 THz	1 mm - 100 μm	Νυκτερινή όραση, θερμογραφία, υπέρυθρη επικοινωνία IrDA, φασματοσκοπία, θέρμανση.
Υπέρυθρο		3 THz - 400 THz	100 μm - 750 nm	
Ορατό Φως		400 THz - 700 THz	750 nm - 380 nm	Ορατή ακτινοβολία από το ερυθρό ως το ιώδες.
Υπεριώδες (UV)		700 THz - 30 PHz	380 - 10 nm	Black lights, λάμπες φθορίου, ανιχνευτές φωτιάς, εντομοκτόνα.
Ακτίνες X		30 PHz - 3EHZ	10 nm ~ 100 pm	Ακτινογραφίες, ανίχνευση ασθενειών, ραδιοθεραπεία.
Ακτίνες Γ		> 2.42 EHz	124 pm ~ 1 pm	Αποστείρωση εργαλείων, θεραπεία τύπων καρκίνου, πυρηνική ιατρική.

1.3 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΚΥΜΑ

Αν και φαίνεται να υπάρχει διαφορά, τα ραδιοκύματα, τα μικροκύματα, οι ακτίνες X όπως και το ορατό φως είναι όλα ενεργειακά κύματα που ονομάζονται ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα μπορούν να διαδοθούν ακόμη και στο κενό, αποτελούνται από ένα ηλεκτρικό και ένα μαγνητικό πεδίο, και τα δύο ταλαντούμενα και κάθετα μεταξύ τους. Στο παρακάτω γράφημα τα κόκκινα βέλη αντιπροσωπεύουν το ηλεκτρικό πεδίο και τα γαλάζια το μαγνητικό. Η κυματοειδής ακτινοβολία συνίσταται σε πάρα πολύ γρήγορες εναλλαγές της έντασης και της κατεύθυνσης των δύο πεδίων. Οι αλλαγές αυτές είναι τόσο γρήγορες, που μία κορυφή κύματος μετακινείται με 300.000 χλμ το δευτερόλεπτο, ίσα με την ταχύτητα του φωτός.



Τα χαρακτηριστικά του ηλεκτρομαγνητικού κύματος είναι τα εξής :

Πλάτος: Το πλάτος ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος σχετίζεται με την ένταση που έχει ή την φωτεινότητα (όπως συμβαίνει στο ορατό φως). Στο ορατό φως η φωτεινότητα μετριέται σε lumens (μονάδα μέτρησης φωτεινής ροής).

Μήκος κύματος: Η κλίμακα των ηλεκτρομαγνητικών ακτινοβολιών ξεκινά από άπειρα μήκη κύματος ως μερικά εκατοντάκις χιλιοστά του χιλιοστού. Το μήκος κύματος (λ) προσδιορίζει την απόσταση που χωρίζει δύο διαδοχικά σημεία ίδιας έντασης και μετριέται σε μέτρα.

Συχνότητα: Η συχνότητα ενός κύματος είναι ίση με την ταχύτητά του προς το μήκος κύματος. Μετριέται σε κύκλους ανά δευτερόλεπτο ή Hertz (Hz) και εκφράζει πόσα τέτοια σημεία παρουσιάζονται σε χρόνο ενός δευτερολέπτου.

Ταχύτητα: Όπως είπαμε παραπάνω η ταχύτητα ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος στο κενό είναι περίπου 300.000 χλμ το δευτερόλεπτο. Βέβαια όταν ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα διασχίζει την ύλη, η ταχύτητά του περιορίζεται και εξαρτάται από τον συντελεστή διάδοσης (Velocity factor) που είναι συνήθως 0.66-0.90.

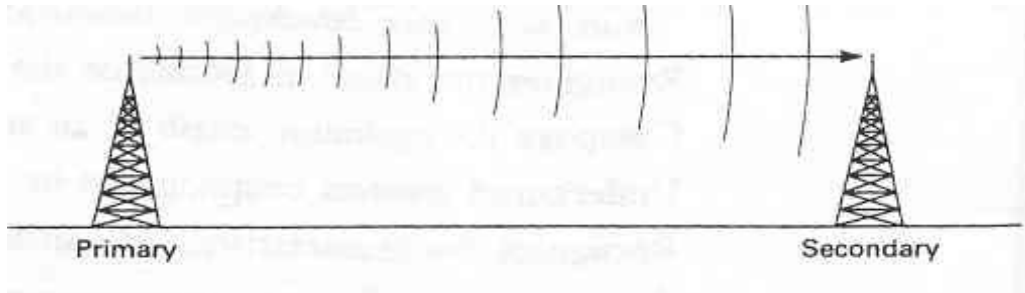
1.4 Η Κεραία και εξέλιξη της ασύρματης μετάδοσης

Η κεραία αποτελεί μία μεταλλική κατασκευή η λειτουργία της οποίας εστιάζεται στη μετατροπή των υψίσυχων ρευμάτων σε ηλεκτρομαγνητικά κύματα και αντίστροφα. Ανεξαρτήτως των διαφορετικών λειτουργιών τους, οι κεραίες λήψης και εκπομπής εμφανίζουν παρόμοια χαρακτηριστικά γεγονός που συνεπάγεται την ομοιότητα της συμπεριφοράς τους. Κατά την μετάδοση, ένα εναλλασσόμενο ρεύμα δημιουργείται στα στοιχεία όταν εφαρμοσθεί μια τάση στα τερματικά της κεραίας, αναγκάζοντας τα στοιχεία να ακτινοβολήσουν ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Στην διαδικασία της λήψης συμβαίνει το αντίστροφο, ηλεκτρομαγνητικό πεδίο από άλλη πηγή δημιουργεί εναλλασσόμενο ρεύμα στα στοιχεία και την αντίστοιχη τάση στα τερματικά της κεραίας.

Οι κεραίες χρησιμοποιούνται σε συστήματα όπως η ραδιοφωνική και τηλεοπτική μετάδοση, ζεύξεις σημείο προς σημείο (point to point), ασύρματα δίκτυα (LAN), ραντάρ και εξερεύνηση του διαστήματος. Συνήθως τοποθετούνται στον αέρα ή το διάστημα, όμως μπορούν να λειτουργήσουν και μέσα από νερό ή τη γη ακόμη και πετρώματα σε συγκεκριμένες συχνότητες για μικρές αποστάσεις.

Οι διαστάσεις, το μέγεθος και το σχήμα των κεραιών σχετίζονται άμεσα και εξαρτώνται από το μήκος κύματος του εκπεμπόμενου σήματος πχ το μηχανικό μήκος (*mechanical length*) μεταβάλλεται αντιστρόφως ανάλογα της συχνότητας του κύματος αφού ως γνωστόν ισχύει η σχέση: $T=1/f$ όπου T είναι ο χρόνος και f η συχνότητα. Συνεπώς, στην περίπτωση μιας κεραίας η οποία λειτουργεί στα 50MHz το μήκος της θα πρέπει να είναι 6m.

Η διάταξη μιας κεραίας θα πρέπει να λειτουργεί κατά τρόπο παρόμοιο του τρόπου λειτουργίας των συντονισμένων κυκλωμάτων. Στην περίπτωση δε που η προσαρμογή της κεραίας στο υπόλοιπο κύκλωμα είναι άριστη, μέρος της μεταδιδόμενης ενέργειας εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα καθ' όμοιο τρόπο με τον αντίστοιχο με τον οποίο η ενέργεια μεταφέρεται από το πρωτεύον στο δευτερεύον πηνίο του μετασχηματιστή. Ο εν λόγω παραλληλισμός, αν και απλοϊκός, διευκολύνει στην κατανόηση της διαδικασίας η οποία απαντάται κατά την μετάδοση της RF ενέργειας (σχήμα 1)



Σχήμα 1 Μετάδοση ενέργειας μεταξύ πομπού-δέκτη

Το 1888 ο **Hertz** όπως έχει αναφερθεί παραπάνω χρησιμοποίησε κεραίες για να αποδείξει την ύπαρξη των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Η προέλευση της λέξης κεραία (antenna) και η χρήση της σε σχέση με τις ασύρματες συσκευές αποδίδεται στον **G.Marconi**.

Ο **G.Marconi** Ιταλός εφευρέτης ήταν ο πρώτος που υλοποίησε το 1897 ένα σύστημα ασύρματης μετάδοσης (τηλέγραφος) βασισμένος στη θεωρία του **Maxwell**.



Guglielmo Marconi

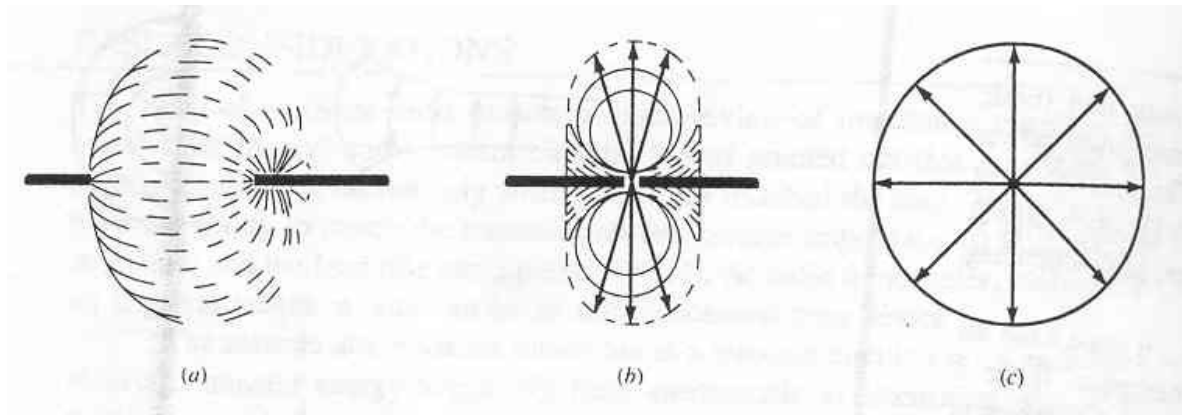
Σε αναγνώριση της συμβολής του στην εξέλιξη του ασύρματου τηλεγράφου του είχαν απονέμει Νόμπελ φυσικής το 1909.



Ο **Marconi** παρακολουθεί συνεργάτες που σηκώνουν χαρταετό κεραία 1901

Το στοιχειώδες δίπολο (Hertz Dipole)

Στην ουσία πρόκειται για μία θεωρητική κεραία της οποίας το μήκος δεν ξεπερνά το μήκος του εκπεμπόμενου κύματος (σχήμα 2). Εξυπηρετεί στη θεωρητική μελέτη των κεραιών ως το πρότυπο βάσει του οποίου συγκρίνονται και ορίζονται τα χαρακτηριστικά όλων των κεραιών που χρησιμοποιούνται στην πράξη.



Σχήμα 2 Το διάγραμμα ακτινοβολίας του στοιχειώδους δίπολου (a) πλευρική άποψη (b) γωνία μέγιστης ακτινοβολίας (c) κατακόρυφη άποψη

Η ισχύς του πεδίου (*field strength*) του δίπολου Hertz υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$E = (60 \cdot \pi \cdot L_e \cdot I \cdot \sin\theta) / (\lambda \cdot r)$$

E: η ισχύς του μαγνητικού πεδίου, r: η απόσταση, L_e : το μήκος της κεραίας, I: η ένταση του ρεύματος, θ : γωνία που σχηματίζεται από τον άξονα του καλωδίου και τη διεύθυνση της μέγιστης ακτινοβολίας

Όπως εικονίζεται στο σχήμα 2(b) το διάγραμμα ακτινοβολίας του στοιχειώδους δίπολου εμφανίζει ομοιομορφία εκατέρωθεν του άξονα του δίπολου (συμμετρικοί κύκλοι) ενώ από το ίδιο σχήμα διαφαίνεται ότι η διεύθυνση μέγιστης ακτινοβολίας του δίπολου είναι η κάθετη στον άξονά του.

1.5 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΚΕΡΑΙΩΝ

Κέρδος κεραίας και Αποτελεσματική Ισχύς Εκπομπής

Συγκεκριμένοι τύποι κεραιών εστιάζουν το διάγραμμα ακτινοβολίας τους σε μία συγκεκριμένη κατεύθυνση συγκριτικά με τις ισοτροπικές κεραίες. Ένας διαφορετικός τρόπος περιγραφής της ικανότητας / χαρακτηριστικού της κεραίας να συγκεντρώνει την εκπεμπόμενη ακτινοβολία αποτελεί το μέγεθος του **κέρδους της κεραίας** (*antenna gain*) (μετρούμενο σε *decibels*)

Κατευθυντικό κέρδος (*directive gain*) Ορίζεται ως ο λόγος της πυκνότητας της εκπεμπόμενης ισχύος (*power density*) σε συγκεκριμένη κατεύθυνση προς την πυκνότητα ισχύος η οποία θα εκπεμπόταν από μία ισοτροπική κεραία (*omnidirectional-isotropic antenna*). Η πυκνότητα ισχύος αμφοτέρων των δύο τύπων κεραιών μετράται σε συγκεκριμένη κατεύθυνση και ως εκ τούτου ένας συγκριτικός λόγος υπολογίζεται.

Σε πραγματική βάση το κέρδος του δίπολου Hertz, αναφορικά πάντοτε με μία ισοτροπική κεραία υπολογίζεται 1.76dB, ενώ καθ' όμοιο τρόπο η αντίστοιχη τιμή του κέρδους της διπολικής κεραίας μισού κύματος υπολογίζεται 2.15dB. Από την σύγκριση των παραπάνω τιμών προκύπτει ότι αυξάνοντας το μήκος της κεραίας αυξάνεται το κέρδος της.

Κατευθυντικότητα και κέρδος ισχύος (*directivity and power gain*) Ένα επιπλέον μέγεθος το οποίο χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του κέρδους μίας κεραίας είναι το **κέρδος ισχύος (*power gain*)**. Το εν λόγω μέγεθος στην πραγματικότητα αποτελεί μέτρο σύγκρισης της ισχύος εξόδου μίας συγκεκριμένης κεραίας σε συγκεκριμένη κατεύθυνση, σε σχέση με μία ισοτροπική κεραία. Το κέρδος μίας κεραίας είναι ο λόγος ισχύος μεταξύ μίας ισοτροπικής και μία μονοκατευθυντικής κεραίας. Η μαθηματική έκφραση μέσω της οποίας εκφράζεται και υπολογίζεται είναι η ακόλουθη

$$A(\text{dB})=10 \log_{10}(P_2/P_1)$$

Όπου A(dB): το κέρδος της κεραίας σε *decibels*

P₁: η εκπεμπόμενη ισχύς της μονοκατευθυντικής κεραίας

P₂: η εκπεμπόμενη ισχύς της ισοτροπικής κεραίας

Ένας επιπρόσθετος όρος ο οποίος χρησιμοποιείται προκειμένου να περιγράψει την απόδοση του συστήματος εκπομπής είναι ο *effective radiated power (ERP)*.

Μέτρηση εκπομπής και ένταση πεδίου

Οι επαγόμενες τάσεις σε μία κεραία λήψεως είναι πολύ μικρές, της τάξεως των μικροβόλτ. Ως εκ τούτου οι λαμβανόμενες μετρήσεις της εντάσεως του πεδίου (*field strength*) θα είναι της τάξεως των mV/m

Ένταση πεδίου: Η ένταση του πεδίου, που δημιουργείται ως αποτέλεσμα της εκπομπής ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας στον περιβάλλοντα χώρο, σε συγκεκριμένο σημείο ισοδυναμεί με την επαγόμενη τάση επί καλωδίου μήκους 1m το οποίο βρίσκεται στο συγκεκριμένο σημείο. Η τιμή της εξαρτάται από ένα σύνολο παραγόντων αναφέροντας χαρακτηριστικά τη χρονική στιγμή της ημέρας που πραγματοποιείται η εκπομπή της κεραίας, τις ατμοσφαιρικές συνθήκες την απόσταση του καλωδίου από την κεραία κτλ.

Αντίσταση ακτινοβολίας κεραίας

Πρόκειται για ένα υποθετικό μέγεθος με θεωρητική μόνο σημασία. Ως **αντίσταση ακτινοβολίας** της κεραίας (*antenna radiation resistance*) ορίζεται η ωμική αντίσταση ενός κυκλώματος στην οποία θα απελευθερώνονταν το ίδιο ποσό ενέργειας με το αντίστοιχο ακτινοβολούμενο από την κεραία. Προσδιορίζεται δε από το λόγο της μέσης ακτινοβολούμενης ισχύος της κεραίας προς το τετράγωνο της έντασης του επαγόμενου ρεύματος που αναπτύσσεται σε συγκεκριμένο απομακρυσμένο σημείο (*feed point*).

Απώλειες και βαθμός απόδοσης: Πέραν της ενέργειας που εκπέμπεται από την κεραία, ένα σημαντικό μέγεθος, ο προσδιορισμός και περιορισμός του οποίου αποτελεί εξέχουσα σημασίας έργο, είναι οι απώλειες ισχύος. Παράγοντες που συμβάλλουν στην απώλεια ισχύος κατά την εκπομπή της κεραίας είναι μεταξύ των άλλων, η *ground resistance*, *corona effects*, *imperfect dielectric* στον περιβάλλοντα χώρο της κεραίας, επαγωγή eddy ρευμάτων σε μεταλλικά αντικείμενα τα οποία βρίσκονται κοντά στην κεραία, και τέλος σε θερμικές απώλειες κατά μήκος της κεραίας. Συνδυάζοντας λοιπόν όλα τα παραπάνω, προκύπτει η σχέση

$$P_{in}=P_d+P_{rad}$$

όπου P_{in} : η συνολική ισχύς τροφοδοσίας της κεραίας

P_d : η απολεσθείσα ενέργεια

P_{rad} : η συνολικά ακτινοβολούμενη ενέργεια

Από την παραπάνω σχέση και αντικαθιστώντας καθ' έναν εκ των τριών όρων με τον αντίστοιχο I^2R όρο, προκύπτει η ισοδύναμη σχέση

$$R_{in}=R_d+R_{rad}$$

βασιζόμενοι στην οποία μπορούμε να ορίσουμε την παράμετρο του βαθμού απόδοσης (*efficiency*) της κεραίας ως εξής

$$\eta=R_{rad}/(R_{rad}+R_d)*100\%$$

όπου R_d : η αντίσταση της κεραίας (*antenna resistance*)

R_{rad} : η αντίσταση ακτινοβολίας της κεραίας

Από τα παραπάνω καθίσταται σαφές ότι ο βαθμός απόδοσης της κεραίας μπορεί να οριστεί ως ο λόγος της ακτινοβολούμενης ισχύος από την κεραία προς τη συνολική ισχύ τροφοδοσίας της κεραίας

Οι LF (Low Frequency) και MF (Medium Frequency) κεραίες είναι οι λιγότερο αποδοτικές δεδομένων των δυσκολιών που απαντώνται στην επίτευξη του κατάλληλου μήκους τους. Συγκεκριμένα, ο βαθμός απόδοσης των εν λόγω κεραίων δεν ξεπερνά την τιμή 0.95 ενώ είναι δυνατό στη χειρότερη περίπτωση ο βαθμός απόδοσης τους να μην

ξεπερνά την τιμή 0.75. Φυσικά, αυξανόμενης της συχνότητας εκπομπής της κεραίας, αυξάνεται ο βαθμός απόδοσής τους έτσι που σε ορισμένες περιπτώσεις επιτυγχάνεται άριστη απόδοση πλησίον της μέγιστης τιμής 1. Η αντίσταση ακτινοβολίας είναι δυνατό να λαμβάνει τιμή σε ένα εύρος λίγων Ω μέχρι αρκετές εκατοντάδες Ω . Παράγοντες όπως, η επιλογή του σημείου τροφοδοσίας, τα φυσικά και ηλεκτρικά χαρακτηριστικά της κεραίας, είναι ορισμένοι εκ των οποίων καθορίζουν την τιμή της αντίστασης ακτινοβολίας της κεραίας.

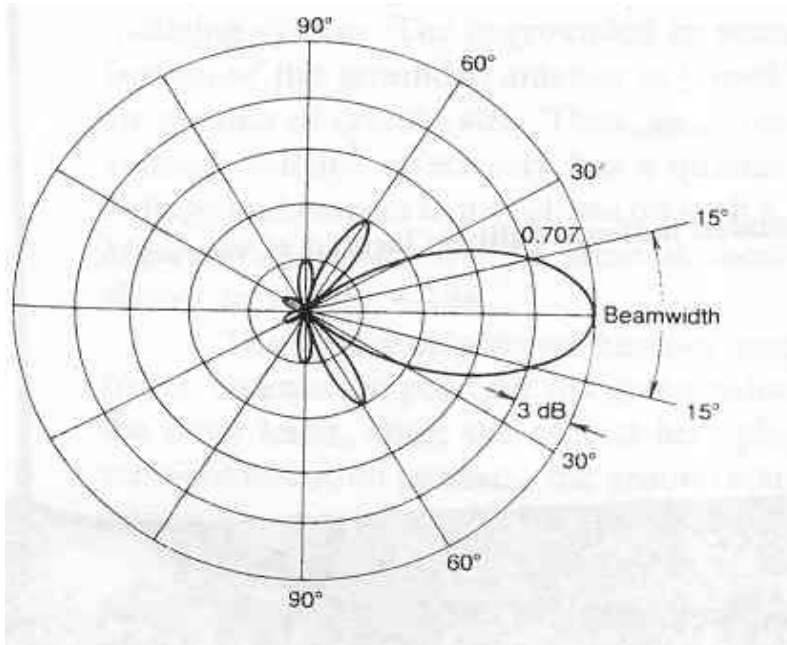
Εύρος ζώνης συχνοτήτων, Εύρος δέσμης και πολικότητα κεραίας

Από τις πλέον σημαντικές παραμέτρους οι οποίες χρησιμοποιούνται ευρύτατα στην περιγραφή των χαρακτηριστικών των κεραιών είναι το **εύρος ζώνης συχνοτήτων** (*bandwidth*) στις οποίες λειτουργεί η κεραία, το **εύρος δέσμης** (*beam width*) της κεραίας που καθορίζει το βαθμό συρρίκνωσης /συγκέντρωσης του διαγράμματος ακτινοβολίας, γύρω από τον κεντρικό άξονα και τέλος η **πολικότητα** (*polarity*) που περιγράφει τον προσανατολισμό (*space orientation*) των εκπεμπόμενων κυμάτων στο χώρο.

