

Ειδικές Κεραίες – Σύνθεση Κεραιών
Ανάλυση Κεραιών με το NEC
Ευριπίδης Σιδηρόπουλος

Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης
Πολυτεχνική Σχολή
Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών Υπολογιστών
Τομέας Τηλεπικοινωνιών
Ακαδ. Έτος 2021-2022

1.Εισαγωγή.....	Σελ.3
2.Δισκοκωνική Κεραία.....	Σελ.4
2α.Δημιουργία της Γεωμετρίας (Ερώτημα α).....	Σελ.4
2β.Παραμετρική Ανάλυση Συχνοτήτων (Ερώτημα β).....	Σελ.5
2γ.Διαγράμματα Ακτινοβολίας (Ερώτημα γ).....	Σελ.6
2δ.Επίπεδη Παραλλαγή Δισκοκωνικής Κεραίας (Ερώτημα δ).....	Σελ.10
3.Ελικοειδής Κεραία.....	Σελ.11
3α.Αντίσταση Εισόδου (Ερώτημα α).....	Σελ.11
3β.Μέτρο Συντελεστή Ανάκλασης (Ερώτημα β).....	Σελ.12
3γ.Διαγράμματα Ακτινοβολίας (Ερώτημα γ).....	Σελ.13
4.Βιβλιογραφία.....	Σελ.19

Η παρούσα εργασία αφορά την ανάλυση κεραιών με τη χρήση του λογισμικού NEC και συγκεκριμένα του πακέτου 4nec2.

Αναλύονται δύο είδη κεραιών, η Δισκοκωνική Κεραία και η Ελικοειδής Κεραία, αμφότερες κεραίες ευρείας ζώνης συχνοτήτων. Ιδιαίτερα, για την ανάλυση της πρώτης, απαιτήθηκε η σύνταξη ενός κώδικα Matlab (παρατίθεται μαζί με την παρούσα αναφορά), ο οποίος ουσιαστικά δημιουργεί, δεχόμενος ως ορίσματα συγκεκριμένες προδιαγραφές της κεραίας, τη γεωμετρία της. Η ανάλυση της Δισκοκωνικής Κεραίας πραγματοποιείται στο Κεφάλαιο 2.

Παράλληλα, για την ανάλυση της Ελικοειδούς Κεραίας, έγινε χρήση του ειδικού εργαλείου του 4nec2, του builder, το οποίο ήταν υπεύθυνο για τη δημιουργία ενός δίσκου, ο οποίος λειτουργεί ως γείωση. Η Ελικοειδής Κεραία αποτελεί το αντικείμενο του Κεφαλαίου 3.

Όλα τα υπόλοιπα τμήματα της εργασίας υλοποιήθηκαν εξ ολοκλήρου με τη χρήση του πακέτου.

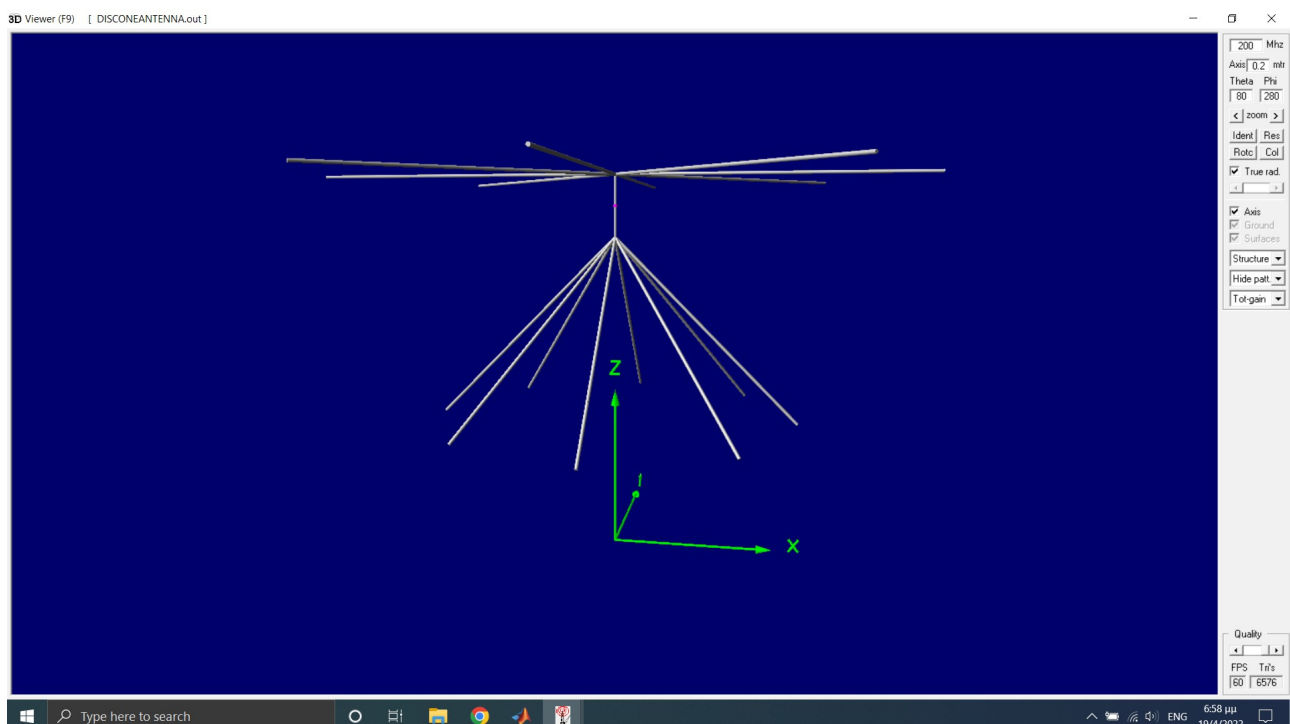
Οφείλεται να σημειωθεί σε αυτό το σημείο ότι εμπεριέχονται αρκετά λάθη, ωστόσο η ενασχόληση με την εργασία αποτέλεσε μια ξεχωριστή και πάρα πολύ χρήσιμη διδακτική εμπειρία.

2α.Δημιουργία της Γεωμετρίας

Η Δισκοκωνική Κεραία που παρουσιάζεται εδώ λειτουργεί στην κεντρική συχνότητα των 200 MHz (ή αλλιώς μήκος κύματος λ ίσο με 1.5 m). Οπότε, η σχεδίαση γίνεται με βάση τις εξής προδιαγραφές:

- Μήκος Συρμάτων Κώνου 45 cm
- Μήκος Συρμάτων Δίσκου 37.5 cm
- Γωνία Ανοίγματος 60° ($2\theta_0 = 60^\circ$)
- Διάμετρος Συρμάτων 2 mm ($\lambda/750$, επιλέχθηκε αυθαίρετα έτσι ώστε να μην προκύπτουν σφάλματα από το $4\pi\epsilon c^2$)
- Μήκος Σύρματος Τροφοδοσίας 7.5 cm ($\lambda/20$)

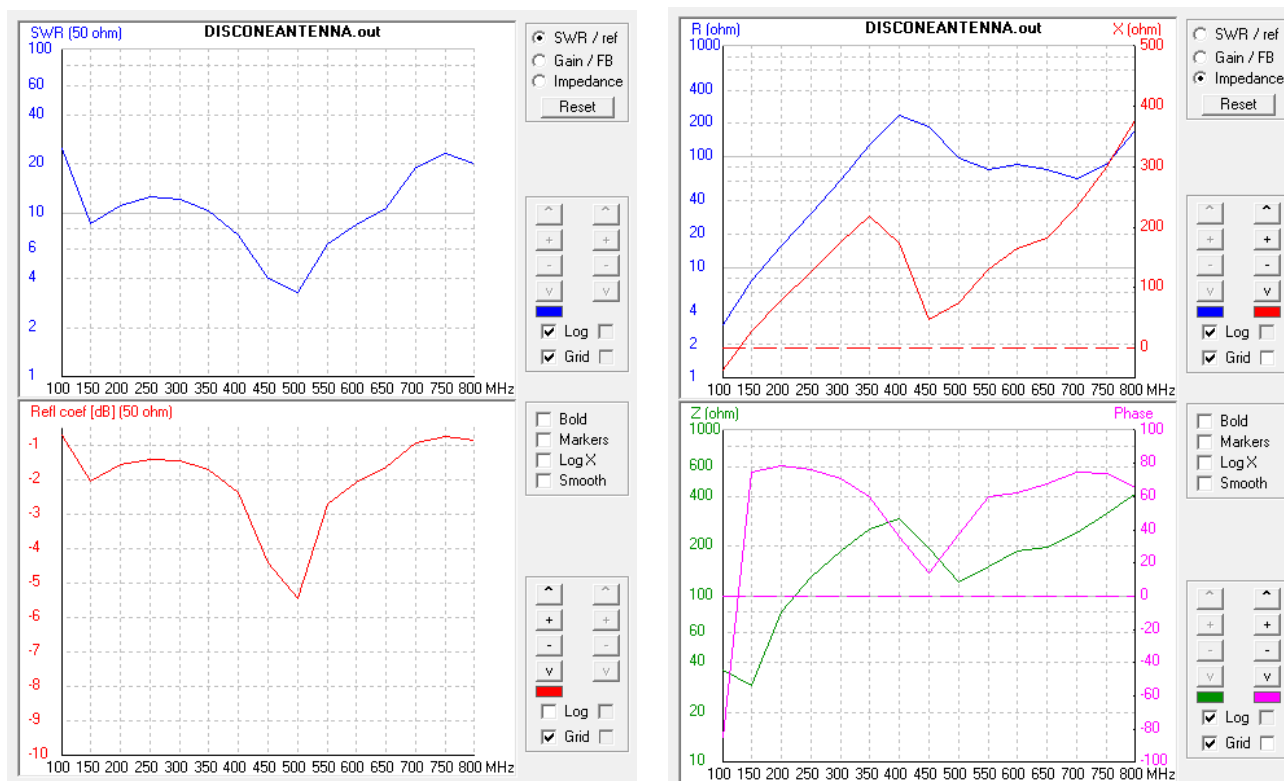
Η υλοποίηση της παραπάνω γεωμετρίας στις τρεις διαστάσεις φαίνεται στην εικόνα 2.1, ενώ παρατίθεται κώδικας Matlab με αναλυτικά σχόλια για τη δημιουργία του αρχείου εισόδου .nec. Ο δίσκος, που αποτελεί γείωση, αποτελείται από οκτώ σύρματα στο επίπεδο xy.



