

ΑΤΕΙ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

CANTENNA

Του φοιτητή Σάββα Σαββίδη



Θεσσαλονίκη,
καθηγητής

Ιούνιος 2009
Μιχάλης

Εποπτεΰων

Χριστοδούλου

Περιεχόμενα

Εισαγωγή

Κεφάλαιο 1

Θεωρία Κυματοδηγών

1.1 Τι είναι Cantenna

1.2 WIFI

1.3 Κυματοδηγοί

1.3.1 Κυλινδρικός Κυματοδηγός

1.4 Ρυθμοί κυματοδήγησης

1.4.1 Ποιοτική ερμηνεία κυματοδήγησης

1.4.2 Κυματοδήγηση σε κυκλικό κυματοδηγό

1.4.3 Κυματοδήγηση $TE_{1,1}$ σε κυκλικό
κυματοδηγό

1.4.4 Μήκος κύματος κυματοδήγησης

1.5 Κεραία ανοιχτού κυλινδρικού
κυματοδηγού,

Γεωμετρία μιας Cantenna

Κεφάλαιο 2

Κατασκευή του κυματοδηγού

2.1 Κατασκευή και μετρήσεις

2.2 Type N Connector

2.2.1 Σχεδιασμός

2.2.2 Χρήση

2.2.3 Παραλλαγές

2.3 Συναρμολόγηση

2.4 Μετρήσεις

2.4.1 Κυματοδηγός 10,3cm

2.4.2 Κυματοδηγός 11,3 cm

2.4.3 Κυματοδηγός 12,3 cm

2.4.4 Τελικοί Κυματοδηγοί

2.4.5 Τελικός Κυματοδηγός 11.3 cm

2.4.6 Τελικός Κυματοδηγός 12.3 cm

Συμπεράσματα

Βιβλιογραφία

Εισαγωγή

Σκοπός της αυτής της εργασίας είναι η κατασκευή κυματοδηγού που θα λειτουργεί στα 2.4 GHz (γενικά στο φάσμα που ανταποκρίνεται στο πρότυπο 802.11 b ή g). Στο πρώτο κεφάλαιο αναπτύσσεται η θεωρία των κυματοδηγών, καθώς και οι ρυθμοί κυματοδήγησης που εμφανίζονται στους κυματοδηγούς και ειδικότερα στον κυκλικό κυματοδηγό. Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται ο τρόπος κατασκευής του κυματοδηγού. Παρουσιάζονται αναλυτικά τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε κατά το συντονισμό του κυματοδηγού. Οι μετρήσεις παρουσιάζονται υπό τη μορφή πίνακα και διαγράμματος.

1

1.1 Τι είναι Cantenna

Η **Cantenna (Can-antenna)** είναι μια κυλινδρική, κατευθυντική κυματοδηγική κεραία από μεταλλικό κουτί (κονσέρβα), για χρήση σε ασύρματα δίκτυα 802.11 (b ή g) ή σε οποιαδήποτε άλλη εφαρμογή στη συχνότητα των 2,4 GHz.



1.2 WIFI

Στο WIFI ένα από τα προβλήματα που υπάρχουν είναι το ζήτημα της **επάρκειας του φάσματος**. Όπως είναι γνωστό, στην Ευρώπη διατίθενται για χρήση οι συχνότητες από 2412 MHz ως 2462 MHz που αντιστοιχούν σε 3 μη επικαλυπτόμενα κανάλια. Όσο αυξάνονται οι χρήστες του WIFI, είναι αναμενόμενο ότι οι παρεμβολές θα γίνονται πιο έντονες και το συνολικό **throughput** του δικτύου δε θα είναι το βέλτιστο.

Αυτό θα γίνεται πιο έντονο, καθώς πολλοί χρήστες δε θα τηρούν τους περιορισμούς για την ισχύ (100mW EIRP), και θα επιλέγουν κανάλια με αυθαίρετο τρόπο. Για τη **μέγιστη εκμετάλλευση του φάσματος**, δηλαδή τη μεγιστοποίηση του throughput, χρειάζεται σωστός **σχεδιασμός συχνοτήτων, κεραιών και τοποθεσίας των Access Points**. Κρισιμότερη παράμετρος είναι, ίσως, η κεραία.

1.3 Κυματοδηγοί

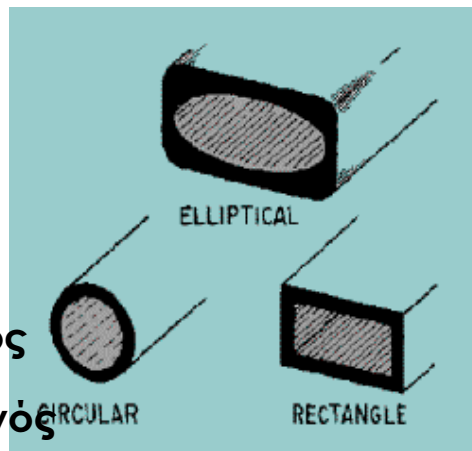
Σε μικροκυματικές συχνότητες (3-300 GHz) οι γραμμές μεταφοράς είναι μη αποτελεσματικές, παρουσιάζοντας υψηλές απώλειες λόγω του

επιδερμικού φαινομένου και των απωλειών διηλεκτρικού.

Για το λόγο αυτό, για τη μεταφορά ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας σε μεγάλη σχετικά απόσταση, σε υψηλές συχνότητες, χρησιμοποιούμε κυματοδηγούς οι οποίοι παρουσιάζουν **χαμηλές απώλειες**. Αυτό συμβαίνει διότι έχουν **μεγαλύτερη διατομή** από την οποία μπορούν να περάσουν οι ρευματικές κατανομές, έχοντας έτσι μικρότερες **ωμικές απώλειες** και έχουν σαν **διηλεκτρικό τον αέρα**, ο οποίος παρουσιάζει πολύ μικρότερες απώλειες διηλεκτρικού.

Υπάρχουν διάφορα είδη κυματοδηγών, ανάλογα με το σχήμα τους:

- Ο Κυκλικός Κυματοδηγός
- Ο Ελλειπτικός Κυματοδηγός
- Ο Ορθογώνιος Κυματοδηγός



Διαφορετικά σχήματα

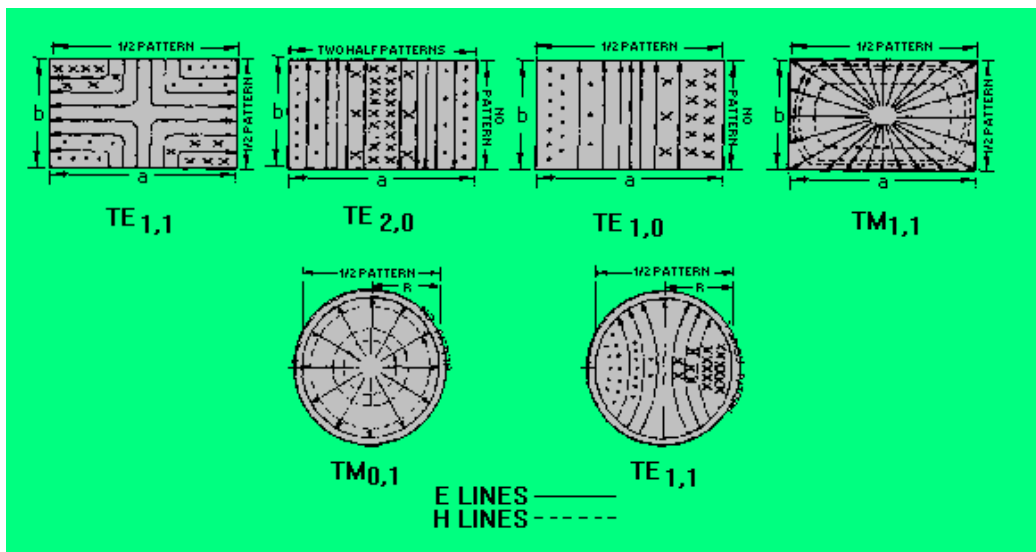
κυματοδηγών

Μια κατευθυντική κεραία, έχοντας **μεγαλύτερο κέρδος** ενισχύει το χρήσιμο σήμα που λαμβάνουμε.

Ταυτόχρονα, έχοντας **στενότερη δέσμη** λαμβάνει λιγότερο θόρυβο από την ατμόσφαιρα. Κατά συνέπεια, αν μεγαλώσουμε το κέρδος μιας κεραίας κατά 3 dB ο σηματοθορυβικός λόγος θα βελτιωθεί περισσότερο από 3 dB. Άρα με κατευθυντικές κεραίες

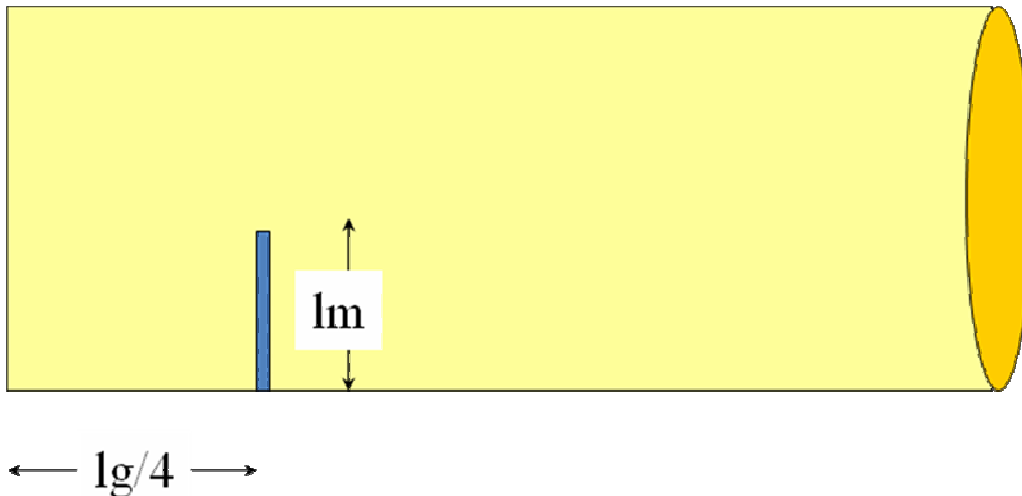
επιτυγχάνουμε μεγαλύτερες **αποστάσεις** ή/και βελτιώνουμε την **ποιότητα** του σήματος. Επίσης, μια αρκετά κατευθυντική κεραία λαμβάνει μόνο το κατευθείαν σήμα, αποκόπτοντας το **ανακλώμενο**, άρα λύνει το πολύ βασικό πρόβλημα των ανακλάσεων στα 2,4 GHz.

Στην κατεύθυνση της εκπομπής δεν χρειάζεται πλέον να εκπέμπουμε στη μέγιστη ισχύ (κάτι που είναι απαγορευμένο) κι έτσι προκαλούμε **λιγότερη παρεμβολή** και καταπονούμε λιγότερο τον πομπό μας.



