



UNIVERSITY OF WESTERN
MACEDONIA
DEPT. OF INFORMATICS AND
TELECOMMUNICATIONS ENGINEERING

Υπολογιστική μελέτη συστημάτων «έξυπνων» κεραιών

Διπλωματική Εργασία

της

Κουτσού Νικολέττας

AEM: 75

Επιβλέπων Καθηγητής: Δρ. Θ. Ζυγκιρίδης

Κοζάνη, Οκτώβριος 2013

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή Δρ. Θ. Ζυγκιρίδη για την πολύτιμη βοήθειά του, τις καίριες υποδείξεις του καθώς και για τον χρόνο που μου διέθεσε. Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους ανθρώπους που ήταν δίπλα μου και με υποστήριξαν μέχρι την ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας.

Περίληψη

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτέλεσε η μελέτη και η προσομοίωση συστημάτων έξυπνων κεραιών. Πιο συγκεκριμένα μελετήθηκαν τέσσερα διαφορετικά παραδείγματα στοιχειοκεραιών καθώς και οι διατάξεις τους για την βελτιστοποίηση τους. Τα παραδείγματα των στοιχειοκεραιών επιλέχθηκαν από διάφορα ερευνητικά άρθρα. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η μέτρηση του ειδικού ρυθμού απορρόφησης στις κινητές επικοινωνίες. Οπότε κρίθηκε αναγκαίο να μελετηθεί και αυτός ο παράγοντας στο σύνολο των κεραιών που χρησιμοποιούνται από κινητά. Όλες οι προσομοιώσεις πραγματοποιήθηκαν με το λογισμικό πακέτο CST Microwave Studio 2011.

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1^ο	6
Στοιχειοκεραίες και έξυπνες κεραίες	6
1.1 Εισαγωγή στις στοιχειοκεραίες	6
1.2 Παράγοντας στοιχειοκεραίας	7
1.3 Τα διάφορα είδη στοιχειοκεραιών	11
1.4 Έξυπνες κεραίες	12
1.4.1 Εισαγωγή στις έξυπνες κεραίες	12
1.4.2 Κεραία Μεταγωγής Λοβού (Switched beam).....	13
1.4.3 Προσαρμοστική κεραία (Adaptive array).....	14
Κεφάλαιο 2^ο	15
2.1 Μαθηματικό υπόβαθρο του προγράμματος.....	15
2.2 Μέθοδος Πεπερασμένης Ολοκλήρωσης (FIT).....	16
2.3 Παρουσίαση CST STUDIO 2011.....	17
2.4 CST MICROWAVE STUDIO	18
2.5 Περιγραφή γραφικού περιβάλλοντος και διαδικασίας προσομοίωσης	18
Κεφάλαιο 3^ο	27
Προσομοιώσεις στοιχειοκεραιών	27
3.1 Κεραία μικροταινίας σχήματος E(E-shaped Patch Antenna)	28
3.1.1.Γεωμετρία μονής μικροταινίας E κεραίας	29
3.1.2 Προσομοίωση κεραίας E	29
3.1.3 Προσομοίωση κεραίας 2 E	32
3.1.4 Προσομοίωση κεραίας 4E	34
3.2 Προσομοίωση κεραίας αεροπλάνου	38
3.3 Προσομοίωση στοιχειοκεραίας 5 στοιχείων	44

3.4 Προσομοίωση κεραίας Pifa τεσσάρων στοιχείων.....	54
4° Κεφάλαιο.....	62
Συμπεράσματα.....	62
Βιβλιογραφία.....	63

Κεφάλαιο 1^ο

Στοιχειοκεραίες και έξυπνες κεραιές

1.1 Εισαγωγή στις στοιχειοκεραίες

Για την επίτευξη σε πολλές εφαρμογές της επιθυμητής κατευθυντικότητας ή του επιθυμητού εύρους δέσμης χρησιμοποιούμε τις στοιχειοκεραίες, οι οποίες παρουσιάζουν αρκετά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με τις απλές κεραιές. Οι στοιχειοκεραίες (antenna arrays) είναι διατάξεις που περιλαμβάνουν δυο ή περισσότερα (συνήθως όμοια) ακτινοβολούντα στοιχεία. Μια από τις σημαντικές δυνατότητες τους είναι η στροφή του διαγράμματος ακτινοβολίας σε επιθυμητές κατευθύνσεις. Με κατάλληλη επιλογή της ρευματικής διέγερσης μπορούμε να επιτύχουμε βελτιωμένες ιδιότητες για τη στοιχειοκεραία σε σχέση με τις αντίστοιχες ενός απλού ακτινοβολητή. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα επιμέρους πεδία των στοιχείων ακτινοβολίας συμβάλουν στις επιθυμητές διευθύνσεις του χώρου, ενώ άλλα αλληλοαναιρούνται σε άλλες. Επομένως το συνολικό μακρινό πεδίο της μιας στοιχειοκεραίας υπολογίζεται από την διανυσματική άθροιση των επιμέρους πεδίων των ακτινοβολητών που την αποτελούν. Βασική προϋπόθεση για την σωστή λειτουργία της στοιχειοκεραίας είναι να μην παρατηρούνται φαινόμενα σύζευξης δηλαδή, η ρευματική διέγερση του κάθε στοιχείου να είναι ανεξάρτητη και να μην επηρεάζεται από την παρουσία των άλλων. Για το λόγο αυτό σημαντικό ρόλο παίζει και η απόσταση που είναι τοποθετημένα τα στοιχεία και γενικά η γεωμετρία της στοιχειοκεραίας. Ορισμένες σημαντικές δυνατότητες που μας παρέχει η εφαρμογή των στοιχειοκεραιών είναι οι παρακάτω. Αρχικά είναι δυνατόν να γίνει στρέψη του διαγράμματος ακτινοβολίας στην κάθε φορά, επιθυμητή γωνία. Επίσης με την εφαρμογή των στοιχειοκεραιών μπορούμε να επιτύχουμε αύξηση του κέρδους και της κατευθυντικότητας της κεραιάς. Τέλος μας δίνεται η δυνατότητα να συνθέσουμε εμείς το τελικό επιθυμητό διάγραμμα ακτινοβολίας της στοιχειοκεραίας μας. Με αυτό τον τρόπο μπορούμε να στρέψουμε τον λοβό στην επιθυμητή θέση ενώ ταυτόχρονα μειώσουμε τον δευτερεύον λοβό σε σημεία που έχουμε ενδεχομένως τυχόν παρεμβολές.

Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει το διάγραμμα ακτινοβολίας είναι η απόσταση των ακτινοβολούμενων στοιχείων. Για να μην υπάρχουν δευτερεύοντες λοβοί θα πρέπει η απόσταση των ακτινοβολούμενων στοιχείων να είναι μικρότερη από λ . Επίσης καθοριστικό ρόλο για το διάγραμμα ακτινοβολίας αποτελεί το πλήθος των στοιχείων ακτινοβολίας. Προφανώς όσα περισσότερα έχουμε, τόσο μεγαλύτερο κέρδος θα έχουμε στο τελικό μας αποτέλεσμα. Επιπρόσθετα η γεωμετρία της στοιχειοκεραίας (γραμμική, κυκλική, επίπεδη) παίζει σημαντικό ρόλο στο

διάγραμμα ακτινοβολίας. Τέλος ανάλογα με την σχετική ρευματική διέγερση των στοιχείων ακτινοβολίας προκύπτει και το αναμενόμενο διάγραμμα ακτινοβολίας.

1.2 Παράγοντας στοιχειοκεραίας

Επειδή η στοιχειοκεραία είναι μια διάταξη που περιλαμβάνει παραπάνω από μία κεραίες, το διάγραμμα ακτινοβολίας της προκύπτει από τον παράγοντα F κάθε μεμονωμένου στοιχείου επί τον παράγοντα της στοιχειοκεραίας AF (array factor). Με τον τρόπο αυτό καθίσταται δυνατή η σχεδίαση στοιχειοκεραίων με διαγράμματα ακτινοβολίας επιθυμητών χαρακτηριστικών.

Στην κατηγορία των στοιχειοκεραίων με ομοιόμορφη διέγερση, τα στοιχεία τροφοδοτούνται με ρεύματα που έχουν ίδιο μέτρο και προοδευτική διαφορά φάσης.

Σε αυτή την περίπτωση, ο παράγοντας διάταξης δίνεται από τη σχέση:

$$AF = I_0 \sum_{n=0}^{N-1} e^{jn\psi}$$

Εάν τα στοιχεία ισπατέχουν μεταξύ τους απόσταση d , τότε μπορούμε να πούμε :

$$\psi = kd \cos\theta + \beta$$

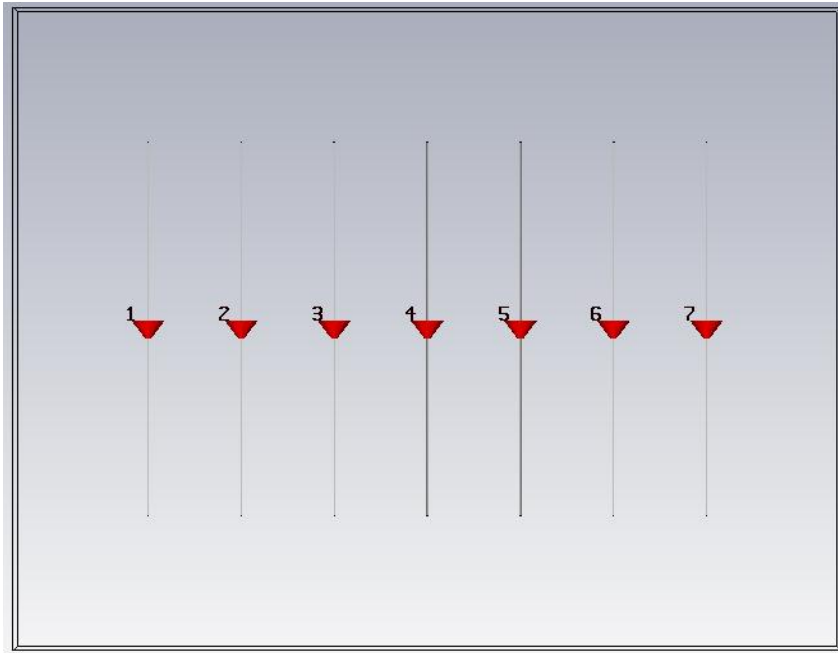
β = η διαφορά φάσης μεταξύ διαδοχικών στοιχείων I_0

I_0 = το πλάτος του ρεύματος διέγερσης

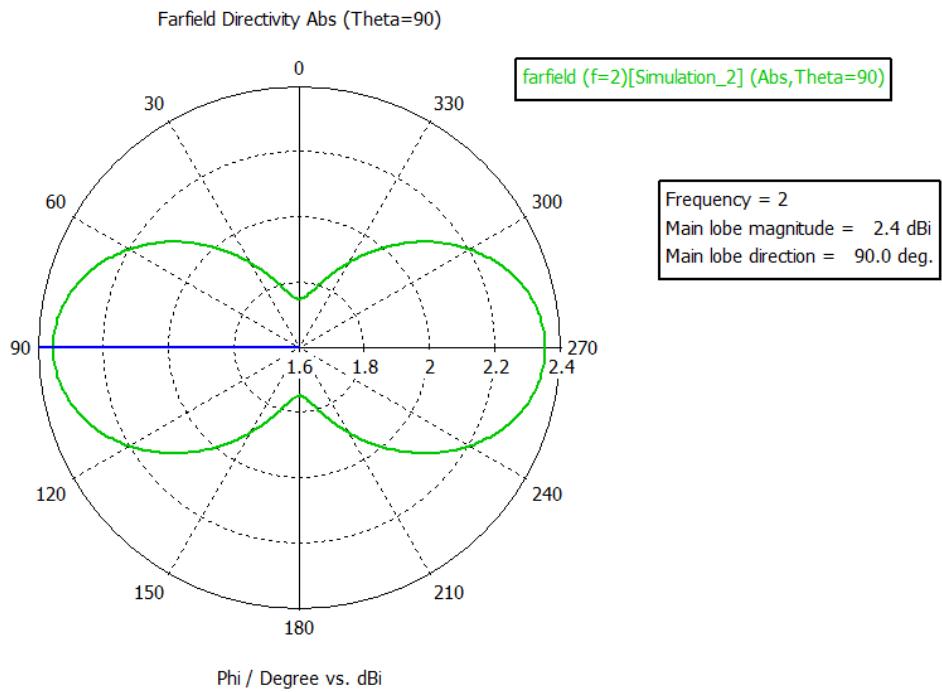
k = κυματικός αριθμός του μέσου διάδοσης

θ = η γωνία που σχηματίζει το σημείο παρατήρησης με τον y

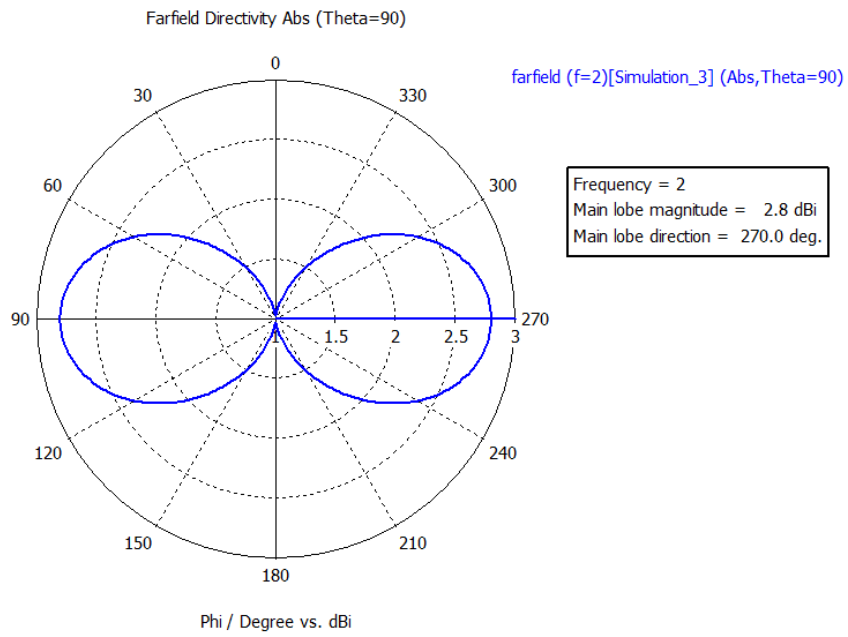
Ένα παράδειγμα για το κέρδος που μας δίνει ο παράγοντας στοιχειοκεραίας φαίνεται στα παρακάτω σχήματα, σε μια απλή στοιχειοκεραία διάταξης από 2 μέχρι 7 δίπολων τα οποία απέχουν μεταξύ τους $\lambda/4$. Σε κάθε εικόνα φαίνεται το διάγραμμα ακτινοβολίας της κάθε στοιχειοκεραίας και το κέρδος τους. Ένα τυπικό δίπολο $\lambda/2$ έχει κέρδος 2.15 dB. Η κάθε στοιχειοκεραία μελετήθηκε για την συχνότητα $f=2\text{GHz}$ και το υλικό που χρησιμοποιήθηκε είναι το PEC (Perfect Electric Conductor). Το συγκεκριμένο ιδεατό υλικό παρουσιάζει άπειρη ηλεκτρική αγωγιμότητα και καθίσταται ιδανικό για ηλεκτρομαγνητικές προσομοιώσεις. Αξίζει να παρατηρήσουμε ότι στις 2 τελευταίες περιπτώσεις που το συνολικό μήκος της κεραίας ξεπερνάει το λ , αρχίζουν και εμφανίζονται δευτερεύοντες λοβοί.



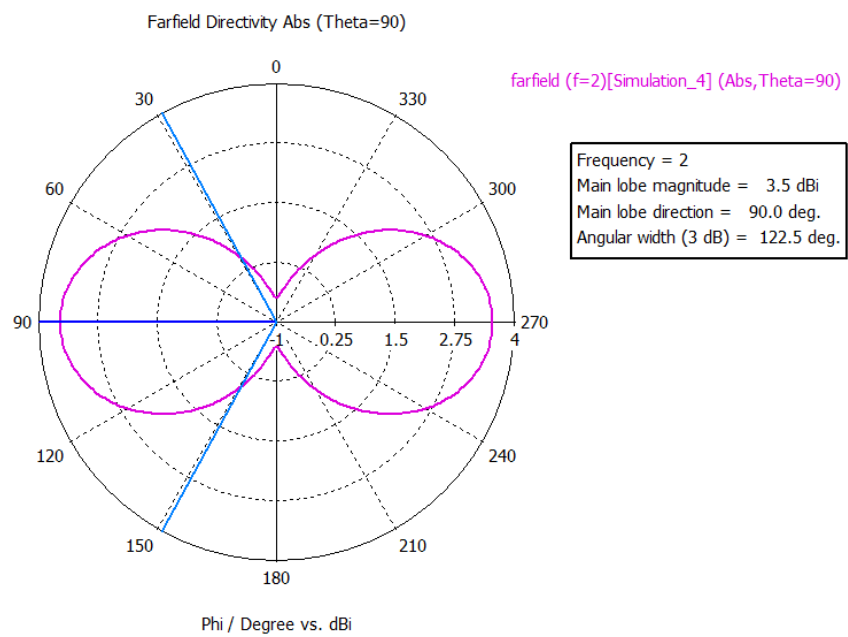
Στοιχεικεραία 7διδύλων



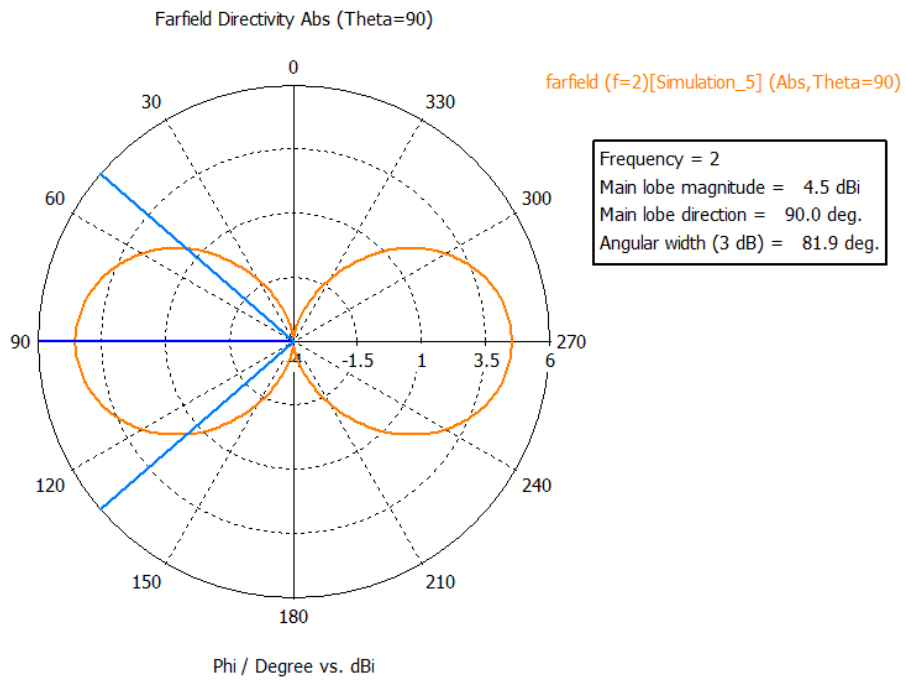
Διάγραμμα ακτινοβολίας στοιχειοκεραίας 2 δίδυλων



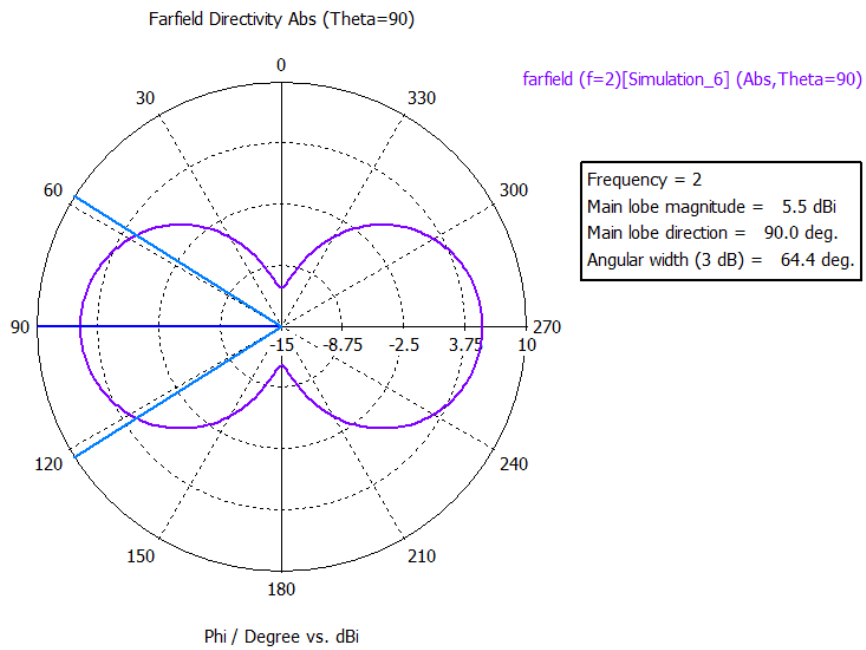
Διάγραμμα ακτινοβολίας στοιχειοκεραίας 3 δίπολων



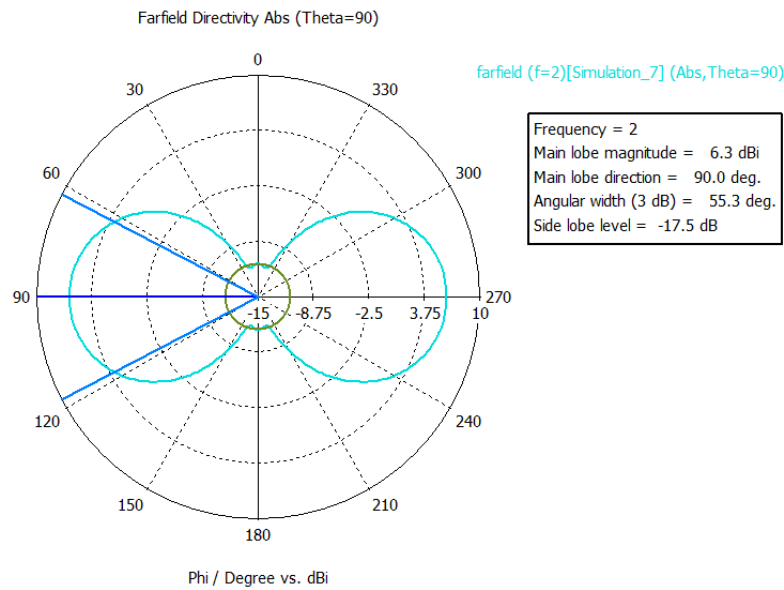
Διάγραμμα ακτινοβολίας στοιχειοκεραίας 4 δίπολων



Διάγραμμα ακτινοβολίας στοιχειοκεραίας 5 δίπολων



Διάγραμμα ακτινοβολίας στοιχειοκεραίας 6 δίπολων



Διάγραμμα ακτινοβολίας στοιχειοκεραίας 7 δίπολων

Οι παραπάνω εικόνες παρουσιάζουν τα διαγράμματα ακτινοβολίας από τις συστοιχίες στοιχειοκεραιών 2 δίπολων έως 7 δίπολων τα οποία απέχουν μεταξύ τους απόσταση $\lambda/4$.