Εικόνα 2.1 3D Γεωμετρία της Κεραίας

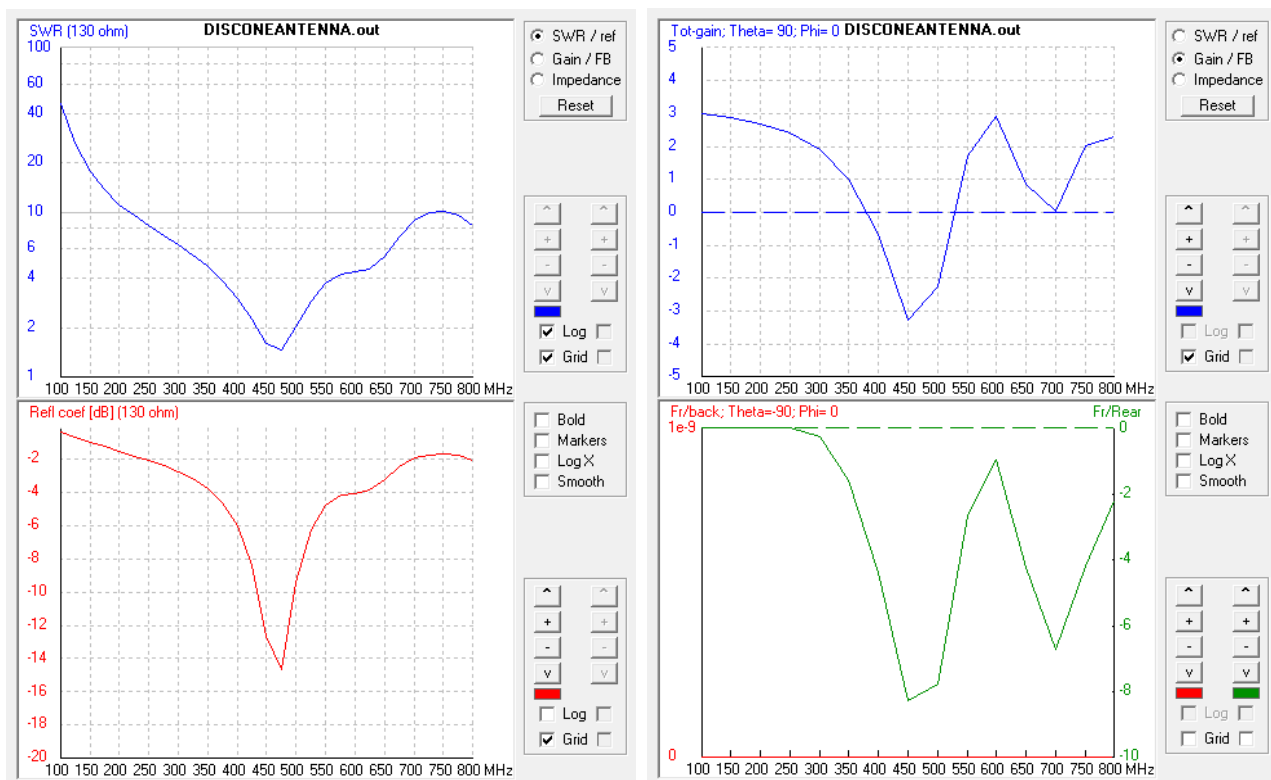
2β.Παραμετρική Ανάλυση Συχνοτήτων

Η παραμετρική ανάλυση πραγματοποιήθηκε για ένα εύρος συχνοτήτων από 100 έως 800 MHz. Σκοπός είναι να υπολογιστεί το μέτρο, πραγματικό και φανταστικό, της Αντίστασης Εισόδου της κεραίας, όπως και να απεικονιστεί το μέτρο του Συντελεστή Ανάκλασης. Με αρχική Γραμμή Μεταφοράς 50Ω, οι μετρήσεις γίνονται έτσι ώστε να επιλεγεί μια καταλληλότερη Γραμμή Μεταφοράς, και άρα να διαπιστωθεί τυχούσα καλύτερη λειτουργία της κεραίας στη ζώνη 100-800 MHz.



Εικόνα 2.2 Συντελεστής Ανάκλασης και Αντίσταση Εισόδου με Γ.Μ. 50Ω

Επιλέχθηκε, ως καταταλληλότερη Γ.Μ., Γραμμή με Χαρακτηριστική Αντίσταση 130Ω. Πράγματι, παρατηρήθηκε βελτίωση του Συντελεστή Ανάκλασης. Ενώ αυτός είχε υψηλές τιμές, με μικρότερη γύρω στο 4, με Γ.Μ. τα 130Ω παρουσιάζεται σημαντική βελτίωση. Το αποτέλεσμα είναι να υπάρχει ζώνη από τα 430 έως τα 500 MHz όπου ο Συντελεστής Ανάκλασης πέφτει κάτω από το 2, μια επιθυμητή τιμή. Ωστόσο, παρατηρείται το εξής (το οποίο πρέπει να τονιστεί ότι ενδεχομένως οφείλεται σε κάποιο λάθος). Το κέρδος της κεραίας είναι πάρα πολύ μικρό, μόλις στα 3 dB, το οποίο απέχει πάρα πολύ από το τυπικό κέρδος μιας λειτουργικής κεραίας, που προσδιορίζεται περί τα 10 dB. Επίσης, η βελτίωση δε λαμβάνει χώρα γύρω από την κεντρική συχνότητα της κεραίας, ενώ το εύρος ζώνης 430-500 MHz δεν είναι ιδιαίτερα μεγάλο.

