

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ  
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

"Συγκριτική μελέτη διαγράμματος ακτινοβολίας δορυφορικής  
κεραίας με τη χρήση εργαστηριακού εξοπλισμού και λογισμικού  
προσομοίωσης. "

Πούλου Δήμητρα Α.Μ.:2475

Σερεμέτης Γεώργιος Α.Μ:2031

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Ασαρίδης Ηλίας

ΑΝΤΙΠΡΙΟ 2019



# Περιεχόμενα

Περίληψη.....	σελ.05
Abstract.....	σελ.06
1 Κεφάλαιο 1 <sup>ο</sup>	
1.1.Ηλεκτρομαγνητικά Κύματα.....	σελ.07
1.2.Εξισώσεις Maxwell.....	σελ.08
1.3.Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα.....	σελ.09
1.4.Πόλωση.....	σελ.14
1.5.Εξασθένηση Ηλεκτρομαγνητικού Κύματος.....	σελ.15
1.6.Μηχανισμοί Διάδοσης.....	σελ.15
1.7.Θόρυβος.....	σελ.17
2. Κεφάλαιο 2 <sup>ο</sup>	
2.1.Κεραίες.....	σελ.20
2.1.1. Είδη Κεραιών.....	σελ.21
2.2.Διαγράμματα Ακτινοβολίας.....	σελ.22
2.3.Ένταση Ακτινοβολίας.....	σελ.24
2.4.Κατευθυντικότητα.....	σελ.25
2.5.Καθοδηγούμενες Κατασκευές.....	σελ.26
2.5.1. Γραμμές Μεταφοράς.....	σελ.26
2.5.2. Κυματοδηγοί.....	σελ.30
3. Κεφάλαιο 3 <sup>ο</sup>	
3.1.Απώλειες Κεραίας.....	σελ.31
3.2.Τύποι Κεραιών.....	σελ.33
3.2.1. Δορυφορικές Κεραίες.....	σελ.35
3.2.2. Παραβολικοί Ανακλαστήρες.....	σελ.36
3.2.3. Κατηγορίες Παραβολικού Ανακλαστήρα.....	σελ.38
3.3.Δορυφόροι.....	σελ.40
4. Κεφάλαιο 4 <sup>ο</sup>	
4.1.Περιγραφή Πειράματος.....	σελ.41
4.2.Υλοποίηση Πειράματος.....	σελ.42
4.3.Συμπεράσματα.....	σελ.61
5. Κεφάλαιο 5 <sup>ο</sup>	
Βιβλιογραφία.....	σελ.62



## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία θα πραγματοποιηθεί συγκριτική μελέτη αποτύπωσης του διαγράμματος ακτινοβολίας δορυφορικής κεραίας με τη χρήση πειραματικού εργαστηριακού εξοπλισμού. Στην αρχή θα γίνει αναφορά στα ηλεκτρομαγνητικά κύματα καθώς και στις εξισώσεις του Maxwell που είναι καθοριστικές για τη μελέτη του ηλεκτρομαγνητισμού και των φαινομένων που τον διέπουν. Έπειτα θα γίνει ανάλυση των φαινομένων που επηρεάζουν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα και στη συνέχεια θα μελετηθούν οι κεραίες και τα είδη τους, καθώς και τα διαγράμματα ακτινοβολίας και οι γραμμές μεταφοράς με ιδιαίτερη ανάλυση στους κυματοδηγούς. Στη συνέχεια θα γίνει ενδελεχής αναφορά στις απώλειες κεραιών, καθώς παίζουν σημαντικό ρόλο στη λειτουργία και τη χρήση τους, μια σύντομη αναφορά στα διάφορα είδη κεραιών και ύστερα θα γίνει συγκεκριμένη μνεία στις δορυφορικές κεραίες, στους παραβολικούς ανακλαστήρες, τις κατηγορίες τους, καθώς και στους δορυφόρους. Τέλος, θα πραγματοποιηθεί το πείραμα στο οποίο θα χρησιμοποιηθεί συγκεκριμένος εργαστηριακός εξοπλισμός για να διεξαχθούν μετρήσεις σήματος λήψης από παραβολικό ανακλαστήρα σύμφωνα με τις οποίες θα προκύψουν συμπεράσματα σχετικά με τη συγκριτική μελέτη της βιβλιογραφίας με τα πειραματικά δεδομένα.

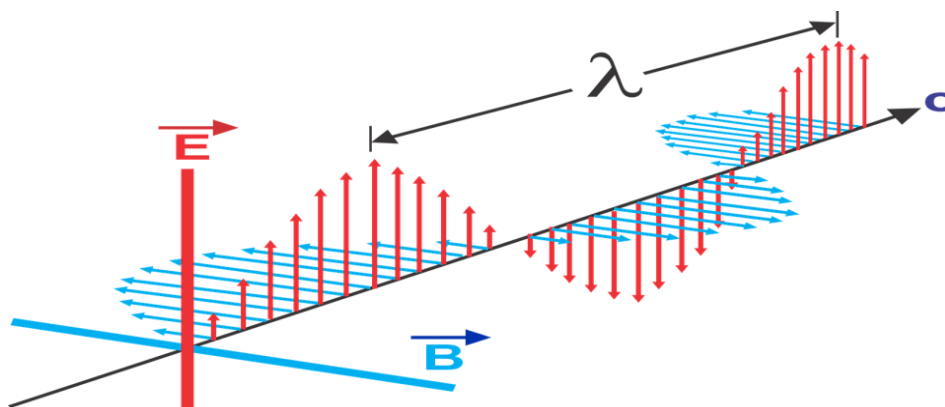
## **ABSTRACT**

In this diploma thesis a comparative study of the radiation map of a satellite antenna will be carried out using experimental laboratory equipment. At first reference will be made to electromagnetic waves as well as to Maxwell's equations that are critical to the study of electromagnetism and the phenomena that govern it. An analysis of the phenomena affecting electromagnetic waves will then be made, and then the antennas and their types will be studied, as well as the radiation patterns and the transfer lines with special analysis on the waveguides. Then an in-depth reference will be made to antenna losses, as they play an important role in their operation and use, a brief reference to the different antenna types, and then concrete reference to satellite dishes, parabolic reflectors, their categories, and satellites. Finally, an experiment will be carried out in which specific laboratory equipment will be used to perform parabolic reflector reception signal measurements, according to which conclusions will be drawn regarding the comparative study of the literature with the experimental data.

# Κεφάλαιο 1

## 1.1. Ηλεκτρομαγνητικά Κύματα

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα χρησιμοποιούνται πολλές φορές στην καθημερινότητά μας, όπως στο ραδιόφωνο, την τηλεόραση, την κινητή τηλεφωνία. Πρόκειται στην ουσία για περιοδικές ταλαντώσεις ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων τα οποία κινούνται με την ταχύτητα του φωτός με τη μορφή κυμάτων. Οι ταλαντώσεις αυτές είναι κάθετες τόσο μεταξύ τους όσο και ως προς τη διεύθυνση διάδοσης.



Σχήμα 1.1 Ηλεκτρομαγνητικό κύμα

Ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα, όπως όλα τα κύματα, απαρτίζεται από τις κορυφές και τα κοίλα. Η κάθετη απόσταση ανάμεσα στο υψηλότερο σημείο της κορυφής και του κεντρικού άξονα του κύματος είναι το **πλάτος**. Το μέγεθος αυτό υποδηλώνει στην ουσία τη φωτεινότητα ή αλλιώς, ένταση του κύματος. Η οριζόντια απόσταση μεταξύ δύο συνεχόμενων κορυφών ή κοιλιών είναι ένα **μήκος κύματος**. Το πλήθος των μηκών κύματος που περνούν από ένα συγκεκριμένο σημείο στο χώρο κάθε δευτερόλεπτο ονομάζεται **συχνότητα**. Το μήκος κύματος και η συχνότητα είναι αντιστρόφως ανάλογα, δηλαδή όσο πιο βραχύ είναι το μήκος κύματος, τόσο πιο μεγάλη είναι η συχνότητα. Αυτή η σχέση περιγράφεται από την εξίσωση:

$$c = \lambda \times \nu$$

όπου  $\lambda$  είναι το μήκος κύματος σε **μέτρα (m)**, το  $\nu$  είναι η συχνότητα σε **Hertz (Hz)** και το  $c$ , το οποίο είναι μια θεμελιώδης σταθερά, είναι η ταχύτητα του φωτός, η οποία

ισοδυναμεί με  $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ . Αυτό δείχνει ότι όλα τα είδη ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας διαδίδονται με την ταχύτητα του φωτός, ανεξάρτητα από το μήκος κύματος ή τη συχνότητα.

## 1.2. Εξισώσεις Maxwell

Οι εξισώσεις του Maxwell είναι το σύνολο τεσσάρων διανυσματικών διαφορικών εξισώσεων που διέπουν τον ηλεκτρομαγνητισμό. Παρουσιάστηκαν για πρώτη φορά από τον James Clerk Maxwell το 1800 ο οποίος τους έδωσε την τελική τους μορφή προσθέτοντας τον όρο της μετατόπισης στον ήδη υπάρχον νόμο του Ampere.

Οι τέσσερις εξισώσεις δίνονται παρακάτω σε διαφορική μορφή:

**Νόμος του Gauss:**  $\nabla \cdot E = \frac{\rho_v}{\epsilon}$

**Νόμος του Gauss για τον μαγνητισμό:**  $\nabla \cdot B = 0$

**Νόμος του Faraday:**  $\nabla \times E = -\mu \frac{\partial B}{\partial t}$

**Νόμος του Ampere:**  $\nabla \times B = J + \epsilon \frac{\partial E}{\partial t}$

Σε αυτές τις εξισώσεις το  $E$  είναι το **ηλεκτρικό πεδίο**, το  $B$  το **μαγνητικό πεδίο**, το  $J$  η **πυκνότητα ρεύματος**, το  $\rho_v$  η **συνολική πυκνότητα φορτίου**, το  $\epsilon$  η **διηλεκτρική σταθερά του κενού** και  $\mu$  η **μαγνητική διαπερατότητα του κενού**.

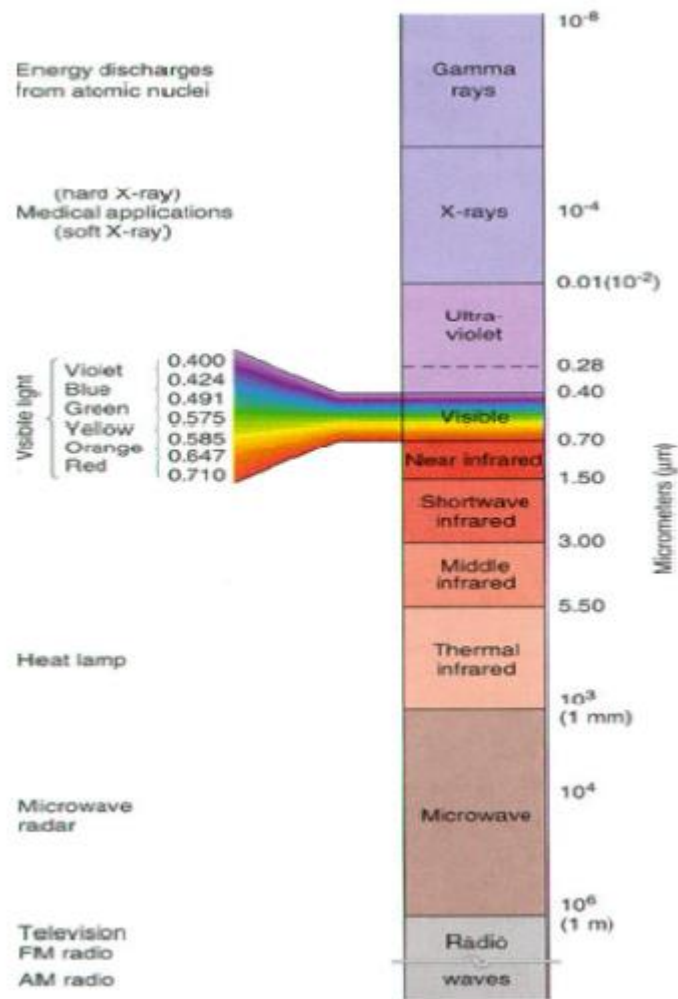
Το καλό με όλο αυτό είναι πως η Ηλεκτρομαγνητική συνοψίζεται ουσιαστικά σε αυτές τις τέσσερις εξισώσεις. Δυστυχώς όμως όσο ικανός και να είναι κάποιος στα Μαθηματικά, αυτές μπορούν μόνο να επιλυθούν με αναλυτική λύση σε εξαιρετικά απλές περιπτώσεις. Οι κεραιές δεν συγκαταλέγονται στις απλές περιπτώσεις, οπότε οι εξισώσεις αυτές δεν χρησιμοποιούνται ευρέως στην θεωρία κεραιών εκτός από τις αριθμητικές μεθόδους, οι οποίες τις επιλύουν αριθμητικά κατά προσέγγιση χρησιμοποιώντας πολλή υπολογιστική δύναμη.



Οι τελευταίες δύο εξισώσεις (νόμος του Faraday και νόμος του Ampere) είναι υπεύθυνες για την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Ο χειριστής μπούκλα αντιπροσωπεύει τη χωρική μεταβολή των πεδίων, τα οποία συσχετίζονται με τη χρονική διακύμανση. Όταν το ηλεκτρικό πεδίο μετακινείται, μεταβάλλεται στο διάστημα, γεγονός που δημιουργεί ένα χρονικά μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο. Ένα χρονικά μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο ποικίλλει ως συνάρτηση της θέσης (χώρου), το οποίο δημιουργεί ένα ηλεκτρικό πεδίο με μεταβαλλόμενο χρόνο. Αυτές οι εξισώσεις «ενώνονται» και δημιουργούν μια εξίσωση κύματος. Αυτές οι εξισώσεις προβλέπουν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία όπως την καταλαβαίνουμε.

### **1.3. Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα**

Το ηλεκτρομαγνητικό (EM) φάσμα είναι το εύρος όλων των τύπων EM ακτινοβολίας. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία μπορεί να περιγραφεί ως ένα ρεύμα φωτονίων, το καθένα από τα οποία κινείται σε ένα σχήμα που μοιάζει με κύμα, μεταφέρει ενέργεια και κινείται με την ταχύτητα του φωτός. η μόνη διαφορά μεταξύ ραδιοκυμάτων, ορατού φωτός και ακτινών γάμμα είναι η ενέργεια των φωτονίων. Τα ραδιοκύματα έχουν φωτόνια με τις χαμηλότερες ενέργειες. Τα μικροκύματα έχουν λίγο περισσότερη ενέργεια από τα ραδιοκύματα. Η υπέρυθη ακτινοβολία έχει ακόμα περισσότερο, ακολουθούμενη από τις ορατές ακτίνες, τις υπεριώδεις ακτίνες, τις ακτίνες X και τέλος τις ακτίνες γάμμα ( $\gamma$ ). Η ποσότητα ενέργειας που έχει ένα φωτόνιο μπορεί να την κάνει να συμπεριφέρεται περισσότερο σαν ένα κύμα ή περισσότερο σαν ένα σωματίδιο. Αυτό ονομάζεται "δυαδικότητα κυμάτων-σωματιδίων" του φωτός. Είναι σημαντικό να καταλάβουμε ότι δεν μιλάμε για διαφορά στο τι είναι το φως, αλλά στο πώς συμπεριφέρεται. Τα φωτόνια χαμηλής ενέργειας (όπως τα ραδιοφωνικά φωτόνια) συμπεριφέρονται περισσότερο σαν κύματα, ενώ τα φωτόνια υψηλότερης ενέργειας (όπως οι ακτίνες X) συμπεριφέρονται περισσότερο σαν σωματίδια. Το φάσμα των ηλεκτρομαγνητικών ακτινοβολιών φαίνεται πιο κάτω στην εικόνα:



**Ακτίνες γ:** Έχουν τη μεγαλύτερη συχνότητα και τα μικρότερα μήκη κύματος εκπέμπονται από ραδιενεργά υλικά και βρίσκονται και στο διάστημα. Οι ακτίνες

αυτές έχουν εκπληκτική διατρητική ικανότητα. Μπορούν να διατηρήσουν μια επιφάνεια τσιμέντου με πάχος 3 μέτρα! Τα μήκη κύματος αυτής της ακτινοβολίας εκτείνονται από 0.1 έως 0.000001 νανόμετρα.

**Ακτίνες X:** Η συχνότητά τους βρίσκεται σε τιμές μεταξύ των ακτινών γ και των υπεριωδών ακτινών. Έχουν τέτοια διατρητική ικανότητα ώστε να διαπερνούν εύκολα

αρκετά υλικά και να καταστρέφουν ιστούς δέρματος πολλών ζώων. Αυτό έχει οδηγήσει τους επιστήμονες στο να χρησιμοποιούν τις ακτίνες X ώστε να παρατηρούν το ανθρώπινο σώμα

(ακτινογραφίες). Τα μήκη κύματος των ακτινών X έχουν μεγάλη έκταση. Εκτείνονται από ένα μέχρι 0.00001 νανόμετρα.

**Υπεριώδης ακτινοβολία:** Έχουν συχνότητες λίγο παραπάνω από αυτές του ορατού φωτός. Ωστόσο η έντασή τους είναι τέτοια που μπορεί να καταστρέψει ιστούς και κύτταρα. Ο ήλιος είναι μια πηγή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας και μικρές δόσεις αυτής της ακτινοβολίας βοηθούν στην παραγωγή της βιταμίνης D και προκαλούν το μαύρισμα του ανθρώπινου δέρματος. Φυσικά, μεγαλύτερες δόσεις προκαλούν σοβαρά εγκαύματα. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία χρησιμοποιείται ευρέως στον επιστημονικό χώρο σε διάφορα πειράματα, καθώς και από τους αστρονόμους για την παρατήρηση του ηλιακού συστήματος, του γαλαξία μας και άλλων περιοχών του σύμπαντος. Το μήκος κύματος της υπεριώδους ακτινοβολίας εκτείνεται από 50 μέχρι 350 και 400 νανόμετρα.

**Ορατό φως:** Τα χρώματα ενός ουράνιου τόξου, δηλαδή η ακτινοβολία που μπορεί να εντοπιστεί από το ανθρώπινο μάτι (από 400 έως 700 νανόμετρα) δεν είναι παρά ένα πολύ μικρό μέρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Εμείς, αν και δεν το αντιλαμβανόμαστε, βρισκόμαστε υπό το συνεχή βομβαρδισμό ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, η οποία εκτείνεται σε πολύ διαφορετικά μήκη κύματος.

**Υπέρυθρη ακτινοβολία:** Εκτείνεται από εκεί που σταματάει η ορατή ακτινοβολία, δηλαδή περίπου τα 700 νανόμετρα μέχρι περίπου το ένα χιλιοστό. Αυτού του τύπου η ακτινοβολία έχει να κάνει με θερμότητα. Για παράδειγμα, το ανθρώπινο σώμα εκπέμπει θερμότητα όχι στο ορατό φως, αλλά σε περιοχές της υπέρυθρης ακτινοβολίας. Όλα τα σώματα λίγο έως πολύ εκπέμπουν θερμότητα σε αυτά τα μήκη κύματος ανάλογα με τη θερμοκρασία τους. Οι πιο κοινές χρήσεις της υπέρυθρης ακτινοβολίας έχουν να κάνουν με τη νυχτερινή όραση, ανιχνευτές σε δορυφόρους και αεροπλάνα, καθώς και την αστρονομία.

**Μικροκύματα:** Έχουν ένα μήκος κύματος που εκτείνεται από ένα χιλιοστό μέχρι 30 εκατοστά. Ο άνθρωπος εκμεταλλεύτηκε αυτήν την ακτινοβολία στην κατασκευή φούρνων μικροκυμάτων, οι οποίοι μπορούν να θερμάνουν φαγητά, καθώς η ακτινοβολία αυτή απορροφάται από τις τροφές και τις θερμαίνει. Τα μικροκύματα είναι ένα μέρος μιας μεγαλύτερης κατηγορίας ακτινοβολίας, τα ραδιοκύματα (radio waves).

**Ραδιοκύματα :** Εκπέμπονται από τη Γη, τα κτήρια, τα αυτοκίνητα κι άλλα μεγάλα σε μέγεθος αντικείμενα. Πάνω στα ραδιοκύματα έχει βασιστεί η λειτουργία των ραντάρ τα οποία ανιχνεύουν την παρουσία και την κίνηση σωμάτων που εκπέμπουν αυτού του τύπου την ακτινοβολία. Τα ραδιοκύματα επίσης είναι ευρέως γνωστά για την ικανότητά τους να μεταφέρουν ραδιοφωνικά σήματα και σήματα τηλεόρασης. Τα ραδιοκύματα έχουν μήκος κύματος, που εκτείνεται σε μια αρκετά μεγάλη περιοχή, από ένα εκατοστό έως δεκάδες και εκατοντάδες μέτρα.

Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία χωρίζεται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: Την **ιοντίζουσα** και την **μη ιοντίζουσα**.

**Ιοντίζουσα** είναι η ακτινοβολία που μεταφέρει ενέργεια ικανή να εισχωρήσει στην ύλη, να προκαλέσει ιοντισμό των ατόμων, να διασπάσει βίαια χημικούς δεσμούς και να προκαλέσει βιολογικές βλάβες στον ανθρώπινο οργανισμό. Ο ιοντισμός ενός ουδέτερου ατόμου είναι η βίαιη απομάκρυνση ενός ηλεκτρονίου από τις στοιβάδες του, λόγω εξωτερικού αιτίου, με αποτέλεσμα την παραγωγή δύο αντίθετα φορτισμένων ιόντων, του θετικού ατόμου και του αρνητικού ηλεκτρονίου. Οι γνωστότερες ιοντίζουσες ακτινοβολίες είναι οι ακτίνες X που χρησιμοποιούνται ευρέως στην ιατρική, καθώς και οι ακτίνες α, β, και γ που εκπέμπονται από τους ασταθείς πυρήνες ατόμων.

**Ακτίνες α:** Σωματιδιακή ακτινοβολία που αποτελείται από δύο πρωτόνια και δύο νετρόνια. Έχει μικρή διεισδυτικότητα και μπορεί να αποκοπεί από ένα φύλλο χαρτί. Είναι δύσκολα ανιχνεύσιμη και αποτελεί σημαντικό κίνδυνο εσωτερικής έκθεσης.