Διάφοροι ρυθμοί κυματοδηγησης σε ορθογώνιους – κυκλικούς κυματοδηγούς

1.3.1 Κυλινδρικός Κυματοδηγός



Απεικόνιση κυλινδρικού κυματοδηγού

Ο Κυλινδρικός Κυματοδηγός είναι ένας μεταλλικός κύλινδρος διαμέτρου D , από χαλκό, αλουμίνιο, μπρούτζο ή επαργυρωμένο ή επιχρυσωμένο υλικό. Σε συγκεκριμένη απόσταση από το κλειστό του άκρο τοποθετείται ένα μονόπολο, συγκεκριμένων διαστάσεων, για τη σύζευξη ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας από το ομοαξονικό καλώδιο στον κυματοδηγό και αντίστροφα.

Υπάρχει μια **ελάχιστη συχνότητα**, η οποία εξαρτάται από τη διάμετρο του κυλίνδρου, πάνω από την οποία μπορούμε να έχουμε **κυματοδότηση**.

Κυματοδότηση σημαίνει ότι, το ηλεκτρομαγνητικό κύμα **οδηγείται** μέσα στον κύλινδρο και μάλιστα με **μικρή εξασθένιση**, της τάξης των **0.2-0.02 dB/m** στα **2 GHz** σε **ιδιοκατασκευές – εμπορικές υλοποιήσεις** αντίστοιχα.

Κυματοδήγηση συμβαίνει και σε μια οπτική ίνα, όπου το οπτικό κύμα παγιδεύεται στα τοιχώματα της ίνας και μπορεί να οδηγηθεί σε μεγάλες αποστάσεις, με πολύ μικρές απώλειες. Οι κυματοδηγοί, είτε είναι ορθογώνιοι είτε κυκλικοί, αντικαθιστούν τα ομοαξονικά καλώδια στις υψηλές συχνότητες, όπου οι απώλειες των ομοαξονικών καλωδίων είναι υψηλές, ενώ των κυματοδηγών όχι.

1.4 Ρυθμοί κυματοδότησης

Διακρίνουμε τις εξής ομάδες λύσεων:

TEM (Transverse Electromagnetic) ρυθμοί

- $E_z = H_z = 0$, δηλαδή υπάρχουν μόνο εγκάρσιες συνιστώσες για το μαγνητικό και το ηλεκτρικό πεδίο.

TE (Transverse Electric) ρυθμοί

- $E_z = 0$, δηλαδή υπάρχει μόνο εγκάρσια συνιστώσα για το ηλεκτρικό πεδίο

TM (Transverse Magnetic) ρυθμοί

- $H_z = 0$, δηλαδή υπάρχει μόνο εγκάρσια συνιστώσα για το μαγνητικό πεδίο

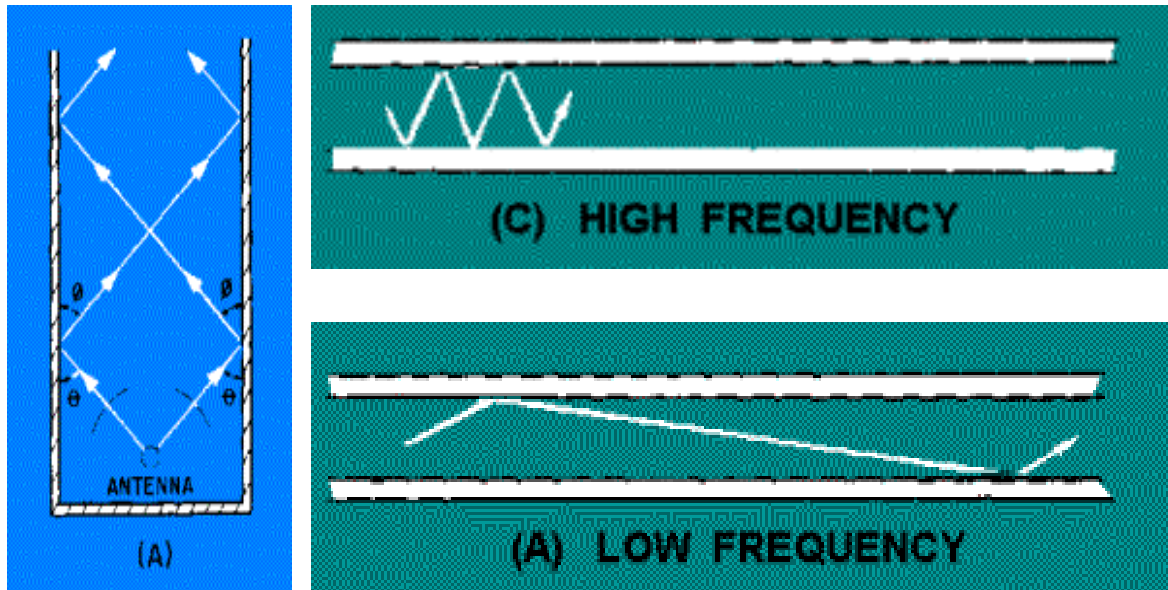
HE (Hybrid mode) ρυθμοί

- Η ηλεκτρική και η μαγνητική συνιστώσα του κύματος δεν είναι κάθετες στην κατεύθυνση διάδοσης

1.4.1 Ποιοτική ερμηνεία κυματοδότησης

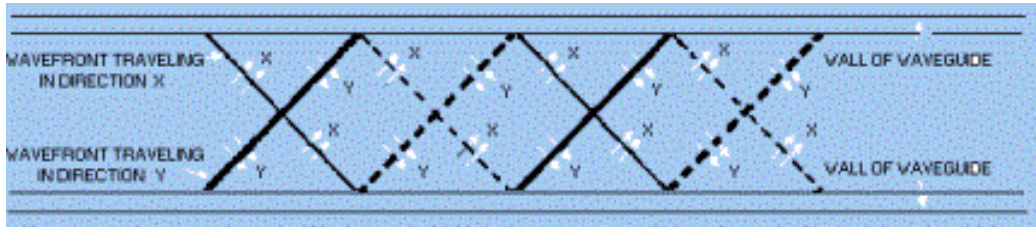
Έστω ένα μέτωπο κύματος που παράγεται από μικροκυματική πηγή, τοποθετημένη εντός του κυματοδηγού. Το κύμα αυτό προσπίπτει στα τοιχώματα με μια γωνία πρόσπτωσης και ανακλάται

με γωνία ανάκλασης ίδια με αυτή της πρόσπτωσης (νόμος του Snell). Η γωνία αυτή εξαρτάται από τη συχνότητα και τις διαστάσεις του κυματοδηγού.



Ανακλώμενα κύματα στο εσωτερικό κυματοδηγών.

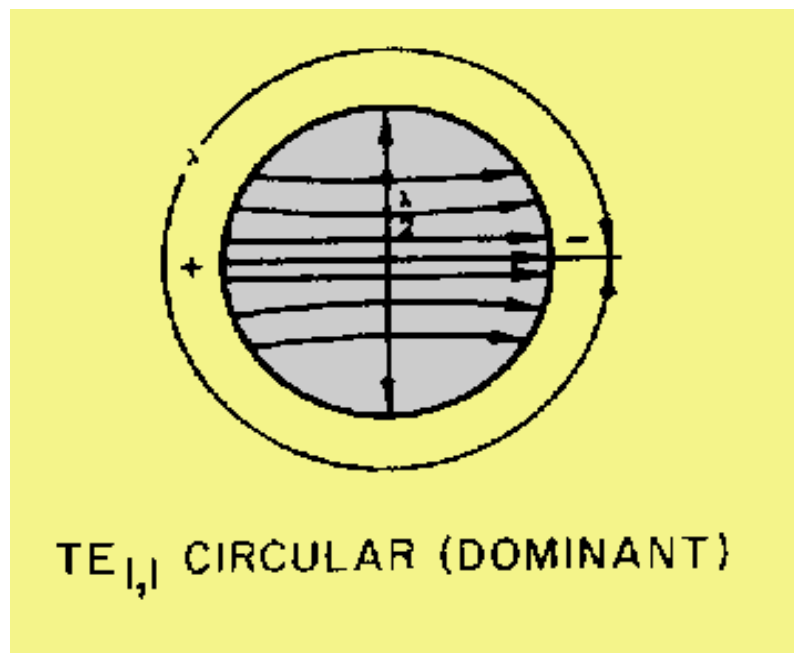
Η συχνότητα αποκοπής είναι η συχνότητα στην οποία οι γωνίες πρόσπτωσης και ανάκλασης είναι μηδέν. Σε συχνότητα μεγαλύτερη από τη συχνότητα αποκοπής, το μέτωπο του κύματος θα υφίσταται διαδοχικές ανακλάσεις στα τοιχώματα και θα οδηγείται χωρίς να υφίσταται απώλεια ενέργειας. Αντίθετα, σε συχνότητες μικρότερες το κύμα θα υφίσταται γρήγορη εξασθένιση.



Εξασθένιση κύματος χαμηλής συχνότητας.

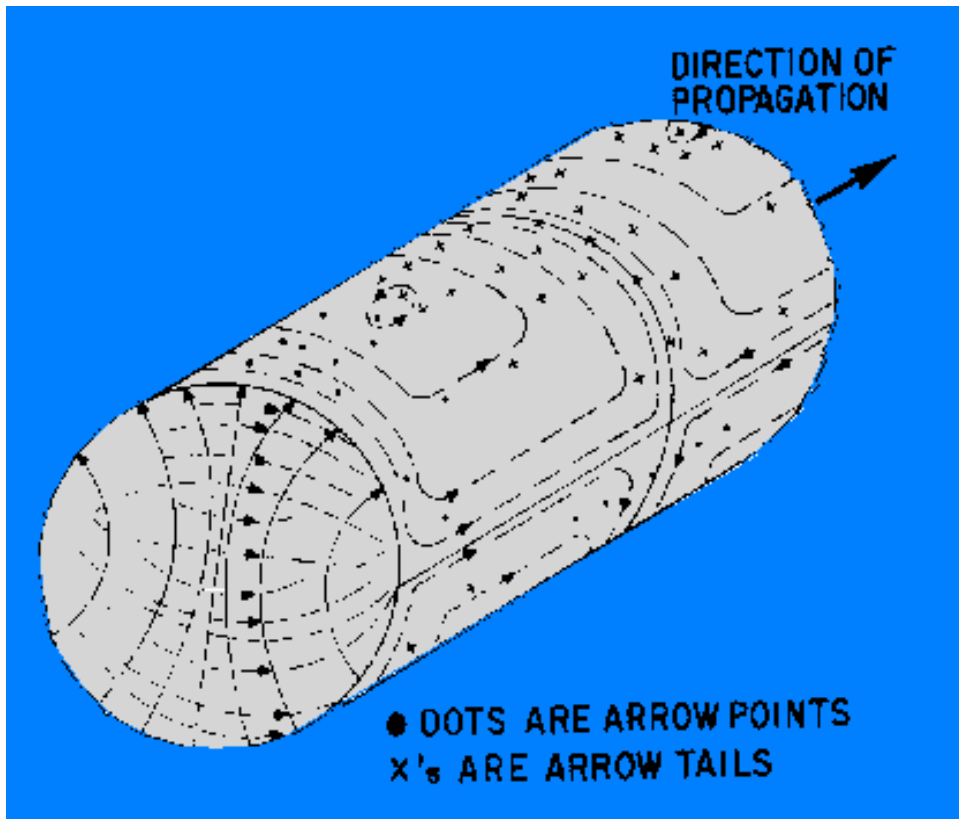
1.4.2 Κυματοδότηση σε κυκλικό κυματοδηγό

Στους κυκλικούς κυματοδηγούς έχουμε έναν αριθμό από τρόπους κυματοδότησης. Έχουμε TE_{mn} και TM_{mn} , όπου έχουμε μόνο εγκάρσια συνιστώσα ηλεκτρικού – μαγνητικού πεδίου αντίστοιχα. Οι ερμηνεία των δεικτών είναι η εξής: ο m είναι το πλήθος των ολόκληρων κυμάτων που χωράνε στην περιφέρεια του κυματοδηγού, ενώ το n το πλήθος των ημίσεων κυμάτων που χωράνε στη διάμετρο του κυματοδηγού.



