ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Η/Υ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ
ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΥΨΗΛΩΝ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ

ΠΡΟΑΙΡΕΤΙΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ
ΣΕΙΡΑ 2/2 – ΚΥΜΑΤΟΔΗΓΟΙ / ΚΕΡΑΙΕΣ / /ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ / ΣΥΝΤΟΝΙΣΤΕΣ

Ημερομηνία παράδοσης: 10/7/2024

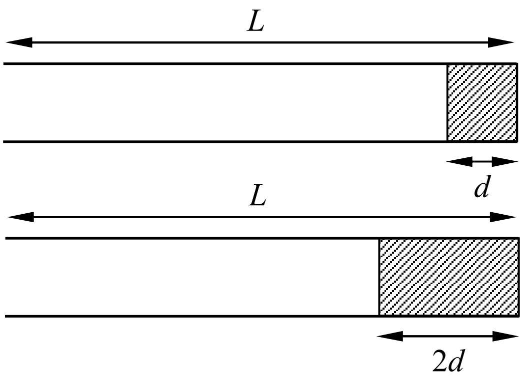
2.1. Μέτρηση διηλεκτρικής σταθεράς υλικού με κυματοδηγό

Θέλουμε να μετρήσουμε τη σχετική διηλεκτρική σταθερά και την εφαπτομένη απωλειών ενός διηλεκτρικού με τον εξής απλό τρόπο: σε τμήμα κενού κυματοδηγού ορθογωνικής διατομής με α=2.286cm και b=1.016 cm και μήκους L=6cm, που τερματίζεται σε βραχυκύκλωμα (αγώγιμο τοίχωμα), εισάγεται το υλικό, το οποίο γεμίζει τον κυματοδηγό σε όλη τη διατομή του και σε ένα δεδομένο πάχος d και εφάπτεται στο βραχυκύκλωμα. Γίνονται δύο μετρήσεις, για δύο διαφορετικά δείγματα, το ένα με παχος d=1.5mm και το άλλο με ακριβώς το διπλάσιο πάχος 2d. Σε συχνότητα f = 10GHz μετράται η σύνθετη κυματική αντίσταση στην είσοδο του κυματοδηγού και βρέθηκε ίση με 4.9678+j43.9439 και 108.5347+j202.0158 Ω, για δείγματα μήκους d και 2d, αντίστοιχα.

(α) Υπολογίστε από τα παραπάνω τις άγνωστες ε_r και tanδ του υλικού. Διαπιστώστε πόσο απλοποιεί την ανάλυση η μέτρηση για δύο δείγματα που το ένα έχει διπλάσιο πάχος από το άλλο.

(β) Προσπαθήστε να λύσετε το ίδιο πρόβλημα αν είχαμε μόνο το αποτέλεσμα της πρώτης μέτρησης (μόνο από το δείγμα μήκους d)*.

<u>Υπόδειξη:</u>



1. Γράψτε πρώτα την έκφραση της μιγαδικής σταθεράς διάδοσης γ και της κυματικής σύνθετης αντίστασης για τον επικρατέστερο ρυθμό σε κυματοδηγό ορθογωνικής διατομής που γεμίζει με υλικό με απώλειες, συναρτήσει της συχνότητας. Καταλήξτε στο συμπέρασμα με απλή παρατήρηση των σχέσεων (4.2)-(4.15) όπου αντί της μεταβολής exp(-jβz) υποθέτουμε γενικότερη μεταβολή exp(-γz).
2. Βρείτε τύπο για το tanh2x.
3. Προσέξτε ότι η αντίστροφη υπερβολική εφαπτομένη (όπως και το τόξο εφαπτομένης) είναι πλειότιμη συνάρτηση, δηλ. η λύση της εξίσωσης tanhx = a είναι γενικά η x = $\tanh^{-1}$a +jnπ.

