



ΕΙΔΙΚΕΣ ΚΕΡΑΙΕΣ

ΣΕΙΡΑ 1 – ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΚΕΡΑΙΩΝ ΜΕ ΤΟ NEC



MARCH 21, 2019

ΠΑΛΑΣΚΟΣ ΜΑΡΙΟΣ (8492)

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Η/Υ – ΤΟΜΕΑΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

----- οι κώδικες βρίσκονται στον παρακάτω σύνδεσμο -----
<https://www.dropbox.com/sh/be2kdh68seolb80/AAD3ktGL87HA1NTyfT3BmyiGa?dl=0>

ΑΣΚΗΣΗ 1 ($\lambda_0 = 1 \text{ m}$, $f_0 = 300 \text{ MHz}$)

(a) Δημιουργία κεραίας

Η συνάρτηση **NecMatrixCalculation(r, l, th0, d)** δέχεται ως ορίσματα τις ζητούμενες μεταβλητές και κατασκευάζει τη μορφή του αρχείου .txt αλλά σε μορφή πίνακα (δηλαδή χωρίς το αρχικό GW). Επομένως, έχει 9 στήλες και 17 γραμμές από τις οποίες οι 8 πρώτες αναφέρονται στα wires του κυκλικού δίσκου, η 9^η στο wire τροφοδοσίας και οι τελευταίες 8 στα wires του κώνου. Ωστόσο, στον κώδικα, η συμπλήρωση των στοιχείων του πίνακα έγινε κατά στήλες, διότι τα "patterns" ήταν πιο φανερά (διευκόλυνση λόγω των μηδενικών).

Στο script **Discone_Antenna** δίνονται τιμές στα ορίσματα της παραπάνω συνάρτησης και δημιουργείται το αρχείο **discone.nec**, στο οποίο γράφονται οι γραμμές του πίνακα που δημιουργεί η συνάρτηση, οι οποίες στην αρχή συμπληρώνονται από το string "GW".

Το πλήθος των segments προσδιορίστηκε ως εξής:

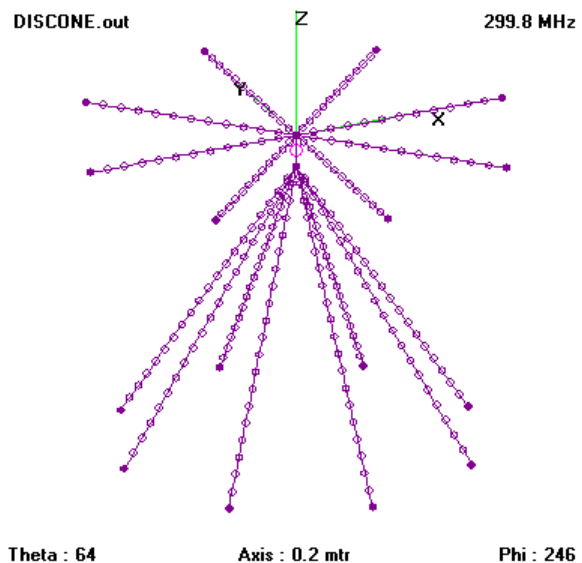
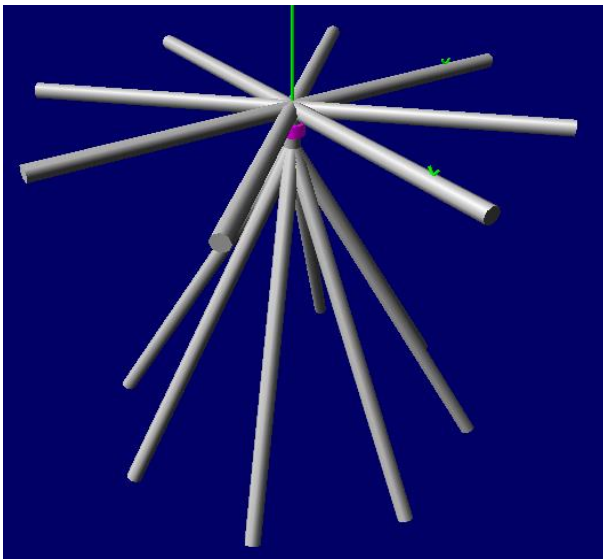
Πρέπει το μήκος των segments (ls) να είναι μικρότερο από $\lambda/10$ στη μεγαλύτερη συχνότητα:

$$ls \leq \frac{\lambda}{10} \text{ σε } f_{max} \rightarrow ls \leq \frac{c}{10f_{max}} \xrightarrow{f_{max}=4f_0} ls \leq \frac{c}{40f_0} \Rightarrow ls \leq \frac{\lambda_0}{40}$$

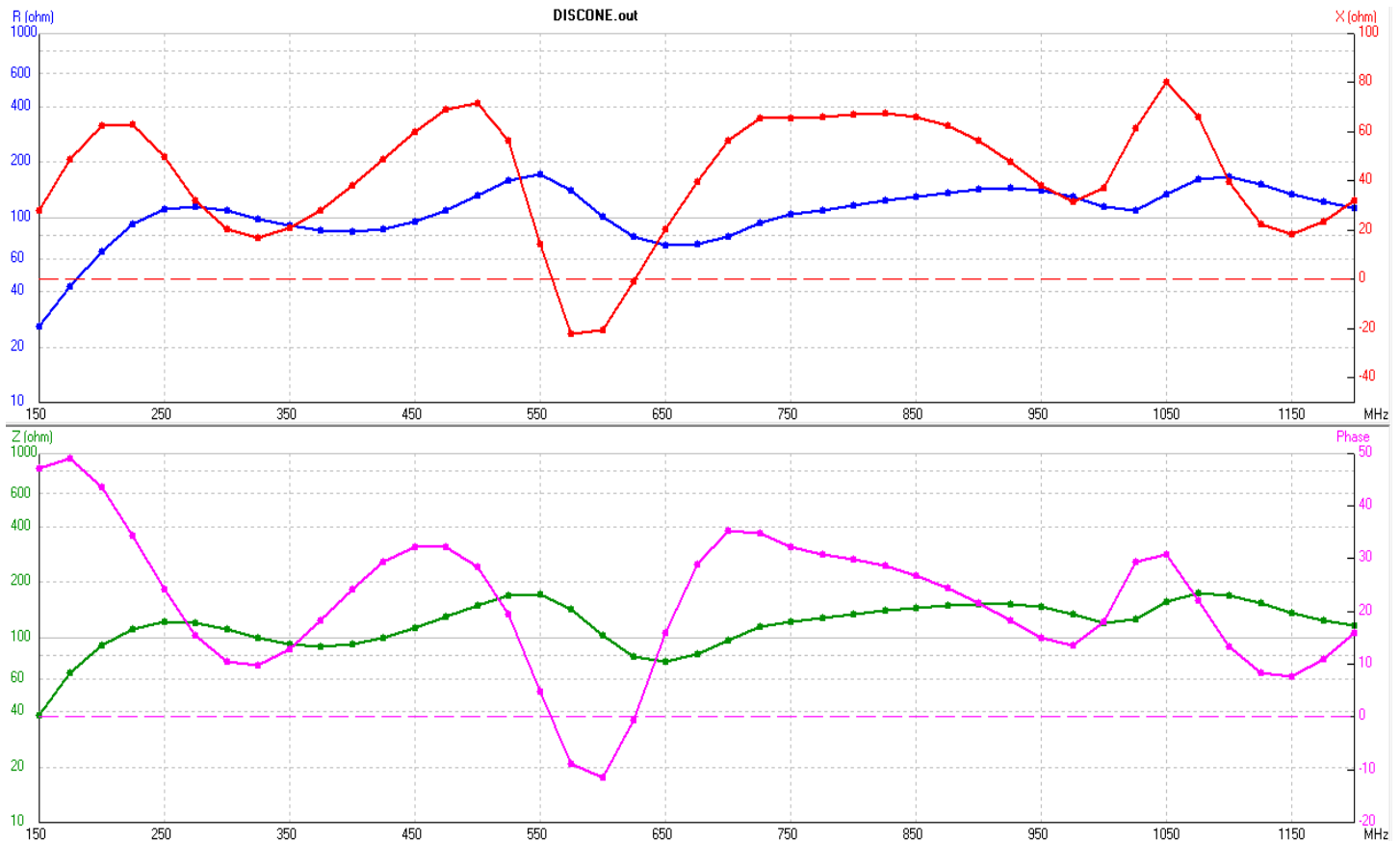
$$\text{κυκλικός δίσκος: } r = \frac{3\lambda_0}{10}, \text{ άρα πρέπει } \frac{3\lambda_0}{10} \leq \frac{\lambda_0}{40} N_{seg}^{disc} \Rightarrow N_{seg}^{disc} \geq 12$$

$$\text{κώνος: } l = \frac{\lambda_0}{2}, \text{ άρα πρέπει } \frac{\lambda_0}{2} \leq \frac{\lambda_0}{40} N_{seg}^{cone} \Rightarrow N_{seg}^{cone} \geq 20$$

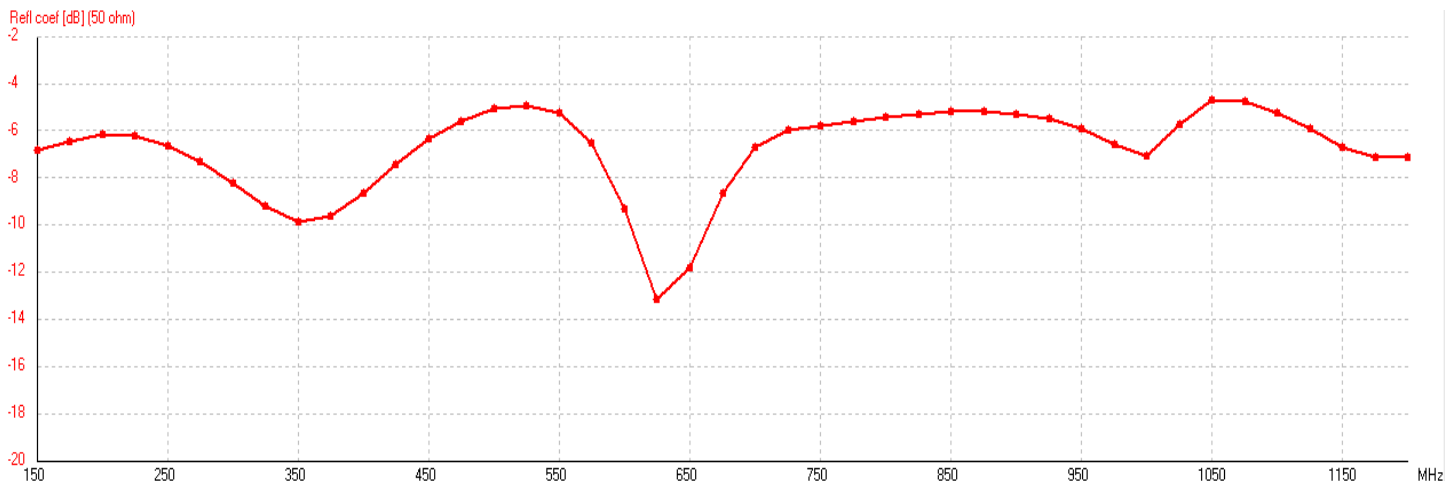
Επέλεξα: $N_{seg}^{disc} = 12$ και $N_{seg}^{cone} = 20$



(b) Απεικόνιση Z_{in} στο εύρος $0.5f_0 - 4f_0$ ($150\text{MHz} - 1.2\text{GHz}$) για $Z_0 = 50\Omega$



Αν απεικονίσουμε και το συντελεστή ανάκλασης, συμπεραίνουμε ότι δεν επιτελείται ευρυζωνική λειτουργία (εύρος ζώνης εκεί που $\text{refl_coef} < -10\text{dB}$)



Από το διάγραμμα του $|Z_{in}|$ συμπεραίνουμε ότι μια μέση τιμή της χαρακτηριστικής αντίστασης εισόδου είναι περίπου $|Z_{in}| = 120\Omega$. Το νέο διάγραμμα του συντελεστή ανάκλασης φαίνεται παρακάτω.