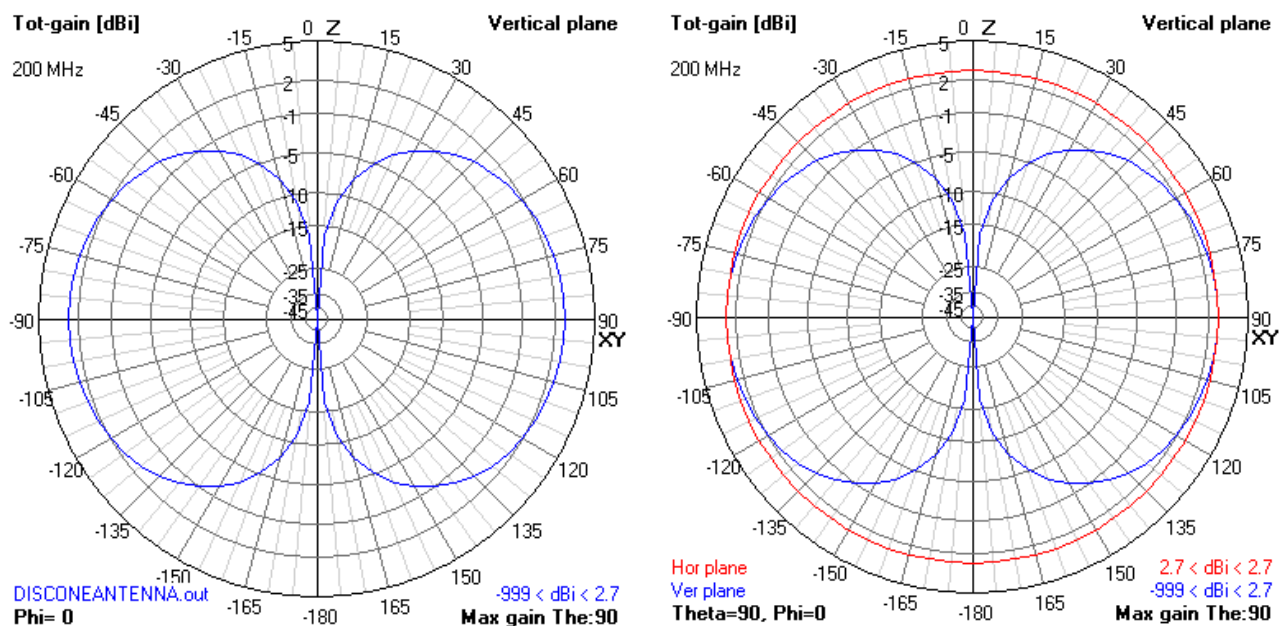


Εικόνα 2.3 Συντελεστής Ανάκλασης και Κέρδος με Γ.Μ. 130Ω

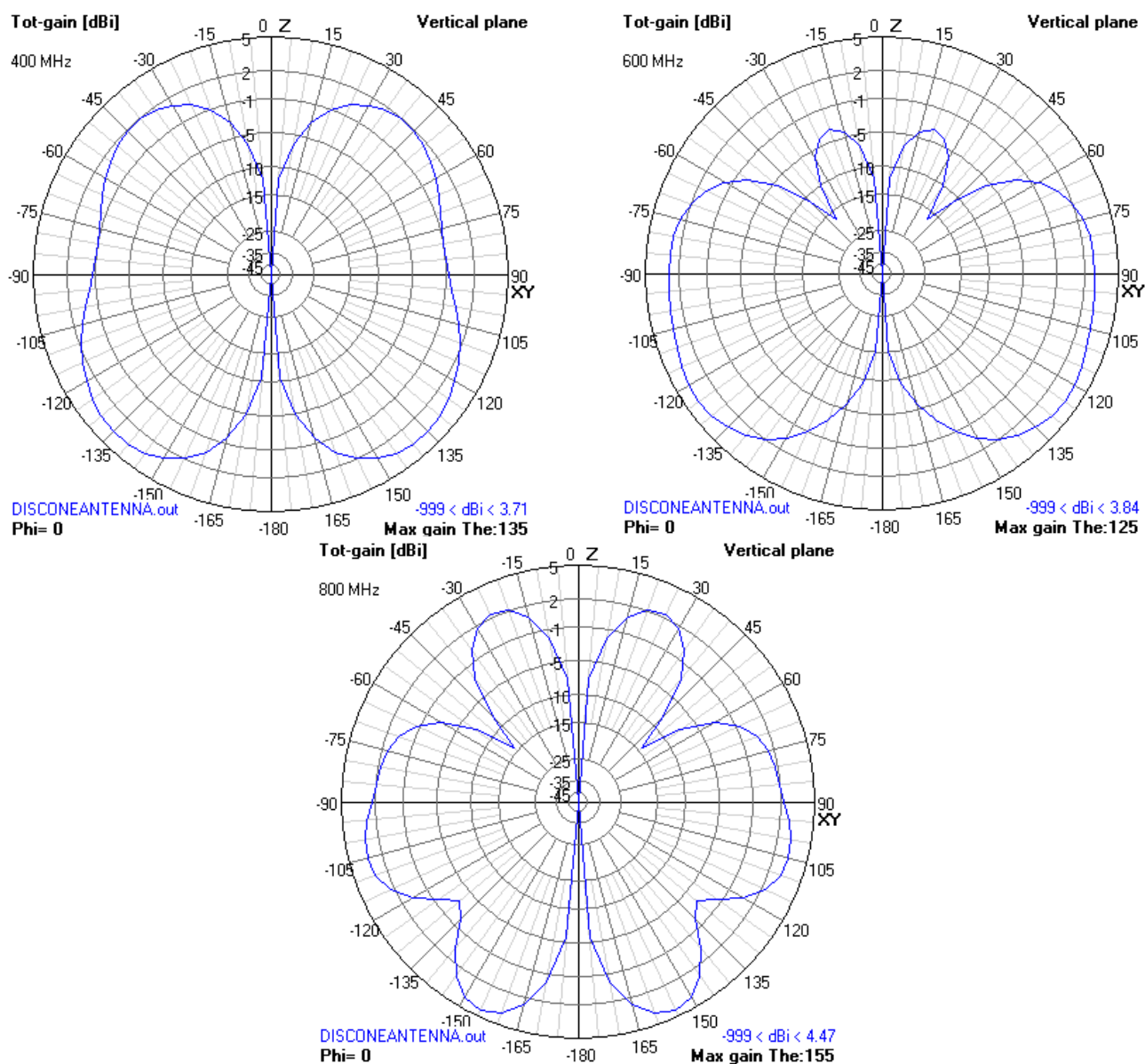
2γ. Διαγράμματα Ακτινοβολίας

Παρακάτω παρουσιάζονται τα Διαγράμματα Ακτινοβολίας για ορισμένες συχνότητες λειτουργίας της Δισκοκωνικής Κεραίας. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται: το οριζόντιο και το κατακόρυφο Διάγραμμα Ακτινοβολίας για την κεντρική συχνότητα των 200 MHz· τα κατακόρυφα Διαγράμματα Ακτινοβολίας για τις συχνότητες των 400, 600 και 800 MHz· και τέλος τα 3D Διαγράμματα Ακτινοβολίας όλων των προαναφερθείσων συχνοτήτων.

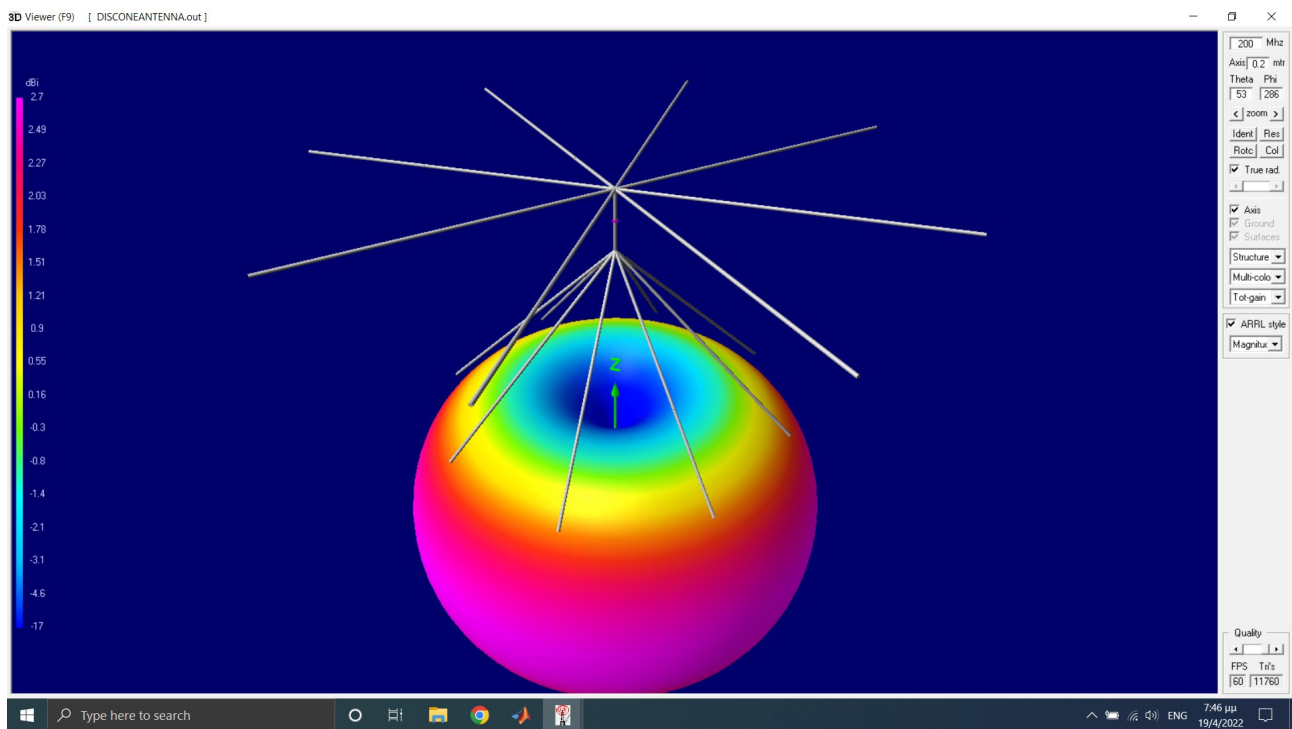
Και στα Διαγράμματα Ακτινοβολίας φαίνεται το μικρό κέρδος της κεραίας, ενώ όσο αυξάνεται η συχνότητα παρατηρείται σταδιακός εκφυλισμός του Διαγράμματος Ακτινοβολίας, οπότε και διαπιστώνεται διαταραχή στη λειτουργία της κεραίας. Πρέπει να σημειωθεί εδώ ότι το 3D Διάγραμμα Ακτινοβολίας εμφανίζεται στην αρχή των αξόνων, ωστόσο, όπως είναι γνωστό, το Διάγραμμα Ακτινοβολίας υπολογίζεται στο μακρινό πεδίο, οπότε θα μπορούσε να θεωρηθεί ότι η σχετική του θέση ως προς την κεραία δεν παίζει κάποιο ρόλο, ούτε αλλοιώνει τον υπολογισμό.



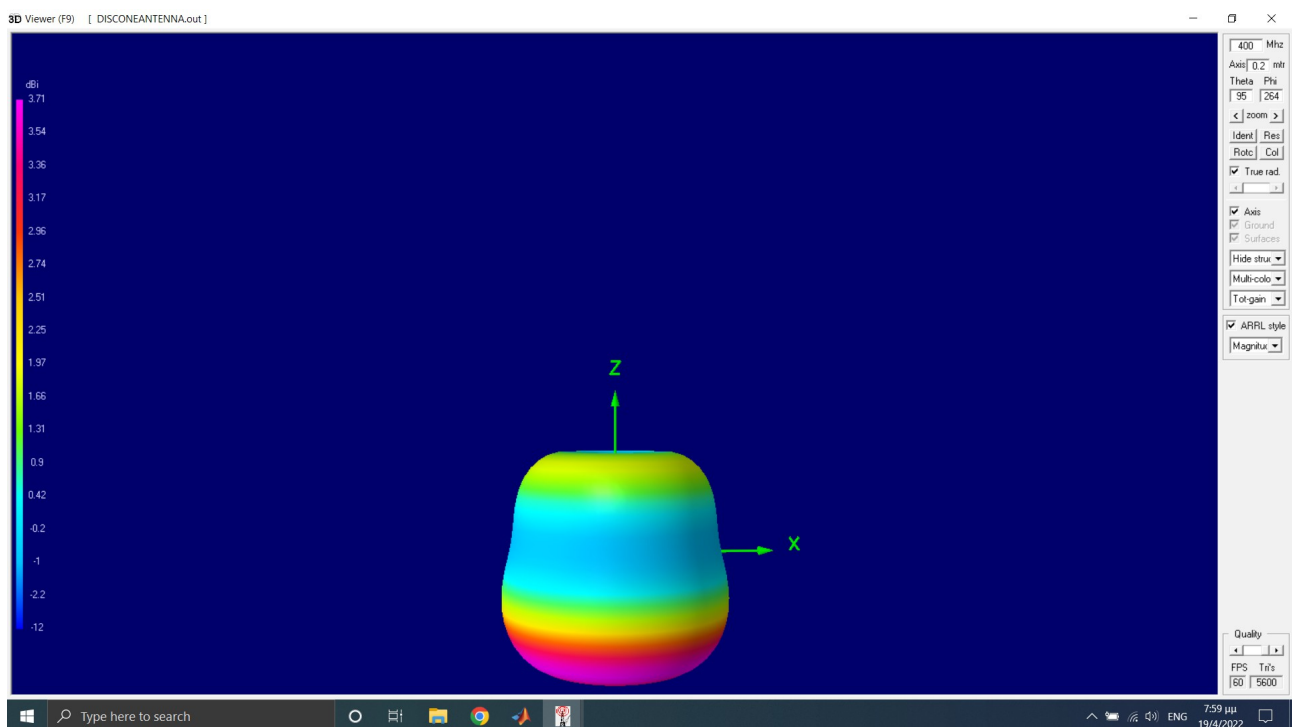
Εικόνα 2.4 Οριζόντιο και Κατακόρυφο Διάγραμμα Ακτινοβολίας στα 200 MHz



