



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

**ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Μοντελοποίηση και υλοποίηση
ESPAR κεραιών**

Δημήτριος Β. Μπούσιας

Επιβλέπων

Δημήτριος Βαρουτάς, Αναπληρωτής Καθηγητής

ΑΘΗΝΑ

ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2020

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Μοντελοποίηση και υλοποίηση
Espar κεραιών

Δημήτριος Β. Μπούσιος

A.M.: 1115200800078

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: **Δημήτριος Βαρουτάς, Αναπληρωτής Καθηγητής**

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την εκπόνηση της πτυχιακής μου εργασίας, πέραν της προσπάθειας που έχω καταβάλει, σημαντικό ρόλο έπαιξε και ο επιβλέπων καθηγητής του τμήματος πληροφορικής και τηλεπικοινωνιών κύριος Δημήτριος Βαρουτάς. Θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για την υποστήριξη, την πολύτιμη συμβολή του για να έρθει εις πέρας η εργασία μου, το χρόνο που διέθεσε και την κατανόηση για την επίλυση τυχόν προβλημάτων που αντιμετώπισα. Τέλος, ευχαριστώ του δικούς μου ανθρώπους που μου συμπαραστάθηκαν καθόλη την διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	6
1.1	Τηλεπικοινωνιακά συστήματα και κεραιές ESPAR	6
1.2	Περιεχόμενο κεφαλαίων	8
2	ΕΞΥΠΝΕΣ ΚΕΡΑΙΕΣ ΚΑΙ ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ..	10
2.1	Έξυπνες κεραιές.....	10
2.1.1	Αρχές συστημάτων έξυπνων κεραιών	13
2.2	Η κεραιά ESPAR	14
2.3	Χρήση και προσάρτηση στα συστήματα επικοινωνιών	16
2.4	Εξέλιξη	20
3	ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ESPAR ΚΕΡΑΙΑΣ	22
3.1	Βασικές έννοιες κεραιών	22
3.1.1	Διάγραμμα ακτινοβολίας	25
3.1.2	Στερεά γωνίας δέσμης Ω_A	26
3.1.3	Κατευθυντικότητα D και απολαβή G	26
3.1.4	Απόδοση δέσμης	27
3.1.5	Διακριτική ικανότητα κεραιάς	28
3.1.6	Ραδιοζεύξη - εξίσωση Friis	28
3.1.7	Σύνθετη αντίσταση κεραιάς ή εμπέδηση	29
3.1.8	Συντελεστής ανάκλασης	30
3.1.9	Στοιχειώδεις δίπολο Hertz	31
3.1.10	Διπολική κεραιά $\lambda/2$	34
3.2	Η δομή της κεραιάς	36
3.2.1	Στοιχειοκεραία.....	37
3.2.2	ESPAR.....	39
3.3	Λειτουργία κεραιάς ESPAR	41
3.3.1	Πλεονεκτήματα κεραιάς ESPAR	45
4	ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΕ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	47
4.1	Το πρόγραμμα CST.....	47
4.2	Μεθοδολογία υλοποίησης.....	50
4.2.1	Τρόπος σχεδίασης κεραιάς.....	50
4.2.2	Προσομοίωση και εξαγώμενα αποτελέσματα.....	60
5	Η ΚΕΡΑΙΑ ESPAR ΣΤΟ CST.....	62

5.1	Στοιχειοκεραία ESPAR 7 μονοπόλων	62
5.1.1	Προσομοίωση 1 - χαρακτηριστικά ακτινοβολίας	64
5.1.2	Προσομοίωση 2 - χαρακτηριστικά ακτινοβολίας	67
5.2	Ανασχεδιασμός της κεραίας ESPAR	69
5.2.1	Προσομοίωση 1 - χαρακτηριστικά ακτινοβολίας	71
5.2.2	Προσομοίωση 2 - χαρακτηριστικά ακτινοβολίας	74
5.3	Σχολιασμός και συσχέτιση με τη θεωρία	77
6	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	79
7	ΑΝΑΦΟΡΕΣ	81

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο παρόν κεφάλαιο θα κάνουμε μια εισαγωγή στο θέμα της διπλωματικής. Θα αναφέρουμε εν γένει τα βασικά ζητήματα που θα αναπτυχθούν, καθώς και τη μεθοδολογία ανάπτυξής τους. Επίσης, θα παρουσιαστεί η δομή του κειμένου, περιγράφοντας συνοπτικά το περιεχόμενο κάθε κεφαλαίου της εργασίας.

1.1 Τηλεπικοινωνιακά συστήματα και κεραιές ESPAR

Η επικοινωνία παίζει έναν κομβικό ρόλο στη ζωή των ανθρώπων. Η έννοια της πληροφορίας, όπως και αυτή της επικοινωνίας, λαμβάνουν διαφορετική χροιά στη σύγχρονη κοινωνία με τους συνεχώς εξελισσόμενους τρόπους επικοινωνίας που ανακύπτουν από την τεχνολογική έρευνα, καθώς και τις ανάγκες επικοινωνίας που προκύπτουν από την ίδια την κοινωνική βάση.

Ως τηλεπικοινωνιακά συστήματα εννοούμε τα συστήματα που αναπτύσσονται με σκοπό τη μετάδοση και τη λήψη πληροφορίας ανάμεσα σε έναν πομπό και έναν δέκτη.

Ανάλογα με την κατεύθυνση της ροής της πληροφορίας, μπορούμε να διακρίνουμε την επικοινωνία σε τρεις μορφές:

- **Μονόδρομη:** στα συγκεκριμένα τηλεπικοινωνιακά συστήματα η πληροφορία ρέει προς μία μόνο κατεύθυνση. Παραδείγματα τέτοιας επικοινωνίας είναι η τηλεόραση και το ραδιόφωνο, τα οποία συμπεριλαμβάνονται στα συστήματα που αποκαλούνται συνήθως ευρυεκπομπής (broadcasting).
- **Αμφίδρομη:** συνιστά το πλέον σύνηθες σύστημα τηλεπικοινωνίας, το οποίο περιλαμβάνει την ανταλλαγή πληροφορίας ανάμεσα σε έναν πομπό και έναν δέκτη, άρα τη ροή της πληροφορίας σε δύο κατευθύνσεις, όπως τα συστήματα τηλεφωνίας κάθε μορφής.

- Ημι – αμφίδρομη: η πληροφορία μεταδίδεται και προς τις δύο κατευθύνσεις, χωρίς ωστόσο να είναι η διαδικασία να γίνεται ταυτόχρονα. Μία μόνο τηλεπικοινωνιακή ζεύξη παίζει το ρόλο αποστολέα και λήπτη πληροφορίας, όπως για παράδειγμα συμβαίνει στα συστήματα Citizens Band Radio (CB).

Έχουν εμφανιστεί διάφοροι τρόποι τηλεπικοινωνιακών συστημάτων στη διάρκεια της ανθρώπινης ιστορίας, από πιο πρωτόγονους μέχρι ιδιαίτερος εξελιγμένους. Μερικοί απ' αυτούς είναι:

- Ο τηλεγράφος (οπτικός, υδραυλικός, ηλεκτρικός, μηχανικός, ασύρματος)
- Το τηλέφωνο
- Οι φωτεινοί αναμεταδότες – Φρυκτώριες
- Το ακουστικό κέρασ
- Τα σήματα καπνού
- Τα ταχυδρομικά περιστέρια
- Οι δορυφορικές επικοινωνίες
- Τα κυψελωτά συστήματα
- Το διαδίκτυο κ.τ.λ.

Ανεξαρτήτως εφαρμογής, κάθε τηλεπικοινωνιακό σύστημα αποτελείται από τρεις βασικές έννοιες:

- Πομπός: περιλαμβάνει τις βαθμίδες επεξεργασίας σήματος και διαμόρφωσης. Σκοπός της βαθμίδας επεξεργασίας σήματος είναι η προετοιμασία του σήματος πληροφορίας ούτως ώστε να αντιμετωπιστεί με τον βέλτιστο δυνατό τρόπο η φθορά που προκαλείται από το κανάλι. Από την άλλη, ο σκοπός της βαθμίδας διαμόρφωσης είναι η προσαρμογή του σήματος σε κατάλληλη περιοχή συχνοτήτων για μετάδοση στο κανάλι.
- Κανάλι: αποτελεί το μέσο μετάδοσης. Σε γενικές γραμμές προκαλεί φθορές στο σήμα πληροφορίας, με αποτέλεσμα να αλλοιώνεται το σήμα που φτάνει στον δέκτη. Ο θόρυβος που προκαλεί την εξασθένηση του σήματος μπορεί να προκαλείται από διάφορες αιτίες και να επιδρά με διαφορετικό τρόπο στην δυνατότητα επικοινωνίας.
Υπάρχουν δυο κατηγορίες καναλιών, τα Hardwire (χάλκινα καλώδια, ομοαξονικά καλώδια, οπτικές ίνες, κυματοδηγοί) και τα Softwire (ο αέρας ή το κενό, το νερό).
- Δέκτης: στόχος του είναι η κατά το δυνατόν καλύτερη και πιο αξιόπιστη αναπαραγωγή του επιθυμητού σήματος, του σήματος δηλαδή που εκπέμπει ο πομπός.

Βρισκόμαστε σε μια εποχή όπου τα δίκτυα επικοινωνίας με όλα τα τεχνολογικά μέσα που συμπεριλαμβάνουν διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στον τρόπο μετάδοσης της πληροφορίας. Πλέον, η επικοινωνία μιας πληροφορίας σε οποιοδήποτε μέρος του κόσμου δεν αποτελεί ούτε μακρινό όνειρο, ούτε ουτοπία, αλλά μια πραγματικότητα.

Η εξέλιξη της τεχνολογίας των κεραιών αποτελεί έναν ιδιαίτερα σημαντικό παράγοντα στην ανάπτυξη των δικτύων επικοινωνίας. Όσο αυξάνονται οι απαιτήσεις και οι ανάγκες, τόσο περισσότερο απαιτείται και η κατάλληλη τεχνολογική προσαρμογή σε αυτές. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας των έξυπνων κεραιών αναμένεται να αποτελέσει καθοριστικό παράγοντα στα μελλοντικά τηλεπικοινωνιακά συστήματα. Ο λόγος είναι ότι παρέχουν μια σημαντική δυνατότητα αύξησης της χωρητικότητας των δικτύων, τα οποία όλο και αυξάνουν τις απαιτήσεις τους για να ανταπεξέλθουν στις ανάγκες των χρηστών. Οι κεραιές ESPAR (Electronically Steerable Passive Array Radiator ή παρασιτικές κεραιές με μεταβλητά φορτία στα παθητικά στοιχεία) αποτελούν μία ειδική κατηγορία των έξυπνων κεραιών, οι οποίες παρέχουν τη δυνατότητα ηλεκτρονικά ελεγχόμενων χαρακτηριστικών ακτινοβολίας, δηλαδή επιτρέπουν στον σχεδιαστή του συστήματος να ελέγξει τα χαρακτηριστικά ακτινοβολίας τους ανάλογα με τις δυνατότητες της ίδιας της κεραιάς, αλλά και τις ανάγκες σχεδιασμού.

Οι κεραιές ESPAR αποτελούν μία ακόμα από τις ενδείξεις ότι κάθε ανάγκη που προκύπτει αναπτύσσεται μία παράλληλη τεχνολογία προκειμένου να την επιλύσει ή να την περιορίσει. Η σημαντικότητα εμφάνισης τους έγκειται στις εξαιρετικές δυνατότητες που παρέχουν στο σχεδιαστή του δικτύου, αλλά ταυτόχρονα και στο χαμηλό τους κόστος. Επίσης, η χαρακτηριστική απλότητα στη σύλληψη και τη σχεδίαση τους συνιστά έναν ακόμα λόγο που τις καθιστά μία από τις πιο ελκυστικές κεραιές αυτής της οικογένειας. Σε κάθε περίπτωση, η συμβολή τους στα σύγχρονα δίκτυα και στη ραγδαία ανάπτυξη τους συνιστά μία τουλάχιστον ενδιαφέρουσα παράμετρο που μας ωθεί να εστιάσουμε την προσοχή μας στις τεχνικές λεπτομέρειες της.

1.2 Περιεχόμενο κεφαλαίων

Η παρούσα πτυχιακή εργασία επιχειρεί να διεκπεραιώσει μία ικανοποιητική μελέτη της κεραιάς ESPAR, καθώς και να υλοποιήσει μία προσομοίωση σε ένα από τα προγραμματιστικά περιβάλλοντα που προσφέρονται για σχεδιασμό κεραιών.

Στο πρώτο κεφάλαιο του κυρίως μέρους της πτυχιακής γίνεται μια σύντομη ανασκόπηση της κατηγορίας των έξυπνων κεραιών, στις οποίες συμπεριλαμβάνεται η κεραιά ESPAR,

καθώς και μερικά από τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν οι έξυπνες κεραιές και οι κεραιές ESPAR στα σύγχρονα συστήματα επικοινωνίας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αρχίζουμε να αποδομούμε την κεραία. Η δομή και η λειτουργία της παρουσιάζονται με διεξοδικό και κατανοητό τρόπο, ώστε να γίνει αντιληπτή η γενική χρησιμότητα της και οι ανάγκες που δύναται να καλύψει. Στην αρχή παρουσιάζονται τα βασικότερα χαρακτηριστικά και θεωρητικά μοντέλα κεραιών και στη συνέχεια αναλύονται τα βασικά μέρη μιας κεραιάς ESPAR και, πιο συγκεκριμένα, του μοντέλου που θα σχεδιάσουμε.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζουμε την μεθοδολογία της σχεδίασης της κεραιάς στο προγραμματιστικό περιβάλλον Cst. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα αποτελεί μία εύχρηστη υπολογιστική εφαρμογή η οποία παρέχει τη δυνατότητα σχεδίασης της κεραιάς και υπολογισμού των χαρακτηριστικών ακτινοβολίας της. Επίσης, παρατίθεται συνοπτικά η μεθοδολογία που θα ακολουθηθεί για την σχεδίαση της κεραιάς στο ανωτέρω σχεδιαστικό περιβάλλον.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται η προσομοίωση και εξάγονται τα χαρακτηριστικά ακτινοβολίας της κεραιάς, τα οποία συγκρίνονται και επαληθεύονται από το θεωρητικό μοντέλο που αναπτύξαμε στο δεύτερο κεφάλαιο. Τέλος, παραθέτονται τα συμπεράσματα που εξήχθησαν κατά την εκπόνηση της εργασίας και την ενασχόληση με την μελέτη της κεραιάς. Απαραίτητο στοιχείο της πτυχιακής αποτελεί η βιβλιογραφία που χρησιμοποιείται, η οποία παρατίθεται μετά το πέρας των κεφαλαίων. Σκοπός της διπλωματικής είναι να απεικονιστούν τα βασικά πλεονεκτήματα της κεραιάς ESPAR, καθώς και να γίνουν κατανοητοί οι λόγοι για τους οποίους μπορεί να παίξει σημαντικό ρόλο στην επίλυση πολλών προβλημάτων που συναντούν τα σύγχρονα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα.

2. ΕΞΥΠΝΕΣ ΚΕΡΑΙΕΣ ΚΑΙ ΣΥΓΧΡΟΝΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζουμε την τεχνολογία των έξυπνων κεραιών και την εμφάνιση της κεραίας ESPAR. Συγκεκριμένα, θα αναφερθούμε στα πλεονεκτήματα της κατηγορίας στην οποία ανήκουν, δηλαδή τις έξυπνες κεραιές, και έπειτα θα παρουσιάσουμε τα χαρακτηριστικά που καθιστούν ελκυστική την κεραία ESPAR στις εφαρμογές των σύγχρονων συστημάτων επικοινωνίας.

2.1 Έξυπνες κεραιές

Η κεραία αποτελεί μία ημιαγώγιμη ή διηλεκτρική κατασκευή που δύναται να εκπέμψει ή να λάβει ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Αυτή η πολλή απλή ιδέα υπήρξε η αρχή διαμόρφωσης ενός ολόκληρου κόσμου διάδοσης και λήψης πληροφοριών, ενός ολόκληρου κόσμου επικοινωνίας. Χάρη στις κεραιές και την εξέλιξη της τεχνολογίας τους έγινε δυνατή η ανάπτυξη πολλών παράλληλων δικτύων επικοινωνίας που εξυπηρετούν διάφορους σκοπούς (μαζική επικοινωνία, διαμοίραση πληροφοριών, στρατιωτικές επιχειρήσεις κ.τ.λ.).

Πατέρας της κεραίας θεωρείται ο Heinrich Hertz, αν και είχαν προηγηθεί πειράματα σχετικά με την ανάπτυξη συστημάτων διάδοσης ηλεκτρομαγνητικού κύματος. Ο Hertz δημιούργησε ένα σύστημα ασύρματης επικοινωνίας στο οποίο χρησιμοποίησε ένα δίπολο και μία βροχοκεραία, παρατηρώντας ότι μπορεί να επιτευχθεί η εκπομπή, η μετάδοση και τελικά η λήψη ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, επιβεβαιώνοντας τη θεωρία του ηλεκτρομαγνητισμού που είχε αναπτύξει ο James Maxwell.

Μετά τον Hertz, η εξέλιξη της κεραίας υπήρξε ραγδαία. Στα χρόνια που ακολούθησαν σχεδιάστηκαν και αναπτύχθηκαν διάφορες κεραιές με διάφορα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα η κάθε μία ανάλογα με την εφαρμογή. Σε γενικές γραμμές, κάθε κεραία που εμφανιζόταν επιχειρούσε να βελτιώσει τα χαρακτηριστικά που παρατηρούνταν στις ήδη υπάρχουσες, στην κατεύθυνση της βελτίωσης της ποιότητας του συστήματος πομποδεκτών, αλλά και στην διεύρυνση της χρήσης τους.

Μερικές από τις πιο σημαντικές κατηγορίες κεραιών που εμφανίστηκαν με την πάροδο του χρόνου είναι οι παρακάτω:

- Κεραιές Yagi – Uda
- Κερατοειδείς κεραιές (horn antennas)

- Στοιχειοκεραίες
- Κεραίες παραβολικού ανακλαστήρα
- Μικροταινιακές κεραιές (patch antennas)
- Επίπεδες κεραιές ανεστραμμένου – F (PIFA)

Ασφαλώς, οι κεραιές που παρουσιάζονται παραπάνω δέχτηκαν πολλές παραλλαγές και δεν είναι οι μόνες που εμφανίστηκαν. Ωστόσο, είναι χαρακτηριστικές ως προς την εξέλιξη της τεχνολογίας, αλλά και των απαιτήσεων επικοινωνίας. Κάθε κατηγορία εφαρμόστηκε ή εφαρμόζεται σε συγκεκριμένες χρήσεις, ανάλογα με τις απαιτήσεις του αντίστοιχου διαμορφωμένου δικτύου (για παράδειγμα, τα κινητά τηλέφωνα δεν θα μπορούσαν να είχαν σχεδιαστεί με βάση τη κεραία Yagi – Uda, αν και η βασική φιλοσοφία των κεραιών δεν αλλάζει).

Με τον όρο έξυπνη κεραία εννοείται κάθε συστοιχία κεραιών συνδεδεμένη με έναν επεξεργαστή σημάτων, με δυνατότητα προσαρμογής των χαρακτηριστικών ακτινοβολίας ώστε να επιτευχθεί ενίσχυση των εκπεμπόμενων σημάτων και απόρριψη των παρεμβολών.

Οι έξυπνες κεραιές βασίζουν την λειτουργία τους στην ανάπτυξη κατάλληλων (“έξυπνων”) αλγορίθμων. Με την ανάπτυξη και την εφαρμογή αυτών των αλγορίθμων καθίσταται δυνατός ο διαχωρισμός πληροφορίας και θορύβου. Ο προσδιορισμός της διεύθυνσης του επιθυμητού σήματος γίνεται με εφαρμογή ενός αλγορίθμου DoA (Direction of Arrival). Ο αλγόριθμος αυτός μπορεί και υπολογίζει τις γωνίες λήψης του σήματος και με αυτόν τον τρόπο να εξακριβώσει τη θέση του πομπού στο χώρο.

Έπειτα, για την προσέγγιση της προσαρμογής στη κατάλληλη γωνία λήψης και με τα κατάλληλα χαρακτηριστικά ακτινοβολίας εφαρμόζεται ένας αλγόριθμος διαμόρφωσης της ακτινοβολίας (διαδικασία beamforming). Το σύστημα πρώτα θα αναλύσει τα λαμβανόμενα σήματα και έπειτα θα αποφασίσει αν είναι επιθυμητά ή παρεμβολές.

Στη συνέχεια γίνεται ο καθορισμός των γωνιών λήψης και διαμορφώνεται η ακτινοβολία ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη δυνατή λήψη των επιθυμητών σημάτων και η ταυτόχρονη απόρριψη των παρεμβολών.

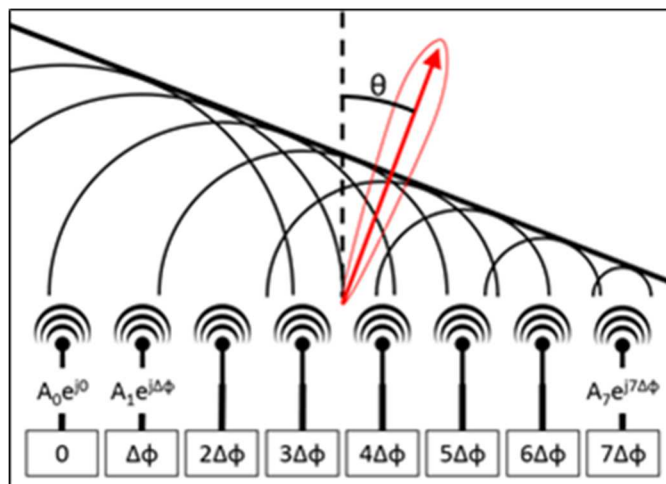
Οι έξυπνες κεραιές αποτελούν βασικό τμήμα των δικτύων MIMO (πολλαπλών εισόδων – πολλαπλών εξόδων) και άλλων σύγχρονων συστημάτων μετάδοσης της πληροφορίας. Συνιστούν αυτοπροσαρμοζόμενες (self – adaptive) κατευθυντικές στοιχειοκεραίες, οι οποίες διαθέτουν ενσωματωμένο υπολογιστικό σύστημα που δίνει τη δυνατότητα προσαρμογής του διαγράμματος ακτινοβολίας με τέτοιο τρόπο ώστε:

- Να ακολουθεί το χρήστη του δικτύου

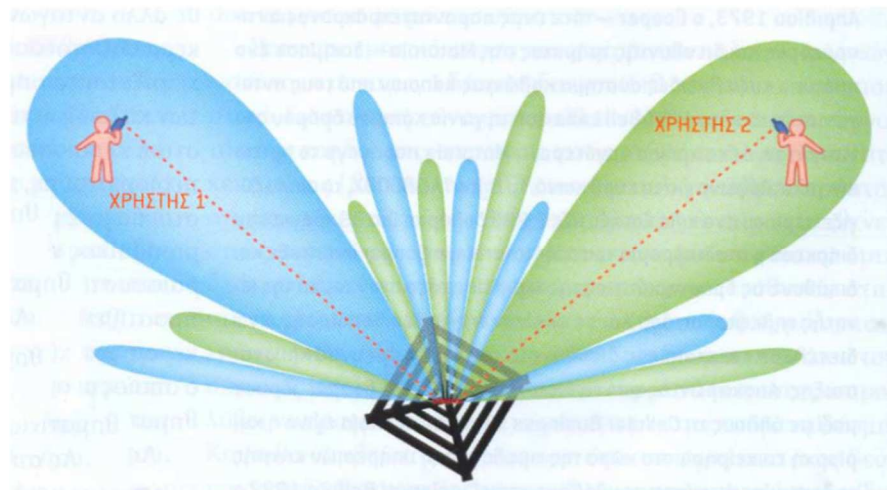
- Να ελαχιστοποιεί τους πλευρικούς λοβούς
- Να μηδενίζει την ακτινοβολία προς συγκεκριμένες διευθύνσεις

Αυτή τους η ιδιότητα είναι πολύ χρήσιμη στην επίτευξη πολυπλεξία στο χώρο (SDMA), η οποία είναι μια τεχνική που έχει στόχο τη μείωση των παρεμβολών από χρήστη σε χρήστη, την επαναχρησιμοποίηση ιδίων συχνοτήτων για χρήστες που δεν βρίσκονται κοντινές διευθύνσεις και τη μείωση των διαλείψεων που εμφανίζονται λόγω multipath (σημάτων που φτάνουν στο δέκτη από πολλές διαφορετικές διαδρομές).

Έχουν αναπτυχθεί δύο βασικοί τύποι έξυπνων κεραιών. Ο πρώτος τύπος είναι μία κεραία φασικής σύνθεσης, η οποία αποτελείται είτε από έναν αριθμό σταθερών δεσμών ακτινοβολίας με μία απ' αυτές να στοχεύει στο επιθυμητό σήμα ή μία δέσμη που να προσανατολίζεται προς το επιθυμητό σήμα. Ο άλλος τύπος έξυπνης κεραίας είναι η προσαρμοζόμενη κεραία που είναι μία στοιχειοκεραία πολλαπλών στοιχείων, με ζυγισμένα λαμβανόμενα σήματα που συνδυάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να μεγιστοποιείται ο λόγος της ισχύος του λαμβανόμενου σήματος προς το άθροισμα των παρεμβολών και του θορύβου. Στην πραγματικότητα, η κύρια δέσμη ακτινοβολίας προσανατολίζεται στην διεύθυνση του επιθυμητού σήματος και οι πλευρικοί λοβοί ελαχιστοποιούνται στις διευθύνσεις των παρεμβολών.



2.1 Phased array 1



2.2 Adaptive smart antenna

Η τεχνολογία της έξυπνης κεραιάς έχει διάφορα πλεονεκτήματα, όπως:

- Παρέχει αυξημένη ισχύ προσδίδοντας υψηλότερο κέρδος προς το επιθυμητό σήμα (καλύτερη ευαισθησία λήψης)
- Μειώνει τη πιθανότητα παρεμβολών με τις στενότερες δέσμες ακτινοβολίας
- Συνεισφέρει στην ανάπτυξη συστημάτων διαφορικής λήψης, όταν έχουμε multipath διάδοση, άρα και στην βελτίωση της ποιότητας του λαμβανόμενου σήματος.
- Αξιοποιεί σε μεγαλύτερο και αποδοτικότερο βαθμό το φάσμα ακτινοβολίας
- Δημιουργεί συνεχώς νέες και καλύτερης ποιότητας υπηρεσίες με περιορισμένο κόστος

Η χρήση τους, ανάλογα με τον τύπο, επεκτείνεται από ασύρματα συστήματα point – to – point και macrocellular σταθμούς βάσης μέχρι εσωτερικά δίκτυα και microcells ή ακόμα και cellular σταθμούς βάσης. Ωστόσο, το ενδιαφέρον γύρω από την ανάπτυξη των έξυπνων κεραιών λόγω των ιδιαίτερων πλεονεκτημάτων τους αντανακλάται στην συνεχή μελέτη και εξέλιξη τους.

2.1.1 Αρχές συστημάτων έξυπνων κεραιών

Όταν, λοιπόν, αναφερόμαστε σε έξυπνη κεραιά, δεν αναφερόμαστε απλώς στην κεραιά, αλλά στο συνολικό σύστημα που συμπεριλαμβάνει και την επεξεργασία σήματος. Αυτή πραγματοποιείται μέσω μιας μονάδας ελέγχου, του ψηφιακού επεξεργαστή σήματος, ο οποίος προχωρεί σε έλεγχο παραμέτρων τροφοδοσίας, ούτως ώστε να βελτιστοποιηθεί η σύνδεση. Υπάρχουν διάφορα κριτήρια βελτιστοποίησης. Το γεγονός αυτό καταδεικνύει

ότι η έξυπνη κεραία υπερβαίνει την έννοια της απλής κεραίας: αποτελεί μία πλήρη έννοια πομποδέκτη.

Η χρήση των έξυπνων κεραιών έχει ως στόχο τον εντοπισμό και την απομόνωση του επιθυμητού χρήστη από το σταθμό βάσης σε ικανοποιητικό βαθμό, απορρίπτοντας μεγάλο ποσοστό παρεμβολών. Έτσι, ικανοποιείται ο βασικός στόχος εξέλιξης των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων, δηλαδή η βελτιστοποίηση της παρεχόμενης υπηρεσίας στο χρήστη.