Πινάκας Αποτελεσμάτων

Αριθμός δίπολων	Συχνότητα	Κέρδος	Μήκος κεραίας
2	F=2GHz	2,4 dB	$\lambda/4$
3	F=2GHz	2,8 dB	$\lambda/2$
4	F=2GHz	3,5 dB	$3\lambda/4$
5	F=2GHz	4,5 dB	$4\lambda/4$
6	F=2GHz	5,5 dB	$5\lambda/4$
7	F=2GHz	6,3 dB	$6\lambda/4$

1.3 Τα διάφορα είδη στοιχειοκεραιών

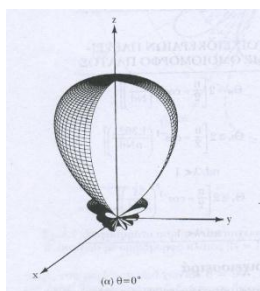
Επιγραμματικά τα διάφορα είδη στα οποία χωρίζονται οι στοιχειοκεραίες είναι οι γραμμικές στοιχειοκεραίες, οι επίπεδες στοιχειοκεραίες και οι κυκλικές στοιχειοκεραίες. Πολύ σημαντική κατηγορία αποτελούν οι γραμμικές στοιχειοκεραίες. Όλα τα στοιχεία των γραμμικών στοιχειοκεραιών βρίσκονται στην ίδια ευθεία, η οποία αποτελεί και τον άξονα της κεραίας. Οι γραμμικές στοιχειοκεραίες ανάλογα με

την διέγερση που έχουν χωρίζονται σε γραμμικές στοιχειοκεραίες με ομοιόμορφη διέγερση και γραμμικές στοιχειοκεραίες με ανομοιόμορφη διέγερση. Στο παραπάνω παράδειγμα είδαμε μια απλή ομοιόμορφη στοιχειοκεραία με ίδια διέγερση.

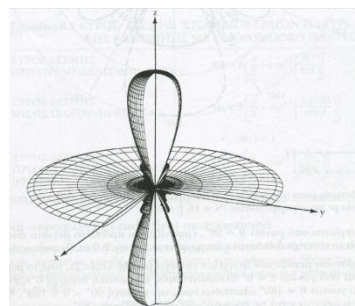
Σημαντικές κατηγορίες γραμμικών στοιχειοκεραιών ομοιόμορφου πλάτους και ομοιόμορφης απόστασης αποτελούν οι ευρύπλευρες και οι ακροπυροδοτικές κεραίες.

Όλα τα στοιχεία των ευρύπλευρων στοιχειοκεραιών έχουν το ίδιο πλάτος και ίδια φάση διέγερσης. Η απόσταση των στοιχείων μπορεί να είναι οποιαδήποτε αλλά για να μην υπάρχουν πρωτεύοντα μέγιστα σε άλλες διευθύνσεις, θα πρέπει η απόσταση μεταξύ των στοιχείων να είναι πολλαπλάσιο του λ . Αυτό συμβαίνει γιατί τότε παίρνει ο παράγοντας στοιχειοκεραίας την μέγιστη τιμή του. Τέλος μέγιστη ακτινοβολία σε μια ευρύπλευρη στοιχειοκεραία παρατηρείται σε διεύθυνση κάθετη με τον άξονα της κεραίας. Εάν δεν υπάρχει διαφορά φάσης και οι αποστάσεις των σημείων είναι πολλαπλάσια του μήκους κύματος τότε έχουμε μέγιστο και κατά μήκος του άξονα της κεραίας και στον κάθετο της.

Αντίθετα σε μια ακροπυροδοτική στοιχειοκεραία παρατηρείται μέγιστο μόνο κατά μήκος του άξονα της κεραίας. Για να αποφεύγονται οι πλευρικοί λοβοί πρέπει η μεγαλύτερη απόσταση να είναι μικρότερη από λ . Τέλος για να υπάρχει μόνο ένα ακροπυροδοτικό μέγιστο και να μην εμφανίζονται πλευρικοί λοβοί η μέγιστη απόσταση των στοιχείων πρέπει να είναι μικρότερη από $\lambda/2$. Οι πιο συνηθισμένη κατανομή για το πλάτος της στοιχειοκεραίας, εκτός της ομοιόμορφης, είναι η διωνυμική. Η διωνυμική κεραία αποτελεί παράδειγμα γραμμικής στοιχειοκεραίας με ανομοιόμορφη διέγερση. Για απόσταση μικρότερη $\lambda/2$ δεν υπάρχουν καθόλου πλευρικοί λοβοί.



Ακροπυροδοτική κεραία [1]



Πλευρική / Ακροπυροδοτική κεραία[1]

1.4 Έξυπνες κεραίες

1.4.1 Εισαγωγή στις έξυπνες κεραίες

Δεδομένου ότι η ζήτηση για τις κινητές επικοινωνίες αυξάνεται συνεχώς, η ανάγκη για καλύτερη κάλυψη, η βελτίωση της ικανότητας και υψηλότερη ποιότητα μετάδοσης αυξάνεται. Έτσι γίνεται αναγκαία μια αποδοτικότερη χρήση του ραδιοφάσματος. Τα ασύρματα συστήματα σε αντίθεση με τα ενσύρματα συστήματα,

διαθέτουν περισσότερους περιορισμούς. Ένας από αυτούς είναι το συγκεκριμένο φάσμα που εκπέμπει η κάθε κεραία. Επίσης το περιβάλλον διάδοσης της κεραίας, με τις παρεμβολές του συμβάλει στην αλλοίωση και εξασθένηση του διαδομένου σήματος. Τέλος στις κινητές επικοινωνίες έχουμε περιορισμούς από την διάρκεια ζωής της μπαταρίας του κινητού τηλεφώνου. Τα συστήματα έξυπνων κεραιών είναι ικανά για προσοδοφόρες και αποδοτικές λύσεις στα παραπάνω προβλήματα των ασύρματων δικτύων.

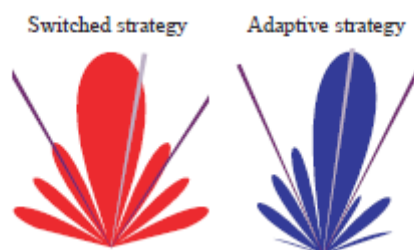
Η βασική ιδέα με την οποία αναπτύχθηκαν τα συστήματα των έξυπνων κεραιών είναι έχει να κάνει με το μοντέλο ακτινοβολίας προς τους επιθυμητούς χρήστες ενώ ταυτόχρονα δύναται η δυνατότητα να απορρίψουν τυχόν ανεπιθύμητη παρεμβολή. Τα συστήματα των έξυπνων κεραιών χωρίζονται σε 2 βασικές κατηγορίες: Τα Switched-Beam συστήματα και τα Adaptive Array συστήματα.

1.4.2 Κεραία Μεταγωγής Λοβού (Switched beam)

Ένα σύστημα μεταγωγής λοβού (switched-beam system) αποτελεί το πιο απλό σύστημα έξυπνων κεραιών. Αποτελείται από πολλαπλά κατευθυντικά στοιχεία κεραίας. Ένα τέτοιο σύστημα κεραίας επιλέγει το κατευθυντικό στοιχείο που δίνει το ισχυρότερο σήμα από τα πολλά κατευθυντικά στοιχεία και μεταβαίνει από το ένα στοιχείο στο άλλο καθώς ο χρήστης (π.χ. κινητής τηλεφωνίας) μεταφέρεται.

Αλλάζοντας τις διαφορές φάσεις των στοιχειοκεραιών, μπορούμε να κατευθύνουμε τον κύριο λοβό στο επιθυμητό αποτέλεσμα.

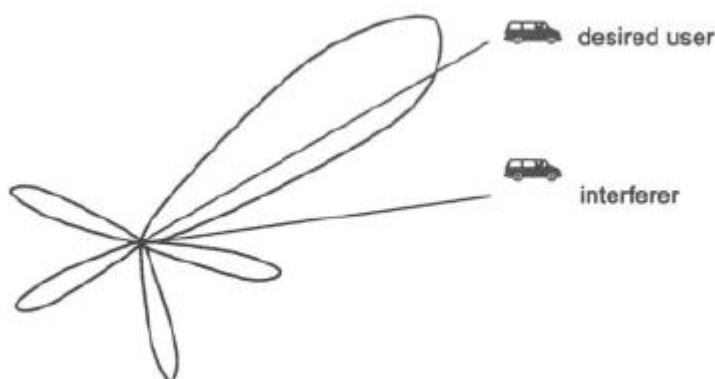
Για να γίνει κατανοητή η ιδέα της μεταγωγής λοβών ας υποθέσουμε ότι έχουμε τοποθετήσει σε ένα τομέα 120° μία έξυπνη κεραία μεταγωγής λοβών που παράγει τέσσερις κύριους λοβούς. Το εύρος του κάθε κύριου λοβού είναι 30° έτσι ώστε να καλύπτεται όλος ο τομέας των 120° . Ανάλογα με την τοποθεσία του εκάστοτε χρήστη επιλέγεται ο κατάλληλος λοβός διευκολύνοντας την εκπομπή/λήψη ενός σήματος προς/από το χρήστη. Ουσιαστικά με τη συγκεκριμένη προσέγγιση ο κάθε τομέας υποδιαιρείται σε άλλους μικρότερους με σκοπό τη βελτίωση της ραδιοκάλυψης και της χωρητικότητας του συστήματος. Ένα τέτοιο σύστημα διακρίνεται για την απλότητά του ενώ διατηρεί πολλά από τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν άλλες πιο πολύπλοκες τεχνικές έξυπνων κεραιών.



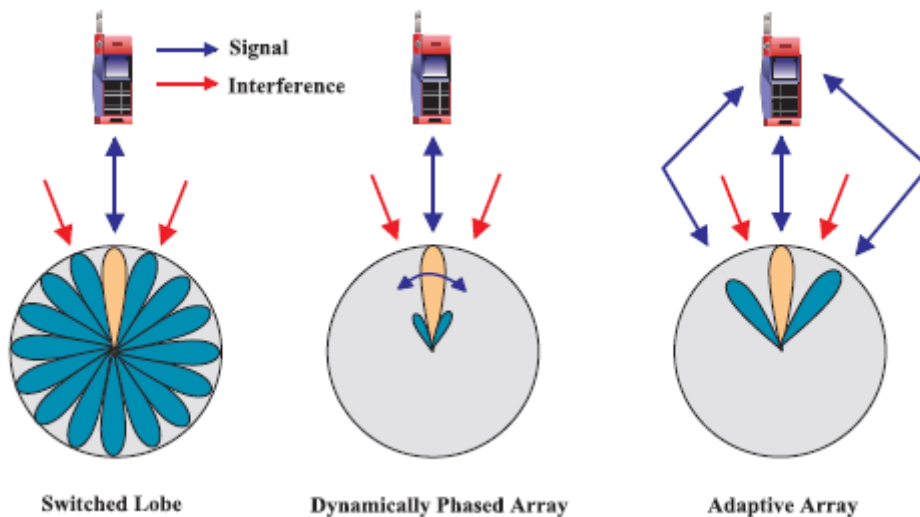
Εικόνα 8 Διαφορές switched –adaptive strategy[2]

1.4.3 Προσαρμοστική κεραία (Adaptive array)

Η προσαρμοστική κεραία έχει την δυνατότητα να προσαρμόζεται στο περιβάλλον της παρακάμπτοντας άλλες συσκευές που παρεμβάλουν στο σύστημα μας. Για την επίτευξη του στόχου αυτού, θέλουμε κύριος λοβός της κεραίας μας να στρέφεται προς την προβλεπόμενη κάθε φορά γωνία και να έχουμε μηδενισμούς στις θέσεις που έχουμε παρεμβολές. Η απόδοση της προσαρμοστικής κεραίας (adaptive array) είναι ανώτερη από την απόδοση της κεραίας μεταγωγής λοβών. Αυτό γίνεται γιατί η κεραία μεταγωγής λοβών ίσως να μην μπορεί να αποδώσει το μέγιστο κέρδος στον κύριο λοβό καθώς επίσης δεν μπορεί να απορρίψει τις παρεμβολές. Αντίθετα τα προσαρμοστικά συστήματα έχουν την ικανότητα να εντοπίσουν τη θέση του χρήστη και αυτών που παρεμβάλουν προσαρμόζοντας δυναμικά την κεραία για ενίσχυση της λήψης του χρήστη, ελαχιστοποιώντας ταυτόχρονα τις παρεμβολές χρησιμοποιώντας αλγόριθμους επεξεργασίας σήματος. Η πολυπλοκότητα των αλγορίθμων που χρησιμοποιούνται είναι η βασική διαφορά ανάμεσα στην Phased και στην Adaptive array. (Με ανώτερη την adaptive array). Οι πιο συνηθισμένοι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται στα συστήματα έξυπνων κεραιών είναι η τεχνική DoA (Direction of Arrival) καθώς και ο αλγόριθμος MUSIC (Multiple Signal Classification) και ο αλγόριθμος ESPRIT.



Adaptive array[2]



Σχηματική παρουσίαση διαφορετικών μεθόδων έξυπνων κεραιών[2]

Κεφάλαιο 2^ο Παρουσίαση του λογισμικού πακέτου

2.1 Μαθηματικό υπόβαθρο του προγράμματος

Το CST Microwave Studio είναι ένας γενικού σκοπού ηλεκτρομαγνητικός προσομοιωτής, ο οποίος στηρίζεται στην μέθοδο πεπερασμένων διαφορών στο πεδίο του χρόνου FDTD (Finite Difference Time Domain). Οι τρεις κυριότερες υπολογιστικές μέθοδοι, στις οποίες βασίζονται τα περισσότερα εμπορικά προγράμματα προσομοίωσης για υψηλές συχνότητες είναι οι εξής.

- Η μέθοδος των ροπών (MoM)
- Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων (FEM)
- Η μέθοδος των πεπερασμένων διαφορών στο πεδίο του χρόνου (FDTD)

Επίσης η τεχνική PBA που χρησιμοποιεί το CST Microwave Studio μαζί με την μέθοδο FDTD, επιτρέπει την ακριβή μοντελοποίηση καμπύλων κατασκευών, διατηρώντας ταυτόχρονα τα πλεονεκτήματα των καρτεσιανών πλεγμάτων.

Η γενίκευση της μεθόδου FDTD, η μέθοδος FIT (Finite Integration Technique) χρησιμοποιείται στο λογισμικό πακέτο CST Microwave Studio 2011. Η μέθοδος FDTD προτάθηκε αρχικά από τον Yee το 1966. Έκτοτε έχει υποστεί πολλές αλλαγές και βελτιώσεις ενώ έχει βρει εφαρμογή σε όλους σχεδόν τους τομείς του ηλεκτρομαγνητισμού. Τα πλεονεκτήματα που συνθέτουν στην ανάπτυξη της αυτή

είναι η αλγοριθμική απλότητα και οι σχετικά περιορισμένες υπολογιστικές απαιτήσεις.

Η μέθοδος FDTD χρησιμοποιείται για ένα πλήθος πεδιακών προβλημάτων τόσο σε ανοιχτούς χώρους όσο και σε κλειστούς, που δεν περιορίζονται από κάποιο εξωτερικό όριο. Όμως ο χώρος στον οποίο πραγματοποιούνται οι υπολογισμοί δεν μπορεί να εκτείνεται στο άπειρο, γιατί αυτό θα απαιτούσε την ύπαρξη απεριόριστης μνήμης τόσο για τη διαχείριση των δεδομένων, όσο και για την αποθήκευσή τους. Συνεπώς χρειάζονται κατάλληλες συνθήκες που να επιτρέπουν την προσομοίωση του ελεύθερου χώρου στον πεπερασμένο σε μέγεθος υπολογιστικό χώρο. Η πιο σημαντική κατηγορία τέτοιων τεχνικών είναι οι απορροφητικές οριακές συνθήκες. Η εφαρμογή των τελευταίων γίνεται στα όρια του υπολογιστικού χώρου, όπου και είναι αδύνατος ο υπολογισμός του ηλεκτρικού πεδίου με τις συνήθεις εξισώσεις του αλγορίθμου του Yee. Αυτό, διότι εκεί απαιτείται η γνώση του πεδίου σε θέσεις εκτός της περιοχής όπου πραγματοποιείται η προσομοίωση. Οι απορροφητικές συνθήκες είναι επιθυμητό να διαθέτουν συγκεκριμένες ιδιότητες, όπως:

- να παράγουν όσο το δυνατό μικρότερα ανακλώμενα κύματα.
- να είναι αποτελεσματικές σε όσο το δυνατό μικρότερες αποστάσεις από τα σημεία που μας ενδιαφέρουν ή από τη διάταξη που μοντελοποιούμε, έτσι ώστε χώρος προσομοίωσης να μην παίρνει πολύ μεγάλες διαστάσεις.
- να είναι αποτελεσματικές ανεξάρτητα από την πόλωση του προσπίπτοντος κύματος, της συχνότητας του και της γωνίας προσπτώσεως.

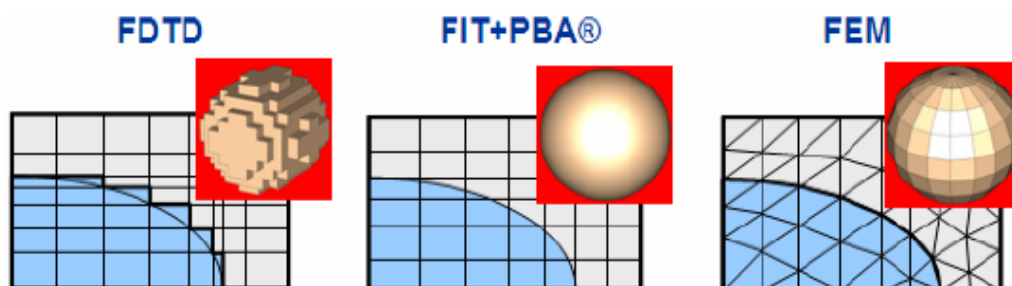
Κατά καιρούς έχουν προταθεί και χρησιμοποιηθεί διάφορων ειδών απορροφητικές συνθήκες. Το CST Microwave Studio χρησιμοποιεί την συνθήκη κατά την οποία περιβάλλεται ο υπολογιστικός χώρος με ένα απορροφητικό υλικό. Ο κυριότερος και σημαντικότερος εκπρόσωπος αυτής της κατηγορίας είναι το Τέλεια Προσαρμοσμένο Στρώμα (Perfectly Matched Layer - PML) το οποίο αποτελεί μια σχετικά νέα εξέλιξη. Μέχρι σήμερα θεωρείται, ότι για την προσομοίωση του ελεύθερου χώρου αποτελεί την αποτελεσματικότερη απορροφητική συνθήκη.

2.2 Μέθοδος Πεπερασμένης Ολοκλήρωσης (FIT)

Η μέθοδος πεπερασμένης ολοκλήρωσης FIT που πρώτος πρότεινε ο Weiland αποτελεί γενίκευση της μεθόδου FDTD. Η αριθμητική αυτή μέθοδος παρέχει ένα γενικό σχήμα διακριτοποίησης του χώρου, το οποίο εφαρμόζεται σε διάφορα ηλεκτρομαγνητικά προβλήματα από υπολογισμούς στατικών πεδίων ως εφαρμογές υψηλών συχνοτήτων στο πεδίο του χρόνου ή της συχνότητας.

Στην περίπτωση καρτεσιανών πλεγμάτων, η FIT τεχνική μπορεί να ξαναγραφεί στο πεδίο του χρόνου δίνοντας τις τυποποιημένες μεθόδους πεπερασμένων διαφορών στο πεδίο του χρόνου (FDTD). Η τεχνική PBA που χρησιμοποιεί το CST Microwave

Studio μαζί με την τεχνική FIT επιτρέπει την ακριβή μοντελοποίηση καμπύλων κατασκευών, διατηρώντας ταυτόχρονα τα πλεονεκτήματα των καρτεσιανών πλεγμάτων. Έτσι ο συνδυασμός του PBA (Perfect Boundary Approximation) με την απόδοση της μεθόδου FIT (Finite Integration Technique) αποτελεί την βάση για το CST Microwave Studio .



Διαφορές τεχνικών FDTD, FIT, FEM[3]

2.3 Παρουσίαση CST STUDIO 2011

Στην παρούσα διπλωματική θα μελετηθεί εκτενώς το επαγγελματικό λογισμικό πακέτο CST Microwave. Το λογισμικό CST Microwave 2011 αποτελεί μέρος της σουίτας CST STUDIO 2011. Τα επιμέρους λογισμικά που απαρτίζουν την σουίτα είναι:

CST EM STUDIO

Αποτελεί ένα εργαλείο για τρισδιάστατες προσομοιώσεις κυρίως σε προβλήματα χαμηλών συχνοτήτων. Το λογισμικό αποτελείται από μια πλειάδα προσομοιωτών για διάφορες εφαρμογές. Εφαρμόζεται κυρίως σε ηλεκτρομαγνητικά προβλήματα.

CST PARTICLE STUDIO

Ειδικεύεται σε προσομοιώσεις του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου που επιδρούν με φορτισμένα σωματίδια. Το λογισμικό διαθέτει αρκετούς προσομοιωτές για να αντιμετωπίσει αυτά τα δύσκολα προβλήματα.

CST MPHYSICS STUDIO

Αποτελεί ένα εργαλείο για την επίλυση τόσο θερμικών όσο και μηχανικών προβλημάτων (mechanical stress problems).

CST DESIGN STUDIO

Αποτελεί ένα σχεδιαστικό εργαλείο. Με αυτό μπορεί να αποτυπωθούν μέρη ενός ολοκληρωμένου κυκλώματος. Επίσης το πρόγραμμα παρέχει γραμμικούς και μη γραμμικούς προσομοιωτές

CST PCB STUDIO

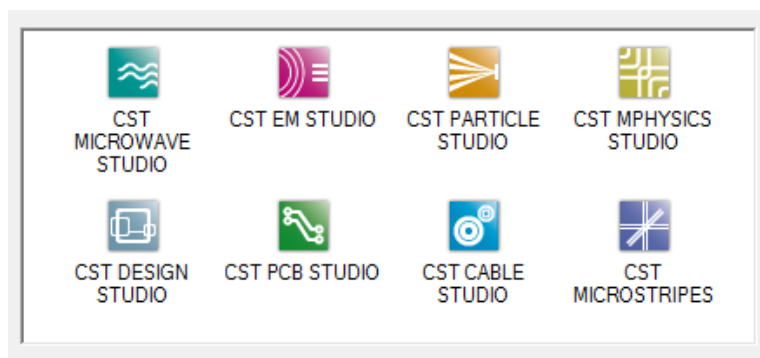
Αποτελεί ένα εργαλείο για την ανάπτυξη και σχεδίαση ηλεκτρονικών κυκλωμάτων (PCB – Printed Circuit Board).

CST CABLE STUDIO

Αποτελεί ένα εργαλείο, το οποίο αναλύει και σχεδιάζει διαφόρων ειδών καλώδια όπως μονά καλώδια, συνεστραμμένα ζεύγη καλωδίων.

CST MICROSTRIPES

Αποτελεί ένα εργαλείο το οποίο εκτελεί προσομοιώσεις με time domain μεθόδους.



CST STUDIO 2011

2.4 CST MICROWAVE STUDIO

Το CST Microwave Studio 2011 αποτελεί ένα επαγγελματικό εργαλείο προσομοίωσης ηλεκτρομαγνητικών προβλημάτων. Χρησιμοποιείται για την επίλυση διαφόρων τύπων προβλημάτων τόσο σε υψηλές όσο και σε χαμηλές συχνότητες. Αποτελεί ιδανική επιλογή την επίλυση σύνθετων προβλημάτων τα οποία πρέπει να μελετηθούν σε μεγάλο εύρος συχνοτήτων, γιατί έχει την ικανότητα να εξάγει αποτελέσματα με μια προσομοίωση για μεγάλο εύρος συχνοτήτων. Το πρόγραμμα βασίζεται σε μία τεχνική η οποία απαιτεί την διακριτοποίηση του συνολικού χώρου στον οποίο γίνονται οι υπολογισμοί. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οι εφαρμογές περιορίζονται από τις ηλεκτρικές διαστάσεις των διατάξεων. Ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό της προσομοίωσης είναι η γραμμική σχέση μεταξύ των υπολογιστικών πόρων και των διαστάσεων κάθε διάταξης. Επίσης μια πολύ χρήσιμη δυνατότητα του CST Studio είναι η δυνατότητα αλληλεπίδρασης με την γλώσσα matlab.

