

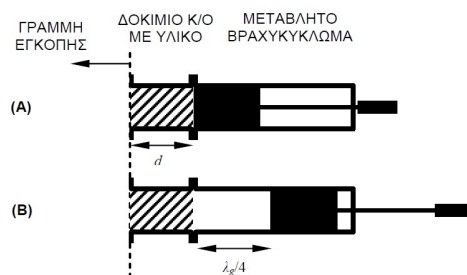
ΣΕΙΡΑ ΑΣΚΗΣΕΩΝ 2/2 – Η/Μ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ - ΚΥΜΑΤΟΔΗΓΟΙ - ΕΠΙΠΕΔΕΣ
ΓΡΑΜΜΕΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ – ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ - ΣΥΝΤΟΝΙΣΤΕΣ

Ημερομηνία παράδοσης: 22/6/2023

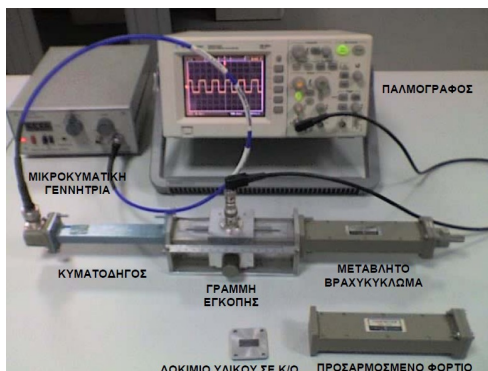
2.1. Μέτρηση διηλεκτρικής σταθεράς υλικού με κυματοδηγό

Σκοπός της άσκησης είναι ο προσδιορισμός της διηλεκτρικής σταθεράς δοκιμίου από υλικό που τοποθετείται σε κυματοδηγό, με βάση τη μέτρηση της σύνθετης αντίστασης της διάταξης στην οποία τοποθετείται. Βάση της διαδικασίας είναι η μέτρηση του μήκους κύματος σε γραμμή μεταφοράς, καθώς και η μέτρηση σύνθετης αντίστασης μικροκυματικού φορτίου με τη βοήθεια γραμμής εγκοπής (slotted line) και παλμογράφου (βλ. Μικροκύματα, τόμος I, παράγραφος 3.5.5 και παράδειγμα 3.14).

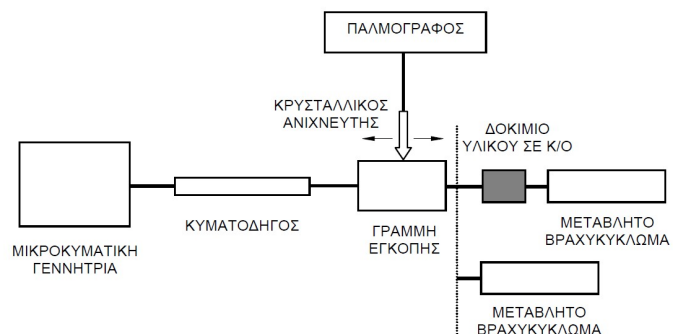
Ειδικότερα, ο τρόπος μέτρησης βασίζεται στην κατασκευή δείγματος το οποίο γεμίζει πλήρως (σε όλη του τη διατομή) ένα τμήμα κυματοδηγού μικρού μήκους (της τάξης των λίγων mm). Στη συνέχεια, λαμβάνονται δύο μετρήσεις της σύνθετης αντίστασης αυτού του τμήματος, μία στην περίπτωση που αυτό είναι τετρατισμένο απευθείας σε βραχυκύκλωμα (Α) και μία στην περίπτωση που το δείγμα του υλικού ακολουθείται από τμήμα κενού κυματοδηγού μήκους $\lambda_g/4$ και έπειτα από βραχυκύκλωμα (Β) (σχήμα 1). Η μετατόπιση της θέσης του βραχυκυκλώματος (μεταλλικός τοίχος) γίνεται εύκολα εφόσον διαθέτουμε μεταβλητό βραχυκύκλωμα (με έμβολο). Αν και ο προσδιορισμός της άγνωστης διηλεκτρικής σταθεράς του υλικού θα μπορούσε να γίνει μόνον από την πρώτη από τις δύο μετρήσεις, ο συνδυασμός και των δύο απλοποιεί πολύ τις εξισώσεις. Η μέτρηση της σύνθετης αντίστασης εισόδου καθεμιάς από τις δύο διατάξεις θα γίνει με τη βοήθεια της γραμμής εγκοπής. Θεωρούμε ότι το διηλεκτρικό είναι χωρίς απώλειες, οπότε μπορεί εύκολα να δείχθει ότι οι σύνθετες αντιστάσεις αυτές είναι καθαρά φανταστικοί αριθμοί και άρα δεν χρειάζεται να μετρηθεί ο SWR. Η πειραματική διάταξη φαίνεται στο σχήμα 2.



