

**Τεχνολογικό
Εκπαιδευτικό
Ίδρυμα
Μεσολογγίου**



Τμήμα Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων και Δικτύων

Πτυχιακή Εργασία

Σαλονικίδη Ελένη

Αριθμός Μητρώου : 0563

Θέμα :

“Ανάλυση Μετρήσεων Δορυφορικών Ζεύξεων”

Επιβλέπων : Λούβρος Σπυρίδων , Ασαρίδης Ηλίας

Ναύπακτος , Φεβρουάριος 2013

Περιεχόμενα

Πρόλογος

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή.....	6
1.1 Γενικά.....	6
1.2 Εξέλιξη στις Δορυφορικές Επικοινωνίες.....	7
1.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα.....	9
1.4 Παγκόσμιοι Δορυφορικοί Οργανισμοί.....	10
1.4.1 Intelsat.....	10
1.4.2 Inmarsat.....	11
1.4.3 Eutelsat.....	11
Κεφάλαιο 2: Οργάνωση Συστήματος Δορυφορικών Επικοινωνιών.....	12
2.1 Το Διαστημικό Τμήμα.....	12
2.2 Το επίγειο τμήμα.....	13
2.3 Τηλεμετρία, παρακολούθηση, σύστημα εντολών και ελέγχου.....	14
2.4 Σύστημα τηλεμετρίας και παρακολούθησης.....	15
2.5 Παρακολούθηση θέσης δορυφόρου.....	16
2.6 Σύστημα εντολών.....	16
2.7 Σύστημα ισχύος.....	17
2.8 Υποσυστήματα δορυφόρου.....	17
2.9 Αναμεταδότες.....	18
Κεφάλαιο 3: Δορυφορική Ζεύξη.....	21
3.1 Βασικές σχέσεις διάδοσης ΗΜ κυμάτων.....	21
3.2 Βασικά είδη δορυφορικών κεραιών.....	24
3.3 Το παραβολικό κάτοπτρο.....	25
3.4 Μεγάλοι Σταθμοί.....	28
3.5 VSATs.....	28
3.6 Σταθεροί μικροί σταθμοί.....	31
3.7 Γεωσύγχρονοι Δορυφόροι.....	33
3.8 Γεωστατικοί Δορυφόροι.....	33
Κεφάλαιο 4: Τύποι Τροχιάς.....	34
4.1 Τροχιές γύρω από τη γη.....	34
4.1.1 Δορυφόροι LEO.....	34

4.1.2 Δορυφόροι ΜΕΟ.....	36
4.1.3 Δορυφόροι GEO.....	37
4.2 Επιλογή Τροχιάς.....	39
4.3 Εισαγωγή στα προβλήματα διάδοσης των Ραδιοκυμάτων μέσω της ατμόσφαιρας.....	39
4.4 Το δορυφορικό Ραδιοφάσμα.....	41
Κεφάλαιο 5: Θόρυβος στα δορυφορικά συστήματα.....	44
5.1 Προέλευση του θορύβου.....	44
5.2 Χαρακτηρισμός και ορισμός του θορύβου.....	44
5.3 Η θερμοκρασία θορύβου μιας δίθυρης πηγής θορύβου.....	45
5.4 Ενεργός θερμοκρασία θορύβου στην είσοδο ενός τετράθυρου στοιχείου.....	46
5.5 Ενεργός θερμοκρασία θορύβου εισόδου μερικών στοιχείων σε σειρά.....	47
5.6 Θερμοκρασία θορύβου κεραίας.....	47
5.7 Θερμοκρασία θορύβου ενός εξασθενητή.....	47
5.8 Θερμοκρασία θορύβου του συστήματος.....	48
5.9 Απόσβεση λόγω ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων.....	49
5.9.1 Εμπειρικό Μοντέλο CCIR.....	49
Κεφάλαιο 6 : Παράγοντες που επηρεάζουν την διάδοση του δορυφορικού σήματος.....	53
6.1 Φαινόμενα διάδοσης που επηρεάζουν τις δορυφορικές ζεύξεις.....	53
6.1.1 Εξασθένηση λόγω ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων.....	53
6.1.2 Απόσβεση από αέρια της ατμόσφαιρας.....	55
6.1.3 Εξασθένηση λόγω νεφώσεων.....	56
6.1.4 Εξασθένηση από το στρώμα τήξης του πάγου.....	57
6.1.5 Αύξηση της θερμοκρασίας θορύβου.....	57
6.1.6 Τροποσφαιρικοί σπινθηρισμοί.....	57
6.1.7 Αποπόλωση.....	58
6.1.8 Παρεμβολές λόγω διάδοσης.....	58
6.1.9 Συνύπαρξη φαινομένων διάδοσης σε δορυφορικές ζεύξεις.....	59
Κεφάλαιο 7: Συστήματα πολλαπλής προσπέλασης.....	61
7.1 Πολλαπλή προσπέλαση με διαίρεση συχνότητας (FDMA).....	63
7.2 Πολλαπλή προσπέλαση με διαίρεση χρόνου (TDMA).....	64
7.3 Πολλαπλή προσπέλαση με διαίρεση κώδικα (CDMA).....	65
Κεφάλαιο 8: Ανάλυση Μετρήσεων.....	67

8.1 Ισχύ λήψης και καιρικές συνθήκες.....	67
8.2 Ισχύ λήψης και απόσταση.....	68
8.3 Capacity και απόσταση.....	70
8.4 Capacity και απόσταση (με καιρικές παρεμβολές).....	71
8.5 BER και απόσταση.....	72
8.6 BER και ισχύ εκπομπής με ατμοσφαιρικές παρεμβολές.....	73
8.7 BER με ισχύ εκπομπής και διάμετρο.....	75
8.8 BER with satellite distance and water density.....	76
8.9 Ισχύ λήψης με ισχύ εκπομπής και διάμετρος της κεραίας του πομπού.....	77
8.10 Μεταβλητές Κώδικα.....	78
8.11 Υπολογισμός air_fade (Matlab).....	79
8.12 Υπολογισμός antenna_gain (Matlab).....	80
8.13 Υπολογισμός BER (Matlab).....	80
8.14 Υπολογισμός Capacity (Matlab).....	80
8.15 Υπολογισμός cloud_fade (Matlab).....	80
8.16 Υπολογισμός EIRP (Matlab).....	81
8.17 Υπολογισμός free_space_loss (Matlab).....	81
8.18 Υπολογισμός rain_fade (Matlab).....	81
8.19 Υπολογισμός total_loss (Matlab).....	82
Βιβλιογραφία	83

Πρόλογος

‘Οι δορυφορικές επικοινωνίες είναι το αποτέλεσμα της έρευνας στον τομέα των επικοινωνιών, με αντικειμενικό σκοπό την επίτευξη όλο και μεγαλύτερης εμβέλειας και χωρητικότητας (σε πληροφορία), με το μικρότερο δυνατό κόστος.’

Η εργασία αυτή αποτελεί μια εκτενή αναφορά στις δορυφορικές επικοινωνίες και στο πως αυτές χρησιμοποιούνται. Στην αρχή γίνεται μια σύντομη αναφορά στις δορυφορικές επικοινωνίες γενικότερα, στην ιστορία τους και στην εξέλιξη τους στο πέρασμα των χρόνων. Τα δορυφορικά συστήματα έχουν, εδώ και χρόνια, εμφανιστεί στο προσκήνιο, μαζί με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που αυτό συνεπάγεται. Στηριζόμενοι στις δορυφορικές επικοινωνίες, δεν είναι λίγοι οι οργανισμοί που επένδυσαν σε αυτές και στην έρευνα τους. Ανάμεσα στους οργανισμούς αυτούς και μεγάλα ονόματα, όπως οι: Intelsat, Inmarsat και Eutelsat. Από τι μέρη όμως αποτελείται ένας δορυφόρος; Ποια είναι τα υποσυστήματα που συνεργάζονται τόσο αρμονικά μεταξύ τους για την επίτευξη της λειτουργίας του; Ένα δορυφορικό σύστημα στηρίζεται σε μία δορυφορική ζεύξη. Για τη δημιουργία και τη μελέτη της χρησιμοποιήθηκαν οι γνώσεις του ανθρώπου γύρω από τον ηλεκτρομαγνητισμό και τη μετάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στο κενό. Όμως ένα δορυφορικό σύστημα έχει ένα πολύ σημαντικό πρόβλημα να αντιμετωπίσει, τον θόρυβο και τις παρεμβολές που δημιουργούνται από όλα τα επιμέρους τμήματά του, καθώς επίσης και από το ίδιο του το περιβάλλον. Στην παρούσα εργασία, γίνεται εκτενής αναφορά όλων των παραπάνω και στο πως αυτά επηρεάζουν το σύστημά μας. Στο τελευταίο κεφάλαιο ακολουθεί η εκτέλεση της προσομοίωσης με τα αντίστοιχα σχήματα που προκύπτουν.

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Τα δορυφορικά τηλεπικοινωνιακά συστήματα υπάρχουν επειδή η γη είναι σφαιρική. Τα ραδιοκύματα διαδίδονται ευθύγραμμα, έτσι ένας επαναλήπτης είναι απαραίτητος να μεταφέρει αυτά τα κύματα σε μεγάλες αποστάσεις. Οι δορυφόροι, εφόσον μπορούν να συνδέσουν σημεία στη γη που απέχουν πολλά χιλιάδες μίλια, είναι ένα καλό μέρος έναν επαναλήπτη. Ο επαναλήπτης λειτουργεί ταυτόχρονα ως πομπός και δέκτης χρησιμοποιώντας δύο διαφορετικές συχνότητες (άνω και κάτω ζεύξης). Έτσι ένας επαναλήπτης δέχεται ένα σήμα από έναν επίγειο σταθμό, το ενισχύει και το αναμεταδίδει σε έναν άλλο σταθμό στη γη. Η πλειοψηφία των τηλεπικοινωνιακών δορυφόρων βρίσκονται σε γεωστατική τροχιά, σε ύψος 35.786 km. Η απόσταση μεταξύ ενός δορυφόρου και ενός επίγειου σταθμού είναι 38.500 km.

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα εξασθενούν με το τετράγωνο της απόστασης που διανύουν με αποτέλεσμα τα σήματα που φτάνουν στο δορυφόρο να είναι πάντα εξασθενημένα. Έτσι, αρχικά χρησιμοποιούνταν μεγάλες κεραίες λήψης με διάμετρο πάνω από 30 μέτρα ώστε να μπορούν να λαμβάνουν το εξασθενημένο σήμα. Όσο οι δορυφόροι γίνονταν μεγαλύτεροι, βαρύτεροι και με μεγαλύτερη ισχύ, τοποθετήθηκαν μικρότερες κεραίες στους επίγειους σταθμούς (με διάμετρο μικρότερη από 0.5 m). Τα 20 χρόνια της λειτουργίας των δορυφορικών συστημάτων χρησιμοποιούνταν αναλογικά σήματα, ενώ σήμερα η πλειοψηφία των σημάτων είναι ψηφιακά.

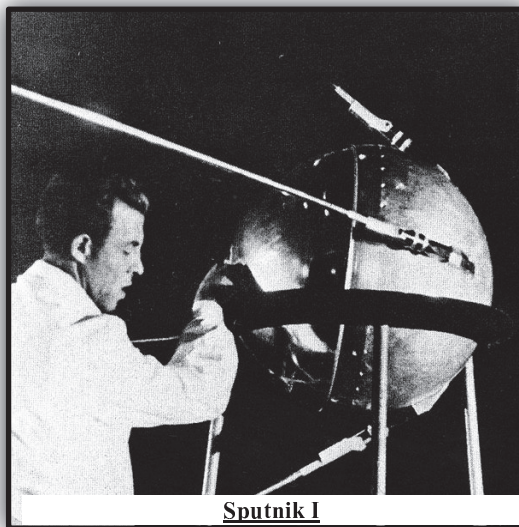


1.2 Εξέλιξη στις Δορυφορικές Επικοινωνίες

Δύο εξελίξεις στον εικοστό αιώνα άλλαξαν τον τρόπο ζωής των ανθρώπων, το αυτοκίνητο και οι τηλεπικοινωνίες. Όπως και πριν το αυτοκίνητο οι άνθρωποι για τις μετακινήσεις τους έπρεπε να χρησιμοποιούν τα πόδια, το ποδήλατο ή το άλογο, έτσι και πριν τον τηλεγράφο και το τηλέφωνο, όλες οι επικοινωνίες γίνονταν είτε πρόσωπο με πρόσωπο είτε γραπτώς.

Τα τηλεπικοινωνιακά συστήματα σήμερα μας δίνουν τη δυνατότητα να επικοινωνούμε με οποιονδήποτε οποιαδήποτε στιγμή. Από τα σύρματα χαλκού που διασχίζουν στεριά και θάλασσα έχουμε φτάσει στη χρήση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και τεχνητών δορυφόρων που καθιστούν δυνατή τη διηπειρωτική επικοινωνία. Οι τεχνητοί δορυφόροι έχουν χρησιμοποιηθεί στα τηλεπικοινωνιακά συστήματα για περισσότερα από 35 χρόνια και έχουν πια γίνει απαραίτητο μέρος της παγκόσμιας τηλεπικοινωνιακής δομής.

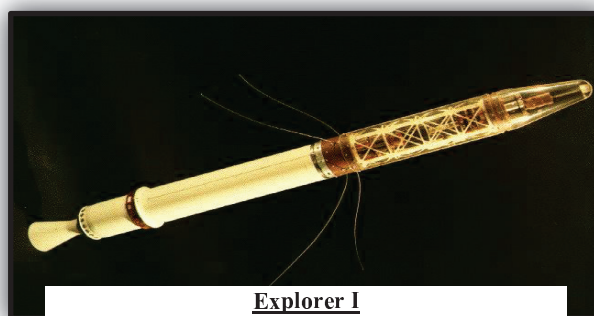
Οι σύγχρονες δορυφορικές επικοινωνίες έχουν την αφετηρία τους στην ιδέα του Βρετανού A.J. Clarke, ο οποίος το φθινόπωρο του 1945 δημοσίευσε ένα μικρό άρθρο με τον τίτλο *Wireless World*, στο οποίο πρότεινε την εγκατάσταση γεωστατικών δορυφόρων γύρω από τη Γη. Οι δορυφόροι αυτοί θα είχαν τη δυνατότητα να μεταδίδουν μικροκυματικά σήματα σε μεγάλες αποστάσεις επιτυγχάνοντας τηλεπικοινωνιακή σύνδεση μεταξύ απομακρυσμένων σημείων. Χρειάστηκε να περάσουν αρκετά χρόνια για να υλοποιηθούν οι προφητικές ιδέες του Clarke. Το 1957 τέθηκε σε τροχιά ο πρώτος τεχνητός δορυφόρος *Sputnik I*.



Sputnik I

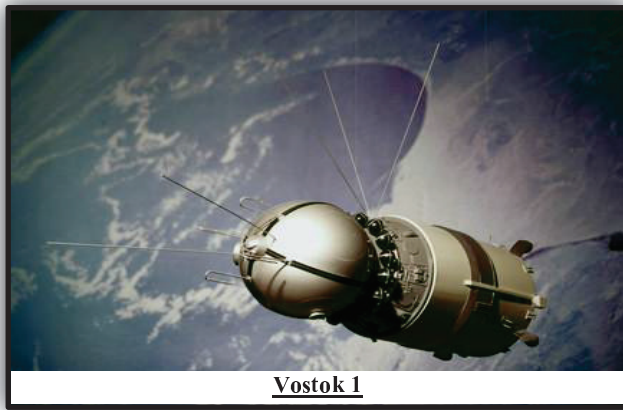
Το Νοέμβριο του ίδιου έτους η ΕΣΣΔ αποστέλλει και δεύτερο δορυφόρο, τον *Sputnik II*, που μεταφέρει το πρώτο ζωντανό πλάσμα στο διάστημα.

Τον Φεβρουάριο του 1958 οι ΗΠΑ μπαίνουν στην κούρσα εξερεύνησης και κατάκτησης του διαστήματος με το δορυφόρο *Explorer I*. Τα δεδομένα τηλεμετρίας που συνέλεξε και απέστειλε στη Γη οδήγησαν στην ανακάλυψη των ζωνών Van Allen.



Explorer I

Τον Δεκέμβριο του ίδιου έτους εκτοξεύεται ο πρώτος τηλεπικοινωνιακός δορυφόρος, ο *S.C.O.R.E.* (Signal Communication by Orbiting Relay Experiment).



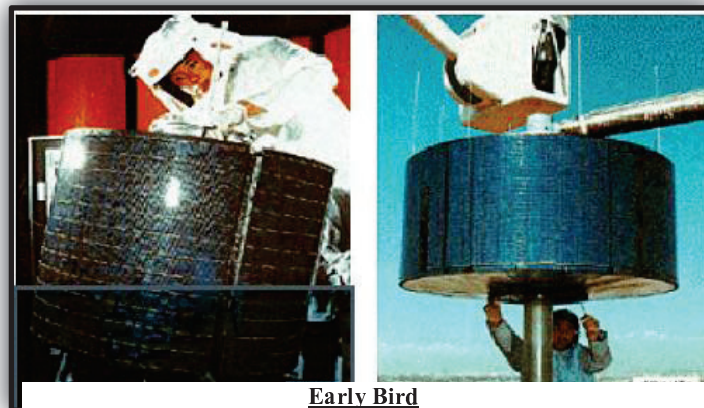
Vostok 1

Τον Απρίλιο του 1961 πραγματοποιείται η πρώτη πτήση ανθρώπου στο διάστημα. Ο Yuri Gagarin κάνει μια πλήρη περιστροφή γύρω από τη Γη σε 108 λεπτά πάνω στο διαστημόπλοιο *Vostok 1*.

Το 1962 γίνεται η αποστολή του πρώτου ενεργού δορυφόρου αναμετάδοσης *TELSTAR 1* της AT&T (δορυφόρος σε τροχιά μέσου ύψους 7.200km). Λάμβανε στα 6 GHz, μετέτρεπε σε χαμηλότερη συχνότητα, ενίσχυε, μετέτρεπε σε συχνότητα 4GHz και εξέπεμπε. Ο δορυφόρος αυτός επιτρέπει στα αμερικανικά και στα ευρωπαϊκά δίκτυα τηλεόρασης να ανταλλάσσουν τα προγράμματά τους.

Το 1963 εκτοξεύτηκε ο πρώτος δορυφόρος σε σχεδόν γεωστατική τροχιά *SYNCOM II* και στη συνέχεια το 1964 πραγματοποιείται η εκτόξευση του πρώτου γεωστατικού δορυφόρου *SYNCOM III*.

Το 1965 αποτελεί ένα πολύ σημαντικό σταθμό στην ιστορία των δορυφορικών επικοινωνιών καθώς τότε τίθεται σε τροχιά ο πρώτος γεωστατικός εμπορικός δορυφόρος, *Intelsat I (Early Bird)*, εγκαινιάζοντας τη μεγάλη ακολουθία των δορυφόρων Intelsat.



Early Bird

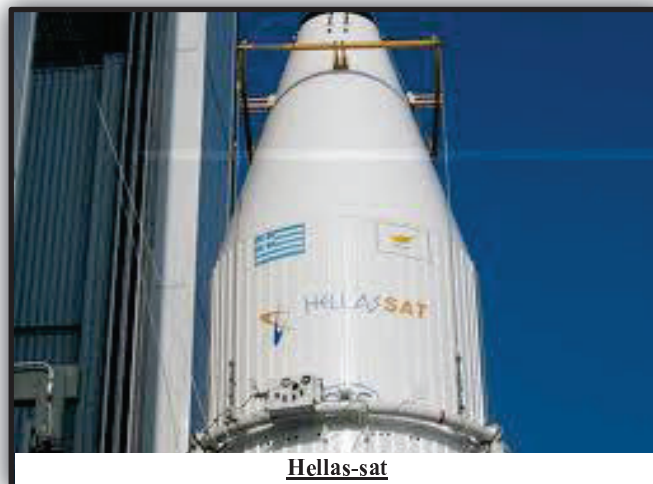
Την ίδια χρονιά ο πρώτος ρώσικος τηλεπικοινωνιακός δορυφόρος της σειράς *MOLNIYA* στέλνεται στο διάστημα. Ακολουθεί ο *Intelsat II* με δυνατότητα ταυτόχρονης εξυπηρέτησης 240 τηλεφωνικών συνδιαλέξεων ή ενός τηλεοπτικού καναλιού. Οι παραπάνω οικογένειες των δορυφόρων εξακολουθούν να παρέχουν τις υπηρεσίες τους μέχρι και σήμερα.

Το έτος 1967 εκτοξεύεται ο πρώτος γεωστατικός μετεωρολογικός δορυφόρος, ο *ATS 3*. Είναι ο πρώτος δορυφόρος που στέλνει έγχρωμες φωτογραφίες της Γης από το Διάστημα.

Το 1977 ιδρύεται ο *EUTELSAT* και το 1983 γίνεται η εκτόξευση του πρώτου Ευρωπαϊκού Δορυφόρου *ECS (EUTELSAT 1)*.

Το 2001 η Ελλάδα γίνεται μέλος της ESA και το 2002 ο πρώτος Ελληνικός Δορυφόρος σε τροχιά (ενοικίαση δορυφόρου Kopernikus).

Τέλος το 2003 ο πρώτος Ελληνικός δορυφόρος *HELLAS-SAT* τίθεται σε τροχιά.



1.3 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα

Συγκρίνοντας κάποιος τα δορυφορικά συστήματα με τα άλλα μέσα μπορεί να ξεχωρίσει τα παρακάτω πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα:

Πλεονεκτήματα

Το κόστος χρήσης τους είναι ανεξάρτητο από την απόσταση των επικοινωνούντων σταθμών.

Αποτελούν μοναδική λύση για την τηλεπικοινωνιακή κάλυψη δύσβατων περιοχών, όπου η χρήση ενσύρματων συστημάτων είναι αδύνατη ή έχει εξαιρετικά υψηλό κόστος, ενώ παράλληλα γίνεται παροχή υπηρεσιών σε περιοχές που τα επίγεια μέσα αδυνατούν (πλοία, αεροπλάνα κτλ.).

Οι δορυφόροι καλύπτουν εύκολα απαιτήσεις εκπομπής σημάτων ευρείας ζώνης συχνοτήτων.

Εγκαθίστανται γρήγορα και υπάρχει ευκολία αναδιάταξης. Η εκτόξευση ενός δορυφόρου είναι πολύ ευκολότερη και γρηγορότερη από την εγκατάσταση χιλιάδων καλωδίων.

Παρέχεται ακόμα η δυνατότητα ελέγχου του ιδιωτικού δικτύου από το χρήστη.

Παρέχουν υπηρεσίες σε περιπτώσεις αδυναμίας λειτουργίας των επίγειων δικτύων (πόλεμοι, καταστροφές).

Μειονεκτήματα

Η καθυστέρηση μετάδοσης. Για ένα γεωστατικό δορυφόρο και για κατακόρυφη πορεία μετάδοσης ενός σήματος (αποστολή και λήψη) απαιτούνται περίπου 240 ms, γεγονός που δημιουργεί πρόβλημα στην επικοινωνία μεταξύ ηλεκτρονικών υπολογιστών. Σημαντικό ρόλο παίζουν και οι διάφορες βλάβες κατά τη μετάδοση, όπως η βροχή.

Η έλλειψη ασφάλειας στις δορυφορικές επικοινωνίες. Για το λόγο αυτό τα δορυφορικά συστήματα χρησιμοποιούν εξειδικευμένες τεχνικές κρυπτογράφησης.

Το υψηλό κόστος τοποθέτησης των δορυφόρων σε τροχιά καθώς και ο σχετικά περιορισμένος χρόνος ζωής των διαστημικών δορυφορικών σταθμών (7-10 χρόνια). Είναι πολύ πιθανό ότι τις επίγειες και τις δορυφορικές επικοινωνίες θα τις ανταγωνιστούν επιθετικά όσον αφορά το κόστος.

Η συμφόρηση που συχνά παρατηρείται στη γεωστατική τροχιά και στις χρησιμοποιούμενες συχνότητες.

1.4 Παγκόσμιοι Δορυφορικοί Οργανισμοί

1.4.1 Intelsat

Η Intelsat είναι η μεγαλύτερη εμπορική εταιρία που παρέχει τηλεπικοινωνίες μέσω δορυφόρων. Σε καθημερινή βάση η Intelsat παρέχει υπηρεσίες βίντεο, δεδομένων και φωνής σε περίπου 200 χώρες και περιοχές για περίπου 1800 πελάτες, πολλοί από τους οποίους μετράνε πάνω από 30 χρόνια επαγγελματικής σχέσης μαζί της. Στο πελατολόγιο της Intelsat ανήκουν μερικές από τις πιο φημισμένες παγκοσμίως εταιρίες επικοινωνιών και οργανισμοί. Σήμερα η εταιρία διαθέτει πάνω από 54 τηλεπικοινωνιακούς δορυφόρους. Το 2007 διέθετε 51 δορυφόρους. Από το 1964 αποτελούσε έναν διεθνή οργανισμό. Το 2001 έγινε ιδιωτική εταιρία. Από τις σημαντικότερες στιγμές της επιχείρησης είναι η μετάδοση, το 1969, της προσσελήνωσης, που ήταν η πρώτη ζωντανή παγκόσμια τηλεοπτική μετάδοση, η υλοποίηση, το 1974, της πρώτης διεθνούς ψηφιακής τηλεφωνικής υπηρεσίας, η μεγαλύτερη τηλεδιάσκεψη, το 1987, (50.000 άνθρωποι από 79 πόλεις) και το 1993 η παροχή Internet υπηρεσιών. Η γενιά δορυφόρων που χρησιμοποιεί η Intelsat είναι η Intelsat X (2003) και πιο συγκεκριμένα, οι Intelsat 10-01 και 10-02.

1.4.2 Inmarsat

Διεθνής οργανισμός που παρέχει παγκόσμιες κινητές δορυφορικές επικοινωνίες και ιδρύθηκε το 1979. Διαθέτει ένα στόλο 11 τηλεπικοινωνιακών GEO δορυφόρων και από το 2005 είναι εισηγμένη στο χρηματιστήριο της Μεγάλης Βρετανίας. Από το 1999 είναι ιδιωτική εταιρία. Οι υπηρεσίες που προσφέρει αφορούν σε ξηρά, θάλασσα και αέρα. Εξυπηρετεί περισσότερα από 240.000 πλοία, αεροπλάνα, οχήματα και κινητά τηλέφωνα με υπηρεσίες φωνής, fax, δεδομένων ως 64 Kbps. Ένα τηλέφωνο της Inmarsat επικοινωνεί με το δορυφόρο και στη συνέχεια στέλνει σήματα σε ένα επίγειο σταθμό μέσω του δορυφόρου. Παρέχει αξιόπιστες λύσεις επικοινωνίας σε περιοχές στις οποίες δεν υπάρχουν καλά οργανωμένα δίκτυα τηλεπικοινωνιών. Σημαντικό είναι να σημειωθεί ότι παρέχονται υπηρεσίες ασφάλειας σε πλοία και αεροπλάνα χωρίς κάποιο κόστος αλλά σαν δημόσια υπηρεσία. Οι ακριβές τηλεφωνικές κλήσεις που παρείχε στο παρελθόν η εταιρία έχουν πλέον πέσει σε λογικά πλαίσια και οι χρεώσεις είναι ίδιες για οποιοδήποτε σημείο γίνονται οι κλήσεις. Το 2005 η εταιρία εκτόξευσε τους νέους της δορυφόρους οι οποίοι αποτελούν τους μεγαλύτερους τηλεπικοινωνιακούς δορυφόρους στο κόσμο. Εύλογα λοιπόν θεωρείται πρωτοπόρος στις κινητές δορυφορικές επικοινωνίες. Σήμερα βρίσκεται στην πρώτη θέση στις 3G ασύρματες επικοινωνίες, παρέχοντας αξιόπιστες broadband υπηρεσίες στο επιχειρηματικό, στο ναυτιλιακό και στο αεροναυπηγικό κοινό της.

1.4.3 Eutelsat

Η Eutelsat είναι μία Γαλλική πάροχος δορυφορικών υπηρεσιών με έδρα το Παρίσι. Παρέχει κάλυψη όλης της Ευρωπαϊκής ηπείρου, της Μέσης Ανατολής, της Κεντρικής Ασίας και της Αμερικής. Είναι η τρίτη μεγαλύτερη εταιρία στο χώρο των δορυφορικών τηλεπικοινωνιών. Οι δορυφόροι της εταιρίας κάνουν αναμετάδοση περισσότερων από 2.500 τηλεοπτικών και 1.000 ραδιοφωνικών σταθμών σε 165 εκατομμύρια νοικοκυριά. Τα βασικά δίκτυα της εταιρίας είναι τα εξής :

EUTELSAT 2 (η πιο παλιά γενιά δορυφόρων για video και τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες)

HOT BIRDTM (Ευρεία Εκπομπή Τηλεοπτικών και Ραδιοφωνικών Προγραμμάτων στην Ευρώπη)

W Series (Τηλεφωνία, Internet, Τηλεοπτικά και Ραδιοφωνικά Προγράμματα, Δίκτυα Επιχειρήσεων)

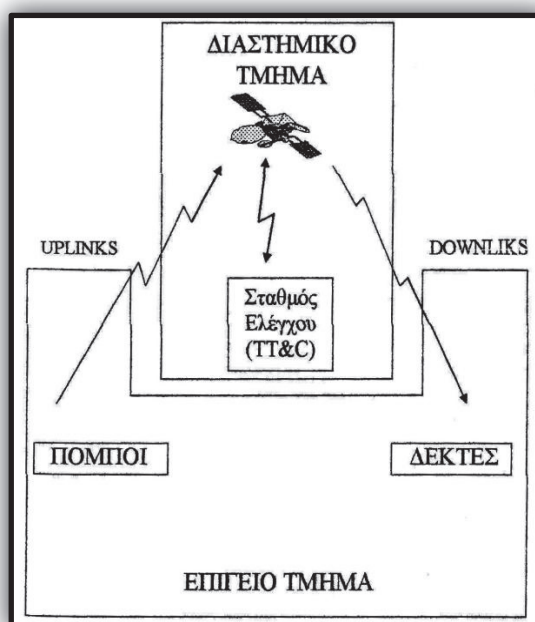
EUROBIRD (Παρόμοιες υπηρεσίες με τους W)

SESAT (Τηλεφωνία και Δίκτυα Επιχειρήσεων)

Atlantic Gate (Video, IP, data, συνδέοντας Ευρώπη και Αμερική)

Κεφάλαιο 2: Οργάνωση Συστήματος Δορυφορικών Επικοινωνιών

Ένα δορυφορικό τηλεπικοινωνιακό σύστημα αποτελείται από το διαστημικό τμήμα και το επίγειο τμήμα του. Τα χαρακτηριστικά κάθε τμήματος εξαρτώνται από το κατά πόσο το σύστημα πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε στατικές τηλεπικοινωνιακές εφαρμογές, εφαρμογές δορυφορικών κινητών τηλεπικοινωνιών ή εφαρμογές απευθείας εκπομπών. Το σχήμα δεξιά δείχνει τα διάφορα τμήματα ενός συστήματος δορυφορικών επικοινωνιών.



Σύστημα επικοινωνίας μέσω δορυφόρου

2.1 Το Διαστημικό Τμήμα

Το διαστημικό τμήμα περιέχει το δορυφόρο και όλες τις επίγειες εγκαταστάσεις για τον έλεγχο και την παρακολούθηση του δορυφόρου.

Στις εγκαταστάσεις αυτές περιλαμβάνονται οι σταθμοί παρακολούθησης, τηλεμετρίας και ελέγχου (tracking, telemetry & command stations, TT&C), όπως και το κέντρο ελέγχου του δορυφόρου όπου εκτελούνται όλοι οι χειρισμοί συντήρησης και ελέγχου των ζωτικών λειτουργιών του δορυφόρου.