Ο $TE_{1,1}$ ρυθμός σε κυλινδρικό κυματοδηγό

1.4.3 Κυματοδότηση $TE_{1,1}$ σε κυκλικό κυματοδηγό



$TE_{1,1}$ ρυθμός σε κυλινδρικό κυματοδηγό.

Ο πρώτος ρυθμός που κυματοδηγείται είναι ο $TE_{1,1}$. Το ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο σε αυτόν τον ρυθμό είναι:

Η ελάχιστη συχνότητα στο ρυθμό κυματοδότησης $TE_{1,1}$, ονομάζεται συχνότητα αποκοπής, διότι αν διεγείρουμε το μονόπολο με σήμα συχνότητας μικρότερης αυτής, το σήμα θα

εξασθενίσει κοντά στο μονόπολο και δεν θα
κυματοδηγηθεί.

Η συχνότητα αποκοπής για κυλινδρικό κυματοδηγό είναι:

$$TE_{1,1} \text{Cutoff Frequency (MHz)} = \frac{175698,4}{D(\text{mm})}$$

όπου D η διάμετρος του κυματοδηγού.

Ο αμέσως επόμενος ρυθμός ονομάζεται $TM_{0,1}$ και η συχνότητα αποκοπής του είναι:

$$TM_{0,1} \text{CutOff frequency (MHz)} = \frac{229485,2}{D(\text{mm})}$$

όπου D η διάμετρος του κυματοδηγού.

Για να έχουμε την επιθυμητή κυματοδότηση, θέλουμε στις συχνότητες της ζώνης μας να διεγερθεί **μόνο ο $TE_{1,1}$ και όχι ο $TM_{0,1}$ ρυθμός.**

Άρα πρέπει για όλη τη μπάντα να ισχύει:

$$TE_{1,1} \text{Cutoff} \leq \text{frequency} \leq TM_{0,1} \text{Cutoff}$$

Επομένως, δεδομένης της μπάντας συχνοτήτων, μπαίνουν όρια στη διάμετρο.

Πρέπει να ισχύει:

$$TE_{1,1} \text{ CutOff} \leq \text{frequency} \leq TM_{0,1} \text{ CutOff} \Rightarrow$$

$$\frac{175698,4}{D} \leq \text{frequency} \leq \frac{229485,2}{D} \Rightarrow$$

$$1,306 \cdot D \leq l_0 \leq 1,706 \cdot D$$

Ειδικά για τη ζώνη συχνοτήτων του WIFI 2400 – 2490 MHz θα πρέπει να ισχύει:

$$73,2 \text{ mm} \leq D(\text{mm}) \leq 92,2 \text{ mm}$$

Αν η διάμετρος του κυματοδηγού είναι μικρότερη δεν θα έχουμε **κυματοδήγηση** αλλά **εξασθένιση**, άρα το κέρδος της κεραίας θα είναι μικρότερο. Όσο η διάμετρος είναι πιο κοντά στη **μέγιστη** επιτρεπόμενη τιμή, **θα έχουμε μικρότερο μήκος κυματοδήγησης, μικρότερες διαστάσεις** κεραίας και πιο **ευρυζωνική λειτουργία**.

Αν η διάμετρος του κυματοδηγού είναι μεγαλύτερη θα έχουμε κυματοδήγηση και σε ανώτερους ρυθμούς, με αποτέλεσμα το κέρδος να μην είναι το βέλτιστο.

Να σημειώσουμε ότι σε μερικές σχεδιάσεις, αφήνουμε και άλλους ρυθμούς να διεγερθούν προκειμένου να μορφοποιήσουμε τους πλευρικούς λοβούς, σε βάρος όμως του κέρδους της κεραίας.

1.4.4 Μήκος κύματος κυματοδότησης

Το μήκος κύματος l_g στον κυματοδηγό δίνεται από τη σχέση:

$$\frac{1}{l_g^2} = \frac{1}{l_c^2} + \frac{1}{l_0^2}$$

Όπου l_0 είναι το μήκος κύματος του σήματος στην ελεύθερη διάδοση του στον αέρα:

$$l_0 = \frac{c}{f}, \quad c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/sec}$$

Και l_c είναι το μήκος κύματος του σήματος που αντιστοιχεί στη συχνότητα αποκοπής TE₁₁:

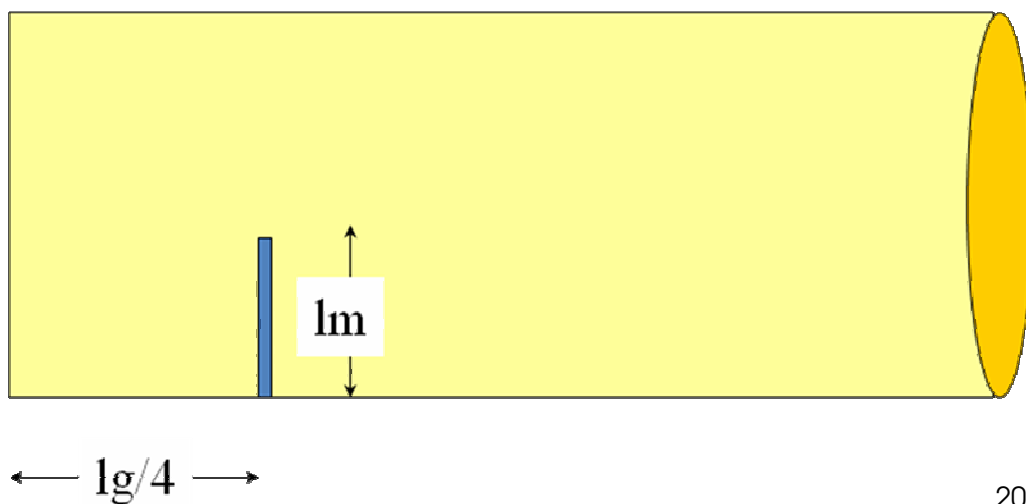
$$l_c = \frac{c}{f_{cTE11}}$$

1.4.5 Τοποθέτηση μονόπολου

Στον κυματοδηγό υπάρχουν δύο κύματα, ένα κατευθείαν και ένα ανακλώμενο, το οποίο έχει προέλθει από την ανάκλαση στο κλειστό άκρο του κυματοδηγού. Αν τοποθετήσουμε το μονόπολο σε απόσταση $l_g/4$ από το κλειστό άκρο αποδεικνύεται ότι η κεραία μας θα έχει τη βέλτιστη απόδοση και θα είναι προσαρμοσμένη. Αν η κεραία δεν είναι προσαρμοσμένη στον πομποδέκτη, τότε θα εμφανίζονται στάσιμα κύματα πάνω στο καλώδιο που συνδέει τον πομπό με την κεραία, δηλαδή ένα κομμάτι ισχύος επιστρέφεται στον πομπό και δεν ακτινοβολείται από την κεραία.

Αυτό συνεπάγεται μειωμένη ισχύ εκπομπής από την κεραία αλλά και την πιθανότητα να καεί ο πομπός μας, λόγω του ανακλώμενου κύματος.

1.5 Κεραία ανοιχτού κυλινδρικού κυματοδηγού, Γεωμετρία μιας Cantenna



Αποτελείται από ένα μεταλλικό κύλινδρο διαμέτρου D και μήκους l , ο οποίος είναι κλειστός στη μια άκρη και ανοικτός στην άλλη. Σε συγκεκριμένη απόσταση από το κλειστό άκρο τοποθετείται ένα μονόπολο για την τροφοδότηση της κεραίας. Το μονόπολο και αυτό έχει συγκεκριμένο μήκος. Η συγκεκριμένη διάταξη αποτελεί μια απλή και λειτουργική κεραία. Το μήκος του κυματοδηγού πρέπει να είναι από δύο ως τρία μήκη κύματος κυματοδηγού, ώστε να έχουμε βέλτιστο κέρδος. Αύξηση του μήκους περαιτέρω δεν έχει ουσιαστική επίδραση στο κέρδος, ενώ μείωσή του ελαττώνει το κέρδος και ανοίγει το λοβό ακτινοβολίας.

Αναλυτικός τύπος που να δίνει το κέρδος, συναρτήσει των διαστάσεων δεν υπάρχει, λόγω της μεγάλης δυσκολίας επίλυσης του αντίστοιχου προβλήματος.

Αν θεωρήσουμε τον γενικό τύπο που δίνει το κέρδος μιας κεραίας συναρτήσει της ενεργής επιφάνειας έχουμε :

$$G = \text{eff} \cdot A \cdot \frac{4\pi}{\lambda_0^2}$$

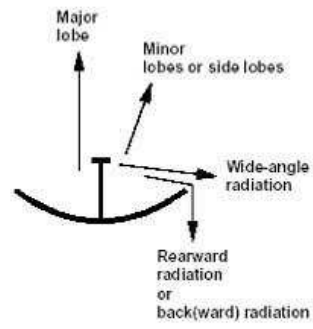
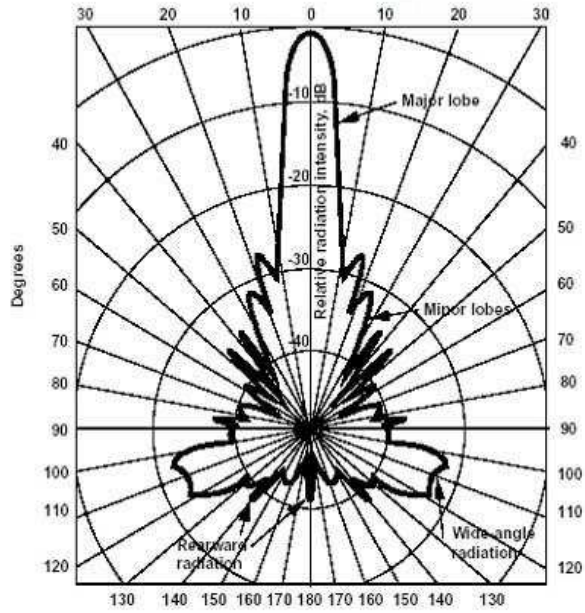
Αν θεωρήσουμε μια τέτοια κεραία με διάμετρο τη μέγιστη που μπορούμε να έχουμε, δηλαδή με $D = \lambda/1,306$ και $\text{eff} = 1$, τότε το κέρδος θα είναι:

$$G = \text{eff} \cdot A \cdot \frac{4\pi}{\lambda_0^2} = 1 \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{4\pi}{\lambda_0^2} = 5,79 = 7,6 \text{ dB}$$

Πειραματικά διαπιστώνουμε ότι έχουμε κέρδος το οποίο εξαρτάται ελαφρά από το μήκος της κεραίας. Έτσι με μήκος ανάμεσα σε δύο και τρία μήκη κύματος κυματοδότησης έχουμε μέγιστο κέρδος, περίπου 9dB, ενώ για πιο κοντές κεραίες, κοντά στο ένα μήκος κύματος κυματοδότησης, το κέρδος είναι γύρω στα 7 dB.