Συγκεκριμένα, ο όρος *bandwidth* προσδιορίζει το εύρος των συχνοτήτων (*frequency range*) στο οποίο η κεραία μπορεί να λειτουργεί αποδοτικά, εννοώντας για παράδειγμα ότι η κεραία θα επιτυγχάνει ικανοποιητική απόδοση (*throughput*) στο συγκεκριμένο εύρος συχνοτήτων. Στο σημείο όπου η ισχύς της κεραίας μειώνεται στο μισό της μέγιστης τιμής της (3dB), το μέγιστο και ελάχιστο του συγκεκριμένου εύρους ζώνης συχνοτήτων στο οποίο λειτουργεί η κεραία έχει επιτευχθεί οπότε και η απόδοση της κεραίας μειώνεται σταδιακά. Στην περίπτωση δε των κεραιών που λειτουργούν σε μεγάλο εύρος ζώνης συχνοτήτων, προκειμένου να διατηρείται η απόδοση τους σε υψηλά επίπεδα, ενσωματώνονται κατάλληλα αντισταθμιστικά κυκλώματα (*compensating circuits*) έτσι ώστε ανά πάσα στιγμή να εξασφαλίζεται η προσαρμογή σύνθετη αντίστασης της κεραίας. Κατ' αυτό τον τρόπο, ελαχιστοποιώντας την πιθανότητα δημιουργίας στάσιμων κυμάτων, εξασφαλίζεται η "προστασία" του εκπεμπόμενου σήματος από αυτού του είδους τις παραμορφώσεις-υποβιβάσεις.

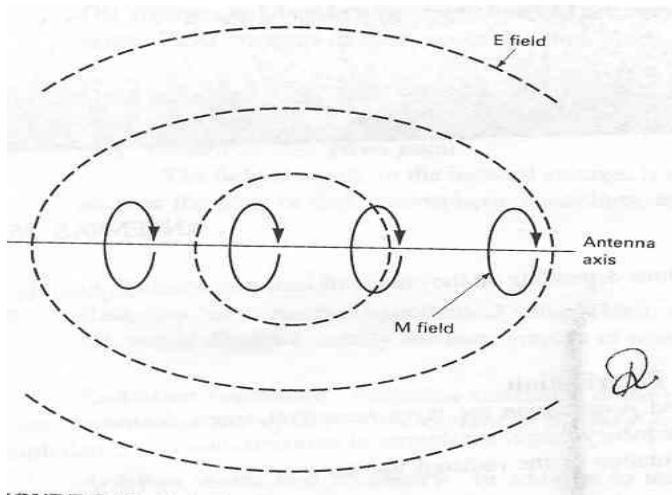
Από την άλλη μεριά, το εύρος δέσμης της κεραίας προσδιορίζει την ικανότητα συρρίκνωση ή όχι της ακτινοβολουμένης δέσμης γύρω από τον κύριο άξονα ακτινοβολίας. Περιγράφεται δε ως η γωνία που σχηματίζεται από τα **σημεία ημίσεως ισχύος** (*half power points*-σημεία στα οποία η ένταση του πεδίου της κεραίας μειώνεται στο 0.707 της μέγιστης τιμής της) του κυρίως λοβού του διαγράμματος ακτινοβολίας. Για παράδειγμα, το εύρος δέσμης του διαγράμματος ακτινοβολίας του σχήματος 3 είναι 30°. Αρκεί να

παρατηρήσουμε τα δύο σημεία ημίσεως ισχύος τα οποία και έχουν βρεθεί επί του κυρίου λοβού ακτινοβολίας του διαγράμματος, και να ενώσουμε κάθε ένα εξ αυτών με το κέντρο του λοβού ακτινοβολίας. Η γωνία που σχηματίζεται όπως φαίνεται και στο σχήμα 3 είναι 30° .



Σχήμα 3 Το εύρος δέσμης συγκεκριμένης κεραίας

Τέλος αναφορικά με την πολικότητα της κεραίας, πρόκειται για τη παράμετρο που προσδιορίζει τον προσανατολισμό (στο χώρο) των πεδίων του εκπεμπόμενου ηλεκτρομαγνητικού κύματος (σχήμα 4). Στον ελεύθερο χώρο, τον περιβάλλοντα την κεραία, το μαγνητικό πεδίο του κύματος είναι κάθετο στη διεύθυνση του ηλεκτρικού πεδίου και επιπλέον η διεύθυνση διάδοσης του ηλεκτρομαγνητικού κύματος είναι κάθετη και στα δύο επαγόμενα πεδία. Η πολικότητα της κεραίας καθορίζεται από την πολικότητα του εκπεμπόμενου ηλεκτρομαγνητικού κύματος. Έτσι λοιπόν στην περίπτωση που η διεύθυνση του ηλεκτρικού πεδίου είναι κάθετη, η κεραία εμφανίζεται κάθετα πολωμένη ενώ αντιθέτως όποτε η διεύθυνση του ηλεκτρικού πεδίου είναι οριζόντια η κεραία χαρακτηρίζεται ως οριζόντια πολωμένη.



Σχήμα 4 Η πόλωση κεραίας (απεικονίζονται ευκρινώς το ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο)

1.6 Δομή της εργασίας

Στην εργασία αυτή σχεδιάστηκαν με τη βοήθεια του λογισμικού NECWIN μια κεραία Yagi και τέσσερα μοντέλα ενός αναδιπλωμένου δίπολου της εταιρίας Fracarro. Παρήχθησαν τα διαγράμματα ακτινοβολίας τα οποία συγκρίθηκαν με τα δεδομένα του κατασκευαστή τους. Για το αναδιπλωμένο δίπολο κρίθηκε αναγκαία η κατασκευή παραπάνω του ενός μοντέλων διότι προσεγγίσαμε τα καμπύλα τμήματα της κεραίας με τεθλασμένες γραμμές επιτυγχάνοντας μεγαλύτερη ακρίβεια ως προς το πρότυπο σε καθένα εκ των τεσσάρων μοντέλων, τα οποία και συγκρίναμε αναμεταξύ τους.

Στο δεύτερο κεφάλαιο εξετάζεται η κεραία Yagi, αναφέρεται η θεωρία της κεραίας καθώς και η λειτουργία της. Έπειτα υπολογίζονται τα χαρακτηριστικά του μοντέλου το οποίο σχεδιάζεται στο NECWIN και παρουσιάζονται τα διαγράμματα ακτινοβολίας του, τα οποία συγκρίνονται με τα δεδομένα του κατασκευαστή.

Στο τρίτο κεφάλαιο εξετάζεται το αναδιπλωμένο δίπολο και αναφέρονται η θεωρία και ο τρόπος λειτουργίας του. Ακολούθως υπολογίζονται τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά καθενός εκ των τεσσάρων μοντέλων που σχεδιάστηκαν και τέλος παρουσιάζονται τα διαγράμματα ακτινοβολίας των μοντέλων και τα δεδομένα που προκύπτουν από αυτά συγκρίνονται μεταξύ των μοντέλων.

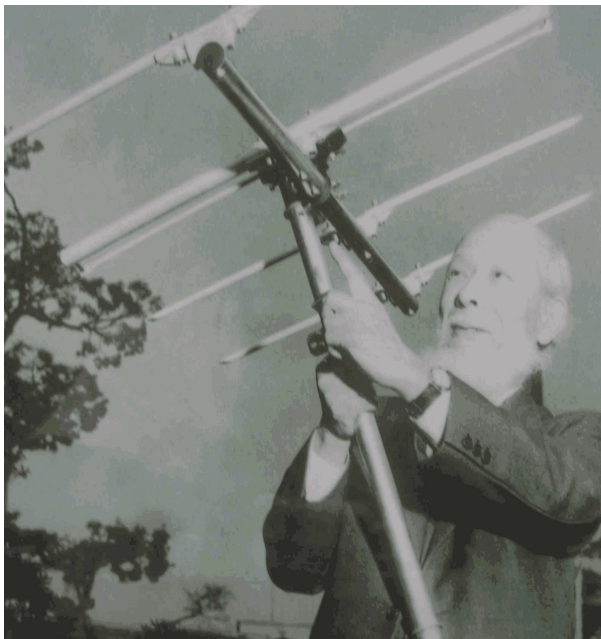
Τέλος στο τέταρτο κεφάλαιο παρατίθενται τα συμπεράσματα από τη εκπόνηση της παρούσας εργασίας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Σχεδίαση κεραίας YAGI-UDA

2.1 Γενικά

Η πρώτη κεραία που μελετήθηκε και σχεδιάστηκε με το λογισμικό NECWIN είναι η κεραία **YAGI-UDA**, εφευρέθηκε το 1926 από τον Shintaro Uda στην Ιαπωνία με την συνεργασία του Hidechugu Yagi.



Ο Dr. Yagi με την κεραία

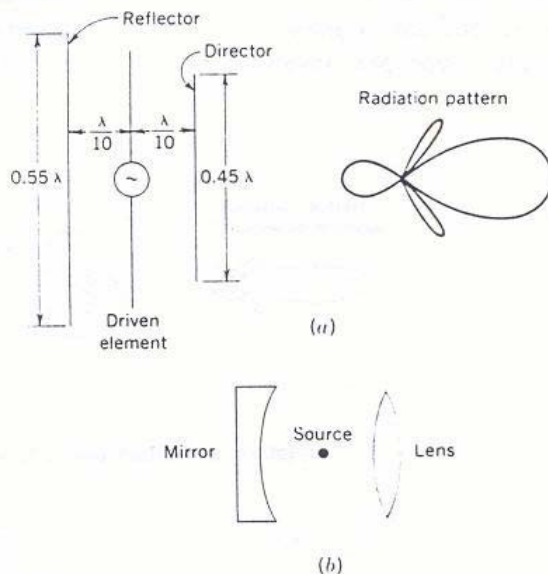
Η κεραία **Yagi** χρησιμοποιήθηκε πρώτη φορά ευρέως στον δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο σε ραντάρ αεροπλάνων εξαιτίας της απλότητας και κατευθυντικότητας της.

Είναι μία στοιχειοκεραία η οποία αποτελείται από ένα διεγερόμενο στοιχείο και ένα ή περισσότερα παρασιτικά στοιχεία. Αυτά είναι τοποθετημένα επί μιας ευθείας γραμμής και κοντά το ένα στο άλλο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5, μαζί με το αντίστοιχο σύστημα στην οπτική και το διάγραμμα ακτινοβολίας.

Δεδομένου ότι είναι σχετικά μονοκατευθυντική, όπως φαίνεται από τη μορφή του διαγράμματος ακτινοβολίας, και έχει ένα μέτριο κέρδος στην περιοχή των 7dB, η κεραία Yagi-Uda χρησιμοποιείται ως HF κεραία εκπομπής. Επίσης χρησιμοποιείται σε υψηλότερες συχνότητες, κυρίως σαν μια VHF κεραία λήψης τηλεόρασης. Ο οπίσθιος λοβός του Σχήματος 5b μπορεί να ελαττωθεί, και έτσι ο λόγος front-to-back της κεραίας μπορεί να βελτιωθεί, φέρνοντας τα ακτινοβολούντα στοιχεία πλησιέστερα. Αυτό, όμως,

έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της σύνθετης αντίστασης εισόδου της στοιχειοκεραίας. Τελικά η απόσταση που φαίνεται στο σχήμα (0.1λ) είναι η βέλτιστη τιμή.

Η ακριβής επίδραση του παρασιτικού στοιχείου εξαρτάται από την απόστασή του και την ρύθμισή του, δηλ. από το μέγεθος και τη φάση του ρεύματος που επάγεται σε αυτό. Όπως αναφέρθηκε ήδη, ένα παρασιτικό στοιχείο συντονισμένο σε μια χαμηλότερη συχνότητα από το διεγυρόμενο στοιχείο, (δηλ. μεγαλύτερο σε μήκος) θα συμπεριφερθεί ως ήπιος ανακλαστήρας, ενώ ένα μικρότερο σε μήκος παρασιτικό στοιχείο θα ενεργήσει ως ήπιος κατευθυντήρας της ακτινοβολίας. Καθώς ένα παρασιτικό στοιχείο τοποθετείται όλο και πιο κοντά στο διεγυρόμενο στοιχείο, θα προσθέσει περισσότερο φορτίο στο διεγυρόμενο στοιχείο και θα μειώσει τη σύνθετη αντίσταση εισόδου του. Αυτός είναι ίσως ο βασικός λόγος για την τόσο συχνή χρησιμοποίηση του αναδιπλωμένου δίπολου ως το διεγυρόμενο στοιχείο μιας τέτοιας στοιχειοκεραίας.



Σχήμα 5 Yagi κεραία. (α) Κεραία και διάγραμμα ακτινοβολίας, (b) οπτικό ισοδύναμο

Η κεραία Yagi-Uda κατά γενική ομολογία δεν έχει υψηλό κέρδος, αλλά είναι πολύ συμπαγής, σχετικά ευρείας ζώνης, λόγω της χρήσης του αναδιπλωμένου δίπολου, και έχει ένα αρκετά καλό μονοκατευθυντικό διάγραμμα ακτινοβολίας. Στην πράξη, η κεραία αυτή έχει έναν ανακλαστήρα και μερικούς κατευθυντήρες που είναι είτε ίσου μήκους είτε με μήκος που μειώνεται ελαφρώς όσο απομακρυνόμαστε από το διεγυρόμενο στοιχείο. Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι το αναδιπλωμένο δίπολο, μαζί με μια ή δύο άλλες κεραίες, ονομάζεται μερικές φορές κεραία υπερκέρδους (supergain antenna), λόγω του καλού κέρδους και εύρους δέσμης ακτινοβολίας που εμφανίζει ανά μονάδα επιφανείας της στοιχειοκεραίας.

2.2 Χαρακτηριστικά Κεραίας Yagi

Η κεραία Yagi την οποία σχεδιάσαμε βρίσκεται στο εργαστήριο A4 της σχολής. Είναι το μοντέλο BLV6F της εταιρίας Fracarro, αποτελείται από 6 στοιχεία, έχει εύρος λειτουργίας 174-230 MHz, μέγιστο κέρδος 11 dBi και τιμή αντίστασης εισόδου 75 Ω.

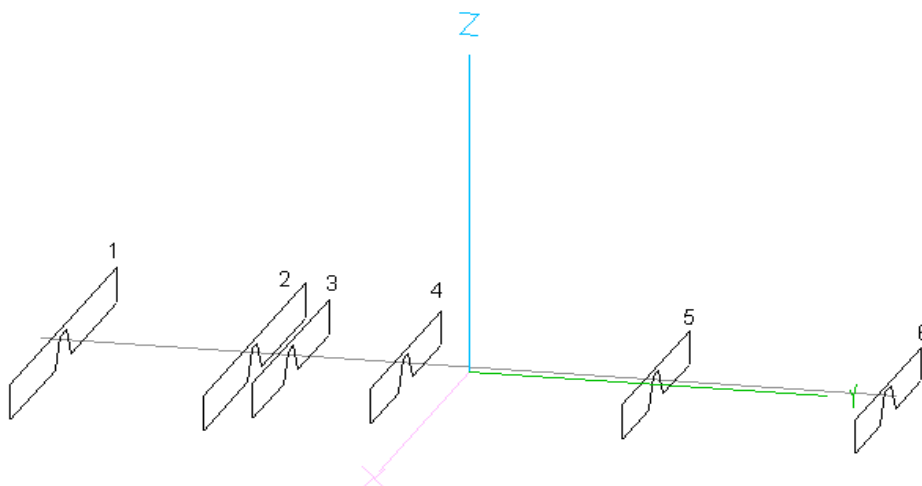


Η κεραία Yagi

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της υπολογίσθηκαν κατόπιν μετρήσεων που πραγματοποιηθήκαν στο εργαστήριο ως εξής:

Το οριζόντιο τμήμα στήριξης της κεραίας έχει μήκος 1.52m και πάχος 0.018m το οποίο προσομοιώνεται στο πρόγραμμα ως ένας κυλινδρικός αγωγός ακτίνας 0.009m (radius).

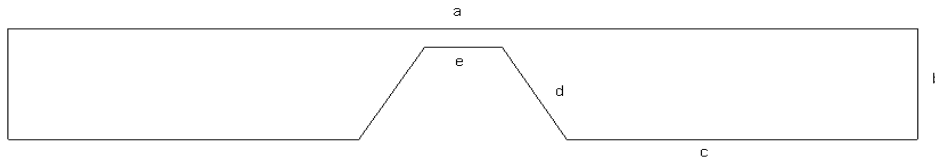
Τα στοιχεία της κεραίας αριθμήθηκαν ξεκινώντας από αριστερά 1-6, όπως απεικονίζεται στο σχήμα 6, όπου μπορεί να παρατηρηθεί και ο προσανατολισμός των αξόνων (x,y,z).



Σχήμα 6. Η κεραία Yagi

Το πρώτο στοιχείο του μοντέλου αποτελεί τον ανακλαστήρα, το δεύτερο είναι το ενεργό στοιχείο και τα υπόλοιπα είναι κατευθυντήρες.

Παίρνοντας ως οδηγό το στοιχείο που απεικονίζεται στο σχήμα 7 παραθέτουμε τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των στοιχείων .



Σχήμα 7. Στοιχείο κεραίας Yagi

Το πάχος όλων των στοιχείων είναι ίσο και προσομοιώθηκαν στο NECWIN ως κυλινδρικοί αγωγοί, με ακτίνα (radius) 0.00225m

Τα τμήματα $b=0.07\text{m}$ $d=0.05\text{m}$ και $e=0.04\text{m}$ έχουν την ίδια τιμή για όλα τα στοιχεία της κεραίας.

Για το πρώτο στοιχείο έχουμε : a) 0.76m b) 0.07m c) 0.33m d) 0.05m e) 0.04m

Για το δεύτερο στοιχείο έχουμε : a) 0.726m b) 0.07m c) 0.312m d) 0.05m e) 0.04m

Για το τρίτο στοιχείο έχουμε : a) 0.54m b) 0.07m c) 0.216m d) 0.05m e) 0.04m

Για το τέταρτο στοιχείο έχουμε : a) 0.51m b) 0.07m c) 0.204m d) 0.05m e) 0.04m

Για το πέμπτο στοιχείο έχουμε : a) 0.482m b) 0.07m c) 0.190m d) 0.05m e) 0.04m

Για το έκτο στοιχείο έχουμε : a) 0.468m b) 0.07m c) 0.180m d) 0.05m e) 0.04m

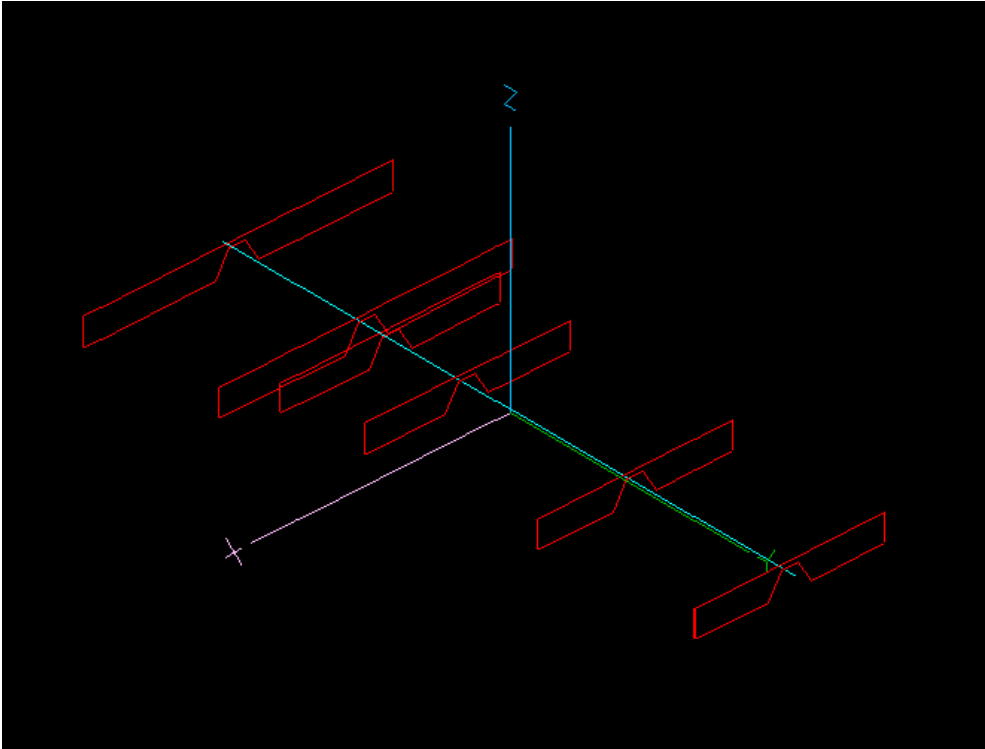
Το τμήμα e απέχει από το τμήμα στήριξης 0.014m σε όλα τα στοιχεία της κεραίας.

Το πρώτο στοιχείο απέχει από το αριστερό άκρο του οριζοντίου τμήματος στήριξης της κεραίας 0.04m το δεύτερο στοιχείο 0.378m το τρίτο 0.442m το τέταρτο 0.646m το πέμπτο 1.092m και το έκτο 1.502m .

Επόμενο βήμα ήταν η δημιουργία του κώδικα στο λογισμικό NECWIN για την υλοποίηση του μοντέλου της κεραίας, ο οποίος βρίσκεται στο παράρτημα.

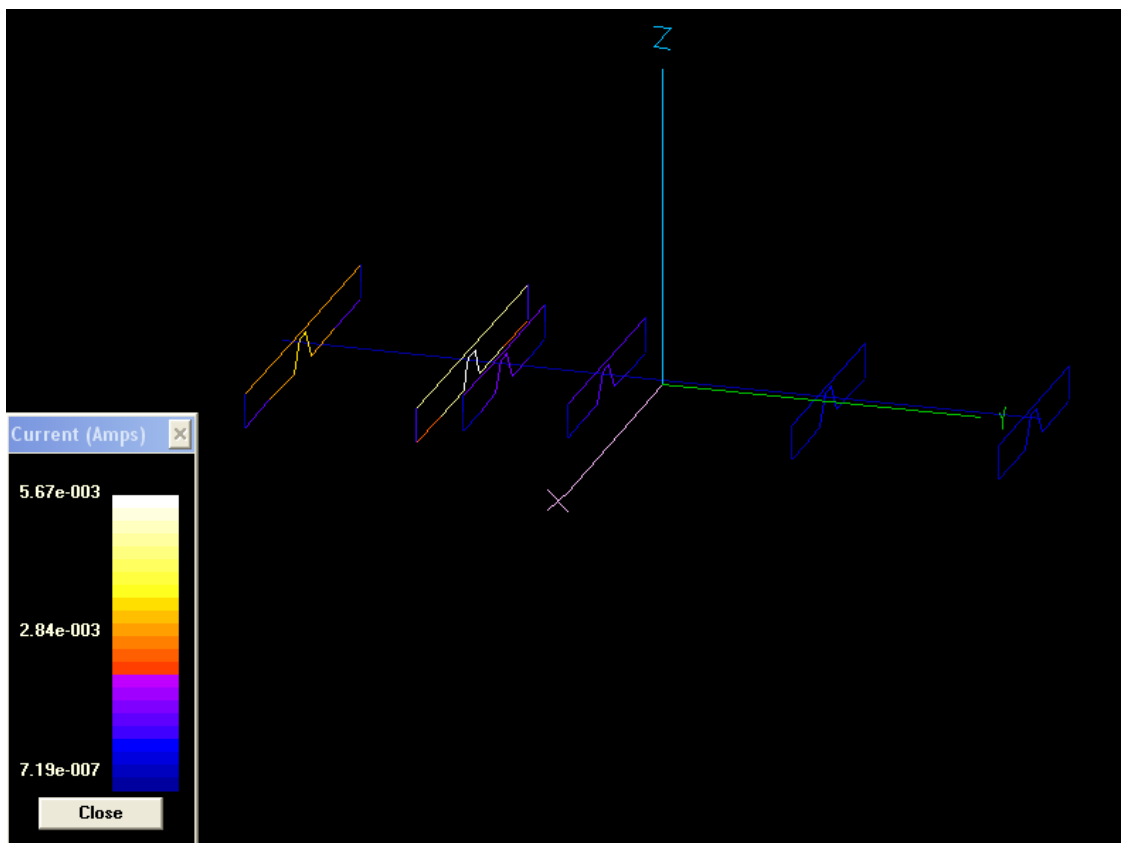
Εισήγαμε τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, έχοντας ορίσει ως αρχή των αξόνων το σημείο του τμήματος στήριξης της κεραίας το οποίο τέμνεται από το δεύτερο στοιχείο με δεδομένο ότι η διέγερση βρίσκεται στο σημείο e του δεύτερου στοιχείου, για την

δημιουργία του μοντέλου στο λογισμικό. Μια τρισδιάστατη απεικόνιση της κεραίας Yagi μπορούμε να παρατηρήσουμε στο σχήμα 8.