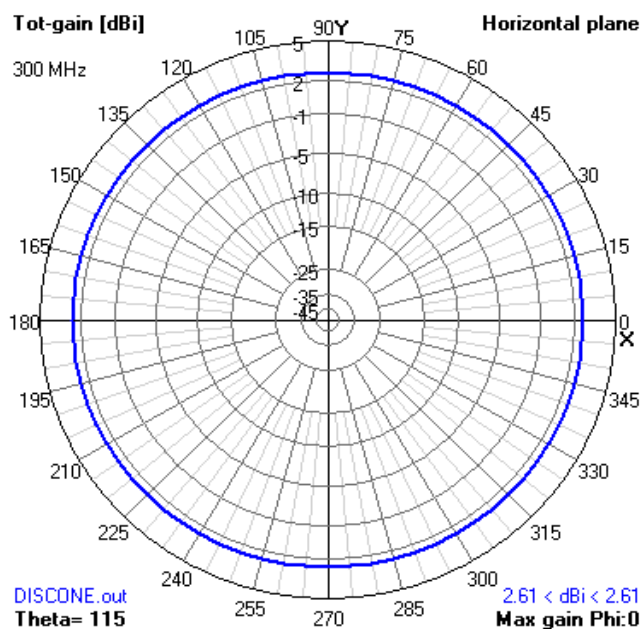
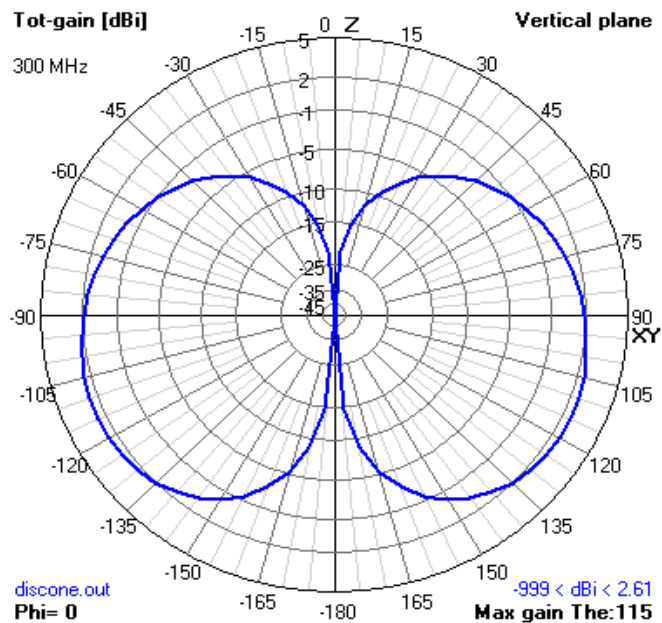


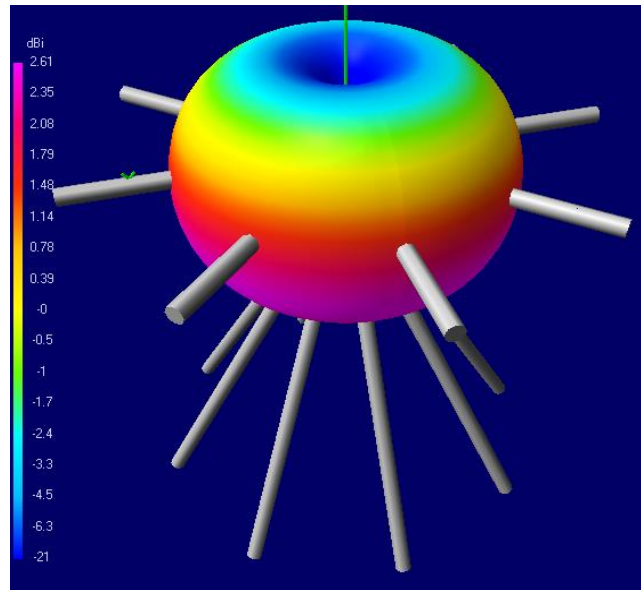
Παρατηρούμε ότι αυξήθηκε σημαντικά το εύρος ζώνης:

$$\frac{f_{max}}{f_{min}} \approx \frac{1200}{250} = 4.8 > 2 \text{ (πολύ ευρυζωνική)}$$

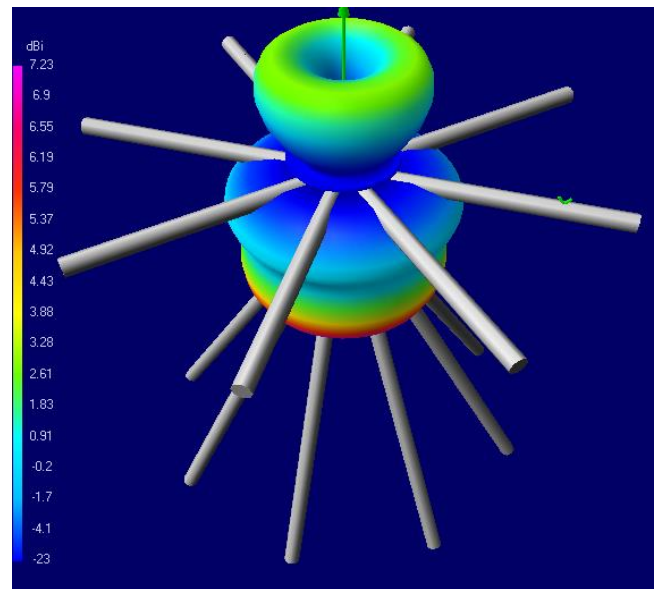
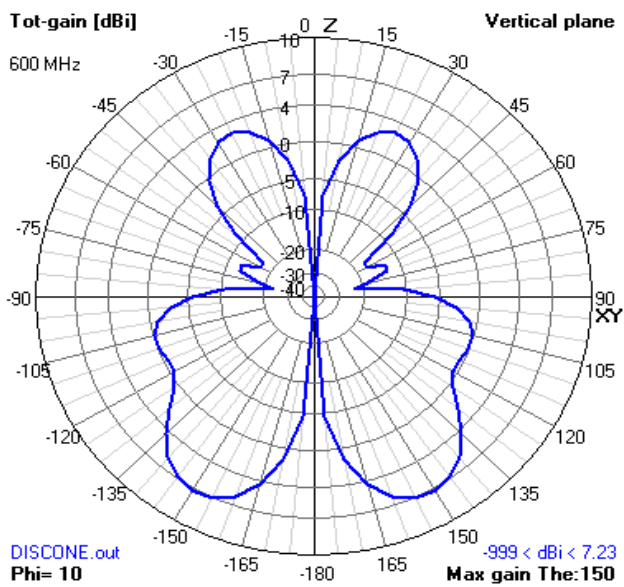
(c) Στο ερώτημα αυτό κατασκευάζονται τα διαγράμματα ακτινοβολίας για τις πρώτες τρεις αρμονικές της f_0

➤ $f_0 = 300\text{MHz}$

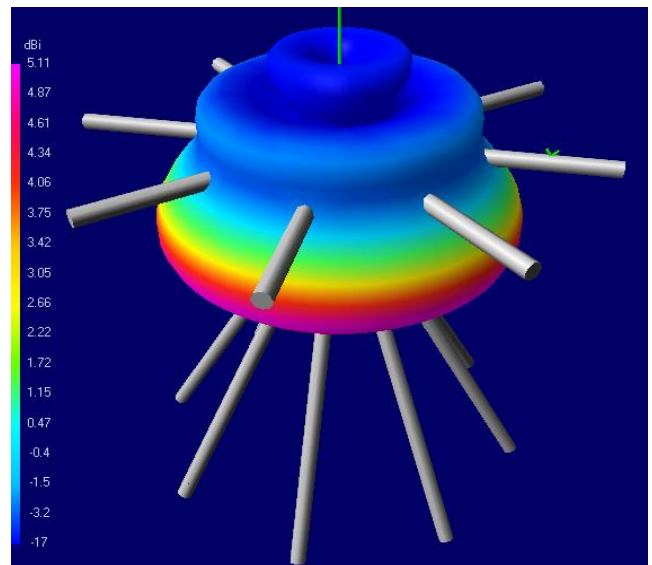
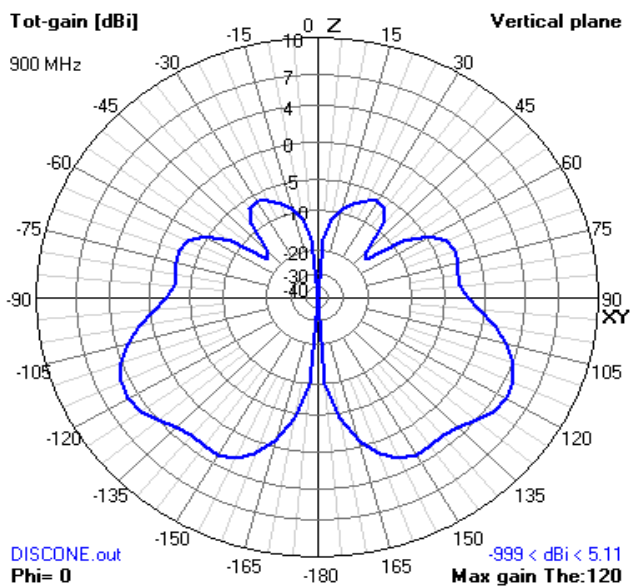




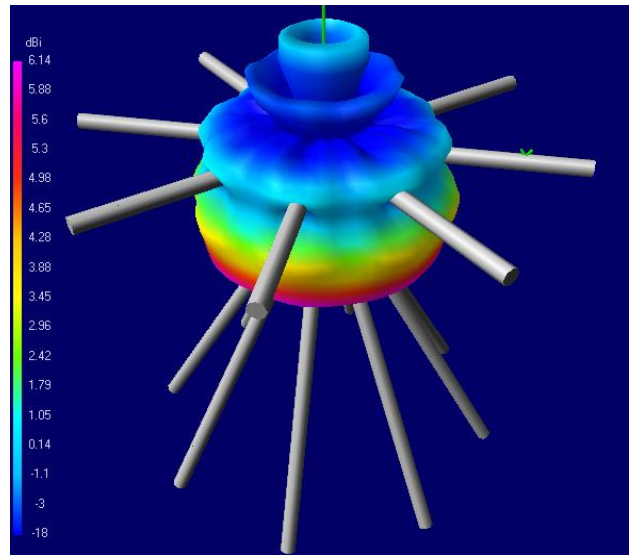
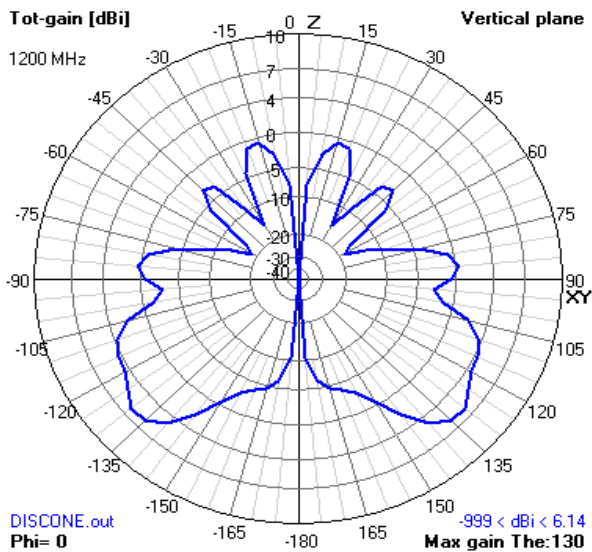
➤ $f_0 = 600\text{MHz}$



➤ $f_0 = 900\text{MHz}$



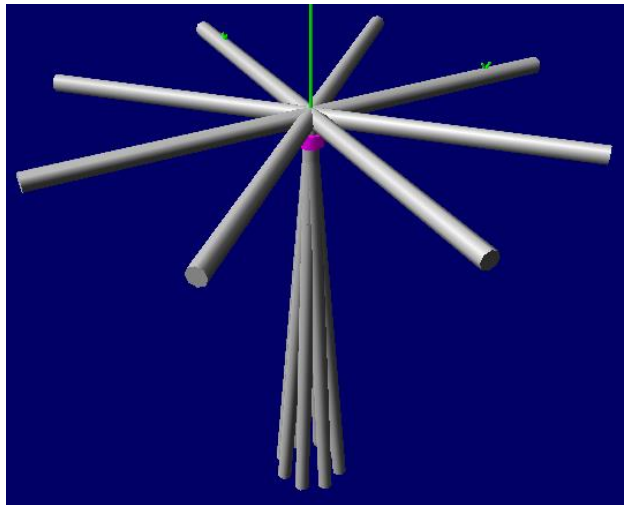
➤ $f_0 = 1200\text{MHz}$

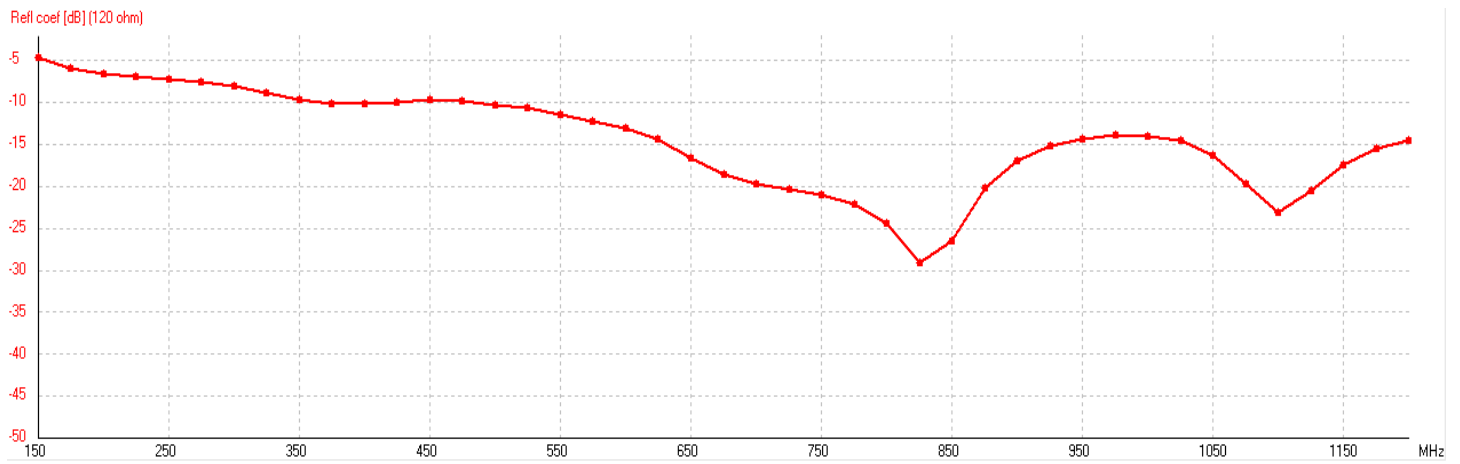


Το διάγραμμα ακτινοβολίας στις χαμηλότερες συχνότητες μοιάζει με αυτό ενός διπόλου $\lambda/2$, ενώ σε υψηλότερες συχνότητες οι λοβοί της κεραίας παρουσιάζουν μετατόπιση προς τα κάτω και τείνουν να στραφούν σε διεύθυνση παράλληλη προς την επιφάνεια του κώνου.