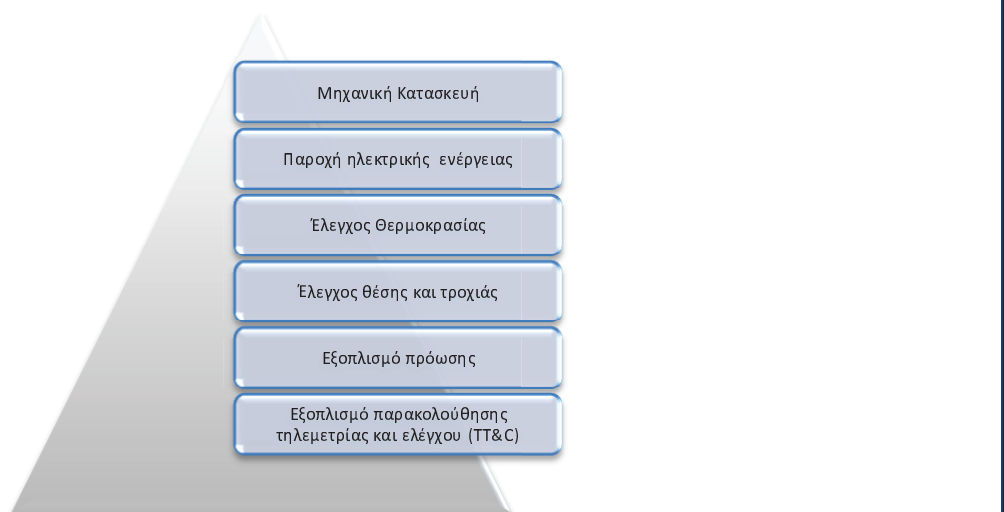


Ο επίγειος σταθμός εκπέμπει ένα σήμα ελέγχου το οποίο λαμβάνεται από το δορυφόρο. Η ζεύξη αυτή ονομάζεται uplink (ανοδική διαδρομή της ραδιοζεύξης). Στην συνέχεια ο δορυφόρος εκπέμπει με τη σειρά του προς το επίγειο σταθμό λήψης. Η ζεύξη αυτή ονομάζεται downlink (καθοδική διαδρομή).

Η ποιότητα της ραδιοζεύξης καθορίζεται από το λόγο του σήματος προς το θόρυβο που εμφανίζει. Ο σημαντικός παράγοντας είναι συνολικά η ποιότητα της ραδιοζεύξης, από σταθμό σε σταθμό, και καθορίζεται από την ποιότητα του uplink και του downlink. Η ποιότητα του συστήματος ραδιοζεύξης καθορίζει την ποιότητα του σήματος που λαμβάνει ο τελικός χρήστης, ανάλογα με τον τύπο διαμόρφωσης και κωδικοποίησης που χρησιμοποιείται.

Ο δορυφόρος αποτελεί ένα ουσιώδες σημείο διέλευσης για μία ομάδα από ταυτόχρονες ραδιοζεύξεις και μπορεί να θεωρηθεί σαν το κομβικό σημείο ενός δικτύου. Η πρόσβαση στο δορυφόρο και σε ένα δορυφορικό κανάλι, που ονομάζεται και transporter από μερικά φέροντα σήματα, υπονοεί τη χρήση τεχνικών που ονομάζονται τεχνικές πολλαπλής προσπέλασης (multiple access techniques).

Ο δορυφόρος περιέχει ένα ωφέλιμο φορτίο (payload) και μία πλατφόρμα (platform). Το ωφέλιμο φορτίο αποτελείται από τις κεραιές εκπομπής και λήψης και από όλο τον εξοπλισμό που υποστηρίζει τις μεταδόσεις. Η πλατφόρμα αποτελείται από όλα τα υποσυστήματα που επιτρέπουν τη λειτουργία του ωφέλιμου φορτίου. Τα υποσυστήματα αυτά είναι:

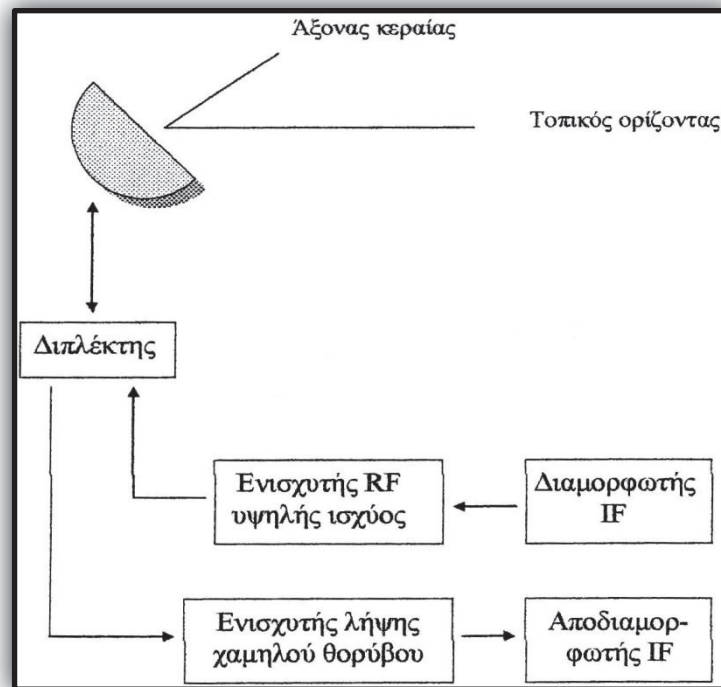


2.2 Το επίγειο τμήμα

Το επίγειο τμήμα αποτελείται από όλους τους επίγειους σταθμούς. Αυτοί συνδέονται με τον εξοπλισμό του τελικού χρήστη μέσω ενός επίγειου δικτύου ή στην περίπτωση μικρών σταθμών (VSAT, Very Small Aperture Terminal, Τερματικός Σταθμός Πολύ Μικρής Επιφάνειας), η σύνδεση γίνεται απευθείας στον εξοπλισμό του τελικού χρήστη.

Οι σταθμοί διακρίνονται ανάλογα με το μέγεθός τους, το οποίο ποικίλει σε αναλογία με τον όγκο πληροφοριών που πρόκειται να μεταφέρει η ζεύξη μέσω δορυφόρου και σε αναλογία με τον τύπο πληροφορίας (τηλεφωνικές συνδέσεις, τηλεόραση ή δεδομένα)

Το παρακάτω σχήμα δείχνει την τυπική αρχιτεκτονική ενός επίγειου σταθμού με δυνατότητα εκπομπής και λήψης.

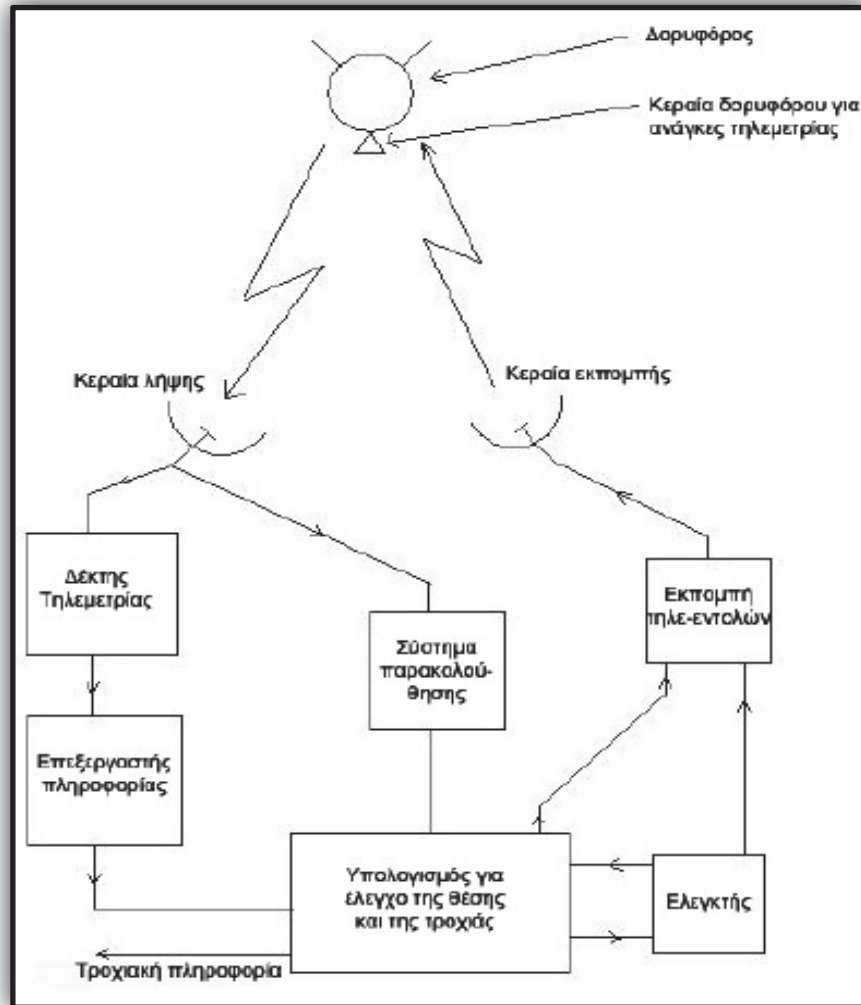


Η οργάνωση ενός επίγειου σταθμού

2.3 Τηλεμετρία, παρακολούθηση, σύστημα εντολών και ελέγχου

Το σύστημα TTC&M (Telemetry, Tracking, Command and Monitoring) είναι απαραίτητο για την επιτυχή λειτουργία ενός τηλεπικοινωνιακού δορυφόρου. Είναι μέρος του συστήματος διαχείρισης και εμπλέκει έναν επίγειο σταθμό παρακολούθησης και ανθρώπινο δυναμικό. Βασικές λειτουργίες της διαχείρισης του δορυφορικού συστήματος είναι ο έλεγχος της τροχιάς και της θέσης του δορυφόρου, η παρακολούθηση όλων των αισθητήρων και των υποσυστημάτων του δορυφόρου και η ενεργοποίηση και απενεργοποίηση όλων των τμημάτων του τηλεπικοινωνιακού συστήματος.

Το παρακάτω σχήμα παρουσιάζει όλες τις λειτουργίες ελέγχου που επιτελεί ο επίγειος σταθμός.



Σύστημα τηλεμετρίας, παρακολούθησης, εντολών και ελέγχου

2.4 Σύστημα τηλεμετρίας και παρακολούθησης

Το σύστημα παρακολούθησης συλλέγει πληροφορίες από πολλούς αισθητήρες μέσα στο δορυφόρο και στέλνει αυτές τις πληροφορίες στον επίγειο δορυφορικό σταθμό. Μπορεί να υπάρχουν εκατοντάδες αισθητήρες στο δορυφόρο για να παρακολουθούν την πίεση στις δεξαμενές καυσίμων, την τάση και το ρεύμα στη μονάδα ρυθμιζόμενης ισχύος, το ρεύμα που τραβάει κάθε υποσύστημα και κρίσιμες τάσεις και ρεύματα στα τηλεπικοινωνιακά ηλεκτρονικά. Η θερμοκρασία μερικών υποσυστημάτων είναι πολύ σημαντική και πρέπει να διατηρείται εντός προκαθορισμένων ορίων, γι' αυτό υπάρχουν πολλοί αισθητήρες θερμοκρασίας.

Οι πληροφορίες των αισθητήρων, η κατάσταση του κάθε υποσυστήματος και οι θέσεις των διακοπών στο τηλεπικοινωνιακό σύστημα στέλνονται στον επίγειο σταθμό με το σύστημα τηλεμετρίας. Το σύστημα τηλεμετρίας μεταφέρει επίσης

πληροφορίες για τη θέση του δορυφόρου, προκειμένου να εντοπιστεί η περίπτωση που ο δορυφόρος «βλέπει» σε λάθος κατεύθυνση.

Οι πληροφορίες τηλεμετρίας ψηφιοποιούνται και μεταδίδονται διαμορφωμένες κατά PSK με τη βοήθεια μιας χαμηλής ισχύος φέρουσας και τεχνικές πολυπλεξίας διαίρεσης χρόνου.

Επίσης, ο ρυθμός μετάδοσης πληροφορίας είναι χαμηλός, έτσι ώστε ο δέκτης στον επίγειο σταθμό να έχει μικρό εύρος ζώνης και έτσι να διατηρεί υψηλό λόγο C/N. Ένα πλαίσιο TDM μπορεί να περιέχει χιλιάδες bit πληροφορίας και να χρειαστεί κάποια δευτερόλεπτα για να μεταδοθεί. Στον επίγειο σταθμό χρησιμοποιείται υπολογιστής που δέχεται, αποθηκεύει και αποκωδικοποιεί τις πληροφορίες τηλεμετρίας, έτσι ώστε η κατάσταση κάθε συστήματος ή αισθητήρα στο δορυφόρο να μπορεί να καθοριστεί κατευθείαν από το επίγειο σύστημα ελέγχου.

Συστήματα συναγερμού μπορούν να ενεργοποιηθούν αν οποιαδήποτε ζωτικής σημασίας παράμετρος ξεφεύγει από τα επιτρεπτά όρια.

2.5 Παρακολούθηση θέσης δορυφόρου

Μια σειρά από τεχνικές είναι διαθέσιμες για τον καθορισμό της τροχιάς ενός δορυφόρου. Οι αισθητήρες ταχύτητας και επιτάχυνσης πάνω στο δορυφόρο μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εντοπιστεί η αλλαγή στην τροχιά από την τελευταία καταγεγραμμένη θέση. Ο επίγειος σταθμός μπορεί επίσης να παρατηρήσει την ολίσθηση Doppler από τη φέρουσα της τηλεμετρίας ή τη φέρουσα του πομπού. Μαζί με τις ακριβείς μετρήσεις γωνίας από την κεραία του επίγειου σταθμού, η μέτρηση της απόστασης του δορυφόρου χρησιμοποιείται για τον καθορισμό των χαρακτηριστικών της τροχιάς του. Αυτό μπορεί να γίνει με την μετάδοση ενός παλμού ή μιας παλμοσειράς από τον επίγειο σταθμό στο δορυφόρο και την παρατήρηση της χρονικής καθυστέρησης μέχρι τη λήψη αυτού του σήματος από τον επίγειο σταθμό. Η καθυστέρηση διάδοσης στο δορυφόρο πρέπει να είναι γνωστή επακριβώς και περισσότεροι από ένας επίγειοι σταθμοί μπορούν να κάνουν μετρήσεις της απόστασης. Με όργανα μέτρησης ακρίβειας και τη χρήση μερικών επίγειων σταθμών με αρκετή απόσταση μεταξύ τους, η θέση του δορυφόρου μπορεί να καθοριστεί με απόκλιση 10 μέτρων.

Το φαινόμενο Doppler που πήρε το όνομά του από τον Christian Doppler, είναι η παρατηρούμενη αλλαγή στη συχνότητα και το μήκος κύματος ενός κύματος από παρατηρητή που βρίσκεται σε σχετική κίνηση με την πηγή κυμάτων.

2.6 Σύστημα εντολών

Μια ασφαλής και αποτελεσματική δομή συστήματος εντολών είναι απαραίτητη για την επιτυχή εκτόξευση και λειτουργία ενός οποιουδήποτε τηλεπικοινωνιακού δορυφόρου. Το σύστημα εντολών χρησιμοποιείται για αλλαγές στη θέση, για διορθώσεις στην τροχιά και για έλεγχο του τηλεπικοινωνιακού συστήματος. Η δομή

του συστήματος εντολών πρέπει να είναι τέτοια ώστε να αποτρέπεται η μη εξουσιοδοτημένη προσπάθεια αλλαγής της λειτουργίας του δορυφόρου και οι εντολές που προέκυψαν από λανθασμένες μετρήσεις.

Το κωδικοποιημένο σήμα ελέγχου μετατρέπεται σε κωδικοποιημένη λέξη και μεταδίδεται σε ένα πλαίσιο TDM προς το δορυφόρο. Μετά τον έλεγχο εγκυρότητας στο δορυφόρο, η κωδικοποιημένη λέξη στέλνεται πίσω στο σταθμό ελέγχου διαμέσου της ζεύξης τηλεμετρίας όπου και ελέγχεται ξανά στον υπολογιστή. Αν ληφθεί σωστά, μία εντολή εκτέλεσης στέλνεται στο δορυφόρο. Η όλη διαδικασία διαρκεί 5 με 10 sec, αλλά με αυτόν τον τρόπο ελαχιστοποιείται ο κίνδυνος αποστολής λανθασμένων εντολών.

Οι ζεύξεις εντολών και τηλεμετρίας συνήθως είναι ξεχωριστές από το τηλεπικοινωνιακό σύστημα αν και μπορεί να λειτουργούν στην ίδια ζώνη συχνοτήτων (6 και 4 GHz).

2.7 Σύστημα ισχύος

Όλοι οι δορυφόροι παίρνουν την ηλεκτρική ενέργεια που χρειάζονται από ηλιακές κυψέλες που μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική. Σε πειραματικούς δορυφόρους χρησιμοποιήθηκε θερμοπυρηνική ενέργεια, αλλά λόγω της επικινδυνότητας της εγκαταλείφθηκε. Ο ήλιος είναι μια πολύ ισχυρή πηγή ενέργειας.

Στο απόλυτο κενό του διαστήματος, στο γεωστατικό ύψος, η ακτινοβολία που δέχεται ο δορυφόρος έχει ένταση $1,39 \text{ kW/m}^2$. Οι ηλιακές κυψέλες δε μετατρέπουν όλη αυτή τη στιγμιαία ενέργεια σε ηλεκτρική. Πιο συγκεκριμένα, η απόδοσή τους είναι γύρω στο 20 με 25% στην αρχή της ζωής του δορυφόρου (BOL) αλλά μειώνεται με τον καιρό. Το γεγονός αυτό οδηγεί στη χρήση 15% περισσότερης επιφάνειας ηλιακών κυψελών απ' ότι επαρκεί κανονικά, έτσι ώστε ο δορυφόρος να λειτουργεί αποτελεσματικά μέχρι το τέλος ζωής του (EOL).

Εκτός από τις ηλιακές κυψέλες ο δορυφόρος διαθέτει και μπαταρίες που χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια της εκτόξευσης του, αλλά και κατά τη διάρκεια των εκλείψεων. Οι μπαταρίες αυτές φορτίζονται όταν δεν χρησιμοποιούνται από την ενέργεια των ηλιακών κυψελών. Συνήθως οι μπαταρίες που χρησιμοποιούνται έχουν τάση 20 με 50 V και χωρητικότητα από 20 έως 100 Ah – Αμπερώρες.

2.8 Υποσύστημα δορυφόρου

Οι δορυφόροι από την ανακάλυψή τους έχουν γίνει μεγαλύτεροι, βαρύτεροι και ακριβότεροι, ωστόσο ο ρυθμός με τον οποίο αυξήθηκε η χωρητικότητά τους σε κανάλια έχει αυξηθεί πολύ περισσότερο, με αποτέλεσμα να μειωθεί το κόστος ανά τηλεφωνική σύνδεση ή ανά μεταδιδόμενο bit. Οι δορυφορικοί αναμεταδότες έχουν μειώσει την ισχύ εκπομπής τους και οι επίγειοι σταθμοί απέχουν περισσότερο από 36.000 km από το δορυφόρο, επομένως η ισχύς που φτάνει στο δέκτη είναι πολύ

μικρή και σπάνια ξεπερνά τα 10 Watt. Για να λειτουργεί το σύστημα αποτελεσματικά η ισχύς του σήματος πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την ισχύ θορύβου που παράγεται στο δέκτη κατά 5 με 25 db.

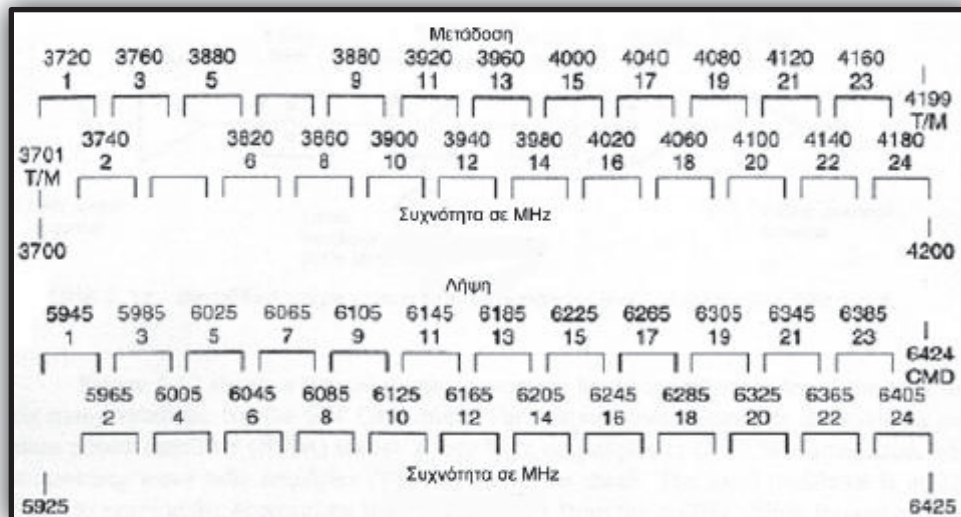
Αρχικά, οι τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι διέθεταν αναμεταδότες με εύρος ζώνης 250 ή 500 MHz, αλλά είχαν πομπούς και κεραίες χαμηλού κέρδους. Έτσι ο πομπός στο επίγειο σταθμό δεν μπορούσε να έχει ικανοποιητικό σηματοθορυβικό λόγο όταν χρησιμοποιούνταν όλο το εύρος ζώνης. Μεταγενέστερες γενιές δορυφόρων είχαν αναμεταδότες με αρκετά μεγαλύτερη ισχύ με αποτέλεσμα την καλύτερη διαχείριση του εύρους ζώνης. Η συνολική χωρητικότητα των καναλιών ενός δορυφόρου μπορεί να αυξηθεί μόνο με την αύξηση ή αναχρησιμοποίηση του εύρους ζώνης. Η τάση στους δορυφόρους υψηλής χωρητικότητας είναι η αναχρησιμοποίηση των διαθέσιμων ζωνών συχνοτήτων χρησιμοποιώντας μερικές κατευθυντικές ακτίνες και δύο κάθετες πολώσεις στην ίδια συχνότητα. Μεγάλοι γεωστατικοί δορυφόροι επίσης χρησιμοποιούν και τις δύο ζώνες συχνοτήτων για την αύξηση του εύρους ζώνης. Ο κατασκευαστής ενός δορυφορικού τηλεπικοινωνιακού συστήματος δεν είναι ελεύθερος να διαλέξει συχνότητες και εύρος ζώνης. Διεθνείς συμφωνίες περιορίζουν τις συχνότητες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ορισμένες εφαρμογές.

Σήμερα οι ζώνες συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται για την πλειοψηφία των υπηρεσιών είναι οι 6/4 GHz, 14/11 GHz και 30/20 GHz. Το εύρος ζώνης είναι 500 MHz ή 1000 MHz.

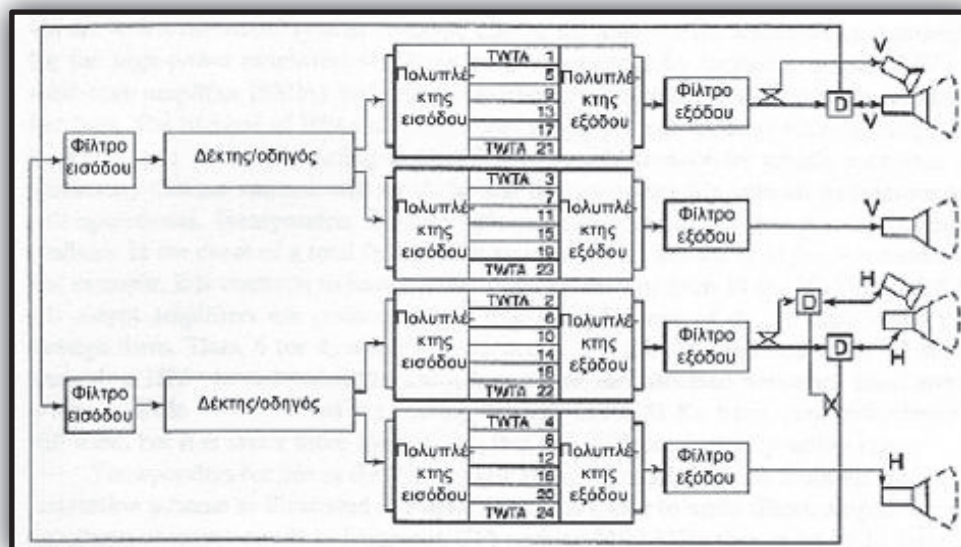
2.9 Αναμεταδότες

Τα σήματα που μεταδίδονται από έναν επίγειο σταθμό λαμβάνονται από τον δορυφόρο είτε με κεραία ακτίνας ζώνης είτε με κεραία ακτίνας σημείου. Οι κεραίες ακτίνας ζώνης μπορούν να λάβουν σήματα από πομπούς οπουδήποτε στη ζώνη κάλυψης, ενώ οι κεραίες ακτίνας σημείου έχουν περιορισμένη κάλυψη. Το λαμβανόμενο σήμα συνήθως περνάει από δύο ενισχυτές χαμηλού θορύβου και αναδημιουργείται στην έξοδό τους. Αν ένας από τους δύο ενισχυτές βγει εκτός λειτουργίας, ο άλλος μπορεί να διαχειριστεί όλη την τηλεπικοινωνιακή κίνηση.

Το παρακάτω σχήμα αναπαριστά ένα απλοποιημένο διάγραμμα ενός δορυφορικού τηλεπικοινωνιακού υποσυστήματος για τη ζώνη 6/4 GHz.



Σχεδιασμός Συχνοτήτων



Αναμεταδότης του SATCOM

Το εύρος ζώνης των 500 MHz διαιρείται σε κανάλια συνήθως εύρους ζώνης 36 MHz που τα διαχειρίζεται ξεχωριστός αναμεταδότης. Ο αναμεταδότης αποτελείται από ένα ζωνοπερατό φίλτρο το οποίο επιλέγει τη συγκεκριμένη ζώνη συχνοτήτων του καναλιού, έναν κάτω μετατροπέα που αλλάζει τη συχνότητα από 6 GHz στην είσοδο σε 4GHz στην έξοδο και έναν ενισχυτή εξόδου. Ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα διαθέτει πολλούς αναμεταδότες. Συνήθως ένας δορυφόρος μεγάλης χωρητικότητας διαθέτει από 12 έως 44 ενεργούς αναμεταδότες. Οι αναμεταδότες τροφοδοτούνται από σήματα που προέρχονται από μία ή περισσότερες κεραιές λήψης και στέλνουν την έξοδό τους σε έναν μεταγωγέα (switch matrix) που οδηγεί κάθε ζώνη συχνοτήτων του αναμεταδότη στην κατάλληλη κεραία ή ακτίνα.

Στους πρώτους δορυφόρους όπως ο Intelsat I και II χρησιμοποιούνταν ένας ή δύο αναμεταδότες εύρους ζώνης 250 MHz. Τα αποτελέσματα ήταν μη ικανοποιητικά λόγω της μη γραμμικότητας στην έξοδο του αναμεταδότη. Αργότερα χρησιμοποιήθηκαν περισσότεροι αναμεταδότες με μικρότερο εύρος ζώνης. Ο λόγος για τη χρήση στενότερου εύρους ζώνης αναμεταδοτών ήταν η αποφυγή μεγάλων προβλημάτων ενδοδιαμόρφωσης κατά την ταυτόχρονη μετάδοση πολλών φερουσών από έναν μη γραμμικό πομπό. Η παραμόρφωση λόγω ενδοδιαμόρφωσης είναι δυνατό

να συμβεί οπότε ένας ενισχυτής υψηλής ισχύος πλησιάζει τον κορεσμό. Εφόσον γενικά θέλουμε περισσότερους από έναν επίγειους σταθμούς να στέλνουν σήματα δια μέσω ενός δορυφόρου, μια λύση θα ήταν να έχουμε έναν αναμεταδότη για κάθε σήμα επίγειου σταθμού. Στην περίπτωση του παγκόσμιου συστήματος Intelsat η απαίτηση ήταν 100 αναμεταδότες ανά δορυφόρο. Έτσι, καταλήξαμε στο εύρος ζώνης των 36 MHz για κάθε αναμεταδότη, ενώ ορισμένοι δορυφόροι χρησιμοποιούν τα 54 MHz και 72 MHz.

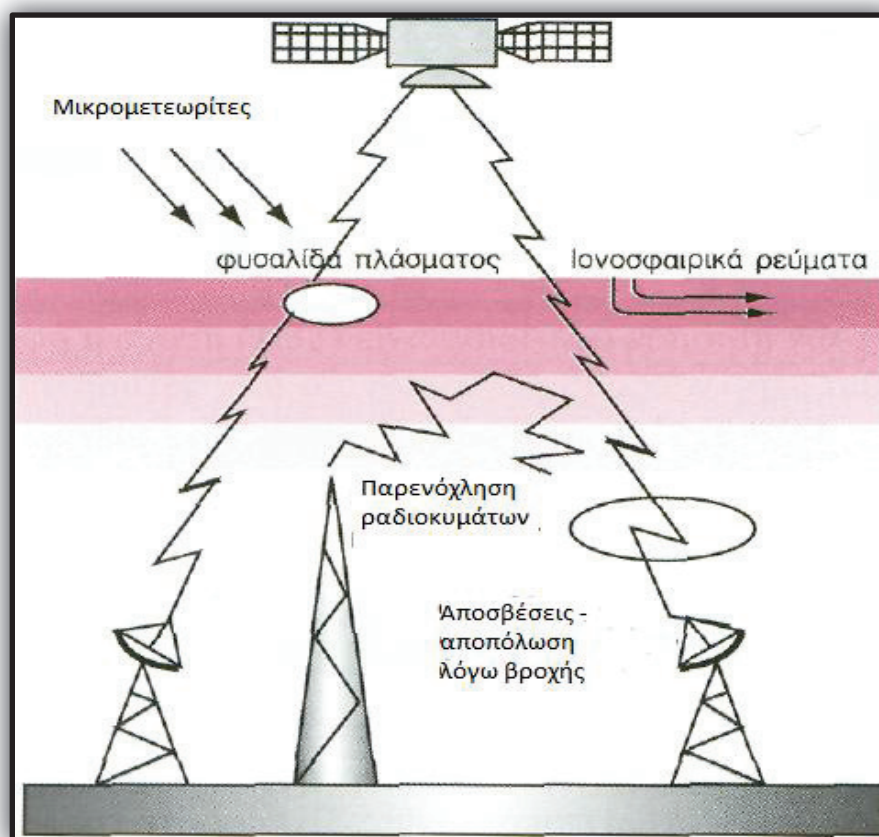
Κεφάλαιο 3: Δορυφορική Ζεύξη

3.1 Βασικές σχέσεις διάδοσης ΗΜ κυμάτων

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται μια απλή ζεύξη μεταξύ ενός πομπού και ενός δέκτη που βρίσκονται σε απόσταση R μεταξύ τους. Είναι προφανές ότι στην παρακάτω ανάλυση, ο πομπός είναι ο επίγειος σταθμός και ο δέκτης είναι ο δορυφορικός αναμεταδότης όταν εξετάζεται η προς τα άνω ζεύξη, ενώ οι ρόλοι πομπού και δέκτη αντιστρέφονται όταν εξετάζεται η προς τα κάτω ζεύξη.

