

## **ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ**

### **ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**



**ΜΕΝΕΓΑΚΗΣ ΑΓΓΕΛΟΣ-ΕΠΙΜΕΝΙΔΗΣ Α.Μ 4160**

**Επιβλέπων καθηγητής : Δρ. Αντωνιάκης Μανόλης**

**Χανιά, Σεπτέμβριος 2012**

## Πρόλογος

Ως επίλογο της πολύ καλής πορείας στο τμήμα Τηλεπικοινωνιών του Τ.Ε.Ι Κρήτης, επέλεξα να κάνω αυτή τη μελέτη, η οποία σχετίζεται με την μελέτη ηλεκτρονικών διατάξεων δορυφορικών συστημάτων και δορυφορικών επικοινωνιών.

## Ευχαριστίες

Στο πλευρό μου όλο αυτό το χρονικό διάστημα μου στάθηκαν κάποιοι άνθρωποι που πίστεψαν σε μένα και θα ήθελα να τους ευχαριστήσω ως ελάχιστη ένδειξη σεβασμού. Ευχαριστώ θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή Κ. Μανόλη Αντωνιδάκη. Τον ευχαριστώ για την εμπιστοσύνη και την υποστήριξη που μου παρείχε, καθώς και για την άριστη συνεργασία που είχαμε.

Επίσης θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου προς τους διδάσκοντες του Τμήματος Τηλεπικοινωνιών του Τ.Ε.Ι Κρήτης, που ήταν καθηγητές μου κατά τη διάρκεια των σπουδών μου και μου προσέφεραν τις κατάλληλες γνώσεις οι οποίες ήταν πολύτιμες στην μέχρι τώρα πορεία μου και με βοήθησαν στην επιτυχή ολοκλήρωση της πτυχιακής μου εργασίας.

Μενεγάκης Άγγελος Επιμενίδης

Χανιά Σεπτέμβριος 2012

## Περίληψη

Ο τομέας των δορυφορικών επικοινωνιών είναι από τους πιο αναπτυσσόμενους κλάδους της τεχνολογίας στις μέρες μας. Υπάρχει συνεχής εξέλιξη λόγω των απαιτήσεων για μεγαλύτερη ακρίβεια και αξιοπιστία υπηρεσιών. Οι γενικότερες εξελίξεις στο χώρο των δορυφορικών επικοινωνιών καθώς και το ενδιαφέρον που παρουσιάζουν τα τηλεπικοινωνιακά συστήματα, οδήγησαν στην απόφαση μου να υλοποιήσω αυτήν την πτυχιακή εργασία.

Η εργασία έχει χωριστεί σε επτά κεφάλαια:

Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται εισαγωγή στις δορυφορικές επικοινωνίες.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται ιστορική αναδρομή στους δορυφόρους και περιγράφονται τα είδη των τεχνητών δορυφόρων.

Το τρίτο κεφάλαιο περιγράφει την διαδικασία εκτόξευσης των δορυφόρων καθώς και την διαδικασία εγκατάστασης του δορυφόρου σε τροχιά.

Στο τέταρτο κεφάλαιο περιγράφεται η δομή του βασικού τηλεπικοινωνιακού συστήματος. Γίνεται ανάλυση στα συστήματα επικοινωνιών, στα υποσυστήματα του επίγειου σταθμού και στα συστήματα ενός τηλεπικοινωνιακού δορυφόρου.

Το πέμπτο κεφάλαιο αναφέρεται στην επίδραση του μέσου διάδοσης στα δορυφορικά σήματα.

Το έκτο κεφάλαιο μιλάει για διαμόρφωση των ψηφιακών σημάτων.

Στο έβδομο κεφάλαιο βρίσκεται ο επίλογος.

# Περιεχόμενα

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΔΟΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

1.1 ΓΕΝΙΚΑ σελ. 6-7

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ ΚΑΙ ΕΙΔΗ ΔΟΥΦΟΡΩΝ σελ. 8-19

2.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΕΧΝΗΤΩΝ ΔΟΥΦΟΡΩΝ σελ. 20-28

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 ΕΚΤΟΞΕΥΣΗ ΔΟΥΦΟΡΩΝ σελ. 29-31

3.2 ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΔΟΥΦΟΡΟΥ ΣΕ ΤΡΟΧΙΑ σελ. 31-33

3.3 ΕΚΤΟΞΕΥΣΗ ΔΟΥΦΟΡΩΝ ΣΕ ΤΡΟΧΙΑ ΜΕ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟ ΠΥΡΑΥΛΟ ΕΚΤΟΞΕΥΣΗΣ σελ. 34-39

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1 ΔΟΜΗ ΒΑΣΙΚΟΥ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ σελ. 40-43

4.2 ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ σελ. 43-46

4.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΠΙΓΕΙΟΥ ΣΤΑΘΜΟΥ σελ. 46-49

4.4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ σελ. 50-51

4.5 ΣΥΚΡΟΤΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΔΟΥΦΟΡΩΝ σελ. 52

4.6 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΝΟΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΥ ΔΟΥΦΟΡΟΥ σελ. 53-83

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1 ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΜΕΣΟΥ ΔΙΑΔΟΣΗΣ ΣΤΑ ΔΟΥΦΟΡΙΚΑ  
ΣΗΜΑΤΑ σελ. 84-90

5.2 ΣΗΜΑΤΟΘΟΥΡΥΒΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΟΥΦΟΡΙΚΩΝ ΖΕΥΞΕΩΝ  
σελ. 90-91

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6.1 ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΣΗΜΑΤΩΝ σελ. 92-94

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

ΕΠΙΛΟΓΟΣ σελ. 95

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ σελ. 96

# Κεφάλαιο 1

## Εισαγωγή στις δορυφορικές επικοινωνίες

### 1.1 Γενικά



“ Κάθε ανθρώπινο κατασκεύασμα ή σώμα που έχει τεθεί από τον άνθρωπο σε δορυφορική τροχιά γύρω από τη Γη ονομάζεται τεχνητός δορυφόρος. Οι τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι αποτελούν μία κατηγορία των τεχνητών δορυφόρων. Γενικά ο δορυφόρος είναι ένα διαστημικό όχημα στο οποίο δεν υπάρχει κανένας άνθρωπος μέσα του είναι δηλαδή μη επανδρωμένο (unmanned satellite) και τίθεται σε τροχιά γύρω από τη Γη σε ύψος μεταξύ 500 και 36.000 χιλιομέτρων από την επιφάνειά της. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν και οι τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι. Ο εξοπλισμός και τα κατάλληλα όργανα τα οποία υπάρχουν δίνουν την ικανότητα στον δορυφόρο να συλλέγει εικόνες και δεδομένα ή αλλιώς (data) , τα οποία στην συνέχεια τα αναμεταδίδει πίσω (Downlink) σε προκαθορισμένες συχνότητες στην γη και πιο συγκεκριμένα σε διάφορους επίγειους σταθμούς. Οι δορυφόροι και γενικότερα τα δορυφορικά δίκτυα αποτελούν και θα συνεχίσουν να αποτελούν ίσως το πιο σημαντικό κομμάτι των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων. Γίνεται χρήση των δορυφόρων γιατί μας παρέχουν την δυνατότητα να καλύψουμε

μεγάλες γεωγραφικές περιοχές. Με την βοήθεια των δορυφόρων μπορούμε και διασύνδεουμε μακρινούς και δύσκολους σε πρόσβαση τηλεπικοινωνιακούς κόμβους. Η δυνατότητα που μας δίνει και μπορούμε να καλύψουμε μεγάλες γεωγραφικές περιοχές είναι καθοριστικής σημασίας σε εφαρμογές όπως η διασύνδεση μεγάλων τηλεπικοινωνιακών κόμβων, σε εφαρμογές που έχουν να κάνουν με την κινητή τηλεπικοινωνία ή και σε τηλεοπτικές εφαρμογές. Επίσης μέσω δορυφόρων πραγματοποιούνται μετεωρολογικές προβλέψεις, γεωλογικές έρευνες, χαρτογράφηση ηπείρων και ωκεανών, αστρονομικές παρατηρήσεις, περιβαλλοντολογικές έρευνες κτλ. Η χρησιμοποίηση γεωσύγχρονων δορυφόρων για επικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων έχει αυξηθεί πάρα πολύ τα τελευταία είκοσι χρόνια αφού η τεχνολογία των δορυφορικών συστημάτων συνεχώς εξελίσσεται και είναι αναμενόμενο οι δορυφορικές επικοινωνίες να παίξουν σημαντικό ρόλο στα σύγχρονα τηλεπικοινωνιακά συστήματα. Στην συνέχεια στο κεφάλαιο 2 γίνεται μια ιστορική αναδρομή και αναλύονται τα είδη των τεχνητών δορυφόρων. Στο κεφάλαιο 3 θα μιλήσουμε για την διαδικασία εκτόξευσης των πυραύλων και την διαδικασία του πως ένας δορυφόρος μπαίνει σε τροχιά. Στο κεφάλαιο 4 θα γίνει ανάλυση των υποσυστημάτων του επίγειου σταθμού και των συστημάτων ενός τηλεπικοινωνιακού δορυφόρου. Το κεφάλαιο 5 μιλάει για την επίδραση του μέσου διάδοσης στο δορυφορικό σήμα. Το κεφάλαιο 6 μιλάει για διαμόρφωση ψηφιακών σημάτων.”<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> <http://techteam.gr/forum/topic/44012-Thlepikoinoniakoi-doryforoi--/>  
<http://el.wikipedia.org>

## Κεφάλαιο 2

### Ιστορική αναδρομή και είδη δορυφόρων

2.1 “Το 1945 ο Arthur Clarke δημοσίευσε τις ιδέες του για τη χρησιμοποίηση γεωστατικών δορυφόρων στις παγκόσμιες τηλεπικοινωνίες. Από το 1950 έγινε αντιληπτό ότι ένας δορυφόρος πάνω από τη Γη θα προσέφερε πολλά πλεονεκτήματα στις επικοινωνίες μεταξύ επίγειων σταθμών που δεν έχουν οπτική επαφή, αν το σήμα του επίγειου πομπού εκπεμπόταν προς το δορυφόρο, ο οποίος θα το επέστρεφε προς τον τελικό του προορισμό. Ο πρώτος μεγάλος τηλεπικοινωνιακός δορυφόρος που εκτοξεύθηκε το 1956 ήταν ο Echo και ήταν παθητικός, δηλαδή δεν πραγματοποιούσε επεξεργασία του σήματος αλλά απλώς το ανακλούσε προς τη Γη. Στην εικόνα 2.1 απεικονίζεται ο δορυφόρος Echo.



εικόνα 2.1 ο δορυφόρος Echo 1961.



Πρέπει να σημειωθεί ότι η βασική βελτίωση σε σχέση με τις ιονοσφαιρικές μεταδώσεις ήταν ο μη τυχαίος χαρακτήρας των ανακλαστικών ιδιοτήτων του ανακλαστήρα. Με τον τρόπο αυτό, δημιουργήθηκαν οι πρώτες δορυφορικές υπερατλαντικές ζεύξεις.

Λίγο αργότερα το πρόβλημα της χαμηλής ισχύος στην κάτω ζεύξη λύθηκε με την εκτόξευση ενεργών δορυφόρων, οι οποίοι αναμετέδιδαν το λαμβανόμενο σήμα, αφού προηγουμένως το είχαν ενισχύσει. Ενδεικτικά αναφέρονται οι δορυφόροι Score 1958, Courier 1960, Telstar 1962, Syncom 1963. Ο Telstar, που κατασκευάστηκε από την AT&T σχεδιάστηκε έτσι ώστε να μπορεί να λαμβάνει μικροκύματα, να τα ενισχύει και κατόπιν να τα αναμεταδίδει πίσω στην Γη. Ο Telstar και ο Syncom έβαλαν τις βάσεις για τη ραγδαία ανάπτυξη των σύγχρονων τηλεπικοινωνιών και τηλεοπτικών μεταδόσεων στις τηλεπικοινωνίες. Ο Syncom 3 ήταν ο δορυφόρος που μετέδωσε τους Ολυμπιακούς αγώνες του Τόκιο το 1964 στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής. Το 1964 εκτοξεύτηκε ο πρώτος γεωστατικός δορυφόρος για εμπορική χρήση. Η σειρά INTELSAT αρχίζει να λειτουργεί το 1965. Το 1965 ήταν η χρονιά που η Ρωσία εκτόξευσε τον Molnya τον πρώτο δορυφόρο με τροχιά δώδεκα ωρών, που προωθούσε την παροχή τηλεπικοινωνιών στο βόρειο γεωγραφικό πλάτος κάτι μη εφικτό με την χρήση γεωστατικού δορυφόρου. Τον Αύγουστο του 1965, δημιουργήθηκε μετά από σειρά επίμονων συζητήσεων και διαπραγματεύσεων ο Διεθνής Οργανισμός Τηλεπικοινωνιών INTELSAT ο οποίος προχώρησε στην κατασκευή του Intelsat 1 (εικόνα 2.2) που αποτελεί τον πρώτο γεωστατικό δορυφόρο παγκόσμιας εμβέλειας.



Εικόνα 2.2 ο δορυφόρος Intelsat 1

Ο σχηματισμός του οργανισμού Intelsat, συνέβαλλε στη ραγδαία εξέλιξη των παγκόσμιων τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών, καθώς το 1969, ο Intelsat ολοκλήρωσε το πρώτο παγκόσμιο δίκτυο με δορυφόρους Intelsat σειράς 3. Είναι γεγονός ότι σήμερα πολλοί θεωρούμε ως δεδομένες τις δορυφορικές υπηρεσίες στις επιχειρηματικές δράσεις, αλλά στα πρώτα βήματα της δορυφορικής τεχνολογίας η προώθηση αυτών των υπηρεσιών προς τις επιχειρήσεις ήταν αποτέλεσμα των ζυμώσεων και των συζητήσεων μεταξύ των διαφόρων εμπλεκόμενων κρατών και κυβερνήσεων, οι οποίες έδιναν τις εξουσιοδοτήσεις στις επιχειρήσεις. Αυτό άλλαξε το 1972 όταν η Teles αποτέλεσε την πρώτη εταιρία η οποία άρχισε να χρησιμοποιεί «τοπικό δορυφόρο», τον Anik 1 (εικόνα 2.3) για να παρέχει στην Καναδική επικράτεια δορυφορικές υπηρεσίες μετάδοσης φωνής και δεδομένων.



Εικόνα 2.3 ο δορυφόρος Anik 1

Ο πρώτος Αμερικάνικος «τοπικός δορυφόρος» ήταν ο Westar 1 (εικόνα 2.4) που εκτοξεύθηκε 13 Απριλίου 1974, συνοδευόμενος από τον Westar 2 και ακόλουθα από τον Satcom F-1 θέτοντας τα πρότυπα για τη χρήση 24 καναλιών.



Εικόνα 2.4 ο δορυφόρος Westar 1

Ο Intelsat 4 το 1975 ήταν ο πρώτος που χρησιμοποίησε διπλά polarization ανά αναμεταδότη, π.χ. δώδεκα αναμεταδότες για 24 κανάλια. Αυτοί οι δορυφόροι είχαν σχεδιαστεί για την αναμετάδοση φωνής και δεδομένων αλλά πολύ γρήγορα η αναμετάδοση τηλεοπτικού παρεχομένου έγινε η κύρια χρησιμότητα τους.

Επίσης εκείνη την χρονιά τίθεται σε τροχιά ο INTERSPUTBIK (εικόνα 2.5).



Εικόνα 2.5 ο δορυφόρος INTERSPUTBIK 1972

Τότε έγινε και το πρώτο επιτυχές πείραμα απευθείας εκπομπών μέσω δορυφόρου μεταξύ ΗΠΑ-Ινδίας. Πριν το τέλος του 1976, οι Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής, διέθεταν 120 αναμεταδότες με τη δυνατότητα να παρέχει ο κάθε αναμεταδότης υπηρεσίες σε 1500 τηλεφωνικές γραμμές, ή σε ένα τηλεοπτικό κανάλι. Το Φεβρουάριο του 1976 εκτοξεύτηκε ο Marisat (εικόνα 2.6) προκειμένου να παρέχει υπηρεσίες κινητής τηλεφωνίας στο Αμερικάνικο Ναυτικό και σε άλλους πελάτες που δραστηριοποιούνται στο χώρο της ναυτιλίας.



Εικόνα 2.6 ο δορυφόρος Marisat

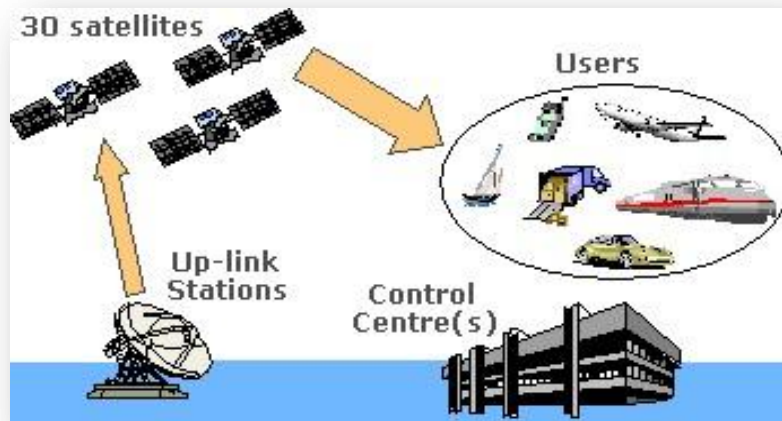
Το 1977 συντάσσεται από την ITU ( International Telecommunication Union ) ο κανονισμός για δορυφορικές εκπομπές απευθείας σε χρήστες, ενώ το 1979 αρχίζει να λειτουργεί ο διεθνής οργανισμός δορυφορικών επικοινωνιών ναυσιπλοΐας INMARSAT (International Maritime Satellite organization). Το 1981, γίνεται η πρώτη διαστημική πτήση με σκάφος που ήταν δυνατό να χρησιμοποιηθεί (Shuttle), ενώ το 1982 λειτουργούν για πρώτη φορά διεθνής τηλεπικοινωνίες ναυσιπλοΐας. Το 1984 στην Ιαπωνία λειτουργεί, επίσης για πρώτη φορά, δορυφορικό δίκτυο εκπομπών απευθείας στον τελικό χρήστη. Το 1987 γίνονται επιτυχημένες ζεύξεις σε επίγειο σύστημα κινητών επικοινωνιών από τον INMARSAT, ενώ κατά τα έτη 1989-1990 το σύστημα του οργανισμού επεκτείνεται σε επίγειες και αεροναυτικές χρήσεις.

Κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης των δορυφορικών επικοινωνιών το εύρος ζώνης των ζεύξεων εμφανίζεται σημαντικά αυξημένο σε σχέση με τις πρώτες εφαρμογές. Η θέση των δορυφορικών ζεύξεων στις σύγχρονες τηλεπικοινωνίες είναι σημαντική. Πλέον, ο τηλεπικοινωνιακός δορυφόρος δεν είναι ένας απλός επαναλήπτης που απλώς συνδέει δύο επίγειους σταθμούς, αλλά αποτελεί μέρος μιας υψηλής χωρητικότητας

τηλεπικοινωνιακού δικτύου με δυνατότητες πολλαπλής εκπομπής και προσπέλασης. Κάθε επίγειος σταθμός που βρίσκεται στην περιοχή κάλυψης ενός δορυφόρου μπορεί να μεταδίδει ή να λαμβάνει ραδιοκύματα από ή προς άλλο επίγειο σταθμό που βρίσκεται στην περιοχή κάλυψης του δικτύου όπου ανήκει ο δορυφόρος. Ιδιαίτερα σημαντική είναι η αρχιτεκτονική των δορυφορικών δικτύων που επιτρέπει την εκπομπή και λήψη από ανεξάρτητους σταθμούς με ταυτόχρονη ελαχιστοποίηση των παρεμβολών μεταξύ των σημάτων των επίγειων σταθμών. Στα σταθερά τηλεπικοινωνιακά συστήματα χρησιμοποιούνται διάφορα είδη συστημάτων μετάδοσης σημάτων. Τα συστήματα αυτά περιλαμβάνουν ομοαξονικά καλώδια, οπτικές ίνες, ασύρματες επίγειες ζεύξεις και δορυφορικές ζεύξεις. Προς το παρόν, τα ομοαξονικά καλώδια και οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται τόσο στο συνδρομητικό βρόχο όσο και μεταξύ κέντρων σε αποστάσεις της τάξης των δεκάδων χιλιομέτρων. Σε ζεύξεις μεταξύ κέντρων παραγωγής σε μεγαλύτερες αποστάσεις, η χρησιμοποίηση δορυφορικών ζεύξεων γίνεται οικονομικά συμφέρουσα όταν οι αποστάσεις είναι της τάξης των εκατοντάδων χιλιομέτρων ή όταν οι συνθήκες του περιβάλλοντος είναι ιδιαίτερα δύσκολες. Η χρησιμοποίηση δορυφορικών ζεύξεων μεταξύ διεθνών κέντρων μεταγωγής αποτελεί σήμερα τη συνηθέστερη επιλογή.

