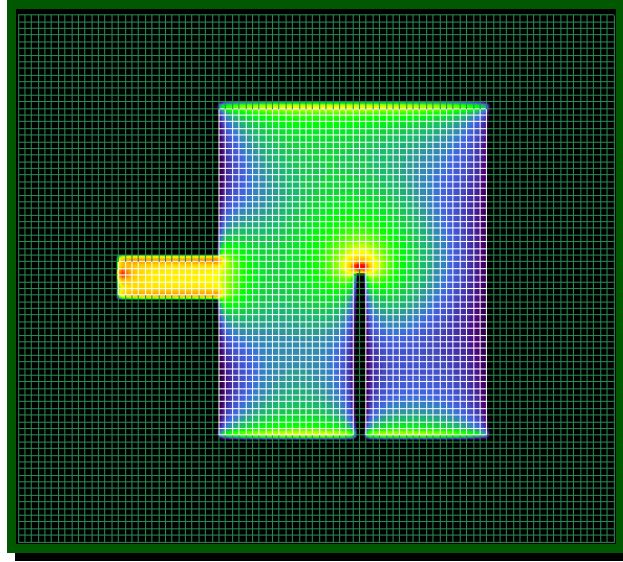


ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΕΥΡΥΖΩΝΙΚΗΣ ΚΕΡΑΙΑΣ PATCH

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



Εξεταζόμενη: Αναστασία Όλτα Γκίοκα
ΑΜ: 9198

Υπεύθυνος Καθηγητής: Αγγέλης Κωνσταντίνος

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	ΚΕΡΑΙΕΣ ΜΙΚΡΟΤΑΙΝΙΑΣ	
2.1	Εισαγωγή	4
2.2	Δομή και τροφοδοσία κεραιών μικροταινίας	5
2.3	Συμπαγής (compact) και ευρυζωνικές (broadband) κεραίες μικροταινίας	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ	
3.1	Εισαγωγή	13
3.2	Καθορισμός γεωμετρίας	13
3.3	Καθορισμός παραμέτρων εισόδου και εξόδου	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ	
4.1	Εισαγωγή	19
4.2	Αρχείο εισόδου	19
4.3	Αρχείο εξόδου	21
4.4	Εντολές Matlab	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	
5.1	Εισαγωγή	23
5.2	Κεραία χωρίς εσοχές	23
5.3	Προσθήκη εσοχών σε κεραία μικροταινίας	25
5.3.1	Κεραία με προσθήκη εσοχής στη θέση $N_p=12$ mm με βάθος $N_d=16$ mm	26
5.3.2	Κεραία με προσθήκη εσοχής στη θέση $N_p=20$ mm με βάθος $N_d=25$ mm	28
5.3.3	Κεραία με προσθήκη εσοχής στη θέση $N_p=30$ mm με βάθος $N_d=30$ mm	30
5.4	Νέα δομή της κεραίας μικροταινίας για καλύτερη προσαρμογή	32
5.4.1	Κεραία με προσθήκη εσοχής στη θέση $N_p=2$ mm με βάθος $N_d=12$ mm	34
5.4.2	Κεραία με προσθήκη εσοχής στη θέση $N_p=10$ mm με βάθος $N_d=9.6$ mm	36
5.5	Προσθήκη περισσότερων εσοχών σε κεραία μικροταινίας	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6	Συμπεράσματα	40
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7	Βιβλιογραφία	41

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στον περασμένο αιώνα τέθηκαν οι βάσεις για την ανάπτυξη της τεχνολογίας. Με την αυγή του αιώνα που διανύουμε, οι εξελίξεις στην τεχνολογία και ιδιαίτερα στις τηλεπικοινωνίες έγιναν ραγδαίες. Οι επιστήμονες, στην προσπάθειά τους να βελτιώσουν τις συνθήκες και την ποιότητα των επικοινωνιών, αναζητούν μεθόδους για την ανάπτυξη νέων συστημάτων.

Οι νέες τεχνολογίες στον τομέα των τηλεπικοινωνιών απαιτούν μικρές διαστάσεις των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων που χρησιμοποιούν. Την απαίτηση αυτή τείνει να ικανοποιήσει η εφαρμογή της κεραίας μικροταινίας, η οποία άρχισε τη δεκαετία του 70, γενικεύτηκε όμως η χρήση της, κυρίως σε ασύρματες και κινητές επικοινωνίες τα τελευταία χρόνια. Η ευκολία με την οποία υλοποιούνται οι κεραίες αυτές, το χαμηλό κόστος παραγωγής, καθώς και η ευελιξία που παρέχουν στον καθορισμό διαφόρων χαρακτηριστικών τους, αποτελούν τα βασικότερα πλεονεκτήματά τους. Δυστυχώς όμως, εκτός από τα προαναφερθέντα πλεονεκτήματα, οι κεραίες μικροταινίας «υποφέρουν» από ουσιαστικά μειονεκτήματα, όπως το στενό εύρος ζώνης και η χαμηλή αποδοτικότητα. Αυτά τα εμπόδια καλούνται οι επιστήμονες να ξεπεράσουν, ώστε η εφαρμογή των κεραιών μικροταινίας στην τεχνολογία να είναι καταλυτική.

Στην παρούσα εργασία αναλύεται η κεραία μικροταινίας, με τη χρήση του προγράμματος XFDTD, σε δεδομένη συχνότητα συντονισμού. Σκοπός μας είναι η μελέτη της ρευματικής κατανομής τόσο της αρχικής κεραίας μικροταινίας, όσο και αυτών που θα προκύψουν με τη εφαρμογή εσοχών (slots) στο μεταλλικό φύλλο της μικροταινίας. Επίσης καλούμαστε να δημιουργήσουμε ένα έξυπνο σύστημα παρέμβασης στο αρχείο εισόδου του λογισμικού, ώστε να κατασκευάζονται εύκολα κεραίες μικροταινίας με εσοχές. Αυτό το σύστημα παρέμβασης μπορεί να αξιοποιηθεί στο μέλλον για επαναληπτικές διαδικασίες βελτιστοποίησης.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλονται στον επιβλέποντα της διπλωματικής εργασίας κύριο Τραϊανό Γιούλτση, Λέκτορα της Πολυτεχνικής σχολής, για τη συνεχή υποστήριξη, την υπομονή του και για τη σημαντική βοήθεια και καθοδήγηση στην ολοκλήρωση της μελέτης αυτής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΚΕΡΑΙΕΣ ΜΙΚΡΟΤΑΙΝΙΑΣ

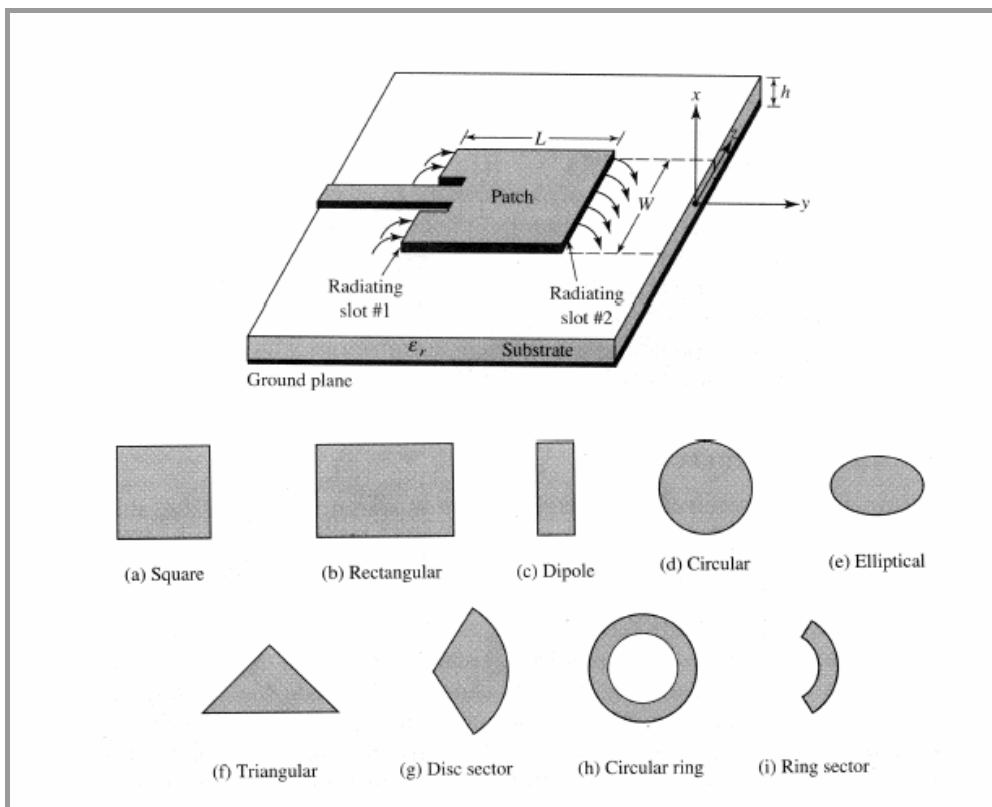
2.1 Εισαγωγή

Λόγω των απαιτήσεων για χαμηλό κόστος, μικρές διαστάσεις και καλές αποδόσεις σε διάφορους τομείς των κινητών και ασύρματων τηλεπικοινωνιών, η εφαρμογή των κεραιών μικροταινίας αποτελεί την πιο κατάλληλη λύση. Οι κεραιές μικροταινίας αποτελούν μια σημαντικότερη κατηγορία κεραιών, οι οποίες είναι απλές στην κατασκευή, έχουν χαμηλό κόστος και παρέχουν ευελιξία στον καθορισμό διαφόρων χαρακτηριστικών τους, όπως η συχνότητα συντονισμού, η πόλωση και το διάγραμμα ακτινοβολίας. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό τους είναι ότι υλοποιούνται εύκολα σε μορφή μονολιθικών ολοκληρωμένων κυκλωμάτων (MMIC's), ακολουθώντας τη σύγχρονη τεχνολογία και προσαρμόζονται σε επιφάνειες διαφόρων σχημάτων.

Δυστυχώς όμως οι κεραιές μικροταινίας παρουσιάζουν και σημαντικά μειονεκτήματα. Η χαμηλή τους αποδοτικότητα, η χαμηλή μέγιστη ισχύς που υποστηρίζουν, ο υψηλός συντελεστής ποιότητας (της τάξης του 100) που μεταφράζεται σε μικρό εύρος ζώνης, καθώς και το ποσοστό της ισχύος εισόδου που για διάφορους λόγους δεν ακτινοβολείται (απώλειες, κύμα επιφανείας, κτλ) αποτελούν τα κύρια αρνητικά χαρακτηριστικά των μικροταινιών, τα οποία όμως επιδέχονται βελτίωση. Υπάρχουν μέθοδοι, όπως η χρήση υποστρώματος με μεγαλύτερο πάχος που αυξάνουν την αποδοτικότητα (μέχρι 90%) και το εύρος ζώνης (μέχρι 35%), αν και στην περίπτωση αυτή, δυστυχώς, εμφανίζεται σημαντικό ποσοστό κυμάτων επιφανείας στη διηλεκτρική πλάκα, με αποτέλεσμα τη μείωση της εκπεμπόμενης ισχύος. Μειονέκτημα αποτελεί επίσης, το μικρό κέρδος της κεραιάς μικροταινίας. Για την επίτευξη αυξημένου κέρδους κεραιάς, χρησιμοποιείται η κατασκευή στοιχειοκεραιών που απαρτίζονται από κεραιές μικροταινίας.

2.2 Δομή και τροφοδοσία κεραιών μικροταινίας.

Η βασική γεωμετρική δομή μιας κεραιάς μικροταινίας, αποτελείται από ένα ορθογωνικό πολύ λεπτό μεταλλικό φύλλο (patch), πάνω σε ένα διηλεκτρικό υπόστρωμα (substrate, ϵ_r) το οποίο με τη σειρά του τερματίζεται σε ένα αγωγίμο επίπεδο (ground plane) σε όλο του το μήκος. Στο σχήμα 2.1 φαίνονται η βασική δομή της κεραιάς μικροταινίας, καθώς επίσης και παραλλαγές διαφόρων σχημάτων από τις οποίες ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν τα στοιχεία σε μορφή λωρίδας (τυπωμένα δίπολα), λόγω του ικανοποιητικού εύρους ζώνης λειτουργίας που παρουσιάζουν σε σχέση με τα συνήθη δίπολα. Το πάχος του υποστρώματος είναι συνήθως μία υποδιαίρεση του μήκους κύματος στον ελεύθερο χώρο ($\lambda_0/300 < h < \lambda_0/20$), κάτι που εξασφαλίζει διάδοση μόνο του κυρίαρχου, σχεδόν TEM ρυθμού στο patch. Οι διαστάσεις του αγωγίμου φύλλου καθορίζονται με τρόπο κατάλληλο ώστε το μέγιστο της ακτινοβολίας να βρίσκεται σε διεύθυνση κάθετη προς το επίπεδο της κεραιάς. Οι κεραιές μικροταινίας, επομένως, αποτελούν ευρύπλευρες ή μετωπικές δομές. Η ικανοποίηση της απαίτησης αυτής, σε ορθογωνική κεραιά μικροταινίας, εξασφαλίζεται με την προϋπόθεση ότι το μήκος L του μεταλλικού φύλλου κυμαίνεται περίπου στο διάστημα ($\lambda_0/3 < L < \lambda_0/2$).