Εάν η κεραία του πομπού ήταν ισοτροπική, η εκπεμπόμενη ισχύς P_T , θα είχε ομοιόμορφη χωρική κατανομή και η πυκνότητα ισχύος στην περίπτωση αυτή θα ήταν:

$$I(R) = \frac{P_T}{4\pi R^2} \quad (3.1)$$



Διάδοση Η/Μ κυμάτων στις δορυφορικές μεταδόσεις

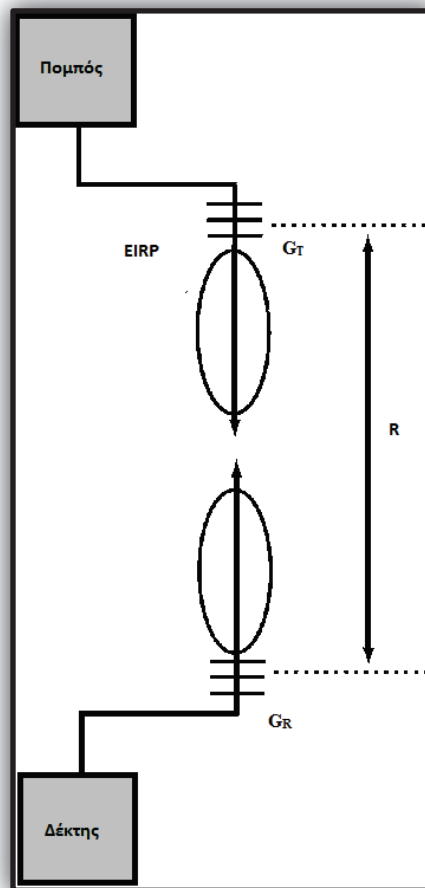
Στην περίπτωση που η κεραία του πομπού έχει κέρδος G_T , η προηγούμενη σχέση μετατρέπεται ως εξής:

$$I(R) = \frac{G_T P_T}{4\pi R^2} \quad (3.2)$$

Το γινόμενο της εκπεμπόμενης ισχύος από την κεραία επί το κέρδος της ονομάζεται *ισοδύναμη, ιστροπικά ακτινοβολούμενη ισχύς* (Equivalent Isotropically Radiated Power, EIRP), και είναι το σημαντικότερο χαρακτηριστικό κάθε πομπού.

Στην πλευρά του δέκτη η ενεργός επιφάνεια της κεραίας που ως γνωστόν ορίζεται ως ο λόγος της ισχύος που οδηγείται στην είσοδο του δέκτη προς την πυκνότητα ισχύος που προσπίπτει στην κεραία με τη σχέση:

$$A_R = G_R \frac{\lambda^2}{4\pi} \quad (3.3)$$



Βασική δομή ασύρματης ζεύξης

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η τελευταία σχέση ισχύει υπό συνθήκες βέλτιστης προσαρμογής και προσανατολισμού. Συνεπώς η λαμβανόμενη ισχύς στον δέκτη θα έχει τη μορφή,

$$P_R = P_T G_T \frac{A_R}{4\pi R^2} \quad (3.4)$$

$$\frac{P_R}{P_T} = G_T G_R \frac{\lambda^2}{(4\pi R)^2} \quad (3.5)$$

Ο συντελεστής εξασθένησης του καναλιού μπορεί να εκφραστεί σε dB ως εξής:

$$(a)_{dB} = 10 \log \left(\frac{P_T}{P_R} \right) = 22 + 20 \log \left(\frac{R}{\lambda} \right) - (G_T)_{dB} - (G_R)_{dB} \quad (3.6)$$

Στην προηγούμενη σχέση ο όρος $22 + 20 \log \left(\frac{R}{\lambda} \right)$, εκφράζει τις απώλειες ελεύθερου χώρου και εξαρτάται τόσο από την απόσταση, όσο και από τη συχνότητα του φέροντος της ζεύξης. Γενικά θα πρέπει να σημειωθεί, ότι αύξηση της συχνότητας συνεπάγεται και αύξηση των απωλειών, η οποία όμως για δεδομένες διαστάσεις κεραιών αντισταθμίζεται σε μεγάλο βαθμό από την αύξηση των κερδών των κεραιών.

Η προηγούμενη ανάλυση ισχύει για την ιδανική περίπτωση, όπου δεν υπάρχουν άλλες απώλειες εκτός αυτών του κενού χώρου. Στα δορυφορικά συστήματα η σχέση (3.4) επεκτείνεται για να καλύψει πρακτικές περιπτώσεις ως εξής:

$$\frac{P_R}{P_T} = \frac{G_T G_R}{L} \quad (3.7)$$

$$L = L_{kx} L_u = L_{kx} \prod_{i=1}^6 (L_i) \quad (3.8)$$

Όπου

L_{kx}	• αντιπροσωπεύει τις απώλειες κενού χώρου
L_1	• αντιστοιχεί στις απώλειες μεταξύ της εξόδου του πομπού και της κεραίας εκπομπής (γραμμή μεταφοράς, φίλτρα κτλ)
L_2	• αντιστοιχεί στις απώλειες της ατμόσφαιρας και της ιονόσφαιρας
L_3	• αντιπροσωπεύει τις απώλειες νεφώσεων και βροχόπτωσης
L_4	• αντιπροσωπεύει τις απώλειες που οφείλονται σε αποπόλωση του Η/Μ κύματος στο μέσο διάδοσης
L_5	• αντιστοιχεί στις απώλειες αποπροσανατολισμού των κεραιών που οφείλεται κυρίως σε ατελή σταθεροποίηση του γεωστατικού δορυφόρου, ή τοποθέτηση του επίγειου σταθμού κοντά στα όρια της περιοχής κάλυψης
L_6	• αντιπροσωπεύει τις απώλειες μεταξύ της κεραίας και της εισόδου του δέκτη (αντίστοιχη των L_1)

3.2 Βασικά είδη δορυφορικών κεραιών

Υπάρχουν τέσσερα βασικά είδη κεραιών που χρησιμοποιούνται στους δορυφόρους. Αυτά είναι:

Μονόπολα και Δίπολα

Χρησιμοποιούνται σε φορητά τερματικά κυρίως σε συστήματα δορυφορικών κινητών τηλεπικοινωνιών. Τα δίπολα έχουν διάγραμμα ακτινοβολίας με ημισφαιρική μορφή και ακτινοβολούν πεδίο πολωμένο κατά τη διεύθυνση του δίπολου.

Χοανοκεραίες και ελικοειδείς κεραίες

Είναι μικρότερων διαστάσεων σε σχέση με το παραβολικό κάτοπτρο, έχουν όμως υψηλή κατευθυντικότητα, όμως τα διαγράμματα ακτινοβολίας τους παρουσιάζουν υψηλότερους πλευρικούς λοβούς.

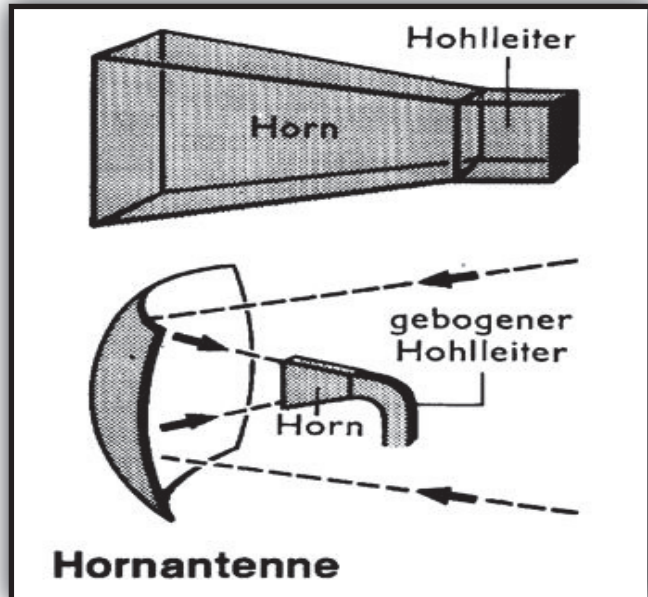
Στοιχειοκεραίες

Είναι ένας ιδιαίτερα χρήσιμος τύπος κεραιάς. Η δυνατότητα ηλεκτρονικού ελέγχου του διαγράμματος ακτινοβολίας της με κατάλληλη εκλογή της φάσης στην τροφοδοσία των στοιχείων αποτελεί συγκριτικό πλεονέκτημα σε πολλές εφαρμογές, όπως σε δορυφορικά συστήματα ναυσιπλοΐας.

Παραβολικά κάτοπτρα

Η περισσότερο χρησιμοποιούμενη κεραιά στις δορυφορικές ζεύξεις είναι η παραβολική. Παρουσιάζει συμμετρικό διάγραμμα ακτινοβολίας με υψηλή κατευθυντικότητα. Τα κύρια χαρακτηριστικά της είναι το υψηλό κέρδος και η μικρή στάθμης πλευρικοί λοβοί.

Χοάνη

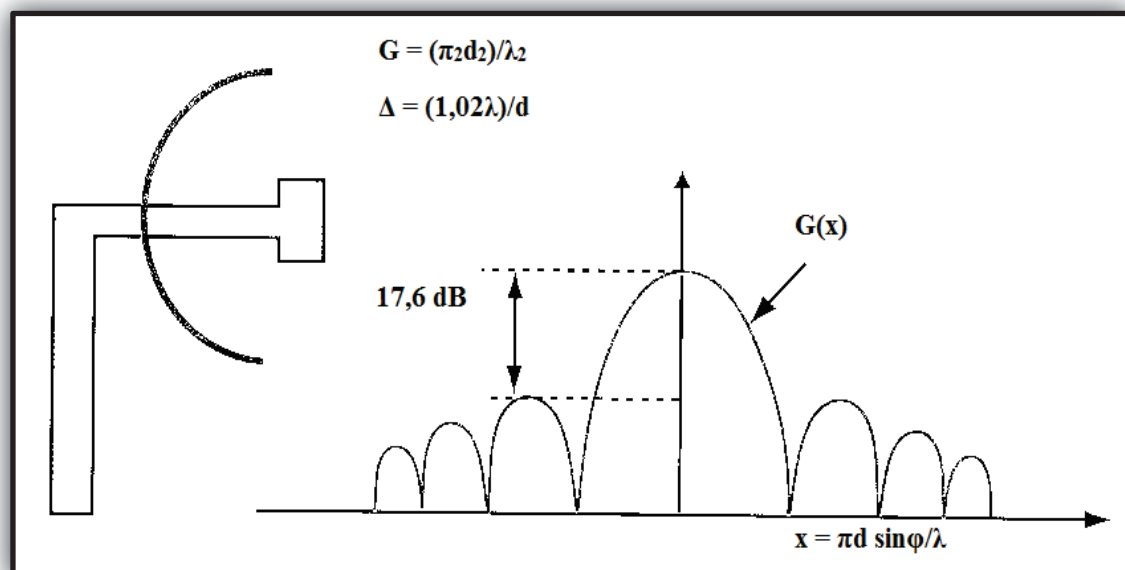


Παραβολικό κάτοπτρο



3.3 Το παραβολικό κάτοπτρο

Το παραβολικό κάτοπτρο είναι η πιο δημοφιλής δορυφορική κεραία και παρουσιάζει συμμετρικό διάγραμμα ακτινοβολίας με υψηλή κατευθυντικότητα. Οι πλευρικοί λοβοί ακτινοβολίας έχουν τουλάχιστον κατά 17 dB περίπου χαμηλότερη στάθμη σε σχέση με το κύριο λοβό. Μια τέτοια κεραία φαίνεται στο ακόλουθο σχήμα:

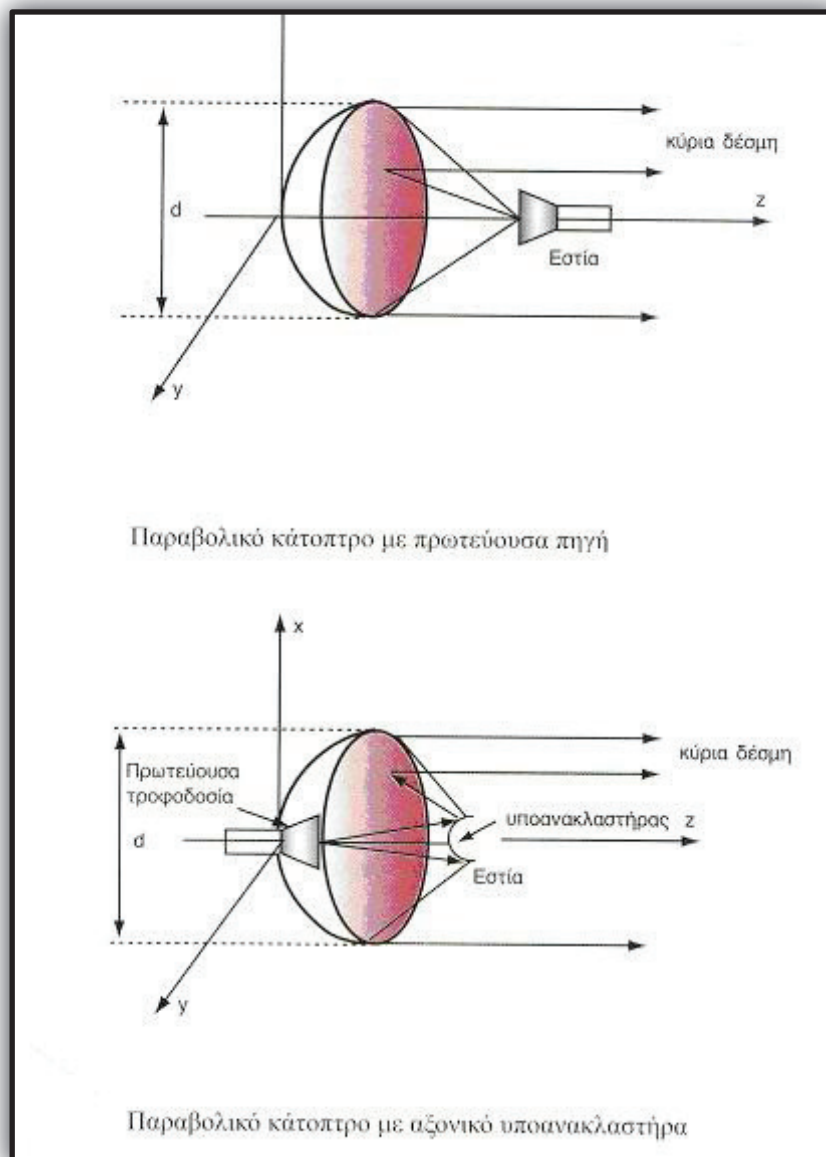


Παραβολικό κάτοπτρο

Τα βασικά τμήματα της κεραίας παραβολικού κατόπτρου είναι:

Η πηγή τροφοδοσίας, η οποία είναι συνήθως πρωτεύουσα πηγή (χοανοκεραία) ή υποανακλαστήρας (σχήμα)

Ο ανακλαστήρας, ο οποίος είναι παραβολικού σχήματος και τελείως αγωγίμος, κατευθύνει την ακτινοβολούμενη ισχύ μέσα σε μια δέσμη παράγοντας κατά προσέγγιση επίπεδο κύμα



Η διάμετρος του παραβολικού κατόπτρου ποικίλει από 30 cm σε επίγειους σταθμούς Intelsat standard A έως 60 cm περίπου σε δέκτες τηλεοπτικών σημάτων οικιακής χρήσης.

Η διάσταση μιας τέτοιας κεραίας συνδέεται προσεγγιστικά με το κέρδος της με την σχέση:

$$G = \frac{\pi^2 d^2}{\lambda^2} \rightarrow d = \frac{\lambda}{\pi} \sqrt{G} \quad (3.9)$$

Για γωνίες φ σε μια περιοχή 6 dB γύρω από τη γωνία μεγίστου, η συνάρτηση του κέρδους του παραβολικού κατόπτρου μπορεί να υπολογιστεί από την προσεγγιστική σχέση:

$$G(\varphi) = n_a \left(\frac{\pi d}{\lambda} \right)^2 e^{-2.76 \left(\frac{\varphi}{2\varphi_b} \right)^2} \quad (3.10)$$

Η τελευταία σχέση δείχνει ότι το κέρδος μειώνεται εκθετικά καθώς η γωνία σκόπευσης φ απομακρύνεται από την τιμή $\varphi=0$, στην οποία αντιστοιχεί το μέγιστο κέρδος.

Ένας άλλος παράγοντας μείωσης του κέρδους της παραβολικής κεραίας είναι οι ανωμαλίες της επιφάνειάς του, η οποία, όπως αναμένεται, είναι πρακτικά αδύνατο να είναι ιδανικά λεία. Στην περίπτωση αυτή προκαλείται σκέδαση της ακτινοβολίας, η οποία αποφέρει αντίστοιχη μείωση του κέρδους στην επιθυμητή κατεύθυνση. Η μείωση αυτή περιγράφεται από τη σχέση,

$$L \cong e^{-(4\pi\sigma/\lambda)^2} \quad (3.11)$$

όπου σ η μέση τετραγωνική τιμή των επιφανειακών ανωμαλιών του κατόπτρου. Για $(\sigma/\lambda) = 10\%$, το μέγιστο κέρδος της κεραίας μειώνεται κατά 7 dB περίπου. Η παραπάνω σχέση αποτελεί και τον τεχνολογικό περιοριστικό παράγοντα, στη θεωρητική συνεχώς αυξανόμενη τιμή του κέρδους της κεραίας με την αύξηση της συχνότητας λειτουργίας, όπως αρχικά φαίνεται από τη σχέση (3.10).

Όπως ήδη προαναφέρθηκε επίσης, τα μέγεθος των δευτερευόντων λοβών ακτινοβολίας αποτελεί περιοριστικό παράγοντα τόσο για την ικανοποιητική χρήση του ραδιοφάσματος, όσο και για τη χωρητικότητα της γεωστατικής τροχιάς. Για τους λόγους αυτούς ο CCIR από το 1986, έχει καθορίσει, ότι το μέγιστο κέρδος πλευρικών λοβών (για το 90% από αυτούς) για κεραίες διαμέτρου μεγαλύτερης από 100 μήκη κύματος δεν πρέπει να ξεπερνάει το όριο

$$G(\varphi) = 29 - 25 \log(\theta) \text{ dB} \quad (3.12)$$

για την περιοχή συχνοτήτων 2 - 10 GHz. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο περιορισμός αυτός επιτρέπει η γωνιακή απόσταση μεταξύ γειτονικών γεωστατικών δορυφόρων να είναι της τάξεως των 2° .

Για διαμέτρους κεραίων μικρότερες των 100 λ, ο CCIR έχει καθορίσει αντίστοιχο άνω όριο για το μέγιστο των πλευρικών λοβών σύμφωνα με τη σχέση:

$$G(\theta) = 52 - 10\log\left(\frac{D}{\lambda}\right) - 25\log(\theta) \text{ dB} \quad (3.13)$$

3.4 Μεγάλοι Σταθμοί

Ένας από τους μεγαλύτερους σταθμούς στον κόσμο ήταν αυτός στο Goonhillyστο Ηνωμένο Βασίλειο, ο οποίος συμπεριλάμβανε 60 πιάτα προσανατολισμένα στο διάστημα. Κάποτε από τον σταθμό αυτό διέρχονταν δισεκατομμύρια τηλεφωνήματα, εικόνες τηλεόρασης, fax και συνδέσεις στο Διαδίκτυο ανά τον κόσμο. Ήταν επίσης *Live Aid*. Ένας τέτοιος σταθμός έχει δορυφορικά πιάτα που μπορεί να αγγίζουν σε διαστάσεις μέχρι και 32 m, όπως στην εικόνα παρακάτω.

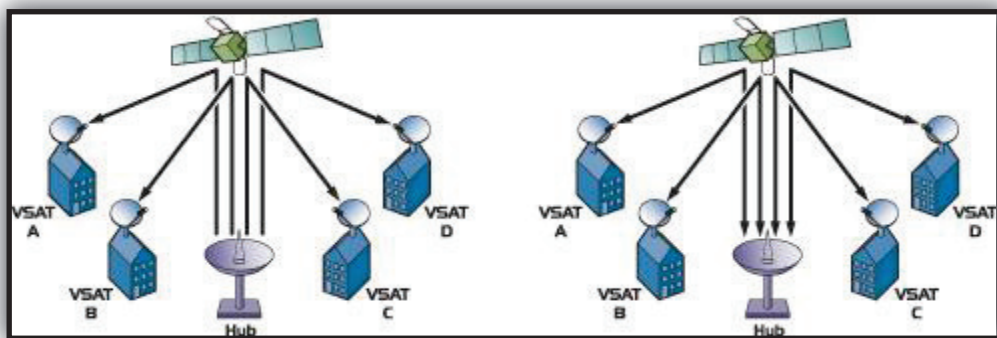


Σταθμός στο Goonhilly

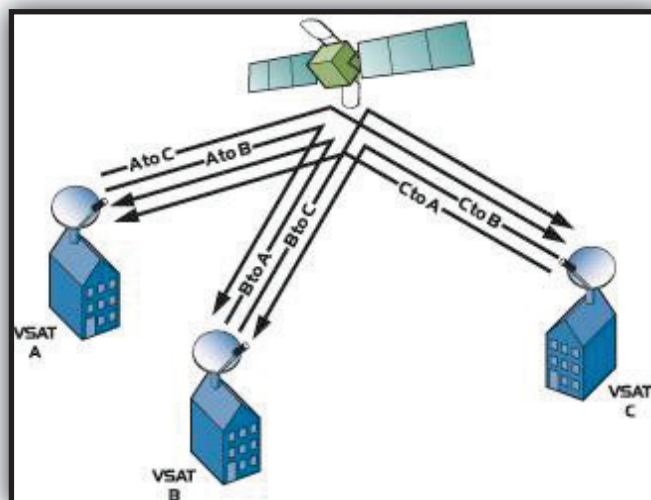
3.5 VSATs

Μια διαδεδομένη εφαρμογή μεταφοράς δεδομένων μέσω δορυφόρου είναι τα δίκτυα VSAT. Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας, οι επίγειες κεραίες και το μέγεθος του υπόλοιπου εξοπλισμού έχουν μειωθεί σε τέτοιο βαθμό, ώστε τα επίγεια τερματικά να μπορούν να αντιστοιχούν σε μεμονωμένους χρήστες. Αυτά ονομάζονται Τερματικά Πολύ Μικρής Επιφάνειας (Very Small Aperture Terminals, VSAT) και συνήθως έχουν διάμετρο μικρότερη από 2 m. Οι μικροσταθμοί αυτοί έχουν δυνατότητες υποστήριξης εφαρμογών φωνής, δεδομένων και βίντεο, ενώ με απευθείας διασύνδεση πολλών από αυτά μεταξύ τους, είναι δυνατή η παράκαμψη ολόκληρου του δημόσιου δικτύου μεταγωγής (Public Switched Telephone Network, PSTN). Έτσι, οργανισμοί

και επιχειρήσεις με πολλές απομακρυσμένες θυγατρικές οντότητες μπορούν να δημιουργήσουν ένα ιδιωτικό, υψηλής ταχύτητας δορυφορικό εσωτερικό δίκτυο (intranet) το οποίο διασυνδέει τις κεντρικές εγκαταστάσεις με τα διάφορα τοπικά υποκαταστήματα. Σημαντικό είναι το γεγονός ότι, λόγω του μικρού μεγέθους τους, τα VSATs μπορούν να λειτουργήσουν ως κόμβοι του δικτύου χωρίς να είναι απαραίτητη η ενσύρματη σύνδεση όλων των τμημάτων της επιχείρησης. Τα δίκτυα VSAT παρέχουν αποδοτική επικοινωνία σημείου προς πολλαπλά σημεία, είναι απλά στην εγκατάστασή τους και μπορούν να επεκταθούν με πολύ χαμηλό πρόσθετο κόστος. Τα δίκτυα VSAT ακολουθούν δυο βασικές αρχιτεκτονικές δικτύων, η μια με τοπολογία αστέρα (star) και η άλλη με τοπολογία πλέγματος (mesh), ενώ πολύ συχνά χρησιμοποιούνται και υβριδικές (hybrid) αρχιτεκτονικές. Στην τοπολογία αστέρα που είναι καταλληλότερη σε συγκεντρωτικές (centralized) εφαρμογές, ένας κεντρικός επίγειος σταθμός λειτουργεί ως hub, μέσω του οποίου οι υπόλοιποι απομακρυσμένοι σταθμοί μπορούν να αποστέλλουν και να λαμβάνουν δεδομένα μεταξύ τους. Στην περίπτωση συνδεσμολογίας πλέγματος, τα απομακρυσμένα τερματικά έχουν τη δυνατότητα να επικοινωνούν μεταξύ τους χωρίς τη μεσολάβηση του κεντρικού σταθμού. Η διάταξη αυτή είναι κατάλληλη, ιδιαίτερα για μεγάλες εταιρίες των οποίων οι τοπικές εγκαταστάσεις είναι διασκορπισμένες σε διάφορες περιοχές.



Δίκτυα VSAT σε τοπολογία αστέρα



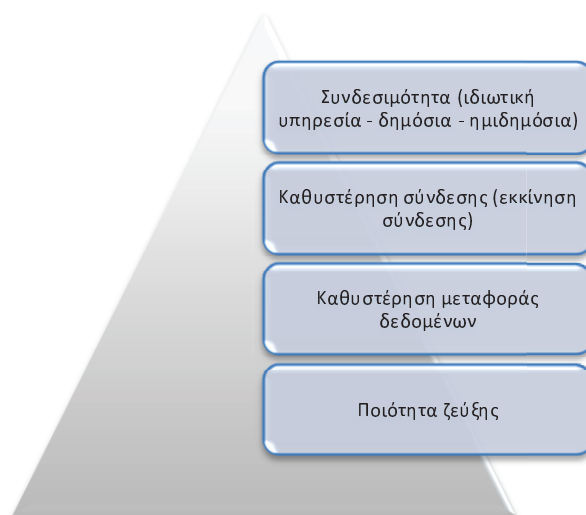
Δίκτυο VSAT σε τοπολογία πλέγματος

Ορισμένες από τις υπηρεσίες που υποστηρίζει ένα δίκτυο VSAT είναι:

Υπηρεσίες Φωνής	•τηλεφωνία / τηλεδιάσκεψη, video - τηλεφωνία, εποπτεία χώρων, τηλεμετρία, τηλεργασία κτλ.
Υπηρεσίες Μηνυμάτων	•μηνύματα φωνής, mail, μεταφορά αρχείων, teletext κτλ.
Υπηρεσίες Ανάκτησης Δεδομένων	•ψηφιακές βιβλιοθήκες, τηλεαγορές / τηλεπωλήσεις κτλ
Υπηρεσίες Διανομής Δεδομένων	•καλωδιακή τηλεόραση, ψηφιακές εφημερίδες / περιοδικά κτλ.

Οι υπηρεσίες που παρέχουν τα VSATs είναι είτε αμφίδρομες είτε μονόδρομες με κριτήριο αν υπάρχει αλληλεπίδραση μεταξύ του χρήστη και του δικτύου. Στην πρώτη περίπτωση, το τερματικό του χρήστη είναι ένας προσωπικός υπολογιστής (pc).

Κάθε μια από αυτές τις υπηρεσίες πρέπει να πληρεί συγκεκριμένα κριτήρια που σχετίζονται με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά:



Τα τελευταία χρόνια, έχει αναπτυχθεί και χρησιμοποιηθεί ένα παρόμοιο είδος μικροσταθμών με τα VSATs αλλά με αρκετά μικρότερη διάμετρο κεραίας. Αυτά είναι τα τερματικά USATs (Ultra Small Aperture Terminals) με διάμετρο από 60 έως και 35 cm.



Το ολοκληρωμένο σύστημα USAT



Τυπική μορφή ενός VSAT

3.6 Σταθεροί μικροί σταθμοί

Με τις ίδιες λειτουργίες όπως οι μεγάλοι επίγειοι σταθμοί που περιγράφηκαν παραπάνω αλλά περιορισμένου αριθμού πελατών, υπάρχουν και οι αντίστοιχοι μικροί σταθμοί, όπως αυτός που φαίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Σταθμός μικρός σταθμός

Σε ορισμένους σταθμούς υπάρχουν επίσης δορυφορικές κεραίες οι οποίες επιτρέπουν την πολλαπλή, ταυτόχρονη αποστολή και λήψη από διαφορετικές δορυφορικές θέσεις χωρίς να χρειάζεται επαναπροσανατολισμό η κεραία. Είναι οι λεγόμενες κεραίες πολλαπλής πρόσβασης. Ο κάθετος άξονας λειτουργεί σαν ένα off – axis κοίλο παραβολικό κοίλο υπερβολικό ανακλαστήρα Cassegrain, ενώ ο οριζόντιος άξονας λειτουργεί σαν ένα κοίλο κυρτό Cassegrain. Το σημείο από το κύριο κάτοπτρο κατευθύνεται κατά μήκος του δευτερεύοντος, το οποίο διορθώνει τον αστιγματισμό με την ποικιλόμορφη κυρτότητά του. Το ελλειπτικό άνοιγμα του πρωτεύοντος είναι σχεδιασμένο να ταιριάζει τον παραμορφωμένο φωτισμό με τις χοάνες. Εξαιτίας του διπλού πια spill-over, η πολλαπλά πρόσβαση έχει νόημα για μεγάλες κεραίες. Στη συνέχεια απεικονίζεται ένα παράδειγμα μιας κεραίας πολλαπλής πρόσβασης.



3.7 Γεωσύγχρονοι Δορυφόροι

Ο όρος γεωσύγχρονος δορυφόρος προσδιορίζει τον δορυφόρο εκείνο, ο οποίος έχει περίοδο ίση με την περίοδο περιστροφής της Γης, δηλαδή $T = 23 \text{ h } 56 \text{ min } 4.1 \text{ sec}$. Από την σχέση

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{(R + h)^3}{GM}} \quad (3.14)$$

είναι δυνατό να υπολογιστεί ότι το ύψος του γεωσύγχρονου δορυφόρου θα πρέπει να είναι 37786 km. Η ταχύτητα του δορυφόρου στην τροχιά αυτή θα είναι 3075 m/s. Τόσο η κλίση όσο και η εκκεντρικότητα της γεωσύγχρονης τροχιάς μπορούν να έχουν γενικά οποιαδήποτε τιμή.

Το ίχνος του δορυφόρου πάνω στη Γη ορίζεται ως η καμπύλη που διαγράφεται πάνω στην επιφάνεια της Γης, από το σημείο όπου η ευθεία που ενώνει το κέντρο της Γης με το δορυφόρο τέμνει την γήινη επιφάνεια.

3.8 Γεωστατικοί Δορυφόροι

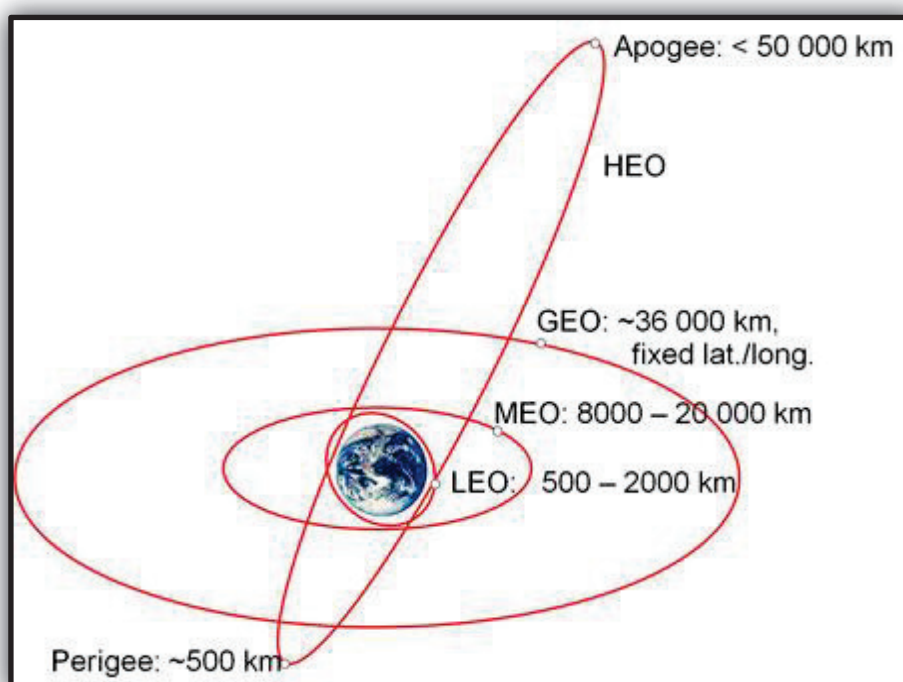
Ο γεωστατικός δορυφόρος είναι ο γεωσύγχρονος δορυφόρος του οποίου η τροχιά έχει μηδενικές εκκεντρότητα και κλίση. Εάν το επίπεδο τροχιάς του δορυφόρου είναι το ισημερινό επίπεδο, η τροχιά του είναι κυκλική και η ταχύτητα περιστροφής του ταυτίζεται με αυτήν της Γης, επομένως θα φαίνεται από τον επίγειο σταθμό ως ένα σταθερό σημείο στον ουρανό. Όμως οι γεωστατικοί δορυφόροι παρουσιάζουν μια μικρή ολίσθηση με αποτέλεσμα η τροχιά τους να παρουσιάζει μια μικρή κλίση. Το φαινόμενο αυτό, που οφείλεται σε φαινόμενα έλξεων από τον ήλιο ή τη σελήνη, μπορεί να δημιουργήσει μια γωνία κλίσης, η οποία θα είναι αρκετές μοίρες στη διάρκεια ενός χρόνου. Για τον λόγο αυτό η τροχιά του δορυφόρου διορθώνεται περιοδικά ώστε να μένει στο ισημερινό επίπεδο.