2.5 Περιγραφή γραφικού περιβάλλοντος και διαδικασίας προσομοίωσης

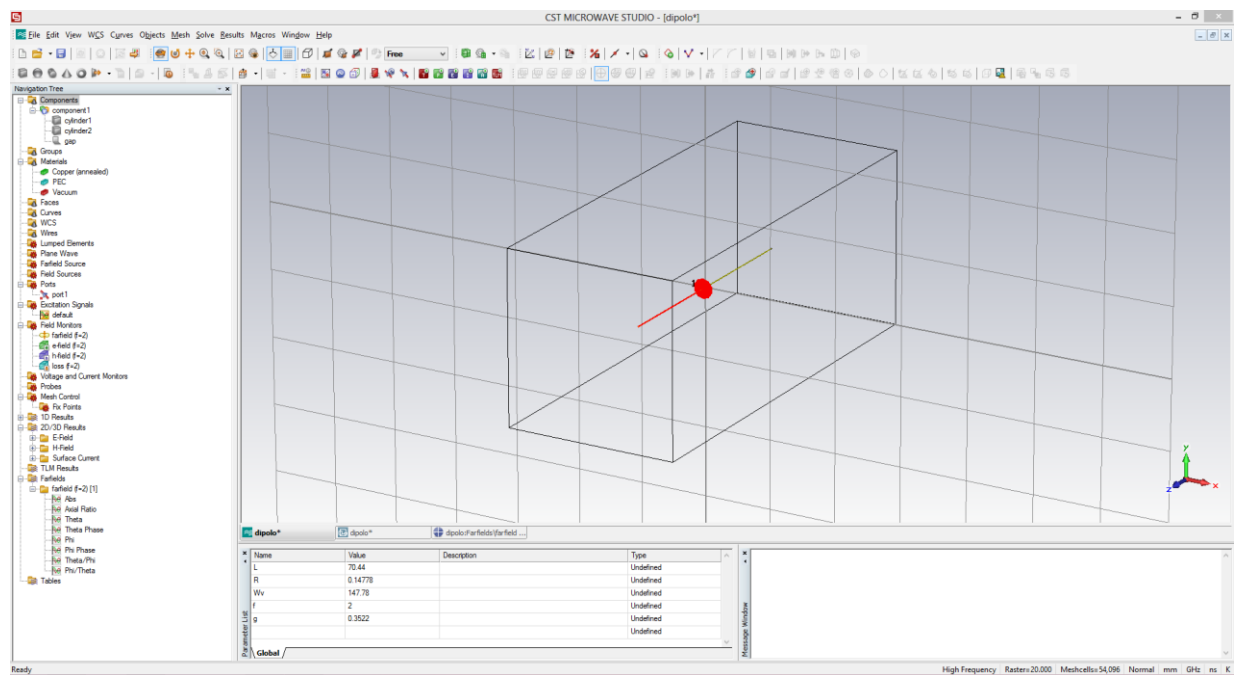
Παρακάτω περιγράφονται τα πιο σημαντικά βήματα μιας τυπικής προσομοίωσης.

Επιλογή project

Μετά το άνοιγμα του προγράμματος, επιλέγεται αρχικά η δημιουργία ενός νέου project. Εδώ επιλέγεται το project που ταιριάζει περισσότερο στην διάταξη που μελετάται.

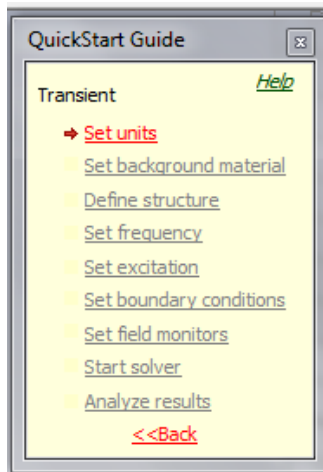
Κυρίως Παράθυρο

Στα δεξιά της εικόνας μας βλέπουμε όλα τα διαθέσιμα στοιχεία του project μας. Στο κάτω μέρος βλέπουμε την λίστα παραμέτρων μας, με τις μεταβλητές που έχουμε θέσει καθώς και την ακριβή κατάσταση του προγράμματος και της προσομοίωσης μας. Μέσα στο κύριο παράθυρο μας κατασκευάζεται η διάταξη της εκάστοτε κεραία μας.



Κύριο παράθυρο προγράμματος

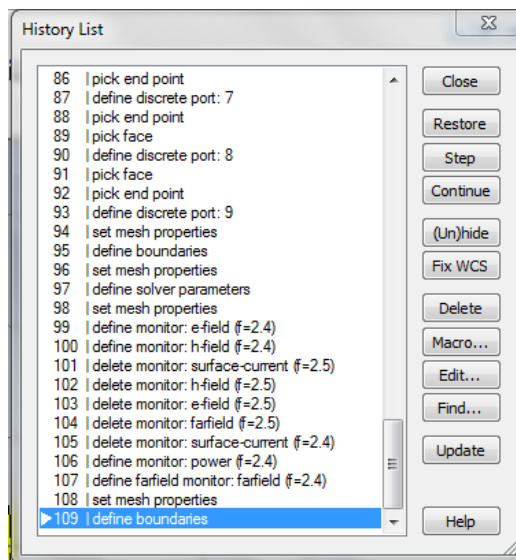
Μερικά χρήσιμα βήματα για την δημιουργία ενός ολοκληρωμένου project μας δίνεται η ευκαιρία να τα δούμε στο Quick Start Guide.



Quick Start Guide.

History list

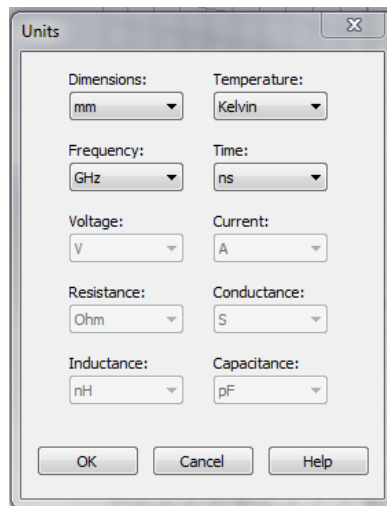
Με το ιστορικό έχουμε την δυνατότητα να δούμε όλα τα προηγούμενα βήματα που έχουν επιτευχθεί καθώς μας δίνεται η δυνατότητα να “γυρίσουμε πίσω” και να διαφοροποιήσουμε ότι θέλουμε.



Ιστορικό

Ορισμός μονάδων

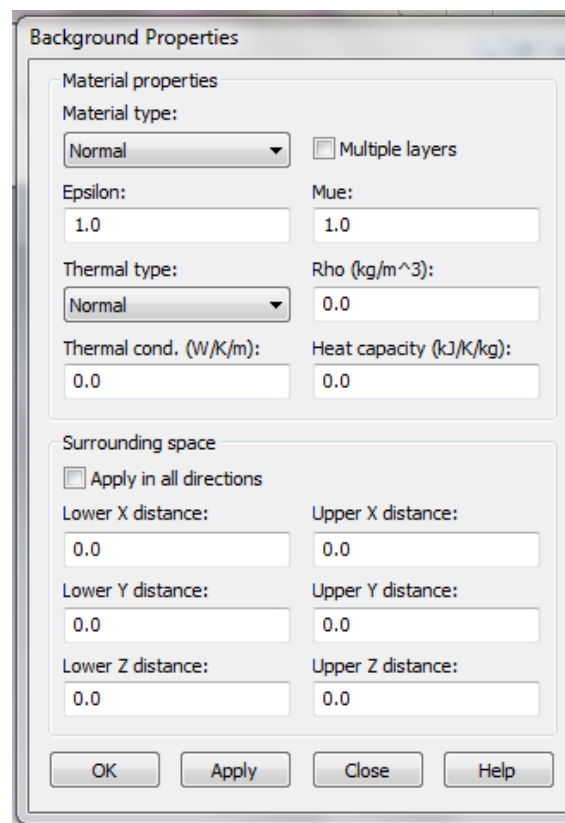
Εδώ επιλέγονται οι μονάδες των τριών βασικών μεγεθών που χρησιμοποιούνται, δηλαδή, του χρόνου, του μήκους και της συχνότητας.



Ορισμός μονάδων

Ορισμός υλικού του background

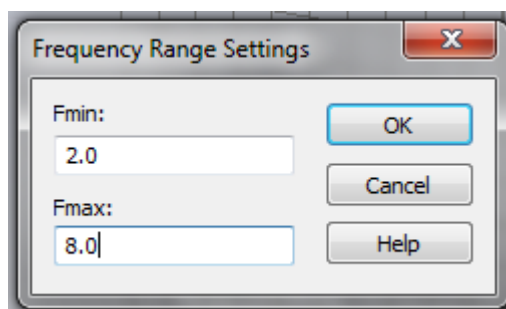
Εδώ ορίζεται το υλικό π.χ. τέλειος αγωγός (PEC), κενό κτλ. που περιβάλλει την διάταξη που προσομοιώνεται. Για τον αέρα χρησιμοποιείται το είδος υλικού "normal".



Ορισμός υλικού background

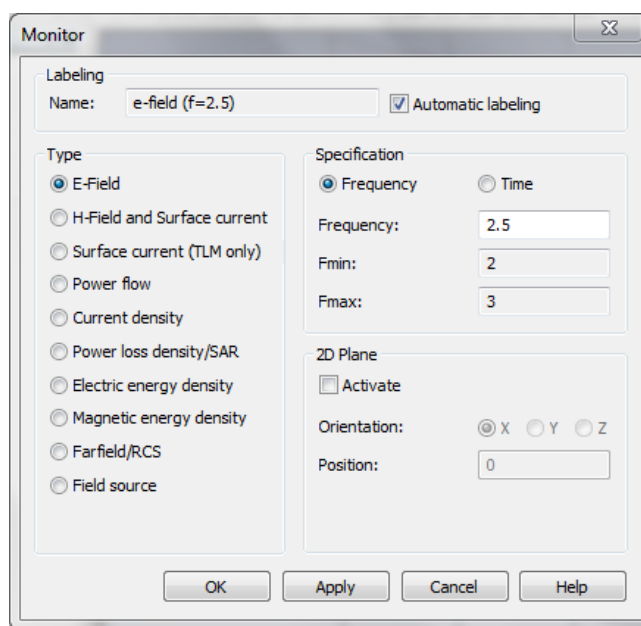
Ορισμός συχνοτήτων

Εδώ ορίζεται η ελάχιστη και η μέγιστη συχνότητα του εύρους στο οποίο θα γίνει η προσομοίωση.



Εύρος συχνοτήτων προσομοίωση

Έπειτα με το filed monitor επιλέγεται η συγκεκριμένη συχνότητα που θέλουμε να παρακολουθήσουμε. Μπορούμε να παρακολουθήσουμε ταυτόχρονα παραπάνω από μια συχνότητα και τα διαγράμματα ακτινοβολίας της.

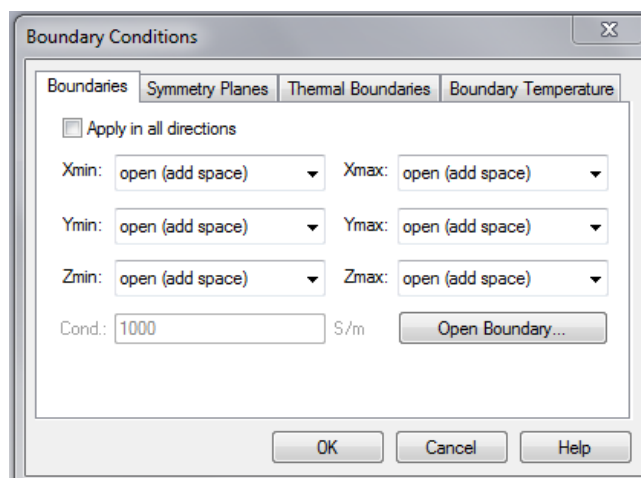


Ορισμός Field Monitors

Ορισμός οριακών συνθηκών και επιπέδων συμμετρίας (boundary conditions)

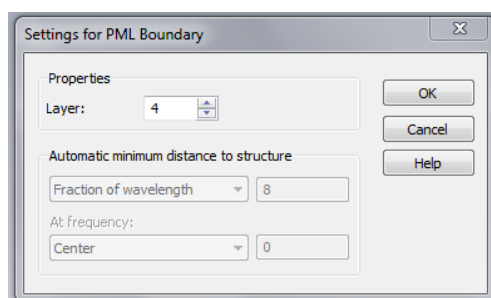
Εδώ ορίζονται οι οριακές συνθήκες της περιοχής εντός της οποίας θα πραγματοποιηθεί η προσομοίωση. Στα ακόλουθα παραδείγματα χρησιμοποιήθηκε η τιμή open add space σαν τιμή οριακής συνθήκης. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται πιο

ακριβής η προσομοίωση μας έστω και αν αυξάνεται ο υπολογιστικός χρόνος της προσομοίωσης μας.



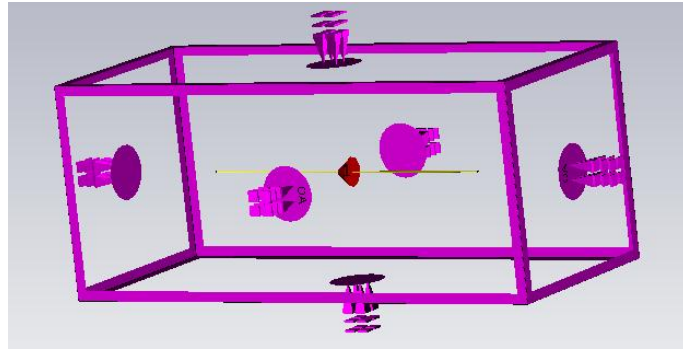
Οριακές συνθήκες

Υπάρχουν αρκετές δυνατές επιλογές κάθε μία από τις οποίες ταιριάζει καλύτερα σε συγκεκριμένο τύπο εφαρμογών. Επίσης, σε περιπτώσεις συμμετρικών διατάξεων, μπορούν να ορισθούν κατάλληλα επίπεδα συμμετρίας ώστε να μειωθεί κατά το δυνατόν ο υπολογιστικός χρόνος.



PML

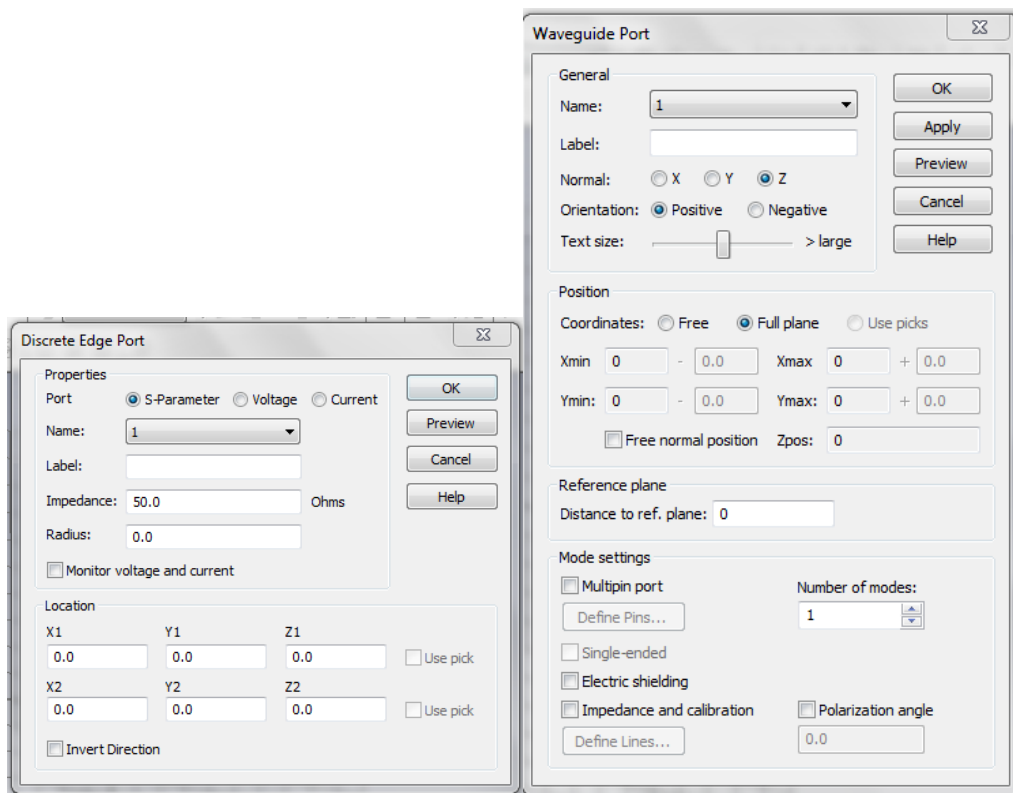
Το PML αποτελεί την πιο αποτελεσματική από το σύνολο των απορροφητικών συνθηκών.



Οριακές συνθήκες διπόλου $\lambda/2$ (open-add space)

Ορισμός θυρών

Οι συγκεκριμένες εικόνες αποτελούν επιλογές για την θύρα τροφοδοσίας.

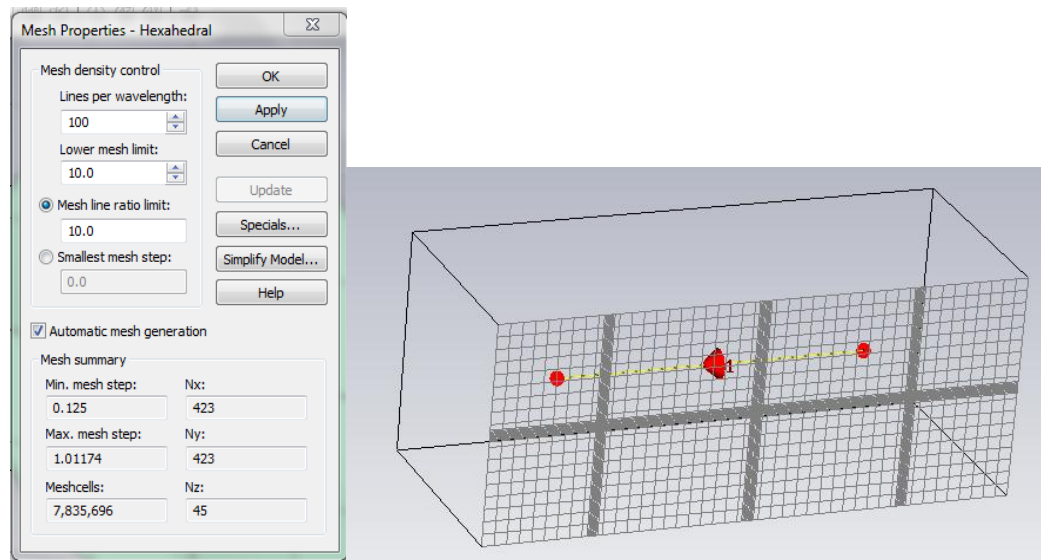


Εικόνα 24 Ορισμός διακριτής θύρα και θύρας κυματοδηγού

Μπορούμε να διεγείρουμε με δύο τρόπους την θύρα μας είτε με την επιλογή discrete Edge θύρα ή σαν θύρα κυματοδηγού. Και οι δυο θύρες δουλεύουν άψογα για τα παρακάτω παραδείγματα που εκτελέστηκαν, αλλά επιλέχθηκε η θύρα discrete port λόγω γεωμετρικής ευκολίας.

Παραγωγή πλέγματος

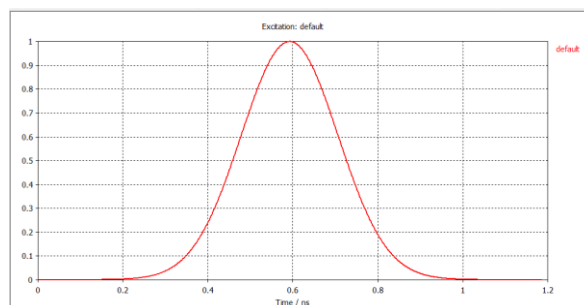
Η παραγωγή πλέγματος αποτελεί τη διαδικασία σύμφωνα με την οποία μετριοούνται και εξάγονται τα αποτελέσματα μας για το περιβάλλον της προσομοίωσης μας. Το πλέγμα παίζει σπουδαίο ρόλο αφού επηρεάζει την ακρίβεια καθώς επίσης και την ταχύτητα της προσομοίωσης. Επίσης υπάρχει η δυνατότητα αυτόματα να γίνει πιο πυκνό το πλέγμα μας σε ευαίσθητα σημεία, λαμβάνοντας υπόψη τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά της εκάστοτε γεωμετρίας μας.



Εικόνα 25 Mesh generating και Πλέγμα για δίπολο $\lambda/2$

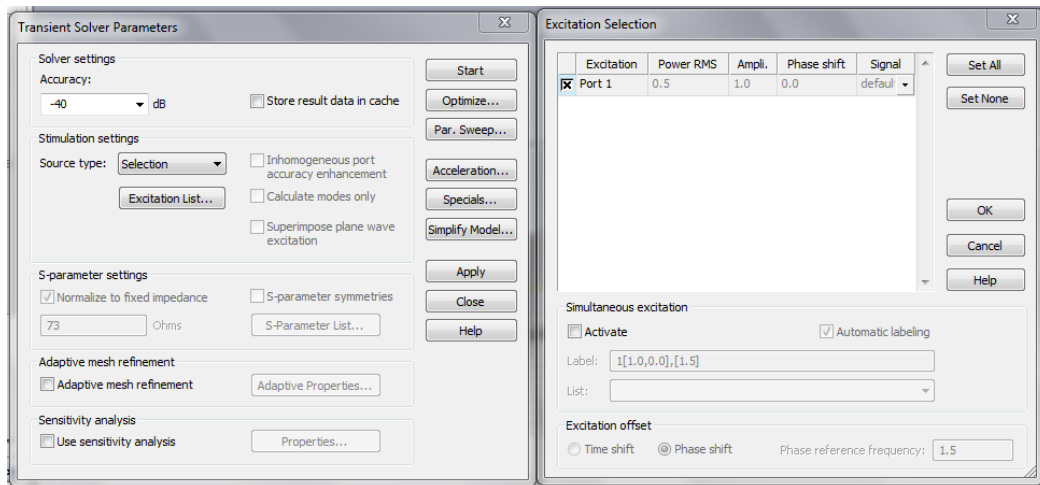
Σήμα εισόδου(excitation signals)

Με αυτή την λειτουργία μας δίνεται η δυνατότητα να διαλέξουμε ανάμεσα από μια πληθώρα σημάτων. Υπάρχει η δυνατότητα να βάλουμε σαν σήμα εισόδου ένα σήμα μόνο μίας συχνότητας (π.χ. ημίτονο) ή με ένα εύρος συχνοτήτων (π.χ. παλμός).



Παλμός διέγερσης

Έναρξη προσομοίωσης



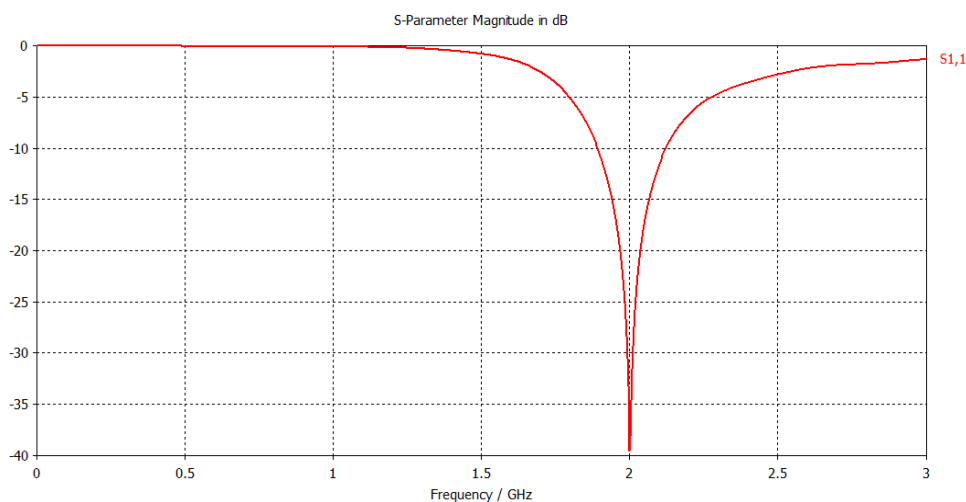
Εικόνα 27 Ορισμός παραμέτρων προσομοίωσης

Το πρόγραμμα διαθέτει τέσσερις διαφορετικές τεχνικές προσομοίωσης (transient solver, eigenmode solver, frequency domain solver), καθεμία από τις οποίες είναι κατάλληλη για συγκεκριμένου τύπου προβλήματα. Στην παρούσα διπλωματική χρησιμοποιήθηκε ο transient solver.