Διαπιστώνουμε δηλαδή ότι η κεραία συλλαμβάνει ενέργεια από επιφάνεια μεγαλύτερη από τη διατομή της. Έτσι η κεραία αυτή δεν μπορεί να θεωρηθεί κεραία επιφάνειας, πράγμα το οποίο εξηγείται από το γεγονός ότι η διατομή της είναι συγκρίσιμη με το μήκος κύματος.

Μπορούμε να εφαρμόσουμε τη γενική σχέση για το κέρδος κεραίας επιφάνειας, αν οι διαστάσεις της είναι μεγαλύτερες από το μήκος κύματος.



Τυπικό κέρδος μιας μικροκυματικής κεραίας.

2

2.1 Κατασκευή και μετρήσεις

Για την κατασκευή της Cantenna χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα της ιστοσελίδας:

http://info.awmn.net/users/images/stories/Library/Handmade/How%20to%20build%20a%20cantenna%20%20802_11%20b%20Greek%20Tutorial.htm.

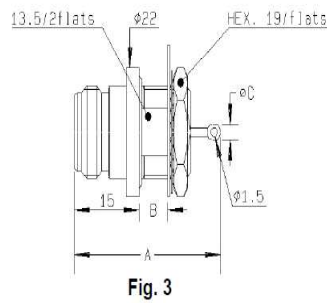
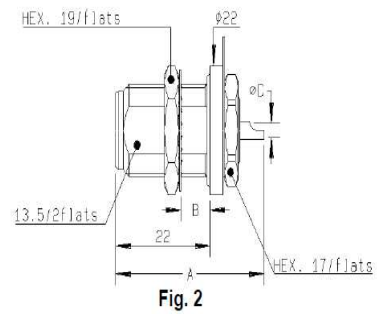
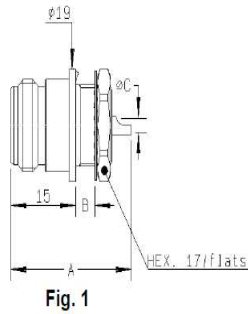
Σύμφωνα με τις οδηγίες της ιστοσελίδας οι υπολογισμοί των μεγεθών $TE_{1,1}$ και $TM_{0,1}$ θα γίνουν συναρτήσει του μήκους του κυλινδρικού κουτιού και της διαμέτρου της ανοιχτής του πλευράς. Έτσι ανάλογα με αυτές τις διαστάσεις και έχοντας κατά νου το εύρος συχνοτήτων που επιθυμούμε υπολογίζουμε την απόσταση από τον πάτο που πρέπει να τοποθετηθεί ο Type N connector και το μήκος που πρέπει να έχει το pin για να συντονιστεί ο κυματοδηγός στην επιθυμητή συχνότητα.

Τα απαιτούμενα υλικά είναι:

- Ένα μεταλλικό ή με μεταλλική εσωτερική επίστρωση κουτί
- Ένα χάλκινο σύρμα

- Spray ψυχρού γαλβανισμού Griffon GalvaTec
Zinc spray 98% καθαρός ψευδάργυρος
- Ένας αρσενικός σύνδεσμος τύπου N για σασί

BULKHEAD STRAIGHT RECEPTACLES (fully sealed or panel hermetic)



Part number	Fig.	Dimensions (mm)			Captured center contact	Panel drilling	Note
		A	B	C			
R161 570 000	1	28	4.5	2.4	yes	P13	Front mount
R161 606 000	2	34.6	6.5	2.4	yes	P14	Rear mount /Fully sealed
R161 625 000	3	34	6.5	2.5	yes	P14	Front mount / Panel hermetic

- Χαλκοταινία 3M1 126D-ND Acrylic Conductive.

Datasheets	1126 Tape
Product Photos	1126 X 6"
MSDS Material Safety Datasheet	1126, DC1126 MSDS
Standard Package	4

Category	RF and RFID
Family	RFI and EMI - Shielding and Absorbing Materials
Series	1126
Tape Type	EMI Shielding
Adhesive	Acrylic, Conductive
Backing, Carrier	Copper Foil
Color	Copper
Thickness	0.0035" (3.5 mils, 0.089mm)
Usage	Shielding, Cable Wrap
Width	6.00" (152.40mm) 1/2'
Length	108' (32.9m) 36 yds
Temperature Range	-
<u>Packaging</u>	-
Thickness - Adhesive	0.0021" (2.1 mils, 0.053mm)
Thickness - Backing, Carrier, Liner	0.0014" (1.4 mils, 0.0036mm)
Catalog Page	522 (Interactive) 522 (PDF)
Other Names	3M1126D

Datasheet χαλκοταινίας.

Στις μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν τα εξής όργανα:

- Αναλυτής δικτύων Agilent 8714ES με εύρος συχνοτήτων 300 KHz – 3GHz
- Για τη σύνδεση κεραίας-αναλυτή δικτύων, καλώδιο Pasternack Semirigid: Pasternack PE33232-18,N(m)-N(m)

- Οι μετρήσεις και ο συντονισμός έγινε στα εργαστήρια του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης

Εναλλακτικά θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε τις οδηγίες της ιστοσελίδας:

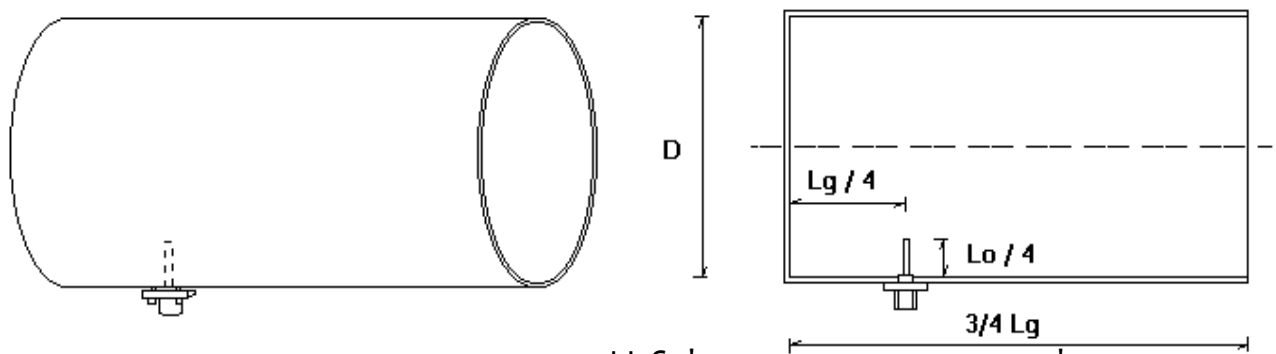
<http://www.saunalahti.fi/elepal/antenna2.html>.

Το παρακάτω μοντέλο είναι εικόνα από την ιστοσελίδα:

<http://www.gbonline.com/~multiplx/wireless/pics/tincanant.jpg>

όπου δεν βασίζεται σε κάποιες θεωρητικές αρχές, αλλά είναι η βασική δομή κατασκευής που χρησιμοποιείται στους κυματοδηγούς των coaxial adaptors.

Ο κυματοδηγός κατασκευάζεται από ένα μεταλλικό κυλινδρικό κουτί και έναν αρσενικό Type N connector, όπως και στο προηγούμενο site, με τη διαφορά ότι αυτή τη φορά έχουμε σαν δεδομένο τη συχνότητα λειτουργίας στα 2.45 GHz και τη διάμετρο του κουτιού και υπολογίζουμε το μήκος του κουτιού.



Η διάμετρος του κουτιού

των Pringles είναι 730 mm, σύμφωνα με τον calculator της ιστοσελίδας τα αποτελέσματα που παίρνουμε είναι:

$$L_0 = 122\text{mm}$$

$$L_0/4 = 31\text{mm}$$

$$L_g = 123\text{ mm}$$

$$L_g/4 = 31\text{mm}$$

Το μήκος του κυματοδηγού είναι 123 mm, εξαιρετικά μικρό, οπότε και απορρίπτουμε τον συγκεκριμένο τρόπο σχεδιασμού.

2.2 Type N Connector (Συνδετήρας)

Ο συνδετήρας τύπου N (type N connector) είναι ένας ελικωτός RF κονέκτορας, που χρησιμοποιείτε για την ένωση ομοαξονικών καλωδίων. Ήταν ένας από τους πρώτους συνδετήρες που ήταν ικανός να μεταφέρει μικροκυματικές συχνότητες και εφευρέθηκε τη δεκαετία του 1940 από τον Paul Neill των Bell Labs, από τον οποίο και πήρε το όνομά του.



Ένα ομοαξονικό καλώδιο με έναν συνδετήρα τύπου N.

2.2.1 Σχεδιασμός

Αρχικά, ο συνδετήρας κατασκευάστηκε για να μεταφέρει σήματα μέχρι και 1MHz σε στρατιωτικές κατασκευές, αλλά ο τυπικός συνδετήρας τύπου N σήμερα μπορεί να χειριστεί σήματα μέχρι και τα 11 GHz. Πιο πρόσφατες αναβαθμίσεις ακριβείας στο σχεδιασμό του από τον Julius Botka στην Hewlett Packard έχουν ανεβάσει το όριο μέχρι και τα 18 GHz. Ο αρσενικός συνδετήρας τύπου N έχει ένα κενό αέρος ανάμεσα στους εσωτερικούς και εξωτερικούς οδηγούς.