Υπάρχουν αρκετά πλεονεκτήματα της γεωστατικής τροχιάς και για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται συνήθως στα συστήματα δορυφορικών επικοινωνιών.

Κεφάλαιο 4: Τύποι Τροχιάς

4.1 Τροχιές γύρω από τη γη

Τροχιά είναι η πορεία του δορυφόρου και η μορφή της είναι ελλειπτική. Η τροχιά ανήκει σε επίπεδο που περνά από το κέντρο της γης. Η ταχύτητα του δορυφόρου είναι αντίστροφα ανάλογη με την απόσταση από τη γη. Οι δορυφόροι χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες όσον αφορά την τροχιά τους γύρω από τη γη. Τους GEO (geostationary earth orbit), τους LEO (low earth orbit), τους MEO (medium earth orbit) και τους HEO (highly Elliptical orbits). Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται μία απλή απεικόνιση τους.



Κατηγορίες των δορυφορικών τροχιών της γης

4.1.1 Δορυφόροι LEO

Ένας τυπικός LEO δορυφόρος μπορεί να πραγματοποιήσει δύο ειδών τροχιές, είτε κυκλικές είτε πολικές. Κυκλικές τροχιές μικρού μήκους (700 – 1000 Km) και περίοδο περίπου 1,5 ώρες. Τροχιακό επίπεδο με κλίση ως προς τον ισημερινό.

Πολικές τροχιές όταν η κλίση είναι περίπου 90°, π.χ. ο δορυφόρος παρατηρητής SPOT, 98.7 περίοδο, 101 λεπτά και 830 Km ύψος. Μία πολική τροχιά είναι λοιπόν ένας ιδιαίτερος τύπος χαμηλής γήινης τροχιάς. Η μόνη διαφορά είναι ότι ένας δορυφόρος στην πολική τροχιά ταξιδεύει στην κατεύθυνση Βορρά-Νότου, παρά στην πιο κοινή Ανατολής-Δύσης κατεύθυνση.

Οι πολικές τροχιές είναι χρήσιμες για την επιφάνεια του πλανήτη. Δεδομένου ότι ένας δορυφόρος τίθεται σε τροχιά σε μια Βορρά-Νότου κατεύθυνση, η γη περιστρέφεται κάτω από αυτόν σε μία Ανατολής-Δύσης κατεύθυνση. Κατά συνέπεια, ένας δορυφόρος στην πολική τροχιά μπορεί τελικά να ανιχνεύσει ολόκληρη την επιφάνεια της γης, όπως ένα πορτοκάλι όταν το καθαρίζουμε. Ανιχνεύει γύρω-γύρω μια λωρίδα τη φορά και τελικά όλη τη γη. Γι' αυτόν το λόγο, οι δορυφόροι που ελέγχουν το παγκόσμιο περιβάλλον, όπως τους δορυφόρους τηλεσκοπικής και ορισμένους καιρικούς δορυφόρους, είναι σχεδόν πάντα στην πολική τροχιά. Καμία άλλη τροχιά δεν δίνει τέτοια λεπτομερή κάλυψη της γης.

Αστερισμοί δορυφόρων (π.χ. 11 τροχιακά επίπεδα με 6 δορυφόρους ανά επίπεδο στο Iridium ή 8 επίπεδα με 8 ανά επίπεδο στο Globalstar) παρέχουν παγκόσμια κάλυψη.

Iridium

- Motorola
- Φωνή, Δεδομένα, Fax, Υπηρεσίες θέσης
- 66 δορυφόροι σε 6 πολικές τροχιές (780 Km)
- 48 σημειακές δέσμες ανά δορυφόρο, που σχηματίζουν «κυψέλες»
- Σύνδεσμοι δορυφόρου με δορυφόρο, καθώς και με το έδαφος
- FDMA / TDMA
- Υποστηρίζει αλλαγή δορυφόρου κατά τη διάρκεια κλήσης

Globalstar

- Loral, Qualcomm
- Φωνή, Δεδομένα (9.6 Kbps), Fax, Υπηρεσίες θέσης
- 48 δορυφόροι, κεκλιμένες τροχιές, 1400 Km
- CDMA τεχνικές πρόσβασης
- Δεν υποστηρίζει αλλαγή δορυφόρου κατά τη διάρκεια κλήσης, λόγω των μεγάλων χρόνων ορατότητας από το έδαφος που εξασφαλίζονται από τις ελλειπτικές

Τα πλεονεκτήματα αυτού του είδους τροχιάς είναι τα εξής:

Το υψόμετρο των δορυφόρων είναι μικρό και άρα μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε πιο μικρούς και πιο φθηνούς δορυφόρους, αφού η απαιτούμενη ισχύς για επιτυχή ζεύξη είναι μικρότερη

Το μικρό μέγεθος των δορυφόρων και η μικρή απόσταση διευκολύνουν την εκτόξευση και περιορίζουν τα αντίστοιχα έξοδα

Οι καθυστερήσεις διάδοσης είναι μικρές (της τάξης των 10 - 20 msec) και έτσι δίνεται η δυνατότητα για πολλαπλές μεταπομπές του σήματος από δορυφόρο σε δορυφόρο

Τα μειονεκτήματα είναι τα εξής:

Λόγω του μεγάλου αριθμού των δορυφόρων (66 στο Iridium) που απαιτείται, η διαδικασία σύνταξης του όλου συστήματος είναι χρονοβόρα και πολυέξοδη

Επιπλέον απαιτείται πλήρης ανάπτυξη του συστήματος για να εξασφαλιστεί συνεχής κάλυψη οπουδήποτε

Το σύστημα ελέγχου του διαστημικού μέρους είναι πολύπλοκο

Απαιτούνται συχνές μεταπομπές (κάθε 10 λεπτά πεταξύ δορυφόρων και κάθε 1 ή 2 μεταξύ κυψελων), λόγω της γρήγορης κίνησης των δορυφόρων στον ουρανό

Τα φαινόμενα Doppler είναι πολύ ισχυρά, λόγω της γρήγορης κίνησης των δορυφόρων (δεκάδες KHz)

Οι συνθήκες διάδοσης είναι μεταβλητές, λόγω της μεταβολής της γωνίας ανύψωσης

Λόγω της γρήγορης κίνησης των δορυφόρων, έχουμε αυξημένο πρόβλημα εστίασης στις κεραίες

Η διάρκεια ζωής των δορυφόρων είναι μικρή (υπολογίζεται περίπου στα 5 χρόνια με την υπάρχουσα τεχνολογία)

4.1.2 Δορυφόροι MEO

Ένας MEO δορυφόρος έχει περίοδο περιστροφής μερικές ώρες και ύψος μεταξύ 5000 και 12000 Km και κλίση τροχιακού επιπέδου 50° . Ονομάζονται και ICO (Intermediate Circular Orbits). Με 2 τροχιακά επίπεδα και 6 δορυφόρους ανά επίπεδο επιτυγχάνεται παγκόσμια κάλυψη.

Τα πλεονεκτήματα αυτού του είδους τροχιάς είναι τα εξής:

Ένας αριθμός από τέτοιου είδους δορυφόρους, σωστά ρυθμισμένους, μπορεί να επιτύχει παγκόσμια τηλεπικοινωνιακή κάλυψη

Λόγω της κοντινής τους απόστασης από τη Γη οι MEO δορυφόροι απαιτούν λίγη ενέργεια για την λειτουργία τους και περιέχουν μικρότερες κεραίες από τους GEO δορυφόρους

Το συνολικό εμβαδόν στην επιφάνεια της Γης που καλύπτει ένας τέτοιος δορυφόρος είναι αρκετά μεγαλύτερο από το αντίστοιχο που καλύπτει ένας LEO. Γι' αυτό και για την παγκόσμια κάλυψη απαιτούνται λιγότεροι δορυφόροι με τεχνολογία MEO σε σχέση με τους LEO.

4.1.3 Δορυφόροι GEO

Οι δορυφόροι GEO βρίσκονται σε ύψος 35.786 Km και κινούνται από τα δυτικά προς τα ανατολικά σε κυκλικές τροχιές με μηδενική κλίση (ισημερινές τροχιές). Ένας δορυφόρος στην γεωσύγχρονη ισημερινή τροχιά, βρίσκεται άμεσα επάνω από τον ισημερινό, 36.000 Km έξω στο διάστημα. Σε εκείνη την απόσταση παίρνει ο δορυφόρος την ταχύτητα που χρειάζεται για να φτάσει την ταχύτητα της περιστροφής της Γης. Δεδομένου ότι παίρνει η Γη 24 ώρες στην περιστροφή επάνω στον άξονά της, ο δορυφόρος και η Γη έχουν μία κίνηση από κοινού. Έτσι, ένας δορυφόρος σε GEO μένει πάντα άμεσα πάνω από το ίδιο σημείο στη Γη. Παρέχεται συνεχής κάλυψη της περιοχής που είναι ορατό (42.4% της επιφάνειας της Γης). Τρεις τέτοιοι δορυφόροι τοποθετημένοι σε τόξα των 120° γύρω από τη Γη μπορούν να παρέχουν πλήρη τηλεπικοινωνιακή κάλυψη. Επειδή είναι τόσο μακριά, οι δορυφόροι GEO έχουν μία πολύ ευρεία άποψη της Γης π.χ. το ίχνος ενός δορυφόρου ραδιοφωνικής μετάδοσης Echo Star καλύπτει σχεδόν όλη τη Βόρεια Αμερική. Και, δεδομένου ότι μένουν πάνω από το ίδιο σημείο στη Γη, ξέρουμε πάντα ότι οι δορυφόροι GEO είναι ακίνητοι για έναν παρατηρητή από τη Γη. Εάν η κεραία μας δείχνει στη σωστή κατεύθυνση, θα έχουμε πάντα την άμεση επαφή με τον δορυφόρο. Το ταξίδι πολλών επικοινωνιακών δορυφόρων στις γεωσύγχρονες τροχιές, συμπεριλαμβανομένων εκείνων που αναμεταδίδουν την τηλεόραση, φέρνει το σήμα στα σπίτια μας.

Τα πλεονεκτήματα αυτού του είδους τροχιάς είναι τα εξής:

Απλό διαστημικό σύστημα

Καλή δομή ανάπτυξης του συστήματος (ένας δορυφόρος για να καλύψει κάποιες περιοχές, 3 ή 4 για παγκόσμια κάλυψη)

Δεν χρειάζεται καμία διαδικασία μεταπομπής από δορυφόρο σε δορυφόρο μιας και κάθε χρήστης επικοινωνεί συνεχώς με τον ίδιο δορυφόρο

Το σύστημα ελέγχου των δορυφόρων είναι απλό και δοκιμασμένο

Δεν απαιτείται σύστημα ανίχνευσης και εντοπισμού του δορυφόρου στα επίγεια τερματικά

Δεν υπάρχει μεταβολή στην καθυστέρηση διάδοσης και στη γωνία ανύψωσης

Το φαινόμενο Doppler είναι αμελητέο

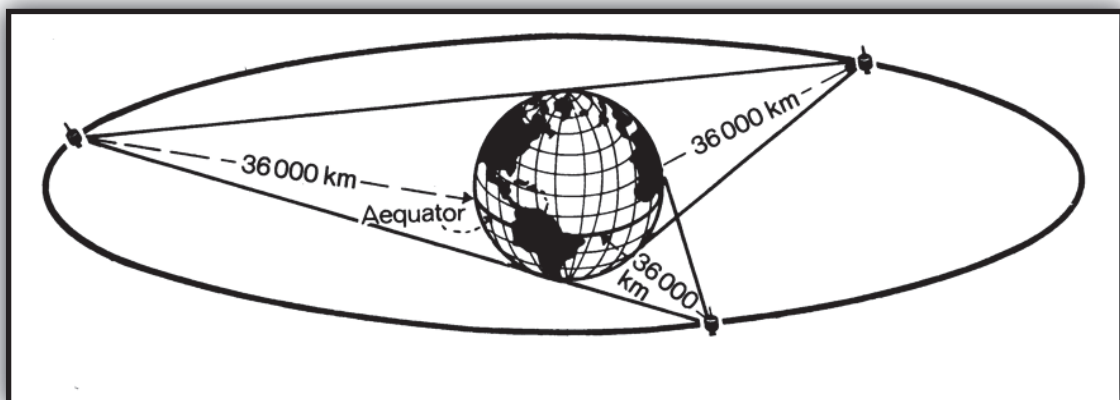
Υπάρχει μεγάλη περιοχή πρόσβασης, από τη στιγμή που οι δορυφόροι βρίσκονται σε μεγάλο υψόμετρο και καθένας παρέχει ορατότητα σε μεγάλο μέρος του κόσμου

Από την άλλη πλευρά τα μειονεκτήματα της συγκεκριμένης τεχνικής είναι:

Η μεγάλη απόσταση δορυφόρου - χρήστη επηρεάζει τόσο την εκπεμπόμενη ισχύ όσο και το μέγεθος των κεραιών στον δορυφόρο, ιδίως αν χρησιμοποιηθούν συσκευές χειρός. Έτσι η πολυπλοκότητα του τηλεπικοινωνιακού μέρους του δορυφόρου έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση του απαιτούμενου χρόνου κατασκευής του (π.χ. ο Intelsat VI χρειάστηκε 7 χρόνια), όσο και το κόστος που απαιτείται για την εκτόξευσή του.

Έχουμε μεγάλες καθυστερήσεις διάδοσης, λόγω της μεγάλης απόστασης, που μπορεί να φτάσουν τα 700 msec για μια αμφίδρομη επικοινωνία

Οι γωνίες ανύψωσης είναι χαμηλές (10 μοίρες) σε περιοχές με μεγάλο γεωγραφικό πλάτος ή πολλά βουνά και αυτό αποτελεί σοβαρό πρόβλημα για τις κινητές επικοινωνίες



Κάλυψη δορυφόρων GEO

4.2 Επιλογή Τροχιάς

Τα κριτήρια για την επιλογή μιας από τις τρεις τροχιές που περιγράφηκαν προηγουμένως περιλαμβάνουν τα εξής:

Την έκταση της προς κάλυψη περιοχής

Το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής

Την επιθυμητή γωνία ανύψωσης

Την επιθυμητή διάρκεια εκπομπής

Την μέγιστη ανεκτή καθυστέρηση εκπομπής

Την ανοχή στις παρεμβολές

Την απόδοση των εκτοξευτών

Το κόστος

4.3 Εισαγωγή στα προβλήματα διάδοσης των Ραδιοκυμάτων μέσω της ατμόσφαιρας

Τα φαινόμενα που επηρεάζουν δυσμενώς τις δορυφορικές ζεύξεις δημιουργούνται σε δύο στρώματα της ατμόσφαιρας και συγκεκριμένα

Στην τροπόσφαιρα, το πλησιέστερο τμήμα της ατμόσφαιρας στη Γη που εκτείνεται από την επιφάνεια του εδάφους μέχρι υψόμετρο που κυμαίνεται από 6 km στους πόλους μέχρι και τα 17 km κοντά στον ισημερινό. Οι επιπτώσεις στη διάδοση μέσω αυτού του στρώματος ονομάζονται τροποσφαιρικές και γίνονται αισθητές σε συστήματα που λειτουργούν σε συχνότητες άνω των 3 GHz

Στην ιονόσφαιρα, το πλέον απομακρυσμένο στρώμα της ατμόσφαιρας. Οι αντίστοιχες επιπτώσεις από τη διάδοση ονομάζονται ιονοσφαιρικές και γίνονται αισθητές σε συστήματα που η συχνότητα λειτουργίας τους είναι μικρότερη των 3 GHz

Η εξάπλωση της χρήσης τερματικών VSAT / USAT (Very / Ultra Small Aperture Terminals), η παροχή υπηρεσιών direct-to-home (DTH) από συστήματα DBS (Digital Broadcasting System), η επέκταση των δορυφορικών επικοινωνιών σε μη

γεωστατικές τροχιές αλλά και στα καθιερωμένα συστήματα GEO έχουν οδηγήσει τα συστήματα δορυφορικών επικοινωνιών σε συχνότητες λειτουργίας άνω των 10 GHz.

Τα βασικά τροποσφαιρικά προβλήματα που επηρεάζουν τη διάδοση ραδιοκυμάτων σε συχνότητες άνω των 10 GHz είναι:

Εξασθένηση λόγω ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων

Απόσβεση από αέρια της ατμόσφαιρας

Εξασθένηση λόγω νεφώσεων

Εξασθένηση από το στρώμα τήξης του πάγου

Αποπόλωση

Τροποσφαιρικοί σπινθηρισμοί

Αύξηση της θερμοκρασίας θορύβου

Το *περιθώριο διαλείψεων* (fade margin), είναι η τιμή της απόσβεσης που οδηγεί το δέκτη σε αδυναμία ανάκτησης του σήματος ή ισοδύναμα, το απαραίτητο κέρδος του συστήματος ώστε να καθίσταται το σύστημα αξιόπιστο και να εξασφαλίζεται η ποιότητα υπηρεσιών (Quality Of Service, QoS). Σε πολλές περιπτώσεις, το περιθώριο διαλείψεων πρέπει να αυξηθεί σημαντικά ώστε να αντισταθμίζεται η εξασθένηση του σήματος σε συχνότητες άνω των 10 GHz. Όμως, τα μεγάλα περιθώρια διαλείψεων που απαιτούνται δεν είναι πάντοτε εφικτά είτε τεχνικά είτε οικονομικά, ιδιαίτερα στις ζώνες Ka και V.

Έτσι, είναι δύσκολο να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις διαθεσιμότητας και επίδοσης του Τομέα Ραδιοεπικοινωνιών της Διεθνούς Ένωσης Τηλεπικοινωνιών (ITU-R). Για το λόγο αυτό, έχουν αναπτυχθεί κατάλληλες τεχνικές αντιμετώπισης των διαλείψεων (fade mitigation techniques, FMT) που χωρίζονται στις εξής γενικές κατηγορίες:

Τεχνικές Ελέγχου της Ισχύος (EIRP control techniques)

- Έλεγχος της ισχύος στη ζεύξη uplink με μεταβολή της ισχύος εκπομπής του επίγειου σταθμού (uplink power control)
- Έλεγχος της ισχύος στη ζεύξη downlink με μεταβολή της ισχύος εκπομπής του δορυφόρου (downlink power control)
- Μορφοποίηση της δέσμης από το δορυφόρο (Beam Shaping)

Προσαρμοστικές Τεχνικές Μετάδοσης του Σήματος

- Προσαρμοστική κωδικοποίηση, προσαρμοστική διαμόρφωση (adaptive coding, adaptive modulation, AC, AM αντίστοιχα)
- Συνδυασμός των AC και AM (ACM)
- Προσαρμοστικός ρυθμός μετάδοσης δεδομένων (Adaptive Data Rate Switching) ή Μείωση του Ρυθμού Μετάδοσης Δεδομένων (Data Rate Reduction, DRR)

Τεχνικές διαφορικής λήψης (diversity techniques)

- Διαφορική Λήψη Θέσης (Site Diversity, SD)
- Διαφορική Λήψη Δορυφορικής Τροχιάς (Orbital Diversity, OD)
- Διαφορική Λήψη Συχνότητας (Frequency Diversity, FD)

Όταν η ζεύξη λειτουργεί υπό μικρές γωνίες ανύψωσης (<20°) και σε συχνότητες άνω των 10 GHz, τα σημαντικότερα προβλήματα εισάγονται λόγω των ατμοσφαιρικών φαινομένων, κυρίως λόγω της βροχόπτωσης. Όταν οι συχνότητες λειτουργίας υπερβαίνουν τα 30 GHz, η απόσβεση επιβαρύνεται εξαιτίας της απορρόφησης λόγω ατμοσφαιρικών αερίων.

4.4 Το δορυφορικό Ραδιοφάσμα

Το φάσμα ραδιοσυχνοτήτων αποτελεί κρίσιμο πόρο για τις τηλεπικοινωνίες αφού αποτελεί αγαθό σε ανεπάρκεια που πρέπει να μοιράζεται αποδοτικά μεταξύ όλων των τύπων ασύρματων υπηρεσιών τόσο επίγειων όσο και δορυφορικών. Προκειμένου να γίνεται βέλτιστη εκμετάλλευση του ραδιοφάσματος, η ITU έχει εκχωρήσει συχνότητες για όλες τις τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες.

Οι ζώνες συχνοτήτων, τις οποίες καταλαμβάνουν σήμερα οι δορυφορικές επικοινωνίες τόσο για τη ζεύξη επίγειου σταθμού – δορυφόρου, όσο και για τη ζεύξη δορυφόρου – επίγειου σταθμού, παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα. Στον ίδιο πίνακα βρίσκει κανείς και τις βασικές κατηγορίες τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών μέσω δορυφόρου ανά ζώνη συχνοτήτων, όπως αυτές ορίζονται από το Διεθνή Κανονισμό Ραδιοεπικοινωνιών.

Ονομασία Ζώνης Συχνοτήτων	Συχνότητα κάτω Ζεύξης	Συχνότητα άνω Ζεύξης	Κατηγορίες Τηλεπικοινωνιακών Υπηρεσιών
L - ζώνη	1 GHz	2 GHz	Κινητή υπηρεσία μέσω δορυφόρου (Mobile Satellite Service, MSS)
			Κινητή υπηρεσία ξηράς μέσω δορυφόρου (Land Mobile Satellite Service, LMSS)
S - ζώνη	2 GHz	4 GHz	Κινητή υπηρεσία μέσω δορυφόρου (Mobile Satellite Service, MSS)
			Υπηρεσία έρευνας του διαστήματος (Space)

			Research Service)
C - ζώνη	4 GHz	8 GHz	Σταθερή υπηρεσία μέσω δορυφόρου (Fixed Satellite Service, FSS)
X - ζώνη	8 GHz	12.5GHz	Σταθερή υπηρεσία μέσω δορυφόρου για στρατιωτικούς σκοπούς (Fixed Satellite Service Military Communication)
Ku - ζώνη	12.5GHz	19GHz	Σταθερή υπηρεσία μέσω δορυφόρου (Fixed Satellite Service, FSS) Υπηρεσία ευρυεκπομπής μέσω δορυφόρου (Broadcast Satellite Service, BSS)
K - ζώνη	19 GHz	26.5 GHz	Σταθερή υπηρεσία μέσω δορυφόρου (Fixed Satellite Service, FSS) Υπηρεσία ευρυεκπομπής μέσω δορυφόρου (Broadcast Satellite Service, BSS)
Ka - ζώνη	26.5 GHz	30 GHz	Σταθερή υπηρεσία μέσω δορυφόρου (Fixed Satellite Service, FSS) Υπηρεσία ευρυεκπομπής μέσω δορυφόρου (Broadcast Satellite Service, BSS)

Δορυφορικές ζώνες συχνοτήτων και οι υπηρεσίες τους

Παρατηρήσεις σε σχέση με τον παραπάνω πίνακα:

Εκτός από τις τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες που εμφανίζονται στον πίνακα, στο Διεθνή Κανονισμό Ραδιοεπικοινωνιών προβλέπονται και άλλες (περισσότερο εξειδικευμένες) κατηγορίες υπηρεσιών (συνολικά 18). Τέτοιες είναι η διαδορυφορική υπηρεσία, η κινητή ναυτική υπηρεσία μέσω δορυφόρου, η υπηρεσία ραδιοεντοπισμού μέσω δορυφόρου, η υπηρεσία εξερεύνησης της γης μέσω δορυφόρου, η μετεωρολογία κ.α.

Αξίζει να επισημανθεί το γεγονός της χρήσης σε όλες τις ζώνες διαφορετικών συχνοτήτων μεταξύ της ανω ζεύξης (γης-δορυφόρου) και της κατω ζεύξης (δορυφόρου-γης), με τη χαμηλότερη συχνότητα να ανατίθεται τις περισσότερες φορές στη δεύτερη. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγονται οι παρεμβολές ανάμεσα στους δύο δυνατούς τρόπους λειτουργίας του δορυφόρου ή του επίγειου σταθμού (ως πομπού και ως δέκτη), ενώ προφυλάσσεται η κάτω ζεύξη από τις μεγαλύτερες αποσβέσεις που συνεπάγεται η διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων σε υψηλότερες συχνότητες.

Αν και οι πρώτοι δορυφόροι που τέθηκαν σε τροχιά έκαναν στην πλειοψηφία τους χρήση της φασματικής ζώνης C, αρχικά η ζώνη Ku και στη συνέχεια η Ka αλλά και η

ζώνη συχνοτήτων V που δεν αναγράφεται στον πίνακα, έγιναν περισσότερο ελκυστικές για τα σύγχρονα εμπορικά δορυφορικά συστήματα. Εκτός από τους λόγους αυτούς, η ενεργοποίηση φερουσών συχνοτήτων υψηλότερων των 10 GHz προσέφερε προσωρινά ανακούφιση στο πρόβλημα των διαθέσιμων θέσεων στη γεωστατική τροχιά.

Ενδεικτικά αναφέρεται ότι στη Βόρεια Αμερική κατά μήκος ενός τόξου 70° επί της γεωστατικής τροχιάς υπάρχουν περίπου 35 δορυφόροι που λειτουργούν στη ζώνη C. Όταν δύο δορυφορικά συστήματα λειτουργούν σε κοινή περιοχή του φάσματος, το πρόβλημα των αμοιβαίων παρεμβολών λαμβάνει σοβαρές διαστάσεις όταν η γωνιακή απόσταση που χωρίζει τους αντίστοιχους δορυφόρους είναι μικρή.

Με την τοποθέτηση στους δορυφορικούς επαναλήπτες πομποδεκτών στις ζώνες Ku, Ka και V, το πρόβλημα μετριάζεται και οι δορυφόροι εγκαθίστανται σε γωνιακές αποστάσεις μέχρι 1° . Το όριο των 1° δεν μπορεί να μειωθεί περαιτέρω, λόγω της μειωμένης ικανότητας σκόπευσης ενός μόνο δορυφόρου (με επαρκή απομόνωση από τους γειτονικούς του) από τις μικρές σε μέγεθος κεραίες που χρησιμοποιούν οι μικροί χρήστες δορυφορικών υπηρεσιών, όπως οικιακοί χρήστες, δίκτυα επιχειρήσεων κλπ.

Κεφάλαιο 5: Θόρυβος στα δορυφορικά συστήματα

Ο θόρυβος γενικά είναι κάθε σήμα με μηδενικό πληροφοριακό περιεχόμενο, το οποίο προστίθεται στα χρήσιμα πληροφοριακά σήματα, μειώνοντας την ικανότητα του δέκτη να αναπαράγει ικανοποιητικά τη μεταδιδόμενη πληροφορία. Οι πιθανές πηγές θορύβου στις δορυφορικές επικοινωνίες προέρχονται είτε από τον εξωτερικό θόρυβο που εισέρχεται στον δέκτη μέσω της κεραία, είτε από τον εσωτερικό θόρυβο των κυκλωμάτων του δέκτη.

5.1 Προέλευση του θορύβου

Ο θόρυβος αποτελείται από όλες τις ανεπιθύμητες συνιστώσες, των οποίων η ισχύς προστίθεται σε εκείνη του επιθυμητού φέροντος κύματος. Ελαττώνει την ικανότητα του δέκτη να αναπαράγει σωστά την πληροφορία που περιέχεται στο λαμβανόμενο επιθυμητό φέρον κύμα.

Η προέλευση του θορύβου είναι η εξής:

Ο θόρυβος που εκπέμπεται από φυσικές πηγές ακτινοβολίας, οι οποίες βρίσκονται εντός της περιοχής λήψης της κεραίας

Ο θόρυβος που δημιουργείται από τα εξαρτήματα του εξοπλισμού λήψης

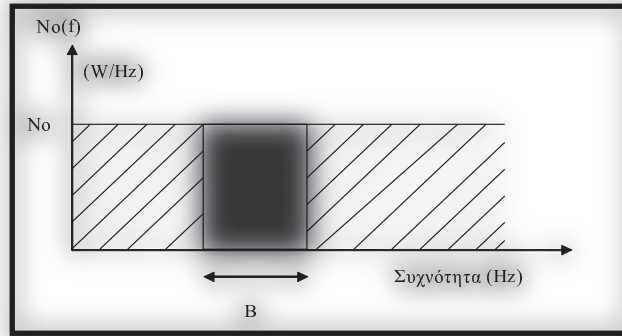
Τα φέροντα κύματα από πομπούς διαφορετικούς από εκείνον που θέλουμε να λάβουμε, ταξινομούνται επίσης σαν θόρυβος. Αυτός ο θόρυβος περιγράφεται με τον όρο παρεμβολή.

5.2 Χαρακτηρισμός και ορισμός του θορύβου

Η ανεπιθύμητη ισχύς θορύβου είναι εκείνη η οποία προκύπτει στο εύρος ζώνης B του επιθυμητού διαμορφωμένου κύματος. Ένα δημοφιλές μοντέλο θορύβου είναι εκείνο του λευκού θορύβου, για το οποίο η φασματική πυκνότητα ισχύος $N_0(W/Hz)$ είναι σταθερή στην εξεταζόμενη ζώνη συχνοτήτων στο παρακάτω σχήμα. Η ισοδύναμη ισχύς θορύβου $N(W)$ που λαμβάνεται από ένα δέκτη με ισοδύναμο εύρος ζώνης θορύβου B_N , που συνήθως προσαρμόζεται στο B (δηλαδή $B_N = B$), δίνεται από τη σχέση:

$$N = N_0 B_N (W) \quad (5.1)$$

Οι πραγματικές πηγές θορύβου δεν έχουν πάντα σταθερή φασματική πυκνότητα ισχύος, αλλά το μοντέλο αυτό είναι βολικό για την αναπαράσταση του πραγματικού θορύβου, ο οποίος παρατηρείται στο στενό εύρος ζώνης.



Φασματική πυκνότητα λευκού θορύβου

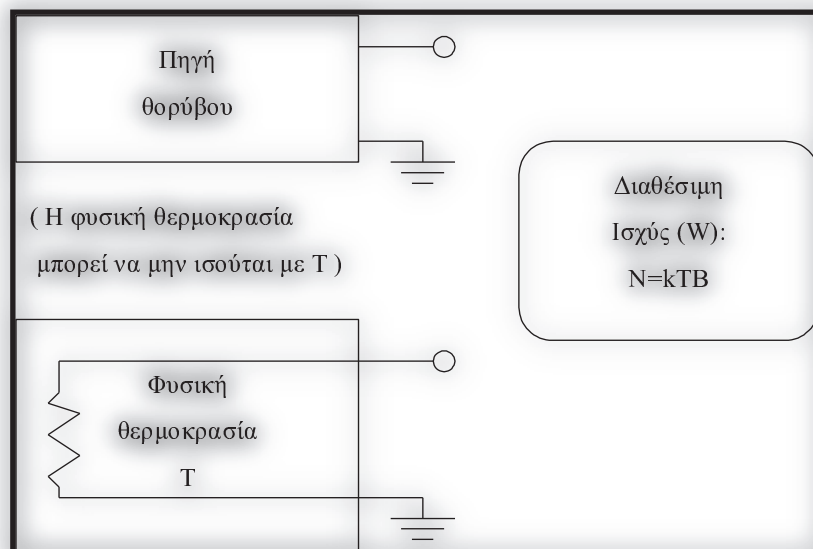
5.3 Η θερμοκρασία θορύβου μιας δίθυρης πηγής θορύβου

Η θερμοκρασία θορύβου μιας πηγής θορύβου η οποία αποδίδει μια διαθέσιμη ισχύ θορύβου N , δίνεται από τη σχέση:

$$T = \frac{N}{kB} = \frac{N_0}{k} \quad (K) \quad (5.2)$$

όπου k είναι η σταθερά Boltzmann, η οποία ισούται με $1.379 \times 10^{-23} = -228.6$ dBW/Hz K, το μέγεθος που αναπαριστά τη θερμοδυναμική θερμοκρασία μιας αντίστασης η οποία αποδίδει την ίδια διαθέσιμη ισχύ θορύβου με εκείνη της υπό εξέταση πηγής (παρακάτω σχήμα).