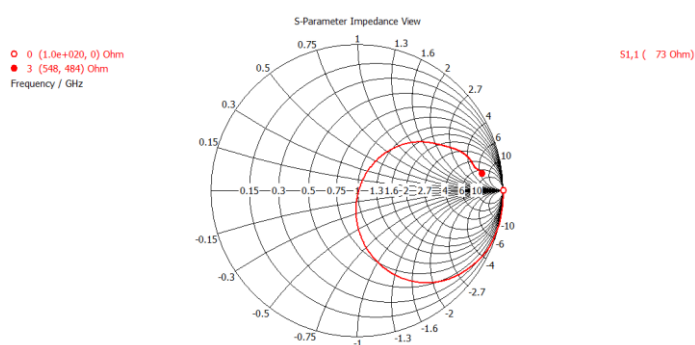
Ανάλυση Αποτελεσμάτων

Εδώ, τέλος, αναλύονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης. Αυτά διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες: τα 1D αποτελέσματα (σήματα εισόδου-εξόδου, S-παράμετροι, χάρτης Smith), τα 2D/3D αποτελέσματα (ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο, επιφανειακά ρεύματα, πυκνότητες ισχύος και ενέργειας) και τα αποτελέσματα μακρινού πεδίου

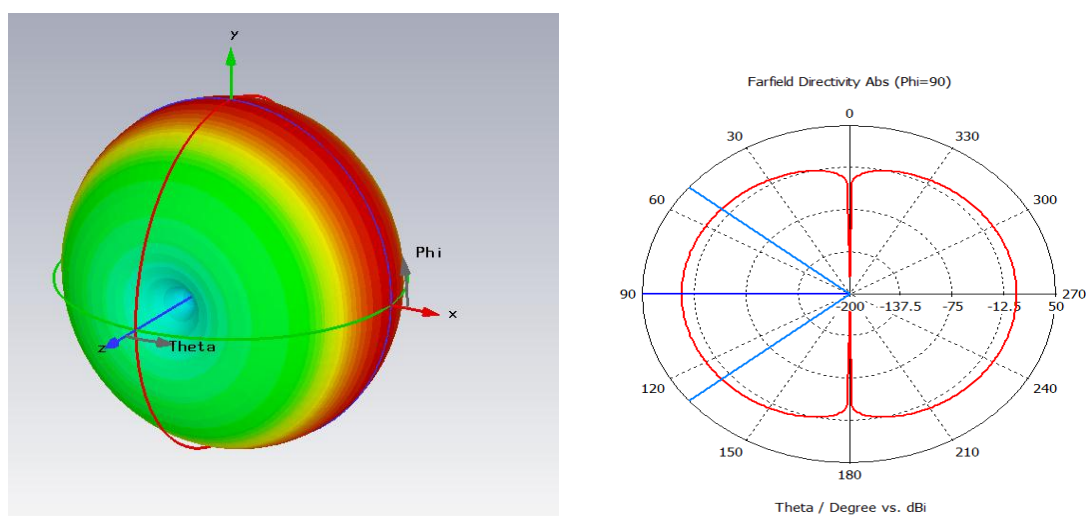
Ανάλυση αποτελεσμάτων δίπολου λ/2



Εικόνα 28 1D result- S parameters



Εικόνα 29 1D result- διάγραμμα smith



Εικόνα 30 3D - 1D result- διάγραμμα ακτινοβλίας

Κεφάλαιο 3^ο

Προσομοιώσεις στοιχειοκεραιών

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής είναι η μελέτη και προσομοίωση συστημάτων κεραιών με το πακέτο λογισμικού CST Microwave 2011. Παρακάτω παρατίθενται 4 διαφορετικά παραδείγματα και έπειτα τα αποτελέσματά τους. Τα συστήματα κεραιών επιλέχθηκαν από ερευνητικά άρθρα. Κάποιες σημαντικές παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν σε όλες τις προσομοιώσεις είναι οι S-Parameter και το VSWR.

Οπότε κρίνεται σκόπιμο να τις αναλύσουμε πριν προχωρήσουμε στις κυρίως προσομοιώσεις.

S-Parameter

Η παράμετρος S_{11} αποτελεί τον πιο κοινό συντελεστή που λαμβάνουμε υπόψη μας για την σχεδίαση μιας κεραίας. Ουσιαστικά δηλώνει πόση τάση ανακλάται από την κεραία. Για να έχουμε αποδεκτά αποτελέσματα πρέπει η παράμετρος S_{11} να είναι μικρότερη του -8dB. Επίσης θεωρούμε ως εύρος ζώνης της εκάστοτε κεραίας τις συχνότητες που η παράμετρος S_{11} είναι κάτω από -8dB. Η S-Parameter υπολογίζεται για όλο το διαθέσιμο εύρος συχνοτήτων που έχουμε διαλέξει.

VSWR – Λόγος στάσιμου κύματος

Το VSWR είναι θετικός αριθμός. Όσο μικρότερη τιμή έχει το VSWR, τόσο καλύτερο είναι για στην κεραία. Η ελάχιστη τιμή του είναι το 1. Στην περίπτωση αυτή, μια αποδεκτή τιμή του VSWR για να δούμε ότι συντονίζει ικανοποιητικά η κεραία μας είναι κάτω του 1.5.

3.1 Κεραία μικροταινίας σχήματος E (E-shaped Patch Antenna)

Η κεραία μικροταινίας σχήματος E και οι διάφορες διατάξεις της αποτελούν μέρος της κατηγορίας κεραιών μικροταινίας (microstrip patch antennas). Η συγκεκριμένη κατηγορία αποτελεί μια κατηγορία κεραιών απλών στην κατασκευή με σχετικά χαμηλό κόστος που είναι σχετικά εύκολα προσαρμόσιμη στις συχνότητες καθορισμού της. Ένα μειονέκτημα που τις χαρακτηρίζει είναι το στενό εύρος ζώνης τους αλλά αυτό μπορεί να βελτιωθεί και με την εφαρμογή σχισμάδων (slots) στην γεωμετρία τους. Λόγω των ελκυστικών χαρακτηριστικών που παρουσιάζουν σε σχέση με άλλους τύπους κεραιών, χρησιμοποιούνται σε μια πληθώρα εφαρμογών με αυξημένες απαιτήσεις όπως στις κινητές και ασύρματες τηλεπικοινωνίες, στους δορυφόρους, σε αεροσκάφη καθώς και σε στρατιωτικές και διαστημικές εφαρμογές. Το κέρδος μιας κεραίας μικροταινίας είναι σχετικά μικρό, κυμαίνεται στα 5-6 dB. Για την επίτευξη μεγαλύτερου κέρδους μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε παραπάνω από ένα στοιχεία στην τελική διάταξη της στοιχειοκεραία μας. Επίσης σημαντικό ρόλο για την αύξηση του κέρδους διαδραματίζει και το πάχος του διηλεκτρικού υποστρώματος της στοιχειοκεραίας μας.

3.1.1.Γεωμετρία μονής μικροταινίας E κεραίας

Η συγκεκριμένη κεραία όπως και οι διάφορες διατάξεις της επιλέχθηκαν από το ερευνητικό[4.]Για την συγκεκριμένη κεραία μικροταινίας E, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά που χρησιμοποιήθηκαν είναι τα εξής: Μεταλλικό φύλο διάστασης 25x25 mm. Για το μεταλλικό φύλο (ground plane) το υλικό που χρησιμοποιήθηκε είναι το PEC, το οποίο είναι πλήρως αγωγίμο υλικό. Υπόστρωμα διαστάσεων 25x25 και πάχους 3,3 mm. Για το υπόστρωμα χρησιμοποιήθηκε το υλικό Taconic TLY-5 το οποίο αποτελεί συνηθισμένο κατασκευαστικό υλικό για τις μικροκεραίες, με $\epsilon_r=2.2$. Η συγκεκριμένη κεραία έχει σχεδιαστεί για να λειτουργεί στην μπάντα των 5.7-6.1GHz.

Έπειτα τα χαρακτηριστικά της E κεραίας φαίνονται στην παρακάτω εικόνα όπου :

$L=15.75$ mm το μήκος του E

$W=14.25$ mm το πλάτος του E

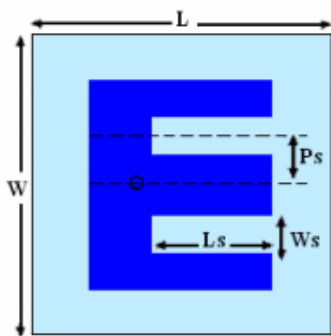
$L_s=6.33$ mm το μήκος της σχισμής του E (slot)

$W_s= 3.39$ mm το πλάτος της σχισμής του E (slot)

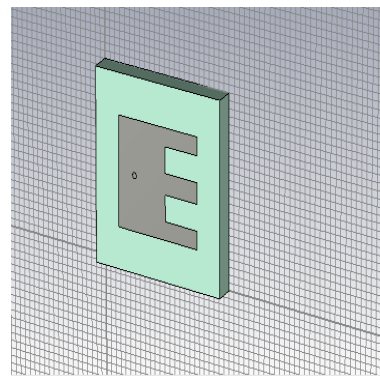
$P_s =3.2$ mm Πόσο απέχει η τροφοδοσία από την πρώτη σχισμή του E.

Η τροφοδοσία μας έχει ακτίνα 0.4 mm και μήκος 3,3mm.

Επίσης το υλικό που κατασκευάστηκε η E κεραία και η τροφοδοσία της είναι το PEC.



Σχηματικό παράδειγμα [4]



Παράδειγμα προσομοίωσης

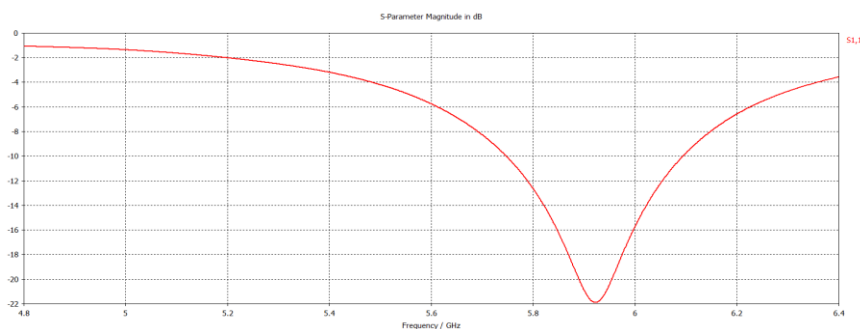
3.1.2 Προσομοίωση κεραίας E

Για την διέγερση της κεραίας χρησιμοποιήθηκε τροφοδοσία με εσωτερική αντίσταση 50Ohm. Η κεραία τροφοδοτήθηκε με 1 Volt και σαν σήμα εισόδου αρχικά

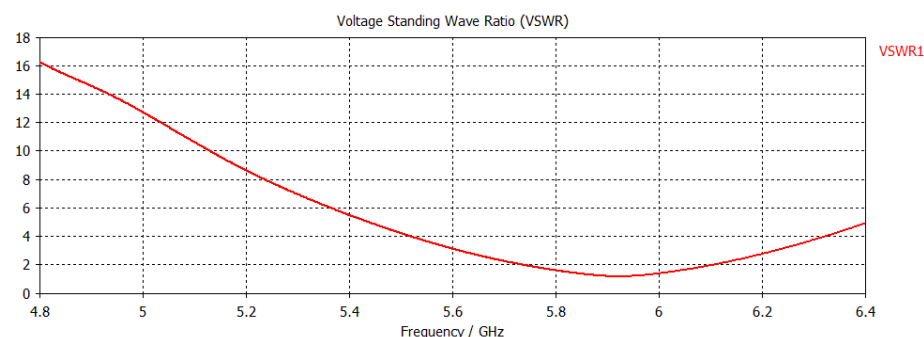
χρησιμοποιήθηκε ένας παλμός για να δούμε εάν συντονίζει ικανοποιητικά και έπειτα ένα ημίτονο στην συχνότητα των 5.8 GHz την οποία μας ενδιαφέρει να μελετήσουμε. Το πλέγμα της προσομοίωσης αποτελείται από 756.583 κελιά. Θεωρήθηκε πως το εξωτερικό περιβάλλον της κεραίας είναι ο αέρας. Επίσης οι οριακές συνθήκες θεωρήθηκε πως είναι και αυτές στον αέρα, άρα χρησιμοποιήθηκε η επιλογή open-add space με PML έως 4 στρώματα. Οι συγκεκριμένες συνθήκες χρησιμοποιούνται σε όλες τις προσομοιώσεις που εκτελέσαμε. Ενδεχομένως η επιλογή open-add space να μεγαλώνει τον χώρο στον οποίο θα εκτελεστεί η προσομοίωση αλλά αποτελεί την πιο ρεαλιστική προσέγγιση.

Για να εξακριβωθεί εάν η κεραία μας λειτουργεί ικανοποιητικά λαμβάνουμε υπόψη μας την παράμετρο S_{11} . Το εύρος ζώνης κάθε κεραίας πρακτικά μπορεί να θεωρηθεί από τις συχνότητες που συντονίζουν πάνω από -8 dB. Όπως φαίνεται και στο σχήμα οι συχνότητες αυτές είναι οι 5.7-6.1GHz.

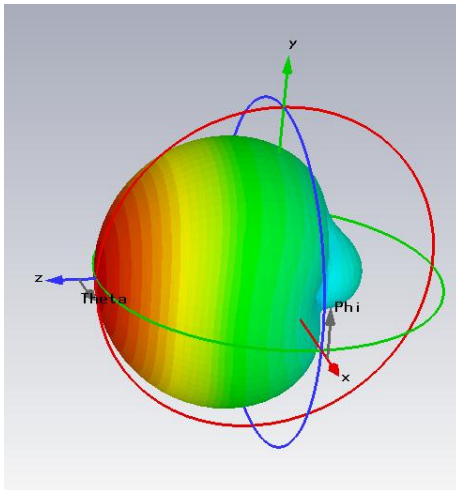
Έπειτα εφόσον θέλουμε να μελετήσουμε την συμπεριφορά της κεραίας για μια συγκεκριμένη συχνότητα, θέτουμε ως σήμα τροφοδοσίας ένα ημίτονο στην συγκεκριμένη συχνότητα. Σε αυτή την περίπτωση μελετήθηκε στη συχνότητα των 5.8 GHz. Τα αποτελέσματα φαίνονται παρακάτω. Βλέπουμε πως το κέρδος της κεραίας μας είναι 7.2 dB.Ο κύριος λοβός της κεραίας στρέφεται στις 0 μοίρες.



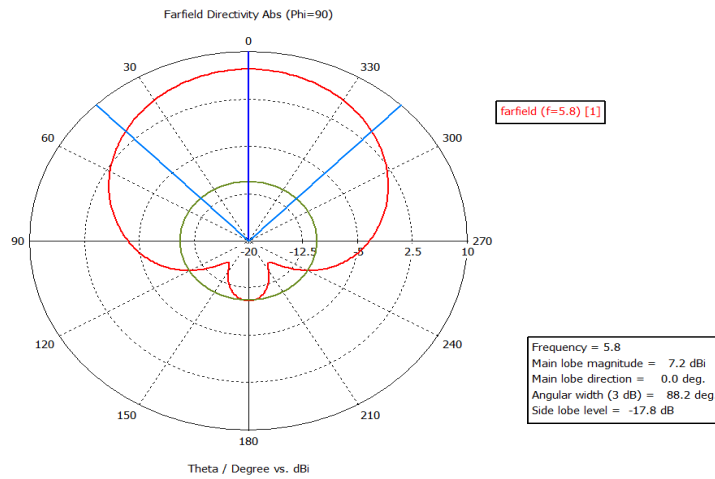
Διάγραμμα S_{11}



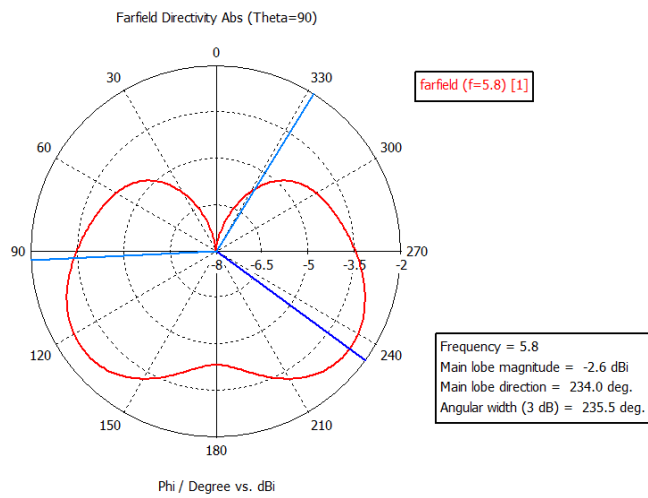
VSWR



3D -Διάγραμμα ακτινοβολίας κεραίας Ε



1^ο σχήμα

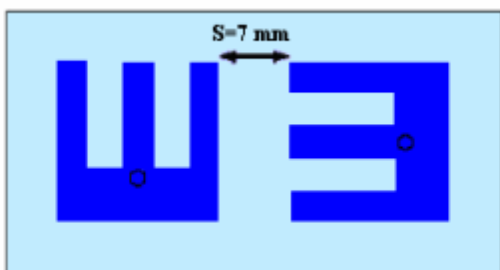


2^ο σχήμα

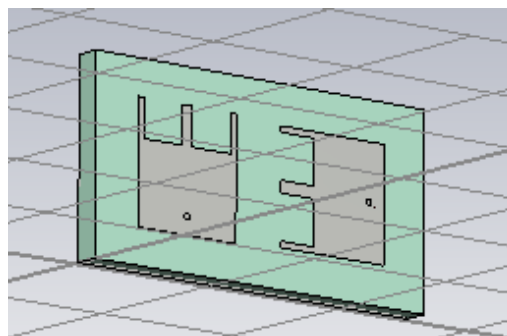
Το 1^ο σχήμα μας δείχνει την συνάρτηση κατευθυντικότητας της κεραίας στο επίπεδο που είναι η κεραία ενώ το 2^ο σχήμα μας δείχνει την ακτινοβολία που εκπέμπει η κεραία στο επίπεδο που είναι κάθετη σε αυτήν.

3.1.3 Προσομοίωση κεραίας 2 Ε

Η κεραία μικροταινίας Ε μπορεί εύκολα να επηρεαστεί από μία άλλη κοντινή της κεραία ίδιου τύπου. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται ιδανική υποψήφια για την σχεδίαση και χρήση της πολλαπλών στοιχείων σε (compact) συμπαγείς κεραίες. Έτσι για να αυξήσουμε το κέρδος δημιουργήσαμε την μικροκεραία μας με την συστοιχία 2 Ε κεραίων όπως φαίνεται στο σχήμα. Για να επιτύχουμε ορθογώνια πόλωση οι δύο κεραίες είναι γυρισμένες με διαφορά 90 μοιρών όπως φαίνεται στο σχήμα. Επίσης για να επιτευχθεί και να βελτιστοποιηθεί ο στόχος της αύξησης κέρδους οι δύο κεραίες σχήματος Ε απέχουν 7 χιλιοστά(0.13λ) και έχουν ελαφρώς διαφοροποιηθεί τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά τους που φαίνονται παρακάτω.



Σχηματικό παράδειγμα[4]



Παράδειγμα προσομοίωσης

Το υπόστρωμα και το επίπεδο γείωσης έχουν διαστάσεις 50X25 mm. Το υπόστρωμα έχει πάχος 3,3mm.

Το υλικό της κεραίας σχήματος Ε και του ground plane είναι το PEC ενώ το υπόστρωμα αποτελείται από το υλικό Taconic TLY-5. Τα δύο στοιχεία απέχουν από τις άκρες τους 7 mm. Τα γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά είναι τα εξής:

$L=15.73$ mm το μήκος του Ε

$W=14.77$ mm το πλάτος του Ε

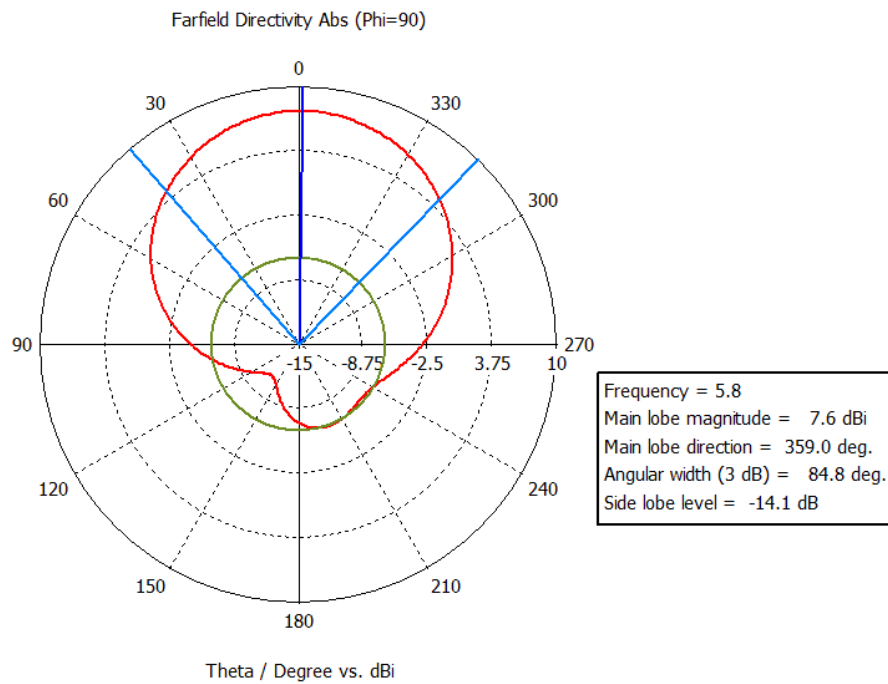
$L_s=4.97$ mm το μήκος της σχισμής του Ε (slot)

$W_s= 5.82$ mm το πλάτος της σχισμής του Ε (slot)

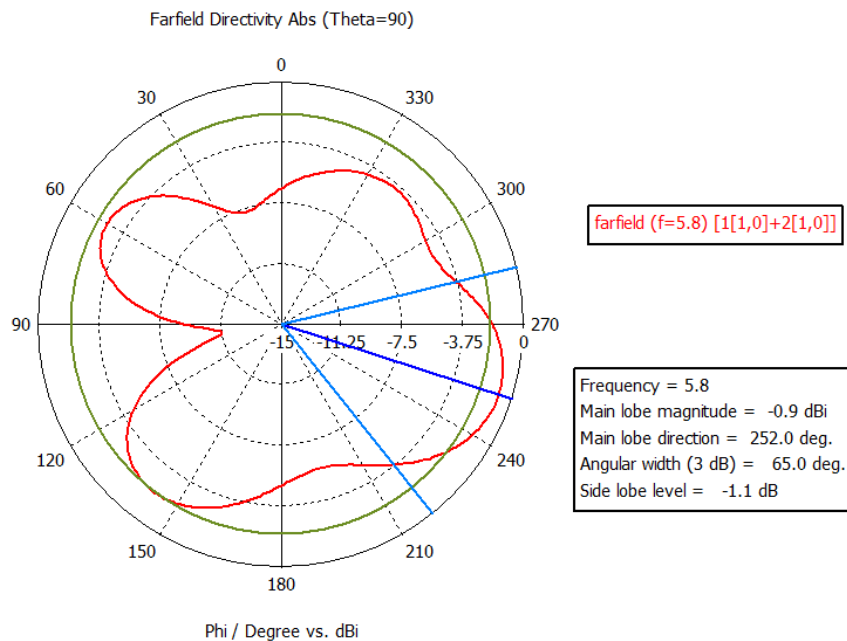
Για να βελτιστοποιήσουμε την κεραία μας, και την ακριβή θέση που θα μπει η τροφοδοσία του κάθε στοιχείου της κεραίας σύμφωνα με τον συντελεστή ανάκλασης, χρησιμοποιήθηκε μια διαδικασία βελτιστοποίησης του CST με την χρήση γενετικού

αλγορίθμου. Έτσι βάζοντας ως παράμετρο την θέση της τροφοδοσίας πήραμε τα βέλτιστο αποτέλεσμα σύμφωνα με τον στόχο που είχαμε βάλει που είναι να συντονίζεται επαρκώς στα 5.8 GHz. Το αποτέλεσμα για την ακριβή θέση της τροφοδοσίας ήταν $x = 2.2516 \text{ mm}$ μετρώντας το από την μέση του W.