Με την πρόοδο της τεχνολογίας, η κεραία του επίγειου σταθμού και τα υπόλοιπα τμήματά του έχουν μειωθεί σε όγκο και βάρος και, συνεπώς, μπορούν να εγκαθίστανται και σε επίπεδο μεμονωμένων χρηστών. Αυτοί οι τερματικοί σταθμοί είναι συνήθως γνωστοί ως τερματικά πολύ μικρής επιφάνειας VSAT (Very Small Aperture Terminals). Με τη διασύνδεση VSAT, είναι δυνατό να παρακάμπτονται ολόκληρα δημόσια δίκτυα. Σε μερικές χώρες, αυτός ο τρόπος διασύνδεσης είναι προτιμητέος γιατί τα δίκτυα VSAT σε αντίθεση με τα δημόσια δίκτυα είναι πιο οικονομικά, δηλαδή η χρησιμοποίησή τους συμφέρει καλύτερα, επίσης τα δίκτυα VSAT εγκαθίστανται ταχύτατα και με ελάχιστο κόστος όταν διατίθεται ο δορυφόρος και ελαχιστοποιούν πιθανά σφάλματα ή καθυστερήσεις του δημόσιου δικτύου.

Επίσης, δορυφορικές ζεύξεις χρησιμοποιούνται για την παροχή υπηρεσιών φωνής και δεδομένων σε αεροπλάνα, πλοία και οχήματα.



Χρήση των δορυφορικών ζεύξεων στα αεροπλάνα πλοία και οχήματα

Οι κυριότεροι περιορισμοί των δορυφορικών συστημάτων επικοινωνιών είναι οι ακόλουθοι:

- 1) Το σχετικό υψηλό κόστος εγκατάστασης του συστήματος λόγω του κόστους του δορυφόρου. Απαιτείται προσεκτική τεχνικοοικονομική μελέτη σε σύγκριση με άλλα διαθέσιμα συστήματα πριν ληφθεί η απόφαση για την επιλογή της συγκεκριμένης λύσης.
- 2) Η εξάρτηση της παροχής τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών από τη διάρκεια ζωής του δορυφόρου και η ανάγκη για την έγκαιρη αντικατάσταση της ζεύξης.
- 3) Στην περίπτωση γεωστατικών δορυφόρων ένας πρόσθετος περιορισμός είναι η καθυστέρηση μετάδοσης λόγω της μεγάλης διαδρομής του σήματος. Όμως, έχει γίνει σημαντική πρόοδος στην ανάπτυξη τεχνολογίας καταστολής – εξάλειψης της ηχούς, η οποία αποτελεί σημαντικό πρόβλημα των δορυφορικών ζεύξεων σε υπηρεσίες φωνής, ενώ, για τη μετάδοση δεδομένων, η χρονική καθυστέρηση αποτελεί σημαντικό πρόβλημα, ιδιαίτερα για τις υπηρεσίες που χρησιμοποιούν πρωτόκολλο TCP/IP.

Το να προσπαθεί κάποιος να μιλήσει για τη δορυφορική ιστορία, είναι μία προσπάθεια που ξεκινάει από το πρόσφατο παρελθόν αλλά έχει ακόμα πολλές λευκές σελίδες για το άμεσο μέλλον. Η δορυφορική ιστορία στην Ελλάδα έχει αρχίσει εδώ και λίγα χρόνια με την εκτόξευση του δικού της δορυφόρου ( Hellas Sat) και έτσι διεκδικεί επάξια τη δική της χρυσή σελίδα στη δορυφορική ιστορία.”<sup>2</sup>

## Hellas Sat



“Οι τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι δεν είναι παρά τηλεπικοινωνιακοί αναμεταδότες που κινούνται σε μεγάλο ύψος πάνω από τη γη. Η δουλειά που κάνουν είναι να λαμβάνουν τα

---

<sup>2</sup> <http://lyk-vatheos.eyv.sch.gr/Ergasies/2006-2007/Tep/Doryforoi.htm>  
<http://techteam.gr/forum/topic/12042-Ti-einai-doryforos;-/>  
<http://techteam.gr/forum/topic/44012-Thlepikoinoniakoi-doryforoi--/>  
<http://el.wikipedia.org>  
<http://www.pireas.gr/%CE%B4%CE%BF%CF%81%CF%85%CF%86%CE%BF%CF%81%CE%BF%CF%83>  
Άρθρα Δρ. Ανδρέα Βλησίδη καθηγητή δορυφορικών επικοινωνιών  
<http://www.scribd.com>



σήματα από τους επίγειους σταθμούς και τα αναμεταδίδουν ξανά πίσω στη γη με ή χωρίς επεξεργασία.

Ανάλογα με το ύψος της τροχιάς των, διακρίνονται σε τρεις τύπους

1) Χαμηλού ύψους (LEO / Low Earth Orbit) που βρίσκονται σε τροχιά σε ύψος 200 – 400 km.

2) Μέσου ύψους (MEO / Medium Earth Orbit) που βρίσκονται σε τροχιά σε ύψος 700 – 1000 km.

3) Γεωστατικοί (GEO / Geostationary Earth Orbit) που βρίσκονται σε απόσταση 36000 km.

Ο κλάδος των τηλεπικοινωνιών χρησιμοποιεί περισσότερο την τρίτη κατηγορία δηλαδή τους γεωστατικούς δορυφόρους οι οποίοι διαγράφουν ένα πλήρη κύκλο από τη Γη σε 24 ώρες. Κινούνται σε σχεδόν κυκλική τροχιά σε ύψος 36.000 χλμ. Η απόσταση αυτή είναι εξαπλάσια της ακτίνας της Γης. Κινούνται με την ίδια ταχύτητα με την οποία περιστρέφεται η Γη γι αυτό φαίνονται ακίνητοι σε σχέση με το έδαφος. Το ότι ο δορυφόρος παραμένει ακίνητος είναι ένα πού σημαντικό πλεονέκτημα για έναν τηλεπικοινωνιακό αναμεταδότη αφού δεν θα υπάρχουν εμπόδια ανάμεσα σε αυτόν και τον δορυφόρο, δηλαδή δεν μεταβάλλεται η περιοχή που καλύπτει πάνω στην επιφάνεια της Γης.”<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> Ενθετο του ΟΤΕ (THΛΕ) για τον Hellas Sat

## Hellas Sat Ένα αστέρι γεννήθηκε



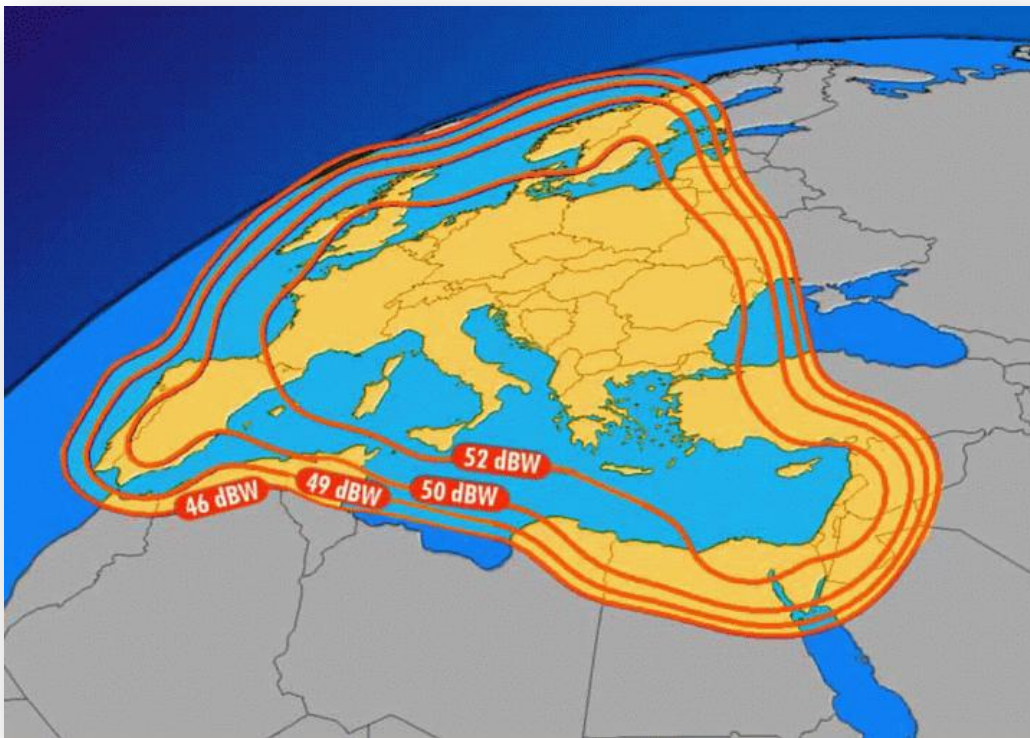
“Όπως είπαμε και πριν η Ελλάδα άρχισε πριν λίγα χρόνια την δορυφορική της ιστορία με την εκτόξευση του δικού της δορυφόρου Hellas Sat. Η εταιρία που κατασκεύασε τον δορυφόρο ονομάζεται Astrium. Η Astrium ιδρύθηκε το Μάιο του 2000 με τη συγχώνευση της Marta Marconi Space και του διαστημικού τμήματος της γερμανικής εταιρίας Daimler Chrysler Aerospace. Αποτελεί τη μεγαλύτερη διαστημική εταιρία στην Ευρώπη καθώς διαθέτει μεγάλη παράδοση και ισχυρό όνομα στην παραγωγή τηλεπικοινωνιακών δορυφόρων παρατήρησης, στην προμήθεια συστημάτων πλοήγησης των δορυφόρων, στρατιωτικών δορυφορικών συστημάτων και υποσυστημάτων, διαστημικής υποδομής και εξοπλισμού.

Ο δορυφόρος Hellas Sat είναι από τους πιο ισχυρούς στην αγορά. Έχει ευρεία γεωγραφική κάλυψη όπως φαίνεται και στην εικόνα 2.7 . Είναι τοποθετημένος στις 39 μοίρες ανατολικά, σε γεωστατική τροχιά από τις 28 Μαΐου 2003 όπου και μεταφέρθηκε με τον πύραυλο Atlas 5. Προσφέρει πλοήγηση στο διαδίκτυο, Δορυφορικό Internet, μετάδοση ήχου και ψηφιακής τηλεόρασης, διαδραστικές υπηρεσίες. Αναμένεται ότι θα έχει διάρκεια ζωής 15 χρόνων και έχει προσφέρει κάλυψη στους Ολυμπιακούς αγώνες του 2004 οι οποίοι αποτέλεσαν ορόσημο στην ιστορία του Hellas Sat αφού αυτός αποτέλεσε το βασικό δορυφορικό όχημα που μετέφερε τις εικόνες και τους ήχους των Ολυμπιακών Αγώνων του 2004 στα πέρατα του κόσμου.

Αθήνα 2004



Εικόνα ολυμπιακών εγκαταστάσεων από δορυφόρο  
Δέσμη Hellas Sat footprint (F1-beam)



Εικόνα 2.7 γεωγραφική κάλυψη του Hellas Sat

Ο Hellas Sat μονίμως πάνω από ένα σταθερό σημείο της Γης (Κέννα) και διαθέτει δύο σταθερές δέσμες με 18 αναμεταδότες για την κάλυψη της Ευρώπης και δύο κινητές δέσμες με 12 αναμεταδότες για την κάλυψη της Μέσης Ανατολής, της Αφρικής, και της Νοτιοανατολικής - Κεντρικής

Ασίας. Ο δορυφόρος έχει πάρα πολύ ισχυρό σήμα της τάξης των 53 dBW και έτσι είναι σε θέση να μπορεί να αναμεταδώσει ψηφιακό τηλεοπτικό σήμα σε όλη την Ευρώπη. Εμείς για να λάβουμε αυτό το δορυφορικό σήμα χρειαζόμαστε μια απλή οικιακή κεραία ή αλλιώς το λεγόμενο δορυφορικό πιάτο μόλις 60 εκατοστών. Οι διαστάσεις του είναι οι εξής: Έχει ύψος 4.9 μέτρα, μήκος 1.7 μέτρα και πλάτος 2.5 μέτρα. Το άνοιγμα των ηλιοσυλλεκτών του είναι 32 μέτρα. Όσον αφορά το ωφέλιμο φορτίο (payload), η ισχύς ανέρχεται σε 5.600W, οι ζώνες συχνοτήτων είναι 13,75-14,50 GHz uplink και 10,95-12,75 GHz downlink. Όπως προαναφέρθηκε ο αριθμός αναμεταδοτών ανέρχεται σε 30 αναμεταδότες Ku band και το εύρος ζώνης των αναμεταδοτών είναι 36 MHz, ενώ η ισχύς εξόδου είναι 105 W.”<sup>4</sup>

## Κατηγορίες τεχνητών δορυφόρων

“Τεχνητός δορυφόρος όπως είπαμε και στην αρχή είναι κάθε ανθρώπινο κατασκεύασμα ή σώμα που έχει τεθεί από τον άνθρωπο σε δορυφορική τροχιά γύρω από τη Γη ή άλλο σώμα του ηλιακού μας συστήματος. Σήμερα υπάρχουν πάνω από 6000 δορυφόροι οι οποίοι είναι σε τροχιά και από αυτούς χρησιμοποιούμε τους 3000 λόγω της πιο καινούργιας τους τεχνολογίας. Δορυφόροι έχουν τεθεί σε τροχιά γύρω από τους περισσότερους πλανήτες του ηλιακού συστήματος και τη Σελήνη.



<sup>4</sup> Ένθετο του ΟΤΕ (THΛΕ) για τον Hellas Sat

Όλους αυτούς τους δορυφόρους τους χρησιμοποιούμε στις παγκόσμιες τηλεπικοινωνίες, στην άμυνα, στην ναυσιπλοΐα, στην πρόγνωση του καιρού, στις αγροτικές χωρομετρήσεις, στις δασικές χαρτογραφήσεις κ.α.

Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες τεχνητών δορυφόρων σε μία από αυτές τις κατηγορίες ανήκουν και οι τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι. Ας αναλύσουμε κάποιες από αυτές τις κατηγορίες.”<sup>5</sup>

## Κατηγορίες τεχνητών δορυφόρων

### 1) Τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι



“Τηλεπικοινωνιακός δορυφόρος ονομάζεται ο μη επανδρωμένος τεχνητός δορυφόρος (unmanned artificial satellite), μέσω του οποίου παρέχονται υπηρεσίες μεγάλων αποστάσεων, όπως τηλεοπτικής και ραδιοφωνικής μετάδοσης, τηλεφωνικών επικοινωνιών και συνδέσεων ηλεκτρονικών υπολογιστών διευκολύνοντας έτσι την επικοινωνία μεταξύ των κατοίκων της Γης και όλα αυτά χωρίς την βοήθεια των καλωδίων ή της επίγειας μικροκυματικής τεχνολογίας. Υπάρχει πυκνότατο δίκτυο

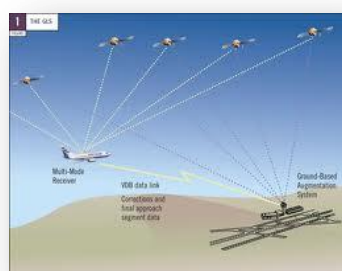
---

<sup>5</sup> Άρθρα Δρ. Ανδρέα Βλησίδα καθηγητή δορυφορικών επικοινωνιών  
<http://www.pireas.gr/%CE%B4%CE%BF%CF%81%CF%85%CF%86%CE%BF%CF%81%CE%BF%CF%83>



τηλεπικοινωνιακών δορυφόρων, μέσω του οποίου σήμερα είναι δυνατή η αποστολή και λήψη ψηφιακής πληροφορίας (data), από και προς οποιοδήποτε σημείο της Γης.

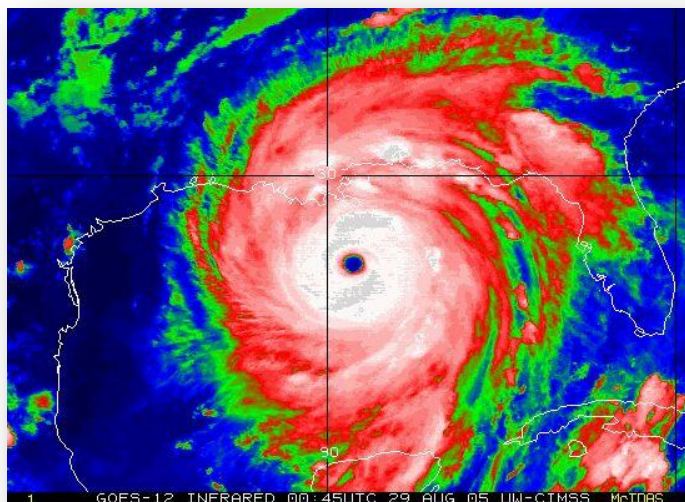
## 2) Δορυφόροι αεροπλοΐας-ναυσιπλοΐας και εύρεσης θέσης



Οι δορυφόροι πλοήγησης αποτελούν τη βάση ενός συστήματος προσανατολισμού και καθορισμού πορείας, κυρίως για αεροπλάνα και πλοία. Μας βοηθούν να εντοπίζουμε την γεωγραφική μας θέση ή την θέση ενός κινούμενου οχήματος με ακρίβεια. Επίσης μας παρέχουν πληροφορίες για την πορεία μας την ταχύτητά μας το ύψος μας κ. α. Έχουν μεγάλη εφαρμογή στην ναυτιλία αφού κάνουν τα ταξίδια πιο ασφαλή και πιο οικονομικά. Το σύστημα αυτό, που είναι ταχύτερο και ακριβέστερο από τα άλλα συστήματα πλοήγησης, έχει εφαρμοστεί και για τον προσανατολισμό και τον καθορισμό της πορείας αυτοκινήτων (επιβατικών και φορτηγών). Σε παγκόσμιο επίπεδο η πλοήγηση μέσω δορυφόρων διεξάγεται από τους δορυφόρους του Παγκοσμίου Συστήματος Εντοπισμού (Global Positioning System) ή αλλιώς το γνωστό σε όλους μας GPS των ΗΠΑ, που έχουν τη δυνατότητα να προσδιορίζουν τη θέση πλοίων και αεροπλάνων σε οποιοδήποτε σημείο της Γης όλο το 24ωρο. Περισσότεροι από ένας δορυφόροι μεταδίδουν στο όχημα σήματα, οι χρόνοι λήψης των οποίων συγκρίνονται και με υπολογισμούς προσδιορίζεται άμεσα η θέση του οχήματος. Το 1994 24 δορυφόροι του συστήματος αυτού βρίσκονται σε τροχιά, σε απόσταση 20.200 χλμ. από τη Γη. Ανάλογο σύστημα, με την ονομασία Glonass (Global Navigation Satellite System), είχε αρχίσει να αναπτύσσεται από την πρώην Σοβιετική Ένωση για στρατιωτικούς σκοπούς, το οποίο συνεχίζεται από τη Ρωσία και άλλα κράτη της Κοινοπολιτείας Ανεξαρτήτων Κρατών, για εμπορικούς πλέον σκοπούς. Το 1994 είχαν τοποθετηθεί σε τροχιά 18 από τους 24 συνολικά δορυφόρους του προγράμματος. Για τα αυτοκίνητα το σύστημα έχει εφαρμοστεί

πειραματικά σε συνδυασμό με ενσωματωμένο στο αυτοκίνητο ηλεκτρονικό υπολογιστή και ειδικά όργανα μετρήσεων και αισθητήρες.

### 3) Μετεωρολογικοί δορυφόροι



Οι μετεωρολογικοί δορυφόροι τοποθετούνται είτε σε γεωστατική τροχιά (36.000 χλμ. πάνω από τον ισημερινό) είτε σε πολική τροχιά, σε ύψος μεταξύ 700-1.200 χλμ. Οι δορυφόροι αυτοί παρέχουν εικόνες και στοιχεία σχετικά με τις παγκόσμιες και τοπικές κλιματολογικές συνθήκες, παρακολουθώντας σχηματισμούς νεφών και μετρώντας τη θερμοκρασία και την εξάτμιση των υδάτων, και επιτρέπουν την έγκαιρη και όσο το δυνατόν ακριβέστερη πρόβλεψη του καιρού και την προειδοποίηση για απότομες καιρικές αλλαγές και φαινόμενα (τυφώνες κ.λπ.). Οι σημαντικότεροι μετεωρολογικοί δορυφόροι που έχουν χρησιμοποιηθεί μετά το 1970 είναι οι γεωστατικοί GOES των ΗΠΑ, METEOSAT (EUMETSAT) της Ευρώπης, GMS της Ιαπωνίας και INSAT της Ινδίας και οι πολικής τροχιάς METEOR της Ρωσίας και Tiros-N και NOAA των ΗΠΑ. Οι γεωστατικοί δορυφόροι μεταδίδουν κάθε μισή ώρα την εικόνα μιας συγκεκριμένης περιοχής ενώ οι πολικής τροχιάς που συνήθως λειτουργούν σε ζεύγη μπορούν να δώσουν στοιχεία για ολόκληρη τη Γη και την ατμόσφαιρά της. Οι μετεωρολογικοί δορυφόροι συντονίζονται από τον Παγκόσμιο Οργανισμό Μετεωρολογίας. Το πεδίο εφαρμογής των μετεωρολογικών δορυφόρων επικαλύπτεται κατά ένα μικρό μέρος από μια άλλη κατηγορία δορυφόρων, τους δορυφόρους περιβάλλοντος.