**Ακτίνες β:** Σωματιδιακή ακτινοβολία που αποτελείται από αρνητικά φορτισμένα ηλεκτρόνια ή θετικά φορτισμένα ποζιτρόνια. Είναι πιο διεισδυτική από την ακτινοβολία α, αλλά μπορεί να αποκοπεί από φύλλα πλαστικού ή λεπτά μεταλλικά φύλλα. Αποτελεί κίνδυνο εξωτερικής έκθεσης ματιών και δέρματος και κίνδυνο εσωτερικής έκθεσης. Ο βαθμός ανίχνευσης εξαρτάται από την ενέργεια των β σωματιδίων.

**Ακτίνες X και γ:** Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ενέργειας ικανής να προκαλέσει ιοντισμό. Για θωράκιση χρειάζεται να χρησιμοποιηθεί χάλυβας, μόλυβδος ή σκυρόδεμα (ή ένας συνδυασμός). Είναι πολύ πιο διεισδυτική από τις ακτίνες β και αποτελεί κίνδυνο εξωτερικής και εσωτερικής έκθεσης. Μπορεί να ανιχνευθεί ευκολότερα από τις ακτίνες α και β.

**Μη** ιοντίζουσα ή γνωστή και ως ηλεκτρομαγνητική, είναι η ακτινοβολία που μεταφέρει σχετικά μικρή ενέργεια, που δεν προκαλεί ιοντισμό, είναι ικανή όμως να προκαλέσει ηλεκτρικές, χημικές και θερμικές επιδράσεις στον οργανισμό. Πρόκειται για ταλαντώσεις ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων που διαδίδονται στο χώρο υπό τη μορφή κύματος. Τα διάφορα είδη ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας διακρίνονται μεταξύ τους ανάλογα με τη συχνότητα ή το μήκος του διαδιδόμενου κύματος.

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν:

- τα στατικά ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία, όπως είναι αυτά που δημιουργούνται στο φυσικό περιβάλλον,
- τα χαμηλόσυχνα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία που δημιουργούνται στο περιβάλλον διατάξεων ηλεκτρικής ενέργειας,
- τα ραδιοκύματα και τα μικροκύματα που εκπέμπονται από κεραίες επικοινωνιών,
- το ορατό φως,
- η υπεριώδης ακτινοβολία,
- η υπέρυθρη ακτινοβολία

Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα μπορεί να εκφραστεί με όρους ενέργειας, μήκους κύματος ή συχνότητας. Το μήκος κύματος συμβολίζεται με το γράμμα  $\lambda$  και η συχνότητα με το γράμμα  $f$ . Χρησιμοποιώντας αυτά τα σύμβολα, οι σχέσεις μεταξύ ενέργειας, μήκους κύματος και συχνότητας μπορούν να γραφτούν ως μήκος κύματος ίσο με την ταχύτητα του φωτός διαιρούμενη με τη συχνότητα ή

$$\lambda = c / f$$

και ως ενέργεια ίση με τη σταθερά του Planck επί τη συχνότητα ή

$$E = h \times f ,$$

όπου  $\lambda$  είναι το μήκος κύματος,

$\nu$  είναι η συχνότητα,

$E$  είναι η ενέργεια,

$c$  είναι η ταχύτητα του φωτός,  $c = 299,792,458 \text{ m / s}$ ,

$h$  είναι η σταθερά Planck,  $h = 6.626 \times 10^{-27} \text{ erg-seconds}$ .

Τόσο η ταχύτητα του φωτός όσο και η σταθερά του Planck είναι σταθερές - ποτέ δεν αλλάζουν τιμή.

## 1.4. Πόλωση

Πόλωση είναι το φαινόμενο που συνδέεται με τον προσανατολισμό των κυμάτων κυρίως εγκάρσιων ηλεκτρομαγνητικών ως προς τον άξονα διάδοσης τους. Το φως χαρακτηρίζεται ως ηλεκτρομαγνητικό κύμα, οπότε και το φως μπορεί να πολωθεί. Η πόλωση του φωτός μπορεί να πραγματοποιηθεί όταν έχουμε τα φαινόμενα της ανάκλασης και της σκέδασης. Επίσης πόλωση του φωτός μπορεί να πραγματοποιηθεί με πολωτικό φίλτρο (πολωτής).

- **Φυσική Πόλωση:** Όταν το φως προσπίπτει σε μία υλική επιφάνεια, ένα μέρος του διεισδύει στο σώμα (διάθλαση) και ένα άλλο μέρος ανακλάται. Υπάρχει και μια συνήθως αμελητέα ποσότητα του φωτός η οποία απορροφάται από το σώμα (θέρμανση) ή διαχέεται (διάχυση) ή σκεδάζεται (σκέδαση) και άλλα. Το ανακλώμενο φως πολώνεται ελαφρά με επίπεδο πόλωσης το ίδιο με το υλικό επίπεδο, ενώ το διαθλώμενο πολώνεται προς το κάθετο στην επιφάνεια επίπεδο. Όταν η γωνία πρόσπτωσης είναι  $0^\circ$  ή περίπου  $90^\circ$  το ανακλώμενο φως δεν είναι πολωμένο και μόνο στις ενδιάμεσες γωνίες το ανακλώμενο φως είναι ελαφρά πολωμένο. Η πόλωση μεγιστοποιείται όταν αντανακλάται περίπου σε γωνία  $56^\circ$  σε σχέση με τον ορίζοντα (ονομάζεται γωνία πρόσπτωσης Μπρούστερ ή γωνία ολικής πόλωσης του φωτός). Τότε η ανακλώμενη ακτίνα είναι κάθετη στην διαθλώμενη ακτίνα.
- **Πόλωση από Σκέδαση:** Παράδειγμα πόλωσης από σκέδαση έχουμε στο ορατό φως το οποίο προσπίπτει στα μόρια του αέρα, απορροφάται και επανεκπέμπεται σε όλες τις κατευθύνσεις χωρίς να αλλάζουν οι συχνότητες των επιμέρους ακτινών του.
- **Πολωτικό Φίλτρο:** Η πόλωση του φωτός μπορεί να γίνει με έναν πολωτή ο οποίος περιέχει ένα πολωτικό φίλτρο. Όταν το φως προσπέσει σε ένα πολωτικό φίλτρο θα εξέλθει γραμμικά πολωμένο με επίπεδο ταλάντωσης καθορισμένο από το υλικό του φίλτρου (γραμμικά πολωμένο παράλληλα στο επίπεδο πόλωσης του πλακιδίου (υλικό φίλτρου)). Ένας πολωτής επιτρέπει την πλήρη διέλευση όλων των κυμάτων φωτός που

είναι πολωμένα στο ίδιο επίπεδο με το υλικό του πολωτικού φίλτρου και ανακόπτει όλα τα κύματα που είναι πολωμένα κάθετα στο επίπεδο του υλικού του πολωτικού φίλτρου. Χρησιμοποιώντας 2 πολωτικά φίλτρα και περιστρέφοντας το ένα από τα δύο ώστε το επίπεδο του ενός να είναι σε γωνία  $90^\circ$  από του άλλου μπορούμε να επιτύχουμε ανακοπή του πολωμένου φωτός. Όταν τα επίπεδα των δύο πολωτών είναι  $0^\circ$  (δηλαδή συμπίπτει το επίπεδο) το πολωμένο φως διέρχεται αφιλτράριστο. Όταν τα δύο φίλτρα έχουν γωνία ενδιάμεση  $0^\circ - 90^\circ$  το πολωμένο φως διέρχεται μερικώς.

## 1.5. Εξασθένηση Ηλεκτρομαγνητικού Κύματος

**Εξασθένηση:** Ένα φαινόμενο το οποίο παρουσιάζεται στον ηλεκτρομαγνητισμό είναι η εξασθένηση, η οποία εκφράζει τη μείωση της ισχύς της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας εξαιτίας της απορρόφησης ή της διασποράς των φωτονίων. Η εξασθένηση δεν περιλαμβάνει τη μείωση της έντασης εξαιτίας της γεωμετρικής εξάπλωσης του αντιστρόφου τετραγώνου. Επομένως, ο υπολογισμός της συνολικής μεταβολής της έντασης περιλαμβάνει τόσο το νόμο αντίστροφου τετραγώνου όσο και μια εκτίμηση της εξασθένησης της διαδρομής. Στις ασύρματες τηλεπικοινωνίες είναι σημαντικό να λαμβάνεται υπόψη η εξασθένηση, καθώς περιορίζει το εύρος των ραδιοσημάτων και επηρεάζεται από τα υλικά που πρέπει να ταξιδεύει ένα σήμα (π.χ. αέρας, ξύλο, σκυρόδεμα, βροχή)

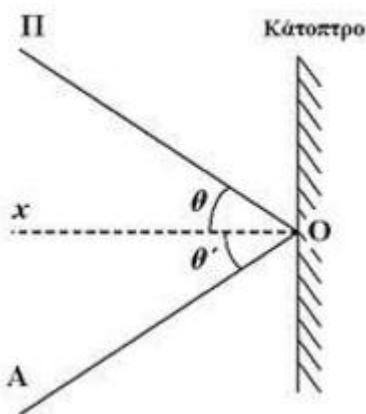
## 1.6. Μηχανισμοί Διάδοσης

Ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα έχει διάφορους μηχανισμούς διάδοσης λόγω των συνθηκών που επικρατούν στο περιβάλλον στο οποίο διαδίδονται. Όταν ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα διαδίδεται στο κενό δεν υπάρχει κάποια επίδραση, όταν όμως δεν μεταδίδεται στο κενό δεν υπάρχει κάποια επίδραση, όταν όμως δεν μεταδίδεται στο κενό υπάρχουν επιδράσεις από εξωτερικούς παράγοντες. Οι επιδράσεις που δέχεται το ηλεκτρομαγνητικό κύμα μπορεί να είναι από την ατμόσφαιρα ή από το έδαφος. Αυτές οι δύο κατηγορίες χωρίζονται σε επιμέρους κατηγορίες.

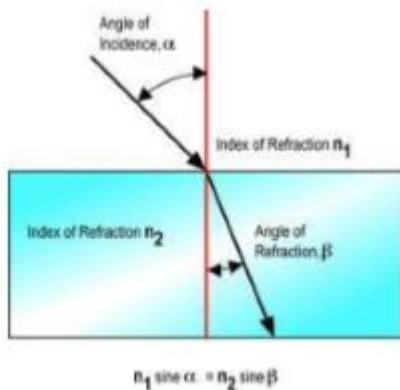
- ❖ Διάδοση Ελεύθερου Χώρου
  
- ❖ Επίδραση της Ατμόσφαιρας
  - Διαφοροποιήσεις στο Δείκτη διάθλασης
    - Διάθλαση
    - Ανάκλαση
    - Σκέδαση
  - Ατμοσφαιρικά Αέρια και Υδρατμοί
    - Απορρόφηση
    - Σκέδαση

- Στερεά Σωματίδια στην Ατμόσφαιρα ( Βροχή, Άμμος και Χιόνι )
  - Απορρόφηση
  - Σκέδαση
- ❖ Επίδραση του Εδάφους
  - Επιφανειακά Εμπόδια
    - Περίθλαση
    - Επιφάνεια
    - Ανάκλαση

## Επεξηγήσεις



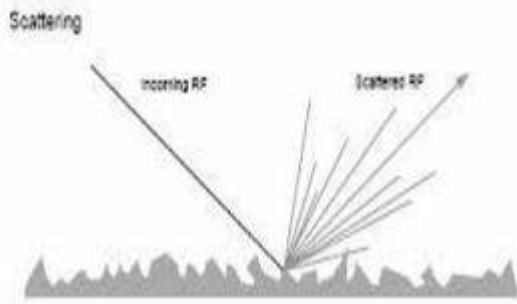
**Ανάκλαση:** Είναι το φαινόμενο κατά το οποίο το ηλεκτρομαγνητικό κύμα αφού συναντήσει στην διαδρομή του κάποιο εμπόδιο, αλλάζει κατεύθυνση. Αξίζει να πούμε εδώ ότι η ανακλαστική επιφάνεια θα πρέπει να είναι σχετικά λεία χωρίς ανωμαλίες ή ακόμα και μεταλλικές επιφάνειες. Όπως μπορούμε να δούμε και στην εικόνα, η προσπίπτουσα, στο κάτοπτρο, ακτίνα έχει την ίδια γωνία πρόσπτωσης, ως προς την κάθετη στην επιφάνεια ανάκλασης, με την ανακλώμενη ακτίνα. Ακόμα βλέπουμε ότι η ακτίνα μετά την ανάκλαση μένει σχεδόν ανέπαφη. Η διάδοση των ραδιοκυμάτων σε αρκετά μεγάλες αποστάσεις οφείλεται και στην καλή ανακλαστική συμπεριφορά της επιφάνειας της γης.



μας.

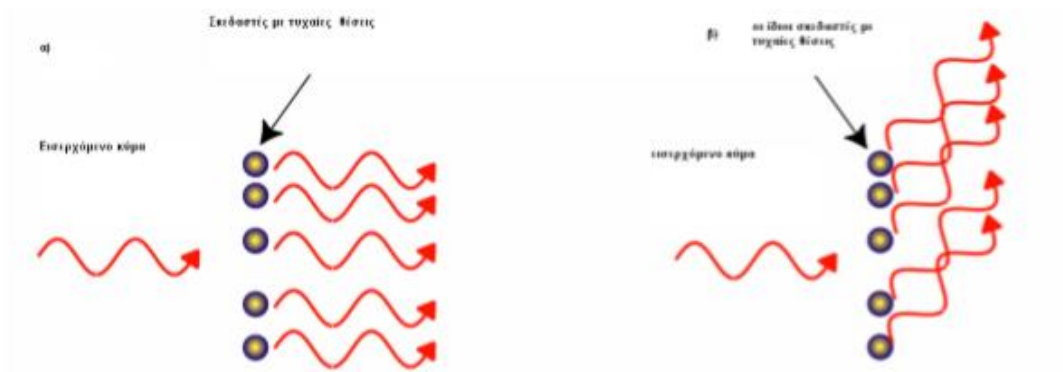
**Διάθλαση:** Είναι το φαινόμενο κατά το οποίο όταν το ηλεκτρομαγνητικό κύμα μεταβαίνει από ένα μέσο διάδοσης το οποίο έχει πυκνότητα  $\rho_1$  σε ένα άλλο μέσο διάδοσης με πυκνότητα  $\rho_2$ . Συνεπώς θα υπάρχει και διαφορά στην ταχύτητα μετάδοσης και η ακτίνα θα ακολουθεί μια διαφορετική κατεύθυνση. Αυτό το φαινόμενο μπορούμε να τα παρατηρήσουμε με ένα (1) γυάλινο ποτήρι με νερό βυθίζοντας μέσα ένα καλαμάκι. Θα δούμε πως το καλαμάκι φαίνεται να βρίσκεται σε διαφορετική θέση μέσα και έξω από το νερό. Αυτό οφείλεται στην διάθλαση που υπόκειται το φως όταν μπαίνει στο νερό και τελικά φτάνει στα μάτια





**Σκέδαση:** Είναι το φαινόμενο το οποίο εμφανίζεται όταν το ηλεκτρομαγνητικό κύμα προσπίπτει σε αντικείμενα με ανώμαλες επιφάνειες. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα το ηλεκτρομαγνητικό κύμα να διασκορπίζεται προς πολλές και διαφορετικές κατευθύνσεις, άσχετες μεταξύ τους. Αξίζει να αναφέρουμε τα δύο είδη σκέδασης που είναι η σύμφωνη και η ασύμφωνη.

Όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα, στην πρώτη οι ανακλώμενες ακτίνες ακολουθούν συγκεκριμένες μόνο κατευθύνσεις ενώ στην δεύτερη ανακλώνται προς όλες τις κατευθύνσεις.



## 1.7. Θόρυβος

Ο θόρυβος είναι το μοναδικό κεφάλαιο στα ηλεκτρονικά και στις τηλεπικοινωνίες για το οποίο πρέπει κάποιος να είναι ενημερωμένος ανεξάρτητα με τον τομέα εξειδίκευσης του. Ο θόρυβος βρίσκεται πάντοτε παρών και περιορίζει την αποδοτικότητα σχεδόν οποιουδήποτε συστήματος. Ο θόρυβος μπορεί να οριστεί με την ηλεκτρονική έννοια ως κάποιο ανεπιθύμητο είδος ενέργειας που τείνει να αναμειχθεί με το επιθυμητό σήμα κατά την διάρκεια λήψης και αναπαραγωγής του σήματος.

Υπάρχουν πολλοί τρόποι ταξινόμησης του θορύβου. Μπορεί να υποδιαιρεθεί ανάλογα με κάποιες προϋποθέσεις σύμφωνα με τον τύπο, την πηγή, την επίδραση ή την σχέση με τον δέκτη. Είναι ωστόσο πιο εύκολο να χωρίσουμε τον θόρυβο σε δύο μεγάλες κατηγορίες : στο θόρυβο του οποίου οι πηγές βρίσκονται έξω από τον δέκτη (**εξωτερικός**) και στον θόρυβο που δημιουργείται μέσα στον δέκτη (**εσωτερικός**). Από την μία πλευρά ο εξωτερικός θόρυβος είναι δύσκολο να επεξεργαστεί ποσοτικά και επιπλέον συχνά δεν μπορεί να γίνει κάτι γι' αυτό, εκτός από το να μετακινηθεί το σύστημα σε άλλη τοποθεσία.

### ΕΞΩΤΕΡΙΚΟΣ ΘΟΡΥΒΟΣ

Τα διάφορα είδη θορύβου, που δημιουργούνται έξω από τον δέκτη, υπάγονται στην κατηγορία των εξωτερικών θορύβων και συμπεριλαμβάνονται:

- ο ατμοσφαιρικός,

- ο βιομηχανικός και
- ο εξωγήινος θόρυβος.

## **ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΣ ΘΟΡΥΒΟΣ**

Ίσως ο καλύτερος τρόπος να εξοικειωθεί κανείς με τον θόρυβο είναι να ακούσει τα μικροκύματα (shortwaves) στον δέκτη, ο οποίος δεν είναι καλά εξοπλισμένος ώστε να τα δέχεται. Αυτό που θα ακούσουμε είναι μια εκπληκτική ποικιλία από περίεργους θορύβους που τείνουν να εισχωρήσουν μέσα στο πρόγραμμα. Οι περισσότεροι από αυτούς είναι το αποτέλεσμα λανθασμένων ραδιοφωνικών κυμάτων που προκαλούν τάσεις στην κεραία. Η πλειονότητα αυτών των κυμάτων προέρχεται από διαταραχές φυσικών πηγών, και αποτελούν τον ατμοσφαιρικό θόρυβο που γενικά καλείται και στατικός.

Ο ατμοσφαιρικός θόρυβος γίνεται λιγότερο έντονος σε συχνότητες πάνω από 30MHz εξαιτίας δύο ξεχωριστών παραγόντων. Πρώτον, οι υψηλές συχνότητες είναι περιορισμένες σε ευθεία οπτική εκπομπή δηλαδή λιγότερο από 80 χιλιόμετρα. Δεύτερον, ο μηχανισμός που παράγει τον θόρυβο είναι τέτοιος ώστε μια πολύ μικρή αναλογία θορύβου να δημιουργείται στο εύρος των πολύ υψηλών συχνοτήτων και παραπάνω.

## **ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΣ ΘΟΡΥΒΟΣ**

Ο βιομηχανικός θόρυβος περιλαμβάνει πηγές θορύβου όπως το αυτοκίνητο, η ανάφλεξη του αεροσκάφους, ηλεκτρικές μηχανές και μηχανές ταχυτήτων, διαρροές από γραμμές υψηλών τάσεων και ένα μεγάλο αριθμό από βαριές ηλεκτρικές μηχανές. Οι λάμπες φθορισμού αποτελούν ισχυρή πηγή βιομηχανικού θορύβου και για το λόγο αυτό δεν θα πρέπει να χρησιμοποιούνται σε σημεία λήψης ή δοκιμών σήματος. Ο θόρυβος παράγεται από εκκενώσεις (arc discharge) που είναι παρόν σε όλες τις λειτουργίες, και κάτω από αυτές τις συνθήκες είναι αναμενόμενο ότι αυτός ο θόρυβος θα είναι περισσότερο έντονος σε βιομηχανικές και πυκνοκατοικημένες περιοχές.

## **ΕΞΩΓΗΙΝΟΣ ΘΟΡΥΒΟΣ**

Ο εξωγήινος θόρυβος ή διαστημικός θόρυβος διαιρείται σε δύο υποκατηγορίες στον **ηλιακό θόρυβο** και στον **κοσμικό θόρυβο**.

- **Ηλιακός Θόρυβος**  
Ο ήλιος στέλνει διάφορα αντικείμενα στη γη και ανάμεσα σε αυτά είναι και ο θόρυβος. Κάτω από κανονικές "ήπιες" συνθήκες, υπάρχει ένας σταθερός ακτινοβολούμενος θόρυβος από τον ήλιο, αυτό οφείλεται στο ότι ο ήλιος είναι ένα μεγάλο σώμα με μεγάλη θερμοκρασία.

- **Κοσμικός Θόρυβος**

Εφόσον τα αστέρια λάμπουν και έχουν υψηλές θερμοκρασίες, επομένως και αυτά εκπέμπουν θόρυβο κατά τον ίδιο τρόπο που εκπέμπει και ο ήλιος. Αν και βρίσκονται μακριά το ένα με το άλλο, ωστόσο είναι τόσα πολλά σε αριθμό που η μεταξύ τους απόσταση δεν επηρεάζει την εκπομπή του θορύβου. Έτσι ο θόρυβος που λαμβάνουμε καλείται θερμικός θόρυβος και είναι κατανεμημένος ομοιόμορφα στον ουρανό.