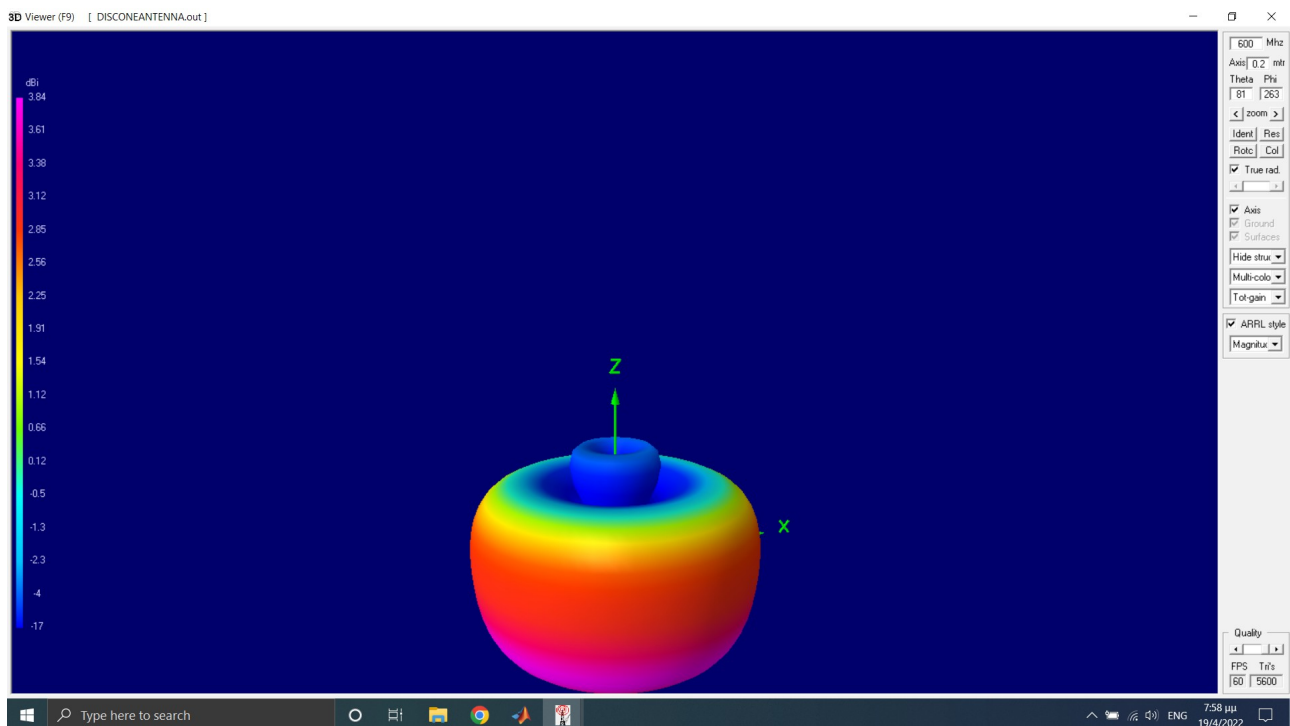
Εικόνα 2.5 Διάγραμμα Ακτινοβολίας στα 400, 600 και 800 MHz αντίστοιχα



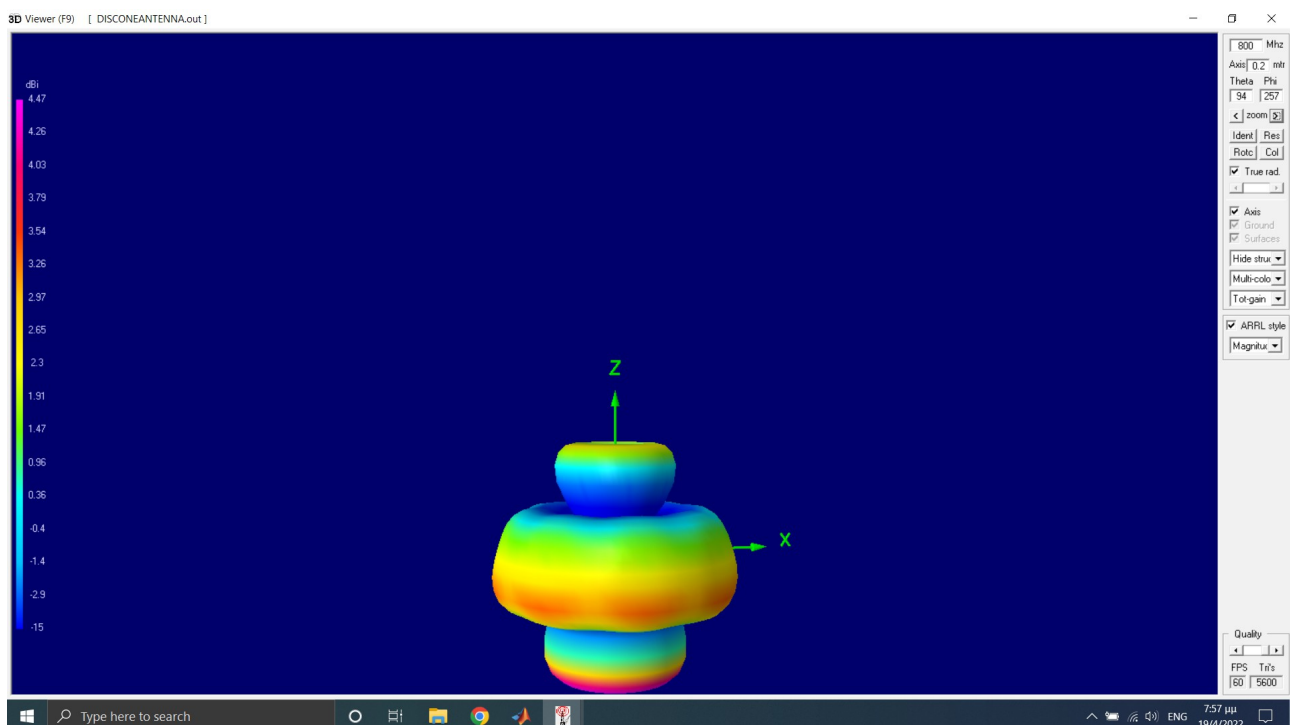
Εικόνα 2.6 3D Διάγραμμα Ακτινοβολίας στα 200 MHz



Εικόνα 2.7 3D Διάγραμμα Ακτινοβολίας στα 400 MHz



Εικόνα 2.8 3D Διάγραμμα Ακτινοβολίας στα 600 MHz

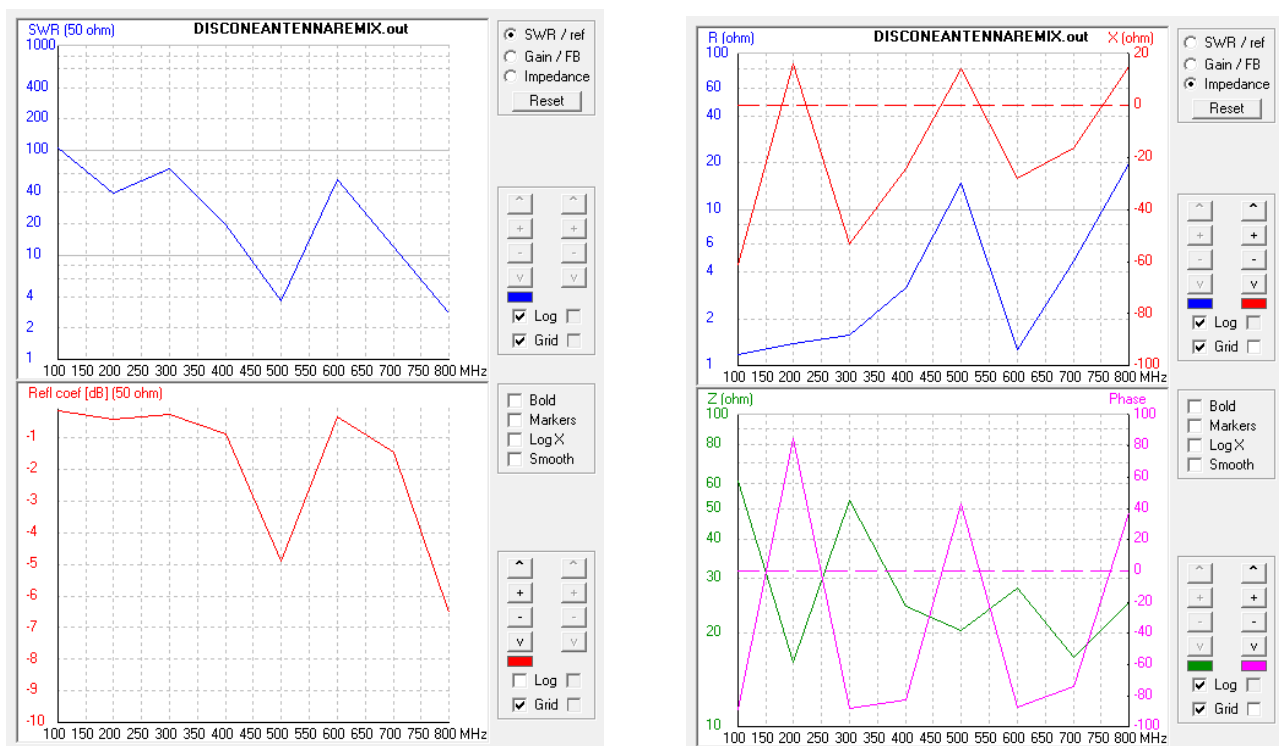


Εικόνα 2.9 3D Διάγραμμα Ακτινοβολίας στα 800 MHz

2δ.Επίπεδη Παραλλαγή Δισκοκωνικής Κεραίας

Κλείνοντας το δεύτερο κεφάλαιο, παρουσιάζεται μια παραλλαγή της Δισκοκωνικής Κεραίας, η οποία υλοποιείται στο επίπεδο xz, συμπιέζοντας τον κώνο της κεραίας σε ένα 2D κυκλικό τομέα, η γείωση πλέον αποτελείται από 2 σύρματα αντί για ένα δίσκο (μεταφορά στις δύο διαστάσεις), ενώ όλα τα σύρματα ενώνονται σε κοινό σημείο. Όπως και στην αρχική Δισκοκωνική Κεραία, έτσι και εδώ δημιουργήθηκε και παρατίθεται κώδικας Matlab για τη δημιουργία του αρχείου εισόδου .nes, ο οποίος βασίζεται στον αρχικό κώδικα, καθώς η υλοποίηση δεν διαφέρει κατά πολύ (για άλλη μια φορά πρέπει να αναφερθεί ότι ενδεχομένως υπάρχουν λάθη στην υλοποίηση).