#### 4) Δορυφόροι περιβάλλοντος

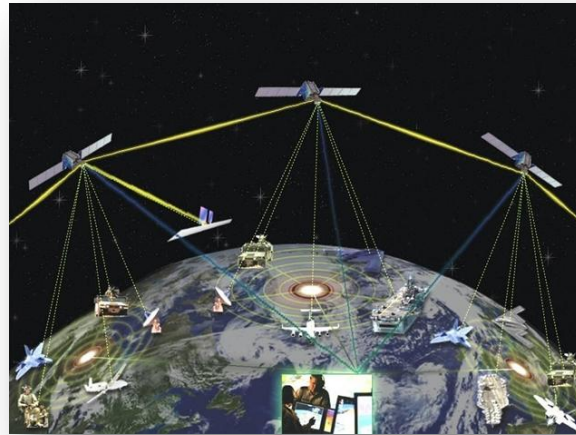


Δορυφόροι που μελετούν το χερσαίο και θαλάσσιο περιβάλλον και καταγράφουν τα φαινόμενα και τις μεταβολές που συμβαίνουν σ' αυτό, καθώς και στην ατμόσφαιρα του πλανήτη. Οι περιβαλλοντικοί δορυφόροι συλλέγουν εικόνες και στοιχεία, τα οποία μπορούν να αξιοποιηθούν για την αντιμετώπιση της ρύπανσης του περιβάλλοντος, την πρόγνωση μετεωρολογικών φαινομένων, την πρόληψη και τον εντοπισμό πυρκαγιών, την παρακολούθηση καλλιεργειών, την αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών, καθώς και για την έρευνα, με απώτερο στόχο τη βελτίωση της ζωής σε όλο τον πλανήτη. Οι δορυφόροι περιβάλλοντος της δεκαετίας του 1990 ανήκουν στην τρίτη γενιά των δορυφόρων της κατηγορίας αυτής, είναι εξελιγμένοι τεχνολογικά και έχουν δυνατότητα παρατήρησης όλο το 24ωρο. Είναι εξοπλισμένοι με όργανα υψηλής διακριτικής ικανότητας (ραδιόμετρα, μονάδα διερεύνησης με μικροκύματα, ανιχνευτές υπέρυθρης ακτινοβολίας, ανιχνευτές πρωτονίων και νετρονίων) και χαρτογραφούν όλα τα χαρακτηριστικά του εδάφους, τη βλάστηση, την επιφανειακή θερμοκρασία ποταμών, λιμνών και θαλασσών, τις περιοχές με ηφαιστειακή δραστηριότητα, τις μετεωρολογικές μεταβολές και τα νέφη τόσο την ημέρα όσο και τη νύχτα, καθώς και την κατάσταση του όζοντος της στρατόσφαιρας. Τα στοιχεία που συλλέγουν περνούν από επεξεργασία και μετατρέπονται σε εικόνες υψηλής ευκρίνειας. Σ' αυτές χρησιμοποιούνται διαφορετικά χρώματα, για να απεικονιστούν οι διαφορές μεταξύ των περιοχών και οι διακυμάνσεις που παρουσιάζει το κάθε υπό μέτρηση μέγεθος σ' αυτές. Οι δορυφόροι περιβάλλοντος, που τοποθετούνται συνήθως σε πολική τροχιά, αποτελούν ένα σημαντικό μέσο για την προστασία του περιβάλλοντος, την έγκαιρη αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών, την πρόβλεψη μετεωρολογικών φαινομένων και την παρακολούθηση δασών



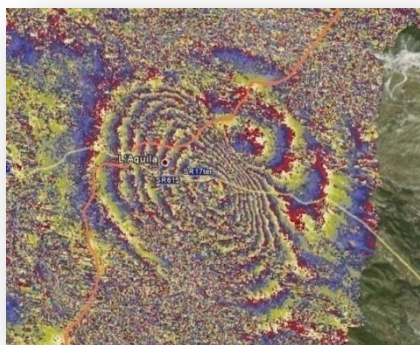
και καλλιεργειών, ενώ η χρησιμοποίησή τους επεκτείνεται ακόμη και στη ναυσιπλοΐα. Οι σημαντικότεροι δορυφόροι της κατηγορίας αυτής είναι οι Nimbus, Landsat, POES (NOAA) και UARS των ΗΠΑ, Spot της Γαλλίας, ERS 1 της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Διαστήματος, MOS 1 και JERS 1 της Ιαπωνίας κ.ά.

### 5) Στρατιωτικοί δορυφόροι



Το λέει και η ονομασία τους άλλωστε. Εξυπηρετούν στρατιωτικούς σκοπούς. Οι λειτουργίες τους και οι τροχιές που ακολουθούν είναι διαβαθμισμένες (όπως όλες οι στρατιωτικές πληροφορίες). Πολλοί από αυτούς τους δορυφόρους είναι κατασκοπευτικοί. Εντοπίζουν και καταγράφουν νύχτα-μέρα τις κινήσεις στρατιωτικών μονάδων αλλά και κατευθύνουν στρατηγικά βλήματα μεγάλου βεληνεκούς.

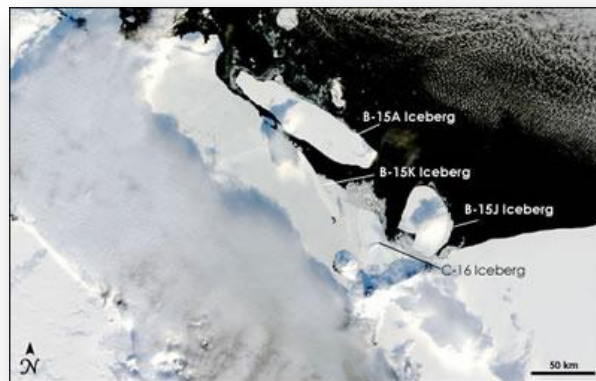
### 6) Δορυφόροι γεωλογικών μελετών



Οι δορυφόροι γεωλογικών ερευνών, που χρησιμοποιούνται τόσο για τον εντοπισμό ορυκτών κοιτασμάτων και την παρατήρηση γεωλογικών σχηματισμών όσο και για τη συλλογή σεισμολογικών δεδομένων. Προς την κατεύθυνση αυτή σημαντική είναι και πάλι η συμβολή των δορυφόρων του Παγκοσμίου Συστήματος Εντοπισμού, που συνδέονται με επίγειους σταθμούς και εντοπίζουν τις μικρομετατοπίσεις των τμημάτων του φλοιού της γης. Τα στοιχεία που μεταδίδουν χρησιμοποιούνται για τη σαφή διάκριση κύριων και δευτερευουσών σεισμογενών ζωνών, ενώ θεωρείται ότι θα βοηθήσουν μελλοντικά στην πρόβλεψη των σεισμών. Από το 1994 η Ελλάδα συμμετέχει μέσω του Γεωδυναμικού Ινστιτούτου Αθηνών στο πρόγραμμα της Ευρωπαϊκής Ένωσης “Δορυφορική Μετάδοση Σεισμολογικών Δεδομένων κατά μήκος της Μεσογείου”, στο οποίο συμμετέχουν και ανάλογα ιδρύματα άλλων μεσογειακών χωρών. Ο δορυφόρος Αργώ, που βρίσκεται ήδη σε τροχιά, θα συνδέεται με 20 επίγειους σεισμολογικούς σταθμούς και θα έχει ως βασική αποστολή: α) την παρακολούθηση της σεισμικής δραστηριότητας στις εστίες της νότιας Ευρώπης και την έγκαιρη αντιμετώπιση σεισμικών εξάρσεων, β) τη χαρτογράφηση του φλοιού της γης σε όλη τη Μεσόγειο, τον εντοπισμό ζωνών υψηλής ή χαμηλής απορρόφησης της σεισμικής ενέργειας και την πορεία των λεγόμενων σεισμικών ακτινών, και γ) την

παρακολούθηση της εξέλιξης σεισμικών φαινομένων και την καταγραφή τους για τη δημιουργία βάσης σεισμολογικών δεδομένων σε ευρωπαϊκό επίπεδο. Επόμενος στόχος του προγράμματος είναι η χρησιμοποίηση των δεδομένων αυτών για έγκαιρη και ακριβή πρόβλεψη των σεισμών.

## 7) Δορυφόροι γεωφυσικών μελετών και ανίχνευσης πλουτοπαραγωγικών πηγών



Είναι εφοδιασμένοι με ειδικά συστήματα που τους επιτρέπουν να κάνουν γεωφυσικές παρατηρήσεις και να ανιχνεύουν την ύπαρξη πλουτοπαραγωγικών πηγών στο στερεό φλοιό της Γης. Μπορούν και εντοπίζουν κοπάδια ψαριών, μας δίνουν στοιχεία για τις κινήσεις και εν γένει την συμπεριφορά των πτηνών, εντοπίζουν πετρελαιοφόρα κοιτάσματα, κινήσεις παγόβουνων.

## **8) Δορυφόροι στην υπηρεσία αρχαιοτήτων**



Πλέον για τους αρχαιολόγους η βοήθεια που προσφέρει σε αυτούς ένας δορυφόρος είναι πραγματικά πάρα πολύ μεγάλη. Οι συγκεκριμένοι δορυφόροι έχουν κάποιες ειδικές κάμερες με τις οποίες μπορούν να βλέπουν σε διάφορα μήκη κύματος και είναι σε θέση να ανιχνεύσουν αρχαιολογικούς τόπους οι οποίοι βρίσκονται μέσα στο έδαφος.

## **9) Οι επιστημονικοί και ερευνητικοί δορυφόροι**

Οι επιστημονικοί και ερευνητικοί δορυφόροι ερευνούν τον περιγήινο διαστημικό χώρο. Σημαντικοί δορυφόροι της κατηγορίας αυτής είναι:

A) Οι ISEE (Διεθνείς Δορυφόροι Εξερεύνησης Γης και Ήλιου) 1 και 2, οι οποίοι εκτοξεύτηκαν το 1977, και ο ISEE 3 το 1978 και εξερεύνησαν τη μαγνητόσφαιρα της Γης. Ο τελευταίος αργότερα μετονομάστηκε σε Διεθνή Εξερευνητή Κομητών (ICE) και μετακινήθηκε από την τροχιά του για να πλησιάσει το 1985 τον κομήτη Τζιακομπίνι-Ζίνερ και το 1986 τον κομήτη Χάλεϊ και να στείλει φωτογραφίες και στοιχεία στη Γη.

B) Ο Solar Max ο οποίος εκτοξεύτηκε το 1980 και μετέδωσε στοιχεία για τις ηλιακές εκρήξεις. Επίσης ήταν ο πρώτος δορυφόρος που επισκευάστηκε στο διάστημα το 1984.

C) Ο IRAS ο οποίος είναι δορυφόρος υπέρυθρης αστρονομίας. Εκτοξεύτηκε το 1983 μαζί με τους δορυφόρους EXOSAT και ROSAT για την παρατήρηση των πηγών Ρέντγκεν στο διάστημα.

D) Το Δορυφορικό Παρατηρητήριο Ακτίνων γ, το οποίο εκτοξεύτηκε το 1991.

## 10) Κατασκοπευτικοί δορυφόροι



Όποιος έχει πρόσβαση σε τέτοιους δορυφόρους έχει την δυνατότητα να παρατηρήσει από κοντά με τρομερή καθαρότητα και ευκρίνεια τον στόχο τον οποίο έχει επιλέξει και να μάθει τις πληροφορίες που χρειάζεται. ”<sup>6</sup>

---

<sup>6</sup> Δορυφορικές Επικοινωνίες Παναγιώτης.Γ.Κωττής Χρήστος.Ν.Καψάλης 2η έκδοση εκδόσεις Τζιόλα  
<http://lyk-vatheos.eyv.sch.gr/Ergasies/2006-2007/Tep/Doryforoi.htm>  
<http://techteam.gr/forum/topic/12042-Ti-einai-doryforos;-/>  
<http://techteam.gr/forum/topic/44012-Thlepikoinoniakoi-doryforoi--/>  
<http://el.wikipedia.org>  
<http://www.pireas.gr/%CE%B4%CE%BF%CF%81%CF%85%CF%86%CE%BF%CF%81%CE%BF%CF%83>  
Άρθρα Δρ.Ανδρέα Βλησίδη καθηγητή δορυφορικών επικοινωνιών  
<http://www.scribd.com>

## Κεφάλαιο 3

### Εκτόξευση δορυφόρων

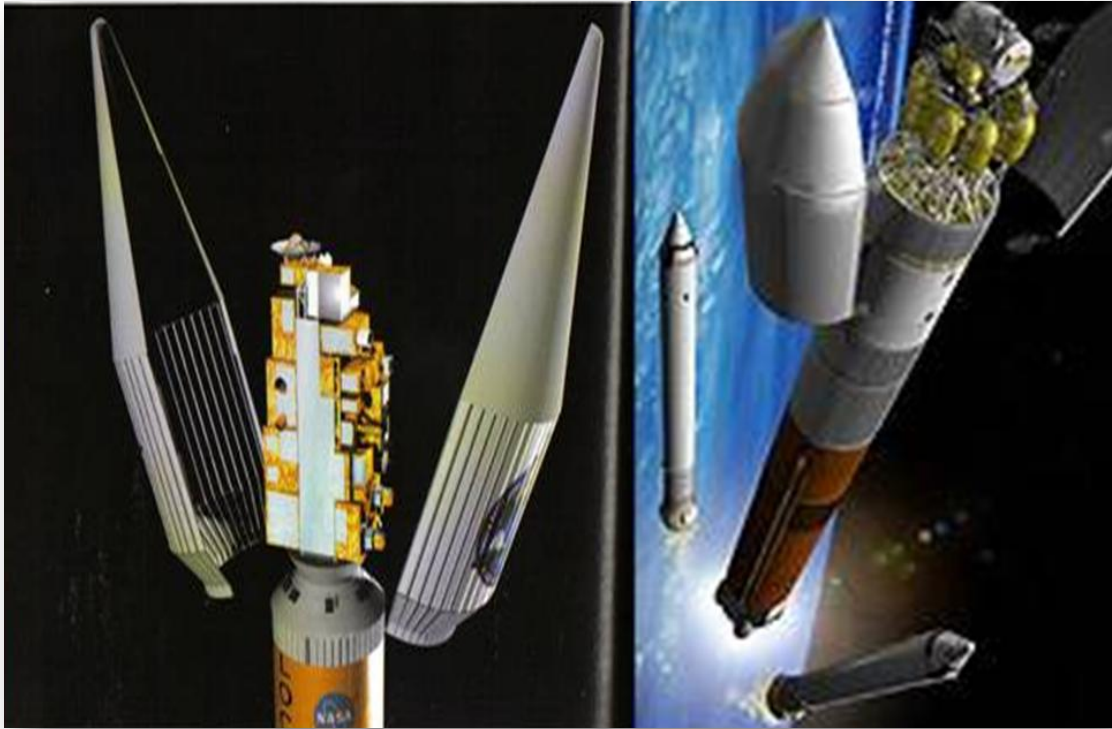
“Η μεταφορά των δορυφόρων και η τοποθέτησή τους σε τροχιά γίνεται από πυραύλους ή διαστημικά λεωφορεία. Για να γίνει αυτό απαιτείται τρομακτική ποσότητα σε ενέργεια η οποία πηγάζει από τους ισχυρούς πυραύλους του διαστημοπλοίου(εικόνα 3.1). Η χημική ενέργεια των υγρών καυσίμων μετατρέπεται σε δυναμική (ύψος) και κινητική ενέργεια (ταχύτητα).



Εικόνα 3.1 εκτόξευση ενός δορυφόρου με την βοήθεια πυραύλων

Μόλις αυτά φτάσουν στην προκαθορισμένη απόσταση από την επιφάνεια της Γης, αποδεσμεύουν το δορυφόρο (εικόνα 3.2), προσδίδοντάς του την κατάλληλη κλίση και ταχύτητα, ώστε να εξασφαλίζεται η εξισορρόπηση της βαρυτικής έλξης και της φυγόκεντρης δύναμης που ασκούνται επάνω του.





Εικόνα 3.2 Ελευθέρωση του δορυφόρου από τους βοηθητικούς πυραύλους

Η ταχύτητα που αποκτά τη στιγμή της αποδέσμευσης ο δορυφόρος είναι αυτή με την οποία στη συνέχεια εκτελεί τις περιφορές του. Το ύψος της τροχιάς στην οποία τοποθετείται ο δορυφόρος εξαρτάται από το είδος της αποστολής του. Ιδιαίτερα σημαντική, κυρίως για τους τηλεπικοινωνιακούς και τους μετεωρολογικούς δορυφόρους, είναι η γεωστατική τροχιά, 36.000 χλμ. πάνω από την επιφάνεια της Γης. Το σημείο εκτόξευσης πρέπει να βρίσκεται όσο το δυνατόν πιο κοντά στον Ισημερινό, ώστε να προστεθεί και η αντίστοιχη ταχύτητα της Γης, γιατί, αν και η αρχική διεύθυνση του πυραύλου είναι κατακόρυφη ως προς τον τόπο εκτόξευσης, η κίνηση του ως προς το κέντρο της Γης είναι σύνθετη, με μια συνιστώσα κατακόρυφη και μια οριζόντια, που είναι η κίνηση της Γης. Αν χρειάζεται διόρθωση ή οποιαδήποτε μεταβολή, η τροχιά του δορυφόρου, επιφέρεται με ειδικούς μικρούς πυραύλους που πυροδοτούνται με εντολές που δίνονται με ραδιοσήματα. Για κάποιον παρατηρητή στη Γη, ένας δορυφόρος που κινείται στην τροχιά αυτή φαίνεται ακίνητος, καθώς έχει ίδια γωνιακή ταχύτητα με εκείνη της επιφάνειας της Γης και εκτελεί μια περιφορά σε 24 ώρες. Επειδή οι δορυφόροι δεν χρειάζονται καύσιμα για την κίνησή τους, οι ενεργειακές

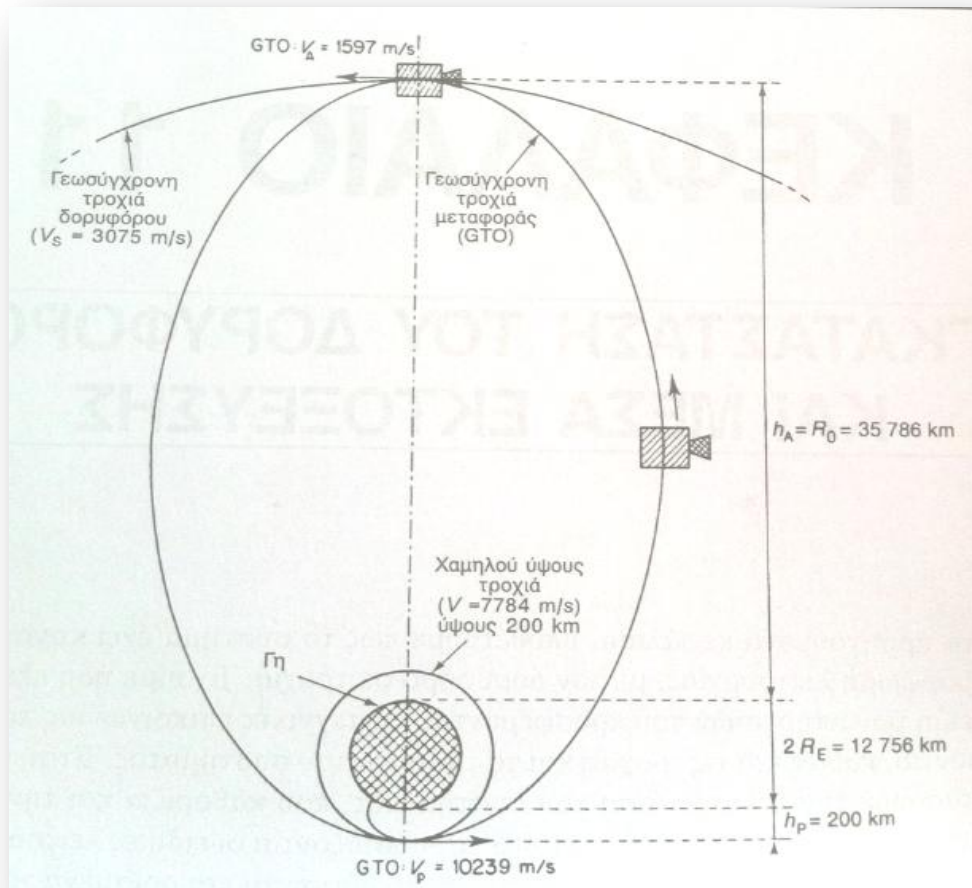
τους ανάγκες αφορούν συνήθως μόνο τη λειτουργία τους και τις κινήσεις διόρθωσης της πορείας τους. Αυτές καλύπτονται από πίνακες ηλιακών κυττάρων, από καύσιμα στοιχεία ή στην περίπτωση στρατιωτικών δορυφόρων από μικρούς πυρηνικούς αντιδραστήρες. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα να περιφέρονται γύρω από τη Γη για μεγάλο χρονικό διάστημα, ακόμη και μετά το τέλος της αποστολής τους, αποτελώντας πρόβλημα για τις επόμενες διαστημικές αποστολές. Αν περιφέρονται σε σχετικά χαμηλές τροχιές, μπορεί μετά από μερικά χρόνια να εισέλθουν στα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας και λόγω τριβής να αναφλεχθούν. Σε μερικές περιπτώσεις η ανάφλεξη αυτή δεν είναι τέλεια, με συνέπεια τμήματά τους να πέφτουν τελικά στη Γη. Η πιθανότητα πτώσης στη Γη ή ατυχημάτων στον γήινο χώρο αποκτά ιδιαίτερη επικινδυνότητα όταν αφορά δορυφόρους με πυρηνικό αντιδραστήρα, καθώς περιστατικά του είδους αυτού έχουν σημειωθεί κατά καιρούς (πτώση του σοβιετικού πυρηνικού δορυφόρου Kosmos 954 στον Καναδά το 1978, έκρηξη του Kosmos 1275 πάνω από την Αλάσκα το 1981). Για την αποφυγή παρόμοιων περιστατικών εφαρμόζεται η μετακίνηση των πυρηνικών δορυφόρων, μετά το τέλος της αποστολής τους, σε συγκεκριμένες τροχιές, όπου θα περιφέρονται για μεγάλο χρονικό διάστημα. Ούτε αυτή, όμως, η διαδικασία είναι απολύτως ασφαλής, καθώς το 1983 οι χειρισμοί για τη μετακίνηση του πυρηνικού δορυφόρου Kosmos 1402 απέτυχαν, με αποτέλεσμα ο τελευταίος να εισέλθει στην ατμόσφαιρα και να συντριβεί στον Ινδικό Ωκεανό.”<sup>7</sup>

### **Εγκατάσταση δορυφόρου σε τροχιά**

“Η εγκατάσταση σε τροχιά σημαίνει πως ο δορυφόρος τίθεται στην ονομαστική του τροχιά, από ένα σημείο εκτόξευσης πάνω στην επιφάνεια της γης. Χρησιμοποιείται ένα μέσο εκτόξευσης, που μπορεί να διαθέτει αρκετά βοηθητικά συστήματα πρόωσης, για να θέσει τον δορυφόρο σε ενδιάμεση τροχιά, που ονομάζεται τροχιά μεταφοράς (transfer orbit). Η διαδικασία χρήσης μιας τροχιάς μεταφοράς βασίζεται στην επονομαζόμενη μεταφορά Hohmann, που δίνει τη δυνατότητα στον δορυφόρο να μετακινηθεί από μια κυκλική τροχιά χαμηλού ύψους σε τροχιά μεταφοράς, η οποία είναι ελλειπτική και έχει ύψος περιγείου ίσο με το ύψος της κυκλικής τροχιάς. Το ύψος του απογείου εξαρτάται από το μέγεθος της αύξησης της ταχύτητας. Μια δεύτερη αύξηση της ταχύτητας στο απόγειο της τροχιάς μεταφοράς παρέχει μια κυκλική τροχιά στο ύψος του απογείου. Η εικόνα 3.3 παρουσιάζει τη διαδικασία

<sup>7</sup> <http://lyk-vatheos.eyv.sch.gr/Ergasies/2006-2007/Tep/Doryforoi.htm>

αυτή για έναν γεωστατικό δορυφόρο. Μπορούμε να έχουμε κυκλική τροχιά του ισημερινού με ύψος 35786 Km, αν ένα μέσο εκτόξευσης θέσει τον δορυφόρο σε τροχιά μεταφοράς. Η κυκλική τροχιά επιτυγχάνεται με ώθηση ταχύτητας, που παρέχεται στο απόγειο της τροχιάς μεταφοράς.



