

Διπλωματική εργασία: Λήψη εικόνων από διερχόμενους δορυφόρους σε  
Πραγματικό Χρόνο



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

## **ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

ΘΕΜΑ: Λήψη εικόνων από διερχόμενους δορυφόρους  
σε Πραγματικό Χρόνο

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: Ρωμαίος Γεώργιος (2987)

ΕΠΟΠΤΕΥΟΥΣΑ ΚΑΘΗΓΗΤΡΙΑ: Πολίτη Χριστίνα

ΠΑΤΡΑ 2024



UNIVERSITY OF THE PELOPONNESE  
SCHOOL OF ENGINEERING  
DEPARTMENT OF ELECTRICAL  
AND COMPUTER ENGINEERING

## **DIPLOMA THESIS**

Title: Image Reception from passing satellites in Real Time

Student: Romaios Georgios (2987)

Supervisor: Politi Christina

Patra, 2024

## **Ευχαριστίες**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπων καθηγήτρια κ. Πολίτη Χριστίνα για την πολύτιμη βοήθεια που μου παρείχε κατά την διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

## **Περιεχόμενα**

Περιεχόμενα.....4

<b>Περίληψη</b> .....	<b>5</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>5</b>
<b>Κεφάλαιο 1</b> .....	<b>6</b>
<b>1.1 Εισαγωγή στις Δορυφορικές Επικοινωνίες</b> .....	<b>6</b>
<b>1.2 Ορισμοί Τηλεπικοινωνιών</b> .....	<b>11</b>
<b>1.4 Κεραίες που χρησιμοποιούνται σε δορυφορικές επικοινωνίες [14]</b> .....	<b>18</b>
<b>1.4.1 V-διπολική κεραία</b> .....	<b>18</b>
<b>1.4.2 ΔΙΠΛΗ ΣΤΑΥΡΩΤΗ ΔΙΠΟΛΗ ΚΕΡΑΙΑ</b> .....	<b>18</b>
<b>1.4.3 Άλλοι τύποι κεραιών</b> .....	<b>19</b>
<b>Κεφάλαιο 2</b> .....	<b>19</b>
<b>2.1 Θεωρία και έννοιες κεραιών [13,14]</b> .....	<b>19</b>
<b>2.3 Περιβάλλον του διαστήματος</b> .....	<b>22</b>
<b>2.4 Σχεδιασμός Κεραιών</b> .....	<b>24</b>
<b>2.4.1 Σχεδιασμός διπλής σταυρωτής κεραίας (Double Cross Antenna):</b> .....	<b>25</b>
<b>2.4.2 Σχεδιασμός Δίπολης κεραίας (V-Dipole):</b> .....	<b>26</b>
<b>2.4.3 Ανάλυση μοτίβων ακτινοβολίας κεραίας και χρωματική χαρτογράφηση μέσω MATLAB</b> .....	<b>26</b>
<b>2.2 Σχεδιασμός σταθμού λήψης</b> .....	<b>29</b>
<b>2.3 Κατασκευή σταθμού λήψης</b> .....	<b>30</b>
<b>2.5 Ζητήματα διάδοσης που σχετίζονται με συστήματα δορυφορικών επικοινωνιών.</b> .....	<b>30</b>
<b>2.5.1 Μετατόπιση Doppler:</b> .....	<b>31</b>
<b>2.5.2 Πολλαπλές διαδρομές:</b> .....	<b>31</b>
<b>2.5.4 Επίδραση της ιονόσφαιρας στα ραδιοκύματα:</b> .....	<b>32</b>
<b>2.5.5 Ιονοσφαιρική απορρόφηση</b> .....	<b>33</b>
<b>2.5.6 Ιονοσφαιρικές επιδράσεις ανάλογα με το συνολικό περιεχόμενο ηλεκτρονίων</b> .....	<b>33</b>
<b>2.5.7 Ιονοσφαιρικός σπινθηρισμός[18]</b> .....	<b>33</b>
<b>2.5.8 Επίδραση της τροπόσφαιρας στα ραδιοκύματα:</b> .....	<b>34</b>
<b>2.5.9 Εξασθένηση λόγω βροχοπτώσεων και νεφώσεων</b> .....	<b>34</b>
<b>Κεφάλαιο 3</b> .....	<b>35</b>
<b>3.1 Εισαγωγή στο Software Defined Radio (SDR)</b> .....	<b>35</b>
<b>3.2 Εισαγωγή στους ενισχυτές χαμηλού θορύβου (LNA)</b> .....	<b>36</b>
<b>Κεφάλαιο 4</b> .....	<b>37</b>
<b>4.1 Αυτόματη μετάδοση εικόνων</b> .....	<b>37</b>
<b>4.2 Αισθητήρια όργανα, κανάλια και πληροφορίες για τον δορυφόρο NOAA-19</b> .....	<b>38</b>
<b>4.3 Λήψη εικόνας από δορυφόρο NOAA</b> .....	<b>40</b>
<b>4.4 κατασκευή V-dipole κεραίας</b> .....	<b>41</b>
<b>4.5 κατασκευή Κατασκευή Διπλής σταυρωτής δίπολης κεραίας</b> .....	<b>42</b>

4.6 Ανάλυση SNR και λήψη εικόνων.....	44
5.1 Συμπέρασμα: .....	48
Βιβλιογραφικές Αναφορές .....	48
Φωτογραφικό υλικό από τη κατασκευή των κεραιών.....	50

## Περίληψη

Οι δορυφόροι National Oceanic Atmospheric and Administration (NOAA) είναι η 3η σειρά αμερικανικών μετεωρολογικών δορυφόρων που συλλέγουν πληροφορίες σχετικά με τη φυσική κατάσταση του ωκεανού και της ατμόσφαιρας καθώς και δεδομένα μετεωρολογικού ενδιαφέροντος.

Αυτή η διπλωματική εργασία θα περιγράψει τη σχεδίαση του συστήματος επικοινωνίας και λήψης δορυφορικής εικόνας από τον δορυφόρο NOAA19 σε πραγματικό χρόνο χρησιμοποιώντας δύο είδη κεραιών, την διπλή σταυρωτή δίπολη (double cross antenna) και μια διπολική V (V-Dipole) κεραία και ένα σύστημα λήψης και αποκωδικοποίησης εικόνας.

Η σχεδιασμένη κεραία θα πρέπει να λειτουργεί σε συχνότητα 137 MHz με μοτίβο πανκατευθυντικής ακτινοβολίας, και να λαμβάνει δεξιόστροφα κυκλικά πολωμένο σήμα.

Η διαδικασία ανάλυσης της λήψης και ποιότητας δεδομένων περιλαμβάνει τις παρακάτω παραμέτρους

1. Απώλεια επιστροφής(RL)
2. Λόγος σήματος προς θόρυβο (SNR),
3. Επίπεδο θορύβου,
4. Ποιότητα της λαμβανόμενης εικόνας.

Η διαδικασία λήψης δεδομένων γίνεται με τη σύνδεση της κεραίας με ένα RTL-SDR, και τη χρήση του λογισμικού SDR# για την ανάλυση και καταγραφή του σήματος, και του λογισμικού noaa-apt image decoder για την αποκωδικοποίηση του λαμβανόμενου σήματος.

## ABSTRACT

The National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) satellites are the 3rd series of US meteorological satellites that collect information about the physical state of the ocean and atmosphere as well as data of meteorological interest.

This thesis will describe the design of the satellite image acquisition system from NOAA19 satellite using two types of antennas, the double cross antenna, and a V-dipole antenna. As well as an image capture and decoding system.

The designed antenna should operate at a frequency of 137 MHz with an omnidirectional radiation pattern and be able to receive circularly polarized signal.

The analysis process of the data acquisition includes the following parameters

1. Return loss,
2. Signal to Noise Ratio (SNR),
3. Noise level,
4. Quality of the received image.

The data acquisition process is done by connecting the antenna to an RTL-SDR and using the CubicSDR software to analyse and record the signal, and the noaa-apt image decoder software to decode the received signal.

# Κεφάλαιο 1

## 1.1 Εισαγωγή στις Δορυφορικές Επικοινωνίες

Οι δορυφορικές επικοινωνίες έχουν γίνει αναπόσπαστο μέρος των σύγχρονων συστημάτων επικοινωνίας. Επιτρέπουν τη μετάδοση πληροφοριών σε μεγάλες αποστάσεις, επιτρέποντας την παγκόσμια επικοινωνία και συνδεσιμότητα. Η χρήση δορυφόρων παρέχει μια σειρά πλεονεκτημάτων σε σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους (κανάλια?) επικοινωνίας, όπως τα καλώδια, ραδιοσυχνότητες και οπτικών ινών. Οι δορυφόροι μπορούν να μεταδίδουν σήματα σε απομακρυσμένες τοποθεσίες, συμπεριλαμβανομένων περιοχών όπου η επίγεια υποδομή επικοινωνίας είναι περιορισμένη ή ανύπαρκτη. Επιπλέον, οι δορυφορικές επικοινωνίες προσφέρουν υψηλό βαθμό αξιοπιστίας, επιτρέποντας την αδιάλειπτη επικοινωνία ακόμη και σε περίπτωση φυσικών καταστροφών ή άλλων καταστάσεων έκτακτης ανάγκης.

Τα βασικά στοιχεία ενός συστήματος δορυφορικής επικοινωνίας περιλαμβάνουν έναν επίγειο πομπό, έναν επίγειο δέκτη και έναν δορυφόρο. Ο πομπός χρησιμοποιείται για τη μετατροπή δεδομένων σε σήμα που μπορεί να μεταδοθεί στον δορυφόρο. Ο δορυφόρος λαμβάνει το σήμα και το αναμεταδίδει πίσω στη Γη, όπου λαμβάνεται από έναν επίγειο σταθμό/δέκτη και αποκωδικοποιείται ξανά στην αρχική του μορφή δεδομένων.

Υπάρχουν αρκετές διαφορετικές κατηγορίες δορυφόρων που χρησιμοποιούνται για τηλεπικοινωνίες, συμπεριλαμβανομένων των γεωστατικών δορυφόρων, των δορυφόρων χαμηλής τροχιάς (LEO) και των δορυφόρων μέσης τροχιάς (MEO) [10]. Οι γεωστατικοί δορυφόροι είναι τοποθετημένοι περίπου 22.000 μίλια πάνω από τον ισημερινό της Γης και παραμένουν σε σταθερή θέση σε σχέση με την επιφάνεια της Γης. Οι δορυφόροι LEO,, βρίσκονται σε υψόμετρο περίπου 500 έως 2.000 χιλιομέτρων πάνω από την επιφάνεια της Γης και βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τη Γη με υψηλές ταχύτητες. Οι δορυφόροι MEO είναι τοποθετημένοι σε υψόμετρο περίπου 10.000 έως 20.000 χιλιομέτρων πάνω από την επιφάνεια της Γης και χρησιμοποιούνται κυρίως για εφαρμογές του παγκόσμιου συστήματος εντοπισμού θέσης (GPS).

Οι αρχές της μετάδοσης και λήψης σημάτων από δορυφόρους περιλαμβάνουν τη χρήση ραδιοσυχνοτήτων, οι οποίες είναι ηλεκτρομαγνητικά κύματα με συχνότητες μεταξύ 3 Hz και 300 GHz. Οι ραδιοσυχνότητες χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση δεδομένων από τον πομπό στον δορυφόρο και από τον δορυφόρο στον δέκτη στο έδαφος ή και για τη μεταφορά δεδομένων από τα όργανα του δορυφόρου προς τον επίγειο σταθμό. Η χρήση διαφορετικών συχνοτήτων επιτρέπει τη χρήση πολλαπλών καναλιών επικοινωνίας να λειτουργούν ταυτόχρονα χωρίς παρεμβολές.

Ένας συγκεκριμένος τύπος δορυφόρων που γίνεται όλο και πιο σημαντικός τα τελευταία χρόνια είναι οι μετεωρολογικοί δορυφόροι. Οι μετεωρολογικοί δορυφόροι χρησιμοποιούνται για τη συλλογή δεδομένων και εικόνων της ατμόσφαιρας και της επιφάνειας της Γης, τα οποία στη συνέχεια χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση των καιρικών προτύπων και την παροχή προβλέψεων. Τα δεδομένα που συλλέγονται από μετεωρολογικούς δορυφόρους μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για διάφορους άλλους σκοπούς, όπως η έρευνα για το κλίμα και η αντιμετώπιση καταστροφών [10].

Ένα συγκεκριμένο παράδειγμα είναι ο δορυφόρος NOAA-19, γνωστός και ως NOAA-N-Prime, ο οποίος εκτοξεύτηκε το 2009 μετά από αποτυχίες κατά την κατασκευή του το 2003, κοστίζοντας στην κυβέρνηση των ΗΠΑ 135 εκατομμύρια δολάρια για διορθώσεις. Ο δορυφόρος NOAA-19 διαθέτει μια προηγμένη έκδοση του οργάνου SARP (SARP-3), αλλά δεν περιλαμβάνει το σύστημα DCS που βρίσκεται στο NOAA-18. Και τα δύο συστήματα AVHRR και AMSU ορίστηκαν για μια τριετή αποστολή. Από το 2020, όλα τα όργανα στον δορυφόρο λειτουργούν υπό βέλτιστες συνθήκες.

Οι μετεωρολογικοί δορυφόροι είναι συνήθως τοποθετημένοι σε μια πολική τροχιά, η οποία τους επιτρέπει να καλύπτουν ολόκληρη την επιφάνεια της Γης κατά τη διάρκεια πολλών τροχιών. Αυτοί οι δορυφόροι χρησιμοποιούν μια ποικιλία αισθητήρων για τη συλλογή δεδομένων, συμπεριλαμβανομένων των καμερών ορατού φωτός, των αισθητήρων υπέρυθρης ακτινοβολίας και των ραδιομέτρων μικροκυμάτων. Τα δεδομένα που συλλέγονται από αυτούς τους αισθητήρες στη συνέχεια μεταδίδονται πίσω στη Γη και υποβάλλονται σε επεξεργασία από μετεωρολόγους και άλλους ειδικούς.

Παρά τα πολυάριθμα πλεονεκτήματα των δορυφορικών επικοινωνιών, υπάρχουν επίσης αρκετές προκλήσεις που εμπλέκονται στην ανάπτυξη και λειτουργία δορυφορικών συστημάτων. Αυτά περιλαμβάνουν το υψηλό κόστος εκτόξευσης και συντήρησης δορυφόρων, τον κίνδυνο παρεμβολής σήματος από άλλες πηγές και την πιθανότητα τα διαστημικά σκουπίδια να καταστρέψουν τους δορυφόρους.

Επιπλέον, η πολύπλοκη φύση των δορυφορικών συστημάτων απαιτεί εξειδικευμένη γνώση προκειμένου να σχεδιαστούν, να κατασκευαστούν και να λειτουργήσουν αποτελεσματικά.

## 1.2 Ιστορικό

Η πρώτη δημοσιευμένη μαθηματική μελέτη της δυνατότητας ενός τεχνητού δορυφόρου ήταν το υπερ-κανόνι του Νεύτωνα, ένα σκεπτικό πείραμα του Ισαάκ Νεύτωνα για να εξηγήσει την



Πηγή

[https://en.wikipedia.org/wiki/NOAA-19#/media/File:NOAA-N'\\_satellite\\_in\\_Vandenberg\\_AFB\\_clean\\_room.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/NOAA-19#/media/File:NOAA-N'_satellite_in_Vandenberg_AFB_clean_room.jpg)

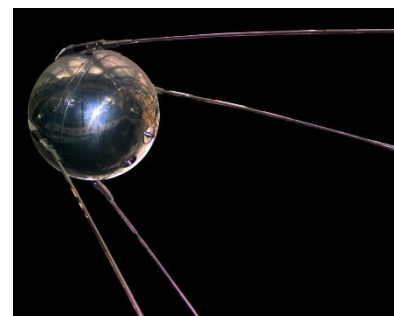
κίνηση των φυσικών δορυφόρων, στο *Philosophyæ Naturalis Principia Mathematica* το 1687 [11].

Σε αυτό το πείραμα από το βιβλίο του ο Νεύτωνα οραματίζεται ένα βλήμα να εξφενδονίζεται από τη κορυφή ενός πολύ ψηλού βουνού. Εάν δεν υπήρχαν δυνάμεις βαρύτητας ή αντίστασης του αέρα, το σώμα θα έπρεπε να ακολουθήσει μια ευθεία γραμμή μακριά από τη Γη, προς την κατεύθυνση που εκσφενδονίστηκε. Αν ασκηθεί βαρυτική δύναμη στο βλήμα, αυτό θα ακολουθήσει διαφορετική διαδρομή ανάλογα με την αρχική του ταχύτητα. Εάν η ταχύτητα είναι χαμηλή, απλώς θα πέσει πίσω στη Γη. Εάν η ταχύτητα είναι η τροχιακή ταχύτητα σε αυτό το ύψος, θα συνεχίσει να κάνει κύκλους γύρω από τη Γη κατά μήκος μιας σταθερής κυκλικής τροχιάς, ακριβώς όπως η Σελήνη.

## Οι Πρώτοι Δορυφόροι

Ο πρώτος τεχνητός δορυφόρος ήταν ο Sputnik 1, που εκτοξεύτηκε από τη Σοβιετική Ένωση στις 4 Οκτωβρίου 1957 στο πλαίσιο του προγράμματος Sputnik, με επικεφαλής σχεδιαστή τον Sergei Korolev [12]. Το Sputnik 1 βοήθησε στον εντοπισμό της πυκνότητας των υψηλών ατμοσφαιρικών στρωμάτων μέσω της μέτρησης της τροχιακής αλλαγής του και παρείχε δεδομένα για τη διανομή ραδιοσημάτων στην ιονόσφαιρα.

Ο Explorer 1 ήταν ο πρώτος δορυφόρος που εκτοξεύτηκε από τις Ηνωμένες Πολιτείες όταν στάλθηκε στο διάστημα στις 31 Ιανουαρίου 1958. Μετά την εκτόξευση του Sputnik 1 της Σοβιετικής Ένωσης στις 4 Οκτωβρίου 1957, η Υπηρεσία Βαλλιστικών Πυραύλων Στρατού των ΗΠΑ πήρε εντολή να εκτοξεύσει έναν δορυφόρο χρησιμοποιώντας τον πύραυλο Jupiter C που αναπτύχθηκε υπό τη διεύθυνση του Δρ Wernher von Braun. Το Jet Propulsion Laboratory έλαβε την ανάθεση να σχεδιάσει, να κατασκευάσει και να λειτουργήσει τον τεχνητό δορυφόρο που θα χρησιμεύσει ως ωφέλιμο φορτίο του πυραύλου. Η JPL ολοκλήρωσε αυτή τη δουλειά σε λιγότερο από τρεις μήνες. Το κύριο επιστημονικό όργανο στον Explorer 1 ήταν ένας ανιχνευτής κοσμικών ακτίνων που σχεδιάστηκε για τη μέτρηση του περιβάλλοντος ακτινοβολίας στην τροχιά της Γης.[16] Οι πληροφορίες που στάλθηκαν πίσω από τον ανιχνευτή ακτινοβολίας του οδήγησαν στην ανακάλυψη των ζωνών ακτινοβολίας Van Allen της Γης.