Τόσο η επεξεργασία σήματος, όσο και ο σχηματισμός λοβών (τροποποίηση των χαρακτηριστικών ακτινοβολίας) εξαρτώνται από την αναπτυσσόμενη λογική – αλγόριθμο – η οποία σταθμίζει και αξιολογεί το λαμβανόμενο σήμα βάσει του εκάστοτε κριτηρίου βελτιστοποίησης του συστήματος. Η συνεργασία ανάπτυξης αλγορίθμων βελτιστοποίησης και ψηφιακών ολοκληρωμένων επεξεργαστών οδηγεί στην ανάπτυξη της αξιοπιστίας των συστημάτων έξυπνων κεραιών.

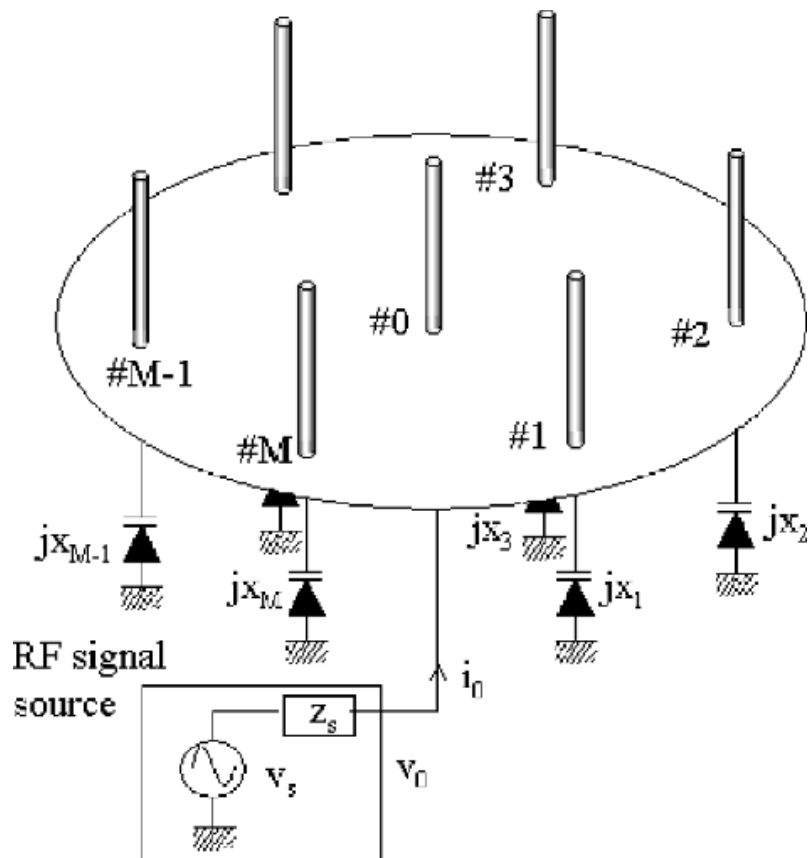
2.2 Κεραίες ESPAR

Η κεραία ESPAR (Electronically Steerable Passive Array Radiator) συνιστά μία στοιχειοκεραία N – θυρών, η οποία παρέχει την δυνατότητα ηλεκτρονικού ελέγχου το διαγράμματος ακτινοβολίας. Η πιο απλή μορφή της αποτελείται από ένα ενεργό στοιχείο που πλαισιώνεται από πολλά άλλα παρασιτικά στοιχεία που λειτουργούν ως φορτία μεταβλητών αντιστάσεων. Τα ελεγχόμενα αυτά φορτία ρυθμίζουν τα ρεύματα των παρασιτικών στοιχείων, επομένως επιδρούν στην ακτινοβολία προσδίδοντας στην κεραία την προσαρμοστική της ιδιότητα.

Οι κεραίες ESPAR ανήκουν στην κατηγορία των έξυπνων κεραιών και συγκεκριμένα στην κατηγορία των προσαρμοζόμενων έξυπνων κεραιών. Σε γενικές γραμμές, αποτελούν μια τεχνολογία που βρίσκει πολλές εφαρμογές. Λόγω της γενικότητας της περιγραφής τους επιτρέπουν τη θεώρηση οποιασδήποτε δυνατής υποδομής για εκπομπή ή λήψη ακτινοβολίας. Στην ουσία, πρόκειται για ένα σύστημα παραπλήσιο με μια στοιχειοκεραία N – θυρών με αρκετά παρασιτικά στοιχεία, ανάλογα με τη επιθυμητή χρήση.

Παραπάνω παρατηρούμε τη δομή ενός συστήματος N – θυρών που αποτελεί μία κεραία ESPAR. Η ανάπτυξη τους επιβλήθηκε από τις όλο και αυξανόμενες απαιτήσεις των σύγχρονων δικτύων επικοινωνίας. Η ανάγκη για ικανοποιητική ποιότητα του λαμβανόμενου σήματος σε συνδυασμό με μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης, αυξημένη χωρητικότητα και επεκταμένη κάλυψη του δικτύου είχε ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη διάφορων δικτυακών τεχνολογιών (όπως MIMO) που άνοιξαν με τη σειρά τους το δρόμο για την επεξεργασία διάφορων ιδεών πάνω στην εφαρμογή τους.

Η κεραία που μελετάμε αποτελεί μία πολύ ιδιαίτερη κατηγορία, καθώς συνιστά μία πολύ αποτελεσματική πρόταση σε εφαρμογές που απαιτούν κεραιές μικρού μεγέθους, αλλά και σχετικά χαμηλού κόστους. Η δομή της, δηλαδή ο συνδυασμός ενός ενεργού στοιχείου και πολλαπλών παρασιτικών που τοποθετούνται σε αρκετά κοντινές αποστάσεις μεταξύ τους, συμβάλει στην καταλληλότητα της κεραίας για εφαρμογή σε κινητά τερματικά όπως τα κινητά τηλέφωνα και οι φορητοί ηλεκτρονικοί υπολογιστές.



2.3 Κεραία ESPAR – Γενική Δομή

Η κεραία που μελετάμε αποτελεί μία πολύ ιδιαίτερη κατηγορία, καθώς συνιστά μία πολύ αποτελεσματική πρόταση σε εφαρμογές που απαιτούν κεραιές μικρού μεγέθους, αλλά και σχετικά χαμηλού κόστους. Η δομή της, δηλαδή ο συνδυασμός ενός ενεργού στοιχείου και πολλαπλών παρασιτικών που τοποθετούνται σε αρκετά κοντινές αποστάσεις μεταξύ τους, συμβάλει στην καταλληλότητα της κεραίας για εφαρμογή σε κινητά τερματικά όπως τα κινητά τηλέφωνα και οι φορητοί ηλεκτρονικοί υπολογιστές.

Η ελαχιστοποιημένη πολυπλοκότητα τους είναι επίσης ένα σημαντικό πλεονέκτημα που διευκολύνει τη δημιουργία και ανάπτυξη σύγχρονων συστημάτων ασύρματης επικοινωνίας. Επίσης, η κεραία τροφοδοτείται μόνο από μία θύρα (ενεργό στοιχείο),

επομένως επιτυγχάνεται ο σχεδιασμός μίας κεραίας μικρού μεγέθους, αλλά και χαμηλής κατανάλωσης ισχύος.

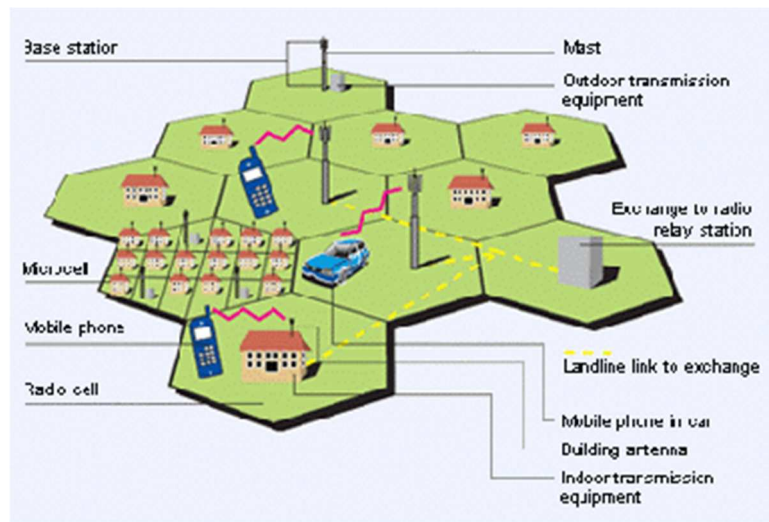
Τέλος, χάρη στο ιδιαίτερο πλεονέκτημα τους να ρυθμίζουν τα χαρακτηριστικά του διαγράμματος ακτινοβολίας κρίνονται ικανές να υποστηρίξουν προηγμένες τεχνικές μετάδοσης, όπως για παράδειγμα το BS – MIMO (single – RF BeamSpace MIMO), στο οποίο τα στοιχεία της κεραίας μεταφέρουν τη λειτουργία της τεχνολογίας MIMO στο πεδίο του διαγράμματος ακτινοβολίας.

2.3 Χρήση και προσάρτηση στα συστήματα επικοινωνιών

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας των κεραιών συνέβαλε στην διαμόρφωση ενός νέου σκηνικού στο πλαίσιο των διαρκώς αναπτυσσόμενων δικτύων επικοινωνίας. Οι έξυπνες κεραίες και συγκεκριμένα οι κεραίες ESPAR βρίσκουν εφαρμογή στις περισσότερες από τις τεχνολογίες που αναπτύσσονται και έχουν ως στόχο τη βελτιστοποίηση της μετάδοσης της πληροφορίας με αξιοπιστία και ικανοποιητικά χαμηλό κόστος, κυρίως στη σύγχρονη εποχή του διαδικτύου και των ασύρματων επικοινωνιών.

Παρακάτω θα παραθέσουμε μια σειρά από δίκτυα στα οποία βρίσκουν εφαρμογή οι κεραίες ESPAR λόγω των πλεονεκτημάτων τους.

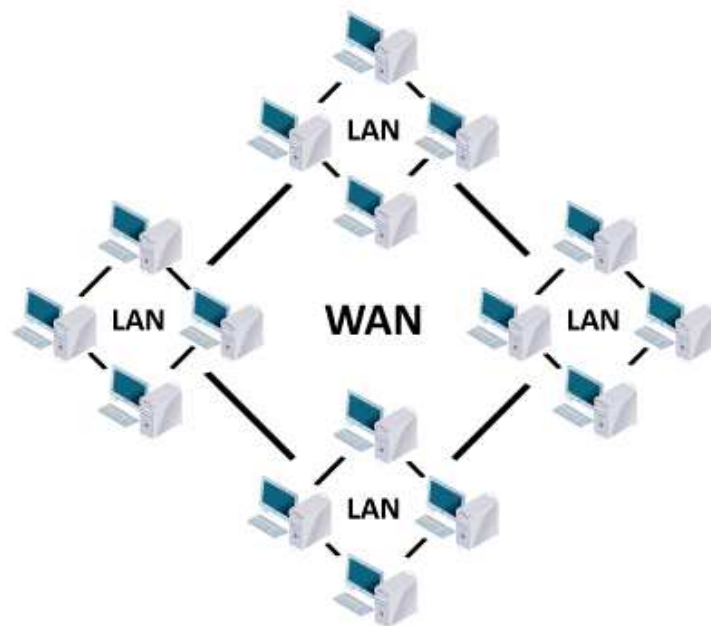
- **Δίκτυα Cellular (κινητής επικοινωνίας):** πρόκειται για το πλέον γνωστό είδος ασύρματης επικοινωνίας. Οι αρχικές απαιτήσεις ήταν ελάχιστες (μετάδοση φωνής, γραπτό μήνυμα κ.τ.λ.), ωστόσο η ραγδαία εξέλιξη της τεχνολογίας οδήγησε στην ανάπτυξη δικτύων κινητής επικοινωνίας τέταρτης και πέμπτης γενιάς, τα οποία υποστηρίζουν βιντεοκλήσεις, μετάδοση δεδομένων αυξημένου όγκου και άλλα, με συσκευές αρκετά μικρού μεγέθους που βασίζουν τη λειτουργία τους σε μπαταρία..



2.4 Cellular δίκτυο κινητής επικοινωνίας

Ο όρος cellular έχει κυριαρχήσει λόγω της διαχωρισμού του χώρου σε κυψέλες, που γίνεται προκειμένου να διευκολύνεται η διαδικασία της επικοινωνίας

- **Ασύρματα δίκτυα ευρείας περιοχής (WAN/MANs):** είναι ασύρματα δίκτυα που επιχειρούν να καλύψουν περιοχές με ακτίνα αρκετών χιλιομέτρων. Επιτυγχάνοντας αρκετά υψηλές ταχύτητες έχουν ως κύριο στόχο να διαδραματίσουν ρόλο δικτυακού κορμού πάνω στον οποίο θα βασίζεται η ανάπτυξη και η υλοποίηση δικτύων μικρότερου βεληνεκούς. Πρόκειται για μία τεχνολογία που δεν έχει αναπτυχθεί ιδιαίτερα, αλλά αυτό αναμένεται να συμβεί τα επόμενα χρόνια.



2.5 Δίκτυο WAN

- **Τοπικά ασύρματα δίκτυα WLAN:** αποτελεί την πλέον διαδεδομένη τεχνολογία ασύρματων δικτύων μετά τα δίκτυα cellular. Όπως παρατηρούμε στην παραπάνω εικόνα πρόκειται για δίκτυα που καλύπτουν τις ανάγκες μικρών περιοχών με εμβέλεια μέχρι και λίγες εκατοντάδες μέτρα και μπορούν να απαρτίσουν ένα δίκτυο WAN. Προσφέρουν αρκετά μεγάλο εύρος ταχυτήτων (από 2 μέχρι 54 Mbps) και δύνανται να καλύψουν ένα πολύ μεγάλο εύρος εφαρμογών και απαιτήσεων από τους χρήστες των ασύρματων δικτύων. Η ευκολία εγκατάστασης και διαχείρισης – συντήρησης τους τα κάνει ακόμα πιο ελκυστικά, γι' αυτό και τα παρατηρούμε σχεδόν παντού, από οικιακά μέχρι επαγγελματικά εκτεταμένα δίκτυα.



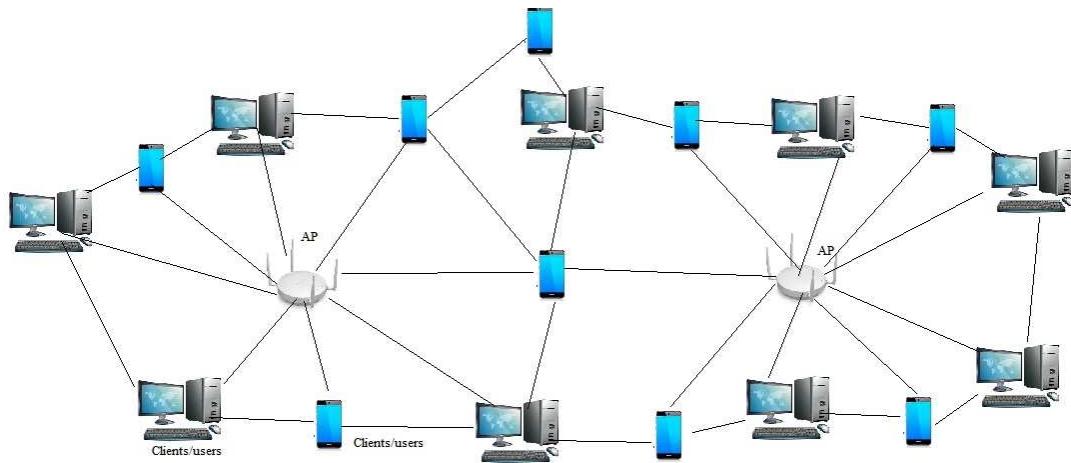
2.6 Wireless Local Area Network

- **Προσωπικά ασύρματα δίκτυα WPAN:** αποτελούν δίκτυα ευθυγραμμισμένα προς τη φιλοσοφία των LAN δικτύων, αλλά με περιορισμένη εμβέλεια (μερικά μόλις μέτρα). Εξυπηρετούν την επικοινωνία διάφορων συσκευών, όπως εκτυπωτών, ποντικιών, πληκτρολογίων κ.ά. με ελάχιστες απαιτήσεις ως προς το εύρος ζώνης. Τέτοιο δίκτυο αποτελεί και το Bluetooth.



2.7 Wireless Personal Area Network

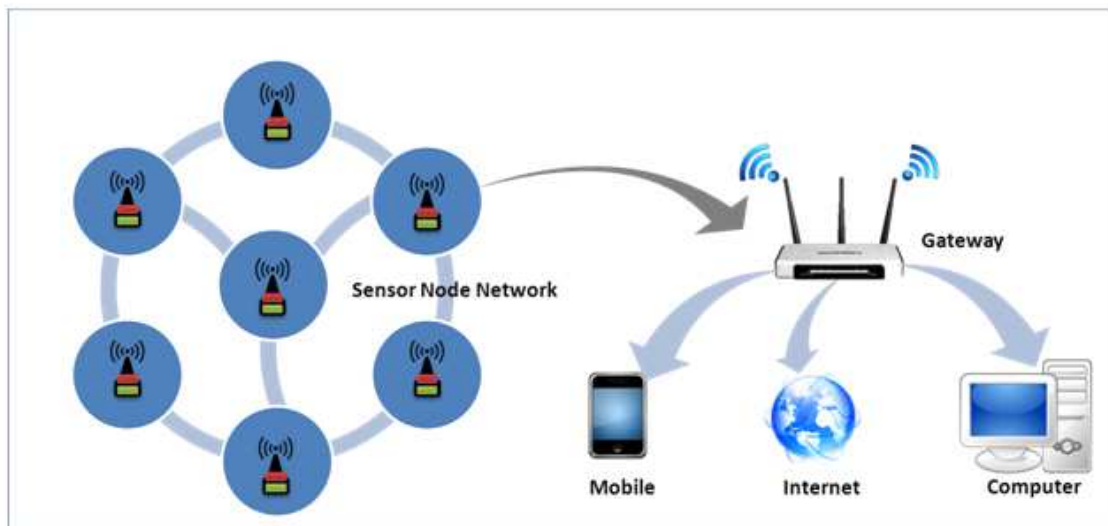
- **Αυτόνομα ασύρματα δίκτυα (wireless autonomous networks):** πρόκειται για μια διαφορετική προσέγγιση ως προς τη λειτουργία και την ανάπτυξη των ασύρματων δικτύων, για την οποία δεν υπήρχε καμία δικτυακή υποδομή. Η νέα αυτή προσέγγιση ανοίγει νέους ελκυστικούς δρόμους στις εφαρμογές της ασύρματης επικοινωνίας, αλλά εισάγει και νέα προβλήματα που απαιτούν την αντιμετώπιση τους με νέα τεχνολογικά μέσα. Οι κυριότεροι εκφραστές αυτής της τάσης είναι τα κινητά δίκτυα ad – hoc (MANETs) και τα δίκτυα αισθητήρων (sensor networks). Τα δίκτυα ad – hoc είναι αντίστοιχης εμβέλειας και απόδοσης με τα δίκτυα WLAN. Δεν απαιτεί την ύπαρξη σταθμού βάσης, σημείου πρόσβασης ή άλλης ρυθμιστικής οντότητας για την λειτουργία και ανάπτυξη του. Συνιστά μια δυναμική προσέγγιση διαχωρισμού του χώρου, ενώ χρησιμοποιήθηκαν κυρίως σε στρατιωτικές εφαρμογές. Τα τελευταία χρόνια γίνεται μια προσπάθεια ανάπτυξης τους σε πολιτικές εφαρμογές.



Example Scenario for Mobile Ad hoc Network

2.8 Παράδειγμα δικτύου Ad - hoc

Τα δίκτυα αισθητήρων αποτελούν μια φιλόδοξη προσπάθεια εφαρμογής των ad – hoc δικτύων. Χαρακτηριστικά τους είναι ο πολύ μεγάλος αριθμός υποστηριζόμενων κόμβων επικοινωνίας, το σχετικά μικρό τους μέγεθος και οι ελάχιστοι πόροι που απαιτούνται για την εύρυθμη λειτουργία τους. Υπάρχει μια σειρά από δυνατότητες εφαρμογών που εξετάζονται και έχουν κεντρικό πυλώνα τη συγκέντρωση της πληροφορίας σε ένα κεντρικό σημείο του δικτύου.



2.9 Sensor Network

2.4 Εξέλιξη

Η εξέλιξη της τεχνολογίας των κεραιών συναρτάται άμεσα με την εξέλιξη της τεχνολογίας των δικτύων, άρα και με τις απαιτήσεις και τις ανάγκες που δημιουργούνται καθημερινά. Τα μελλοντικά ασύρματα δίκτυα θα απαιτούν υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης με

μεγαλύτερη εμβέλεια και κάλυψη όλο και περισσότερων χρηστών που χρησιμοποιούν μια σειρά από διαφορετικά συστήματα. Αυτοί οι στόχοι μπορούν να επιτευχθούν με υψηλότερη ισχύ και περιορισμό των παρεμβολών. Οι έξυπνες κεραιές και οι κεραιές ESPAR μπορούν να διαδραματίσουν κομβικό ρόλο στην ανάπτυξη των μελλοντικών ασύρματων δικτύων είτε ως έχουν είτε εξελισσόμενες ανάλογα με τις απαιτήσεις που προκύπτουν.

Τα πλεονεκτήματα που παρέχουν οι συγκεκριμένες κεραιές τις καθιστά πολύ ελκυστικές, αλλά διεγείρει και την επιστημονική σκέψη σχετικά με το πόσο θα μπορούσαν να εξελιχθούν και κατά πόσον μπορούν να διαμορφώσουν τα μελλοντικά πλαίσια επικοινωνιών.

Οι κεραιές ESPAR δεν έχουν προλάβει να εξελιχθούν ιδιαίτερα, καθώς ακόμα διερευνώνται οι δυνατότητες τους ως στοιχειοκεραίες, μελετώνται δηλαδή τα χαρακτηριστικά τους ανάλογα με διάφορες τροποποιήσεις στην υλοποίησή τους (για παράδειγμα ανάλογα με τους αριθμούς των θυρών που εμπεριέχει, ανάλογα με τον αριθμό των ενεργών και παθητικών στοιχείων κ.ά.). Αποτελούν ωστόσο οι ίδιες ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα της εξέλιξης που παρατηρείται στην γενικότερη οικογένεια των κεραιών. Πρόκειται για ένα από τα πιο χαρακτηριστικά δείγματα της ευχέρειας της επιστημονικής και τεχνολογικής δραστηριότητας να ξεπερνά το όποιο πρόβλημα προκύπτει, το οποίο συχνά είναι πολυεπίπεδο (οικονομικό, τεχνικό, κατασκευαστικό, αποδοτικό κ.ά.). Θα έχει πολύ μεγάλο ενδιαφέρον να παρακολουθήσουμε την πορεία που θα ακολουθήσει αυτός ο τομέας που σχετίζεται τόσο πολύ με την ανθρώπινη επικοινωνία (ή και την καταστολή αυτής).

3. ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ESPAR ΚΕΡΑΙΑΣ

Στο παρόν κεφάλαιο θα αναλύσουμε τη δομή και τη λειτουργία των κεραιών ESPAR. Εισαγωγικά, θα παρατεθούν οι απαραίτητες έννοιες και ορισμοί που συνοδεύουν τη λειτουργία της κεραίας, οι οποίες στη συνέχεια θα συμβάλλουν στην καλύτερη κατανόηση του τρόπου λειτουργίας της ESPAR κεραίας, αλλά και των πλεονεκτημάτων της.

3.1 Βασικές έννοιες κεραιών

Ως κεραία νοείται η κατασκευή που σχετίζεται με τη μετάδοση και τη λήψη ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων (σήματα). Ανεξαρτήτως του τύπου της κεραίας, όλες βασίζονται στην ίδια αρχή, δηλαδή στην αρχή ότι η ακτινοβολία δημιουργείται από μεταβαλλόμενο (επιταχυνόμενο ή επιβραδυνόμενο) φορτίο. Η βασική εξίσωση ακτινοβολίας είναι η παρακάτω:

$$\dot{I}L = Q\dot{u}$$

όπου

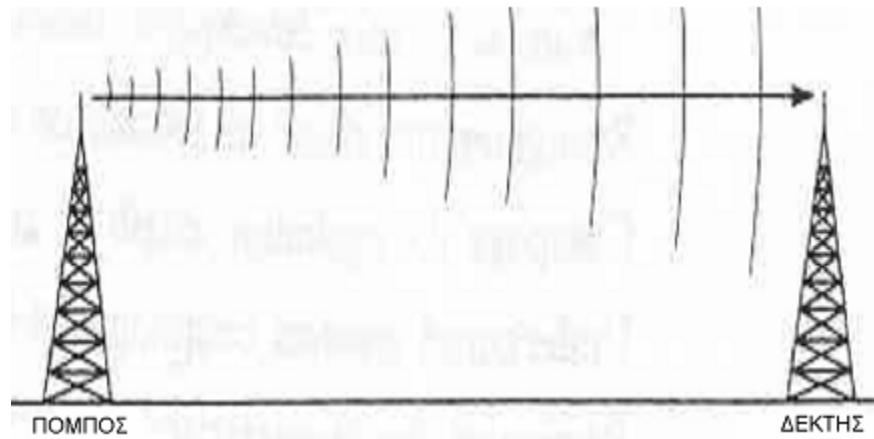
\dot{I} χρονομεταβαλλόμενο ρεύμα, As^{-1}

L μήκος του στοιχείου ρεύματος, m

Q φορτίο, C

\dot{u} χρονική μεταβολή της ταχύτητας του φορτίου,
 ms^{-2}

Από την παραπάνω βασική εξίσωση ακτινοβολίας διαπιστώνουμε ότι τόσο το χρονομεταβαλλόμενο ρεύμα όσο και το μεταβαλλόμενο φορτίο ακτινοβολούν. Συνήθως, για αρμονικά κύματα σταθερής κατάστασης, παρατηρούμε τη χρονική μεταβολή του ρεύματος, ενώ για μεταβατικά ρεύματα, τη χρονική μεταβολή του φορτίου.



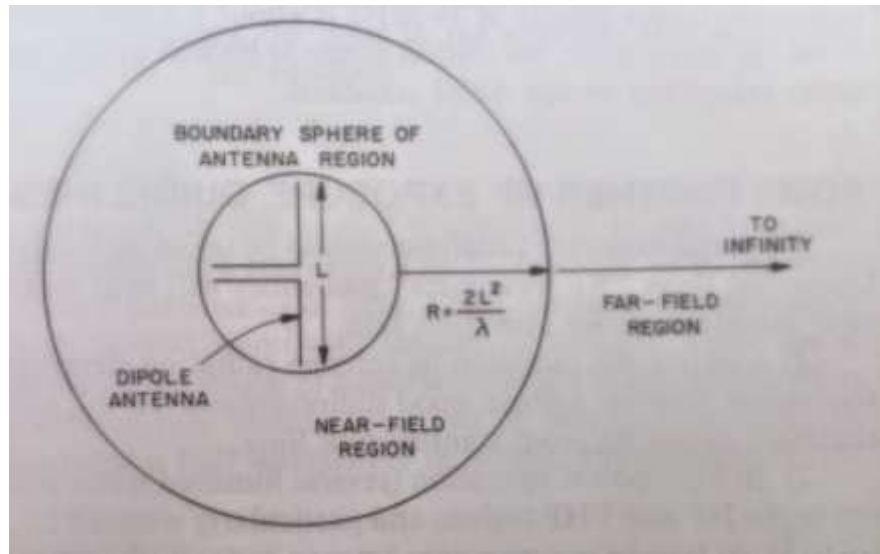
3.1 Μετάδοση και λήψη σήματος

Κάθε τηλεπικοινωνιακή σύνδεση καθίσταται δυνατή με την εκπομπή της πληροφορίας από τον πομπό και την κατά το δυνατόν καλύτερη λήψη της από τον δέκτη. Η κεραία εκπομπής αναλαμβάνει το έργο μετάδοσης του ηλεκτρομαγνητικού κύματος που οδηγείται σε μια γραμμή μεταφοράς, ενώ η κεραία λήψης επιχειρεί να λάβει και να αναπαράγει με σχετική πιστότητα το απεσταλμένο ηλεκτρομαγνητικό σήμα. Η διάταξη της εκπομπής (κεραία), λοιπόν, επιχειρεί να εκπληρώσει το σκοπό μεταβίβασης ρεύματος υψηλής συχνότητας σε ειδικό κύκλωμα, το οποίο λόγω της συγκεκριμένων μορφοποιήσεων δύναται να ακτινοβολεί στο χώρο που το περιβάλλει. Αντίστοιχη λογική ακολουθεί η σχεδίαση της διάταξης λήψης, μόνο που ο στόχος πλέον είναι η αναπαραγωγή του σήματος στο δέκτη. Η διαδικασία της εκπομπής παρεμποδίζεται από διάφορα αντικείμενα ή εμπόδια που μπορεί να παρεμβληθούν ανάμεσα στον πομπό και τον δέκτη και να απορροφήσουν μέρος της εκπεμπόμενης ενέργειας, όπως δέντρα, κτήρια, λόφοι, βουνά, ακόμα και από το ίδιο το έδαφος, τον ουρανό και άλλες κεραιές. Από την άλλη, η κεραία λήψης μπορεί να λάβει ταυτόχρονα διαφορετικά σήματα από διαφορετικές διαδρομές, γεγονός που καθιστά αρκετά περίπλοκη την αναπαραγωγή του επιθυμητού σήματος (από συγκεκριμένο πομπό). Αυτό το πρόβλημα λύνεται με τεχνικές κωδικοποίησης και αποκωδικοποίησης, αλλά και με εξελιγμένες τεχνικές σύζευξης κεραιών.