Παρακάτω παρατίθεται το διάγραμμα του Συντελεστή Ανάκλασης με Γραμμή Μεταφοράς 50Ω, καθώς και το διάγραμμα της Χαρακτηριστικής Αντίστασης.



Εικόνα 2.10 Συντελεστής Ανάκλασης και Αντίσταση Εισόδου με Γ.Μ. 50Ω

Όπως φαίνεται ήδη από τα παραπάνω διαγράμματα, η συμπεριφορά της κεραίας είναι πάρα πολύ κακή

3α.Αντίσταση Εισόδου

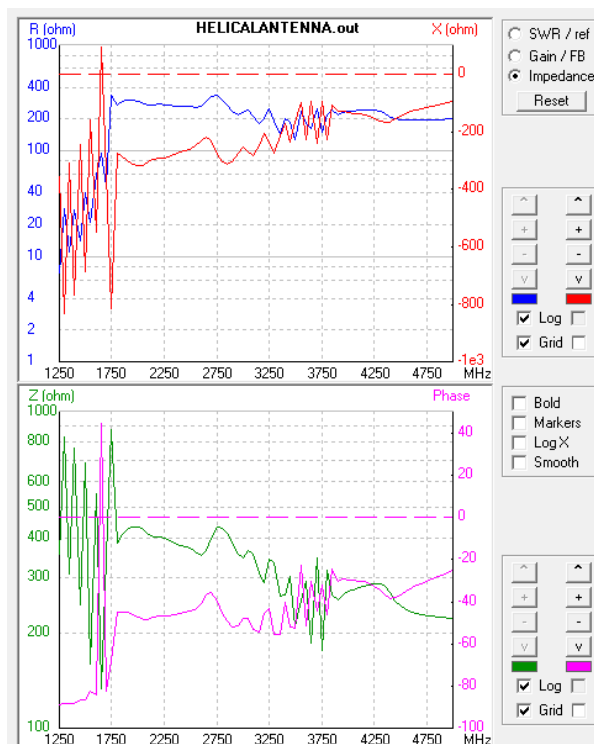
Η υπό μελέτη Ελικοειδής Κεραία λειτουργεί στην κεντρική συχνότητα των 2.5 GHz (ή αλλιώς μήκος κύματος λ ίσο με 0.12 m). Επομένως οι προδιαγραφές με βάση τις οποίες πραγματοποιείται η σχεδίαση είναι οι εξής:

- 12 Σπείρες
- Περιφέρεια 12 cm
- Βήμα Έλικας 3 cm
- Διάμετρο 3.81972 cm
- Ακτίνα 1.90986 cm
- Μήκος Σπείρας 12.36932 cm
- Συνολικό Μήκος 36 cm

Με αυτές τις προδιαγραφές, οι οποίες προκύπτουν έπειτα από θεωρητικό υπολογισμό, η κεραία λειτουργεί στον αξονικό ρυθμό. Ο δίσκος που αποτελεί τη γείωση της κεραίας έχει σχεδιαστεί και αυτός όπως απαιτείται, ενώ έχει επιλεγεί κατάλληλα και η διάμετρος των συρμάτων ίση με $\lambda/200$, νούμερο το οποίο δεν παρουσιάζει πρόβλημα στην ανάλυση του NEC.

Πραγματοποιήθηκε παραμετρική ανάλυση της συχνότητας σε ένα εύρος συχνοτήτων από 1.25 έως 5 GHz, προκειμένου να υπολογιστεί η μεταβολή του μέτρου της Αντίστασης Εισόδου της κεραίας. Ο υπολογισμός έγινε χρησιμοποιώντας Γραμμή Μεταφοράς 50Ω, και έγινε έτσι ώστε να βρεθεί μια καλύτερη Γραμμή Μεταφοράς.

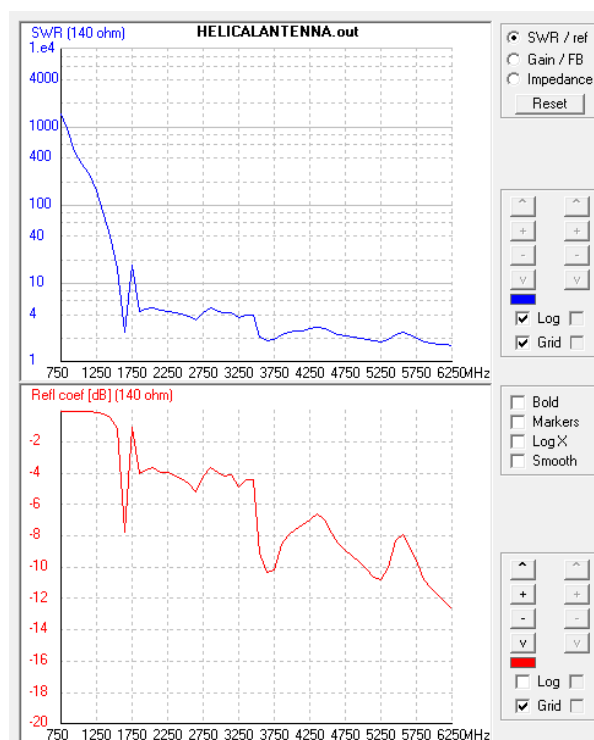
Όπως φαίνεται, το φανταστικό μέρος της Αντίστασης Εισόδου μηδενίζεται στα 140Ω, οπότε και επιλέχθηκε Γραμμή Μεταφοράς με Χαρακτηριστική Αντίσταση 140Ω.



Εικόνα 2.11 Αντίσταση Εισόδου με Γ.Μ. 50Ω

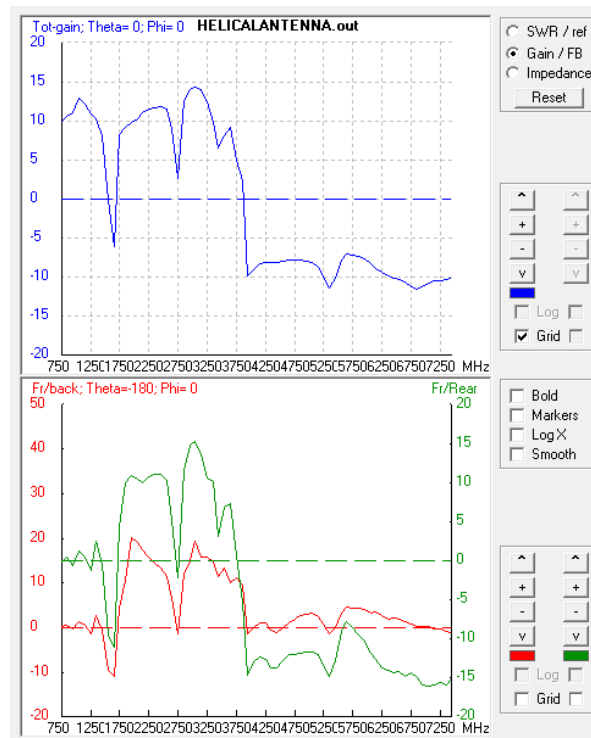
3β.Μέτρο Συντελεστή Ανάκλασης

Αφού επιλέχθηκε η Χαρακτηριστική Αντίσταση Γραμμής Μεταφοράς να είναι ίση με 140Ω, έγινε παραμετρική ανάλυση συχνότητας, έτσι ώστε να απεικονιστεί το Μέτρο του Συντελεστή Ανάκλασης. Αυτή τη φορά η ανάλυση πραγματοποιήθηκε σε ένα εύρος συχνοτήτων από 0.75 έως 6.25 GHz.



Εικόνα 2.12 Μέτρο του Συντελεστή Ανάκλασης με Γ.Μ.140Ω στο εύρος 0.75-6.25 GHz

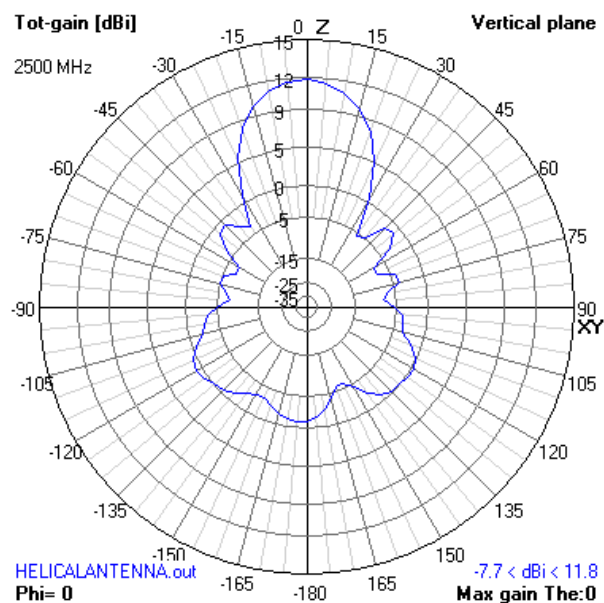
Παρατηρείται ότι ο Συντελεστής Ανάκλασης εμφανίζει τιμές, αν και οριακά, κάτω του 2 για τις συχνότητες 3.5-3.8 και 5-5.3 GHz. Ταυτόχρονα, η κεραία παρουσιάζει κέρδος 11.38 dB σε ένα εύρος συχνοτήτων 5.25-5.5 GHz. Ένα εύρος συχνοτήτων 250 MHz είναι μεγάλο, ωστόσο σύμφωνα με τον αυστηρό ορισμό που θέλει το λόγο της μέγιστης ως προς την ελάχιστη συχνότητα ίσο με 1.8, η κεραία αποτυγχάνει ως ευρυζωνική (να σημειωθεί ότι και εδώ έχει γίνει κάποιο λάθος στην κατασκευή της γεωμετρίας της κεραίας).