1Πηγή

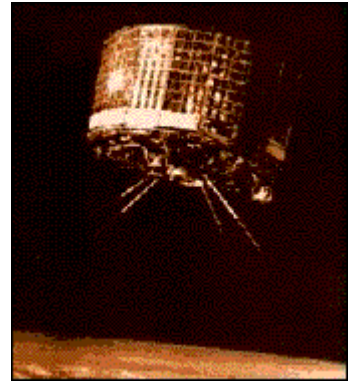
[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/be/Sputnik\\_asm.jpg/1024px-Sputnik\\_asm.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/be/Sputnik_asm.jpg/1024px-Sputnik_asm.jpg)



2Πηγή [https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2015/03/206621main\\_pic.jpg](https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2015/03/206621main_pic.jpg)



Ο δορυφόρος TIROS-1, που εκτοξεύτηκε την 1η Απριλίου 1960 ως μέρος του προγράμματος Τήλε-όρασης Υπέρυθρης Παρατήρησης Δορυφόρου (TIROS) της NASA, έστειλε πίσω τα πρώτο τήλε-οπτικά πλάνα μετεωρολογικού ενδιαφέροντος που λήφθηκαν από το διάστημα. Το διαστημόπλοιο είχε διάμετρο 42 ίντσες, ύψος 19 ίντσες και βάρος 270 λίβρες. Ήταν κατασκευασμένο από κράμα αλουμινίου και ανοξείδωτο χάλυβα, το οποίο στη συνέχεια καλύφθηκε από 9200 ηλιακές κυψέλες. Οι ηλιακές κυψέλες χρησίμευαν για τη φόρτιση των ενσωματωμένων μπαταριών. Τρία ζεύγη περιστροφικών πυραύλων στερεού προωθητικού ήταν τοποθετημένα στην πλάκα βάσης. Στο σκάφος υπήρχαν δύο κάμερες, μία χαμηλής και μία υψηλής ανάλυσης. Επίσης είχε μία μαγνητική συσκευή καταγραφής για κάθε κάμερα για την αποθήκευση φωτογραφιών ενώ ο δορυφόρος ήταν εκτός εμβέλειας του δικτύου επίγειων σταθμών. Οι κεραίες αποτελούνταν από τέσσερις ράβδους από την πλάκα βάσης για να χρησιμεύουν ως πομποί και μια κάθετη ράβδος από το κέντρο της επάνω πλάκας για να χρησιμεύσει ως δέκτης. Το TIROS-I λειτούργησε μόνο για 78 ημέρες, αλλά απέδειξε ότι οι δορυφόροι θα μπορούσαν να είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για την έρευνα των παγκόσμιων καιρικών συνθηκών από το διάστημα



[17]

Οι πρώτοι δορυφόροι κατασκευάστηκαν με μοναδικά σχέδια. Με την πρόοδο της τεχνολογίας, πολλοί δορυφόροι άρχισαν να κατασκευάζονται σε πλατφόρμες ενός μοντέλου που ονομάστηκε δορυφορικά λεωφορεία. Ο πρώτος τυποποιημένος σχεδιασμός δορυφορικού λεωφορείου ήταν ο γεωσύγχρονος δορυφόρος επικοινωνίας HS-333 που εκτοξεύτηκε το 1972.

## Στοιχεία δορυφόρων και ορισμοί περιβάλλοντος του διαστήματος

- **Δορυφορικά λεωφορεία:** Ένα δορυφορικό λεωφορείο είναι το κύριο σώμα και το δομικό στοιχείο του δορυφόρου στον οποίο συγκρατείται το ωφέλιμο φορτίο και όλα τα επιστημονικά όργανα. Χρησιμοποιούνται συνήθως για γεωσύγχρονους δορυφόρους, συγκεκριμένα για δορυφόρους επικοινωνιών, αλλά χρησιμοποιούνται επίσης σε διαστημόπλοια που καταλαμβάνουν χαμηλότερες τροχιές, περιστασιακά συμπεριλαμβανομένων και αποστολών σε χαμηλή τροχιά(LEO).
- **Τροχιές δορυφόρων:** Ανάλογα με το είδος τροχιάς και του ύψους, όπου θα τοποθετηθεί ένας δορυφόρος, μπορούμε να κατηγοριοποιήσουμε τους δορυφόρους ως εξής:
  1. Low Earth Orbit (LEO): Χαμηλής περί τη γη τροχιάς, Οι περισσότεροι επιστημονικοί δορυφόροι και πολλοί μετεωρολογικοί δορυφόροι βρίσκονται

σε μια σχεδόν κυκλική, χαμηλή τροχιά περί τη γη. Η χαμηλή περί τη γη τροχιά περιλαμβάνει τροχιές με επίκεντρο τη Γη με υψόμετρο έως τα 2.000km

2. Medium Earth Orbit (MEO): Μεσαίας περί τη γη τροχιάς, μεταξύ 2.000km και 35.786km

- Geostationary Earth Orbit (GEO): Όταν ένας δορυφόρος φτάσει ακριβώς στα 42.164 χιλιόμετρα από το κέντρο της Γης (περίπου 36.000 χιλιόμετρα από την επιφάνεια της Γης), η τροχιά του ταιριάζει με την περιστροφή της Γης. Επειδή ο δορυφόρος περιφέρεται με την ίδια ταχύτητα που γυρίζει η Γη, ο δορυφόρος φαίνεται να παραμένει στη θέση του σε ένα μόνο γεωγραφικό μήκος, αν και μπορεί να παρασύρεται από βορρά προς νότο. Αυτή υψηλή τροχιά της Γης ονομάζεται γεωσύγχρονη.

#### **Ζώνη ακτινοβολίας Van Allen,**

Οι Ζώνες ακτινοβολίας Van Allen, είναι ζώνες σε σχήμα ντόνατς από πολύ φορτισμένα σωματίδια παγιδευμένα σε μεγάλα υψόμετρα στο μαγνητικό πεδίο της Γης. Οι ζώνες ονομάστηκαν για τον James A. Van Allen, τον Αμερικανό φυσικό που τις ανακάλυψε το 1958, χρησιμοποιώντας δεδομένα που μεταδόθηκαν από τον δορυφόρο Explorer των ΗΠΑ.

#### **• Voltage Standing Wave Ratio (VSWR),**

- VSWR είναι η αναλογία μόνιμων κυμάτων τάσης και αναφέρεται επίσης ως λόγος μόνιμων κυμάτων (SWR). Το VSWR είναι συνάρτηση του συντελεστή ανάκλασης, ο οποίος περιγράφει την ισχύ που ανακλάται από την κεραία. Εάν ο συντελεστής ανάκλασης δίνεται από το ( $\Gamma$ ) τότε το VSWR ορίζεται από τον ακόλουθο τύπο:

#### **• Return Loss (RL),**

- Το return loss είναι ένας λογαριθμικός λόγος της ισχύος που ανακλάται από ένα σύστημα με την ισχύ που εισέρχεται σε αυτό το σύστημα, όπως ορίζεται στην Εξίσωση. Το return loss εκφράζεται σε ντεσιμπέλ(dB). Όσο πιο υψηλός

είναι ο αριθμός, τόσο χαμηλότερη είναι η ποσότητα της ανακλώμενης ενέργειας. Η απώλεια επιστροφής είναι μια σημαντική παράμετρος που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά το σχεδιασμό και την αντιμετώπιση προβλημάτων δορυφορικών συστημάτων. Βοηθά τους μηχανικούς να προσδιορίσουν την ποιότητα της γραμμής μεταφοράς και να εντοπίσουν τυχόν προβλήματα που μπορεί να επηρεάσουν την ακεραιότητα του σήματος. Μετρώντας την απώλεια επιστροφής, οι μηχανικοί μπορούν να αξιολογήσουν την απόδοση του συστήματος και να κάνουν τις απαραίτητες προσαρμογές για να βελτιώσουν την απόδοσή του.

- Όπου:  
 $PR = \text{Ισχύς ανάκλασης (W)}$
- $PI = \text{Ισχύς εισόδου (W)}$

## 1.2 Ορισμοί Τηλεπικοινωνιών

### Ραδιο Ζεύξη (Παράδειγμα)[13]

Το μέγεθος της ισχύος που φθάνει στον τελικό προορισμό μιας δορυφορικής ζεύξης καθορίζει την ικανότητα του δέκτη να αναπαράγει αξιόπιστα τη μεταδιδόμενη πληροφορία. Η σχεδίαση του επιπέδου εισόδου του δορυφορικού αναμεταδότη και των επίγειων σταθμών γίνεται με βάση τις παραμέτρους του δορυφορικού διαύλου.

Στο σχήμα παρουσιάζεται το περιβάλλον διάδοσης των δορυφορικών σημάτων. Τα χαρακτηριστικά διάδοσης (αποσβέσεις, αποπόλωση του σήματος κλπ.) συμπληρώνονται με τη μελέτη από πλευράς θορύβου του συνολικού συστήματος μετάδοσης.

Στο σχήμα φαίνεται η ζεύξη μεταξύ ενός πομπού και ενός δέκτη που βρίσκονται σε απόσταση  $R$  μεταξύ τους. Στην ανάλυση που ακολουθεί, πομπός είναι ο επίγειος σταθμός και δέκτης είναι ο δορυφορικός αναμεταδότης όταν εξετάζεται η άνω ζεύξη. Οι ρόλοι πομπού και δέκτη αντιστρέφονται όταν εξετάζεται η προς τα κάτω ζεύξη. Αν η κεραία του πομπού ήταν ιστροπική, η εκπεμπόμενη ισχύς  $P$  θα είχε ομοιόμορφη χωρική κατανομή με πυκνότητα ισχύος

$$I(R) = \frac{P_t}{4\pi R^2}$$

Στην περίπτωση όπου η κεραία του πομπού χαρακτηρίζεται από κέρδος  $G_1$ , η πυκνότητα ισχύος κατά την κατεύθυνση μέγιστης εκπομπής είναι

$$I(R) = \frac{G_T P_T}{4\pi R^2}$$

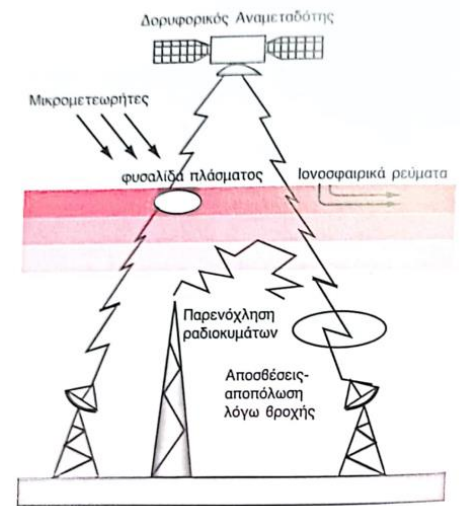
Το γινόμενο της εκπεμπόμενης ισχύος από την κεραία  $P$ , επί το κέρδος της  $G$  ονομάζεται ισοδύναμη, ισοτροπικά ακτινοβολούμενη ισχύς και αποτελεί το σημαντικότερο χαρακτηριστικό κάθε πομπού στα δορυφορικά συστήματα επικοινωνιών. Στο δέκτη, η μέγιστη ενεργός επιφάνεια της κεραίας ορίζεται ως ο λόγος της ισχύος που φθάνει στην είσοδο του δέκτη προς την πυκνότητα ισχύος που προσπίπτει στην κεραία υπό συνθήκες προσαρμογής και βέλτιστου προσανατολισμού, και συνδέεται με το κέρδος της κεραίας μέσω της σχέσης

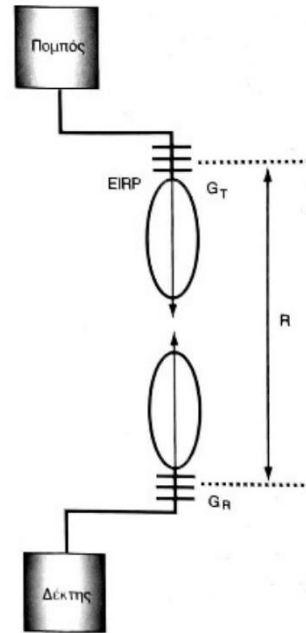
$$A_R = G_R \frac{\lambda^2}{4\pi}$$

Συνεπώς, η ισχύς που λαμβάνεται στο δέκτη είναι

$$P_r = P_T G_T \frac{A_r}{4\pi R^2}$$

ή αλλιώς





Βασική δομή ασύρματης ζεύξης:

(2.5)

Σχήμα 2.2 Βασική δομή ασύρματης ζεύξης.

$$\frac{P_R}{P_T} = G_T G_R \frac{\lambda^2}{(4\pi R)^2}$$

Ο συντελεστής εξασθένησης του διαύλου δίδεται σε dB από τη σχέση:

(2.6)

$$dB = 10 \log \left( \frac{P_T}{P_R} \right) = 22 + 20 \log \left( \frac{R}{\lambda} \right) - (G_T)dB - (G_R)dB$$

Στην παραπάνω σχέση, ο όρος  $22 + 20 * \log(R / \lambda)$  εκφράζει σε dB τις απώλειες ελευθέρου χώρου και εξαρτάται από την απόσταση και τη φέρουσα συχνότητα της ζεύξης.

Είναι σημαντικό να αναφέρουμε ότι αύξηση της συχνότητας συνεπάγεται και αύξηση των απωλειών ελευθέρου χώρου που αντισταθμίζεται σε μεγάλο βαθμό από ανάλογη αύξηση των κερδών των κεραιών.

Η προηγούμενη ανάλυση ισχύει στην περίπτωση όπου δεν υπάρχουν άλλες απώλειες εκτός αυτών του ελευθέρου χώρου. Στα δορυφορικά συστήματα, η σχέση (2.5) επεκτείνεται για να καλύψει πραγματικές περιπτώσεις ως εξής

$$(2.7) \frac{P_R}{R_T} = \frac{G_T G_R}{L}$$

όπου

$$(2.8) L = L_{κχ} L_v = L_{κχ} \cdot \prod_{i=1}^6 (L_i)$$

$L_{κχ}$  οι απώλειες ελευθέρου χώρου,  $L_1$  οι απώλειες μεταξύ της εξόδου του πομπού και της κεραίας εκπομπής (γραμμή μεταφοράς, φίλτρα κλπ),  $L_2$  οι απώλειες λόγω διάδοσης στην ατμόσφαιρα και την ιονόσφαιρα,  $L_3$ , οι απώλειες νεφώσεων και βροχόπτωσης,  $L_4$  οι απώλειες που οφείλονται σε αποπόλωση του Η/Μ κύματος κατά τη διάσωση, 5. οι απώλειες αποπροσανατολισμού των κεραιών που οφείλονται κυρίως σε ατελή σταθεροποίηση του γεωστατικού δορυφόρου ή τοποθέτηση του επίγειου σταθμού κοντά στα όρια της περιοχής κάλυψης και  $L_6$  οι απώλειες μεταξύ της κεραίας και της εισόδου του δέκτη (αντίστοιχη των  $L_1$ ).

### **Ψηφιακές και Αναλογικές επικοινωνίες με ραδιοκύματα:**

Η επικοινωνία με ραδιοκύματα αναφέρεται στη μετάδοση πληροφοριών με τη χρήση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στο φάσμα των ραδιοσυχνοτήτων. Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι επικοινωνίας με ραδιοκύματα: η ψηφιακή και η αναλογική επικοινωνία.

#### **Ψηφιακή Επικοινωνία:**

Στη ψηφιακή επικοινωνία, η πληροφορία μεταδίδεται ως ψηφιακά δεδομένα, δηλαδή ως συμβολοσειρές από δυαδικά ψηφία (0 και 1). Αυτό σημαίνει ότι η πληροφορία είναι διακριτική και κωδικοποιείται. Η ψηφιακή επικοινωνία προσφέρει υψηλή ανθεκτικότητα στον θόρυβο και τις παρεμβολές, επιτρέπει εύκολη συμπίεση των δεδομένων και είναι πιο αποδοτική σε σχέση με την αναλογική επικοινωνία.

#### **Αναλογική Επικοινωνία:**

Ένα αναλογικό σήμα είναι μια συνεχής κυματομορφή που αναπαριστά πληροφορία με τη μορφή μεταβαλλόμενων επιπέδων τάσης ή ρεύματος. Υπάρχουν δύο βασικά είδη αναλογικής μετάδοσης, τα οποία βασίζονται και τα δύο στον τρόπο με τον οποίο προσαρμόζουν τα δεδομένα για να συνδυάσουν ένα σήμα εισόδου με ένα σήμα φορέα. Οι δύο τεχνικές είναι η διαμόρφωση πλάτους και η διαμόρφωση συχνότητας. Η διαμόρφωση πλάτους (AM) ρυθμίζει το πλάτος του σήματος φορέα. Η διαμόρφωση συχνότητας (FM) ρυθμίζει τη συχνότητα του σήματος φορέα.

#### **Κεραίες (Antenna):**

Η κεραία είναι ένας μετατροπέας που μετατρέπει τα πεδία ραδιοσυχνοτήτων (RF) σε εναλλασσόμενο ρεύμα ή αντίστροφα. Υπάρχουν κεραίες λήψης και μετάδοσης για αποστολή ή λήψη ραδιοφωνικών εκπομπών. Οι κεραίες παίζουν σημαντικό ρόλο στη λειτουργία όλου του ράδιο-εξοπλισμού. Χρησιμοποιούνται σε ασύρματα τοπικά δίκτυα, κινητή τηλεφωνία και δορυφορική επικοινωνία.

#### **Πομποδέκτης (Transceiver):**

Ο πομποδέκτης είναι μια συσκευή που επιτρέπει τη μετάδοση (πομπός) και τη λήψη (δέκτης) σημάτων. Στην περίπτωση των ασύρματων επικοινωνιών, όπως τηλεφωνία, ραδιοφωνία και ασύρματο διαδίκτυο και τις δορυφορικές επικοινωνίες, ο πομποδέκτης

είναι υπεύθυνος για την αποστολή και τη λήψη πληροφοριών μέσω της χρήσης κεραιών. Συχνά, οι πομποδέκτες είναι ενσωματωμένοι σε μια μοναδική συσκευή, όπως ένα κινητό τηλέφωνο, ένα ραδιόφωνο, ή έναν επίγειο σταθμό.

### **Διαμόρφωση:**

Η διαμόρφωση είναι η διαδικασία κωδικοποίησης πληροφοριών σε ένα μεταδιδόμενο σήμα, ενώ η αποδιαμόρφωση είναι η διαδικασία εξαγωγής πληροφοριών από το μεταδιδόμενο σήμα. Πολλοί παράγοντες επηρεάζουν το πόσο πιστά οι εξαγόμενες πληροφορίες αναπαράγουν τις αρχικές πληροφορίες εισόδου

### **Εύρος Ζώνης:**

Το εύρος ζώνης στις ασύρματες επικοινωνίες αναφέρεται στο εύρος των συχνοτήτων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ασύρματη επικοινωνία σε ένα δεδομένο χρονικό διάστημα. Το εύρος ζώνης εξαρτάται από τη συγκεκριμένη τεχνολογία ή το πρωτόκολλο επικοινωνίας που χρησιμοποιείται. Οι ασύρματες επικοινωνίες μπορούν να λειτουργούν σε διάφορα εύρη ζώνης, ανάλογα με την εφαρμογή και τις απαιτήσεις της.

### **Αναλογία σήματος προς θόρυβο (SNR) :**

Ο ορισμός της αναλογίας σήματος προς θόρυβο (SNR) είναι ο λόγος σήματος προς τον θόρυβο είναι ένα μέτρο που χρησιμοποιείται στην επιστήμη και τη μηχανική και συγκρίνει το επίπεδο ενός επιθυμητού σήματος με το επίπεδο θορύβου περιβάλλοντος. Το Signal to Noise Ratio (SNR) ορίζεται ως ο λόγος της ισχύος του σήματος προς την ισχύ του θορύβου, που συχνά εκφράζεται σε ντεσιμπέλ.