(d) Αλλάζοντας τη γωνία θ στο script **Discone_Antenna** παίρνουμε διαφορετικές κεραίες:

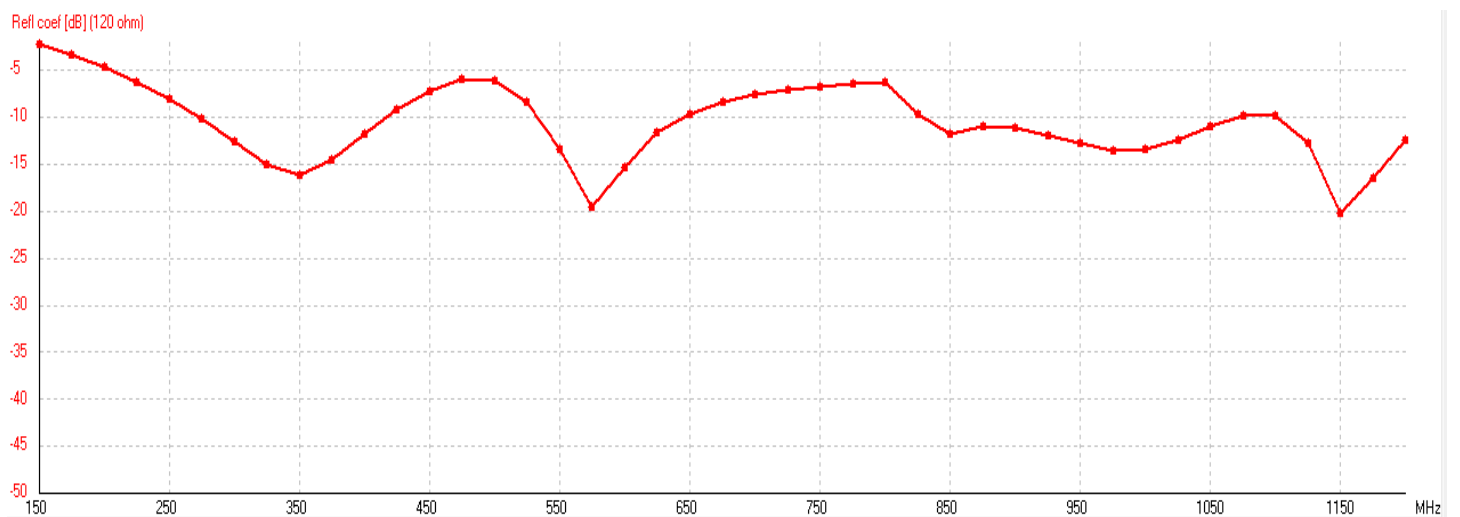
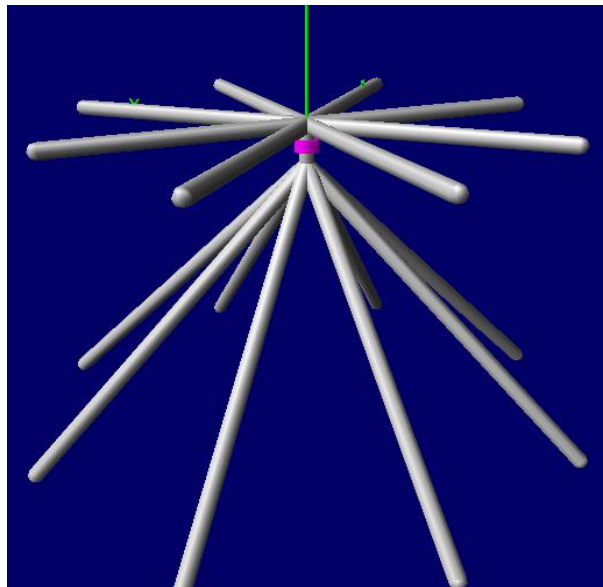
- $\theta = 5^\circ$ (discone5.nec)





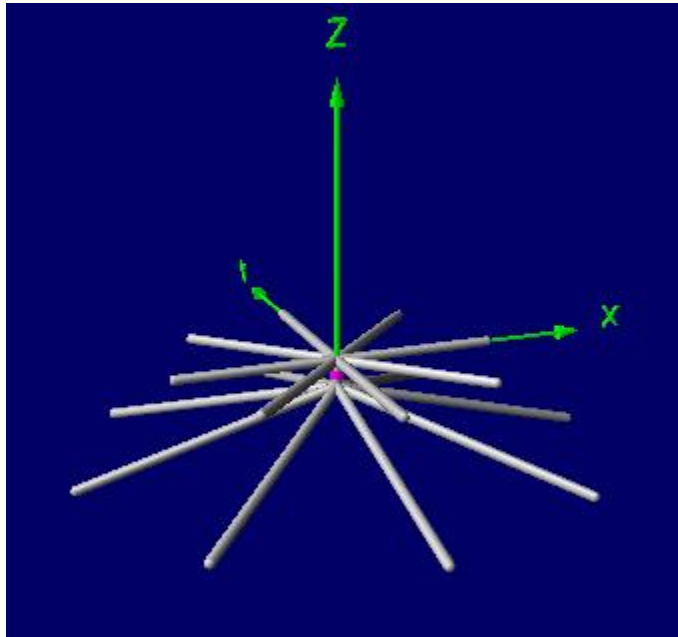
Καλή λειτουργία για $f > 450\text{MHz}$

- $\theta = 45^\circ$ (discone45.nec)



Περιοχή καλής λειτουργίας: $280 < f < 420$, $530 < f < 650$, $830 < f < 1200$ (MHz)

- $\theta = 75^\circ$ (discone75.nec)

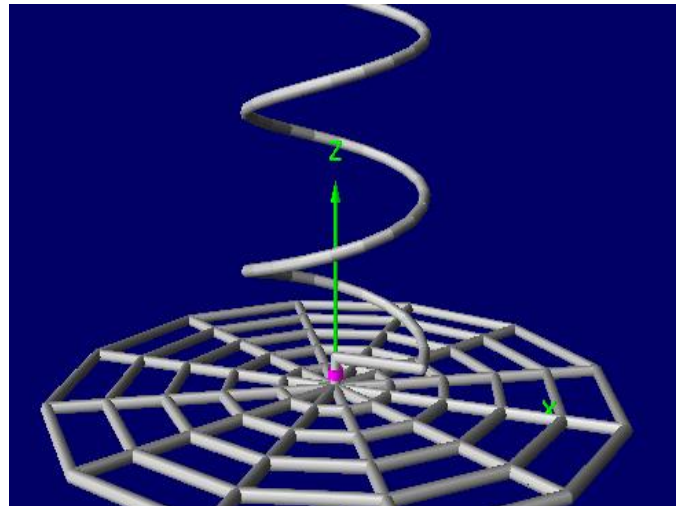
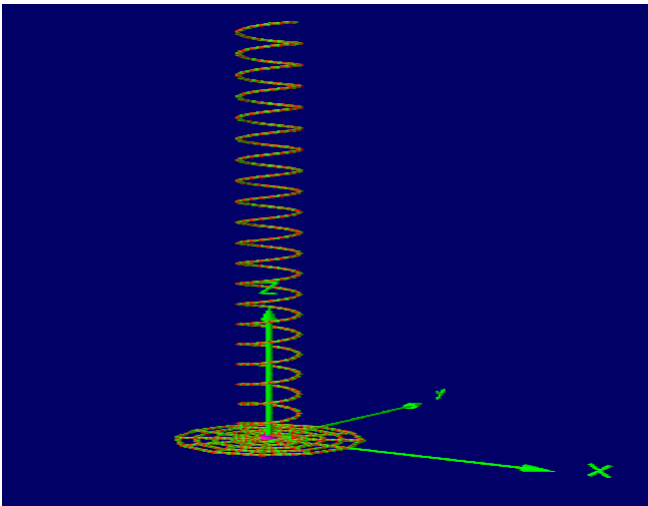


Περιοχή καλή λειτουργίας: $350 < f < 390$, $550 < f < 640$, $910 < f < 1110$ (MHz)

Παρατηρούμε ότι αυξάνοντας τη γωνία θ «χαλαρεί» η ευρυζωνικότητα της κεραίας, καθώς μειώνεται το εύρος συχνοτήτων στο οποίο ο συντελεστής ανάκλασης παραμένει κάτω από -10dB . Πιθανόν, αυτό να είναι αποτέλεσμα του γεγονότος ότι αυξάνοντας αρκετά το θ , ο κώνος τείνει να «εκφυλιστεί» σε κυκλικό δίσκο μεγαλύτερης ακτίνας, βέβαια, από εκείνη του άνω κυκλικού δίσκου. Συνεπώς, όσο μειώνεται η γωνία θ , η επίδραση του κώνου είναι πιο καθοριστική στη συμπεριφορά της κεραίας ως δισκο-κωνική. Λογικά με βελτιστοποίηση μέσω του nec μπορεί να βρεθεί η βέλτιστη τιμή της θ ώστε να έχουμε μέγιστο εύρος ζώνης (το οποίο λογικά θα είναι γύρω από τις 30° , διότι για $\theta = 5^\circ$ το εύρος ζώνης είναι πιο μικρό από ότι στις 30°)

ΑΣΚΗΣΗ 2 ($f_0 = 500\text{MHz}$)

Η κεραία σε 3D φαίνεται παρακάτω:



Για να εξασφαλίσουμε αξονικό ρυθμό, επιλέγουμε τις αντίστοιχες τιμές των διαφόρων παραμέτρων: $C = \lambda$ και $S = \frac{\lambda}{4}$. Στη συνέχεια προσδιορίζονται οι υπόλοιπες παράμετροι που θα χρησιμοποιηθούν στον builder.

- Ελικοειδής Κεραία (*Helix.nec*)

Patch Plane Box Cylinder Parabola Helix Sphere Help

Helix

Length L in mtr.

Radius R1 in cm.

Radius R2 in cm.

Number of turns

Segments per turn

☐ Left/Right handed

Number of helices

☒ Add center connections

Start with tagnumber

☐ Use auto-segmentation

☒ Use equal-area rule to set wire-radius

Manual wire radius mm (!)

Rotate X, Y, Z

Move X, Y, Z (!)

! = symbols also allowed

Exit Create

A diagram of a helical antenna. It shows a purple helix with a vertical axis labeled 'Z'. The length of the helix is labeled 'L' with a red arrow. The radius at the bottom is labeled 'R1' and at the top 'R2'. The number of turns is labeled 'number of turns' with a green arrow. A green coordinate system with x, y, and z axes is shown at the bottom.

- Ground (*Plane.nec*)

Patch Plane Box Cylinder Parabola Helix Sphere Help

Hat/Ground-plane

Radius R in mtr.

Start angle A1

Stop angle A2

Circular sections

Radial sections

Start with tagnumber

☐ Use auto-segmentation

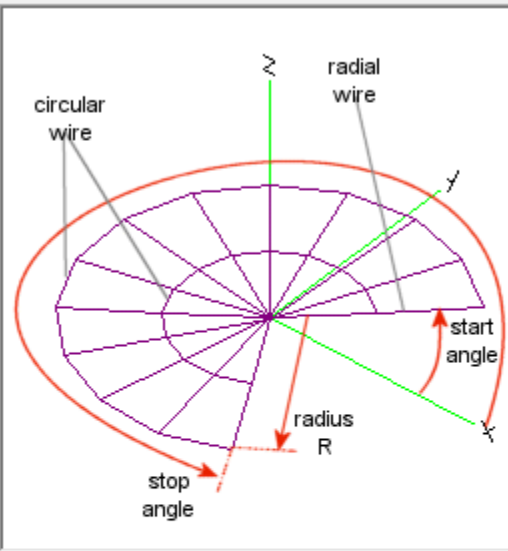
☒ Use equal-area rule to set wire-radius

Manual wire radius mm (!)

Rotate X, Y, Z

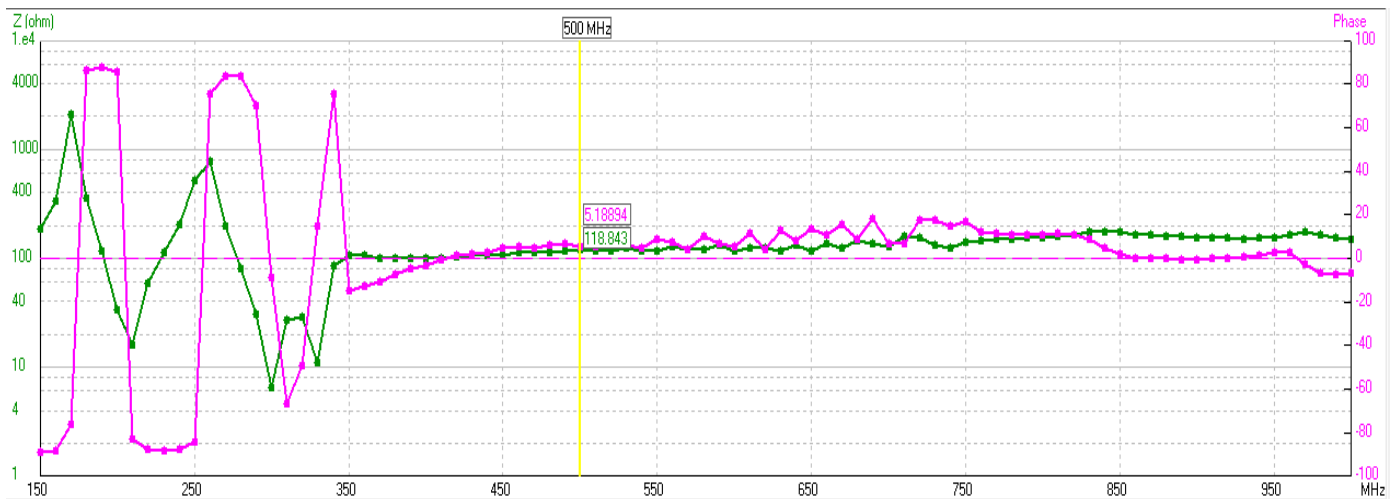
Move X, Y, Z (!)