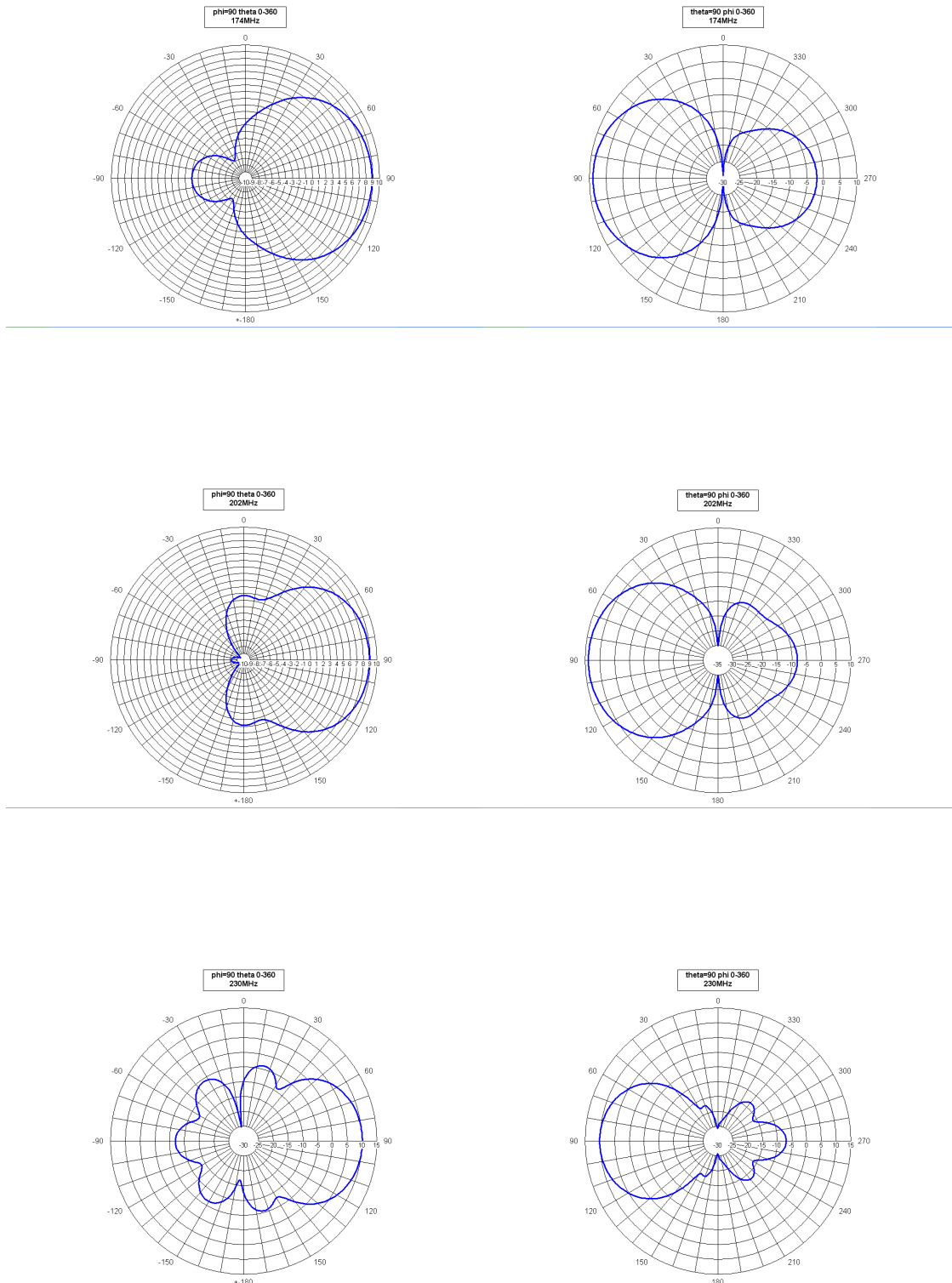


Σχήμα 8. Η κεραία Yagi 3D

Το διάγραμμα ρευματικής κατανομής του μοντέλου παρατίθεται παρακάτω.

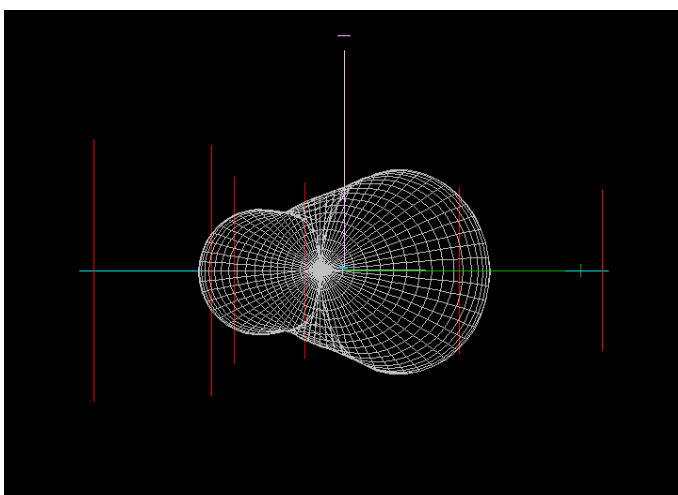
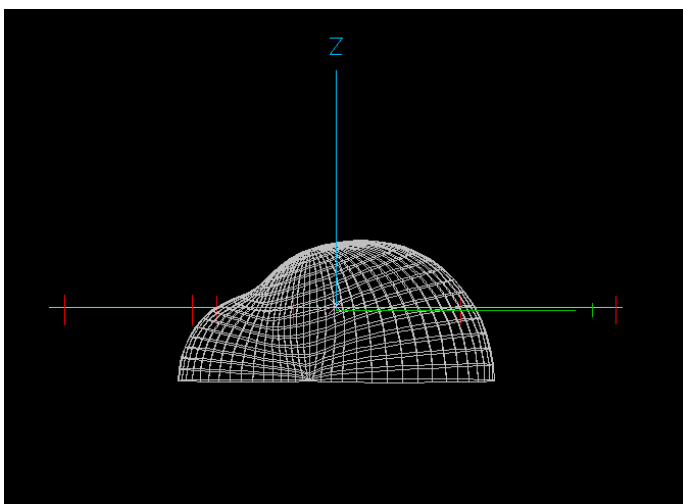
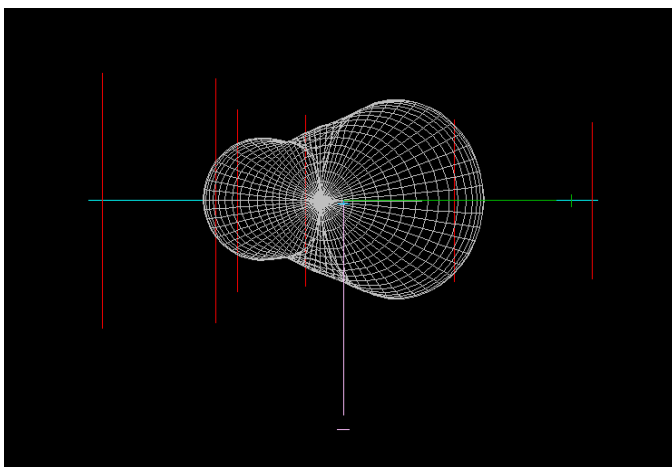


Στη συνέχεια (σχήμα 9) παραθέτουμε τα διδιάστατα διαγράμματα ακτινοβολίας σε τρεις διαφορετικές συχνότητες λειτουργίας της κεραίας (αρχική, μέση, τελική), για $\phi=90^\circ$ θ 0-360 (επίπεδο $y-z$) και $\theta=90^\circ$ ϕ 0-360 (επίπεδο $x-y$) αντιπαραθέτοντας τα διαγράμματα σε ζεύγη για κάθε συχνότητα.



Σχήμα 9. Διδιάστατα διαγράμματα μοντέλου στα επίπεδα $y-z$, $x-y$

Στις παρακάτω τρεις λήψεις, υπό διαφορετική οπτική γωνία, απεικονίζεται το τρισδιάστατο διάγραμμα ακτινοβολίας του μοντέλου



2.3 Συμπεράσματα-Συγκρίσεις

Στα διαγράμματα του σχήματος 9 για το x-y επίπεδο ($\theta=90$ ϕ 0-360) παρατηρούμε ότι ο οπίσθιος λοβός μειώνεται καθώς αυξάνεται η συχνότητα λειτουργίας. Επίσης με την βοήθεια του NECWIN καταγράφηκαν το μέγιστο κέρδος (max gain) και ο λόγος F/B του κάθε διαγράμματος.

Παρατηρήθηκε ότι για την ίδια συχνότητα λειτουργίας ανεξάρτητα από το επίπεδο στο οποίο βρίσκεται το διάγραμμα (x-y,y-z) το μέγιστο κέρδος έχει την ίδια τιμή, το ίδιο ισχύει και για τον λόγο F/B. Οι τιμές τους είναι οι εξής:

Στη συχνότητα 174MHz, max gain=8,86dB και F/B=10,88Db.

Στη συχνότητα 202MHz, max gain=8,87dB και F/B=17,02Db.

Στη συχνότητα 230MHz, max gain=10,05dB και F/B=16,96Db.

Συγκρίνοντας το διάγραμμα και τις τιμές max gain, F/B (μέγιστη συχνότητα λειτουργίας) του μοντέλου που σχεδιάστηκε με τα δεδομένα του προτύπου που χρησιμοποιήθηκε για την σχεδίαση (παράρτημα, datasheet εταιρίας Fracarro, κεραία BLV6F) παρατηρήθηκε ότι η προσέγγιση που επιτεύχθηκε είναι ικανοποιητική ιδίως στις απαιτήσεις κέρδους, καθώς η διαφορά στο μέγιστο κέρδος είναι 0.95dB.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

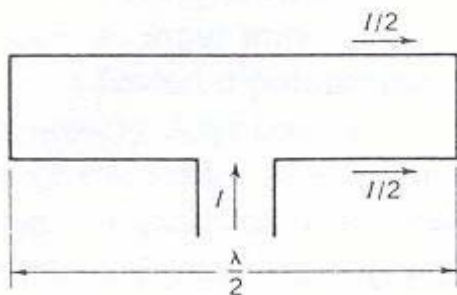
Σχεδίαση Αναδιπλωμένων διπόλων (folded dipole)

3.1 Γενικά

Η δεύτερη κεραία που μελετήθηκε και σχεδιάστηκε με το λογισμικό NECWIN είναι το αναδιπλωμένο δίπολο.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 10, το αναδιπλωμένο δίπολο (folded dipole) είναι μια ενιαία κεραία αποτελούμενη από δύο στοιχεία. Το πρώτο τροφοδοτείται απευθείας, ενώ το δεύτερο είναι συζευγμένο επαγωγικά στις άκρες. Το διάγραμμα ακτινοβολίας του αναδιπλωμένου διπόλου είναι ίδιο με αυτό ενός ευθυγραμμισμένου διπόλου, αλλά η εμπέδηση εισόδου του είναι μεγαλύτερη. Αυτό μπορεί να αποδειχθεί αν παρατηρήσουμε (Σχήμα 10) ότι εάν το συνολικό ρεύμα εισόδου είναι I και οι δύο βραχίονες έχουν ίσες διαμέτρους, τότε το ρεύμα σε κάθε βραχίονα είναι $I/2$. Εάν αυτό ήταν ένα ευθυγραμμισμένο δίπολο, το συνολικό ρεύμα θα διέρρεε τον πρώτο (και μοναδικό) βραχίονα. Εφαρμόζοντας την ίδια ισχύ, μόνο το μισό ρεύμα ρέει στον πρώτο βραχίονα, και έτσι η σύνθετη αντίσταση εισόδου είναι τέσσερις φορές εκείνη του ευθυγραμμισμένου διπόλου. Ως εκ τούτου, $R_r = 4 \times 72 = 288 \Omega$ για ένα αναδιπλωμένο δίπολο ημίσεος κύματος με ίσης διαμέτρου βραχίονες.

Εάν χρησιμοποιούνται στοιχεία άνισων διαμέτρων, τότε είναι εφαρμόσιμοι λόγοι μετασχηματισμού από 1.5 έως 25, και εάν απαιτούνται μεγαλύτεροι λόγοι, μπορούν να χρησιμοποιηθούν περισσότεροι βραχίονες. Αν και το αναδιπλωμένο δίπολο έχει το ίδιο διάγραμμα ακτινοβολίας με το συνηθισμένο δίπολο, εμφανίζει πολλά πλεονεκτήματα: υψηλότερη σύνθετη αντίσταση εισόδου, μεγαλύτερο εύρος ζώνης, καθώς και ευκολία και μικρό κόστος κατασκευής και προσαρμογής της σύνθετης αντίστασης.



Σχήμα 10. Αναδιπλωμένο δίπολο

3.2 Χαρακτηριστικά Κεραίας Αναδιπλωμένου Διπόλου

Η κεραία αναδιπλωμένου δίπολου την οποία σχεδιάσαμε βρίσκεται στο εργαστήριο A4 της σχολής. Είναι το μοντέλο ANT1200A της εταιρίας Fracarro.



Κεραία Folded dipole

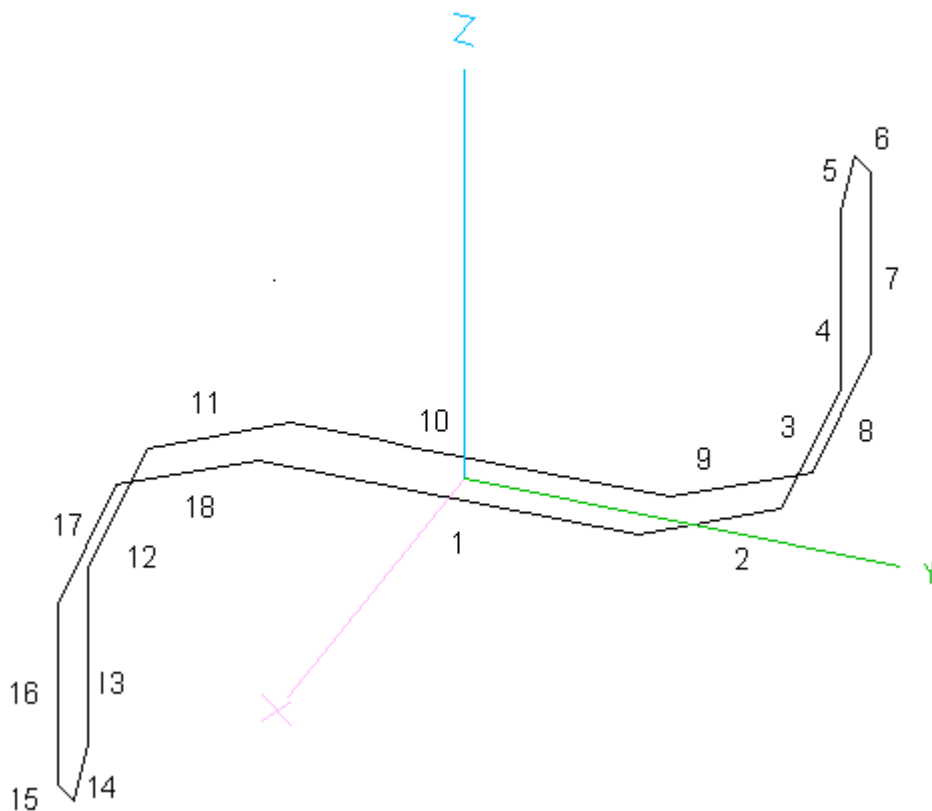
Τα χαρακτηριστικά της όπως δίνονται από τον κατασκευαστή της είναι: αποτελείται από ένα στοιχείο, έχει εύρος συχνότητας λειτουργίας 87.5-108 MHz, μέγιστο κέρδος 2 dBi και τιμή αντίστασης εισόδου 75 Ω.

Από τις μετρήσεις που πραγματοποιήσαμε στο πρότυπο του εργαστηρίου υπολογίστηκαν οι γεωμετρικές παράμετροι της κεραίας. Για την καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας του δίπολου δημιουργήσαμε 4 διαφορετικά μοντέλα με την χρήση του λογισμικού NECWIN. Τα καμπύλα τμήματα κάθε μοντέλου προσεγγίζονται με τεθλασμένη γραμμή. Το κάθε μοντέλο διαφέρει από τα άλλα ως προς τον αριθμό των ευθυγράμμων τμημάτων από τα οποία αποτελείται η εν λόγω τεθλασμένη γραμμή. Προχωρώντας από το μοντέλο 1 προς το 4, η ακρίβεια προσέγγισης είναι όλο και καλύτερη, δηλαδή η τεθλασμένη γραμμή που προσεγγίζει το καμπύλο τμήμα της κεραίας αποτελείται από όλο και μικρότερα ευθύγραμμα τμήματα.

Το λογισμικό που χρησιμοποιούμε απεικονίζει τις παραμέτρους του μοντέλου σε ένα τρισδιάστατο περιβάλλον. Η ακτίνα (radius) του αγωγού έχει υπολογισθεί 0.0063m και η απόσταση μεταξύ των παράλληλων τμημάτων του είναι 0.08m. Τα υπόλοιπα δεδομένα τα υπολογίσαμε με την βοήθεια τριγωνομετρικών εξισώσεων διότι πρέπει να εισαχθούν με τη μορφή συντεταγμένων (x_1, y_1, z_1) και (x_2, y_2, z_2) που ορίζουν τα άκρα κάθε τμήματος της κεραίας.

3.3 ΑΝΑΔΙΠΛΩΜΕΝΟ ΔΙΠΟΛΟ 1

Στο πρώτο μοντέλο οι καμπύλες έχουν χωρισθεί σε δυο τμήματα όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε στο σχήμα 11 όπου καταγράψαμε και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του μοντέλου.



Σχήμα 11. Κεραία δίπολο 1

Το δίπολο το χωρίσαμε σε 18 επιμέρους τμήματα. Ως αρχή των αξόνων ορίζεται το μέσον του πρώτου τμήματος του μοντέλου. Το ίδιο ισχύει και για όλα τα επόμενα μοντέλα (2-4). Το πρώτο τμήμα του μοντέλου δέχεται την διέγερση στο μέσο του, δηλαδή στην αρχή των αξόνων. Έχοντας μετρήσει το μήκος του πρώτου τμήματος (0.40m), το οποίο είναι ίσο με το τμήμα δέκα μετατοπισμένο κατά 0.08m στον άξονα x, υπολογίσαμε τις συντεταγμένες τους. Ορίζουμε ότι τα τμήματα (2,3) αποτελούν την καμπύλη 1, τα τμήματα (5,6) την καμπύλη 2, τα τμήματα (8,9) την καμπύλη 3, τα τμήματα 11, 12 την καμπύλη 4, τα τμήματα (14,15) την καμπύλη 5 και τα τμήματα (17,18) την καμπύλη 6.

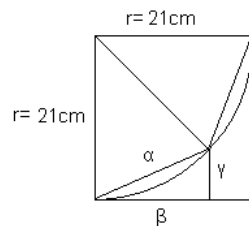
Τα τμήματα 2 και 3, τα οποία αποτελούν στο πρότυπο μοντέλο μια καμπύλη μήκους 0.33m, θεωρήθηκαν τεθλασμένες γραμμές και υπολογίσθηκαν οι συντεταγμένες τους με την βοήθεια τριγωνομετρικών εξισώσεων ως εξής:

Στο σχήμα 12, αφού γνωρίζουμε το μήκος της καμπύλης είναι, προφανές ότι $(2\pi r/4)=33\text{cm}$, άρα $r=21\text{cm}$. Επίσης, η γωνία απέναντι από την πλευρά α είναι 45° οπότε οι άλλες δυο γωνίες που σχηματίζει η πλευρά α με τις ακτίνες r είναι 67.5° η κάθε μια. Η γωνία που σχηματίζει η πλευρά α με την ευθεία β είναι 22.5° , οπότε μπορούμε να υπολογίσουμε τα α , β και γ με τη χρήση τριγωνομετρικών εξισώσεων :

$$\alpha^2 = 21^2 + 21^2 - (2 \cdot 21^2 \cdot \sin 45^\circ) \text{ άρα } \alpha = 0.1607\text{m}$$

$$\beta^2 = \alpha \cdot \eta\mu 67.5^\circ \text{ άρα } \beta = 0.14846 \text{ και}$$

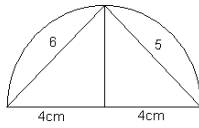
$$\gamma^2 = \alpha \cdot \sigma\upsilon\nu 67.5^\circ \text{ άρα } \gamma = 0.0615$$



Σχήμα 12. Ανάλυση καμπύλης 1

Τα τμήματα 8 και 9 έχουν τις ίδιες συντεταγμένες με τα τμήματα 2,3 μετατοπισμένα κατά 0.08m στον άξονα x. Τα τμήματα 18, 17 και 11, 12 έχουν τις ίδιες συντεταγμένες με τα τμήματα 2, 3 και 8, 9 αντιστοίχως ανεστραμμένες στον άξονα z. Το τμήμα 4 έχει μήκος 0.20m, είναι παράλληλο με τον άξονα z και έχει ως αρχή το τέλος του τμήματος 3.

Μετρήσαμε την απόσταση μεταξύ των παραλλήλων τμημάτων του μοντέλου ίση με 0.08m.