Η αναλογία σήματος προς θόρυβο ορίζεται ως η αναλογία της ισχύος ενός σήματος (επιθυμητή είσοδος) προς την ισχύ του θορύβου περιβάλλοντος (ανεπιθύμητη είσοδος)

$$SNR = \frac{P_{signal}}{P_{noise}}$$

όπου P είναι η μέση ισχύς.

### **Baud:**

Στις τηλεπικοινωνίες και την ηλεκτρονική, το baud είναι μια κοινή μονάδα μέτρησης του ρυθμού συμβόλων, ο οποίος είναι ένα από τα στοιχεία που καθορίζουν την ταχύτητα της επικοινωνίας σε ένα κανάλι δεδομένων. Είναι η μονάδα για το ρυθμό συμβόλων ή το ρυθμό διαμόρφωσης σε σύμβολα ανά δευτερόλεπτο ή παλμούς ανά δευτερόλεπτο.

Πόλωση

- **Κυκλικά πολωμένο σήμα:**

Η κυκλική πόλωση ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος είναι μια κατάσταση πόλωσης στην οποία, σε κάθε σημείο, το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο του κύματος έχει σταθερό μέγεθος και περιστρέφεται με σταθερό ρυθμό σε επίπεδο κάθετο προς την κατεύθυνση του κύματος. Ένα κυκλικά πολωμένο κύμα μπορεί να περιστρέφεται με μία από τις δύο πιθανές κατευθύνσεις: δεξιόστροφα (RHCP), το διάνυσμα ηλεκτρικού πεδίου περιστρέφεται δεξιά σε σχέση με την κατεύθυνση διάδοσης και αριστερόστροφα (LHCP), στην οποία το διάνυσμα περιστρέφεται αριστερά σε σχέση με την κατεύθυνση διάδοσης. Ο όρος επινοήθηκε το 1822 από τον Augustin-Jean Fresnel, ο οποίος ανέφερε για πρώτη φορά την περίπτωση της κυκλικής πόλωσης (χωρίς να την ονομάσει ακόμη) το 1821.

- 

### **Software Defined Radio (SDR):**

Το **Software Defined Radio** είναι ένα σύστημα ραδιοεπικοινωνίας όπου εξαρτήματα που έχουν παραδοσιακά εφαρμοστεί σε υλικό (π.χ. μίκτες, φίλτρα, ενισχυτές, διαμορφωτές/αποδιαμορφωτές, ανιχνευτές κ.λπ.) αντ' αυτού υλοποιούνται μέσω λογισμικού σε προσωπικό υπολογιστή ή άλλη συσκευή υπολογιστή (θα μπορούσε να είναι ένα Raspberry PI ή ένα αποκλειστικό σύστημα). Όταν κατασκευάστηκαν για πρώτη φορά οι δέκτες, τα ηλεκτρονικά στο εσωτερικό του καθενός είχαν έναν σκοπό, ένα μέρος θα μπορούσε να ενισχύσει το σήμα, ένα άλλο μέρος να συντονίσει το σήμα, ενώ ένα άλλο τμήμα θα μπορούσε να μετατρέψει το σήμα σε ηχητικά κύματα για να μπορούμε να το ακούσουμε. Τώρα αυτό μπορεί να γίνει μέσω επεξεργασίας στον υπολογιστή.

- **Ζώνη ακτινοβολίας Van Allen,**

Οι Ζώνες ακτινοβολίας Van Allen, είναι ζώνες σε σχήμα ντόνατς από πολύ φορτισμένα σωματίδια παγιδευμένα σε μεγάλα υψόμετρα στο μαγνητικό πεδίο της Γης. Οι ζώνες ονομάστηκαν για τον James A. Van Allen, τον Αμερικανό φυσικό που τις ανακάλυψε το 1958, χρησιμοποιώντας δεδομένα που μεταδόθηκαν από τον δορυφόρο Explorer των ΗΠΑ.

Η ανατροπή μεμονωμένου γεγονότος είναι μια αλλαγή κατάστασης που προκαλείται από ένα μόνο ιονίζον σωματίδιο που χτυπά έναν ευαίσθητο κόμβο σε



μια μικροηλεκτρονική συσκευή, όπως σε μικροεπεξεργαστή, μνήμη ημιαγωγών ή τρανζίστορ ισχύος. Η αλλαγή κατάστασης είναι αποτέλεσμα της φόρτισης που δημιουργείται από ιονισμό μέσα ή κοντά σε έναν σημαντικό κόμβο ενός λογικού στοιχείου(π.χ. "bit" μνήμης. Το σφάλμα στην έξοδο ή τη λειτουργία της συσκευής που προκαλείται ως αποτέλεσμα της σύγκρουσης ονομάζεται SEU.

### **Ο συντελεστής ταχύτητας (Velocity Factor),**

Ο συντελεστής ταχύτητας, που ονομάζεται επίσης ταχύτητα διάδοσης κύματος ή ταχύτητα διάδοσης, ενός μέσου μετάδοσης είναι ο λόγος της ταχύτητας με την οποία ένα μέτωπο κύματος διέρχεται από το μέσο, προς την ταχύτητα του φωτός στο κενό.

### **Voltage Standing Wave Ratio (VSWR),**

VSWR είναι η αναλογία μόνιμων κυμάτων τάσης και αναφέρεται επίσης ως λόγος μόνιμων κυμάτων (SWR). Το VSWR είναι συνάρτηση του συντελεστή ανάκλασης, ο οποίος περιγράφει την ισχύ που ανακλάται από την κεραία. Εάν ο συντελεστής ανάκλασης δίνεται από το ( $\Gamma$ ) τότε το VSWR ορίζεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

### **Return Loss (RL),**

Το return loss είναι ένας λογαριθμικός λόγος της ισχύος που ανακλάται από ένα σύστημα με την ισχύ που εισέρχεται σε αυτό το σύστημα, όπως ορίζεται στην Εξίσωση. Το return loss εκφράζεται σε ντεσιμπέλ(dB). Όσο πιο υψηλός είναι ο αριθμός, τόσο χαμηλότερη είναι η ποσότητα της ανακλώμενης ενέργειας.

Όπου:

PR = Ισχύς ανάκλασης (W)

PI = Ισχύς εισόδου (W)

### **Ανατροπή μεμονωμένου γεγονότος (SEU),**

Η ανατροπή μεμονωμένου γεγονότος είναι μια αλλαγή κατάστασης που προκαλείται από ένα μόνο ιονίζον σωματίδιο που χτυπά έναν ευαίσθητο κόμβο σε μια μικροηλεκτρονική συσκευή, όπως σε μικροεπεξεργαστή, μνήμη ημιαγωγών ή τρανζίστορ ισχύος. Η αλλαγή κατάστασης είναι αποτέλεσμα της φόρτισης που

δημιουργείται από ιονισμό μέσα ή κοντά σε έναν σημαντικό κόμβο ενός λογικού στοιχείου(π.χ. "bit" μνήμης). Το σφάλμα στην έξοδο ή τη λειτουργία της συσκευής που προκαλείται ως αποτέλεσμα της σύγκρουσης ονομάζεται SEU(Single Event Upsets).

## 1.4 Κεραίες που χρησιμοποιούνται σε δορυφορικές επικοινωνίες [14]

Οι δορυφορικές επικοινωνίες περιλαμβάνουν τη μετάδοση και λήψη σημάτων μεταξύ ενός επίγειου σταθμού και ενός δορυφόρου στο διάστημα. Για να μεταφερθούν αποτελεσματικά αυτά τα σήματα είναι απαραίτητη η χρήση εξειδικευμένων κεραιών. Σε αυτό το κεφάλαιο, θα εξερευνήσουμε μερικούς από τους πιο συνηθισμένους τύπους κεραιών που χρησιμοποιούνται στις δορυφορικές επικοινωνίες, συμπεριλαμβανομένων της κεραίας V-dipole και double cross στις οποίες θα εμβαθύνουμε πιο πολύ αν και δεν είναι κοινές στις δορυφορικές επικοινωνίες.

### 1.4.1 V-διπολική κεραία

Η κεραία V-dipole είναι ένας τύπος κατευθυντικής κεραίας που χρησιμοποιείται συνήθως σε δορυφορικές επικοινωνίες. Ονομάστηκε από το σχήμα της, το οποίο μοιάζει με το γράμμα "V." Η κεραία V-δίπολου αποτελείται συνήθως από δύο πόλους που είναι προσανατολισμένα σε γωνία μεταξύ τους. Η γωνία μεταξύ των δύο στοιχείων καθορίζει την κατευθυντικότητα της κεραίας.

Ένα πλεονέκτημα της κεραίας V-dipole είναι το υψηλό της κέρδος, που την καθιστά κατάλληλη για χρήση σε επικοινωνίες μεγάλης εμβέλειας. Είναι επίσης σχετικά απλή στην κατασκευή της και δεν απαιτεί μεγάλο χώρο για να λειτουργήσει αποτελεσματικά.

Σχήμα 1.1

### 1.4.2 ΔΙΠΛΗ ΣΤΑΥΡΩΤΗ ΔΙΠΟΛΗ ΚΕΡΑΙΑ

Μια άλλη συνήθως χρησιμοποιούμενη κεραία στις δορυφορικές επικοινωνίες είναι η διπλή σταυρωτή κεραία. Αυτή η κεραία πήρε το όνομά της από το σχήμα της επίσης, το οποίο αποτελείται από δύο κάθετα στοιχεία που διασταυρώνονται μεταξύ τους στο κέντρο. Η διπλή σταυρωτή κεραία είναι επίσης ένας τύπος κατευθυντικής κεραίας, με την κατευθυντικότητα να καθορίζεται από τον προσανατολισμό των στοιχείων.

Σχήμα 2.1

Ένα πλεονέκτημα της διπλής σταυρωτής κεραίας είναι το μεγάλο εύρος ζώνης της, που την καθιστά κατάλληλη για χρήση με μια ποικιλία διαφορετικών συχνοτήτων.

### 1.4.3 Άλλοι τύποι κεραιών

Ενώ οι κεραίες V-dipole και double cross μας απασχολούν για τη συγκεκριμένη υλοποίηση δεν τις συναντάμε και τόσο συχνά στις δορυφορικές επικοινωνίες. Υπάρχει μια ποικιλία άλλων κεραιών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν και είναι πιο κοινές στις δορυφορικές επικοινωνίες.

Μερικές από αυτές είναι:

- Παραβολική κεραία ανακλαστήρα: Αυτός ο τύπος κεραίας αποτελείται από έναν ανακλαστήρα σε σχήμα πιάτου που εστιάζει τα σήματα σε μια μικρότερη κεραία που βρίσκεται στο κέντρο του πιάτου.
- Patch κεραία: Αυτός ο τύπος κεραίας αποτελείται από ένα μικρό, επίπεδο κομμάτι μετάλλου που είναι τοποθετημένο σε ένα υπόστρωμα. Χρησιμοποιείται συνήθως σε περιπτώσεις όπου απαιτείται κεραία χαμηλού προφίλ.
- Ελικοειδής κεραία: Αυτός ο τύπος κεραίας αποτελείται από ένα σύρμα τυλιγμένο σε σχήμα έλικας. Χρησιμοποιείται συχνά σε δορυφορικές επικοινωνίες λόγω της ικανότητάς του να μεταδίδει κυκλικά πολωμένα σήματα.
- Κεραία Yagi: Αυτός ο τύπος κεραίας αποτελείται από μια σειρά στοιχείων που είναι διατεταγμένα σε μια γραμμική διάταξη. Χρησιμοποιείται συνήθως σε περιπτώσεις όπου απαιτείται κατευθυντική κεραία υψηλής απολαβής.

Τέλος, ο τύπος της κεραίας που χρησιμοποιείται στις δορυφορικές επικοινωνίες θα εξαρτηθεί από διάφορους παράγοντες, συμπεριλαμβανομένης της συχνότητας των σημάτων που μεταδίδονται και των κατευθυντικών απαιτήσεων της ζεύξης επικοινωνίας. Αφότου τα χαρακτηριστικά των διαφορετικών τύπων κεραιών γίνουν κατανοητά, είναι δυνατό να επιλέξετε την καταλληλότερη κεραία για μια δεδομένη κατάσταση.

## Κεφάλαιο 2

### 2.1 Θεωρία και έννοιες κεραιών [13,14]

Οι κεραίες αποτελούν κρίσιμο στοιχείο κάθε συστήματος δορυφορικής επικοινωνίας, καθώς είναι υπεύθυνες για τη μετάδοση και τη λήψη ραδιοφωνικών σημάτων από και προς τον δορυφόρο. Οι κεραίες διατίθενται σε διάφορα σχήματα και μεγέθη, το καθένα με τις δικές του μοναδικές ιδιότητες και χαρακτηριστικά.

Κατά το σχεδιασμό και την κατασκευή κεραιών για δορυφορική επικοινωνία, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη αρκετοί παράγοντες, όπως το εύρος συχνοτήτων, το κέρδος, η πόλωση και το μοτίβο ακτινοβολίας. Επιπλέον, η κεραία εκπομπής πρέπει να είναι σχεδιασμένη ώστε να αντέχει στο σκληρό περιβάλλον του χώρου του διαστήματος, συμπεριλαμβανομένης της έκθεσης σε ακτινοβολία, ακραίες θερμοκρασίες και συνθήκες κενού.

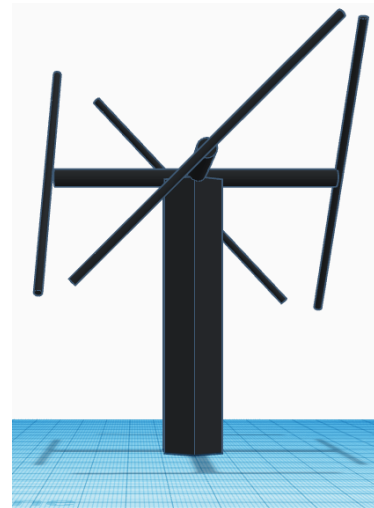
Τέλος, οι κεραίες αποτελούν κρίσιμο συστατικό των συστημάτων δορυφορικής επικοινωνίας και διαδραματίζουν βασικό ρόλο στη μετάδοση και λήψη ραδιο σημάτων μεταξύ της Γης και των δορυφόρων σε τροχιά. Η επιλογή της κεραίας θα εξαρτηθεί από τις ειδικές απαιτήσεις

του συστήματος επικοινωνίας και του περιβάλλοντος και πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στο σχεδιασμό και την κατασκευή της κεραίας για να διασφαλιστεί η αξιόπιστη και αποτελεσματική λειτουργία.

## 2.2 Υπολογισμός προϋπολογισμού σύνδεσης ισχύος [15]

### ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΙΠΛΗ ΣΤΑΥΡΩΤΗ ΔΙΠΟΛΗ ΚΕΡΑΙΑ (double cross antenna)

Αυτή η ενότητα θα συζητήσει τον προϋπολογισμό σύνδεσης ισχύος μεταξύ των πομπού του δορυφόρου και του επίγειου σταθμού. Αυτό πρέπει να ελεγχθεί για να βεβαιωθεί ότι ο επίγειος σταθμός είναι εφικτό να λάβει το δορυφορικό σήμα. Ο μετεωρολογικός δορυφόρος NOAA 19 είναι σε τροχιά (LEO) και κινείται μέσω του εναέριου χώρου κατά μήκος της τοποθεσίας μας. Ο δορυφόρος NOAA-19 εκπέμπει στα 137,1 MHz και έχει εύρος ζώνης 40kHz. Εκπέμπει σε ισχύ 5 watt ή 37 dBm EIRP με τη δεξιά κυκλικά πολωμένη κεραία. Πρέπει να διασφαλίσουμε ότι η το σήμα μπορεί να ληφθεί από όλες τις κατευθύνσεις, επιλέξαμε τη διπολική κεραία που έχει ακτινοβολία ημισφαιρίου και είναι κυκλικά πολωμένη. Επιπλέον, δεν έχει κέρδος από το έδαφος



1.1

Πρέπει να προσδιορίσουμε την απόσταση μεταξύ του NOAA-19 και του σταθμού λήψης

με το Πυθαγόρειο Θεώρημα, σύμφωνα με την εξίσωση (1).

$$d = \frac{h}{\sin \theta} \quad (1)$$

όπου  $d$  είναι η απόσταση μεταξύ του δορυφόρου και του σταθμού λήψης,  $h$  είναι το υψόμετρο του δορυφόρου πάνω από τη στάθμη της θάλασσας περίπου 870 χλμ. Και  $\theta$  είναι η γωνία ανύψωσης. Στο χειρότερο σενάριο, η μεγαλύτερη απόσταση σε γωνία 20 μοιρών είναι 2.544χλμ. Στη συνέχεια, υπολογίζουμε την απώλεια διαδρομής ελεύθερου χώρου σύμφωνα με τις εξισώσεις (2) και (3).

$$LFSL[dB] = 10 \log \left( \frac{4\pi df}{c} \right)^2 \quad (2)$$

$$LFSL[dB] = 32 + 20 \log f + 20 \log d \quad (3)$$

Όπου  $LFSL$  είναι η απώλεια διαδρομής ελεύθερου χώρου,  $c$  είναι η ταχύτητα του φωτός,

$f$  είναι η συχνότητα που λειτουργεί στα 137,1 MHz και  $d$  είναι η απόσταση

μεταξύ του δορυφόρου και του επίγειου σταθμού περίπου 2544χλμ. σε υψομετρική γωνία 20 μοιρών. Επομένως, η απώλεια διαδρομής σε ελεύθερο χώρο είναι 144 dB.

Στη συνέχεια χρησιμοποιούμε την εξίσωση μετάδοσης Friis για να υπολογίσουμε τη ισχύς που λαμβάνεται από τον σταθμό, σύμφωνα με την εξίσωση (4)

$$Pr = EIRP_{dn} + Gr - L_{TL} - L_{FSL} \quad (4)$$

Όπου  $Pr$  είναι η λαμβανόμενη ισχύς στον επίγειο σταθμό,  $EIRP_{dn} = 37\text{dBm}$  είναι η ισχύς που μεταδίδεται από τον δορυφόρο,  $Gr = 2\text{dBi}$  είναι το κέρδος της κεραίας στις 20 μοίρες,  $L_{TL} = 3\text{dB}$  είναι την εκτίμηση της απώλειας συστήματος. Επομένως, η λαμβανόμενη ισχύς στον επίγειο σταθμό είναι  $-108\text{dBm}$ .