Γενικά, τα πεδία που δημιουργούνται γύρω από μία κεραία χωρίζονται σε δύο ζώνες ακτινοβολίας, το κοντινό πεδίο ή ζώνη Fresnel και το μακρινό πεδίο ή ζώνη Fraunhofer. Το όριο ανάμεσα στις δύο ζώνες προσδιορίζεται αυθαίρετα στην τιμή

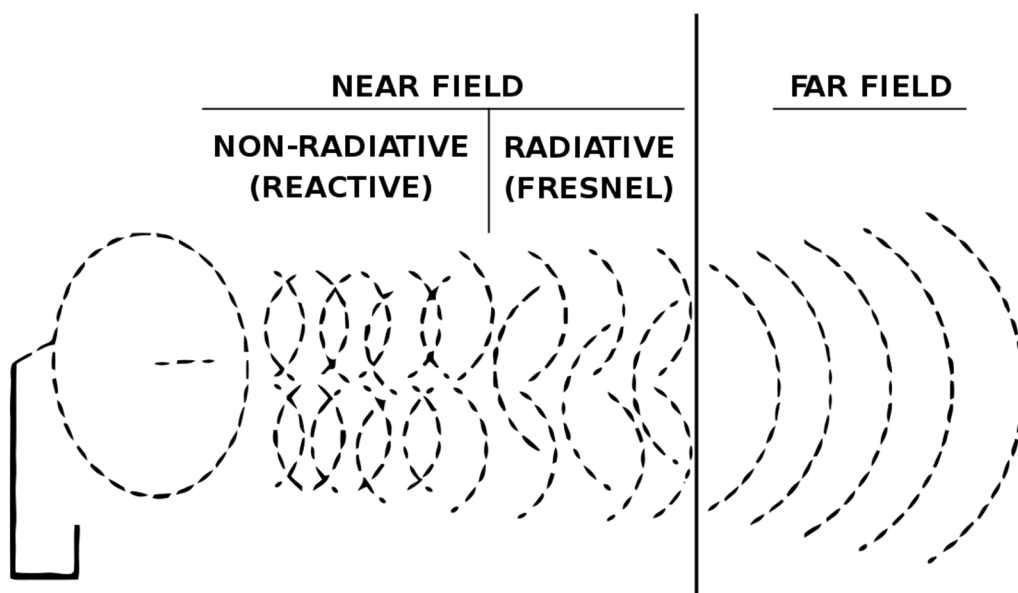
$$R = \frac{2L^2}{\lambda}$$

όπου L είναι η μέγιστη διάσταση της κεραιάς σε μέτρα και λ το μήκος κύματος επίσης σε μέτρα.



3.2 Ζώνες ακτινοβολίας

Στο μακρινό πεδίο (ζώνη Fraunhofer), οι συνιστώσες του εκπεμπόμενου πεδίου θεωρούνται κάθετες προς την ακτινική διεύθυνση και συνεπώς όλη η ροή ισχύος διαδίδεται ακτινικά. Είναι φανερό από το σχήμα 3.3 ότι σ' αυτή τη ζώνη το διάγραμμα του πεδίου είναι ανεξάρτητο της απόστασης (είναι σαν κάθετα μέτωπα κύματος που διαδίδονται ακτινικά). Στο κοντινό πεδίο συμβαίνει το αντίθετο: το διάγραμμα του πεδίου εξαρτάται από την απόσταση, καθώς δεν μπορούν να αμεληθούν οι λοιπές συνιστώσες του.

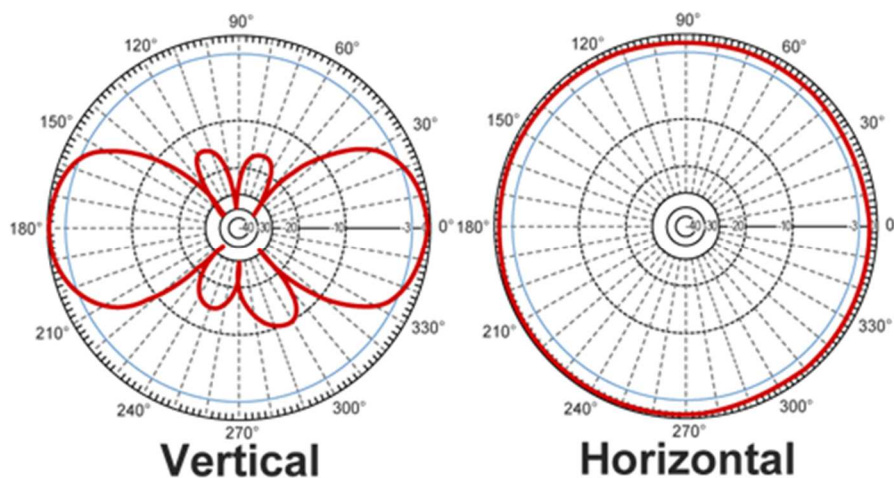


3.3 Διάδοση σε κάθε ζώνη ακτινοβολίας

3.1.1 Διάγραμμα ακτινοβολίας

Μία βασική παράμετρος της κεραιάς, δείκτης του τρόπου με τον οποίο ακτινοβολεί μία κεραιά προς κάθε διεύθυνση, είναι το διάγραμμα ακτινοβολίας. Συνιστούν διαγράμματα τα οποία απεικονίζουν τη μεταβολή του πεδίου ή της ισχύος στο χώρο, άρα αποτυπώνουν τον τρόπο με τον οποίο η κεραιά μπορεί να διοχετεύσει το κύμα στον ελεύθερο χώρο. Μπορούν να απεικονιστούν ως τρισδιάστατες ή και διδιάστατες ποσότητες, γεγονός που συμβάλλει στην διαμόρφωση εποπτικής εικόνας γύρω από τον τρόπο ακτινοβολίας.

Το διάγραμμα ακτινοβολίας περιλαμβάνει συνήθως έναν κύριο λοβό (λοβός με τη μέγιστη ακτινοβολία) και δευτερεύοντες λοβούς πλευρικά του κύριου και σε διάφορες διευθύνσεις. Από το διάγραμμα μπορούμε να εξάγουμε πολλές χρήσιμες πληροφορίες, όπως σε ποιες διευθύνσεις έχουμε τη μέγιστη ακτινοβολία, πόσοι λοβοί δημιουργούνται κι αν είναι σημαντικής ισχύος κ.τ.λ..



3.4 Δισδιάστατη απεικόνιση διαγράμματος α

Επιπλέον, ένα ακόμα ενδιαφέρον στοιχείο είναι το εύρος δέσμης ημίσειας ισχύος (HPBW, Half Power BeamWidth), που εξάγεται από τα σημεία στα οποία η ισχύς της μέγιστης ακτινοβολίας μειώνεται στο μισό της (ή κατά 3 dB), καθώς και το εύρος δέσμης μεταξύ των πρώτων μηδενικών (FNBW, First Nulls BeamWidth).

Αν και τα χαρακτηριστικά ακτινοβολίας μιας κεραιάς αποτυπώνονται τρισδιάστατα, πολλά απ' αυτά μπορούν να εκφραστούν και με πιο απλές ποσότητες, όπως τα εύρη δέσμης

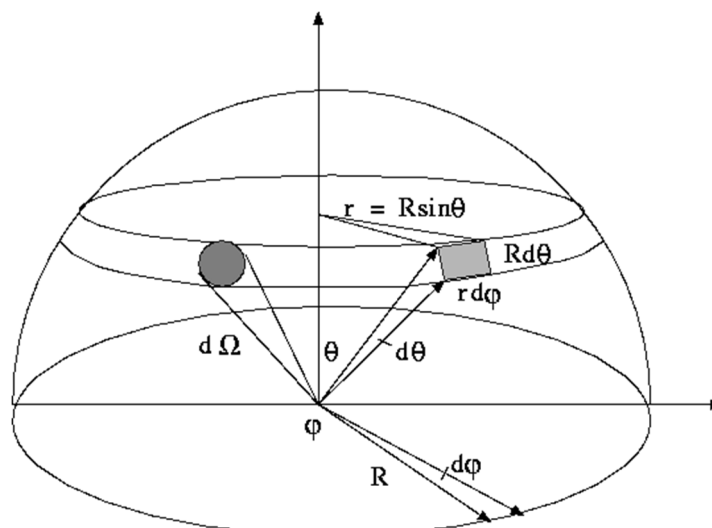
που αναφέρθηκαν παραπάνω, το εμβαδό δέσμης, η απόδοση δέσμης, η κατευθυντικότητα, η απολαβή ή κέρδος και η διακριτική ικανότητα.

3.1.2 Στερεά γωνία δέσμης Ω_A

Η στερεά γωνία δέσμης ή εμβαδόν δέσμης Ω_A αποτελεί τη στερεά γωνία από την οποία θα διερχόταν όλη η ακτινοβολούμενη ισχύς, αν διατηρούσε τη μέγιστη τιμή της επ' αυτής της γωνίας και ήταν μηδέν οπουδήποτε αλλού.

Η στερεά γωνία δέσμης υπολογίζεται ολοκληρώνοντας την ακτινοβολούμενη ισχύ για κάθε στοιχειώδη στερεά γωνία $d\Omega = \sin\theta d\theta d\varphi$, δηλαδή από τον τύπο

$$\Omega_A = \iint_{4\pi} P_{\text{rad}}(\theta, \varphi) d\Omega$$



3.5 Στοιχειώδης στερεά γωνία $D\omega$

3.1.3 Κατευθυντικότητα D και απολαβή G

Η κατευθυντικότητα και το κέρδος συνιστούν τις πλέον σημαντικές παραμέτρους μίας κεραιάς. Η κατευθυντικότητα D ισούται με τον λόγο της μέγιστης πυκνότητας ισχύος προς τη μέση τιμή της ή προς την ισχύ που ακτινοβολείται από ισοτροπική κεραία, δηλαδή

$$D = \frac{P(\theta, \varphi)_{\max}}{P(\theta, \varphi)_{\text{av}}} \quad \text{ή} \quad D = \frac{P(\theta, \varphi)_{\max}}{U_0} = \frac{P(\theta, \varphi)_{\max}}{\frac{W}{4\pi r^2}}$$

Η κατευθυντικότητα είναι ένα αδιάστατο μέγεθος και λαμβάνει τιμές ≥ 1 . Αποτελεί ένα δείκτη του πόσο περισσότερη ισχύς ακτινοβολείται από την κεραία που εξετάζουμε σε σχέση με την ισχύ που ακτινοβολείται από ισοτροπική κεραία. Η κατευθυντικότητα μπορεί να υπολογιστεί επίσης από τη σχέση

$$D = \frac{4\pi}{\Omega_A}$$

Το κέρδος ή απολαβή είναι μια πραγματική ποσότητα, μικρότερη της κατευθυντικότητας λόγω ωμικών απωλειών της κεραίας. Αυτές οι απώλειες εκφράζονται ως ένα ποσοστό της ισχύος που δεν ακτινοβολείται λόγω θερμότητας που αναπτύσσεται στην κεραία. Ο λόγος του κέρδους προς την κατευθυντικότητα της κεραίας ορίζεται ως ο συντελεστής απόδοσης της κεραίας:

$$\kappa = \frac{G}{D}, \quad 0 \leq \kappa \leq 1$$

Ο συντελεστής απόδοσης γίνεται μονάδα σε πολύ καλά σχεδιασμένες κεραίες. Στις περισσότερες περιπτώσεις, είναι μικρότερος της μονάδας.

Τέλος, υπάρχουν και διάφορες προσεγγιστικές εξισώσεις για τον υπολογισμό της κατευθυντικότητας μιας κεραίας που επιχειρούν να ελαχιστοποιήσουν την υπολογιστική δυσκολία και χρησιμοποιούν τα εύρη δέσμης ημίσειας ισχύος στο πρωτεύον επίπεδο και σε ένα διάφορο του πρωτεύοντος:

$$D = \frac{41253}{\theta_{HP}^{\circ} \varphi_{HP}^{\circ}}$$

3.1.4 Απόδοση δέσμης

Η απόδοση δέσμης ϵ_M ορίζεται ως ο λόγος της στερεάς γωνίας κύριας δέσμης Ω_M προς τη στερεά γωνία δέσμης Ω_A :

$$\varepsilon_M = \frac{\Omega_M}{\Omega_A}$$

3.1.5 Διακριτική ικανότητα κεραίας

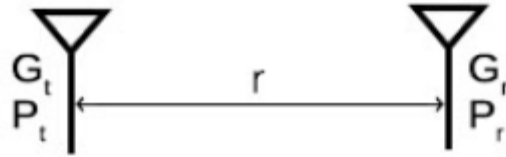
Η διακριτική ικανότητα της κεραίας ορίζεται ως το μισό του εύρους δέσμης μεταξύ δύο μηδενικών στο διάγραμμα ακτινοβολίας, δηλαδή $FNBW/2$. Είναι ένας αριθμός σε μοίρες που υποδεικνύει κατά πόσο μπορεί να διακρίνει μια κεραία πομπούς που βρίσκονται σε κάποια σχετική θέση μεταξύ τους. Αν, για παράδειγμα, η διακριτική ικανότητα μιας κεραίας είναι 2° , τότε η κεραία θα μπορεί να δώσει δύο πομπούς αν αυτοί βρίσκονται σε σχετική απόσταση 2° πάνω στο διάγραμμα ακτινοβολίας της.

3.1.6 Ραδιοζεύξη – εξίσωση Friis

Η ραδιοζεύξη ορίζεται ως η σύνδεση δύο σημείων μέσω ραδιοκυμάτων για την εκπομπή και τη λήψη σημάτων. Το σχήμα 3.6 απεικονίζει τη σύνδεση δύο τέτοιων σημείων με τη χρήση μιας κεραίας εκπομπής και μιας κεραίας λήψης. Η απόσταση ανάμεσα στα δύο σημεία είναι r , ενώ γνωρίζουμε την ισχύ εκπομπής και λήψης, αλλά και το κέρδος των δύο κεραιών. Με βάση αυτά τα στοιχεία, αλλά και ένα επιπλέον χαρακτηριστικό της κεραίας, την ενεργή επιφάνεια A , που ορίζεται ως το άνοιγμα ή η επιφάνεια εκείνη της κεραίας που μπορεί να συλλάβει ποσοστό του μεταδιδόμενου κύματος ανάλογο του εμβαδού του, έχει διατυπωθεί η εξαιρετικά χρήσιμη εξίσωση του Friis για μετάδοση σε ελεύθερο χώρο:

$$\text{Εξίσωση Friis: } W_R = A_R P = A_R \frac{W_T G_T}{4\pi r^2} = W_T \frac{A_T A_R}{\lambda^2 r^2}$$

$$\text{γιατί, θεωρώντας ισοτροπική κεραία εκπομπής: } A_T = \frac{G_T \lambda^2}{4\pi}$$



3.6 Ραδιοζεύξη

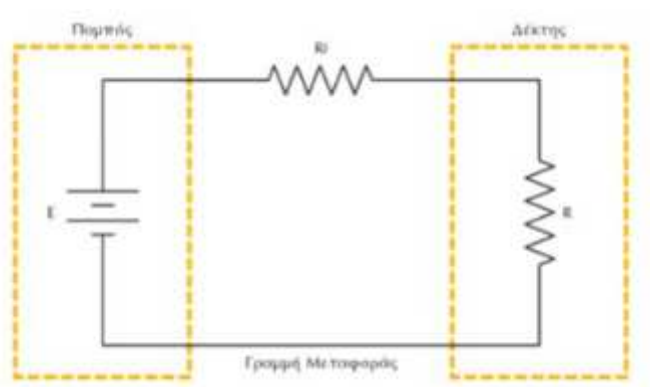
Για μέγιστη εκπομπή – λήψη, η εξίσωση γίνεται:

$$\frac{W_R}{W_T} = G_R G_T \left(\frac{\lambda}{4\pi r} \right)^2$$

όπου W η ισχύς (εκπεμπόμενη ή λαμβανόμενη) ανά μονάδα επιφανείας. Η εξίσωση του Friis υποδεικνύει ότι η ισχύς που λαμβάνεται έχει αντιστρόφως ανάλογη σχέση με το τετράγωνο της απόστασης των δύο κεραιών, αλλά και με το τετράγωνο του μήκους κύματος (άρα της συχνότητας). Η μείωση της ικανότητας λήψης εξαρτάται σημαντικά από την απόσταση και τη συχνότητα της ραδιοζεύξης.

3.1.7 Σύνθετη αντίσταση κεραίας ή εμπέδηση

Ως σύνθετη αντίσταση κεραίας ή εμπέδηση ορίζεται η σύνθετη αντίσταση που εμφανίζεται στα άκρα της κεραίας ή ως ο λόγος τάσης – ρεύματος σε ένα ζεύγος ακροδεκτών ή ως ο λόγος των κατάλληλων συνιστωσών του ηλεκτρικού προς το μαγνητικό πεδίο.



3.7 Κυκλωματική απεικόνιση εκπομπής – λήψης

Η σύνθετη αντίσταση, χωρίς να συνδεθεί φορτίο, είναι:

$$Z_A = R_A + jX_A$$

όπου

R_A – το ωμικό μέρος της σύνθετης αντίστασης

X_A – το φανταστικό μέρος της σύνθετης αντίστασης

Το ωμικό μέρος R_A αποτελείται από δύο ωμικές αντιστάσεις:

$$R_A = R_{\text{rad}} + R_{\text{Load}}$$

όπου

R_{rad} –ωμική αντίσταση ακτινοβολίας της κεραίας

R_{Load} –ωμική αντίσταση απωλειών της κεραίας

Η σύνθετη αντίσταση κεραίας είναι γενικά συνάρτηση της συχνότητας λειτουργίας, επομένως η κεραία δύναται να προσαρμόζεται στις γραμμές μεταφοράς και σε άλλες συναφείς διατάξεις μόνο μέσα σε ένα εύρος ζώνης. Εκτός από τη συχνότητα, η σύνθετη αντίσταση της κεραίας εξαρτάται κι από άλλους παράγοντες, όπως η γεωμετρία της κεραίας, ο τρόπος διέγερσης και η παρουσία εμποδίων στο περιβάλλον ακτινοβολίας. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η θεωρητική εξαγωγή της σύνθετης αντίστασης κρίνεται δύσκολη λόγω των πολύπλοκων γεωμετριών, γι' αυτό και προκρίθηκε η πειραματική προσέγγιση της.

Η σύνθετη αντίσταση της κεραίας είναι ένα κρίσιμο μέγεθος, καθώς επηρεάζει τη ποιότητα της διάδοσης σήματος. Πιο συγκεκριμένα, η επίτευξη μέγιστης μεταφοράς του εκπεμπόμενου σήματος είναι δυνατή όταν η σύνθετη αντίσταση της κεραίας είναι ίση με την αντίσταση ακτινοβολίας (που μοντελοποιείται ως γραμμή μεταφοράς), αλλά και με τη σύνθετη αντίσταση της κεραίας λήψης, δηλαδή όταν έχουμε προσαρμογή. Η προσαρμογή δεν καθίσταται πάντα εφικτή, γι' αυτό και η κύρια προσπάθεια είναι η επίτευξη ικανοποιητικής προσέγγισης της προσαρμογής σε ένα μικρό ή μεγάλο εύρος συχνοτήτων, ανάλογα με την λειτουργία και τις ανάγκες του εκάστοτε δικτύου.

3.1.8 Συντελεστής ανάκλασης

Ο συντελεστής ανάκλασης εκφράζει το ποσοστό του διαδιδόμενου κύματος που ανακλάται σε κάποια αγωγίμη ή μη επιφάνεια και ορίζεται ως ο λόγος της έντασης του ανακλώμενου ηλεκτρικού πεδίου προς την ένταση του προσπίπτοντος ηλεκτρικού πεδίου. Αυτός ο συντελεστής ταυτίζεται με το στοιχείο S_{11} του γενικευμένου πίνακα σκέδασης S , ο οποίος συνδέει τις κανονικοποιημένες τάσεις πρόσπτωσης – ανάκλασης σε κάθε θύρα ενός κυκλώματος, μόνο σε περίπτωση που όλες οι άλλες θύρες του κυκλώματος είναι προσαρμοσμένες:

$$\begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ b_3 \\ \dots \\ b_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & \dots & S_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{N1} & \dots & S_{NN} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ \dots \\ a_N \end{bmatrix}$$

όπου

$$a_n = \frac{V_n^+}{(Z_{0,n})^{\frac{1}{2}}} - \text{κανονικοποιημένη τάση πρόσπτωσης}$$

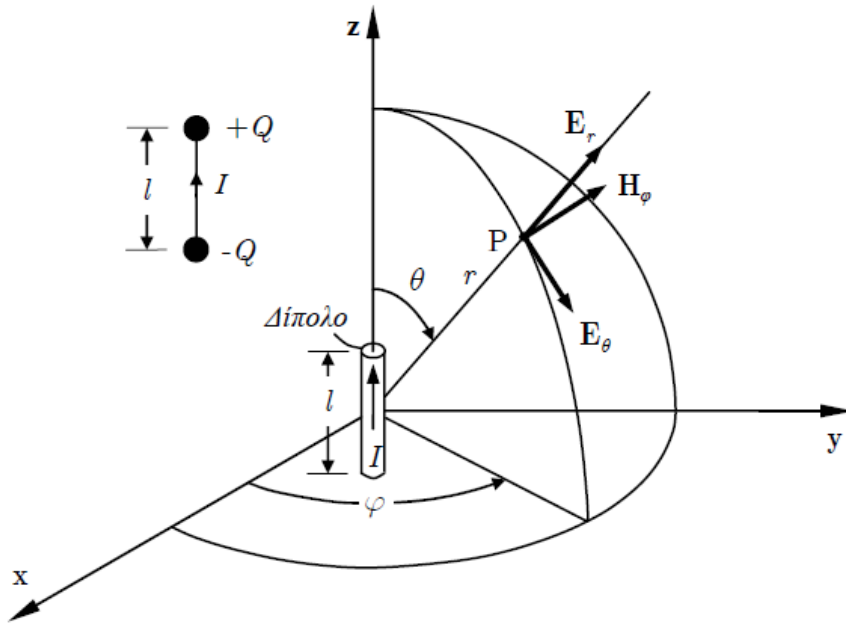
$$\beta_n = \frac{V_n^-}{(Z_{0,n})^{\frac{1}{2}}} - \text{κανονικοποιημένη τάση ανάκλασης}$$

Στην περίπτωση μας, έχουμε μονόθυρο κύκλωμα, οπότε ο συντελεστής ανάκλασης θα θεωρείται το στοιχείο S_{11} .

3.1.9 Στοιχειώδες δίπολο Hertz

Το πιο απλό θεωρητικό μοντέλο ακτινοβολούντος στοιχείου είναι αυτό του βραχέος (στοιχειώδους) διπόλου Hertz, το οποίο νοείται ως ένας ευθύγραμμος αγωγός πολύ μικρού μήκους που διαρρέεται από εναλλασσόμενο ρεύμα. Έχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον η ανάλυση του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου που δημιουργεί το στοιχειώδες δίπολο Hertz, επειδή μας δίνεται η δυνατότητα να θεωρήσουμε ότι τα περισσότερα ακτινοβολούντα συστήματα συντίθενται από έναν μεγάλο αριθμό τέτοιων διπόλων, άρα το πεδίο τους προκύπτει από την υπέρθεση αυτών. Στην πράξη, η μελέτη του στοιχειώδους διπόλου αφορά μια θεωρητική κεραία που το μήκος της δεν είναι μεγαλύτερο από το μήκος κύματος του εκπεμπόμενου σήματος.

Το στοιχειώδες δίπολο Hertz φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:



3.8 Στοιχειώδες δίπολο Hertz

Υποθέτουμε ότι το ρεύμα του διπόλου δίνεται από τη σχέση:

$$I = I_0 \cos \omega t$$

Τότε το φορτίο του διπόλου θα δίνεται από τη σχέση:

$$Q = \frac{I_0 \sin \omega t}{\omega} \quad \text{ή} \quad \mathbf{Q} = -j \frac{I_0}{\omega}$$

$$\text{επειδή } I = \frac{dQ}{dt}$$

Η μόνη μη μηδενική συνιστώσα του ακτινοβολούμενου πεδίου (προκύπτει από ανάλυση των διανυσματικών δυναμικών) είναι η:

$$\mathbf{H}_\varphi = \frac{I_0 l}{4\pi} \left(\frac{1}{r^2} + \frac{j\beta}{r} \right) \sin \theta e^{-j\beta r}$$

Οι τρεις συνιστώσες της ηλεκτρικής πεδιακής έντασης \mathbf{E} θα έχουν τις παρακάτω εκφράσεις:

$$\mathbf{E}_r = -\frac{jI_0 l}{4\pi \epsilon_0 \omega} \left(\frac{1}{r^3} + \frac{j\beta}{r^2} \right) \cos \theta e^{-j\beta r}$$

$$\mathbf{E}_\theta = -j \frac{I_0 l}{4\pi \epsilon_0 \omega} \left(\frac{1}{r^3} + \frac{j\beta}{r^2} - \frac{\beta^2}{r} \right) \sin \theta e^{-j\beta r}$$

$$\mathbf{E}_\varphi = 0$$

Η απόσταση r , δηλαδή η απόσταση στην οποία μελετάμε την ακτινοβολία, είναι συνήθως πολύ μεγάλη, άρα $r \gg 1$, επομένως μπορούμε με πλήρως ικανοποιητική προσέγγιση να παραλείψουμε κάποιους όρους των εκφράσεων της πεδιακής έντασης, οι οποίες παίρνουν τελικά τη μορφή:

$$\mathbf{E}_\theta \approx \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \mathbf{H}_\varphi = \eta_0 \mathbf{H}_\varphi = \frac{jI_0 \omega \mu_0 \sin\theta}{4\pi r} e^{-j\beta r}$$

$$\mathbf{E}_r \approx \mathbf{E}_\varphi \approx \mathbf{H}_r = \mathbf{H}_\theta = 0$$

Από τις παραπάνω εκφράσεις μπορούμε να εξαγάγουμε τη σχέση που δίνει τη μέση πυκνότητα ισχύος από το διάνυσμα Poynting:

$$\mathbf{P}_{av} = \frac{1}{2} \text{Re}(\mathbf{E} \times \mathbf{H}^*) = \frac{\eta_0 (\beta I_0 l)^2}{32\pi^2 r^2} \sin^2 \theta$$

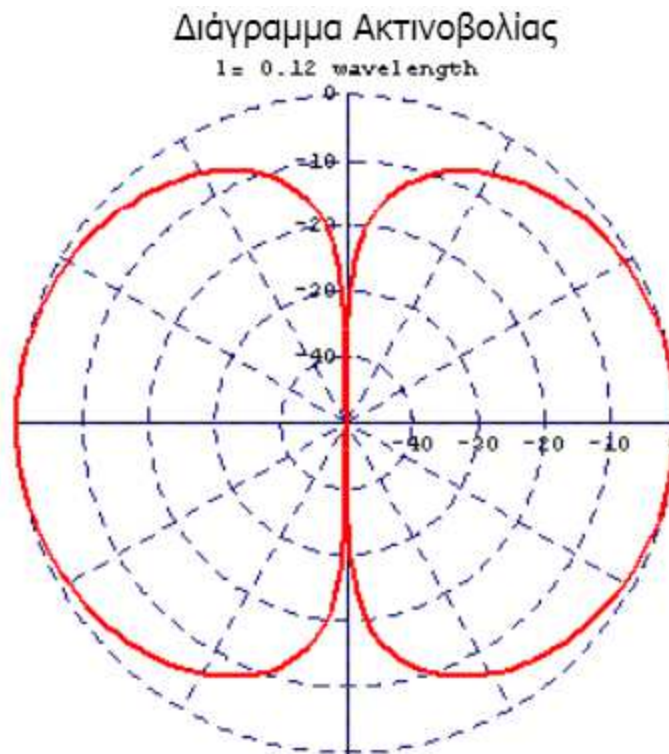
Η συνολική ακτινοβολούμενη ισχύς θα δίνεται από τη σχέση:

$$P_{rad} = \int_0^\pi \int_0^{2\pi} P_{avr^2} \sin\theta d\theta d\varphi = \frac{(\beta I_0 l)^2}{12\pi} \eta_0$$

Η αντίσταση ακτινοβολίας μπορεί να προσδιοριστεί από την ακτινοβολούμενη ισχύ:

$$R_{rad} = 80\pi^2 \left(\frac{l}{\lambda}\right)^2$$

Στο ίδιο αποτέλεσμα καταλήγουμε και με εξέταση του εγγύς πεδίου ακτινοβολίας του στοιχειώδους διπόλου.