Σχήμα 13. Ανάλυση καμπύλης 2

Παρατηρώντας την γεωμετρία των τμημάτων (5,6) στο σχήμα 13 προκύπτουν τα παρακάτω. Το τμήμα 5 έχει αρχή το τέλος του τμήματος 4 και το τέλος του είναι μετατοπισμένο κατά 0.04m στους άξονες x και z σε σχέση με την αρχή του. Η αρχή του τμήματος 6 έχει τις ίδιες συντεταγμένες με το τέλος του τμήματος 5. Το τέλος του τμήματος 6 είναι μετατοπισμένο κατά 0.08m στον άξονα x σε σχέση με το σημείο 5 και αποτελεί την αρχή του τμήματος 7. Τα τμήματα 14,15 (σχ.11) έχουν τις ίδιες συντεταγμένες με τα τμήματα 6,5 αντιστοίχως μετατοπισμένα στο αρνητικό μέρος του άξονα z. Από τα παραπάνω καταλήξαμε ότι οι συντεταγμένες κάθε τμήματος είναι οι εξής:

Το πρώτο τμήμα (0,-0.20,0), (0,0.20,0)

Το δεύτερο τμήμα (0,0.20,0), (0,0.3484,0.0615)

Το τρίτο τμήμα (0,0.3484,0.0615), (0,0.41,0.21)

Το τέταρτο τμήμα (0,0.41,0.21), (0,41,0.41)

Το πέμπτο τμήμα (0,0.41,0.41), (0.04,0.41,0.45)

Το έκτο τμήμα (0.04,0.41,0.45), (0.08,0.41,0.41)

Το έβδομο τμήμα (0.08,0.41,0.41), (0.08,0.41,0.21)

Το όγδοο τμήμα (0.08,0.41,0.21), (0.08,0.3484,0.0615)

Το ένατο τμήμα (0.08,0.3484,0.0615), (0.08,0.20,0)

Το δέκατο τμήμα (0.08,0.20,0), (0.08,-0.20,0)

Το ενδέκατο τμήμα (0.08,-0.20,0), (0.08,-0.3484,-0.0615)

Το δωδέκατο τμήμα (0.08,-0.3484,-0.0615), (0.08,-0.41,-0.21)

Το δέκατο τρίτο τμήμα (0.08,-0.41,-0.21), (0.08,-0.41,-0.41)

Το δέκατο τέταρτο τμήμα(0.08,-0.41,-0.41), (0.04,-0.41,-0.45)

Το δέκατο πέμπτο τμήμα (0.04,-0.41,-0.45), (0,-0.41,-0.41)

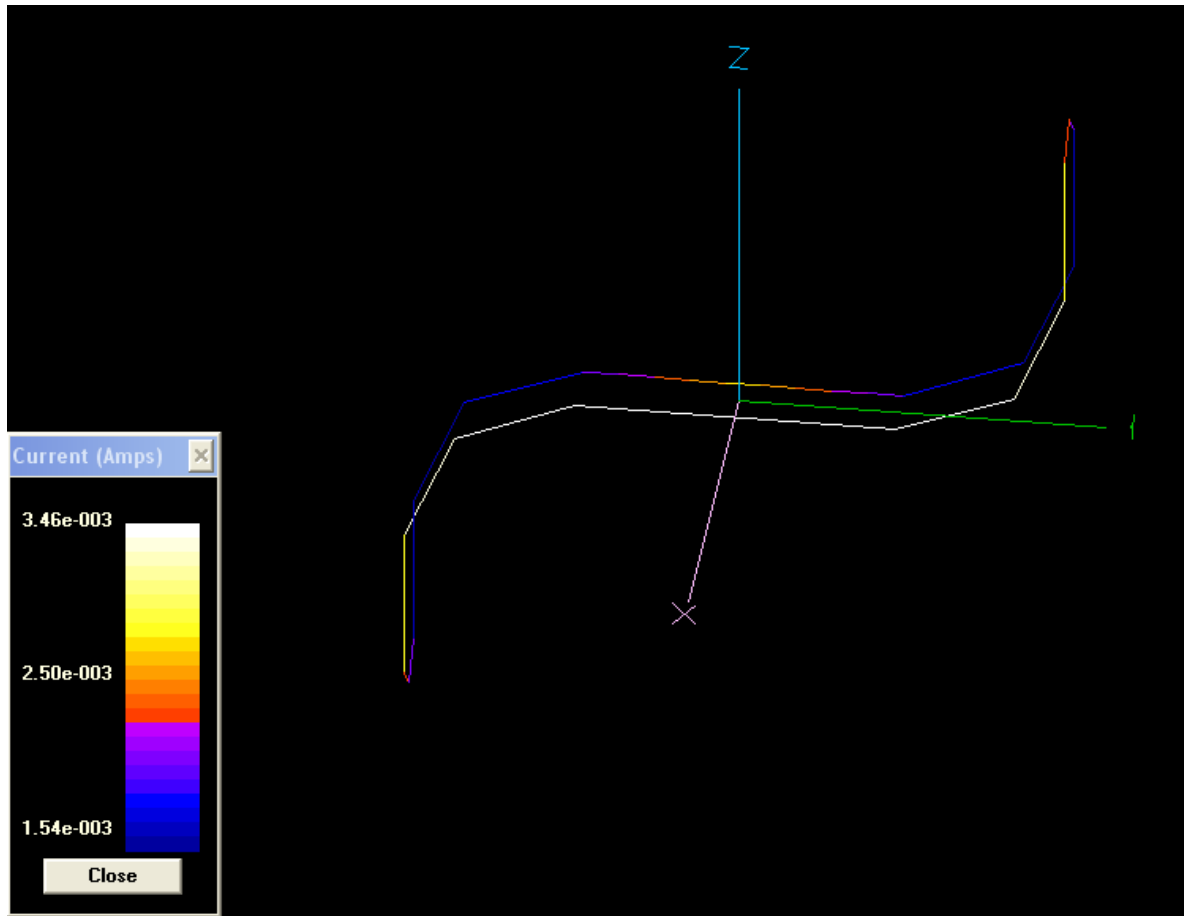
Το δέκατο έκτο τμήμα (0,-0.41,-0.41), (0,-0.41,-0.21)

Το δέκατο έβδομο τμήμα $(0,-0.41,-0.21)$, $(0,-0.3484,-0.0615)$

Το δέκατο όγδοο τμήμα $(0,-0.3484,-0.0615)$, $(0,-0.20,0)$

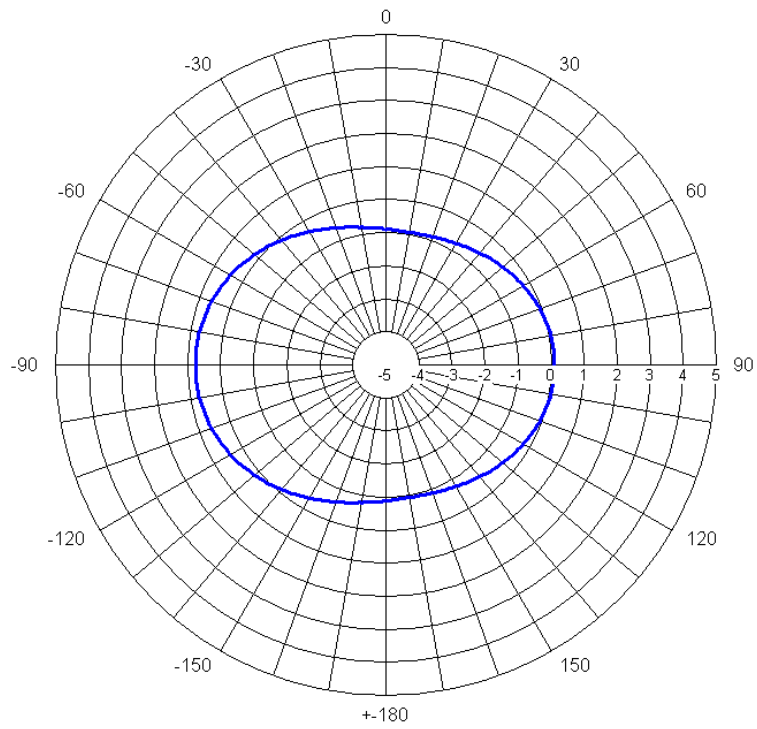
Το πρώτο τμήμα αποτελείται από 9 επιμέρους ίσα τμήματα διότι αυτό δέχεται την διέγερση στο μέσον του, δηλαδή στο πέμπτο κομμάτι του (segment). Εισάγοντας αυτά τα δεδομένα στο NECWIN δημιουργήθηκε το μοντέλο.

Η ρευματική κατανομή του μοντέλου παρατίθεται παρακάτω

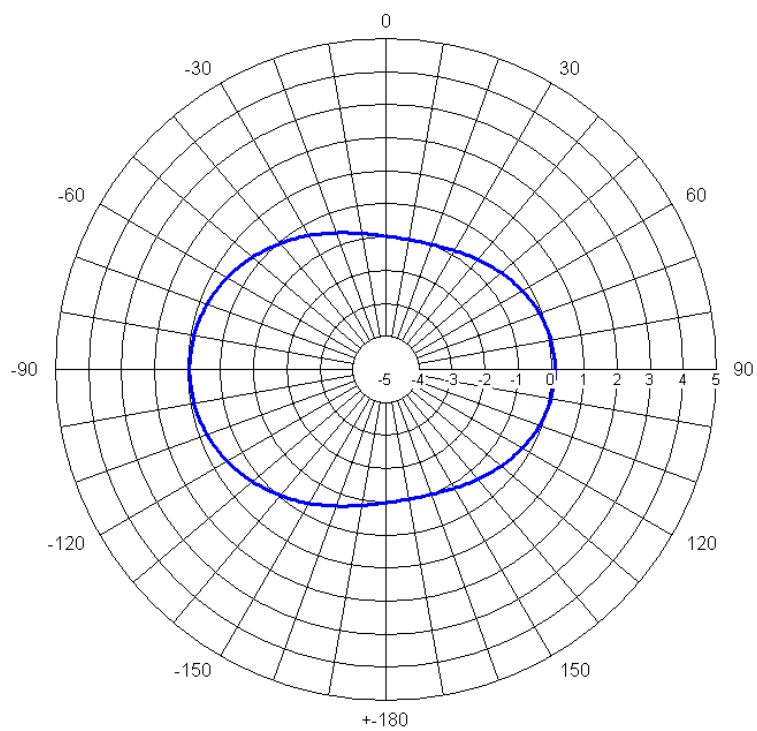


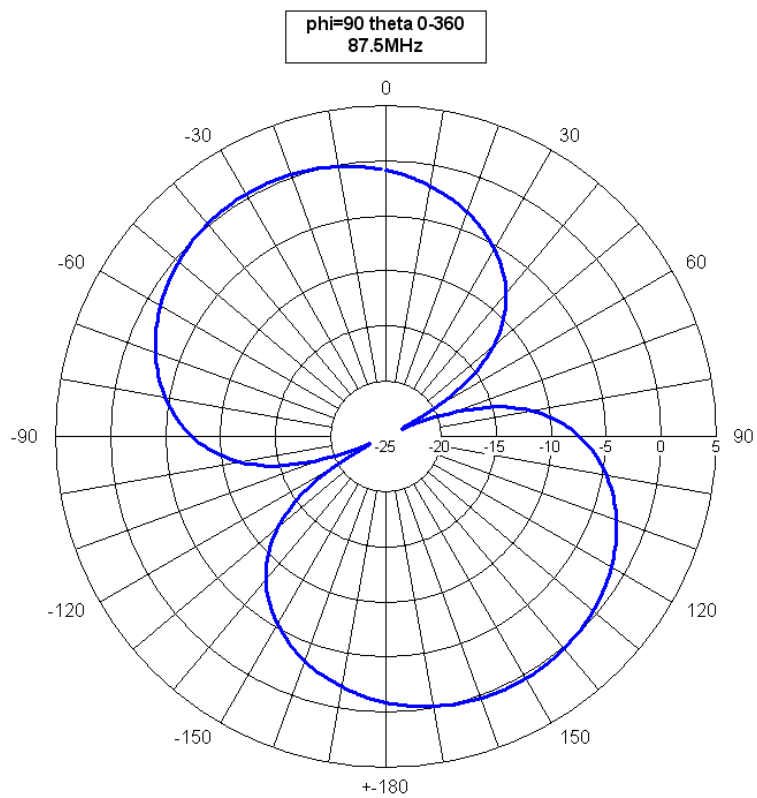
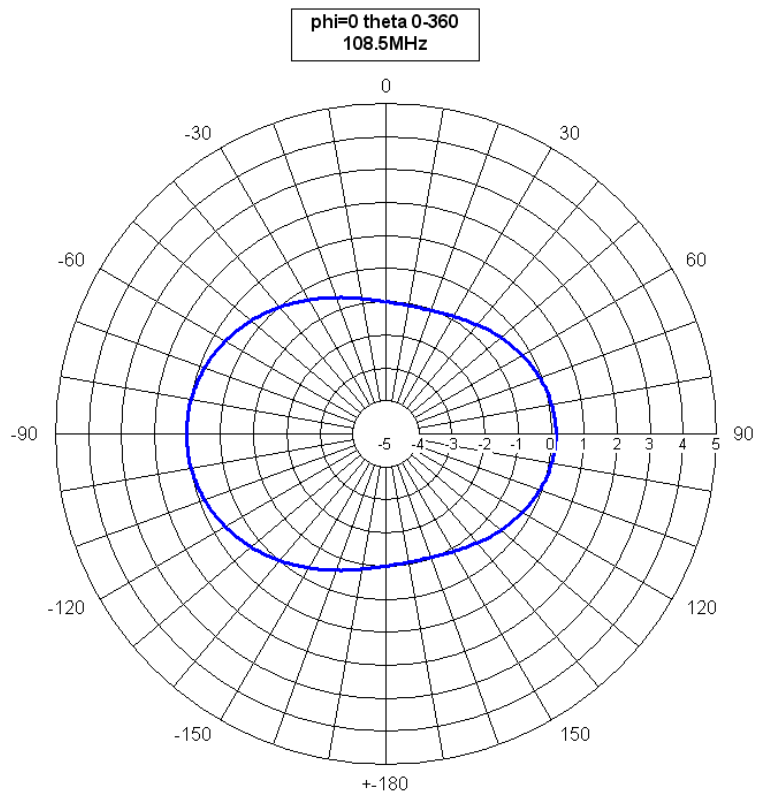
Στη συνέχεια παραθέτουμε τα διάστατα διαγράμματα ακτινοβολίας σε τρεις διαφορετικές συχνότητες λειτουργίας της κεραίας (αρχική, μέση, τελική), για $\phi=0$ θ 0-360 (επίπεδο x-z), $\phi=90$ θ 0-360 (επίπεδο y-z) και $\theta=90$ ϕ 0-360 (επίπεδο x-y) με την σειρά που αναφέραμε.

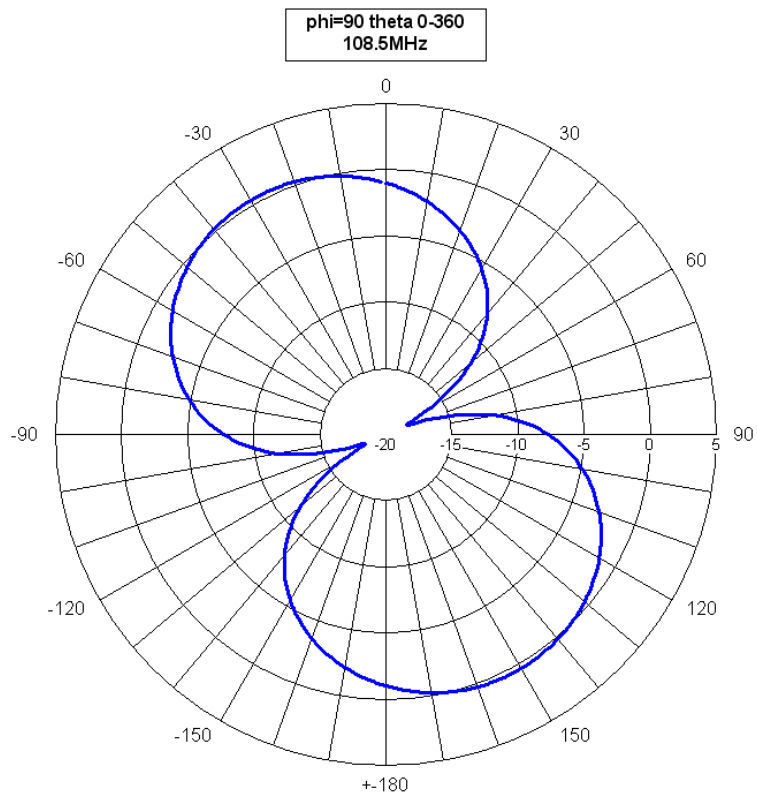
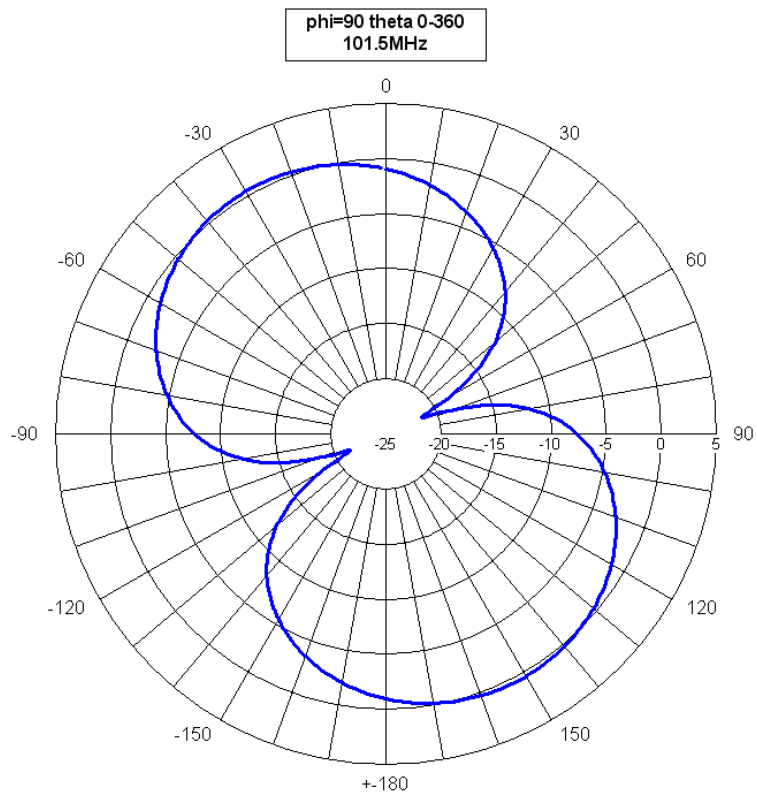
phi=0 theta 0-360
87.5MHz