! = symbols also allowed



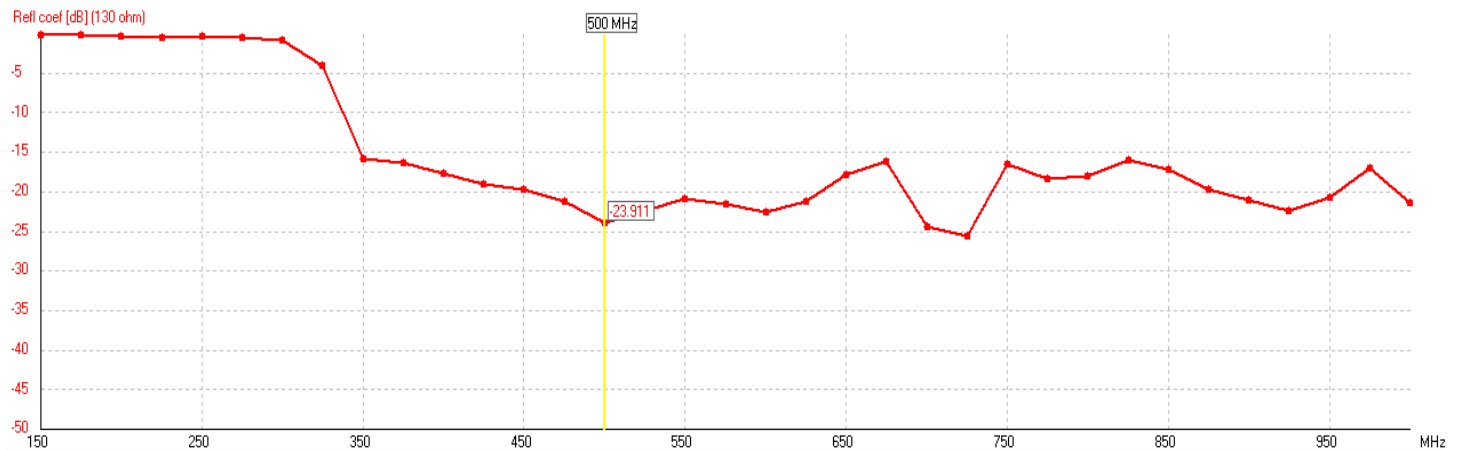
Στο αρχείο *Helix On Ground.nec* αντιγράψαμε το περιεχόμενο των παραπάνω δύο αρχείων (start with tagnumber → 1). Πρώτα αντιγράψαμε την ελικοειδή, η οποία αποτελείται από 402 wires. Το wire-403 είναι ένα segment που χρησιμοποιείται για τροφοδοσία (για το λόγο αυτό η ελικοειδής βρίσκεται σε ύψος $h = \lambda/20 = 0.03\text{m}$ από το έδαφος – άλλαξα το moveZ). Έτσι τα wires του ground πρέπει να μετράνε από το 404 (start with tagnumber → 404). Το *Helix On Ground.nec* είναι η ζητούμενη κεραία.

(α) Σχεδίαση Z_{in} για ένα εύρος $0.3f_0 - 2f_0$

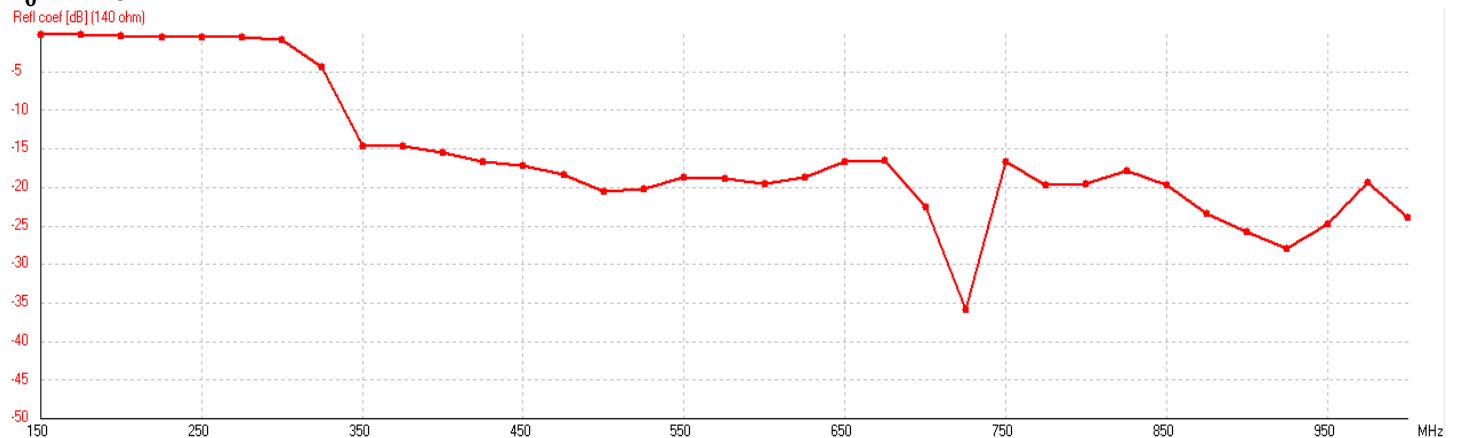


Παρατηρούμε ότι περίπου μετά τα 350MHz η αντίσταση εισόδου δεν μεταβάλλεται σημαντικά με μέση τιμή γύρω στα 145Ω . Μέγιστο $Z = 175.7\Omega$ στα 840MHz . Προκειμένου να επιλέξουμε την κατάλληλη χαρακτηριστική αντίσταση γραμμής τροφοδοσίας, βλέπουμε το διάγραμμα του συντελεστή ανάκλασης για διάφορες τιμές της αντίστασης:

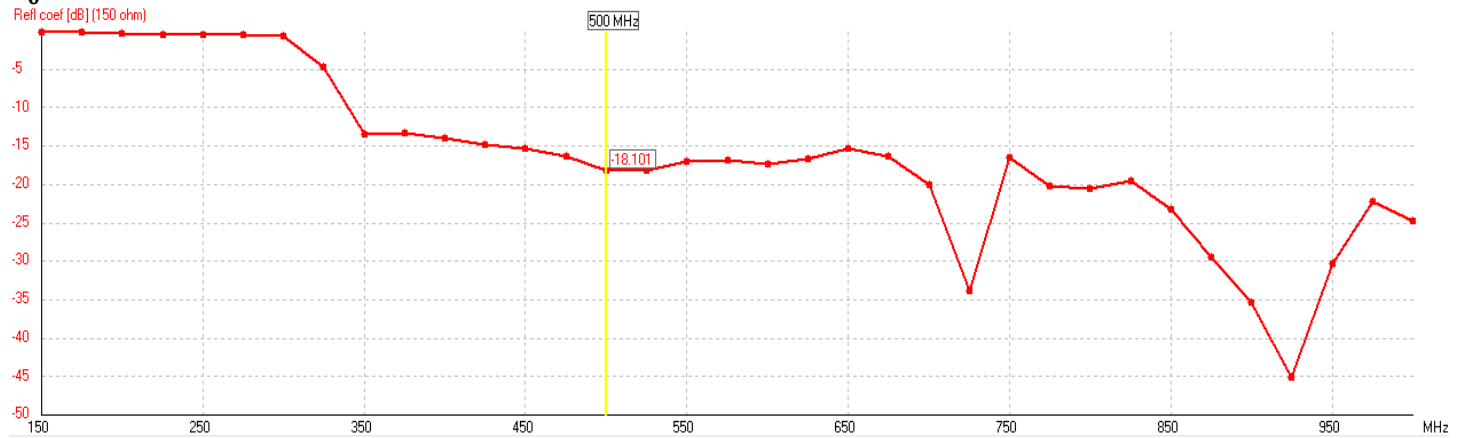
$Z_0 = 130\Omega$



$Z_0 = 140\Omega$



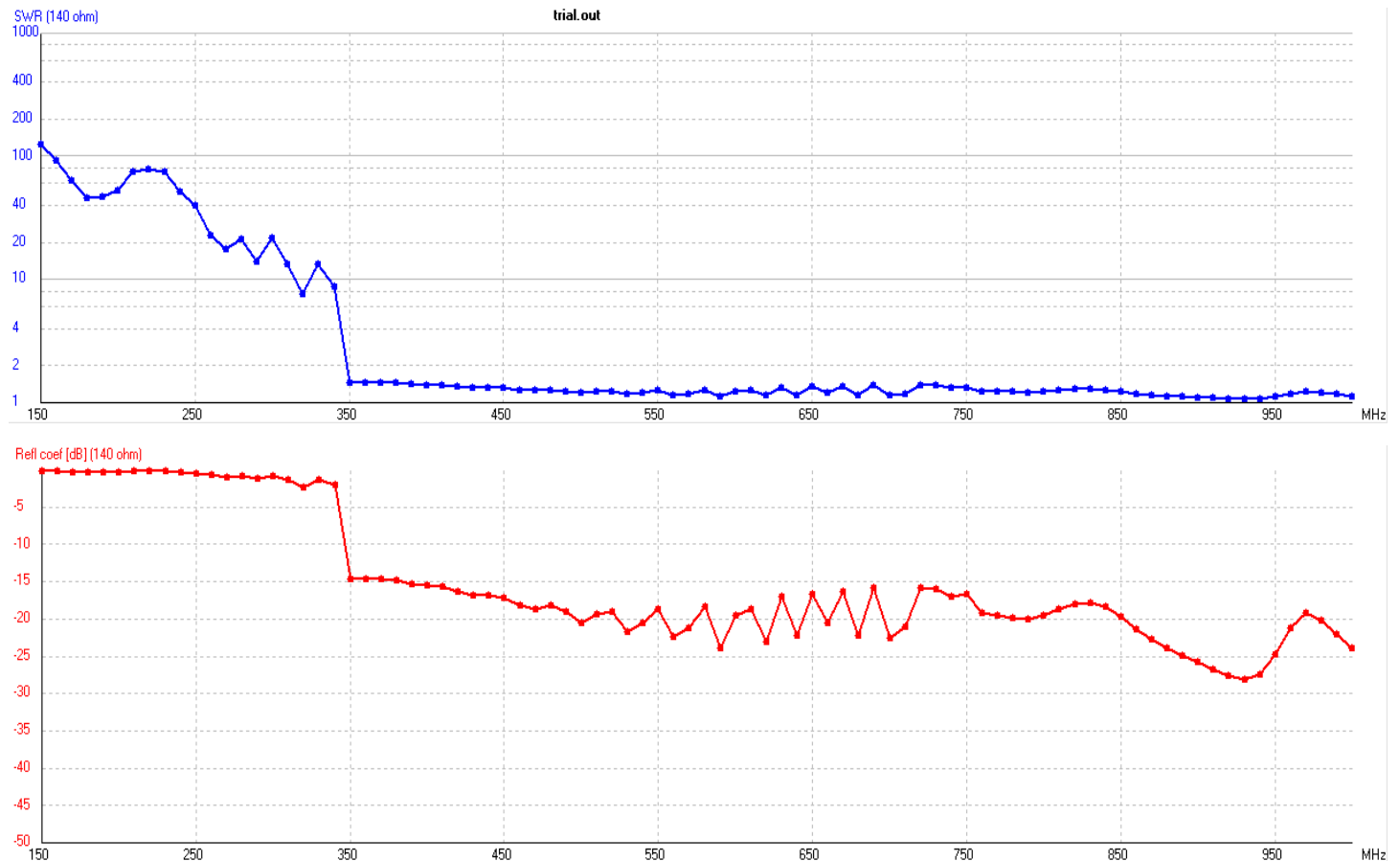
$$Z_0 = 150\Omega$$



Επιλέγω $Z_0 = 140\Omega$, όπως προβλέπεται και από την προσεγγιστική σχέση

$$R_{in} = 140 \frac{c}{\lambda} \Omega$$

(b) Για την τιμή αυτή της αντίστασης παρουσιάζονται παρακάτω και τα δύο διαγράμματα SWR και του συντελεστή ανάκλασης:



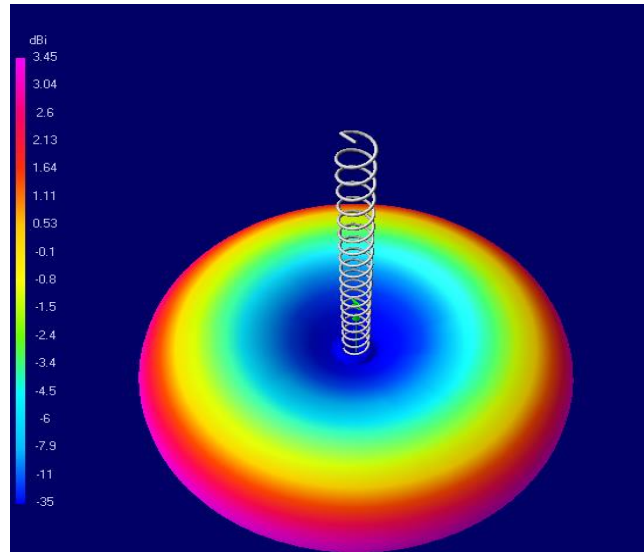
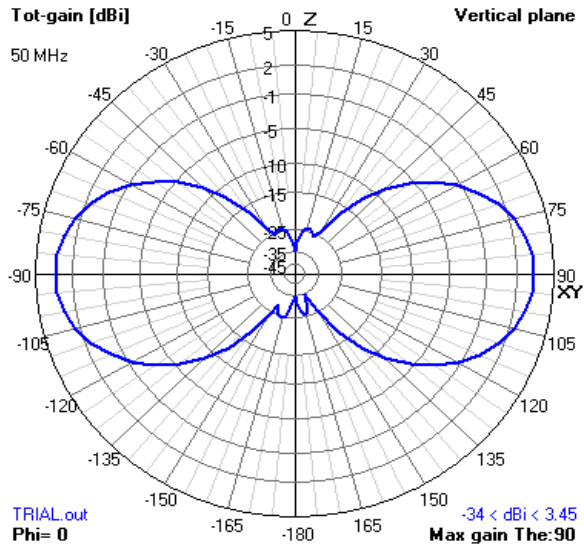
Επειδή οι επιθυμητές τιμές του συντελεστή ανάκλασης είναι μικρότερες από -10dB ($\text{SWR} < 2$), θεωρώ ως χαμηλότερη συχνότητα $f_{min} = 350\text{MHz}$. Οι συχνότητες πάνω από αυτή δίνουν καλό SWR. Συνεπώς:

$$\frac{f_{max}}{f_{min}} = \frac{1000}{350} \cong 2.85 > 2$$

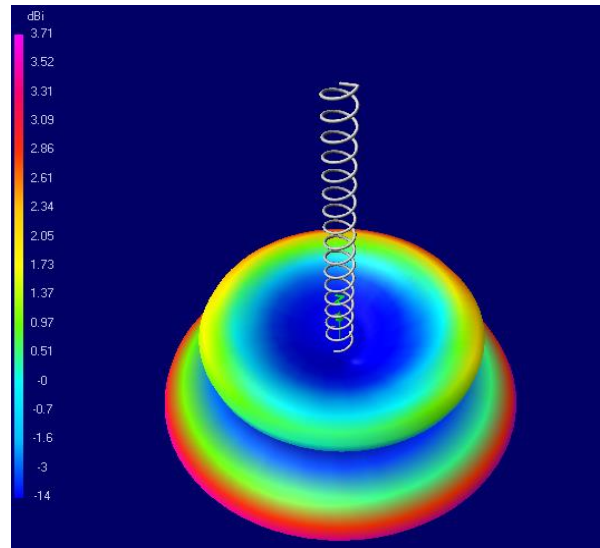
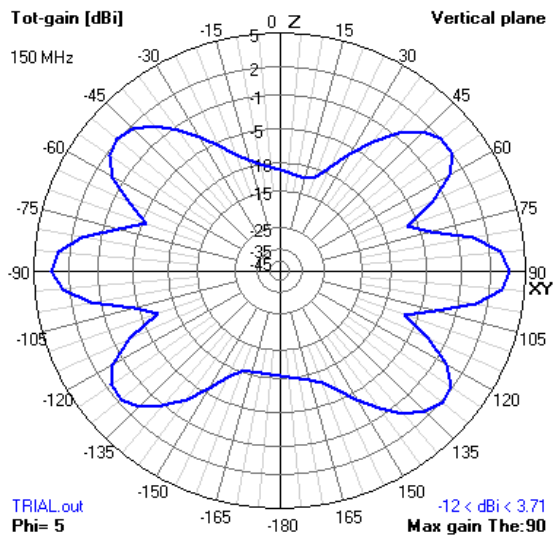
Επομένως η κεραία είναι ευρυζωνική.