Η διαθέσιμη ισχύς θορύβου είναι η ισχύς που αποδίδεται από την πηγή σε μια συσκευή της οποίας η εμπέδηση (σύνθετη αντίσταση), είναι προσαρμοσμένη με εκείνη της πηγής.



Ο ορισμός της θερμοκρασίας θορύβου μιας πηγής θορύβου

5.4 Ενεργός θερμοκρασία θορύβου στην είσοδο ενός τετράθυρου στοιχείου

Η ενεργός θερμοκρασία εισόδου T_e ενός τετράθυρου στοιχείου είναι η θερμοδυναμική θερμοκρασία μιας αντίστασης η οποία, όταν τοποθετείται στην είσοδο του στοιχείου που υποτίθεται ότι δεν έχει θόρυβο, προκαλεί την εμφάνιση της ίδιας διαθέσιμης ισχύος θορύβου στην έξοδο του στοιχείου με εκείνη του πραγματικού στοιχείου χωρίς την πηγή θορύβου στην είσοδό του (παρακάτω σχήμα). Η T_e είναι λοιπόν ένα μέτρο του θορύβου ο οποίος παράγεται από τα εσωτερικά εξαρτήματα του τετράθυρου στοιχείου.

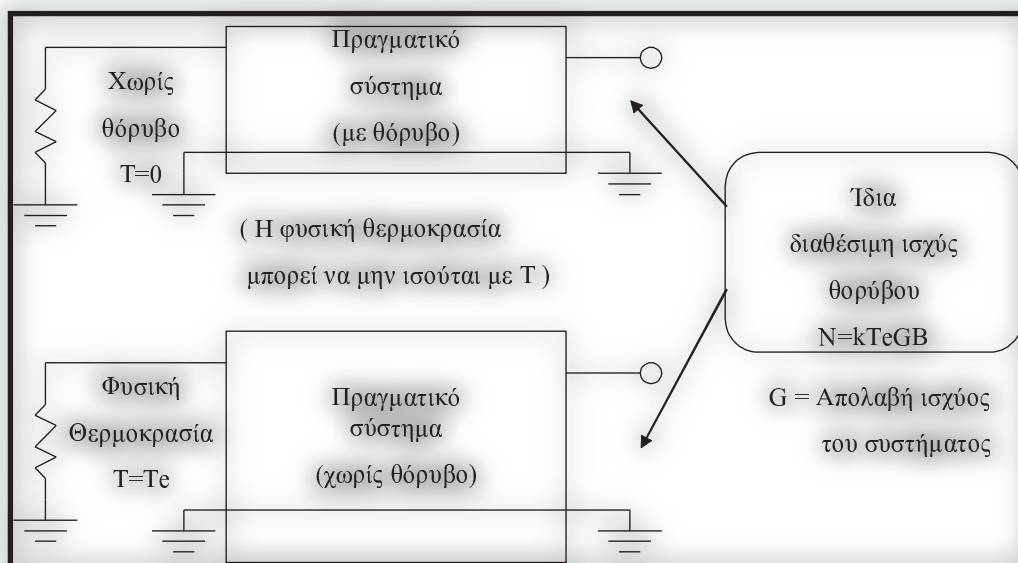
Ο συντελεστής θορύβου αυτού του τετράθυρου στοιχείου είναι ίσος με το λόγο της ολικής διαθέσιμης ισχύος θορύβου στην έξοδο του στοιχείου προς τη συνιστώσα αυτού του θορύβου που εισάγει στην είσοδο του στοιχείου μια πηγή με θερμοκρασία θορύβου ίση με θερμοκρασία αναφοράς $T_0 = 290 \text{ K}$.

Υποθέτουμε ότι το στοιχείο έχει απολαβή ισχύος G , εύρος ζώνης λειτουργίας B και συνδέεται με μια πηγή θορύβου με θερμοκρασία T_0 . Η ολική ισχύς στην έξοδο είναι:

$$Gk \frac{T_e + T_0}{T_0} = 1 + \frac{T_e}{T_0} \quad (5.3)$$

Η συνιστώσα της ισχύος αυτής η οποία προέρχεται από την πηγή είναι $Gk T_0 B$. Έτσι, ο συντελεστής θορύβου είναι :

$$F = \frac{Gk(T_e + T_0)B}{GkT_0B} = \frac{T_e + T_0}{T_0} = 1 + \frac{T_e}{T_0} \quad (5.4)$$



Η ενεργός θερμοκρασία θορύβου εισόδου ενός τετράθυρου στοιχείου

5.5 Ενεργός θερμοκρασία θορύβου εισόδου μερικών στοιχείων σε σειρά

Θεωρούμε μια αλυσίδα N τετράθυρων στοιχείων σε σειρά, όπου κάθε στοιχείο j έχει απολαβή ισχύος G_j ($j=1,2,\dots,N$) και ενεργό θερμοκρασία θορύβου στην είσοδο ίση με T_{ej} .

Η συνολική ενεργός θερμοκρασία θορύβου στην είσοδο είναι:

$$T_e = T_{e1} + \frac{T_{e2}}{G_1} + \frac{T_{e3}}{G_1 G_2} + \dots + \frac{T_{eN}}{G_1 G_2, \dots, G_{N-1}} \quad (K) \quad (5.5)$$

Ο συντελεστής θορύβου λαμβάνεται από την εξίσωση (5.4):

$$F = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1} + \frac{F_3 - 1}{G_1 G_2} + \dots + \frac{F_N - 1}{G_1 G_2, \dots, G_{N-1}} \quad (5.6)$$

5.6 Θερμοκρασία θορύβου κεραίας

Μια κεραία συλλέγει θόρυβο από ακτινοβολούντα σώματα τα οποία βρίσκονται εντός του διαγράμματος ακτινοβολίας της. Η έξοδος θορύβου από την κεραία είναι συνάρτηση της διεύθυνσης προς την οποία βλέπει, του διαγράμματος ακτινοβολίας της και της κατάστασης του περιβάλλοντος. Η κεραία θεωρείται σαν μια πηγή θορύβου που χαρακτηρίζεται από μια θερμοκρασία θορύβου η οποία ονομάζεται θερμοκρασία θορύβου της κεραίας T_A (K).

Έστω $T_b(\theta, \varphi)$ η θερμοκρασία λαμπρότητας ενός ακτινοβολούντος σώματος που βρίσκεται σε μια διεύθυνση (θ, φ) , όπου η απολαβή της κεραίας έχει τιμή $G(\theta, \varphi)$. Η θερμοκρασία της κεραίας βρίσκεται με ολοκλήρωση των συνεισφορών όλων των ακτινοβολούντων σωμάτων εντός του διαγράμματος ακτινοβολίας της κεραίας. Έτσι η θερμοκρασία θορύβου της κεραίας είναι:

$$T_A = \frac{1}{4\pi} \iint T_b(\theta, \varphi) G(\theta, \varphi) \sin\theta d\theta d\varphi \quad (K) \quad (5.7)$$

5.7 Θερμοκρασία θορύβου ενός εξασθενητή

Ένας εξασθενητής είναι ένα τετράθυρο στοιχείο το οποίο περιέχει μόνο παθητικά εξαρτήματα (που μπορούν να θεωρηθούν σαν αντιστάσεις), όλα σε θερμοκρασία T_{ATT} , η οποία γενικά είναι η θερμοκρασία περιβάλλοντος. Αν L_{ATT} είναι η εξασθένιση που προκαλεί ο εξασθενητής, η ενεργός θερμοκρασία θορύβου στην είσοδο του εξασθενητή είναι:

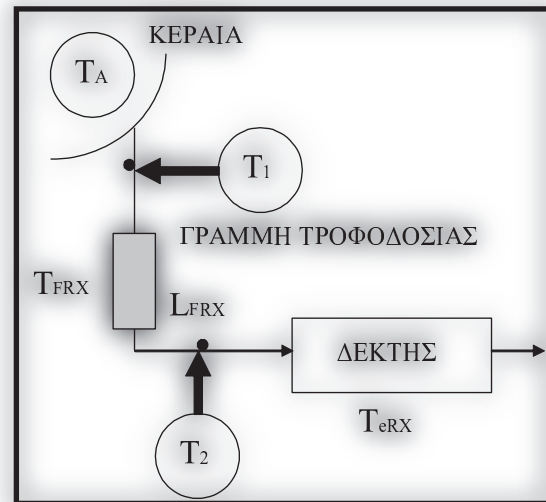
$$T_{eATT} = (L_{ATT} - 1)T_{ATT} \quad (K) \quad (5.8)$$

Αν είναι $T_{ATT} = T_0$, ο συντελεστής θορύβου του εξασθενητή, μέσω σύγκρισης των εξισώσεων (5.4) και (5.8) είναι:

$$F_{ATT} = L_{ATT} \quad (5.9)$$

5.8 Θερμοκρασία θορύβου του συστήματος

Θεωρούμε τον εξοπλισμό λήψης που φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Αποτελείται από μία κεραία που συνδέεται σε ένα δέκτη. Η σύνδεση (γραμμή μεταφοράς) έχει απώλειες και βρίσκεται σε θερμοδυναμική θερμοκρασία T_F (η οποία είναι περίπου ίση με $T_0 = 290 \text{ K}$). Η γραμμή μεταφοράς εισάγει μια εξασθένηση L_{FRX} η οποία αντιστοιχεί με απολαβή $G_{FRX} = 1 / L_{FRX}$ και είναι μικρότερη από 1 (επειδή $L_{FRX} \geq 1$). Η ενεργός θερμοκρασία θορύβου εισόδου T_e του δείκτη είναι T_{eRX} .



Σύστημα Λήψης

Η θερμοκρασία θορύβου μπορεί να βρεθεί σε δύο σημεία, με τον τρόπο που ακολουθεί:

Στην έξοδο της κεραίας, πριν από τις απώλειες της γραμμής τροφοδοσίας, θερμοκρασία T_1

Στην είσοδο του δέκτη, μετά από τις απώλειες τροφοδοσίας, θερμοκρασία T_2

Η θερμοκρασία θορύβου T_1 στην έξοδο της κεραίας είναι το άθροισμα της θερμοκρασίας θορύβου της κεραίας T_A και της θερμοκρασίας θορύβου του υποσυστήματος που αποτελείται από τη γραμμή μεταφοράς και το δείκτη σε σειρά. Η θερμοκρασία θορύβου της γραμμής μεταφοράς δίνεται από την εξίσωση (5.8). Από την εξίσωση (5.5), η θερμοκρασία θορύβου του υποσυστήματος είναι:

$$(L_{FRX} - 1)T_F + \frac{T_{eRX}}{G_{FRX}} \quad (5.10)$$

Προσθέτοντας τη συνεισφορά της κεραίας, η οποία θεωρείται σαν μια πηγή θορύβου, αυτή η σχέση γίνεται:

$$T_1 = T_A + (L_{FRX} - 1)T_F + \frac{T_{eRX}}{G_{FRX}} \quad (K) \quad (5.11)$$

Όσον αφορά την είσοδο του δέκτη, αυτός ο θόρυβος πρέπει να έχει εξασθενήσει κατά ένα συντελεστή L_{FRX} . Αντικαθιστώντας στην G_{FRX} με $1/L_{FRX}$, βρίσκουμε τη θερμοκρασία θορύβου T_2 στην είσοδο του δέκτη:

$$T_2 = \frac{T_1}{L_{FRX}} = \frac{T_A}{L_{FRX}} + T_F \left(1 - \frac{1}{L_{FRX}}\right) + T_{eRX} \quad (K) \quad (5.12)$$

Αυτή η θερμοκρασία θορύβου T_2 , η οποία λαμβάνει υπόψη το θόρυβο που παράγεται από την κεραία και τη γραμμή τροφοδοσίας μαζί με το θόρυβο του δέκτη, ονομάζεται θερμοκρασία θορύβου του συστήματος στην είσοδο του δέκτη. Η μέτρηση του θορύβου στο εξεταζόμενο σημείο θα αντανάκλασε μόνο τη συνεισφορά θορύβου από την κεραία μέχρι εκείνο το σημείο. Στην πράξη, η θερμοκρασία θορύβου του συστήματος περιλαμβάνει όλες τις πηγές θορύβου του συστήματος λήψης.

5.9 Απόσβεση λόγω ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων

Για τον υπολογισμό της απόσβεσης λόγω βροχής σε μια δορυφορική ζεύξη, που λειτουργεί σε συχνότητες αρκετά πάνω από την ζώνη των UHF χρησιμοποιούνται διάφορα μοντέλα. Από αυτά ο διεθνής οργανισμός CCIR υιοθέτησε αυτό που προτάθηκε από τους Stutzman – Dishman και ονομάστηκε εμπειρικό μοντέλο CCIR.

Όπως και στην περίπτωση των επίγειων ζεύξεων, εκτός από τη γνώση της κατανομής της σημειακής έντασης της βροχόπτωσης και της ειδικής απόσβεσης που εισάγεται λόγω βροχής, πολύ μεγάλη έμφαση πρέπει να δοθεί και στο θέμα της χωρικής ανομοιογένειας του μέσου της βροχής. Στα δορυφορικά συστήματα μάλιστα το πρόβλημα είναι αρκετά πιο σύνθετο, καθώς υπεισέρχεται και η παράμετρος της χωρικής μεταβολής του μέσου της βροχής στο κατακόρυφο επίπεδο που δεν μας απασχόλησε στην περίπτωση των επίγειων ζεύξεων. Αυτή η μεταβολή επηρεάζει σημαντικά την εξάρτηση της απόσβεσης με την γωνία ανύψωσης της δορυφορικής ζεύξεως. Η ανομοιογένεια της βροχής στο μοντέλο CCIR λαμβάνεται υπόψη εμπειρικά.

5.9.1 Εμπειρικό Μοντέλο CCIR

Προτείνεται η ακόλουθη διαδικασία για τον υπολογισμό της κατανομής της απόσβεσης που εισάγεται λόγω βροχής σε μια δορυφορική ζεύξη και ισχύει γενικά για κάθε τοποθεσία σε συχνότητες μέχρι και 30 GHz. Πρώτα από όλα οι ακόλουθες παράμετροι είναι απαραίτητες για την ανάλυση:

$R_{0,01}$	• Κατώφλιτης σημειακής έντασης βροχόπτωσης που αναφέρεται στη συγκεκριμένη τοποθεσία για πιθανότητα υπέρβασης 0,01% ενός μέσου έτους
H_0	• Μέσο ύψος του συγκεκριμένου επίγειου σταθμού πάνω από το υψόμετρο της θάλασσας
ϕ	• Γωνία ανύψωσης του κεκλιμένου ραδιοδρόμου
Λ	• Γεωγραφικό πλάτος του επίγειου σταθμού (σε μοίρες)
f	• Συχνότητα (σε GHz)

Σημειώνεται ότι η μεθοδολογία αποτελείται από τα ακόλουθα επτά βήματα που οδηγούν στον υπολογισμό του κατωφλίου της απόσβεσης που υπερβαίνει για 0,01% του χρόνου, ενώ το όγδοο βήμα χρησιμοποιείται για τον καθορισμό της απόσβεσης που υπερβαίνει για άλλες στάθμες πιθανότητας που περιλαμβάνονται μεταξύ 0,001% - 1% του μέσου χρόνου.

Βήμα 1ο :

Υπολογίζεται πρώτα το μέσο ύψος της ισόθερμης των 0°C από τον ακόλουθο εμπειρικό τύπο:

$$H(\text{km}) = \begin{cases} 3 + 0.028\Lambda & 0 \leq \Lambda \leq 36^\circ \\ 4 - 0.075(\Lambda - 36) & \Lambda \geq 36^\circ \end{cases} \quad (5.13)$$

Βήμα 2ο :

Για $\phi \geq 5^\circ$, το ενεργό μήκος της δορυφορικής ζεύξεως που διέρχεται από το μέσο βροχής, δίνεται από της έκφραση:

$$L_s = \frac{H - H_0}{\sin \phi} \text{ σε km} \quad (5.14)$$

Για $\phi < 5^\circ$, πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένας πιο ακριβής τύπος:

$$L_s = \frac{2(H - H_0)}{\left[\sin^2 \phi + \frac{2(H - H_0)}{R_E} \right] + \sin \phi} \text{ σε km} \quad (5.15)$$

όπου R_E η μέση ακτίνα της Γης ($\cong 8500 \text{ km}$)

Βήμα 3ο :

Η οριζόντια προβολή L_D του ενεργού μήκους L_S της δορυφορικής ζεύξεως δίνεται από τη σχέση:

$$L_D = L_S \cos \varphi \quad (5.16)$$

Βήμα 4ο :

Για τη συγκεκριμένη τοποθεσία υπολογίζεται η ένταση της βροχόπτωσης $R_{0,01}$. Για την καλή εφαρμογή του συγκεκριμένου μοντέλου απαιτείται η ένταση της βροχόπτωσης $R_{0,01}$ να αναφέρεται σε χρόνο ολοκλήρωσης των βροχομετρητών της τάξης του 1 min. Εάν αυτή η πληροφορία δεν είναι διαθέσιμη από τοπικά δεδομένα μετρήσεων βροχόπτωσης, τότε μια αρκετά ικανοποιητική προσέγγιση του $R_{0,01}$ μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας κατάλληλους χάρτες για τις διάφορες κλιματικές ζώνες. Οι κατανομές υπέρβασης του R στις διάφορες κλιματικές ζώνες φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

% του ολικού χρόνου	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1.0	<0.1	0.5	0.7	2.1	0.6	1.7	3	2	8	1.5	2	4	5	12	14
0.3	0.8	2.0	2.8	4.5	2.4	4.5	7	4	11	4.2	7	11	15	34	49
0.1	2	3	5	8	6	8	12	10	20	12	15	22	35	65	72
0.03	5	6	9	13	12	15	20	18	28	23	33	40	65	105	96
0.01	6	12	15	19	22	28	30	32	35	42	60	63	95	145	135
0.003	14	21	26	29	41	54	45	55	45	70	105	95	140	195	142
0.001	22	32	42	42	70	78	65	83	55	100	150	120	180	250	170

Βήμα 5ο :

Υπολογίζεται ένας συντελεστής μείωσης $r_{0,01}$ του ενεργού μήκους της δορυφορικής ζεύξεως, που αναφέρεται στην πιθανότητα υπέρβασης 0,01% του μέσου χρόνου από τον ακόλουθο τύπο:

$$r_{0.01} = \frac{1}{1 + \frac{L_D}{L_0}} \quad (5.17)$$

όπου

$$L_0 = 35 \exp(-0.015 R_{0,01}) \quad (5.18)$$

Βήμα 6ο :

Υπολογίζεται η ειδική απόσβεση A_0 (dB/km) που αναφέρεται στην συχνότητα, την πόλωση του κύματος και την γωνία ανύψωσης του ραδιοδρόμου, που αντιστοιχεί στην ένταση βροχόπτωσης $R_{0,01}$. Ο υπολογισμός γίνεται με βάση το περιεχόμενο του παρακάτω πίνακα:

a_h		a_v		b_h		b_v	
$A_I 10^5$	B_I	$A_{II} 10^5$	B_{II}	A_{III}	B_{III}	A_{IV}	B_{IV}
dB/km	-	dB/km	-	dB/km	-	dB/km	-
2.1114	2.71896	1.6953	2.76183	1.79764	0.23203	1.83761	0.25536
$A_h = A_I f^{B_I}$		$A_v = A_{II} f^{B_{II}}$		$b_h = A_{III} + B_{III} \ln f$		$b_v = A_{IV} + B_{IV} \ln f$	

όπου η συχνότητα στους παραπάνω τύπους είναι σε GHz.

Η σχέση που δίνει το A_0 είναι:

$$A_0 = aR^b \quad (5.19)$$

όπου $a = [(a_h + a_v) + (a_h + a_v) \cos^2 \Phi \cos 2\tau]/2$

και $b = [(a_h b_h + a_v b_v) + (a_h b_h + a_v b_v) \cos^2 \Phi \cos 2\tau]/2a$

Βήμα 7ο :

Μία εκτίμηση της απόσβεσης που εισάγεται λόγω βροχής στη συγκεκριμένη δορυφορική ζεύξη και αναφέρεται σε υπέρβαση 0,01% του χρόνου, γίνεται από τη σχέση:

$$A_{0,01} = A_0 L_s r_{0,01} \quad (5.20)$$

Βήμα 8ο :

Η εισαγόμενη απόσβεση λόγω βροχής που υπερβαίνεται για άλλες εκατοστιαίες μεταβολές του χρόνου $p\%$, στην περιοχή 0,001% έως 1%, μπορεί πλέον να εξαχθεί από τον ακόλουθο νόμο:

$$\frac{A_p}{A_{0,001}} = 0.12 p^{-(0.546 + 0.043 \log_{10} p)} \quad (5.21)$$

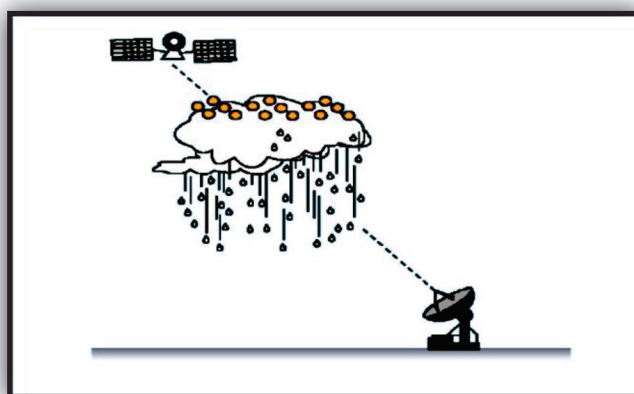
Κεφάλαιο 6: Παράγοντες που επηρεάζουν την διάδοση του δορυφορικού σήματος

6.1 Φαινόμενα διάδοσης που επηρεάζουν τις δορυφορικές ζεύξεις

Τα φαινόμενα που επηρεάζουν μια δορυφορική ζεύξη δημιουργούνται στην τροπόσφαιρα και στην ιονόσφαιρα. Αντίστοιχα, οι επιπτώσεις λόγω διάδοσης των κυμάτων διακρίνονται σε ιονοσφαιρικές επιπτώσεις που επηρεάζουν συστήματα που λειτουργούν σε συχνότητες χαμηλότερες στον 3 GHz και τροποσφαιρικές επιπτώσεις που αφορούν συστήματα σε συχνότητες υψηλότερες των 3GHz. Λόγω της σύγχρονης τάσης των δορυφορικών επικοινωνιών για λειτουργία σε συχνότητες υψηλότερες των 10GHz, η συνέχεια της ανάλυσης εστιάζεται στα τροποσφαιρικά φαινόμενα και τις αντίστοιχες επιπτώσεις.

6.1.1 Εξασθένηση λόγω ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων

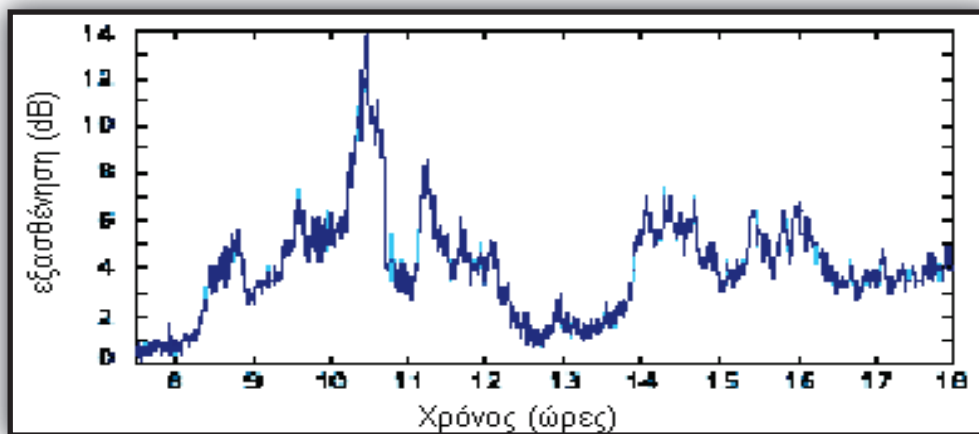
Κατά τη διάδοση μέσω υδρομετεωριτών (βροχή, χιόνι, χαλάζι ή σταγονίδια πάγου), προκαλείται εξασθένηση λόγω σκέδασης και απορρόφησης που επιφέρει μία πρόσθετη εξασθένηση της ισχύος του σήματος πέραν της εξασθένισης λόγω διάδοσης (παρακάτω σχήμα).



Ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις σε δορυφορική ζεύξη

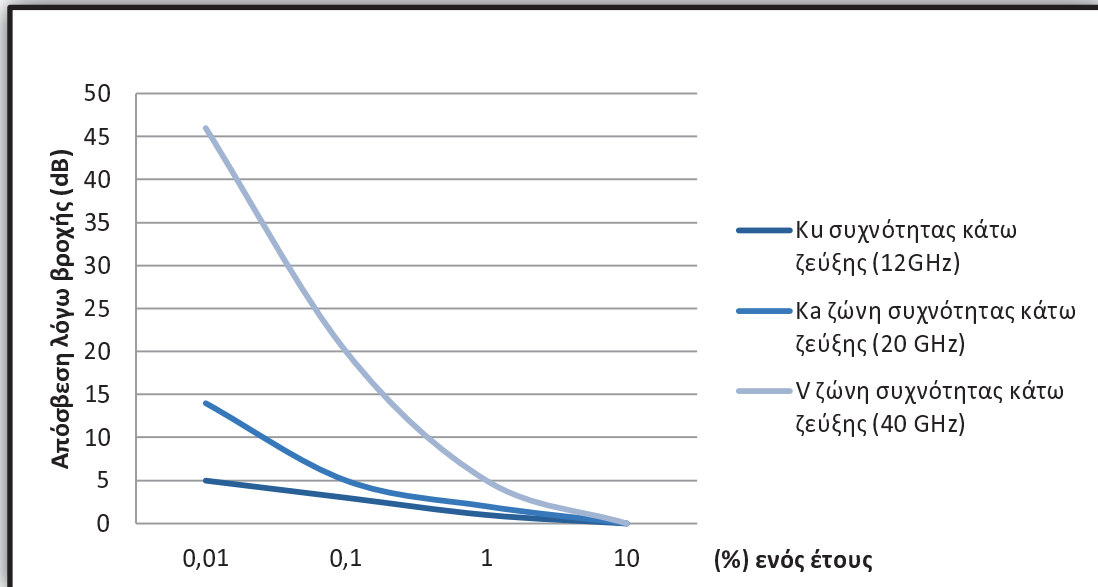
Η υδρομετεωρική σκέδαση επηρεάζει κατά κύριο λόγο τη ζώνη συχνοτήτων EHF (>30 GHz), ενώ η υδρομετεωρική απορρόφηση αποτελεί τον κύριο παράγοντα εξασθένησης στη ζώνη συχνοτήτων από 10 έως 30 GHz. Ο συνδυασμός υδρομετεωρικής σκέδασης και απορρόφησης προκαλεί απόσβεση του δορυφορικού σήματος, η οποία σε dB είναι ανάλογη του τετραγώνου της συχνότητας. Αυτό

αποτελεί και το βασικό μειονέκτημα της λειτουργίας στις ζώνες συχνοτήτων Ku, Ka και V. Στις δορυφορικές ζεύξεις, το βάθος των διαλείψεων λόγω ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων (κυρίως λόγω βροχής) εξαρτάται, επίσης, από τη γωνία ανύψωσης του δορυφόρου και από την πόλωση του δορυφορικού ηλεκτρομαγνητικού κύματος. Από την άλλη πλευρά, η εξασθένηση λόγω βροχής εξαρτάται δυσμενώς από το ρυθμό βροχόπτωσης και το μέγεθος των σταγόνων και, επομένως, επηρεάζει πολύ δυσμενώς τις τροπικές και υποτροπικές περιοχές. Μία ενδεικτική εικόνα των διαλείψεων λόγω βροχής δίδεται στο επόμενο σχήμα όπου παρουσιάζει ένα τυπικό περιστατικό διάλειψης λόγω βροχής με μέγιστη τιμή απόσβεσης 14 dB περίπου.



Διαλείψεις λόγω βροχής και σπινθηρισμών

Πολυάριθμες μέθοδοι και αντίστοιχα μοντέλα διατίθενται για την αξιόπιστη πρόβλεψη της απόσβεσης λόγω βροχής σε ετήσια βάση και με εφαρμογή παγκοσμίως. Η μεθοδολογία που συνήθως ακολουθείται για την διατύπωση μοντέλων πρόβλεψης περιλαμβάνει την περιγραφή του βάθους διαλείψεων ως συνάρτησης χρονικού ποσοστού στη διάρκεια ενός έτους και καταλήγει στον υπολογισμό της ετήσιας πιθανότητας υπέρβασης συγκεκριμένων σταθμών απόσβεσης. Για παράδειγμα, στο παρακάτω σχήμα το μοντέλο της ITU-RP.618-7 έχει εφαρμοστεί για την πρόβλεψη της ετήσιας πιθανότητας υπέρβασης στην κάτω ζεύξη ενός συστήματος που λειτουργεί στην περιοχή της Αθήνας.

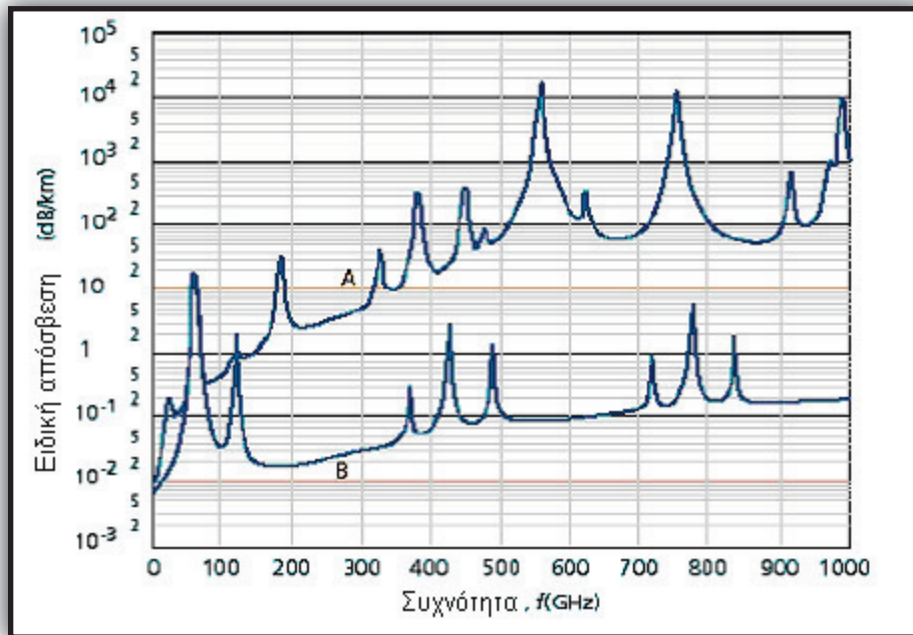


Ετήσια πιθανότητα υπέρβασης της απόσβεσης λόγω βροχής για δορυφορική ζεύξη που λειτουργεί στην Αθήνα για διάφορες συχνότητες (κατακόρυφη πόλωση, γωνία ανύψωσης 30°)

6.1.2 Απόσβεση από αέρια της ατμόσφαιρας

Η απορρόφηση από το οξυγόνο και τους υδρατμούς της ατμόσφαιρας συμβάλλει περαιτέρω στη συνολική απόσβεση των ραδιοκυμάτων, ιδιαίτερα όταν η γωνία ανύψωσης του δορυφόρου είναι μικρή. Πάντως, η συμβολή της απορρόφησης από αέρια στη συνολική απόσβεση του δορυφορικού σήματος είναι μικρή σε σχέση με την εξασθένηση λόγω βροχής.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η εξάρτηση της απορρόφησης από το οξυγόνο και τους υδρατμούς της ατμόσφαιρας από τη συχνότητα σε όρους ειδικής απόσβεσης. Από το σχήμα αυτό φαίνεται ότι, για συχνότητες κάτω των 30 GHz, η απορρόφηση από τους υδρατμούς είναι ο κύριος παράγοντας εξασθένησης της κατηγορίας αυτής λόγω του μεγίστου απορρόφησης που παρατηρείται στα 22.5 GHz. Τα μέγιστα απορρόφησης από υδρατμούς της ατμόσφαιρας που προκύπτουν στα 183 GHz και 320 GHz και από το οξυγόνο της ατμόσφαιρας στα 60 GHz και 119 GHz δεν ενδιαφέρουν προς το παρόν τις δορυφορικές ζεύξεις. Η εξασθένηση λόγω απορρόφησης από το οξυγόνο της ατμόσφαιρας εμφανίζει συμπεριφορά σχεδόν ανεξάρτητη των κλιματολογικών συνθηκών, ενώ η εξασθένηση λόγω απορρόφησης από τους υδρατμούς της ατμόσφαιρας εξαρτάται από τη θερμοκρασία και την απόλυτη υγρασία μιας γεωγραφικής περιοχής.