Οι προϋποθέσεις της προσομοίωσης μας είναι ίδιες με τις παραπάνω. Δηλαδή open-add space και 4 PML στρώματα και μετράμε το κέρδος στα 5.8GHz. Οι θύρες διεγείρονται και οι δύο ταυτόχρονα με τάση 1Volt. Η τροφοδοσία μας έχει ακτίνα 0.4 mm και μήκος 3,3mm.



Διάγραμμα ακτινοβολίας($\phi=90^\circ$)



Διάγραμμα ακτινοβολίας($\theta=90^\circ$)

Παρατηρούμε μια μικρή αύξηση κέρδους και μεταβολή στην ακτινοβολία που εκπέμπει η κεραία στο επίπεδο που είναι κάθετη σε αυτήν.

3.1.4 Προσομοίωση κεραίας 4E

Έπειτα για να κάνουμε ακόμα πιο αποδοτική την μικροκεραία μας, δημιουργούμε μια κεραία με την συστοιχία τεσσάρων E κεραιών όπως φαίνεται στο σχήμα. Τα στοιχεία απέχουν από τις άκρες τους απόσταση 7 mm και από το κέντρο τους 22 mm. Το υπόστρωμα και το επίπεδο γείωσης έχουν διαστάσεις 100X25 mm. Το υπόστρωμα έχει πάχος 3,3 mm. Το υλικό της κεραίας σχήματος E και του επιπέδου γείωσης είναι το PEC ενώ το υπόστρωμα αποτελείται από το υλικό Taconic TLY-5 (loss free). Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της καινούργιας μας κεραίας είναι τα εξής:

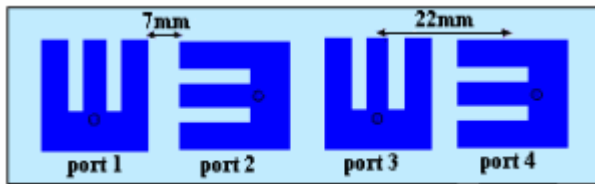
L=14.77 mm το μήκος του E

W=14.77 mm το πλάτος του E

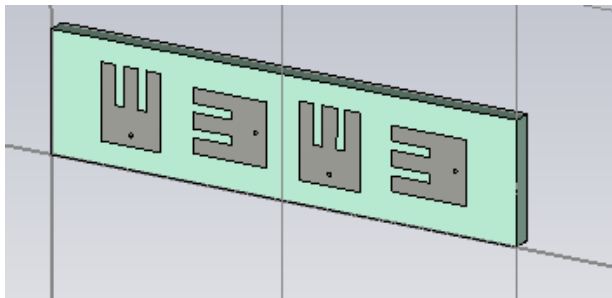
Ls=4.97 mm το μήκος της σχισμής του E (slot)

Ws= 5.82 mm το πλάτος της σχισμής του E (slot)

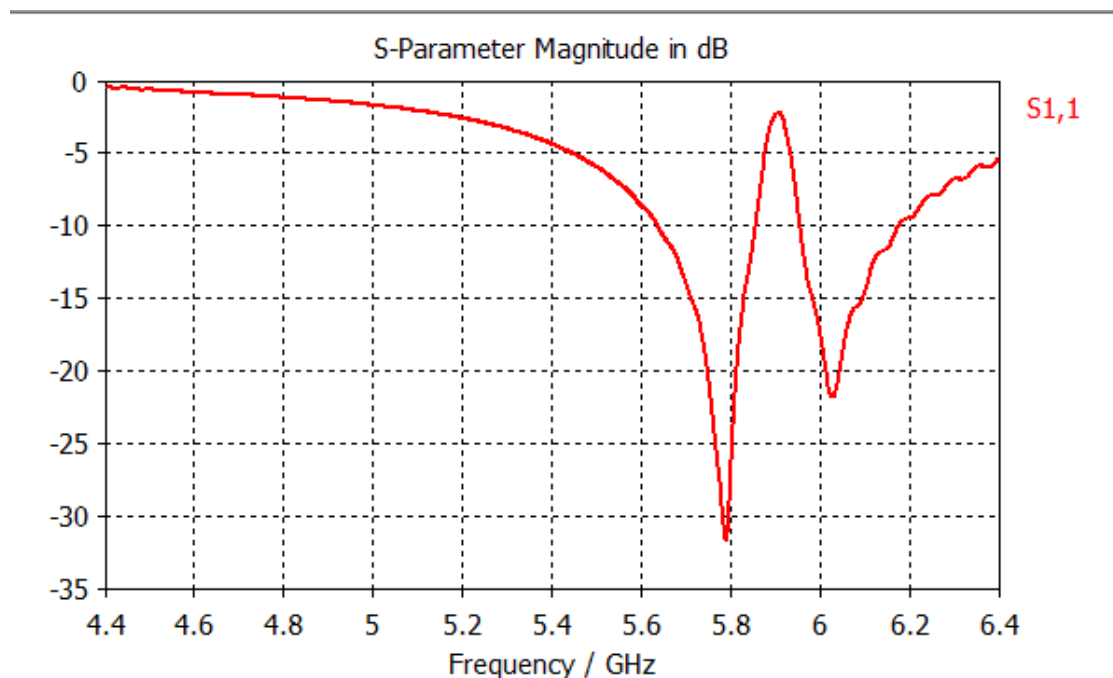
Το αποτέλεσμα για την ακριβή θέση της τροφοδοσίας $x = 2.29 \text{ mm}$. Το μονόπολο μας έχει ακτίνα 0.4 mm και μήκος 3.3 mm . Οι θύρες διεγείρονται και οι τέσσερις ταυτόχρονα με τάση 1 Volt . Η τροφοδοσία μας έχει ακτίνα 0.4 mm και μήκος 3.3 mm .



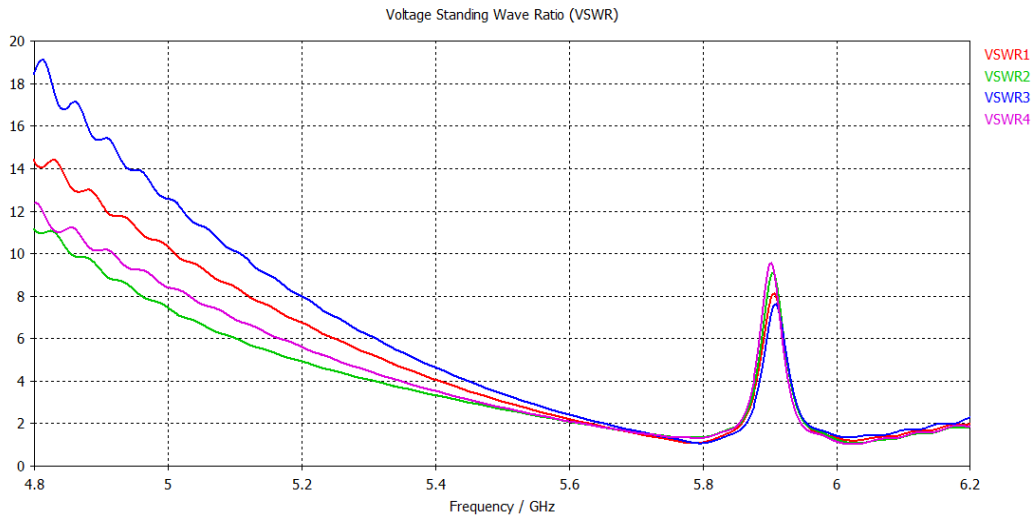
Σχηματικό παράδειγμα[4]



Παράδειγμα προσομοίωσης 4E

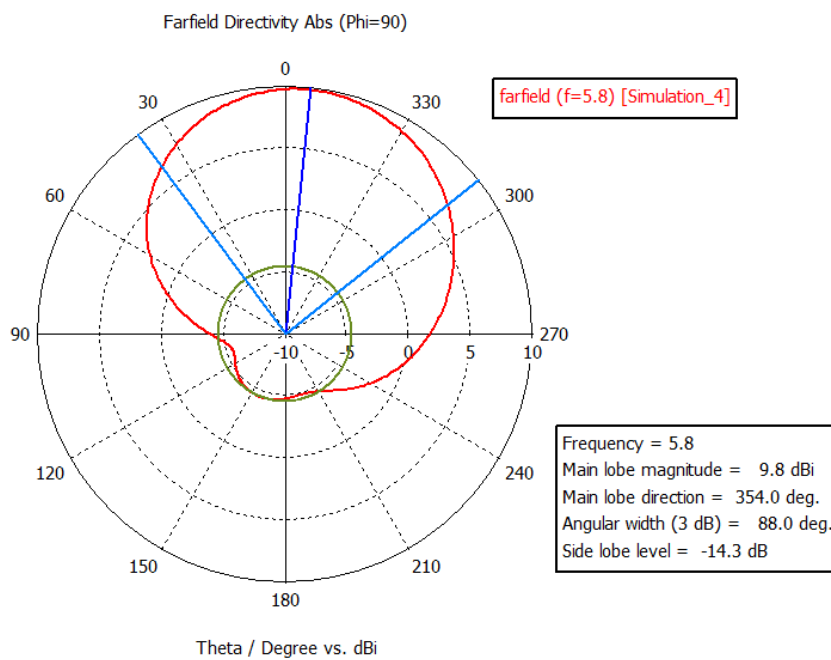


S-Parameter

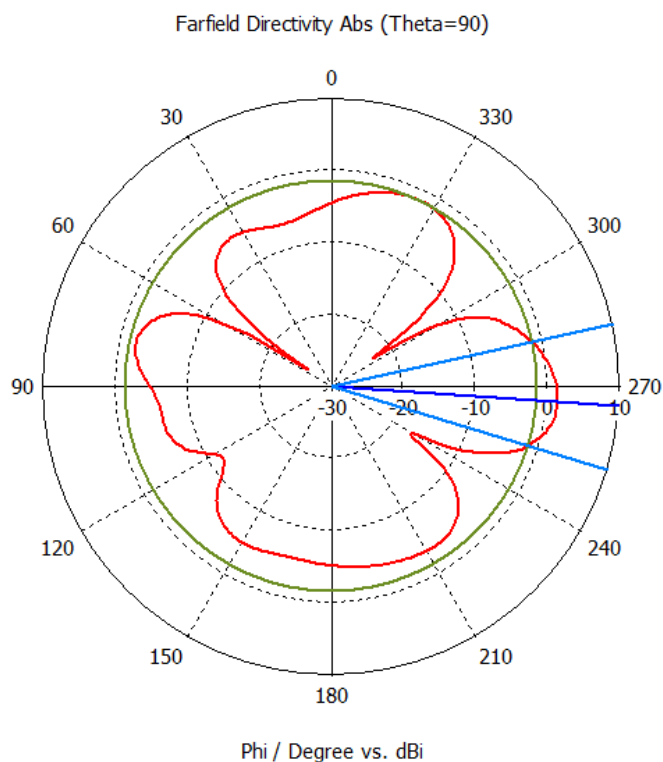


VSWR

Παρατηρούμε ότι η καινούργια κεραία μας συντονίζεται επαρκώς στις συχνότητες 5.8 GHz και 6.2GHz. Επίσης παρατηρείται κέρδος 9.8 dB το οποίο αποτελεί και το μεγαλύτερο κέρδος και από τις τρεις διαφορετικές διατάξεις που προσομοιώσαμε.



Διάγραμμα ακτινοβολίας



Διάγραμμα ακτινοβολίας ($\theta=90^\circ$)

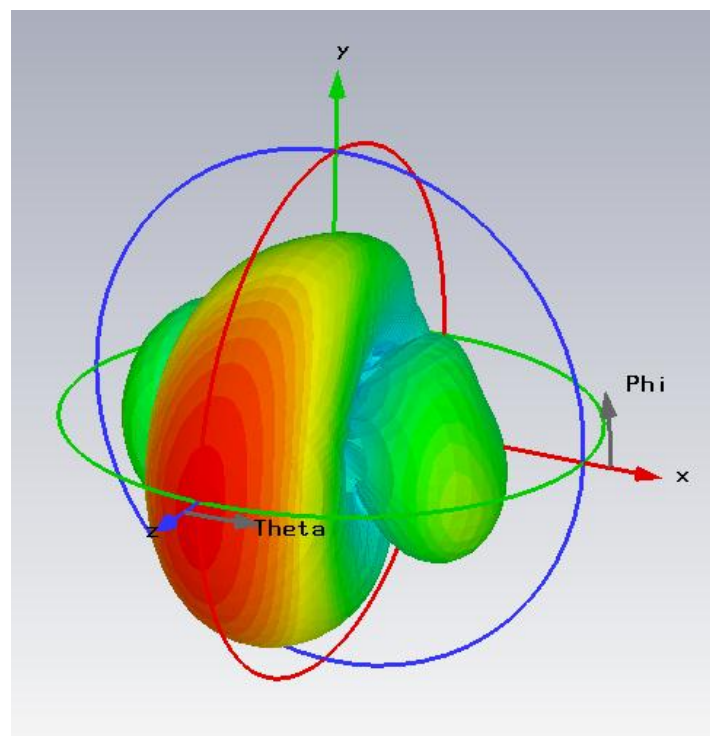
Συγκεντρωτικός πίνακας

Αριθμός Στοιχείων	Κέρδος	Συνολικό μέγεθος κεραίας
1 E	7,2 dB	25mm
2 E	7,6 dB	50mm
4 E	9,8 dB	100 mm

Συμπερασματικά μελετήθηκαν 3 διατάξεις της στοιχειοκεραίας E shaped patch Antenna. Όλες εστιάζουν στην ίδια γωνία ακτινοβολίας (0 μοίρες). Η πρώτη αποφέρει κέρδος 7,2 dB η δεύτερη 7,6 dB και η τρίτη 9,8 dB.

Όπως παρατηρούμε ανάμεσα στις διατάξεις των δύο πρώτων κεραιών δεν έχουμε μεγάλη αύξηση του κέρδους αλλά στην στοιχειοκεραία με τα τέσσερα E έχουμε σημαντική αύξηση του κέρδους. Επίσης και οι τρεις διατάξεις συντονίζουν επαρκώς

στο εύρος συχνοτήτων 5.7-6.1GHz δίνοντας εύρος φάσματος 40MHz. Τα αποτελέσματα μας βρέθηκαν σε απόλυτη συμφωνία με τα αποτελέσματα του ερευνητικού άρθρου. Ωστόσο κρίθηκε σκόπιμο να μην μελετηθεί μια συστοιχία κεραιάς με παραπάνω από τέσσερα στοιχεία γιατί θα από εκεί και πέρα θα έχουμε σημαντική αύξηση του μήκους της κεραιάς, κάτι το οποίο δεν επιθυμούμε. Άρα αποτελεί μια ικανοποιητική λύση η διάταξη της στοιχειοκεραίας με τα τέσσερα E, μήκους 10 εκατοστά, ύψους 2,5 εκατοστών και πλάτους 3.3 χιλιοστών.

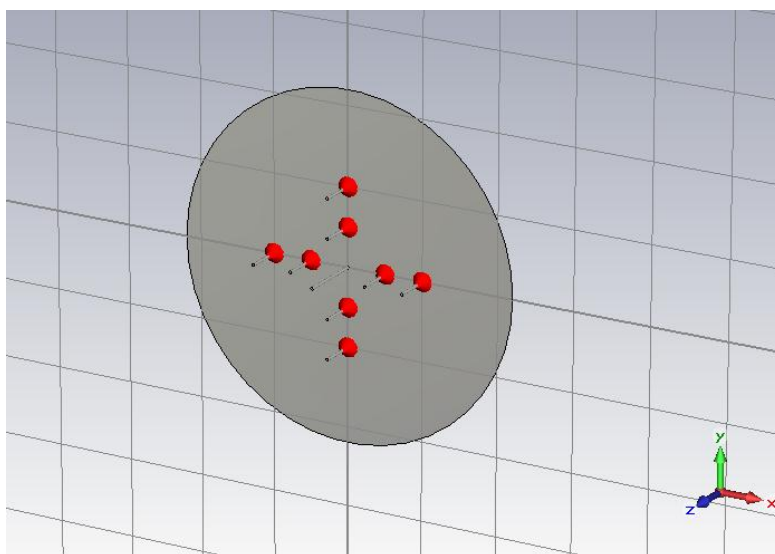


3D -Διάγραμμα ακτινοβολίας κεραιάς 4E

3.2 Προσομοίωση κεραιάς αεροπλάνου

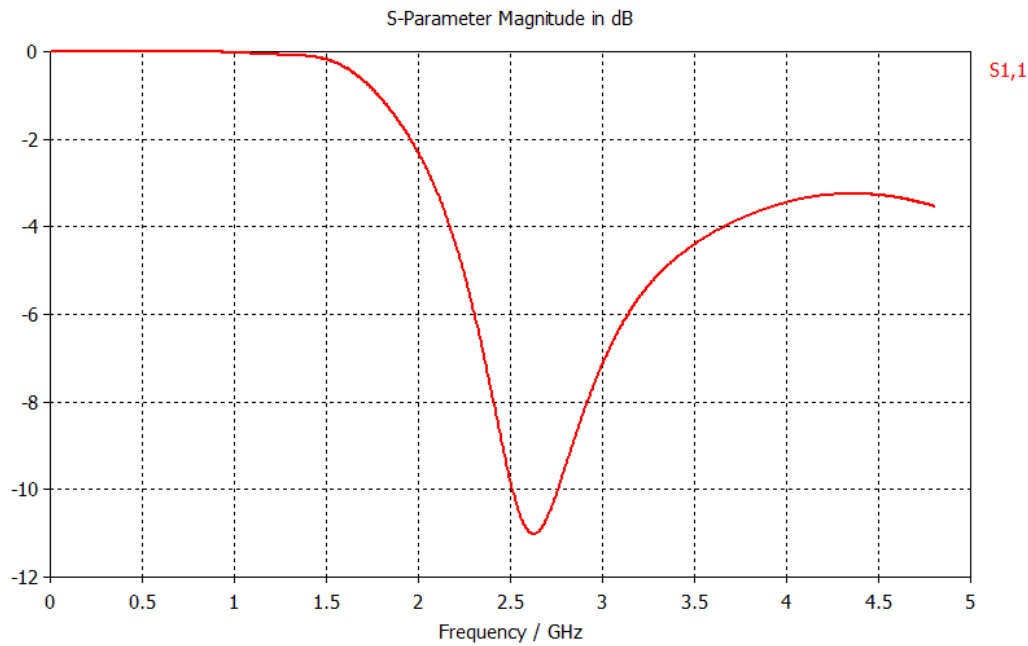
Η παρακάτω κεραιά αποτελεί κεραιά αεροπλάνου κατασκευασμένη να συντονίζεται στα 2.4GHz. Η γεωμετρία της συγκεκριμένης κεραιάς προήλθε από ερευνητικό άρθρο.[15]

Αποτελείται από οχτώ μονόπολα που σχηματίζουν 2 ομόκεντρους κύκλους με ακτίνα 25 mm και 50 mm αντίστοιχα. Τα οχτώ μονόπολα έχουν μήκος 24 mm και ακτίνα $r = 0.9\text{mm}$. Στο κέντρο των κύκλων υπάρχει ο ανακλαστήρας μήκους 42 mm και ακτίνας ομοίως $r=0.9\text{mm}$. Το επίπεδο γείωσης αποτελείται από έναν κύκλο με ακτίνα 110mm. Το υλικό κατασκευής της κεραίας μας είναι το PEC. Η προσομοίωση λαμβάνει χώρο σε ανοιχτό περιβάλλον οπότε επιλέχθηκε η συνθήκη boundary conditions -add space και PLM 4 στρωμάτων. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται η γεωμετρία της κεραίας μας.



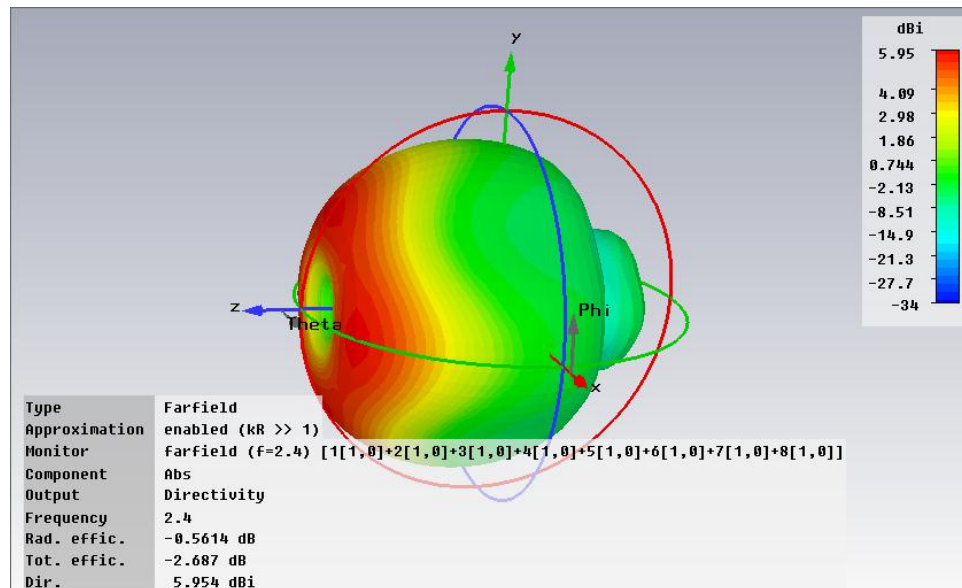
Σχηματική απεικόνιση κεραίας αεροπλάνου

Αρχικά γίνεται μία προσομοίωση για να βγουν οι παράμετροι S χρησιμοποιώντας ακολουθιακή διέγερση των θυρών με ίδιο πλάτος. Έπειτα για να προκύψουν τα διαγράμματα ακτινοβολίας στην συχνότητα που επιθυμούμε χρησιμοποιείται ίδιου πλάτους διέγερση των θυρών και σαν σήμα εισόδου η συγκεκριμένη συχνότητα που θέλουμε να μελετήσουμε. Εδώ συγκεκριμένα θέτουμε σαν σήμα εισόδου ένα ημίτονο στα 2.4 GHz.



S-parameter

Παρατηρούμε ότι συντονίζεται επαρκώς στο διάστημα συχνοτήτων 2.4-2.9GHz αφού σε εκείνες τις συχνότητες η παράμετρος S_{11} είναι κάτω από -8 dB. Τα αποτελέσματα μας φαίνονται παρακάτω.