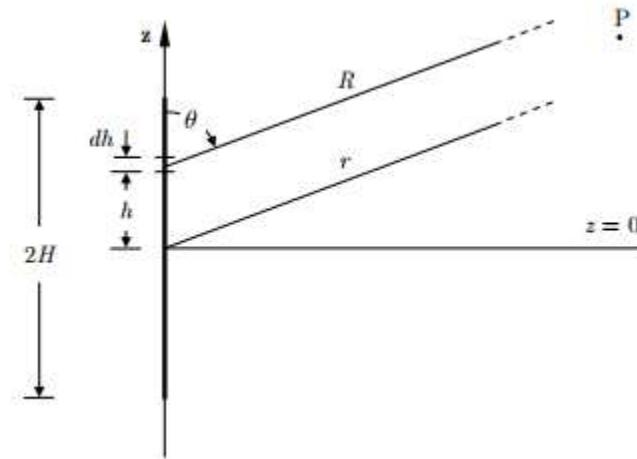


3.9 Χαρακτηριστικά ακτινοβολίας στοιχειώδους διπόλου

3.1.10 Διπολική κεραία $\lambda/2$

Ας θεωρήσουμε μια γραμμική κεραία μήκους $2H$, της οποίας επιθυμούμε να υπολογίσουμε το πεδίο σε τυχόν σημείο P . Επειδή μπορούμε να θεωρήσουμε ότι το πεδίο που δημιουργείται προκύπτει από την υπέρθεση των πεδίων όλων των στοιχειωδών διπόλων μήκους dh που συνιστούν την κεραία, με ολοκλήρωση της σχέσης που βρήκαμε για την στοιχειώδη κεραία Hertz μπορούμε να εξάγουμε την έκφραση του πεδίου, δηλαδή:

$$\mathbf{E}_\theta = \int_{-H}^H \frac{jI_0 \omega \mu_0 \sin\theta}{4\pi R} e^{-j\beta R} dh$$



3.10 Ακτινοβολία γραμμικής κεραίας

Αν

$$R \approx r - h \cos \theta$$

τότε η σχέση απλοποιείται στην εξής:

$$\mathbf{E}_\theta = \frac{j\eta_0 \sin \theta}{2\lambda r} e^{-j\beta r} \int_{-H}^H I(h) e^{j\beta h \cos \theta} dh$$

Στην περίπτωση όπου

$$I(h) = I_0 \cos \beta h, \beta = 2\pi/\lambda$$

και

$$2H = \frac{n\lambda}{2} \quad (n = 1, 3, 5 \dots)$$

τότε το ακτινοβολούμενο πεδίο λαμβάνει τις εκφράσεις:

$$\mathbf{E}_\theta = \frac{j\eta_0 I_0 \cos \left(n \left(\frac{\pi}{2} \right) \cos \theta \right)}{2\pi r \sin \theta} e^{-j\beta r}$$

$$\mathbf{H}_\theta = \mathbf{E}_\theta / \eta_0 = \frac{jI_0 \cos \left(n \left(\frac{\pi}{2} \right) \cos \theta \right)}{2\pi r \sin \theta} e^{-j\beta r}$$

$$\mathbf{P}_{av} = \frac{\eta_0 I_0^2}{8\pi^2 r^2} \frac{\cos^2 \left[n \left(\frac{\pi}{2} \right) \cos \theta \right]}{\sin^2 \theta}$$

Η διπολική κεραία $\lambda/2$ αποτελεί μια ειδική περίπτωση της παραπάνω γραμμικής κεραίας, όπου $n=1$ και $H=\lambda/4$. Άρα, οι εκφράσεις του ακτινοβολούμενου πεδίου είναι οι παρακάτω:

$$\mathbf{E}_\theta = \frac{j\eta_0 I_0 \cos \left(\frac{\pi}{2} \cos \theta \right)}{2\pi r \sin \theta} e^{-j\beta r}$$

$$\mathbf{H}_\theta = \frac{jI_0 \cos\left(\frac{\pi}{2} \cos\theta\right)}{2\pi r \sin\theta} e^{-j\beta r}$$

$$\mathbf{P}_{av} = \frac{\eta_0 I_0^2}{8\pi^2 r^2} \frac{\cos^2\left[\frac{\pi}{2} \cos\theta\right]}{\sin^2\theta}$$

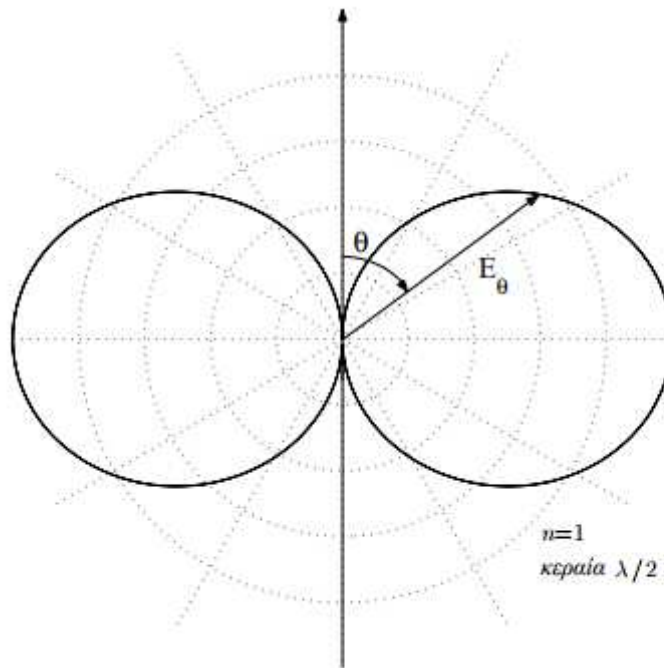
Η ακτινοβολούμενη ισχύς προκύπτει από την αριθμητική ολοκλήρωση του διανύσματος Poynting:

$$P_{rad} = \frac{0.3045\eta_0 I_0^2}{\pi}$$

Η αντίσταση ακτινοβολίας προκύπτει ίση με:

$$R_{rad} = 73.08 \Omega$$

Το διάγραμμα ακτινοβολίας της διπολικής κεραιάς $\lambda/2$ φαίνεται παρακάτω:



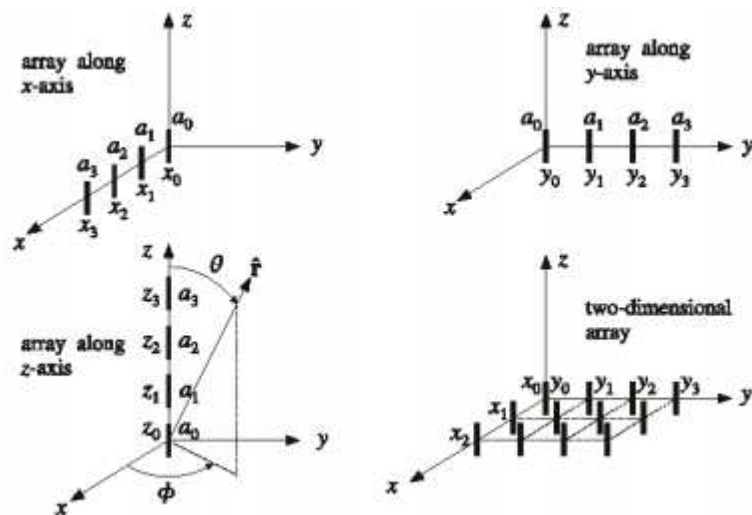
3.11 Διάγραμμα ακτινοβολίας διπολικής κεραιάς

3.2 Η δομή της κεραιάς

Η δομή της κεραιάς ESPAR ομοιάζει πολύ με εκείνη μιας απλής στοιχειοκεραίας. Προτού, λοιπόν, αναφερθούμε στην ESPAR, καλό είναι να κάνουμε μια εισαγωγή στον τρόπο λειτουργίας μιας στοιχειοκεραίας.

3.2.1 Στοιχειοκεραία

Η ιδέα της στοιχειοκεραίας εμφανίστηκε ως ένας τρόπος να συνδυαστούν τα χαρακτηριστικά εκπομπής ή λήψης επιμέρους στοιχείων, έτσι ώστε να σχεδιαστεί μια κεραία με αποδοτικότερη και με βελτιωμένα χαρακτηριστικά ακτινοβολίας. Η σύνθεση τέτοιων κεραιών οδηγεί συνήθως σε κατευθυντική ακτινοβολία, δηλαδή διαγράμματα ακτινοβολίας με ισχυρό κύριο λοβό προς μία κατεύθυνση, καθώς τα στοιχεία τοποθετούνται σε τέτοιες σχετικές θέσεις μεταξύ τους ώστε να ενισχύουν το πεδίο προς συγκεκριμένη κατεύθυνση και να το εξασθενούν προς όλες τις άλλες. Στις περισσότερες των περιπτώσεων, τα στοιχεία που συνθέτουν τέτοιες κεραιές είναι ίδια μεταξύ τους. Αυτό, όμως, δεν είναι υποχρεωτικό.



3.12 Διάφοροι τρόποι σύνθεσης στοιχειοκεραιών

Στα βασικά πλεονεκτήματα των στοιχειοκεραιών συμπεριλαμβάνονται:

- Η βελτίωση (αύξησης) της κατευθυντικότητας
- Η διαμόρφωση καλύτερων χαρακτηριστικών ακτινοβολίας
- Η ρύθμιση των χαρακτηριστικών ακτινοβολίας με ηλεκτρονικές μεθόδους

Τα χαρακτηριστικά ακτινοβολίας μίας στοιχειοκεραίας εξαρτώνται σε σημαντικό βαθμό από τη γεωμετρική διάταξη των στοιχείων της στο χώρο, δηλαδή αν τοποθετούνται σε μία ευθεία γραμμή, σε ένα επίπεδο ή σε μία επιφάνεια όπως σφαίρα κ.τ.λ., από τη σχετική θέση μεταξύ τους, από τα χαρακτηριστικά ακτινοβολίας κάθε επιμέρους στοιχείου, καθώς και από τη ρευματική διέγερση (πλάτος και φάση) κάθε στοιχείου. Όλα τα παραπάνω

αποτυπώνονται στον υπολογισμό του συνολικού διαγράμματος ακτινοβολίας, που υπολογίζεται από την υπέρθεση των διαγραμμάτων ακτινοβολίας κάθε στοιχείου:

$$\begin{aligned}\bar{E} &= \sum_{m=0}^{M-1} \bar{E}_m = \bar{E}_0 + \bar{E}_1 + \bar{E}_2 + \dots + \bar{E}_{M-2} + \bar{E}_{M-1} = \\ &= (|\bar{E}_0|e^{jk\bar{d}_0} + |\bar{E}_1|e^{jk\bar{d}_1} + \dots + |\bar{E}_{M-1}|e^{jk\bar{d}_{M-1}})\hat{e}_n = \\ &= \hat{e}_n \sum_{m=0}^{M-1} |\bar{E}_m| e^{jk\bar{d}_m} = \hat{e}_n \sum_{m=0}^{M-1} |\bar{E}_m| e^{jk d_m \cos \psi_m}\end{aligned}$$

όπου

\bar{E} – το συνολικό πεδίο που δημιουργείται

\bar{E}_m – το πεδίο κάθε επιμέρους στοιχείου

$|\bar{E}_m|$ – το πλάτος του πεδίου

$e^{jk\bar{d}_0}$ – η φάση του πεδίου

$\bar{d}_m = d_m \cos \psi_m$ – η απόσταση του κάθε στοιχείου από το σημείο αναφοράς

ψ_m – η γωνία που σχηματίζει η ευθεία που ενώνει κάθε στοιχείο με το σημείο αναφοράς

Ο όρος

$$\sum_{m=0}^{M-1} |\bar{E}_m| e^{jk d_m \cos \psi_m} = A(\theta, \varphi)$$

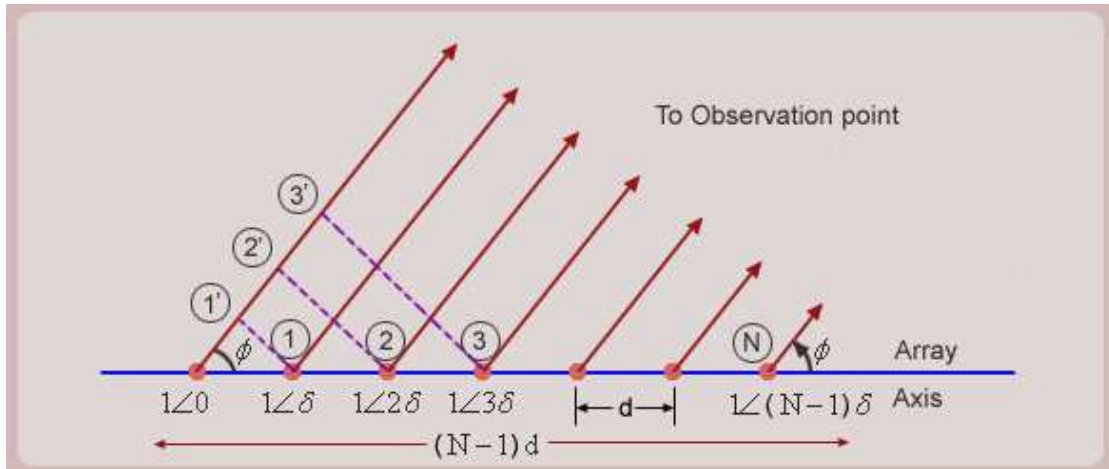
ονομάζεται παράγοντας διάταξης της στοιχειοκεραίας και, όπως είναι φανερό, εξαρτάται από τη ρευματική διέγερση και τη θέση κάθε στοιχείου.

Έχουν εμφανιστεί διάφορες διατάξεις στοιχειοκεραιών που χρησιμοποιούν διαφορετικό αριθμό στοιχείων και, πολλές φορές, με διαφορετική λειτουργία (π.χ. παρασιτικά στοιχεία που δεν τροφοδοτούνται). Η στοιχειοκεραία στην πιο απλή μορφή της είναι μια κεραία στοιχείων διατεταγμένων σε μια ευθεία γραμμή σε ίσες αποστάσεις μεταξύ τους (γραμμική στοιχειοκεραία), τα οποία τροφοδοτούνται ομοιόμορφα, δηλαδή με το ίδιο πλάτος $|\bar{E}_m| = |\bar{E}_0|$ και ίδια διαφορά φάσης δ ανάμεσα σε δύο επιμέρους στοιχεία. Ο παράγοντας διάταξης μιας τέτοιας ομοιόμορφης γραμμικής στοιχειοκεραίας είναι:

$$A(\theta, \varphi) = |\bar{E}_0| \sum_{m=0}^{M-1} e^{jm\psi} = |\bar{E}_0| \frac{e^{jM\psi} - 1}{e^{j\psi} - 1}, \text{ όπου } \psi = \frac{2\pi d}{\lambda} \cos \varphi + \delta$$

Ο παραπάνω τύπος μπορεί να γραφεί και στην παρακάτω μορφή:

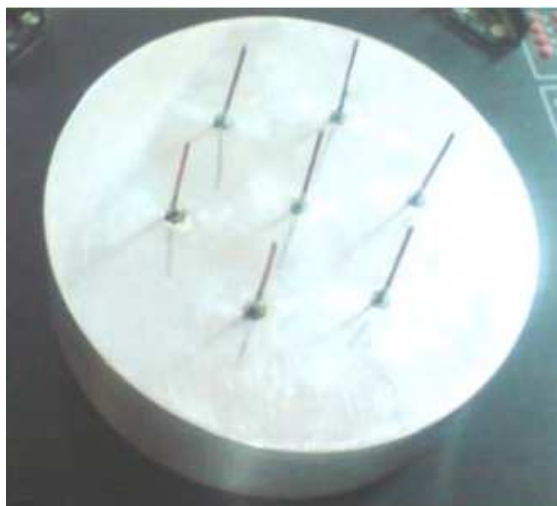
$$A(\theta, \varphi) = |\bar{E}_0| e^{j\left(\frac{M-1}{2}\right)\Psi} \frac{\sin\left(\frac{M\Psi}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\Psi}{2}\right)}$$



3.13 Ομοιόμορφη γραμμική στοιχειοκεραία

3.2.2 ESPAR

Όπως έχει ήδη προαναφερθεί, η κεραιά ESPAR συνιστά μια στοιχειοκεραία N στοιχείων, εκ των οποίων όμως κάποια είναι παρασιτικά. Θα θεωρήσουμε μια κεραιά ESPAR στην οποία τροφοδοτείται ένα στοιχείο και όλα τα οποία είναι παθητικά, άρα αποτελείται από ένα ενεργό στοιχείο και $N-1$ παρασιτικά. Αν επιπλέον θεωρήσουμε τον συνολικό αριθμό των στοιχείων 7 , τότε η κεραιά μας θα αποτελείται από ένα ενεργό στοιχείο και έξι παρασιτικά στοιχεία. Είναι ευνόητο ότι θα μπορούσαμε να προχωρήσουμε σε επιλογή διαφορετικής γεωμετρίας και διαφορετικού αριθμού παρασιτικών στοιχείων.



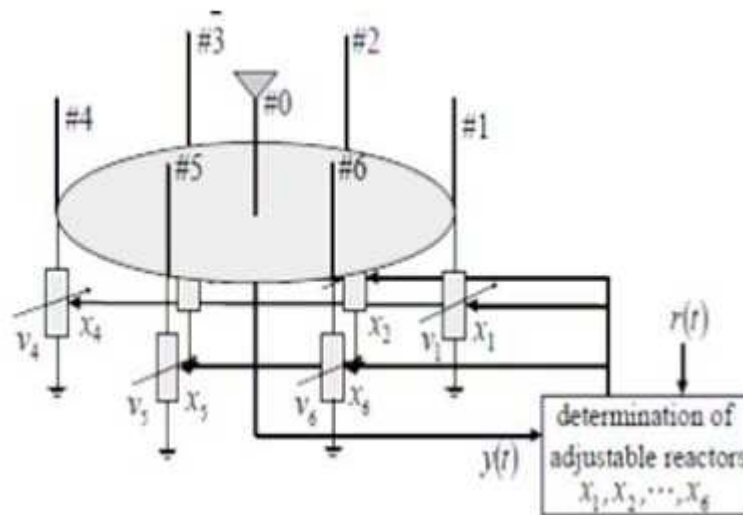
3.14 Υλοποίηση κεραιάς ESPAR 7 στοιχείων

Στην εικόνα 3.12 παρατηρούμε μία υλοποίηση κεραιάς ESPAR 7 στοιχείων. Τα στοιχεία είναι μονόπολα ή δίπολα που τοποθετούνται πάνω σε κυλινδρικό υπόστρωμα από αλουμίνιο, το οποίο επιλέχθηκε ώστε να αντανakλάται η ηλεκτρομαγνητική ισχύς και, έτσι, να ενισχύεται η ακτινοβολία προς την αντίθετη κατεύθυνση. Η κεραία που θα σχεδιάσουμε θα βασιστεί στα τεχνικά χαρακτηριστικά της παραπάνω κεραιάς.

Ενδεικτικά κατασκευαστικά χαρακτηριστικά παραθέτονται στον παρακάτω πίνακα:

Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά	
Μήκος διπόλου/μονοπόλου	$\lambda/4$
Διάμετρος διπόλου/μονοπόλου	$\lambda/200$
Ακτίνα κυλινδρικού υποστρώματος	$\lambda/2$
Πάχος υποστρώματος	3mm
Συχνότητα λειτουργίας	2.4 – 2.5 GHz

Η σχεδίαση της κεραιάς 7 στοιχείων απεικονίζεται στο σχήμα 3.10. Στη σχεδίαση μας έχουμε ένα ενεργό στοιχείο, το μονόπολο #0, το οποίο περιστοιχίζεται από 6 παρασιτικά μονόπολα, τοποθετημένα σε ίσες αποστάσεις μεταξύ τους. Είναι προφανές ότι η απόσταση κάθε παρασιτικού στοιχείου από το ενεργό είναι ίση με την ακτίνα του κυλίνδρου. Το κυλινδρικό υπόστρωμα είναι κοίλο και κάτω απ' αυτό τροφοδοτείται το ενεργό στοιχείο και κάθε παρασιτικό στοιχείο συνδέεται με αντίστοιχο φορτίο.



3.15 Σχεδίαση ESPAR 7 στοιχείων

Παρόλο που η συγκεκριμένη δομή δεσμεύει πολύ περισσότερο όγκο απ' όση θα χρειαζόταν μία αντίστοιχη κεραία διπόλων, παρέχει μια πιο πρακτική λύση όσον αφορά την τροφοδοσία της κεραίας και τον έλεγχο των κυκλωμάτων. Το στοιχείο #0 όπως φαίνεται στο σχήμα είναι το ενεργό στοιχείο, το οποίο στην ουσία περιβάλλεται από μία κυκλική στοιχειοκεραία 6 παθητικών στοιχείων (στοιχεία #1 - #6). Κάθε ένα από τα παρασιτικά στοιχεία συνδέεται σε σειρά με ένα φορτίο και μία δίοδο pin, η οποία λειτουργεί ως διακόπτης που λειτουργεί σε ραδιοσυχνότητες και χρησιμεύει στο να ανοίγει ή να βραχυκυκλώνει τα παθητικά στοιχεία.

3.3 Λειτουργία κεραίας ESPAR

Όπως είδαμε, η κεραία ESPAR είναι εκείνη η έξυπνη κεραία που βασίζει τη λειτουργία της στην τροφοδότηση ενός μόνο ενεργού στοιχείου το οποίο περιβάλλεται από έναν αριθμό παθητικών στοιχείων. Σύμφωνα με την εξίσωση Shannon για τη χωρητικότητα, όσο μικρότερη είναι παρεμβολή, τόσο μεγαλύτερο είναι το εύρος του καναλιού που επιτυγχάνεται:

$$C = 2B \log_2 \left(1 + \left(\frac{S}{N} \right)^{\frac{1}{2}} \right)$$

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$

όπου

C – η χωρητικότητα του καναλιού

B – το εύρος ζώνης του καναλιού

$\frac{S}{N}$ – η σχέση ισχύος σήματος προς θόρυβο

Από την παραπάνω εξίσωση αντιλαμβανόμαστε ότι όσο καλύτερη είναι η σχέση σήματος προς θόρυβο, τόσο μεγαλύτερη είναι η χωρητικότητα του καναλιού. Ο σκοπός της ESPAR κεραιάς είναι να μηδενίζει την ακτινοβολία στην κατεύθυνση του παρεμβαλλόμενου σήματος και να την μεγιστοποιεί στην κατεύθυνση του επιθυμητού σήματος. Έτσι, καταφέρνει να βελτιώνει σημαντικά το λόγο ισχύος σήματος προς θόρυβο, άρα να επιτυγχάνει καλύτερες τιμές στη χωρητικότητα του καναλιού.

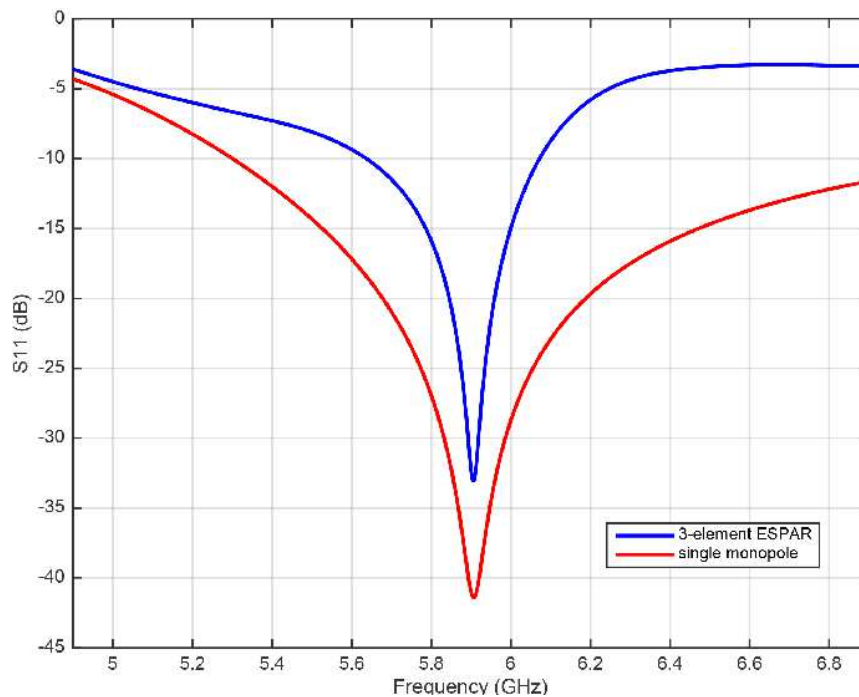
Το κέρδος της κεραιάς ESPAR 7 στοιχείων είναι καλύτερο απ' αυτό μιας πανκατευθυντικής κεραιάς. Ο λόγος ισχύος σήματος προς θόρυβο μπορεί να βελτιωθεί χρησιμοποιώντας μια τέτοια κεραιά, σταθμίζοντας τις επιλογές μας ανάλογα με το περιβάλλον εγκατάστασης και χρήσης. Η ρύθμιση των χαρακτηριστικών ακτινοβολίας μπορεί να γίνει είναι με ηλεκτρονικό είτε με μηχανικό τρόπο. Είναι φανερό ότι ο ηλεκτρονικός τρόπος παρέχει αυτονομία και προσαρμοστικότητα στην κεραιά, ενώ ο μηχανικός τρόπος απαιτεί καλύτερο σχεδιασμό της κεραιάς και συνεχή έλεγχο της λειτουργίας της.

Η κεραιά ESPAR δεν περιλαμβάνει φασιθέτες (ηλεκτρονικά στοιχεία που ρυθμίζουν τη φάση του ρεύματος σε κάθε στοιχείο της κεραιάς), άρα το κόστος κατασκευής της ως μια παρασιτική στοιχειοκεραία είναι σαφώς μικρότερο σε σύγκριση με μια στοιχειοκεραία με φασιθέτες.

