



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

# Κεραίες και Διάδοση Αναφορά

## Εργασία 2

Διακολουκάς Δημήτριος  
ΑΕΜ 10642

*Email: ddiakolou@ece.auth.gr*

# Περιεχόμενα

<b>1</b>	<b>Εισαγωγή στην Εργασία</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Ανάλυση Δισκοκωνικής Κεραίας</b>	<b>3</b>
2.1	Παρουσίαση Προβλήματος και Δεδομένα Κεραίας . . . . .	3
2.1.1	Γεωμετρικές Διαστάσεις Κεραίας . . . . .	4
2.1.2	Ερώτημα (α): Ανάλυση Σύνθετης Αντίστασης Εισόδου $Z_{in}$ και Συντελεστή Ανάκλασης . . . . .	4

# Κεφάλαιο 1

## Εισαγωγή στην Εργασία

Η παρούσα εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο του μαθήματος Κεραίες και Διάδοση και έχει ως κύριο αντικείμενο τη μελέτη και την υπολογιστική ανάλυση βασικών τύπων γραμμικών κεραιών. Σκοπός της εργασίας είναι η κατανόηση της λειτουργίας των κεραιών, η εξαγωγή των βασικών ηλεκτρικών και ακτινοβολιακών χαρακτηριστικών τους, καθώς και η αξιολόγηση της συμπεριφοράς τους σε διαφορετικές συχνότητες λειτουργίας.

Στο πλαίσιο της εργασίας εξετάζονται διαφορετικές κατηγορίες κεραιών με ιδιαίτερο ενδιαφέρον σε εφαρμογές τηλεπικοινωνιών. Αρχικά μελετάται η δισκοκωνική κεραία, η οποία χαρακτηρίζεται από ευρεία ζώνη λειτουργίας και χρησιμοποιείται συχνά σε εφαρμογές ευρυζωνικής λήψης και εκπομπής. Στη συνέχεια αναλύεται η ελικοειδής κεραία σε αξονικό ρυθμό λειτουργίας, με έμφαση στον προσδιορισμό των γεωμετρικών της διαστάσεων και στη μελέτη της κατευθυντικότητας και της ευρυζωνικότητάς της. Τέλος, εξετάζονται απλές γραμμικές κεραίες, όπως το αναδιπλωμένο δίπολο και η κεραία οδεύοντος κύματος, ώστε να διερευνηθεί η επίδραση της γεωμετρίας, του εδάφους και της τροφοδοσίας στα χαρακτηριστικά τους.

Για κάθε κεραία πραγματοποιείται υπολογιστική ανάλυση της σύνθετης αντίστασης εισόδου, του συντελεστή ανάκλασης και των διαγραμμάτων ακτινοβολίας σε επιλεγμένα εύρη συχνοτήτων. Μέσω των αποτελεσμάτων αυτών αξιολογείται η προσαρμογή της κεραίας στη γραμμή τροφοδοσίας, η κατευθυντικότητα και η μεταβολή της ακτινοβολίας με τη συχνότητα, ενώ παράλληλα σχολιάζονται τα πλεονεκτήματα και οι περιορισμοί κάθε τύπου κεραίας.

Για την υλοποίηση της εργασίας χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό 4nec2, το οποίο βασίζεται στη μέθοδο των ροπών και στο υπολογιστικό πακέτο NEC. Το εργαλείο αυτό επιτρέπει τη λεπτομερή μοντελοποίηση των κεραιών με σύρματα, τον υπολογισμό των ηλεκτρομαγνητικών μεγεθών και την απεικόνιση τόσο διδιάστατων όσο και τρισδιάστατων διαγραμμάτων ακτινοβολίας. Η χρήση του 4nec2 διευκολύνει την κατανόηση της φυσικής συμπεριφοράς των κεραιών και συνδέει τη θεωρητική γνώση με πρακτικά αποτελέσματα προσομοίωσης.