Είναι τυπικό να σχεδιάζουμε ένα σύστημα με ζεύξη τουλάχιστον 6 dB περιθώριο, για να διασφαλιστεί ότι το σύστημα εξακολουθεί να λειτουργεί και όταν υπάρχουν εξωτερικοί παράγοντες όπως βροχή, ομίχλη, χιόνι ή άλλων απροσδόκητων παραγόντων, μπορούμε να καθορίσουμε το περιθώριο σύμφωνα με την εξίσωση (5).

$$\text{Margin} = [Rx \text{ power}] - [Rx \text{ sensitivity}] \quad (5)$$

Οπού  $[Rx \text{ sensitivity}] = -134\text{dBm}$  είναι η ευαισθησία του RTL-SDR δέκτη, με αποτέλεσμα το περιθώριο να είναι  $(-108\text{dBm}) - (-134\text{dBm}) = 26\text{dB}$

#### ΓΙΑ ΤΗΝ V-ΔΙΠΟΛΙΚΗ ΚΕΡΑΙΑ

Για τον υπολογισμό με την V-διπολική κεραία κρατάμε τα δεδομένα από τις εξισώσεις (1),(2),(3) και υπολογίζουμε τη ισχύς που λαμβάνεται από τον σταθμό χρησιμοποιώντας την εξίσωση μετάδοσης Friis (4) όπου  $Pr$  είναι η λαμβανόμενη ισχύς στον επίγειο σταθμό,  $EIRP_{dn} = 37\text{dBm}$  η ισχύς που μεταδίδεται από τον δορυφόρο,  $Gr = 5,2\text{dB}$  είναι το κέρδος της κεραίας στις 20 μοίρες,  $L_{TL} = 3\text{dB}$  είναι την εκτίμηση της απώλειας συστήματος. Επομένως, η λαμβανόμενη ισχύς στον επίγειο σταθμό είναι  $-104,8\text{dBm}$ .

Δεδομένου πως πρέπει να αφήσουμε ένα περιθώριο τουλάχιστον 6dB για να διασφαλιστεί ότι το σύστημα εξακολουθεί να λειτουργεί και όταν υπάρχουν εξωτερικοί παράγοντες. Καθορίζουμε το περιθώριο με την εξίσωση (5).

Οπού  $[Rx \text{ sensitivity}] = -134\text{dBm}$ , με αποτέλεσμα το περιθώριο να είναι  $(-104,8\text{dBm}) - (-134\text{dBm}) = 29,2\text{dB}$ .



2.1

Στο κεφάλαιο αυτό ελέγξαμε εάν μπορεί να υπάρξει ζεύξη μεταξύ του δορυφόρου και του επίγειου σταθμού, λαμβάνοντας υπόψιν και εξωτερικούς παράγοντες όπως βροχή, ομίχλη, χιόνι ή άλλων απροσδόκητων παραγόντων.

### 2.3 Περιβάλλον του διαστήματος

Το περιβάλλον στο οποίο λειτουργεί ένας δορυφόρος που είναι σε τροχιά είναι πολύ διαφορετικό από αυτό στη γη, απαιτώντας διαφορετικές τεχνικές λύσεις σε σύγκριση, για παράδειγμα, με τη βιομηχανία αεροσκαφών.

#### Ακτινοβολία

Το περιβάλλον του διαστήματος έχει μια σημαντική διαφορά με το γήινο περιβάλλον μια από αυτές τις διαφορές είναι η ακτινοβολία. Το επίπεδο ακτινοβολίας ποικίλλει ανάλογα με το τροχιακό ύψος, την κλίση και το γεωγραφικό του μήκος. Τα μαγνητικά πεδία γύρω από τη γη παγιδεύουν ηλεκτρόνια και πρωτόνια στις ζώνες Van Allen, αυτό έχει ως αποτέλεσμα ορισμένες περιοχές να μην μπορούν να χρησιμοποιηθούν αποτελεσματικά, λόγω των πολύ υψηλών επιπέδων ακτινοβολίας τους που προκαλούν προβλήματα με ευαίσθητα στην ακτινοβολία ηλεκτρονικά εξαρτήματα.

Ακόμη και στη γεωστατική τροχιά, το περιβάλλον ακτινοβολίας είναι αρκετές τάξεις μεγέθους πάνω από αυτό που παρατηρείται στη γη, επομένως πρέπει να ληφθούν μέτρα για την προστασία των ευαίσθητων ηλεκτρονικών και οργάνων όσο και για τη δομική κατασκευή των δορυφόρων. Για να θεωρηθούν για χρήση σε δορυφόρο, τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα πρέπει να μπορούν να αντέχουν συνολική δόση > 50 krads, καθώς είναι δύσκολο να θωρακιστούν κάτω από αυτό το επίπεδο.

#### Ανατροπές μεμονωμένου γεγονότος

Οι κοσμικές ακτίνες μπορούν να προκαλέσουν αλλαγές λογισμικού λόγω ανατροπών ενός γεγονότος (SEU), καθώς οι υψηλές ενέργειές τους είναι αδύνατο να σταματήσουν με θωράκιση του υλικού. Ως εκ τούτου, λογισμικό διόρθωσης και ανίχνευσης σφαλμάτων πρέπει να τρέχει συνεχόμενα στον δορυφόρο, παρακολουθώντας και διορθώνοντας συνεχώς τυχόν ψευδείς αλλαγές bit.

#### Υψηλό αρνητικό δυναμικό

Γύρω από τον δορυφόρο υπάρχει ένα «περίβλημα» πλάσματος το οποίο εάν δεν ληφθούν προστατευτικά μέτρα θα φόρτιζε φυσικά τον δορυφόρο σε υψηλό αρνητικό δυναμικό. Οι εξωτερικές επιφάνειες του δορυφόρου γίνονται αγωγίμες και η δομή του διαστημικού σκάφους είναι γειωμένη για να αποφευχθούν διαφορετικά δυναμικά εντός του δορυφόρου. Οι επιδράσεις των διηλεκτρικών εκκενώσεων εντός του δορυφόρου είναι επίσης ανησυχητικές, όπου το φορτίο που εναποτίθεται μέσα σε ένα διηλεκτρικό υλικό όπως ένα ομοαξονικό καλώδιο μπορεί να οδηγήσει σε εκκενώσεις στο εσωτερικό του δορυφόρου, καταστρέφοντας τα ηλεκτρονικά.

#### Ακραίες θερμοκρασίες

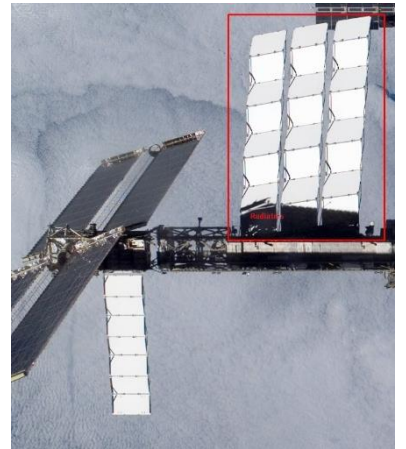
Στην απέραντη έκταση του διαστήματος, η διατήρηση της ισορροπίας της θερμοκρασίας μέσα σε έναν δορυφόρο είναι μια τρομερή πρόκληση.

Το θερμικό σύστημα ενός δορυφόρου διατηρεί τις σωστές θερμοκρασίες σε όλα τα μέρη του δορυφόρου. Ο Ήλιος θερμαίνει τη μία πλευρά του δορυφόρου και το σκοτεινό διάστημα από την άλλη πλευρά τραβά τη θερμότητα προς τα έξω. Η καυτή πλευρά είναι επομένως εκατοντάδες βαθμούς θερμότερη από την ψυχρή πλευρά. Επιπλέον, μέρη του δορυφόρου που χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια παράγουν θερμότητα εσωτερικά και τείνουν να θερμαίνονται πολύ. Τώρα, στη Γη, όταν το σπίτι μας ζεσταίνεται πολύ, μπορούμε να κατεβάσουμε τη θερμοκρασία με ανεμιστήρες ή κλιματιστικά. Ή, όταν κάνει πολύ κρύο, ανάβουμε το καλοριφέρ. Όλες αυτές οι μέθοδοι λειτουργούν προσθέτοντας ή αφαιρώντας τη θερμότητα από τον αέρα. Στο διάστημα δεν υπάρχει αέρας, επομένως η μεταφορά δεν λειτουργεί. Άλλες φυσικές διεργασίες αγωγιμότητα και ακτινοβολία πρέπει να χρησιμοποιηθούν για να μετακινηθεί η θερμότητα γύρω από τον δορυφόρο.

Μερικά παραδείγματα διαχείρισης της θερμότητας είναι:

### 1. Συστοιχίες διάχυσης θερμότητας

Ορισμένα υλικά είναι καλύτερα από άλλα στο να εκπέμπουν υπέρυθη ακτινοβολία όταν θερμαίνονται. Για εξαρτήματα που διαφορετικά θα ζεσταίνονταν πολύ, μπορεί να προσαρτηθεί πάνω τους μια πλάκα από τέτοιο υλικό και να εκτεθεί στο διάστημα. Η θερμότητα που παράγεται από το εξάρτημα μεταφέρεται στο ψυγείο μέσω αγωγιμότητας και τελικά στο διάστημα με ακτινοβολία.



### 2. Επιστρώσεις Επιφανειών

Αυτές οι επικαλύψεις αλλάζουν τον τρόπο που η ακτινοβολία αλληλοεπιδρά με ένα αντικείμενο. Συχνά με τη μορφή ειδικής βαφής, οι επικαλύψεις επιφανειών ελέγχουν πόση θερμότητα απορροφάται, ακτινοβολείται ή ανακλάται από εξωτερικές πηγές θερμότητας. Ένα παράδειγμα είναι το λευκό χρώμα όπου τείνει να αντανακλά περισσότερη θερμότητα από ό,τι απορροφά, και επομένως είναι κατάλληλο για την προστασία από τη θερμότητα του ήλιου.

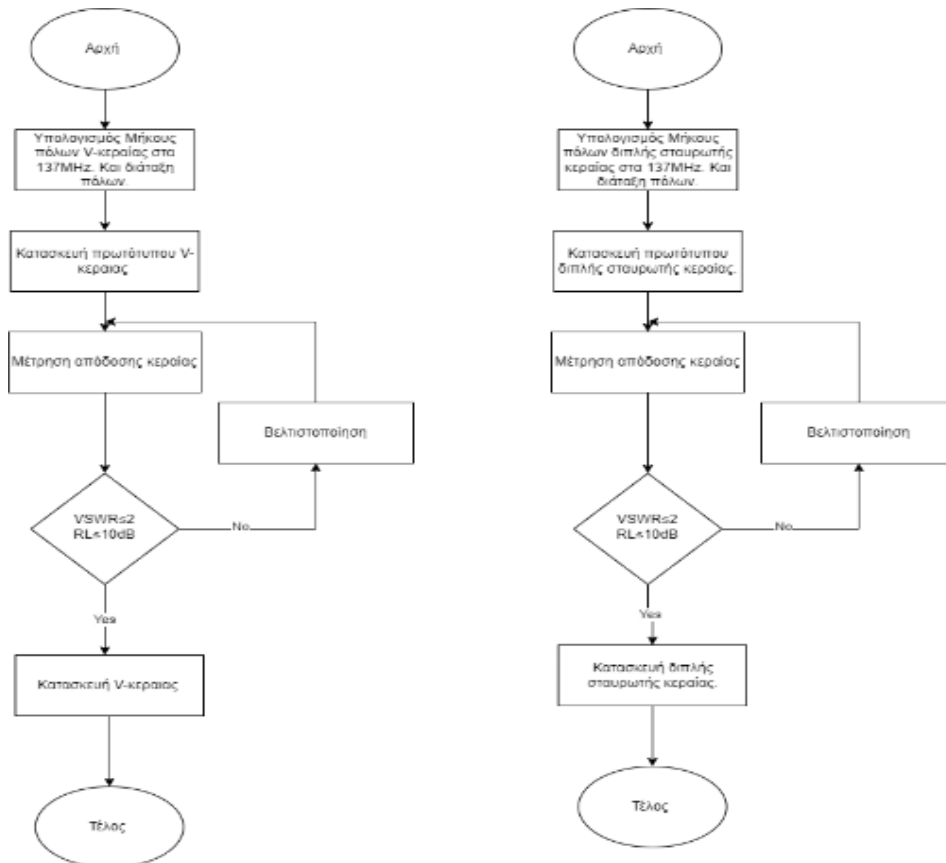
### 3. Θερμαντήρες

Αυτό μπορεί να είναι απλώς ένα σύρμα που, λόγω της αντίστασής του στη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος, παράγει θερμότητα όταν το ρεύμα διέρχεται από αυτό. Το σύρμα είναι κολλημένο απευθείας σε μέρη που πρέπει να θερμανθούν και τα θερμαίνει με αγωγιμότητα. Ένας θερμοστάτης, επιτρέπει τη κυκλοφορία του ηλεκτρικού ρεύματος στη αντίσταση μόνο όταν η θερμοκρασία πέσει κάτω από ένα επιλέξιμο σημείο.

Έως και 300 watt ισχύς χρησιμοποιούνται για τη λειτουργία θερμαντικών στοιχείων σε διαφορετικά μέρη του δορυφόρου.

## 2.4 Σχεδιασμός Κεραιών

Οι δορυφόροι NOAA μεταδίδουν σήματα στη γη χρησιμοποιώντας κυκλικά πολωμένα σήματα. Αυτή η πόλωση επιλέχθηκε για να αποφευχθεί η αποπόλωση από την ατμόσφαιρα της Γης.



3.1

### 2.4.1 Σχεδιασμός διπλής σταυρωτής κεραίας (Double Cross Antenna):

Ο σχεδιασμός της κεραίας ξεκινά με τον υπολογισμό μήκους του κάθε πόλου της κεραίας έτσι ώστε να μπορεί να λαμβάνει εύρος συχνοτήτων 137-138 MHz.

Το υλικό που χρησιμοποιείται είναι ατσάλινες ντιζες λόγω της καλής αγωγιμότητας και διευκόλυνσης της κατασκευής. Για να βρεθεί το μήκος του πόλου που θα χρησιμοποιηθεί, πρώτα υπολογίζουμε τη τιμή του  $\lambda$  που μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας την παρακάτω εξίσωση.

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \times 10^8}{137.62 \times 10^6} \approx 2179.91 \text{mm}$$



Όπου:

$c$  = Ταχύτητα του φωτός

$f$  = Συχνότητα

Αφού ληφθεί η τιμή του  $\lambda$  το μήκος του πόλου μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση:

$$\Lambda = \frac{\lambda}{2} \times k = \left( \frac{2179.91}{2} \right) \times 0.95 = 1035mm$$

Όπου:

$\Lambda$  = μήκος κύματος (mm)

$k$  = συντελεστής ταχύτητας ατσαλιού (velocity factor)

Μετά τον υπολογισμό του μήκους του πόλου θα χρειαστεί να διαιρέσουμε το συνολικό μήκος του πόλου διά 2 έτσι ώστε να βρούμε το μήκος της κάθε πλευράς του πόλου, περίπου  $1035mm/2 \approx 51cm$ . Αυτό σημαίνει πώς ο κάθε ένας από τους 4 πόλους θα πρέπει να έχει συνολικό μήκος περίπου 51cm.

#### 2.4.2 Σχεδιασμός Δίπολης κεραίας (V-Dipole):

Μια διπολική κεραία είναι εύκολο να κατασκευαστεί. Αυτή η διπολική κεραία μπορεί να δέχεται ελικοειδή πόλωση. Δύο διπολικές κεραίες που τοποθετούνται κάθετα μεταξύ τους και το ρεύμα/τάση που παρεμβάλλεται σε φάση 90 μοιρών θα προκαλέσουν ελικοειδή πόλωση στη περίπτωση που θα θέλαμε να μεταδώσουμε από αυτή τη κεραία. Σκεπτόμενοι αυτά, η χρήση της δίπολης κεραίας στον δορυφορικό μας δέκτη φαίνεται ως μια εύκολη λύση.

Για να βρεθεί το μήκος του κάθε πόλου που θα χρησιμοποιηθεί, πρώτα παίρνουμε το  $\lambda \approx 2179.91mm$  ως δεδομένο από την παραπάνω εξίσωση.

Στη συνέχεια θα πρέπει να υπολογίσουμε το μήκος του κάθε πόλου λαμβάνοντας υπόψη και το velocity factor όπως και νωρίτερα.

Για να βρεθεί το μήκος του κάθε πόλου που θα χρησιμοποιηθεί, πρώτα παίρνουμε το  $\lambda \approx 2179.91mm$  ως δεδομένο από την παραπάνω εξίσωση, στη συνέχεια υπολογίζω το  $\Lambda$  που συμπεριλαμβάνει τη τιμή του  $k$  και διαιρώ το  $\Lambda/2$  για να πάρω το μήκος του κάθε πόλου. Κάνοντας τους υπολογισμούς βρίσκουμε πώς το μήκος του κάθε πόλου είναι περίπου ίσο με 51. cm. Σχεδιάζοντας τη συγκεκριμένη κεραία πρέπει να έχουμε στον νου μας πως οι δυο πόλοι θα πρέπει να έχουν 120 μοίρες διαφορά ο ένας από τον άλλο. Η γωνία μεταξύ των δύο πόλων μιας κεραίας δίπολου V επηρεάζει το μοτίβο ακτινοβολίας και τα χαρακτηριστικά της αντίστασης της κεραίας. Με γωνία 120 μοιρών, το μοτίβο ακτινοβολίας θα γίνει ασύμμετρο. Η κεραία θα έχει ισχυρότερη ακτινοβολία σε ορισμένες κατευθύνσεις σε σύγκριση με άλλες όπως βλέπουμε στην εικόνα 4.1.

Επίσης σημαντικό είναι να αναφερθεί πως η συγκεκριμένη κεραία πρέπει να είναι γυρισμένη προς τον βορρά ή τον νότο για να μπορέσει να λάβει το σήμα λόγω της κατευθυντικότητας

της.

### 2.4.3 Ανάλυση μοτίβων ακτινοβολίας κεραίας και χρωματική χαρτογράφηση μέσω MATLAB

Σε αυτό το κεφάλαιο, θα διερευνήσουμε την ανάλυση των μοτίβων ακτινοβολίας των δύο κεραίων χρησιμοποιώντας τρισδιάστατα μοντέλα και τεχνικές έγχρωμης χαρτογράφησης. Θα επικεντρωθούμε στους δύο τύπους κεραίων: την κεραία V-Dipole και την κεραία Double Cross.

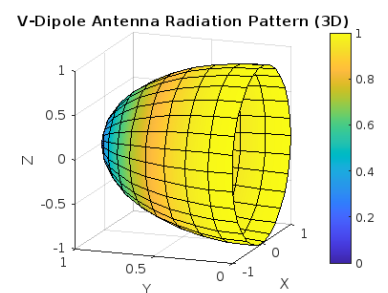
Οπτικοποιώντας τα μοτίβα ακτινοβολίας τους σε τρεις διαστάσεις, μπορούμε να γνωρίσουμε τα χαρακτηριστικά κατευθυντικότητας τους. Επιπλέον, η χρήση της χρωματικής αντιστοίχισης και των χρωματικών γραμμών βελτιώνει την οπτικοποίηση αντιπροσωπεύοντας ποικίλες εντάσεις σήματος σε διαφορετικές γωνίες.

#### **Μοτίβα ακτινοβολίας κεραίας:**

Τα μοτίβα ακτινοβολίας κεραίας περιγράφουν πώς η κεραία ακτινοβολεί ηλεκτρομαγνητική ενέργεια σε διαφορετικές κατευθύνσεις. Παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με την κατευθυντικότητα, το κέρδος και το πλάτος δέσμης της κεραίας. Εξετάζοντας τα μοτίβα ακτινοβολίας, μπορούμε να αξιολογήσουμε την απόδοση της κεραίας και να προσδιορίσουμε την καταλληλότητά της για συγκεκριμένες εφαρμογές.