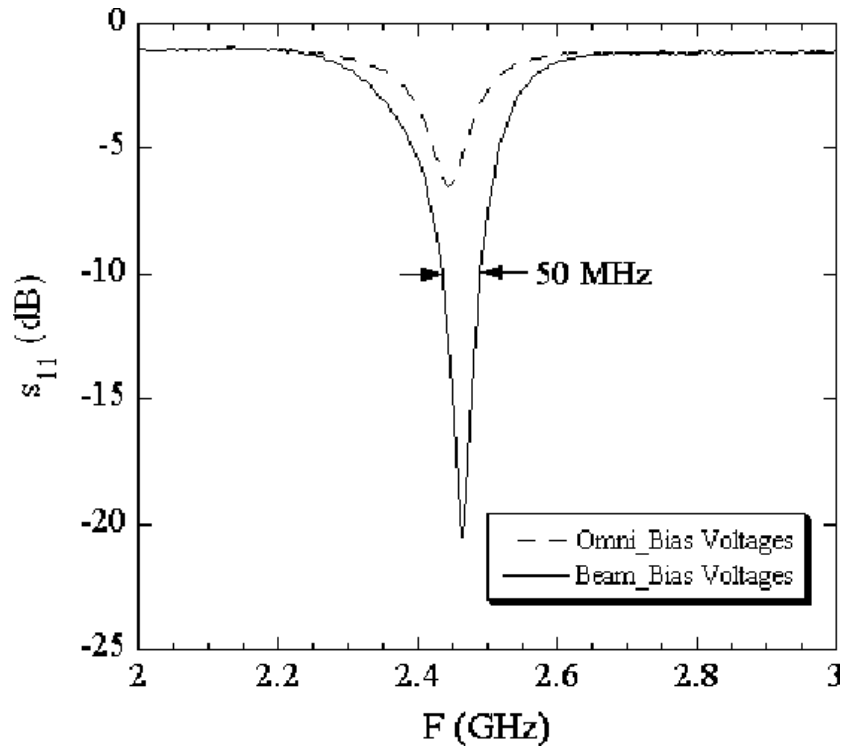
Κάθε στοιχείο απέχει από το άλλο απόσταση $\frac{\lambda}{4}$ ή $\frac{\lambda}{2}$ (γενικά $d(\lambda)$). Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να συνυπολογιστούν φαινόμενα αμοιβαίας σύζευξης, καθώς εμφανίζεται ολίσθηση στη φάση του ρεύματος κάθε στοιχείου λόγω αυτών των φαινομένων. Η αμοιβαία σύζευξη ορίζεται ως η ηλεκτρομαγνητική αλληλεπίδραση ανάμεσα σε δύο στοιχεία της κεραιάς. Λαμβάνει διαφορετικές μορφές ανάλογα με τη χρήση της κεραιάς (εκπομπή ή λήψη), επομένως η διαχείριση του φαινομένου πρέπει να είναι διαφορετική ανάλογα με την περίπτωση.

Ο τρόπος λειτουργίας της κεραιάς βασίζεται στον προσδιορισμό της επιθυμητής κατεύθυνσης ακτινοβολίας. Η επίτευξη των επιθυμητών χαρακτηριστικών ακτινοβολίας γίνεται μέσω των διόδων PIN οι οποίες συνδέονται με τα παρασιτικά στοιχεία. Όπως

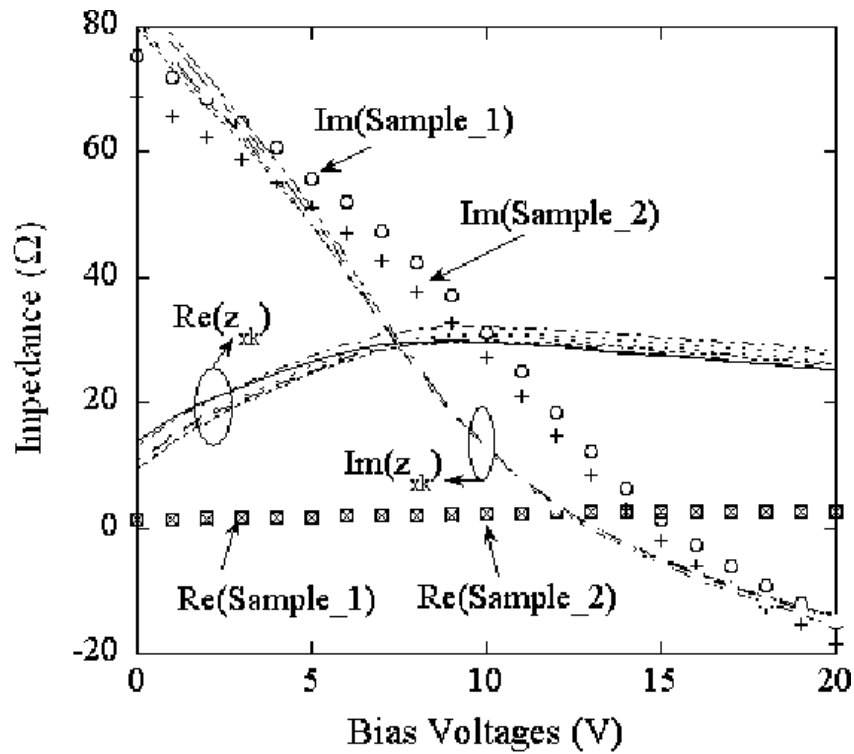
προαναφέραμε, οι δίοδοι λειτουργούν ως διακόπτες, ανοίγοντας ή βραχυκυκλώνοντας αντίστοιχα τα κυκλώματα που περιλαμβάνουν τα παρασιτικά στοιχεία. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη διαφορετική λειτουργία του κάθε στοιχείου, επομένως τη διαφοροποίηση των χαρακτηριστικών ακτινοβολίας. Ακολουθούν ορισμένα πολικά διαγράμματα ακτινοβολία, καθώς και διαγράμματα της συντελεστή ανάκλασης S_{11} , που είναι η μοναδική περίπτωση του πίνακα σκέδασης που εξετάζουμε, εφόσον έχουμε μονόθυρο κύκλωμα κεραίας.



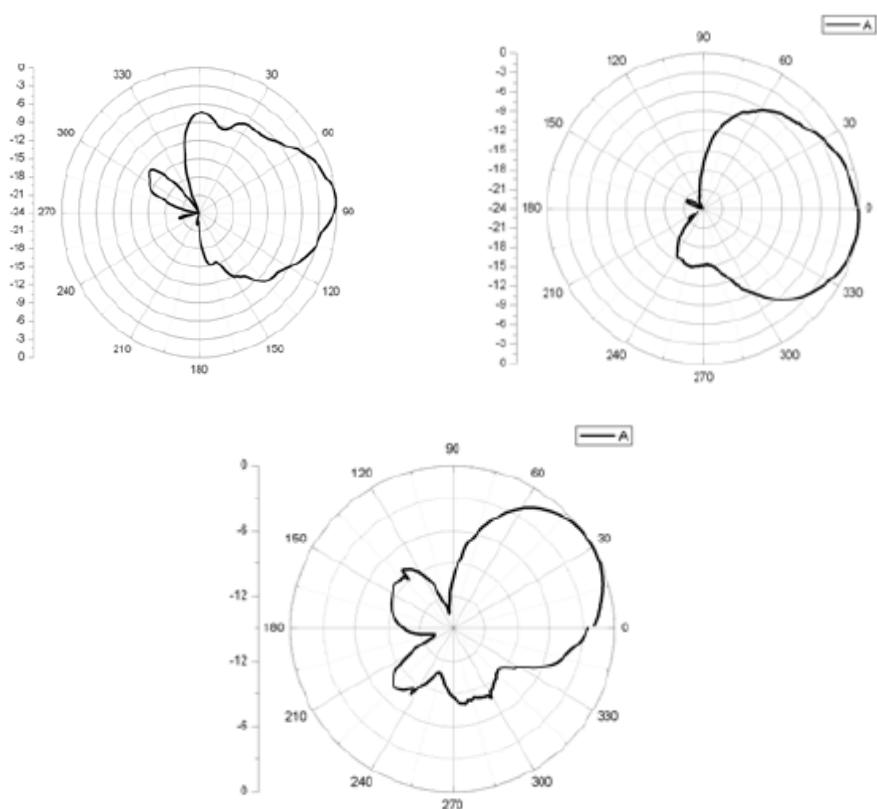
3.16 Συντελεστής ανάκλασης ESPAR 3 στοιχείων



3.17 Συντελεστής ανάκλασης ESPAR 7 στοιχείων



3.18 Εμπέδηση συναρτήσει της τάσης



3.19 Πολικά διαγράμματα ESPAR 7 στοιχείων για διάφορες περιπτώσεις σύνδεσης παρασιτικών στοιχείων

3.3.1 Πλεονεκτήματα κεραιάς ESPAR

Τα πλεονεκτήματα της ESPAR κεραιάς είναι πολλά και ευθυγραμμίζονται με την ανάπτυξη των έξυπνων κεραιών, αλλά και την απαίτηση των σύγχρονων δικτύων. Αυτά συνοψίζονται στα παρακάτω σημεία:

- Βελτίωση της χωρητικότητας καναλιού και της σχέσης ισχύος σήματος προς θόρυβο
- Μείωση των παρεμβολών
- Ρύθμιση των χαρακτηριστικών ακτινοβολίας
- Μικρό μέγεθος και χαμηλό κόστος
- Δυνατότητα εφαρμογής σε φορητές συσκευές
- Μειωμένες απαιτήσεις στην κατανάλωση ισχύος
- Κατάλληλο για εφαρμογή σε επίγειες επικοινωνίες μικρού εύρους
- Μεγάλο εύρος εφαρμογών

Το πιο χαρακτηριστικό πλεονέκτημα που θα επιχειρήσουμε να καταστεί σαφές και από τις προσομοιώσεις που θα διεξαχθούν είναι η δυνατότητα στροφής των χαρακτηριστικών

ακτινοβολίας μέσω ρύθμισης που έγκειται στη λειτουργία των παρασιτικών στοιχείων. Αυτό είναι και το πιο ενδιαφέρον στοιχείο της κεραίας ESPAR, καθώς δίνει τη δυνατότητα επίτευξης στοχευμένης λήψης ή μετάδοσης ανάλογα με τις επιλογές του χρήστη ή τις απαιτήσεις του συστήματος στο οποίο εντάσσεται.

4. ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΣΕ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιαστεί το πρόγραμμα CST, στο οποίο θα υλοποιηθεί η κεραία μας, καθώς και η μεθοδολογία βάσει της οποίας θα σχεδιαστεί η τελευταία στα πλαίσια του προγράμματος. Θα παρατεθούν, επίσης, οι στόχοι της υλοποίησης και τα αποτελέσματα που αναμένουμε απ' αυτήν.

4.1 Το πρόγραμμα CST



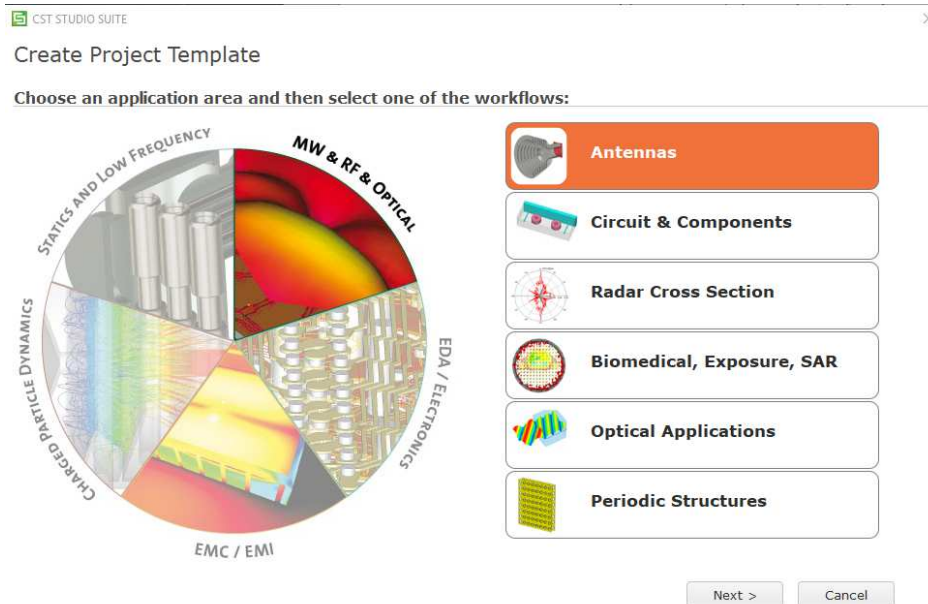
4.1 Δημιουργία project στο CST

Το πρόγραμμα CST Studio Elite (CST – Computer Simulation Software) αποτελεί ένα λογισμικό προσομοίωσης ηλεκτρομαγνητικών εφαρμογών. Η συνεχώς εξελισσόμενη πορεία του είναι αποτέλεσμα πολλών χρόνων έρευνας και ανάπτυξης σχετικά με τα πιο ακριβή και αποτελεσματικά υπολογιστικά συστήματα επίλυσης για ηλεκτρομαγνητικές σχεδιάσεις.

Περιλαμβάνει ένα πλούσιο πακέτο εργαλείων σχεδίασης και βελτιστοποίησης συσκευών που λειτουργούν σε ένα μεγάλο εύρος συχνοτήτων. Ανάλογα με τους στόχους του σχεδιαστή, το πρόγραμμα παρέχει τη δυνατότητα ανάλυσης και θερμικών ή μηχανικών επιδράσεων, όπως και τη δυνατότητα προσομοίωσης κυκλωμάτων.

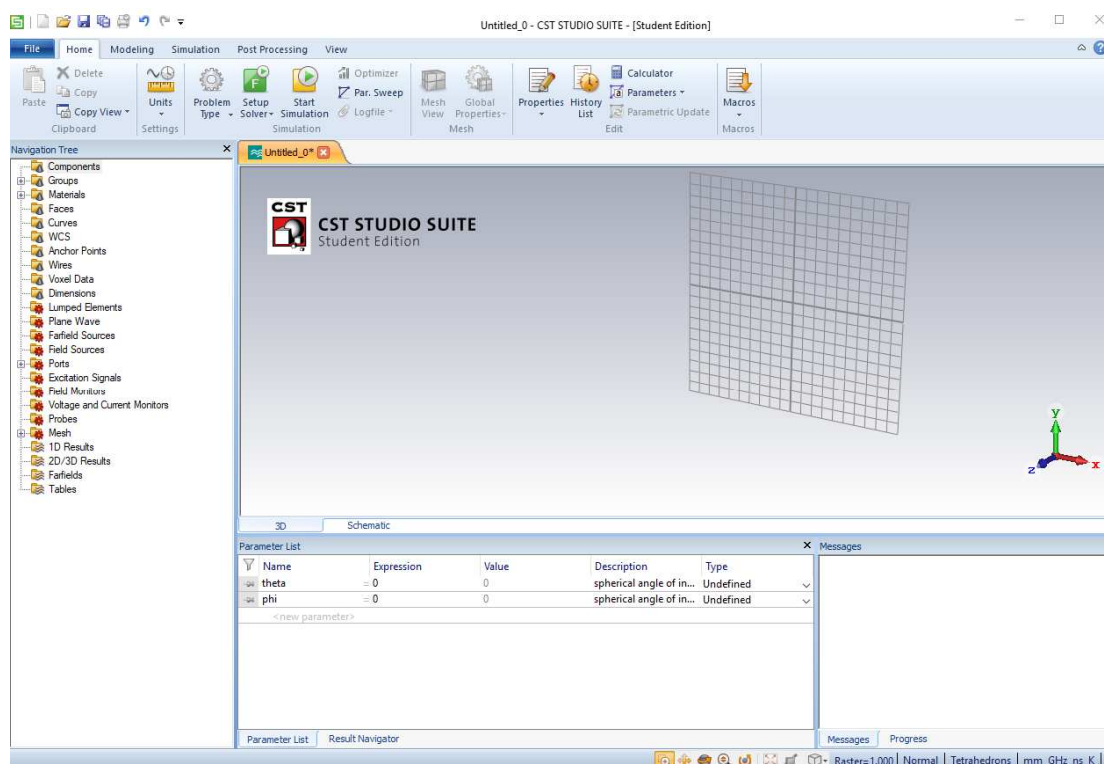
Το CST προσφέρει τη δυνατότητα στον σχεδιαστή να πειραματιστεί ή να ενασχοληθεί με διάφορα ηλεκτρομαγνητικά προβλήματα ή εφαρμογές. Η επιλογή αυτού του προγράμματος για τη σχεδίαση της κεραίας έγινε με βάση τις δυνατότητες και τα εργαλεία

που παρέχει, καθώς και την ευχρηστία του. Με τη συμβολή του CST θα καταφέρουμε να διαπιστώσουμε και να κατανοήσουμε καλύτερα τη λειτουργία της κεραιάς ESPAR, παρατηρώντας και σχολιάζοντας τα χαρακτηριστικά ακτινοβολίας της.



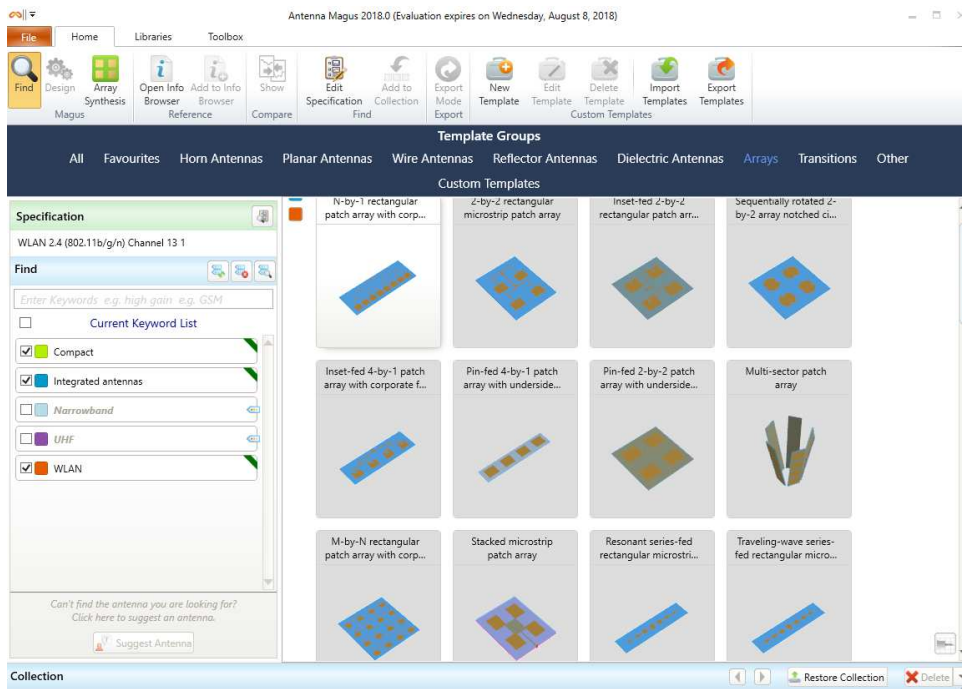
4.2 Επιλογή σχεδίασης κεραιάς

Πριν την είσοδο στο σχεδιαστικό περιβάλλον του CST, γίνεται επιλογή της εφαρμογής την οποία θέλουμε να μελετήσουμε. Στην εικόνα 4.2 φαίνεται η επιλογή της σχεδίασης κεραιάς. Έπειτα, ζητούνται μια σειρά από χαρακτηριστικά που αφορούν το βασικό περιβάλλον και λειτουργία της εφαρμογής και, τελικά, εισερχόμαστε στο σχεδιαστικό περιβάλλον του CST.



4.3 Σχεδιαστικό περιβάλλον CST

Ωστόσο, το CST έχει ακόμα ένα εργαλείο, που κάνει τη δουλειά του σχεδιαστή κεραιών ακόμα πιο εύκολη. Αυτό το εργαλείο είναι το Antenna Magus, που περιέχει μία μεγάλη βιβλιοθήκη ήδη σχεδιασμένων κεραιών που τίθενται προς επεξεργασία. Το Antenna Magus είναι μια πρόσθετη εφαρμογή του προγράμματος και λειτουργεί ως βιβλιοθήκη για την απεικόνιση και την αυτόματη σχεδίαση κεραιών με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Η εφαρμογή επιτρέπει στο χρήστη να επιλέξει συγκεκριμένη πρότυπη κεραία και μάλιστα να αναζητήσει για κεραία με συγκεκριμένο πεδίο εφαρμογών ή τύπο. Το Antenna Magus ενδεχομένως θα μας φανεί ιδιαίτερος χρήσιμο στην προσπάθεια σχεδίασης της κεραιάς ESPAR.

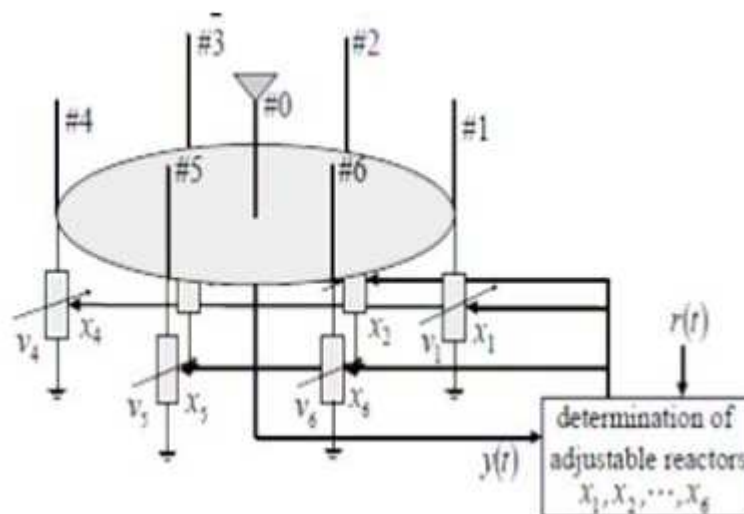


4.4 Antenna Magus

4.2 Μεθοδολογία υλοποίησης

4.2.1 Τρόπος σχεδίασης κεραιάς

Η κεραιά ESPAR που θα σχεδιάσουμε θα έχει την παρακάτω δομή, την οποία παρουσιάσαμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο:



4.5 Δομή κεραιάς

Η προσπάθεια μας θα εστιάσει στη σχεδίαση μιας κεραιάς ESPAR της παραπάνω μορφής, δηλαδή μιας κεραιάς 7 στοιχείων πάνω σε κυλινδρικό υπόστρωμα με τις προδιαγραφές που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 3. Τα στοιχεία θα είναι μονόπολα, ενώ το ενεργό στοιχείο θα τοποθετηθεί στο κέντρο του κυλίνδρου με τα υπόλοιπα παρασιτικά στοιχεία να το περιστοιχίζουν τοποθετημένα σε ίση απόσταση απ' αυτό και μεταξύ τους. Κάθε ένα από τα παρασιτικά στοιχεία θα συνδέεται με μία κυκλωματική αντίδραση, που θα διαδραματίζει το ρόλο της διόδου PIN. Έτσι, ανάλογα με την τιμή της αντίδρασης, θα αλλάζουν και τα χαρακτηριστικά ακτινοβολίας της κεραιάς. Στο σημείο αυτό επαναλαμβάνονται οι βασικές προδιαγραφές που θα ληφθούν υπόψη στη σχεδίαση.

Σχεδιαστικές προδιαγραφές

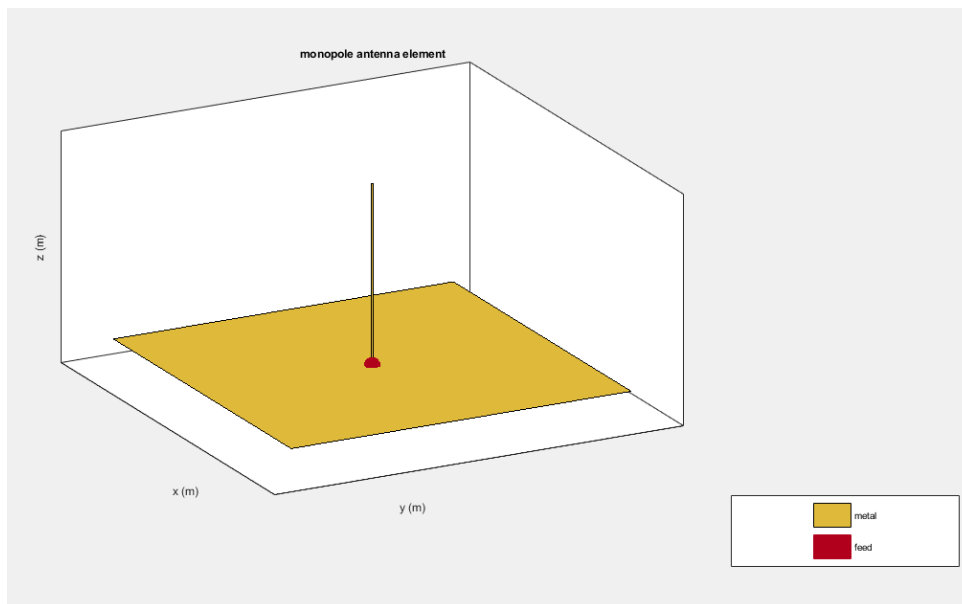
Μήκος διπόλου/μονοπόλου	$\lambda/4$
Διάμετρος διπόλου/μονοπόλου	$\lambda/200$
Ακτίνα κυλινδρικού υποστρώματος	$\lambda/2$
Πάχος υποστρώματος	3mm
Συχνότητα λειτουργίας	2.4 – 2.5 GHz
Υλικό υποστρώματος	Αλουμίνιο

Επιλέγουμε συχνότητα λειτουργίας 2.45GHz ($\lambda = 0.122\text{m}$ ή $\lambda = 12.2\text{cm}$), άρα τα χαρακτηριστικά διαμορφώνονται ως εξής:

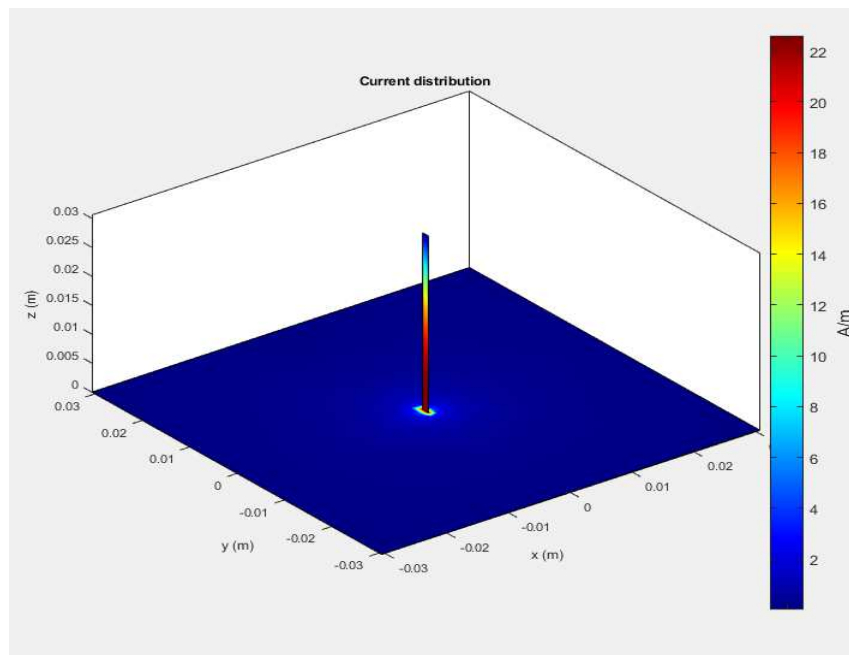
Σχεδιαστικές προδιαγραφές

Μήκος διπόλου/μονοπόλου	3.05cm
Διάμετρος διπόλου/μονοπόλου	0.061cm
Ακτίνα κυλινδρικού υποστρώματος	6.1cm
Πάχος υποστρώματος	3mm
Συχνότητα λειτουργίας	2.45 GHz
Υλικό υποστρώματος	Αλουμίνιο (Al)
Απόσταση στοιχείων	$\lambda/4 = 3.05\text{cm}$
Υλικό μονοπόλου	Χαλκός (Cu)

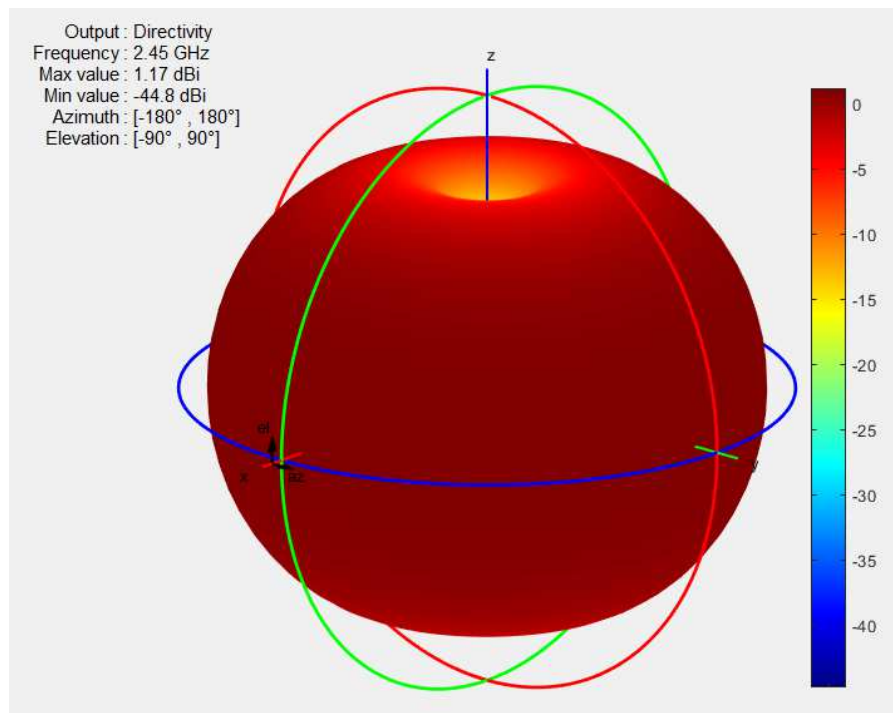
Όπως προαναφέραμε, τα στοιχεία που θα χρησιμοποιηθούν για την σχεδίαση της κεραιάς είναι μονόπολα. Μία άποψη για το πώς ακτινοβολεί μία κεραιά – μονόπολο μας δίνουν τα διαγράμματα που ακολουθούν, τα οποία εξάγονται από την ενσωματωμένη εφαρμογή του Matlab Antenna Designer.