Εικόνα 3.3 Τροχιά μεταφοράς (GTO) από μια χαμηλή τροχιά σε μια γεωσύγχρονη

Ανάλογα με τον τύπο του πυραύλου εκτόξευσης, έχουμε και διαφορετικές λεπτομέρειες. Η διαδικασία γίνεται με ένα από τα ακόλουθα:

1) Από μια τροχιά χαμηλού ύψους (LEO, low altitude earth orbit), μπορούμε να θέσουμε τον δορυφόρο σε τροχιά μεταφοράς με ένα ειδικό σύστημα πρόωσης. Πρόκειται για τη διαδικασία εκείνη, κατά την οποία ο δορυφόρος εκτοξεύεται χρησιμοποιώντας το ASS ( American Space Shuttle, αμερικάνικο διαστημικό όχημα) ή το STS (Space Transportation



System, σύστημα διαστημικών μεταφορών), ή το εμπορικό μέσο εκτόξευσης Titan. Θα πρέπει να υπάρξει και μια δεύτερη αύξηση της ταχύτητας στο απόγειο, για να δώσουμε κυκλική πορεία στην τροχιά, είτε με ένα ανεξάρτητο τμήμα μεταφοράς, είτε με έναν κινητήρα απογείου ενσωματωμένο στον δορυφόρο.

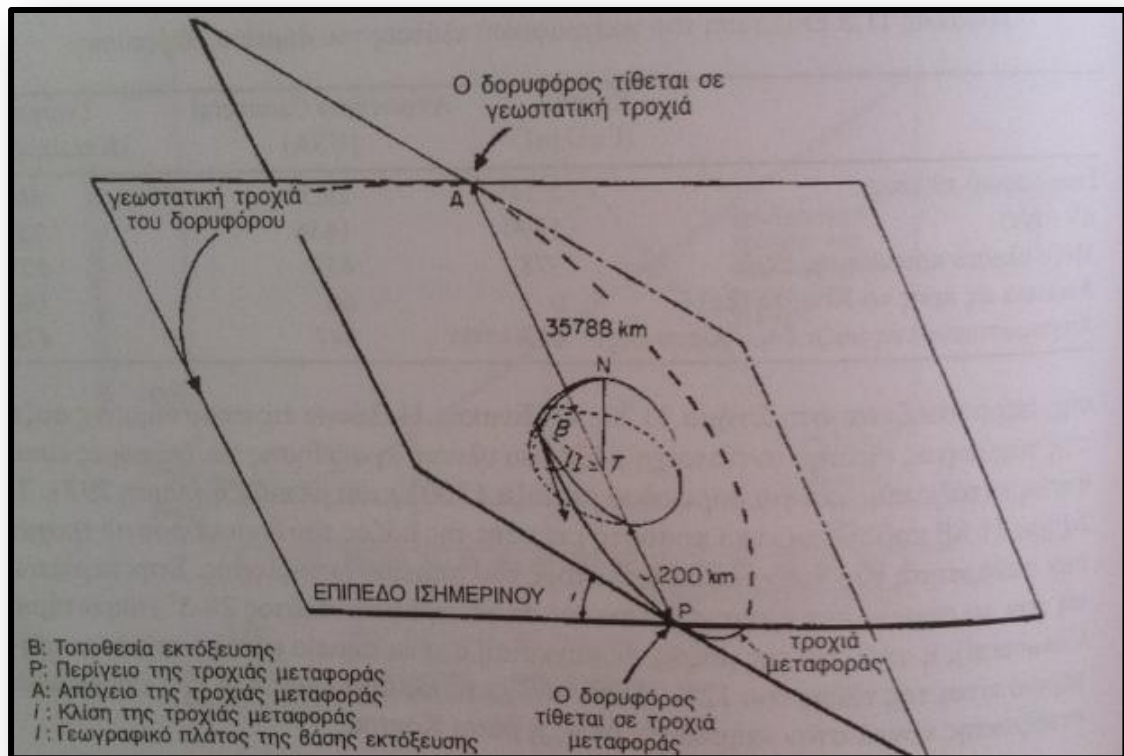
2) Ο δορυφόρος μπορεί να τεθεί σε γεωστατική τροχιά μεταφοράς άμεσα (GTO). Ο πύραυλος εκτόξευσης θα πρέπει να δώσει την κατάλληλη ταχύτητα στον δορυφόρο στο περίγειο μιας ελλειπτικής τροχιάς της οποίας το ύψος περιγείου είναι ίσο με το ύψος του σημείου εκτόξευσης και της οποίας το ύψος περιγείου είναι ίσο με εκείνο της τροχιάς του γεωστατικού δορυφόρου. Αυτή τη διαδικασία χρησιμοποιούν οι περισσότεροι συμβατικοί πύραυλοι εκτόξευσης, όπως ο Ariane, ο Delta και ο Atlas. Θα πρέπει να παρέχουμε μια αύξηση της ταχύτητας στο απόγειο της τροχιάς μεταφοράς με τον κινητήρα απογείου του δορυφόρου, ώστε να δώσει στην τροχιά κυκλική πορεία.

3) Τέλος, ο ίδιος ο πύραυλος εκτόξευσης μπορεί να θέσει τον δορυφόρο σε γεωστατική γήινη τροχιά (GEO). Ο πύραυλος εκτόξευσης παρέχει διαδοχικά τις αυξήσεις της ταχύτητας, που απαιτούνται για να κάνουν τον δορυφόρο να κινείται σε τροχιά μεταφοράς και η αύξηση της ταχύτητας να κάνει την τροχιά κυκλική. Τη διαδικασία αυτή ακολουθούν λίγοι συμβατικοί πύραυλοι εκτόξευσης, όπως ο Ρωσικός Proton.

Ο ακριβής καθορισμός των παραμέτρων της τροχιάς μεταφοράς απαιτεί ευθυγράμμιση της τροχιάς με διάφορες διαδοχικές τροχιές. Για να αποφύγουμε τις υπερβολικές αποκλίσεις των διαδοχικών τροχιών, λόγω της αντίστασης του αέρα, το ύψος του περιγείου που επιλέξαμε δεν θα πρέπει να είναι κάτω από 150 km. Συνήθως κυμαίνεται από 200 μέχρι 300 km.

## Εκτόξευση δορυφόρου σε τροχιά με συμβατικό πύραυλο εκτόξευσης

Το να θέσουμε έναν γεωστατικό δορυφόρο σε τροχιά χρησιμοποιώντας έναν πύραυλο εκτόξευσης με αρκετά τμήματα, απαιτεί τις παρακάτω τέσσερις φάσεις (εικόνα 3.4).



Εικόνα 3.4 Οι διαδοχικές φάσεις για να εκτοξευθεί και να τεθεί ένας δορυφόρος σε τροχιά μεταφοράς και σε γεωστατική τροχιά, με ένα αναλώσιμο πύραυλο εκτόξευσης

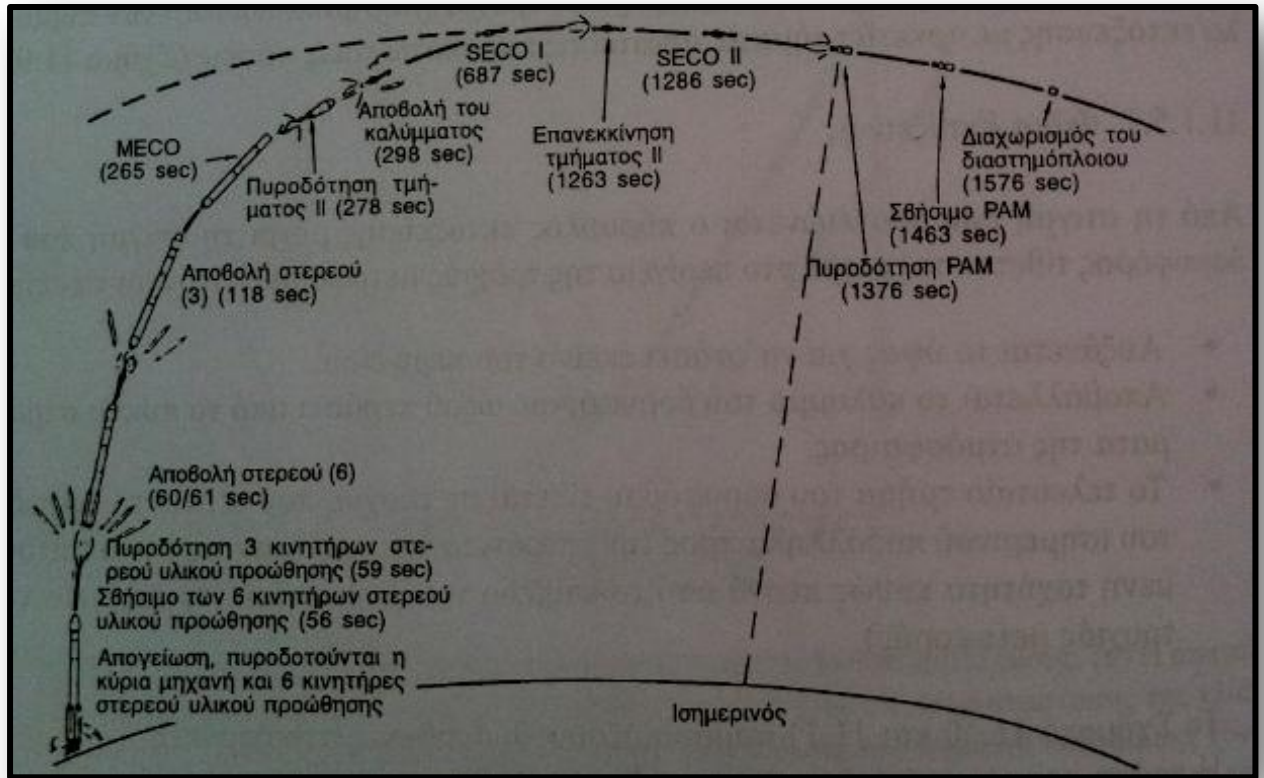
### Φάση εκτόξευσης

Από τη στιγμή που απογειώνεται ο πύραυλος εκτόξευσης μέχρι τη στιγμή που ο δορυφόρος τίθεται σε τροχιά στο περίγειο της τροχιάς μεταφοράς, γίνονται τα εξής:

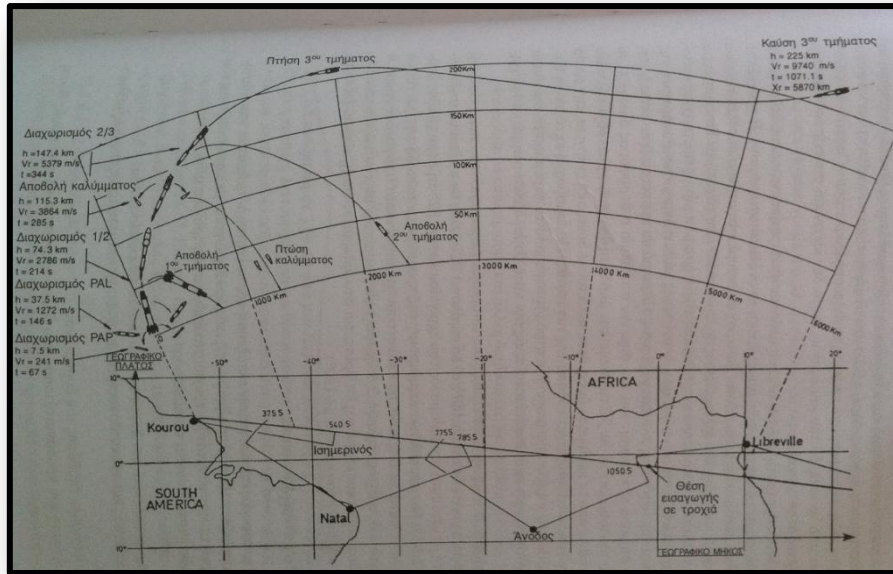
- 1) Αυξάνεται το ύψος για να φτάσει εκείνο του περιγείου
- 2) Αποβάλλεται το κάλυμμα του δορυφόρου, αφού περάσει από τα πυκνά στρώματα της ατμόσφαιρας

3) Το τελευταίο τμήμα του δορυφόρου τίθεται σε τροχιά, που τέμνει το επίπεδο του ισημερινού παράλληλα προς την επιφάνεια της γης, έχοντας την απαιτούμενη ταχύτητα καθώς περνά από το επίπεδο του ισημερινού.

Η εικόνα 3.5 και 3.6 παρουσιάζουν δύο πιθανές στρατηγικές.



Εικόνα 3.5 Το τυπικό προφίλ αποστολής ενός αναλώσιμου πυραύλου εκτόξευσης (Delta II) με φάση ενδιάμεσης πορείας για μια τυπική αποστολή γεωστατικής τροχιάς μεταφοράς



Εικόνα 3.6 Τυπικό προφίλ αποστολής του ARIANE 4 για μια τυπική αποστολή γεωστατικής τροχιάς μεταφοράς

Η πρώτη στρατηγική (πύραυλοι Delta και Atlas) συμπεριλαμβάνουν μια ενδιάμεση βαλλιστική φάση, κατά την οποία παύει η πρόωση. Τότε, το τελευταίο τμήμα του δορυφόρου προσανατολίζεται και περιστρέφεται για να διατηρήσει αυτόν τον προσανατολισμό κατά τη διάρκεια της πυροδότησης του τελευταίου τμήματος. Αυτή η βαλλιστική φάση είναι απαραίτητη για να καλυφθεί η μεγάλη απόσταση από τη βάση εκτόξευσης (Ακρωτήριο Canaveral) και να περάσει από το επίπεδο του ισημερινού. Αυτό δεν επιτρέπει συνεχή πρόωση των κινητήρων στην τροχιά. Στην δεύτερη στρατηγική (ARIANE), η απόσταση που πρέπει να καλυφθεί είναι μικρότερη και η πρόωση συνεχής. Η τροχιά του πυραύλου εκτόξευσης είναι τέτοια ώστε να φτάνουμε στο σημείο εκτόξευσης που επιθυμούμε σε ύψος 200 χιλιομέτρων, με την κατάλληλη ταχύτητα. Σαν συνέπεια της λειτουργίας του κινητήρα σε κάθε φάση της πτήσης, το μήκος της τροχιάς καθορίζει την επιτάχυνση του πυραύλου εκτόξευσης κάθε στιγμή, σαν συνάρτηση της μάζας και της ταχύτητας που επιτυγχάνεται. Η τροχιά θα πρέπει να βρίσκεται μεταξύ του σημείου εκτόξευσης και του σημείου στο οποίο ο δορυφόρος διασχίζει το επίπεδο του ισημερινού. Αν βελτιώσουμε την απόδοση θα έχουμε μια τροχιά η οποία φτάνει πάνω από το επιθυμητό ύψος, έτσι, αποκτούμε δυναμική

ενέργεια, την οποία κατόπιν χρησιμοποιούμε για αύξηση της ταχύτητας. Παρομοίως η εκτόξευση διεξάγεται σε ένα σημείο της τροχιάς μεταφοράς πέρα από το περίγειο.

### **Φάση μεταφοράς**

Η φάση μεταφοράς αρχίζει με την εκτόξευση του τελευταίου τμήματος του συστήματος δορυφόρου/πυραύλου εκτόξευσης και ολοκληρώνεται με την εκτόξευση του δορυφόρου σε ημι-γεωστατική τροχιά στο απόγειο της τροχιάς μεταφοράς. Στη φάση αυτή γίνονται τα ακόλουθα :

- 1) Διαχωρισμός από τον δορυφόρο και από το τελευταίο τμήμα
- 2) Καθορισμός και αποκατάσταση της τροχιάς της απαιτούμενης τροχιάς μεταφοράς
- 3) Υπολογισμός της θέσης του δορυφόρου
- 4) Διόρθωση του προσανατολισμού του δορυφόρου για τους χειρισμούς θέσης στο απόγειο

Μπορούμε να διατηρήσουμε τον προσανατολισμό αυτό είτε κάνοντας τον δορυφόρο να περιστρέφεται , είτε με τον ενεργό έλεγχο θέσης, χρησιμοποιώντας αισθητήρες και μηχανισμούς κίνησης. Θα πρέπει να επιτύχουμε τροχιά μεταφοράς, με παραμέτρους παρόμοιες με εκείνες της κανονικής τροχιάς. Η θέση του απογείου θα πρέπει να είναι ίδια με εκείνη της τροχιάς του γεωστατικού δορυφόρου και η πορεία περιγείου και απογείου θα πρέπει να βρίσκεται στο επίπεδο του ισημερινού. Αν δεν συμβαίνει αυτό, τότε ο δορυφόρος μετά την εκτόξευση του στην γεωστατική τροχιά, θα πρέπει να χρησιμοποιήσει τους μηχανισμούς κίνησης, δηλαδή ενσωματωμένα υλικά προώθησης με αποτέλεσμα μείωση της διάρκειας ζωής του δορυφόρου για να διορθώσει την μη μηδενική εκκεντρότητα και την κλίση της τροχιάς.

## **Φάση τοποθέτησης**

Η φάση αυτή αρχίζει με εκτόξευση σε ημι-γεωστατική τροχιά στο απόγειο της τροχιάς μεταφοράς και ολοκληρώνεται με την τοποθέτηση του δορυφόρου σε ένα επιλεγμένο σημείο στάθμευσης στην τροχιά του γεωστατικού δορυφόρου. Μπορούμε να επινοήσουμε και άλλες διαδικασίες για να θέσουμε έναν δορυφόρο σε τροχιά, οι οποίες να επιτρέπουν στον πύραυλο εκτόξευσης να μετατοπιστεί έξω από το επίπεδο που καθορίζει το αζιμούθιο εκτόξευσης και το γεωγραφικό πλάτος της βάσης εκτόξευσης. Έτσι, πυροδοτώντας ξανά το τελευταίο τμήμα, ενώ βρίσκεται σε πτήση, ο πύραυλος εκτόξευσης Proton θέτει άμεσα τον δορυφόρο σε γεωστατική τροχιά. Με αυτόν τον τρόπο αυτό, δεν χρειάζεται κινητήρα απογείου και μπορεί να εκτοξεύει δορυφόρους με περισσότερη ωφέλιμη μάζα.