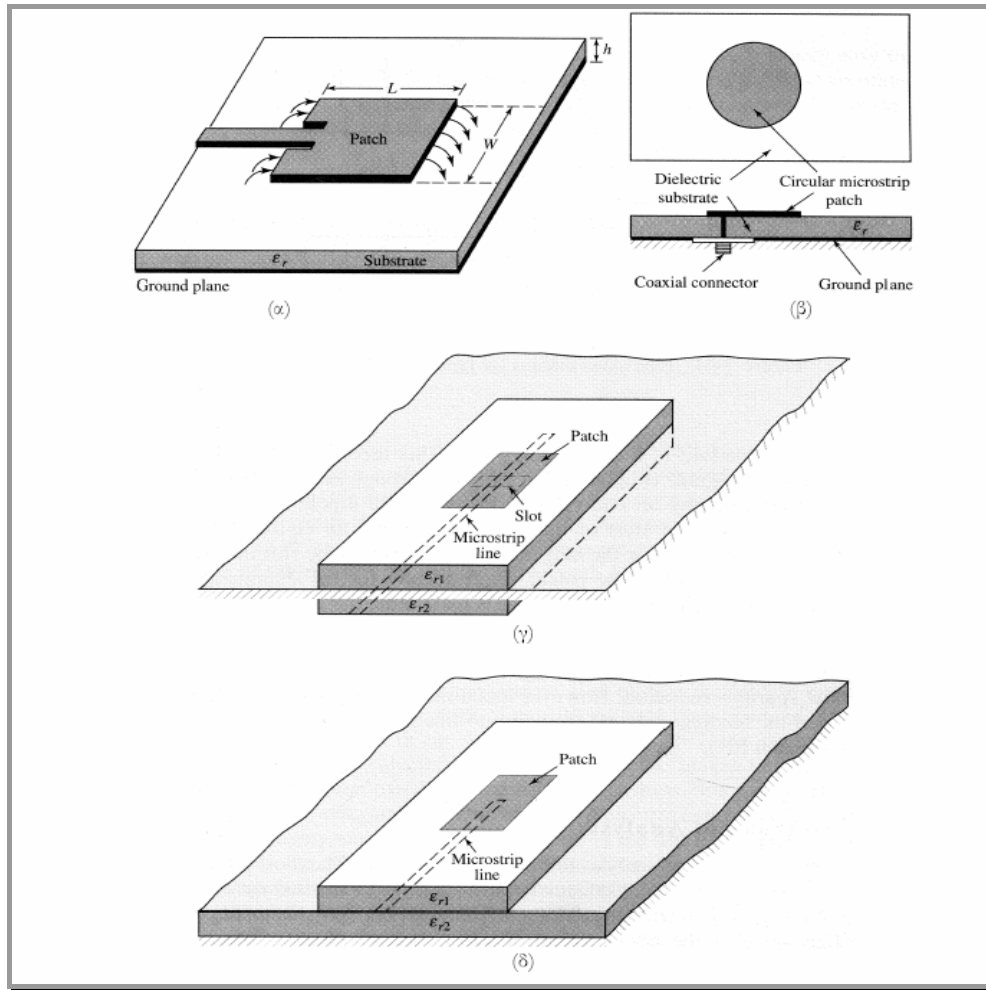


Σχήμα 2.1 Βασική γεωμετρική δομή μιας κεραιάς μικροταινίας και παραλλαγές της.

Στην κατασκευή αυτών των κεραιών χρησιμοποιούνται διηλεκτρικά που έχουν σχετική διηλεκτρική σταθερά $2.2 \leq \epsilon_r \leq 12$. Γενικά, με τη χρησιμοποίηση υλικών με μικρή διηλεκτρική σταθερά οδηγούμαστε στην κατασκευή κεραιών με καλύτερη αποδοτικότητα, μεγαλύτερο εύρος ζώνης, καλύτερα χαρακτηριστικά ακτινοβολίας (καθώς το διηλεκτρικό συγκεντρώνει λιγότερο το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό του), απαιτούν όμως μεγαλύτερο πάχος υποστρώματος αλλά και μεγαλύτερες διαστάσεις. Αντίθετα η χρήση διηλεκτρικών υψηλής διηλεκτρικής σταθεράς έχει ως αποτέλεσμα την επίτευξη πιο συμπαγών σε διαστάσεις (compact) κυκλωμάτων, με αντίτιμο όμως τη μειωμένη αποδοτικότητα και το εύρος ζώνης. Η απαίτηση, όμως, για μικρές διαστάσεις κεραίας, καθώς και για την ελαχιστοποίηση της ανεπιθύμητης ακτινοβολίας, οδηγεί στην εφαρμογή των κεραιών μικροταινίας ακόμη και αν χρειάζεται να γίνει κάποιος συμβιβασμός στην επιλογή των υλικών και των διαστάσεων.

Οι συνηθέστεροι τρόποι τροφοδότησης μιας κεραίας μικροταινίας είναι: μέσω μικροταινίας (microstrip feed), όπου η γραμμή τροφοδοσίας έχει πάντα μικρότερο πλάτος από αυτό της μεταλλικής επιφάνειας. Για την επίτευξη προσαρμογής της σύνθετης αντίστασης εισόδου με τη χαρακτηριστική αντίσταση της γραμμής, χαράσσονται κατάλληλες εσοχές, όπως φαίνεται στο **σχήμα 2.2(α)**. Άλλος τρόπος τροφοδοσίας είναι μέσω ομοαξονικού καλωδίου (probe feed), ο εσωτερικός αγωγός του οποίου καταλήγει σε πρόβολο που συνδέεται με το μεταλλικό φύλλο (**σχήμα(β)**). Η ύπαρξη κυμάτων επιφανείας και παρασιτικής ακτινοβολίας, που οδηγεί σε μειωμένο εύρος ζώνης, ιδιαίτερα στην περίπτωση αυξημένου πάχους διηλεκτρικού, καθιστά την εφαρμογή των παραπάνω μεθόδων, σε ορισμένες περιπτώσεις, απαγορευτική.

Για την επίτευξη καλύτερων χαρακτηριστικών της μικροταινίας, χρησιμοποιούνται εναλλακτικές μέθοδοι τροφοδοσίας, οι οποίες δεν επιτρέπουν την άμεση επαφή του συστήματος τροφοδοσίας με την κεραία. Πρώτον, η κεραία μπορεί να διεγερθεί μέσω ανοίγματος (slot) στο αγωγίμο επίπεδο από μια εντελώς ανεξάρτητη μικροταινία, η οποία υλοποιείται σε υπόστρωμα κάτω από το αγωγίμο επίπεδο, όπως στο **σχήμα 2.2(γ)**. Το θετικό της μεθόδου αυτής είναι ότι επιτρέπει την ανεξάρτητη σχεδίαση της κεραίας και του συστήματος τροφοδότησης, καθώς το αγωγίμο επίπεδο τα απομονώνει. Αλλάζοντας τις διαστάσεις του ανοίγματος, το μήκος της μικροταινίας και τις διηλεκτρικές σταθερές των δύο υποστρωμάτων, μπορούμε να μεταβάλλουμε τα χαρακτηριστικά του συστήματος.



Σχήμα 2.2 Τρόποι τροφοδοσίας κεραίας μικροταινίας α) με μικροταινία (microstrip feed) β) με ομοαξονικό καλώδιο (probe feed) γ) μέσω ανοίγματος (slot coupling) και δ) με γειτνίαση σε μικροταινία (proximity coupling).

Δεύτερον, είναι δυνατή η διέγερση μέσω γειτνίασης (proximity coupling), όπως στο **σχήμα 2.2(δ)**, όπου η μικροταινία τροφοδοσίας υλοποιείται στο πρώτο υπόστρωμα ενώ η κεραία μικροταινίας σε ένα δεύτερο. Η μέθοδος αυτή παρουσιάζει το καλύτερο εύρος ζώνης (μέχρι και 15%), χαμηλή παρασιτική ακτινοβολία καθώς και πολύ καλά χαρακτηριστικά ακτινοβολίας, παρά το γεγονός ότι η κατασκευή της είναι αρκετά δύσκολη.

2.3 Συμπαγείς (compact) και ευρυζωνικές (broadband) κεραιές μικροταινίας.

Η εφαρμογή των κεραιών μικροταινίας στα διάφορα τηλεπικοινωνιακά συστήματα, αποτέλεσε λύση για πολλά προβλήματα, λόγω της εύκολης υλοποίησής τους και των μικρών διαστάσεων. Εκτός, όμως, από τις πολλές επιθυμητές ιδιότητες που παρουσιάζουν, τα χαρακτηριστικά τους δεν μπορούν να θεωρηθούν βέλτιστα. Γενικά παρουσιάζουν στενό εύρος ζώνης, το οποίο δημιουργεί προβλήματα στα σύγχρονα τηλεπικοινωνιακά συστήματα. Λαμβάνοντας υπόψη ότι στα σύγχρονα συστήματα ασύρματης επικοινωνίας, το απαιτούμενο εύρος λειτουργίας είναι περίπου 7,6%, καθώς και στα συστήματα κινητής επικοινωνίας παγκόσμιας λήψης (GSM) είναι περίπου 9,5% και 7,5% για συστήματα προσωπικής επικοινωνίας, κρίνεται επιτακτική η ανάγκη για βελτιστοποίηση του εύρους ζώνης των κεραιών. Επίσης η απαίτηση για μείωση των διαστάσεων των κεραιών μικροταινίας, που οδηγεί αναπόφευκτα στην αύξηση της συχνότητας συντονισμού, αποτελεί άλλο ένα σοβαρό μειονέκτημα των κεραιών αυτών.

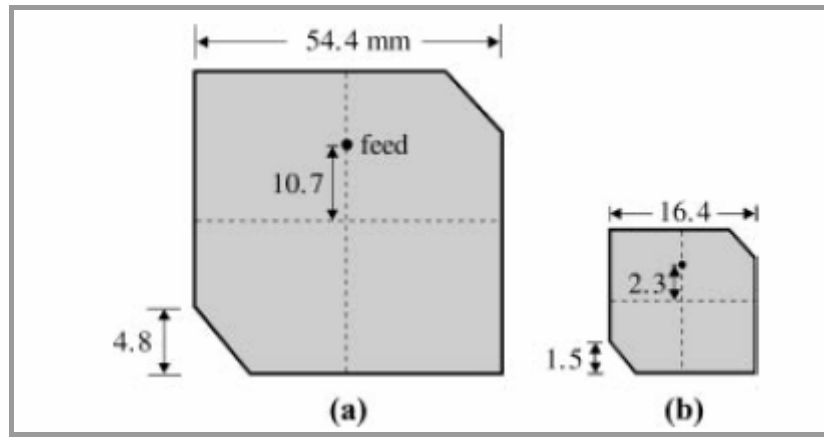
Στα πλαίσια της βελτιστοποίησης των παραπάνω χαρακτηριστικών των κεραιών μικροταινίας, έχουν προταθεί διάφορες μεθοδολογίες, οι οποίες οδηγούν σε πιο συμπαγείς (compact) και ευρυζωνικές (broadband) κεραιές, όπως η επιλογή του σημείου τροφοδοσίας, μέθοδοι αναδίπλωσης, καθώς και χρήση πολλαπλών στρωμάτων. Ιδιαίτερη σημασία δίνεται στη δυνατότητα χρήσης εσοχών (slits) ή συνθετότερων εγκοπών (slots) με σκοπό τη μείωση των διαστάσεων της κεραιάς, αλλά και στη βελτιστοποίηση του εύρους ζώνης και του κέρδους.

Γενικότερα, οι κεραιές μικροταινίας αποτελούν δομές μισού μήκους κύματος και λειτουργούν στο βασικό ρυθμό TM_{01} ή TM_{10} με συχνότητα συντονισμού που δίνεται από τη σχέση

$$f \cong \frac{c}{2L\sqrt{\epsilon_r}}$$

(όπου c η ταχύτητα του φωτός, L το φυσικό μήκος της κεραιάς και ϵ_r η διηλεκτρική σταθερά του υποστρώματος), και ισχύει για κεραιά με ένα υπόστρωμα.

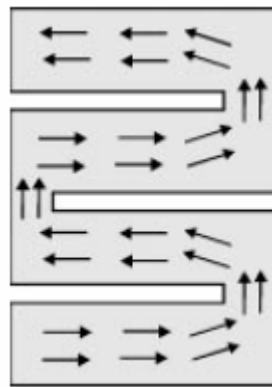
Από τη μορφή της παραπάνω εξίσωσης, προκύπτει ότι το patch της κεραίας που ακτινοβολεί έχει ένα ενεργό μήκος ανάλογο του $1/\sqrt{\epsilon_r}$, οπότε η χρήση υποστρώματος με μεγαλύτερο ϵ_r , οδηγεί σε κεραία μικρότερου φυσικού μήκους, για δεδομένη συχνότητα. Η σύγκριση των απαιτούμενων διαστάσεων δύο κυκλικά πολωμένων ορθογωνικών κεραιών μικροταινίας, των οποίων οι γωνίες έχουν αποκοπεί και υλοποιούνται πάνω σε διαφορετικά υποστρώματα, παρουσιάζεται στο **σχήμα 2.3**. Οι κεραίες αυτές εφαρμόζονται συνήθως σε συστήματα GPS. Στην πρώτη κεραία χρησιμοποιείται μικροκυματικό υπόστρωμα με $\epsilon_r=3.0$ και πάχος $h=1.524$ mm, ενώ στη δεύτερη χρησιμοποιείται $\epsilon_r=28.2$ και $h=4.75$ mm. Το σχετικά μεγάλο πάχος του υποστρώματος της δεύτερης κεραίας απαιτείται για να επιτευχθεί το ζητούμενο εύρος κυκλικής πόλωσης για την εφαρμογή σε συστήματα GPS.



Σχήμα 2.3 a) Κεραία με διηλεκτρικό $\epsilon_r=3.0$ και $h=1.524$ mm b) Κεραία με διηλεκτρικό $\epsilon_r=28.2$ και $h=4.75$ mm για εφαρμογή σε GPS.

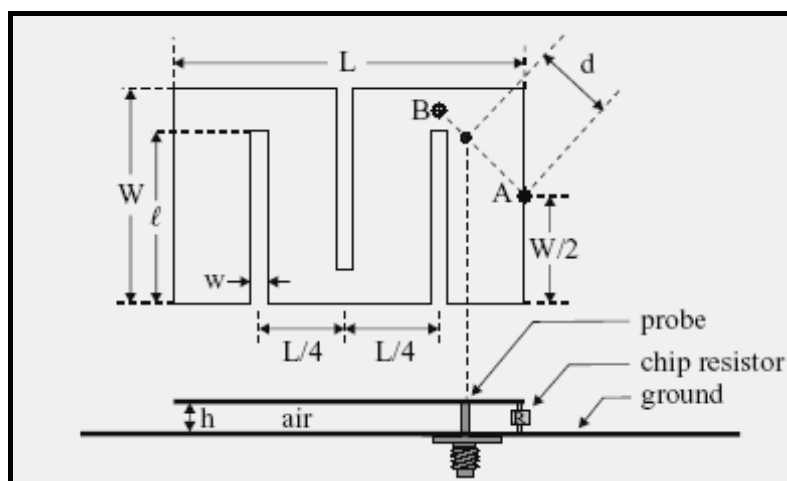
Από το παραπάνω σχήμα, φαίνεται ότι η δεύτερη κεραία έχει μέγεθος περίπου 10% της πρώτης ενώ ταυτόχρονα εμφανίζει μία συχνότητα συντονισμού μόνο 0.326 φορές αυτής του πρώτου σχεδίου. Το αποτέλεσμα αυτό οδηγεί στο συμπέρασμα ότι μια μείωση του μεγέθους της κεραίας, περίπου 90%, για δεδομένη συχνότητα λειτουργίας, μπορεί να επιτευχθεί με χρήση υποστρώματος διηλεκτρικής σταθεράς $\epsilon_r=28.2$ αντί για $\epsilon_r=3.0$.