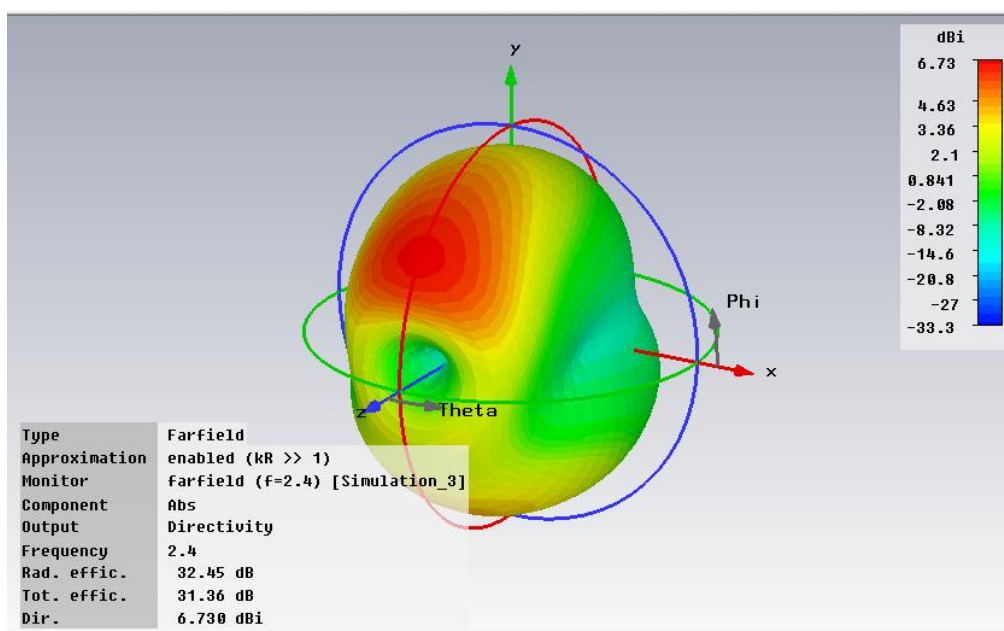
3D διάγραμμα ακτινοβολίας κεραίας αεροπλάνου

Παρατηρούμε πως η κεραία μας γίνεται ομοιόμορφα κατευθυντική προς τα μπροστά καθώς έχει ελαττωθεί κατά πολύ ο δευτερεύων λοβός της. Τέλος η απόδοση της κεραίας μας ανέρχεται στα 5.95 dB. Έπειτα βλέπουμε τις αλλαγές των διαγραμμάτων

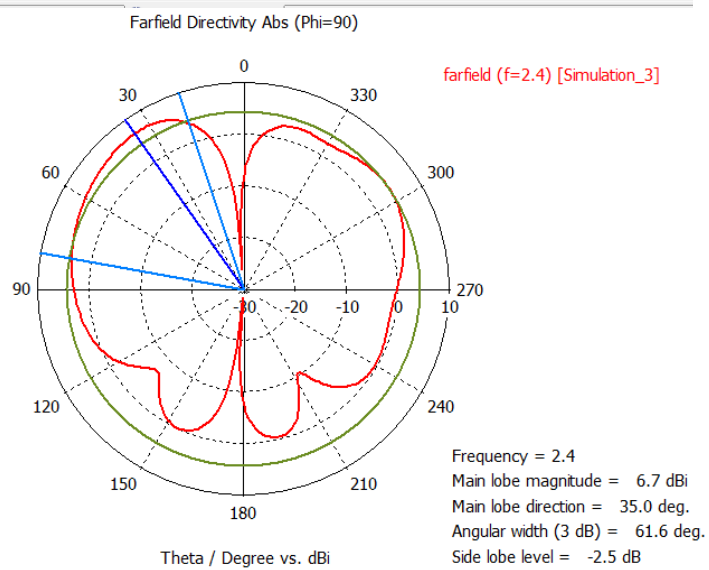
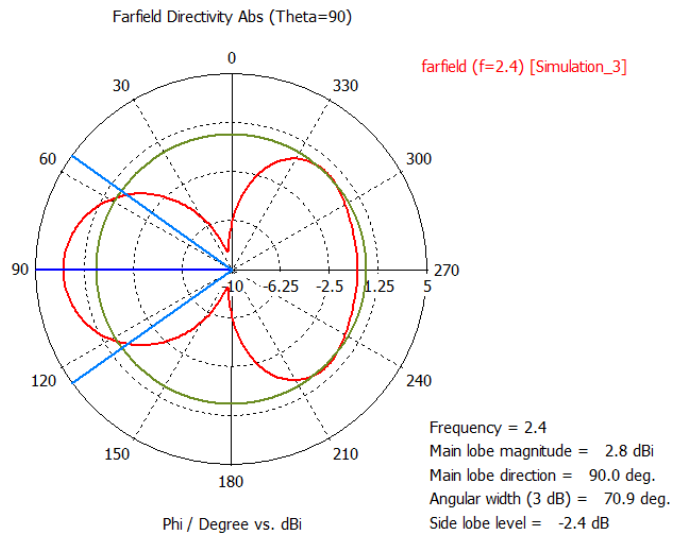
ακτινοβολίας με διάφορες φάσεις που έχουν καθοριστεί για να γίνει διερεύνηση της κεραίας μας.

Σενάριο1

Στοιχεία	Πλάτος διέγερσης	Φάση διέγερσης
Στοιχείο 1	1	270°
Στοιχείο 2	1	0°
Στοιχείο 3	1	60°
Στοιχείο 4	1	0°
Στοιχείο 5	1	60°
Στοιχείο 6	1	0°
Στοιχείο 7	1	60°
Στοιχείο 8	1	0°



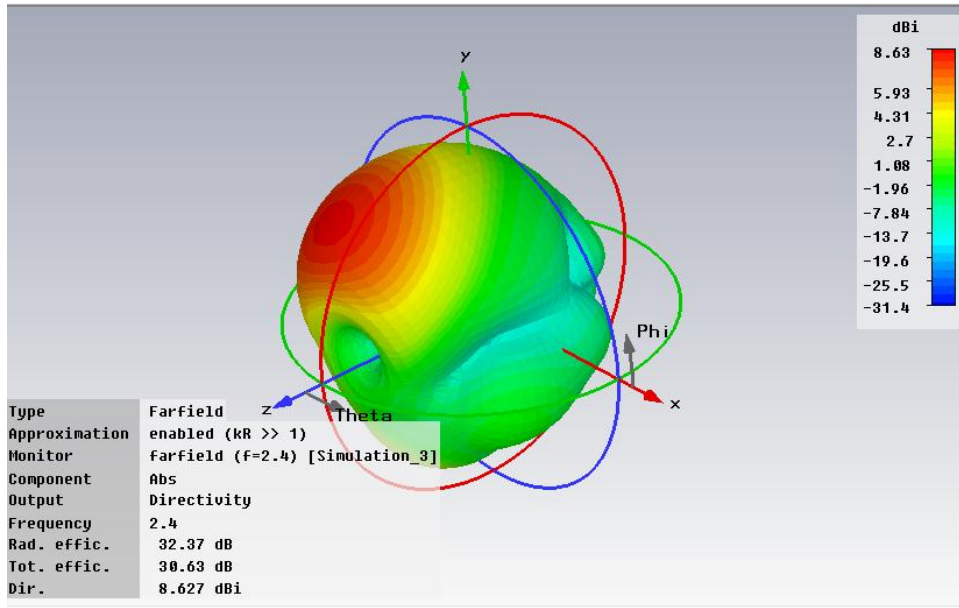
3D διάγραμμα ακτινοβολίας κεραίας αεροπλάνου-σενάριο1



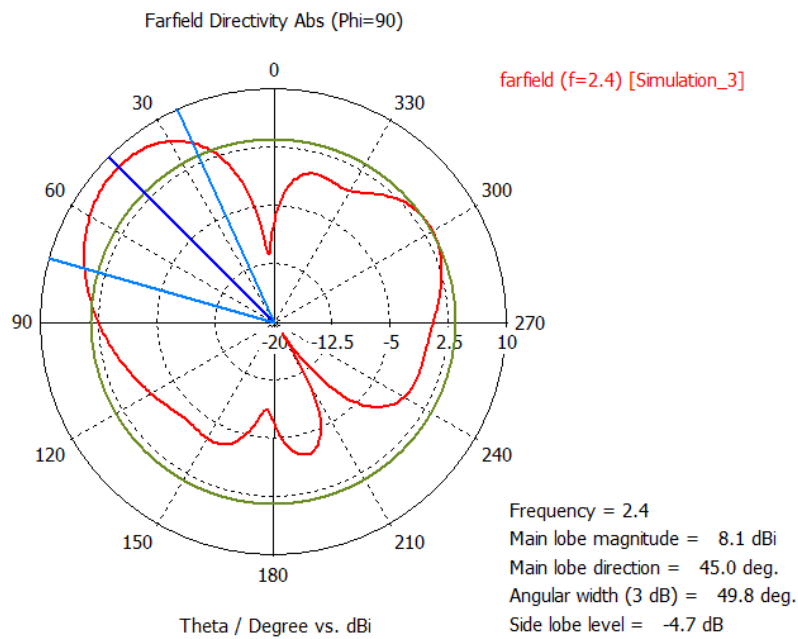
διάγραμματα ακτινοβολίας κεραίας αεροπλάνου-σενάριο1

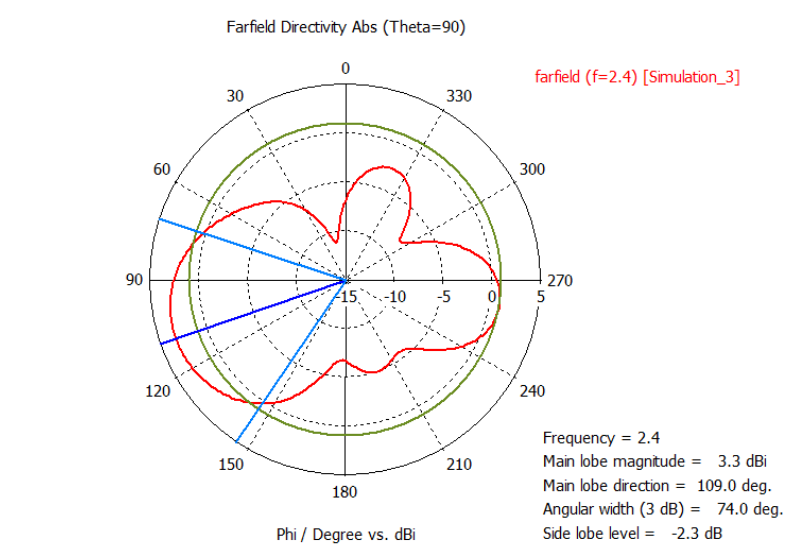
Σενάριο 2

Στοιχεία	Πλάτος διέγερσης	Φάση διέγερσης
Στοιχείο 1	1	270°
Στοιχείο 2	1	0°
Στοιχείο 3	1	45°
Στοιχείο 4	1	60°
Στοιχείο 5	1	0°
Στοιχείο 6	1	90°
Στοιχείο 7	1	30°
Στοιχείο 8	1	0°



3D διάγραμμα ακτινοβολίας κεραίας αεροπλάνου-σενاريو2





διάγραμμα ακτινοβολίας κεραίας αεροπλάνου-σεναριο2

Στην παραπάνω κεραία παρατηρήθηκε πως όταν οι θύρες της διεγείρονται ομοιόμορφα με τάση 1 volt , ο δευτερεύων λοβός της μειώνεται πολύ με αποτέλεσμα να γίνεται πολύ κατευθυντική στο μπροστινό επίπεδο της. Το κέρδος της συγκεκριμένης στοιχειοκεραίας για αυτό το σενάριο είναι 5.95dB. Για το πρώτο σενάριο έχουμε κέρδος 6.73 dB και για το δεύτερο σενάριο έχουμε κέρδος 8.63 dB.

3.3 Προσομοίωση στοιχειοκεραίας 5 στοιχείων

Εισαγωγικά

Η παρακάτω κεραία αποτελεί μια κεραία κινητής τηλεφωνίας που σκοπός της είναι να συντονίζεται σε δίκτυα 4G και πιο συγκεκριμένα στην συχνότητα των 5GHz. Απαραίτητο κρίνεται να μελετήσουμε , εφόσον πρόκειται για κεραίας κινητής τηλεφωνίας, και το SAR (specific absorption rate) δηλαδή την επίδραση και απορρόφηση της ακτινοβολίας στον άνθρωπο και συγκεκριμένα στο κεφάλι ενός ανθρώπου, αφού το μεγαλύτερο ποσοστό που είναι ενεργό είναι όταν μιλάμε στο κινητό. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε ένα ανθρώπινο ομοίωμα. Τα δομικά υλικά του ομοιώματος έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά με τον εγκέφαλο και το αίμα του ανθρώπου.

SAR (ειδικός ρυθμός απορρόφησης)

Ιδιαίτερο χαρακτηριστικό για κάθε κινητό τηλέφωνο αποτελεί ο ειδικός ρυθμός απορρόφησης SAR. Ο ειδικός ρυθμός απορρόφησης (SAR - specific absorption rate) αποτελεί μέγεθος που εκφράζει το ρυθμό απορρόφησης της ακτινοβολίας ραδιοσυχνοτήτων από τους ιστούς του ανθρώπινου σώματος. Ο μαθηματικός του τύπος ορίζεται ως

$$SAR = \frac{\sigma}{2\rho} |E|^2$$

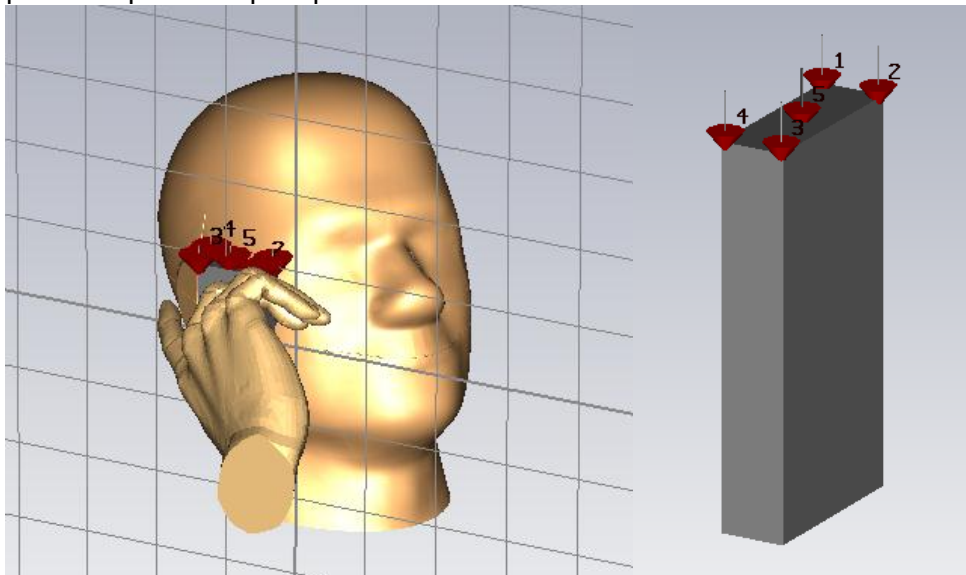
Όπου E είναι η ενεργή τιμή του ηλεκτρικού πεδίου για τον συγκεκριμένο ιστό σε V/m. Το σ είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα του ιστού του ομοιώματος μας, και ρ η πυκνότητα των ιστών του σώματος σε kg/m³. Σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό πρότυπο το όριο για τον δείκτη SAR είναι 2 W/kg ανά 10 γραμμάρια ανθρώπινου ιστού ενώ στην Αμερική ισχύει το 1,6 W/kg ανά γραμμάριο ιστού. Η συγκεκριμένη προσομοίωση έγινε με το πρότυπο της IEEE, το IEEE C95.1: 2005 το οποίο ορίζει σαν όριο το 2.0 W/kg ανά 10 γραμμάρια ιστού.

Γεωμετρία της κεραίας

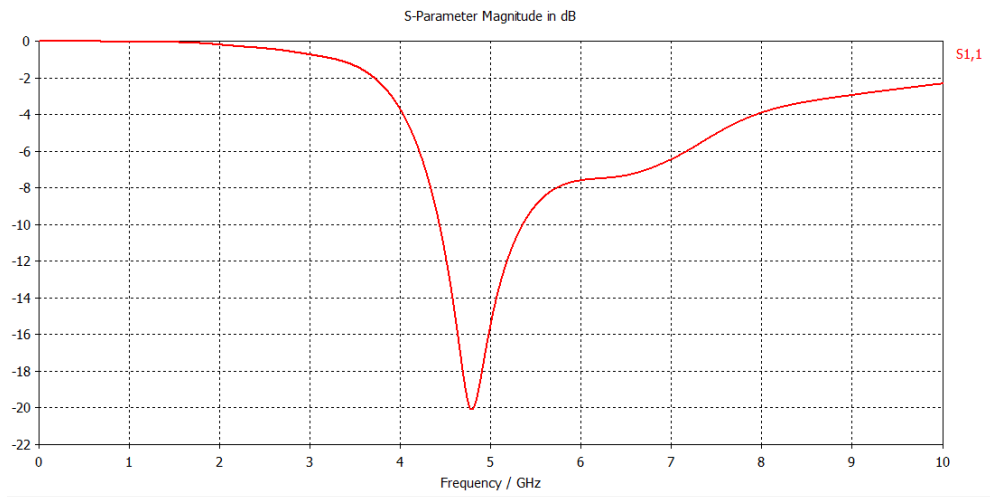
Η γεωμετρία της συγκεκριμένης κεραίας μελετήθηκε από το ερευνητικό άρθρο[15].

Η γεωμετρία της κεραίας απαρτίζεται από 5 μονόπολα και ένα μεταλλικό κουτί. Πιο συγκεκριμένα υπάρχει ένα μεταλλικό κουτί με διαστάσεις μήκους 46.4mm, ύψους 96.4mm και πλάτους 16.4mm. Το μεταλλικό κουτί μας επιτρέπει να τοποθετήσουμε τέσσερα μονόπολα στις γωνίες του και ένα ακριβώς στο κέντρο του. Τα μονόπολα έχουν ακτίνα $r=0.2\text{mm}$ και μήκος 18 mm. Το υλικό κατασκευής της κεραίας μας είναι το PEC. Η προσομοίωση λαμβάνει χώρο σε ανοιχτό περιβάλλον οπότε επιλέχθηκε η συνθήκη boundary conditions -add space και PLM 4 στρωμάτων. Το κινητό απέχει από το ομοίωμα του κεφαλιού μας 3 εκατοστά.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η γεωμετρία της κεραίας μας καθώς και κεραία μαζί με το ανθρώπινο ομοίωμα.



Προσομοίωση κεραίας με ανθρώπινο ομοίωμα



S₁₁-parameter

Παρατηρούμε ότι η κεραία μας συντονίζεται επαρκώς για τις συχνότητες 4.5GHz-5.5GHz.

Προσομοίωση Σεναρίων

Το επόμενο βήμα μας είναι η προσομοίωση ,με το ανθρώπινο ομοίωμα. Κρίνεται αναγκαίο εφόσον αλλάζει το εξωτερικό περιβάλλον της κεραίας να αυξήσουμε το πλέγμα της προσομοίωσης για να πάρουμε και πιο ρεαλιστικά στοιχεία. Έτσι τα κελιά μας ανέρχονται στα 7.453.821. Τα σενάρια που θα μελετηθούν είναι αρχικά χωρίς διαφορά φάσης με πλάτος διέγερσης 1 volt, και έπειτα με τα επόμενα σενάρια τα οποία φαίνονται στους πίνακες. Σκοπός μας είναι να μελετήσουμε τα διαγράμματα ακτινοβολίας των σεναρίων 1_1 και σεναρίων 1_2 και έπειτα να τα βελτιστοποιήσουμε ως προς το SAR τους. Έτσι προκύπτουν τα σενάρια 2_1 και 2_2.

Σενάριο 1 1- Σκοπός μας στροφή λοβού στις 30 μοίρες.

Στοιχεία	Πλάτος διέγερσης	Φάση διέγερσης
Στοιχείο 1	2.87	-17.45°
Στοιχείο 2	2.56	0.92°
Στοιχείο 3	1.29	-70.74°
Στοιχείο 4	1.41	99.88°
Στοιχείο 5	1.96	-171.89°

Σενάριο 1_2 Σκοπός μας στροφή λοβού στις 160 μοίρες.

Στοιχεία	Πλάτος διέγερσης	Φάση διέγερσης
Στοιχείο 1	1.23	-22.91°
Στοιχείο 2	1.95	-119.03°
Στοιχείο 3	2.05	-125.33°
Στοιχείο 4	1.28	25.61°
Στοιχείο 5	2.91	-29.09°

Σενάριο 2_1 Σκοπός μας βελτιστοποίηση του SAR του σεναρίου 1_1.

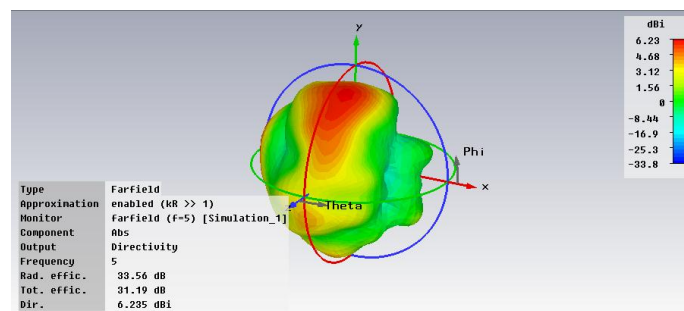
Στοιχεία	Πλάτος διέγερσης	Φάση διέγερσης
Στοιχείο 1	2.69	-78.58°
Στοιχείο 2	1.07	169.33°
Στοιχείο 3	1.65	94.19°
Στοιχείο 4	1.89	-101.26°
Στοιχείο 5	2.91	-110.43°

Σενάριο 2_2 Σκοπός μας βελτιστοποίηση του SAR του σεναρίου 2_1.

Στοιχεία	Πλάτος διέγερσης	Φάση διέγερσης
Στοιχείο 1	1.85	129.69°
Στοιχείο 2	2.69	-23.16°
Στοιχείο 3	1.58	-136.16°
Στοιχείο 4	1.41	-9.79°
Στοιχείο 5	1.58	76.13°

Αποτελέσματα Σενάριο 0_0

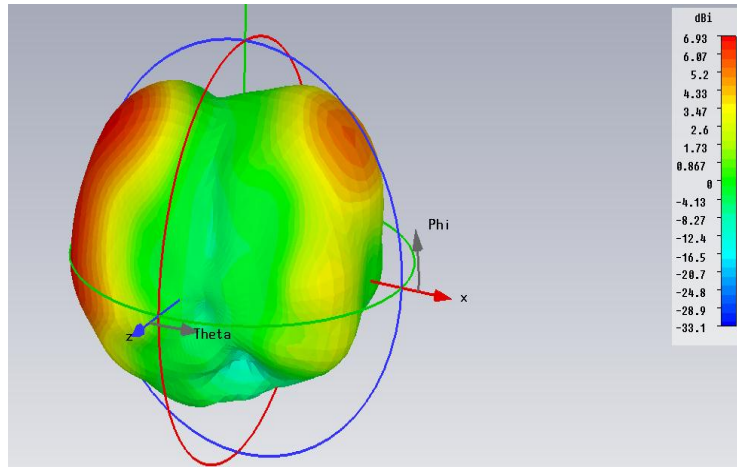
Το διάγραμμα προκύπτει για ταυτόχρονη ομοιόμορφη διέγερση πλάτους 1 volt.