## **Φάση εκτόξευσης**

Η φάση εκτόξευσης δεν θέτει τον δορυφόρο άμεσα στο περίγειο της τροχιάς μεταφοράς, αλλά θέτει το μέσο εκτόξευσης σε κυκλική ή σε λίγο ελλειπτική τροχιά με κλίση διάφορη του μηδενός. Μετά τον διαχωρισμό από τον πύραυλο εκτόξευσης σε μια ειδική θέση, ασκείται στον δορυφόρο αύξηση της ταχύτητας για να τεθεί στο περίγειο της τροχιάς μεταφοράς. Την αύξηση αυτή παρέχει ο κινητήρας περιγείου περνώντας από το επίπεδο του ισημερινού. Ο κινητήρας περιγείου μπορεί να ενσωματωθεί στον δορυφόρο ή μπορεί να αποτελεί μέρος ενός βοηθητικού τμήματος, όπου βρίσκεται προσαρμοσμένος ο δορυφόρος. Μπορούμε να ενσωματώσουμε έναν κινητήρα περιγείου στον δορυφόρο, ο οποίος μπορεί να αποβάλλεται μετά τη χρήση του. Ο κινητήρας αυτός μπορεί να χρησιμοποιηθεί ξανά για να δώσει ένα μέρος ή και ολόκληρη την αύξηση της ταχύτητας στο απόγειο. Ένα βοηθητικό τμήμα μπορεί να ολοκληρώσει την εκτόξευση στο περίγειο, ή να ολοκληρώσει και την εκτόξευση στο περίγειο και την εκτόξευση στο απόγειο. Το τμήμα μεταφοράς μπορεί να χρησιμοποιεί κινητήρες στερεών καυσίμων. Αλλιώς, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ξανά, ή ειδικούς κινητήρες που



μπορούν να αποβάλλουν τη μάζα που χρησιμοποιήθηκε, μετά τις πρώτες αυξήσεις της ταχύτητας. Τέλος, το στάδιο μεταφοράς μπορεί να πραγματοποιηθεί με τον συνδυασμό δύο τεχνολογιών χρησιμοποιώντας ένα τμήμα απογείου με δύο υλικά προώθησης μαζί με ένα τμήμα περιγείου με στερεά καύσιμα. Κατά την εκτόξευση σε τροχιά μεταφοράς, εξασφαλίζεται ο προσανατολισμός της πρόωσης του κινητήρα περιγείου είτε με περιστροφή του δορυφόρου είτε με τον ενεργό έλεγχο θέσης, χρησιμοποιώντας αισθητήρες και μηχανισμούς κίνηση. Ο έλεγχος της θέσης του συστήματος δορυφόρου/τμήματος εξασφαλίζεται με το υποσύστημα ελέγχου της θέσης, που είναι συγκεκριμένο για το βοηθητικό τμήμα.”<sup>8</sup>

---

<sup>8</sup> Δορυφορικές επικοινωνίες

Συστήματα, Τεχνικές και Τεχνολογία G. Maral M. Bousquet Τρίτη Έκδοση εκδόσεις Τζιόλα

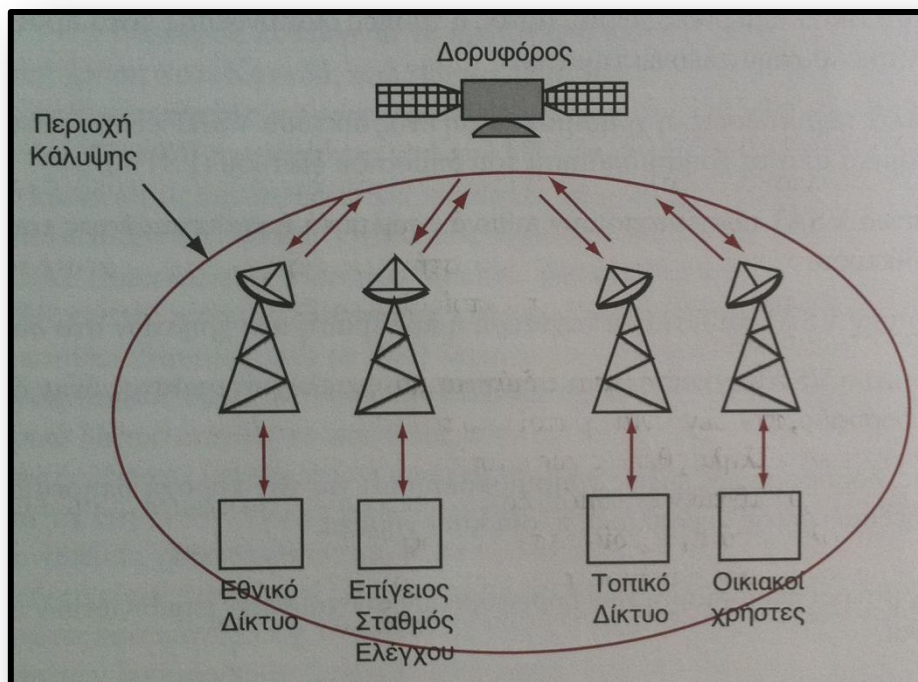
Δορυφορικές Επικοινωνίες Α. Καρατζής, Γ. Τζανιδάκης, Χρονολογία Εκδόσεως: 1988 Δορυφορικές Επικοινωνίες

PRATT,BOSTIAN,ALLNUTT εκδόσεις: Παπασωτηρίου ,Νοέμβριος, 2008

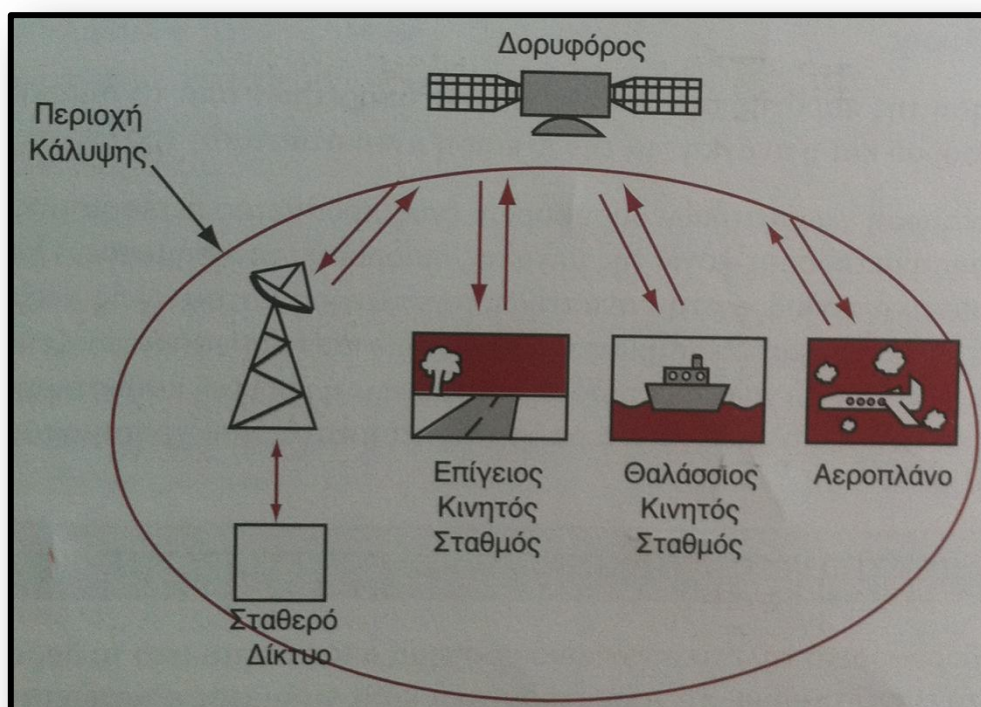
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

### Δομή βασικού τηλεπικοινωνιακού συστήματος

“Το βασικό δορυφορικό τηλεπικοινωνιακό σύστημα αποτελείται από το δορυφορικό τμήμα και το επίγειο τμήμα. Τα χαρακτηριστικά κάθε τμήματος εξαρτώνται από το κατά πόσο το σύστημα πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε στατικές τηλεπικοινωνιακές εφαρμογές, εφαρμογές δορυφορικών κινητών τηλεπικοινωνιών ή εφαρμογές για απευθείας κάλυψη. Στην εικόνα 4.1 παρουσιάζεται στο σχηματικό διάγραμμα ενός δορυφορικού τηλεπικοινωνιακού συστήματος. Στην εικόνα 4.2 παρουσιάζονται οι διάφορες εφαρμογές που μπορεί να εξυπηρετούνται από αυτό.



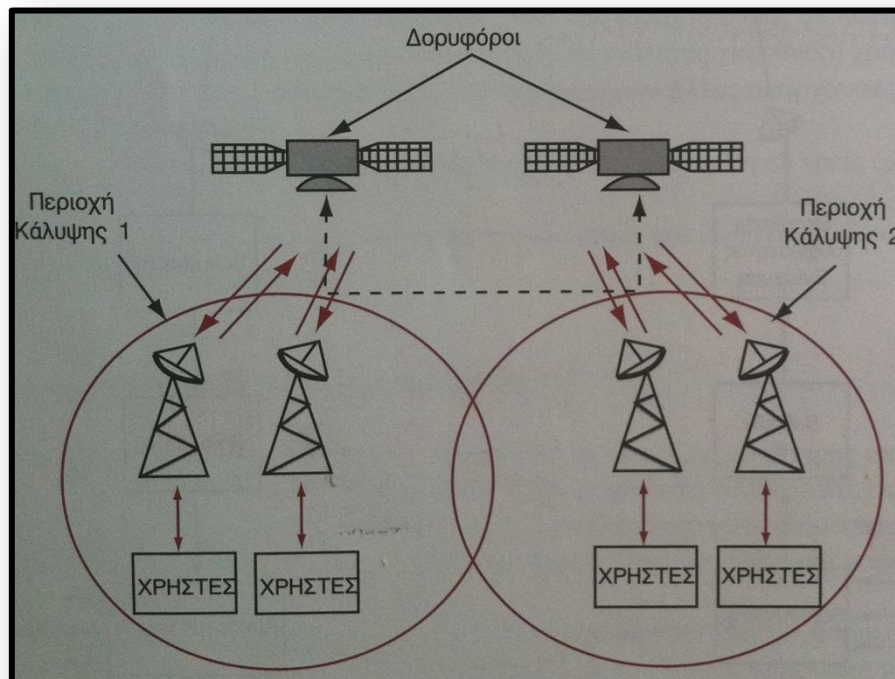
Εικόνα 4.1 Δορυφορικό σύστημα επικοινωνιών



Εικόνα 4.2 Εφαρμογές δορυφορικών επικοινωνιών

Το δορυφορικό τμήμα του συστήματος περιλαμβάνει το δορυφορικό αναμεταδότη και τον επίγειο σταθμό ελέγχου στον οποίο πραγματοποιούνται οι διαδικασίες τηλεμετρίας και ο έλεγχος του δορυφόρου. Η ζεύξη μεταξύ των επίγειων σταθμών ή χρηστών γίνεται μέσω του δορυφορικού αναμεταδότη. Το σήμα που εκπέμπεται από κάθε επίγειο σταθμό μεταδίδεται μέσω της ατμόσφαιρας και υφίσταται ποικίλες αποσβέσεις μέχρι να φθάσει στην είσοδο του δορυφορικού αναμεταδότη. Στα αναλογικά συστήματα, ο δορυφορικός αναμεταδότης απλώς ενισχύει το σήμα που φθάνει στην είσοδό του και κατόπιν επανεκπέμπει το συνδυασμό των δύο σημάτων σε διαφορετική συχνότητα δημιουργώντας έτσι το σήμα κάτω ζεύξης. Στα ψηφιακά σήματα, ο δορυφορικός αναμεταδότης επεξεργάζεται το προς τα άνω σήμα, το οποίο διαμορφώνει και επανεκπέμπει προς τον επίγειο σταθμό λήψης. Στην εικόνα 4.3 φαίνεται το σχηματικό διάγραμμα μιας δορυφορικής ζεύξης μεταξύ επίγειων σταθμών, που δεν είναι ορατοί από τον ίδιο δορυφόρο. Με την τοποθέτηση δορυφόρων σε κατάλληλες

θέσεις γύρω από τη Γη επιτυγχάνονται τηλεπικοινωνιακές ζεύξεις μεταξύ επίγειων σταθμών που βρίσκονται σε διαφορετικά ημισφαίρια.



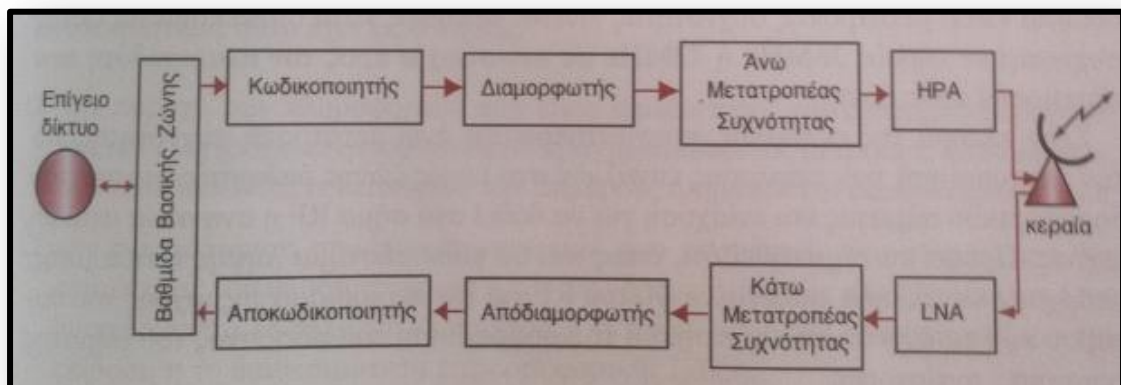
Εικόνα 4.3 Δορυφορική ζεύξη μέσω δύο δορυφόρων

Οι επίγειοι σταθμοί διακρίνονται σε μεγάλους και μικρούς σταθμούς ανάλογα με το μέγεθος της κεραίας που διαθέτουν και της ισχύος που εκπέμπουν. Οι κεραίες των μεγάλων σταθμών είναι τύπου παραβολικού κατόπτρου και έχουν διάμετρο της τάξης των 12 έως 15 μέτρα. Αντίθετα οι μικρότεροι σταθμοί έχουν κεραίες διαμέτρου από 0.6 έως 3 μέτρα. Στην εικόνα 4.4 φαίνεται το απλοποιημένο σχηματικό διάγραμμα ενός δορυφορικού τηλεπικοινωνιακού συστήματος που περιλαμβάνει τις βασικές υπομονάδες του επίγειου σταθμού και του δορυφόρου. Στην είσοδο του πομπού του επίγειου σταθμού εισέρχονται τα σήματα πληροφορίας από διάφορους χρήστες (σήματα τηλεφωνίας, τηλεοπτικά σήματα, δεδομένα κλπ.) είτε σε αναλογική είτε σε ψηφιακή μορφή, μέσω συμβατικών ζεύξεων (ασύρματων ή ενσύρματων). Τα σήματα πληροφορίας πολυπλέκονται και διαμορφώνονται στην ενδιάμεση συχνότητα του συστήματος. Το προς μετάδοση σήμα αλλάζει συχνότητα (ραδιοσυχνότητα), ενισχύεται από τον ενισχυτή ισχύος της τελικής

βαθμίδας και εκπέμπεται προς το δορυφόρο από την κεραία του επίγειου σταθμού. Στο δορυφόρο φθάνει το σήμα της προς τα άνω ζεύξης, αφού υποστεί ποικίλες αποσβέσεις λόγω της διάδοσης του μέσω της ατμόσφαιρας. Για να αποφεύγεται η παρεμβολή του προς τα άνω σήματος στο προς τα κάτω σήμα, ο δορυφορικός αναμεταδότης εκτός από ενίσχυση, πραγματοποιεί και μετατροπή συχνότητας, ώστε η προς τα κάτω ζεύξη να πραγματοποιείται σε διαφορετική (συνήθως μικρότερη) συχνότητα από αυτή τη προς τα άνω ζεύξης. Τέλος το σήμα που επανεκπέμπεται από το δορυφορικό αναμεταδότη φθάνει στην είσοδο του επίγειου δέκτη και οδηγείται κατ' αρχήν στη RF βαθμίδα ενίσχυσης χαμηλού θορύβου. Στην συνέχεια, η φέρουσα συχνότητα του ραδιοκύματος μετατρέπεται σε ενδιάμεση συχνότητα και μετά την αποπολύπλεξη τα σήματα οδηγούνται στο τελικό τους προορισμό, δηλαδή τους χρήστες.

## Το σύστημα επικοινωνιών

Το σύστημα αυτό του επίγειου σταθμού που κυρίως ενδιαφέρει από πλευράς επικοινωνιών περιλαμβάνει τα τμήματα ραδιοσυχνοτήτων, ενδιάμεσης συχνότητας και βασικής ζώνης. Στην εικόνα 4.4 φαίνονται τα συστήματα που αποτελούν τον επίγειο σταθμό.



Εικόνα 4.4 Λειτουργικό διάγραμμα επίγειου σταθμού

Τα τμήματα αυτά είναι δυνατό να είναι απομακρυσμένα μεταξύ τους. Στην περίπτωση αυτή επικοινωνούν με ενσύρματο τρόπο. Στην πλευρά της εκπομπής, το υποσύστημα επικοινωνιών έχει ως στόχο τη μετατροπή των σημάτων βασικής ζώνης σε σήμα RF, το οποίο στη συνέχεια εκπέμπεται στο ραδιοδύαυλο ανόδου. Στην πλευρά της λήψης, συμβαίνει η αντίθετη μετατροπή, δηλαδή από το σήμα RF που λαμβάνεται από το ραδιοδύαυλο καθόδου το υποσύστημα επικοινωνιών δημιουργεί τα σήματα βασικής ζώνης. Το αναλογικό μέρος του σήματος βασικής ζώνης που εξυπηρετείται από το δορυφορικό σύστημα αποτελείται από την πολύπλεξη τηλεφωνικών καναλιών και ένα ή περισσότερα τηλεοπτικά κανάλια, ενώ το ψηφιακό μέρος αποτελείται κυρίως από την πολύπλεξη ψηφίων που αντιστοιχούν σε τηλεφωνικά κανάλια, κανάλια ψηφιακής τηλεόρασης και πακέτα δεδομένων. Οι διαδικασίες που επιτελεί το υποσύστημα επικοινωνιών στην πλευρά της λήψης είναι ενίσχυση χαμηλού θορύβου, φιλτράρισμα και εξίσωση συχνότητας, κάτω μετατροπή συχνότητας από την περιοχή RF στην περιοχή IF, αποδιαμόρφωση και αναδημιουργία των ψηφίων. Η τελευταία περιλαμβάνει και άλλες διαδικασίες, όπως αποκωδικοποίηση για διόρθωση λαθών κλπ. Στην πλευρά της εκπομπής, οι διαδικασίες που πραγματοποιούνται είναι ομαδοποίηση των ψηφίων σε πακέτα που παρεμβάλλονται στις κατάλληλες χρονοθυρίδες των χρονικών πλαισίων, διαμόρφωση των επιμέρους καναλιών στην ενδιάμεση συχνότητα, άνω μετατροπή συχνότητας από την περιοχή IF στην περιοχή RF, ενίσχυση και εκπομπή στο ραδιοδύαυλο της άνω ζεύξης. Η αξιοπιστία της όλης διαδικασίας κρίνεται από το ποσοστό λαθών που επιτυγχάνεται στην έξοδο του αποκωδικοποιητή και εξαρτάται από το σηματοθορυβικό λόγο στην είσοδό του, το σχήμα διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται και τη διορθωτική ικανότητα του κώδικα που συνήθως χρησιμοποιείται για διόρθωση λαθών. Το τμήμα ραδιοσυχνοτήτων στην πλευρά της λήψης πραγματοποιεί κατά σειρά ενίσχυση του εξαιρετικά ασθενούς σήματος που λαμβάνεται από το ραδιοδύαυλο της προς τα κάτω ζεύξης και κάτω μετατροπή συχνότητας για δρομολόγηση των επιμέρους καναλιών προς τις αντίστοιχες βαθμίδες ενδιάμεσης συχνότητας. Η διαδικασία κάτω μετατροπής συχνότητας γίνεται συνήθως κατά συγκεκριμένες ζώνες συχνοτήτων εύρους 36MHz ή 72MHz σε αντιστοιχία προς τον αναμεταδότη που εξυπηρετεί κάθε ζώνη. Στην πλευρά της εκπομπής, πραγματοποιείται άνω μετατροπή συχνότητας για την τακτοποίηση των



επιμέρους καναλιών στο εύρος ζώνης ραδιοσυχνοτήτων του δορυφορικού σήματος και ενίσχυση για να δοθεί στο σήμα RF η αναγκαία στάθμη ισχύος. Πρέπει να σημειωθεί ότι, όπως και σε κάθε σύστημα λήψης ή εκπομπής, υπάρχουν κατάλληλα επιλεγμένα φίλτρα RF για τον περιορισμό της ισχύος του θορύβου που εισέρχεται στο σύστημα ή τη μορφοποίηση του φάσματος του σήματος εκπομπής, αντίστοιχα. Στο τμήμα ενδιάμεσης συχνότητας στην πλευρά της εκπομπής πραγματοποιείται διαμόρφωση συνήθως PSK ή QPSK λόγω του χαμηλού ποσοστού λαθών που απαιτείται, τακτοποίηση των προς εκπομπή πακέτων δεδομένων και επιλογή δορυφορικού αναμεταδότη κατευθύνοντας τα επιμέρους κανάλια προς τους κατάλληλους μετατροπείς συχνότητας. Στην πλευρά της λήψης, πραγματοποιείται σύμφωνη αποδιαμόρφωση, αναδημιουργία των ψηφίων πληροφορίας και επαναπολύπλεξη των πακέτων που λαμβάνονται από τους διαφόρους κάτω μετατροπείς. Προβλήματα δημιουργούνται κυρίως από το γεγονός ότι οι μονάδες πακέτων δεδομένων που καταφθάνουν διαδοχικά στον επίγειο σταθμό προέρχονται από διαφορετικούς επίγειους σταθμούς και, συνεπώς, έχουν διαμορφωθεί σε φέροντα με διαφορετική φάση και πλάτος. Στις δορυφορικές επικοινωνίες, η ενδιάμεση συχνότητα είναι 70MHz για κανάλια που χρησιμοποιούν αναμεταδότες εύρους 36MHz και 140MHz για κανάλια που χρησιμοποιούν αναμεταδότες εύρους 54 ή 72MHz. Η μεσολάβηση της IF διαδικασίας είναι επιτακτική στις δορυφορικές επικοινωνίες διότι, εκτός από την ευκολία που προσφέρει για την τακτοποίηση των επιμέρους καναλιών, είναι ιδιαίτερα δύσκολη η υλοποίηση διαμορφωτών που λειτουργούν στην περιοχή συχνοτήτων 6 έως 20GHz. Η επιλογή δορυφορικού αναμεταδότη πραγματοποιείται με επιλογή συγκεκριμένης ζώνης συχνοτήτων μέσα στο εύρος του δορυφορικού σήματος με κατάλληλη ρύθμιση της αντίστοιχης φέρουσας συχνότητας. Ένας επίγειος σταθμός διαθέτει N βαθμίδες IF που συνδέονται με N αντίστοιχους μετατροπείς συχνότητας για τη δημιουργία των N διαφορετικών καναλιών. Το τμήμα βασικής ζώνης λαμβάνει και επεξεργάζεται τα προς μετάδοση αναλογικά και ψηφιακά σήματα που φθάνουν από το επίγειο δίκτυο στην πλευρά εκπομπής του επίγειου σταθμού. Η επεξεργασία αυτή περιλαμβάνει αποθήκευση, πολύπλεξη και κωδικοποίηση, ώστε να δημιουργηθούν τα κατάλληλα πακέτα δεδομένων για την αποστολή τους στον αντίστοιχο προορισμό. Η αντίστροφη

διαδικασία πραγματοποιείται στην πλευρά λήψης του τμήματος βασικής ζώνης.