Μια πολύ εύχρηστη μέθοδος, για την επίτευξη χαμηλότερης συχνότητας συντονισμού της κεραίας μικροταινίας, είναι η δημιουργία εγκοπών στα μη ακτινοβολούντα άκρα του patch σε σχήμα μαιάνδρου. Με τη μέθοδο αυτή αυξάνεται ή διαφοροποιείται η διαδρομή του ρεύματος κατά μήκος της κεραίας, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται μικρότερη συχνότητα συντονισμού και ταυτόχρονα μείωση του μεγέθους της κεραίας σε δεδομένη συχνότητα λειτουργίας. Στο **σχήμα 2.4** παρουσιάζεται μια ορθογωνική κεραία μικροταινίας σε σχήμα μαιάνδρου.



Σχήμα 2.4

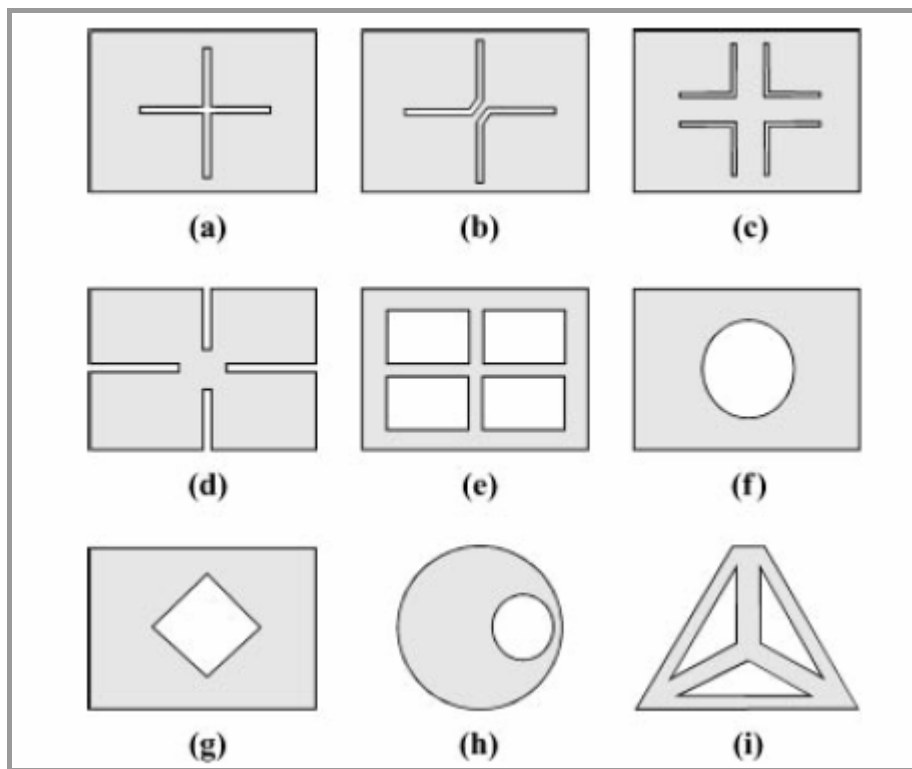
Η κεραία PIFA (Planar Inverted-F Antenna) με patch ορθογωνικού σχήματος, υλοποιημένη σε υπόστρωμα αέρα, αποτελεί εφαρμογή της παραπάνω μεθόδου. Στο **σχήμα 2.5** παρουσιάζεται η γεωμετρία μιας τροποποιημένης κεραίας PIFA στη μπάντα των 800 MHz.



Σχήμα 2.5 Κεραία PIFA

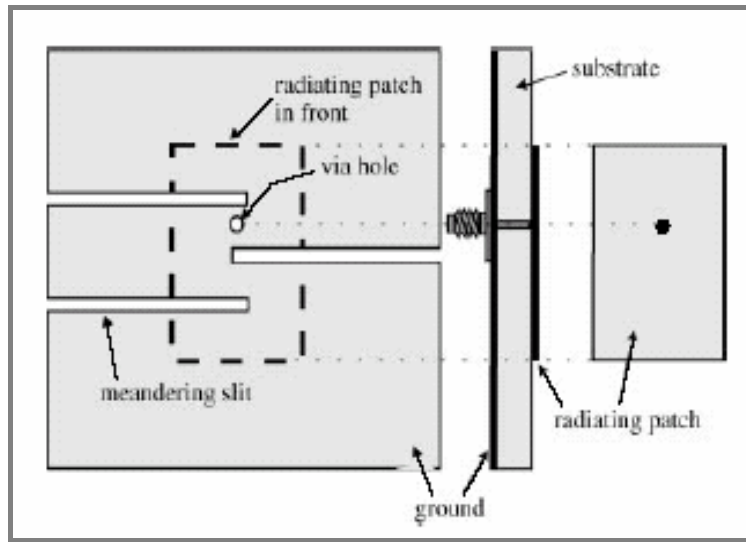
Στην τροποποιημένη κεραία PIFA του σχήματος, οι τυπικές τιμές των μεγεθών είναι $L=40\text{mm}$ (περίπου $0.115\lambda_0$, $\lambda_0=34.88\text{cm}$ στα 860MHz), $W=25\text{mm}$, $l=20\text{mm}$, $w=2\text{mm}$ και $h=3.2\text{mm}$ (περίπου $0.0092\lambda_0$). Με τη χρήση των εγκοπών παρατηρείται λειτουργία της κεραίας στα 872MHz , περίπου 0.67 της συχνότητας λειτουργίας της κεραίας χωρίς εγκοπές για τις ίδιες διαστάσεις. Στη συγκεκριμένη κατασκευή υπάρχει ένα chip-resistor τοποθετημένο στη θέση A (κέντρο της ακτινοβολούσας πλευράς), το οποίο επηρεάζει την ευρυζωνική λειτουργία της κεραίας. Επιλέγοντας κατάλληλα τις παραμέτρους της πιο πάνω κατασκευής, οδηγούμαστε σε ικανοποιητική ταυτόχρονη compact και broadband λειτουργία της κεραίας.

Στο **σχήμα 2.6** φαίνονται διάφορες μορφές ενσωμάτωσης κατάλληλων εγκοπών στο patch κεραιών μικροταινίας ορθογωνικού, κυκλικού και τριγωνικού σχήματος.



Σχήμα 2.6 Διάφορες μορφές ενσωμάτωσης εγκοπών στο patch.

Ποικίλες άλλες μέθοδοι χρησιμοποιούνται για την επίτευξη compact και broadband κεραιών, όπως η κατάλληλη διαμόρφωση του αγωγίμου επιπέδου (ground plane) μιας κεραίας μικροταινίας. Στο **σχήμα 2.7** απεικονίζεται ένας ενδιαφέρων σχεδιασμός κεραίας, με το αγωγίμο επίπεδο αυτής να έχει μορφοποιηθεί σε σχήμα μαιάνδρου.



Σχήμα 2.7

Οι μέθοδοι αυτοί δεν θα μας απασχολήσουν στην παρούσα εργασία, καθώς θα ασχοληθούμε με την εφαρμογή εγκοπών στο patch μιας κεραίας μικροταινίας.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ

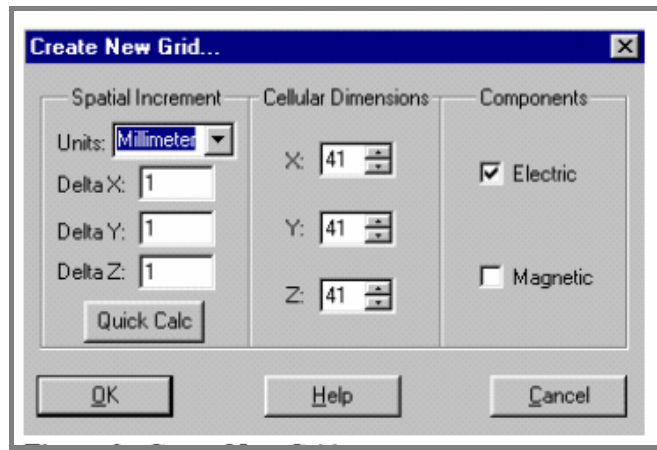
3.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία. Για την κατασκευή και ανάλυση της κεραίας μικροταινίας χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα XFDTD, καθώς και μερικές συναρτήσεις του Matlab, που βοήθησαν σημαντικά στην εξοικονόμηση χρόνου.

Τα τελευταία χρόνια έχουν εμφανιστεί διάφορες μέθοδοι ανάλυσης και σύνθεσης κεραιών. Μια από αυτές είναι η μέθοδος των *Πεπερασμένων Διαφορών στο Πεδίο του Χρόνου (FDTD)*, στην οποία διακριτοποιείται το σύνολο του χώρου και όχι μόνο οι μεταλλικές επιφάνειες. Στην παρούσα μέθοδο ο χρόνος διαιρείται σε μικρά διακριτά βήματα και το ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο υπολογίζονται σε κάθε βήμα του χρόνου. Το XFDTD χρησιμοποιεί αυτή τη μέθοδο για να προσομοιώσει την κεραία. Με το πρόγραμμα XFDTD μπορούμε να δημιουργήσουμε τη γεωμετρία μιας κεραίας, να θέσουμε την τροφοδοσία και να πάρουμε αρχεία για διάφορα χαρακτηριστικά της κεραίας, όπως τη συχνότητα συντονισμού, το συντελεστή ανάκλασης, το κέρδος, τη ρευματική κατανομή και πολλών άλλων.

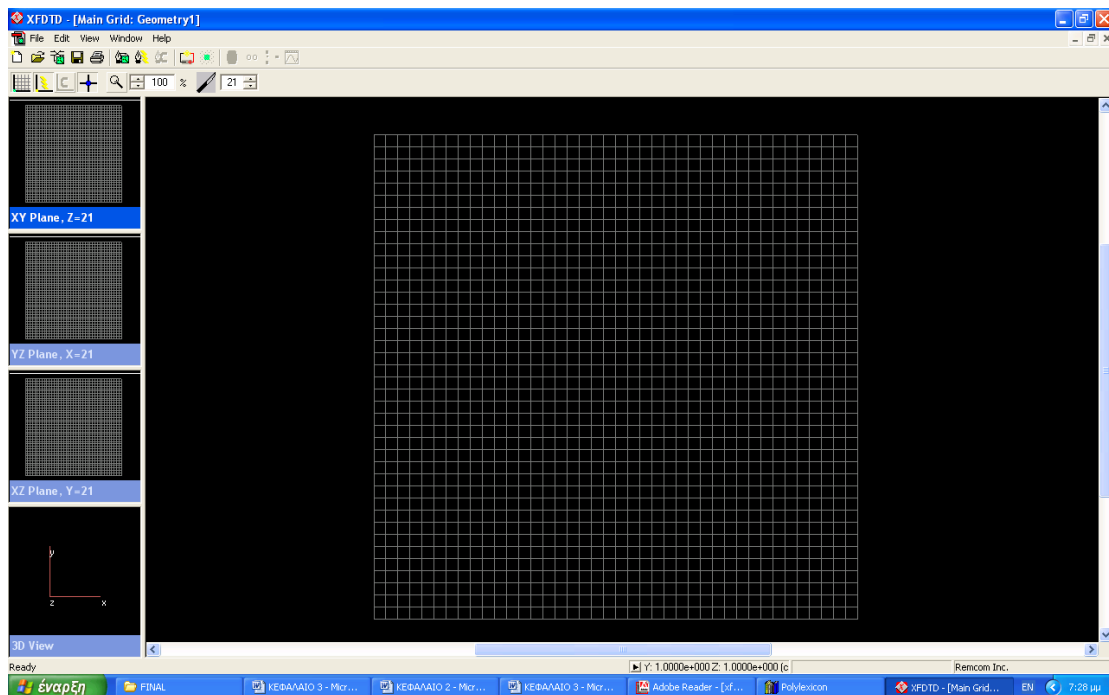
3.2 Καθορισμός γεωμετρίας


Η υπό κατασκευή γεωμετρία αποτελείται από κελιά και στους τρεις άξονες, οι διαστάσεις των οποίων καθορίζονται από το πρόγραμμα. Για να καθοριστούν οι διαστάσεις των κελιών πρέπει να ληφθεί υπόψη ο βασικός περιορισμός που θέτει ως μέγιστο μέγεθος κελιού το 1/10 του μήκους κύματος της συχνότητας λειτουργίας. Στην πράξη, όμως χρησιμοποιείται πολύ μικρότερο μέγεθος. Οι διαστάσεις των κελιών, καθώς και ο αριθμός αυτών που θα χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή του πλέγματος που συνιστά την γεωμετρία καθορίζονται με βάση το παράθυρο του **σχήματος 3.1**. Ένα σημαντικό στοιχείο που πρέπει να αναφερθεί είναι ότι ανάμεσα στην βασική δομή της κεραίας (patch) και τα εξωτερικά όρια του πλέγματος, πρέπει να υπάρχει απόσταση τουλάχιστον 15 κελιών, ώστε να υπάρχει καλύτερη απορρόφηση από τα πεδία (ηλεκτρικά και μαγνητικά),

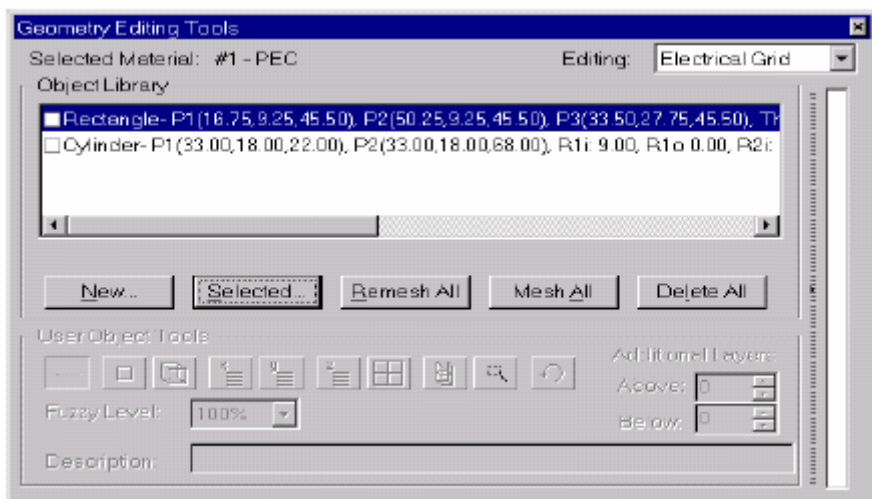


Σχήμα 3.1

Το πλέγμα που δημιουργήθηκε απεικονίζεται στην οθόνη του υπολογιστή σε ένα παράθυρο όπως το παρακάτω. Πάνω σε αυτό το πλέγμα θα δημιουργηθεί η κεραία.