* <u>Γενική υπόδειξη - Λύση υπερβατικής εξίσωσης με το Matlab.</u> Για να λύσουμε μια υπερβατική εξίσωση F(x)=0 με το Matlab μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τη συνάρτηση fsolve ή την fzero. Ορίζουμε πρώτα τη συνάρτηση την οποία θέλουμε να μηδενίσουμε (ως ξεχωριστό αρχείο .m με το ίδιο όνομα με αυτό της συνάρτησης). Στη συνέχεια καλούμε την fsolve στην οποία δίνουμε τη συνάρτηση που θέλουμε να μηδενίσουμε, καθώς και την αρχική τιμή που θα χρησιμοποιηθεί στην επαναληπτική διαδικασία της fsolve. Είναι πολύ σημαντικό να επιλέξουμε μια αρχική τιμή κοντά στη λύση που ψάχνουμε, διαφορετικά είναι δυνατό η fsolve να συγκλίνει σε άλλη λύση από αυτήν που ψάχνουμε ή να μην συγκλίνει καθόλου. Αν στον ορισμό της συνάρτησης χρειαζόμαστε και άλλες σταθερές, οι οποίες θα παίρνουν τιμές στο κυρίως πρόγραμμα, μπορούμε να τις ορίσουμε (και στο κυρίως πρόγραμμα και στη συνάρτηση) ως global.
Εναλλακτικά (και απλούστερα), μπορούμε να λύσουμε απευθείας μια εξίσωση χωρίς να την ορίσουμε ως συνάρτηση αλλά σε μορφή inline function. Π.χ. η εντολή
x = fzero(@(x) (tan(x)/x-0.27453) , 3)
επιστρέφει τη ρίζα της tanx/x=0.27453 που βρίσκεται πλησιέστερα στο 3.

2.2 Πεδίο στοιχειοκεραίας

Στοιχειοκεραία αποτελείται από N=8 παράλληλα κατακόρυφα δίπολα λ/2, με τα δίπολα να διατάσσονται σε οριζόντιο άξονα x και με τα κέντρα τους σε αποστάσεις d μεταξύ τους. Τα ρεύματα είναι ίσα με $+I$.

(α) Γράψτε ένα κώδικα σε Matlab που να σχεδιάζει το οριζόντιο και το κατακόρυφο διάγραμμα ακτινοβολίας (θέστε f = 1GHz και I = 1A). Απεικονίστε τα δύο διαγράμματα για τις αποστάσεις d=λ/4, λ/2 και 3λ/4, και ρευμάτων.

(β) Προσπαθήστε να απεικονίσετε το στερεό ακτινοβολίας (3D) για τους παραπάνω συνδυασμούς.

(γ) Για τις παραπάνω περιπτώσεις προσδιορίστε υπολογιστικά την κατευθυντικότητα της στοιχειοκεραίας από τον ορισμό (υπολογίστε το επιφανειακό ολοκλήρωμα στον παρονομαστή ως διπλό άθροισμα Riemann παίρνοντας ένα μεγάλο αριθμό σημείων υπολογισμού της πυκνότητας ισχύος, π.χ. ανά μία μοίρα τόσο κατά θ όσο και κατά φ). Συγκρίνετε με το θεωρητικό τύπο για την κατευθυντικότητα ευρύπλευρης στοιχειοκεραίας $D = 2Nd/\lambda$.

(δ) Κατακόρυφο δίπολο λ/2 βρίσκεται σε αποστάσεις h_x και h_y από τις έδρες (επίπεδα zy και zx, αντίστοιχα) ενός κατακόρυφου δίεδρου άπειρου, τέλεια αγώγιμου ανακλαστήρα. Βρείτε όλες τις δυνατές αποστάσεις ώστε το μέγιστο να είναι στο οριζόντιο επίπεδο και προς τη διχοτόμο της γωνίας του ανακλαστήρα (φ=45°). Απεικονίστε το οριζόντιο και το 3D διάγραμμα ακτινοβολίας για τις εξής περιπτώσεις: (δ1) h_x και h_y οι μικρότερες δυνατές, (δ2) h_x η μικρότερη δυνατή και h_y η επόμενη μεγαλύτερη, (δ3) h_x και h_y οι επόμενες δυνατές από τη μικρότερη.

Υπόδειξη για όλα τα παραπάνω: Χρησιμοποιήστε απλά την υπέρθεση των πεδίων και όχι τη θεωρία στοιχειοκεραιών (η τελευταία δεν έχει διδαχθεί).