#### **Μοτίβο ακτινοβολίας κεραίας V-Dipole:**

Η κεραία V-Dipole είναι μια κοινώς χρησιμοποιούμενη κεραία γνωστή για την απλή κατασκευή της. Σε αυτή την ανάλυση, σχεδιάσαμε το σχέδιο ακτινοβολίας της κεραίας V-Dipole σε ένα 3D μοντέλο. Οι γωνίες ανύψωσης κυμαίνονταν από 0 έως 90 μοίρες, ενώ οι γωνίες αζιμούθιου κάλυπταν έναν πλήρη κύκλο (0 έως  $2\pi$  ακτίνια). Μεταβάλλοντας αυτές τις γωνίες, μπορέσαμε να οπτικοποιήσουμε πώς το μοτίβο ακτινοβολίας της κεραίας αλλάζει σε διαφορετικές κατευθύνσεις.

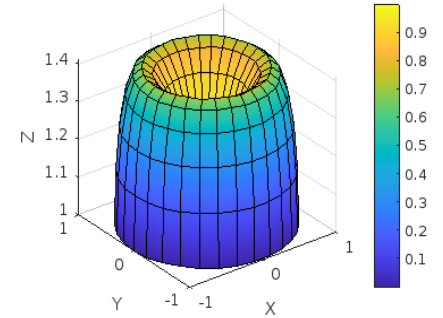


4.1

### Μοτίβο ακτινοβολίας διπλής σταυρού κεραίας:

Η κεραία Double Cross είναι μια πιο σύνθετη κεραία γνωστή για τη δομή της σε σχήμα σταυρού και το σχέδιο ακτινοβολίας ευρείας όψης. Παρόμοια με την κεραία V-Dipole, σχεδιάσαμε το σχέδιο ακτινοβολίας της κεραίας Double Cross σε 3D μοντέλο. Οι γωνίες ανύψωσης και οι γωνίες αζιμούθιου ορίστηκαν με τον ίδιο τρόπο όπως η κεραία V-Dipole. Αναλύοντας αυτό το μοτίβο ακτινοβολίας, μπορούμε να παρατηρήσουμε τα κατευθυντικά χαρακτηριστικά της κεραίας και τους κύριους λοβούς ακτινοβολίας.

Double Cross Antenna Radiation Pattern (3D)



5.1

### Χρωματική αντιστοίχιση και γραμμή χρωμάτων:

Για να βελτιώσουμε την οπτικοποίηση των μοτίβων ακτινοβολίας, χρησιμοποιήσαμε τεχνικές χρωματικής χαρτογράφησης. Στην ανάλυσή μας, αντιστοιχίσαμε χρώματα στα τρισδιάστατα σχέδια με βάση τις τιμές ορισμένων παραμέτρων. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήσαμε το ημίτονο της γωνίας ανύψωσης (θήτα) ως μεταβλητή για τη χρωματική χαρτογράφηση. Η ένταση του χρώματος ποικίλλει ανάλογα με την τιμή του ημιτόνου της γωνίας ανύψωσης, με αποτέλεσμα μια κλίση χρωμάτων στα μοτίβα ακτινοβολίας.

Για να παράσχουμε μια αναφορά για τη χρωματική αντιστοίχιση, προσθέσαμε γραμμές χρωμάτων στα οικόπεδα. Μια γραμμή χρώματος είναι μια οπτική κλίμακα που αντιστοιχίζει τα χρώματα που χρησιμοποιούνται στην γραφική παράσταση στις αντίστοιχες τιμές τους.

Μας επιτρέπει να ερμηνεύσουμε την αναπαράσταση των χρωμάτων και να κατανοήσουμε την ισχύ ή τις παραλλαγές του σήματος που σχετίζονται με τα διαφορετικά χρώματα. Στην περίπτωση μας, οι γραμμές χρωμάτων μας βοηθούν να ερμηνεύσουμε τις ποικίλες εντάσεις σήματος σε διαφορετικές γωνίες στα μοτίβα ακτινοβολίας.

Ειδικότερα όταν τα χρώματα τείνουν προς το κόκκινο άκρο του φάσματος, υποδηλώνει υψηλότερα επίπεδα ισχύος σε αυτές τις περιοχές. Από την άλλη πλευρά, όταν τα χρώματα μετατοπίζονται προς το μπλε άκρο, υποδηλώνει χαμηλότερη ισχύ σήματος. Αυτή η χρωματική αναπαράσταση μας επιτρέπει να αναγνωρίζουμε εύκολα περιοχές υψηλής ή χαμηλής έντασης ακτινοβολίας στα διαγράμματα.

Μια γραμμή χρώματος χρησιμεύει ως οπτική κλίμακα που αντιστοιχίζει τα χρώματα που χρησιμοποιούνται στην γραφική παράσταση στις αντίστοιχες τιμές τους. Μας δίνει τη δυνατότητα να κατανοήσουμε την ποσοτική σχέση μεταξύ των χρωμάτων και της ισχύος του σήματος. Αναφερόμενοι στη γραμμή χρωμάτων, μπορούμε εύκολα να συσχετίσουμε συγκεκριμένες χρωματικές αποχρώσεις με τις αντίστοιχες εντάσεις σήματος τους, αποκτώντας έτσι πληροφορίες για τα μοτίβα ακτινοβολίας.

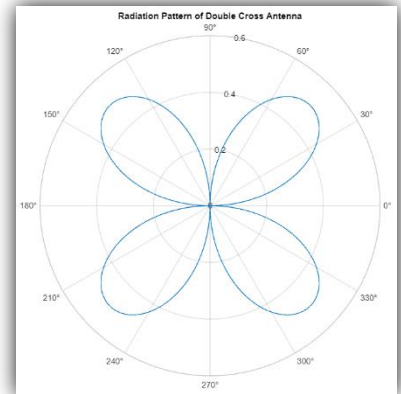
### Σχεδιάγραμμα πολικών συντεταγμένων

Οι πολικές συντεταγμένες είναι ιδιαίτερα χρήσιμες όταν έχουμε να κάνουμε με κυκλικά ή συμμετρικά σχέδια, καθώς παρέχουν μια φυσική αναπαράσταση γωνιών και αποστάσεων. Προσφέρουν ορισμένα πλεονεκτήματα έναντι των καρτεσιανών συντεταγμένων (x, y) σε ορισμένες εφαρμογές, όπως η ανάλυση των μοτίβων ακτινοβολίας των κεραιών.

Στο πλαίσιο των μοτίβων ακτινοβολίας, οι πολικές συντεταγμένες βοηθούν στην οπτικοποίηση των κατευθυντικών χαρακτηριστικών της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας μιας κεραίας. Η γωνία αζιμούθιου ( $\theta$ ) αντιπροσωπεύει την περιστροφή γύρω από την κεραία, ενώ η ακτινική απόσταση ( $r$ ) αντιστοιχεί στην ισχύ ή την ένταση του σήματος σε μια συγκεκριμένη γωνία. Σχεδιάζοντας το σχέδιο ακτινοβολίας σε πολικές συντεταγμένες, μπορούμε να παρατηρήσουμε πώς η ισχύς του σήματος ποικίλλει καθώς κινούμαστε γύρω από την κεραία.

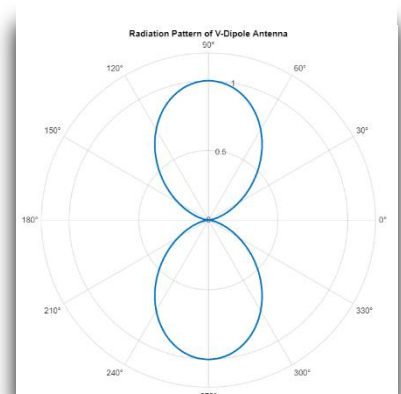
Για παράδειγμα οι πολικές συντεταγμένες της διπλής σταυρωτής κεραίας χαρακτηρίζονται από δύο κύριους λοβούς κάθετους μεταξύ τους, που μοιάζουν ένα σχήμα σταυρού.

Αυτοί οι λοβοί παρέχουν ενισχυμένη κάλυψη ακτινοβολίας τόσο στο οριζόντιο όσο και στο κατακόρυφο επίπεδο



6.1

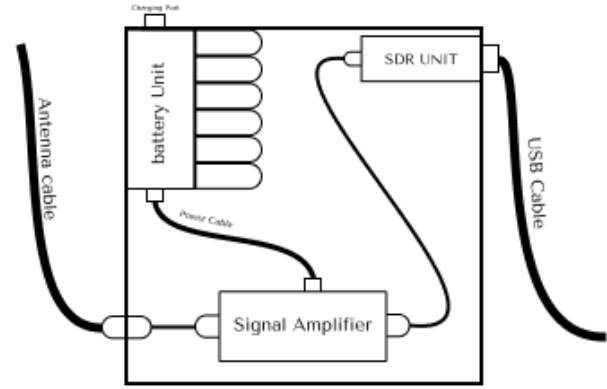
Ενώ οι πολικές συντεταγμένες της κεραίας V-δίπολου παρουσιάζουν δύο κύριους λοβούς, που μοιάζουν με ένα ανεστραμμένο V. Αυτοί οι λοβοί είναι προσανατολισμένοι στην κατεύθυνση κάθετη προς το επίπεδο της κεραίας, παρέχοντας ευρεία κάλυψη στο οριζόντιο επίπεδο.



7.1

## 2.2 Σχεδιασμός σταθμού λήψης

Το πρωτότυπο επίγειου σταθμού λήψης θα αρχίσει να λαμβάνει δορυφορικά σήματα όταν ο δορυφόρος περάσει από τον εναέριο χώρο σε γωνία ανύψωσης μεγαλύτερη από 20 μοίρες. Μπορούμε να υπολογίσουμε τη θέση τροχιάς του δορυφόρου με το κάποια εφαρμογή κινητού τηλεφώνου που χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση της θέσης του δορυφόρου, το οποίο μπορεί να προσομοιώσει τη θέση του δορυφόρου σε πραγματικό χρόνο. Επιπλέον, μπορούμε να βρούμε ιστοσελίδες δορυφορικής παρακολούθησης τροχιών σε πραγματικό χρόνο ως εναλλακτική λύση για την επικύρωση των δεδομένων.



8.1

### 2.3 Κατασκευή σταθμού λήψης



Στο συγκεκριμένο πρωτότυπο έχω κατασκευάσει μια μπαταρία 10.000mAh η οποία μπορεί να τροφοδοτήσει για μέρες το LNA με σκοπό να είναι πλήρως αυτόνομο καθώς σε επόμενη έκδοση θα μπορούσε να στέλνει μέσω δικτύου δεδομένα για απομακρυσμένη χρήση.

Στο σχήμα 1.4 μπορούμε να δούμε το ομοαξονικό καλώδιο που έρχεται από την αντίστοιχη κεραία. Στη συνέχεια το σήμα περνάει μέσα από τον ενισχυτή χαμηλού θορύβου (LNA) ενισχύεται και στη συνέχεια εισέρχεται στο SDR.

Το SDR συνδέεται μέσω καλωδίου USB με τον φορητό υπολογιστή όπου γίνεται η ανάλυση και η αποκωδικοποίηση του σήματος.

Κατά τη χρήση του συστήματος συνειδητοποίησα πως το SDR ανέβαζε υψηλές θερμοκρασίες κάτι που μπορεί να μειώσει τον χρόνο ζωής του ίδιου αλλά και να προκαλέσει αλλοίωση στα δεδομένα.



9.1 SDR με ψύκτρες αλουμινίου 1

Οπότε τοποθέτησα 2 ψήκτρες αλουμινίου στις δυο του πλευρές χρησιμοποιώντας ειδική θερμοαγώγιμη ταινία επικολλήσεως δυο όψεων καθώς θα ήταν κακή πρακτική να τοποθετήσω ανεμιστήρες στο σύστημα γιατί θα πρόσθετα επιπλέον ηλεκτρομαγνητικό θόρυβο στο σύστημα.



10.1 SDR με ψήκτρες αλουμινίου 2

## 2.5 Ζητήματα διάδοσης που σχετίζονται με συστήματα δορυφορικών επικοινωνιών.

### 2.5.1 Μετατόπιση Doppler:

Η μετατόπιση Doppler παρατηρείται όταν μια πηγή κυμάτων κινείται σε σχέση με έναν παρατηρητή ή το αντίστροφο. Αυτή η κίνηση προκαλεί μια αλλαγή στη συχνότητα σε σχέση με τον παρατηρητή. Θα εστιάσουμε στην υπόθεση όπου η πηγή πλησιάζει τον δέκτη. Σε αυτή τη περίπτωση, το φαινόμενο παράγεται όταν το ο πομπός των κυμάτων πλησιάζει τον παρατηρητή, κάθε διαδοχικό κύμα εκπέμπεται από μια κοντινότερη θέση από το προηγούμενο κύμα. Για το λόγο αυτό, ο χρόνος μεταξύ της άφιξης του της άφιξης των διαδοχικών κυμάτων μειώνεται και το μήκος κύματος μικραίνει. Επομένως, η συχνότητα αυξάνεται. Αντίθετα, εάν η πηγή απομακρύνεται, η απόσταση μεταξύ των διαδοχικών κυμάτων αυξάνεται και το μήκος κύματος επίσης μεγαλώνει. Σε αυτή την περίπτωση, η συχνότητα μειώνεται. Ωστόσο, αυτή η αλλαγή συχνότητας δεν είναι αποτέλεσμα αλλαγής από την πηγή. Όταν η ταχύτητα της πηγής και η ταχύτητα του δέκτη είναι πολύ χαμηλότερες από την ταχύτητα διάδοσης των κυμάτων, η παρατηρούμενη συχνότητα μπορεί να εκφραστεί ως:

$$f = \left(1 + \frac{\Delta v}{c}\right) f_0$$

Όπου  $\Delta v = v_r - v_s$  είναι η σχετική κίνηση μεταξύ του δορυφόρου και δέκτη, επομένως το  $v_r$  είναι η ταχύτητα του δέκτη και το  $v_s$  είναι η ταχύτητα της πηγής. Η ταχύτητα διάδοσης στην περίπτωση αυτή είναι η ταχύτητα του φωτός, που συμβολίζεται ως  $c$  και τέλος  $f_0$  είναι η φέρουσα συχνότητα που εκπέμπεται από την πηγή.

Η αλλαγή στη συχνότητα μπορεί να εκφραστεί ως εξής:

$$\Delta f = \frac{\Delta v}{c} f_0$$

Όπου η μετατόπιση Doppler ορίζεται ως η διαφορά συχνοτήτων μεταξύ των λαμβανόμενων συχνοτήτων και τη συχνότητα που εκπέμπεται από την πηγή, δηλαδή  $\Delta f = f - f_0$

Σε έναν δορυφόρο σε χαμηλή τροχιά(LEO), η απώλεια διαδρομής δεν είναι πολύ μεγάλο πρόβλημα, όμως η μετατόπιση Doppler και τα προβλήματα πολλαπλών διαδρομών γίνονται σοβαρά. Όταν ο δορυφόρος έχει σχετική ταχύτητα  $v$  m/s κατά μήκος της οπτικής γραμμής(Line of sight), τότε το λαμβανόμενο σήμα έχει μια μετατόπιση συχνότητας που

δίνεται από  $v/\lambda$  όπου  $\lambda$  είναι το μήκος κύματος του φέροντος σήματος. Η μετατόπιση συχνότητας είναι θετική καθώς ο δορυφόρος έρχεται προς τον δέκτη και αρνητική καθώς απομακρύνεται. Αυτή η μετατόπιση Doppler μπορεί, ανάλογα με την τροχιά και τις φέρουσες συχνότητες που χρησιμοποιούνται, να είναι πολλαπλάσια του εύρους ζώνης του δέκτη, και ως εκ τούτου απαιτεί τη χρήση παρακολούθησης συχνότητας από τον δέκτη.

### **2.5.2 Πολλαπλές διαδρομές:**

Ένα σημαντικό πρόβλημα είναι ότι η άμεση οπτική γωνία από τον δορυφόρο δεν μπορεί να επιτευχθεί αυτό σημαίνει πώς το σήμα που φθάνει στον δέκτη, ιδιαίτερα σε χαμηλές γωνίες υψομέτρου, αποτελείται από έναν αριθμό σημάτων που ανακλώνται από κτίρια καθώς και το αρχικό σήμα. Σε υψηλές γωνίες ανύψωσης, το κύριο πρόβλημα είναι η σκίαση λόγω κτιρίων και δέντρων, αλλά σε γωνίες χαμηλών κλίσεων το πρόβλημα είναι ένα μείγμα πολλαπλών διαδρομών και σκίασης. Σε μια κατάσταση πολλαπλών διαδρομών χωρίς ισχυρό σήμα, εάν τα μήκη διαδρομής των σημάτων διαφέρουν κατά ποσά συγκρίσιμα με το μισό μήκος κύματος στη φέρουσα συχνότητα, τότε το άθροισμα των σημάτων ισοδυναμεί με μηδέν.

Στην πράξη, ο δορυφόρος ή κινείται, με αποτέλεσμα η διαφορά διαδρομής, και επομένως η ισχύς του σήματος, να αλλάζει συνεχώς, δίνοντας εξασθένηση. Τα στατιστικά στοιχεία της εξασθένησης ονομάζονται Rayleigh fading όπου δεν υπάρχει άμεση γραμμική όρασης (Line of Sight) και Rician όπου υπάρχει σήμα άμεσης γραμμικής όρασης (Line of Sight) επιπλέον των άλλων σημάτων πολλαπλών διαδρομών που δημιουργούνται από αντανακλάσεις του αρχικού σήματος από εμπόδια. Δεδομένου ότι η φάση του προκύπτοντος σήματος μεταβάλλεται επίσης γρήγορα, αυτό προκαλεί μεγάλα προβλήματα στον αποδιαμορφωτή, ιδιαίτερα όταν οι πληροφορίες μεταφέρονται ως διαμόρφωση φάσης.

### **2.5.3 Επίδραση του θορύβου ραδιοκυμάτων [19]**

Στον κόσμο γύρο μας υπάρχουν πολλές πηγές ραδιοκυμάτων φυσικές αλλά και τεχνίτες μια από τις φυσικές είναι τα ραδιοκύματα που εκπέμπονται από τα μόρια υδρογόνου όταν το ηλεκτρόνιο σε ένα άτομο υδρογόνου αναστρέφει τη τροχιά του από παράλληλη σε αντίθετη με τη τροχιά του πρωτονίου στον πυρήνα τα ραδιοκύματα ου εκπέμπονται κατά τη διαδικασία αυτή χρησιμοποιούνται ως πηγή πληροφοριών στην ραδιοαστρονομία.'

Οι δορυφορικές επικοινωνίες μπορεί να πληγούν από παρεμβολές άλλων συστημάτων επικοινωνιών ή ηλεκτρονικών συσκευών που παράγουν ραδιοσυχνότητες. Μερικά παραδείγματα είναι το ραδιόφωνο, κινητές επικοινωνίες και άλλα μέσα εκπομπής ραδιοκυμάτων. Για αυτό τον λόγο οι κεραιές που θα κατασκευαστούν θα πρέπει να έχουν βαθμονομηθεί όσο το δυνατόν καλύτερα για να λαμβάνουν τις συγκεκριμένες συχνότητες που εκπέμπει ο δορυφόρος.