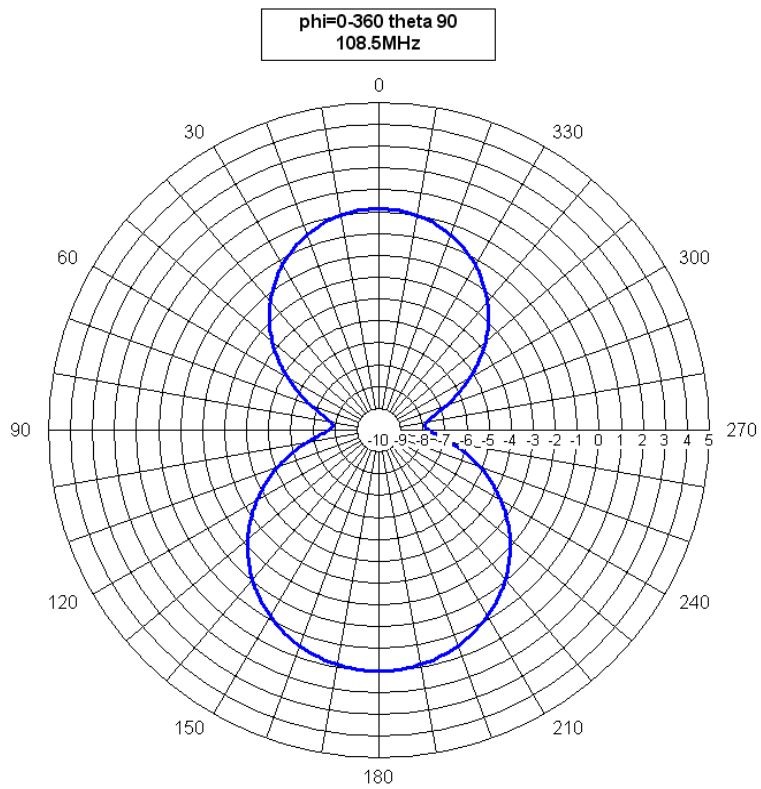


phi=0 theta 0-360
101.5MHz

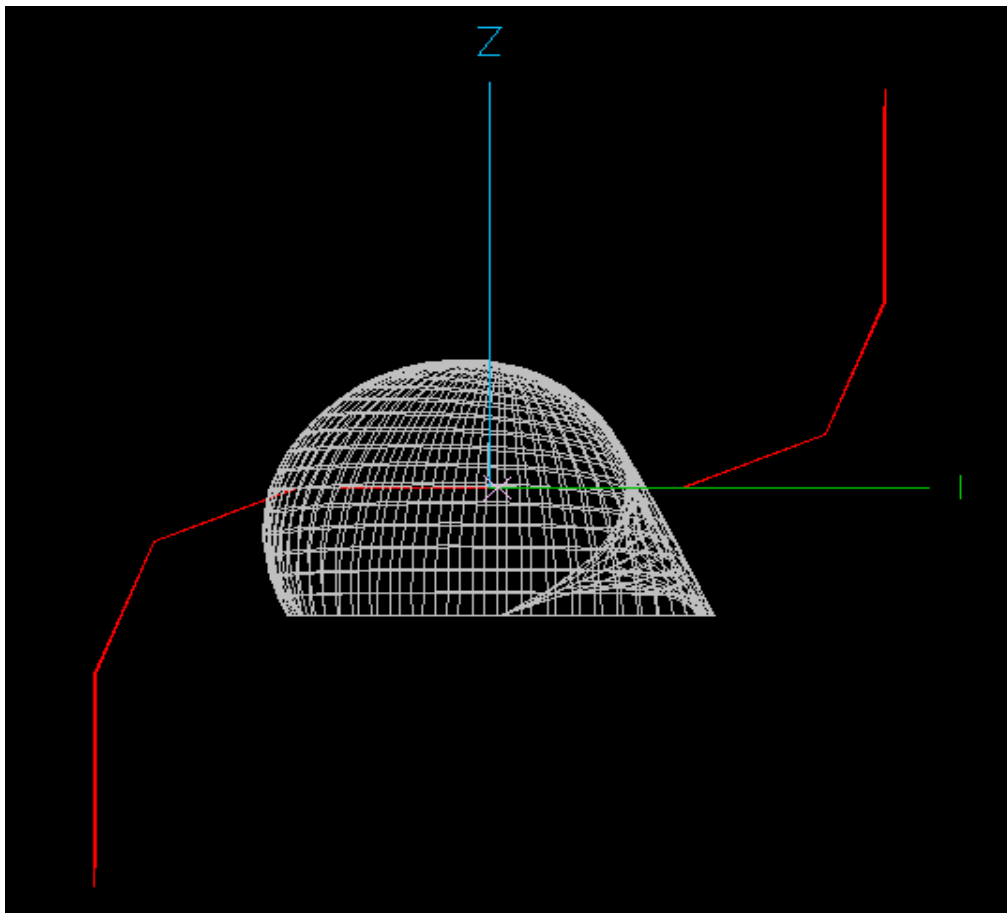


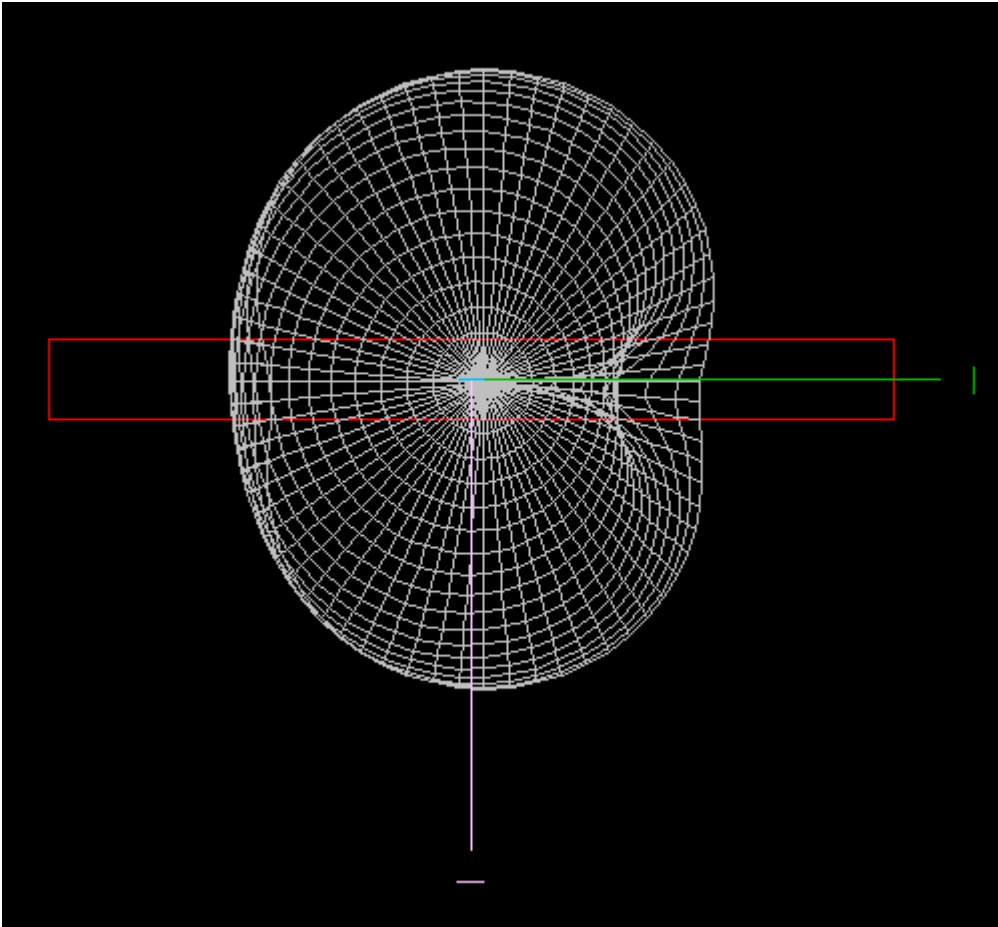
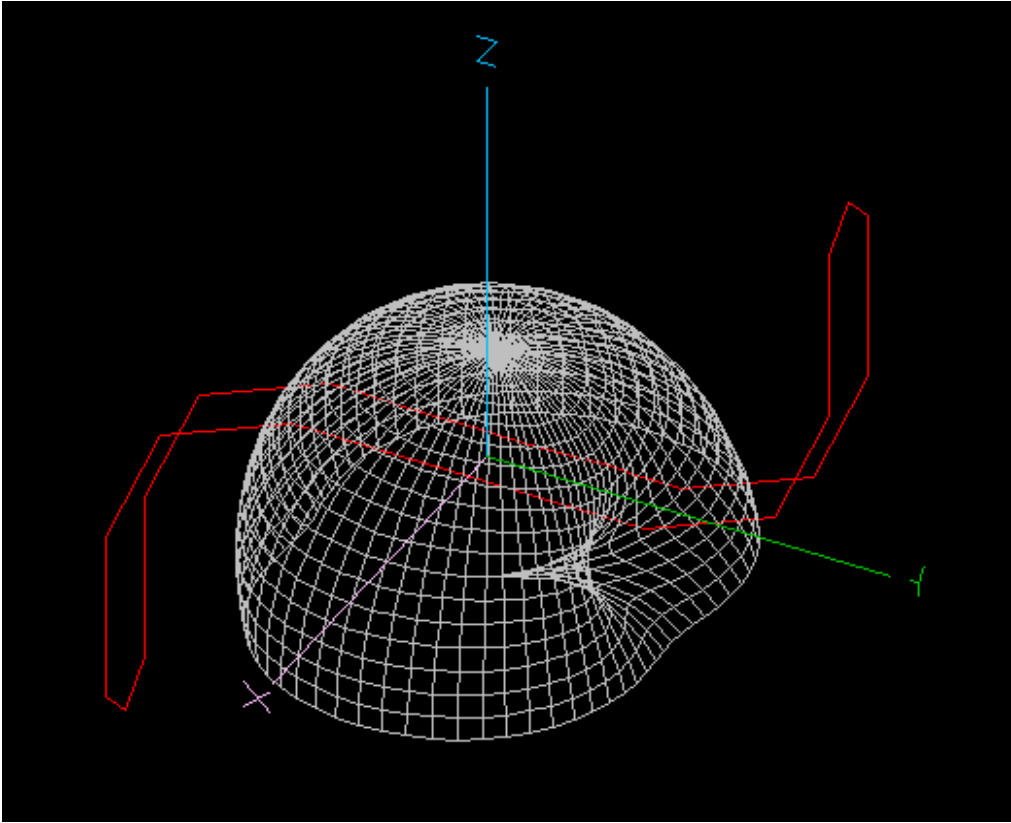






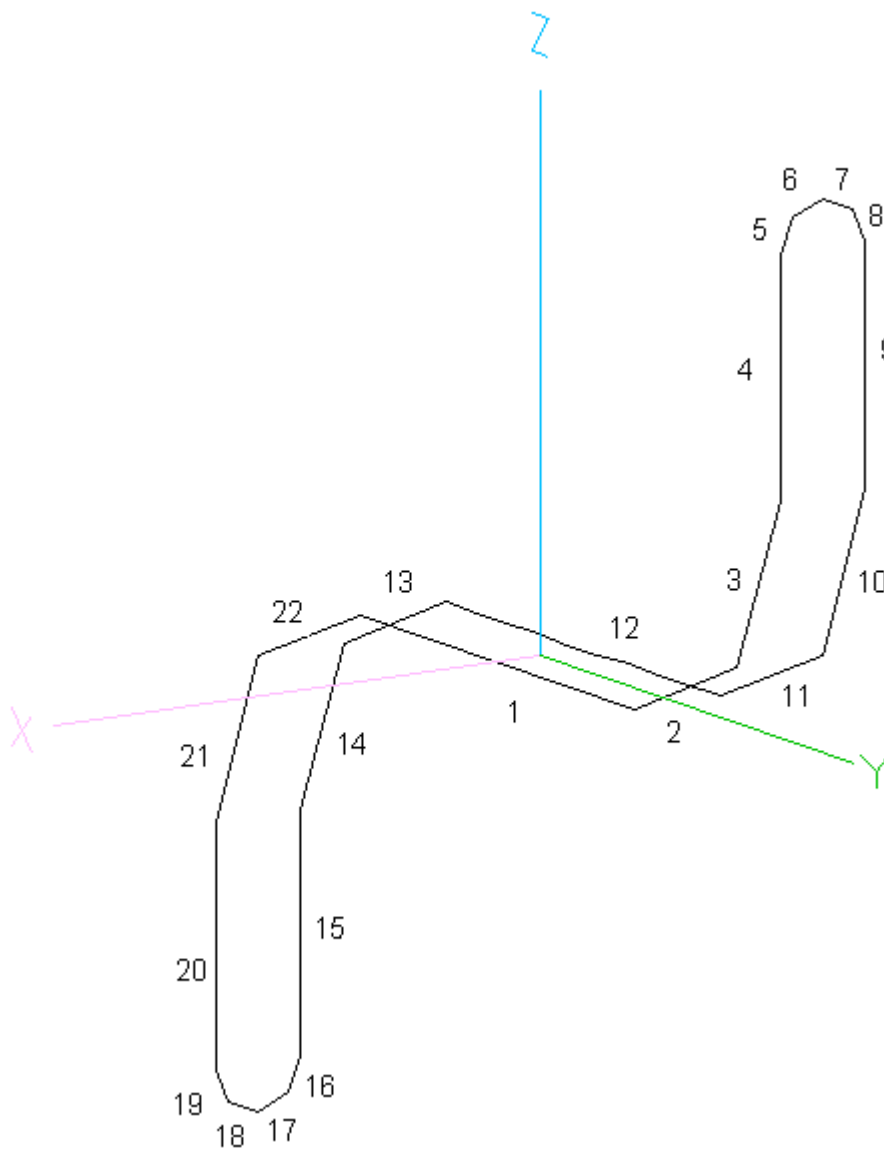
Στις παρακάτω τρεις λήψεις, υπό διαφορετική οπτική γωνία, απεικονίζεται το τρισδιάστατο διάγραμμα ακτινοβολίας του μοντέλου.





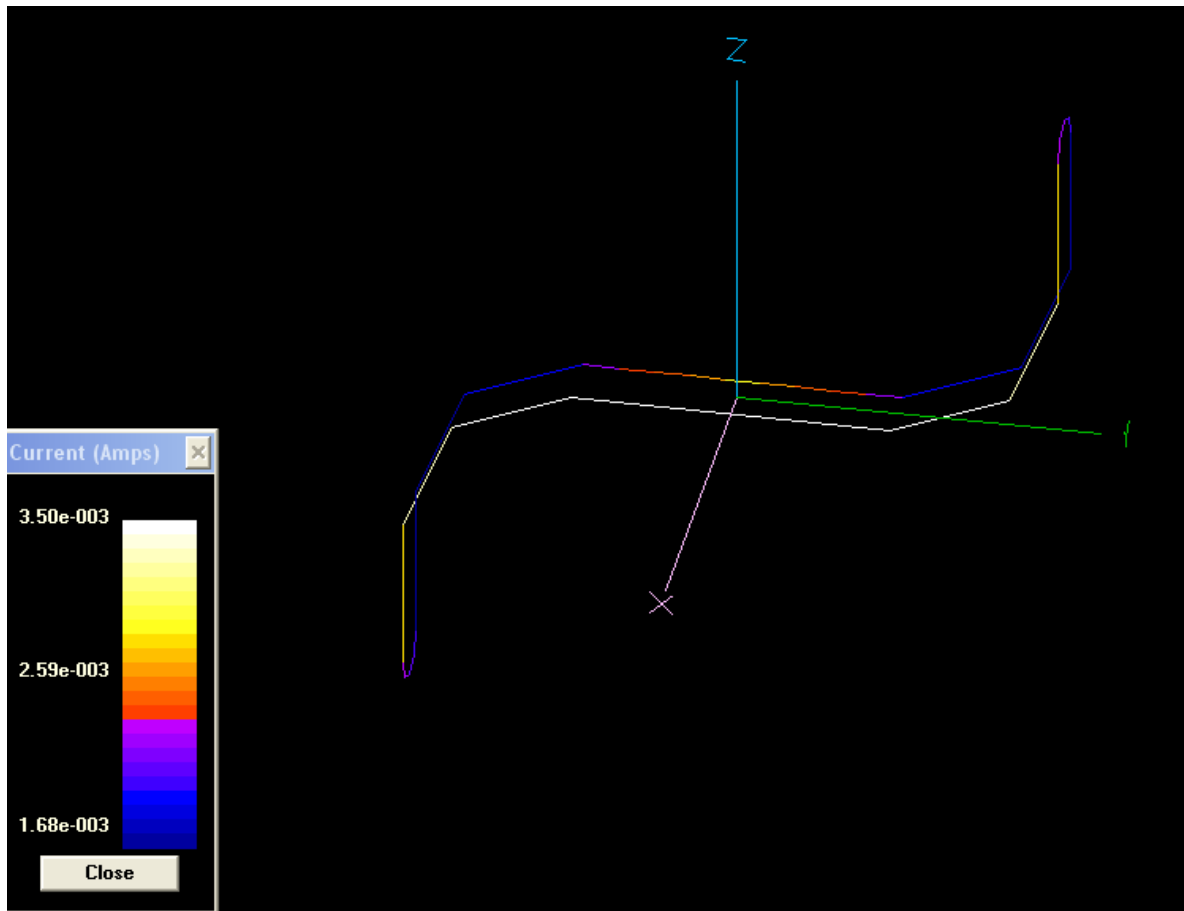
3.4 ΑΝΑΔΙΠΛΩΜΕΝΟ ΔΙΠΟΛΟ 2

Στο δεύτερο μοντέλο οι καμπύλες 2 και 5 στο άνω και κάτω μέρος έχουν χωρισθεί σε τέσσερα τμήματα όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε στο σχήμα 14 του μοντέλου. Όπως παρατηρούμε, το δίπολο τώρα είναι χωρισμένο σε 22 κομμάτια. Ορίζουμε ότι τα τμήματα (2,3) αποτελούν την καμπύλη 1, τα τμήματα (5,6,7,8) την καμπύλη 2, τα τμήματα (10,11) την καμπύλη 3, τα τμήματα (13,14) την καμπύλη 4, τα τμήματα (16,17,18,19) την καμπύλη 5 και τα τμήματα (21,22) την καμπύλη 6. Οι συντεταγμένες (x_1, y_1, z_1) (x_2, y_2, z_2) έχουν υπολογιστεί όπως αναφέραμε και για το δίπολο 1 και τις έχουμε εισάγει στο πρόγραμμα για να δημιουργήσουμε το μοντέλο.

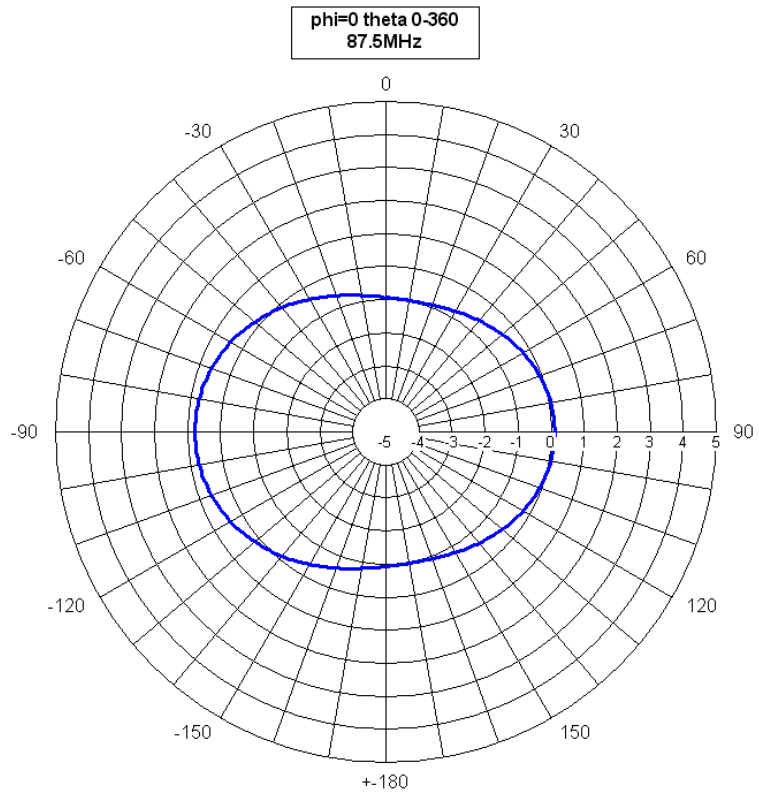


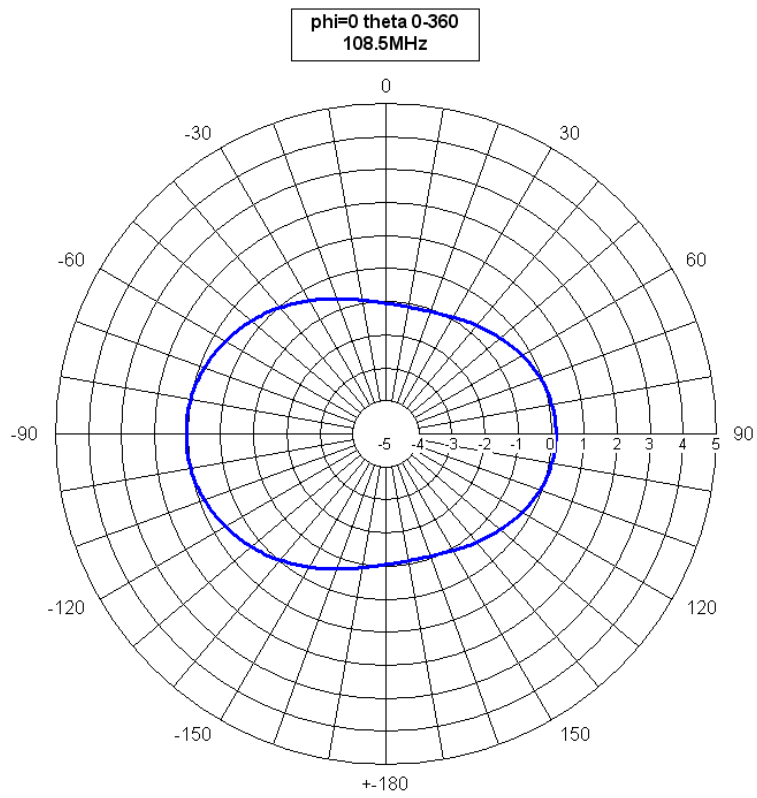
Σχήμα 14. Κεραία δίπολο 2

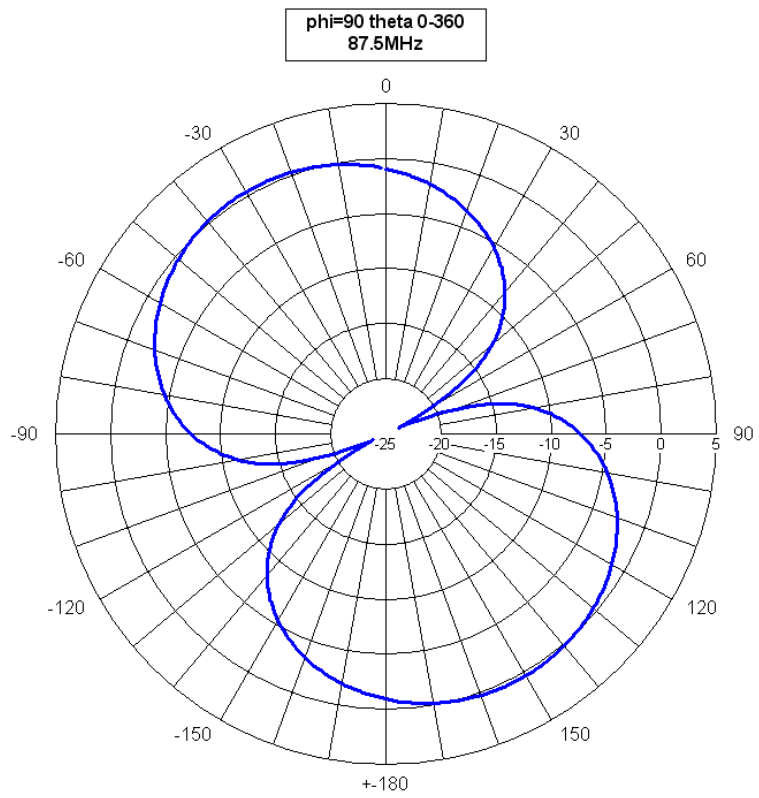
Η ρευματική κατανομή του μοντέλου παρατίθεται παρακάτω

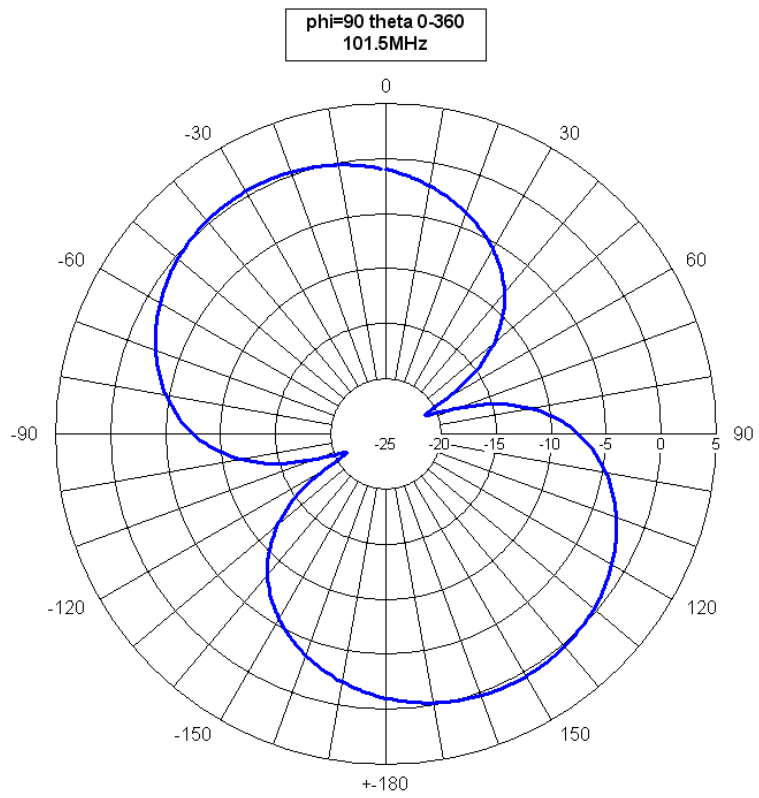


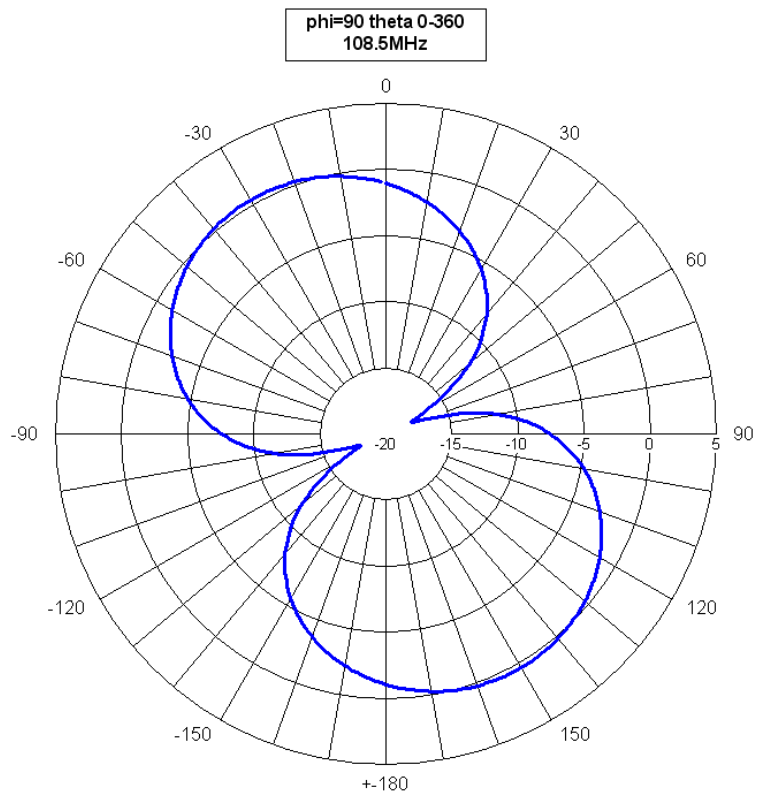
Το επόμενο βήμα ήταν να δημιουργήσουμε τα διδιάστατα διαγράμματα ακτινοβολίας σε τρεις διαφορετικές συχνότητες λειτουργίας της κεραίας, για $\phi=0$ θ 0-360, $\phi=90$ θ 0-360 και $\theta=90$ ϕ 0-360 τα οποία παρατίθενται με τη σειρά που αναφέραμε.