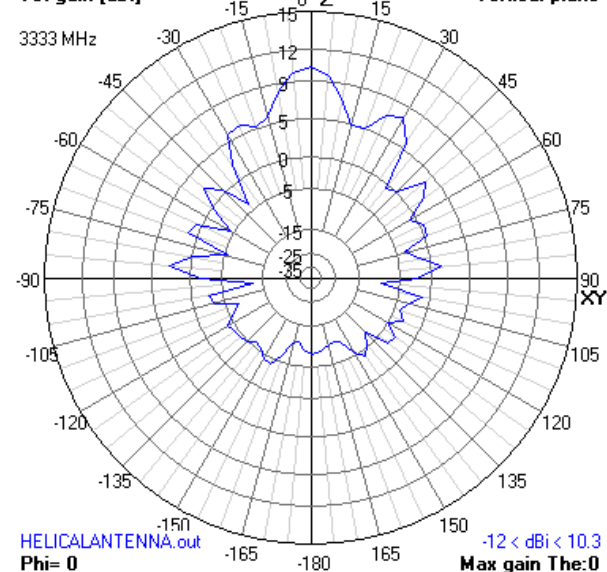
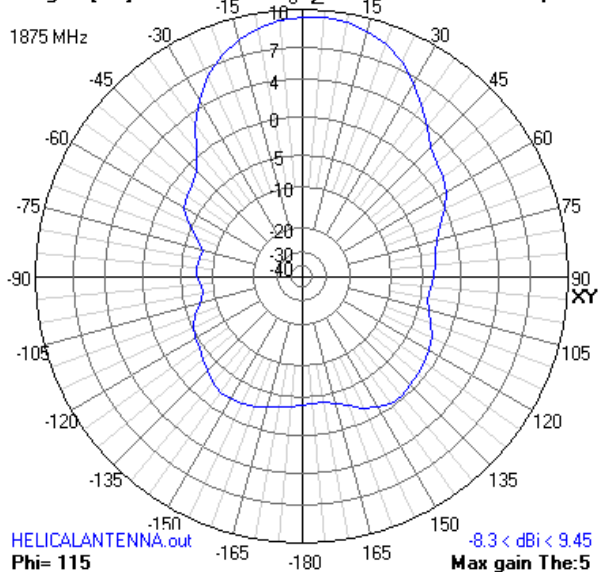
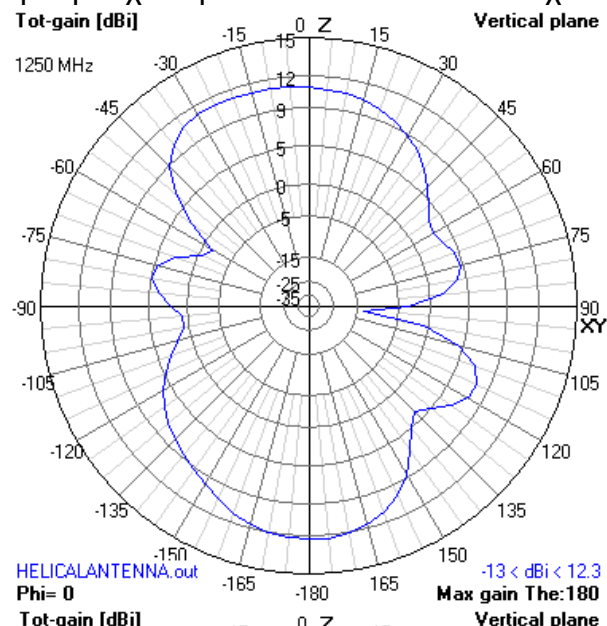
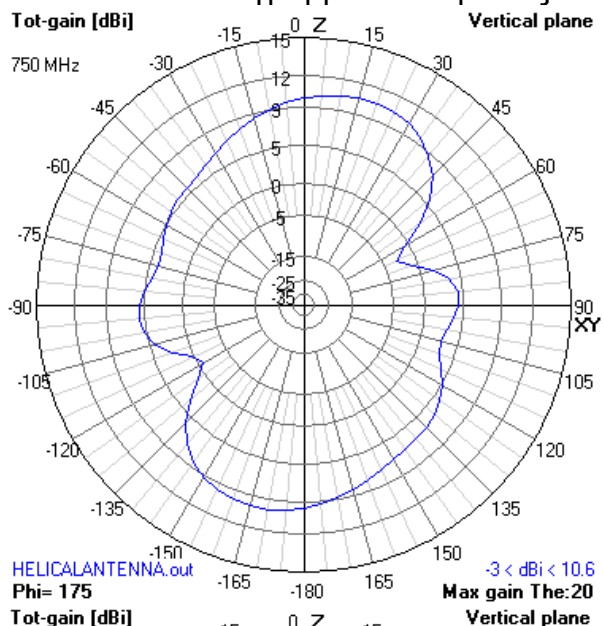
Εικόνα 2.13 Κέρδος στο εύρος 0.75-7.5 GHz

3γ. Διαγράμματα Ακτινοβολίας

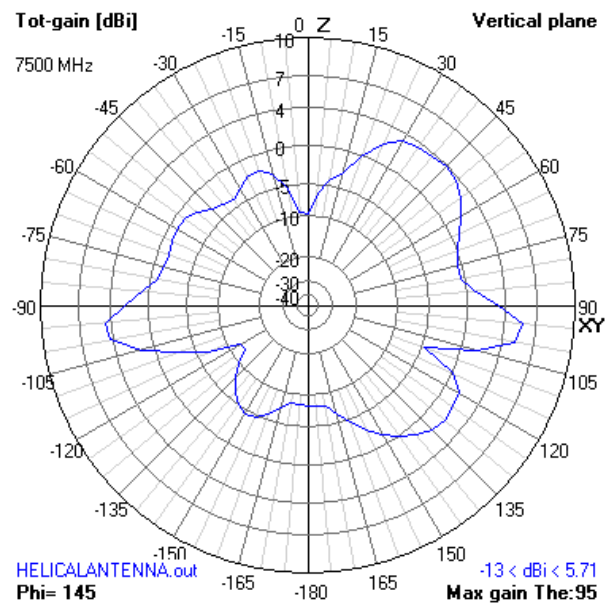
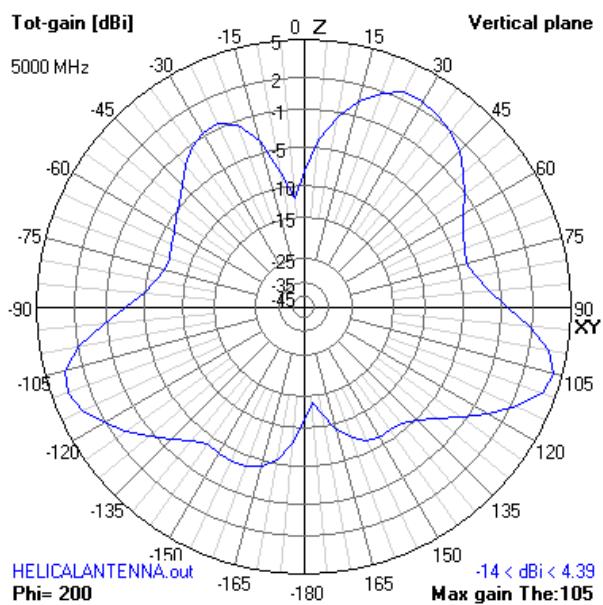
Τελειώνοντας το τρίτο κεφάλαιο, παρατίθενται τα 2D και 3D διαγράμματα ακτινοβολίας για τις συχνότητες 0.75, 1.25, 1.875, 2.5, 3.333, 5 και 7.5 GHz. Στην κεντρική συχνότητα των 2.5 GHz παρατηρείται ένας κεντρικός λοβός ύψους 11.75 dB, ενώ στις υπόλοιπες συχνότητες το Διάγραμμα Ακτινοβολίας εκφυλίζεται και η λειτουργία της κεραίας παύει να είναι ομαλή.



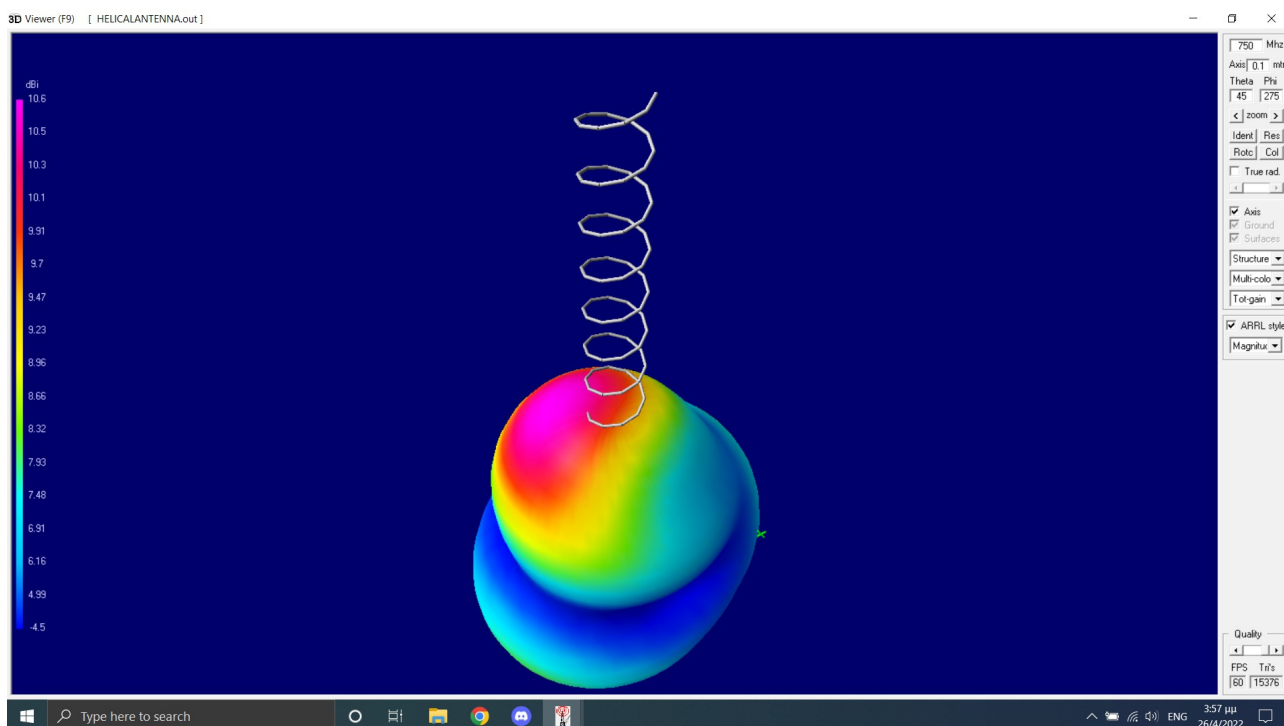
Εικόνα 2.14 Διάγραμμα Ακτινοβολίας στην κεντρική συχνότητα των 2.5 GHz αντίστοιχα