2.2.2 Χρήση

Ο συνδετήρας τύπου N ακολουθεί το MIL-C-39012 πρότυπο, που καθορίστηκε από τον Στρατό των ΗΠΑ και βγαίνει σε εκδόσεις των 50 Ohms και 75 Ohms. Η έκδοση των 50 Ohms χρησιμοποιείται ευρέως στην υποδομή της επίγειας κινητής τηλεφωνίας, των ασύρματων δικτύων και των κυψελοειδών δικτύων. Η έκδοση των 75 Ohms χρησιμοποιείται κυρίως στις υποδομές της καλωδιακής τηλεόρασης. Σύνδεση δύο διαφορετικών συνδέσμων μεταξύ τους θα είναι καταστροφικός, εξαιτίας της διαφοράς μεγέθους της κεντρικής ακίδας. Δυστυχώς οι περισσότεροι συνδετήρες δεν έχουν ένδειξη των Ohm, με αποτέλεσμα να είναι δύσκολη η αποφυγή ζημιάς σε ένα περιβάλλον με ανάμεικτες αντιστάσεις.

Ο συνδετήρας τύπου N των 50 Ohm προτιμάται από τους χρήστες wireless LAN δικτύων, στη ζώνη των 2,4 GHz ή 5 GHz.

2.2.3 Παραλλαγές

Ο SnapN συνδετήρας σχεδιάστηκε από την Rosenberger το 2006 και είναι ένας συνδετήρας γρήγορης ασφάλισης για τις, ευρέως διαδεδομένες χρήσεις του απλού type N connector. Αν και μέλος της Quick Lock Formula Alliance (QLF), οι μηχανικοί στην Rosenberger σχεδίασαν ανεξάρτητα τον SnapN connector με σκοπό να διορθώσουν τα προβλήματα απόδοσης της έκδοσης του Snap N connector που κατασκεύασε η QLF, του QN. Η νέα έκδοση επιτυγχάνει καλύτερη ηλεκτρονική απόδοση γιατί, αντίθετα από τον QN, αυτή η έκδοση διατηρεί τις βασικές κατασκευαστικές παραμέτρους του αρχικού type N connector, στην οποία οι εσωτερικές διαστάσεις του εξωτερικού συνδέσμου είναι 7.00mm, και οι εξωτερικές διαστάσεις του εσωτερικού συνδέσμου είναι 3.04mm.



Ο SharpN σύνδεσμος.

2.3 Συναρμολόγηση

Το κυλινδρικό κουτί είναι μια συσκευασία των **Pringles**, η οποία εσωτερικά είναι επιστρωμένη με αλουμίνιο πάχους 2mm περίπου. Οι διαστάσεις του κουτιού είναι οι εξής :

- Μήκος 22 cm
- Εσωτερική διάμετρος 7.3 cm

Με αυτές τις διαστάσεις τα αποτελέσματα που παίρνουμε βάσει των υπολογισμών της παραπάνω ιστοσελίδας είναι:

Cutoff frequency TE11 mode 2344.83 MHz

Cutoff frequency TM01 mode 3062.66 MHz

Guide Wavelength 45.16 cm

1/4 Guide Wavelength 11.3 cm

3/4 Guide Wavelength 33.88 cm

το μήκος του pin (σύρματος) πρέπει να είναι 3.1 cm

Αρχικά τρυπήσαμε το κουτί σε απόσταση από τον πάτο 11,3 cm. Το pin κολλήθηκε στον συνδετήρα τύπου N, με ολικό μήκος 5 cm (Type N connector συν pin) και βιδώθηκε πάνω στο κουτί στο οποίο και έκανε αγωγή επαφή.

Κατασκευάσαμε ακόμα δύο πρωτότυπα με τη διαφορά ότι, η τρύπα έγινε ένα cm πιο πάνω από το θεωρικό στα 12,3 cm και ένα cm πιο κάτω από το θεωρητικό στα 10,3 cm. Οι διαστάσεις του pin παρέμειναν οι ίδιες.



2.4 Μετρήσεις

Για να συντονίζουμε τον κυματοδηγό στην επιθυμητή συχνότητα, κόβαμε σταδιακά το pin κατά 3mm περίπου τη φορά. Ο συντονισμός έγινε στα εργαστήρια του Πολυτεχνείου και τα αποτελέσματα της πειραματικής διαδικασίας είναι τα κάτωθι:

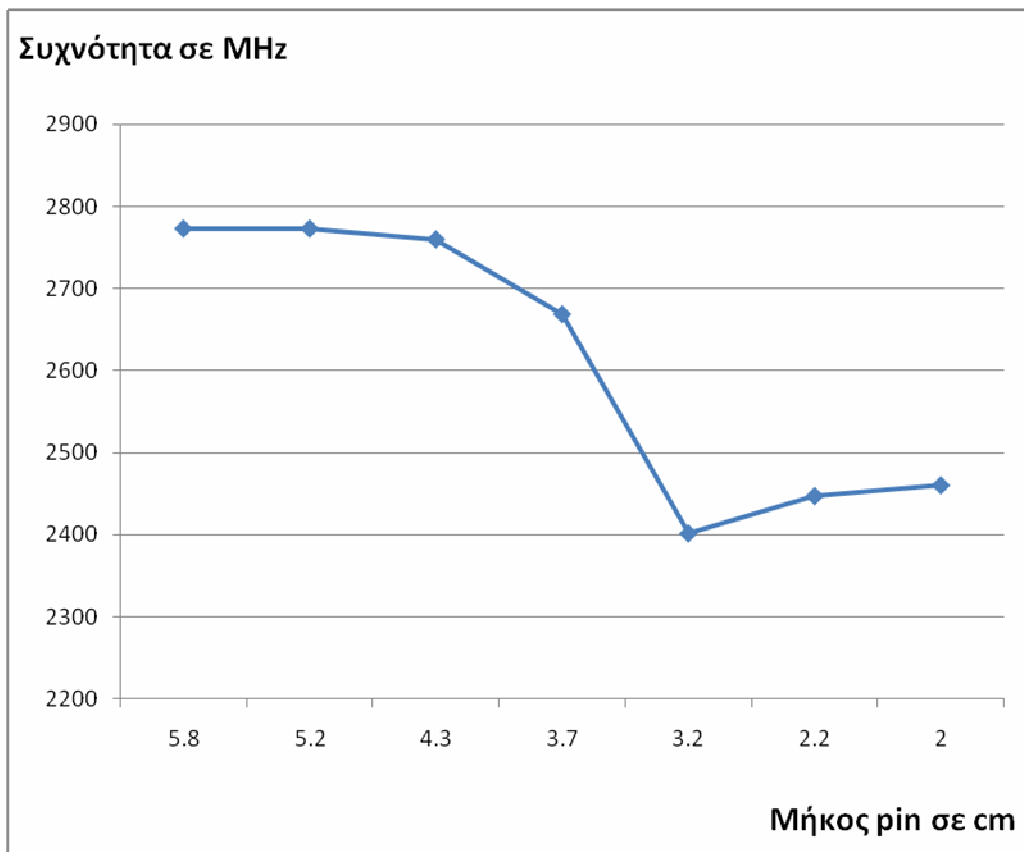
2.4.1 Κυματοδηγός 10,3cm

Μήκος pin	ΣυχνότηταMHz	dB
5.8 cm	2772.500	-26.4
5.2 cm	2772.500	-23
4.3 cm	2759.500	-9.7
3.7 cm	2668.500	-7.35
3.2 cm	2402.000	-5.9
2.2 cm	2447.500	-10.7
2 cm	2460.500	-4.9

Μπορούμε να πούμε ότι έχουμε έναν ασθενή συντονισμό στα -10.7 dB, για μήκος του pin 2.2 cm. Παρατηρήσαμε όμως και έναν πιθανό συντονισμό του κυματοδηγού πάνω από τα 3GHz στις δύο τελευταίες μετρήσεις. Γίνεται φανερό ότι, όσο πλησιάζουμε στον πάτο του κουτιού, πλησιάζουμε και

τη συχνότητα συντονισμού του επιθυμητού συντονισμού. Από τις μετρήσεις παρατηρούμε ότι το κέρδος είναι τόσο χαμηλό, που σίγουρα δεν επιτρέπει συντονισμό σε κανένα από τα δίκτυα 802.11 b,g.

Η απόκλιση από το θεωρητικό μοντέλο είναι σημαντική και σαν επακόλουθο έρχεται η απόρριψη του κυματοδηγού για χρήσεις στα 2,4 GHz.



Γραφική αναπαράσταση των μετρήσεων του κυματοδηγού 10.3 cm

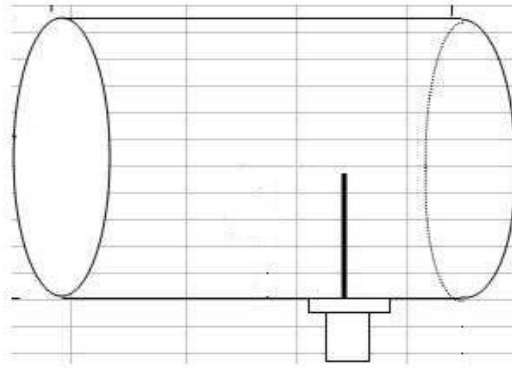
2.4.2 Κυματοδηγός 11,3 cm

Μήκος ρ_{in}	Συχνότητα Mhz	dB
4.4 cm	2681.500	-18.45
4.2 cm	2675.500	-9.9
3.8 cm	2675.000	-6.7
3.5 cm	2935.000	-5.2
3.2 cm	2930.000	-7.9
3.1 cm	2930.000	-14.2
2.6 cm	2415.000	-17.2
2.3 cm	2440.000	-9.1
1.7 cm	2450.000	-4

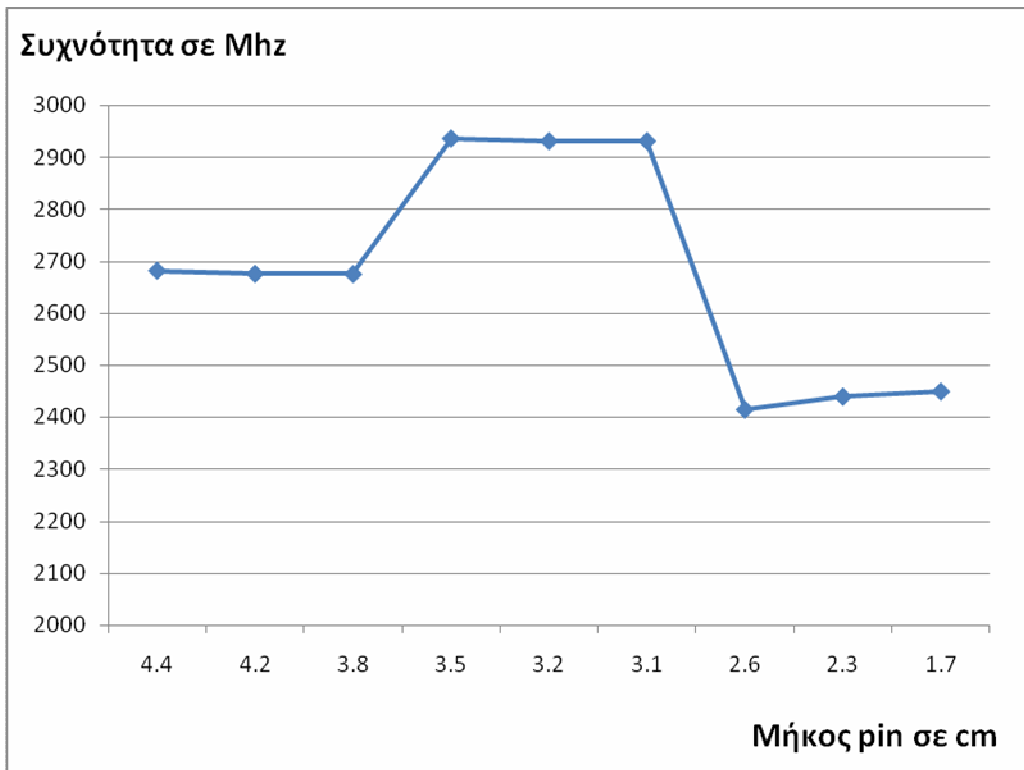
Αν και ο αρχικός συντονισμός είναι σημαντικά πιο πάνω από την επιθυμητή συχνότητα, το πρωτότυπο που σχεδιάστηκε βάσει της θεωρίας, πέτυχε συντονισμό στα 2,415 GHz, περιοχή που ανταποκρίνεται στο φάσμα συχνοτήτων του προτύπου