(γ) ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

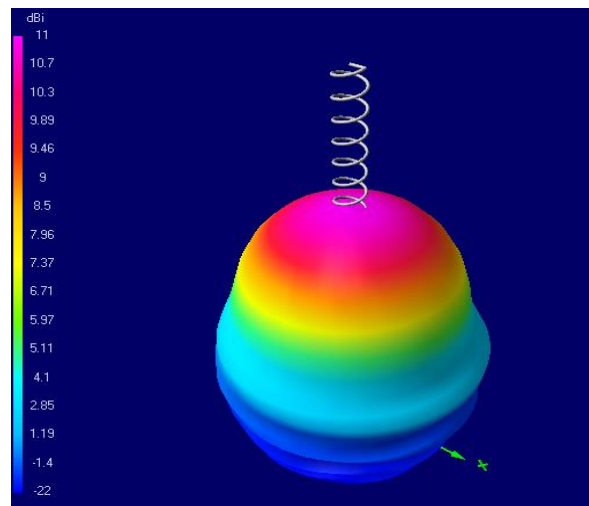
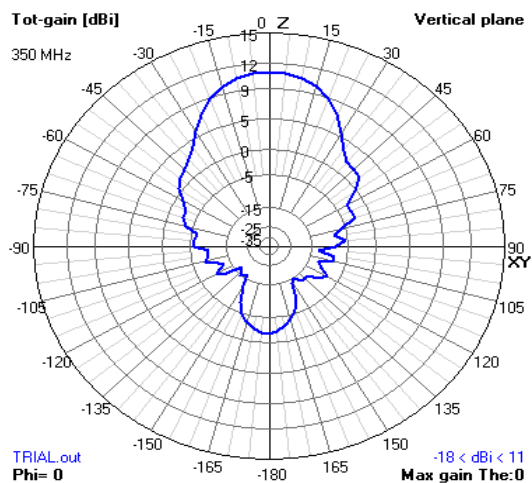
➤ $f_0 = 50\text{MHz}$



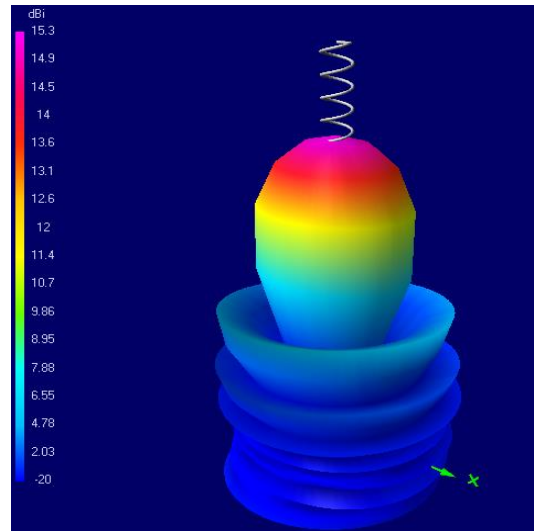
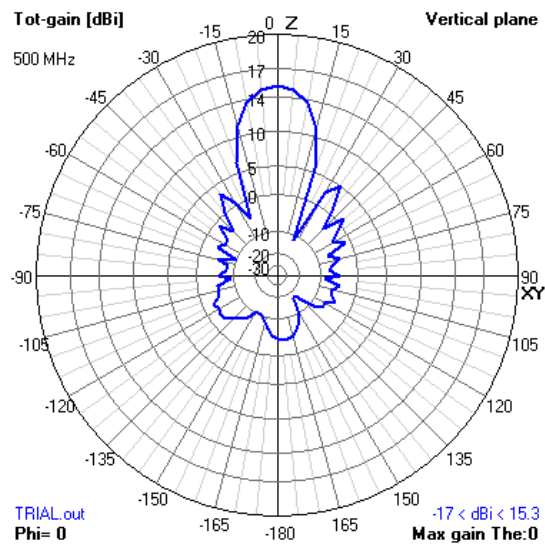
➤ $f_0 = 150\text{MHz}$



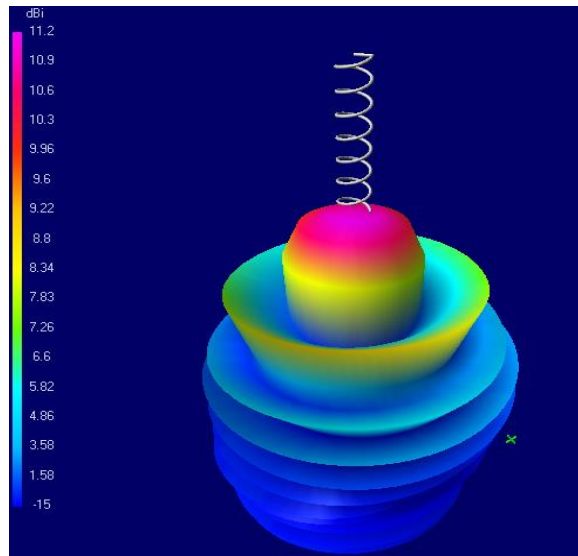
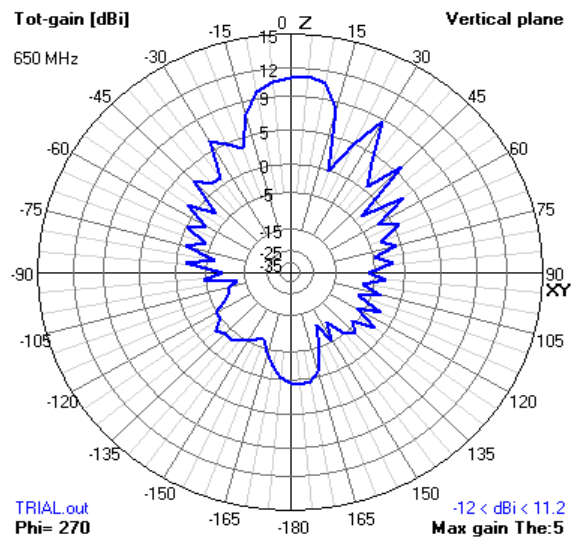
➤ $f_0 = 350\text{MHz}$



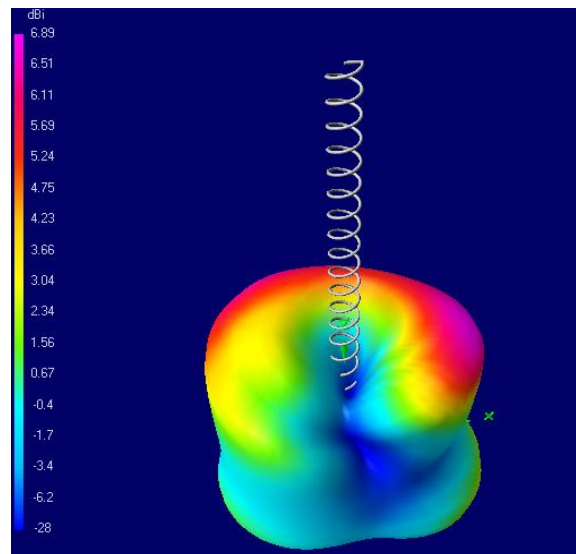
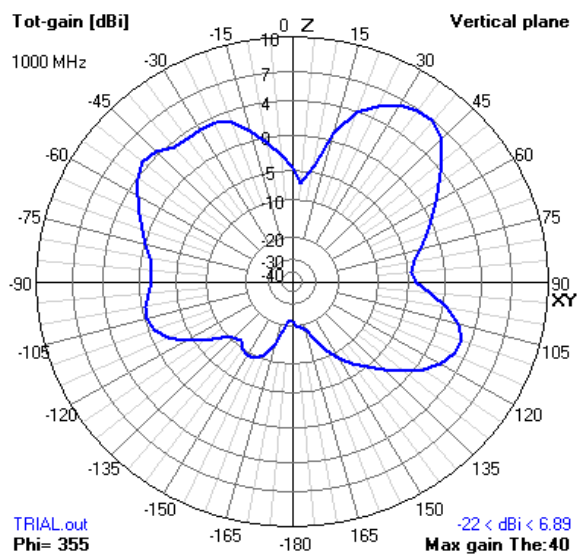
➤ $f_0 = 500\text{MHz}$



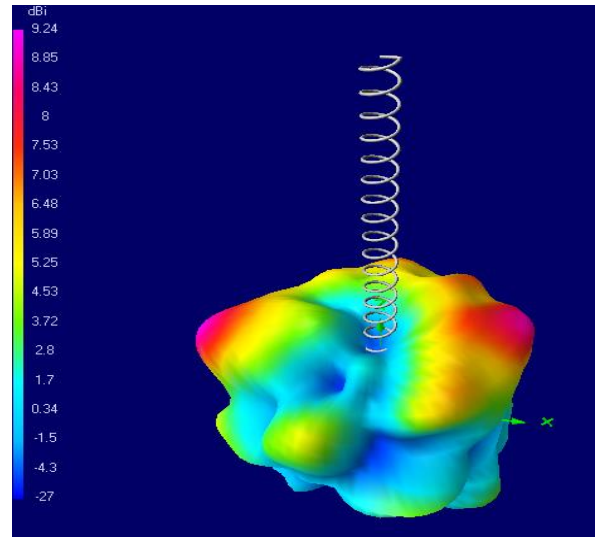
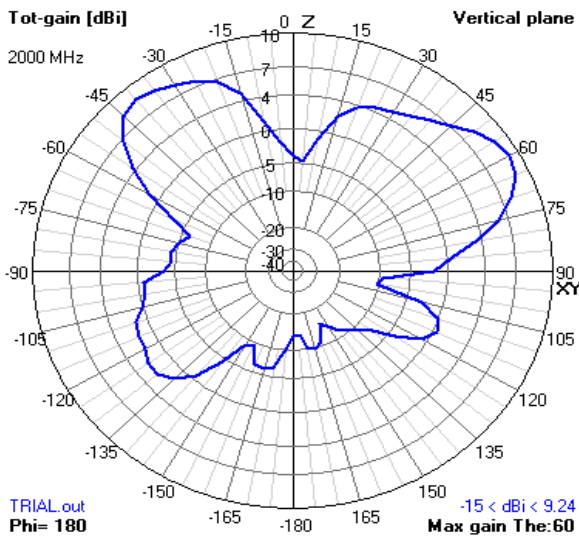
➤ $f_0 = 650\text{MHz}$



➤ $f_0 = 1000\text{MHz}$



➤ $f_0 = 2000\text{MHz}$

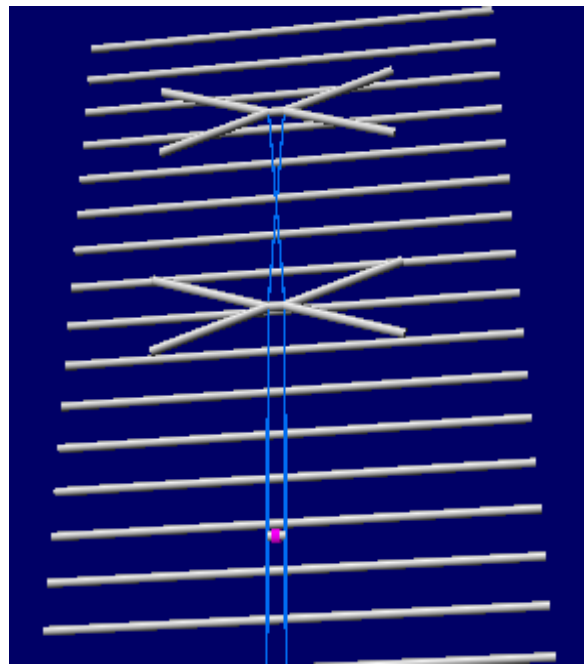
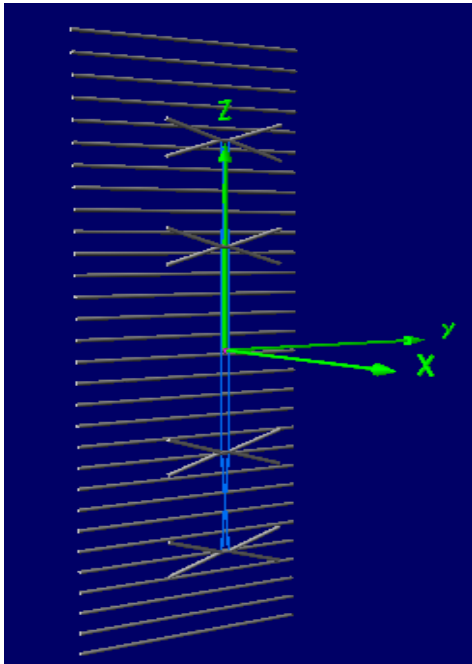