Να αναφέρουμε ότι οι επίγειοι σταθμοί εκτός από τα βασικά συστήματα, διαθέτουν και κάποια άλλα υποσυστήματα τα οποία είναι υπεύθυνα για πολλές και σημαντικές λειτουργίες.

## **Ανάλυση υποσυστημάτων επίγειου σταθμού**

### **A) Υποσύστημα παρακολούθησης και ελέγχου**

Το υποσύστημα αυτό έχει ως στόχους:

- 1) Την παροχή των πληροφοριών που είναι απαραίτητες για την παρακολούθηση και τον έλεγχο του επίγειου σταθμού πραγματοποιώντας μετρήσεις παραμέτρων, παρακολουθώντας τη λειτουργία επιμέρους τμημάτων και υποσυστημάτων.
- 2) Την ενεργοποίηση σημάτων συναργισμού που επιτρέπουν την αναγνώριση της ταυτότητας του υποσυστήματος ή του επιμέρους τμήματος που εμπλέκεται όταν διαπιστώνεται εσφαλμένη λειτουργία ή έκτακτα γεγονότα που επηρεάζουν την επίδοση ή τη διαθεσιμότητα της δορυφορικής ζεύξης.
- 3) Τη δημιουργία σημάτων ελέγχου και διόρθωσης της κακής λειτουργίας κάποιου τμήματος (ρύθμιση παραμέτρων λειτουργίας, μεταπήδηση σε εφεδρικό σύστημα όταν το κύριο σύστημα παρουσιάζει πρόβλημα).

Οι διαδικασίες παρακολούθησης και ελέγχου ενεργοποιούνται είτε με χρήση κεντρικού συστήματος παρακολούθησης είτε με χρήση υπολογιστή. Το σύστημα παρακολούθησης είναι δυνατό να βρίσκεται μακριά από τον επίγειο σταθμό και να επικοινωνεί με αυτόν μέσω αποκλειστικών επίγειων ζεύξεων ή μέσω βοηθητικών καναλιών ενσωματωμένων στο δορυφορικό σήμα.

## **B) Το υποσύστημα παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας**

Η ηλεκτρική ισχύς παρέχεται στον επίγειο σταθμό από το κοινό σύστημα διανομής ηλεκτρικής ενέργειας. Όμως, με βάση τα διεθνώς καθιερωμένα κριτήρια διαθεσιμότητας, είναι αναγκαίο να λαμβάνονται προφυλάξεις έναντι ενδεχομένων διακοπών παροχής ηλεκτρικής ισχύος σε ένα επίγειο σταθμό. Διακρίνονται τρία είδη παροχής ηλεκτρικής ισχύος σε ένα επίγειο σταθμό:

- 1) Αδιάλειπτη παροχή για τα τμήματα του σταθμού που πρέπει να λειτουργούν χωρίς διακοπή.
- 2) Παροχή με εφεδρική προστασία για τη τροφοδότηση των τμημάτων που επιτρέπεται να παραμένουν εκτός λειτουργίας επί μικρό χρονικό διάστημα.
- 3) Απλή τροφοδότηση ηλεκτρικής ισχύος για τα τμήματα που επιδέχονται παρατεταμένες διακοπές λειτουργίας.

Για την εξασφάλιση της λειτουργικής διαθεσιμότητας υπάρχει ανάγκη προστασίας των κρίσιμων τμημάτων ενός επίγειου σταθμού. Συνήθως, παρέχεται προστασία 1:1, δηλαδή κάθε σύστημα που λειτουργεί προστατεύεται από ένα εφεδρικό. Όταν η προστασία κάποιων συστημάτων δεν είναι επιτακτική, παρέχεται προστασία 1:N, δηλαδή N ομοειδή συστήματα προστατεύονται από ένα εφεδρικό.”<sup>9</sup>

## **Γ) Το υποσύστημα σκόπευσης του δορυφόρου**

“Με δεδομένο ότι οι γεωστατικοί δορυφόροι κινούνται συνεχώς λόγω μετάπτωσης γύρω από τη θέση η οποία τους έχει αποδοθεί και ότι το εύρος δέσμης του κύριου λοβού ακτινοβολίας της κεραίας του επίγειου σταθμού είναι ιδιαίτερα μικρό, λαμβάνεται ειδική πρόνοια για την ακρίβεια της σκόπευσης της κεραίας ώστε να μεγιστοποιείται η ισχύς που λαμβάνεται από το δορυφόρο. Η σκόπευση είναι είτε προγραμματιζόμενη

---

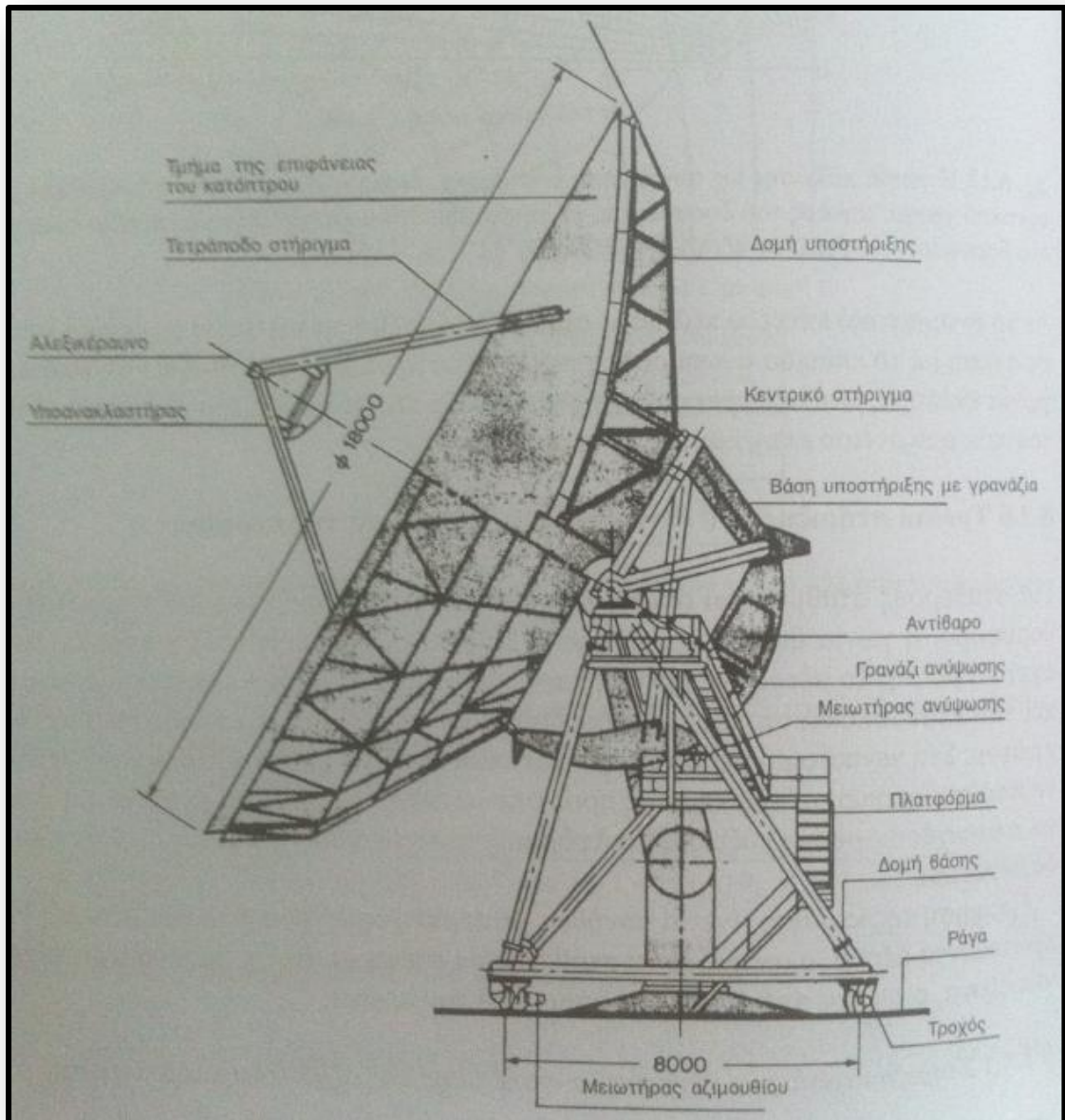
<sup>9</sup> Δορυφορικές επικοινωνίες  
Συστήματα, Τεχνικές και Τεχνολογία G. Maral M. Bousquet Τρίτη Έκδοση εκδόσεις Τζιόλα

Δορυφορικές Επικοινωνίες Παναγιώτης Γ. Κωττής Χρήστος Ν. Καψάλης 2η έκδοση εκδόσεις Τζιόλα

Δορυφορικές Επικοινωνίες Α. Καρατζής, Γ. Τζανιδάκης, Χρονολογία Εκδόσεως: 1988

Δορυφορικές Επικοινωνίες PRATT, BOSTIAN, ALLNUTT εκδόσεις: Παπασωτηρίου, Νοέμβριος, 2008

είτε αυτόματη. Η προγραμματιζόμενη σκόπευση βασίζεται στην αξιοποίηση των πληροφοριών που συλλέγονται από το υποσύστημα παρακολούθησης και ελέγχου. Η αυτόματη σκόπευση βασίζεται στη συνεχή σύγκριση είτε της διαφοράς φάσης είτε του πλάτους ενδεικτικών σημάτων-φάρων που είναι ενσωματωμένα στο δορυφορικό σήμα. Με την αυτόματη σκόπευση επιτυγχάνεται ακρίβεια σκόπευσης της τάξης του  $0.018^\circ$  έως  $0.027^\circ$  σε παραβολικά κάτοπτρα κέρδους 60db με εύρους δέσμης  $0.18^\circ$ . Σε μικρά δορυφορικά συστήματα λήψης, των οποίων η μικρή κεραία λήψης εμφανίζει σχετικά μεγαλύτερο εύρος δέσμης και δεν απαιτείται ιδιαίτερη ακρίβεια σκόπευσης, είναι αρκετή η χειροκίνητη σκόπευση. Στην εικόνα 4.5 φαίνεται μία κεραία σκόπευσης η οποία είναι τύπου 'αζιμουθίου- ανύψωσης'.



Στην εικόνα 4.5 κεραία σκόπευσης τύπου ‘αζιμουθίου- ανύψωσης’

Η στήριξη ‘αζιμουθίου- ανύψωσης’ έχει το μειονέκτημα ότι προκαλεί μεγάλες γωνιακές ταχύτητες καθώς παρακολουθεί ένα δορυφόρο ο οποίος διέρχεται κοντά από το ζενίθ. Τότε, η γωνία ανύψωσης φτάνει τις  $90^\circ$ , που γενικά αντιστοιχούν σε μηχανικό τέρμα, ώστε να προληφθεί υπερβολικά μεγάλη διαδρομή της κεραίας περί τον δευτερεύοντα άξονα. Για να παρακολουθήσει λοιπόν το δορυφόρο, η κεραία πρέπει να εκτελέσει μια ταχεία περιστροφή  $180^\circ$ , περί τον πρωτεύοντα άξονα.

## **Δ) Το υποσύστημα απομόνωσης εκπομπής και λήψης**

Η τεράστια απόσβεση που εισάγει ο ραδιοδίαυλος καθόδου καθιστά το σήμα που λαμβάνει ο επίγειος σταθμός εξαιρετικά ασθενές σε σχέση με αυτό που εκπέμπει. Επομένως, πρέπει να λαμβάνεται ιδιαίτερη προφύλαξη για την αποφυγή φαινομένων διασταύρωσης σημάτων. Αυτά οφείλονται σε απώλειες παρεμβολής διαφόρων παθητικών στοιχείων, όπως η ένωση κεραίας με τους κυματοδηγούς τροφοδότησης ή οι διατάξεις σύζευξης και προσαρμογής. Παρά το γεγονός ότι οι διαρροές αυτές, οι οποίες οφείλονται σε προϊόντα ενδοδιαμόρφωσης που προκύπτουν στο εύρος συχνοτήτων του σήματος λήψης, είναι της τάξης των 100db κάτω από την ισχύ του σήματος εκπομπής, είναι συγκρίσιμες προς το λαμβανόμενο σήμα και συνεπώς ιδιαίτερος υπολογίσιμες. Η επιθυμητή απομόνωση μεταξύ των σημάτων εκπομπής και λήψης επιτυγχάνεται με το συνδυασμό της απομόνωσης που εισάγει ο διπλέκτης και του φιλτραρίσματος RF τόσο στην πλευρά εκπομπής όσο και στην πλευρά λήψης. Η διαδικασία απομόνωσης πραγματοποιείται με ορθή επιλογή της ζώνης διέλευσης του φίλτρου λήψης ώστε να προσαυξάνεται η απομόνωση που εισάγεται μέσω του διπλέκτη κατά την απόσβεση του φίλτρου λήψης στην επικαλυπτόμενη ζώνη συχνοτήτων. Στην πλευρά εκπομπής, το αντίστοιχο φίλτρο πρέπει να επιλέγεται κατάλληλα ώστε να αποτρέπει τη φασματική παρεμβολή το σήματος εκπομπής στο σήμα λήψης.”<sup>10</sup>

## **Συμπεράσματα**

Από την έναρξη της εποχής των δορυφορικών τηλεπικοινωνιών, οι επίγειοι σταθμοί εξελίσσονται συνεχώς, παρόλο που η γενική τους οργάνωση παρέμεινε χωρίς ιδιαίτερες μεταβολές. Αυτή η εξέλιξη έγινε φανερή από την ελάττωση στο μέγεθος των επίγειων σταθμών. Η

---

<sup>10</sup> Δορυφορικές επικοινωνίες

Συστήματα, Τεχνικές και Τεχνολογία G. Maral M. Bousquet Τρίτη Έκδοση εκδόσεις Τζιόλα

Δορυφορικές Επικοινωνίες Παναγιώτης Γ. Κωττής Χρήστος Ν. Καμάλης 2η έκδοση εκδόσεις Τζιόλα

Δορυφορικές Επικοινωνίες Α. Καρατζής, Γ. Τζανιδάκης, Χρονολογία Εκδόσεως: 1988

Δορυφορικές Επικοινωνίες PRATT, BOSTIAN, ALLNUTT εκδόσεις: Παπασωτηρίου, Νοέμβριος, 2008



διάμετρος των κεραιών, που αρχικά ήταν μεγαλύτερη από 30m, μπορεί σήμερα σε μερικές περιπτώσεις να είναι μικρότερη από ένα μέτρο. Αυτό οφείλεται στην αύξηση της ισοτροπικά ενεργούς ακτινοβολούμενης ισχύος (EIRP) των επικοινωνιακών δορυφόρων, σε σύνδεση με τη χρήση τεχνικών εκπομπής υψηλής απόδοσης. Αυτή η ελάττωση είναι επίσης προφανής στο μέγεθος του εξοπλισμού που χρησιμοποιείται στους σταθμούς, και έγινε δυνατή μέσω της χρήσης ψηφιακών τεχνικών και μεγαλύτερης κλίμακας ολοκλήρωσης των εξαρτημάτων. Η χρήση αυτών των τεχνολογιών έχει επίσης επιτρέψει τη μεγάλη αύξηση της ικανότητας επεξεργασίας και της περιπλοκότητας του εξοπλισμού. Αυτό είχε σαν συνέπεια την αύξηση της απόδοσης. Με τον τρόπο αυτό έγινε δυνατή η χρήση εξελιγμένων τεχνικών εκπομπής, όπως η πολλαπλή πρόσβαση με υποδιαίρεση χρόνου, η εκπομπή ευρέως φάσματος, η κωδικοποίηση αποσφαλμάτωσης κ.ά. Η χρήση αυτών των τεχνολογιών στην κατασκευή εξοπλισμού επέτρεψε πού μεγαλύτερη ευκολία στη λειτουργία και τη συντήρηση του σταθμού. Για παράδειγμα, στο στάδιο μετατροπής συχνότητας, οι προγραμματιζόμενοι συνθέτες συχνότητας επιτρέπουν τη γρήγορη επιλογή της συχνότητας του φέροντος και μεγάλη σταθερότητα της ενδεικνυόμενης συχνότητας. Η εποπτεία κάτω από τον έλεγχο υπολογιστή εξασφαλίζει συνεχή έλεγχο της λειτουργίας διαφόρων συστημάτων και τη γρήγορη ανίχνευση εξοπλισμού με βλάβη, ακόμη και την αντικατάστασή του από εφεδρικό εξοπλισμό. Ταυτόχρονα, η εμφάνιση νέων συστημάτων επέτρεψε την καλύτερη εκμετάλλευση των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών των δορυφόρων, όπως π.χ. τις δυνατότητες εκπομπής προς το ευρύ κοινό, και τη δυνατότητα χρήσης από πολύ περισσότερους χρήστες χωρίς επιπλέον κόστος. Αυτά τα συστήματα δίνουν τη δυνατότητα πλήθους τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών σε διάφορους τομείς, όπως είναι οι επιχειρηματικές επικοινωνίες, οι περιαστικές επικοινωνίες, η διανομή οπτικών δεδομένων, η εκπομπή δεδομένων προς το ευρύ κοινό, οι διεπιδραστικές εφαρμογές και η επικοινωνία με κινητούς σταθμούς. Πολλά από τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν μικρούς επίγειους οι οποίοι βρίσκονται στην ιδιοκτησία του χρήστη, και παρέχουν άμεσες τηλεφωνικές ζεύξεις, ραδιοζεύξεις μετάδοσης δεδομένων (μικροί τερματικοί σταθμοί (VSAT) ή ιδιωτικά δίκτυα), και λήψη οπτικών σημάτων. Για τηλεπικοινωνία με κινητούς σταθμούς, πρέπει να ληφθούν υπόψη οι περιορισμοί μάζας και ισχύος, όπως και η χρήση κατευθυντικών κεραιών με δυνατότητα σκόπευσης.

Για την ανάπτυξη αυτών των συστημάτων , το κόστος των επίγειων σταθμών πρέπει να ελαττωθεί όσο περισσότερο γίνεται. Η ύπαρξη μικρών επίγειων σταθμών μικρού κόστους ανοίγει το δρόμο στη γενική χρήση της δορυφορικής επικοινωνίας.