Λαμβάνουμε επίσης θόρυβο από το κέντρο του δικού μας γαλαξία (Milky Way), από άλλους γαλαξίες καθώς επίσης και από φανταστικές πηγές όπως είναι οι "quasars" και "pulsars". Αυτός ο γαλαξιακός θόρυβος είναι πολύ έντονος, όμως προέρχεται από πηγές που είναι απλά σημεία στον ουρανό. Δύο από τις πιο ισχυρές πηγές οι οποίες είναι και αυτές που ανακαλύφθηκαν πιο πρόσφατα είναι οι Cassiopeia A και Cygnus A. Ωστόσο είναι απερίσκεπτα να μιλάμε για θορύβους με ραδιοαστρονόμους καθώς αυτοί θεωρούν σημαντική πληροφορία οτιδήποτε εμείς θεωρούμε θόρυβο.

## ΕΣΩΤΕΡΙΚΟΣ ΘΟΡΥΒΟΣ

Εσωτερικό θόρυβο λέμε το θόρυβο που παράγεται από κάθε ενεργή ή παθητική συσκευή που βρίσκεται μέσα στον δέκτη. Ένας τέτοιος θόρυβος είναι γενικά τυχαίος και αυτό τον κάνει να μην μπορεί να μελετηθεί σε κάποια ανεξάρτητη στάθμη τάσης παρά μόνο στατιστικά. Επειδή ο εσωτερικός θόρυβος είναι τυχαία κατανομημένος σε ολόκληρο το ραδιοφωνικό φάσμα τότε κατά μέσο όρο υπάρχει τόσος θόρυβος σε μία συχνότητα όσο και σε μια άλλη. Έτσι η ισχύς του τυχαίου θορύβου είναι ανάλογη του εύρους ζώνης που μετράμε. Ο εσωτερικός θόρυβος διαχωρίζεται στις εξής κατηγορίες:

- **Θερμικός Θόρυβος**  
Ο θόρυβος που αναπτύσσεται πάνω σε μια αντίσταση ή σε ένα ωμικό στοιχείο μιας σύνθετης αντίστασης, είναι τυχαίος και αναφέρεται με διάφορους χαρακτηρισμούς όπως θερμικός, θερμική διαταραχή, λευκός ή Johnson θόρυβος. Οφείλεται στην γρήγορη και τυχαία κίνηση των μορίων, ατόμων και ηλεκτρονίων από τα οποία αποτελείται κάθε αντίσταση.
- **Shot Noise**  
Ο θόρυβος αυτός δημιουργείται από τις τυχαίες μεταβολές στις αφίξεις των ηλεκτρονίων (ή οπών) στο εξωτερικό ηλεκτρόδιο του ενισχυτικού στοιχείου και με τον τρόπο αυτό εμφανίζεται στην έξοδο ένας τυχαίος μεταβαλλόμενος θόρυβος ρεύματος ο οποίος λαμβάνεται ενισχυμένος. Όταν ο θόρυβος ενισχύεται, υποτίθεται ότι αυτό που ακούγεται είναι μια βροχή από σφαίρες να πέφτουν πάνω σε μια μεταλλική επιφάνεια, γι' αυτό το λόγο ονομάζεται shot θόρυβος.
- **Θόρυβος Μεταβλητού Χρόνου (Transit-time)**  
Εάν ο χρόνος που χρειάζεται ένα ηλεκτρόνιο να μεταφερθεί από τον εκπομπό στον συλλέκτη ενός τρανζίστορ γίνει συγκρίσιμος με την περίοδο του σήματος το οποίο ενισχύεται, π.χ., σε συχνότητες μμεγαλύτερες και πέραν της κλίμακας των VHF (Very High Frequency), η επίδραση του αποκαλούμενου μμεταβλητού χρόνου λαμβάνει χώρα, και ο θόρυβος εισόδου του τρανζίστορ αυξάνει. Τη στιγμή που τα ρεύματα στην είσοδο της συσκευής επηρεάζονται από τυχαίες διακυμάνσεις, τα ρεύματα στην έξοδο αποτελούν σημαντικό παράγοντα για αυτές τις συχνότητες και δημιουργούν τυχαίο θόρυβο.
- **Ετερογενής (Ανάμεικτος) Θόρυβος**  
Ο ετερογενής θόρυβος χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες, οι οποίες είναι:
  - **Τρεμοπαίζιμο (Flicker)**  
Στις χαμηλές ακουστικές συχνότητες, ένας ελάχιστα αντιληπτός τύπος θορύβου ο οποίος ονομάζεται flicker ή αλλιώς θόρυβος διαμόρφωσης (modulation noise) εμφανίζεται στα τρανζίστορ. Είναι ανάλογος προς το ρεύμα του εκπομπού και της [θερμοκρασίας junction], αλλά από τη στιγμή που είναι επίσης αντίστροφα

ανάλογος της συχνότητας, μπορεί να αγνοηθεί πλήρως για συχνότητες που υπερβαίνουν τα 500 Hz. Από εκεί και πέρα δεν είναι πολύ σοβαρό.

- **Αντίσταση**

Ο θερμικός θόρυβος, μερικές φορές καλείται θόρυβος αντίστασης (resistance noise), και είναι επίσης παρόν στα τρανζίστορ. Αυτό βασίζεται στο γεγονός ότι οι εσωτερικές αντιστάσεις της βάσης, του εκπομπού και του συλλέκτη και στις περισσότερες περιπτώσεις η αντίσταση της βάσης έχει τη μεγαλύτερη συνεισφορά. Από τα 500 Hz περίπου μέχρι περίπου τα  $f_{ab}/5$ , ο θόρυβος από το τρανζίστορ παραμένει σχετικά σταθερός, έτσι ώστε μια ισοδύναμη αντίσταση εισόδου για shot και θερμικό θόρυβο να μπορεί να χρησιμοποιείται ελεύθερα.

- **Θόρυβος στους μείκτες**

Οι μείκτες περιέχουν περισσότερο θόρυβο από τους ενισχυτές χρησιμοποιώντας πανομοιότυπες συσκευές, με εξαίρεση στις συχνότητες μικροκυμάτων, όπου η κατάσταση είναι μάλλον πολύπλοκη. Αυτή η υψηλή τιμή του θορύβου στους μείκτες προκαλείται από δυο ξεχωριστά πράγματα. Καταρχήν, η μετατροπή της υπεραγωγιμότητας (conversion transconductance) στους μείκτες είναι πολύ χαμηλότερη από την υπεραγωγιμότητα των ενισχυτών. Κατά δεύτερον, αν η απόρριψη της συχνότητας του δείκτη είναι ανεπαρκής, όσο συχνά συμβαίνει στις βραχείες συχνότητες (shortwave frequencies), ο θόρυβος ο οποίος σχετίζεται με τη συχνότητα της εικόνας μπορεί επίσης να είναι αποδεκτή.

## Κεφάλαιο 2

### 2.1 Κεραίες

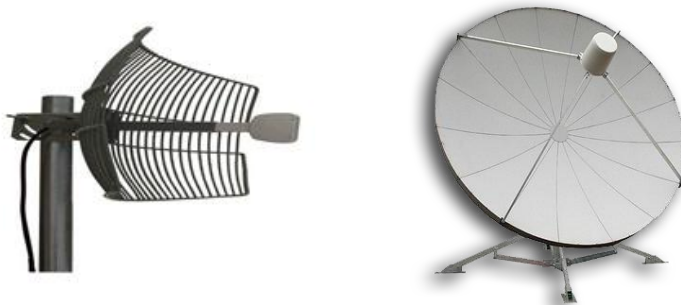
Μια κεραία κατά κύριο λόγο είναι μια μεταλλική κατασκευή την οποία την συναντάμε σε διάφορα μεγέθη και σχήματα, με την οποία μπορούμε να στείλουμε σήματα με την μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Την κεραία μπορούμε να την συναντήσουμε είτε σαν πομπό είτε σαν δέκτη, ο ρόλος του πομπού είναι να στέλνει σήματα ενώ ο ρόλος του δέκτη να λαμβάνει σήματα. Μερικές κεραίες όμως μπορούν να εκτελούν και τις δύο λειτουργίες και έτσι να είναι ταυτόχρονα πομπός και δέκτης. Με την καλή χρήση των κεραιών μπορούμε να βελτιώσουμε κατά πολύ τη απόδοση ενός δικτύου. Τρεις βασικές ιδιότητες των κεραιών είναι το **κέρδος** που είναι ένα μέτρο της αύξησης της ισχύος, η **κατευθυντικότητα** που είναι η μορφή του διαγράμματος ακτινοβολίας και η **πόλωση** που είναι η γωνία κατά την οποία η ενέργεια εκπέμπεται στον αέρα. Επίσης η μετάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων μακριά από τη πηγή έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία **ακτινοβολίας**. Η ακτινοβολία στην ουσία είναι η διαδικασία μεταφοράς ενέργειας που επιτυγχάνεται με την βοήθεια των κεραιών.

## 2.1.1 Είδη Κεραιών

Υπάρχουν τρία είδη κεραιών τα οποία χωρίζονται ανάλογα με την **κατευθυντικότητα** που έχει μια κεραία. Τα είδη αυτών των κεραιών είναι:

- Οι **Κατευθυντικές Κεραίες**
- Οι **Πολυκατευθυντικές Κεραίες**
- Οι **Ημικατευθυντικές Κεραίες**

Οι κατευθυντικές κεραίες έχουν σαν σημείο αναφοράς ότι το χαρακτηριστικό πρότυπο εκπομπής τους είναι έντονα ενισχυμένο προς μια κατεύθυνση. Τέτοιου είδους κεραίας είναι οι παραβολικοί ανακλαστήρες και οι κεραίες με πλέγμα (grid).



Οι πολυκατευθυντικές κεραίες έχουν σαν σημείο αναφοράς ότι εκπέμπουν προς όλες τις κατευθύνσεις. Μια τέτοια κεραία είναι η ομοιοκατευθυντική (omni).



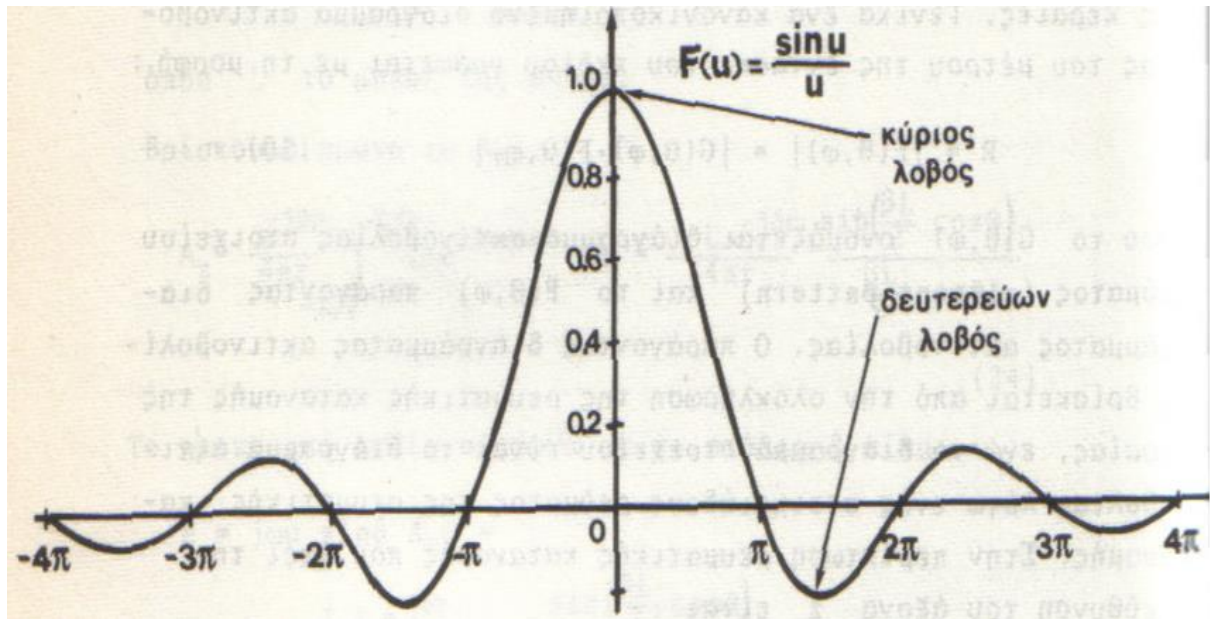
Οι ημιοκατευθυντικές κεραίες είναι μια ενδιάμεση κατηγορία των προηγούμενων. Αυτές οι κεραίες εκπέμπουν με γωνία κάλυψης από 50 έως 80 μοίρες. Μια κεραία τέτοιου είδους είναι η τομεακή (sector).



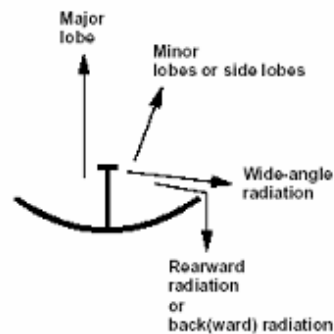
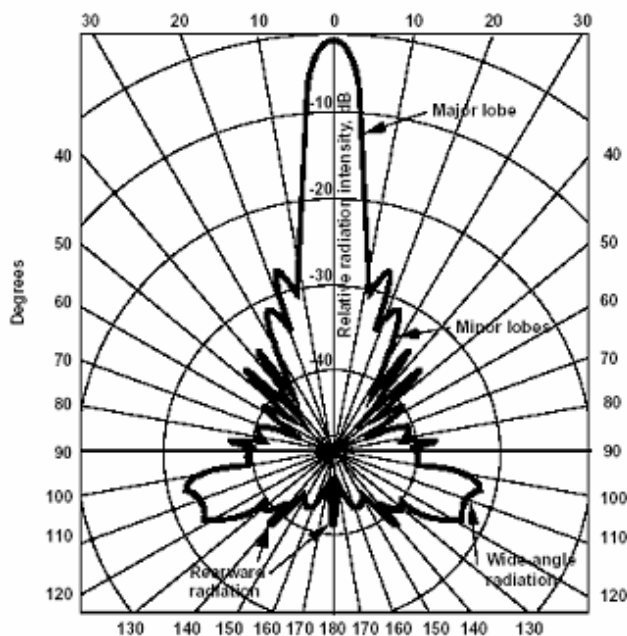
## 2.2 Διαγράμματα Ακτινοβολίας

Οι κεραίες κατά κύριο λόγο ανάλογα με το είδος που είναι η καθεμία εκπέμπει και διαφορετικό διάγραμμα ακτινοβολίας. Ένα διάγραμμα ακτινοβολίας μας δείχνει πως κατανέμεται η ενέργεια που εκπέμπει μια κεραία, δηλαδή σε ποιες περιοχές είναι συγκεντρωμένη η ακτινοβολία και που όχι, θεωρούμε ότι η κεραία βρίσκεται στο κέντρο του διαγράμματος. Το διάγραμμα ακτινοβολίας είναι η γραφική παράσταση των ιδιοτήτων ακτινοβολίας μιας κεραίας, επίσης αυτό το διάγραμμα περιγράφει την ακτινοβολία σε τρισδιάστατη μορφή, αυτό γίνεται με δύο διαγράμματα, το κάθετο και το οριζόντιο. Επιπλέον θα πρέπει να αναφέρουμε ότι με την μετατόπιση ενός κατάλληλου αισθητήρα γύρω από την κεραία σε σταθερή απόσταση. Συνήθως ο αισθητήρας (**probe**) έχει μια συγκεκριμένη διεύθυνση. Επίσης ένα διάγραμμα ακτινοβολίας μπορεί να παριστάνει τη γωνιακή κατανομή του μέτρου της έντασης του πεδίου ή της πυκνότητας ισχύος ή της έντασης ακτινοβολίας. Επειδή η σχεδίαση πραγματοποιείται με κανονικοποίηση ως προς τη μέγιστη τιμή για ορισμένη απόσταση, το διάγραμμα πυκνότητας ισχύος και έντασης ακτινοβολίας είναι ταυτόσημα. Επιπλέον μας δείχνει σε ποιες γωνίες έχουμε μεγαλύτερα ποσοστά σήματος, που και πόσο αυξάνεται η εμβέλεια, όπως και το προς ποια κατεύθυνση μπορεί να πάει το σήμα. Το διάγραμμα ακτινοβολίας μας βοηθάει να προσαρμόζουμε την κεραία προς την σωστή κατεύθυνση έτσι ώστε μην σπαταλάμε ισχύ προς τα εκεί που δεν την χρειαζόμαστε και επιπλέον είναι ένας καλός τρόπος για να μειώνουμε τις παρεμβολές στο σήμα μας. Τέλος με τα διαγράμματα ακτινοβολίας μπορούμε να συγκρίνουμε κεραίες μεταξύ τους, έτσι ώστε να γνωρίζουμε ανάλογα την περίπτωση ποιο είδος κεραίας μας συμφέρει να χρησιμοποιήσουμε.

Ένα διάγραμμα ακτινοβολίας συνήθως χωρίζεται σε επιμέρους τμήματα. Αυτά τα τμήματα απαρτίζονται από τον **κύριο λοβό** και τους **δευτερεύοντες λοβούς**. Ο **Κύριος λοβός** του διαγράμματος ακτινοβολίας ονομάζεται ο λοβός που περιέχει τη σχετικά μεγαλύτερη τιμή μεγίστου. Δευτερεύοντες λοβοί θεωρούμε τους λοβούς που περιέχουν τα μικρότερα μέγιστα. Το μεγαλύτερο από τα μικρότερα μέγιστα καθορίζεται σαν ο δευτερεύων λοβός του διαγράμματος. Το μεγαλύτερο μέγιστο καθορίζει τη θέση του κύριου λοβού ενώ το δεύτερο κατά σειρά μέγιστο καθορίζει το δευτερεύοντα λοβό.



Συνήθως τα διαγράμματα ακτινοβολίας που μας δίνει ένας κατασκευαστής είναι η ιδανική εκδοχή του, πολλά χαρακτηριστικά δεν λαμβάνονται υπόψη διότι διαφέρουν κάθε φορά, μερικά από αυτά τα χαρακτηριστικά είναι η επίδραση του εδάφους δηλαδή πως είναι η μορφολογία του, η αγωγιμότητα του και καθώς και η απόσταση του από την κεραία. Επίσης μερικά χαρακτηριστικά ακόμα είναι οι παρεμβολές άλλων αντικειμένων που βρίσκονται σε κοντινή εμβέλεια που αλλοιώνουν το διάγραμμα ακτινοβολίας, καθώς και τα κύματα που ανακλώνται στο έδαφος και γυρνάνε στην κεραία.



Τα διαγράμματα ακτινοβολίας μπορούν να χαρακτηριστούν από κάποιες παραμέτρους όπως η **κατευθυντικότητα**, το εύρος δέσμης μισής ισχύος σε οριζόντιο και κάθετο επίπεδο, το εύρος δέσμης πρώτων σημείων σε οριζόντιο και κάθετο επίπεδο, ο λόγος κυρίου προς οπίσθιο λοβό, τα επίπεδα και το εύρος γωνιών πλευρικών και οπίσθιων λοβών, η διαφορά σε dB του κύριου με τον αμέσως μικρότερο λοβό του διαγράμματος, καθώς και την διαφορά σε dB του κύριου λοβού με όλους τους υπόλοιπους του διαγράμματος ακτινοβολίας.

Βέβαια θα πρέπει να προσέξουμε πολύ όλα όσα έχουν σχέση με τα διαγράμματα ακτινοβολίας διότι το διάγραμμα ακτινοβολίας μιας κεραίας ισχύει μόνο στο μακρινό πεδίο (Far Field Region):

- **Far Field Region:** Είναι η περιοχή που βρίσκεται αρκετά μακριά από την κεραία, όπου το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο να μπορεί να προσεγγιστεί σαν επίπεδο κύμα και το διάγραμμα ακτινοβολίας έχει σταθεροποιηθεί
- **Near Field Region** (περιοχή εγγύς πεδίου) : Η περιοχή κοντά στην κεραία, όπου το διάγραμμα ακτινοβολίας της κεραίας δεν είναι εύκολα προβλέψιμο
- Το **όριο** ανάμεσα στις δύο αυτές περιοχές είναι περίπου σε απόσταση :

$$r = \frac{2D^2}{\lambda}$$

- Τα διαγράμματα ακτινοβολίας μπορεί να μετρηθούν στο κάθετο επίπεδο (**elevation**) και το οριζόντιο επίπεδο (**azimuth**)
- Σε κεραίες όπου έχουν συμμετρία και στην οριζόντια και στην κάθετη διεύθυνση μπορούμε να κάνουμε την υπόθεση ότι το ίδιο διάγραμμα ισχύει και στα δύο επίπεδα

## 2.3 Ένταση Ακτινοβολίας

Για λόγους καθαρά πρακτικούς πολλές φορές στις κεραίες χρησιμοποιούμε τον όρο της έντασης ακτινοβολίας. Η ένταση ακτινοβολίας  $U(\theta, \varphi)$  ορίζεται απ' την ακόλουθη σχέση :

$$U(\theta, \varphi) = \frac{1}{2} \operatorname{Re} (\vec{E} \times \vec{H}^*) \cdot (r^2 \hat{r})$$

και παριστάνει την ισχύ την ακτινοβολούμενη ανά στερεά γωνία. Μια άλλη έκφραση της  $U(\theta, \varphi)$  είναι :

$$U(\theta, \varphi) = U_m |E(\theta, \varphi)|^2$$

όπου  $U_m$  είναι η μέγιστη ένταση ακτινοβολίας, δηλαδή :



$$U_m = U(\theta, \varphi)_{\max}$$

Η συνολική ακτινοβολούμενη ισχύς μπορεί, να δοθεί και με βάση τις παραπάνω εκφράσεις σαν:

$$P_r = \oint U(\theta, \varphi) d\Omega = \oint U_m |E(\theta, \varphi)|^2 d\Omega$$

Σαν μέση ακτινοβολούμενη ένταση  $U_{ave}$  μίας κεραίας, ορίζεται η ένταση ακτινοβολίας ισοτροπικής πηγής που έχει την ίδια ισχύ  $P_r$  με την κεραία. Η ισοτροπική κεραία είναι μια χρήσιμη έννοια, που χρησιμοποιείται στις κεραίες παρ' όλο που τέτοια πηγή (κεραία) δεν υπάρχει. Αυτή χρησιμοποιείται, σαν αναφορά σε πολλές κεραίες.