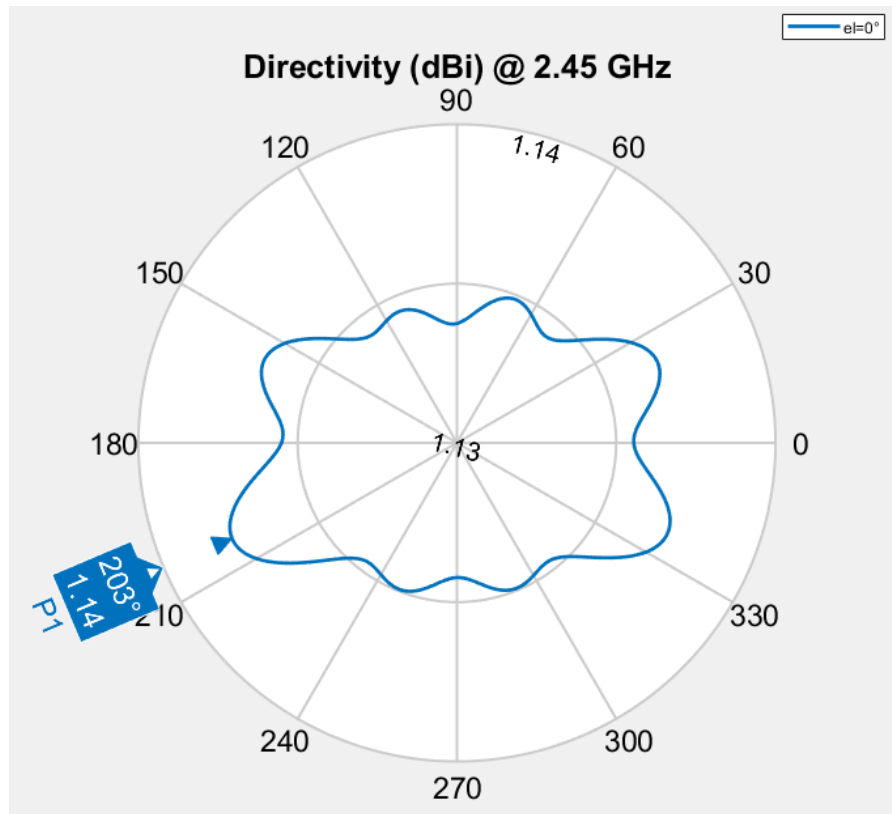
4.5 Μονοπολική κεραιά



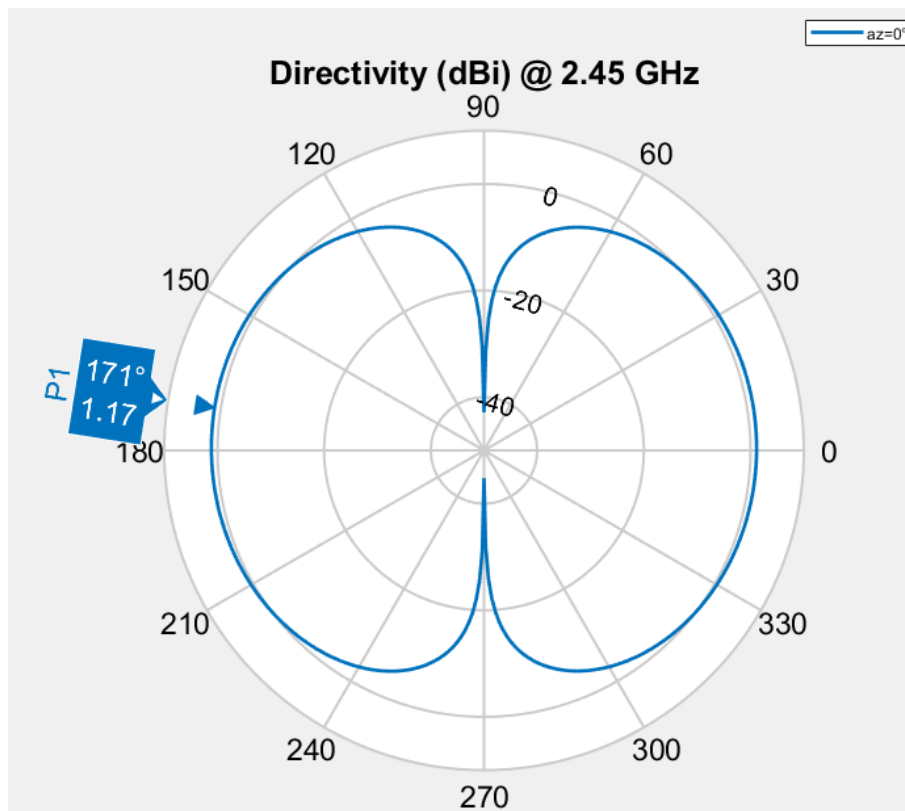
4.7 Ρευματική κατανομή



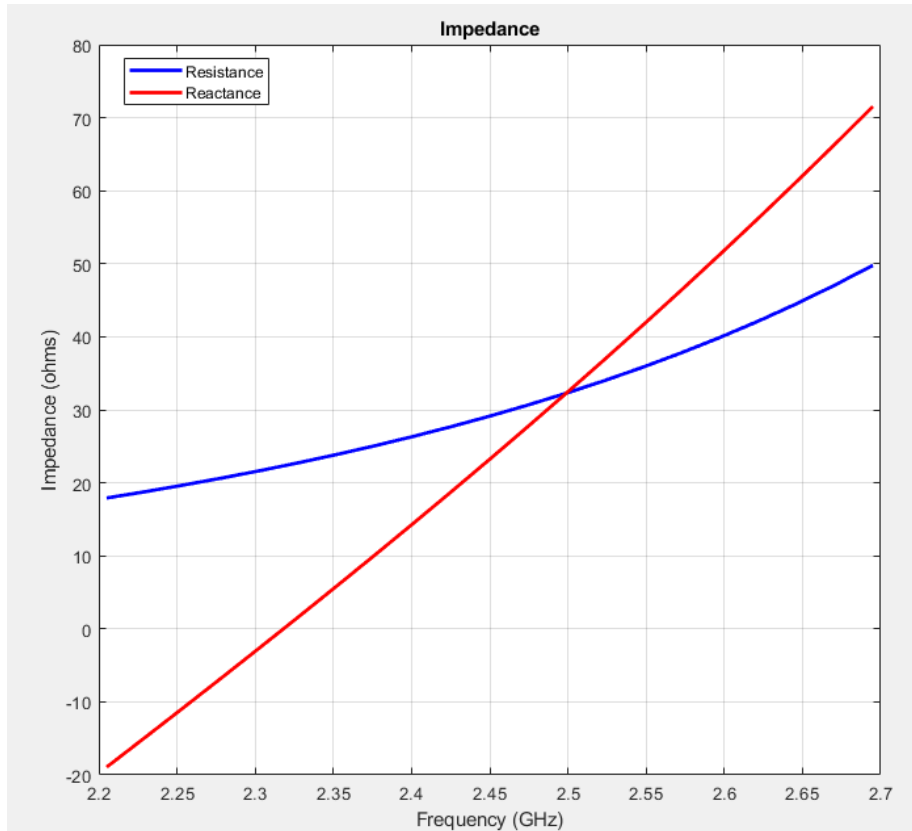
4.8 Τρισδιάστατο διάγραμμα ακτινοβολίας



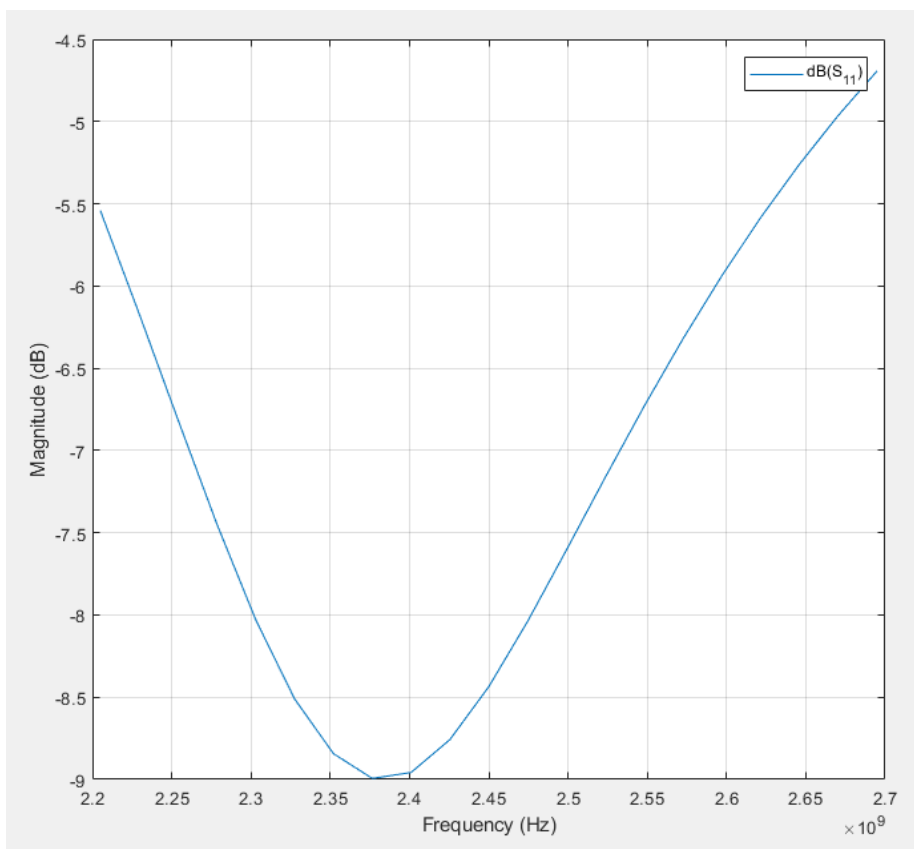
4.9 Διάγραμμα ακτινοβολίας στο αζιμουθιακό επίπεδο ($\theta=0$)



4.10 Διάγραμμα ακτινοβολίας στο υψομετρικό επίπεδο ($\varphi=0$)



4.11 Εμπέδηση κεραιάς

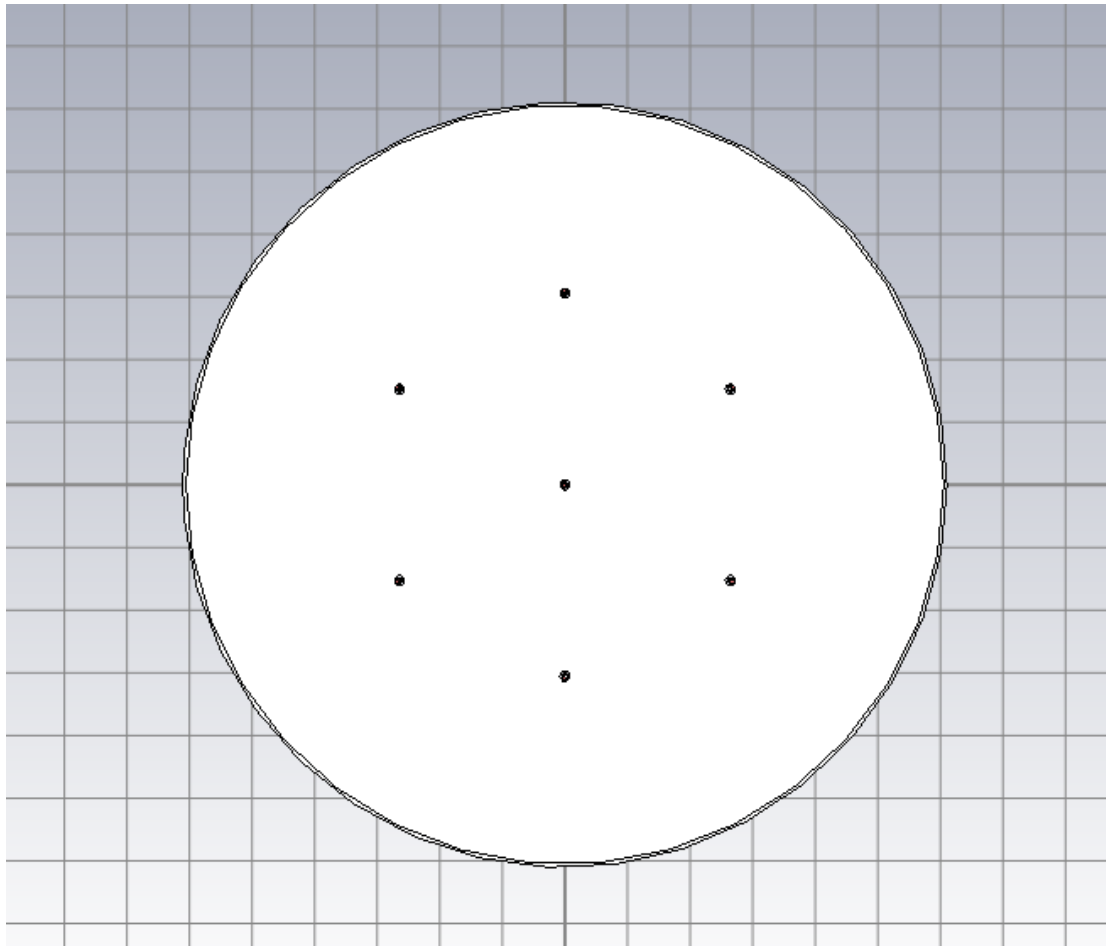


4.12 Συντελεστής ανάκλασης κεραίας

Παρατηρούμε ότι η κεραία – μονόπολο είναι πανκατευθυντική, σύμφωνα με το τρισδιάστατο διάγραμμα ακτινοβολίας, δηλαδή ακτινοβολεί με τον ίδιο σχεδόν τρόπο προς κάθε κατεύθυνση, ενώ συνυπολογίζοντας την εικόνα που μας δίνουν τα διδιάστατα διαγράμματα ακτινοβολίας, παρατηρούμε την ομοιομορφία ακτινοβολίας σε κάθε ένα από τα επίπεδα. Τα μέγιστα που επιτυγχάνονται σε κάθε ξεχωριστό επίπεδο είναι περίπου ίσα, χαρακτηριστικό κι αυτό της παρόμοιας ακτινοβολίας της κεραίας.

Κατά τη σχεδίαση της κεραίας στο πρόγραμμα CST επιλέγουμε ως υλικό κατασκευής μονοπόλου τον χαλκό (Cu ή Copper annealed στη βιβλιοθήκη), που αποτελεί μια συνήθη, αλλά και απλή επιλογή. Για την επίτευξη καλύτερων επιδόσεων, ενδεχομένως θα μπορούσε να επιλεγεί κάποιο άλλο υλικό επιλογής από την πλούσια βιβλιοθήκη υλικών του προγράμματος.

Τα στοιχεία – μονόπολα θα τοποθετηθούν σε συγκεκριμένες θέσεις στην περιφέρεια της άνω κυκλικής τομής του κυλίνδρου, βάσει του διαίρεσης της σε 6 ίσα μέρη, σε ίσες αποστάσεις μεταξύ τους και θα έχουν προσανατολισμό προς τον άξονα z. Αυτό σημαίνει ότι η προβολή της κεραίας στο επίπεδο xy θα είναι όπως παρουσιάζεται στη εικόνα 4.13.



4.13 Προβολή κεραιάς στο επίπεδο xy

Οι θέσεις των στοιχείων παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα σε καρτεσιανές συντεταγμένες:

Θέσεις στοιχείων κεραιάς			
Στοιχείο	Τετμημένη x(cm)	Τεταγμένη y(cm)	Ύψος z(cm)
Ενεργό στοιχείο	0	0	0.3
Παρασιτικό στοιχείο 1	0	3.05	0.3
Παρασιτικό στοιχείο 2	2.6413	1.525	0.3
Παρασιτικό στοιχείο 3	2.6413	-1.525	0.3
Παρασιτικό στοιχείο 4	0	-3.05	0.3
Παρασιτικό στοιχείο 5	-2.6413	-1.525	0.3

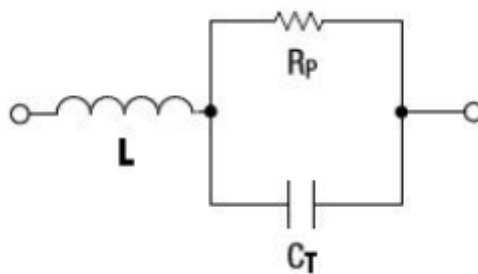
Παρασιτικό στοιχείο 6	-2.6413	1.525	0.3
-----------------------	---------	-------	-----

Το ενεργό στοιχείο, το οποίο τοποθετείται στο κέντρο της κυκλικής τομής του κυλίνδρου, είναι το μόνο που θα τροφοδοτηθεί, όντας η μόνη ενεργή θύρα της στοιχειοκεραίας, ενώ στα υπόλοιπα στοιχεία είτε θα συνδέσουμε διόδους pin με λειτουργία διακόπτη είτε θα μοντελοποιήσουμε τη δίοδο pin μέσω της τοποθέτησης μίας αντίδρασης σε σειρά. Η βέλτιστη επιλογή με βάση τη λειτουργία και τις δυνατότητες του προγράμματος CST είναι η μοντελοποίηση της δίοδου κυκλωματικά.

Σε γενικές γραμμές, η χρήση της δίοδου pin ως διακοπτικό στοιχείο για τον έλεγχο σημάτων στις ραδιοσυχνότητες και στις μικροκυματικές συχνότητες είναι πολύ συχνή. Στα σχήματα παρακάτω παραθέτονται τα ισοδύναμα κυκλώματα για τις δύο καταστάσεις της διακοπτικής λειτουργίας της δίοδου. Για την κατάσταση ON (διέλευση ρεύματος) έχουμε μια αυτεπαγωγή L σε σειρά με μια αντίσταση R_S , ενώ για την κατάσταση OFF έχουμε μία αυτεπαγωγή L σε σειρά με τον παράλληλο συνδυασμό μιας αντίστασης R_P και ενός πυκνωτή C_T .



4.14 Ισοδύναμο κύκλωμα δίοδου – κατάσταση ON



4.15 Ισοδύναμο κύκλωμα δίοδου – κατάσταση OFF

Η επιλογή των στοιχείων στα οποία θα τοποθετηθούν κλειστοί ή ανοιχτοί διακόπτες θα γίνει τυχαία. Ωστόσο, θα παρουσιαστούν δύο περιπτώσεις – παραδείγματα εφαρμογής που αποτυπώνουν τις αλλαγές στα χαρακτηριστικά ακτινοβολίας ανάλογα με την λειτουργία του διακόπτη σε κάθε παρασιτικό στοιχείο. Στον παρακάτω πίνακα

παρουσιάζονται οι τιμές των κυκλωματικών στοιχείων για κάθε μία από τις καταστάσεις του διακόπτη. Παρατηρούμε ότι η τιμή της αντίστασης ρυθμίζει τη διακοπτική λειτουργία της διόδου pin, δηλαδή για πολύ μικρή τιμή της αντίστασης έχουμε ανοιχτό διακόπτη, ενώ για πολύ μεγάλη τιμή της αντίστασης κλειστό διακόπτη.

Τιμές κυκλωματικών στοιχείων			
Ανοιχτός διακόπτης (ON)	$R_S = 0.9\Omega$	$L = 0.45\text{nH}$	Z_{on} $= 0.9 + j6.92 \Omega$
Κλειστός διακόπτης (OFF)	$R_P = 1\text{K}\Omega$	$L = 0.45\text{nH}$ $C_T = 0.3\text{pF}$	Z_{off} $= 44.8 - j199.9 \Omega$

Ανάλογα με την κατάσταση που επιθυμούμε να επιτύχουμε, εισάγουμε τις παραπάνω τιμές στα κυκλωματικά στοιχεία της διόδου. Τα δύο σενάρια που θα εξεταστούν είναι τα παρακάτω:

Παρασιτικό στοιχείο	Σενάριο 1	Σενάριο 2
1	OFF	ON
2	OFF	OFF
3	ON	OFF
4	ON	OFF
5	OFF	ON
6	OFF	ON

Από τη στιγμή που θα συνδεθούν στο κύκλωμα και οι διακόπτες, έχει ολοκληρωθεί η διαδικασία σχεδίασης και απομένει η προσομοίωση.

4.2.2 Προσομοίωση και εξαγόμενα αποτελέσματα

Από την προσομοίωση αναμένουμε να εξαχθούν χρήσιμα συμπεράσματα σχετικά με τα χαρακτηριστικά ακτινοβολίας της κεραίας στο μακρινό πεδίο. Τα διαγράμματα που θα εξαχθούν είναι:

- Τρισδιάστατο διάγραμμα ακτινοβολίας

- Διδιάστατα διαγράμματα ακτινοβολίας σε κάθε διεύθυνση
- Διάγραμμα συντελεστή ανάκλασης

Για την διεξαγωγή της προσομοίωσης απαιτούνται συγκεκριμένες ρυθμίσεις από το πρόγραμμα σχετικά με την ακρίβεια και τον χώρο προσομοίωσης, την συχνότητα λειτουργίας, την περιοχή παρατήρησης της ακτινοβολίας. Θα επιλέξουμε να μελετήσουμε το μακρινό πεδίο ακτινοβολίας, το οποίο παρέχει και τις περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τα χαρακτηριστικά ακτινοβολίας της κεραιάς. Οι υπόλοιπες ρυθμίσεις που απαιτούνται επιλέγονται με βάση την διευκόλυνση διεξαγωγής της προσομοίωσης. Υπάρχουν και πρόσθετες ρυθμίσεις σχετικά με τις μηχανικές αντοχές της κατασκευής, οι οποίες δεν θα μας απασχολήσουν.

Η προσομοίωση θέτει εκ νέου τους στόχους της παρούσας πτυχιακής, που δεν είναι άλλοι από την μελέτη και την κατανόηση του τρόπου λειτουργίας της κεραιάς ESPAR και των πλεονεκτημάτων της στην προσπάθεια ανάπτυξης και εξέλιξης των σύγχρονων δικτύων επικοινωνίας.

Πιο συγκεκριμένα, οι βασικοί στόχοι που θέλουμε να επιτευχθούν με την διεξαγωγή της προσομοίωσης είναι:

- Η παρατήρηση των χαρακτηριστικών ακτινοβολίας της υπό εξέταση κεραιάς ESPAR
- Η σύγκριση και η κριτική ανασκόπηση του θεωρητικού μοντέλου της κεραιάς
- Η διαπίστωση εκπλήρωσης ή όχι των βασικών επιδιώξεων της κεραιάς για την κάλυψη συγκεκριμένων αναγκών του δικτύου
- Η διερώτηση σχετικά με τους τρόπους βελτίωσης της κατασκευής ή διαφοροποίησης της τεχνικής και προσέγγισης κατασκευής

Πιο σημαντικός, βέβαια, κρίνεται ο στόχος κατανόησης των δυσκολιών που ενέχει η σχεδίαση μιας κεραιάς. Η σχεδίαση πρέπει να είναι αποτελεσματική, η τελική κεραιά να επιτυγχάνει τους βασικούς στόχους οι οποίοι ετέθησαν στην αρχή της σχεδίασης σε ικανοποιητικό βαθμό. Αυτή η διαδικασία είναι επίπονη, αλλά ιδιαίτερα εποικοδομητική όσον αφορά την κατανόηση της λειτουργίας της ίδιας της κεραιάς.

5. Η ΚΕΡΑΙΑ ESPAR ΣΤΟ CST

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζουμε τη σχεδίαση της κεραίας ESPAR στο σχεδιαστικό περιβάλλον του CST και τα εξαγόμενα αποτελέσματα. Η διαδικασία σχεδίασης ακολουθεί τα βήματα που παρατέθηκαν στο τέταρτο κεφάλαιο, ενώ θα παραθέσουμε συγκριτικά χαρακτηριστικά δύο διαφορετικών σχεδιασμών της ίδιας κεραίας, δηλαδή μιας στοιχειοκεραίας 7 μονοπόλων με τις κατασκευαστικές προδιαγραφές που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 4 και μιας προσπάθειας βελτίωσης των χαρακτηριστικών της κεραίας

5.1 Στοιχειοκεραία ESPAR 7 μονοπόλων

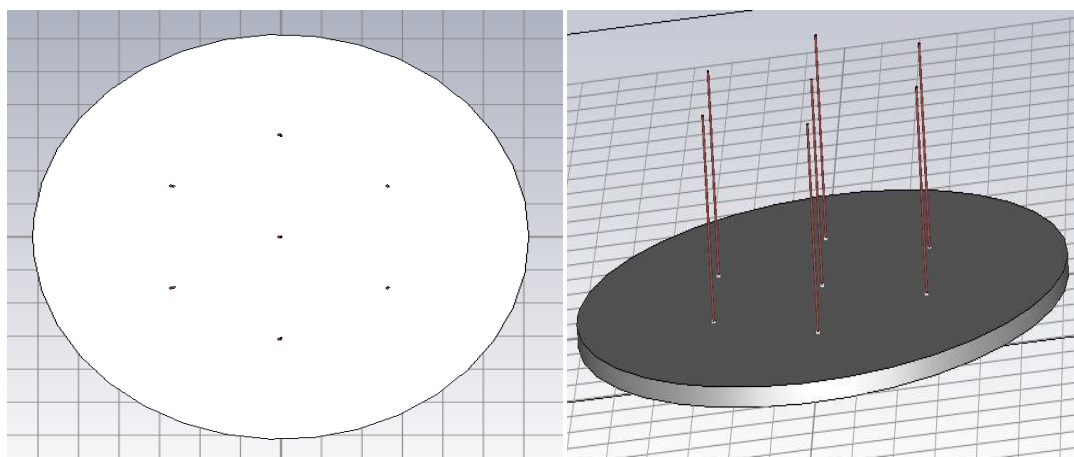
Για τον σχεδιασμό της στοιχειοκεραίας μας θα χρησιμοποιηθούν 7 μονόπολα, οι θέσεις των οποίων, καθώς και τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της κεραίας, παρατίθενται εκ νέου για ευκολία:

Θέσεις στοιχείων κεραίας			
Στοιχείο	Τετμημένη x(cm)	Τεταγμένη y(cm)	Ύψος z(cm)
Ενεργό στοιχείο	0	0	0.3
Παρασιτικό στοιχείο 1	0	3.05	0.3
Παρασιτικό στοιχείο 2	2.6413	1.525	0.3
Παρασιτικό στοιχείο 3	2.6413	-1.525	0.3
Παρασιτικό στοιχείο 4	0	-3.05	0.3
Παρασιτικό στοιχείο 5	-2.6413	-1.525	0.3
Παρασιτικό στοιχείο 6	-2.6413	1.525	0.3

Σχεδιαστικές προδιαγραφές	
Μήκος διπόλου/μονοπόλου	3.05cm
Διάμετρος διπόλου/μονοπόλου	0.061cm
Ακτίνα κυλινδρικού υποστρώματος	6.1cm

Πάχος υποστρώματος	3mm
Συχνότητα λειτουργίας	2.45 GHz
Υλικό υποστρώματος	Αλουμίνιο (Al)
Απόσταση στοιχείων	$\lambda/4 = 3.05\text{cm}$
Υλικό μονοπόλου	Χαλκός (Cu)

Η τελική μορφή της κεραιάς φαίνεται στην εικόνα 4.1.