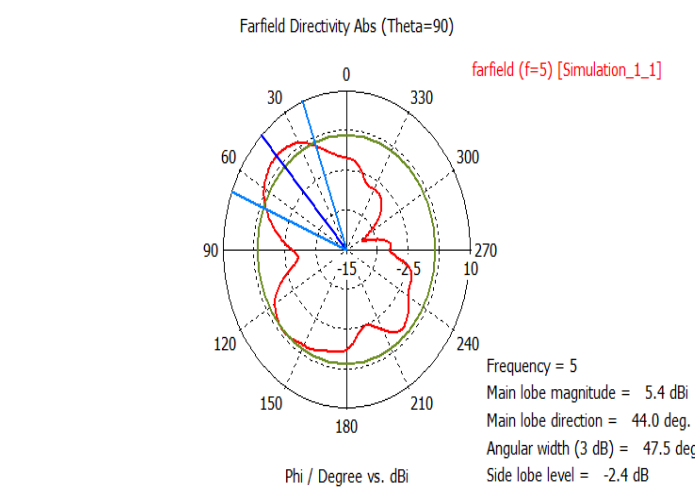
3D-Διάγραμμα ακτινοβολίας σενάριο 0_0

Αποτελέσματα Σενάριο 1_1

Το σενάριο 1_1 σκοπό έχει να στρέψει τον κύριο λοβό στο διάστημα των 30 έως 60 μοιρών και όσο μπορούμε προσπαθούμε να αποφύγουμε δευτερεύοντες λοβούς στο διάστημα 240-330 μοιρών γιατί εκεί βρίσκεται το ανθρώπινο ομοίωμα που χρησιμοποιήσαμε. Παρατηρούμε ότι έχουμε στροφή λοβού στις 44 μοίρες και το κέρδος μας ανέρχεται στα 5.4 dB



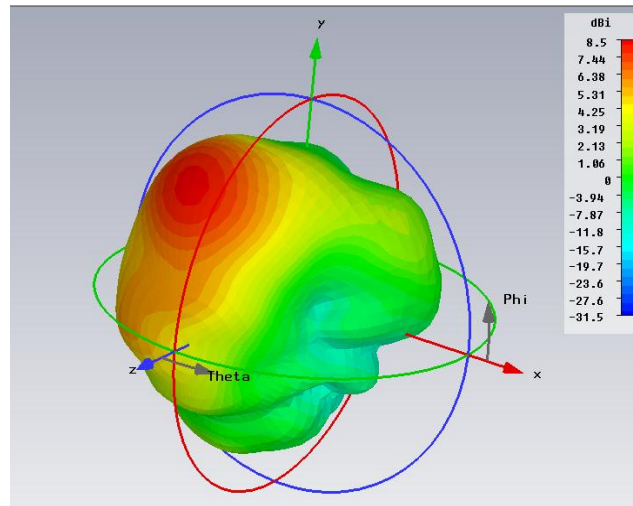
3D -Διάγραμμα ακτινοβολίας σενάριο 1_1



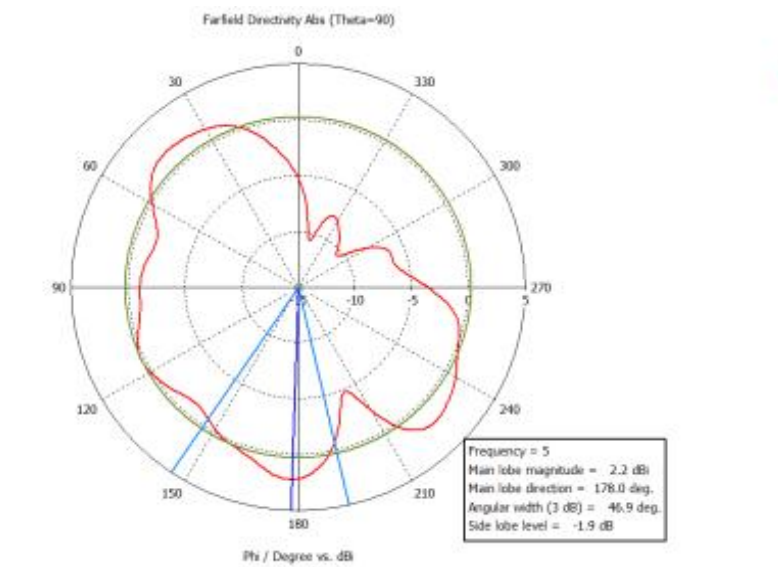
Διάγραμμα ακτινοβολίας σενάριο 1_1

Αποτελέσματα Σενάριο 1_2

Το σενάριο 1_2 σκοπό έχει να στρέψει τον κύριο λοβό στο διάστημα των 130 έως 180 μοιρών και όσο μπορούμε προσπαθούμε να αποφύγουμε δευτερεύοντες λοβούς στο διάστημα 240-330 μοιρών γιατί εκεί βρίσκεται το ανθρώπινο ομοίωμα που χρησιμοποιήσαμε. Παρατηρούμε ότι έχουμε στροφή λοβού στις 178 μοίρες και εξακολουθούν να μην υπάρχουν δευτερεύων λοβοί στο διάστημα 250 έως 330 μοιρών. Το κέρδος μας ανέρχεται στα 2.2 dB



3D -Διάγραμμα ακτινοβολίας σενάριο 1_2

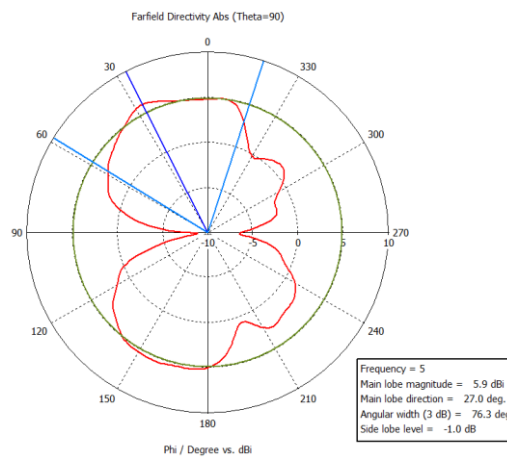


Διάγραμμα ακτινοβολίας σενάριο 1_2

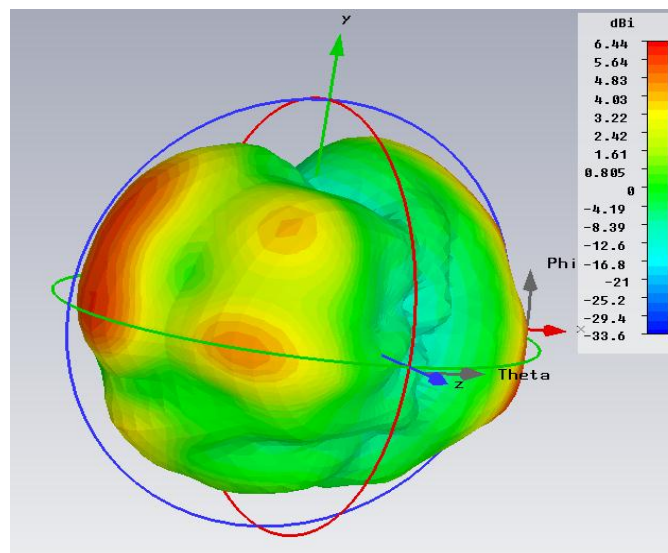
Τα σενάρια 2_1 και 2_2 δημιουργήθηκαν για να μειώσουν τον δείκτη απορρόφησης ακτινοβολίας για τα σενάρια 1_1 και 1_2 αντίστοιχα τα οποία στρέφουν τον κύριο λοβό στις 30 και στις 180 αντίστοιχα.

Αποτελέσματα Σενάριο 2_1

Όπως παρατηρούμε έχουμε την αναμενόμενη στροφή λοβού στις 30 μοίρες με πιο έντονους μηδενισμούς στις 90 και 330 μοίρες. Το κέρδος μας ανέρχεται στα 5.9 dB.



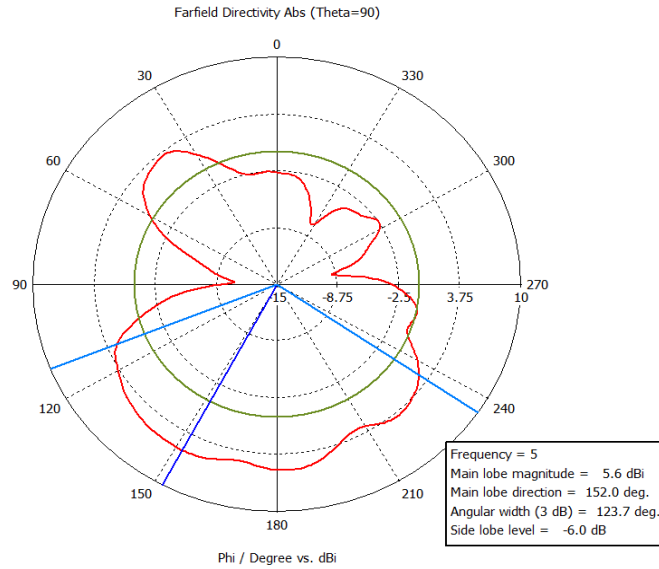
Διάγραμμα ακτινοβολίας σενάριο 2_1



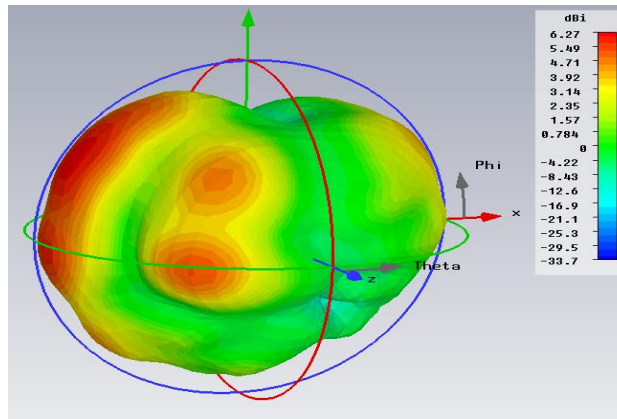
3D Διάγραμμα ακτινοβολίας σενάριο 2_1

Αποτελέσματα Σενάριο 2 2

Όπως παρατηρούμε έχουμε στροφή λοβού στις 150 μοίρες με πιο έντονους μηδενισμούς στις 90 και 330 μοίρες. Το κέρδος μας ανέρχεται στα 5.6dB.



Διάγραμμα ακτινοβολίας σενάριο 2 2



3D Διάγραμμα ακτινοβολίας σενάριο 2 2

Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα αποτελέσματα του δείκτη SAR μας για κάθε σενάριο. Επίσης τα υλικά χαρακτηριστικά ανθρώπινου ομοιώματος μας για μελέτη

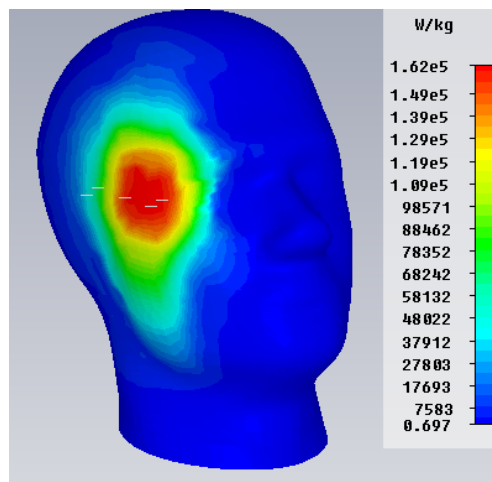
του SAR στην συχνότητα των 5 GHz είναι $\epsilon_r = 33.5, \sigma = 2.8 \text{ S/m}$ και $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$. Μελετήθηκε με το πρότυπο της IEEE C95.1: 2005 το οποίο μετριέται σε W/kg ανά 10 γραμμάρια ιστού άρα τα παρακάτω αποτελέσματα είναι ανά 10 γραμμάρια ιστού.

Συγκεντρωτικός πίνακας

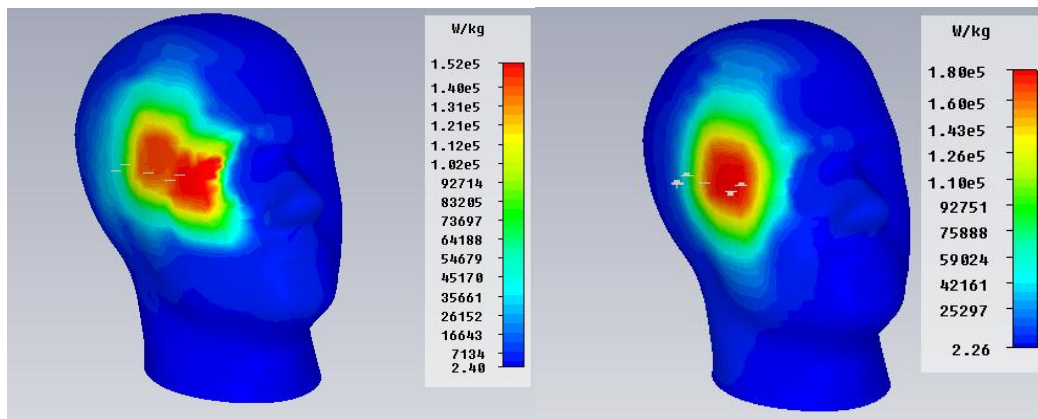
Σενάρια	SAR	Κέρδος
Σενάριο 0_0	1,62	5.8 dB
Σενάριο 1_1	1,52	5.4 dB
Σενάριο 1_2	1,80	2.2 dB
Σενάριο 2_1	1,45	5.9 dB
Σενάριο 2_2	1,31	5.6 dB

Συμπερασματικά, μελετήσαμε μία κεραία πέντε στοιχείων στην συχνότητα συντονισμού της στα 5 GHz. Στόχος μας ο δείκτης απορρόφησης ακτινοβολίας να είναι επαρκώς αποδεκτός για όλα τα σενάρια. Τα σενάρια με το μικρότερο δείκτη απορρόφησης είναι το σενάριο 2_1 και 2_2 με SAR 1,45 και 1,31 αντίστοιχα. Για το σενάριο 2_1 έχουμε στροφή του κύριου λοβού στις 30 μοίρες, με μηδενισμό στις 90 μοίρες και με κέρδος 5.9 dB. Γενικότερα δεν επιθυμούμε να έχουμε κύριο λοβό στις κατευθύνσεις 270-330 μοίρες γιατί εκεί βρίσκεται το κεφαλι του ομοιώματός μας. Για το σενάριο 2_2 έχουμε στροφή προς τις 150 μοίρες και μηδενισμό στις 90 μοίρες και με κέρδος 5.6dB. Αξίζει να αναφερθεί πως η κεραία μας μελετήθηκε και προσομοιώθηκε και με ένα εξωτερικό περίβλημα από πλαστικό υλικό αλλά δεν είχαμε καμία διαφοροποίηση των διαγραμμάτων ακτινοβολίας οπότε δεν κρίθηκε σκόπιμο να ξαναπαρουσιαστούν. Επίσης μελετήθηκε και η μετακίνηση του κινητού μας κατά ένα εκατοστό ως προς τους τρεις άξονες x,y,z. Όπως ήταν αναμενόμενο μεγαλύτερη διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων μας έχουμε όταν το το κινητό μας μεταβάλλεται ως προς τον άξονα z, δηλαδή απομακρύνεται από το ομοίωμά μας. Παρακάτω βλέπουμε και σχηματικά την διαφοροποίηση του δείκτη SAR για κάθε σενάριο που εκτελέσαμε.

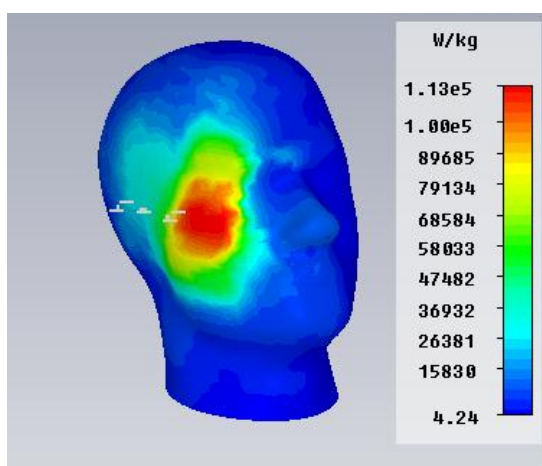
Αποτελέσματα SAR



Σενάριο 0 0

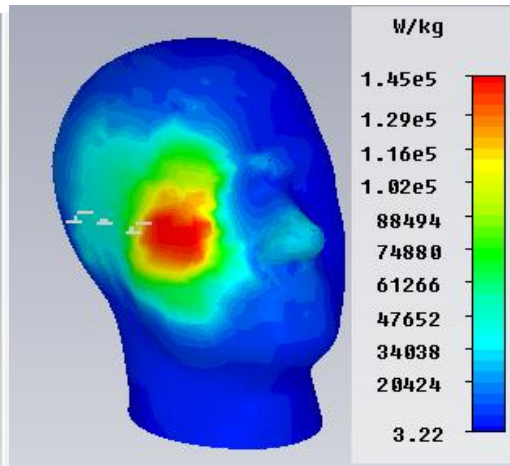


Σενάριο 1 1



Σενάριο 2 1

Σενάριο 1 2



Σενάριο 2 2

3.4 Προσομοίωση κεραίας Pifa τεσσάρων στοιχείων.

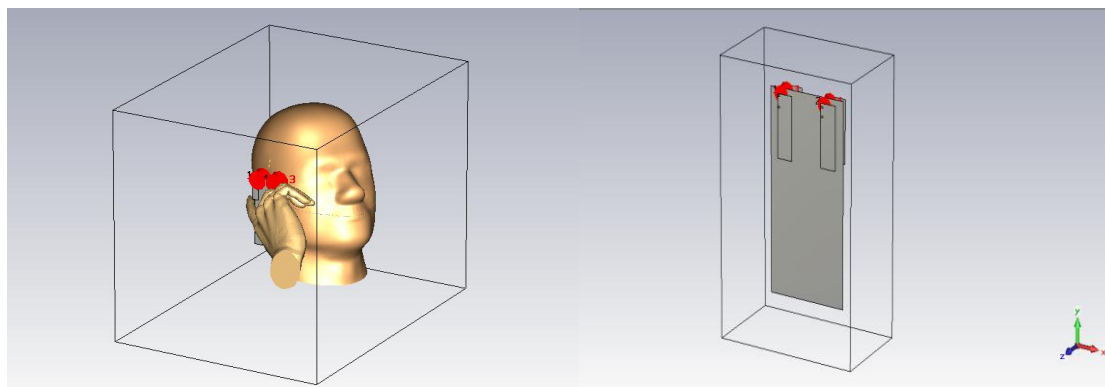
Εισαγωγικά κεραίας Pifa

Η Planar Inverted-F Antenna (PIFA) είναι ένας τύπος της ευρύτερης κατηγορίας των patch antennas. Το όνομα της το πήρε από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της καθώς μοιάζει σαν αναστραμμένο γράμμα F. Χρησιμοποιείται συνήθως στα κινητά τηλέφωνα λόγω των μικρών διαστάσεων της, άρα και του μικρού απαιτούμενου χώρου της, της κατευθυντικότητας της και του χαμηλού δείκτη SAR.

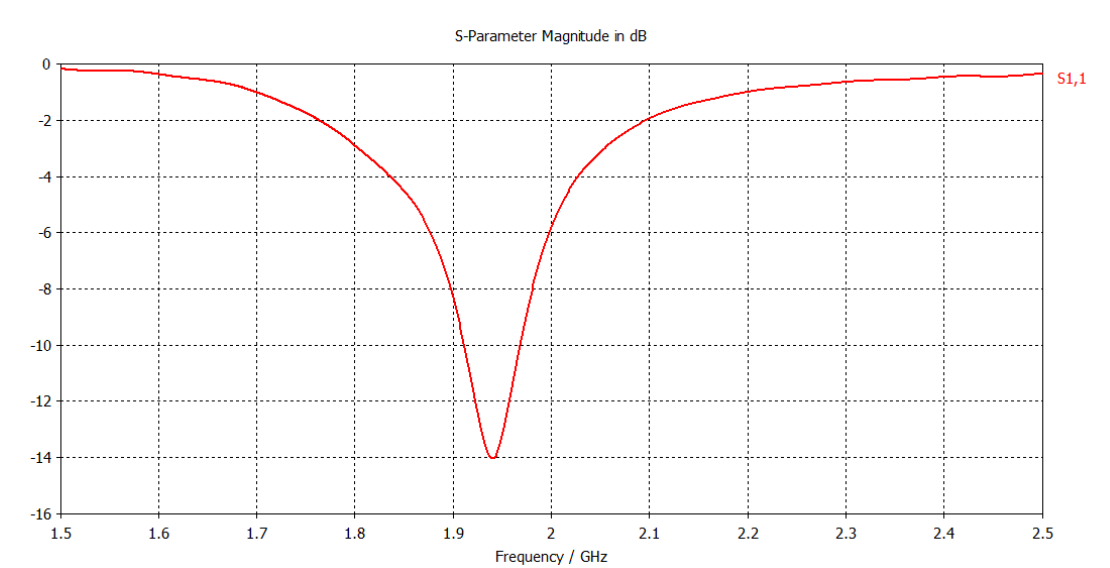
Γεωμετρία της κεραίας

Στην συγκεκριμένη προσομοίωση μελετάτε μια κεραία κινητού τηλεφώνου η οποία αποτελείται από τέσσερα PIFA στοιχεία και σκοπός της είναι να συντονίζεται στην συχνότητα 1.9 GHz. Απαραίτητο κρίνεται να μελετήσουμε, εφόσον πρόκειται για κεραία κινητής τηλεφωνίας, και το SAR (specific absorption rate). Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκε ένα ανθρώπινο ομοίωμα του CST για να μελετηθεί η ακτινοβολία. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της κεραίας καθώς και τα διάφορα σενάρια που μελετήθηκαν είναι από το ερευνητικό άρθρο.[14]

Η κεραία αποτελείται από ένα πολύ λεπτό φύλο (printed circuit board-PCB) υλικού PEC ύψους =110 mm, μήκους=50mm. Τα στοιχεία PIFA έχουν ύψος = 34 mm, μήκος =10mm και να απέχουν από το PCB 6 mm. Τα δύο στοιχεία PIFA απέχουν μεταξύ τους απόσταση $d = 20$ mm και από τα άκρα του PCB 5 mm. Τα δύο μονόπολα που είναι ανάμεσα σε κάθε στοιχείο της κεραίας PIFA και του PCB έχουν ύψος 6 mm και ακτίνα 0.6mm. Κάθε φορά τροφοδοτείται το πρώτο μονόπολο της PIFA κεραίας όπως φαίνεται παρακάτω στο σχήμα. Αρχικά μελετήθηκε η κεραία μόνη της για να διαπιστώσουμε ότι συντονίζεται επαρκώς στα 1.9GHz. Η προσομοίωση αυτή τη φορά ήταν ακολουθιακή με διέγερση και των τεσσάρων θυρών με τάση 2 Volt. Το πλέγμα που χρησιμοποιήθηκε ήταν 1,115,070 κελιά. Όπως και σε όλες της παραπάνω προσομοιώσεις θεωρήθηκε πως το περιβάλλον προσομοίωσης είναι ο αέρας. Επίσης επιλέχθηκε η οριακή συνθήκη boundary conditions -add space και PLM 4 στρωμάτων. Η γεωμετρία της κεραίας και τα αποτελέσματα της αρχικής προσομοίωσης μας φαίνονται παρακάτω.



Προσομοίωση κεραίας Pifa με ανθρώπινο ομοίωμα



S₁₁-parameter

Όπως παρατηρούμε η κεραία μας συντονίζεται επαρκώς στην συχνότητα των 1.9 GHz. Το φάσμα της ανέρχεται από 1.9 GHz έως 2 GHz.

Προσομοίωση σεναρίων κεραίας Pifa

Έπειτα θα προσομοιώσουμε κάποια σενάρια τα οποία ιδιαίτερο σκοπό έχουν την στροφή του κύριου λοβού και την μέτρηση του ειδικού δείκτη απορρόφησης SAR. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιείται ένα ομοίωμα του ανθρώπινου κεφαλιού και χεριού, για να πραγματοποιηθούν ακριβής μετρήσεις. Πιο συγκεκριμένα το μοντέλο που χρησιμοποιήθηκε αποτελείται από ρευστά υλικά τα οποία αντικαθιστούν τον εγκέφαλο και το αίμα. Η απόσταση μεταξύ του κινητού και του ανθρώπινου ομοιώματος είναι 3 εκατοστά και έχουμε σχεδιάσει η κεραία μας να έχει κλίση 30 μοιρών. Εφόσον αλλάζει το υπολογιστικό περιβάλλον, θέλουμε το πλέγμα μας να είναι ακόμα πιο αποδοτικό οπότε αυξάνουμε τον συνολικό αριθμό του στα 10.258.765 κελιά.

Σενάριο 0

Στο συγκεκριμένο σενάριο μελετήθηκε τόσο η ακτινοβολία της κεραίας μας, όσο και ο δείκτης απορρόφησης (SAR). Αρχικά μελετάμε το σενάριο στο οποίο έχουμε ομοιόμορφη διέγερση των θυρών μας με τάση 2 Volt. Ο δείκτης SAR μελετήθηκε με το πρότυπο της IEEE C95.1: 2005 το οποίο μετρείται σε W/kg ανά 10 γραμμάρια ιστού. Η τιμή του SAR για το συγκεκριμένο σενάριο είναι 1.17 W/kg και το κέρδος του ανέρχεται σε 4 dB.