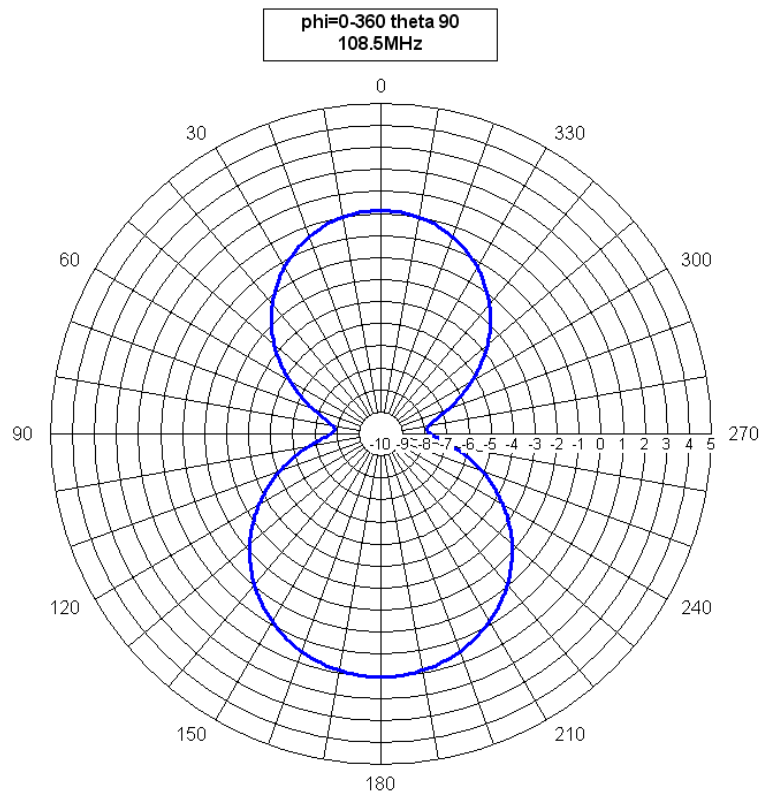




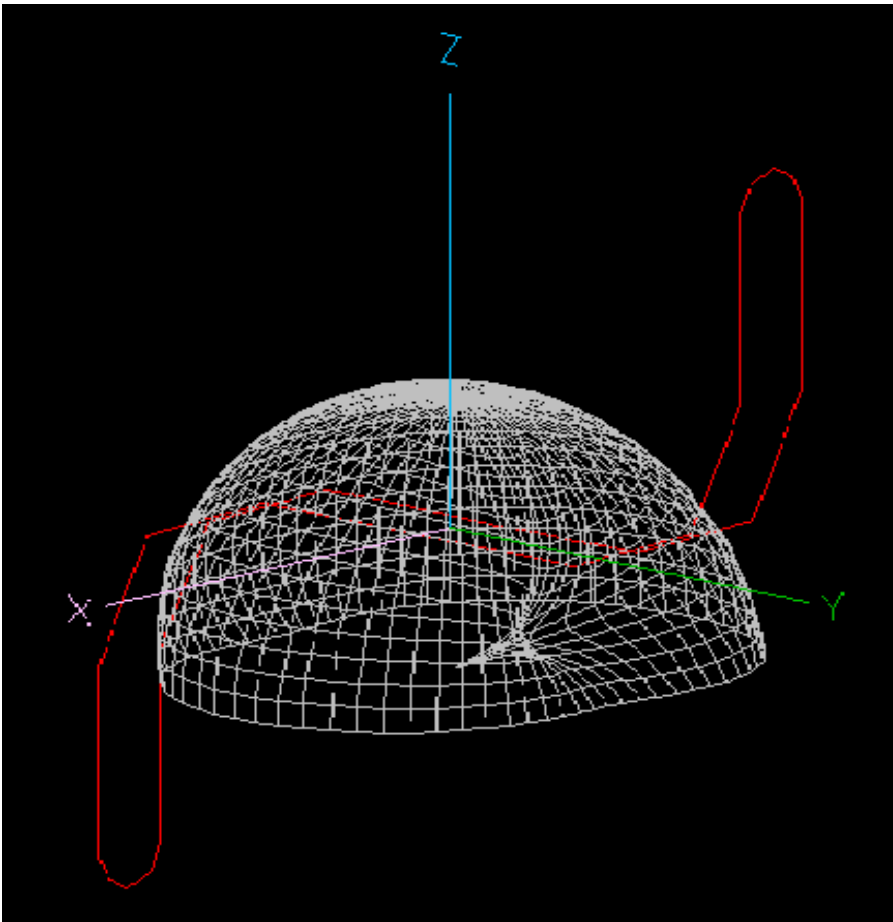
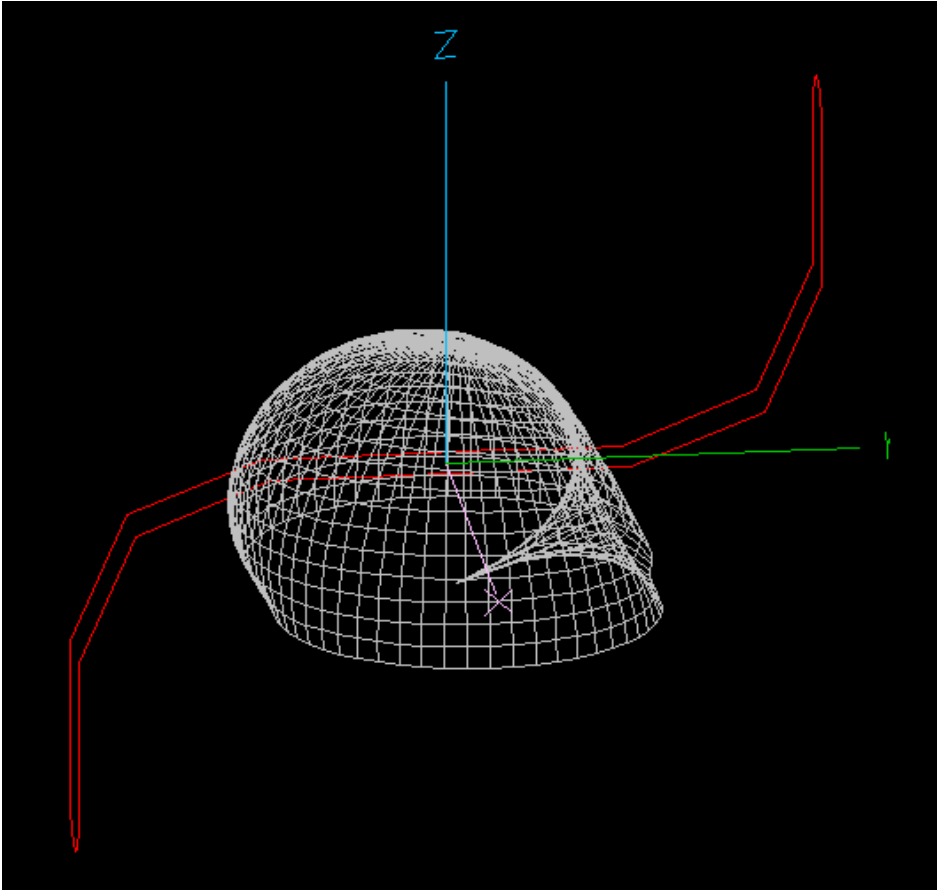






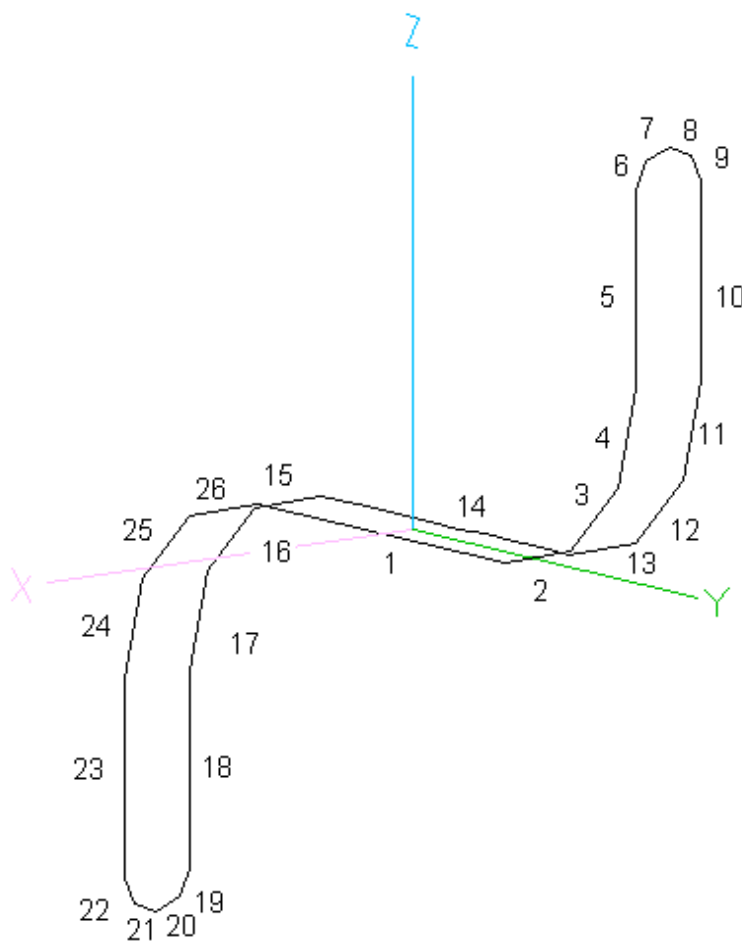


Το τρισδιάστατο διάγραμμα ακτινοβολίας του δεύτερου μοντέλου μπορούμε να το παρατηρήσουμε στις δυο λήψεις υπό διαφορετική οπτική γωνία που παρουσιάζονται παρακάτω.



3.5 ΑΝΑΔΙΠΛΩΜΕΝΟ ΔΙΠΟΛΟ 3

Το τρίτο μοντέλο αποτελείται από 26 τμήματα αφού όπως παρατηρούμε στο σχήμα 15, οι καμπύλες 1,3,4,6 χωρίστηκαν σε τρία κομμάτια. Ορίζουμε ότι τα τμήματα (2,3,4) αποτελούν την καμπύλη 1, τα τμήματα (6,7,8,9) την καμπύλη 2, τα τμήματα (11,12,13) την καμπύλη 3, τα τμήματα (15,16,17) την καμπύλη 4, τα τμήματα (19,20,21,22) την καμπύλη 5 και τα τμήματα (24,25,26) την καμπύλη 6. Οι συντεταγμένες (x_1,y_1,z_1) (x_2,y_2,z_2) έχουν υπολογιστεί όπως αναφέραμε και για το δίπολο 1 και τις έχουμε εισάγει στο NECWIN για να δημιουργήσουμε το μοντέλο.

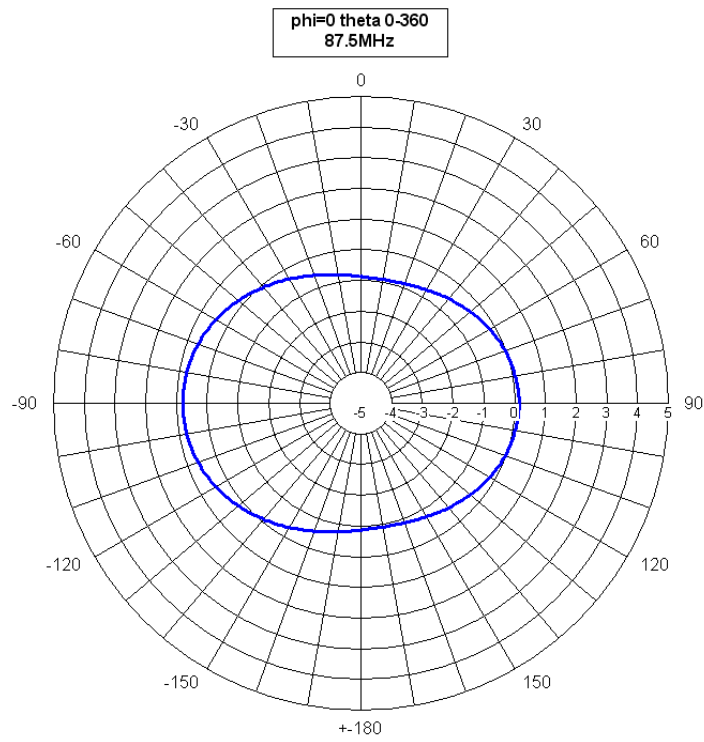


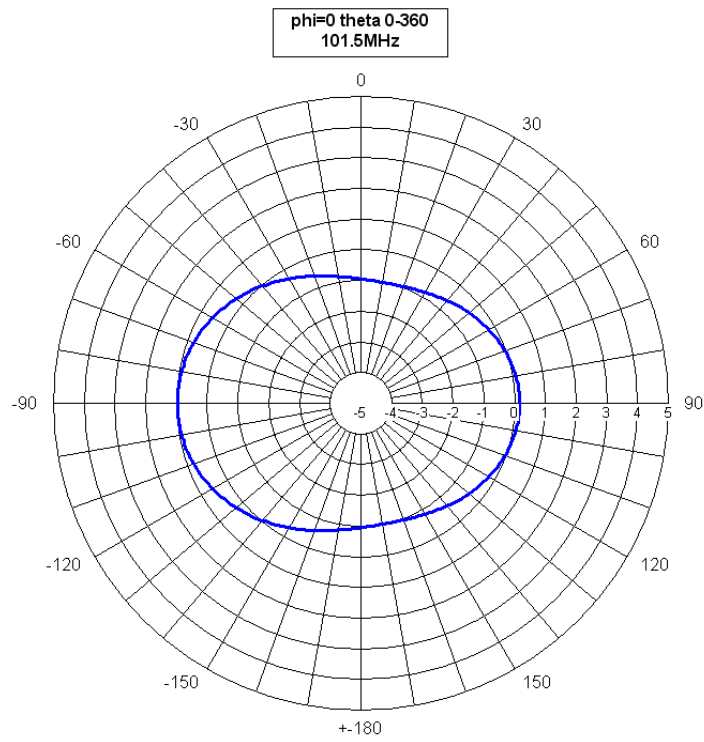
Σχήμα 15. Κεραία δίπολο 3

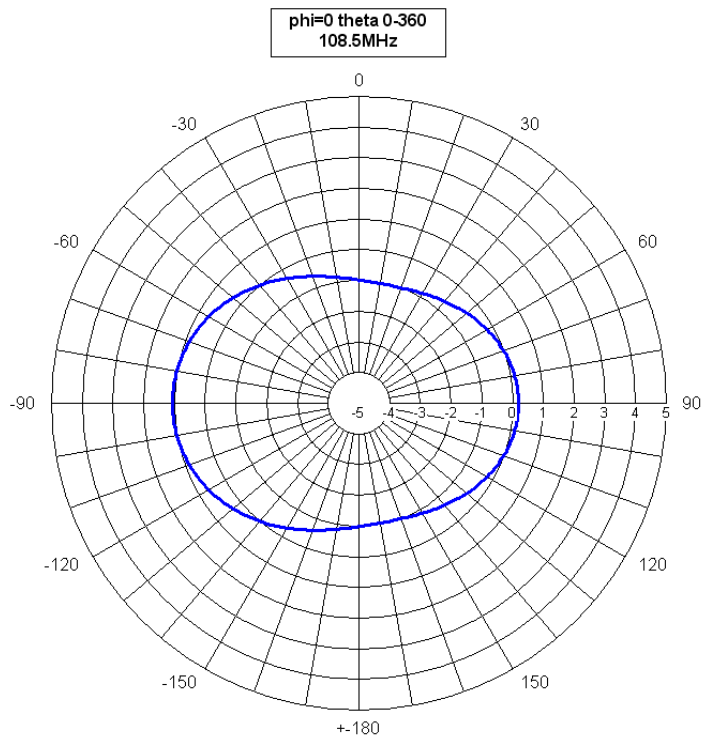
Η ρευματική κατανομή του μοντέλου παρατίθεται παρακάτω.

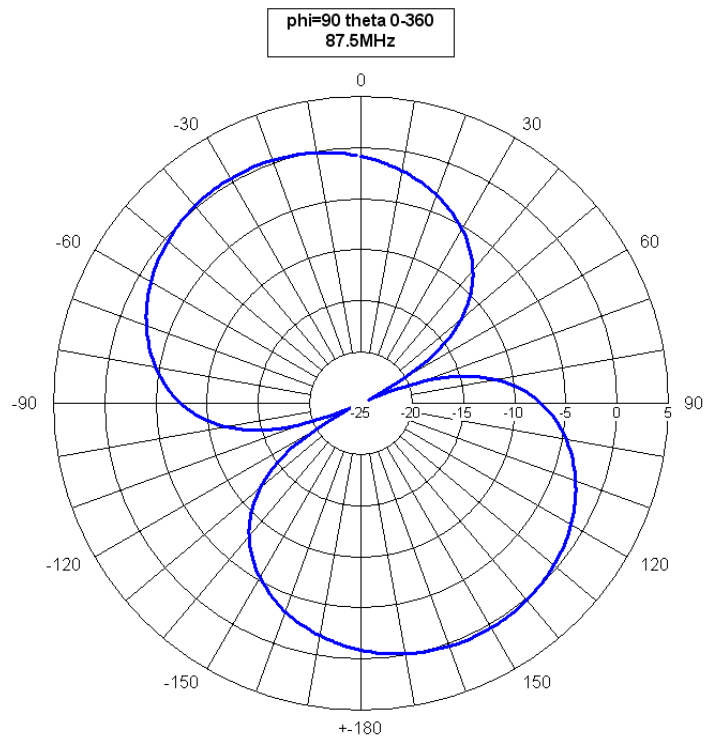


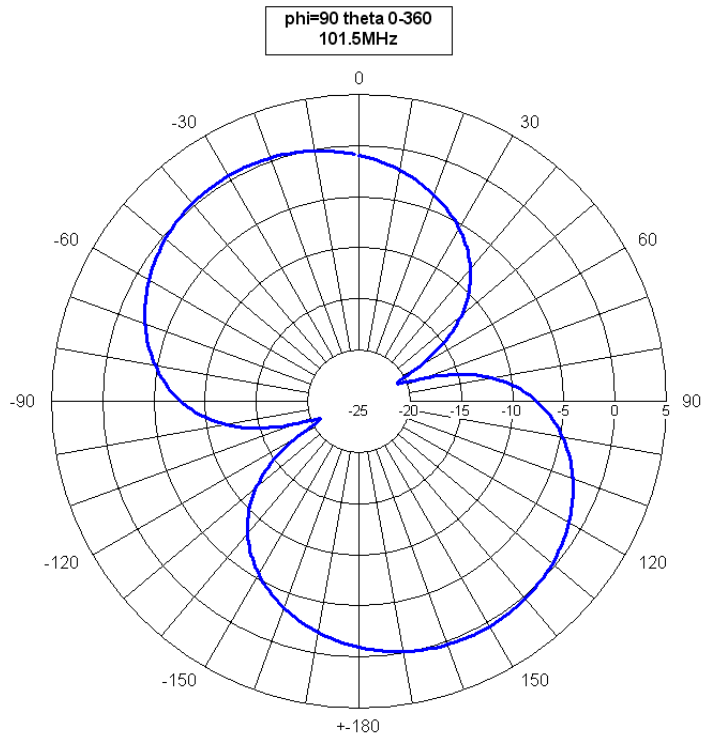
Ακολουθούν τα διδιάστατα διαγράμματα ακτινοβολίας σε τρεις διαφορετικές συχνότητες λειτουργίας της κεραίας όπως και στα προηγούμενα μοντέλα μας, για $\rho\text{hi}=0$ θeta 0-360, $\rho\text{hi}=90$ θeta 0-360 και $\theta\text{eta}=90$ ρhi 0-360 τα οποία παρατίθενται με τη σειρά που αναφέραμε.