## **Συγκρότηση και συστήματα τηλεπικοινωνιακών δορυφόρων**

“Τα συστήματα τα οποία περιλαμβάνει ένας τηλεπικοινωνιακός δορυφόρος είναι:

- A) Σύστημα σταθεροποίησης θέσης και καθορισμού τροχιάς του δορυφόρου
- B) Προωστικό σύστημα, το οποίο προσφέρει τις απαιτούμενες μεταβολές στην ταχύτητα κίνησης του δορυφόρου καθώς και τις απαιτούμενες ροπές στρέψης του σώματος του δορυφόρου για τον έλεγχο της θέσης και του προσανατολισμού του.
- Γ) Σύστημα τηλεμετρίας με τη βοήθεια του οποίου ανταλλάσσονται πληροφορίες με το κέντρο ελέγχου.
- Δ) Σύστημα θερμικού ελέγχου με στόχο τη διατήρηση της θερμοκρασίας του δορυφόρου εντός προκαθορισμένων ορίων.
- E) Σύστημα τροφοδότησης του ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού του δορυφόρου και την απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύ.
- Z) Το σύστημα επικοινωνιών
- H) Το σύστημα πρόωσης
- Θ) Επαναλήπτης
- I) Ο Δέκτης
- K) Ενισχυτής καναλιού (CAMP)
- Λ) Αναγεννητικός επαναλήπτης
- M) Δορυφορική κεραία

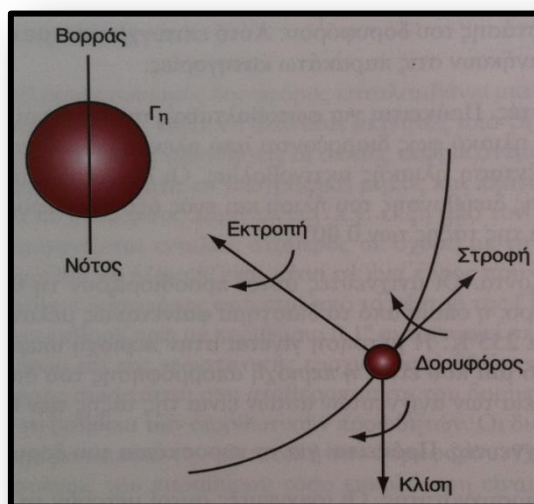
Παρακάτω ακολουθεί η ανάλυση όλων αυτών των συστημάτων

## Ανάλυση των συστημάτων ενός τηλεπικοινωνιακού δορυφόρου

Α) Σύστημα σταθεροποίησης θέσης και καθορισμού τροχιάς του δορυφόρου

### Έλεγχος της θέσης του δορυφόρου

Όταν ο δορυφόρος έχει τεθεί σε τροχιά γύρω από τη Γη, είναι δυνατό να παρουσιάζει μετακινήσεις γύρω από το κέντρο μάζας του. Οι μετακινήσεις αυτές ως προς το κέντρο μάζας του δορυφόρου μπορούν να αναλυθούν σε στοιχειώδεις περιστροφές γύρω από τρεις άξονες αναφοράς όπως φαίνεται στην εικόνα 4.6.

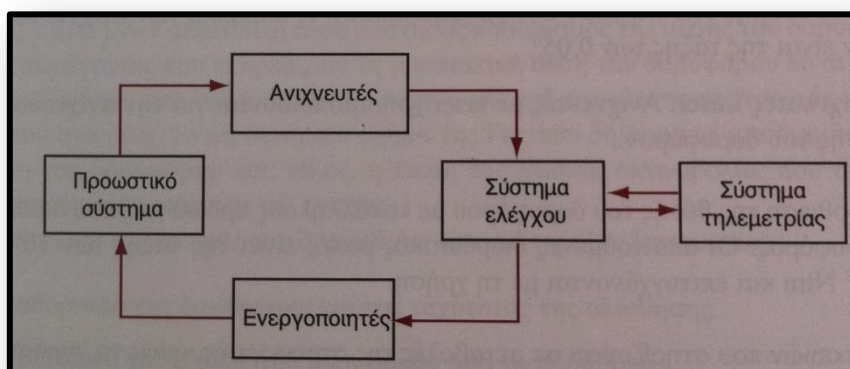


Εικόνα 4.6 Άξονες αναφοράς δορυφόρου

Ο άξονας εκτροπής έχει κατεύθυνση από το δορυφόρο προς το κέντρο της Γης. Ο άξονας στροφής βρίσκεται μαζί με τον άξονα εκτροπής πάνω

στο επίπεδο της τροχιάς του δορυφόρου και έχει εφαπτόμενη διεύθυνση στην τροχιά. Ο άξονας της κλίσης είναι κάθετος στο επίπεδο της τροχιάς.

Η θέση του δορυφόρου καθορίζεται από τις γωνίες που σχηματίζουν οι άξονες του σώματος του δορυφόρου με τους άξονες αναφοράς που προαναφέρθηκαν. Η ακρίβεια και η ευστάθεια του υποσυστήματος ελέγχου της θέσης του δορυφόρου επηρεάζουν σημαντικά την απόδοση άλλων υποσυστημάτων, κυρίως των κεραιών που ακτινοβολούν σε λεπτές δέσμες και απαιτούν ακρίβεια καλύτερη από  $0.1^\circ$  και ως προς τους τρεις άξονες αναφοράς. Στην εικόνα 4.7 δίδεται το διάγραμμα του υποσυστήματος ελέγχου της θέσης του δορυφόρου.



Εικόνα 4.7 Έλεγχος θέσης δορυφόρου

Ο έλεγχος αυτός συνίσταται κατά βάση σε δύο διαφορετικές λειτουργίες :

- 1) Περιστροφή του σώματος του δορυφόρου ως προς τον άξονα κλίσης ώστε ο δορυφόρος να εκτελεί μια περιστροφή ανά μέρα.
- 2) Σταθεροποίηση του δορυφόρου, ώστε να αναιρούνται οι ανεπιθύμητες ροπές που τείνουν να μεταβάλλουν την κινητική κατάσταση του δορυφόρου.

Ο έλεγχος της θέσης του δορυφόρου μπορεί να είναι ή παθητικός με τοποθέτηση του δορυφόρου σε κατάσταση ευσταθούς ισορροπίας, ή, συνηθέστερα , ενεργητικός.

## Έλεγχος τροχιάς

Ο γεωστατικός τηλεπικοινωνιακός δορυφόρος καταλαμβάνει μια συγκεκριμένη θέση επί της γεωστατικής τροχιάς ώστε να φαίνεται ακίνητος από τη Γη. Όμως, ο δορυφόρος υπόκειται σε διάφορες ολισθήσεις οι οποίες εκφράζονται με αντίστοιχες μετακινήσεις του ίχνους του κατά το γεωγραφικό μήκος και πλάτος. Οι μετακινήσεις αυτές οφείλονται σε διάφορους παράγοντες (π.χ. έλξη από τον ήλιο).

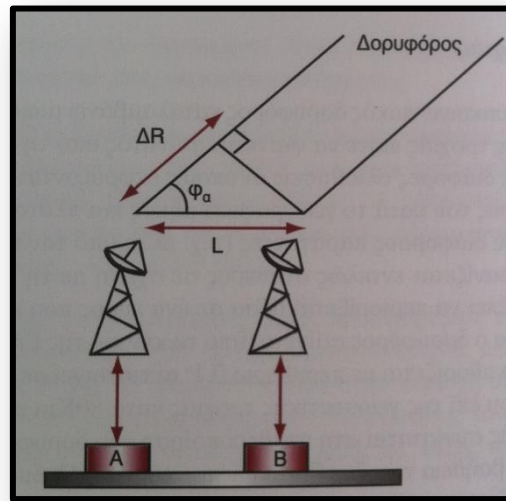
Επομένως, ο δορυφόρος δεν εμφανίζεται εντελώς σταθερός σε σχέση με τη Γη. Η θέση του σε σχέση με τη Γη πρέπει να περιορίζεται μέσα σε ένα εύρος που καθορίζεται από τη γωνία υπό την οποία ο δορυφόρος φαίνεται από το κέντρο της Γης. Ο έλεγχος τροχιάς συνίσταται στη σταθεροποίηση του δορυφόρου μέσα σε αυτό το παράθυρο με τη βοήθεια των διορθωτικών προωθητών. Οι διαστάσεις αυτού του παραθύρου καθορίζονται από την αποστολή του δορυφόρου. Γενικά, όσο μικρότερες είναι οι διαστάσεις του παραθύρου τόσο ευκολότερη είναι η παρακολούθηση του δορυφόρου από την κεραία του επίγειου σταθμού. Επιπλέον, στην περίπτωση αυτή γίνεται καλύτερη χρήση του διαθέσιμου εύρους ζώνης. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη γεωστατική θέση του δορυφόρου είναι η έλξη του δορυφόρου από τον ήλιο και τη σελήνη. Επίσης ένας άλλος παράγοντας είναι και το μη σφαιρικό σχήμα της Γης και έτσι δημιουργείται μια διαμήκη ολίσθηση στον δορυφόρο. Επίσης και η πίεση της ηλιακής ακτινοβολίας τείνει να αυξήσει την εκκεντρότητα ενός δορυφόρου.

Ο έλεγχος της τροχιάς του δορυφόρου απαιτεί τις εξής λειτουργίες:

- 1) Καθορισμό της διεύθυνσης και της ταχύτητας της ολίσθησης
- 2) Πρόβλεψη της εξόδου του δορυφόρου από το παράθυρο
- 3) Διόρθωση της τροχιάς με τη βοήθεια προωθητών με την ελάχιστη δυνατή κατανάλωση ισχύος. Η τελευταία λειτουργία σχετίζεται με τη διάρκεια ζωής του δορυφόρου.

Ο προσδιορισμός της θέσης του δορυφόρου στη γεωστατική του τροχιά γίνεται με μέτρηση της γωνίας ανύψωσης και της απόστασης του

δορυφόρου από τη γήινη επιφάνεια. Στην εικόνα 4.8, φαίνεται η μέθοδος μέτρησης της γωνίας ανύψωσης  $\varphi_\alpha$  ενός γεωστατικού δορυφόρου.



Εικόνα 4.8 Μέθοδος μέτρησης της γωνίας ανύψωσης δορυφόρου

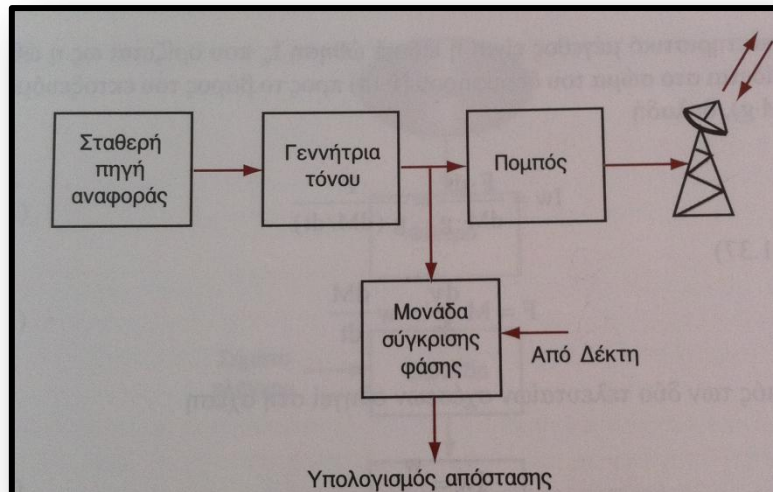
Η μέτρηση επιτυγχάνεται με τη βοήθεια δύο επίγειων σταθμών A και B που βρίσκονται σε γνωστή απόσταση L μεταξύ τους. Οι σταθμοί αυτοί λαμβάνουν ένα τηλεμετρικό σήμα συχνότητας  $f$  από το δορυφόρο. Η διαφορά της διαδρομής  $\Delta R$  που διανύει το σήμα μπορεί να υπολογιστεί με μέτρηση της διαφοράς φάσης  $\Delta\varphi$  που οφείλεται στο διαφορετικό χρόνο μετάδοσης του σήματος προς τους δύο σταθμούς. Αν  $\Delta t$  η διαφορά χρόνου,  $\lambda$  το μήκος κύματος και  $c$  η ταχύτητα του φωτός στο κενό, από την εικόνα 4.6 προκύπτει

$$\Delta\varphi = 2\pi f \Delta t = 2\pi f \frac{\Delta R}{c} = \frac{2\pi L \cos\varphi_\alpha}{\lambda}$$

Η ακρίβεια της μεθόδου αυτής για την μέτρηση της γωνίας ανύψωσης είναι της τάξης των  $0.01^\circ$ .

Τέλος, η απόσταση  $\zeta$  μεταξύ ενός επίγειου σταθμού και του δορυφόρου προσδιορίζεται μέτρηση της διαφοράς φάσης μεταξύ εκπεμπομένου και λαμβανομένου σήματος, όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.9





Εικόνα 4.9 Υποσύστημα μέτρησης απόστασης

Από όλα αυτά προκύπτει

$$\zeta = c * \Delta t = \Delta\varphi \frac{c}{2\pi f}$$

Όπου  $\Delta t$  ο χρόνος μετάδοσης του σήματος συχνότητας  $f$  από τον επίγειο σταθμό προς το δορυφόρο και πίσω,  $\Delta\varphi$  η διαφορά φάσης μεταξύ εκπεμπομένου και λαμβανομένου σήματος και  $c$  η ταχύτητα του φωτός.

## B) Προωστικό σύστημα

Το προωστικό σύστημα του δορυφόρου χρησιμοποιείται για τη δημιουργία των κατάλληλων διορθωτικών δυνάμεων και ροπών για τον έλεγχο της στάσης και της τροχιάς του δορυφόρου. Οι προωθητήρες είναι συνήθως χημικοί ή ηλεκτρικοί και απαιτείται να έχουν χαμηλά επίπεδα ωθήσεων διότι ο δορυφόρος βρίσκεται σε περιβάλλον χωρίς τριβές επειδή η διάρκεια ζωής του δορυφόρου είναι 15 έως 20 έτη, η συνολική λειτουργία των προωθητήρων πρέπει να είναι μερικές χιλιάδες ώρες χωρισμένη σε μικρούς κύκλους.

Η απαιτούμενη μάζα του εκτοξευόμενου υλικού υπολογίζεται από τη σχέση

$$M * dv = w * dM$$

Όπου  $M$  η συνολική μάζα του δορυφόρου τη χρονική στιγμή  $t$ ,  $v$  η ταχύτητα του δορυφόρου τη χρονική στιγμή  $t$ ,  $dM$  η εξερχόμενη μάζα

καυσίμου σε χρόνο  $dt$  και  $w$  η ταχύτητα του εκτοξευόμενου υλικού. Με εφαρμογή της αρχής διατήρησης της ορμής για τις χρονικές στιγμές όπου η συνολική μάζα του δορυφόρου μαζί με τα καύσιμα του είναι  $M+m$  και  $M$  αντίστοιχα, προσδιορίζεται μεταβολή της ταχύτητας του δορυφόρου  $\Delta v$  ως εξής:

$$\Delta v = w \times \ln \frac{M + m}{M}$$

Ένα χαρακτηριστικό μέγεθος είναι η ειδική ώθηση  $I_w$  που ορίζεται ως ώθηση που προσδίδεται στο σώμα του δορυφόρου ( $F * dt$ ) προς το βάρος του εκτοξευόμενου υλικού ( $dM * g$ ), δηλαδή

$$I_w = \frac{F * dt}{dM * g} = \frac{F}{g * \left(\frac{dM}{dt}\right)}$$

Λόγω της σχέσης  $M * dv = w * dM$  θα έχουμε  $F = w \frac{dM}{dt}$  και ο συνδυασμός των δύο τελευταίων σχέσεων οδηγεί στη σχέση

$$I_w = \frac{w}{g}$$

Η ειδική ώθηση έχει διαστάσεις χρόνου και χαρακτηρίζει τον τύπο του προωστικού υλικού που χρησιμοποιείται. Στον πίνακα 4.10 δίδονται χαρακτηριστικές τιμές ειδικής ώθησης.

Είδος καυσίμου	Ειδική ώθηση $I_w$
Υδραζίνη	220 sec
Θερμή Υδραζίνη	300 sec
Ηλεκτρικά ιόντα	1000 - 10000 sec

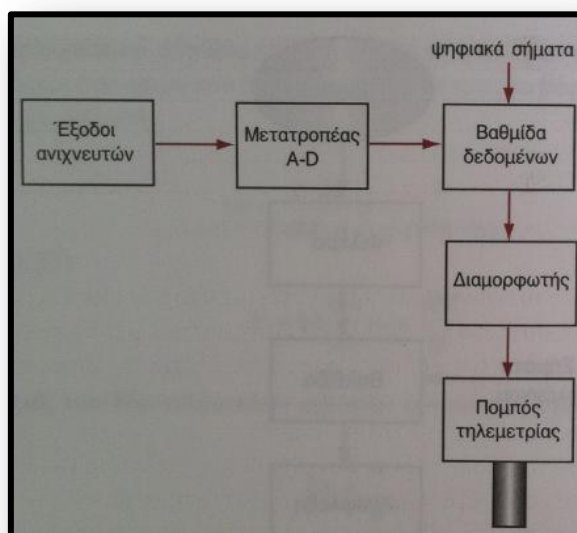
Πίνακας 4.10 Ειδική ώθηση καυσίμων

### Γ) Σύστημα τηλεμετρίας και εντολών

Το σύστημα αυτό του δορυφόρου έχει ως κύρια αποστολή την υποστήριξη της διαχείρισης των διαφόρων υποσυστημάτων του δορυφόρου. Οι κύριες λειτουργίες του συστήματος τηλεμετρίας και εντολών περιλαμβάνουν:

- 1) Την παρακολούθηση όλων των υποσυστημάτων του δορυφόρου και τη μετάδοση των δεδομένων προς το κέντρο ελέγχου του δορυφόρου.
- 2) Τον καθορισμό των παραμέτρων της τροχιάς του δορυφόρου.
- 3) Την παροχή πληροφοριών στους επίγειους σταθμούς για ιχνηλάτηση του δορυφόρου.
- 4) Τη λήψη εντολών από το κέντρο ελέγχου για την εκτέλεση διαφόρων λειτουργιών του δορυφόρου.

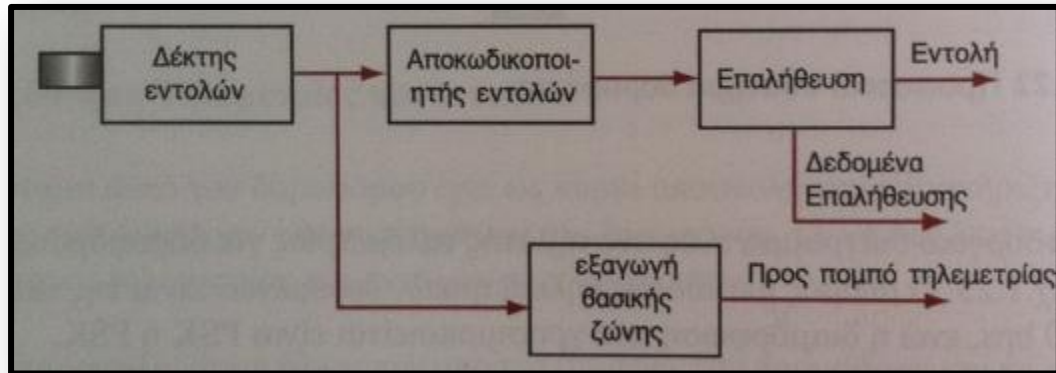
Το λειτουργικό διάγραμμα ενός συστήματος τηλεμετρίας για δορυφόρους φαίνεται στην εικόνα 4.11



Εικόνα 4.1 Υποσύστημα τηλεμετρίας

Ο ρυθμός μετάδοσης τηλεμετρικών δεδομένων είναι της τάξης των 100 – 150 bps, ενώ η διαμόρφωση που χρησιμοποιείται είναι PSK ή FSK. Από την άλλη πλευρά, το υποσύστημα εντολών, το λειτουργικό

διάγραμμα του οποίου φαίνεται στην εικόνα 4.12, χρησιμοποιείται για τη λήψη εντολών από το κέντρο ελέγχου του δορυφόρου, επιβεβαιώνει τη λήψη και προχωρεί στην εκτέλεση των εντολών αυτών.



Εικόνα 4.12 Υποσύστημα εντολών

Οι συνηθέστερες εντολές περιλαμβάνουν:

- 1) Μεταγωγή του δορυφορικού αναμεταδότη
- 2) Έλεγχο του πίνακα διασυνδέσεων στην περίπτωση όπου ο δορυφορικός αναμεταδότης χρησιμοποιεί λεπτές δέσμες
- 3) Έλεγχο της κατεύθυνσης της δέσμης της κεραίας
- 4) Έλεγχο της θέσης των φωτοβολταϊκών στοιχείων
- 5) Έλεγχο της κατάστασης του συστήματος τροφοδότησης ηλεκτρικής ισχύος
- 6) Έλεγχο των προωθητών
- 7) Έλεγχο της θερμοκρασίας του δορυφόρου

**Το σύστημα τηλεμετρίας, ανίχνευσης και εντολών (TTC) έχει τις ακόλουθες λειτουργίες:**

- 1) Λαμβάνει σήματα ελέγχου από τη Γη, ώστε να αρχίσουν οι χειρισμοί τοποθέτησης του δορυφόρου σε τροχιά και να μεταβληθεί η κατάσταση ή ο τρόπος λειτουργίας του εξοπλισμού.
- 2) Εκπέμπει τα αποτελέσματα των υπολογισμών, πληροφορίες σχετικές με τη λειτουργία του δορυφόρου, του εξοπλισμού και επαλήθευση της εκτέλεσης των εντολών προς τη Γη.
- 3) Υπολογίζει την απόσταση εδάφους-δορυφόρου, και πιθανόν την ακτινική ταχύτητα, ώστε να επιτρέπει τον εντοπισμό του δορυφόρου.