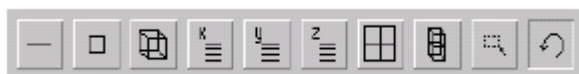


Στη συνέχεια χρησιμοποιώντας την επιλογή Geometry Editing Tools  ανοίγει ένα παράθυρο (**σχήμα 3.2**), στο οποίο θέτονται τα διάφορα χαρακτηριστικά της εκάστοτε γεωμετρίας, όπως μεταλλικά μέρη, διηλεκτρικό υπόστρωμα κτλ.



Σχήμα 3.2 Το παράθυρο του Editing Geometry Tools

Πατώντας το κουμπί με την επιλογή New εμφανίζεται μια λίστα από προκαθορισμένα αντικείμενα έτοιμα για χρήση, όπως ορθογωνικά σχήματα, κύλινδροι και σφαίρες. Μόνο οι διαστάσεις τους απομένει να καθοριστούν. Ακόμη υπάρχει και η επιλογή User-Defined Object, η οποία επιτρέπει στο χρήστη να καθορίσει το σχήμα της γεωμετρίας του, μέσα από τις παρακάτω επιλογές.



Επίσης υπάρχουν οι επιλογές Electric Material Parameters και Magnetic Material Parameters, μέσω των οποίων καθορίζονται οι παράμετροι των υλικών κάθε κελιού του πλέγματος. Κάθε χρώμα αναπαριστά ένα διαφορετικό τύπο υλικού. Το μαύρο αντιπροσωπεύει τον ελεύθερο χώρο και το λευκό το Perfect Electric Conductor (PEC), όπως στο **σχήμα 3.3**.

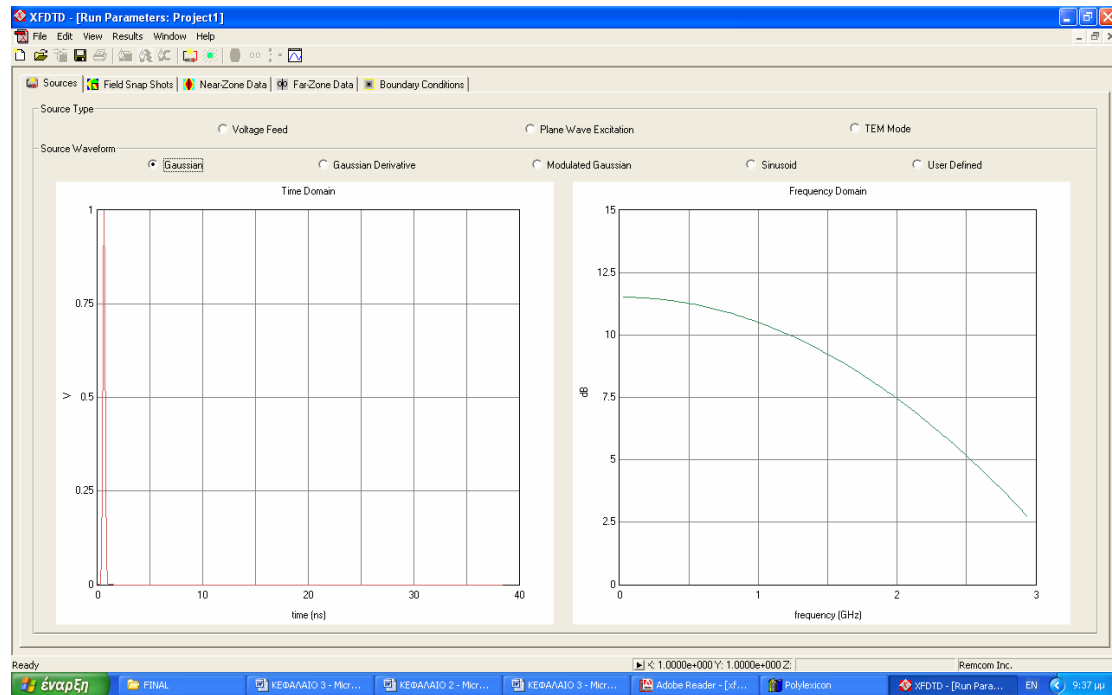


Σχήμα 3.3

Στη συνέχεια αποθηκεύουμε την γεωμετρία σε ένα αρχείο **.id**, το οποίο περιέχει όλες τις χρήσιμες πληροφορίες για τη δομή της κεραίας. Σε επόμενο κεφάλαιο αναλύεται ο τρόπος που θα αξιοποιηθεί το αρχείο **.id**.

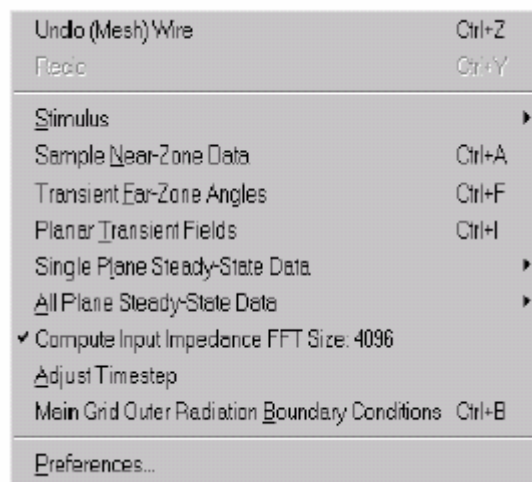
3.3 Καθορισμός παραμέτρων εισόδου και εξόδου

Αφού έχει οριστεί η γεωμετρία, σύμφωνα με την πιο πάνω διαδικασία, καθορίζονται οι παράμετροι εισόδου και εξόδου. Με την επιλογή New ⇒ Project εμφανίζεται το παρακάτω παράθυρο εργασιών.




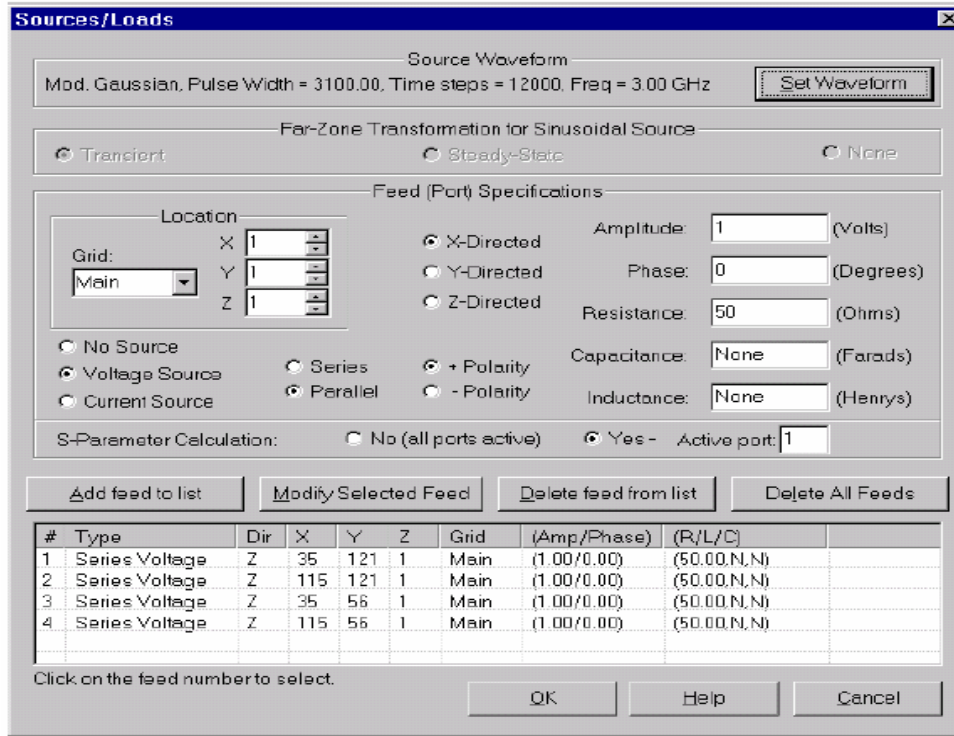
Σχήμα 3.4

Μέσω των επιλογών που προσφέρει αυτό το παράθυρο, μπορούμε να καθορίσουμε την τροφοδοσία της κεραίας, τις συνθήκες απορρόφησης των εξωτερικών ορίων του πλέγματος, ή να επιλέξουμε ποια χαρακτηριστικά της κεραίας θέλουμε να υπολογίσει το πρόγραμμα, σύμφωνα με το **σχήμα 3.5**



Σχήμα 3.5

Ο καθορισμός των πηγών που θα τροφοδοτούν την κεραία γίνεται με την επιλογή Stimulus του πιο πάνω σχήματος ή πατώντας το κουμπί  , μέσω του παραθύρου που εμφανίζεται.



Sources/Loads

Source Waveform
Mod. Gaussian, Pulse Width = 3100.00, Time steps = 12000, Freq = 3.00 GHz Set Waveform

Far-Zone Transformation for Sinusoidal Source
 Transient Steady-State None

Feed (Port) Specifications

Location
 Grid: X 1 Y 1 Z 1
 Main

X-Directed Y-Directed Z-Directed
 No Source Voltage Source Current Source
 Series Parallel
 + Polarity - Polarity

Amplitude: 1 (Volts)
 Phase: 0 (Degrees)
 Resistance: 50 (Ohms)
 Capacitance: None (Farads)
 Inductance: None (Henrys)

S-Parameter Calculation: No (all ports active) Yes - Active port: 1

Add feed to list Modify Selected Feed Delete feed from list Delete All Feeds

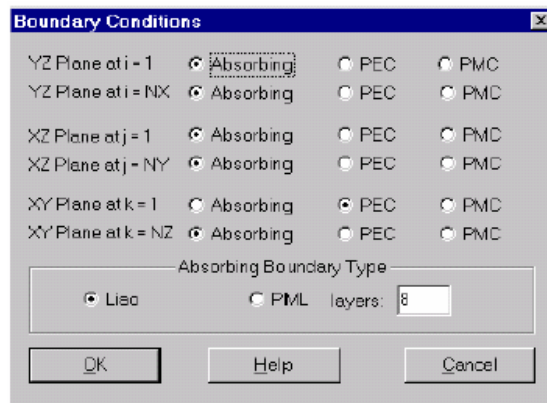
#	Type	Dir	X	Y	Z	Grid	(Amp/Phase)	(R/L/C)
1	Series Voltage	Z	35	121	1	Main	(1.00/0.00)	(50.00,N,N)
2	Series Voltage	Z	115	121	1	Main	(1.00/0.00)	(50.00,N,N)
3	Series Voltage	Z	35	56	1	Main	(1.00/0.00)	(50.00,N,N)
4	Series Voltage	Z	115	56	1	Main	(1.00/0.00)	(50.00,N,N)

Click on the feed number to select.

OK Help Cancel

Με την επιλογή του Set Waveform ορίζεται η μορφή της διέγερσης. Επίσης υπάρχουν οι επιλογές της πηγής τάσης ή ρεύματος, αν θα είναι σε σειρά ή παράλληλα, σε ποιον άξονα (x, y, z) και πολλές άλλες. Με τον τρόπο αυτό προσδιορίζονται πλήρως τα χαρακτηριστικά της τροφοδοσίας.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει ο καθορισμός των συνθηκών απορρόφησης των εξωτερικών ορίων του πλέγματος, μέσω του 'μενού' που απεικονίζεται στο **σχήμα 3.6**. Το πρόγραμμα XFDTD παρουσιάζει ένα μειονέκτημα σε αυτό το σημείο. Αν η κυματομορφή της διέγερσης είναι ημίτονο δεν επιτρέπεται η χρήση PEC στις οριακές συνθήκες.



Σχήμα 3.6

Αφού οριστούν όλες οι παράμετροι εισόδου, και επιλεχθούν τα χαρακτηριστικά της κεραίας προς υπολογισμό από το παράθυρο του σχήματος 3.5, τα αποθηκεύουμε σε ένα αρχείο **.fdtd**. Στη συνέχεια χρησιμοποιώντας τις επιλογές Results⇒RunCalcFDTD γίνεται η προσομοίωση της κεραίας.

Τα αρχεία εξόδου που προκύπτουν με το τέλος της προσομοίωσης, αποθηκεύονται με κατάληξη ανάλογη του χαρακτηριστικού της κεραίας που ζητήθηκε να υπολογιστεί. Για παράδειγμα, το αρχείο του συντελεστή ανάκλασης θα έχει κατάληξη **.S11**, της ρευματικής κατανομής θα είναι **.ccm** κτλ. Αυτά τα αρχεία τα επεξεργαζόμαστε και τα απεικονίζουμε μέσω του Matlab.

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗΣ

4.1 Εισαγωγή

Εφαρμόζοντας την διαδικασία που περιγράφει το προηγούμενο κεφάλαιο, κατασκευάζουμε μια κεραία μικροταινίας, με σκοπό τη μελέτη της συχνότητας συντονισμού και της ρευματικής κατανομής από τα αρχεία εξόδου.