## Κεφάλαιο 2

### Ανάλυση Δισκοκωνικής Κεραίας

#### 2.1 Παρουσίαση Προβλήματος και Δεδομένα Κεραίας

Στο πρώτο μέρος της παρούσας εργασίας εξετάζεται η ανάλυση μίας δισκοκωνικής κεραίας, η οποία αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα κεραίας ευρείας ζώνης συχνοτήτων. Η συγκεκριμένη κεραία χρησιμοποιείται εκτενώς σε εφαρμογές τηλεπικοινωνιών και μετρήσεων, λόγω της ικανότητάς της να λειτουργεί αποδοτικά σε μεγάλο εύρος συχνοτήτων.

Η δισκοκωνική κεραία μπορεί να θεωρηθεί ως ένας μονόπολος με μεταβαλλόμενη διάμετρο και παρουσία γείωσης, γεγονός που συμβάλλει σημαντικά στη βελτίωση της ευρυζωνικότητάς της. Στην παρούσα εργασία, τόσο ο δίσκος όσο και ο κώνος της κεραίας υλοποιούνται με σύρματα, προκειμένου να είναι εφικτή η μοντελοποίησή τους μέσω του υπολογιστικού εργαλείου NEC.

Σκοπός του συγκεκριμένου προβλήματος είναι η ακριβής μοντελοποίηση της δισκοκωνικής κεραίας στο περιβάλλον του λογισμικού 4nec2, η μελέτη της ηλεκτρικής συμπεριφοράς της σε ευρύ φάσμα συχνοτήτων και η εξαγωγή βασικών μεγεθών, όπως η σύνθετη αντίσταση εισόδου, ο συντελεστής ανάκλασης και τα διαγράμματα ακτινοβολίας.

Οι γεωμετρικές διαστάσεις της κεραίας ορίζονται συναρτήσει του μήκους κύματος λειτουργίας. Η ακτίνα του δίσκου λαμβάνεται ίση με  $0.34\lambda$ , το μήκος των συρμάτων του κώνου ίσο με  $0.5\lambda$ , ενώ η συνολική γωνία ανοίγματος του κώνου είναι  $2\theta_0 = 60^\circ$ . Η διάμετρος των συρμάτων θεωρείται ίση με  $\lambda/200$ , ώστε να ικανοποιούνται οι προϋποθέσεις της μεθόδου των ροπών. Επιπλέον θεωρούμε ότι τα σύρματα του κώνου ενώνονται σε ένα κοινό σημείο που βρίσκεται σε μικρή απόσταση που ορίσαμε στα  $\lambda/20$  κάτω από το σημείο όπου ενώνονται τα σύρματα του δίσκου. Μεταξύ των δύο σημείων αυτών θα τοποθετηθεί ένα σύρμα με ένα μόνο σεγμεντ τροφοδοσίας.

Η επιλογή του μήκους κύματος πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με το επώνυμο του κάθε φοιτητή. Για το επώνυμο μου, Διακολουκάς, το οποίο ανήκει στο εύρος Δ-Λ, επιλέχθηκε μήκος κύματος  $\lambda = 0.6 \text{ m}$ . Με βάση την τιμή αυτή υπολογίζεται η κεντρική συχνότητα λειτουργίας της κεραίας από τη σχέση  $f_0 = c_0/\lambda$ .

Επιπρόσθετα, για τη διευκόλυνση της διαδικασίας μοντελοποίησης και για να εξασφαλιστεί η συνέπεια στις γεωμετρικές παραμέτρους, αξιοποιήθηκε η δυνατότητα παραγωγής του αρχείου εισόδου της προσομοίωσης μέσω αυτοματοποιημένου υπολογισμού. Συγκεκριμένα, αναπτύχθηκε σύντομος κώδικας σε MATLAB, ο οποίος δέχεται ως μεταβλητές τις βασικές

διαστάσεις της κεραίας (όπως  $r$ ,  $l$ ,  $\theta_0$  και  $d$ ) και δημιουργεί τη γεωμετρία της υπό μελέτη διάταξης. Ο κώδικας παράγει τις αντίστοιχες εντολές GW που απαιτεί η σύνταξη του NEC και, στη συνέχεια, εξάγει το αρχείο εισόδου .nec, το οποίο χρησιμοποιήθηκε απευθείας στο 4nec2. Η δημιουργία των γραμμών GW πραγματοποιήθηκε προγραμματιστικά (π. χ. με χρήση fprintf), επιτρέποντας γρήγορη τροποποίηση των παραμέτρων και άμεση επαναληψιμότητα της προσομοίωσης.