2.3. Διπλός παράλληλος κλαδωτής (αναλυτική λύση και εύρος ζώνης)

(α) Φορτίο $Z_L = R_L + jX_L$ τροφοδοτείται από γραμμή μεταφοράς χαρακτηριστικής αντίστασης Z_0, στην οποία το μήκος κύματος στην κεντρική συχνότητα προσαρμογής είναι λ. Για την προσαρμογή χρησιμοποιείται διπλός παράλληλος κλαδωτής (και οι δύο ανοιχτοκυκλωμένοι) με Z_0 ίδια με αυτήν της κύριας γραμμής. Προσδιορίστε από τα παραπάνω μεγέθη τα μήκη των κλαδωτών (γράψτε μαθηματικές εκφράσεις που προκύπτουν από την επίλυση με βάση τη θεωρία γραμμών μεταφοράς). Το φορτίο είναι τοποθετημένο ακριβώς στο σημείο σύνδεσης με τον δεξιό κλαδωτή. Οι κλαδωτές βρίσκονται σε σταθερή απόσταση d.

(β) Για προσαρμογή φορτίου 20-j30 Ω σε γραμμή μεταφοράς 50 Ω σε κεντρική συχνότητα 5 GHz, χρησιμοποιούμε διπλό κλαδωτή με και τους δύο κλαδωτές ανοιχτοκυκλωμένους, σε σταθερή απόσταση μεταξύ τους λ/8 (στη συχνότητα των 5 GHz). Βρείτε και τις δύο λύσεις που προκύπτουν. Απεικονίστε το μέτρο του συντελεστή ανάκλασης (καθαρό αριθμό) για συχνότητες 0 έως 10 GHz, για τις δύο παραπάνω περιπτώσεις και συγκρίνετέ τις ως προς το εύρος ζώνης καλής προσαρμογής (SWR≤2). Διαπιστώστε ότι η λύση που δίνει κλαδωτές μικρότερου μήκους είναι και καλύτερη ως προς το εύρος ζώνης.

(γ) Επιχειρήστε να λύσετε το παραπάνω πρόβλημα (β) αν αντί των δύο κλαδωτών χρησιμοποιηθούν δύο πυκνωτές αλλά σε σειρά με τη γραμμή μεταφοράς. Χρησιμοποιήστε για την επίλυση (προσδιορισμό των χωρητικοτήτων τους) το διάγραμμα Smith.

2.4. Συντονιστής μικροταινίας συζευγμένος με γραμμή μεταφοράς

Ανοιχτοκυκλωμένος συντονιστής λ/2 τροφοδοτείται από γραμμή μικροταινίας ίδιας χαρακτηριστικής αντίστασης Z_0=50Ω που σχεδιάζεται σε υπόστρωμα FR4 πάχους 1.6mm και σχετικής διηλεκτρικής σταθεράς ε_r=4.4. Όταν ο συντονιστής σχεδιάζεται μόνος του (χωρίς την τροφοδοσία και τη σύζευξη μέσω διακένου), η συχνότητα συντονισμού είναι 2.5 GHz και ο συντελεστής ποιότητάς του είναι ίσος με 25 (η σχετικά χαμηλή αυτή τιμή οφείλεται κατά κύριο λόγο στις απώλειες διηλεκτρικού). Το διάκενο αναπαριστάται με χωρητικότητα *C*.

(α) Σχεδιάστε τον συντονιστή (υπολογίστε πλάτος και μήκος του σε mm, όπως και την απαιτούμενη χωρητικότητα διακένου) ώστε να έχουμε κρίσιμη σύζευξη με τη γραμμή μεταφοράς. Υπολογίστε τη νέα συχνότητα συντονισμού.

(β) Προσπαθήστε να επιλύστε το ίδιο πρόβλημα με τη βοήθεια του διαγράμματος Smith (με προσεγγιστικό τρόπο).

(γ) Επανασχεδιάστε τον συντονιστή ώστε όταν είναι σε σύζευξη να έχουμε συχνότητα συντονισμού 2.5 GHz.