4.2 Αρχείο εισόδου

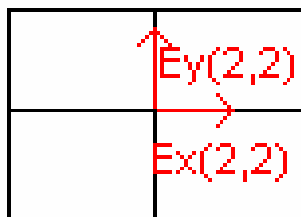
Στο πρόγραμμα XFDTD, αφού ορίσουμε τις διαστάσεις των κελιών στους τρεις άξονες, Δx , Δy , Δz , κατασκευάζουμε πολύ απλά, με το χέρι, τη γεωμετρία που μας ενδιαφέρει. Στη συνέχεια αποθηκεύουμε τη γεωμετρία σε ένα αρχείο **.id**. Η μορφή του αρχείου απεικονίζεται στο **σχήμα 4.1**.

```
Geometry file version 3.11

  90 80 16
1.003010e-003 1.003010e-003 5.827020e-004
  0 0 0
  0
emat02: Substrate
mmat02:
2.200000e+000 0.000000e+000 1.000000e+000 0.000000e+000 1.000000e+003
1.000000e+000 0.000000e+000 0.000000e+000 0.000000e+000 0
0.000000e+000 0.000000e+000 0.000000e+000 0.000000e+000 0.000000e+000 0
emat03: Air/Dielectric Layer
mmat03:
1.600000e+000 0.000000e+000 1.000000e+000 0.000000e+000 1.000000e+003
1.000000e+000 0.000000e+000 0.000000e+000 0.000000e+000 0
0.000000e+000 0.000000e+000 0.000000e+000 0.000000e+000 0.000000e+000 0
emat04:
.
.
.
28800
1 1 1 1 1 2
2 1 1 1 1 2
3 1 1 1 1 2
4 1 1 1 1 2
5 1 1 1 1 2
6 1 1 1 1 2
7 1 1 1 1 2
8 1 1 1 1 2
9 1 1 1 1 2
10 1 1 1 1 2
11 1 1 1 1 2
12 1 1 1 1 2
13 1 1 1 1 2
.
```

Σχήμα 4.1 Μορφή αρχείου **.id**

Παρατηρούμε ότι το αρχείο περιέχει όλες τις πληροφορίες της γεωμετρίας, όπως τον αριθμό των κελιών που σχηματίζουν το πλέγμα (2^η γραμμή), τις διαστάσεις των κελιών (3^η γραμμή) τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν κτλ. Η πιο σημαντική πληροφορία βρίσκεται στον πίνακα ((i*j*k)*6), όπου i, j, k ο αριθμός των κελιών στον x, y, z άξονα αντίστοιχα. Ο πίνακας αυτός περιέχει το υλικό κάθε συνιστώσας του ηλεκτρικού πεδίου ξεχωριστά, στους τρεις άξονες x, y, z. Οι συνιστώσες του ηλεκτρικού πεδίου βρίσκονται στις ακμές των κελιών, όπως ενδεικτικά φαίνεται στο **σχήμα 4.2**



Σχήμα 4.2 Συνιστώσες ηλεκτρικού πεδίου.

Στις τρεις πρώτες στήλες του πίνακα εμφανίζεται η θέση της κάθε συνιστώσας στο πλέγμα, και στις τρεις επόμενες το υλικό της εκάστοτε συνιστώσας E_x , E_y , E_z αντίστοιχα. Για να εισάγουμε εσοχή στην αρχική γεωμετρία της κεραίας μικροταινίας, δουλεύουμε στο xy επίπεδο, όπου έχουμε δημιουργήσει το patch της κεραίας. Εκεί αλλάζουμε, ανάλογα με τη θέση της εσοχής που προσθέτουμε, το υλικό των E_x και E_y , δηλαδή από μέταλλο (PEC) στο υλικό του διηλεκτρικού υποστρώματος. Αυτό μπορεί να γίνει με το χέρι, αλλάζοντας μία μία τις τιμές, στο παραπάνω αρχείο που δημιουργεί το λογισμικό. Η διαδικασία αυτή είναι πολύπλοκη και χρονοβόρα, ιδιαίτερα αν επιθυμούμε να εισάγουμε περισσότερες της μιας εσοχές.

Το λογισμικό μας δίνει τη δυνατότητα να επεμβούμε σε αυτό το αρχείο. Με τη βοήθεια του προγράμματος Matlab, διαβάζουμε το αρχείο, μπορούμε να το επεξεργαστούμε και να το αποθηκεύσουμε ξανά, ακριβώς με την προγενέστερη μορφή του.

Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται ένα έξυπνο σύστημα παρέμβασης, εύκολο και γρήγορο, στο αρχείο, για την αυτόματη κατασκευή κεραιών με εσοχές (slots).

4.3 Αρχείο εξόδου

Έχοντας ορίσει τη γεωμετρία, καθώς επίσης και την τροφοδοσία, διαλέγουμε ποια χαρακτηριστικά της κεραίας θέλουμε να υπολογιστούν. Αρχικά χρησιμοποιώντας Gaussian παλμό υπολογίζουμε τη συχνότητα συντονισμού, το συντελεστή ανάκλασης και την αντίσταση εισόδου. Τα αρχεία αυτά απεικονίζονται αυτόματα από το πρόγραμμα, μπορούν όμως να διαβαστούν και να απεικονιστούν πολύ εύκολα από το Matlab.

Γνωρίζοντας τη συχνότητα συντονισμού, θέτουμε ξανά την τροφοδοσία, χρησιμοποιώντας αυτή τη φορά κυματομορφή ημίτονου. Σε αυτό το σημείο απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή!!! Επειδή το XFDTD δεν επιτρέπει τη χρήση ημίτονου και PEC στις συνθήκες απορρόφησης των εξωτερικών ορίων του πλέγματος, πρέπει αυτό να οριστεί στη γεωμετρία της κεραίας, όταν κρίνεται απαραίτητη η χρήση του, όπως στις κεραίες μικροταινίας.

Έχοντας ξεπεράσει και αυτό το εμπόδιο, δίνουμε εντολή στο λογισμικό να υπολογίσει τη ρευματική κατανομή της κεραίας, ακολουθώντας τη σειρά Edit⇒ Single Plane Steady-State Data⇒ Conduction Current Magnitudes του παραθύρου εργασιών του σχήματος 3.4. Το λογισμικό XFDTD υπολογίζει τη ρευματική κατανομή και την αποθηκεύει σε ένα αρχείο **.ccm**. Όπως και στο αρχείο εισόδου, έτσι και σε αυτό της εξόδου μπορεί να χρησιμοποιηθεί το πρόγραμμα Matlab για την απεικόνιση των αποτελεσμάτων.

4.4 Εντολές Matlab

Οι εντολές του Matlab που χρησιμοποιήθηκαν είναι πολύ απλές, όπως η **fopen**, η **fscanf** και η **fprintf**.

Στην παρούσα εργασία η σύνταξη της **fopen** που χρησιμοποιήθηκε είναι :

```
fid = fopen(filename,permission)
```

όπου **filename** είναι το όνομα του αρχείου που θέλουμε να ανοίξουμε και το **permission** μπορεί να είναι είτε **'r'** (**file only for reading**), είτε **'w'** (**file for writing**).

Επίσης η σύνταξη της `fscanf` είναι :

```
A = fscanf (fid,format,size)
```

όπου το `fid` ορίζεται από την `fopen`, το `format` μπορεί να είναι χαρακτήρας `%c`, ακέραιος αριθμός `%d`, δεκαδικός αριθμός `%f`, `%e`, `%g` κτλ, και τέλος το `size` μπορεί να οριστεί ως ακέραιος αριθμός `n`, ή ως `inf` το οποίο διαβάζει ως το τέλος ένα αρχείο ή ως πίνακας στοιχείων `[m, n]`.

Ομοίως με την `fscanf` ορίζεται και η `fprintf` :

```
count = fprintf(fid,format,A,...)
```

όπου, το `fid` ορίζεται από το `fopen` με την προϋπόθεση ότι το `permission` είναι απαραίτητως `'w'`.

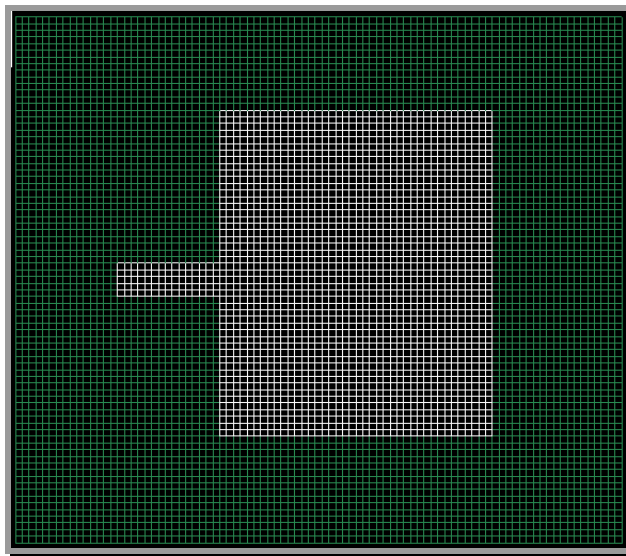
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

5.1 Εισαγωγή

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται, αρχικά, η κεραία μικροταινίας χωρίς εσοχές και μελετάται η ρευματική κατανομή της. Χρησιμοποιώντας το αρχείο της αρχικής γεωμετρίας, με τη βοήθεια του Matlab, μελετάται η ρευματική κατανομή των δημιουργουμένων κεραιών μικροταινίας υπό την παρουσία εσοχών.

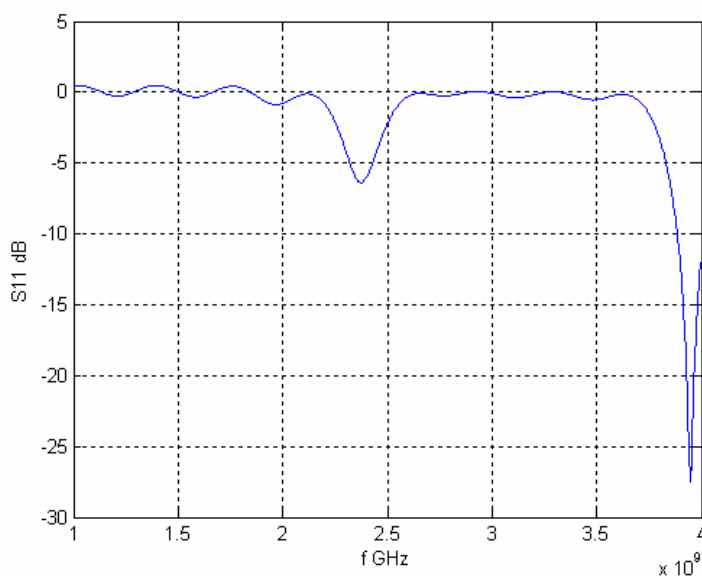
5.2 Κεραία χωρίς εσοχές

Αρχικά χρησιμοποιήθηκε κεραία μικροταινίας με μήκος $L=41$ mm και πλάτος $W=48.4$ mm, υλοποιημένη πάνω σε υπόστρωμα με διηλεκτρική σταθερά $\epsilon_r=2.2$ και πάχος $h=1.58$ mm. Η συχνότητα λειτουργίας της κεραίας είναι $f=2.45$ GHz. Η τροφοδοσία της κεραίας γίνεται μέσω γραμμής μικροταινίας, η οποία έχει πλάτος $w=4.8$ mm έτσι ώστε να είναι προσαρμοσμένη. Τοποθετούμε τη γραμμή μικροταινίας στο μέσο της κεραίας. Επιλέγουμε τις διαστάσεις των κελιών $\Delta x=1$ mm, $\Delta y=1$ mm, $\Delta z=0.58$ mm. Η κεραία μικροταινίας όπως φτιάχτηκε με το πρόγραμμα XFDTD φαίνεται στο **σχήμα 5.1**.



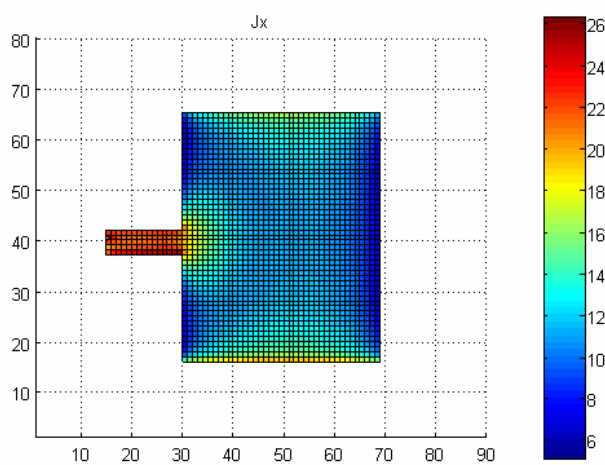
Σχήμα 5.1 Αρχική κεραία

Κάνουμε την προσομοίωση της κεραίας, χρησιμοποιώντας ως διέγερση Gaussian παλμό. Το λογισμικό XFDTD υπολογίζει το S11 και το αποθηκεύει σε ένα αρχείο **.S11**. Το αρχείο αυτό το επεξεργαζόμαστε με το Matlab και το απεικονίζουμε μέσω αυτού, όπως φαίνεται στο **σχήμα 5.2**.

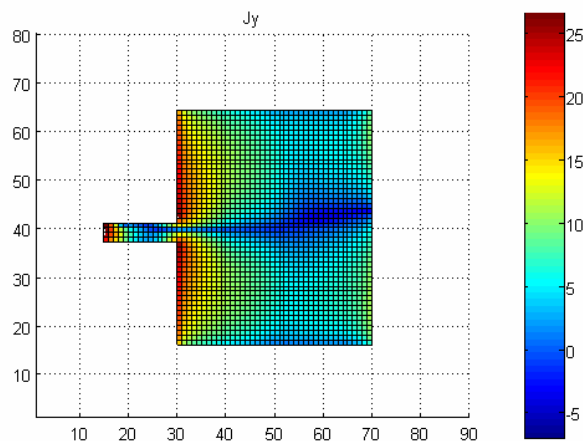


Σχήμα 5.2 Διάγραμμα συντελεστή ανάκλασης συναρτήσει της συχνότητας.

Χρησιμοποιώντας ως διέγερση ημίτονο στη συχνότητα των 2.45 GHz, το λογισμικό μας δίνει τη ρευματική κατανομή, μόνο τα μέτρα των Jx, Jy και την αποθηκεύει σε ένα αρχείο **.ccm**. Μέσω του Matlab απεικονίζουμε τις ρευματικές κατανομές όπως στα παρακάτω **σχήματα 5.3(a) και 5.3(b)**.



Σχήμα 5.3(a) Ρευματική κατανομή Jx



Σχήμα 5.3(b) Ρευματική κατανομή J_y

5.3 Προσθήκη εσοχών σε κεραία μικροταινίας.