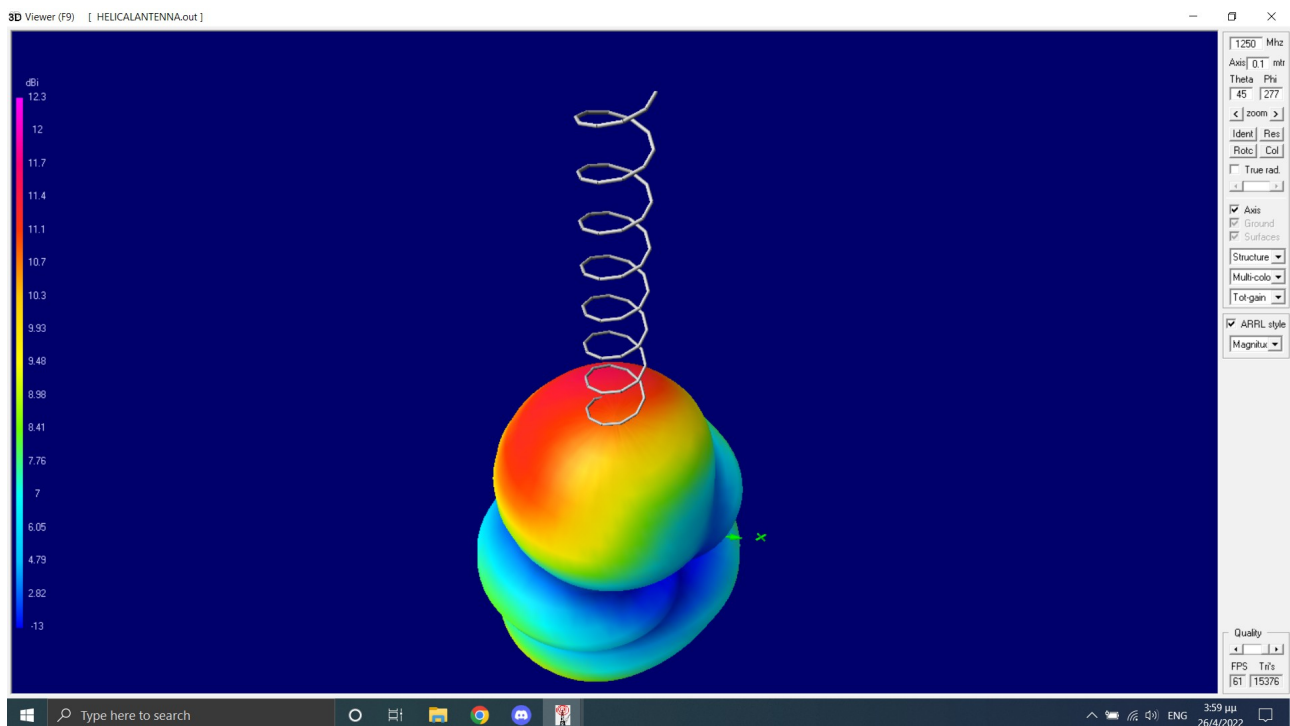
Εικόνα 2.15 Διάγραμματα Ακτινοβολίας στα 0.75, 1.25, 1.875 και 3.333 GHz αντίστοιχα



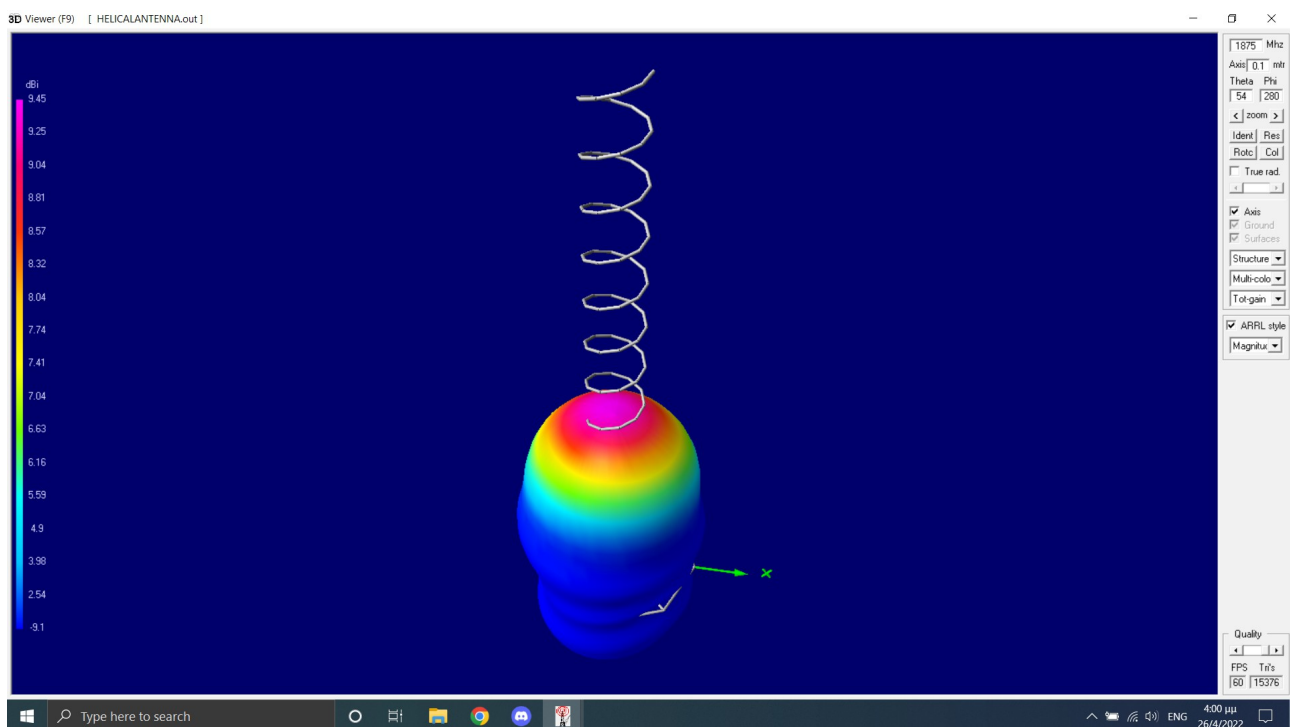
Εικόνα 2.16 Διάγραμμα Ακτινοβολίας στα 5 και 7.5 GHz αντίστοιχα



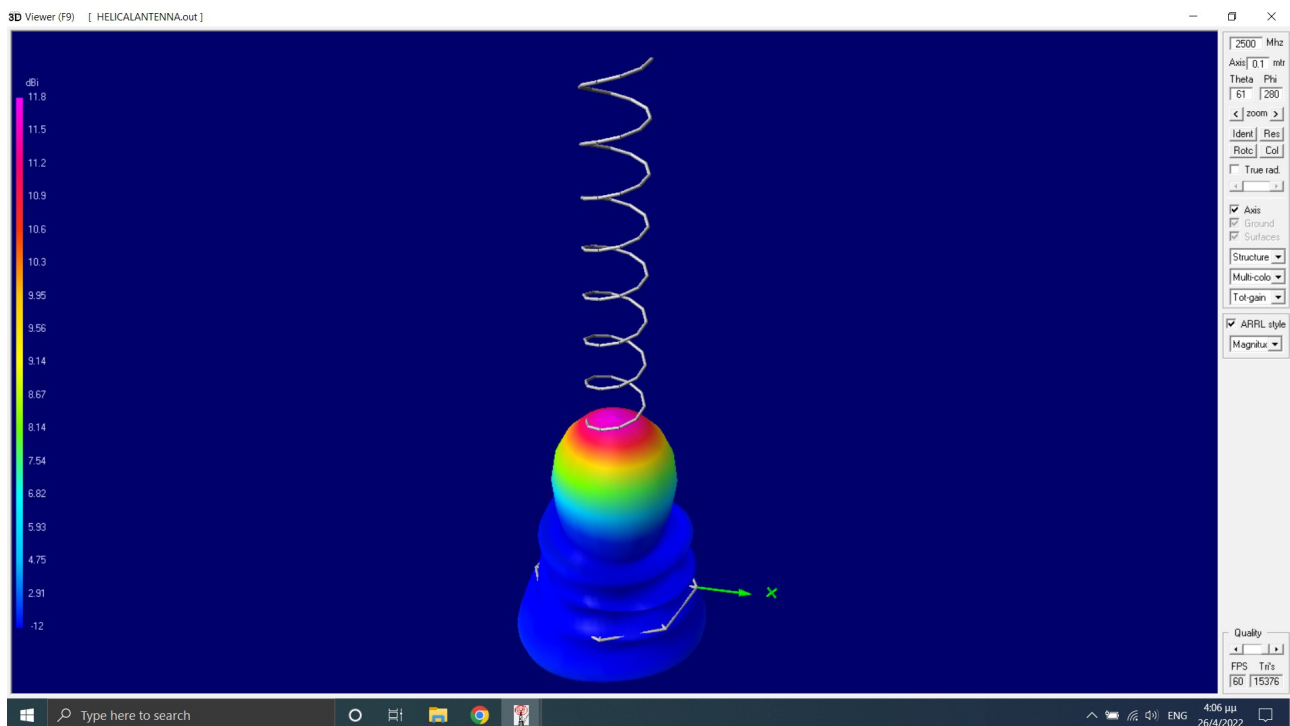
Εικόνα 2.17 3D Διάγραμμα Ακτινοβολίας στα 0.75 GHz