802.11 g. Παρατηρούμε ότι όταν ξεπεράσουμε το θεωρητικό μήκος του ρ_{in} , αφού έχουμε πετύχει τον συντονισμό, η συχνότητα αρχίζει να αυξάνεται και πάλι. Στο θεωρητικό μήκος των 3,1 cm όπου θα έπρεπε να συντονίζει η κεραία παρατηρούμε μια απόκλιση της τάξης των 500 MHz. Ο συντονισμός έγινε για μήκος ρ_{in} 2,6 cm και αυτό οφείλεται στο ίδιο

το σχήμα του type N connector. Ένα τμήμα του συνδετήρα βρίσκεται στο εσωτερικό του κουτιού, με αποτέλεσμα ο παραπανίσιος όγκος, αρχικά, να μην λαμβάνεται υπόψη στους θεωρητικούς υπολογισμούς και πιθανόν να παραμορφώνει τη μορφή του κύματος. Στο θεωρικό σχήμα του κυματοδηγού μόνο το pin βρίσκεται εντός του. Επιπλέον, το πάχος του pin είναι αρκετά μικρό, εφόσον χρησιμοποιήθηκε ένα μονόκλωνο χάλκινο σύρμα από καλώδιο κεραιάς.



Θεωρητικό σχήμα Cantenna



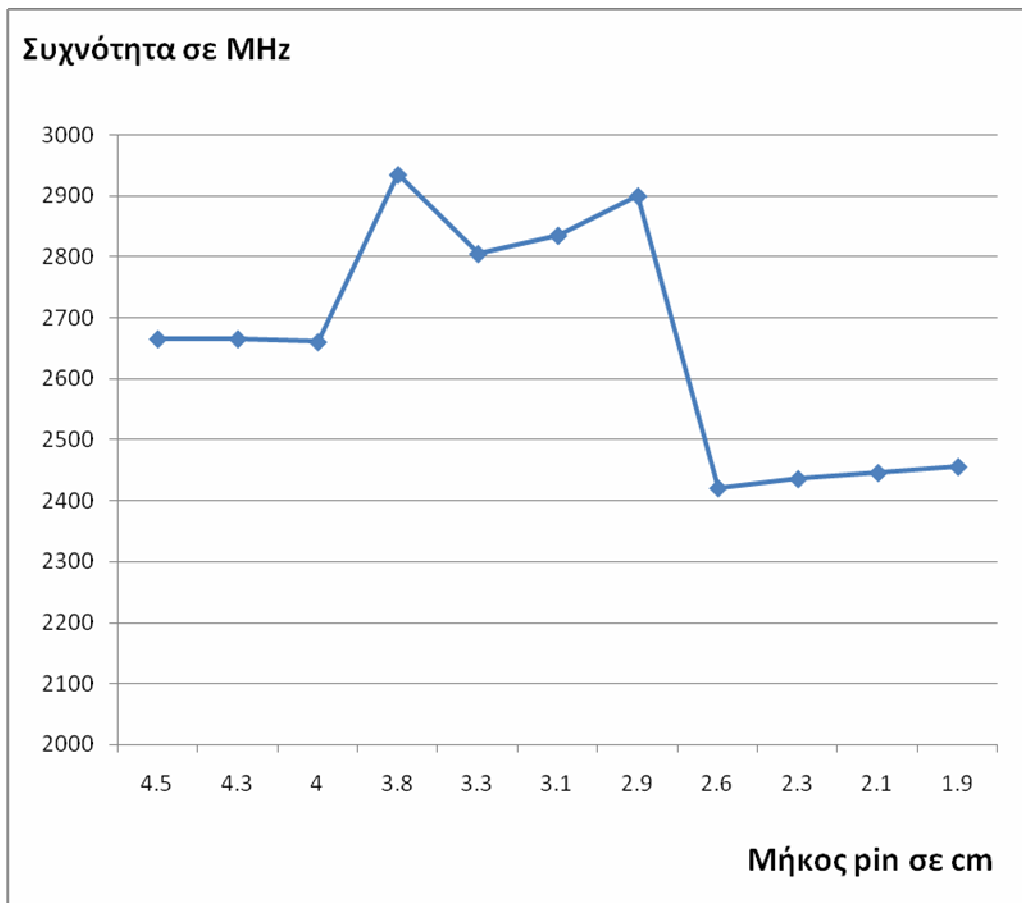
Γραφική αναπαράσταση των μετρήσεων του κυματοδηγού 11.3 cm.

2.4.3 Κυματοδηγός 12,3 cm

Μήκος pin	Συχνότητα MHZ	db
4.5 cm	2665.000	-10
4.3 cm	2665.000	-7.6
4 cm	2660.000	-5.6
3.8 cm	2935.000	-6
3.3 cm	2805.000	-10.9
3.1 cm	2835.000	-19.3
2.9 cm	2900.000	-21.5
2.6 cm	2420.000	-9.12
2.3 cm	2435.000	-19.7
2.1 cm	2445.000	-20.5
1.9 cm	2455.000	-10.7

Σε σύγκριση με τις προηγούμενους δύο πειραματικούς κυματοδηγούς ο συγκεκριμένος, στον οποίο είναι το pin είναι τοποθετημένο ένα εκατοστό πιο πάνω από το θεωρητικό, πέτυχε τη χαμηλότερη αρχική συχνότητα, στην οποία υπάρχει και ένας ασθενής συντονισμός της τάξης των -10 db. Στις επιθυμητές συχνότητες των 2.435 GHz και 2.445 GHz (802.11, g) παρατηρήθηκε ισχυρός συντονισμός έως και 3 db περισσότερο απ' ότι στο θεωρητικό κυματοδηγό. Επομένως η απόκλιση κατά 1 cm από τη θεωρητική προς τα πάνω, επέφερε θετικά αποτελέσματα και σίγουρα ένας τέτοιος

κυματοδηγός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για εφαρμογές στο πρότυπο 802.11 b ή g.



Γραφική αναπαράσταση των μετρήσεων του κυματοδηγού 12.3 cm.

2.4.4 Τελικοί Κυματοδηγοί



Με βάση τους πρωτότυπους κυματοδηγούς κατασκευάστηκαν οι δύο τελικοί. Εφόσον ο κυματοδηγός των 10.3 cm απορρίφθηκε κατασκευάστηκαν μόνο αυτοί των 11.3 cm (θεωρητικός) και 12.3 cm, που ο πρωτότυπός του είχε πετύχει υψηλότερο συντονισμό από το θεωρητικό. Στους τελικούς κυματοδηγούς χρησιμοποιήθηκε για riph μασίφ χάλκινο κομμάτι από ανακλαστήρα κεραίας πάχους 4 mm. Ο Type N connector ήταν και πάλι

αρσενικός για σασί, με τη διαφορά ότι το τμήμα στο οποίο κολλήθηκε το pin ήταν χάλκινο.



Επιπλέον πριν βιδωθεί πάνω στο κουτί των Pringles περάστηκε ένα δαχτυλίδι ανάμεσα στο κουτί και τον κονέκτορα, ούτως ώστε να κάνει καλύτερη επαφή με την αλουμινένια επίστρωση του κουτιού.

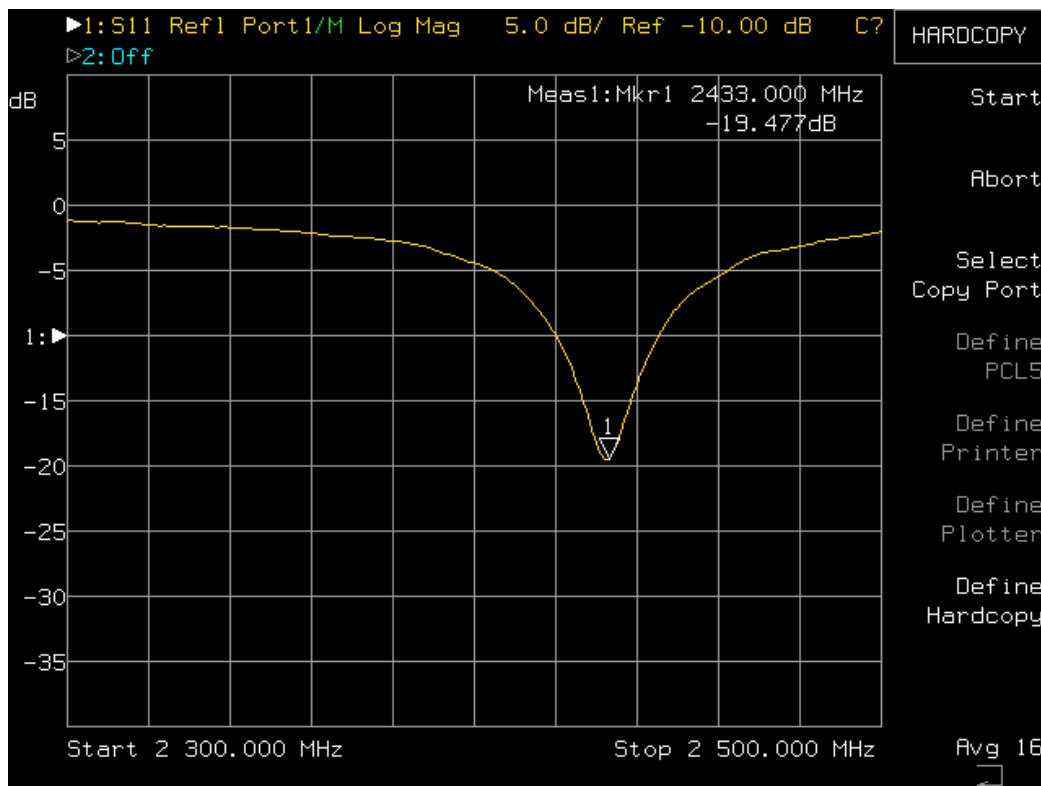


Αρχικά το μήκος του pin ήταν 6 cm, πρακτικά εφαπτόταν στην άνω επιφάνεια του κουτιού. Κατά τη διάρκεια των μετρήσεων παρατηρήθηκε ότι η συχνότητα συντονισμού παρέμενε 2,7GHz μέχρι που το μήκος του pin έφτασε το αντίστοιχο των πρωτότυπων κυματοδηγών στα 5 cm περίπου. Για το συντονισμό των κυματοδηγών ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία με αυτήν στους πρωτότυπους. Μειώναμε το μήκος του pin ανά 2 mm, χρησιμοποιώντας ένα dremel ώστε η πάνω επιφάνεια του pin να είναι όσο το δυνατόν πιο επίπεδη, γιατί στη θεωρία το πάνω μέρος του pin δεν έχει κορυφή που θα σχηματιζόταν αν χρησιμοποιούσαμε κόφτη. Αυτή τη φορά μόλις επιτεύχθηκε ισχυρός συντονισμός εντός της επιθυμητής ζώνης συχνοτήτων σταματήσαμε.