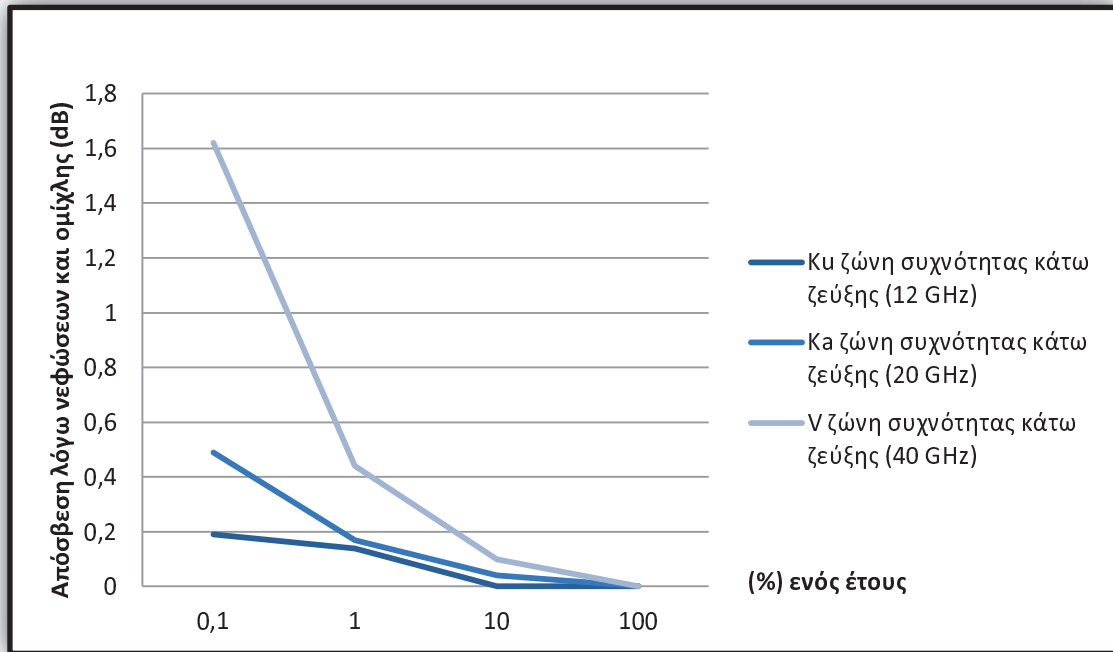
Ειδική απόσβεση λόγω απορρόφησης από το οξυγόνο και τους υδρατμούς ως συνάρτηση της συχνότητας. A: ατμόσφαιρα με μέση υγρασία 7.5 gr/m³, B: ξηρή ατμόσφαιρα

Μηχανισμός	Τρόπος Εξάρτησης
Απόσβεση αερίων	Αυξάνει τη συχνότητα Γραμμική απορρόφησης νερού στη συχνότητα 22.3 GHz
Σπινθηρισμοί	Ενεργός τιμή $\sim f^{7/12}$ (dB)
Απόσβεση βροχής	Αυξάνει σε dBανάλογα προς f^2
Αποπόλωση βροχής	Αυξάνει με τη συχνότητα

Εξάρτηση από τη συχνότητα των δυσμενών επιδράσεων στη διάδοση μικροκυμάτων

6.1.3 Εξασθένηση λόγω νεφώσεων

Αυτή οφείλεται στο νερό που εμπεριέχεται στα νέφη. Με εφαρμογή του σχετικού μοντέλου της ITU.R στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζει χρονικά ποσοστά υπέρβασης για διάφορες στάθμες λόγω νεφώσεων και ομίχλης.



Ετήσια πιθανότητα υπέρβασης της απόσβεσης λόγω νεφώσεων και ομίγλης για δορυφορική κάτω ζεύξη που λειτουργεί στην Αθήνα (γωνία ανύψωσης 30°)

6.1.4 Εξασθένηση από το στρώμα τήξης του πάγου

Σε συγκεκριμένο υψόμετρο από τη γήινη επιφάνεια που ονομάζεται *ενεργό ύψος βροχής* (effective rain height), το χιόνι και οι παγοκρύσταλλοι μετατρέπονται σε σταγόνες βροχής. Η περιοχή περί το ενεργό ύψος βροχής, όπου συντελείται η μετατροπή αυτή ονομάζεται *στρώμα τήξης*. Σε δορυφορικές ζεύξεις με μικρή γωνία ανύψωσης και σε περίοδο ελαφρών βροχοπτώσεων, η διέλευση μέσω του στρώματος τήξης έχει σημαντική συμβολή στη συνολική απόσβεση του δορυφορικού σήματος.

6.1.5 Αύξηση της θερμοκρασίας θορύβου

Οι ίδιοι λόγοι που συμβάλλουν στην αύξηση της εξασθένησης του δορυφορικού σήματος (π.χ. υδρομετεωρική σκέδαση και απορρόφηση) δημιουργούν και αύξηση της ακτινοβολίας θορύβου, συμβάλλοντας έτσι στην αύξηση και του ουράνιου θορύβου. Η αύξηση αυτή του θορύβου είναι σημαντική, ιδιαίτερα στην περίπτωση επίγειων σταθμών με χαμηλή ισοδύναμη θερμοκρασία θορύβου.

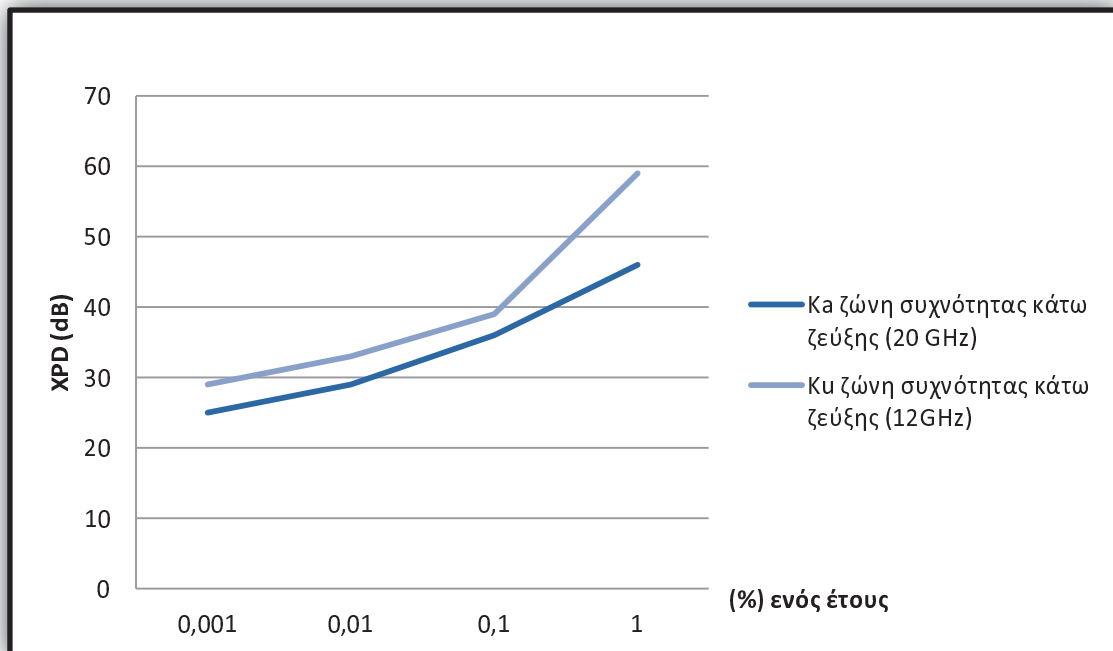
6.1.6 Τροποσφαιρικοί σπινθηρισμοί

Οι μεταβολές του δείκτη διάθλασης της τροπόσφαιρας οδηγούν σε διακυμάνσεις της στάθμης των δορυφορικών σημάτων που είναι γνωστές ως *σπινθηρισμοί* (Scintillations). Οι διακυμάνσεις αυτές αυξάνονται με τη συχνότητα και εξαρτώνται από το μήκος της διαδρομής του δορυφορικού σήματος μέσω της τροπόσφαιρας. Οι διακυμάνσεις της στάθμης συνοδεύονται και από διακυμάνσεις της φάσης του δορυφορικού σήματος. Η επίδραση των σπινθηρίων είναι εμφανής και στο

στιγμιότυπο διάλειψης που παρουσιάζεται στο σχήμα “Διαλείψεις λόγω βροχής και σπινθηρισμών”.

6.1.7 Αποπόλωση

Η διαφορική απόσβεση και η διαφορική ολίσθηση φάσης που προκαλούνται από μη σφαιρικούς σκεδαστές όπως οι βροχοσταγόνες και οι παγοκρύσταλλοι προκαλούν αποπόλωση (depolarization). Αν και το φαινόμενο αυτό δεν επηρεάζει δορυφορικά συστήματα απλής πόλωσης, έχει σημαντική επίπτωση σε συστήματα αναχρησιμοποίησης συχνότητας που χρησιμοποιούν δύο ορθογώνιες πολώσεις για βέλτιστη αξιοποίηση του διαθέσιμου ραδιοφάσματος. Μέρος της ισχύος του σήματος που εκπέμπεται με τη μία από τις δύο πολώσεις παρεμβάλλεται λόγω αποπόλωσης στα ορθογώνια πολωμένο σήμα.



Ετήσιο χρονικό ποσοστό της διασταύρωσης πόλωσης για δορυφορική κάτω ζεύξη που λειτουργεί στην Αθήνα (γωνία ανώψωσης 30°)

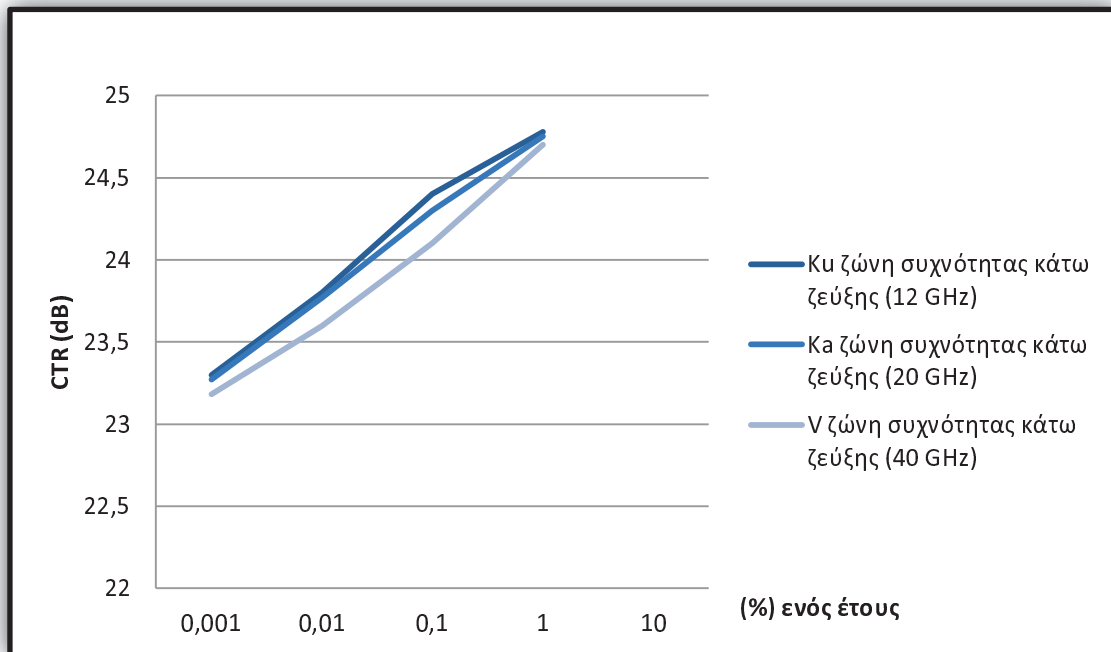
6.1.8 Παρεμβολές λόγω διάδοσης

Παρεμβολές υφίστανται μεταξύ ενός δορυφορικού συστήματος και ενός επίγειου συστήματος επικοινωνιών ή μεταξύ δύο δορυφορικών συστημάτων που χρησιμοποιούν δορυφόρους τοποθετημένους σε γειτονικές θέσεις επί της γεωστατικής τροχιάς. Υπό συνθήκες καθαρού ουρανού (Clear Sky Conditions), η παρεμβολή μεταξύ δύο συστημάτων εκφράζεται μέσω του λόγου της ισχύος του φέροντος σήματος προς την ισχύ του CIR_{CS}(Carrier to Interface Ratio). Υπό συνθήκες βροχόπτωσης, ενδεχομένη διαφορική απόσβεση λόγω βροχής ΔΑ επιβαρύνει τη δορυφορική ζεύξη όταν το επιθυμητό σήμα υφίσταται μεγαλύτερη απόσβεση σε σχέση με αυτήν που υφίσταται το ανεπιθύμητο σήμα από ένα γειτονικό δορυφόρο.

Στην περίπτωση αυτή, ο λόγος CIR τροποποιείται ώστε να λάβει υπόψη την επίδραση της βροχής ως εξής

$$\text{CIR} = \text{CIR}_{\text{CS}} - \Delta A = \text{CIR}_{\text{CS}} - (A_C - A_I) \quad (6.1)$$

όπου A_C και A_I είναι σε dB η απόσβεση λόγω βροχής στην επιθυμητή και την παρεμβάλλουσα δορυφορική ζεύξη, αντίστοιχα. Στο παρακάτω σχήμα για περιθώριο διάλειψης 15 dB και $\text{CIR}_{\text{CS}} = 25$ dB, δίδεται το ποσοστό του χρόνου υπέρβασης μιας στάθμης CIR λόγω διαφορετικής απόσβεσης.



Ετήσιο χρονικό ποσοστό της κατανομής του λόγου CIR για δορυφορική κάτω ζεύξη που λειτουργεί στην Αθήνα (γωνία ανύψωσης 30°, γωνιακή απόσταση δορυφόρων 2°, περιθώριο διαλείψεων 15 dB, $\text{CIR}_{\text{CS}} = 25$ dB

6.1.9 Συνύπαρξη φαινομένων διάδοσης σε δορυφορικές ζεύξεις

Η ITU-R έχει εκδώσει πολυάριθμες συστάσεις για την πρόβλεψη των επιπτώσεων διαφόρων φαινομένων διάδοσης στη διαθεσιμότητα και την ποιότητα δορυφορικών ζεύξεων. Οι μέθοδοι και τα μοντέλα πρόβλεψης που συστήνονται είναι εύκολα στην εφαρμογή τους και συμφωνούν ικανοποιητικά με αποτελέσματα πειραμάτων και μετρήσεων που έχουν πραγματοποιηθεί κατά καιρούς σε διάφορες περιοχές του κόσμου. Πάντως, σε συχνότητες άνω των 30 GHz λίγα είναι τα μοντέλα διάδοσης που έχουν πειραματικά διασταυρωθεί.

Αν και τα μοντέλα πρόβλεψης για συγκεκριμένα φαινόμενα διάδοσης αποδίδουν ικανοποιητικά, η ταυτόχρονη ύπαρξη διαφορετικών φαινομένων διάδοσης παρατηρείται συχνά στις ζώνες συχνοτήτων Ka και άνω και επιβάλλει την επινόηση και χρήση μοντέλων που λαμβάνουν υπόψη το συνδυαστικό αυτό φαινόμενο. Το

κύριο πρόβλημα προς αυτή την κατεύθυνση είναι ο καθορισμός του πόσο ανεξάρτητα μεταξύ τους είναι τα διάφορα φαινόμενα διάδοσης. Για παράδειγμα, η εξασθένηση από το στρώμα τήξης του πάγου συνδέεται με βροχή χαμηλής έντασης, ενώ η απορρόφηση λόγω αερίων αυξάνεται όταν υπάρχουν ισχυρές βροχοπτώσεις λόγω της αύξησης των υδρατμών στην ατμόσφαιρα.

Μέχρι προσφάτως, ο συνδυασμός φαινομένων διάδοσης προσεγγιζόταν κατά δύο τρόπους. Σύμφωνα με την πρώτη προσέγγιση, όλα τα φαινόμενα που προκαλούν απόσβεση του δορυφορικού σήματος θεωρούνται συσχετισμένα μεταξύ τους, οπότε η συνολική απόσβεση A λόγω διαφόρων φαινομένων διάδοσης δίδεται από τη σχέση

$$A = A_{O_2} + A_{H_2O} + A_C + A_R + A_{ML} + A_S \quad (6.2)$$

όπου A_{O_2} , A_{H_2O} , A_C , A_R , A_{ML} και A_S είναι η απόσβεση που οφείλεται στην απορρόφηση από το οξυγόνο, στην απορρόφηση από τους υδρατμούς, στις νεφώσεις, στη βροχή, στο στρώμα τήξης και στους σπινθηρισμούς, αντίστοιχα.

Σύμφωνα με τη δεύτερη προσέγγιση, τα φαινόμενα που προκαλούν απόσβεση του δορυφορικού σήματος θεωρούνται μερικώς συσχετισμένα μεταξύ τους, οπότε η συνολική απόσβεση A προκύπτει με RMS άθροιση των επιμέρους αποσβέσεων, δηλαδή

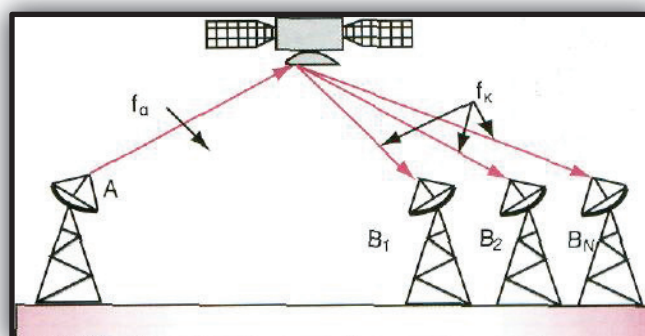
$$A = [A_{O_2}^2 + A_{H_2O}^2 + A_R^2 + A_{ML}^2 + A_S^2]^{1/2} \quad (6.3)$$

Ένας συνδυασμός των δύο ανωτέρω προσεγγίσεων που αντανακλά την αλληλεξάρτηση των διαφόρων παραγόντων εξασθένησης θεωρεί ορισμένα από τα φαινόμενα διάδοσης ασυσχέτιστα μεταξύ τους. Η αντίστοιχη σύσταση της ITU-R υιοθετεί την ακόλουθη σχέση για τη συνολική απόσβεση

$$A = A_{O_2} + A_{H_2O} + [(A_C + A_R)^2 + A_S^2]^{1/2} \quad (6.4)$$

Κεφάλαιο 7: Συστήματα πολλαπλής προσπέλασης

Ο δορυφορικός αναμεταδότης είναι ένας τηλεπικοινωνιακός κόμβος, μέσω του οποίου όλοι οι χρήστες του δορυφορικού συστήματος θα πρέπει να διασυνδέονται με ευέλικτο τρόπο. Στο σχήμα φαίνεται μια απλή ζεύξη ενός δρόμου μεταξύ ενός επίγειου σταθμού πομπού και πολλών αποδεκτών. Επειδή τόσο η εκπομπή, όσο και η λήψη είναι συνεχής, προφανώς στον δορυφορικό αναμεταδότη θα πρέπει να γίνεται μετατροπή της συχνότητας άνω ζεύξης f_a στη συχνότητα κάτω ζεύξης f_k , εκτός των άλλων, και για άλλους λόγους απομόνωσης της εισόδου του αναμεταδότη από την έξοδό του.



Απλή δορυφορική ζεύξη

Στο σχήμα φαίνεται ένα πιο σύνθετο δορυφορικό δίκτυο, το οποίο εξυπηρετεί διπλή ζεύξη μεταξύ δύο επίγειων σταθμών A και B. Το σύστημα αυτό περιλαμβάνει δύο άνω ζεύξεις και δύο κάτω ζεύξεις και, συνεπώς, απαιτούνται τέσσερις διαφορετικές φέρουσες συχνότητες για να εξασφαλιστεί η συνεχής αμφίδρομη επικοινωνία των επίγειων σταθμών A και B.

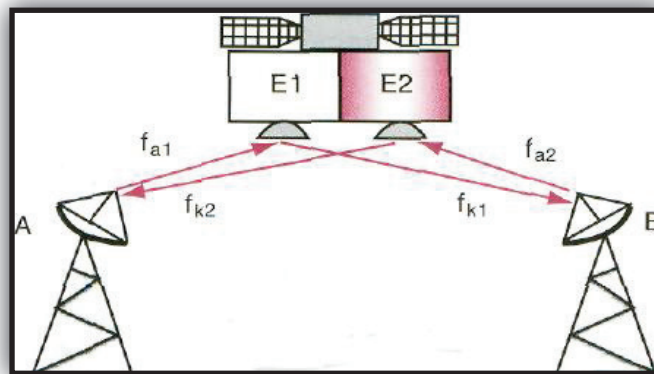
Ο πρώτος εμπορικός δορυφόρος Intelsat I διέθετε δύο δορυφορικούς επαναλήπτες E1 και E2, αντίστοιχα, από τους οποίους ο E1 ελάμβανε στα 6301 MHz και εξέπεμπε στα 4081 MHz, ενώ ο E2 ελάμβανε στα 6390MHz και εξέπεμπε στα 4161 MHz. Συχνά, οι δύο επαναλήπτες είναι δυνατό να αντικατασταθούν από ένα επαναλήπτη ευρείας ζώνης και οι δύο κεραίες από μία κεραία με χρήση διπλέκτη, έτσι ώστε να μειώνεται τόσο το κόστος όσο και το μέγεθος του τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού του δορυφόρου.

Στα σύγχρονα δορυφορικά δίκτυα επικοινωνιών, ο δορυφόρος είναι ο κόμβος που διασυνδέει με αμφίδρομες ζεύξεις ένα μεγάλο αριθμό επίγειων σταθμών διασπαρμένων σε διάφορες γεωγραφικές θέσεις. Στην ουσία, ο δορυφόρος είναι ένας επαναλήπτης ευρείας ζώνης με δυνατότητες πολλαπλής προσπέλασης από τους επίγειους σταθμούς. Διακρίνονται δύο περιπτώσεις:

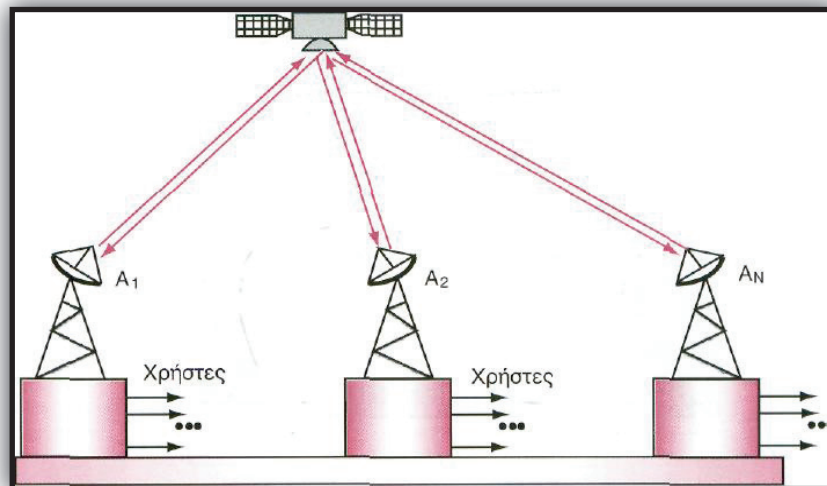
Η προσπέλαση στον επίγειο σταθμό από πολλούς χρήστες

Η προσπέλαση στο δορυφόρο από πολλούς επίγειους σταθμούς

Δορυφορικός Αναμεταδότης

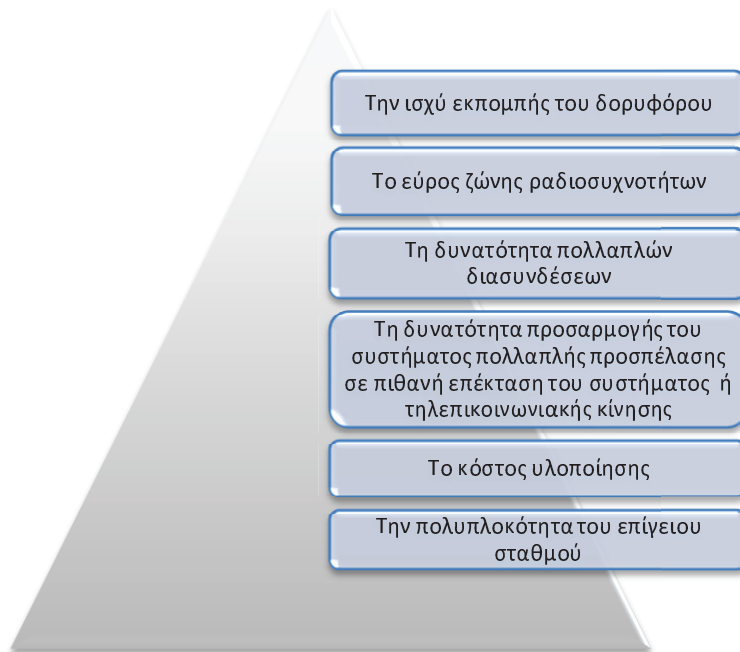


Αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ δύο επίγειων σταθμών



Προσπέλαση από πολλούς επίγειους σταθμούς

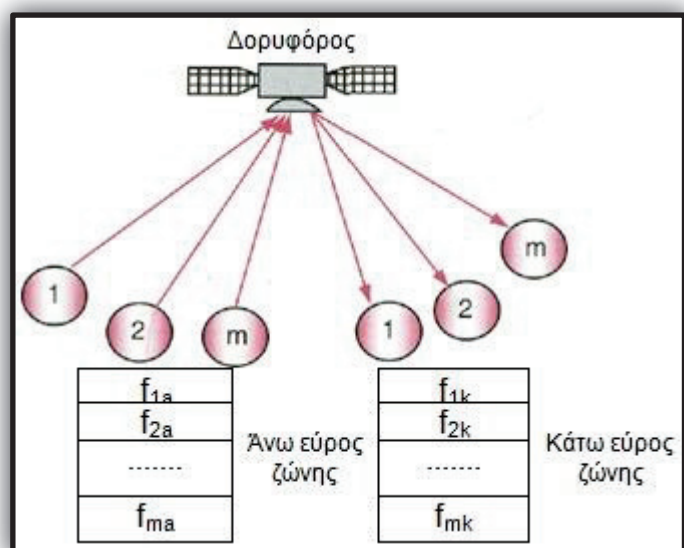
Η πρώτη περίπτωση αντιμετωπίζεται με χρήση των γνωστών από τα επίγεια συστήματα μεθόδων πολύπλεξης. Η δεύτερη περίπτωση που έχει ιδιαίτερη σημασία για τα δορυφορικά συστήματα αντιμετωπίζεται επιλέγοντας το κατάλληλο σύστημα πολλαπλής προσπέλασης. Στη γενική περίπτωση, το σύστημα πολλαπλής προσπέλασης του δορυφόρου πρέπει να βελτιστοποιεί το τηλεπικοινωνιακό σύστημα ως προς τα ακόλουθα χαρακτηριστικά :



Καμία τεχνική από μόνη της δεν είναι δυνατό να παρέχει τη βέλτιστη λύση σε σχέση με τις παραμέτρους που αναφέρθηκαν. Για τον λόγο αυτό απαιτείται η λεπτομερής μελέτη όλων των διαθέσιμων τεχνικών σε συνδυασμό με την τηλεπικοινωνιακή υπηρεσία, ώστε να επιλέγεται η κατά περίπτωση βέλτιστη λύση.

7.1 Πολλαπλή προσπέλαση με διαίρεση συχνότητας (FDMA)

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται το σχηματικό διάγραμμα ενός συστήματος πολλαπλής προσπέλασης διαίρεσης συχνότητας. Κάθε άνω ζεύξη γίνεται σε μια προκαθορισμένη ζώνη συχνοτήτων μέσα στο διαθέσιμο συνολικά εύρος ζώνης ραδιοσυχνότητας. Ο δορυφορικός αναμεταδότης μετατρέπει κάθε συχνότητα άνω ζεύξης ($f_{1a}, f_{2a}, \dots, f_{ma}$) στην αντίστοιχη συχνότητα κάτω ζεύξης ($f_{1k}, f_{2k}, \dots, f_{mk}$). Κάθε επίγειος σταθμός λήψης με κατάλληλη διαδικασία αποπολύπλεξης μπορεί να επιλέγει μόνο μία επιθυμητή ζώνη συχνότητας που αντιστοιχεί σε ένα από τους επίγειους πομπούς.



Πολλαπλή προσπέλαση με διαίρεση συχνότητας (FDMA)

Η εκχώρηση συχνοτήτων σε κάθε επίγειο σταθμό μπορεί να γίνεται είτε με στατικό τρόπο είτε με δυναμικό, ανάλογα με τη ζήτηση τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών. Στα τηλεπικοινωνιακά συστήματα με υψηλή ζήτηση, η στατική συχνότητα για κάθε επίγειο σταθμό είναι συνήθως η επιθυμητή λύση. Αντίθετα σε συστήματα με περιορισμένη τηλεπικοινωνιακή κίνηση, η επιθυμητή λύση είναι η δυναμική εκχώρηση, κατά την οποία ένα διαθέσιμο κανάλι εκχωρείται σε μία ζεύξη δύο επίγειων σταθμών μόνο κατά τη διάρκεια της επικοινωνίας και ανάλογα με τη ζήτηση.

Τα συστήματα δυναμικής εκχώρησης μπορούν να ικανοποιούν μεγαλύτερο αριθμό χρηστών, εφόσον ο χρόνος επικοινωνίας είναι σχετικά μικρός. Το σημαντικό μειονέκτημα είναι η μεγαλύτερη πολυπλοκότητα του επίγειου σταθμού. Στα συστήματα πολλαπλής προσπέλασης διαίρεσης συχνότητας, θα πρέπει να υπάρχει επαρκής διαχωρισμός των φασμάτων των διαφορετικών φερόντων (f_{1a} , f_{2a} , ..., f_{ma}) μεταξύ τους, ώστε να αποφεύγονται φαινόμενα διασταυρούμενης συνομιλίας, όταν μια περιοχή συχνοτήτων ενός καναλιού πέφτει μέσα στο εύρος ζώνης του γειτονικού του.

Ένα μέτρο του διαχωρισμού των καναλιών είναι ο λόγος φέροντος σήματος προς το σήμα διασταυρούμενης συνομιλίας, που πρέπει να είναι μεγαλύτερο των 20 dB για να μη δημιουργούνται προβλήματα στη μετάδοση.