Είναι:

$$U_{ave} = \frac{1}{4\pi} \oint U(\theta, \varphi) d\Omega = \frac{P_r}{4\pi}$$

Στο ιδανικό δίπολο είναι:

$$U(\theta, \varphi) = \frac{1}{2} \left( \frac{I\Delta z}{4\pi} \right)^2 \beta\omega\mu \sin^2 \theta \Rightarrow$$

$$U_m = \frac{1}{2} \left( \frac{I\Delta z}{4\pi} \right)^2 \beta\omega\mu$$

$$E(\theta, \varphi) = \sin\theta$$

Η μέση ακτινοβολούμενη ένταση είναι:

$$U_{ave} = \frac{P_r}{4\pi} = \frac{\beta\omega\mu (I\Delta z)^2}{12\pi \cdot 4\pi} = \frac{1}{3} \left( \frac{I\Delta z}{4\pi} \right)^2 \beta\omega\mu = \frac{2}{3} U_m$$

## 2.4 Κατευθυντικότητα

Η κατευθυντικότητα θεωρείται μια από τις πιο σημαντικές παραμέτρους μιας κεραίας, η οποία μας δείχνει κατά πόσο ο σχεδιαστής έχει πετύχει να συγκεντρώσει την ακτινοβολία μιας κεραίας προς μια κατεύθυνση ως προς μια ιδανική κεραία (ισοτροπική). Όταν αυξάνουμε την κατευθυντικότητα μιας κεραίας η δέσμη ακτινοβολίας λεπταίνει, οπότε λέμε ότι η κατευθυντικότητα είναι αντίστροφη του εύρους δέσμης.

## 2.5 Καθοδηγούμενες Κατασκευές

Οι καθοδηγούμενες κατασκευές είναι ένα μέσο μεταφοράς ενέργειας ή πληροφοριών. Αυτές οι κατασκευές όπως λέει και το όνομά τους βοηθούν στην καθοδήγηση της μεταφοράς ενέργειας από την πηγή στον προορισμό. Υπάρχουν δύο κατηγορίες τέτοιων κατασκευών είναι οι γραμμές μεταφοράς και οι κυματοδηγοί.

### 2.5.1 Γραμμές Μεταφοράς

Οι γραμμές μεταφοράς χρησιμοποιούνται για την διανομή της ενέργειας σε πολύ χαμηλές συχνότητες και στις τηλεπικοινωνίες σε υψηλές συχνότητες. Μια γραμμή μεταφοράς απαρτίζεται από δύο ή περισσότερους αγωγούς, οι οποίοι ενώνουν τον πομπό με την κεραία του.

#### Τύποι γραμμών μεταφοράς

Υπάρχουν δύο τύποι γραμμών μεταφοράς που χρησιμοποιούνται πιο πολύ. Αυτοί οι τύποι γραμμών μεταφοράς είναι:

- η γραμμή παράλληλων καλωδίων (ισορροπημένη)
- η ομοαξονική γραμμή (μη ισορροπημένη)

Η γραμμή παράλληλου-καλωδίου εφαρμόζεται όπου απαιτούνται ιδιότητες ισορροπίας : για παράδειγμα , κατά την σύνδεση διπλωμένης διπολικής (folded dipole) κεραίας σε ένα δέκτη τηλεόρασης. Ενώ, η ομοαξονική γραμμή χρησιμοποιείται όταν απαιτούνται μη ισορροπημένες ιδιότητες, όπως στην διασύνδεση ενός πομπού που εκπέμπει ευρέως με την γειωμένη του κεραία.

Ένα οποιοδήποτε σύστημα αγωγών υπάρχει περίπτωση να ακτινοβολεί αν η απόσταση που χωρίζει τους αγωγούς είναι περίπου το μισό μήκος κύματος στην συχνότητα λειτουργίας, αυτό είναι πιο πιθανό να συμβεί σε μια γραμμή παράλληλου καλωδίου παρά σε μια ομοαξονική γραμμή, της οποίας ο εξωτερικός αγωγός περιβάλλει τον εσωτερικό και είναι συνεχώς γειωμένος. Οπότε οι γραμμές παράλληλου καλωδίου δεν χρησιμοποιούνται για μικροκύματα, ενώ οι ομοαξονικές γραμμές μπορούν να εφαρμοστούν για συχνότητες μέχρι το πολύ 18 GHz.

Οι γραμμές μπορεί να είναι άκαμπτες ή εύκαμπτες, εναέριες ή γεμάτες με διάφορα διηλεκτρικά, με λείους ή με ραβδώσεις αγωγούς ανάλογα με τις συνθήκες. Οι εύκαμπτες γραμμές προτιμώνται από ότι οι άκαμπτες γραμμές, διότι μπορούμε να τους αλλάξουμε το σχήμα και να πάρουν όποια φυσική μορφή θέλουμε και είναι πολύ πιο εύκολη η μεταφορά και η αποθήκευση τους. Οι άκαμπτες γραμμές μπορούν να μεταφέρουν μεγαλύτερη ισχύ και είναι πιο εύκολο να χρησιμοποιήσουμε για διηλεκτρικό τον αέρα από το να τις γεμίσουμε με στερεό διηλεκτρικό.

## Απώλειες γραμμών μεταφοράς

Όπως σε κάθε μέσο μεταφοράς έτσι και στις γραμμές έχουμε απώλειες. Υπάρχουν τρεις τρόποι για να υπάρξουν απώλειες σε μια γραμμή μεταφοράς:

- ακτινοβολία
- θέρμανση αγωγού
- θέρμανση διηλεκτρικού

Οι απώλειες λόγω ακτινοβολίας καθώς η γραμμή μεταφοράς μπορεί να συμπεριφέρεται σαν μια κεραία αν η απόσταση των αγωγών είναι κατά εκτίμηση ένα κλάσμα του μήκους κύματος. Οι απώλειες λόγω ακτινοβολίας είναι δύσκολο να εκτιμηθούν και κανονικά μετριοούνται αντί να υπολογίζονται. Αυξάνονται με την συχνότητα για οποιαδήποτε γραμμή μεταφοράς και τελικά τερματίζουν την χρησιμότητα της γραμμής για κάποια υψηλή συχνότητα.

Η θέρμανση αγωγού είναι ανάλογη του ρεύματος και επομένως αντιστρόφως ανάλογη με την χαρακτηριστική αντίσταση. Επίσης αυξάνεται με την συχνότητα λόγω του επιδερμικού φαινομένου.

Η θέρμανση διηλεκτρικού είναι ανάλογη της τάσης που υπάρχει στο διηλεκτρικό και επομένως αντιστρόφως ανάλογη της χαρακτηριστικής αντίστασης για κάθε μεταδιδόμενη ισχύς. Αυξάνεται με την συχνότητα γιατί βαθμιαία χειροτερεύουν οι ιδιότητες με την αύξηση της συχνότητας για οποιοδήποτε διηλεκτρικό μέσο. Ωστόσο για τον αέρα, η θέρμανση διηλεκτρικού παραμένει αμελητέα.

## Υπολογισμός παραμέτρων σε μια γραμμή μεταφοράς

- ❖  $G \neq 1/R$  (R:εναλλασσόμενη αντίσταση, G:αγωγιμότητα ανά μονάδα μήκους)
- ❖  $L_{in} = R/\omega$  ( $L_{in}$ :εσωτερική επαγωγή)
- ❖  $L * C = \mu * \epsilon$  (L:επαγωγή ανά μονάδα μήκους, C:χωρητικότητα ανά μονάδα μήκους)
- ❖  $\frac{G}{C} = \frac{\sigma}{\epsilon}$
- ❖  $\lambda = \frac{2 * \pi}{\beta}$
- ❖  $v = \frac{\omega}{\beta} = f * \lambda$
- ❖  $Z_0 = \frac{R + j\omega L}{\gamma} = \frac{\gamma}{G + j\omega C}$  ( $Z_0$ :χαρακτηριστική αντίσταση)
- ❖  $Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}} = R_0 + j * X_0$

## Υπολογισμός παραμέτρων σε μια γραμμή μεταφοράς χωρίς απώλειες

- ❖  $R = G = 0$
- ❖  $a = 0$
- ❖  $\gamma = j * \beta = j * \omega * \sqrt{L * C}$
- ❖  $v = \frac{\omega}{\beta} = \frac{1}{\sqrt{L * C}} = f * \lambda$
- ❖  $X_0, Z_0 = R_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$

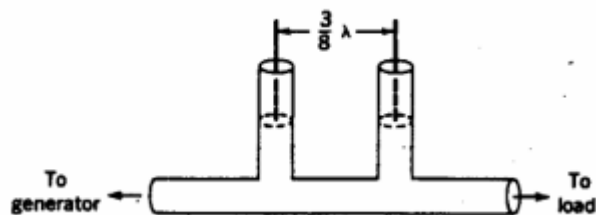
## Ιδιότητες γραμμών μεταφοράς για διάφορα μήκη

- ❖ **Stubs:** Στην περίπτωση όπου μια γραμμή μεταφοράς οδηγεί ένα φορτίο  $Z_L$ , και απαιτείται ταιρίασμα (matching) τότε μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε έναν μετασχηματιστή ενός τετάρτου του μήκους κύματος στην περίπτωση όπου το φορτίο  $Z_L$  είναι Ωμικό. Stubs ονομάζονται οι βραχυκυκλωμένες γραμμές μεταφοράς που χρησιμοποιούνται σε πολύ υψηλές συχνότητες. Η διαδικασία του ταιριάσματος ακολουθεί την εξής διαδικασία:
  - Υπολογισμός της σύνθετης αγωγιμότητας του φορτίου
  - Υπολογισμός της μαγνητικής επιδεκτικότητας του stub
  - Σύνδεση του stub στο φορτίο, η προκύπτουσα σύνθετη αγωγιμότητα θα είναι η αγωγιμότητα του φορτία  $G$
  - Μετασχηματισμός της αγωγιμότητας σε αντίσταση και υπολογισμός της αντίστασης  $Z_0$  του μετασχηματιστή ενός τετάρτου του μήκους κύματος όπως προηγουμένως.
- ❖ **Μεταβολή αντίστασης κατά μήκος μιας αταίριαστης γραμμής:** Όταν ένα φορτίο μιγαδικής αντίστασης συνδέεται σε μια γραμμή μεταφοράς, στάσιμα κύματα εμφανίζονται ακόμα και όταν το μέγεθος της αντίστασης του φορτίου είναι ίσο με τη χαρακτηριστική αντίσταση της γραμμής.

## Εξαρτήματα γραμμών μεταφοράς

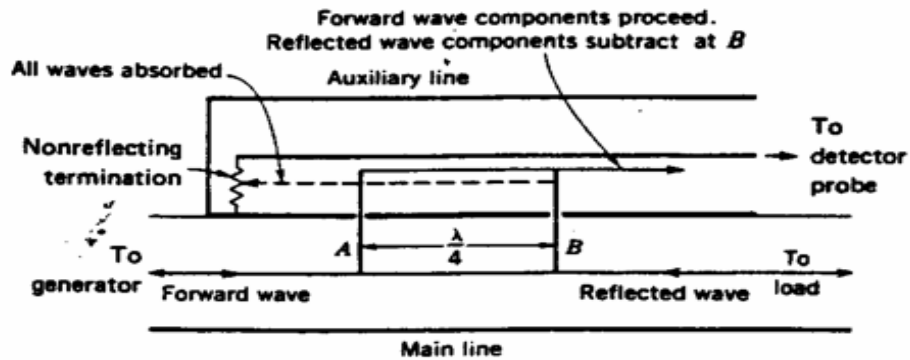
### ❖ Το διπλό stub

Στην περίπτωση όπου θέλουμε να κατασκευάσουμε μια συσκευή ταιριάσματος για γραμμές μεταφοράς η οποία να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μεγάλο πλήθος εφαρμογών και για διαφορετικές κάθε φορά συνθήκες, γίνεται αντιληπτό πως η συσκευή αυτή θα πρέπει να έχει τόσες ρυθμιζόμενες παραμέτρους ή βαθμούς ελευθερίας όσες έχει και το pattern των στάσιμων κυμάτων. Για το pattern των στάσιμων κυμάτων γνωρίζουμε πως έχει 2 βαθμούς ελευθερίας αφού καθορίζεται ακριβώς από το λόγο SWR και τη θέση ενός μέγιστου. Άρα μια τέτοια συσκευή σαν αυτή που θεωρούμε θα πρέπει να έχει 2 ρυθμιζόμενες παραμέτρους.



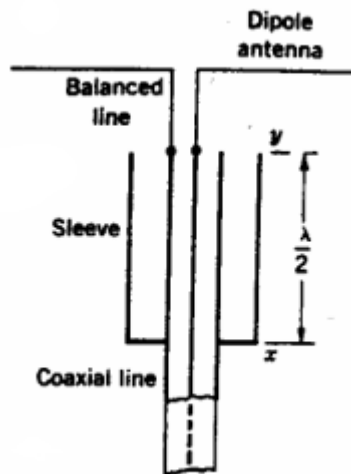
### ❖ Κατευθυντικός συζευκτήρας (Directional Coupler)

Σε πολλές περιπτώσεις είναι επιθυμητό να μετρήσουμε την ισχύ που φτάνει σε ένα φορτίο ή μια κεραία εκπομπής δια μέσου μιας γραμμής μεταφοράς. Η διαδικασία αυτή γίνεται συνήθως με ένα κλάσμα της ισχύος που φτάνει στο φορτίο και έτσι η ολική ισχύς μπορεί να εκτιμηθεί. Στην περίπτωση αυτή είναι επιτακτικό να μετρηθεί μόνο το εμπρός κύμα το οποίο διαδίδεται κατά μήκος της γραμμής μεταφοράς και όχι τυχόν ανακλάσεις του σήματος αυτού. Για την εργασία αυτή χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι ειδικών εξαρτημάτων τα οποία ονομάζονται κατευθυντικοί συζευκτήρες.



### ❖ Baluns

Ένα **balun**, ή **balanced to unbalanced** μετασχηματιστής (transformer), είναι ένα κύκλωμα το οποίο χρησιμοποιείται για τη σύνδεση μιας balanced γραμμής σε μια unbalanced γραμμή ή κεραία. Ακόμα, συχνά χρησιμοποιούνται για τη σύνδεση μιας unbalanced γραμμής (ομοαξονικής) σε μια balanced κεραία όπως είναι ένα δίπολο.



### ❖ Γραμμή με σχισμή (Slotted Line)

Η γραμμή με σχισμή αποτελείται από έναν ομοαξονικό αγωγό κατά μήκος του οποίου υπάρχει μια σχισμή η οποία κόβει τον εξωτερικό αγωγό της γραμμής και έχει βάθος τόσο ώστε να πλησιάζει τον κεντρικό αγωγό της γραμμής. Ένα επίπεδο πιάτο εφάπτεται στον εξωτερικό αγωγό. Στο πλάι της συσκευής υπάρχει ένας κανόνας ώστε να μετράτε η απόσταση του αισθητήρα από τα άκρα της συσκευής. Μέσα στη σχισμή μετακινείται ένα μεταλλικό στέλεχος το οποίο πλησιάζει αλλά δεν ακουμπά τον κεντρικό αγωγό της γραμμής. Η βασική χρήση της γραμμής με σχισμή είναι η εύρεση της θέσης και της τάσης κόμβων δυναμικού χωρίς να επηρεάζει σημαντικά το σύστημα το οποίο μετράει.

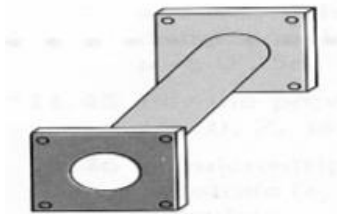
Επιπροσθέτως μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μετρήσεις:

- Εμπέδησης φορτίου
- SWR
- Της συχνότητας του πομποδέκτη

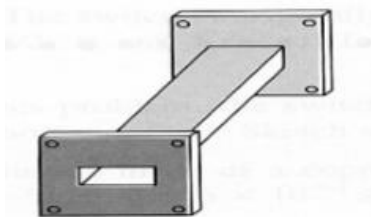
## 2.5.2 Κυματοδηγοί

Οι κυματοδηγοί είναι μια ειδική περίπτωση των γραμμών μεταφοράς, όπου όπως οι γραμμές μεταφοράς έτσι και οι κυματοδηγοί καθοδηγούν την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια από το ένα σημείο στο άλλο. Οι γραμμές μεταφοράς έχουν μόνο εγκάρσια ηλεκτρομαγνητικά κύματα (**TEM**), ενώ οι κυματοδηγοί έχουν κι άλλες διαμορφώσεις πεδίων όπως τα εγκάρσια ηλεκτρικά κύματα (**TE**) και τα εγκάρσια μαγνητικά κύματα (**TM**). Επίσης οι κυματοδηγοί λειτουργούν πάνω από μια ορισμένη συχνότητα, η οποία ονομάζεται συχνότητα αποκοπής (**cut-off frequency**). Επιπλέον θα πρέπει να αναφερθεί ότι ένας κυματοδηγός μπορεί να πάρει διάφορες μορφές, όπως:

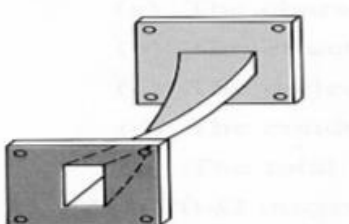
### ❖ Circular



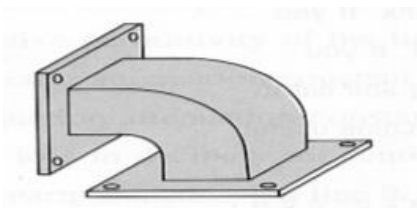
### ❖ Rectangular



### ❖ Twist



### ❖ 90° elbow



Οι γενικές συνθήκες ενός κυματοδηγού είναι:

$$❖ f \leq \frac{c}{4a}$$

$$❖ f_{cmn} = \frac{u'}{2} * \sqrt{\frac{m^2}{a^2} + \frac{n^2}{b^2}}$$

$$❖ u' = \frac{1}{\sqrt{\mu * \epsilon}} = \frac{c}{\sqrt{\mu_r * \epsilon_r}} = \frac{c}{2}$$

Έπειτα από επεξεργασία οι γενικές συνθήκες αποκοπής γίνονται:

$$❖ \frac{m^2}{4a^2} + \frac{n^2}{4b^2} = \frac{4}{\lambda^2}$$

## Κεφάλαιο 3<sup>ο</sup>

### 3.1 Απώλειες Κεραίας

Όταν το σήμα μας εκπέμπεται από μια κεραία υπάρχουν διάφορες απώλειες που το αποδυναμώνουν. Αυτές οι απώλειες χωρίζονται σε τέσσερις βασικές κατηγορίες, οι οποίες είναι οι εξής:

#### ❖ Οι απώλειες που υφίστανται τα κύματα κατά τη διέλευση τους από την ατμόσφαιρα.

Οι ατμοσφαιρικές απώλειες ( $L_A$ ) των κυμάτων οφείλονται στα αέρια της τροπόσφαιρας, το νερό (βροχή, νέφη, χιόνι, πάγος) και την ιονόσφαιρα. Η συνολική επίδραση τους στην ισχύ του λαμβανόμενου σήματος μπορεί να συνυπολογιστεί αντικαθιστώντας τις απώλειες  $L_{PS}$  με την απώλεια διαδρομής όπου:

$$L = L_{PS} L_A$$

$L$  (απώλειες διαδρομής)

$L_{PS}$  (απώλειες)

$L_A$  (ατμοσφαιρικές απώλειες)

#### ❖ Οι απώλειες στον εξοπλισμό εκπομπής και λήψης.

Οι απώλειες που δημιουργούνται στον εξοπλισμό των κεραιών είναι:

- Οι απώλειες της γραμμής μεταφοράς μεταξύ πομπού και κεραίας, για να τροφοδοτείται η κεραία με ισχύ  $P_T$  πρέπει η ισχύς  $P_{TX}$  στον ενισχυτή εκπομπής να είναι τέτοια ώστε:

$$P_{TX} = P_T L_{FTX} \quad (W)$$

έτσι η ιστροπικά ακτινοβολούμενη ενεργός ισχύς μπορεί να εκφραστεί ως:

$$EIRP = P_T G_T \frac{P_{TX} G_T}{L_{FTX}} \quad (W)$$

- Οι απώλειες της γραμμής μεταφοράς μεταξύ κεραίας και δέκτη ( $L_{FRX}$ ), η ισχύς ( $P_{RX}$ ) στην είσοδο του δέκτη είναι ίση προς:

$$P_{RX} = \frac{P_R}{L_{FRX}} \quad (W)$$

❖ **Οι απώλειες λόγω μη ιδανικής ευθυγράμμισης.**

Επίσης, μια ακόμα από τις κατηγορίες είναι αυτές οι απώλειες που δημιουργούνται κατά τη μη ιδανική ευθυγράμμιση των κεραιών εκπομπής και λήψης. Αποτέλεσμα αυτής της ατέλειας είναι οι απώλειες στα κέρδη των κεραιών λήψης και εκπομπής σε σχέση με το μέγιστο κέρδος, που καλούνται απώλειες κακής ευθυγράμμισης. Αυτές οι απώλειες είναι συνάρτηση των γωνιών εκτροπής από τον άξονα ευθυγράμμισης ( $\theta_T$  για την εκπομπή και  $\theta_R$  για τη λήψη) και υπολογίζονται μέσω της σχέσης:

$$L_T = 12 \left( \frac{\theta_T}{\theta_{3dB}} \right)^2 \text{ (dB)}$$

$$L_R = 12 \left( \frac{\theta_R}{\theta_{3dB}} \right)^2 \text{ (dB)}$$

❖ **Οι απώλειες λόγω διαφορών στην πόλωση.**

Αυτή η κατηγορία απωλειών οφείλονται κατά κύριο λόγο στις διαφορές της πόλωσης οι οποίες παρατηρούνται όταν η κεραία λήψης δεν είναι προσανατολισμένη σύμφωνα με την πόλωση του λαμβανόμενου κύματος. Η πόλωση χωρίζεται σε δυο κατηγορίες στην κυκλική πόλωση και στη γραμμική πόλωση. Όσον αφορά την κυκλική πόλωση συνήθως παραμένει κυκλική όσο το εκπεμπόμενο κύμα βρίσκεται στον άξονα της κεραίας, ειδικά όταν εκτρέπεται από τον άξονα η πόλωση γίνεται ελλειπτική, ή άλλες φορές μπορεί να γίνει ελλειπτική η πόλωση λόγω της ατμόσφαιρας όπου μέσα σ' αυτή μεταδίδεται το σήμα μας. Η άλλη κατηγορία πόλωσης είναι η γραμμική στην οποία μπορεί το επίπεδο πόλωσης να περιστραφεί κατά τη διάδοση του μέσα στην ατμόσφαιρα. Επίσης, υπάρχει περίπτωση το επίπεδο πόλωσης στην κεραία λήψης να μην είναι ευθυγραμμισμένο με το επίπεδο πόλωσης του κύματος του κύματος. Αν η γωνία μεταξύ των δυο επιπέδων είναι  $\gamma$ , οι απώλειες  $L_{POL}$  (dB) είναι  $-20 \log(\cos(\gamma))$ . Επιπρόσθετα θα πρέπει να αναφερθεί ότι υπάρχει και η περίπτωση κατά την οποία μια κυκλικά πολωμένη κεραία λαμβάνει ένα γραμμικά πολωμένο κύμα ή αντιστρόφως αν μια γραμμικά πολωμένη κεραία λαμβάνει ένα κυκλικά πολωμένο κύμα οι απώλειες  $L_{POL}$  είναι 3dB. Λαμβάνοντας υπόψη όλες τις πηγές απωλειών η ισχύς του σήματος στην είσοδο του δέκτη περιγράφεται από τη σχέση:

$$P_{RX} = \left( \frac{P_T G_{Tmax}}{L_T L_{FTX}} \right) \left( \frac{1}{L_{FS} L_A} \right) \left( \frac{G_{Rmax}}{L_R L_{FRX} L_{PPOL}} \right) \quad (W)$$



## 3.2 Τύποι Κεραιών

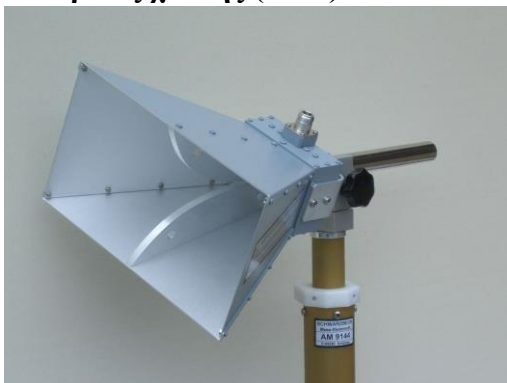
Υπάρχουν διάφοροι τύποι και μεγέθη κεραιών ανάλογα με τη χρήση για την οποία προορίζονται, από μικρού μεγέθους τις οποίες συναντάμε στις οροφές σπιτιών μέχρι και πολύ μεγάλες οι οποίες λαμβάνουν σήματα από δορυφόρους εκατομμύρια μίλια μακριά.