Έχοντας τη γεωμετρία της αρχικής κεραίας, μέσω του Matlab, με πολύ απλές συναρτήσεις εισάγουμε εσοχές στην κεραία. Μελετάμε τη ρευματική κατανομή για διάφορες θέσεις της εσοχής κατά τον άξονα x , και για ποικίλα βάθη κατά τον άξονα y . Ορίζουμε ως N_p την απόσταση της εσοχής από την αρχή του patch και ως N_d το βάθος της.

Στον **πίνακα 1** που ακολουθεί, παρουσιάζονται οι συχνότητες συντονισμού της κεραίας μικροταινίας, για διάφορες θέσεις των εσοχών.

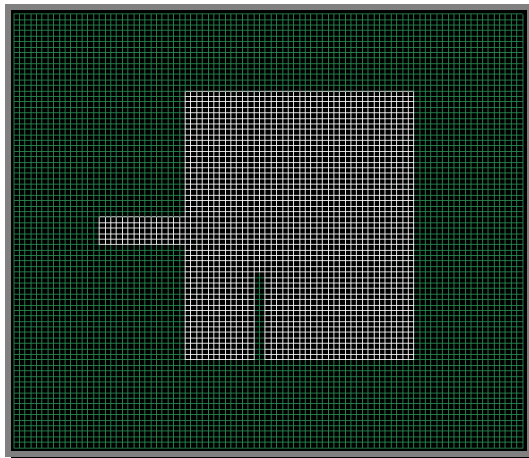
Παράμετροι εγκοπής σε mm		Συχνότητα συντονισμού f_r (GHz)	Συντελεστής ανάκλασης S_{11}
N_p	N_d		
7	16	2.2	0.316
8	7	2.32	0.263
8	12	2.25	0.302
9	9	2.2	0.269
9	16	2.05	0.363
16	11	2.17	0.239
12	16	1.98	0.309
13	16	1.95	0.263
20	25	1.5	0.089
30	30	1.4	0.085

Πίνακας 1

Από τον παραπάνω πίνακα διαπιστώνουμε ότι για τις περισσότερες θέσεις της εσοχής, η συχνότητα συντονισμού δεν βελτιώνεται σημαντικά, αφού κυμαίνεται στη ζώνη 2.05-2.32 GHz. Διαπιστώνουμε επίσης, ότι και ο συντελεστής ανάκλασης παραμένει σε υψηλές τιμές, εκτός από τις δύο τελευταίες θέσεις του πίνακα, όπου παρατηρείται καλύτερη προσαρμογή. Παρακάτω παρατίθενται τα διαγράμματα του συντελεστή ανάκλασης, καθώς και της ρευματικής κατανομής για εκείνες τις θέσεις των εσοχών με καλύτερη συχνότητα συντονισμού.

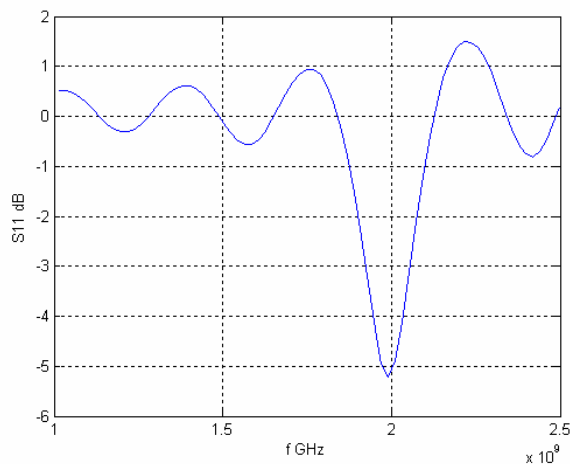
5.3.1 Κεραία με προσθήκη εσοχής στη θέση $N_p=12$ mm και με βάθος $N_d=16$ mm.

Στο **σχήμα 5.4** απεικονίζεται η κεραία με την εσοχή, όπως φαίνεται στο παράθυρο εργασιών του XFDTD.



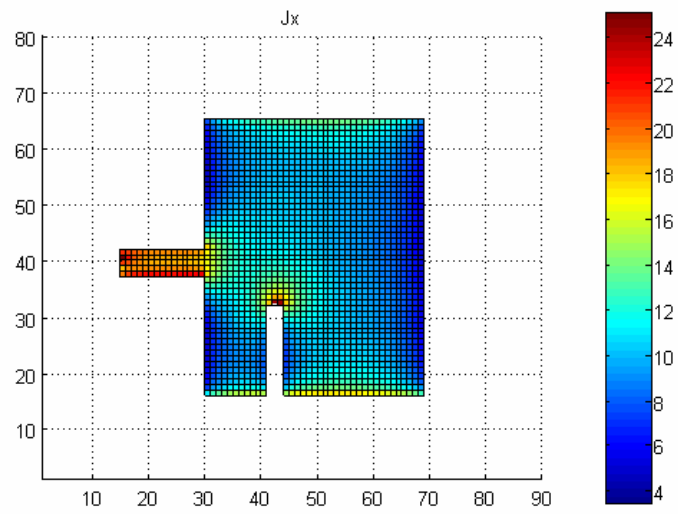
Σχήμα 5.4 Κεραία με εσοχή στο $N_p=12$ και $N_d=16$

Η συχνότητα συντονισμού με την εισαγωγή της εσοχής είναι $f_r=1.98$ GHz και δίνεται από το παρακάτω **σχήμα 5.5**.

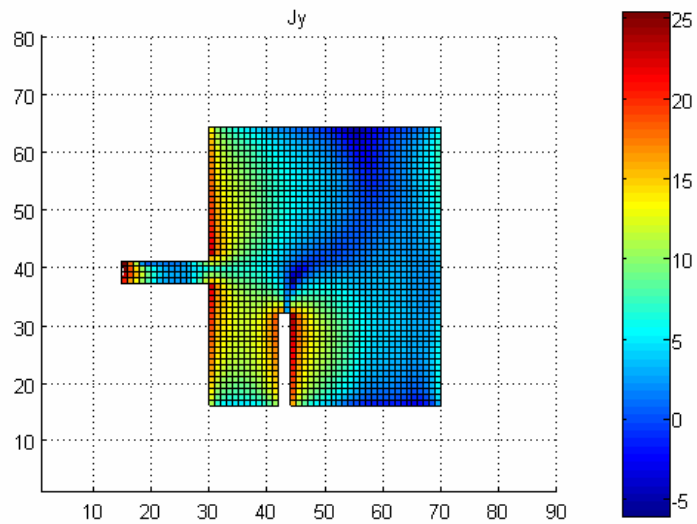


Σχήμα 5.5 Συντελεστής ανάκλασης συναρτήσεως της συχνότητας.

Οι χάρτες της ρευματικής κατανομής στους άξονες x και y , απεικονίζονται στα σχήματα 5.6(a), (b)



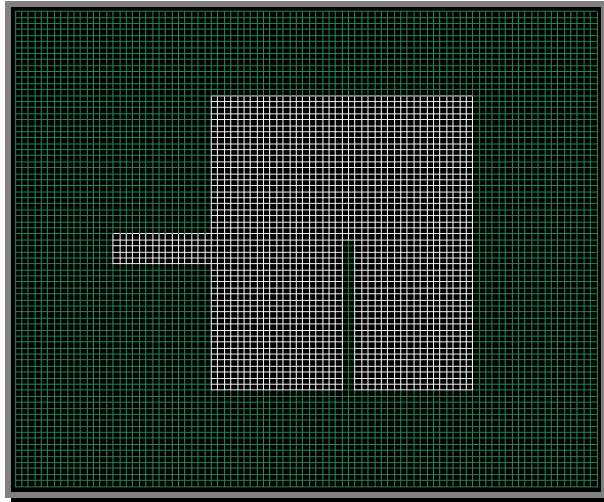
Σχήμα 5.6(a) Ρευματική κατανομή J_x



Σχήμα 5.6(b) Ρευματική κατανομή J_y

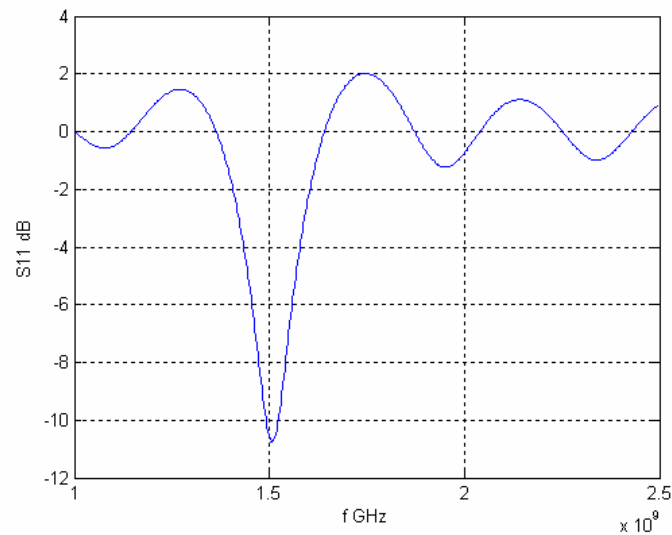
5.3.2 Κεραία με προσθήκη εσοχής στη θέση $N_p=20$ mm και με βάθος $N_d=25$ mm.

Στο **σχήμα 5.7** απεικονίζεται η κεραία με εσοχή βάθους $N_d=25$ mm στη θέση $N_d=20$ mm.



Σχήμα 5.7

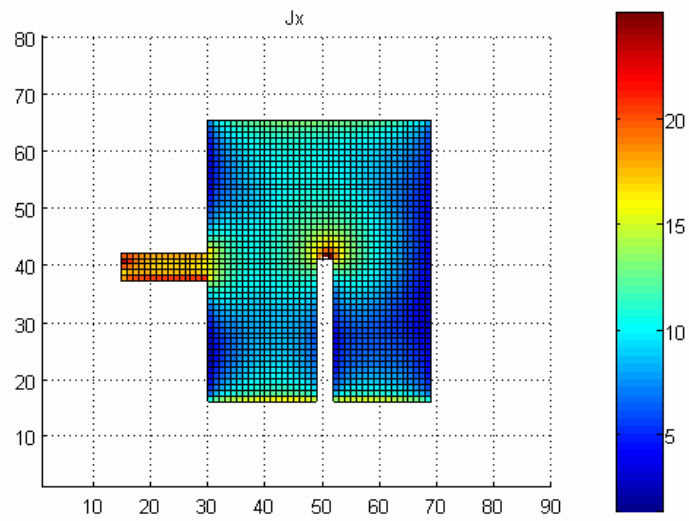
Το διάγραμμα του συντελεστή ανάκλασης συναρτήσει της συχνότητας, παρουσιάζεται στο **σχήμα 5.8**. Η συχνότητα συντονισμού προκύπτει $f_r=1.5$ GHz.



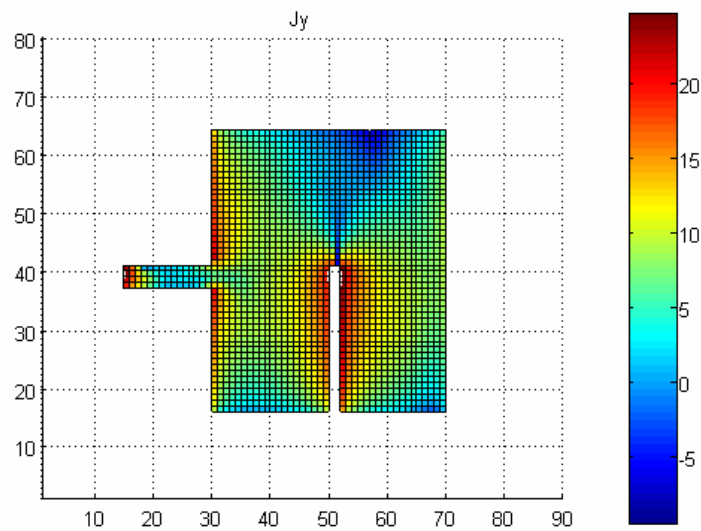
Σχήμα 5.8 Συντελεστής ανάκλασης συναρτήσει της συχνότητας.

Από το διάγραμμα αυτό παρατηρούμε ότι το S_{11} βελτιώθηκε σε σχέση με τις προηγούμενες περιπτώσεις.

Οι χάρτες της ρευματικής κατανομής στους δύο άξονες, όπως προέκυψαν από το XFDTD και το Matlab, παρουσιάζονται στα **σχήματα 5.9 (a), (b)**.



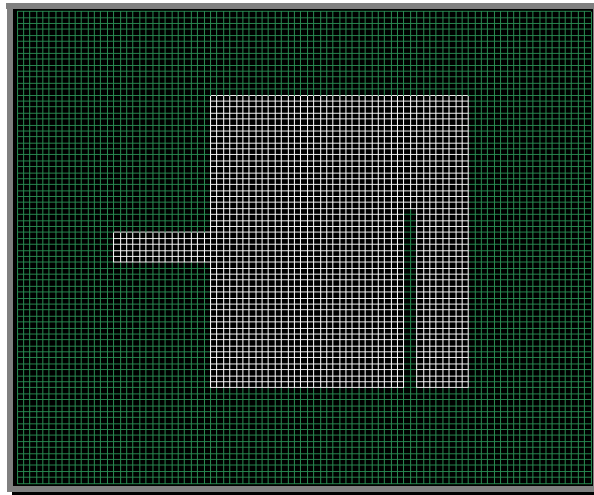
Σχήμα 5.9(a) Ρευματική κατανομή J_x



Σχήμα 5.9(b) Ρευματική κατανομή J_y

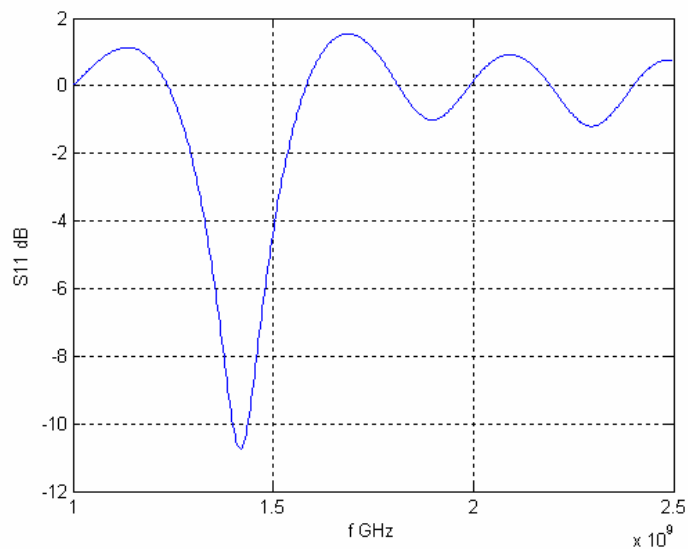
5.3.3 Κεραία με προσθήκη εσοχής στη θέση $N_p=30$ mm και με βάθος $N_d=30$ mm.