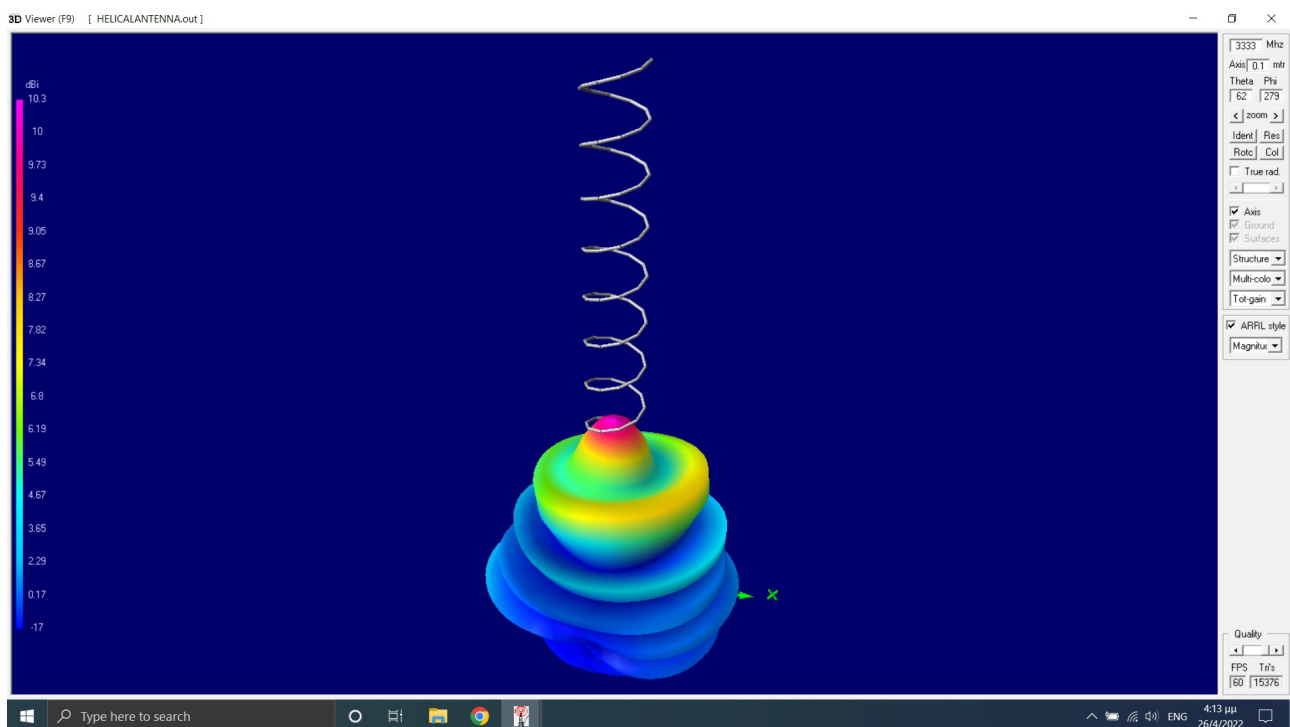
Εικόνα 2.18 3D Διάγραμμα Ακτινοβολίας στα 1.25 GHz



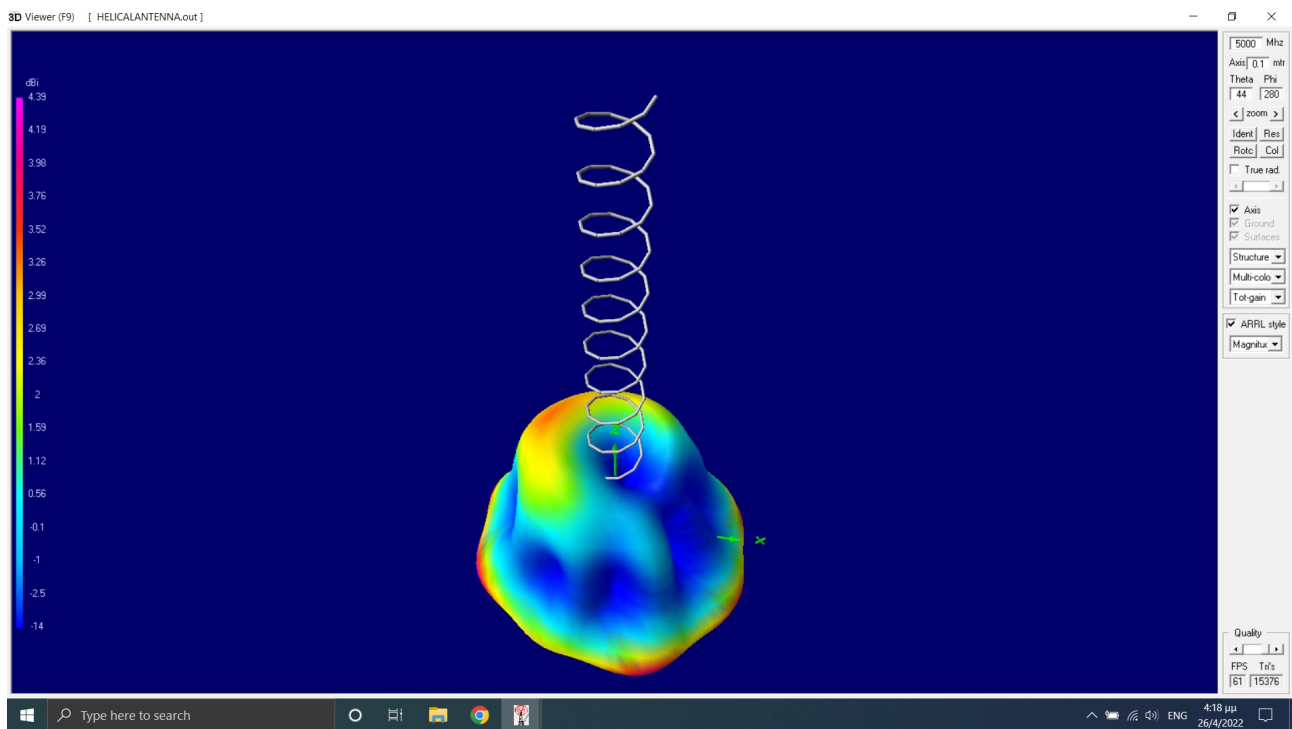
Εικόνα 2.19 3D Διάγραμμα Ακτινοβολίας στα 1.875 GHz



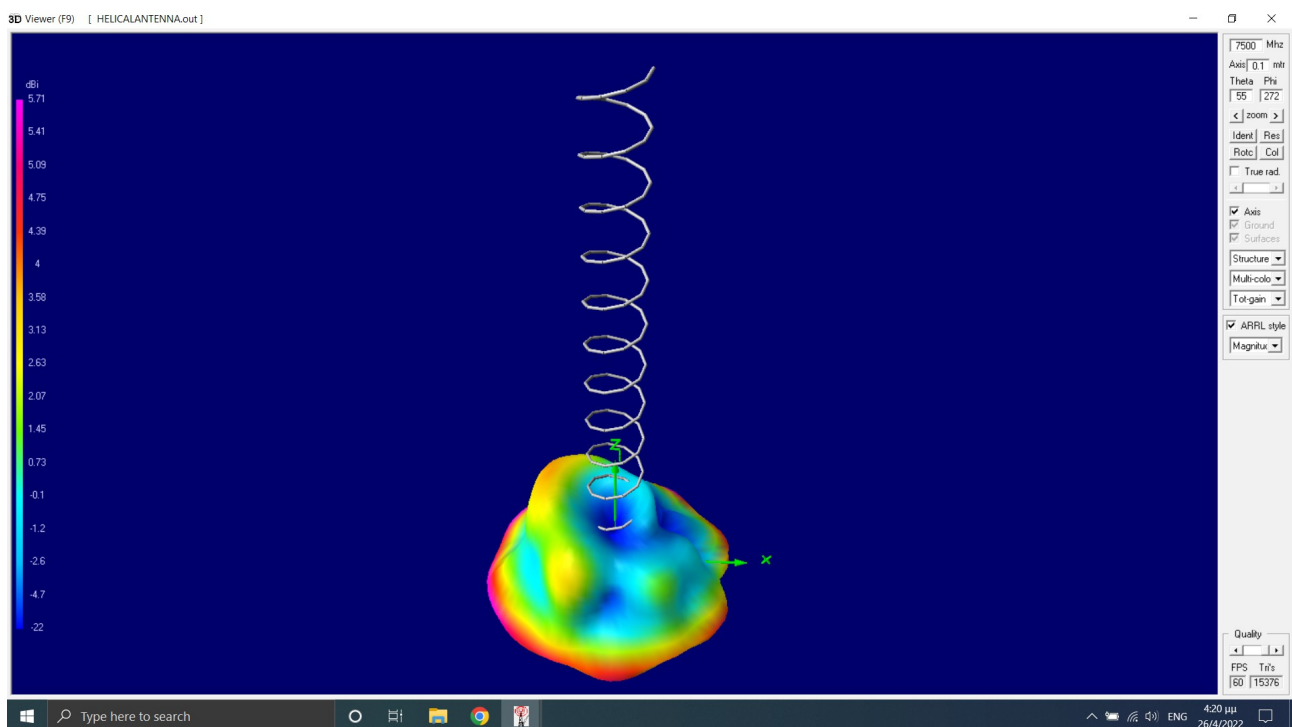
Εικόνα 2.20 3D Διάγραμμα Ακτινοβολίας στην κεντρική συχνότητα των 2.5 GHz



Εικόνα 2.21 3D Διάγραμμα Ακτινοβολίας στα 3.333 GHz



Εικόνα 2.22 3D Διάγραμμα Ακτινοβολίας στα 5 GHz



Εικόνα 2.23 3D Διάγραμμα Ακτινοβολίας στα 7.5 GHz

4.Βιβλιογραφία

1. C. A. Balanis, *Antenna Theory: Analysis and Design*, 4th Edition, John Wiley & Sons, 2016
2. Τ. Β. Γιούλτσης και Ε. Ε. Κριεζής, *Μικροκύματα, Θεωρία και Εφαρμογές*, Εκδόσεις Τζιόλα, 2016