Υπάρχουν αρκετές κατηγορίες κεραιών για διάφορες χρήσεις. Μερικές από αυτές τις κατηγορίες είναι:

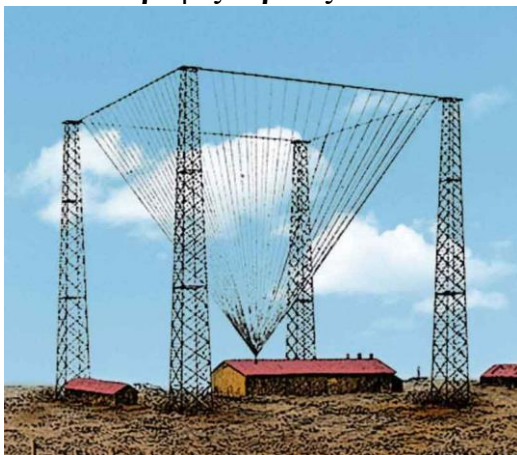
- ❖ **οι κεραιές βρόχου (loop)**



- ❖ **οι κεραιές χοάνης (horn)**



- ❖ **οι κατακόρυφες κεραιές Marconi**



- ❖ **διάφορες απεριοδικές κεραίες:**
  - **οι ρομβικές**



- **οι ελικοειδείς**



- **οι V**



- **οι discone**



Εμείς κατά κύριο λόγο θα αναλύσουμε περαιτέρω τις δορυφορικές κεραίες, τη χρησιμότητά τους στην καθημερινή μας ζωή, καθώς και τη σημαντικότητα των δορυφόρων στη μεταξύ τους ενδοεπικοινωνία.

### **3.2.1 Δορυφορικές Κεραίες**

Υπάρχουν πολλά είδη κεραιών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αμφίδρομη εκπομπή και λήψη με έναν ή περισσότερους δορυφόρους. Το πιο συχνά εμφανιζόμενο είδος δορυφορικής κεραίας είναι ο παραβολικός ανακλαστήρας, χωρίς αυτό να σημαίνει πως είναι ο μόνος τύπος κεραίας που χρησιμοποιείται σε δορυφορικές επικοινωνίες. Ο τύπος κεραίας που θα επιλεγθεί εξαρτάται από την εκάστοτε χρήση και τις επικρατούσες συνθήκες.

Δεν υπάρχουν μεγάλες διαφορές μεταξύ των κεραιών που βρίσκονται πάνω σε δορυφόρους και με αυτών που βρίσκονται σε επίγειους σταθμούς, ωστόσο υπάρχουν ορισμένες απαιτήσεις που πρέπει να ληφθούν υπόψη. Κατ' αρχάς, οι συνθήκες περιβάλλοντος είναι διαφορετικές. Οι κεραίες πρέπει να κατασκευαστούν λαμβάνοντας υπόψιν τις δύσκολες συνθήκες που επικρατούν στο διάστημα, όπου μία από αυτές είναι οι μεταβολές της θερμοκρασίας που πραγματοποιούνται λόγω του ότι ο δορυφόρος αλλάζει θέση με αποτέλεσμα κάποιες φορές να βρίσκεται στο ορατό ή στο μη ορατό πεδίο κάλυψης του ήλιου, προκαλώντας συστολή και διαστολή. Οπότε θα πρέπει να γίνει προσεκτική επιλογή των υλικών κατασκευής της κεραίας.

Στους γεωστατικούς δορυφόρους πρέπει να ληφθεί υπόψιν η αναγκαιότητα χρήσης κατευθυντικών κεραιών που έχουν υψηλό κέρδος λόγω των απωλειών διαδρομής. Αυτοί οι δορυφόροι είναι πιο πιθανό να καλύψουν συγκεκριμένο μέρος της Γης καθώς παραμένουν στην ίδια θέση, το οποίο δεν αποτελεί ουσιαστικό πρόβλημα. Ωστόσο το υψόμετρο του δορυφόρου σχετικά με την κεραία πρέπει να ελέγχεται προσεκτικά έτσι ώστε να πραγματοποιείται η σωστή ευθυγράμμιση μεταξύ τους.

Οι δορυφόροι που βρίσκονται σε χαμηλή τροχιά χρησιμοποιούν λιγότερο κατευθυντικές κεραίες, διότι τα σήματα πιθανότατα να ληφθούν και να μεταδοθούν με ευρύτερη γωνία κάλυψης και αυτά αλλάζουν καθώς μετακινούνται οι δορυφόροι. Οπότε σπάνια αυτοί οι δορυφόροι χρησιμοποιούν κεραίες με παραβολικό ανακλαστήρα.

### **3.2.2 Παραβολικοί Ανακλαστήρες**

Παραβολικό ανακλαστήρα θα μπορούσαμε να χαρακτηρίσουμε τα τρισδιάστατα κοίλα αντικείμενα που κατασκευάζονται περιστρέφοντας μια παραβολή κατά μήκος του άξονα ΑΒ. Όταν χρησιμοποιείται για λήψη σημάτων, παρουσιάζει ακριβώς την ίδια συμπεριφορά. Είναι δηλαδή ανακλαστήρας υψηλού κέρδους και για κεραίες λήψης. Η συμπεριφορά αυτή προβλέπεται με βάση την αρχή της αντιμεταθετικότητας, η οποία δηλώνει ότι οι ιδιότητες μιας κεραίας είναι ανεξάρτητες από το εάν αυτή χρησιμοποιείται για λήψη ή για μετάδοση.

## Ιδιότητες Παραβολοειδών Ανακλαστήρων

Το κατευθυντικό διάγραμμα ακτινοβολίας μίας κεραίας που χρησιμοποιεί έναν παραβολοειδή ανακλαστήρα, εμφανίζει έναν πολύ αιχμηρό κύριο λοβό ακτινοβολίας, οποίος περιβάλλεται από διάφορους μικρούς πλευρικούς λοβούς, ο οποίοι όμως είναι πολύ μικρότεροι. Εάν η πρωταρχική κεραία, ή η κεραία τροφοδοσίας, είναι μη κατευθυντική, ο παραβολοειδής ανακλαστήρας θα παράγει μια δέσμη ακτινοβολίας, της οποίας το πλάτος δίνεται από τους τύπους.

$$\varphi = \frac{70\lambda}{D}$$

$$\varphi_0 = 2\varphi$$

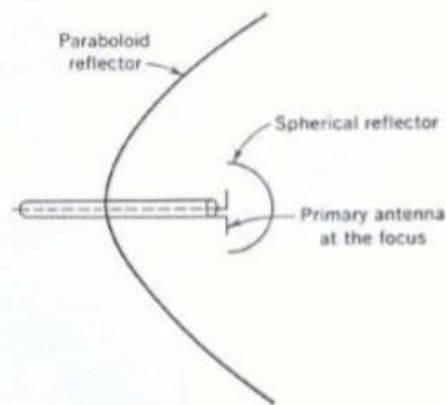
Όπου:

- $\lambda$  το μήκος κύματος σε μέτρα
- $\varphi$  το εύρος δέσμης ακτινοβολίας μεταξύ των σημείων ημισείας ισχύος, σε μοίρες
- $\varphi_0$  το εύρος δέσμης ακτινοβολίας μεταξύ μηδενικών, σε μοίρες
- $D$  η διάμετρος του ανοίγματος, σε μέτρα

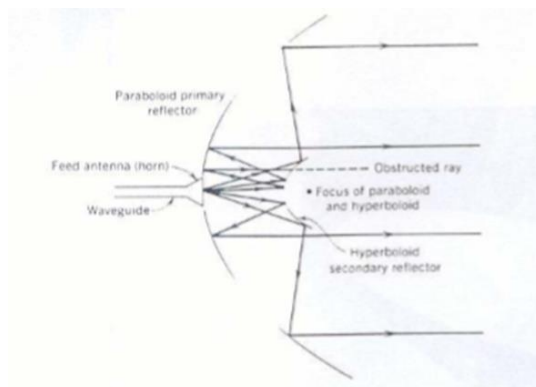
Και οι δύο εξισώσεις είναι απλουστευμένες μορφές πιο πολύπλοκων εξισώσεων.

## Μηχανισμοί Τροφοδοσίας

Η πρωταρχική κεραία τοποθετείται στην εστία του παραβολοειδούς για καλύτερα αποτελέσματα στην εκπομπή και στη λήψη. Η απευθείας ακτινοβολία από την τροφοδοσία, η οποία δεν ανακλάται από το παραβολοειδές, τείνει να διαχέεται προς όλες τις κατευθύνσεις, και επομένως να χαλάει μερικώς την κατευθυντικότητα. Πολλές μέθοδοι χρησιμοποιούνται για να αποφύγουμε αυτό το φαινόμενο, μία από τις οποίες είναι η χρησιμοποίηση ενός μικρού σφαιρικού ανακλαστήρα. Μια άλλη μέθοδος είναι να χρησιμοποιηθεί μια μικρή στοιχειοκεραία διπόλων στην εστία, όπως π.χ. μια Yagi-Uda ή μία ακροπυροδοτική στοιχειοκεραία, η οποία να δείχνει προς τον παραβολοειδή ανακλαστήρα. Επίσης ένας ακόμη τρόπος για να αντιμετωπίσουμε το πρόβλημα αυτό - μία κεραία χοάνης (horn antenna), η οποία δείχνει προς τον βασικό ανακλαστήρα. Η κεραία αυτή έχει ένα ελαφρώς κατευθυντικό διάγραμμα ακτινοβολίας, προς την κατεύθυνση στην οποία δείχνει το άνοιγμά της.



Για άλλη μία φορά αποφεύγουμε την απευθείας ακτινοβολία από την κεραία τροφοδοσίας. Πρέπει να αναφέρουμε σε αυτό το σημείο ότι, αν και η κεραία τροφοδοσίας και ο ανακλαστήρας της παρεμποδίζουν ένα συγκεκριμένο μέρος της ακτινοβολίας από το παραβολοειδές, όταν τοποθετούνται στην εστία του, αυτή η παρεμπόδιση είναι στην πραγματικότητα αμελητέα. Μία άλλη μέθοδος τροφοδοσίας, η τροφοδοσία Cassegrain, χρησιμοποιεί έναν υπερβολοειδή δευτερεύοντα ανακλαστήρα. Μια από τις εστίες του συμπίπτει με την εστία του παραβολοειδούς, έχοντας ως αποτέλεσμα το σχήμα δίπλα. Οι ακτίνες που εκπέμπονται από την κεραία τροφοδοσίας (χοάνη) ανακλώνται από το παραβολοειδές κάτοπτρο. Αυτό επιδρά στον κύριο παραβολοειδή ανακλαστήρα σαν να είχαμε μια κεραία τροφοδοσίας τοποθετημένη στην εστία του. Ο κύριος ανακλαστήρας εν συνεχεία παραλληλοποιεί τις ακτίνες με τον τρόπο που ήδη περιγράφηκε.



### 3.2.3 Κατηγορίες Παραβολικού Ανακλαστήρα

Ο όρος παραβολικός ανακλαστήρας είναι πολύ γενικός, γι' αυτό τους έχουμε χωρίσει σε κατηγορίες με βάση την εστίαση τους. Παρακάτω θα δούμε μερικές από αυτές τις κατηγορίες και θα τις αναλύσουμε:

#### ❖ Prime Focus

Τα κάτοπτρα Prime Focus εστιάζουν ακριβώς στο κέντρο, είναι πολύ εύκολα στην κατασκευή και στην εγκατάστασή τους. Τα κάτοπτρα Prime Focus έχουν δυο βασικά μειονεκτήματα, ο κυματοδηγός και το σύστημα στήριξης του "επισκιάζουν" ένα μέρος της ανακλαστικής επιφάνειας και επίσης η γωνία τοποθέτησης του συστήματος είναι τέτοια που λαμβάνει μαζί με το εκπεμπόμενο ή ανακλώμενο θόρυβο από το έδαφος.



#### ❖ Offset

Τα κάτοπτρα Offset είναι πλέον τα κυρίαρχα κάτοπτρα στις μέρες μας. Αυτή η κεραία έχει κατασκευαστεί με ένα μικρότερο μέρος παραβολής από ότι τα Prime Focus, επίσης έχουν ένα μεγάλο άξονα Βορρά/Νότου και ένα μικρότερο Ανατολής/Δύσης. Έτσι, ο κυματοδηγός δεν τοποθετείται στο κέντρο μπροστά από τον ανακλαστήρα αλλά στο κάτω μέρος του κατόπτρου. Στην πραγματικότητα, το σύστημα feedhorn-στήριξης, βρίσκεται πάλι στο κέντρο, αν επεκτείνουμε νοητά το κάτοπτρο σε όλο το μέγεθος της παραβολικής καμπύλης. Το κέρδος στο σχεδιασμό offset, είναι αφενός, ότι το σύστημα στήριξης του κυματοδηγού δεν «σκιάζει» το κάτοπτρο και αφετέρου ότι το LNB είναι περισσότερο στραμμένο προς τον «κρύο» ουρανό, παρά προς τη «ζεστή» γη, με αποτέλεσμα να λιγοστεύει κατά πολύ ο παρασιτικός θόρυβος (οι έννοιες «κρύος ουρανός», «ζεστή γη»



υποδηλώνουν την ενεργή δράση τους σε επανεκπεμπόμενη λόγω albedo, ακτινοβολία (θορύβου). Λόγω των δύο αυτών πλεονεκτημάτων, το offset κάτοπτρο μπορεί να πετύχει μεγαλύτερα επίπεδα επάρκειας από τα Prime Focus. Οι μικρές γωνίες κλίσεις που χρειάζεται το offset κάτοπτρο, σε σχέση με το Prime Focus, αποδεικνύονται μεγάλο πλεονέκτημα σε συγκεκριμένες καιρικές συνθήκες.

#### ❖ **Κάτοπτρα Cassegrain**

Τα Κάτοπτρα Cassegrain βασίζονται στη θεωρία της διπλής ανάκλασης, όπου χρησιμοποιεί ένα υπο-ανακλαστήρα σχήματος υπερβολής, που συγκεντρώνει την πρωταρχική εστίαση από το βασικό παραβολικό ανακλαστήρα. Όπως και στα Prime Focus κάτοπτρα, το μειονέκτημα των Cassegrain είναι η «σκίαση» τμήματος της ανακλαστικής επιφάνειας,



στην προκειμένη περίπτωση από τον υπο-ανακλαστήρα. Όσο βέβαια μεγαλώνει η διάμετρος του κατόπτρου, το ποσοστό «σκίασης» μειώνεται και σε πολύ μεγάλα κάτοπτρα θεωρείται αμελητέο. Η κατεύθυνση του LNB στα κάτοπτρα Cassegrain, θυμίζει περισσότερο την offset λογική κι έτσι το κάτοπτρο δεν επηρεάζεται σημαντικά από επανεκπεμπόμενη λόγω albedo ακτινοβολία θορύβου. Εκείνο που είναι ιδιαίτερα σημαντικό στα κάτοπτρα Cassegrain, είναι η ακρίβεια στην κατασκευή τους, αφού η διπλή ανάκλαση προϋποθέτει και σωστή θέση του υπο-ανακλαστήρα, αλλά και του LNB. Το γεγονός αυτό, αυξάνει αφενός το κόστος κατασκευής, αλλά και δημιουργεί μια πρόσθετη δυσκολία στην εγκατάσταση.

#### ❖ **Γρηγοριανά Κάτοπτρα**

Τα Γρηγοριανά Κάτοπτρα βασίζονται και αυτά στη θεωρία διπλής ανάκλασης και θα μπορούσαν να θεωρηθούν υπο-κατηγορία των κατόπτρων Cassegrain. Η διαφορά είναι ότι ο Γρηγοριανός ανακλαστήρας, χρησιμοποιεί ελλειψοειδή υπο-ανακλαστήρα και σχεδιασμό πρωτογενούς ανάκλασης, τύπου offset. Μια ακόμη παραλλαγή διπλής ανάκλασης, είναι η κεραία Toroidal. Η κεραία διπλής ανάκλασης Toroidal μοιάζει με το Γρηγοριανό ανακλαστήρα σαν σχήμα, οι βασικές όμως εξισώσεις διαφέρουν. Βασική διαφορά επίσης είναι ότι δεν υπάρχει παραβολική επιφάνεια. Το σύστημα έχει κυρτό-κοίλο υπο-ανακλαστήρα. Ο υπο-ανακλαστήρας είναι κυρτός στη μία του επιφάνεια και κοίλος στις ορθογώνιες επιφάνειες. Το πραγματικό σχήμα του, καθορίζεται με βάση

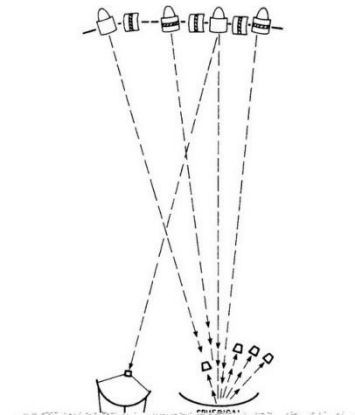




μαθηματικές εξισώσεις, οι οποίες σαν στόχο έχουν να δημιουργήσουν μία επιφάνεια , που θα εστιάζει μέγιστη, αλλά και ισόποση κατανομή σήματος σε πολλαπλά σημεία.

#### ❖ Σφαιρικά Κάτοπτρα

Τα σφαιρικά κάτοπτρα είναι σχεδιασμένα για να δημιουργούν πολλαπλά σημεία εστίασης στο εμπρόσθιο κεντρικό σημείο της ανακλαστικής επιφάνειας, για λήψη διαφορετικών δορυφόρων. Η καμπύλη της ανακλαστικής επιφάνειας είναι με τέτοιο τρόπο σχεδιασμένη, που αν επεκταθεί νοητά και προς τους δύο άξονες, θα δημιουργήσει μια σφαίρα. Οι σφαιρικές κεραίες χρησιμοποιούνται κυρίως για λήψη πολλαπλών δορυφόρων, οι οποίοι απέχουν έως  $\pm 20^\circ$  από τον κύριο άξονα του κατόπτρου.