Σχήμα 1. Διάταξη μέτρησης διηλεκτρικής σταθεράς υλικού χωρίς απώλειες με τη βοήθεια μεταβλητού βραχυκυκλώματος. Λαμβάνονται δύο μετρήσεις, μία με το βραχυκύκλωμα σε επαφή με το διηλεκτρικό (Α) και μία σε απόσταση $\lambda_g/4$.



Σχήμα 2. Πειραματική διάταξη άσκησης.



Η συχνότητα της γεννήτριας τέθηκε στα 9 GHz. Πριν από τη σύνδεση του δοκιμίου του υλικού με τμήμα κυματοδηγού για τη μέτρηση της σύνθετης αντίστασης με βραχυκύκλωμα (είτε απευθείας στο υλικό είτε σε απόσταση $\lambda_g/4$) λαμβάνονται οι θέσεις των ελαχίστων όταν συνδεθεί ένα βραχυκύκλωμα (χωρίς το υλικό), όπως προβλέπει η θεωρία της μέτρησης με slotted line (βλ. παράδειγμα 3.14). Οι

θέσεις των ελαχίστων μετρήθηκαν στα 48.4, 73.0, 97.5 και 122.2 mm (η αρίθμηση αυξάνεται προς τα αριστερά, δηλ. όσο απομακρυνόμαστε από το φορτίο).

Στη συνέχεια μετρήθηκαν δείγματα από δύο υλικά, πολύ συνηθισμένα σε κατασκευή επιπέδων μικροκυματικών κυκλωμάτων και ελήφθησαν οι θέσεις των ελαχίστων, τόσο στην περίπτωση βραχυκυκλώματος απευθείας στο υλικό (Α), όσο και σε απόσταση $\lambda_g/4$ από το υλικό (Β), όπως στο σχήμα 1. Τα μετρούμενα στοιχεία φαίνονται παρακάτω:

Υλικό 1: Πάχος δείγματος $d = 1.5$ mm

Θέσεις ελαχίστων (μέτρηση Α): 46.9, 71.5, 96.0 και 120.7 mm

Θέσεις ελαχίστων (μέτρηση Β): 55.6, 80.2, 104.7 και 129.4 mm

Υλικό 2: Πάχος δείγματος $d = 1.517$ mm

Θέσεις ελαχίστων (μέτρηση Α): 46.7, 71.3, 95.8 και 120.5 mm

Θέσεις ελαχίστων (μέτρηση Β): 52.6, 77.0, 101.7 και 126.3 mm

Υπενθυμίζεται ότι ο κυματοδηγός WR-90 έχει διαστάσεις διατομής 22.86×10.16 mm.

(α) Υπολογίστε (με το MATLAB, για ευκολία) από τα παραπάνω δεδομένα τις σχετικές διηλεκτρικές σταθερές των δύο υλικών. Χρησιμοποιήστε τα δεδομένα και των δύο μετρήσεων (Α και Β).

(β) Προσπαθήστε να πάρετε το ίδιο αποτέλεσμα μόνον από τη μέτρηση Α*.

* Γενική υπόδειξη - Λύση υπερβατικής εξίσωσης με το Matlab. 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 $\tan x/x=0.27453$ που βρίσκεται πλησιέστερα στο 3.

2.2 Πεδίο στοιχειοκεραίας

Στοιχειοκεραία αποτελείται από $N=8$ παράλληλα κατακόρυφα δίπολα $\lambda/2$, με τα δίπολα να διατάσσονται σε οριζόντιο άξονα (x) και με τα κέντρα τους σε αποστάσεις d μεταξύ τους. Η μέγιστη εκπομπή θέλουμε να είναι στο οριζόντιο επίπεδο. Τα ρεύματα μπορεί να είναι είτε όλα ίσα με $+I$, είτε εναλλάξ $+I$ και $-I$.