7.2 Πολλαπλή προσπέλαση με διαίρεση χρόνου (TDMA)

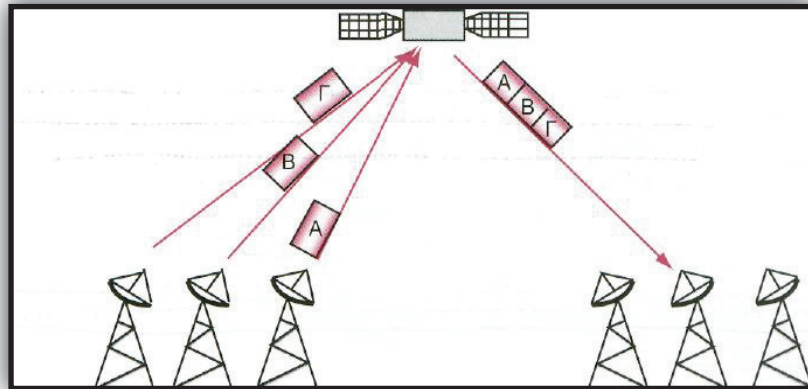
Στα συστήματα πολλαπλής προσπέλασης χρόνου σε κάθε επίγειο σταθμό εκχωρείται ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα, στο οποίο ο σταθμός επικοινωνεί με το δορυφορικό αναμεταδότη.

Στη διάρκεια αυτού του χρονικού διαστήματος ο επίγειος σταθμός κάνει αποκλειστική χρήση του δορυφορικού αναμεταδότη, ο οποίος επανεκπέμπει το λαμβανόμενο σήμα στην προς τα κάτω ζεύξη. Αυτό σημαίνει ότι κάθε επίγειος σταθμός χρησιμοποιεί την ίδια συχνότητα μετάδοσης και εφόσον κάθε χρονική στιγμή εκπέμπεται ένα και μόνο σήμα αποφεύγεται η παρεμβολή του ενός σήματος με τα γειτονικά του. Από την άλλη πλευρά η ύπαρξη μιας και μόνης φέρουσας συχνότητας, αποτρέπει τη δημιουργία γινομένων ενδοδιαμόρφωσης, που υπάρχουν στο FDMA και συνεπώς ο ενισχυτής του δορυφορικού αναμεταδότη, μπορεί να λειτουργεί στην περιοχή κορεσμού παρέχοντας τη μέγιστη δυνατή ισχύ εξόδου στην προς τα κάτω ζεύξη.

Μια βασική απαίτηση του συστήματος πολλαπλής προσπέλασης διαίρεσης χρόνου, είναι ότι όλοι οι επίγειοι σταθμοί καθώς και ο δορυφορικός αναμεταδότης αποτελούν τμήματα ενός συστήματος το οποίο θα πρέπει να είναι συγχρονισμένο έτσι, ώστε να

μην υπάρχουν χρονικές επικαλύψεις μεταξύ των σημάτων που εκπέμπονται από τους επίγειους σταθμούς.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται το σχηματικό διάγραμμα ενός δορυφορικού συστήματος TDMA. Σε κάθε επίγειο σταθμό, εκχωρείται περιοδικά μια *χρονική σχισμή*, μέσα στην οποία ο σταθμός εκπέμπει ένα *καταιγισμό πληροφορίας*. Το σύνολο των χρονικών σχισμών αποτελεί το *χρονικό πλαίσιο*, του δορυφορικού αναμεταδότη με περίοδο T_f . Η διάρκεια του πλαισίου είναι συνήθως μερικά ms ($T_f = 2$ ms).



Αρχή λειτουργίας του TDMA

7.3 Πολλαπλή προσπέλαση με διαίρεση κώδικα (CDMA)

Κατά την λειτουργία του συστήματος πολλαπλής προσπέλασης διαίρεσης κώδικα, η επικοινωνία μεταξύ των χρηστών γίνεται ταυτόχρονα στην ίδια περιοχή συχνότητας και επιπλέον κάθε χρήστης καταλαμβάνει συνεχώς όλο το διαθέσιμο εύρος ζώνης του δορυφορικού αναμεταδότη. Συνεπώς δεν απαιτείται ούτε διαχωρισμός συχνότητας, ούτε χρονικός διαχωρισμός. Σε κάθε επίγειο σταθμό το προς μετάδοση σήμα με πληροφοριακό περιεχόμενο συνδυάζεται με μια ψηφιακή ακολουθία η οποία δημιουργείται τοπικά και έχει δύο σημαντικές ιδιότητες :

Κάθε ακολουθία μπορεί εύκολα να διαχωριστεί από όλες τις παραλλαγές της που προκύπτουν με χρονική ολίσθηση της αρχικής ακολουθίας

Κάθε ακολουθία διαχωρίζεται εύκολα από όλες τις άλλες που απαρτίζουν το σύνολο των ψηφιακών ακολουθιών, που χρησιμοποιούνται από όλους τους επίγειους σταθμούς

Η χρησιμοποίηση αυτών των ιδιοτήτων στον επίγειο δέκτη καθιστά δυνατό το διαχωρισμό των λαμβανόμενων σημάτων ακόμα και όταν χρησιμοποιούν το ίδιο εύρος ζώνης και εκπέμπονται στο ίδιο χρονικό διάστημα. Φαινόμενα διασταυρούμενης συνομιλίας στο σύστημα πολλαπλής προσπέλασης διαίρεσης κώδικα παρουσιάζονται μόνο όταν δεν είναι δυνατή η απόρριψη των ανεπιθύμητων διευθύνσεων στον αποκωδικοποιητή του δέκτη. Το σύστημα πολλαπλής προσπέλασης διαίρεσης κώδικα έχει το πλεονέκτημα έναντι του TDMA, ότι δεν απαιτείται ελεγχόμενο χρονικό διάστημα για την εκπομπή σημάτων άνω ζεύξης από τους επίγειους σταθμούς του συστήματος. Όμως η απόδοση του CDMA εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από την ικανότητα του δέκτη να διαχωρίσει διευθύνσεις πράγμα που γίνεται ιδιαίτερα δύσκολο όταν αυξηθεί σημαντικά ο αριθμός των επίγειων σταθμών που εξυπηρετούνται από το σύστημα.

Οι ψηφιακές ακολουθίες δημιουργούνται από γεννήτριες κωδικών οι οποίες παράγουν περιοδικές ψευδοτυχαίες ακολουθίες δυαδικών συμβόλων. Η ψηφιακή ακολουθία που παριστάνει την διεύθυνση ενός σταθμού, είτε διαμορφώνεται απευθείας με το φέρον σήμα οπότε προκύπτει το *απευθείας σύστημα πολλαπλής προσπέλασης διαίρεσης κώδικα* (DS – CDMA), είτε χρησιμοποιείται για να εναλλάσσει συνεχώς την συχνότητα φέροντος, οπότε προκύπτει το *CDMA εναλλαγών συχνότητας* (FH – CDMA).

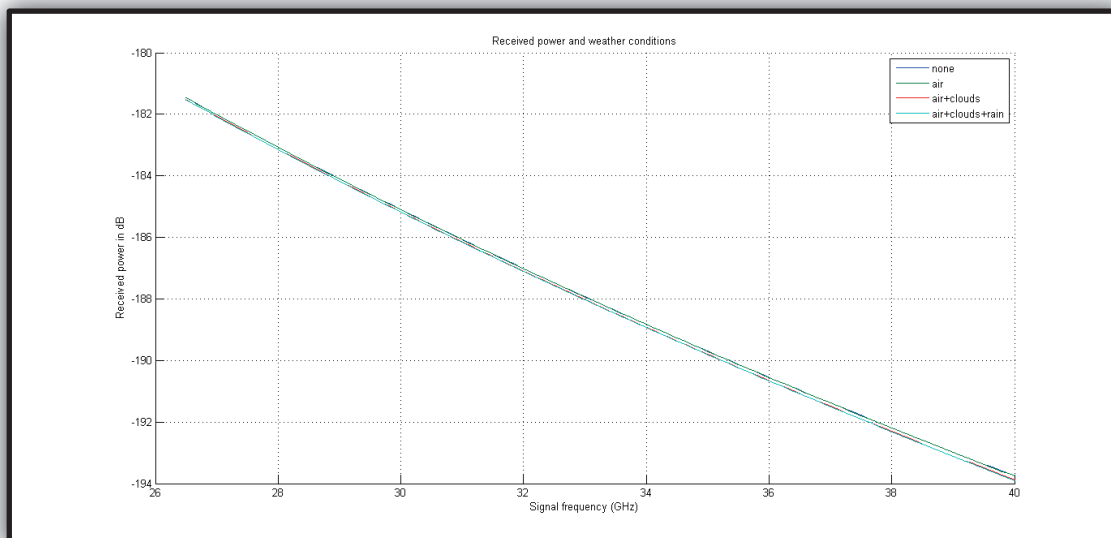
Ο συνδυασμός αυτός της ψηφιακής ακολουθίας διεύθυνσης με το διαμορφωμένο φέρον της άνω ζεύξης, έχει γενικά ως αποτέλεσμα την αύξηση του εύρους ζώνης που καταλαμβάνει το μεταδιδόμενο σήμα και για το λόγο αυτό το σύστημα CDMA αναφέρεται και ως σύστημα πολλαπλής προσπέλασης *απλωμένου φάσματος* (SSMA).

Χαρακτηριστικά συστήματος SPADE

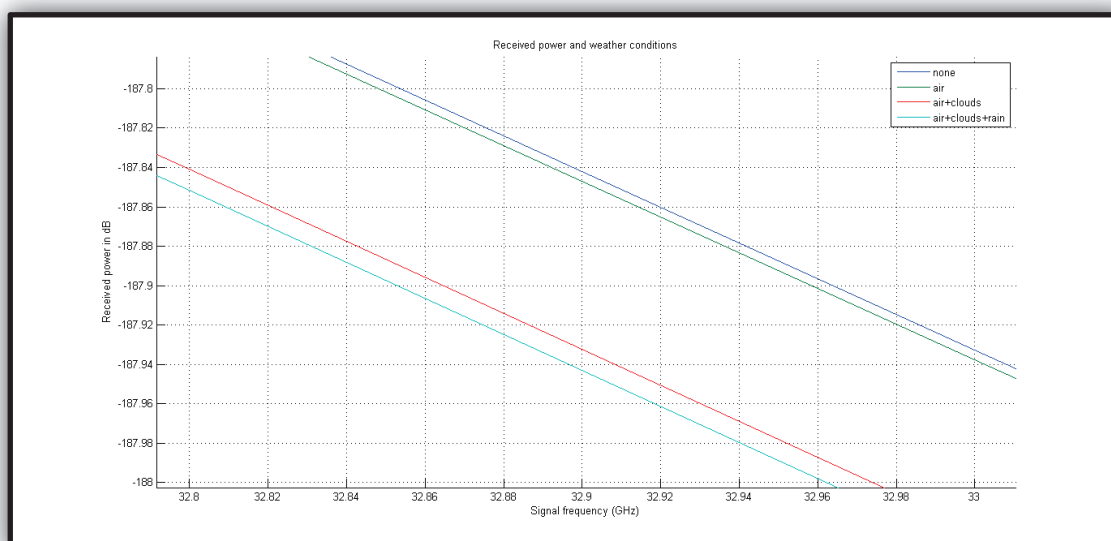
Κωδικοποίηση καναλιού	PCM
Ρυθμός μετάδοσης	64 kbit/s
Εύρος ζώνης ανά κανάλι	38 kHz
Εύρος ζώνης με περιθώριο ασφαλείας	45 kHz
Ευστάθεια	± 2kHz
Κατώφλιο λάθους	10^{-4}
Κοινό κανάλι σηματοδότησης TDMA	
Ρυθμός μετάδοσης	128 kbit/s
Μήκος πλαισίου	50m/s
Αριθμός προσβάσεων	50 (49 σταθμοί + 1 σταθμός αναφοράς)
Περιθώριο λάθους	10^{-7}

Κεφάλαιο 8: Ανάλυση Μετρήσεων

8.1 Ισχύ Λήψης και Καιρικές Συνθήκες



Received Power and Weather Conditions 1



Received Power and Weather Conditions 2

Ο καιρός παίζει σημαντικό ρόλο στην διάδοση του δορυφορικού σήματος. Οι καλύτερες λήψεις εμφανίζονται τις ψυχρές μέρες με καθαρό ουρανό και οι χειρότερες, όταν υπάρχουν υψηλές θερμοκρασίες ή έντονη βροχόπτωση.

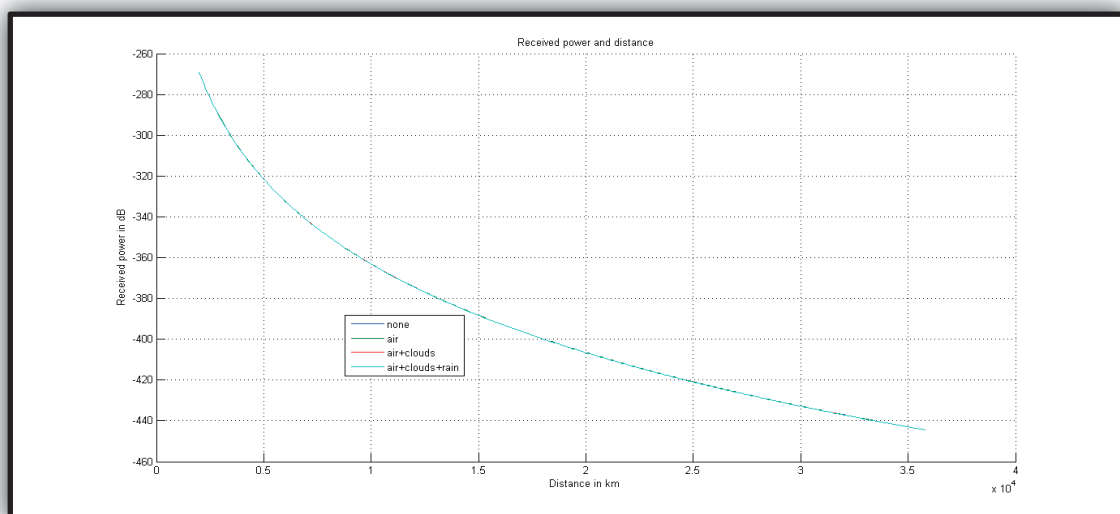
Η συχνότητα του σήματος καθώς αυξάνεται, η ισχύ λήψης μειώνεται. Στις έντονες καιρικές συνθήκες η ισχύ λήψης μειώνεται με πιο γρήγορους ρυθμούς.

Κώδικας

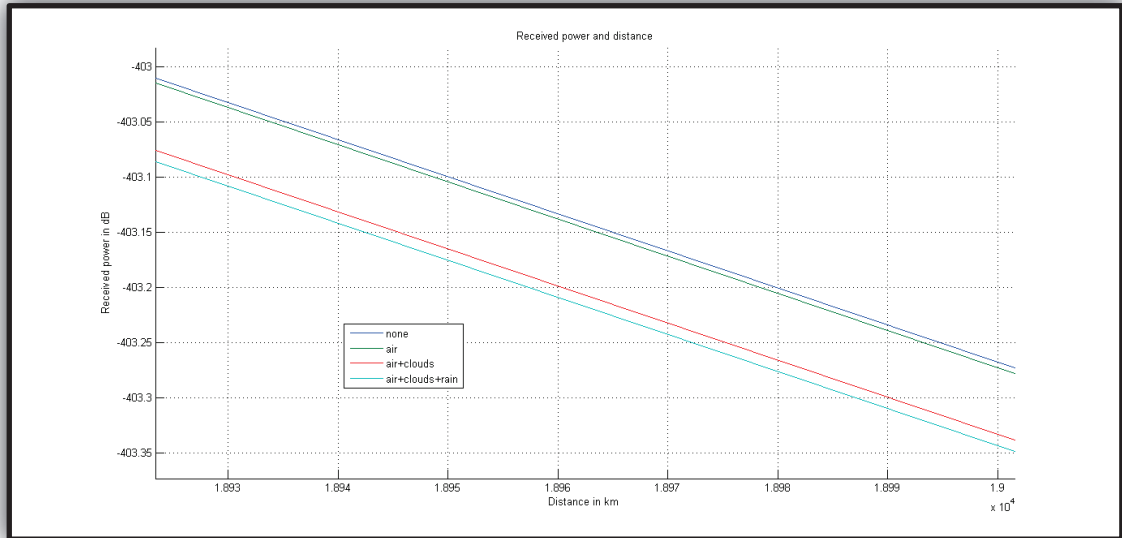
```
Figure
hold on
grid on
loglog(used_band,P_received0,used_band,P_received1,used_band,P_received2,used_band,P_received3)
title('Received power and weather conditions')
legend('none','air','air+clouds','air+clouds+rain')
xlabel('Signal frequency (GHz)')
ylabel('Received power in dB')

%%--Συσχέτιση απόστασης και καιρικών συνθηκών--
P_received0 = zeros(length(satellite_distance_leo),1);
P_received1 = zeros(length(satellite_distance_leo),1);
P_received2 = zeros(length(satellite_distance_leo),1);
P_received3 = zeros(length(satellite_distance_leo),1);
distance = satellite_distance_meo;
used_band = f_ka_band;
for i=1:length(distance)
    lambda = c/(used_band(12)*10^9);
    P_received0(i) =
    eirp(P_transmitter(11),antenna_gain(lambda,satellite_antenna_diameter(1),satellite_aperture_efficiency)) +
    antenna_gain(lambda,receiver_antenna_diameter(50),receiver_aperture_efficiency) -
    total_loss(distance(i),lambda,hantenna,elev_angle(20),used_band(12),0,p,t,d(5),K);
    P_received1(i) =
    eirp(P_transmitter(11),antenna_gain(lambda,satellite_antenna_diameter(1),satellite_aperture_efficiency)) +
    antenna_gain(lambda,receiver_antenna_diameter(50),receiver_aperture_efficiency) -
    total_loss(distance(i),lambda,hantenna,elev_angle(20),used_band(12),1,p,t,d(5),K);
    P_received2(i) =
    eirp(P_transmitter(11),antenna_gain(lambda,satellite_antenna_diameter(1),satellite_aperture_efficiency)) +
    antenna_gain(lambda,receiver_antenna_diameter(50),receiver_aperture_efficiency) -
    total_loss(distance(i),lambda,hantenna,elev_angle(20),used_band(12),2,p,t,d(5),K);
    P_received3(i) =
    eirp(P_transmitter(11),antenna_gain(lambda,satellite_antenna_diameter(1),satellite_aperture_efficiency)) +
    antenna_gain(lambda,receiver_antenna_diameter(50),receiver_aperture_efficiency) -
    total_loss(distance(i),lambda,hantenna,elev_angle(20),used_band(12),3,p,t,d(5),K);
End
```

8.2 Ισχύ Λήψης και Απόσταση



Received Power and Distance 1



Received Power and Distance 2

Η απόσταση παίζει επίσης σημαντικό ρόλο στην διάδοση του δορυφορικού σήματος. Οι λήψεις είναι καλύτερης ποιότητας επίσης τις καθαρές ημέρες και χειρότερες με τις ατμοσφαιρικές παρεμβολές.

Στο πρώτο γράφημα παρατηρούμε πως όταν η απόσταση μεγαλώνει ελαττώνεται η ισχύ λήψης. Με περισσότερη λεπτομέρεια στο δεύτερο γράφημα παρατηρούμε ότι η ισχύ λήψης ελαττώνεται με πιο γρήγορους ρυθμούς όταν υπάρχει αέρας - βροχή - συννεφιά ενώ αντιθέτως όταν είναι καθαρός ο ουρανός ελαττώνεται με πιο αργούς ρυθμούς.

Κώδικας

```
figure
hold on
grid on
loglog(distance,P_received0,distance,P_received1,distance,P_received2,distance,P_received3)
title('Received power and distance')
legend('none','air','air+clouds','air+clouds+rain')
xlabel('Distance in km')
ylabel('Received power in dB')

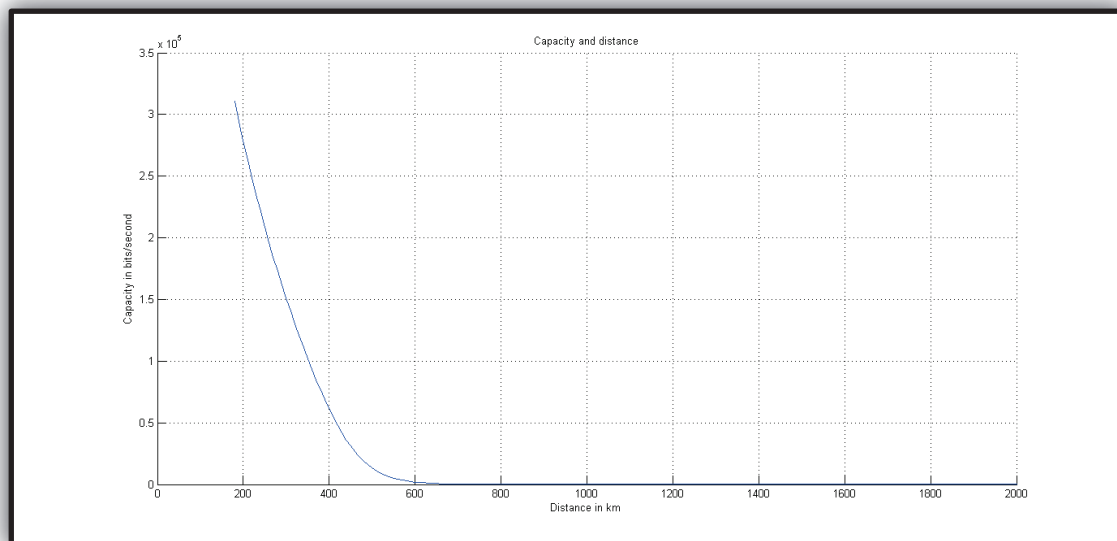
%%--Σχέτιση συχνότητας και καιρικών συνθηκών--
used_band = [f_c_bandf_x_bandf_ku_bandf_ka_band];
P_received0 = zeros(length(used_band),1);
P_received1 = zeros(length(used_band),1);
P_received2 = zeros(length(used_band),1);
P_received3 = zeros(length(used_band),1);
for i=1:length(used_band)
    lambda = c/(used_band(12)*10^9);
    P_received0(i) = eirp(P_transmitter(1),antenna_gain(lambda,satellite_antenna_diameter(1),satellite_aperture_efficiency)) +
    antenna_gain(lambda,receiver_antenna_diameter(1),receiver_aperture_efficiency) -
    total_loss(satellite_distance_leo(3),lambda,hantenna,elev_angle(20),used_band(i),0,p,t,d(5),K);
    P_received1(i) = eirp(P_transmitter(1),antenna_gain(lambda,satellite_antenna_diameter(1),satellite_aperture_efficiency)) +
    antenna_gain(lambda,receiver_antenna_diameter(1),receiver_aperture_efficiency) -
```

```

total_loss(satellite_distance_leo(3),lambda,hantenna,elev_angle(20),used_band(i),1,p,t,d(5),K);
P_received2(i)
eirp(P_transmitter(1),antenna_gain(lambda,satellite_antenna_diameter(1),satellite_aperture_efficiency)) +
antenna_gain(lambda,receiver_antenna_diameter(1),receiver_aperture_efficiency) -
total_loss(satellite_distance_leo(3),lambda,hantenna,elev_angle(20),used_band(i),2,p,t,d(5),K);
P_received3(i)
eirp(P_transmitter(1),antenna_gain(lambda,satellite_antenna_diameter(1),satellite_aperture_efficiency)) +
antenna_gain(lambda,receiver_antenna_diameter(1),receiver_aperture_efficiency) -
total_loss(satellite_distance_leo(3),lambda,hantenna,elev_angle(20),used_band(i),3,p,t,d(5),K);
End

```

8.3 Capacity και Απόσταση



Capacity and Distance

Το capacity εξαρτάται από την απόσταση. Παρατηρείται στο παραπάνω γράφημα πως καθώς μεγαλώνει η απόσταση το capacity ελαττώνεται.

Κώδικας

```

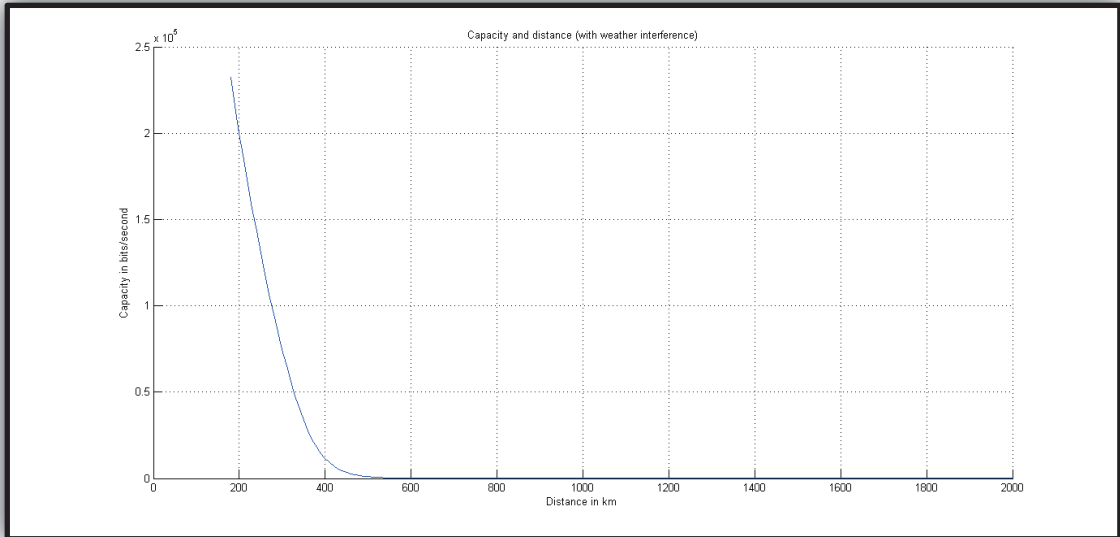
figure
hold on
grid on
plot(distance,cap)
title('Capacity and distance')
xlabel('Distance in km')
ylabel('Capacity in bits/second')

%%--Συσχέτιση απόστασης και Capacity με όλες τις ατμοσφαιρικές παρεμβολές --
distance = satellite_distance_leo;
cap = zeros(length(distance),1);
used_band = f_ka_band;
for i=1:length(distance)
    lambda = c/(used_band(12)*10^9);
P_received
eirp(P_transmitter(1),antenna_gain(lambda,satellite_antenna_diameter(1),satellite_aperture_efficiency)) +
antenna_gain(lambda,receiver_antenna_diameter(10),receiver_aperture_efficiency) -
total_loss(distance(i),lambda,hantenna,elev_angle(20),used_band(12),2,p,t,d(10),K);
cap(i) = capacity_calculation(W,P_received,No);

```

end

8.4 Capacity και Απόσταση (με καιρικές παρεμβολές)



Capacity and Distance (with weather interference)

Το παραπάνω γράφημα αναφέρεται επίσης στο capacity και στην απόσταση αλλά με καιρικές συνθήκες.

Παρατηρούμε το ίδιο πως καθώς η απόσταση μεγαλώνει, το capacity ελαττώνεται αλλά με τις ατμοσφαιρικές παρεμβολές ελαττώνεται με πιο γρήγορους ρυθμούς.

Κώδικας

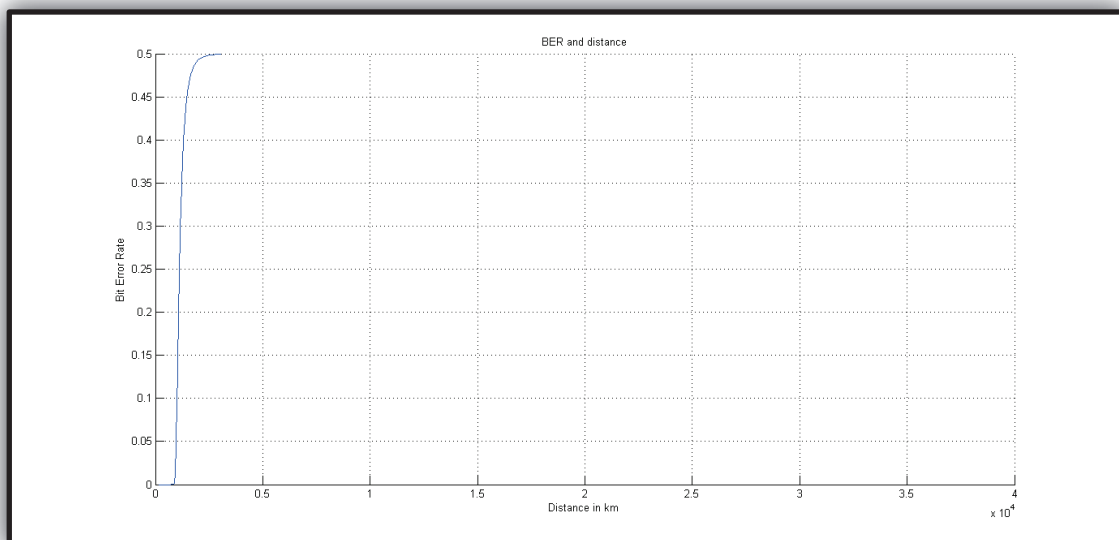
```
figure
hold on
grid on
plot(distance,cap)
title('Capacity and distance (with weather interference)')
xlabel('Distance in km')
ylabel('Capacity in bits/second')

%%---Συσχέτιση απόστασης και BER για διαμόρφωση BPSK χωρίς ατμοσφαιρικές παρεμβολές ---
distance = [satellite_distance_1eosatellite_distance_meo];
ber0 = zeros(length(distance),1);
used_band = f_ka_band;
for i=1:length(distance)
    lambda = c/(used_band(12)*10^9);
    P_received = eirp(P_transmitter(20),antenna_gain(lambda,satellite_antenna_diameter(20),satellite_aperture_efficiency))
    + antenna_gain(lambda,receiver_antenna_diameter(90),receiver_aperture_efficiency)
    - total_loss(distance(i),lambda,hantenna,elev_angle(20),used_band(12),0,p,t,d(5),K);
    %H ενέργεια ανά σύμβολο είναι
    %Eb = P_received/Rb; %όπου Rb είναι ο ρυθμός μετάδοσης συμβόλων
```

```
ber0(i) = ber_calculation(P_received,No);  
end
```

8.5 BER και Απόσταση

Το Bit Error Rate είναι η μέτρηση που μας αναφέρει τον αριθμό των λαθών που υπάρχουν μέσα στη ροή των bits τα οποία εκπέμπονται. Έτσι όσο μικρότερη είναι αυτή η τιμή τόσο καλύτερο δρομολόγιο ακολουθούν τα bits από το σημείο εκπομπής του ψηφιακού σήματος στο σημείο λήψης του και έτσι τόσο καλύτερη είναι η λήψη. Το BER είναι μέτρηση ποιότητας του σήματος και μπορεί να αλλάξει ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες όπως βροχή κ.τ.λ.



BER and Distance

Ένα μεγάλο πρόβλημα στις δορυφορικές επικοινωνίες αποτελεί η καθυστέρηση διάδοσης του σήματος. Η μεγάλη απόσταση που πρέπει να διανύσει το σήμα από τον επίγειο σταθμό στο δορυφόρο και στη συνέχεια στον επίγειο δέκτη, καθυστερεί το ηλεκτρομαγνητικό κύμα εκατοντάδες milliseconds.

Όπως και παρατηρείται στο παραπάνω σχήμα. Καθώς αυξάνεται η απόσταση, αυξάνεται ανάλογα και το BER.