Τέλος εισάγεται στην κεραία μικροταινίας εσοχή στη θέση $N_p=30$ mm, με βάθος $N_d=30$ mm, όπως φαίνεται στο **σχήμα 5.10**.



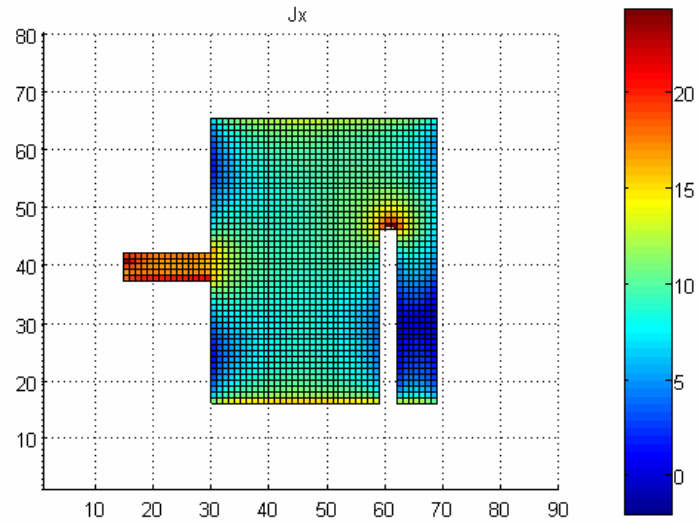
Σχήμα 5.10

Ο συντελεστής ανάκλασης, καθώς και η συχνότητα συντονισμού της συγκεκριμένης κεραίας παρουσιάζονται στο **σχήμα 5.11**. Η συχνότητα συντονισμού εμφανίζεται σημαντικά μειωμένη, $f_r=1.4$ GHz. Επίσης ο συντελεστής ανάκλασης έχει βελτιωμένη τιμή, $S_{11}=-10,7$ dB ή $S_{11}=0.085$.

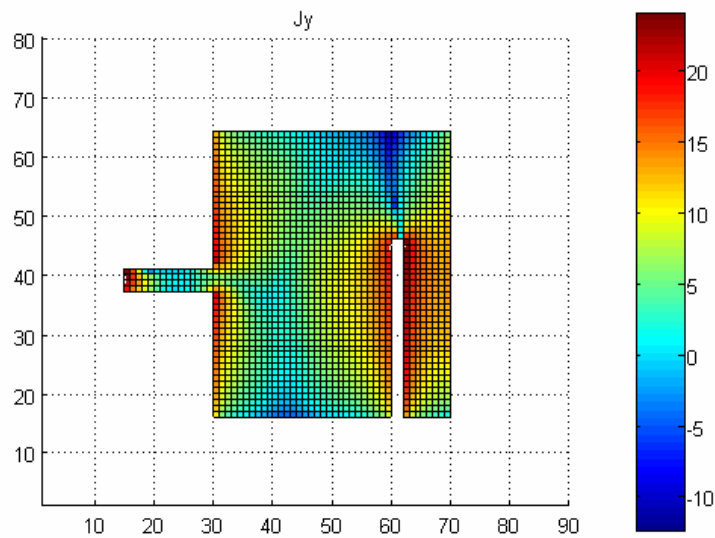


Σχήμα 5.11 Συντελεστής ανάκλασης συναρτήσει της συχνότητας.

Ακολουθούν οι ρευματικές κατανομές της κεραίας μικροταινίας, οι οποίες παρατίθενται στα **σχήματα 5.12(a), (b)**.



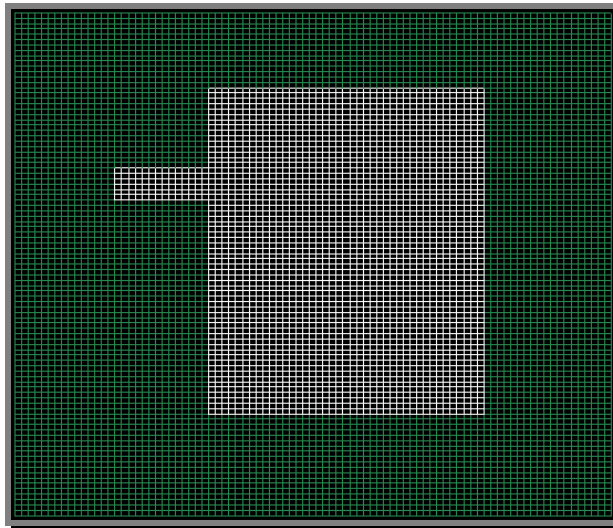
Σχήμα 5.12(a) Κατανομή ρεύματος J_x



Σχήμα 5.12(b) Κατανομή ρεύματος J_y

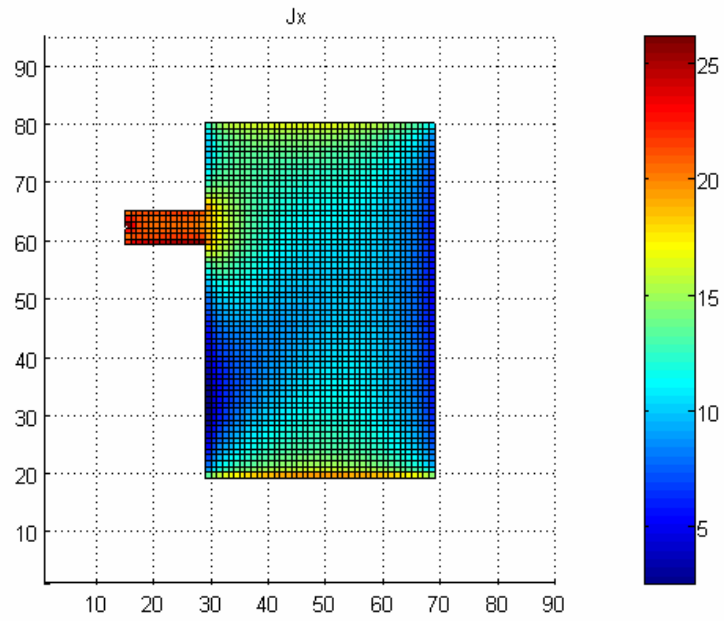
5.4 Νέα δομή της κεραίας μικροταινίας για καλύτερη προσαρμογή

Από τον πίνακα του σχήματος 5.4 παρατηρούμε ότι για την πλειονότητα των θέσεων της εσοχής που χρησιμοποιήθηκαν, ο συντελεστής ανάκλασης S11 δεν βελτιωνόταν σημαντικά. Στην παρούσα παράγραφο επιχειρείται η κατασκευή της ίδιας κεραίας μικροταινίας, δηλαδή με $L=41$ mm και $W=48.4$ mm. Επιλέγουμε τις διαστάσεις των κελιών $\Delta x=1$ mm, $\Delta y=0,8$ mm και $\Delta z=0,58$ mm. Η γραμμή τροφοδοσίας έχει, όπως και πριν, $w=4,8$ mm και τοποθετείται στο $W/4$ του patch. Με τις αλλαγές στα μεγέθη των κελιών, αλλάζει απλώς ο αριθμός των κελιών που δημιουργούν το patch και τη γραμμή τροφοδοσίας, όχι οι διαστάσεις τους. Η νέα γεωμετρία της κεραίας παρουσιάζεται στο **σχήμα 5.13**.

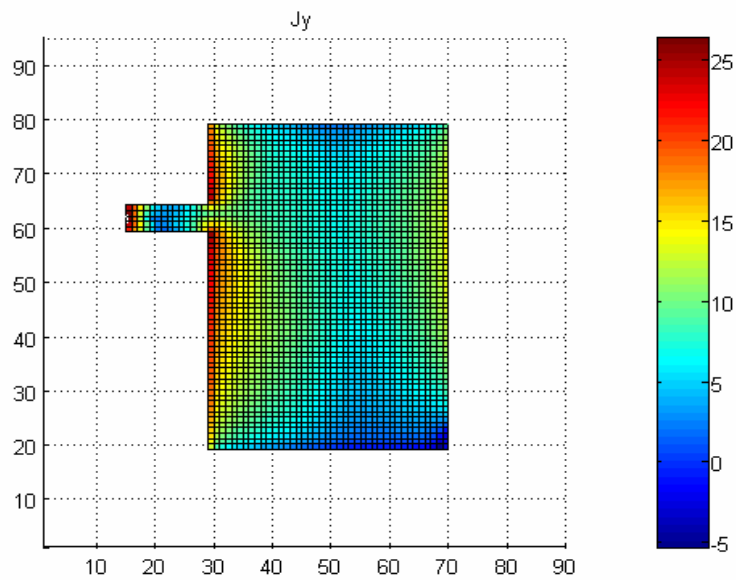


Σχήμα 5.13 Νέα δομή κεραίας μικροταινίας.

Κάνοντας την προσομοίωση της κεραίας με το λογισμικό XFDTD και την επεξεργασία των αρχείων με το Matlab προκύπτουν οι παρακάτω **(σχήμα 5.14(a), (b))** χάρτες των ρευματικών κατανομών στους άξονες x και y .



Σχήμα 5.14(a) Ρευματική κατανομή J_x



Σχήμα 5.14(b) Ρευματική κατανομή J_y

Και σε αυτή την περίπτωση εισάγουμε εσοχές στην κεραία μικροταινίας, με τη βοήθεια του Matlab. Η μόνη διαφορά, είναι ότι τώρα το μέγεθος του κελιού κατά τον y άξονα είναι $\Delta y=0.8$ mm. Επομένως, για παράδειγμα, αν το βάθος της εσοχής τεθεί στα 20 κελιά, θα ισοδυναμεί με 16 mm.

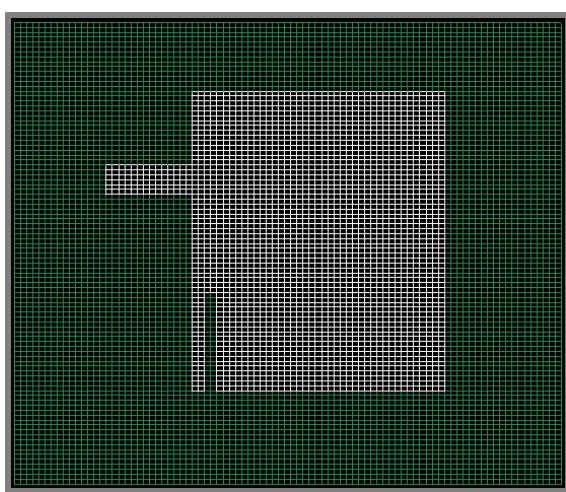
Ακολουθεί ο **πίνακας 2** με τις συχνότητες συντονισμού και το συντελεστή ανάκλασης της κεραίας για δύο διαφορετικές θέσεις εσοχών.

Παράμετροι εσοχής			Συχνότητα συντονισμού σε GHz	Συντελεστής ανάκλασης S11
Np	Nd(κελιά)	Nd(mm)		
2	20	16	2.2	0.01
10	16	12.8	2.12	0.089

Πίνακας 2

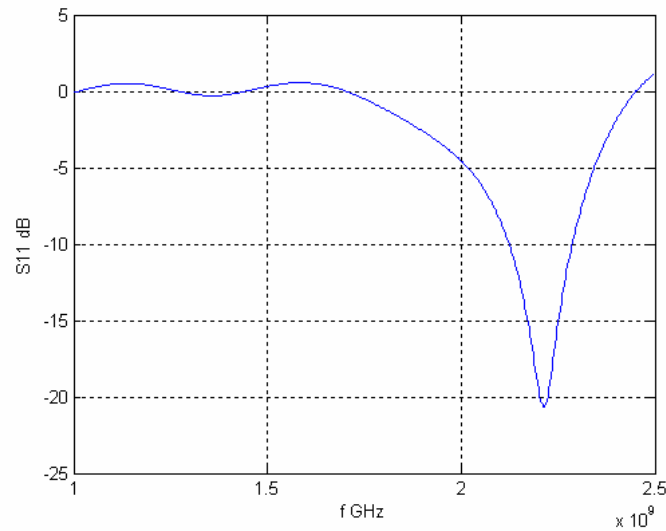
5.4.1 Κεραία με προσθήκη εσοχής στη θέση $N_p=2$ mm και με βάθος $N_d=16$ mm.

Η νέα δομή της κεραίας με την εσοχή, όπως φαίνεται στο παράθυρο του XFDTD, παρατίθενται στο παρακάτω **σχήμα 5.15**.



Σχήμα 5.15

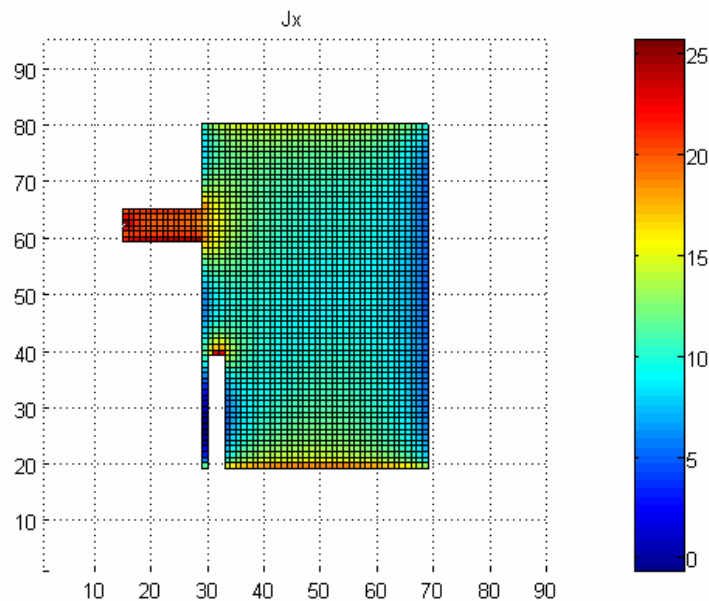
Για αυτή τη θέση της εσοχής η συχνότητα συντονισμού προκύπτει $f_r=2.2$ GHz και ο συντελεστής ανάκλασης $S_{11}=0.01$. Η γραφική παράσταση του S_{11} σε συνάρτηση με τη συχνότητα παρουσιάζεται στο **σχήμα 5.16**.