5.1 Τελική μορφή στοιχειοκεραίας ESPAR 7 μονοπόλων

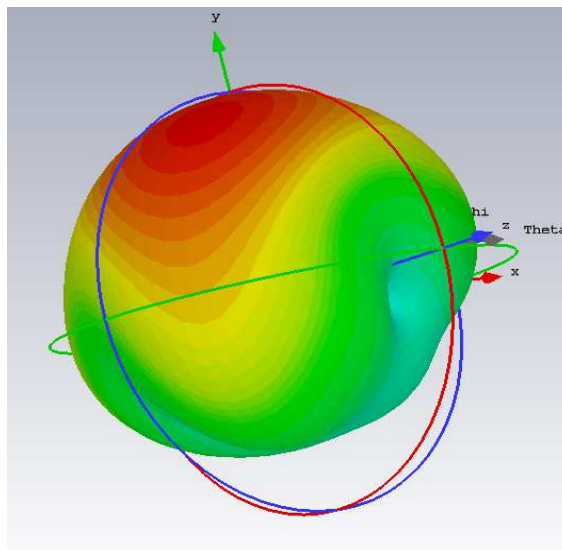
Επιαναλαμβάνουμε ότι για κάθε μία από τις δύο στοιχειοκεραίες που θα παρουσιάσουμε θα διεξάγουμε δύο προσομοιώσεις για δύο διαφορετικές καταστάσεις ενεργοποίησης των παρασιτικών στοιχείων, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

Παρασιτικό στοιχείο	Σενάριο 1	Σενάριο 2
1	OFF	ON
2	OFF	OFF
3	ON	OFF
4	ON	OFF
5	OFF	ON
6	OFF	ON

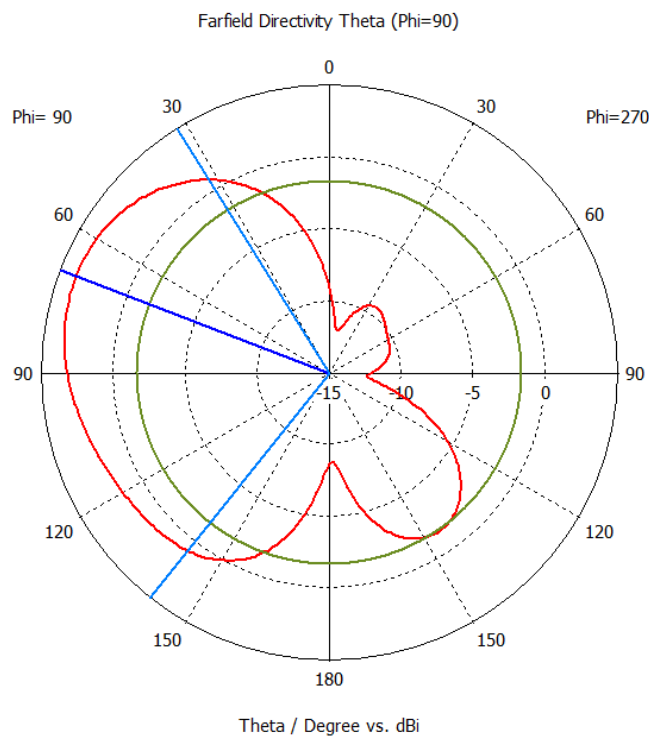
Τα χαρακτηριστικά ακτινοβολίας που αναμένουμε από την παραπάνω κεραία είναι κατευθυντικά προς διεύθυνση αντίστοιχη με τα παρασιτικά στοιχεία που ενεργοποιούνται. Επίσης, αναμένουμε ένα σημαντικό ποσοστό της ισχύος που ακτινοβολείται προς τα πίσω να ανακλάται στο κυλινδρικό υπόστρωμα αλουμινίου με αποτέλεσμα την ενίσχυση της πρόσθιας ακτινοβολίας.

5.1.1 Προσομοίωση 1 – χαρακτηριστικά ακτινοβολίας

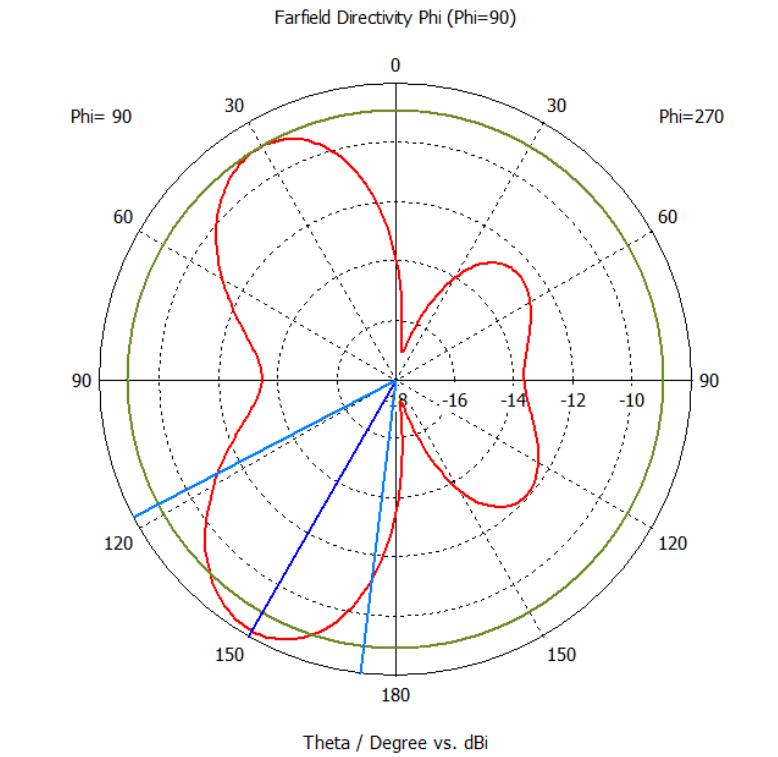
Τα χαρακτηριστικά ακτινοβολίας της κεραίας φαίνονται στα παρακάτω διαγράμματα:



5.2 Τρισδιάστατο διάγραμμα ακτινοβολίας

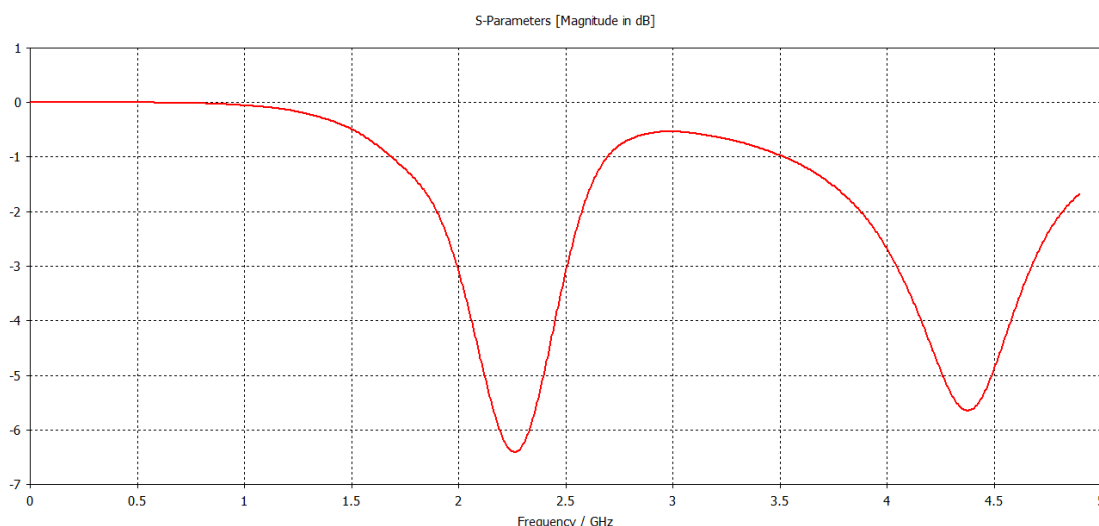


5.3 Πολικό διάγραμμα στο θ επίπεδο



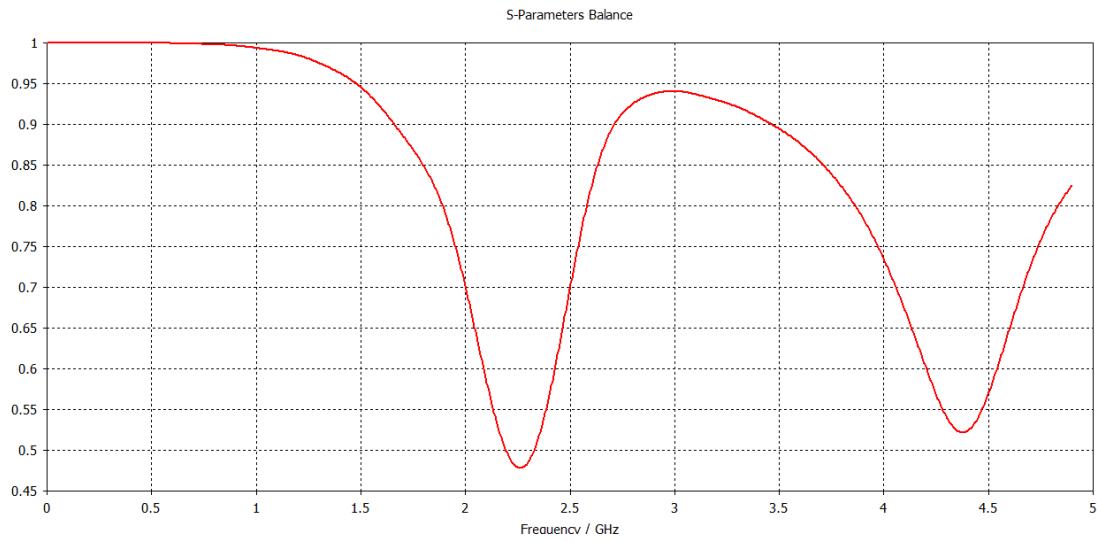
5.4 Πολικό διάγραμμα στο ϕ επίπεδο

Από τα παραπάνω διαγράμματα αντιλαμβανόμαστε τη λειτουργία των εν ενεργεία παρασιτικών στοιχείων. Δρουν ως ανακλαστήρες που ενισχύουν την ακτινοβολία προς την διεύθυνση στην οποία βαίνουν. Συγκεκριμένα, η κεραία μας επιτυγχάνει μέγιστο 4.750 dB σε διεύθυνση $\theta=69^\circ$. Ενδεικτική για την απόδοση της κεραίας είναι οι συντελεστές απόδοσης ακτινοβολίας και ολικής απόδοσης της κεραίας, που λαμβάνουν τιμές -0.7547 dB (0.849) και -2.952 dB (0.5) αντίστοιχα. Παρατηρούμε ότι, ενώ επιτυγχάνεται ικανοποιητική απόδοση ακτινοβολίας, η ολική απόδοση της κεραίας είναι χαμηλή. Σ' αυτό το αποτέλεσμα συνηγορεί και η μεταβολή του συντελεστή ανάκλασης που φαίνεται στο ακόλουθο διάγραμμα.



5.5 Διάγραμμα συντελεστή ανάκλασης

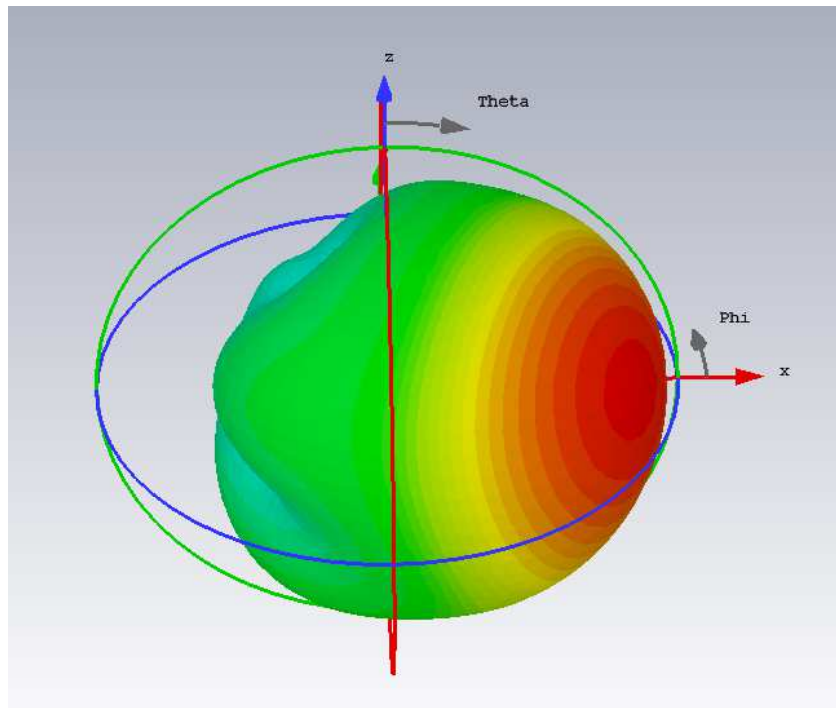
Ο συντελεστής ανάκλασης στη συχνότητα λειτουργίας είναι περίπου ίσος με -4.5 dB (0.6), γεγονός που φανερώνει ένα ιδιαίτερα υψηλό ποσοστό ανάκλασης στη συχνότητα συντονισμού. Αυτό συμβάλλει στην υποβάθμιση της απόδοσης της κεραιάς στη συχνότητα λειτουργίας, ενώ παράλληλα αποτελεί και ένα ζήτημα που πρέπει να τεθεί προς βελτίωση βάσει αλλαγής των σχεδιαστικών προδιαγραφών. Η προσέγγιση όσο το δυνατόν μικρότερου συντελεστή ανάκλασης αποτελεί έναν καίριο σχεδιαστικό στόχο, τόσο την βελτίωση της αποδοτικότητας της κεραιάς, όσο για την βελτίωση του εύρους ζώνης στην οποία η λειτουργία της κρίνεται ικανοποιητική. Ακολουθεί ένα διάγραμμα που απεικονίζει τη μεταβολή του συντελεστή ανάκλασης συναρτήσει της συχνότητας σε καθαρούς αριθμούς για ευκολότερη κατανόηση.



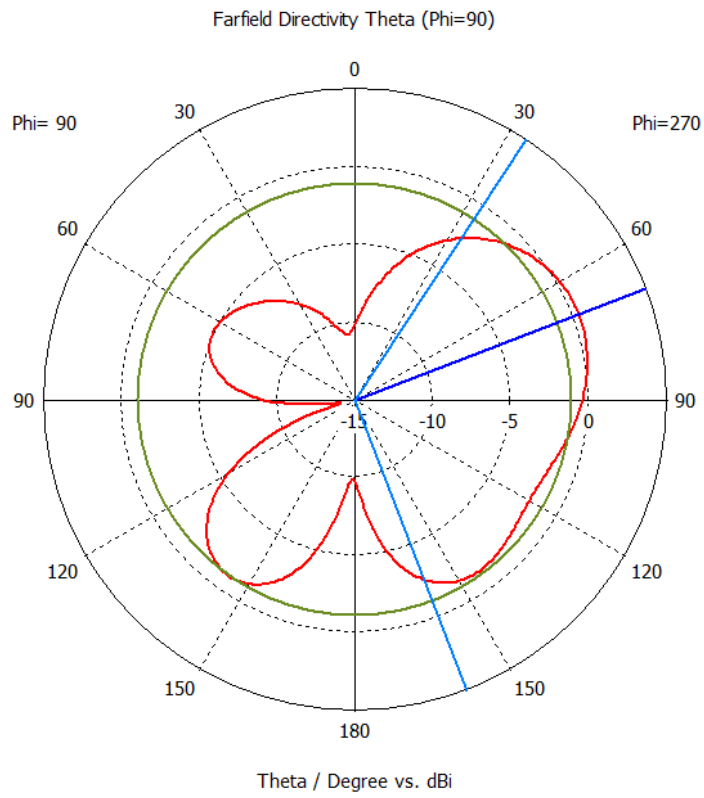
5.6 Συντελεστής ανάκλασης

5.1.2 Προσομοίωση 2 – χαρακτηριστικά ακτινοβολίας

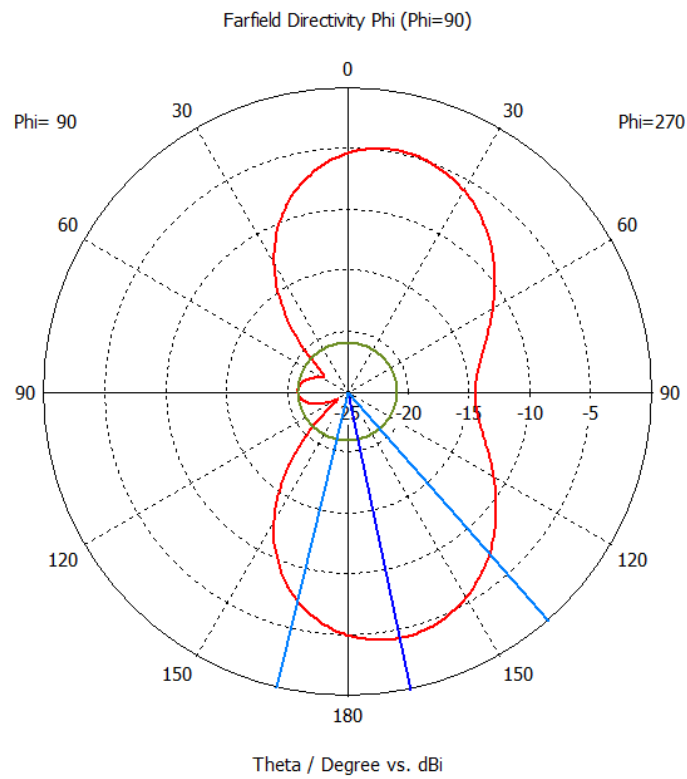
Τα χαρακτηριστικά ακτινοβολίας της κεραιάς απεικονίζονται στα παρακάτω διαγράμματα:



5.7 Τρισδιάστατο διάγραμμα ακτινοβολίας

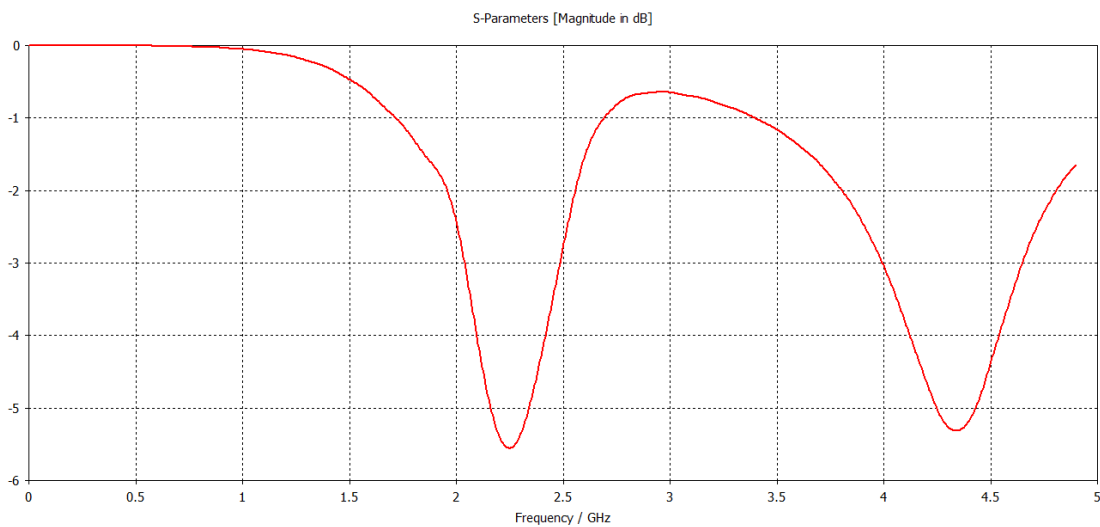


5.8 Πολικό διάγραμμα στο θ επίπεδο



5.9 Πολικό διάγραμμα στο ϕ επίπεδο

Το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό που εξάγουμε από τα παραπάνω διαγράμματα είναι η εξακρίβωση του ρόλου των παρασιτικών στοιχείων στη λειτουργία της κεραίας. Με ενεργοποιημένα τα παρασιτικά στοιχεία 1, 5 και 6, η ακτινοβολία κατευθύνεται προς τη διεύθυνση 67° με μέγιστο 7.360 dB. Η ενεργοποίηση ενός επιπλέον στοιχείου φαίνεται να επιδρά στην ενίσχυση της ακτινοβολίας προς συγκεκριμένη διεύθυνση, ενώ οι τιμές των συντελεστών απόδοσης ακτινοβολίας και ολικής απόδοσης είναι -0.7466 dB (0.842) και -3.299 dB (0.46) αντίστοιχα. Παρατηρούμε δηλαδή ότι η απόδοση της κεραίας περίπου στο ίδιο επίπεδο με σχετική υποβάθμιση, γεγονός που μας προϋδεάζει και για τις τιμές του συντελεστή ανάκλασης.



5.10 Διάγραμμα συντελεστή ανάκλασης

Πράγματι, από το διάγραμμα φαίνεται ότι επιτυγχάνεται χειρότερος συντελεστής ανάκλασης με τιμή περίπου ίση με -3.8 dB (0.6456). Αυτή τη κατάσταση θα προσπαθήσουμε να αντιστρέψουμε με έναν ανασχεδιασμό της κεραίας, ο οποίος θα έχει στόχο την εξομάλυνση φαινομένων αμοιβαίας σύζευξης μεταξύ των μονοπόλων, αλλά και την ενίσχυση της δραστηριότητας των διακοπτικών στοιχείων που συνδέονται στα παρασιτικά μονόπολα και μοντελοποιούνται με κυκλωματικές διατάξεις.

5.2 Ανασχεδιασμός της κεραίας ESPAR

Η ανασχεδιασμένη στοιχειοκεραία θα έχει παρόμοια μορφή με την προηγούμενη, με μόνη εμφανή αλλαγή την αύξηση της απόστασης μεταξύ των στοιχείων και την μείωση του

μήκους των παρασιτικών στοιχείων. Συγκεκριμένα, η στοιχειοκεραία θα έχει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

Θέσεις στοιχείων κεραίας

Στοιχείο	Τετμημένη x(cm)	Τεταγμένη y(cm)	Ύψος z(cm)
Ενεργό στοιχείο	0	0	0.3
Παρασιτικό στοιχείο 1	0	4.08	0.3
Παρασιτικό στοιχείο 2	3.5334	2.04	0.3
Παρασιτικό στοιχείο 3	3.5334	-2.04	0.3
Παρασιτικό στοιχείο 4	0	-4.08	0.3
Παρασιτικό στοιχείο 5	-3.5334	-2.04	0.3
Παρασιτικό στοιχείο 6	-3.5334	2.04	0.3

Σχεδιαστικές προδιαγραφές

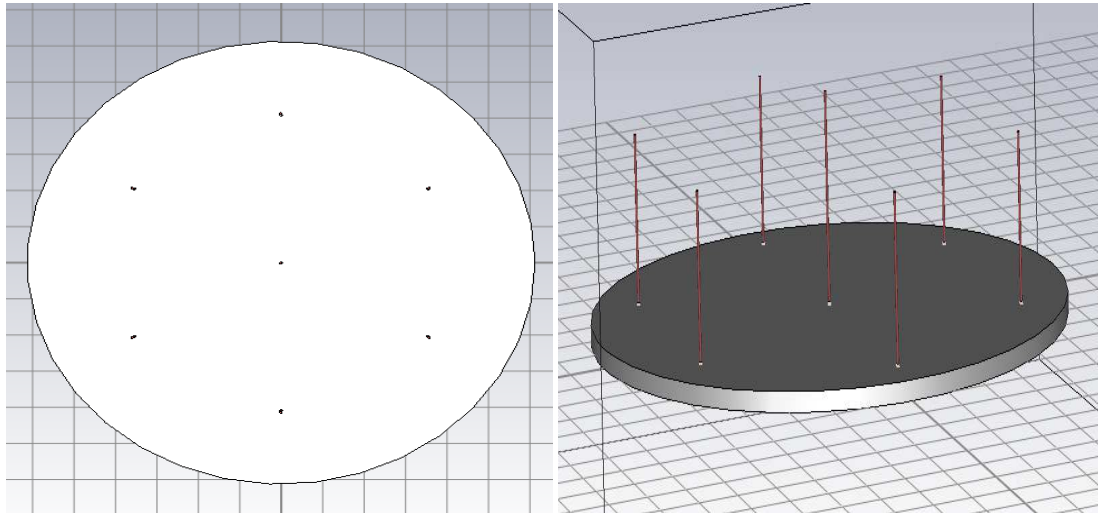
Μήκος ενεργού διπόλου/μονοπόλου	3.05cm
Μήκος παρασιτικών στοιχείων	$\lambda/5=2.448$
Διάμετρος διπόλου/μονοπόλου	0.061cm
Ακτίνα κυλινδρικού υποστρώματος	6.1cm
Πάχος υποστρώματος	3mm
Συχνότητα λειτουργίας	2.45 GHz
Υλικό υποστρώματος	Αλουμίνιο (Al)
Απόσταση στοιχείων	$\lambda/3 = 4.08\text{cm}$
Υλικό μονοπόλου	Χαλκός (Cu)

Στην κεραία γίνεται ακόμα μια λιγότερο προφανής αλλαγή. Συγκεκριμένα, αυξάνουμε σε σημαντικό βαθμό (από 44.8Ω σε $1k\Omega$) το πραγματικό μέρος της σύνθετης αντίστασης στην περίπτωση ενός ανενεργού παρασιτικού στοιχείου, ενώ στην περίπτωση των ενεργοποιημένων παρασιτικών στοιχείων εισάγουμε σύνθετη αντίσταση διακόπτη ίση με:

$$Z_{0n} = 0.3 + j7.6969 \Omega$$

Επίσης, προχωρούμε στην αύξηση της αντίστασης στην είσοδο της διέγερσης από 50Ω σε 100Ω.

Η τελική μορφή της κεραιάς φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.