2.4.5 Τελικός Κυματοδηγός 11.3 cm

Μήκος pin	Συχνότητα MHz	db
5.9 cm	2700.00	-19
5.7 cm	2700.00	-12.6
5.4 cm	2700.00	-14.05
5.2 cm	2700.00	-11
4.9 cm	2135.00 / 2705.00	-38/-10
4.6 cm	2700.00	-6.6
4.4 cm	2690.00	-6.6
4.1 cm	2670.00	-5.3

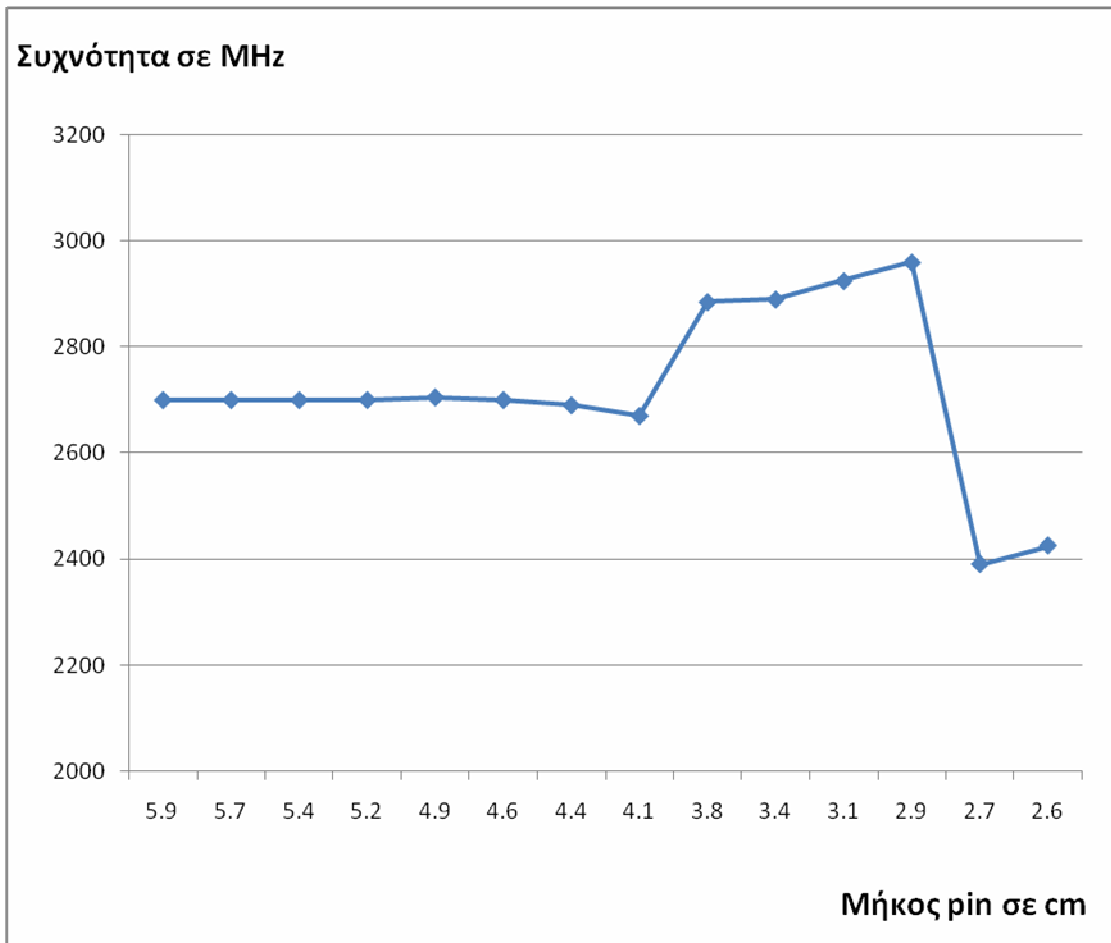
3.8 cm	2885.00	-6
3.4 cm	2890.00	-2.5
3.1 cm	2925.00 / 2330.00	-3.7/- 27.3
2.9 cm	2960.00	-17
2.7 cm	2390.00	-12
2.6 cm	2425.00	-22.3



Συντονισμός Κυματοδηγού 11.3 cm

Παρατηρούμε ότι η συχνότητα παραμένει σταθερή στα 2.7 GHz για τέσσερις μετρήσεις με ισχυρούς συντονισμούς, ενώ στην πέμπτη έχουμε συντονισμό σε δύο συχνότητες, στη μία πολύ ισχυρό στα 2.135 GHz. Από την έβδομη μέτρηση και έπειτα παρατηρείται το ίδιο μοτίβο με τις αρχικές μετρήσεις στους πρωτότυπους κυματοδηγούς. Με τη μείωση του

μήκους του pin έχουμε αύξηση της συχνότητας, μέχρι που πετυχαίνουμε συντονισμό στη συχνότητα των 2.425 GHz για μήκος pin 2.6 cm, ακριβώς ίδιο με αυτό της πρωτότυπης. Εδώ ο συντονισμός είναι πολύ οξύτερος στα -22.3 db, πράγμα αναμενόμενο αφού το πάχος του pin ήταν μεγαλύτερο και ο κονέκτορας έκανε καλύτερη επαφή με την αλουμινένια επιφάνεια του κουτιού. Παρόλα αυτά υπάρχει πάλι απόκλιση από το θεωρητικό μήκος των 3.1 cm. Και πάλι η μορφολογία του Type N connector και το γεγονός ότι ένα τμήμα του εισέρχεται μέσα στο εσωτερικό του κουτιού, προκαλεί την απόκλιση από το θεωρητικό μοντέλο.



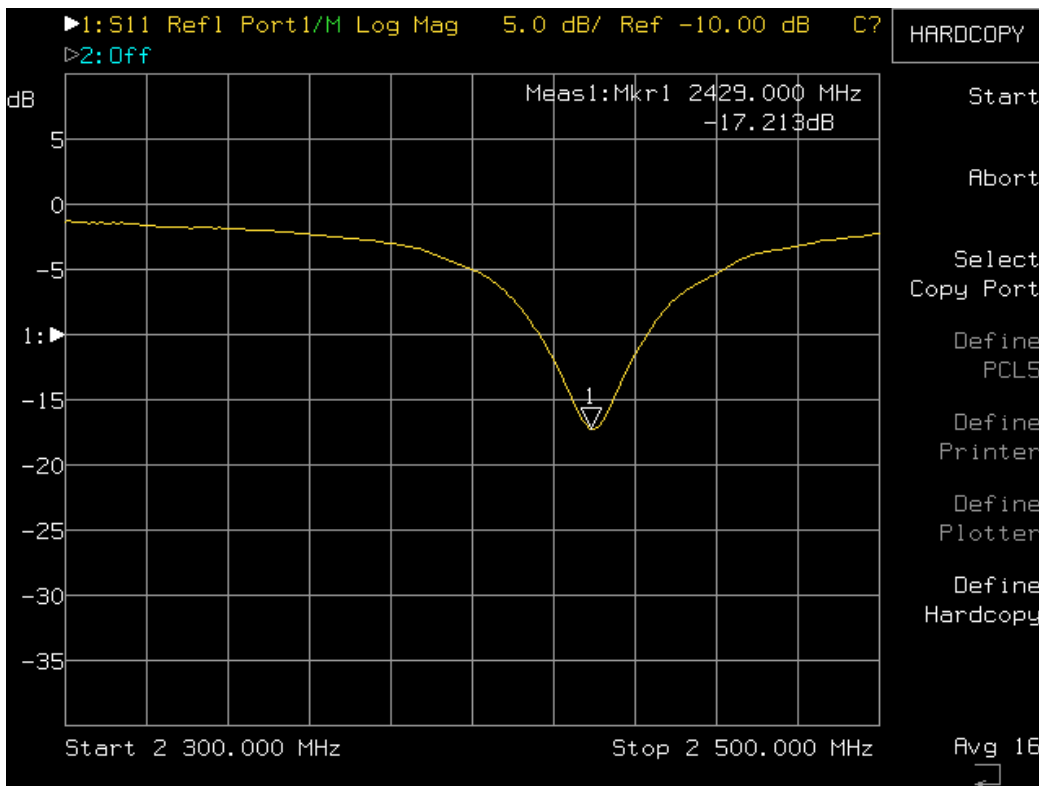
Γραφική αναπαράσταση των μετρήσεων του τελικού κυματοδηγού 11.3 cm.