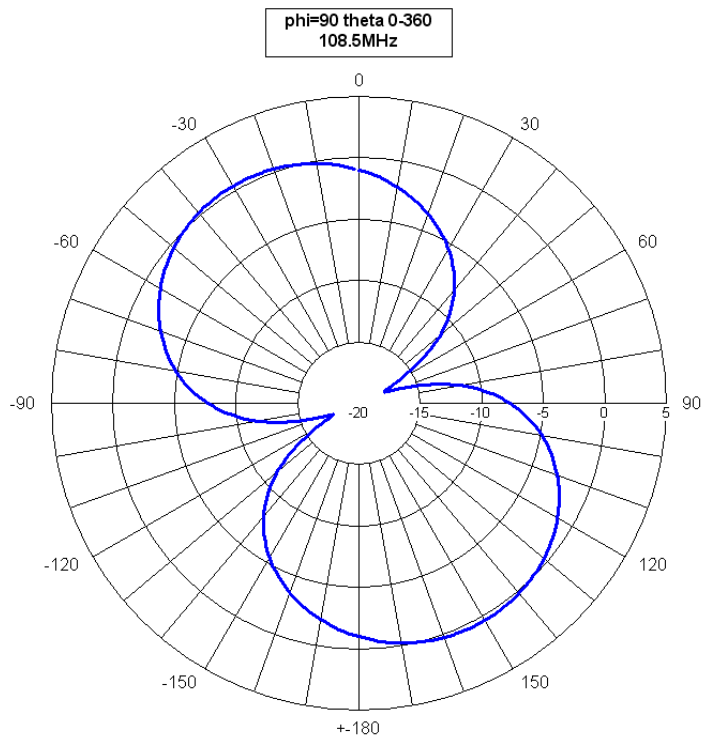


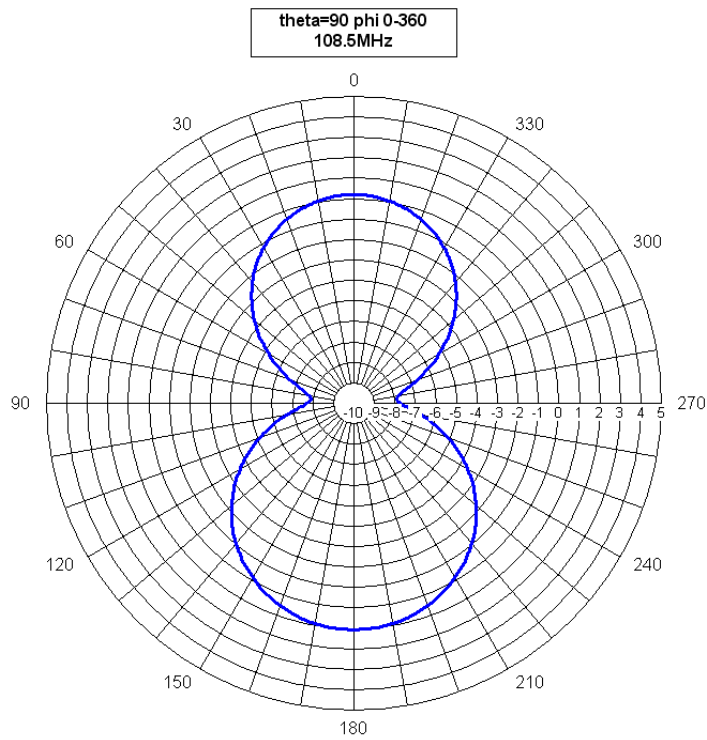




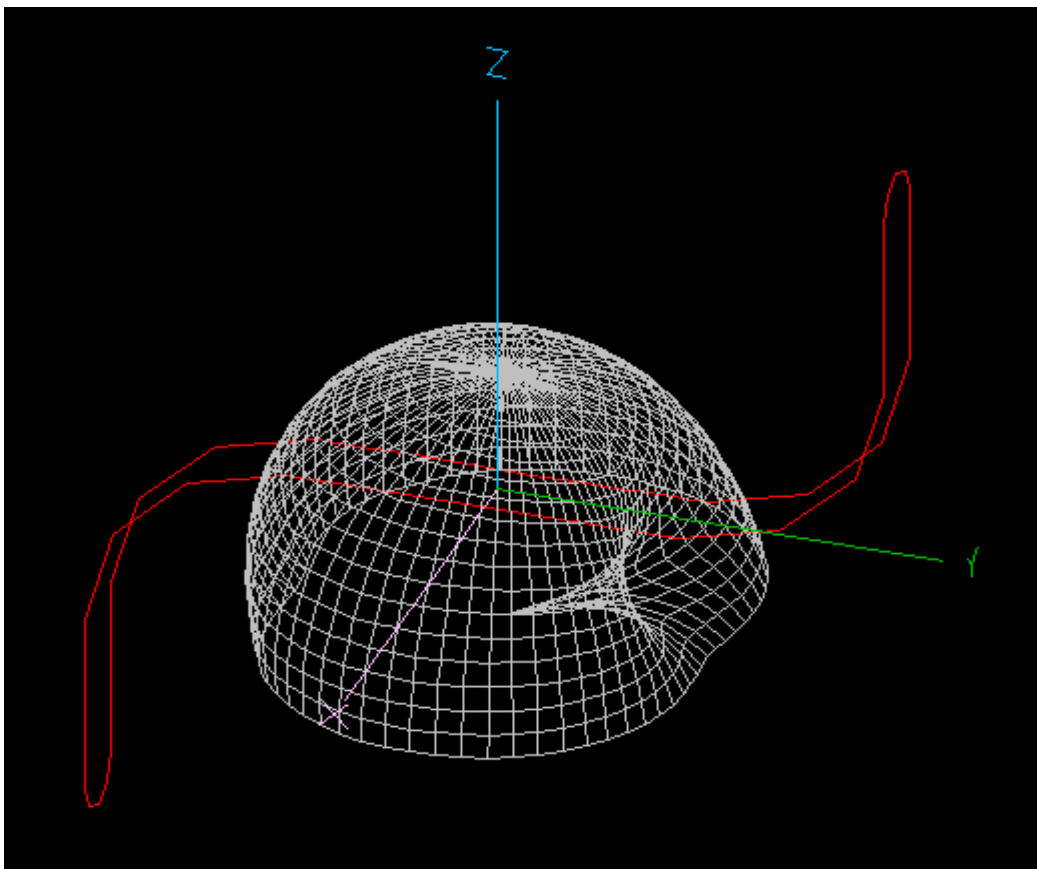






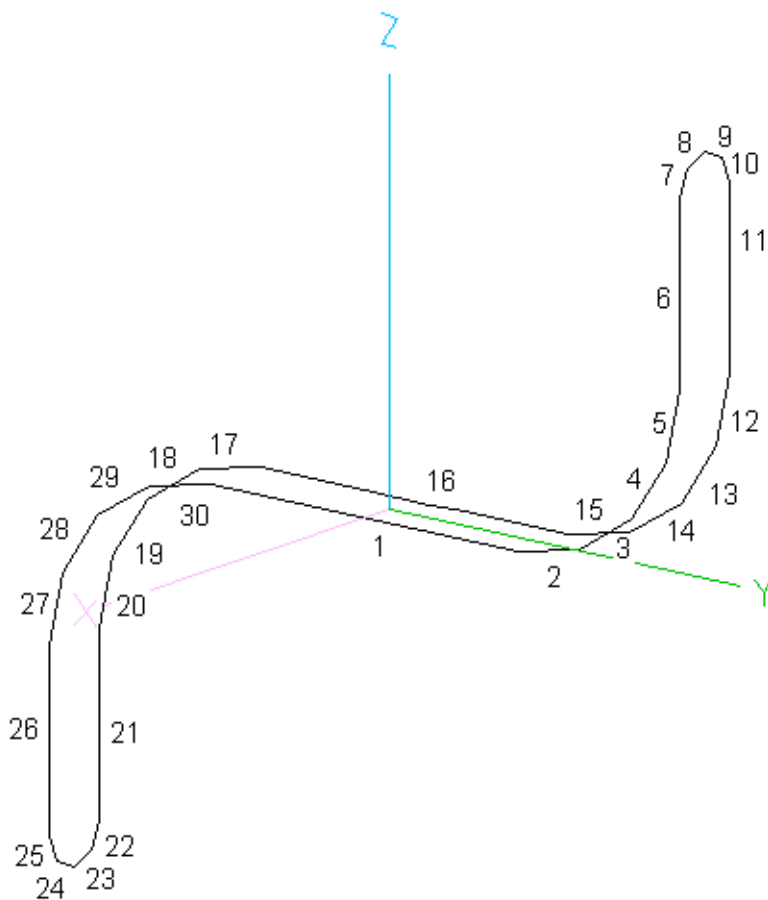


Το τρισδιάστατο διάγραμμα ακτινοβολίας του τρίτου μοντέλου παρουσιάζεται στην παρακάτω λήψη.



3.6 ΑΝΑΔΙΠΛΩΜΕΝΟ ΔΙΠΟΛΟ 4

Το τελευταίο μοντέλο αποτελείται από 30 τμήματα αφού όπως παρατηρούμε στο σχήμα 16, οι καμπύλες 1,3,4,6 χωριστήκαν τώρα σε τέσσερα κομμάτια. Ορίζουμε ότι τα τμήματα (2,3,4,5) αποτελούν την καμπύλη 1, τα τμήματα (7,8,9,10) την καμπύλη 2, τα τμήματα (12,13,14,15) την καμπύλη 3, τα τμήματα (17,18,19,20) την καμπύλη 4, τα τμήματα (22,23,24,25) την καμπύλη 5 και τα τμήματα (27,28,29,30) την καμπύλη 6. Τις συντεταγμένες (x_1, y_1, z_1) (x_2, y_2, z_2) τις έχουμε υπολογίσει, όπως αναφέραμε και για τα προηγούμενα μοντέλα που δημιουργήσαμε και τις έχουμε εισάγει στο NECWIN για να δημιουργήσουμε το μοντέλο μας.

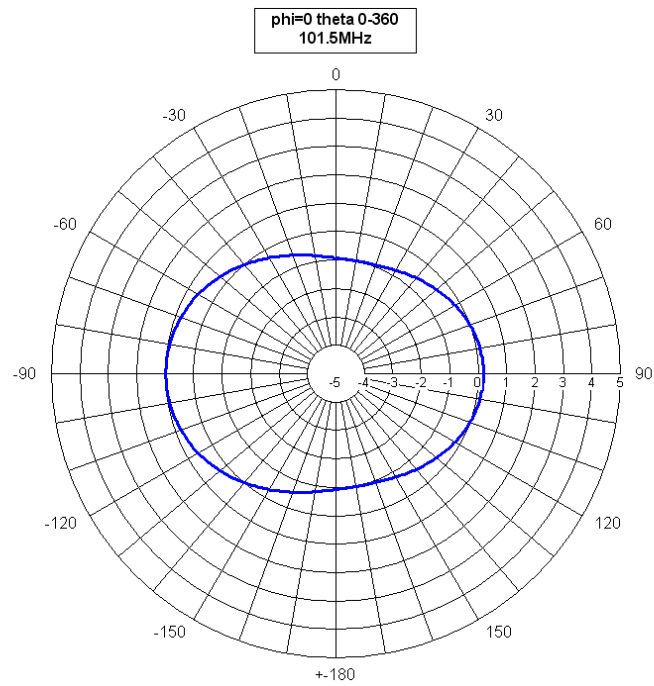
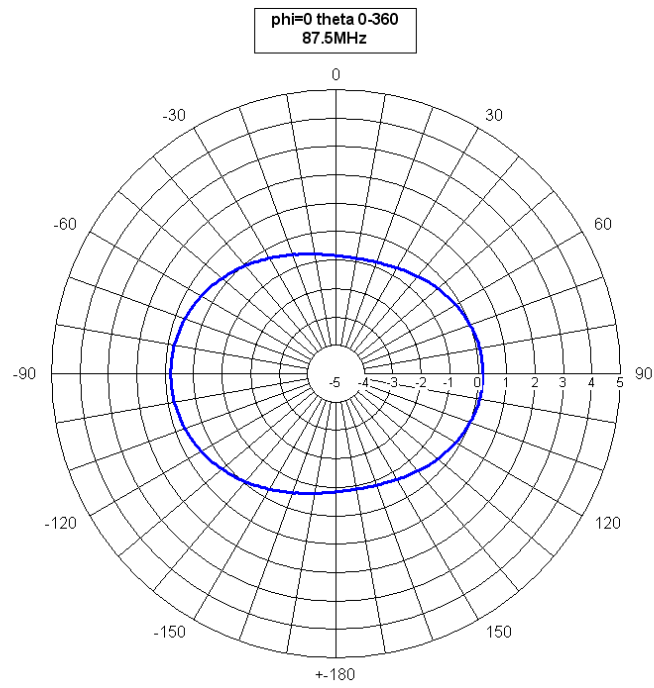


Σχήμα 16. Κεραία δίπολο 4

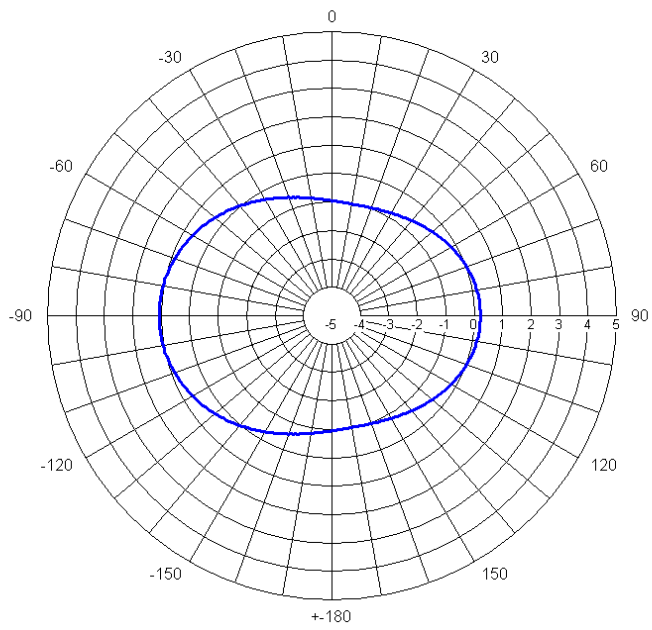
Η ρευματική κατανομή του μοντέλου παρατίθεται παρακάτω



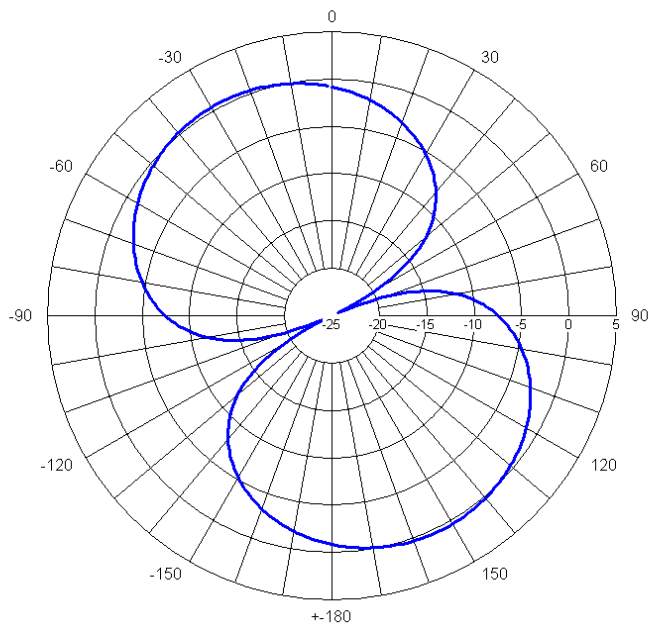
Όπως και στα προηγούμενα δίπολα ακολουθούν τα δυσδιάστατα διαγράμματα ακτινοβολίας σε τρεις διαφορετικές συχνότητες λειτουργίας της κεραίας, για $\phi=0$ θ 0-360, $\phi=90$ θ 0-360 και $\theta=90$ ϕ 0-360 τα οποία παρατίθενται με τη σειρά που αναφέραμε.

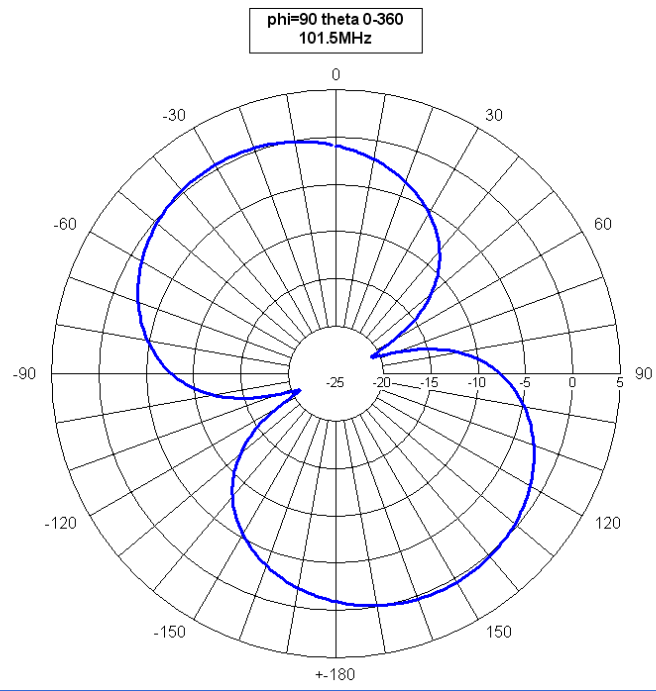


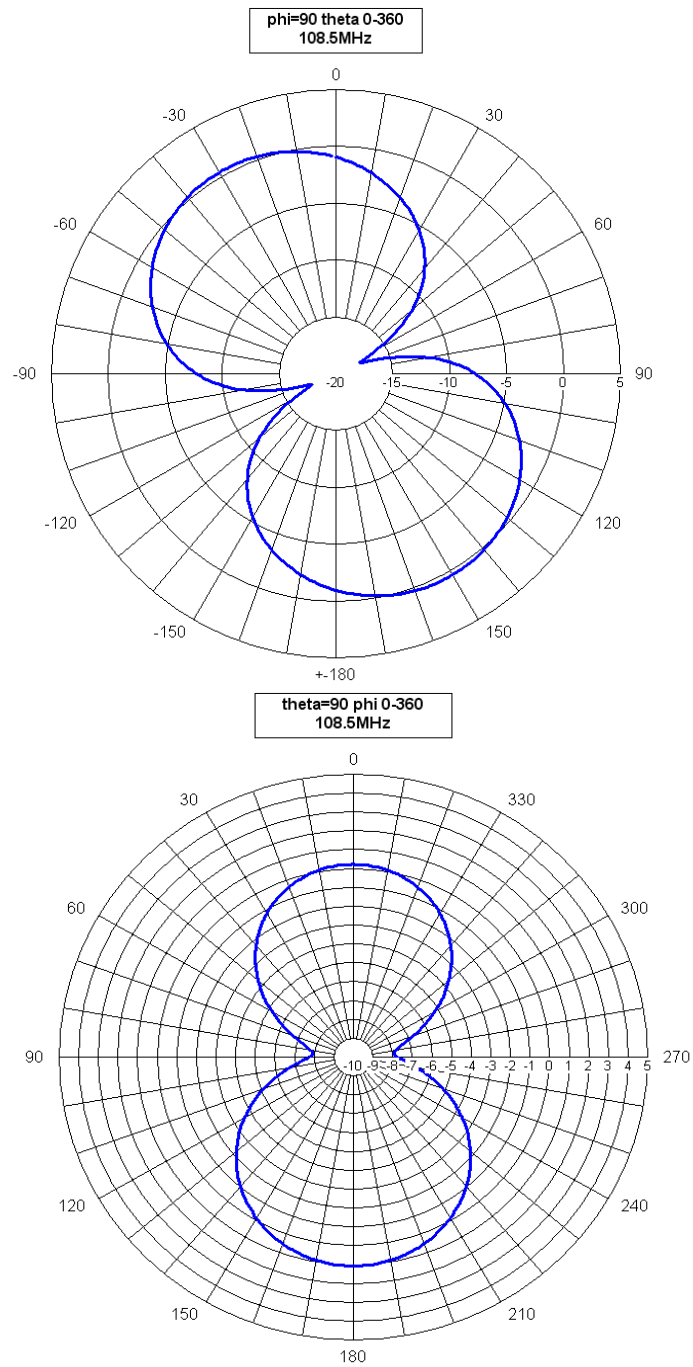
phi=0 theta 0-360
108.5MHz



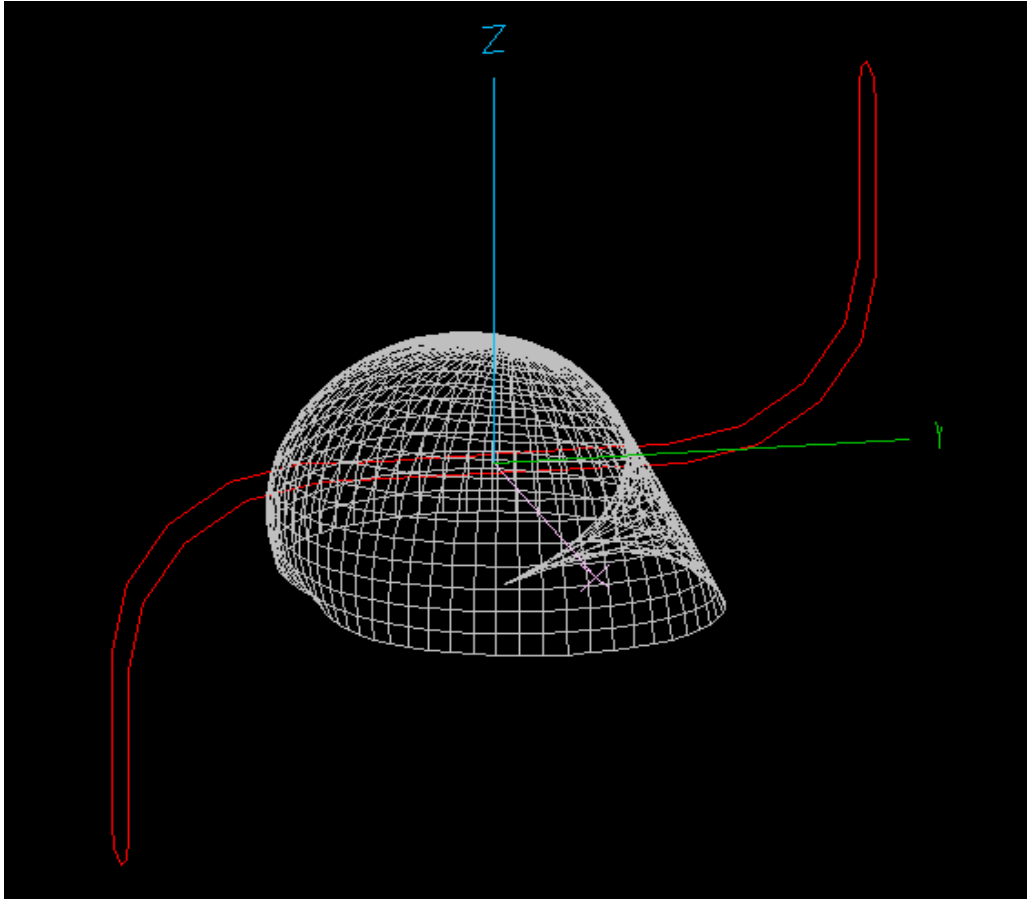
phi=90 theta 0-360
87.5MHz



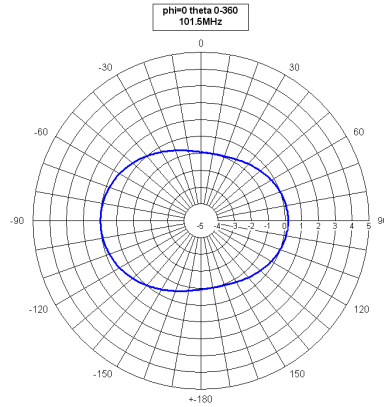
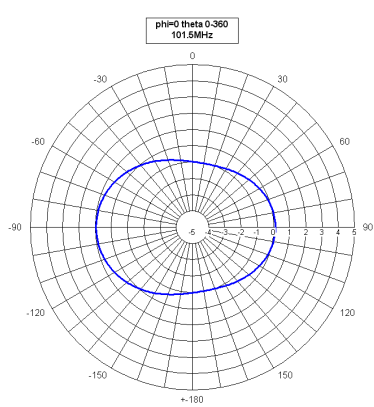


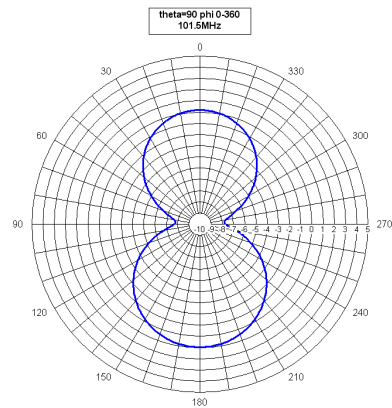
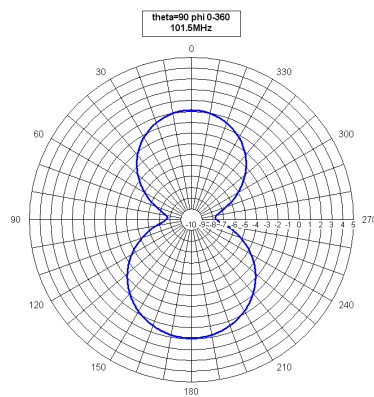
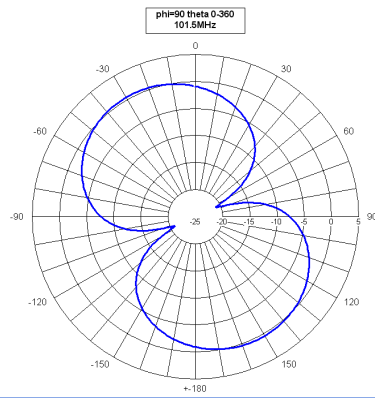
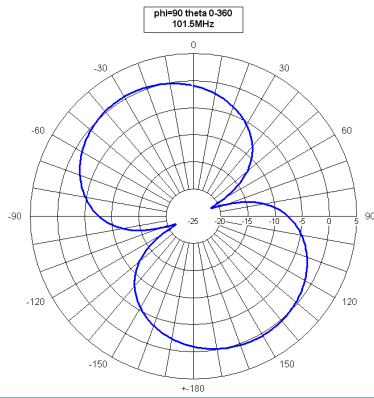


Και τέλος το τρισδιάστατο διάγραμμα ακτινοβολίας του τέταρτου μοντέλου μας παρουσιάζεται στην παρακάτω λήψη.