Από τα διαγράμματα παρατηρούμε ότι στα διαστήματα $0.1f_0 - 0.3f_0$ και $2f_0 - 4f_0$ ο αξονικός ρυθμός «χαλάει», καθώς η κεραία φαίνεται να μη λειτουργεί ως ακροπυροδοτική. Σημαντικό κέρδος στη διεύθυνση του άξονα της κεραίας έχουμε μόνο στο διάστημα $0.7f_0 - 1.3f_0$. Λαμβάνοντας υπόψη και το διάγραμμα του συντελεστή ανάκλασης του προηγούμενου ερωτήματος, συμπεραίνουμε ότι το διάστημα καλής λειτουργίας της κεραίας είναι: 350-650 MHz. Συνεπώς ο λόγος μέγιστης προς ελάχιστη συχνότητα παραμένει αρκετά καλός:

$$\frac{f_{max}}{f_{min}} = \frac{650}{350} \cong 1.85$$

ΑΣΚΗΣΗ 3 ($f_0 = 300\text{MHz}$)

Παρακάτω φαίνεται η υλοποίηση της κεραίας στο 4nec2



NecMatrixCalculation(ls, wl, Nr, theta, d0, d1, d2, d3)

Υλοποιεί σε πίνακα το μέρος του αρχείου .nec που κατασκευάζει τα wires

- d_0 : η απόσταση των δύο κοντινότερων «X» στην πηγή (από την πηγή)
- d_1 : η απόσταση των δύο απομακρυσμένων «X» από το προηγούμενο «X»
Στο διάνυσμα "z" του αρχείου οι αποστάσεις φαίνονται πιο καθαρά. Το επέλεξα έτσι ώστε να δίνεται η δυνατότητα οι αποστάσεις των «X» να μην απαραίτητα ίσες μεταξύ τους
- d_2 : το ύψος του ανακλαστήρα ($= 3\lambda$, δηλαδή το πήρα 1λ μεγαλύτερο της απόστασης μεταξύ των δύο απομακρυσμένων «X» ($4\lambda/2=2\lambda$))
- d_3 : το μήκος των wires του ανακλαστήρα (το πήρα ίσο με λ)
- ls : μήκος των segments (ίσο με $\lambda/30$, όπου λ το μήκος κύματος στην κεντρική συχνότητα, και υπολογίστηκε ώστε να είναι $\lambda/20$ στην μεγαλύτερη συχνότητα $f_{max} = 1.5f_0$)
- **theta**: η γωνία μεταξύ των διπόλων (η γωνία του «X»), επιλέχθηκε **40°**
- Nr : πλήθος wires του ανακλαστήρα, επιλέχθηκε σε συνδυασμό με το d_2 , ώστε η απόσταση μεταξύ τους να μην είναι πολύ μεγάλη, αλλά ταυτόχρονα να μη χρειαστεί και μεγάλος αριθμός από wires ($\frac{d_2}{Nr} = \frac{\lambda}{10}$)
- wl : το μήκος κύματος

Να σημειωθεί ότι:

- Τα «X» υλοποιήθηκαν σαν 4 μονόπολα (ανά δύο σε σχήμα "<" ή ">") με ένα segment «στο κέντρο» (μήκους $\lambda/30$)
- Φυσικά χρησιμοποιήθηκε διαφορετικός αριθμός segments για τα μονόπολα ($\text{ceil}(wl/4/ls)$) και για τα wires του ανακλαστήρα ($\text{ceil}(d3/ls)$)

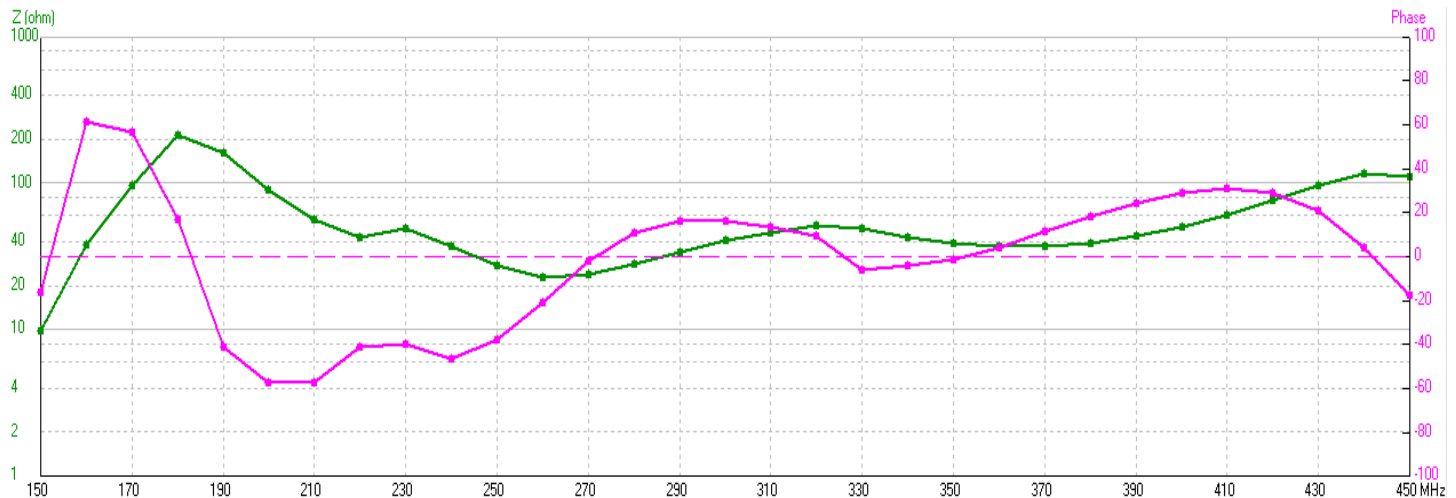
TL_Matrix(Z1)

Κατασκευάζει τον πίνακα TL, δηλαδή τις γραμμές μεταφοράς

TV_Antenna

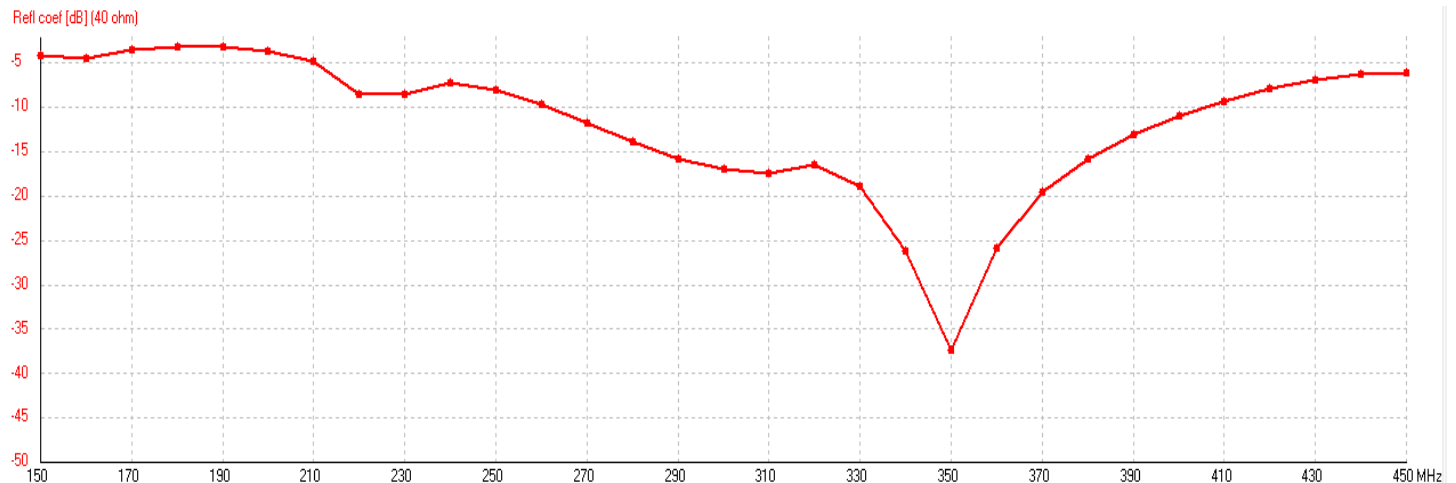
Καλεί τις δύο συναρτήσεις και γράφει τα στοιχεία των δύο πινάκων στο αρχείο TVA.ncs, προσθέτοντας τα απαραίτητα στοιχεία (GW, GE, TL κλπ)

(α) Μεταβολή του $|Z_{in}|$ για $Z_1 = 100\Omega$, $150 \leq f_0 \leq 450 \text{ MHz}$, $Z_0 = 50\Omega$



Φαίνεται ότι μετά τα 230MHz υπάρχει μια διακύμανση της αντίστασης εισόδου γύρω από τα $\sim 40\Omega$. Άρα επιλέγω **$Z_0 = 40\Omega$** για τη γραμμή τροφοδοσίας.

(β) Για την παραπάνω χαρακτηριστική αντίσταση τροφοδοσίας, το διάγραμμα του συντελεστή ανάκλασης είναι:

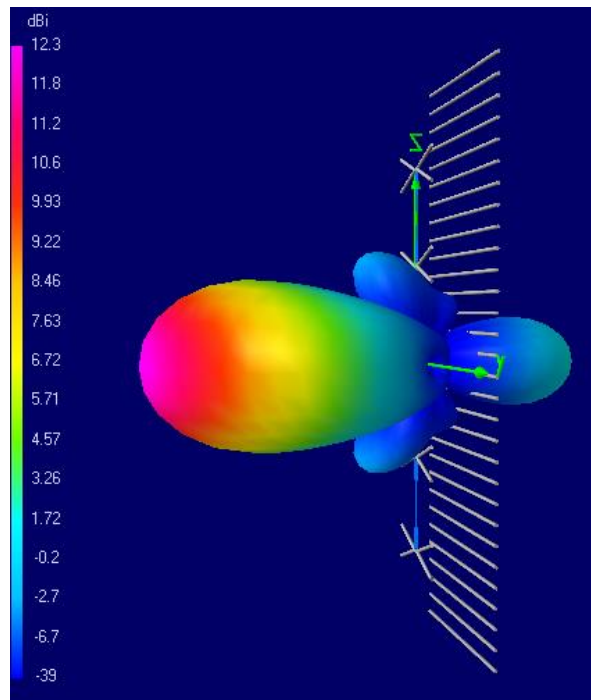
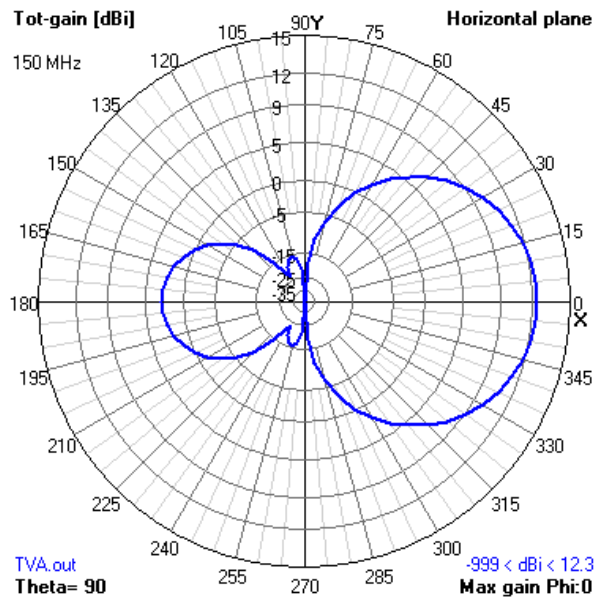
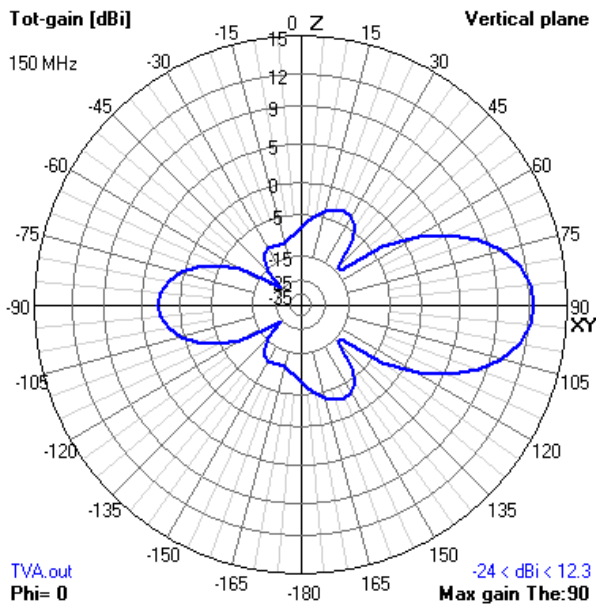


Παρατηρούμε ότι η κεραία είναι ευρυζωνική:

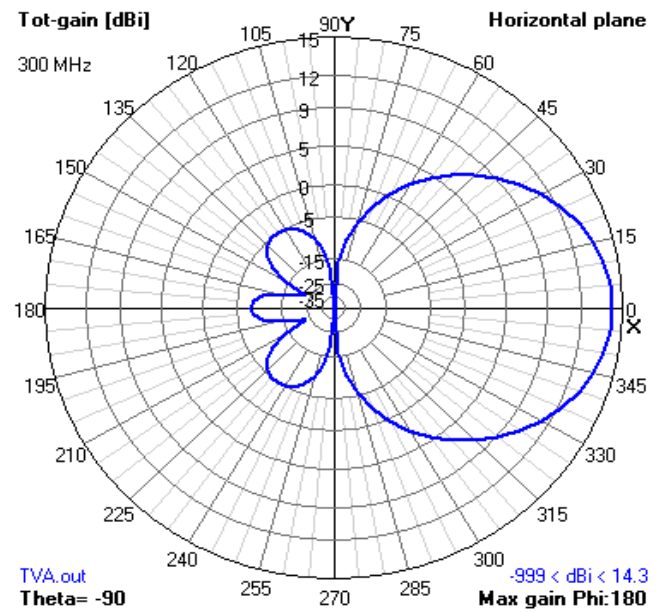
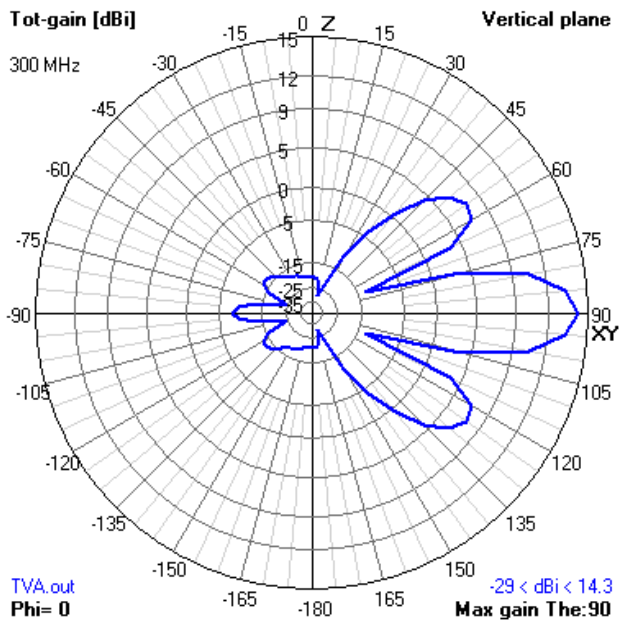
$$\frac{f_{max}}{f_{min}} = \frac{410}{260} = 1.57$$

(γ) Διαγράμματα Ακτινοβολίας

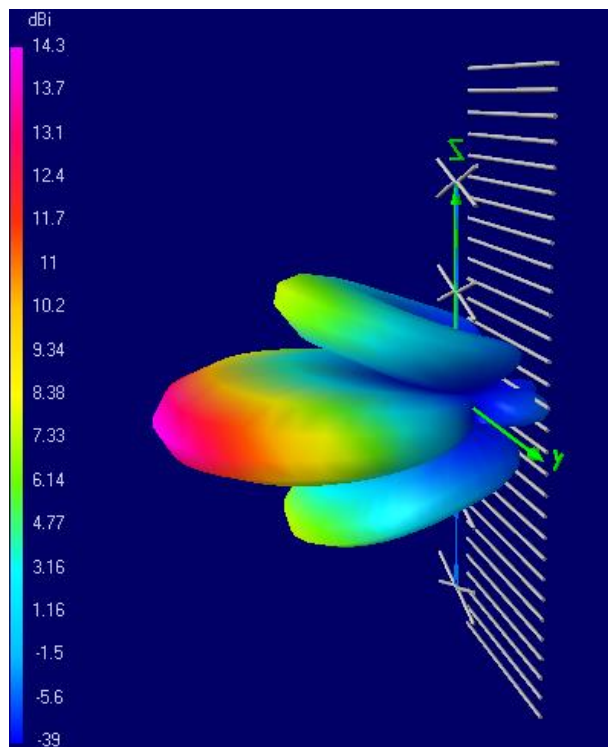
➤ $f_0 = 150\text{MHz}$



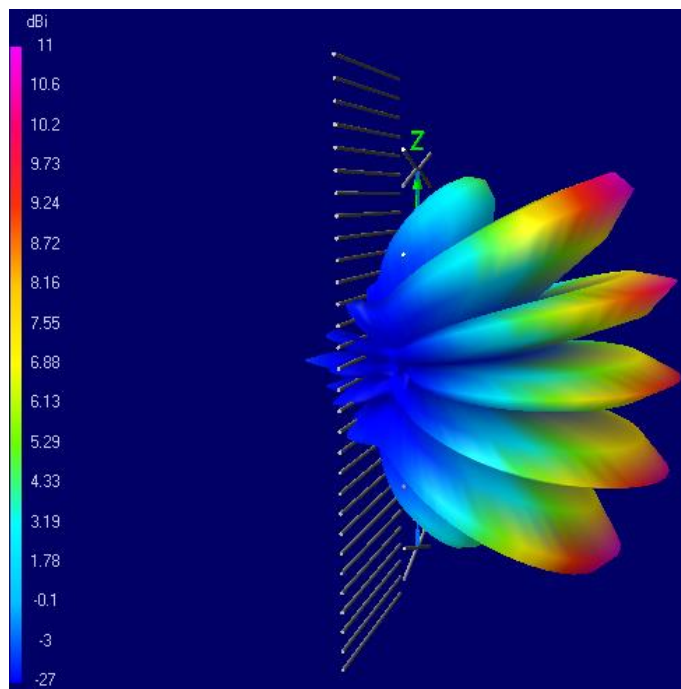
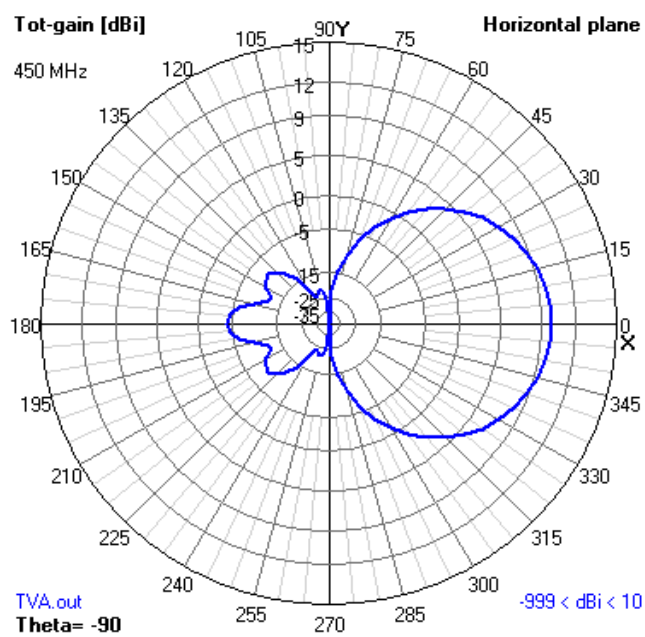
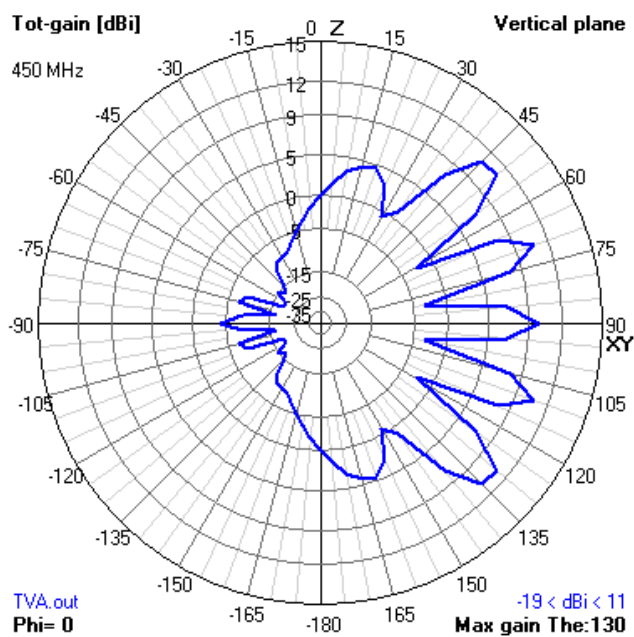
➤ $f_0 = 300\text{MHz}$



Μέγιστο κέρδος μπροστά: 14.26dB και μέγιστο προς τα πίσω -7.76, άρα διαφορά ~22dB (ικανοποιητικό)



➤ $f_0 = 450\text{MHz}$



(δ) Από τις προσομοιώσεις που ακολουθούν συμπεραίνουμε ότι η περίπτωση $Z_0 = 40\Omega$, $Z_1 = 100\Omega$, $\theta = 40^\circ$, $d = \lambda/2$ δίνει το καλύτερο εύρος ζώνης.

Σημείωση: το frequency sweep έγινε για λίγα δείγματα, ώστε οι προσομοιώσεις να εκτελεστούν πιο γρήγορα (σε πρώτη προσέγγιση). Τα δεδομένα (Z_0, Z_1, θ, d) που έδιναν καλύτερα αποτελέσματα, εκτελούνταν εκ νέου για περισσότερες συχνότητες.

1. Αλλάζοντας τη Z_1 ($Z_0 = 40\Omega, \theta = 40^\circ, d = \lambda/2$)

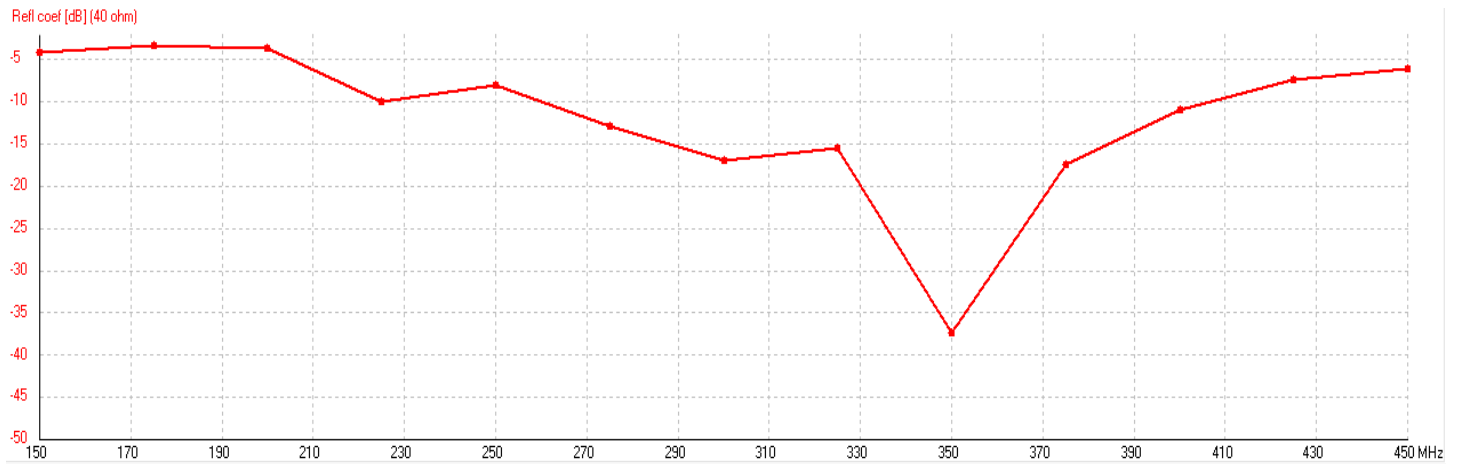
$$Z_1 = 50\Omega$$



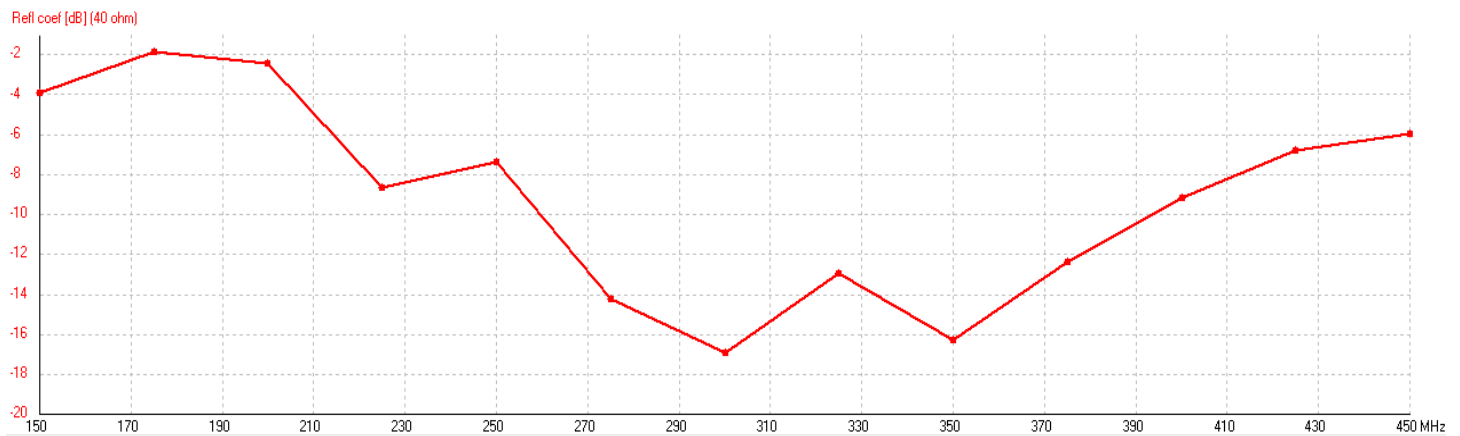
$$Z_1 = 75\Omega$$



$$Z_1 = 100 \, \Omega$$



$$Z_1 = 125 \, \Omega$$



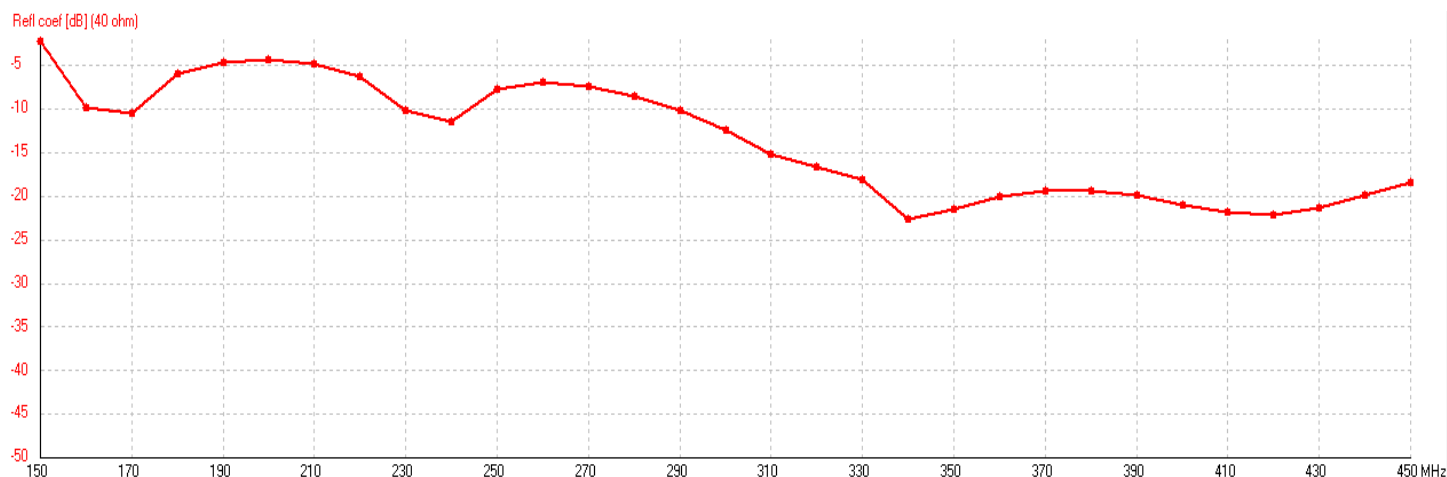
$$Z_1 = 150 \, \Omega$$



Βέλτιστο εύρος ζώνης για $Z_1 = 100 \, \Omega$

2. Αλλάζοντας τη d ($Z_0 = 40\Omega, \theta = 40^\circ, Z_1 = 100\Omega$)