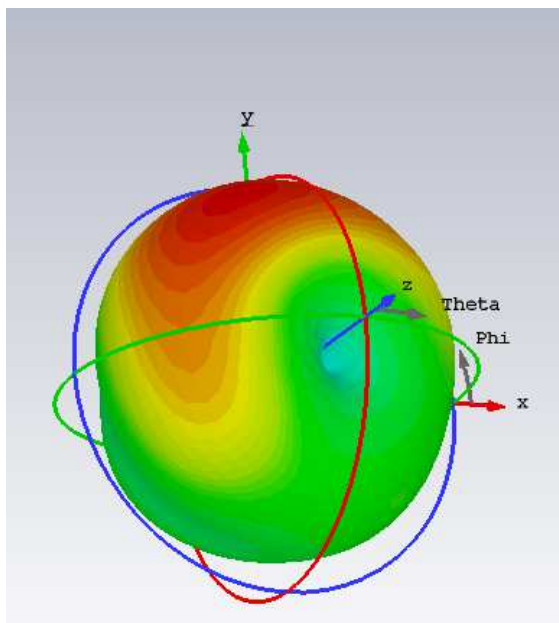


5.11 Ανασχεδιασμένη κεραία ESPAR

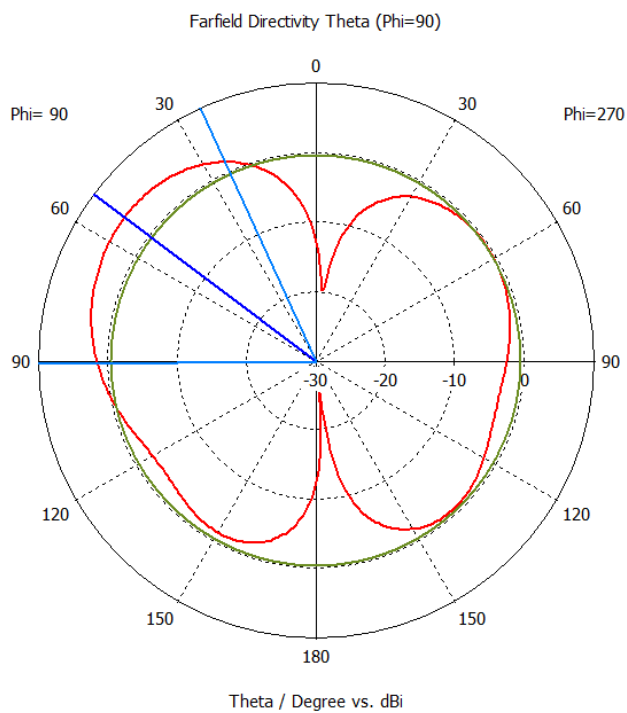
Ακολουθούν οι προσομοιώσεις για τις δύο διαφορετικές καταστάσεις ενεργοποίησης παρασιτικών στοιχείων. Από τα αποτελέσματα αναμένουμε να παρατηρήσουμε αν πράγματι βελτιώνεται η αποδοτικότητα της κεραιάς ή ακόμα αν έχουμε καλύτερα χαρακτηριστικά ακτινοβολίας.

5.2.1 Προσομοίωση 1 – χαρακτηριστικά ακτινοβολίας

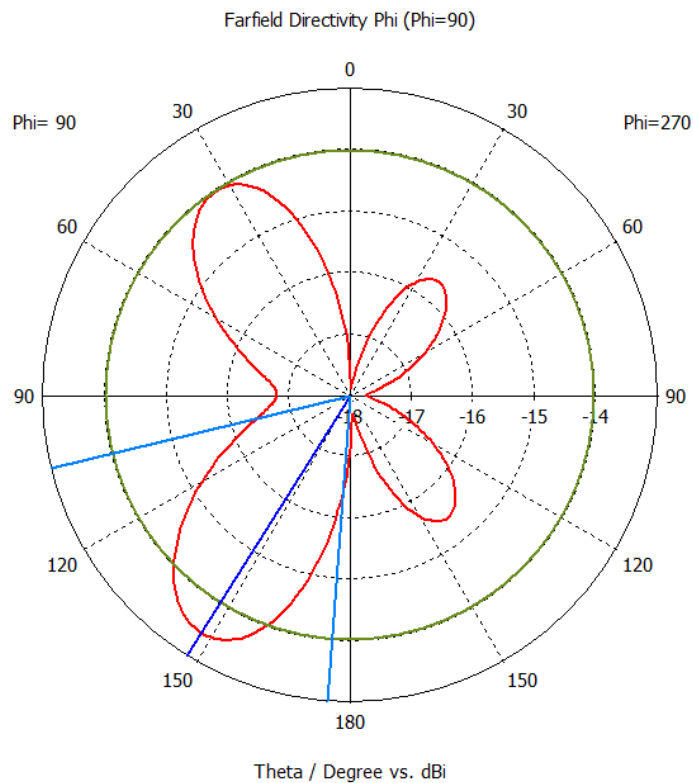
Τα εξαγόμενα χαρακτηριστικά ακτινοβολίας φαίνονται στα παρακάτω διαγράμματα:



5.12 Τρισδιάστατο διάγραμμα ακτινοβολίας

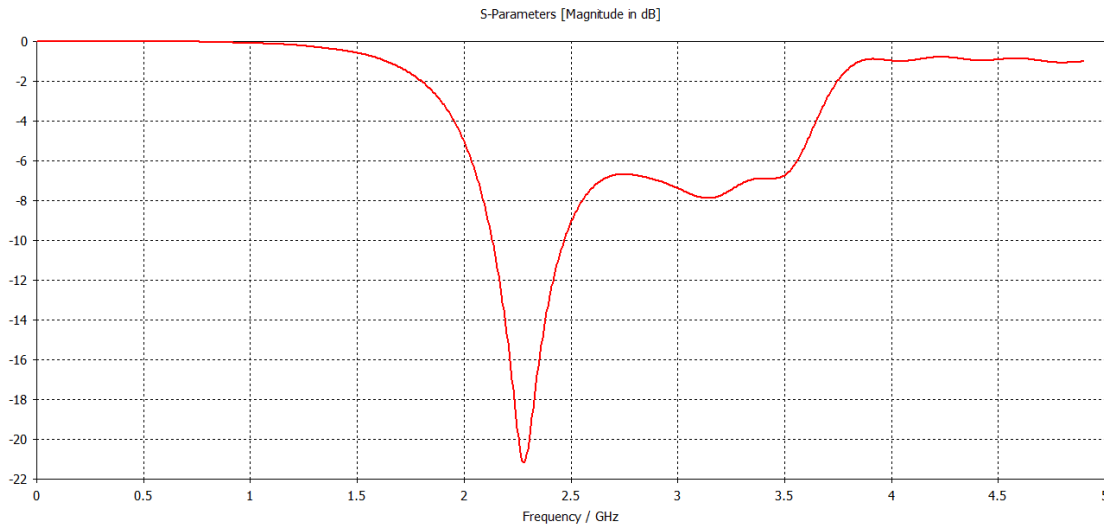


5.13 Πολικό διάγραμμα στο θ επίπεδο



5.14 Πολικό διάγραμμα στο ϕ επίπεδο

Με τις αλλαγές στις οποίες προχωρήσαμε η κεραία συμπεριφέρεται επίσης κατευθυντικά προς την ίδια διεύθυνση που ορίζουν τα ενεργοποιημένα παρασιτικά στοιχεία (53°), αλλά με βελτιωμένη στροφή στο θ επίπεδο και επίσης βελτιωμένη τιμή κατευθυντικότητας (4.921 dB). Αυτές οι βελτιώσεις είναι λιγότερο αισθητές από τις βελτιώσεις που απεικονίζονται στους συντελεστές απόδοσης. Συγκεκριμένα, ο συντελεστής απόδοσης ακτινοβολίας είναι ίσος με -0.07508 dB (0.9817), ενώ ο συντελεστής ολικής απόδοσης της κεραίας -0.4681 dB (0.8978). Οι τιμές αυτές υποδεικνύουν σαφή βελτίωση ως προς την αποδοτικότητα της κεραίας, γεγονός που απεικονίζεται και στις τιμές που λαμβάνει ο συντελεστής ανάκλασης, όπως φανερώνει το παρακάτω διάγραμμα.

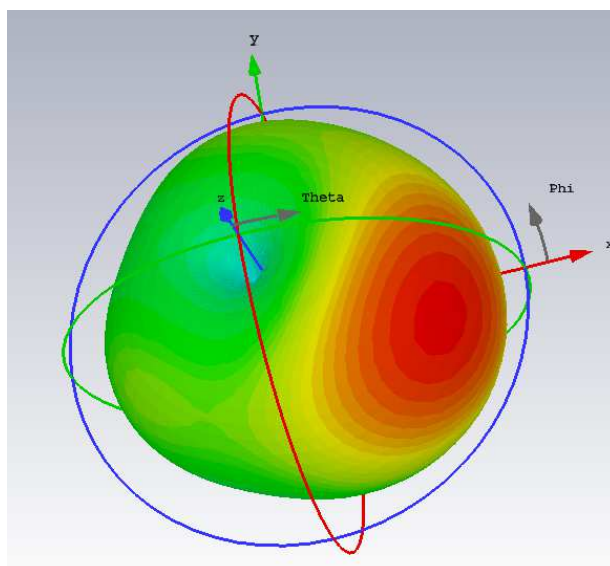


5.15 Διάγραμμα συντελεστή ανάκλασης

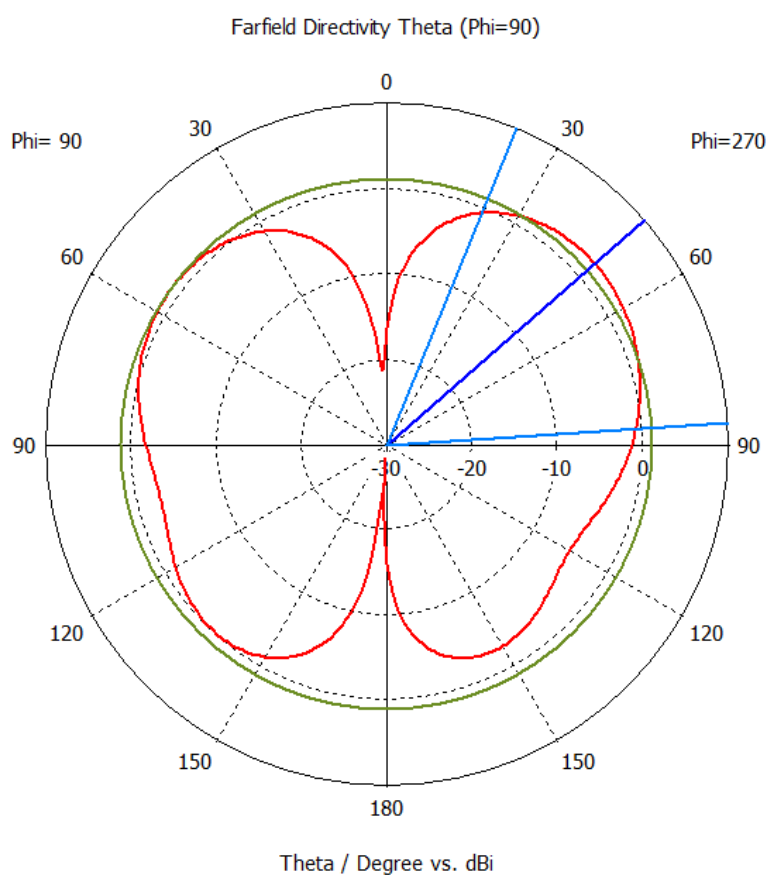
Η μεταβολή των συντελεστών ανάκλασης συναρτήσει της συχνότητας φανερώνει δύο σημαντικά στοιχεία: τη βελτίωση της τιμής του συντελεστή ανάκλασης στη συχνότητα λειτουργίας (0.295), αλλά και την δυνατότητα επιπλέον βελτίωσης της κεραίας, ώστε να μπορεί να εκπέμπει ικανοποιητικά σε μεγαλύτερο εύρος ζώνης συχνοτήτων. Ο βασικός μας στόχος, ωστόσο, που ήταν η επιπλέον μείωση του συντελεστή ανάκλασης, επιτεύχθηκε, χωρίς ωστόσο να προσεγγιστούν αρκετά χαμηλότερες τιμές που επιτρέπουν την υπόθεση ικανοποιητικού συντονισμού και προσαρμογής.

5.2.2 Προσομοίωση 2 – χαρακτηριστικά ακτινοβολίας

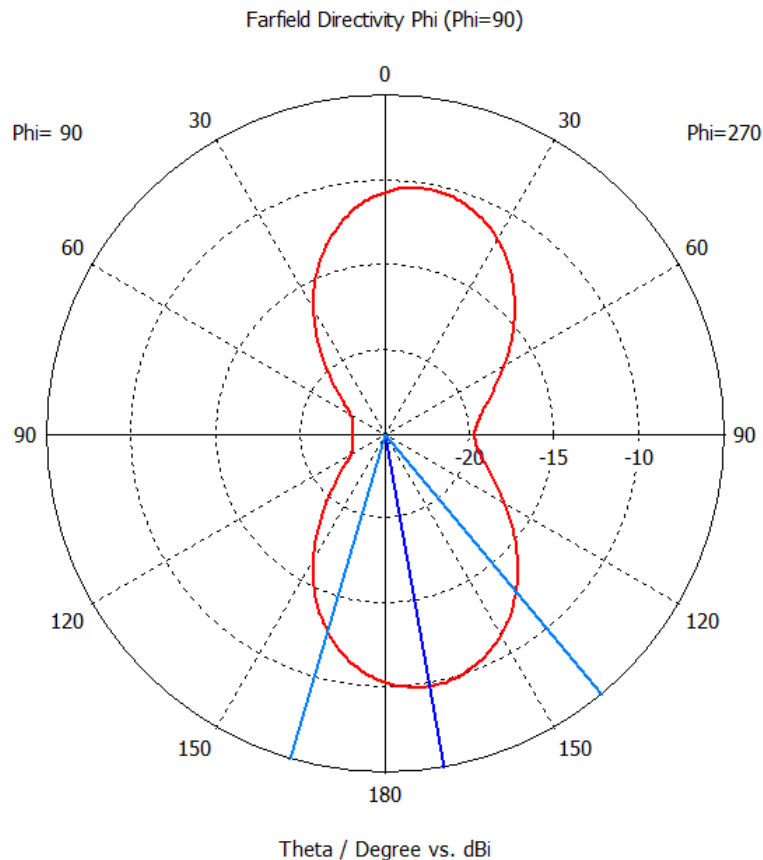
Τα χαρακτηριστικά ακτινοβολίας της τελευταίας προσομοίωσης παρουσιάζεται στα παρακάτω διαγράμματα:



5.16 Τρισδιάστατο διάγραμμα ακτινοβολίας

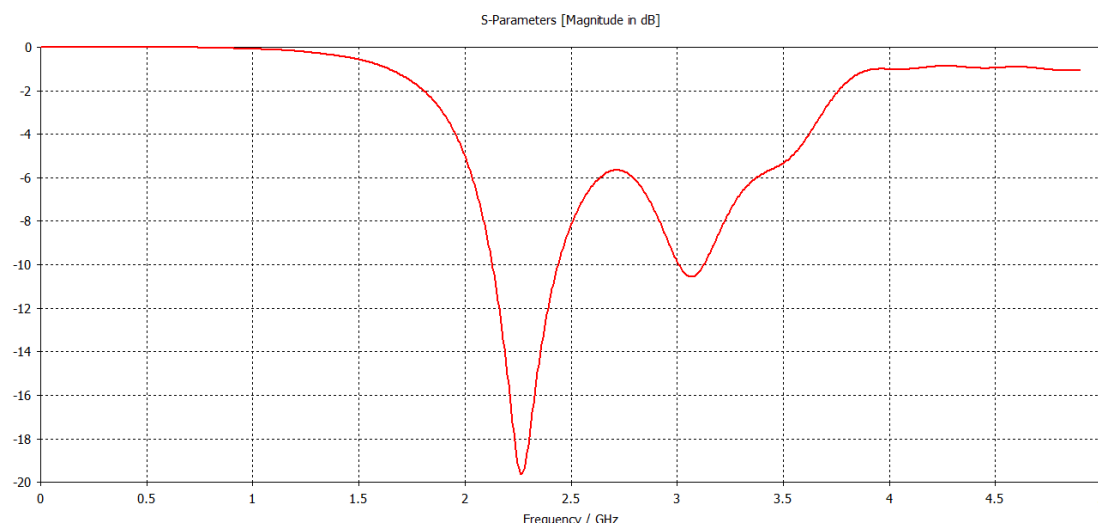


5.17 Πολικό διάγραμμα στο θ επίπεδο



5.18 Πολικό διάγραμμα στο ϕ επίπεδο

Τα παραπάνω διαγράμματα δεν υποδεικνύουν σημαντικές αλλαγές ως προς τα χαρακτηριστικά ακτινοβολίας της κεραιάς. Η κατευθυντικότητα μειώνεται στα 6.169 dB, ενώ το μέγιστο επιτυγχάνεται σε διεύθυνση 49° . Η σημαντική βελτίωση επιτυγχάνεται πάλι στους συντελεστές που μας δίνουν μια εικόνα για την απόδοση της κεραιάς. Ο συντελεστής απόδοσης ακτινοβολίας είναι -0.07145 dB (0.9836) και ο ολικός συντελεστής απόδοσης είναι -0.5738 dB (0.8762). Η απόδοση της κεραιάς βελτιώνεται σημαντικά σύμφωνα με τους παραπάνω δείκτες. Διαπιστώνουμε, ωστόσο, ότι η ενεργοποίηση ενός επιπλέον παρασιτικού στοιχείου δρα μάλλον αρνητικά ως προς την απόδοση, καθώς και στις δύο περιπτώσεις κεραιών που μελετήσαμε, παρατηρείται μείωση των αντίστοιχων συντελεστών, όπως και των συντελεστών ανάκλασης, όπως θα φανεί με το επόμενο διάγραμμα.



5.19 Διάγραμμα συντελεστή ανάκλασης

Η εικόνα που μας δίνει το παραπάνω διάγραμμα είναι μια σχετική αύξηση των συντελεστών ανάκλασης. Συγκεκριμένα, στην συχνότητα λειτουργίας ο συντελεστής ανάκλασης αυξάνεται στην τιμή 0.33. Εντούτοις, οι μειώσεις που παρατηρούνται στην απόδοση δεν κρίνονται σημαντικές, καθώς ο ρόλος ενεργοποίησης επιπλέον παρασιτικών στοιχείων είναι να βελτιώνει την κατευθυντικότητα της κεραίας προς συγκεκριμένη διεύθυνση.

5.3 Σχολιασμός και συσχέτιση με τη θεωρία

Η διεξαγωγή των προσομοιώσεων υπήρξε ιδιαίτερα χρήσιμη για δύο κυρίως λόγους:

- Την εποπτική παρατήρηση των τρόπων με τους οποίους ακτινοβολεί μία κεραία ESPAR της σχεδιαστικής μορφής που επιλέξαμε
- Την κατανόηση της θεωρίας που παραθέσαμε σχετικά με την λειτουργία της κεραίας, αλλά και της προσπάθειας προσέγγισης βέλτιστων λύσεων στην κατεύθυνση του σκοπού κατασκευής της κεραίας.

Από τις προσομοιώσεις εξάγουμε σε γενικές γραμμές το συμπέρασμα ότι ο σκοπός της κεραίας επιτυγχάνεται, ωστόσο εγείρονται σαφείς προβληματισμοί ως προς την αποδοτικότητα της ή ακόμα και τη χρήση της σε ευρυζωνικά δίκτυα ή άλλες εφαρμογές. Τα πειραματικά αποτελέσματα ενέχουν τον κίνδυνο του ατελούς προγραμματιστικού σχεδιασμού και των προσεγγιστικών υποθέσεων για την τελική διεξαγωγή των προσομοιώσεων.

Η βασική ικανότητα της κεραιάς ESPAR αναδείχθηκε μέσα από τα πειράματα που διεξήχθησαν. Ανάλογα με τα παρασιτικά στοιχεία που επιλέγονται να ενεργοποιηθούν (άρα να παίξουν το ρόλο παρασιτικού στοιχείου στην πράξη), επιτυγχάνεται και αντίστοιχη στροφή στα χαρακτηριστικά ακτινοβολίας. Η κεραιά ESPAR μπορεί να εκπέμψει ή να λάβει σήμα από οποιοδήποτε σημείο του χώρου, ανάλογα με τις απαιτήσεις, απλώς και μόνο ρυθμίζοντας κατάλληλα τη λειτουργία των παρασιτικών στοιχείων.

Η ρύθμιση των παρασιτικών στοιχείων μπορεί να γίνει με κατάλληλο προγραμματισμό και αντίστοιχη προσάρτηση ηλεκτρονικού υλικού, με σκοπό η διάταξη να στρέφει τα χαρακτηριστικά της σύμφωνα με συγκεκριμένες συνθήκες. Ο απομακρυσμένος έλεγχος της ακτινοβολίας της κεραιάς αποτελεί ένα ακόμα από τα πολύ βασικά της πλεονεκτήματα.

Το πιο σημαντικό στοιχείο, όμως, της διαδικασίας των προσομοιώσεων είναι ότι μας έδωσε μια σαφέστερη εικόνα του τρόπου λειτουργίας της συγκεκριμένης κεραιάς, επιβεβαιώνοντας την εκπλήρωση του βασικού σκοπού της, ενώ παράλληλα μας προβλημάτισε σχετικά με τη διαδικασία κατασκευής και σχεδίασης μίας κεραιάς προκειμένου να επιτευχθούν συγκεκριμένοι στόχοι εκπομπής ή λήψης. Επίσης, μας γέννησε ερωτήματα που αφορούν διαφορετικούς σχεδιασμούς ESPAR κεραιών, όπως υλοποιήσεις ως κεραιά patch (μικροταινία), υλοποιήσεις για μεγαλύτερες συχνότητες και με μικρότερα χρησιμοποιούμενα στοιχεία κ.τ.λ..

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία είχε στόχο την παρουσίαση της κεραίας ESPAR, ενός σύγχρονου σχεδιασμού κεραίας που έχει στόχο τη στροφή των χαρακτηριστικών ακτινοβολίας ανάλογα με τις απαιτήσεις που καθορίζει ο χρήστης. Αυτό επιτυγχάνεται με την ενεργοποίηση και απενεργοποίηση ενός αριθμού παρασιτικών στοιχείων που περιβάλλουν το τροφοδοτούμενο στοιχείο, τα οποία ελέγχονται με rpi διόδους με διακοπτική λειτουργία.

Στα πρώτα κεφάλαια επιχειρήσαμε να παρουσιάσουμε την υπάρχουσα τεχνολογία έξυπνων κεραιών, στην οποία περιλαμβάνεται η τεχνολογία κεραιών ESPAR. Στην συνέχεια, παραθέσαμε τα βασικά χαρακτηριστικά που μας επιτρέπουν να ελέγξουμε την ποιότητα ακτινοβολίας μιας τυχούσας κεραίας, ενώ αναλύσαμε μια συγκεκριμένη σχεδίαση κεραίας ESPAR 7 μονοπόλων, ανάλυση στην οποία βασιστήκαμε για την προγραμματιστική σχεδίαση και την διεξαγωγή προσομοιώσεων.

Το πρόγραμμα σχεδίασης και επίλυσης ηλεκτρομαγνητικών προβλημάτων CST Studio Student Version και οι βασικοί του σκοποί παρουσιάστηκαν συνοπτικά, ενώ οι εύχρηστες και σημαντικές λειτουργίες του χρησιμοποιήθηκαν στη σχεδίαση της κεραίας και στην εξαγωγή των χαρακτηριστικών ακτινοβολίας. Στο πειραματικό μέρος της εργασίας σχεδιάστηκαν δύο διαφορετικές κεραίες της ίδιας μορφής, ενώ σε κάθε μία διεξήχθησαν δύο πειράματα, που αποδείκνυαν τη στροφή των χαρακτηριστικών ακτινοβολίας ανάλογα με την ενεργοποίηση/απενεργοποίηση συγκεκριμένων παρασιτικών στοιχείων. Τα πειράματα μας επέτρεψαν να διαπιστώσουμε το κατά πόσο ικανοποιητικά προσεγγίζει τους στόχους της η συγκεκριμένη κεραία, καθώς επίσης μας έδωσαν και μια εικόνα σχετικά με τη δυσκολία σχεδίασης και επίτευξης συγκεκριμένων στόχων μιας κεραίας.

Η κεραία ESPAR είναι μια σχεδίαση που εμφανίζεται σαν φυσική συνέχεια της ραγδαίας εξέλιξης της τεχνολογίας κεραιών, αλλά και των απαιτήσεων των δικτύων που συνεχώς αναβαθμίζονται ώστε να καλύπτουν όλο και περισσότερες ανάγκες. Η συγκεκριμένη σχεδίαση που επιλέξαμε μας επέτρεψε να επιβεβαιώσουμε τα βασικά πλεονεκτήματα αυτής της κατηγορίας κεραιών, πλεονεκτήματα που για διαφορετική σχεδίαση και συχνότητα λειτουργίας μπορεί να ήταν εμφανέστερα. Σε κάθε περίπτωση, η εξακρίβωση επίτευξης των βασικών στόχων αυτής της κατηγορίας κεραιών οδηγεί αβίαστα στην έρευνα και την σχεδίαση διάφορων τρόπων και συνδυασμών στοιχείων, σύμφωνα με την υφιστάμενη γνώση και τεχνολογία, ώστε να επιτυγχάνονται όλο και περισσότεροι στόχοι και να αναδεικνύονται τα πλεονεκτήματα της κεραίας σε όλο τους το εύρος.

Τα σχεδιαστικά προγράμματα προσομοίωσης κεραιών αποτελούν ένα κρίσιμο εργαλείο για την πειραματική επαλήθευση της θεωρίας και την προσεκτικότερη σχεδίαση μίας κεραίας. Ο ερευνητής, βασισμένος σ' αυτά τα εργαλεία, αλλά και στις γνώσεις του, έχει την δυνατότητα να αναπτύξει διάφορα μοντέλα ESPAR κεραιών κάθε τύπου και για διάφορες περιοχές του φάσματος συχνοτήτων, προκειμένου να καταδείξει τη πλεονεκτική θέση των κεραιών αυτών στα δίκτυα επικοινωνίας και μετάδοσης της πληροφορίας της νέας εποχής.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1] Constantine A. Balanis, Κεραίες: Ανάλυση και Σχεδίαση, εκδόσεις Ίων, Αθήνα (2005)
- [2] John D. Kraus, Ronald J. Marhefka, Κεραίες για όλες τις εφαρμογές, εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη (2016)
- [3] Τραϊανός Β. Γιούλιτης, Εμμανουήλ Ε. Κριεζής, Μικροκύματα: Θεωρία και Εφαρμογές, εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη (2017)
- [4] Θεόδωρος Δ. Τσιμπούκης, Ηλεκτρομαγνητικό Πεδίο: Βασική θεωρία και εφαρμογές – Τόμος II, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Κρήτης, Ηράκλειο (2011)
- [5] Winters, Jack H. "Smart antennas for wireless systems." IEEE Personal Communications 5.1 (1998): 23-27
- [6] http://www.skyworksinc.com/uploads/documents/Design_With_PIN_Diodes_200312D.pdf
- [7] Kausar, Ahmed, et al. "Espar antenna system designing & simulation." Proceedings of the 2014 First International Conference on Systems Informatics, Modelling and Simulation, ser. SIMS. Vol. 14. 2014
- [8] Marantis, Leonidas, et al. "The pattern selection capability of a printed ESPAR antenna." Antennas and Propagation (EUCAP), 2017 11th European Conference on. IEEE, 2017
- [9] <http://www.npl.co.uk/upload/pdf/SMART-antenna-tech-flyer.pdf>
- [10] <https://www.cst.com/>
- [11] <https://www.wikipedia.org/>
- [12] Richard C. Johnson, Antenna Engineering Handbook – Third edition, McGraw – Hill Inc
- [13] Dietrich, Carl & Stutzman, Warren & Kim, Byung-Ki & Dietze, Kai. (2000). Smart antennas in wireless communications: Base-station diversity and handset beamforming. Antennas and Propagation Magazine, IEEE. 42. 142 - 151. 10.1109/74.883513
- [14] Τραϊανός Β. Γιούλιτης, Σημειώσεις παραδόσεων Ειδικές κεραιές, Α.Π.Θ. 2017
- [15] Χ. Καψάλης, Π. Κωπής, Κεραίες - Ασύρματες ζεύξεις, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη (2013)
- [16] Thomas A. Milligan, Modern Antenna Design – Second edition, John Wiley & Sons, Inc., Publication
- [17] Γεώργιος Κ. Καραγιαννίδης, Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα – 2^η Έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη (2012)

- [18] Herbert Taub, Donald L. Schilling, Αρχές Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων – 3^η Βελτιωμένη Ελληνική Έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη (2006)
- [19] Παναγιώτης Γ. Κωπής, Παντελής – Δανιήλ Μ. Αράπογλου, Ασύρματες Επικοινωνίες, Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη (2014)
- [20] Das, Susmita. (2008). Smart antenna design for wireless communication using adaptive beam-forming approach. 1 - 5. 10.1109/TENCON.2008.4766732
- [21] <https://www.mccormick.northwestern.edu/documents/students/undergraduate/introduction-to-matlab.pdf>
- [22] <https://www.mathworks.com/products/antenna.html>
- [23] <https://www.cst.com/Content/Articles/article909/CST-STUDIO-SUITE-2016.pdf>
- [24] Silva, André Alves. "Modification of Radiation Characteristics of an Antenna using Electronic Components."
- [25] Suitetm, CST Studio. "MWS (Micro Wave Studio) manual." CST Corporation (2006)