### **2.5.4 Επίδραση της ιονόσφαιρας στα ραδιοκύματα:**



Αν και τα ραδιοκύματα σε συχνότητες μεγαλύτερες από 100 MHz μπορούν κανονικά να περάσουν μέσα από την ιονόσφαιρα μεταξύ της γης και του διαστήματος, μπορεί να τροποποιηθούν από την παρουσία ελεύθερων ηλεκτρονίων και του μαγνητικού πεδίου της γης. Τα αποτελέσματα που οφείλονται στον ιονισμό όγκου περιλαμβάνουν απορρόφηση, καθυστέρηση διάδοσης, διάθλαση και περιστροφή πόλωσης, τα οποία ποικίλλουν ανάλογα με τη θέση στη γη και με το χρόνο ανάλογα με τις διάφορες μακροχρόνιες και βραχυχρόνιες αλλαγές της ιονόσφαιρας. Η ύπαρξη ανωμαλιών μικρής κλίμακας στη συγκέντρωση ηλεκτρονίων προκαλεί επίσης σχετικά γρήγορες διακυμάνσεις ενός αριθμού παραμέτρων του σήματος, οι οποίες είναι γνωστές συλλογικά ως scintillation (σπινθηρισμός). Όλα τα ιονοσφαιρικά φαινόμενα που αναφέρονται παραπάνω δείχνουν προοδευτική μείωση ανάλογα με την αύξηση της ραδιοσυχνότητας.

### 2.5.5 Ιονοσφαιρική απορρόφηση

Από VHF και πάνω, η απορρόφηση σε συχνότητα  $f$  σε λοξή διαδρομή με γωνία πρόσπτωσης στην ιονόσφαιρα είναι γενικά ανάλογη με το  $(\sec(i)) / (f^2)$ . Στα μεσαία γεωγραφικά πλάτη, η απορρόφηση για μονόδρομο διέλευση μέσα από την ιονόσφαιρα σε κανονικές συνθήκες είναι γενικά μικρότερη από 0,1 dB σε συχνότητες μεγαλύτερες από 100 MHz. Ενισχυμένη απορρόφηση μπορεί να συμβεί ως αποτέλεσμα ηλιακών εκλάμψεων και κατά τη διάρκεια γεγονότων όπως το πολικό σέλας, αλλά θα πρέπει να αναμένεται ένα ανώτερο όριο περίπου 5 dB.

### 2.5.6 Ιονοσφαιρικές επιδράσεις ανάλογα με το συνολικό περιεχόμενο ηλεκτρονίων

Η συνολική περιεκτικότητα ηλεκτρονίων (TEC), που είναι το ολοκλήρωμα της συγκέντρωσης ηλεκτρονίων κατά μήκος της διαδρομής ακτινών, εκφρασμένη σε μονάδες ηλεκτρονίων/m<sup>2</sup>, είναι σημαντική για τον προσδιορισμό της διαδρομής φάσης, της καθυστέρησης, της διασποράς, της διάθλασης και της περιστροφής πόλωσης Faraday σε μετασιονοσφαιρικά σήματα (trans ionospheric signals).

Αυτές οι παράμετροι είναι όλες ευθέως ανάλογες είτε με το TEC είτε, στην περίπτωση της περιστροφής Faraday, με το ολοκληρωμένο γινόμενο της συγκέντρωσης ηλεκτρονίων και της συνιστώσας του μαγνητικού πεδίου κατά μήκος της διαδρομής διάδοσης.

Η ανισοτροπία της ιονόσφαιρας παράγει την περιστροφή Faraday του επιπέδου πόλωσης ενός γραμμικά πολωμένου κύματος. Η περιστροφή σε μια δεδομένη ραδιοσυχνότητα παρουσιάζει αρκετά προβλέψιμες ημερήσιες, εποχιακές και ηλιακές κυκλικές διακυμάνσεις οι οποίες μπορούν να αντισταθμιστούν με προσαρμογή της γωνίας κλίσης πόλωσης της κεραίας του επίγειου σταθμού. Ωστόσο, μεγάλες αποκλίσεις από την κανονική συμπεριφορά μπορεί να προκύψουν για μικρά ποσοστά του χρόνου και δεν μπορούν να προβλεφθούν εκ των προτέρων. Δεν υπάρχουν στατιστικά δεδομένα για τις διακυμάνσεις της TEC που παρουσιάζονται για μικρά ποσοστά χρόνου, τα υπάρχοντα δεδομένα υποδεικνύουν μέγιστες περιστροφές Faraday 9° στα 4 GHz, 4° στα 6 GHz και 1° στα 12 GHz,



### 2.5.7 Ιονοσφαιρικός σπινθηρισμός[18]

Οι σπινθηρισμοί πλάτους, φάσης, πόλωσης και κατεύθυνσης άφιξης μπορεί να αντιπροσωπεύουν πρακτικούς περιορισμούς στα συστήματα διαστημικής επικοινωνίας. Παράγονται καθώς τα ραδιοκύματα διαδίδονται μέσω ανωμαλιών στην πυκνότητα ηλεκτρονίων στην ιονόσφαιρα.

Οι σπινθηρισμοί παρατηρούνται συνήθως σε VHF και μπορεί να συμβούν σε συχνότητες τουλάχιστον έως 7 GHz. Η δραστηριότητα σπινθηρισμού είναι ως επί το πλείστο φαινόμενο που παρατηρείται τη νύχτα. Είναι πιο σοβαρό στην περιοχή του γεωμαγνητικού ισημερινού και σε μεγάλα υψόμετρα, λιγότερο σοβαρή είναι στα μεσαία ύψη και αυξάνεται με την ηλιακή και γεωμαγνητική δραστηριότητα. Για παράδειγμα, σπινθηρισμοί με διακυμάνσεις πλάτους από κορυφή σε κορυφή που υπερβαίνουν τα 10 dB στα 154 MHz έχουν παρατηρηθεί για 7 τοις εκατό του χρόνου τη νύχτα έναν ισημερινό σταθμό στο Huancayo. Σε έναν σταθμό στη περιοχή του σέλας στο Narssarsuaq, τα αντίστοιχα ποσοστά χρόνου ήταν 0,9% και 8,4% σε ήσυχες και διαταραγμένες μαγνητικές συνθήκες, αντίστοιχα.

### 2.5.8 Επίδραση της τροπόσφαιρας στα ραδιοκύματα:

Εκτός από την ακτινοβολία θερμικού θορύβου από οποιοδήποτε απορροφητικό συστατικό στην τροπόσφαιρα, πρέπει να ληφθούν υπόψη οι ακόλουθοι παράγοντες:

εξασθένηση από αέρια, σύννεφα και βροχοπτώσεις, καταιγίδες άμμου και σκόνης.

διάφορες πτυχές της διάθλασης (συμπεριλαμβανομένου του σπινθηρισμού, της απώλειας κέρδους της κεραίας και πιθανών περιορισμών στο εύρος ζώνης).

αποπόλωση από βροχόπτωση.

Γενικά, τα φαινόμενα αυτά γίνονται όλο και πιο σημαντικά σε συχνότητες πάνω από 3 GHz και σε χαμηλές γωνίες. Σε συχνότητες πάνω από τα 40 GHz, ειδικά στην περιοχή των γραμμών απορρόφησης υδρατμών και οξυγόνου, μπορεί να υπάρξει σημαντική εξασθένηση ακόμη και σε καθαρές καιρικές συνθήκες.

### 2.5.9 Εξασθένηση λόγω βροχοπτώσεων και νεφώσεων

Ο κύριος παράγοντας όταν εξετάζουμε την εξασθένηση που προκαλείται από τα σύννεφα είναι η βροχή όπου η εξασθένηση που προκαλεί αυξάνεται με τον ρυθμό βροχόπτωσης, σε συχνότητα (έως περίπου 100 GHz). Η εξασθένηση που προκαλείται λόγω της βροχής μπορεί κανονικά να παραμεληθεί σε συχνότητες κάτω από περίπου 5 GHz.

Το χιόνι, ειδικά το ξηρό χιόνι, είναι πολύ λιγότερο σοβαρό από τη δυνατή βροχή, αλλά το λιώσιμο του χιονιού μπορεί να προκαλέσει σημαντική εξασθένηση. Επίσης, το χιόνι που κολλάει επάνω στην κεραία μπορεί να δημιουργήσει πιο πρόβλημα σοβαρό από τη δυνατή βροχή.

Η επίδραση των νεφών είναι μικρή σε σύγκριση με αυτή της βροχής και είναι μόνο ένας σοβαρός παράγοντας σε συχνότητες πολύ πάνω από 30 GHz. Η εξασθένηση είναι ανάλογη με την περιεκτικότητα σε υγρό νερό, η οποία θα ποικίλλει ανάλογα με τον τύπο του νέφους. Τα σύννεφα καταιγίδας (cumulo-nimbus) προκαλούν τη μέγιστη εξασθένηση.

Για την πρόβλεψη της εξασθένησης λόγω της βροχόπτωσης κατά μήκος μιας κεκλιμένης διαδρομής, είναι απαραίτητο να ληφθούν πληροφορίες σχετικά με την κατανομή της στο χώρο και το χρόνο.

## Κεφάλαιο 3

### 3.1 Εισαγωγή στο Software Defined Radio (SDR)

Το Software Defined Radio (SDR) είναι μια σχετικά νέα τεχνολογία που έχει φέρει επανάσταση στον τρόπο με τον οποίο σχεδιάζονται, κατασκευάζονται και χρησιμοποιούνται τα συστήματα ραδιοεπικοινωνιών. Σε αντίθεση με τα παραδοσιακά συστήματα ραδιοεπικοινωνίας, τα οποία κατασκευάζονται με εξαρτήματα που βασίζονται σε υλικό, το SDR βασίζεται σε λογισμικό για την εκτέλεση πολλών από τις λειτουργίες που εκτελούνταν προηγουμένως από το υλικό. Αυτό επιτρέπει μεγαλύτερη ευελιξία στο σχεδιασμό και τη λειτουργία συστημάτων ραδιοεπικοινωνίας.

Στο πιο βασικό του επίπεδο, ένα σύστημα SDR αποτελείται από μια κεραία, ένα RF front-end και ένα σύστημα επεξεργασίας ψηφιακού σήματος (DSP). Η κεραία χρησιμοποιείται για τη λήψη του ραδιο σήματος, το οποίο στη συνέχεια τροφοδοτείται στο RF front-end. Το RF front-end αποτελείται από αναλογικά κυκλώματα που ενισχύουν και φιλτράρουν το λαμβανόμενο σήμα και στη συνέχεια το μετατρέπουν σε ψηφιακό σήμα που μπορεί να σταλεί για επεξεργασία από το σύστημα DSP.

Το σύστημα DSP είναι η καρδιά του συστήματος SDR και αποτελείται από ένα πρόγραμμα λογισμικού που εκτελείται σε υπολογιστή ή ενσωματωμένο σύστημα (raspberry Pi). Το πρόγραμμα είναι υπεύθυνο για την αποκωδικοποίηση και την επεξεργασία του ψηφιακού σήματος που λαμβάνεται από το front-end RF και στη συνέχεια για τη μετατροπή του σε μια οπτική μορφή που μπορεί να εμφανιστεί ή να αναλυθεί από τον χρήστη.

Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα της τεχνολογίας SDR είναι η ευελιξία της.

Επειδή το σύστημα SDR βασίζεται σε λογισμικό για την εκτέλεση πολλών από τις λειτουργίες του, μπορεί εύκολα να ρυθμιστεί εκ νέου ώστε να λειτουργεί σε διαφορετικές συχνότητες ή να εκτελεί διαφορετικές εργασίες. Αυτό επιτρέπει τη χρήση μιας ενιαίας πλατφόρμας υλικού για πολλαπλές εφαρμογές ραδιοεπικοινωνίας, μειώνοντας το κόστος και την πολυπλοκότητα της ανάπτυξης και της συντήρησης διαφορετικών συστημάτων για διαφορετικές εργασίες.

Ένα άλλο πλεονέκτημα της τεχνολογίας SDR είναι η ικανότητά της να επεξεργάζεται πολλαπλά σήματα ταυτόχρονα. Επειδή το σύστημα DSP μπορεί να προγραμματιστεί για να χειρίζεται πολλαπλά σήματα, ένα σύστημα SDR μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση και την ανάλυση πολλαπλών καναλιών ραδιοεπικοινωνίας ταυτόχρονα, παρέχοντας μια ολοκληρωμένη εικόνα του περιβάλλοντος ραδιοεπικοινωνίας.

Τα τελευταία χρόνια, η τεχνολογία SDR χρησιμοποιείται όλο και περισσότερο σε συστήματα δορυφορικών επικοινωνιών. Για παράδειγμα, ένα σύστημα SDR μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη λήψη και την αποκωδικοποίηση σημάτων από μετεωρολογικούς δορυφόρους, οι οποίοι μεταδίδουν δεδομένα σχετικά με τα καιρικά μοτίβα και τις ατμοσφαιρικές συνθήκες. Η τεχνολογία SDR μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση και ανάλυση σημάτων από δορυφόρους GPS, οι οποίοι παρέχουν δεδομένα τοποθεσίας και πλοήγησης.

Κατά το σχεδιασμό ενός συστήματος SDR για δορυφορικές επικοινωνίες, η επιλογή της κεραίας είναι κρίσιμη. Διαφορετικές κεραίες έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά, όπως κέρδος, μοτίβο ακτινοβολίας και πόλωση, τα οποία μπορούν να επηρεάσουν την απόδοση του συστήματος SDR. Ορισμένες κεραίες που χρησιμοποιούνται συνήθως για δορυφορικές επικοινωνίες περιλαμβάνουν τη διπλή σταυρωτή κεραία, την κεραία v-διπόλου και την κεραία patch.

Συνολικά, η τεχνολογία SDR έχει ανοίξει νέες δυνατότητες στα συστήματα ραδιοεπικοινωνιών, ιδιαίτερα στις δορυφορικές επικοινωνίες. Η ευελιξία, και η ικανότητά του να επεξεργάζεται πολλαπλά σήματα ταυτόχρονα το καθιστούν ελκυστική επιλογή για την ανάπτυξη και τη λειτουργία προηγμένων συστημάτων ραδιοεπικοινωνίας.

## 3.2 Εισαγωγή στους ενισχυτές χαμηλού θορύβου (LNA)

Ένας ενισχυτής χαμηλού θορύβου (LNA) είναι μια ηλεκτρονική συσκευή που ενισχύει τα αδύναμα σήματα, ενώ εισάγει όσο το δυνατόν λιγότερο θόρυβο. Στο πλαίσιο των συστημάτων ραδιοσυχνότητας (RF), ένα LNA χρησιμοποιείται συνήθως ως το πρώτο στάδιο στο front-end RF για την ενίσχυση του εισερχόμενου σήματος προτού υποβληθεί σε περαιτέρω επεξεργασία από το υπόλοιπο σύστημα.

Ο κύριος σκοπός ενός LNA είναι να βελτιώσει τον λόγο σήματος προς θόρυβο (SNR) του εισερχόμενου σήματος, ο οποίος είναι ο λόγος της ισχύος του επιθυμητού σήματος προς την ισχύ του θορύβου στο σύστημα. Ενισχύοντας το σήμα με όσο το δυνατόν λιγότερο πρόσθετο θόρυβο, το LNA μπορεί να αυξήσει αποτελεσματικά το SNR και να βελτιώσει τη συνολική απόδοση του συστήματος.

Ο σχεδιασμός LNA απαιτεί προσεκτική εξέταση διάφορων παραγόντων, συμπεριλαμβανομένου του αριθμού θορύβου, του κέρδους και της γραμμικότητας. Ο αριθμός θορύβου ενός LNA αναφέρεται στην ποσότητα του πρόσθετου θορύβου που εισάγει ο ενισχυτής στο σύστημα. Ο χαμηλότερος αριθμός θορύβου είναι καλύτερος, καθώς επιτρέπει υψηλότερο SNR και καλύτερη απόδοση συστήματος. Το κέρδος αναφέρεται στο ποσό της ενίσχυσης του σήματος που παρέχεται από το LNA, ενώ η γραμμικότητα αναφέρεται στην ικανότητα του LNA να διατηρεί μια γραμμική σχέση μεταξύ των σημάτων εισόδου και εξόδου.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι LNA που είναι διαθέσιμοι, συμπεριλαμβανομένων των διακριτών LNA, των μονολιθικών LNA ολοκληρωμένων κυκλωμάτων μικροκυμάτων (MMIC) και των LNA επιφανειακών ακουστικών κυμάτων (SAW). Τα διακριτά LNA αποτελούνται συνήθως από διακριτά στοιχεία όπως τρανζίστορ, πυκνωτές και αντιστάσεις, ενώ τα MMIC LNA είναι

ολοκληρωμένα κυκλώματα που περιέχουν όλα τα στοιχεία LNA σε ένα μόνο τσιπ. Τα SAW LNA χρησιμοποιούν ακουστικά κύματα για να φιλτράρουν και να ενισχύσουν το εισερχόμενο σήμα και χρησιμοποιούνται συνήθως σε εφαρμογές υψηλής συχνότητας κάνοντας τα ιδανικά για το πείραμα μας.

Τα LNA είναι απαραίτητα στοιχεία σε πολλά συστήματα ραδιοσυχνότητων, συμπεριλαμβανομένων των συστημάτων δορυφορικής επικοινωνίας, των ραδιοφωνικών δεκτών και των συσκευών ασύρματης επικοινωνίας. Διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη βελτίωση της συνολικής απόδοσης και ευαισθησίας αυτών των συστημάτων ενισχύοντας αδύναμα σήματα με όσο το δυνατόν λιγότερο πρόσθετο θόρυβο.

## Κεφάλαιο 4

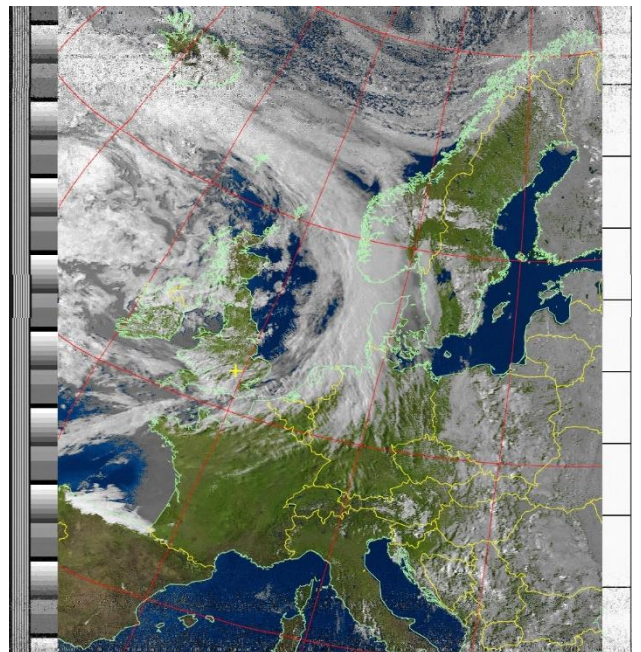
### 4.1 Αυτόματη μετάδοση εικόνων

Η Αυτόματη μετάδοση εικόνων (APT) είναι μια μέθοδος μετάδοσης εικόνων μετεωρολογικού δορυφόρου σε πραγματικό χρόνο. Η Εθνική Υπηρεσία Ωκεανών και Ατμόσφαιρας (NOAA) λειτουργεί μια σειρά από δορυφόρους, όπως οι NOAA-15, NOAA-18, NOAA-19, και NOAA-20 που καταγράφουν εικόνες της επιφάνειας και της ατμόσφαιρας της Γης.

--Η τεχνολογία APT σε αυτούς τους δορυφόρους επιτρέπει τη μετάδοση εικόνων με τη μορφή αναλογικών σημάτων, τα οποία μπορούν να ληφθούν από επίγειους σταθμούς λήψης. Οι εικόνες μεταδίδονται σε πραγματικό χρόνο και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για πρόγνωση καιρού, παρακολούθηση κλίματος και περιβαλλοντική έρευνα.