3.7 Συμπεράσματα-Συγκρίσεις





Παρατηρώντας τις ρευματικές κατανομές σε κάθε μοντέλο αναδιπλωμένου διπόλου, στα διαγράμματα που παραθέσαμε, παρατηρούμε ότι όσο πιο λεπτομερώς προσεγγίζουμε τις καμπύλες με τεθλασμένη γραμμή, τόσο καλύτερα προσεγγίζουμε και το αναμενόμενο θεωρητικό αποτέλεσμα. Επίσης, παρατηρούμε ότι στα μοντέλα το ρεύμα έχει μέγιστη τιμή στο κέντρο του δίπολου επειδή κάθε σκέλος του είναι μήκους $\lambda/2$.

Παραπάνω παραθέτουμε τα διαγράμματα ακτινοβολίας των μοντέλων 1 και 4, στη μεσαία συχνότητα λειτουργίας (101.5MHz), στα επίπεδα xz ($\phi=0$, θ 0-360), yz ($\phi=90$, θ 0-360) και xy ($\theta=90$, ϕ 0-360). Τα διαγράμματα αυτά, τα οποία έχουν παρουσιασθεί και στα προηγούμενα, σχεδιάζονται, εδώ, το ένα δίπλα στο άλλο, προκειμένου να συγκριθούν μεταξύ τους.

Με τη χρήση του NECWIN καταγράφηκαν τα μέγιστα κέρδη των μοντέλων στα γραφήματα και είναι τα εξής:

Στο επίπεδο xz ($\phi=0$, θ 0-360) και για τη συχνότητα 101.5MHz το δίπολο 1 έχει μέγιστο κέρδος 0.94dB και το δίπολο 4 έχει 0.98dB.

Στο επίπεδο yz ($\phi=90$, θ 0-360) και για τη συχνότητα 101.5MHz το δίπολο 1 έχει μέγιστο κέρδος 0.41dB και το δίπολο 4 έχει 0.44dB.

Στο επίπεδο xy ($\theta=90$, ϕ 0-360) και για τη συχνότητα 101.5MHz το δίπολο 1 έχει μέγιστο κέρδος 0.41dB και το δίπολο 4 έχει 0.44dB.

Από τα παραπάνω παρατηρήθηκε ότι όσο καλύτερα προσεγγίζονται οι καμπύλες του αναδιπλωμένου διπόλου στα μοντέλα μας, αυξάνεται το κέρδος τους. Συγκρίνοντας το διάγραμμα ($\phi=0$, θ 0-360) και τις τιμές $\max \text{ gain}=1.07\text{dB}$ στη μέγιστη συχνότητα λειτουργίας του μοντέλου 4 που σχεδιάστηκε, με τα δεδομένα του προτύπου που χρησιμοποιήθηκε για την σχεδίαση (παράρτημα, datasheet εταιρίας Fracarro, κεραία ANT1200A) παρατηρήθηκε ότι η προσέγγιση που επιτευχθεί είναι ικανοποιητική ιδίως στις απαιτήσεις κέρδους, καθώς η διαφορά στο μέγιστο κέρδος είναι 0.93dB.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Συμπεράσματα

Με την περάτωση της εργασίας μελετήθηκαν οι κεραίες Yagi και αναδιπλωμένο δίπολο, σχεδιάστηκαν με τη βοήθεια του λογισμικού NECWIN μια κεραία Yagi και τέσσερα μοντέλα ενός αναδιπλωμένου δίπολου της εταιρίας Fracarro και παρήχθησαν τα διαγράμματα ακτινοβολίας τους.

Η κεραία Yagi σχεδιάστηκε πρώτη στην προσπάθεια εξοικείωσης με το λογισμικό NECWIN, τα στοιχεία της κεραίας χωρίστηκαν σε τμήματα και υπολογίσθηκαν οι συντεταγμένες του κάθε τμήματος σε άξονες (xyz) οι οποίες εισήχθησαν στο λογισμικό NECWIN και δημιουργήθηκε το μοντέλο. Τα αποτελέσματα των διαγραμμάτων που παρήχθησαν συγκρίθηκαν με τα δεδομένα του προτύπου της εταιρίας Fracarro. Επίσης παρατηρήθηκε ότι στο επίπεδο x-y ο οπίσθιος λοβός μειώνεται καθώς αυξάνεται η συχνότητα λειτουργίας, συγκρίνοντας τα διαγράμματα και τις τιμές max gain, F/B (μέγιστη συχνότητα λειτουργίας) του μοντέλου που σχεδιάστηκε με τα δεδομένα του προτύπου που χρησιμοποιήθηκε για την σχεδίαση (παράρτημα, datasheet εταιρίας Fracarro, κεραία BLV6F) παρατηρήθηκε ότι η προσέγγιση που επιτεύχθηκε ήταν ικανοποιητική ιδίως στις απαιτήσεις κέρδους, καθώς η διαφορά μεταξύ μοντέλου και προτύπου στο μέγιστο κέρδος προέκυψε 0.95dB.

Στο αναδιπλωμένο δίπολο αναλύθηκε εκτενώς οι επίδραση των γεωμετρικών χαρακτηριστικών στην απόδοση μιας κεραίας έχοντας υλοποιηθεί σε τέσσερα διαφορετικά μοντέλα στο λογισμικό NECWIN. Το δίπολο χωρίστηκε σε τμήματα και υπολογίσθηκαν οι συντεταγμένες του κάθε τμήματος σε άξονες (xyz) οι οποίες εισήχθησαν στο λογισμικό NECWIN και δημιουργήθηκε το κάθε μοντέλο. Τα έξι καμπύλα τμήματα του αναδιπλωμένου δίπολου προσεγγίσθηκαν με τεθλασμένες γραμμές επιτυγχάνοντας μεγαλύτερη ακρίβεια ως προς το πρότυπο σε καθένα εκ των τεσσάρων μοντέλων. Παρήχθησαν τα διαγράμματα ακτινοβολίας των τεσσάρων μοντέλων τα οποία και συγκρίθηκαν αναμεταξύ τους. Παρατηρήθηκε ότι όσο πιο αναλυτική ήταν η προσέγγιση των καμπύλων με τη χρήση όλο και μικρότερων και περισσότερων τεθλασμένων γραμμών, επιτυγχανόταν καλύτερη προσέγγιση του αναμενόμενου θεωρητικού αποτελέσματος και αυξανόταν το κέρδος του μοντέλου. Επίσης παρατηρήθηκε ότι η διαφορά κέρδους μεταξύ του τέταρτου μοντέλου και του πρότυπου (παράρτημα, datasheet εταιρίας Fracarro, κεραία ANT1200A) είναι ικανοποιητική και ίση με 0.93dB.

Βιβλιογραφία – Πηγές

1. G. Christodoulou, Parveen F. Wahid “Fundamentals of Antennas: Concepts and Applications”, SPIE, November 2001.
2. Z. Αμπατζής και Θ. Κάιφας “Σημειώσεις Εργαστήριο Κεραίες και γραμμές μεταφοράς”, Θεσσαλονίκη 2005.
3. X. Καψάλης και Π. Κωττής “ Κεραίες και ασύρματες ζεύξεις “, Εκδόσεις Τζιόλα, 2005.
4. <http://www.hlektronika.gr/index.php?page=theory?spectrum>
5. http://en.wikipedia.org/wiki/Yagi_antenna
6. http://en.wikipedia.org/wiki/Antenna_%28radio%29
7. <http://en.wikipedia.org/wiki/Dipole>
8. http://en.wikipedia.org/wiki/Dipole_antenna
9. <http://www.electronics-tutorials.com/antennas/antenna-basics.htm>
10. http://www.jpo.go.jp/seido_e/rekishu_e/hidetsugu_yagi.htm

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Κώδικας κεραίας yagi

CM this is a yagi-uda ANTENNA

CE

GW 1,2, 0,-.378,0, 0,1.142,0, .009
GW 2,2, .234,1.124,.026, -.234,1.124,.026, .00225
GW 3,2, .241,.714,.026, -.241,.714,.026, .00225
GW 4,2, .255,.268,.026, -.255,.268,.026, .00225
GW 5,2, .27,.064,.026, -.27,.064,.026, .00225
GW 6,2, .363,0,.026, -.363,0,.026, .00225
GW 7,2, .38,-.338,.026, -.38,-.338,.026, .00225
GW 8,2, .234,1.124,.026, .234,1.124,-.044, .00225
GW 9,2, -.234,1.124,.026, -.234,1.124,-.044, .00225
GW 10,2, .241,.714,.026, .241,.714,-.044, .00225
GW 11,2, -.241,.714,.026, -.241,.714,-.044, .00225
GW 12,2, .255,.268,.026, .255,.268,-.044, .00225
GW 13,2, -.255,.268,.026, -.255,.268,-.044, .00225
GW 14,2, .363,0,.026, .363,0,-.044, .00225
GW 15,2, -.363,0,.026, -.363,0,-.044, .00225
GW 16,2, .27,.064,.026, .27,.064,-.044, .00225
GW 17,2, -.27,.064,.026, -.27,.064,-.044, .00225
GW 18,2, .38,-.338,.026, .38,-.338,-.044, .00225
GW 19,2, -.38,-.338,.026, -.38,-.338,-.044, .00225
GW 20,2, -.02,1.124,.014, .02,1.124,.014, .00225
GW 21,2, -.02,.714,.014, .02,.714,.014, .00225
GW 22,2, -.02,.268,.014, .02,.268,.014, .00225
GW 23,2, -.02,.064,.014, .02,.064,.014, .00225
GW 24,5, -.02,0,.014, .02,0,.014, .00225
GW 25,2, -.02,-.338,.014, .02,-.338,.014, .00225
GW 26,2, .02,1.124,.014, .054,1.124,-.044, .00225
GW 27,2, .02,.714,.014, .054,.714,-.044, .00225
GW 28,2, .02,.268,.014, .054,.268,-.044, .00225
GW 29,2, .02,.064,.014, .054,.064,-.044, .00225

GW 30,2, .02,0,.014, .054,0,-.044, .00225
GW 31,2, .02,-.338,.014, .054,-.338,-.044, .00225
GW 32,2, -.02,1.124,.014, -.054,1.124,-.044, .00225
GW 33,2, -.02,.714,.014, -.054,.714,-.044, .00225
GW 34,2, -.02,.268,.014, -.054,.268,-.044, .00225
GW 35,2, -.02,.064,.014, -.054,.064,-.044, .00225
GW 36,2, -.02,0,.014, -.054,0,-.044, .00225
GW 37,2, -.02,-.338,.014, -.054,-.338,-.044, .00225
GW 38,2, .054,1.124,-.044, .234,1.124,-.044, .00225
GW 39,2, .054,.714,-.044, .241,.714,-.044, .00225
GW 40,2, .054,.268,-.044, .255,.268,-.044, .00225
GW 41,2, .054,.064,-.044, .27,.064,-.044, .00225
GW 42,2, .054,0,-.044, .363,0,-.044, .00225
GW 43,2, .054,-.338,-.044, .38,-.338,-.044, .00225
GW 44,2, -.054,1.124,-.044, -.234,1.124,-.044, .00225
GW 45,2, -.054,.714,-.044, -.241,.714,-.044, .00225
GW 46,2, -.054,.268,-.044, -.255,.268,-.044, .00225
GW 47,2, -.054,.064,-.044, -.27,.064,-.044, .00225
GW 48,2, -.054,0,-.044, -.363,0,-.044, .00225
GW 49,2, -.054,-.338,-.044, -.38,-.338,-.044, .00225
GS 0 0 1
GE 0
GN -1
FR 0 9 0 0 174 7
EX 0 24 3 00 1.0 0.0
RP 0 361 1 1000 0 90 1 1
RP 0 1 361 1000 90 0 1 1
EN

Κώδικες κεραιών διπόλων:

CM this is a folded dipole example1

CE

GW 1,9, 0,-.20,0, 0,.20,0, .0063

GW 2,1, 0,.20,0, 0,.3484,.0615, .0063

GW 3,1, 0,.3484,.0615, 0,.41,.21, .0063

GW 4,1, 0,.41,.21, 0,.41,.41, .0063

GW 5,1, 0,.41,.41, .04,.41,.45, .0063

GW 6,1, .04,.41,.45, .08,.41,.41, .0063

GW 7,1, .08,.41,.41, .08,.41,.21, .0063

GW 8,1, .08,.41,.21, .08,.3484,.0615, .0063

GW 9,1, .08,.3484,.0615, .08,.20,0, .0063

GW 10,1, .08,.20,0, .08,-.20,0, .0063

GW 11,1, .08,-.20,0, .08,-.3484,-.0615, .0063

GW 12,1, .08,-.3484,-.0615, .08,-.41,-.21, .0063

GW 13,1, .08,-.41,-.21, .08,-.41,-.41, .0063

GW 14,1, .08,-.41,-.41, .04,-.41,-.45, .0063

GW 15,1, .04,-.41,-.45, 0,-.41,-.41, .0063

GW 16,1, 0,-.41,-.41, 0,-.41,-.21, .0063

GW 17,1, 0,-.41,-.21, 0,-.3484,-.0615, .0063

GW 18,1, 0,-.3484,-.0615, 0,-.20,0, .0063

GS 0 0 1

GE 0

GN -1

FR 0 4 0 0 87.5 7

EX 0 1 5 00 1.0 0.0

RP 0 361 1 1000 0 90 1 1

RP 0 1 361 1000 90 0 1 1

EN

CM this is a folded dipole example2

CE

GW 1,9, 0,-.20,0, 0,.20,0, .0063

GW 2,1, 0,.20,0, 0,.3484,.0615, .0063

GW 3,1, 0,.3484,.0615, 0,.41,.21, .0063

GW 4,1, 0,.41,.21, 0,.41,.41, .0063

GW 5,1, 0,.41,.41, .01148,.41,.4377, .0063

GW 6,1, .01148,.41,.4377, .04,.41,.45, .0063

GW 7,1, .04,.41,.45, .0677,.41,.4377, .0063

GW 8,1, .0677,.41,.4377, .08,.41,.41, .0063

GW 9,1, .08,.41,.41, .08,.41,.21, .0063

GW 10,1, .08,.41,.21, .08,.3484,.0615, .0063

GW 11,1, .08,.3484,.0615, .08,.20,0, .0063

GW 12,1, .08,.20,0, .08,-.20,0, .0063

GW 13,1, .08,-.20,0, .08,-.3484,-.0615, .0063

GW 14,1, .08,-.3484,-.0615, .08,-.41,-.21, .0063

GW 15,1, .08,-.41,-.21, .08,-.41,-.41, .0063

GW 16,1, .08,-.41,-.41, .0677,-.41,-.4377, .0063

GW 17,1, .0677,-.41,-.4377, .04,-.41,-.45, .0063

GW 18,1, .04,-.41,-.45, .01148,-.41,-.4377, .0063

GW 19,1, .01148,-.41,-.4377, 0,-.41,-.41, .0063

GW 20,1, 0,-.41,-.41, 0,-.41,-.21, .0063

GW 21,1, 0,-.41,-.21, 0,-.3484,-.0615, .0063

GW 22,1, 0,-.3484,-.0615, 0,-.20,0, .0063

GS 0 0 1

GE 0

GN -1

FR 0 4 0 0 87.5 7

EX 0 1 5 00 1.0 0.0

RP 0 361 1 1000 0 90 1 1

RP 0 1 361 1000 90 0 1 1

EN

CM this is a folded dipole example3

CE

GW 1,9, 0,-.20,0, 0,.20,0, .0063

GW 2,1, 0,.20,0, 0,.305,.0281, .0063

GW 3,1, 0,.305,.0281, 0,.3818,.105, .0063

GW 4,1, 0,.3818,.105, 0,.41,.21, .0063

GW 5,1, 0,.41,.21, 0,.41,.41, .0063

GW 6,1, 0,.41,.41, .01148,.41,.4377, .0063

GW 7,1, .01148,.41,.4377, .04,.41,.45, .0063

GW 8,1, .04,.41,.45, .0677,.41,.4377, .0063

GW 9,1, .0677,.41,.4377, .08,.41,.41, .0063

GW 10,1, .08,.41,.41, .08,.41,.21, .0063

GW 11,1, .08,.41,.21, .08,.3818,.105, .0063

GW 12,1, .08,.3818,.105, .08,.305,.0281, .0063

GW 13,1, .08,.305,.0281, .08,.20,0, .0063

GW 14,1, .08,.20,0, .08,-.20,0, .0063

GW 15,1, .08,-.20,0, .08,-.305,-.0281, .0063

GW 16,1, .08,-.305,-.0281, .08,-.3818,-.105, .0063

GW 17,1, .08,-.3818,-.105, .08,-.41,-.21, .0063

GW 18,1, .08,-.41,-.21, .08,-.41,-.41, .0063

GW 19,1, .08,-.41,-.41, .0677,-.41,-.4377, .0063

GW 20,1, .0677,-.41,-.4377, .04,-.41,-.45, .0063

GW 21,1, .04,-.41,-.45, .01148,-.41,-.4377, .0063

GW 22,1, .01148,-.41,-.4377, 0,-.41,-.41, .0063

GW 23,1, 0,-.41,-.41, 0,-.41,-.21, .0063

GW 24,1, 0,-.41,-.21, 0,-.3818,-.105, .0063

GW 25,1, 0,-.3818,-.105, 0,-.305,-.0281, .0063

GW 26,1, 0,-.305,-.0281, 0,-.20,0, .0063

GS 0 0 1

GE 0

GN -1

FR 0 4 0 0 87.5 7

EX 0 1 5 00 1.0 0.0

RP 0 361 1 1000 0 90 1 1

RP 0 1 361 1000 90 0 1 1

EN

CM this is a folded dipole example4

CE

GW 1,9, 0,-.20,0, 0,.20,0, .0063

GW 2,1, 0,.20,0, 0,.28032,.0159, .0063

GW 3,1, 0,.28032,.0159, 0,.3484,.06149, .0063

GW 4,1, 0,.3484,.06149, 0,.3939,.1296, .0063

GW 5,1, 0,.3939,.1296, 0,.41,.21, .0063

GW 6,1, 0,.41,.21, 0,.41,.41, .0063

GW 7,1, 0,.41,.41, .01148,.41,.4377, .0063

GW 8,1, .01148,.41,.4377, .04,.41,.45, .0063

GW 9,1, .04,.41,.45, .0677,.41,.4377, .0063

GW 10,1, .0677,.41,.4377, .08,.41,.41, .0063

GW 11,1, .08,.41,.41, .08,.41,.21, .0063

GW 12,1, .08,.41,.21, .08,.3939,.1296, .0063

GW 13,1, .08,.3939,.1296, .08,.3484,.06149, .0063

GW 14,1, .08,.3484,.06149, .08,.28032,.0159, .0063

GW 15,1, .08,.28032,.0159, .08,.20,0, .0063

GW 16,1, .08,.20,0, .08,-.20,0, .0063

GW 17,1, .08,-.20,0, .08,-.28032,-.0159, .0063

GW 18,1, .08,-.28032,-.0159, .08,-.3484,-.06149, .0063

GW 19,1, .08,-.3484,-.06149, .08,-.3939,-.1296, .0063

GW 20,1, .08,-.3939,-.1296, .08,-.41,-.21, .0063

GW 21,1, .08,-.41,-.21, .08,-.41,-.41, .0063

GW 22,1, .08,-.41,-.41, .0677,-.41,-.4377, .0063

GW 23,1, .0677,-.41,-.4377, .04,-.41,-.45, .0063

GW 24,1, .04,-.41,-.45, .01148,-.41,-.4377, .0063

GW 25,1, .01148,-.41,-.4377, 0,-.41,-.41, .0063

GW 26,1, 0,-.41,-.41, 0,-.41,-.21, .0063

GW 27,1, 0,-.41,-.21, 0,-.3939,-.1296, .0063
GW 28,1, 0,-.3939,-.1296, 0,-.3484,-.06149, .0063
GW 29,1, 0,-.3484,-.06149, 0,-.28032,-.0159, .0063
GW 30,1, 0,-.28032,-.0159, 0,-.20,0, .0063
GS 0 0 1
GE 0
GN -1
FR 0 4 0 0 87.5 7
EX 0 1 5 00 1.0 0.0
RP 0 361 1 1000 0 90 1 1
RP 0 1 361 1000 90 0 1 1
EN