2.4.6 Τελικός Κυματοδηγός 12.3 cm

Μήκος pin	Συχνότητα MHz	db
5.6 cm	2664.00	-7.1
5.4 cm	2656.00	-10.46
5.2 cm	2664.00	-12.9
5 cm	2660.00	-7.1
4.8 cm	2656.00	-6.1
4.5 cm	2648.00	-5.4
4.3 cm	2648.00	-4.8
4.2 cm	2636.00	-4.8
4 cm	2900.00	-5.5
3.8 cm	2900.00	-6.5
3.6 cm	2900.00	-7.2
3.4 cm	2856.00	-11.6
3.2 cm	2864.00	-28.9
3 cm	2920.00 / 2388.00	-13.7/- 7
2.8 cm	2408.00	-11.2
2.6 cm	2412.00	-13.6
2.5 cm	2424.00	-24.2
2.45 cm	2440.00	-26.9

Όπως και στον αντίστοιχο πρωτότυπο κυματοδηγό έτσι και σ' αυτόν η συχνότητα εκκίνησης είναι χαμηλότερη από αυτή του θεωρητικού, με πιο σφιχτές μεταβολές στη συχνότητα. Για άλλη μια φορά

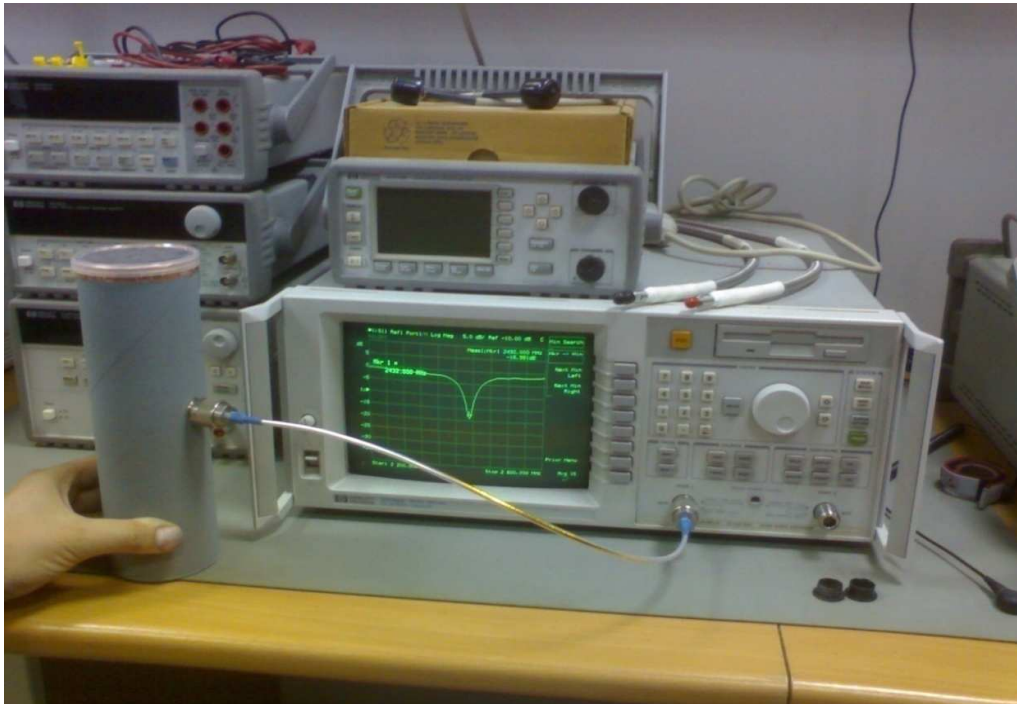
παρατηρούμε την άνοδο της συχνότητας στα μέσα περίπου των μετρήσεων, σε μήκος παρόμοιο με αυτό του πρωτότυπου. Ο τελικός συντονισμός επιτεύχθηκε στα 2.44 GHz στα -26.9 db. Αν και είναι οξύτερος από τον αντίστοιχο του πειραματικού κυματοδηγού, δεν είναι απόλυτα σταθερός. Πιο σωστά παρατηρήθηκε μέγιστος συντονισμός στα -26.9 db, ελάχιστος στα -17 db με μέσο συντονισμό τα -20 db στην ίδια συχνότητα.



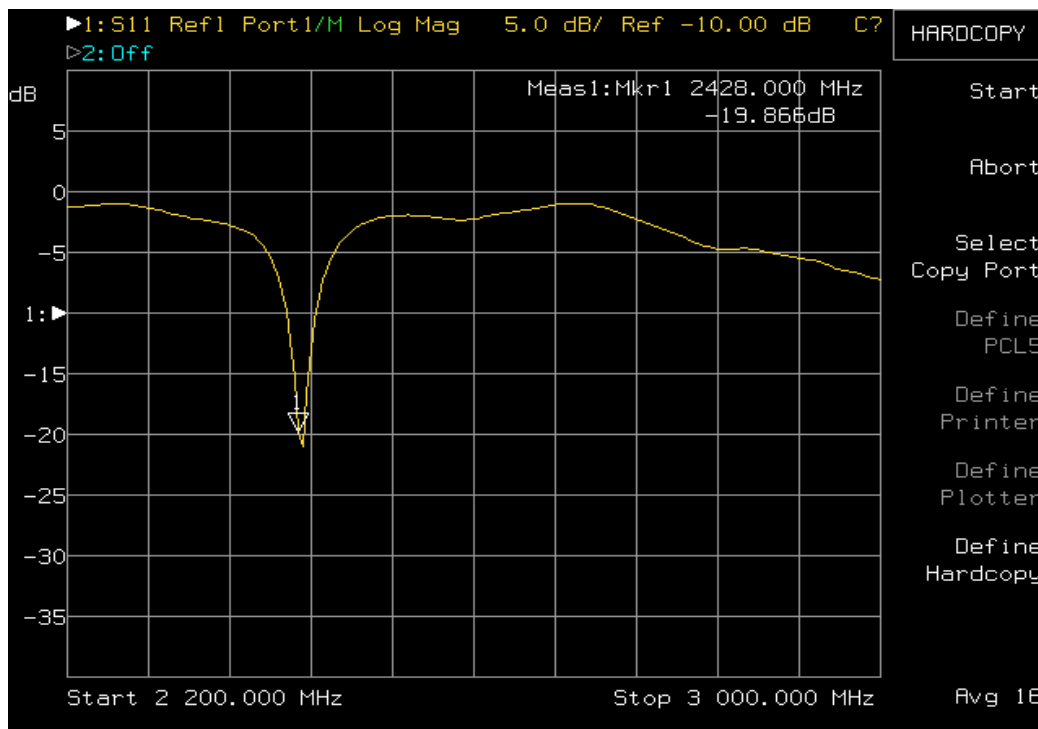
Τελικός συντονισμός Κυματοδηγού 12.3 cm

Φυσικά και αυτός ο κυματοδηγός είναι κατάλληλος για εφαρμογές στο πρότυπο 802.11 b ή g. Επιπλέον στο συγκεκριμένο κυματοδηγό εφαρμόσαμε, στην εξωτερική του επιφάνεια σπρέι ψυχρού γαλβανισμού

και χαλκοταινία, στο χείλος του κουτιού για να είναι
όλο αγώγιμο, καθώς σε ορισμένα τμήματα το
αλουμίνιο είχε φύγει.

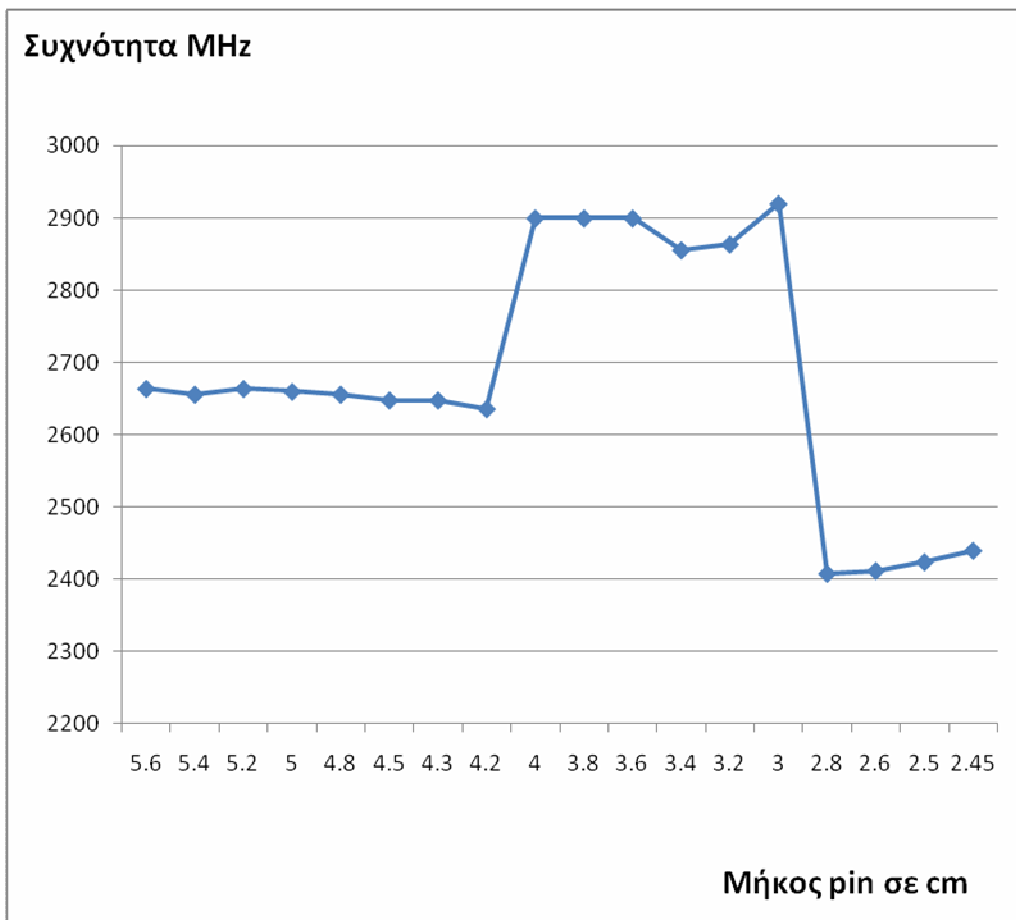


Εικόνα από το εργαστήριο κατά το συντονισμό του κυματοδηγού 12.3 cm.



Επιτυχής συντονισμός του κυματοδηγού 12.3 cm στα 2.428 GHz.

Δεν παρατηρήθηκε καμία μεταβολή στη συχνότητα συντονισμού αλλά ούτε και στην οξύτητα του συντονισμού. Πιθανά να υπήρχε διαφορά αν όλο το κουτί ήταν μεταλλικό και η αγωγίμη επιφάνεια αυξανόταν σημαντικά.



Γραφική αναπαράσταση των μετρήσεων του τελικού κυματοδηγού 12.3 cm.

Συμπεράσματα

Καταφέραμε να κατασκευάσουμε δύο κυματοδηγούς στο επιθυμητό εύρος συχνοτήτων που ανταποκρίνεται στο φάσμα του προτύπου 802.11 b ή g. Ο ένας κυματοδηγός είναι κατασκευασμένος σύμφωνα με τα αποτελέσματα των θεωρητικών υπολογισμών. Στο δεύτερο κυματοδηγό τοποθετήθηκε το pin 1 cm πιο πάνω από το θεωρητικά υπολογισμένο. Εφαρμόσαμε στην εξωτερική του επιφάνεια σπρέι γαλβανισμού και στο ανοιχτό χείλος του χαλκοταινία για να μετρήσουμε τυχόν μεταβολές στο συντονισμό του, χωρίς ωστόσο να παρατηρηθούν αποκλίσεις. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε, αν και επί το πλείστον εμπειρική, ήταν επιτυχείς.

Βιβλιογραφία

www.ngia.rootforge.org/content/Handmade/Antennas/Stolichnaya

www.ngia.rootforge.org/content/Handmade/Antennas/Waveguide

http://info.awmn.net/users/images/stories/Library/Handmade/How%20to%20build%20a%20canna%20%20802_11%20b%20Greek%20Tutorial.htm.

<http://www.saunalahti.fi/elepal/antenna2.html>.

http://en.wikipedia.org/wiki/N_connector

<http://dkc3.digikey.com/PDF/HK082-09/0490.pdf>