Τέλος σε αυτό το σημείο αξίζει να σημειωθεί ότι αντίστοιχη λογική ακολουθήθηκε και για τις υπόλοιπες κεραίες της εργασίας σε όλα τα παρακάτω κεφάλαια (θέματα της εργασίας), δηλαδή αναπτύχθηκαν σύντομοι κώδικες σε MATLAB, οι οποίοι παράγουν τα αρχεία εισόδου .nec για κάθε γεωμετρία κεραίας με βάση τα ζητούμενα ξεχωριστά.

### 2.1.1 Γεωμετρικές Διαστάσεις Κεραίας

Οι γεωμετρικές παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή του μοντέλου της δισκοκωνικής κεραίας στο 4nec2 συνοψίζονται στον Πίνακα 2.1. Οι τιμές προκύπτουν από τον κώδικα παραγωγής των αρχείων .nec και είναι συνεπείς με τον ορισμό της κεραίας της εκφώνησης (λόγος διαστάσεων ως προς  $\lambda$  και  $2\theta_0 = 60^\circ$ ).

Παράμετρος	Σύμβολο	Σχέση (ως προς $\lambda$ )	Τιμή για $\lambda = 0.6 m$
Μήκος κύματος (περίπτωση $\Delta$ - $\Lambda$ )	$\lambda$	–	$0.6 m$
Ακτίνα δίσκου	$R_d$	$0.34\lambda$	$0.204 m$
Μήκος συρμάτων κώνου	$L_c$	$0.5\lambda$	$0.300 m$
Συνολική γωνία ανοίγματος κώνου	$2\theta_0$	$60^\circ$	$60^\circ$
Ημιγωνία κώνου	$\theta_0$	$30^\circ$	$30^\circ$
Διάμετρος συρμάτων	$d$	$\lambda/200$	$0.003 m$
Ακτίνα σύρματος (για NEC)	$a$	$d/2$	$0.0015 m$
Απόσταση σημείων τροφοδοσίας	$Gap$	$\lambda/20$	$0.030 m$
Ύψος κώνου (κατακόρυφη προβολή)	$h$	$L_c \cos \theta_0$	$0.260 m$
Οριζόντια προβολή κώνου	$R_{cove}$	$L_c \sin \theta_0$	$0.150 m$

Πίνακας 2.1: Γεωμετρικές παράμετροι δισκοκωνικής κεραίας που χρησιμοποιήθηκαν στο μοντέλο.

### 2.1.2 Ερώτημα (α): Ανάλυση Σύνθετης Αντίστασης Εισόδου $Z_{in}$ και Συντελεστή Ανάκλασης

Για την απάντηση του ερωτήματος (α) απαιτείται σάρωση συχνοτήτων (frequency sweep) στο εύρος από  $0.5f_0$  έως  $4f_0$ , ώστε να μελετηθεί η μεταβολή της σύνθετης αντίστασης εισόδου  $Z_{in}$  και κατόπιν, του συντελεστή ανάκλασης  $|\Gamma|$  για επιλεγμένη χαρακτηριστική αντίσταση γραμμής τροφοδοσίας.

Η παραπάνω διαδικασία υλοποιήθηκε με αυτοματοποιημένη παραγωγή αρχείων .nec μέσω κώδικα MATLAB με όνομα `discone_nec_generator.m`. Ο κώδικας ακολουθεί τη λογική της εκφώνησης, καθώς: (α) ορίζει τις διαστάσεις της κεραίας ως συναρτήσεις του  $\lambda$ , (β) τοποθετεί το σημείο ένωσης του κώνου σε απόσταση  $Gap = \lambda/20$  κάτω από το σημείο

ένωσης του δίσκου, και (γ) εισάγει σύρμα τροφοδοσίας μεταξύ των δύο σημείων με one segment (δηλαδή 1-seg feed).