Έπειτα προσομοιώνουμε τα επόμενα σενάρια με σκοπό την μείωση του SAR και την στροφή του κύριου λοβού. Παρακάτω φαίνονται τα σενάρια που προσομοιώθηκαν καθώς και τα αποτελέσματά τους.

Σενάριο 1-Σκοπός μας στροφή λοβού στις 30 μοίρες.

Στοιχείο	Πλάτος διέγερσης	Φάση διέγερσης
Στοιχείο 1	2.96	-47.34°
Στοιχείο 2	2.17	-17.29°
Στοιχείο 3	2.38	63.87°
Στοιχείο 4	1.03	-20.13°

Σενάριο 2-Σκοπός μας στροφή λοβού στις 90 μοίρες.

Στοιχείο	Πλάτος διέγερσης	Φάση διέγερσης
Στοιχείο 1	1.97	-59.85°
Στοιχείο 2	2.97	-27.05°
Στοιχείο 3	1.53	132.54°
Στοιχείο 4	1.14	-16.76°

Σενάριο 3-Σκοπός μας στροφή λοβού στις 120 μοίρες.

Στοιχείο	Πλάτος διέγερσης	Φάση διέγερσης
Στοιχείο 1	1.75	-2.108°
Στοιχείο 2	1.37	134.29°
Στοιχείο 3	2.01	-75.175°
Στοιχείο 4	2.18	-10.045°

Σενάριο 4-Σκοπός μας στροφή λοβού στις 210 μοίρες.

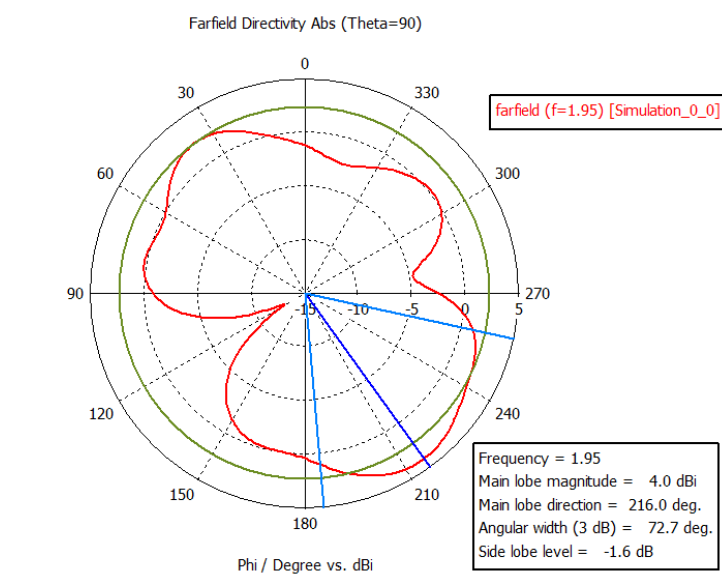
Στοιχείο	Πλάτος διέγερσης	Φάση διέγερσης
Στοιχείο 1	2.03	22.103°
Στοιχείο 2	1.39	140.754°
Στοιχείο 3	1.48	-14.408°
Στοιχείο 4	2.94	-101.61°

Πίνακας Αποτελεσμάτων Σεναρίων –SAR

Σενάρια	SAR	Κέρδος
Σενάριο 0	1.17	4 dB
Σενάριο_1	1.04	5.3 dB
Σενάριο_2	0.948	5.8 dB
Σενάριο_3	0.823	4 dB
Σενάριο_4	1.10	5.8 dB

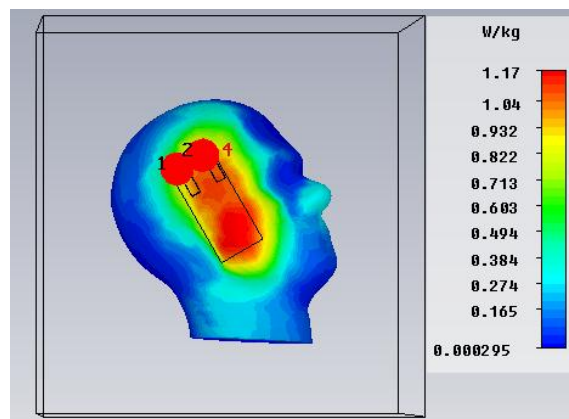
Σενάριο 0

Αποτελεί το πρώτο μας σενάριο. Όλες οι θύρες διεγείρονται ταυτόχρονα με τάση 2 volt. Η τιμή του SAR για το συγκεκριμένο σενάριο είναι 1.17 W/kg και το κέρδος του ανέρχεται σε 4dB. Παρακάτω φαίνονται οι διαφορετικές τιμές SAR όπως και τα διαγράμματα ακτινοβολίας για τα προβλεπόμενα σενάρια.

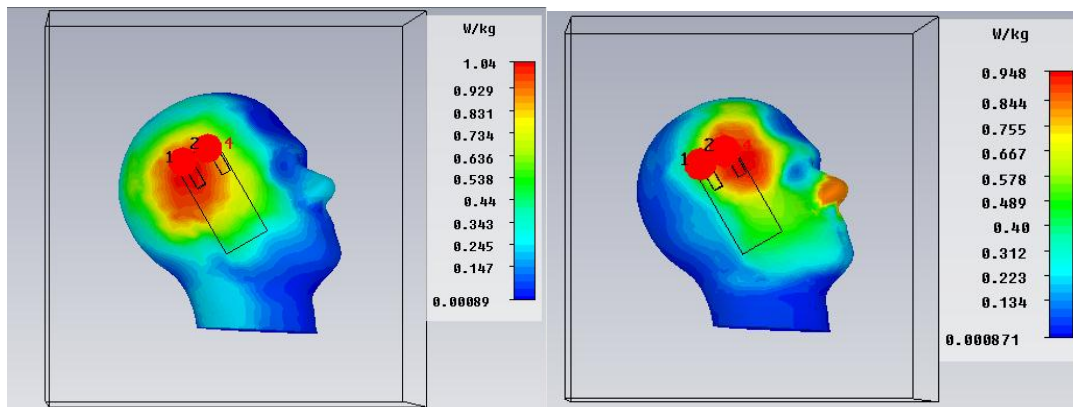


Διάγραμμα ακτινοβολίας-σενάριο 0

Αποτελέσματα SAR

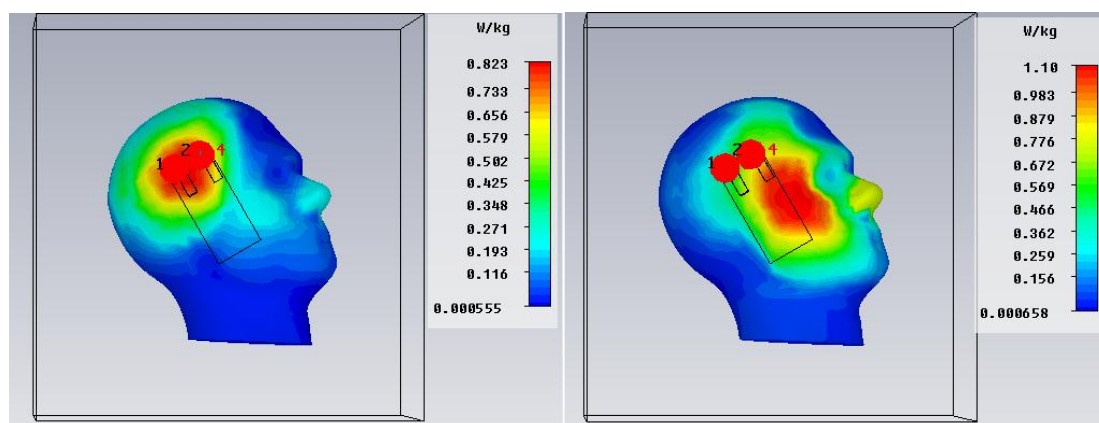


Σενάριο 0



Σενάριο 1

Σενάριο 2

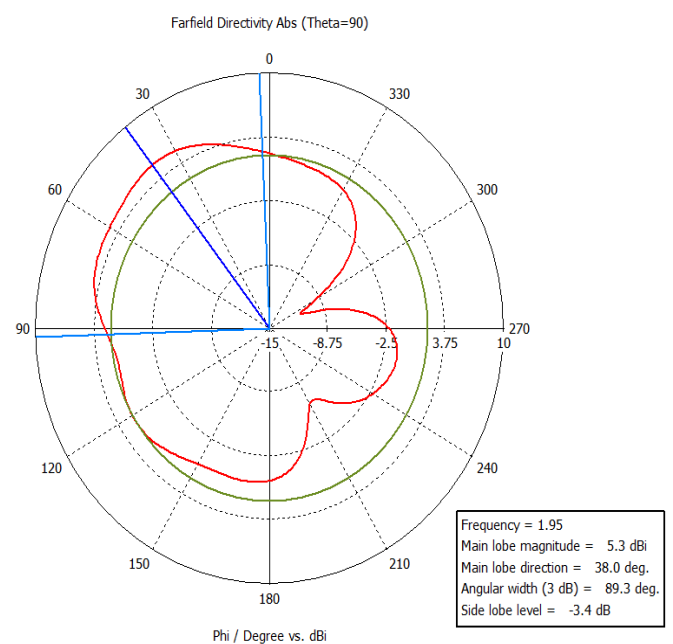


Σενάριο 3

Σενάριο 4

Εφόσον είδαμε τα αποτελέσματα του δείκτη απορρόφησης, στην συνέχεια μελετάμε τα διαγράμματα ακτινοβολίας για κάθε ένα από τα τέσσερα σενάρια. Στο κάθε σενάριο επιζητούμε και διαφορετική γωνία στροφής του κυρίως λοβού μας.

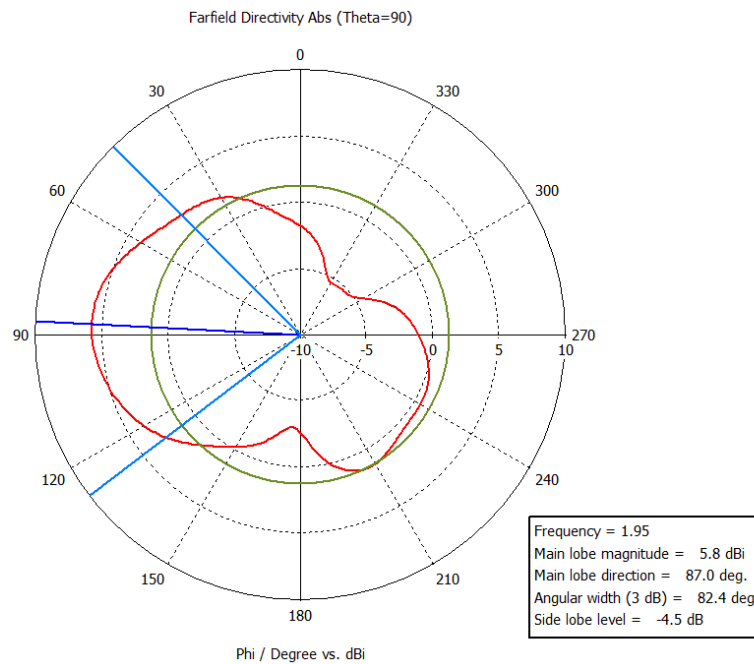
Στο Σενάριο 1 αποζητάμε στροφή λοβού 30 μοίρες



Διάγραμμα ακτινοβολίας σενάριο 1

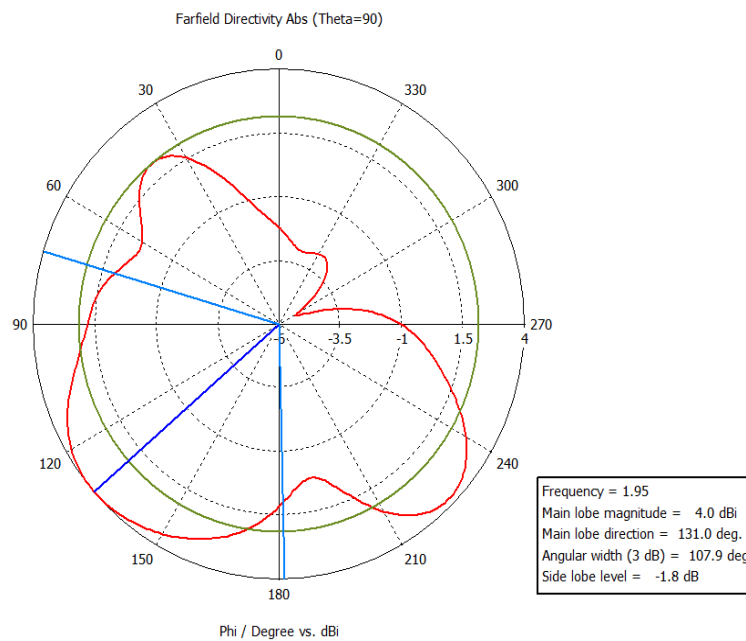
Μελετάτε για την συχνότητα 1.95 GHz γιατί σε εκείνη την συνότητα είχαμε τον μεγαλύτερο συντονισμό της κεραίας. Ωστόσο και για την συχνότητα 1.9 GHz τα αποτελέσματα παραμένουν ίδια. Παρατηρήθηκε μια στροφή του κύριου λοβού στις 38 μοίρες. Το κέρδος για αυτό σενάριο ανέρχεται στα 5.3 dB. Επίσης παρατηρήθηκε μηδενισμός στις 300 μοίρες.

Στο Σενάριο 2 στοχεύουμε για στροφή λοβού 90 μοίρες



Διάγραμμα ακτινοβολίας σενάριο 2

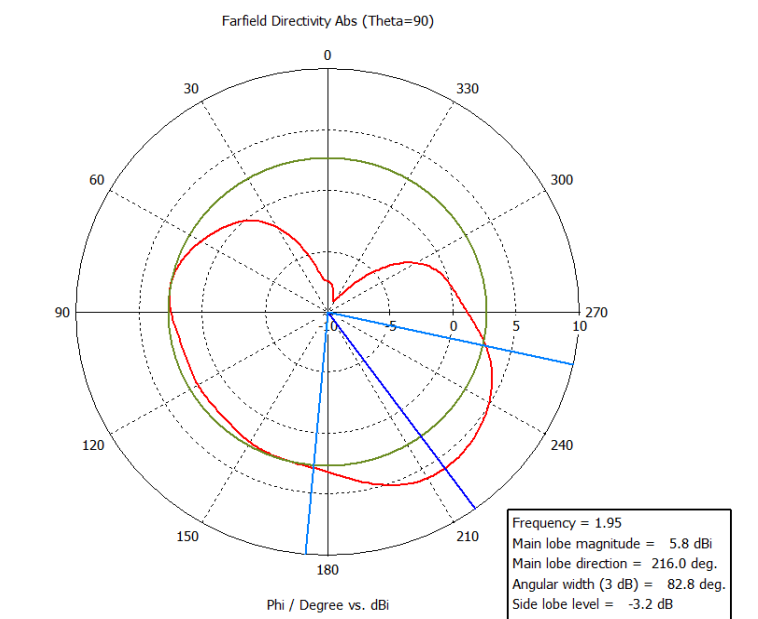
Στο Σενάριο 3 στοχεύουμε για στροφή λοβού 120 μοίρες.



Διάγραμμα ακτινοβολίας σενάριο 3

Παρατηρήθηκε μια στροφή του κύριου λοβού στις 131 μοίρες. Το κέρδος για αυτό σενάριο ανέρχεται στα 4.0 dB. Επίσης έχουμε μηδενισμό στις 300 μοίρες.

Στο Σενάριο 4 στοχεύουμε για στροφή λοβού 210 μοίρες.



Διάγραμμα ακτινοβολίας σενάριο 4

Παρατηρήθηκε μια στροφή του κύριου λοβού στις 131 μοίρες. Το κέρδος για αυτό σενάριο ανέρχεται στα 5.8 dB. Επίσης μπορούμε να πούμε πως έχουμε μηδενισμό στις 330 μοίρες.

Επίσης αξίζει να αναφερθεί πως το η προσομοίωση πραγματοποιήθηκε και για την σχετική θέση της κεραίας να με το ομοίωμα να έχουν κλίση μεταξύ τους 0 μοίρες. Ωστόσο τα αποτελέσματα δεν είναι τόσο αποδοτικά όσο εάν έχουμε στραμμένο το κινητό μας σε γωνία 30 μοιρών οπότε κρίθηκε σκόπιμο να μην παρουσιαστούν αναλυτικά. Στην παρούσα προσομοίωση μελετήθηκαν 4 σενάρια για μια κεραία κινητής τηλεφωνίας που συντονίζει στα 1.9 GHz. Παρατηρήθηκε ότι για κάθε σενάριο στρέφεται επαρκώς ο λοβός της κεραίας σύμφωνα με το επιθυμητό αποτέλεσμα. Επίσης με ιδιαίτερη προσοχή μελετήθηκε ο ειδικός δείκτης απορρόφησης (SAR). Τα αποτελέσματα του για όλα τα σενάρια ήταν μέσα στα επιτρεπτά όρια. Σε σύγκριση με το ερευνητικό άρθρο μου μελετήθηκε η κεραία, βρισκόμαστε σε συμφωνία τόσο στο κέρδος της κεραίας, το οποίο κάθε φορά κυμαίνονταν περίπου στα 5 dB. Επίσης βρισκόμαστε σύμφωνα και για τον χαμηλό ρυθμό SAR καθώς και για την στροφή του διαγράμματος ακτινοβολίας στις επιθυμητές μοίρες. Η στροφή του κύριου λοβού του διαγράμματος ακτινοβολίας για κάθε σενάριο επιδιώχθηκε στις 30°,90°,120°,210° αντίστοιχα. Για το εύρος των 330° έως 270° είναι επιθυμητό να έχουμε όσο μπορούμε μηδενισμούς λοβών γιατί εκεί έχουμε τοποθετήσει το ανθρώπινο ομοίωμα του κεφαλιού. Αξίζει να αναφερθεί πως η κεραία μας μελετήθηκε κ προσομοιώθηκε και με ένα εξωτερικό περίβλημα από πλαστικό υλικό αλλά δεν είχαμε καμία διαφοροποίηση των διαγραμμάτων ακτινοβολίας οπότε δεν κρίθηκε σκόπιμο να ξαναπαρουσιαστούν.

4^ο Κεφάλαιο

Συμπεράσματα

Η παρούσα διπλωματική εργασία ασχολήθηκε με την προσομοίωση διάφορων τύπων στοιχειοκεραιών. Για την επίτευξη των προσομοιώσεων χρησιμοποιήθηκε το κατάλληλο πακέτο ΗΜ προσομοιώσεων. Έγινε μελέτη και προσομοίωση 2 τύπων κεραιών κινητής τηλεφωνίας, μία κεραία αεροπλάνου και μία κεραία μικροταινίας.

Η κεραία μικροταινίας Ε καθώς και οι διατάξεις τους μελετήθηκαν για την συχνότητα των 5.8 GHz. Και οι τρεις διατάξεις συντονίζαν επαρκώς και έβγαζαν το επιθυμητό κέρδος. Η στοιχειοκεραία με διάταξη τα τέσσερα Ε αποτελεί βέλτιστη λύση της προσομοίωσης μας με συνολικό κέρδος 9.8 dB και συνολικό μήκος 10 εκατοστά. Τα συμπεράσματα μας βρίσκονται σε ταύτιση με τα συμπεράσματα του ερευνητικού άρθρου στο οποίο βασίστηκε.

Το επόμενο παράδειγμα προσομοίωσης έχει να κάνει με μια κεραία αεροπλάνου η οποία συντονίζει στα 2.4 GHz. Η κεραία αυτή αποτελείται από οχτώ μονόπολα και έναν ανακλαστήρα. Παρατηρήθηκε πως όταν οι θύρες της διεγείρονται ομοιόμορφα με τάση 1 volt, ο δευτερεύον λοβός της μειώνεται πολύ με αποτέλεσμα να γίνεται πολύ κατευθυντική στο μπροστινό επίπεδο της. Το κέρδος της συγκεκριμένης στοιχειοκεραίας για αυτό το σενάριο είναι 5.95 dB.

Έπειτα μελετήθηκε μια κεραία κινητής τηλεφωνίας με 5 μονόπολα που συντονίζει στα 5 GHz. Αφού βρέθηκε ότι συντονίζει επαρκώς στην συγκεκριμένη συχνότητα μελετήθηκαν δύο σενάρια στροφής του κύριου λοβού της κεραίας στις 30^ο και 150^ο μοίρες. Επίσης μεγάλη βαρύτητα δόθηκε στο SAR προσπαθώντας στα σενάρια 2_1 και 2_2 να βελτιστοποιηθεί ο ειδικός δείκτης απορρόφησης. Οι βέλτιστες τιμές των σεναρίων είναι 1.31 και 1.45 αντίστοιχα για τα σενάρια 2_1 και 2_2. Το κέρδος της κεραίας για τα συγκεκριμένα σενάρια είναι 5.9 dB και 5.6 dB αντίστοιχα.

Το επόμενο παράδειγμα αποτελεί μια κεραία Pifa κινητής τηλεφωνίας που συντονίζει στα 1.9 GHz. Στην συγκεκριμένη κεραία μελετήθηκε το SAR και διάφορα σενάρια για την στροφή του κύριου λοβού του διαγράμματος ακτινοβολίας. Παρατηρήθηκε πως το μεγαλύτερο SAR υπήρχε, διεγείροντας με ομοιόμορφο πλάτος την κεραία μας (σενάριο_0, SAR=1.17). Επίσης το κέρδος της κεραίας σχεδόν για όλα τα σενάρια κυμαίνεται στα 5 dB. Η στροφή του κύριου λοβού του διαγράμματος ακτινοβολίας για κάθε σενάριο επιδιώχθηκε στις 30^ο, 90^ο, 120^ο, 210^ο φέρνοντας τα ανάλογα αποτελέσματα. Θεωρείτε αποδεκτή η ύπαρξη μηδενισμών στο εύρος 270^ο -330^ο γιατί εκεί έχουμε τοποθετήσει το ανθρώπινο ομοίωμα του κεφαλιού.

Βιβλιογραφία

- [1] Κεραίες, Ανάλυση και σχεδίαση Constantine A. Balanis
- [2] Introduction to Smart Antennas, Constantine A. Balanis, Panayiotis I. Ioannides 2007
- [3] FTDT Application of CST Time Domain Algorithm in the Electromagnetic Simulation Standard of the SAR for Mobile phone. Nan QI, Min ZHANG
- [4] Design of an E-shaped Antenna using two algorithms for wireless application at 5.8GHz.
A. R. Mallahzadeh, S. Es'haghi, and A. Alipour
Faculty of Engineering
Shahed University
Tehran, Iran
- [5] Radiowave+ Propagation and Smart Antennas for wireless Communications, Ramakrishna Janaswamy 2001
- [6] Ηλεκτρομαγνητικό πεδίο τόμος II, Δρ Θεόδωρος Τσιμπούκης
- [7] Smart Antennas, Michael Chrysomallis, Christos Christopoulos
IEEE Antennas and Propagation Magazine Vol42, 3 June 2010
- [8] Smart Antennas for advanced communication systems.
Dau-Chyrh Chang and Cheng-Nan Hu, IEEE 2012
- [9] Time Domain Electromagnetic Field Computation with Finite Difference Method
T.WEILAND 1995
- [10] Introduction to Maxwell's Equations and the Yee Algorithm, Allen Taflove and Jamesina Simpson
- [11] CST MWs tutorial
- [12] CST STUDIO SUITE 2011-Getting Started
- [13] CST STUDIO SUITE 2011: System Assembly and Modeling
Microwave Journal.2011
- [14] An interaction study between PIFAS Handset Antenna and a human Hand-head in personal Communications.
A. M. Montaser¹, K. R. Mahmoud² and H. A. Elmikati³
Sohag University, Sohag, Egypt
Department of Electronics and Communications Engineering, Faculty
- [15] Investigating the interaction between a human head and a smart handset for 4G Mobile Communications systems.
K.R.Mahmoud ,M.El-Adawy , and S.M.M. ibrahem
Faculty of Engineering
Helwan University
Cairo, Egypt

[16] Multi-beams switched parasitic antenna embedded in dielectric for wireless communications systems

J.W.Lu, D.V. Thiel, B.Hanna and S.Saario