Η μετάδοση εκπομπής αποτελείται από δύο κανάλια εικόνας, πληροφορίες τηλεμετρίας και δεδομένα συγχρονισμού, με τα κανάλια εικόνας να αναφέρονται συνήθως ως Video A και Video B. Όλα αυτά τα δεδομένα μεταδίδονται ως γραμμή οριζόντιας σάρωσης. Μια πλήρης γραμμή έχει μήκος 2080 εικονοστοιχεία (pixel), με κάθε εικόνα να χρησιμοποιεί 909 εικονοστοιχεία και τα υπόλοιπα να πηγαινούν στην τηλεμετρία και το συγχρονισμό. Οι γραμμές μεταδίδονται με ρυθμό που ισοδυναμεί με 4160 baud.

Το σήμα APT μεταδίδεται σε συχνότητα 137 MHz. Οι εικόνες μεταδίδονται σε πραγματικό χρόνο και μπορούν να ληφθούν από ποικίλο εξοπλισμό λήψης.



Εκτός από το APT, οι δορυφόροι NOAA χρησιμοποιούν επίσης το σύστημα μετάδοσης εικόνας υψηλής ανάλυσης (HRPT) για τη μετάδοση εικόνων υψηλότερης ποιότητας. Το HRPT είναι ένα σύστημα ψηφιακής μετάδοσης που χρησιμοποιείται για τη μετάδοση εικόνων με υψηλότερη ανάλυση και έγχρωμες πληροφορίες. Ωστόσο, το HRPT δεν μεταδίδεται σε πραγματικό χρόνο και απαιτεί εξειδικευμένο εξοπλισμό για τη λήψη των σημάτων.

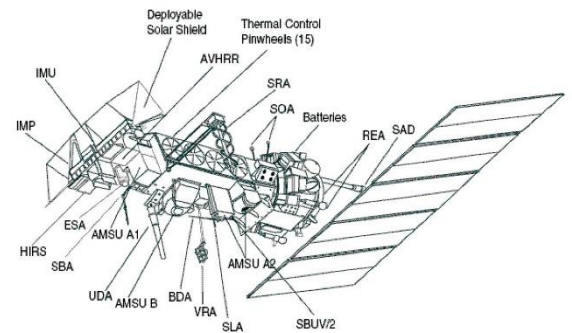
Στους μετεωρολογικούς δορυφόρους NOAA, οι άξονες X και Y χρησιμοποιούνται για να αναπαραστήσουν τις χωρικές διαστάσεις της εικόνας που λαμβάνεται. Ο άξονας X αντιπροσωπεύει την οριζόντια διάσταση της εικόνας, ενώ ο άξονας Y την κατακόρυφη διάσταση.

Συγκεκριμένα, ο άξονας X είναι ευθυγραμμισμένος με την κατεύθυνση κίνησης του δορυφόρου και ο άξονας Y είναι κάθετος στον άξονα X, σχηματίζοντας ορθή γωνία. Αυτό σημαίνει ότι ο άξονας X εκτείνεται από αριστερά προς τα δεξιά κατά μήκος της εικόνας, ενώ ο άξονας Y εκτείνεται από πάνω προς τα κάτω. Σε κάθε pixel της εικόνας εκχωρείται ένα σύνολο συντεταγμένων X και Y που αντιστοιχούν στη θέση του στην εικόνα. Οι συντεταγμένες X και Y χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία ενός συστήματος πλέγματος που επιτρέπει την ακριβή χαρτογράφηση και ανάλυση των δεδομένων που συλλέγονται από τον δορυφόρο.

Όπως έχει σημειωθεί νωρίτερα οι δορυφόροι NOAA καταγράφουν εικόνες της Γης σε πολική τροχιά, αυτό σημαίνει ότι ταξιδεύουν με κατεύθυνση βορρά-νότου καθώς περιφέρονται γύρω από τη Γη. Ως αποτέλεσμα, οι άξονες X και Y ευθυγραμμίζονται με τον πολικό άξονα της Γης και όχι με τον ισημερινό. Αυτή η πολική τροχιά επιτρέπει στους δορυφόρους να τραβήξουν εικόνες ολόκληρης της επιφάνειας της Γης κατά τη διάρκεια μερικών τροχιών.

## **4.2 Αισθητήρια όργανα, κανάλια και πληροφορίες για τον δορυφόρο NOAA-19**

Οι μετεωρολογικοί δορυφόροι NOAA φέρουν μια ποικιλία αισθητήρων που είναι ικανοί να συλλαμβάνουν δεδομένα σε πολλαπλές φασματικές ζώνες ή κανάλια. Αυτά τα κανάλια χρησιμοποιούνται για την παρατήρηση διαφορετικών τύπων ατμοσφαιρικών και επιφανειακών φαινομένων και μπορούν να παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες για πρόγνωση καιρού, παρακολούθηση του κλίματος και περιβαλλοντική έρευνα.



Legend:  
 BDA Beacon Transmitting Antenna  
 ESA Earth Sensor Assembly  
 IMP Instrument Mounting Platform  
 IMU Inertial Measurement Unit  
 REA Reaction Engine Assembly  
 SAD Solar Array Drive  
 SLA S&R Transmitting Antenna (L-band)  
 SRA S&R Receiving Antenna  
 SUX S-band Transmitting Antenna  
 SOA S-band Omni Antenna (2 of 6 shown)  
 UDA UHF Data Collection System Antenna  
 VRA VHF Realtime Antenna

Instruments shown in illustration:  
 AMSU-A1 (Advanced Microwave Sounding Unit - A1)  
 AMSU-A2 (Advanced Microwave Sounding Unit - A2)  
 AMSU-B (Advanced Microwave Sounding Unit - B)  
 AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer)  
 HIRS (High Resolution Infrared Sounder)

Κάποια από αυτά τα κανάλια είναι:

1. **Ορατό κανάλι:** Αυτό το κανάλι καταγράφει εικόνες στο ορατό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και παρέχει μια αναπαράσταση με αληθινό χρώμα της επιφάνειας της Γης. Το ορατό κανάλι χρησιμοποιείται συχνά για την παρατήρηση νεφών, χιονιού, πάγου και χαρακτηριστικών της ξηράς και των ωκεανών.
2. **Κανάλι υπέρυθρων:** Το κανάλι υπέρυθρων τραβάει εικόνες στο υπέρυθρο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και χρησιμοποιείται για την ανίχνευση των διακυμάνσεων της θερμοκρασίας στην ατμόσφαιρα και στην επιφάνεια της Γης. Το υπέρυθρο κανάλι χρησιμοποιείται συχνά για την παρακολούθηση καταιγίδων, τη μέτρηση της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας και την ανίχνευση πυρκαγιών.
3. **Κανάλι υδρατμών:** Αυτό το κανάλι μετρά την ποσότητα υδρατμών στην ατμόσφαιρα και παρέχει πληροφορίες σχετικά με την ατμοσφαιρική σταθερότητα και την περιεκτικότητα σε υγρασία. Το κανάλι υδρατμών χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση της κίνησης και της έντασης των καιρικών συστημάτων, συμπεριλαμβανομένων των τυφώνων και των τροπικών καταιγίδων.
4. **Κανάλι μικροκυμάτων:** Οι αισθητήρες μικροκυμάτων σε δορυφόρους NOAA μπορούν να διεισδύσουν μέσα από τα σύννεφα και να μετρήσουν διάφορες ατμοσφαιρικές και επιφανειακές παραμέτρους όπως η θερμοκρασία, η υγρασία της ατμόσφαιρας και η υγρασία του εδάφους. Τα κανάλια μικροκυμάτων χρησιμοποιούνται για την παρατήρηση της βροχόπτωσης, της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας και των επιφανειακών ανέμων.
5. **Σύνθετο κανάλι RGB:** Οι σύνθετες εικόνες RGB (Κόκκινο, Πράσινο, Μπλε) συνδυάζουν δεδομένα από πολλά κανάλια για να δημιουργήσουν μια αναπαράσταση ψευδών χρωμάτων της επιφάνειας της Γης. Αυτές οι εικόνες χρησιμοποιούνται για την επισήμανση συγκεκριμένων χαρακτηριστικών,

Πηγή: <https://www.eoportal.org/ftp/satellite-missions/p/POESS->

12.1

όπως η βλάστηση, ο τύπος σύννεφων και οι θερμοκρασίες της γης και των ωκεανών.

6. Solar Ultraviolet Imager (SUVI): Ο αισθητήρας SUVΙ παρατηρεί τον ήλιο στο υπεριώδες τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, το οποίο μπορεί να παρέχει πληροφορίες σχετικά με τις ηλιακές εκλάμψεις και άλλες ηλιακές δραστηριότητες.
- 7 Geostationary Lightning Mapper (GLM): Ο αισθητήρας GLM μετρά τη δραστηριότητα των κεραυνών στην επιφάνεια της Γης, η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση της εξέλιξης και της έντασης των καταιγίδων.
- 8 Cross-track υπέρυθρη ηχογράφιση (CrIS): Ο αισθητήρας CrIS χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της θερμοκρασίας και της υγρασίας στην ατμόσφαιρα, ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη βελτίωση της πρόγνωσης καιρού.

Αυτά τα κανάλια παρέχουν μια πληθώρα πληροφοριών που χρησιμοποιούνται από μετεωρολόγους, κλιματολόγους και άλλους επιστήμονες για την καλύτερη κατανόηση και πρόβλεψη των καιρικών προτύπων και άλλων περιβαλλοντικών φαινομένων.

## 4.3 Λήψη εικόνας από δορυφόρο NOAA

Η λήψη ζωντανών εικόνων από δορυφόρο NOAA μπορεί να είναι μια συναρπαστική εμπειρία για όποιον ενδιαφέρεται για τις δορυφορικές επικοινωνίες. Η Εθνική Υπηρεσία Ωκεανών και Ατμόσφαιρας (NOAA) των ΗΠΑ χρησιμοποιεί αρκετούς δορυφόρους που καταγράφουν εικόνες της επιφάνειας, των ωκεανών και της ατμόσφαιρας της Γης, παρέχοντας σημαντικά δεδομένα για πρόγνωση καιρού, παρακολούθηση του κλίματος και περιβαλλοντική διαχείριση.

Για τη λήψη ζωντανών εικόνων από έναν δορυφόρο NOAA, απαιτούνται μια κεραία λήψης, μια συσκευή SDR, ένας ενισχυτής χαμηλού θορύβου (LNA) και κατάλληλο λογισμικό για την αποκωδικοποίηση του λαμβανόμενου σήματος.

Η κεραία λήψης είναι υπεύθυνη για τη λήψη του σήματος που μεταδίδεται από τον δορυφόρο NOAA. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν διαφορετικοί τύποι κεραιών, ανάλογα με τη συχνότητα του σήματος και το απαιτούμενο κέρδος και bandwidth. Η κεραία πρέπει να είναι σωστά σχεδιασμένη και τοποθετημένη ώστε να ελαχιστοποιεί τις παρεμβολές σήματος και να μεγιστοποιεί την ισχύ του σήματος.

Η συσκευή SDR χρησιμοποιείται για τη μετατροπή του λαμβανόμενου σήματος σε ψηφιακά δεδομένα που μπορούν να υποβληθούν σε επεξεργασία από υπολογιστή.

Το LNA είναι ένα ουσιαστικό στοιχείο του base-station επειδή ενισχύει το ασθενές σήμα που λαμβάνει η κεραία ενώ προσθέτει όσο το δυνατόν λιγότερο θόρυβο.

Μόλις το σήμα ενισχυθεί και μετατραπεί σε ψηφιακά δεδομένα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατάλληλο λογισμικό για την αποκωδικοποίηση του σήματος και την εμφάνιση των λαμβανόμενων εικόνων. Για το σκοπό αυτό είναι διαθέσιμες αρκετές επιλογές δωρεάν

λογισμικό ανοιχτού κώδικα, και σε αυτό το πείραμα θα χρησιμοποιήσουμε το noaa-art καθώς δεν χρειάζεται κάποια ιδιαίτερη παραμετροποίηση στον υπολογιστή για να τρέξει και υποστηρίζεται ενεργά από την κοινότητα.

Η λήψη ζωντανών εικόνων από έναν δορυφόρο NOAA μπορεί να είναι μια συναρπαστική εμπειρία για όσους ενδιαφέρονται για τις δορυφορικές επικοινωνίες. Ωστόσο, απαιτεί εξειδικευμένες γνώσεις στον σχεδιασμό κεραιών, και την επεξεργασία σήματος. Με τον κατάλληλο εξοπλισμό και γνώση, είναι δυνατό να λαμβάνετε εικόνες υψηλής ποιότητας από δορυφόρους NOAA και να συμβάλλετε στην κατανόηση του πλανήτη μας.

## 4.4 κατασκευή V-dipole κεραίας

Για την κατασκευή της V-dipole κεραίας, θα χρειαστούν τα παρακάτω υλικά:

1. Ομοαξονικό καλώδιο: RG-58 ή RG-6.



13.1

2. Σύνδεσμοι: Σύνδεσμος BNC ή SMA(ανάλογα με την είσοδο του SDR δέκτη).



14.1

3. Ατσάλινη ντίζα.



15.1

4. Σωλήνας PVC



16.1

5. Υλικά στήριξης: Βίδες, παξιμάδια, ροδέλες, και ένα τρίποδο.

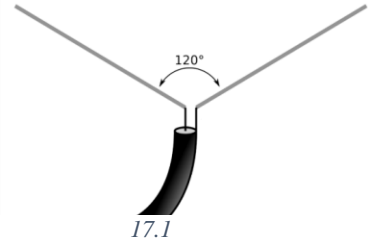
Βήματα κατασκευής:



1. Κόβω 2 ίσα μέρη της μεταλλικής ράβδου με μικρός περίπου 54.7mm το κάθε ένα.
2. Κόβω ένα κομμάτι PVC σωλήνα μήκους 30εκ. του οποίου ο ρόλος είναι να κρατάει τους 2 πόλους στη θέση τους και να δίνει μια βάση για να στηριχτεί είτε σε ένα τρίποδο είτε να μπορεί να κρατηθεί με το χέρι.
3. Ανοίγω 2 οπές στη κορυφή του σωλήνα με γωνία  $120^\circ$  η μία από την άλλη έτσι ώστε να περάσω τον κάθε πόλο μέσα από την κάθε οπή.

Ο κάθε πόλος στηρίζεται στον σωλήνα με μια ροδέλα και ένα παξιμάδι από την εσωτερική και εξωτερική τού μεριά.

4. Τα παξιμάδια από την εσωτερική πλευρά του σωλήνα επίσης συγκρατούν και τα το ομοαξονικό καλώδιο το οποίο έχει συνδεθεί στους πόλους με τον τρόπο που βλέπουμε στην εικόνα



## 4.5 κατασκευή Κατασκευή Διπλής σταυρωτής δίπολης κεραίας

Για την κατασκευή της Double cross κεραίας, θα χρειαστούν τα παρακάτω υλικά:

1. Ομοαξονικό καλώδιο: RG-58 ή RG-6.



18.1

2. Σύνδεσμοι: Σύνδεσμος BNC ή SMA με την είσοδο του SDR δέκτη).

(ανάλογα



19.1

3. Ατσάλινη ντίζα.



20.1

#### 4. Σωλήνας PVC

21.1

#### 5. 2 ξύλινα δοκάρια μήκους περίπου 50εκ. το κάθε ένα

#### 6. 4 PVC τάφ σωλήνων.



22.1

#### 7. Υλικά στήριξης: Βίδες, παξιμάδια, ροδέλες, και ένα τρίποδο.

#### **Βήματα κατασκευής:**

Το πρώτο βήμα είναι να ενώσω τα 2 ξύλινα μέρη έτσι ώστε να σχηματίζουν έναν σταυρό.

Στην άκρη της κάθε μιας από τις τέσσερις πλευρές τοποθετώ και ένα PVC τάφ όπου από τη κάθε πλευρά του θα βγαίνει και ένας πόλος σύμφωνα με την συνδεσμολογία της εικόνας.

Το τελευταίο βήμα είναι να συνδέσω στο κάτω μέρος του σταυρού έναν PVC σωλήνα για να μπορέσω να το χρησιμοποιήσω ως βάση για να μπορέσει να συνδεθεί στο τρίποδο.

#### **Σωστή πόλωση**



Για να επιτευχθεί η δεξιά κυκλική πόλωση, τα ζεύγη πόλων τροφοδοτούνται σε φάση, αλλά ένα από τα ζεύγη τροφοδοτείται εκτός φάσης σε σχέση με το άλλο ζεύγος κατά  $90^\circ$ . Στη συγκεκριμένη περίπτωση, το ζεύγος δίπολων Βορρά-Νότου είναι  $90^\circ$  νωρίτερα από το ζεύγος Δύσης-Ανατολής.

Για την τροφοδοσία των δίπολων χρειαζόμαστε ομοαξονικό καλώδιο για κάθε δίπολο. Τα δύο καλώδια που συνδέονται στο Βορρά και στο Νότο πρέπει να έχουν το ίδιο μήκος, και αυτά που συνδέονται στη Δύση και στην Ανατολή πρέπει να είναι κατά ένα τέταρτο μεγαλύτερα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μετατόπιση φάσης κατά  $90^\circ$  που απαιτείται για την πόλωση. Ένα γραφικό παράδειγμα της συνδεσμολογίας μπορούμε να δούμε στη εικόνα

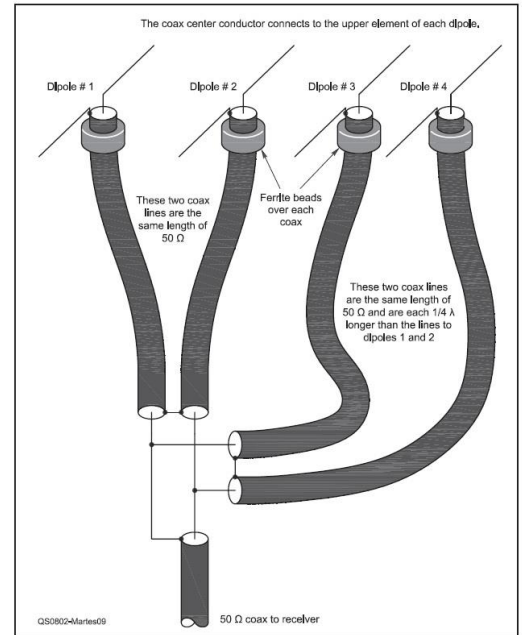


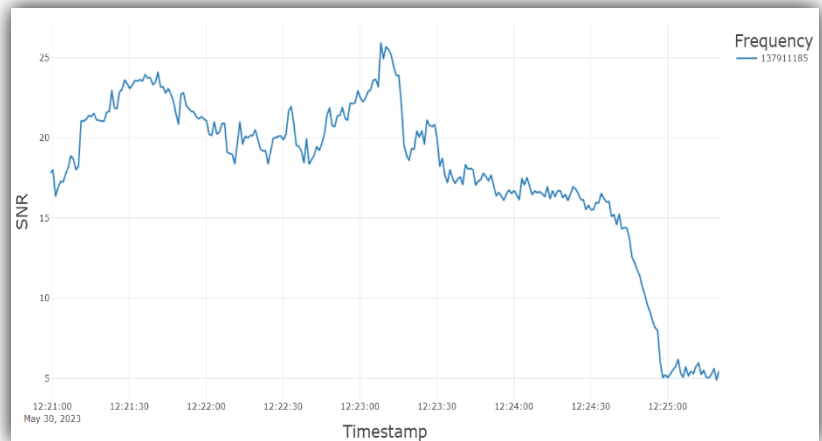
Figure 9 — Harness for Double Cross using 50  $\Omega$  coax.