#### ❖ Επίπεδα Planar Arrays

Τα επίπεδα Planar Arrays είναι μια εναλλακτική λύση κεραίας, η οποία είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη στην Κεντρική Ευρώπη. Αυτές οι επίπεδες κεραίες δεν στηρίζονται στις βασικές αρχές, που χρησιμοποιούν όλα τα παραβολικά κάτοπτρα. Αντ' αυτού, ένα πλέγμα από μικροσκοπικά στοιχεία, είναι εμφυτευμένο στην εσωτερική επιφάνεια της κεραίας. Αυτά τα στοιχεία έχουν σχήμα και μέγεθος τέτοιο, που συντονίζονται με την εισερχόμενη μικροκυματική ακτινοβολία. Ένας ιστός από γραμμές-κυματοδηγούς χρησιμοποιείται για να συνδέσει τις ταλαντώσεις όλων των στοιχείων με τέτοιο τρόπο, ώστε όλες να βρίσκονται σε φάση και εν συνεχεία οδηγούνται



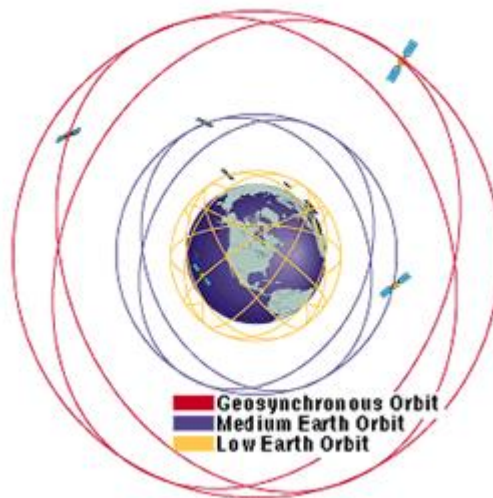
στο κέντρο του Array, ο οποίος είναι απευθείας συνδεδεμένος με το LNB. Τα Planar Arrays έχουν δύο βασικά πλεονεκτήματα. Αφενός δεν χρειάζονται feedhorn και αφετέρου δεν «σκιάζονται» από το σύστημα στήριξης του LNB, το οποίο βρίσκεται «αθέατο» στο πίσω μέρος της κεραίας. Το βασικό μειονέκτημα των Planar Arrays κατόπτρων, είναι το περιορισμένο bandwidth, που δεν υπερβαίνει τα 500MHz, πράγμα που τα καθιστά κατάλληλα μόνο για συγκεκριμένες εφαρμογές. Οι παραβολικές κεραίες, σε αντίθεση, έχουν εξαιρετικά μεγάλο bandwidth, πράγμα που τους επιτρέπει λήψη από S, C και Ku μπάντα. Ένα άλλο μειονέκτημα των Planar Arrays κατόπτρων, είναι το μεγάλο κόστος κατασκευής, που ξεπερνάει έως και τέσσερις φορές το κόστος κατασκευής ενός

παραβολικού κατόπτρου, μαζί με το feedhorn. Σε αυτό το σημείο, πρέπει να τονίσουμε ότι επίπεδη κεραία κατασκευάζεται και στη χώρα μας, από την εταιρία Attisat. Η FL 500 είναι ένα μοντέλο που καλύπτει πλήρως την μπάντα Ku και διακρίνεται για την εξαιρετική αισθητική της, κάτι που την έχει καθιερώσει ως ένα από τα καλύτερα μοντέλα, στην αγορά του εξωτερικού.

### 3.3 Δορυφόροι

Δορυφόροι ονομάζονται αντικείμενα τα οποία βρίσκονται σε τροχιά γύρω από ένα άλλο αντικείμενο. Χωρίζονται σε φυσικούς και τεχνητούς. Στη συνέχεια θα ασχοληθούμε με τους τεχνητούς, καθώς συνεισφέρουν στην απρόσκοπτη λειτουργία των δορυφορικών κεραιών, οι οποίες βρίσκονται σε πολύ μεγάλες αποστάσεις μεταξύ τους όπου η ορατότητα είναι μηδενική.

Οι τεχνητοί δορυφόροι χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, οι ενεργητικοί και οι παθητικοί. Ο ρόλος των ενεργητικών δορυφόρων είναι να ενισχύουν και να στέλνουν το σήμα που λαμβάνουν, σε αντίθεση με τους παθητικούς δορυφόρους, οι οποίοι απλά προωθούν το σήμα. Έπειτα χωρίζονται σε υποκατηγορίες ανάλογα με το υψόμετρο, σε **γεωστατικής τροχιάς, μεσαίας τροχιάς και χαμηλής τροχιάς.**



Οι δορυφόροι χαμηλής τροχιάς καλύπτουν μια περιοχή με διάμετρο περίπου 8000 χλμ., παρουσιάζουν περίοδο τροχιάς διάρκειας 1.5 με 2 ωρών και ευαισθησία στην ατμοσφαιρική τριβή με αποτέλεσμα να υπάρχει αλλοίωση στην τροχιά. Αυτό το είδος δορυφόρων χωρίζεται σε μικρούς και μεγάλους. Οι μικροί λειτουργούν σε συχνότητες κάτω από 1 GHz με εύρος στα 5 MHz και datarate μέχρι 10 Kbps. Χρησιμοποιούνται για ανίχνευση, ειδοποιήσεις με paging και μηνύματα χαμηλού ρυθμού, ενώ οι μεγάλοι προσφέρουν όλες τις δυνατότητες που έχουν οι μικροί, αλλά και επιπρόσθετα υπηρεσίες τηλεφωνίας και ανίχνευσης θέσης. Ορισμένα μειονεκτήματα που παρουσιάζουν γενικά οι δορυφόροι χαμηλής τροχιάς είναι η μειωμένη διάρκεια ζωής τους που οφείλεται στη



χαμηλή τροχιά και ότι απαιτούνται πολλοί δορυφόροι για την επίτευξη μιας σύνδεσης, καθώς έχουν περιορισμένη ορατότητα λόγω του μικρού υψόμετρου.

Όσον αφορά τους δορυφόρους μεσαίας τροχιάς, η διάμετρος κάλυψης τους κυμαίνεται από τα 10.000 χλμ. έως και τα 15.000 χλμ., έχουν περίοδο τροχιάς διάρκειας 6 ωρών και ο μέγιστος χρόνος ορατότητάς τους διαρκεί μερικές ώρες.

Οι Γεωστατικοί δορυφόροι καλύπτουν μια περιοχή της τάξεως των 35.786 χλμ., όπου ευθύνεται για τις μεγάλες καθυστερήσεις στη μετάδοση. Ορισμένα πλεονεκτήματά τους είναι η εύκολη σχετικά ανίχνευση των θέσεων τους και η αρκετά μεγάλη περιοχή κάλυψής τους, με αποτέλεσμα τις σπάνιες αλλαγές σταθμού βάσης κατά τη διάρκεια μιας σύνδεσης.

## Κεφάλαιο 4<sup>ο</sup>

### 4.1 Περιγραφή Πειράματος

#### Εγκατάσταση πάγκων

Η εγκατάσταση ουσιαστικά πραγματοποιείται τοποθετώντας τον πάγκο εκπομπής και τον πάγκο λήψης με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτυγχάνεται άμεση σύνδεση ακτινοβολίας μεταξύ τους.

Η απόσταση  $R$  που διαχωρίζει την κεραία εκπομπής από την κεραία λήψης πρέπει να είναι μεγαλύτερη από  $2d^2/\lambda_0$

$d$ = Η μεγαλύτερη διάσταση του ανοίγματος ακτινοβολίας στη μεγαλύτερη από τις κεραίες

$\lambda_0$ = Το μήκος κύματος του αέρα

Μια μικρότερη απόσταση  $R$  θα προκαλούσε σφάλμα στη μέτρηση του διαγράμματος ακτινοβολίας και του κέρδους. Τοποθετούμε τα δύο μέρη με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι σωστά ευθυγραμμισμένες οι κεραίες στον ίδιο ακριβώς άξονα συμμετρίας.

$2d^2/\lambda_0=9\mu$  περίπου

Η κατασκευή είναι έτοιμη για χρήση.

#### BEM 100 Πάγκος Εκπομπής

- **Σύνθεση:**
  - 1 20db κεραία χοάνης: ANC 100/20
  - 1 αντάπτορας στερέωσης: AFR 100
  - 1 ρυθμιστή PIN: MOD 100
  - 1 απομονωτήρας: ISO 100
  - 1 Πηγή GUNN: OSG 100
  - 2 Στηρίγματα Οδηγών: SUP 100

- 1 Τροφοδοτικό GUNN: CF204
- Ο πάγκος εκπομπής αποτελείται από μία χοάνη ANC 100/20 με άνοιγμα 163 x 114, πυραμιδοειδής, τροφοδοτούμενο από μία δίοδο ταλαντωτή Gunn OSG 100. Το σήμα διαμορφώνεται με τετραγωνικά σήματα 1ΚΗζ μέσω διαμορφωτή δίοδου MOD 100. Ένας απομονωτής φερρίτη ISO 100 μεταξύ του ταλαντωτή και του διαμορφωτή PIN εμποδίζει τις μεταβολές φορτίου που προκαλούνται από την αντίδραση του τελευταίου στον ταλαντωτή.
  - Συναρμολογούμε τα εξαρτήματα μικροκυμάτων που αποτελούν τον πάγκο μετάδοσης BEM 100
  - Συνδέουμε τον ταλαντωτή δίοδου OSG 100 Gunn από την τροφοδοσία CF204 μέσω καλωδίου BNCm / BNCm
  - Συνδέουμε τον ταλαντωτή δίοδου MOD100 Gunn από την τροφοδοσία CF 204 μέσω καλωδίου BNCm / BNCm
  - Ενεργοποιούμε την τροφοδοσία CF 204 και αυξάνουμε σταδιακά την τάση στα 10V
  - ο πάγκος μετάδοσης μεταδίδει ένα τετραγωνικό διαμορφωμένο μικροκυματικό σήμα με συχνότητα περίπου 1 kHz μέσω της χοάνης ANC 100/20 προς τον πάγκο λήψης

### Μέτρηση Διαγράμματος Ακτινοβολίας

- Σύνθεση:
  - 1 Πάγκος εκπομπής: BEM 100
  - 1 Περιστρεφόμενη Πλατφόρμα: PTM 100
  - 1 Παραβολικός Ανακλαστήρας: ANP 100
  - 1 κεραία χοάνης 10dB: ANC 100/10
  - 1 αντάπτορας στερέωσης: AFR 100
  - 1 μεταγωγή κυματοδηγού/ομοαξονικού: TGN 100
  - 1 αισθητήρας μέτρησης: DEN 100
  - 1 Παλμογράφος
- Ενεργοποίηση του πάγκου λήψης

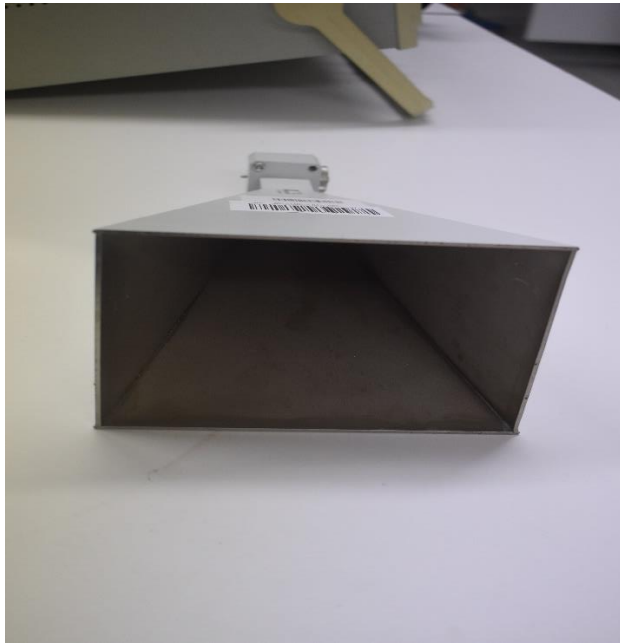
Αυτός ο πάγκος αποτελείται από έναν παραβολικό ανακλαστήρα ANP100 που έχει διάμετρο 350 mm. Το κύκλωμα λήψης αποτελείται από μια χοάνη (κέρδος 10 dB), ANC 100/10, τοποθετημένη στο επίκεντρο του κεντρικού άξονα του. Μία μεταγωγή κυματοδηγού/ομοαξονικού με ανιχνευτή DEN 100 επιτρέπει τη μέτρηση της στάθμης λήψης. Το παρεχόμενο παραβολοειδές ANP100, με διάμετρο  $d = 350$  mm, έχει ως αποτέλεσμα το μήκος κύματος να είναι περίπου 30 mm, με ελάχιστη απόσταση R μεταξύ του ανοίγματος της κεραίας μετάδοσης και της κεραίας λήψης  $R \geq 2d^2 / \lambda_0 \approx 9m$ .

## 4.2 Υλοποίηση Πειράματος

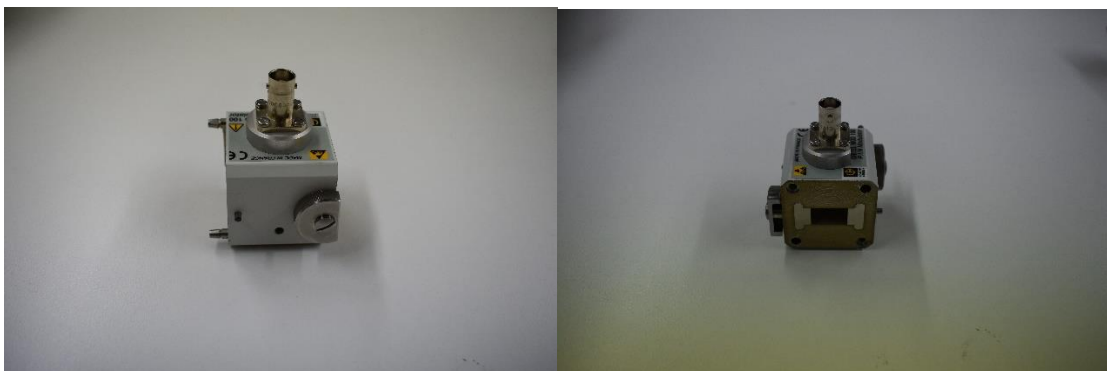
Για την υλοποίηση του παραπάνω πειράματος επειδή δεν είχαμε όλο τον απαραίτητο εξοπλισμό αντικαταστήσαμε κάποια μηχανήματα με άλλα έτσι ώστε να φέρουμε εις πέρας το πείραμα.

Η κεραία του πομπού μας ήταν χοάνη και την είχαμε συνδεδεμένη σε μια γεννήτρια. Τα εξαρτήματα που χρησιμοποιήσαμε για την κεραία του πομπού (MEB 100) ήταν τα εξής:

- ANC100/20 κ' AFR 100



- MOD100



- ISD 100

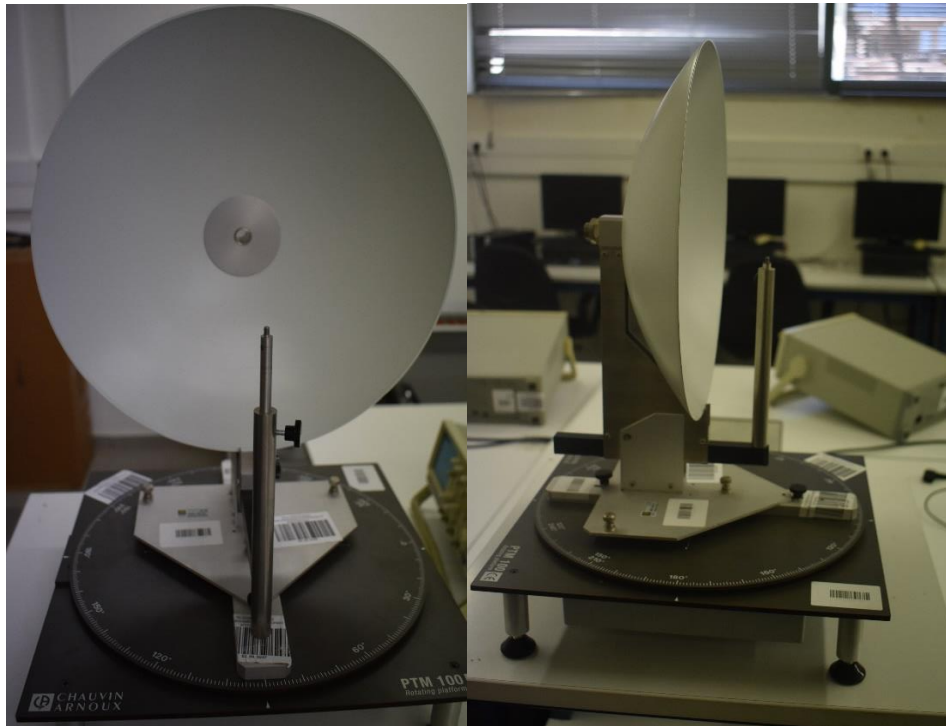


- OSG 100

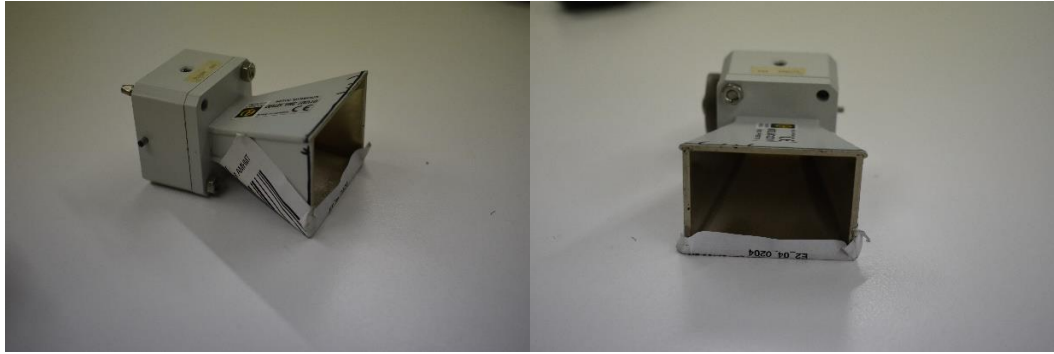


Η κεραία του δέκτη μας ήταν ένας παραβολικός ανακλαστήρας (δορυφορικό πιάτο). Για την κεραία του δέκτη χρησιμοποιήσαμε τα εξής εξαρτήματα:

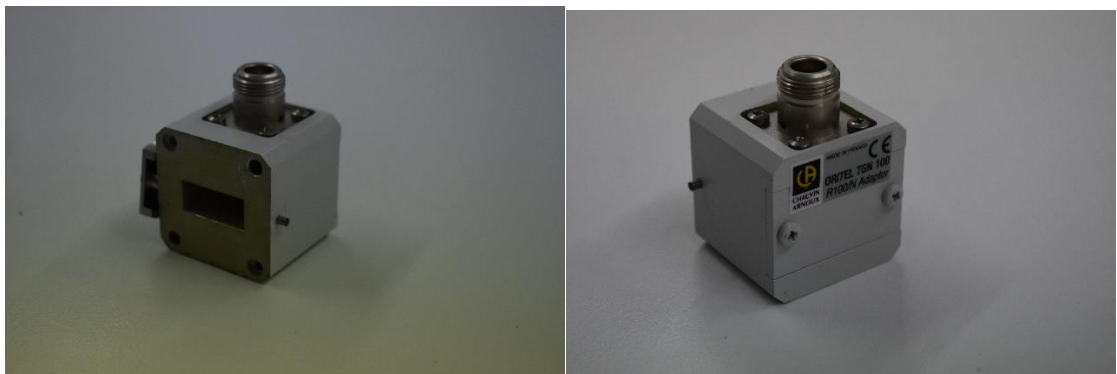
- PTM 100 κ' ANP 100



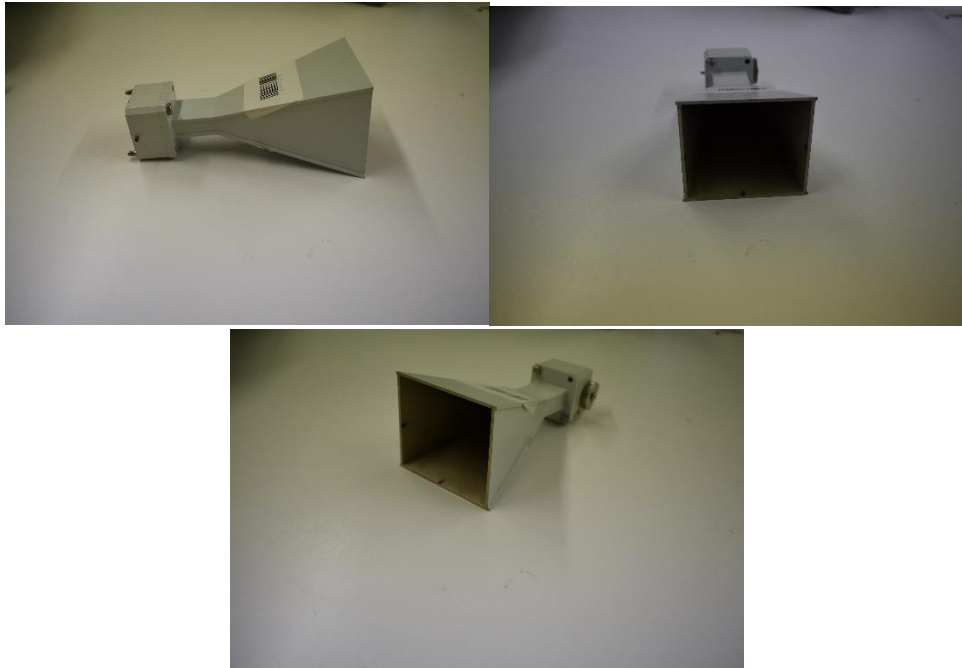
- ANC 100/10 κ' AFR 100



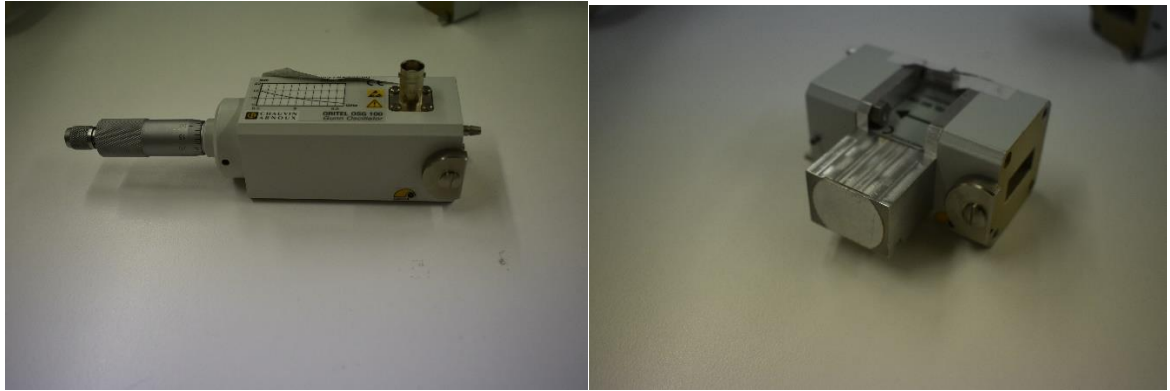
- TGN 100 κ' DEN 100



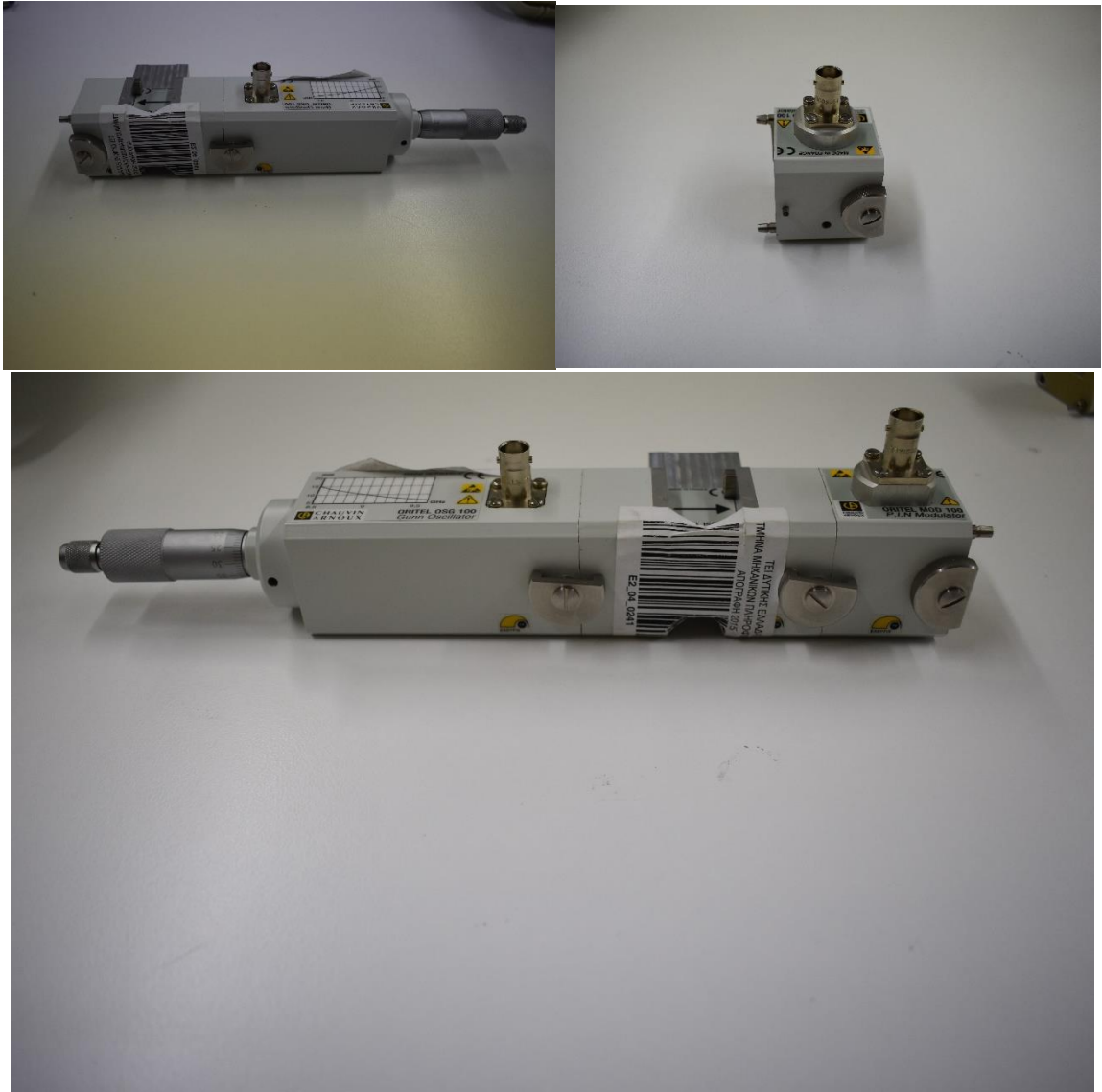
Για την συναρμολόγηση της κεραίας του πομπού μας στην αρχή ενώσαμε το ANC100/20 με το AFR100.



Έπειτα πήγαμε και ενώσαμε το OSG100 με το ISD100.

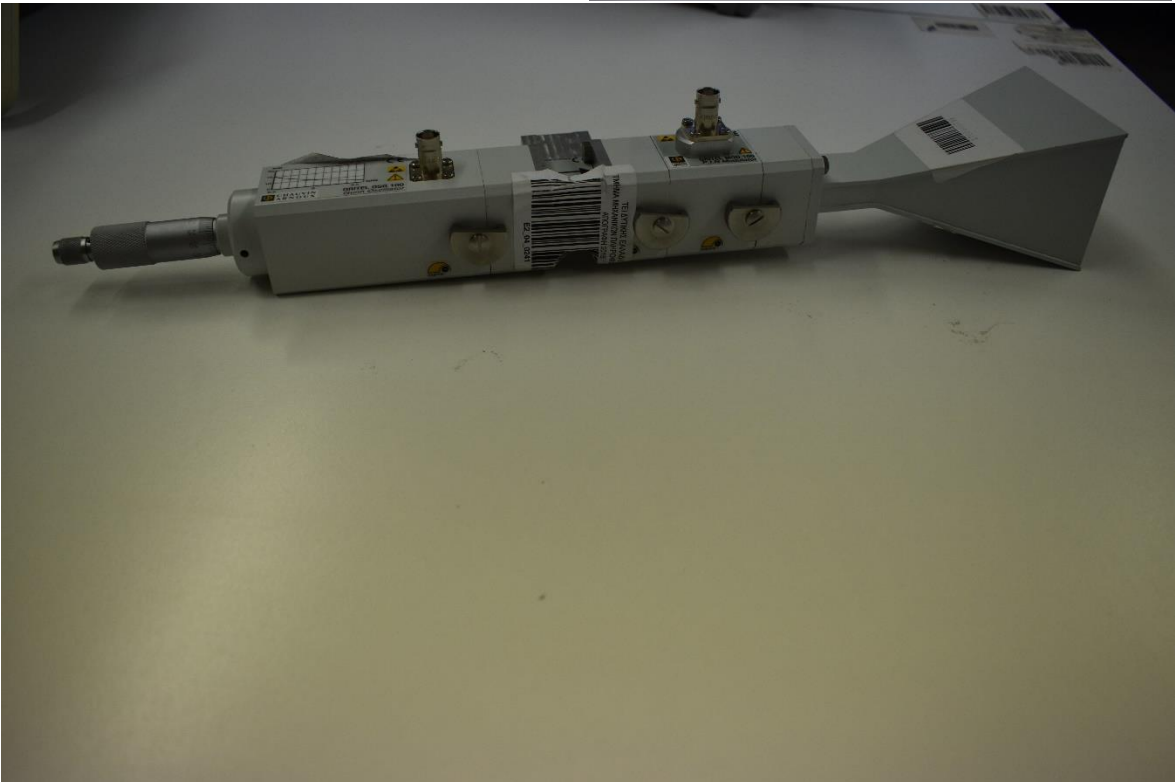
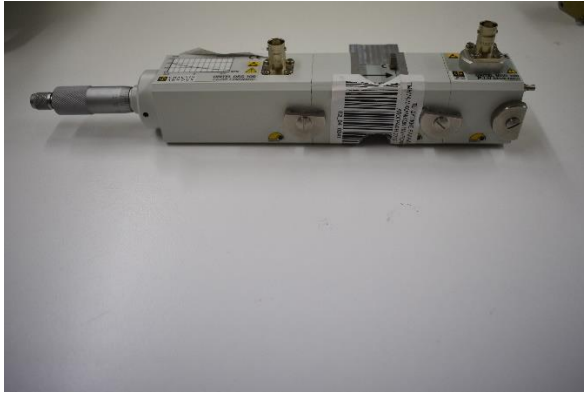


Στη συνέχεια ενσωματώσαμε πάνω σε αυτό το MOD100.

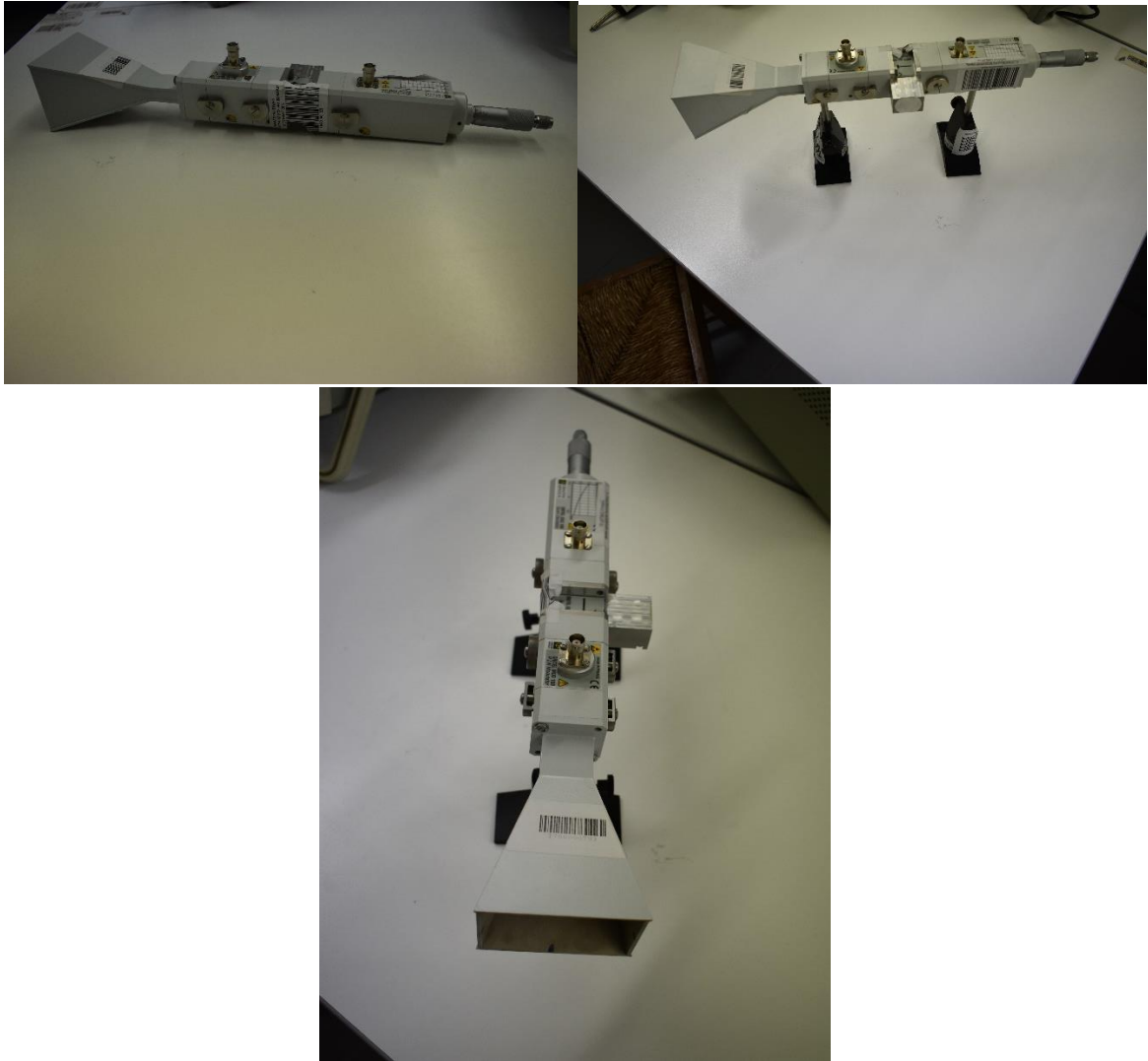


Ύστερα το ενώσαμε με τα ANC100/20 και ANP100.

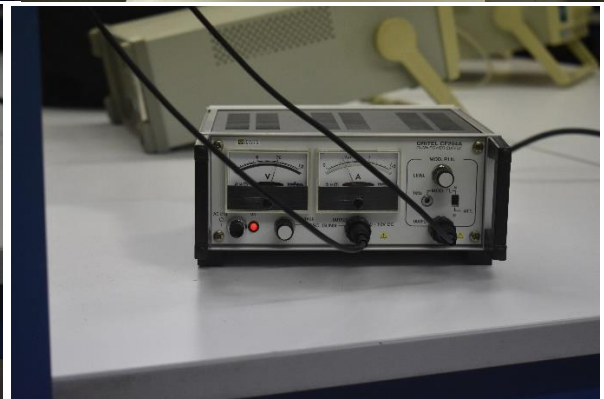
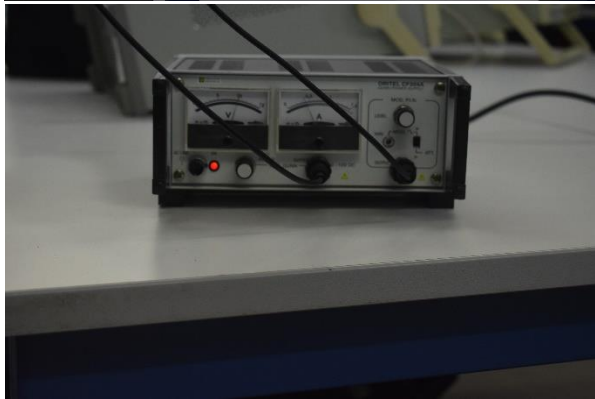


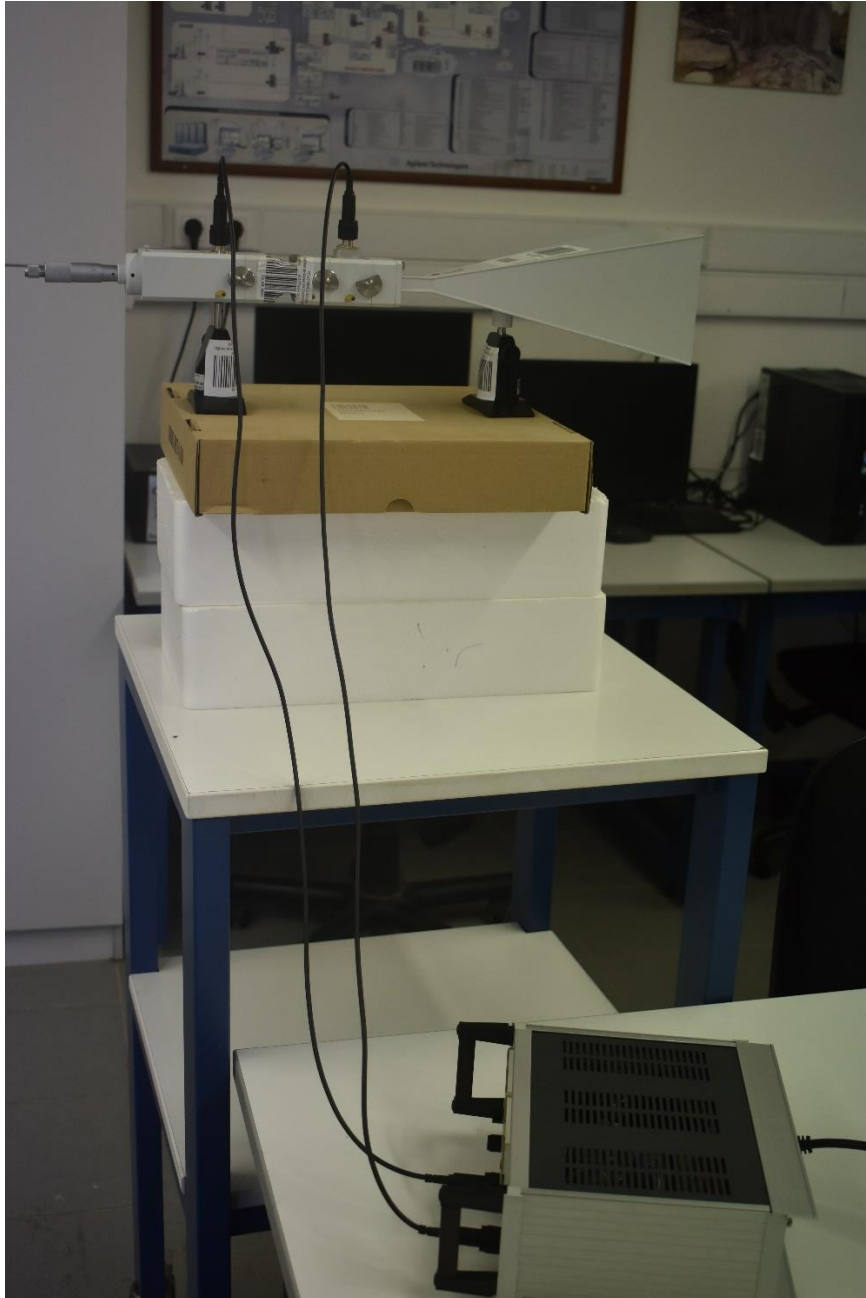


Και τέλος προσθέσαμε τα πόδια.



Επίσης, όπως είπαμε και παραπάνω για την επίτευξη του πειράματος χρησιμοποιήσαμε μια γεννήτρια την οποία την είχαμε συνδεδεμένη με την κεραία που χρησιμοποιήσαμε ως πομπό.

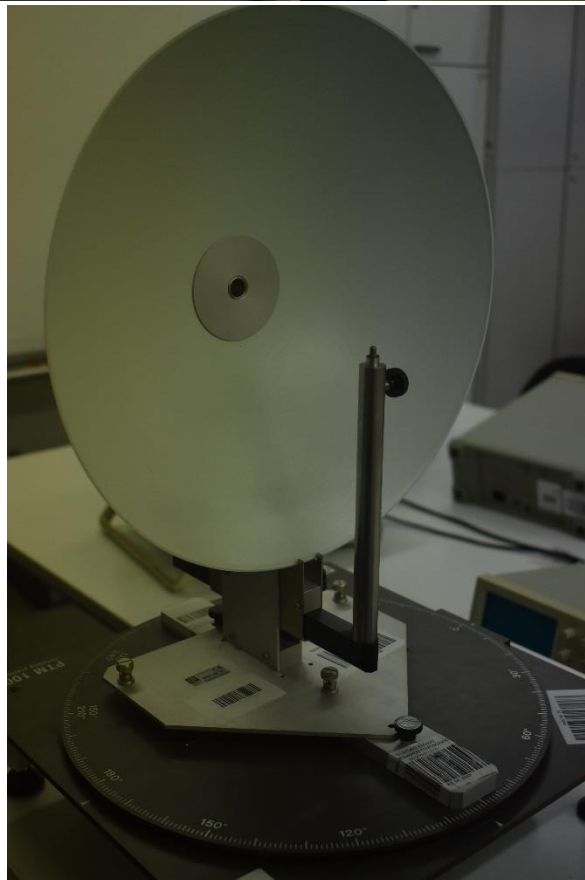
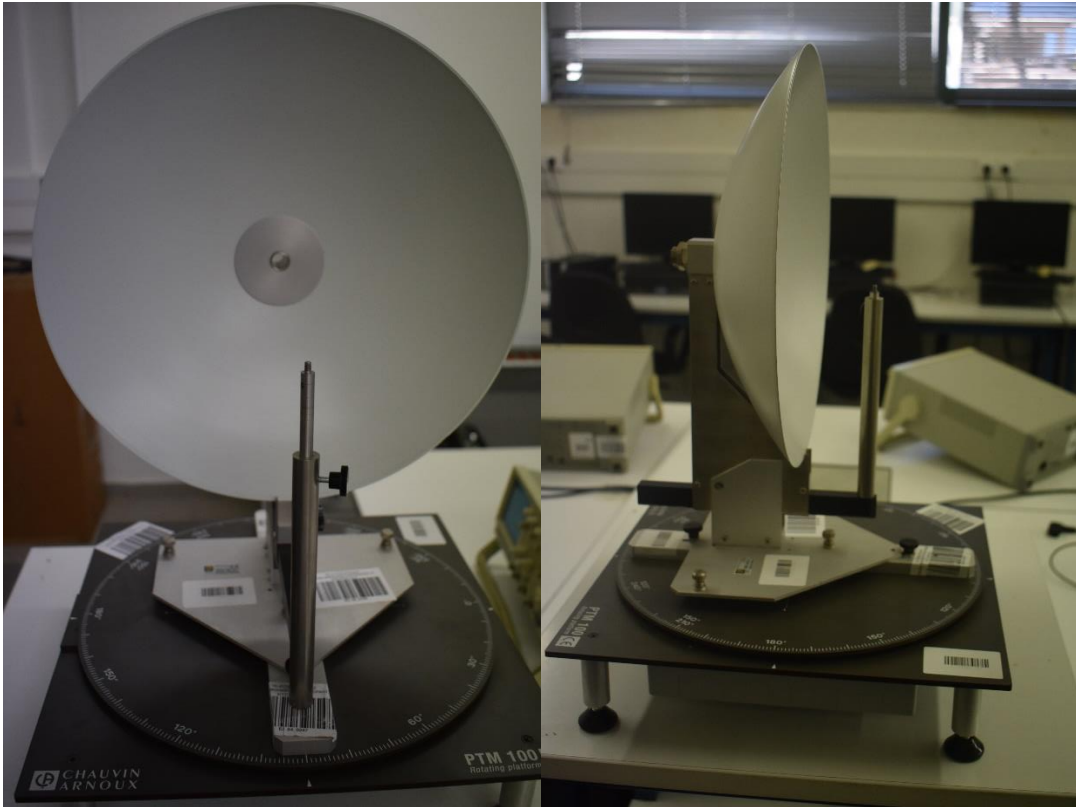




Την γεννήτρια την είχαμε στα 10 Volt έτσι ώστε να έχει αρκετή ισχύ για να καταφέρει να μεταφερθεί το σήμα μας.

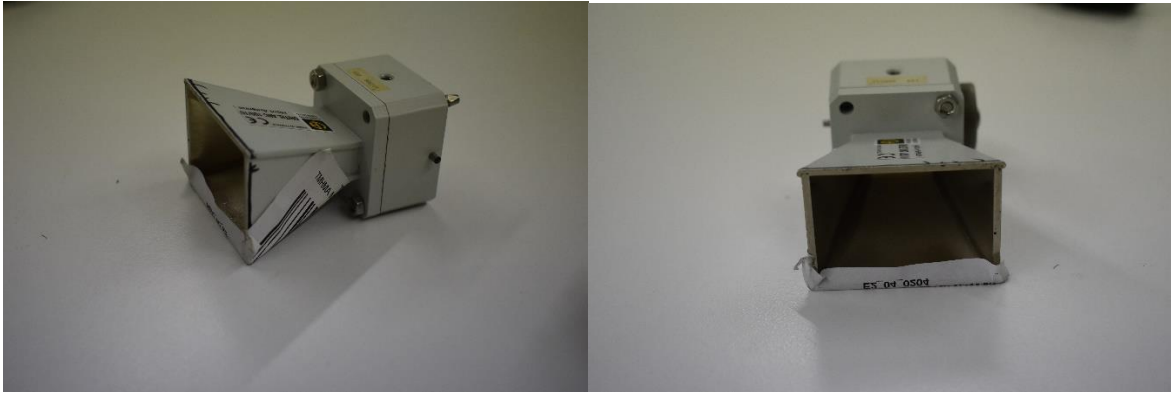


Για την κεραία του πομπού ενώσαμε το PTM100 με το ANP100.