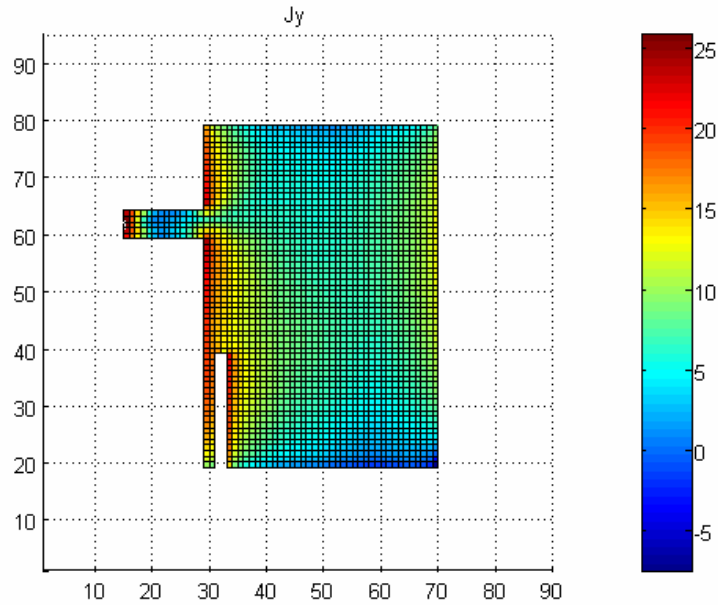
Σχήμα 5.16 Συντελεστής ανάκλασης συναρτήσει της συχνότητας.

Παρατηρείται βελτίωση στο συντελεστή ανάκλασης, αν και η συχνότητα συντονισμού δεν έχει μειωθεί σημαντικά.

Στη συχνότητα των 2.2 GHz η ρευματική κατανομή πάνω στο patch της κεραίας δίνεται στα **σχήματα 5.17(a), (b)**.



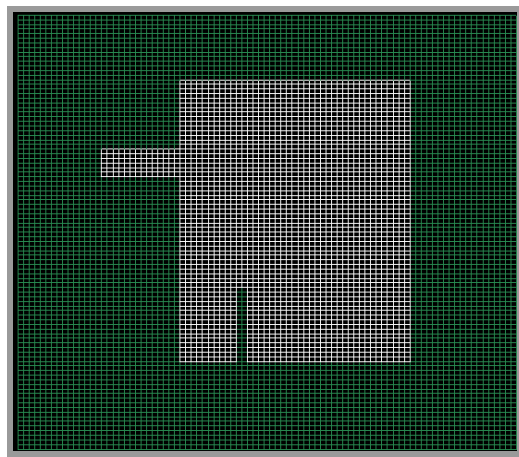
Σχήμα 5.17(a) Ρευματική κατανομή J_x



Σχήμα 5.17(b) Ρευματική κατανομή J_y

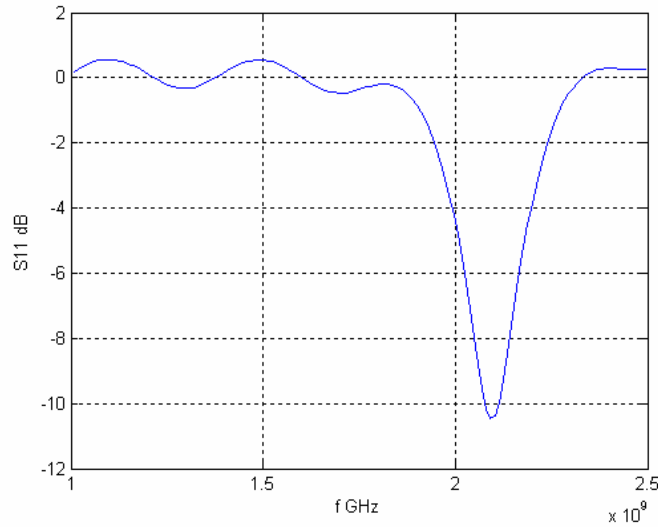
5.4.2 Κεραία με προσθήκη εσοχής στη θέση $N_p=10$ mm και με βάθος $N_d=12.8$ mm.

Η δεύτερη δομή της κεραίας που αναλύεται είναι αυτή που απεικονίζεται στο **σχήμα 5.18**, στην οποία έχει προστεθεί εσοχή στη θέση $N_p=10$ mm και βάθος $N_d=12.8$ mm.



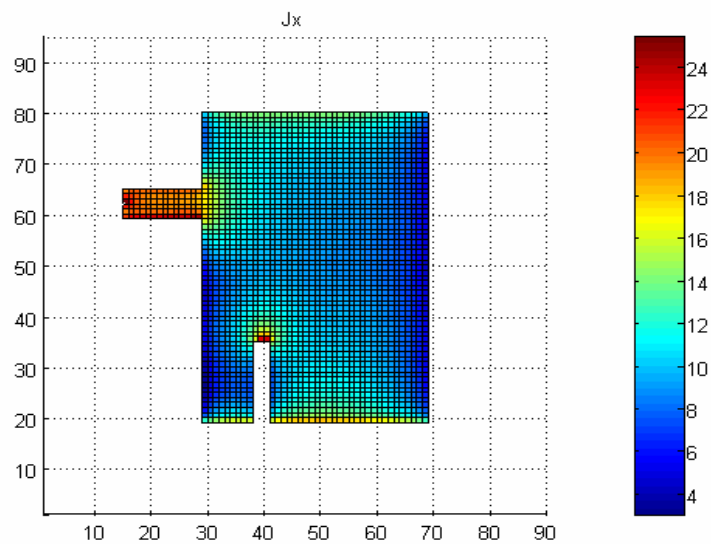
Σχήμα 5.18

Σε αυτή την περίπτωση παρατηρείται καλύτερη συχνότητα συντονισμού $f_r=2.12$ GHz, ο συντελεστής ανάκλασης όμως έχει υψηλότερη τιμή $S_{11}=0,089$, όπως φαίνεται στο **σχήμα 5.19**.

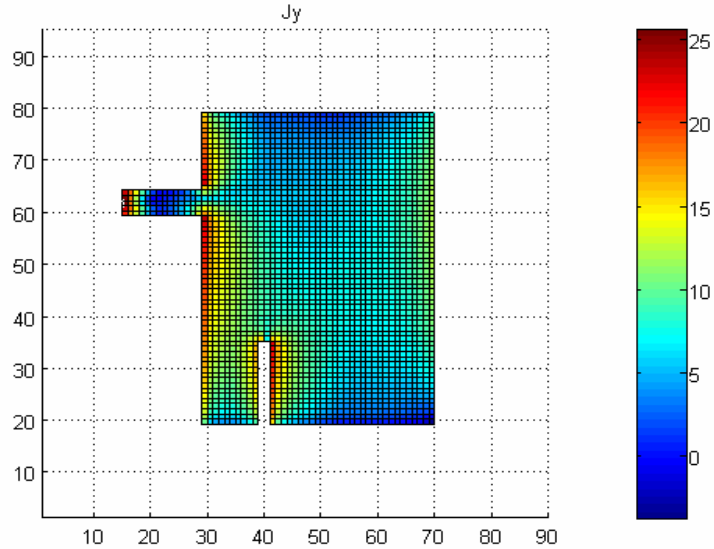


Σχήμα 5.19 Συντελεστής ανάκλασης συναρτήσει της συχνότητας.

Οι χάρτες με τη ρευματική κατανομή στους δύο άξονες, όπως υπολογίστηκε από το XFDTD, δίνεται στα **σχήματα 5.20(a), (b)**.



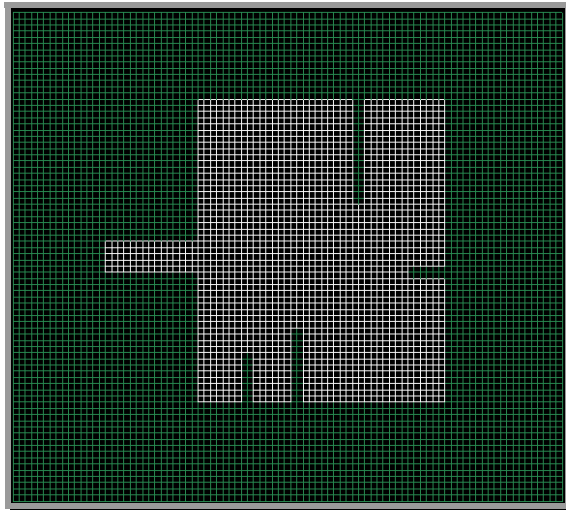
Σχήμα 5.20(a) Ρευματική κατανομή J_x



Σχήμα 5.20(b) Ρευματική κατανομή Jy

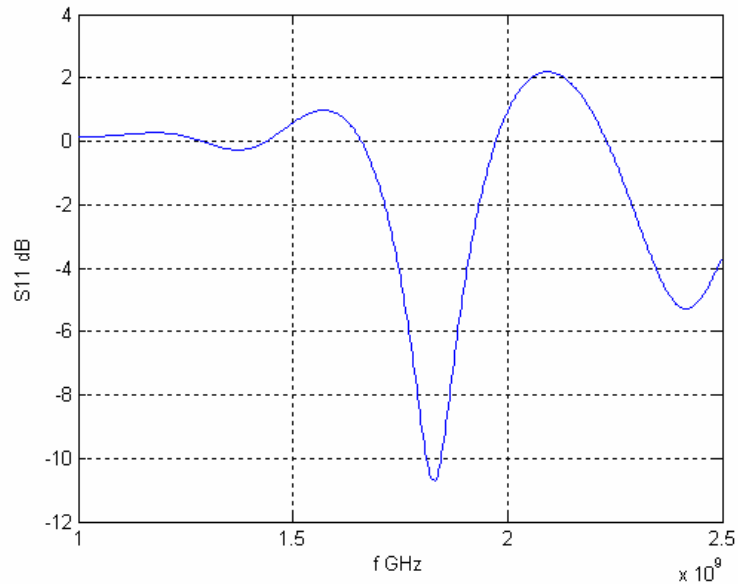
5.5 Προσθήκη περισσότερων εσοχών στην κεραία μικροταινίας.

Σε αυτό το σημείο επιχειρούμε να κατασκευάσουμε μια κεραία στην οποία προσθέτουμε περισσότερες εσοχές. Με εύκολες συναρτήσεις του Matlab εισάγουμε στην κεραία μέχρι 4 εσοχές. Στο **σχήμα 5.21** φαίνεται μία τέτοια γεωμετρία.



Σχήμα 5.21

Η συχνότητα συντονισμού της συγκεκριμένης κεραίας είναι $f_r=1.8$ GHz και ο συντελεστής ανάκλασης $S_{11}= 0,089$. Στο σχήμα 5.22 απεικονίζεται η γραφική παράσταση του μέτρου του S_{11} συναρτήσει της συχνότητας.



Σχήμα 5.22 Συντελεστής ανάκλασης συναρτήσει της συχνότητας.

Η παρούσα εργασία ασχολήθηκε με τη μελέτη της ρευματικής κατανομής της κεραίας μικροταινίας με την εισαγωγή μιας εσοχής στο μεταλλικό τμήμα της. Η δομή της κεραίας που απεικονίζεται στο σχήμα 5.21 μπορεί να αξιοποιηθεί στο μέλλον σε τεχνικές βελτιστοποίησης.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη της ρευματικής κατανομής σε κεραία μικροταινίας με τη προσθήκη εσοχών στο μεταλλικό τμήμα της (patch). Με το πρόγραμμα παρέμβασης που δημιουργήθηκε μέσω του Matlab, κατασκευάστηκαν διάφορες κεραίες μικροταινίας με εσοχές. Κάποιες από αυτές έδωσαν ικανοποιητικά αποτελέσματα ως προς τη συχνότητα συντονισμού και το συντελεστή ανάκλασης. Δυστυχώς, όμως από τη μελέτη και εποπτεία της ρευματικής κατανομής δεν προέκυψαν σαφή συμπεράσματα. Από τους χάρτες της ρευματικής κατανομής που παρατίθενται στο **κεφάλαιο 5**, δεν παρατηρείται κάποια σημαντική αλλαγή ανάμεσα στην αρχική κεραία μικροταινίας και στις κεραίες που προέκυψαν με την εισαγωγή εσοχών. Αυτό ίσως να οφείλεται στο ότι οι χάρτες, που μας δίνει το λογισμικό XFDTD, απεικονίζουν το μέτρο της ρευματικής κατανομής. Ίσως η πληροφορία που αναζητάμε να βρίσκεται στη φάση του ρεύματος, την οποία, δυστυχώς, το XFDTD δεν έχει τη δυνατότητα να υπολογίσει.

Χρησιμοποιώντας, στην παρούσα μελέτη, το λογισμικό του XFDTD, συμπεραίνουμε ότι είναι ένα πολύ εύχρηστο 'εργαλείο' για την κατασκευή και ανάλυση κεραιών, λόγω της δυνατότητας παρέμβασης που προσφέρει στα αρχεία εισόδου και εξόδου. Ιδιαίτερα το αρχείο εισόδου, μετά την επεξεργασία του με το Matlab, δίνει τη δυνατότητα εύκολης κατασκευής κεραιών μικροταινίας με μία ή περισσότερες εσοχές. Αυτό το σύστημα παρέμβασης θεωρείται ιδιαίτερα χρήσιμο σε μελλοντικές επαναληπτικές μεθόδους βελτιστοποίησης, καθώς εξοικονομείται χρόνος κατά την κατασκευή των κεραιών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Wong Kin-Lu, “*Compact and Broadband Microstrip Antennas.*”, John Wiley & Sons, Inc. 2002.
2. Γιούλτσης Β. Τραϊανός, “*Κεραίες Μικροταινίας*”.
3. User’s Manual for XFDTD (the Finite Difference Time Domain graphical user interface for electromagnetic calculations), version 5.0.4.6, April 1999.
4. Rod Waterhouse, “Microstrip Patch Antennas”.
5. Matlab Version 6.5.0.18091, Matlab Help, Matlab optimization toolbox,