(α) Γράψτε ένα κώδικα σε Matlab που να σχεδιάζει το οριζόντιο και το κατακόρυφο διάγραμμα ακτινοβολίας (θέστε $f = 1\text{GHz}$ και $I = 1\text{A}$). Απεικονίστε τα δύο διαγράμματα για όλους τους συνδυασμούς αποστάσεων $d=\lambda/4$, $\lambda/2$ και $3\lambda/4$, και ρευμάτων (όλα $+I$, ή εναλλάξ $+I$ και $-I$).

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

(γ) Διαπιστώστε ποιοι είναι οι σωστοί συνδυασμοί απόστασης και τροφοδοσίες για ευρύπλευρη ή ακροπυροδοτική λειτουργία (μέγιστο προς τον άξονα y ή τον άξονα x , αντίστοιχα), δικαιολογώντας τη σχετική επιλογή.

(δ) Για τις (δύο) περιπτώσεις αυτές 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 τους θεωρητικούς (προσεγγιστικούς τύπους) για την κατευθυντικότητα:

Ευρύπλευρη (broadside): $D = 2Nd/\lambda$

Ακροπυροδοτική (endfire): $D = 4Nd/\lambda$

Υπόδειξη: 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 (είτε και οι δύο βραχυκυκλωμένοι είτε 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 $10-j70 \Omega$ σε γραμμή μεταφοράς 50Ω σε κεντρική συχνότητα 5 GHz , χρησιμοποιούμε διπλό κλαδωτή με είτε και τους δύο βραχυκυκλωμένους είτε και τους δύο ανοιχτοκυκλωμένους σε σταθερή απόσταση μεταξύ τους $\lambda/8$ (στη συχνότητα των 5 GHz). 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 ($\text{SWR} \leq 2$).

(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 χωρητικότητων τους) το διάγραμμα Smith.

2.4 Παραλλαγές κυλινδρικού αντηχείου

Κυλινδρικό αντηχείο μήκους d και διαμέτρου $2a$ με τέλεια αγωγίμα τοιχώματα λειτουργεί σε ρυθμό TM_{010} .

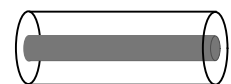
(α) Γράψτε τις εκφράσεις του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου στο εσωτερικό του. Σχεδιάστε ποιοτικά τις γραμμές του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου. Διαπιστώστε ότι το κυματικό φαινόμενο αναπτύσσεται μόνον στη διατομή του αντηχείου και όχι προς τη διεύθυνση του μήκους του.

(β) Στο αντηχείο εισάγεται διηλεκτρική πλάκα (χαρακτηριστικών ϵ_r και $\tan\delta$) πάχους t και διαμέτρου $2a$, παράλληλα προς τις βάσεις του αντηχείου έτσι ώστε να εφάπτεται στην παράπλευρη επιφάνεια, και σε κάποια (τυχαία) απόσταση από την μία βάση. Δείξτε ότι η εισαγωγή της διηλεκτρικής πλάκας δεν μεταβάλλει τη μορφή του πεδίου (ηλεκτρικού ή μαγνητικού) στον κενό χώρο του αντηχείου, μεταβάλλει όμως τη σχέση των τιμών του ηλεκτρικού πεδίου εντός και εκτός της διηλεκτρικής πλάκας.

Υπόδειξη: Υποθέστε παρόμοια μορφή πεδίων εντός της πλάκας και χρησιμοποιήστε τις οριακές συνθήκες στις διαχωριστικές επιφάνειες αέρα-διηλεκτρικού.

(γ) Υπολογίστε το Q του αντηχείου με τη διηλεκτρική πλάκα.

(δ) Στο αρχικό (κενό) αντηχείο εισάγεται εσωτερικά μεταλλική ράβδος, τέλεια αγωγή, διαμέτρου $2a'$, όπως φαίνεται στο σχήμα. Ποια είναι η χαμηλότερη συχνότητα συντονισμού του;



(ε) Ο ίδιος μεταλλικός αγωγός εισάγεται αλλά με τρόπο ώστε να ακουμπά μόνο στην αριστερή βάση, αφήνοντας ένα πολύ μικρό διάκενο d' με τη δεξιά βάση, όπως φαίνεται στο σχήμα (πλάγια τομή). Αφού κατανοήσετε τη φυσική του προβλήματος, προσπαθήστε να γράψετε τις εξισώσεις για τον υπολογισμό της χαμηλότερης συχνότητας συντονισμού.