I

## 4.6 Ανάλυση SNR και λήψη εικόνων

### V-dipole SNR

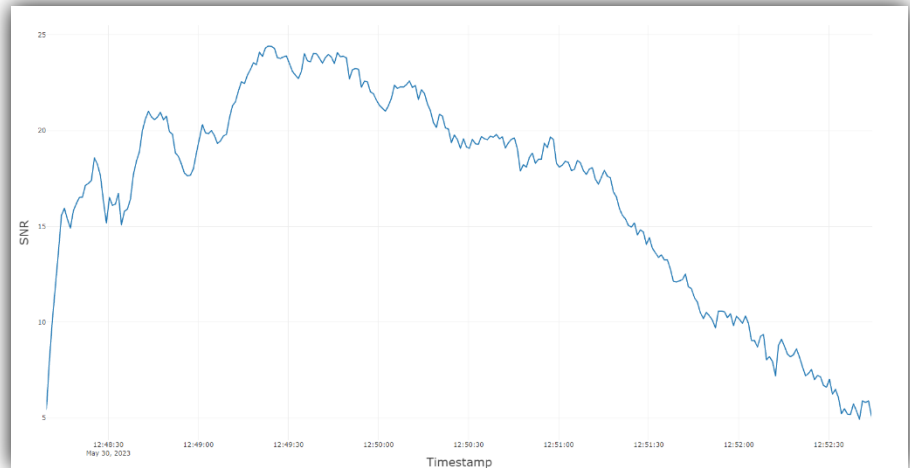
Παρατηρούμε πώς, όσο αυξάνεται ο χρόνος τόσο αυξάνεται και το SNR, όπου τη χρονική στιγμή 12:23:08 φτάνει στη μέγιστη τιμή SNR 25.9dB. Μετά από την χρονική στιγμή 12:23:18 το SNR μειώνεται καθώς ο χρόνος αυξάνεται γιατί ο δορυφόρος έχει πλέον αρχίσει να κατεβαίνει στον ουρανό πίσω από την κεραία. Με λίγα λόγια αυτό που παρατηρούμε είναι πώς το σήμα αυξάνεται καθώς πλησιάζει προς τον ουρανό πάνω από την κεραία ο δορυφόρος και μειώνεται καθώς φεύγει μακριά από αυτόν.



24.1

## Double Cross antenna SNR

Όπως και στην εικόνα 24.1 παρατηρούμε πώς όσο ο δορυφόρος πλησιάζει το σήμα ενισχύεται φτάνοντας στην μέγιστη τιμή SNR 24.42 τη χρονική στιγμή 12:49:23. Επίσης παρατηρούμε πώς όσο ο δορυφόρος πέφτει πίσω από την καμπύλη της Γης ο σήμα μειώνεται.

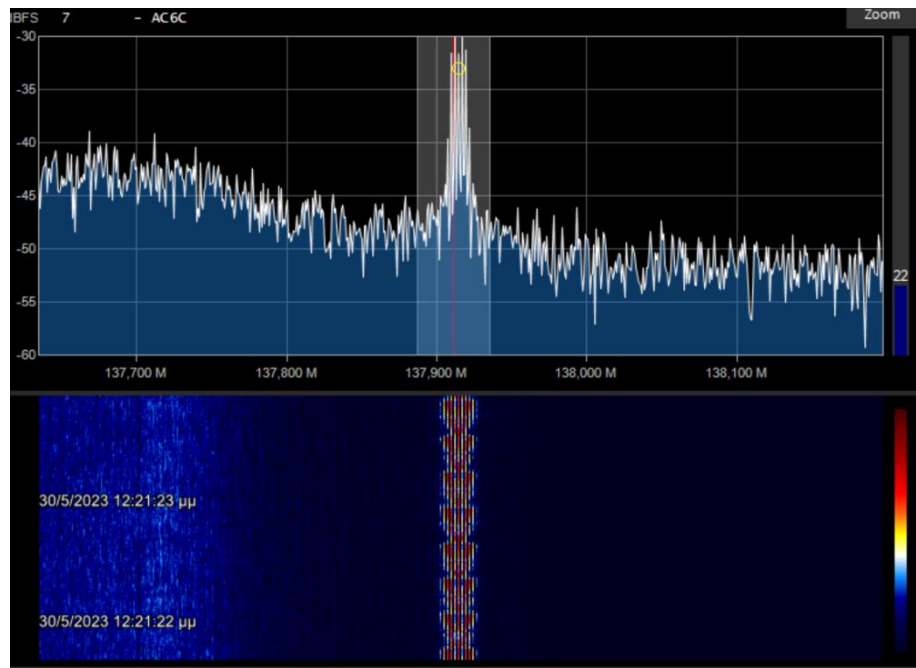


Τελικός το SNR μοιάζει να είναι σχεδόν το ίδιο στη μέγιστη τιμή και στις 2 κεραίες.

24 2

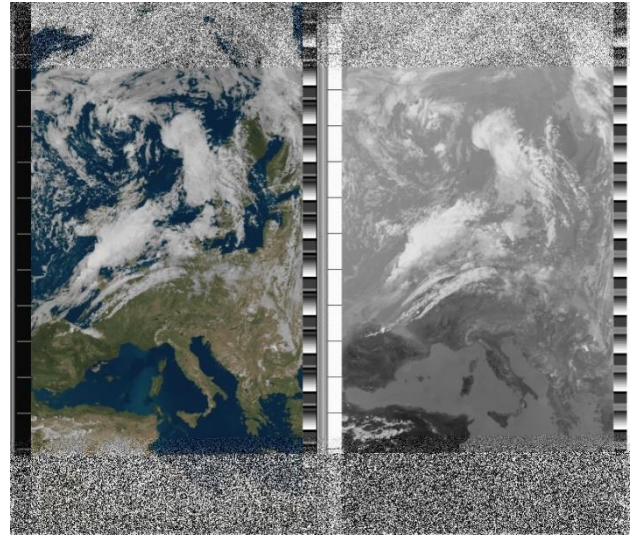
## Λήψη εικόνας με την V-dipole κεραία

Στην εικόνα 26.1 βλέπουμε τον καταρράκτη του ληφθέντος σήματος από τον δορυφόρο NOAA 19 από την V-dipole κεραία. Ο καταρράκτης σήματος είναι μια γραφική αναπαράσταση των σημάτων σε ένα εύρος συχνοτήτων, γενικά με χρωματική κωδικοποίηση που υποδεικνύει το πλάτος ή την ισχύ του σήματος και εμφανίζεται με την πάροδο του χρόνου. Πιο συγκεκριμένα στην εικόνα βλέπουμε τη Αυτόματη Μετάδοση Εικόνας (APT), όπου είναι ένας αναλογικός τρόπος μετάδοσης εικόνας που χρησιμοποιείται από τους μετεωρολογικούς δορυφόρους NOAA και ορισμένους ρωσικούς μετεωρολογικούς δορυφόρους για τη μετάδοση δορυφορικών μετεωρολογικών φωτογραφιών. Γνωρίζουμε πώς το σήμα που λαμβάνουμε έχει διαμόρφωση AM και εύρος ζώνης 34 kHz. Με βάση αυτά τα δεδομένα ρυθμίζουμε το λογισμικό λήψης στη προκειμένη το CubicSDR.



26.1

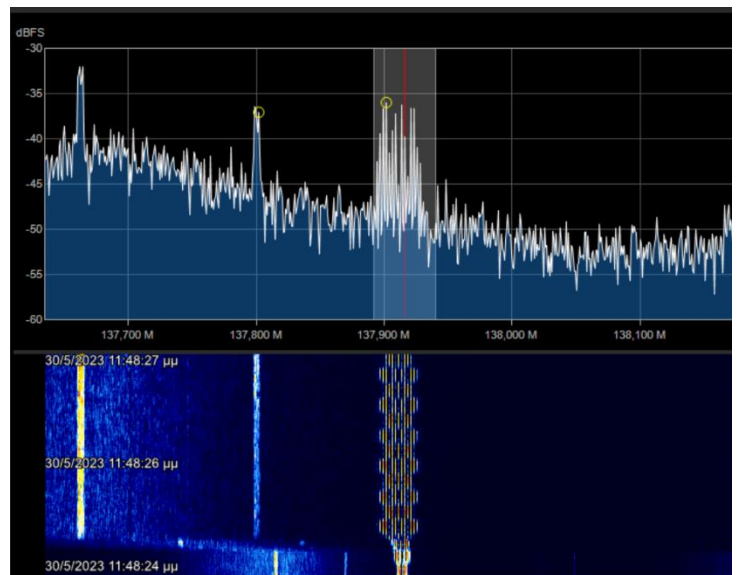
Στην εικόνα 27.1 παρατηρούμε όπως θα μπορούσαμε να προβλέψουμε και με τα δεδομένα του SNR πώς η λαμβανομένη εικόνα έχει αρκετό θόρυβο στην αρχή και απότομα κόβεται το σήμα προς το τέλος. Επίσης παρατηρούμε πώς όταν ο δορυφόρος βρίσκεται σε μεγάλη γωνία πάνω από την κεραία έχουμε πολύ καθαρότερο σήμα και καλύτερη εικόνα.



27.1

### Λήψη εικόνας με την Double-cross κεραία

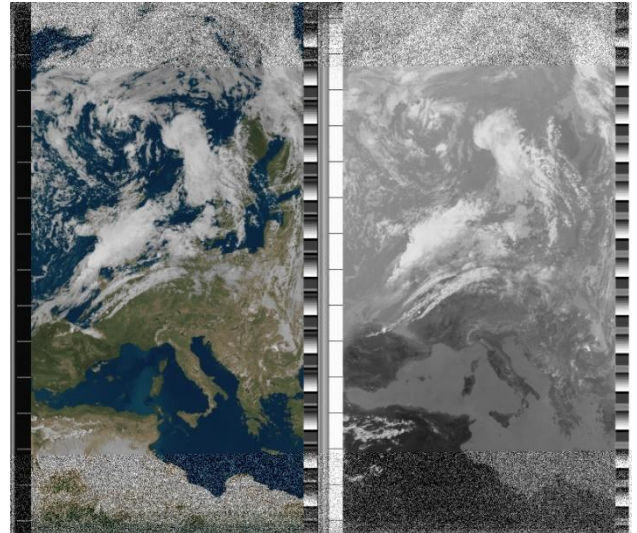
Στην εικόνα 28.1 βλέπουμε τον καταρράκτη του ληφθέντος σήματος από τον δορυφόρο NOAA 19 από την Double-cross κεραία. Παρατηρούμε πως το σήμα φαίνεται καθαρότερο από ότι στη σχετική εικόνα της V-dipole κεραίας.



28.1



Στη εικόνα 29.1 βλέπουμε μια εμφανώς καθαρότερη εικόνα, όπως και πάλι θα μπορούσαμε να προβλέψουμε κοιτώντας το διάγραμμα SNR για την Double-cross κεραία. Επίσης παρατηρούμε πώς προς το τέλος της λήψης το σήμα δεν χάνεται ξαφνικά όπως στη εικόνα 27.1.



29.1

## 5.1 Συμπέρασμα:

Οι εικόνες είναι σχεδόν ίδιες μεταξύ τους η διαφορά που παρατηρούμε είναι και η αναμενόμενη με βάση το radiation pattern και τους υπολογισμούς που έχουμε κάνει σε προηγούμενα βήματα. Με βάση τα διαγράμματα SNR και τις τελικές εικόνες παρατηρούμε πως η λήψη της εικόνας με Double-cross κεραία είναι λίγο καθαρότερη καθώς η συγκεκριμένη κεραία έχει καλύτερη απόδοση σε χαμηλότερες γωνίες σε σχέση με τη V-dipole κεραία. Το αποτέλεσμα επιβεβαιώνει και τη θεωρία στο κεφάλαιο 2.1 καθώς και τα δεδομένα από τα διαγράμματα SNR

## Βιβλιογραφικές Αναφορές

1. En.wikipedia.org. 2022. *Signal-to-noise ratio* - Wikipedia. [online] Available at: <[https://en.wikipedia.org/wiki/Signal-to-noise\\_ratio](https://en.wikipedia.org/wiki/Signal-to-noise_ratio)> [Accessed 29 July 2022].
2. Kieser, R., Reynisson, P. and Mulligan, T., 2005. *Definition of signal-to-noise ratio and its critical role in split-beam measurements*. [online] Watermark.silverchair.com. Available at: <[https://www.nesdis.noaa.gov/current-satellite-missions/history-of-noaa-satellites](https://watermark.silverchair.com/62-1-123.pdf?token=AQECAHi208BE49Ooan9kKhW_Ercy7Dm3ZL_9Cf3qfKAc485ysgAAAs4wggLKBgkqhkiG9w0BBwagggK7MIICtwIBADCCArAGCSqGSIb3DQEhATAeBglghkgBZQMEAS4wEQQM7fPoHnTfIB-LeINwAgEQgIICgXsXBNSPCRZIDw_fd7rIbJ3LaTLt45MDIUdzDv5wKsKSRTeQB9QFJ727kK2FI8GRwUSLm3KciEeH1q7EFpYVOQqrIv4IbP-MgtN7spc_mAKOiYPX26KJ40y9boY84NyGzj_GC0hPLrHv7SLk5FFhmoKOY5EnJeIXSHBwpaCsrBsUG6vSOIBsoZizH7H6WQ4MV4PRkuHDZqUMU7NIMREyFr9-lIDA6uK_VcDToFJhF2Yer9UxguJyqPfrEpa3HPH0zabY6t94FfAJJebceia_o8jU3blfz8_jtJyp6acNs3loEnCUwea_hxP7v3QHCzEx3v46HpI50iCTtStNkff6dw356RGqAPElf5Yyd2-x3zE75svmY_TbimqkqyvRLdmDpW-ywJiV2ZVGR0kx7LqYOPXnkGQXxOIHQU6OVXQok8LMTAPy2aq6pfYHp7YTtBSJ1UM0OgKWDu9Jp3YEgYBRfvNcbnayxaOxdzQxlXkTcZmYLdO7XP_K5qAh1QzegBQccWX_IM76zUU6T59gl2GItaeevXkYkD86XMuUgWzZFfi-DqyF2Z2ds7CPy10h5ihtuVb-TVHRQRy7e3ZJz_wtATjDPBoUC0zyfRpgLDp5N-H0p7jTN0MgUvfOdZ69ik2M0fgCv1-o77QyiTzLyY5Bztp9YOYX_6IHVbMqxKoWbmWkf0V2kjs8Vbbr7tRjmrqwoRuVMsVk66RKVR6pxl8vCAcvJxXIX0uhhUftNQ4id5PZI3onB-nhvEIF5_Us0IOk8xT-DUdHdtZs7qbvGFuv6YvCvmhpn1LdghxWsrM18djAED7h3vpix-RALO6TtdrZLVtZHMzrCUunlLPlcgFlhS_> [Accessed 10 July 2023].</li><li>3. NESDIS. n.d. <i>History of NOAA Satellites</i>. [online] Available at: <<a href=)> [Accessed 12 July 2023].

4. Fathurahman, M., 2019. *Design and Development of Dipole Antenna for NOAA Satellite Image Acquisition System and Processing*. [online] Iopscience.iop.org. Available at: <<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1364/1/012025/pdf>> [Accessed 9 July 2023].
5. Earthobservatory.nasa.gov. 2022. *Catalog of Earth Satellite Orbits*. [online] Available at: <<https://earthobservatory.nasa.gov/features/OrbitsCatalog>> [Accessed 1 August 2023].
6. En.wikipedia.org. 2022. *Circular polarization - Wikipedia*. [online] Available at: <[https://en.wikipedia.org/wiki/Circular\\_polarization](https://en.wikipedia.org/wiki/Circular_polarization)> [Accessed 5 August 2023].
7. En.wikipedia.org. 2022. *Satellite History - Wikipedia*. [online] Available at: <<https://en.wikipedia.org/wiki/Satellite#:~:text=The%20first%20artificial%20satellite%20was,Sergei%20Korolev%20as%20chief%20designer.>> [Accessed 5 August 2022].
8. En.wikipedia.org. 2022. *Satellite bus - Wikipedia*. [online] Available at: <[https://en.wikipedia.org/wiki/Satellite\\_bus](https://en.wikipedia.org/wiki/Satellite_bus)> [Accessed 5 August 2022].
9. Rafsyam, Yenniwarti & Z., Indra & Khairas, Eri & Jonifan, & Karimah, Wafi. (2019). *Design of Double Cross Dipole Antenna as NOAA Satellite Signal Receiver for Monitor Cloud Conditions Application. Journal of Physics: Conference Series. 1364. 012059. 10.1088/1742-6596/1364/1/012059.*
10. Καρτάλης, Κ., and Χ. Φείδας . 2013. *ΑΡΧΕΣ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ*. Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ.
11. Newton, Isaac, 1642-1727. *Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*. Londini :Apud G. & J. Innys, 1726.
12. Sputnik 1 and the first satellite ionospheric experiment - researchgate. Available at: [https://www.researchgate.net/profile/V-Kuznetsov-6/publication/309858564\\_Sputnik\\_1\\_and\\_the\\_First\\_Satellite\\_Ionospheric\\_Experiment/links/5825854808ae61258e45ca35/Sputnik-1-and-the-First-Satellite-Ionospheric-Experiment.pdf](https://www.researchgate.net/profile/V-Kuznetsov-6/publication/309858564_Sputnik_1_and_the_First_Satellite_Ionospheric_Experiment/links/5825854808ae61258e45ca35/Sputnik-1-and-the-First-Satellite-Ionospheric-Experiment.pdf) (Accessed: 17 September 2023).
13. Κωπτής, Π. Γ., Καθηγητής ΕΜΠ, & Καψάλης, Χ. Ν., Καθηγητής ΕΜΠ (2024). *ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ* (2nd ed.). Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ.
14. Evans, B.G. and Engineers, I. of E. (1999) *Satellite Communications Systems ; 3rd Edition*. Institution of Engineering and Technology - IET.
15. Charoenkarn, P., Meerabeab, S. and Jantarachote, V. (no date) *Low-cost fixed-site ground station system for receiving NOAA-19 satellite*, [www.ieice.org](http://www.ieice.org). Available at: [https://www.ieice.org/cs/isap/ISAP\\_Archives/2020/pdf/4G2-6.pdf](https://www.ieice.org/cs/isap/ISAP_Archives/2020/pdf/4G2-6.pdf) (Accessed: 17 September 2023).
16. Loff, S. A., & Loff, S. A. (2023, August 21). *Explorer 1 Overview*. NASA. <https://www.nasa.gov/history/explorer-1-overview/>
17. TIROS - NASA Science. (n.d.). <https://science.nasa.gov/mission/tiros/>
18. *Ionospheric scintillation | NOAA / NWS Space Weather Prediction Center*. (n.d.). <https://www.swpc.noaa.gov/phenomena/ionospheric-scintillation#:~:text=Ionospheric%20scintillation%20is%20the%20rapid,impossible%20to%20calculate%20a%20position.>
19. Plain, C. (2023, November 24). *Weather Ballooning from Space*. Earthdata. <https://www.earthdata.nasa.gov/learn/articles/access19-cloud-based-radio-occultation>



# Φωτογραφικό υλικό από τη κατασκευή των κεραιών

Διπλή σταυρωτή δίπολη κεραία



Δίπολη κεραία