**Κριτήριο διακριτοποίησης (segmentation):** επιλέχθηκαν segments  $seg_c = 19$  για τα σύρματα του κώνου και  $seg_d = 14$  για τα ακτινικά σύρματα του δίσκου. Με  $L_c = 0.30\text{ m}$  προκύπτει μήκος τμήματος στον κώνο  $\Delta L \approx L_c/seg_c = 0.015789\text{ m} \approx 1.58\text{ cm}$ . Στη μέγιστη συχνότητα της σάρωσης,  $4f_0 = 2\text{ GHz}$ , το μήκος κύματος είναι  $\lambda_{\min} \approx 0.15\text{ m}$ , άρα  $\Delta L \approx \lambda_{\min}/9.5$ , τιμή μικρότερη από  $\lambda_{\min}/10$ . Με τον τρόπο αυτό ικανοποιείται το πρακτικό κριτήριο ακρίβειας της MoM (μέθοδος των ροπών) (και αποφεύγονται προβλήματα αριθμητικής αστάθειας που μπορεί να εμφανιστούν με υπερβολικά μικρά τμήματα σε σχέση με την ακτίνα του σύρματος).

## Παραγόμενα αρχεία .nec και ρόλος τους

Ο κώδικας `discone_nec_generator.m` παράγει δύο αρχεία εισόδου:

- **discone\_geometry.nec:** αρχείο γεωμετρίας για μία **μοναδική** συχνότητα (ορίζεται στα  $500\text{ MHz}$ ), το οποίο χρησιμοποιείται κυρίως για έλεγχο/απεικόνιση της γεωμετρίας στο 4nec2 (π.χ. μέσω geometry viewer και F3 screenshot). Εδώ η κάρτα FR τίθεται ως single frequency μόνο για να εμφανίζεται καθαρά η κεντρική συχνότητα στο περιβάλλον.
- **discone\_sweep.nec:** αρχείο για το **ερώτημα (α)**, το οποίο περιλαμβάνει την ίδια γεωμετρία αλλά με frequency sweep από  $250\text{ MHz}$  έως  $2000\text{ MHz}$  με βήμα  $10\text{ MHz}$ . Ο αριθμός σημείων σάρωσης είναι  $N = \frac{2000-250}{10} + 1 = 176$ , ώστε να εξαχθούν τα  $Z_{\text{in}}(f)$  και  $|\Gamma(f)|$  σε όλο το ζητούμενο φάσμα ( $0.5f_0$  έως  $4f_0$ ). Η διέγερση εφαρμόζεται στο σύρμα τροφοδοσίας, το οποίο έχει tag 17 και segment 1 (μοναδικό τμήμα), ώστε η τροφοδοσία να τοποθετείται ακριβώς στο feed gap. Επιπλέον αξίζει να σχολιάσουμε και τον ορισμό αγωγίμου σύρματος (wire geometry). Στη συγκεκριμένη υλοποίηση δημιουργούνται:
  - (i) 8 ακτινικά σύρματα δίσκου από το σημείο  $(0, 0, 0)$  προς ακτίνα  $R_d$ ,
  - (ii) 8 σύρματα κώνου που ξεκινούν από το κοινό σημείο  $(0, 0, -\text{Gap})$  και καταλήγουν στο επίπεδο της βάσης του κώνου,
  - (iii) ένα σύρμα τροφοδοσίας κατά τον άξονα  $z$ , από  $(0, 0, 0)$  έως  $(0, 0, -\text{Gap})$ , με 1 segment.

Με βάση το `discone_sweep.nec` πραγματοποιείται η εξαγωγή της  $Z_{\text{in}}(f)$  στο εύρος  $0.5f_0$  έως  $4f_0$ , και στη συνέχεια υπολογίζεται και απεικονίζεται ο συντελεστής ανάκλασης  $|\Gamma(f)|$  για επιλεγμένη  $Z_0$ , ώστε να αξιολογηθεί η προσαρμογή της κεραίας και η ευρυζωνική της συμπεριφορά.

## Βιβλιογραφία

- [1] Elearning Ασκήσεις και Θεωρία 058 Κεραίες και Διάδοση
- [2] Λογισμικά 4NEC2 <http://www.qsl.net/4nec2/> και MATLAB