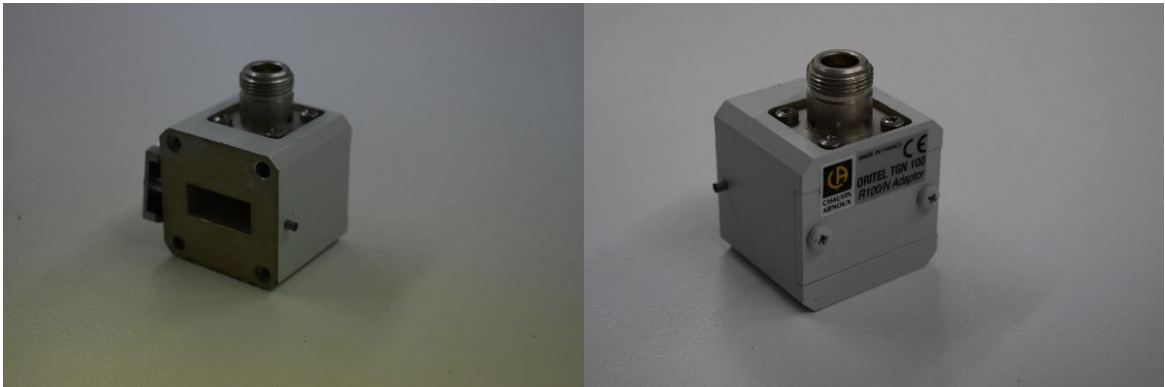


Στη συνέχεια ενώσαμε το ANC100/10 με το AFR100.

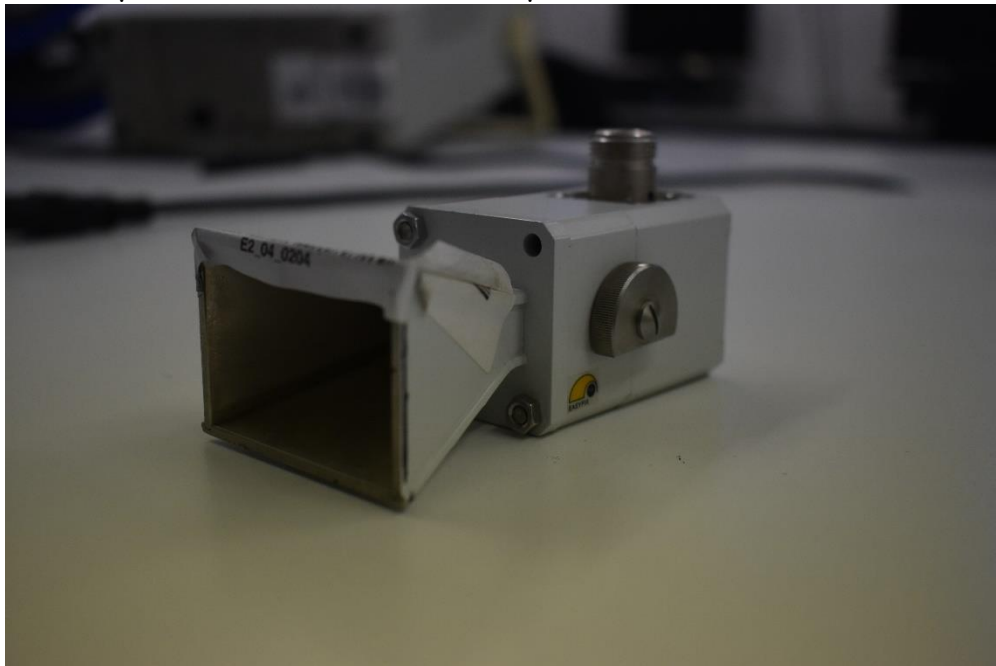




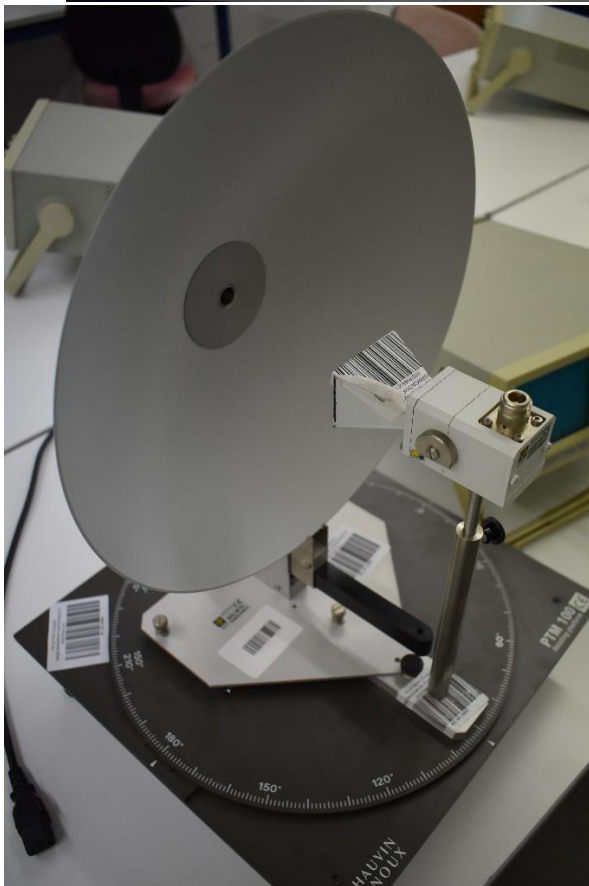
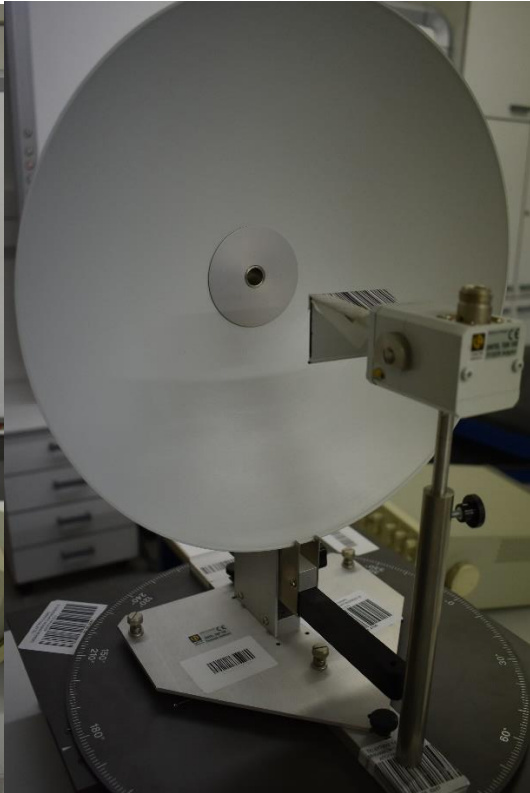
Έπειτα συνδέσαμε το TGN100 με το DEN100.

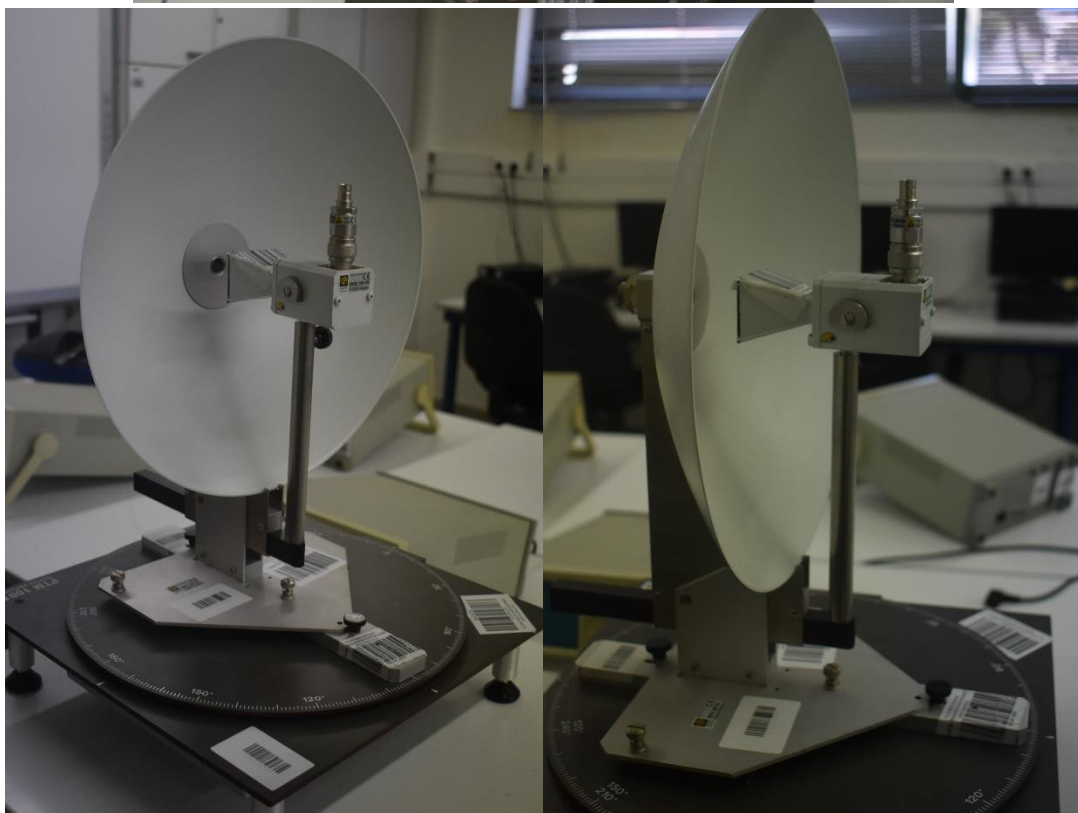
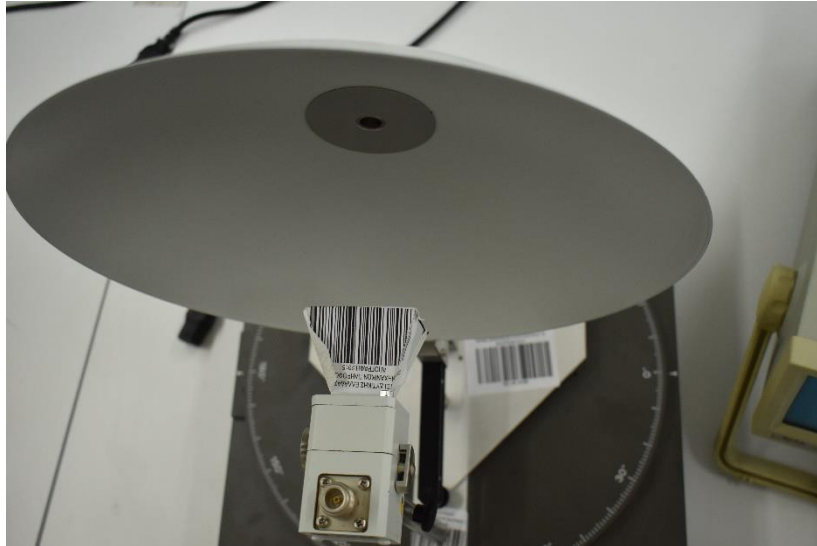


Υστερα συνδέσαμε τα ANC100/10 και AFR100 με τα TGN100 και DEN100.



Έπειτα το ενσωματώσαμε με τα PTM100 και ANP100.

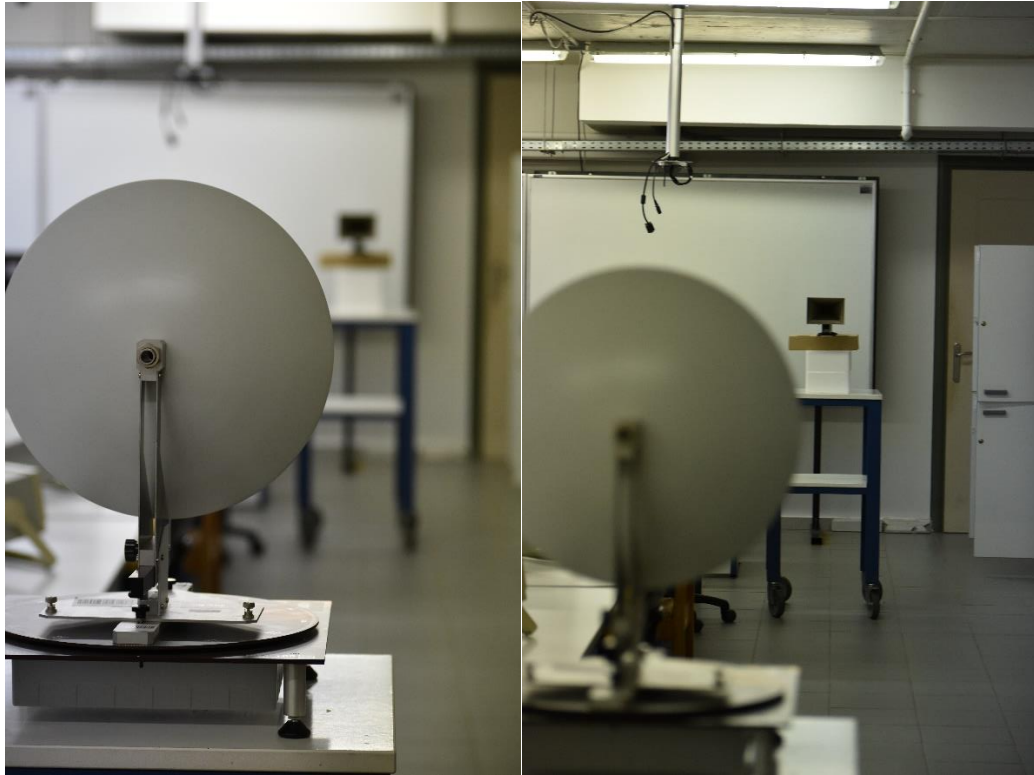




Οι κεραιές μας είχαν μεταξύ τους απόσταση περίπου 9 m.



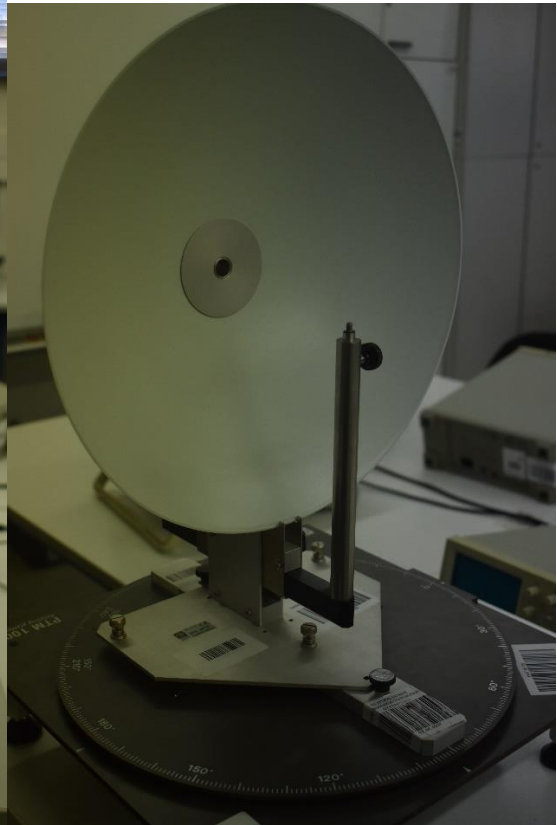
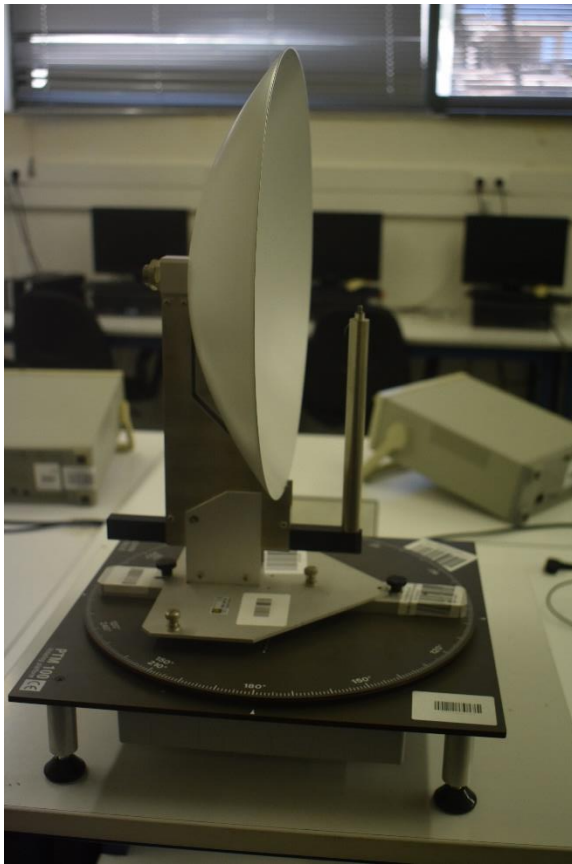




Η κεραία που χρησιμοποιήσαμε ως δέκτη την είχαμε συνδεδεμένη με έναν παλμογράφο, όπου από την οθόνη του παλμογράφου βλέπαμε τα αποτελέσματα και στη συνέχεια κάναμε τις κατάλληλες πράξεις και βρήκαμε τα αποτελέσματα μας σε dB.



Ο παραβολικός ανακλαστήρας που ήταν η κεραία η οποία είχε τον ρόλο του δέκτη μπορούσε να περιστρέφεται κατά  $360^\circ$ .



Εμείς στο πείραμα μας οι μετρήσεις που πήραμε ήταν ανά  $2^\circ$ , όταν φτάσαμε στις  $26^\circ$  (από τα δεξιά) δεν μπορούσαμε πλέον να λαμβάνουμε σήμα, το ίδιο ακριβώς κάναμε και από την άλλη πλευρά (από τα αριστερά) και φτάσαμε κι εκεί μέχρι τις  $26^\circ$ . Βέβαια για επιβεβαίωση πήραμε μετρήσεις μέχρι τις  $30^\circ$  και από τις δυο πλευρές όπου όλες οι μετρήσεις βγήκαν μηδενικές. Τα αποτελέσματα που βρήκαμε από τις μετρήσεις που κάναμε είναι:

Μοίρες κεραίας προς τα δεξιά	Αποτελέσματα σε dB	Μοίρες κεραίας προς τα αριστερά	Αποτελέσματα σε dB
0	13.48		
2	11.76	2	10.79
4	9.13	4	9.03
6	8.32	6	3.01
8	4.77	8	0
10	3.01	10	0
12	2.78	12	0.96
14	3.52	4	3.01
16	4.39	16	3.97
18	3.97	18	3.32
20	3.42	20	2.78
22	3.01	22	2.55
24	-0.4	24	-0.45
26	0	26	0
28	0	28	0
30	0	30	0

### 4.3 Συμπεράσματα

Με βάση τα αποτελέσματα που πήραμε από τις μετρήσεις βλέπουμε ότι στις 0° έχουμε το μεγαλύτερο λαμβανόμενο σήμα. Αυτό συμβαίνει διότι ανάμεσα στην κεραία εκπομπής και στην κεραία λήψης δεν είχαμε κανένα αντικείμενο που να παρεμποδίζει την διέλευση του σήματος μας. Καθώς περιστρέφουμε την κεραία λήψης και από τις δύο κατευθύνσεις βλέπουμε ότι μειώνεται το σήμα που λαμβάνουμε αυτό συμβαίνει διότι πρώτον οι κεραίες μας δεν ήταν ευθυγραμμισμένες και δεύτερον υπήρχαν αντικείμενα όπου παρεμπόδιζαν την σύνδεση μεταξύ των κεραιών. Τέλος βλέπουμε ότι προς τα αριστερά έχουμε μια αυξομείωση στο σήμα μας, αυτό γίνεται διότι σε εκείνες τις μοίρες η κεραία της λήψης ήταν στραμμένη προς ένα ανοιχτό παράθυρο, έτσι είχε σαν αποτέλεσμα το σήμα μας παρόλο που είχε ανακλάσεις και σκεδάσεις κανένα από αυτά δεν κατέληγε στην κεραία μας.

# Κεφάλαιο 5<sup>ο</sup>

## Βιβλιογραφία

- [http://www.physics.auth.gr/resources/L151\\_Doc2.pdf](http://www.physics.auth.gr/resources/L151_Doc2.pdf)
- <http://www.antenna-theory.com/>
- <https://imagine.gsfc.nasa.gov/science/toolbox/emspectrum1.html>
- <https://eeae.gr>
- <https://en.wikipedia.org/wiki/Attenuation#Electromagnetic>
- <http://el.wikipedia.org>
- <http://yako.physics.upatras.gr>
- <http://www.ceid.upatras.gr>
- <http://nefeli.lib.teicrete.gr>
- <http://www.hlektronika.gr>
- <http://www.cied.upatras.gr/notes/kef02>
- [http://www.eng.ucy.ac.cy/notes/notes\\_05\\_sv](http://www.eng.ucy.ac.cy/notes/notes_05_sv)
- <http://www.cied.upatras.gr/notes/kef07>
- <http://www.cied.upatras.gr/notes/kef09>
- <https://www.digitaltvinfo.gr/articles/technical-library/item/7902->
- Constantine A. Balanis (2005) Κεραίες, Ανάλυση και Σχεδιασμός Εκδόσεις ΙΩΝ
- Gerard Maral / Michel Bousquet (1988) Δορυφορικές Επικοινωνίες Συστήματα, Τεχνολογία και Τεχνικές Εκδόσεις Τζιόλα