$$d = 0.4\lambda$$



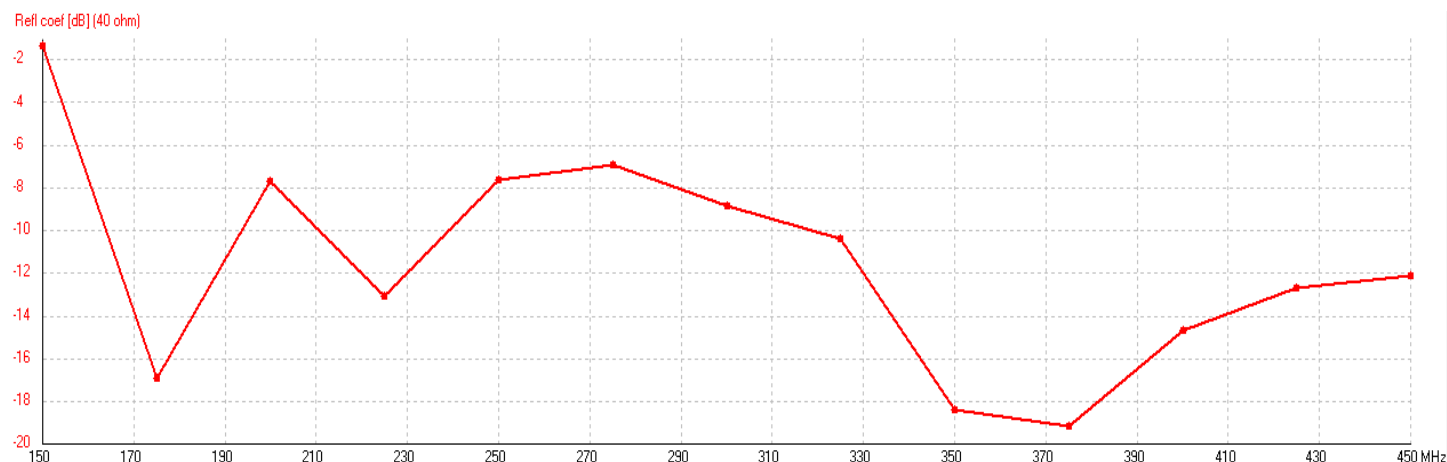
Το εύρος ζώνης είναι καλό ($450/290 = 1.55$), δηλαδή το ίδιο ικανοποιητικό με την περίπτωση $d = 0.5\lambda$. Η διαφορά είναι ότι σε αυτή την περίπτωση ο συντελεστής ανάκλασης είναι καλός σε μπάντα συχνοτήτων που είναι μετατοπισμένη σε λίγο υψηλότερες συχνότητες (περίπου 35-40 MHz πιο πάνω).

$$d = 0.6\lambda$$

Το διάγραμμα δεν παρουσιάζεται, διότι το εύρος ζώνης είναι πολύ μικρό. Γενικότερα και η τιμή αυτή δε δίνει καλά αποτελέσματα, οπότε περιορίστηκα στις τιμές 0.4λ και 0.5λ .

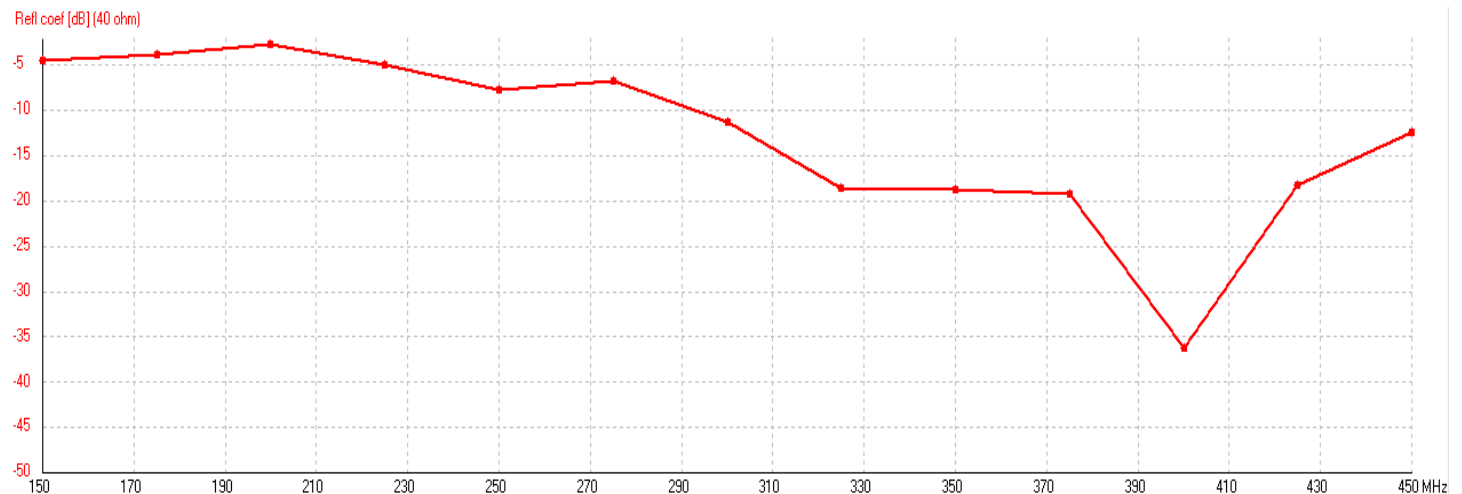
3. «Ανάμεικτη προσομοίωση» για $\theta = 40^\circ$

$$d = 0.4\lambda, Z_1 = 75\Omega, Z_0 = 40\Omega$$



Το εύρος ζώνης είναι μικρό και διακριτό (όχι σε συνεχή μπάντα συχνοτήτων)

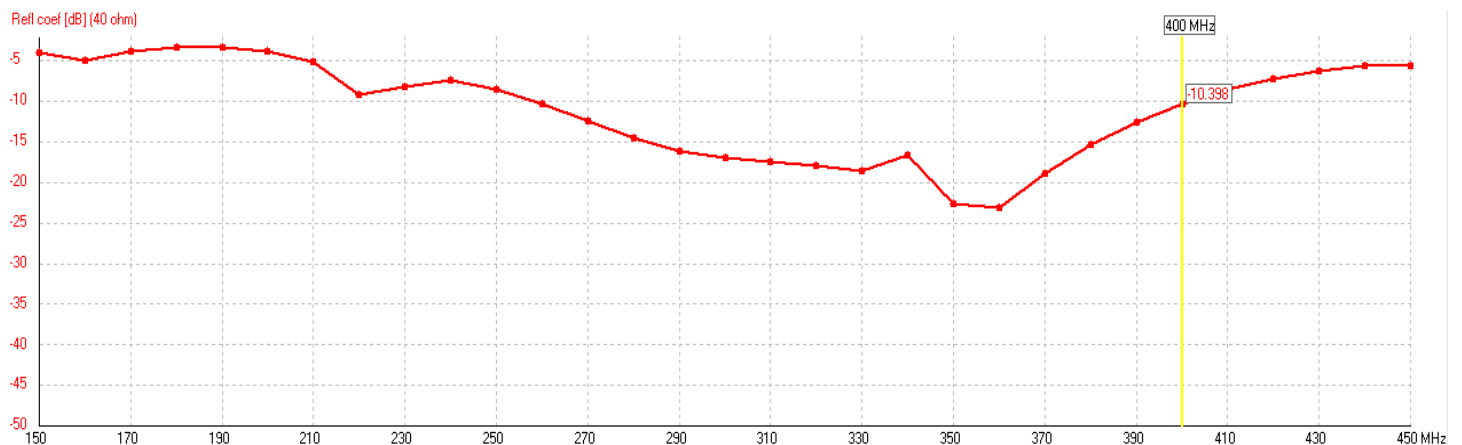
$$d = 0.4\lambda, Z_1 = 125\Omega, Z_0 = 40\Omega$$



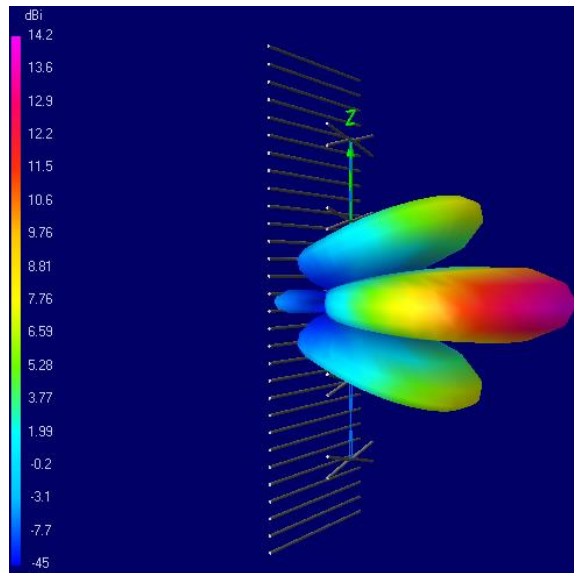
Το εύρος ζώνης είναι λίγο χειρότερο της αντίστοιχης περίπτωσης για $d = 0.4\lambda, Z_1 = 100\Omega, Z_0 = 40\Omega, \theta = 40^\circ$ (ωστόσο παραμένει καλό)

4. Αλλαγή της γωνίας θ

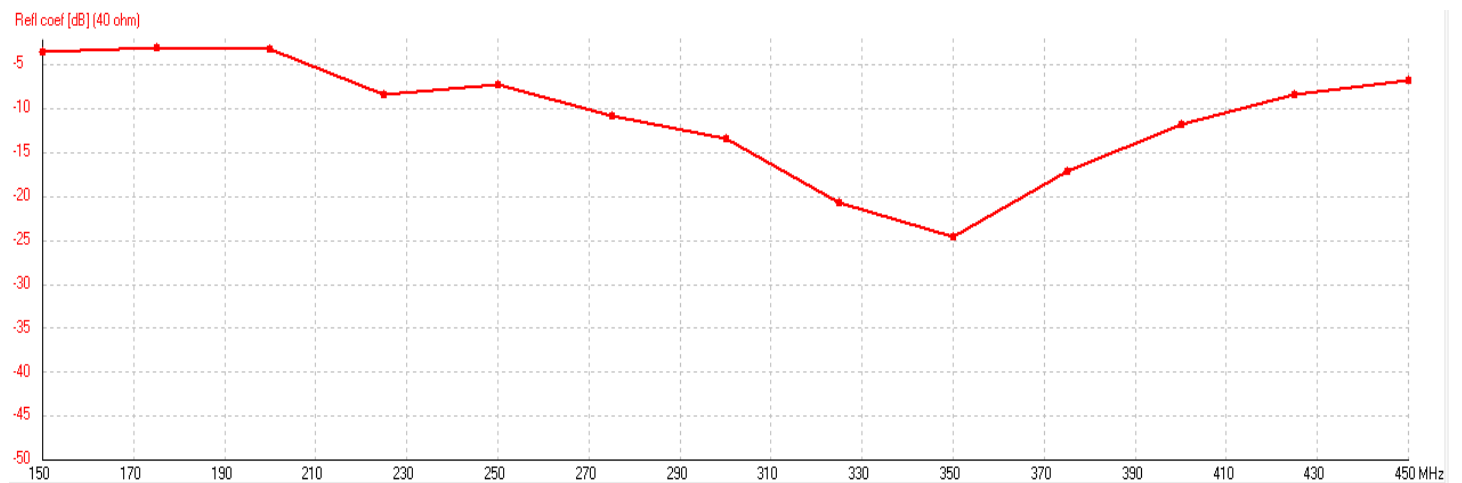
$$\theta = 30^\circ, d = 0.5\lambda, Z_1 = 100\Omega, Z_0 = 40\Omega$$



Παρακάτω απεικονίζεται και το διάγραμμα ακτινοβολίας για την περίπτωση αυτή στα 300MHz. Παρατηρούμε ότι η μείωση της γωνίας θ κατά 10 μοίρες δεν μεταβάλλει ούτε το εύρος ζώνης, ούτε το διάγραμμα ακτινοβολίας (ίδιο κέρδος και λοβοί). Το ίδιο συμβαίνει και στην περίπτωση $d = 0.4\lambda$.



$$\theta = 60^\circ, d = 0.5\lambda, Z_1 = 100\Omega, Z_0 = 40\Omega$$



Η αύξηση της γωνίας θ κατά 20 μοίρες οδηγεί σε μείωση του εύρους ζώνης (για $\theta = 40^\circ$ ξεκινούσε από τα 260MHz, ενώ για $\theta = 60^\circ$ από τα 270MHz). Συνεπώς και η αύξηση της γωνίας φαίνεται να επιδρά αρνητικά στην ευρυζωνικότητα της κεραίας.