Κώδικας

```
Figure  
hold on  
grid on  
plot(distance,ber0)  
title('BER and distance')  
xlabel('Distance in km')  
ylabel('BitErrorRate')
```

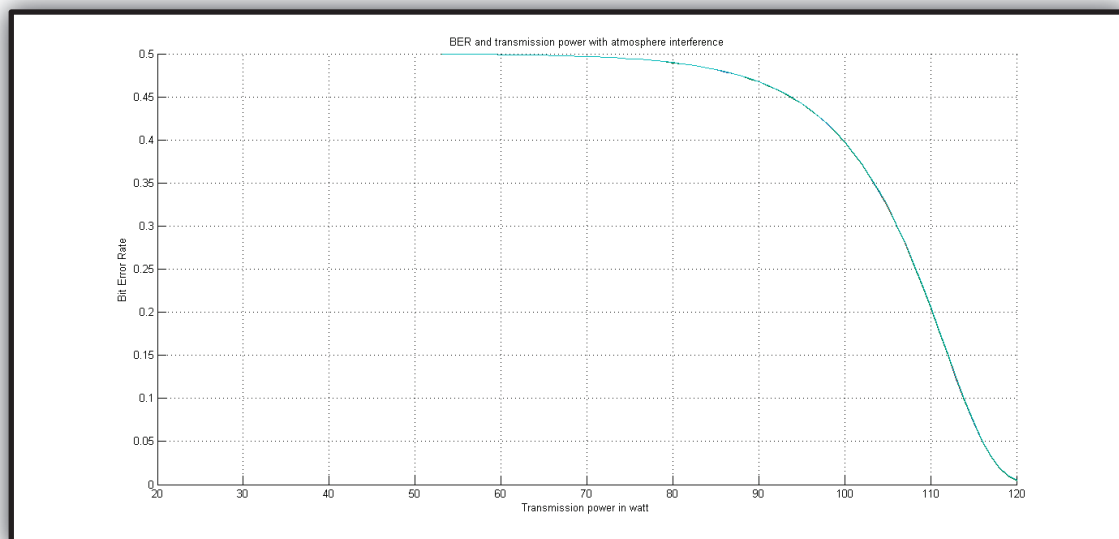
%%---Συσχέτιση ισχύος εκπομπής και BER για διαμόρφωση BPSK με ατμοσφαιρικές παρεμβολές ---


```

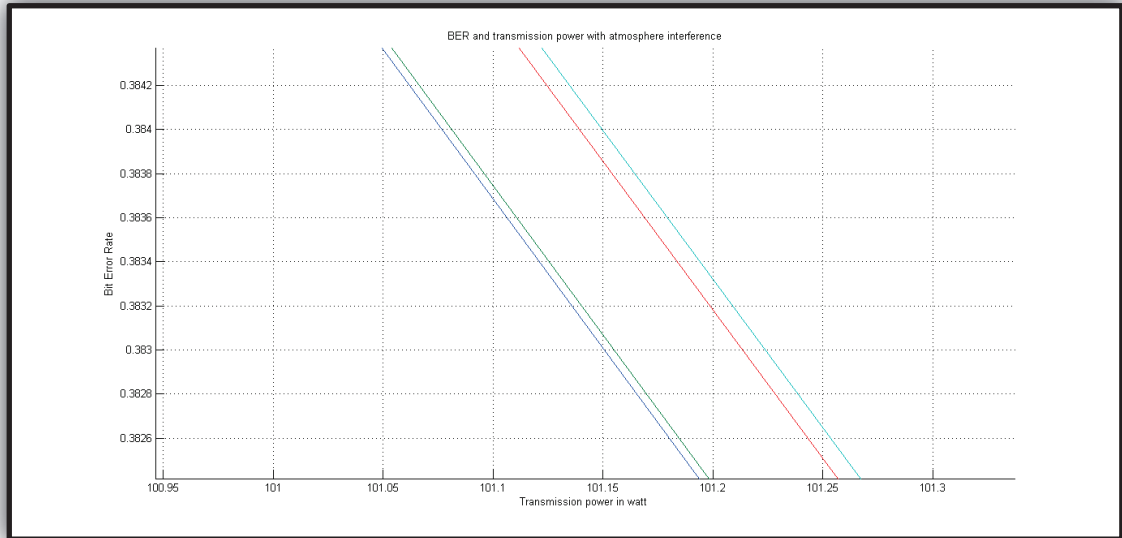
distance = satellite distance meo;
ber0 = zeros(length(P_transmitter),1);
ber1 = zeros(length(P_transmitter),1);
ber2 = zeros(length(P_transmitter),1);
ber3 = zeros(length(P_transmitter),1);
used_band = f_ka_band;
for i=1:length(P_transmitter)
    lambda = c/(used_band(12)*10^9);
    P_received =
    eirp(P_transmitter(i),antenna_gain(lambda,satellite_antenna_diameter(20),satellite_aperture_efficiency)) +
    antenna_gain(lambda,receiver_antenna_diameter(90),receiver_aperture_efficiency) -
    total_loss(distance(20),lambda,hantenna,elev_angle(20),used_band(12),0,p,t,d(5),K);
    ber0(i) = ber_calculation(P_received,N0);
    P_received=
    eirp(P_transmitter(i),antenna_gain(lambda,satellite_antenna_diameter(20),satellite_aperture_efficiency)) +
    antenna_gain(lambda,receiver_antenna_diameter(90),receiver_aperture_efficiency) -
    total_loss(distance(20),lambda,hantenna,elev_angle(20),used_band(12),1,p,t,d(5),K);
    ber1(i) = ber_calculation(P_received,N0);
    P_received=
    eirp(P_transmitter(i),antenna_gain(lambda,satellite_antenna_diameter(20),satellite_aperture_efficiency)) +
    antenna_gain(lambda,receiver_antenna_diameter(90),receiver_aperture_efficiency) -
    total_loss(distance(20),lambda,hantenna,elev_angle(20),used_band(12),2,p,t,d(5),K);
    ber2(i) = ber_calculation(P_received,N0);
    P_received=
    eirp(P_transmitter(i),antenna_gain(lambda,satellite_antenna_diameter(20),satellite_aperture_efficiency)) +
    antenna_gain(lambda,receiver_antenna_diameter(90),receiver_aperture_efficiency) -
    total_loss(distance(20),lambda,hantenna,elev_angle(20),used_band(12),3,p,t,d(5),K);
    ber3(i) = ber_calculation(P_received,N0);
end

```

8.6 BER και ισχύ εκπομπής με ατμοσφαιρικές παρεμβολές



BER and Transmission Power with Atmosphere Interference 1



BER and Transmission Power with Atmosphere Interference 2

Παρατηρείται πως καθώς η ισχύ εκπομπής καθώς αυξάνεται, το BER ελαττώνεται. Ανάλογα με τις καιρικές συνθήκες μειώνεται το BER. Βλέπουμε στο παραπάνω σχήμα πως όταν η ατμόσφαιρα είναι καθαρή το BER έχει μικρότερη τιμή σε σύγκριση με τη τιμή του BER όταν υπάρχουν άσχημες καιρικές συνθήκες.

Κώδικας

```

Figure
hold on
grid on
plot(P_transmitter,ber0,P_transmitter,ber1,P_transmitter,ber2,P_transmitter,ber3)
title('BER and transmission power with atmosphere interference')
xlabel('Transmission power in watt')
ylabel('BitErrorRate')

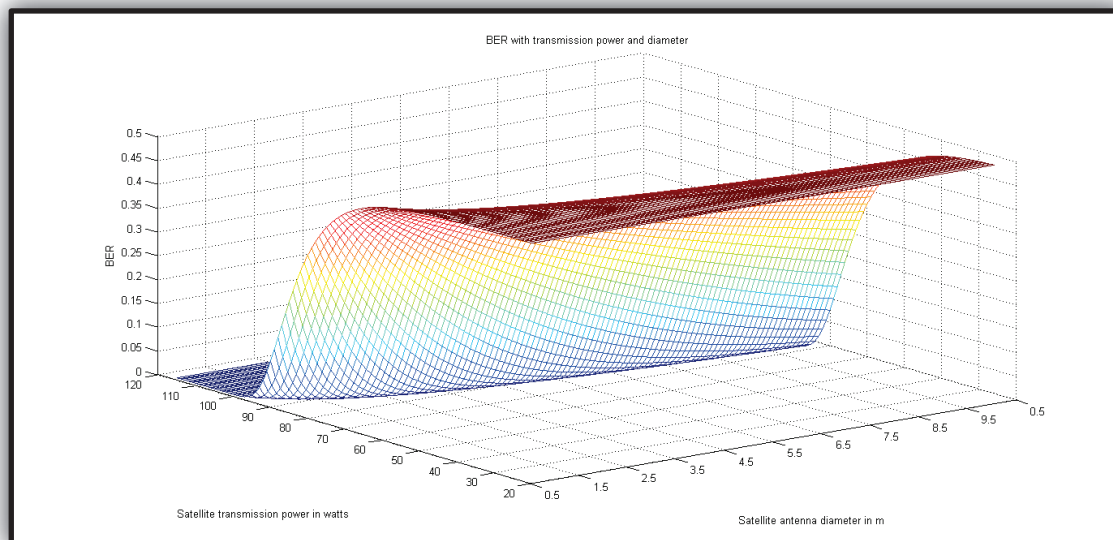
%%--Συσχέτιση διαμέτρου κεραίας δορυφόρου,ισχύος εκπομπής και BER για διαμόρφωση BPSK χωρίς
ατμοσφαιρικές παρεμβολές (εκτός του αέρα) ---
distance = satellite_distance_meo;
ber0 = zeros(length(satellite_antenna_diameter));

used_band = f_ka_band;
lambda = c/(used_band(12)*10^9);

for i=1:length(satellite_antenna_diameter)
    for j=1:length(satellite_antenna_diameter)
        P_received = eirp(P_transmitter(i),antenna_gain(lambda,satellite_antenna_diameter(j),satellite_aperture_efficiency)) +
                    antenna_gain(lambda,receiver_antenna_diameter(90),receiver_aperture_efficiency) -
                    total_loss(distance(1),lambda,hantenna,elev_angle(20),used_band(12),0,p,t,d(5),K);
        ber0(i,j) = ber_calculation(P_received,No);
    end
end
end

```

8.7 BER με Ισχύ Έκπομπής και Διάμετρο



BER with transmission power and diameter

Το παραπάνω γράφημα είναι συνδυασμός της ισχύς εκπομπής (Watt), της διαμέτρου της κεραίας του πομπού (m) και BER.

Παρατηρείται πως καθώς αυξάνεται η ισχύ εκπομπής και η διάμετρος το BER ελαττώνεται. Οπότε υπάρχει καλύτερη ποιότητα μετάδοσης.

Κώδικας

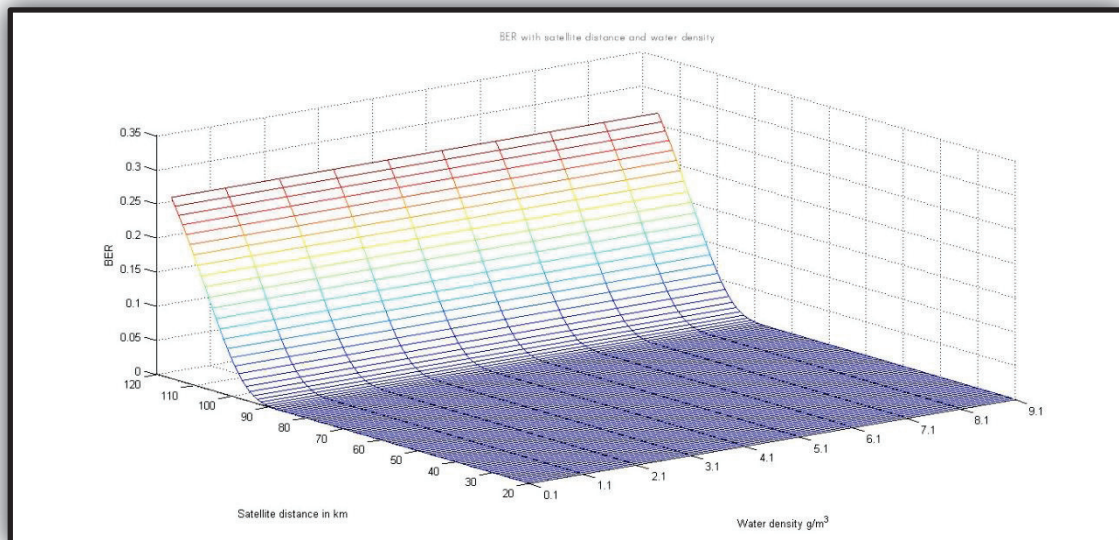
```
figure
mesh(ber0)
set(gca, 'XTickLabel', 0.5:1:10);
set(gca, 'YTickLabel', 20:10:120);
ylabel('Satellite transmission power in watts');
xlabel('Satellite antenna diameter in m');
zlabel('BER');
title('BER with transmission power and diameter');

%%--Συσχέτιση απόστασης δορυφόρου, συγκέντρωσης υδρατμών και BER για διαμόρφωση BPSK με
ατμοσφαιρικές παρεμβολές (συννεφιά) ---
distance = satellite_distance_leo;
ber0 = zeros(length(satellite_antenna_diameter),length(d));

used_band = f_ka_band;
lambda = c/(used_band(12)*10^9);

for i=1:length(satellite_antenna_diameter)
    for j=1:length(d)
        P_received =
        eirp(P_transmitter(20),antenna_gain(lambda,satellite_antenna_diameter(20),satellite_aperture_efficiency))
        + antenna_gain(lambda,receiver_antenna_diameter(90),receiver_aperture_efficiency)
        - total_loss(distance(i),lambda,hantenna,elev_angle(20),used_band(12),2,p,t,d(j),K);
        ber0(i,j) = ber_calculation(P_received,No);
    end
end
```

8.8 BER with satellite distance and water density



BER with satellite distance and water density

Το παραπάνω γράφημα έχει τρεις παραμέτρους, την απόσταση του δορυφόρου (Km), την πυκνότητα του νερού (g/m^3) και BER.

Παρατηρείται πως καθώς αυξάνεται η απόσταση και η πυκνότητα του νερού, το BER αυξάνεται. Η βέλτιστη μετάδοση είναι όταν η απόσταση είναι πολύ μικρή και αντίστοιχα και η πυκνότητα του νερού.

Κώδικας

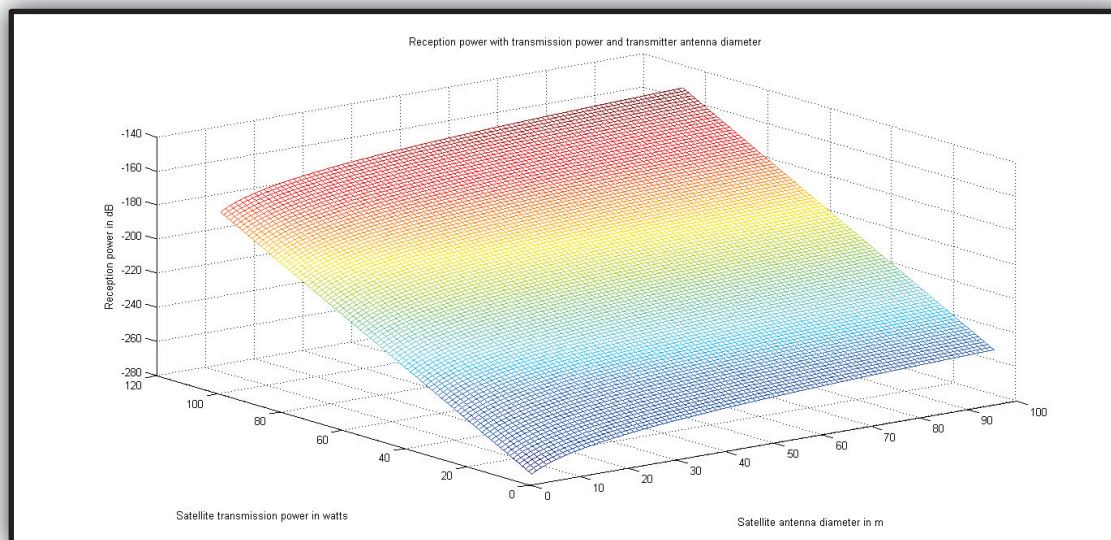
```
figure
mesh(ber0)
set(gca, 'XTickLabel', 0.1:10);
set(gca, 'YTickLabel', 20:10:120);
ylabel('Satellite distance in km');
xlabel('Water density g/m^3');
zlabel('BER');
title('BER with satellite distance and water density');

%%--Συσχέτιση ισχύος λήψεως, διαμέτρου κεραίας δορυφόρου και ισχύος εκπομπής ---
distance = satellite_distance_m0;
P_received = zeros(length(P_transmitter),length(satellite_antenna_diameter));

used_band = f_ka_band;
lambda = c/(used_band(12)*10^9);

for i=1:length(P_transmitter)
    for j=1:length(satellite_antenna_diameter)
        P_received(i,j) =
eirp(P_transmitter(i),antenna_gain(lambda,satellite_antenna_diameter(j),satellite_aperture_efficiency)) +
antenna_gain(lambda,receiver_antenna_diameter(90),receiver_aperture_efficiency) -
total_loss(distance(1),lambda,hantenna,elev_angle(20),used_band(12),0,p,t,d(5),K);
end
end
```

8.9 Ισχύ λήψης με ισχύ εκπομπής και διάμετρος της κεραίας του πομπού



Reception Power with Transmission Power and Transmitter Antenna Diameter

Για τη μετάδοση ενός σήματος, η ηλεκτρική ενέργεια από τον πομπό μετατρέπεται σε ηλεκτρομαγνητική ενέργεια από την κεραία και εκπέμπεται στο γύρω περιβάλλον (ατμόσφαιρα, διάστημα, νερό). Για τη λήψη ενός σήματος, η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια που προσπίπτει στην κεραία μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια τροφοδοτείται στο δέκτη.

Σε μία αμφίδρομη επικοινωνία, μπορεί να είναι η ίδια κεραία και να χρησιμοποιηθεί και για τη μετάδοση και για τη λήψη.

Στο συγκεκριμένο γράφημα υπάρχουν τρεις παράμετροι. Η ισχύ λήψης (dB), η ισχύ μετάδοσης (Watt) και η διάμετρος της κεραίας του πομπού.

Κώδικας

```
figure
mesh(P_received)
%set(gca, 'XTickLabel', 0.5:1:10);
%set(gca, 'YTickLabel', 20:10:120);
ylabel('Satellite transmission power in watts');
xlabel('Satellite antenna diameter in m');
zlabel('Reception power in dB');
title('Reception power with transmission power and transmitter antenna diameter');
```

8.10 Μεταβλητές Κώδικα

Κώδικας

```
%Διανύσματα μεταβλητών
satellite_distance_leo = 180:10:2000; %σε km
satellite_distance_meo = 2000:100:35800; %σε km
satellite_distance_geo = 35800:1000:384000; %σε km
satellite_antenna_diameter = 0.5:0.1:10; %σε m
receiver_antenna_diameter = 0.5:0.1:10; %σε m
satellite_aperture_efficiency = rand(1); %τιμές 0 ως 1 με συνηθέστερες 0.55-0.70
receiver_aperture_efficiency = rand(1);
c = 300000000; %ταχύτητα φωτός m/s
f_c_band = 4:0.1:8; %σεGhz (http://en.wikipedia.org/wiki/C_band)
f_x_band = 8:0.1:12;
f_ku_band = 12:0.1:18;
f_ka_band = 26.5:0.1:40;
t = 23; %θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου
K = 273.15+t; %θερμοκρασία σε βαθμούς Κέλβιν
p = 9.8692*10^(-4); %πίεση ατμόσφαιρας σε hPa (http://en.wikipedia.org/wiki/Pascal_%28unit%29)
d = 1:10; %πυκνότητα υδρατμών σε g/m^3
hantenna = 0; %ύψος κεραίας (μηδενίζεται σε σχέση με το ύψος των μετρούμενων φαινομένων στην
ατμόσφαιρα)
elev_angle = 5:90; %γωνία λήψης 5 ως 90 μοίρες
P_transmitter = 20:120; %ισχύς εκπομπής σε watt
Rb = 10000; %ρυθμός μετάδοσης bit ανά second
W = 2*Rb; %ελάχιστο bandwidth για τη μετάδοση Rbbits

%Η ισχύς του θορύβου υπολογίζεται ως εξής
k = 1.38*10^(-23); %Σταθερά του Boltzmann
No = 10*log10(k*K);

%Η ισχύς λήψης υπολογίζεται ως:
%P_received = eirp(P_transmitter,G_transmitter_antenna) + G_receiver_antenna -
total_loss(r,lambda,hantenna,elev_angle,freq,options,p,t,d,K);

%%--Συσχέτιση συχνότητας και καιρικών συνθηκών--
P_received0 = zeros(length(f_x_band),1);
P_received1 = zeros(length(f_x_band),1);
P_received2 = zeros(length(f_x_band),1);
P_received3 = zeros(length(f_x_band),1);
used_band = f_ka_band;
for i=1:length(used_band)
    lambda = c/(used_band(i)*10^9);
    P_received0(i) = eirp(P_transmitter(1),antenna_gain(lambda,satellite_antenna_diameter(1),satellite_aperture_efficiency)) +
    antenna_gain(lambda,receiver_antenna_diameter(1),receiver_aperture_efficiency) -
    total_loss(satellite_distance_leo(3),lambda,hantenna,elev_angle(20),used_band(i),0,p,t,d(5),K);
    P_received1(i) = eirp(P_transmitter(1),antenna_gain(lambda,satellite_antenna_diameter(1),satellite_aperture_efficiency)) +
    antenna_gain(lambda,receiver_antenna_diameter(1),receiver_aperture_efficiency) -
    total_loss(satellite_distance_leo(3),lambda,hantenna,elev_angle(20),used_band(i),1,p,t,d(5),K);
    P_received2(i) = eirp(P_transmitter(1),antenna_gain(lambda,satellite_antenna_diameter(1),satellite_aperture_efficiency)) +
    antenna_gain(lambda,receiver_antenna_diameter(1),receiver_aperture_efficiency) -
    total_loss(satellite_distance_leo(3),lambda,hantenna,elev_angle(20),used_band(i),2,p,t,d(5),K);
    P_received3(i) = eirp(P_transmitter(1),antenna_gain(lambda,satellite_antenna_diameter(1),satellite_aperture_efficiency)) +
    antenna_gain(lambda,receiver_antenna_diameter(1),receiver_aperture_efficiency) -
    total_loss(satellite_distance_leo(3),lambda,hantenna,elev_angle(20),used_band(i),3,p,t,d(5),K);
end
```

8.11 Υπολογισμός air_fade (Matlab)

Κώδικας

```
function res = air_fade(f,p,t,d)
%f συχρότητα σε GHz
%p πίεση (hPa)
%t θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου
%d πυκνότητα υδρατμών σε g/m^3

rt = 288/(273+t);
rp = p/1013;

ksi1 = phi_function(rp,rt,0.0717,-1.8132,0.0156,-1.6515);
ksi2 = phi_function(rp,rt,0.5146,-4.6368,-0.1921,-5.7416);
ksi3 = phi_function(rp,rt,0.3414,-6.5851,0.2130,-8.5854);
ksi4 = phi_function(rp,rt,-0.0112,0.0092,-0.1033,-0.0009);
ksi5 = phi_function(rp,rt,0.2705,-2.7192,-0.3016,-4.1033);
ksi6 = phi_function(rp,rt,0.2445,-5.9191,0.0422,-8.0719);
ksi7 = phi_function(rp,rt,-0.1833,6.5589,-0.2402,6.131);

g54 = 2.192*phi_function(rp,rt,1.8286,-1.9487,0.4051,-2.8509);
g58 = 12.59*phi_function(rp,rt,1.0045,3.5610,0.1588,1.2834);
g60 = 15*phi_function(rp,rt,0.9003,4.1335,0.0427,1.6088);
g62 = 14.28*phi_function(rp,rt,0.9886,3.4176,0.1827,1.3429);
g64 = 6.819*phi_function(rp,rt,1.4320,0.6258,0.3177,-0.5914);
g66 = 1.908*phi_function(rp,rt,2.0717,-4.1404,0.4910,-4.8718);

delta = -0.00306*phi_function(rp,rt,3.211,-14.94,1.583,-16.37);
if (f<=54)
    go = ( ((7.2*rt^2.8)/(f^2+0.34*rp^2*rt^1.6)) + ( (0.62*ksi3)/((54-f)^(1.16*ksi1)+0.83*ksi2)
))*f^2*rp^2*10^(-3);
elseif (f<=60)
    go = exp( (ln(g54)/24)*(f-58)*(f-60)-(ln(g58)/8)*(f-54)*(f-60)+(ln(g60)/12)*(f-54)*(f-58));
elseif (f<=62)
    go = g60+(g62-g60)*( (f-60)/2);
elseif (f<=66)
    go = exp( (ln(g62)/8)*(f-64)*(f-66)-(ln(g64)/4)*(f-62)*(f-66)+(ln(g66)/8)*(f-62)*(f-64));
elseif (f<=120)
    go = ( 3.02*10^(-4)*rt^3.5 + ( (0.283*rt^3.8)/( (f-118.75)^2 + 2.91*rp^2*rt^1.6 ) ) + ( (0.502*ksi6*(1-
0.0162*ksi7*(f-66)))/((f-66)^(1.4346*ksi4) + 1.15*ksi5) ) ) * f^2 * rp^2 * 10^(-3);
elseif (f<=350)
    go = ( ( 3.02*10^(-4) ) / (1+1.9*10^(-5)*f^1.5) ) + ( (0.283*rt^0.3) / ( (f-118.75)^2 + 2.91*rp^2*rt^1.6 ) )
)*f^2*rp^2*rt^3.5*10^(-3)+delta;
else
    go =0;
end

h1 = 0.955*rp*rt^0.68+0.006*d;
h2 = 0.735*rp*rt^0.5 + 0.0353*rt^4*d;
gw = (((3.98*h1*exp(2.23*(1-rt)))/((f-22.235)^2+9.42*h1^2))*g_function(f,22)+((11.96*h1*exp(0.7*(1-
rt)))/((f-183.31)^2+11.14*h1^2))+((0.081*h1*exp(6.44*(1-rt)))/((f-321.226)^2+6.29*h1^2))+
((3.66*h1*exp(1.6*(1-rt)))/((f-325.153)^2 + 9.22*h1^2))+((25.37*h1*exp(1.09*(1-rt)))/((f-
380)^2))+((17.4*h1*exp(1.46*(1-rt)))/((f-448)^2))+((844.6*h1*exp(0.17*(1-rt)))/((f-
557)^2))*g_function(f,557)+((290*h1*exp(0.41*(1-rt)))/((f-
752)^2))*g_function(f,752)+((8.3328*10^4*h2*exp(0.99*(1-rt)))/((f-1780)^2))*g_function(f,1780)
)*f^2*rt^2.5*d*10^(-4);
res = go + gw;

end
```

8.12 Υπολογισμός antenna_gain (Matlab)

Κώδικας

```
function ret = antenna_gain(lambda,d,aperture_efficiency)

    ret = 10*log10(aperture_efficiency*((pi*d)/(lambda))^2); %σε dB
end
```

8.13 Υπολογισμός BER (Matlab)

Κώδικας

```
function [bpsk] = ber_calculation(Eb,No)

    bpsk = (1/2)*erfc(sqrt(10^((Eb-No)/10)));

end
```

8.14 Υπολογισμός capacity (Matlab)

Κώδικας

```
function ret = capacity_calculation(W,P,N)
    %W - bandwidth
    %P - ισχύς σήματος σε dB
    %N - ισχύς θορύβου σε dB
    ret = W*log2(1+10^((P-N)/10)); %b/s

end
```

8.15 Υπολογισμός cloud_fade (Matlab)

Κώδικας

```
function att = cloud_fade(f,T)
    %f - συχνότητα σήματος πληροφορίας
    %T - θερμοκρασία σε βαθμούς Κέλβιν

    M = 0.2; %Για Ελλάδα
    theta = 300/T;
    e0 = 77.6 + 103.3*(theta-1);
    e1 = 5.48;
    e2 = 3.51;
    fp = 20.9 - 142*(theta-1) + 294*(theta-1);
    fs = 590 - 1500*(theta-1);

    ett = ((f*(e0-e1))/(fp*(1+(f/fp)^2)))+(f*(e1-e2))/(fs*(1+(f/fs)^2));
    et = ((e0-e1)/(1+(f/fp)^2)) + ((e1-e2)/(1+(f/fs)^2)) + e2;

    eta = (2+et)/ett;
    K1 = (0.819*f)/(ett*(1+eta^2));
```



```
att = Kl*M;
```

```
End
```

8.16 Υπολογισμός EIRP (Matlab)

Κώδικας

```
function ret = eirp(P_transmitter,G_transmitter_antenna)

    ret = G_transmitter_antenna+P_transmitter; %σε dB
end
```

8.17 Υπολογισμός free_space_loss (Matlab)

Κώδικας

```
function fsl = free_space_loss(r,lambda)
%Συνάρτηση υπολογισμού απωλειών λόγω απόστασης που διανύει το σήμα
%Είσοδοι: r - απόσταση, lambda - μήκος κύματος
%fsl = (4πr/λ)^2 όπου r σε km
%ήσε dB
fsl = 10*log10((4*pi*r)/lambda)^2;
end
```

8.18 Υπολογισμός rain_fade (Matlab)

Κώδικας

```
function att = rain_fade(hantenna,elev_angle,freq)
%Η συνάρτηση αυτή παράγει τις απώλειες λόγω βροχής
%Τόσο το hrain όσο και το hantenna είναι σε Km
%Ο πίνακας Reff περιέχει τα a και k σε συνάρτηση με τη συχνότητα του
%λαμβανόμενου σήματος ως εξής: Ghz,k,a

Reff = [ 1, 0.0000387,0.912,
        2, 0.000154 ,0.963,
        4, 0.000650 ,1.121,
        6, 0.00175 ,1.308 ,
        7, 0.00301 ,1.332 ,
        8, 0.00454 ,1.327 ,
        10, 0.0101 ,1.276 ,
        12, 0.0188 ,1.217 ,
        15, 0.0367 ,1.154 ,
        20, 0.0751 ,1.099 ,
        25, 0.124 ,1.061 ,
        30, 0.187 ,1.021 ,
        35, 0.263 ,0.979 ,
        40, 0.350 ,0.939 ];

for i=1:size(Reff)
    if (freq<=Reff(i,1))
        Reff_row = i;
    end
end
```

```

    end
    end;
    phi = 39; %latitude Ελλάδας = 39
    hrain = 3.2-0.075*(phi-35);
    D_rain = (hrain-hantenna)/sind(elev_angle);
    R = 0.003; %Ρυθμός βροχόπτωσης για Ελλάδα
    gamma_r = Reff(Reff_row,2)*R^Reff(Reff_row,3);
    att = gamma_r * D_rain; %όπου η επιστρεφόμενη τιμή att είναι σε dB

end

```

8.19 Υπολογισμός total_loss (Matlab)

Κώδικας

```

function loss = total_loss(r,lambda,hantenna,elev_angle,freq,options,p,t,d,K)
%r - απόσταση
%lambda - μήκος κύματος
%hantenna - ύψος κεραίας
%elev_angle - γωνία λήψης κεραίας (5 ως 90 μοίρες)
%freq - συχνότητα σήματος πληροφορίας
%options - ποιοί παράγοντες εξασθένισης χρησιμοποιούνται
%p - πίεση
%t - θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου
%d - πυκνότητα υδρατμών
%K - θερμοκρασία σε βαθμούς Κέλβιν

loss = free_space_loss(r,lambda);
if (options==1)
    loss = loss + air_fade(freq,p,t,d);
elseif (options==2)
    loss = loss + air_fade(freq,p,t,d)+ cloud_fade(freq,K);
elseif (options==3)
    loss = loss + air_fade(freq,p,t,d)+ cloud_fade(freq,K)+ rain_fade(hantenna,elev_angle,freq);
end

end

```

Βιβλιογραφία

Π. Κωττής - Χ. Καψάλης "Δορυφορικές Επικοινωνίες" 2η έκδοση

<http://apeleytheros.wordpress.com/2011/04/12/yuri-gagarin-vostok-1-kolomvos-tou-diasthmatos/>

<http://www.daviddarling.info/encyclopedia/alphindex.html>

<http://avclub.gr/forum/showthread.php?t=79445&page=33>

http://space.skyrocket.de/doc_sdat/intelsat-1.htm

G. Maral - M. Bousquet "Satellite Communication Systems"

"Δορυφορικές Επικοινωνίες :Συστήματα, Τεχνικές και Τεχνολογία"

Atayero, Luka and Alatishe "Satellite Link Design: A Tutorial"

"Rain Fade Calculations"

"Attenuation by atmospheric gases"

"Attenuation due to clouds and fog"

"Atmospheric Attenuation due to Humidity"

C.C Chen "Attenuation of electromagnetic radiation by Haze, Fog, Clouds and Rain"

T. Meissner and F. Wentz "The Complex Dielectric Constant of Pure and Sea Water from Microwave Satellite Observations"