Διαχείριση δεδομένων δορυφόρου (OBDD, On-board data handling). Αυτός συχνά σχετίζεται με το σύστημα TTC. Η διαχείριση δεδομένων δορυφόρου συμπεριλαμβάνει την επεξεργασία και μορφοποίηση όλων των δεδομένων συντήρησης, μαζί με τη δρομολόγηση των δεδομένων και τη διαχείριση του χρόνου στον δορυφόρο. Οι μονάδες τηλεμετρίας και εντολών είναι μονάδες χαμηλής ταχύτητας bit (bit rate), το πολύ μερικά kilobit το δευτερόλεπτο. Αυτό δεν ισχύει στην τηλεμετρία των επιστημονικών δορυφόρων (όπως αυτοί για την παρατήρηση της γης), όπου η ταχύτητα bit είναι πολύ μεγαλύτερη, συνήθως μερικές δεκάδες megabit το δευτερόλεπτο. Τέλος, ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά των ζεύξεων (links) TTC είναι η διαθεσιμότητα (availability). Η διαθεσιμότητα των ζεύξεων TTC είναι πολύ σημαντική για τη μελέτη των συμπτωμάτων, στην περίπτωση βλάβης και για την αποκατάσταση τυχόν σφαλμάτων. Μπορούμε να αποκτήσουμε την απαραίτητη αξιοπιστία αν έχουμε εφεδρικά τμήματα του εξοπλισμού εκπομπής και λήψης (αναμεταδότης). Ο εξοπλισμός αυτός συνδέεται με μία ή περισσότερες κεραιές, με ακτινοβολία τέτοια ώστε η απολαβή να είναι όσο το δυνατόν πιο σταθερή, ή τουλάχιστον μεγαλύτερη από την ελάχιστη τιμή, στο μεγαλύτερο χώρο γύρω από τον δορυφόρο. Αυτό μας επιτρέπει να επιτύχουμε ραδιοζεύξεις, ανεξάρτητα από τη θέση του δορυφόρου.

### Δ) Θερμικός έλεγχος

Ο εξοπλισμός και το κυρίως σώμα του δορυφόρου είναι σχεδιασμένα έτσι ώστε να λειτουργούν ικανοποιητικά σε προκαθορισμένα θερμοκρασιακά όρια. Συνεπώς, ο θερμικός είναι απαραίτητος είτε τα συστήματα του δορυφόρου λειτουργούν είτε όχι. Εξάλλου, οι μεγάλες διαστολές και συστολές του σκελετού του σώματος του δορυφόρου επηρεάζουν τόσο τη θέση του όσο και τον προσανατολισμό των κεραιών του.

Από την άλλη πλευρά οι κατάλληλες θερμοκρασιακές περιοχές λειτουργίας των διαφόρων υποσυστημάτων του δορυφόρου διαφέρουν μεταξύ τους. Στον πίνακα 4.13 δίδονται ενδεικτικά οι χαρακτηριστικές περιοχές θερμοκρασίας μερικών υποσυστημάτων.

Υποσύστημα	Περιοχή θερμοκρασίας (°C)
Συσσωρευτές	0 – 20
Ηλιακές κυψέλες	-100 – 50
Ηλεκτρονικός εξοπλισμός	-10 – 60
Ανιχνευτές υπερόθρου	-20 – 45

Πίνακας 4.13 χαρακτηριστικές θερμοκρασίες υποσυστημάτων

Η μέση θερμοκρασία του δορυφόρου προκύπτει ως αποτέλεσμα της ανταλλαγής θερμότητας του δορυφόρου με το περιβάλλον. Ο μηχανισμός μετάδοσης της θερμοκρασίας στηρίζεται σε ακτινοβολία. Ο δορυφόρος δέχεται ηλιακή ακτινοβολία καθώς και μικρότερες ποσότητες ακτινοβολίας από τη Γη. Επιπλέον, οι ηλεκτρικές απώλειες του τηλεπικοινωνιακού εξοπλισμού τείνουν να αυξήσουν τη θερμοκρασία του. Ο θερμικός έλεγχος του δορυφόρου διακρίνεται σε παθητικό και ενεργό.

### Ε) Σύστημα τροφοδοσίας ηλεκτρικής ισχύος

Η παροχή της απαιτούμενης ηλεκτρικής ισχύος για τις λειτουργικές ανάγκες του δορυφόρου δημιουργεί αρκετά προβλήματα, κυρίως όγκου και βάρους. Οι τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι απαιτούν ισχύ της τάξης των μερικών KW. Από την καλή λειτουργία του συστήματος παροχής



ηλεκτρικής ισχύος εξαρτάται η ισχύς της κάτω ζεύξης, η οποία επηρεάζει καθοριστικά την ποιότητα υπηρεσιών στις δορυφορικές επικοινωνίες.

Το σύστημα τροφοδοσίας ηλεκτρικής ισχύος περιλαμβάνει:

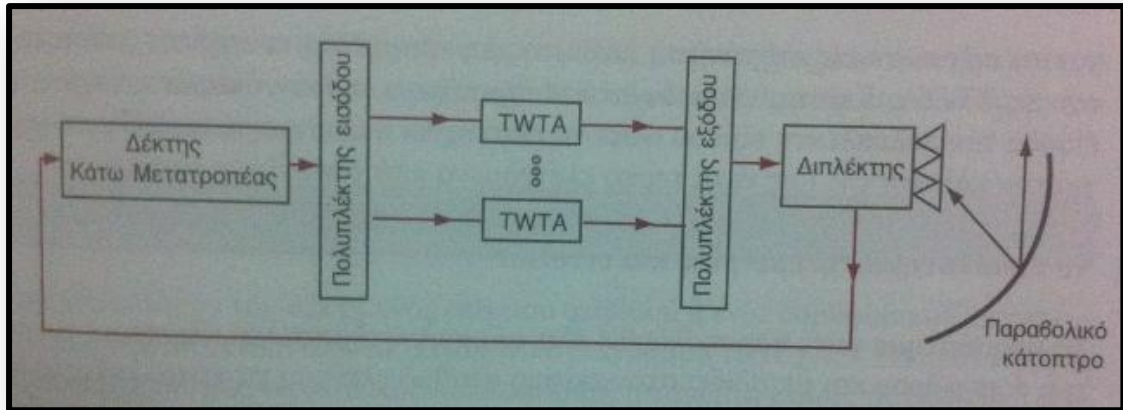
- 1) Μια πρωτογενή ενεργειακή πηγή (ηλιακές κυψέλες) , η οποία μετατρέπει την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική
- 2) Μια δευτερεύουσα ενεργειακή πηγή (επαναφορτιζόμενος συσσωρευτής), η οποία πρέπει να παρέχει την απαραίτητη ηλεκτρική ισχύ όταν απαιτείται (συνήθως σε περιόδους ηλιακών εκλείψεων, οπότε ο δορυφόρος δεν φωτίζεται από τον ήλιο).
- 3) Κυκλώματα ρύθμισης και διανομής του ηλεκτρικού ρεύματος.

## **Z) Το σύστημα επικοινωνιών**

Το σύστημα αυτό αποτελείται από την κεραία και τον τηλεπικοινωνιακό επαναλήπτη. Η κεραία λαμβάνει και εκπέμπει τα σήματα των ραδιοζεύξεων ανόδου και καθόδου, αντίστοιχα. Παράλληλα, αποτελεί το σύστημα εκπομπής των σημάτων τηλεμετρίας και λήψης των διαφόρων σημάτων ελέγχου και ενδείξεων. Τα τελευταία αποστέλλονται από τον επίγειο σταθμό που ελέγχει το δορυφόρο για να υποβοηθήσουν το υποσύστημα σταθεροποίησης ώστε να επιτευχθεί η ακριβής σκόπευση της περιοχής που καλύπτει ο δορυφόρος. Η δορυφορική κεραία διαθέτει ενσωματωμένους στην ίδια κατασκευή δύο ανακλαστήρες για την εξυπηρέτηση των δύο πολώσεων του συστήματος αναχρησιμοποίησης συχνότητας.

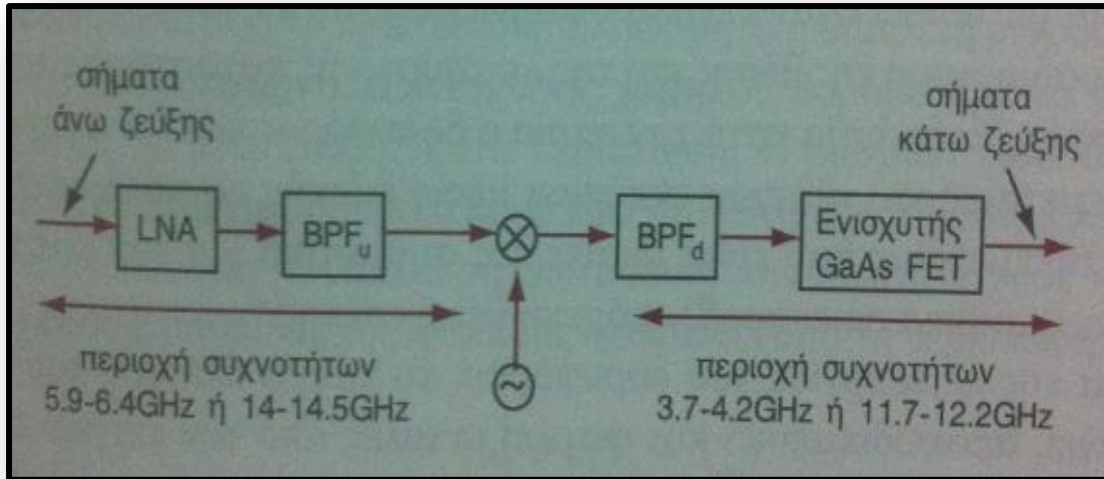
Ο **τηλεπικοινωνιακός επαναλήπτης** είναι η διασύνδεση πολλών απλών αναμεταδοτών και αποτελείται από τα εξής επιμέρους τμήματα, όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.14:

- 1) Το σύστημα δέκτη/κάτω μετατροπέα συχνότητας
- 2) Τον πολυπλέκτη εισόδου
- 3) Τις βαθμίδες ενίσχυσης
- 4) Τον πολυπλέκτη εξόδου



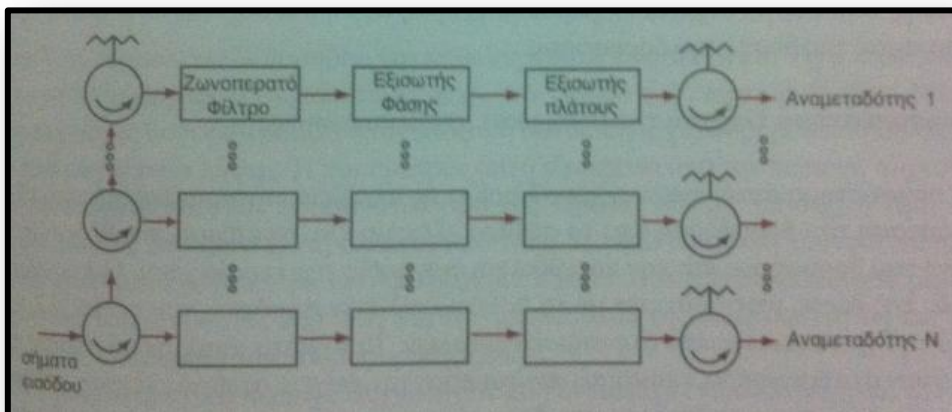
Εικόνα 4.14 Λειτουργικό διάγραμμα δορυφορικού επαναλήπτη

Ο δέκτης-κάτω μετατροπέας συχνότητας είναι ένα σύστημα ευρείας ζώνης στην περιοχή 5.9-6.4GHz για δορυφόρους που λειτουργούν στη ζώνη C ή στην περιοχή 14 έως 14.5GHz για δορυφόρους που λειτουργούν στη ζώνη Ku. Το σήμα ανόδου φιλτράρεται από ζωνοπερατό φίλτρο τύπου κυματοδηγού εύρους 500MHz και στη συνέχεια ενισχύεται από παραμετρικό ενισχυτή ή ενισχυτή τύπου GaAs FET, δηλαδή ενισχυτές χαμηλού θορύβου που κυμαίνεται από 2 έως 3db. Το φιλτραρισμένο και ενισχυμένο δορυφορικό σήμα μετατίθεται στην περιοχή συχνότητας καθόδου. Το σήμα που προκύπτει στην περιοχή 3.7 έως 4.2GHz για δορυφόρους που λειτουργούν στη ζώνη C ή στην περιοχή 11.7 έως 12.2GHz για δορυφόρους που λειτουργούν στη ζώνη Ku, ενισχύεται και πάλι από ενισχυτές τύπου GaAs FET και μέσω απομονωτή φερρίτη για την αποφυγή ανακλάσεων οδηγείται στον πολυπλέκτη εισόδου. Οι ανωτέρω διαδικασίες φαίνονται στο λειτουργικό διάγραμμα της εικόνας 4.15



Εικόνα 4.15 Λειτουργικό διάγραμμα δέκτη-κάτω μετατροπέα συχνότητας

Ο πολυπλέκτης εισόδου έχει ως στόχο να διαχωρήσει το εύρους 500MHz δορυφορικό σήμα σε πολλά επιμέρους κανάλια , καθένα από τα οποία οδηγείται προς περαιτέρω επεξεργασία σε συγκεκριμένο αναμεταδότη. Το εύρος των καναλιών στα οποία αποσυντίθεται το συνολικό δορυφορικό σήμα εξαρτάται από τον τύπο του δορυφορικού συστήματος. Συνήθως, το εύρος 500MHz διασπάται σε 8 κανάλια αναμεταδότη με κεντρικές συχνότητες που απέχουν 61MHz. Στην περίπτωση όπου το σύστημα εκμεταλλεύεται αναχρησιμοποίηση συχνότητας παρέχονται 16 κανάλια αναμεταδότη. Συνήθως, ο πολυπλέκτης εισόδου αποτελείται από κυκλοφορητές, ζωνοπερατά φίλτρα και εξισωτές πλάτους και φάσης, όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.16.



Εικόνα 4.16 Λειτουργικό διάγραμμα πολυπλέκτη εισόδου

Οι βαθμίδες ενίσχυσης κάθε αναμεταδότη ενισχύουν το χαμηλής ισχύος σήμα του ραδιοδιαύλου καθόδου μέσω ενισχυτών TWTA. Προενισχυτές ρυθμίζουν τη στάθμη εισόδου για τους ενισχυτές TWTA ώστε να λειτουργούν στην επιθυμητή περιοχή. Η ενισχυτική ικανότητα των ενισχυτών αυτών κυμαίνεται στο εύρος 15 έως 30W για αναμεταδότες εύρους 61MHz στη ζώνη Ku. Οι ενισχυτές TWTA καθορίζουν την ισχύ εξόδου των αναμεταδοτών και λειτουργούν συνήθως πολύ κοντά στο σημείο κόρου. Επομένως, αποτελούν το κύριο μη γραμμικό δίκτυο του αναμεταδότη που επηρεάζει καθοριστικά την επίδοση της δορυφορικής ζεύξης. Οι εξοδοί των αναμεταδοτών συνδυάζονται σε ένα σήμα μέσω του πολυπλέκτη εξόδου, ο οποίος, αφενός, επιτυγχάνει την απαιτούμενη εκτός ζώνης φασματική απόρριψη και, αφετέρου, παρέχει την αναγκαία καταπίεση των σημάτων που παράγονται σε αρμονικές συχνότητες λόγω της μη γραμμικής ενίσχυσης από τους ενισχυτές TWTA. Επίσης, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν διαιρέτες ισχύος στην είσοδο του πολυπλέκτη εξόδου ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή διαβάθμιση ισχύος για την κάλυψη της Γης κατά τρόπο ελεγχόμενο από τον επίγειο σταθμό.

## **H) Το σύστημα πρόωσης**

Ο ρόλος του συστήματος πρόωσης είναι κυρίως να δημιουργεί δυνάμεις, οι οποίες ασκούνται στο κέντρο μάζας του δορυφόρου. Οι δυνάμεις αυτές μεταβάλλουν την τροχιά του δορυφόρου, είτε για να εξασφαλίσουν την τοποθέτηση του σε μια προκαθορισμένη τροχιά, είτε για να ελέγξουν τη μετατόπιση από την ονομαστική τροχιά. Ακόμη, το σύστημα πρόωσης δημιουργεί ροπές, οι οποίες βοηθούν στον έλεγχο της θέσης του δορυφόρου. Οι δυνάμεις που δημιουργούνται από τις μονάδες πρόωσης, είναι δυνάμεις αντίδρασης, οι οποίες προέρχονται από την εκτόξευση υλικού

### **Χαρακτηριστικά των κινητήρων πρόωσης**

Υπάρχουν δύο κατηγορίες κινητήρων πρόωσης, που θα πρέπει να εξετάσουμε:

1) Οι κινητήρες πρόωσης χαμηλής ισχύος, από μερικά millinewton μέχρι μερικά newton, που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο θέσης και τροχιάς ελέγχου αντίδρασης

2) Οι κινητήρες πρόωσης μέσης και υψηλής ισχύος, από αρκετές εκατοντάδες millinewton μέχρι αρκετές δεκάδες χιλιάδες newton, που χρησιμοποιούνται για μεταβολή της τροχιάς κατά τη διάρκεια της φάσης εκτόξευσης. Ανάλογα με το είδος εκτοξευτήρα που χρησιμοποιείται, αυτοί οι κινητήρες πρόωσης αποτελούν τον κινητήρα απογείου ή τον κινητήρα περίγειου.

Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των κινητήρων πρόωσης ελέγχου και της θέσης τροχιάς είναι :

- 1) Χαμηλά επίπεδα ισχύος
- 2) Μεγάλο πλήθος κύκλων λειτουργίας περιορισμένης διάρκειας
- 3) Συνολικό χρόνο λειτουργίας ίσο με αρκετές εκατοντάδες ή χιλιάδες ώρες ζωή
- 4) Μεγάλη διάρκεια ζωής, πάνω από δέκα χρόνια

### **Επεξεργασία του σήματος επί του δορυφόρου**

Η διαθεσιμότητα των ψηφιακών δεδομένων πάνω στο δορυφόρο αποτελεί κίνητρο για την επεξεργασία τους πριν από την επανεκπομπή τους.

#### **Κωδικοποίηση στο downlink**

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί κωδικοποίηση αποσφαλμάτωσης σε κάποιο από τα uplink και downlink. Για το downlink, ο κωδικοποιητής βρίσκεται στο δορυφόρο, και ενεργοποιείται μέσω τηλεχειρισμού. Έτσι, η ραδιοζεύξη επωφελείται από την απολαβή αποκωδικοποίησης, αλλά από την άλλη μεριά, ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων αυξάνεται κατά συντελεστή ίσο με τον αντίστροφο του λόγου κωδικοποίησης. Αυτό υπονοεί ότι το downlink περιορίζεται όσον αφορά την ισχύ, αλλά όχι το εύρος ζώνης. Αν η ραδιοζεύξη περιορίζεται όσον αφορά το εύρος ζώνης, πρέπει να διατηρηθεί ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων, και συνεπώς πρέπει να ελαττωθεί ο ρυθμός (ταχύτητα) μετάδοσης πληροφορίας, τόσο στο uplink όσο και στο downlink που την τροφοδοτεί. Αυτή η ελάττωση

στον όγκο μεταφερόμενης πληροφορίας παρέχει ένα περιθώριο στο λόγο  $(C/N_0)_D$ , που προστίθεται σε εκείνο που παρέχεται από την απολαβή

αποκωδικοποίησης. Έστω  $(C/N_0)_1$  και  $(C/N_0)_2$  οι τιμές του λόγου  $(C/N_0)_D$  χωρίς και με κωδικοποίηση, αντίστοιχα. Έτσι έχουμε:

$$(C/N_0)_1 = (E_b / N_0)_1 R_{b1}$$

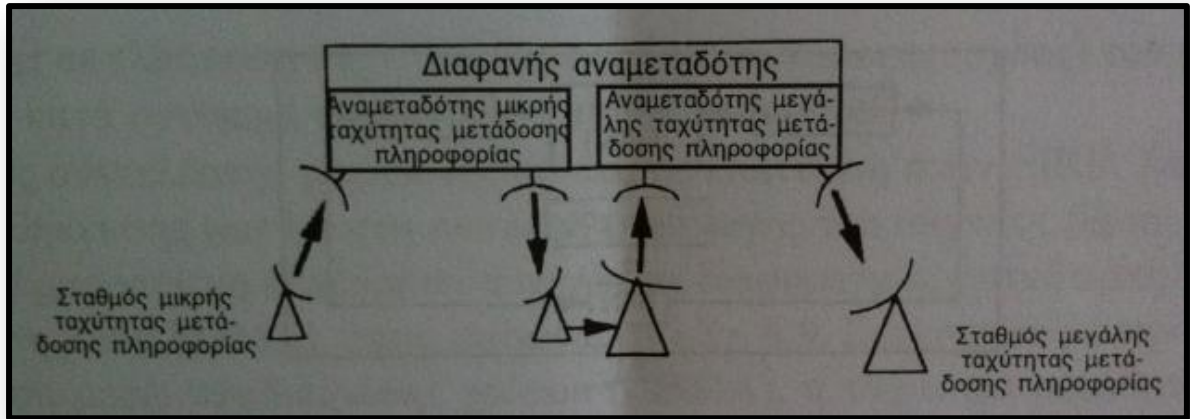
όπου η τιμή του  $R_{b1}$ , του ρυθμού μετάδοσης πληροφορίας ισούται με το ρυθμό μετάδοσης  $R_c$  με τον οποίο διαμορφώνεται το φέρον.

### **Μεταγωγή του σήματος βάσης**

Η διαθεσιμότητα των bit επί του δορυφόρου στην έξοδο των διαμορφωτών του φέροντος του uplink επιτρέπει να γίνεται η μεταγωγή μεταξύ των συστημάτων λήψης και εκπομπής (κεραιών) στο επίπεδο του σήματος βάσης, και στο επίπεδο της ραδιοσυχνότητας. Έτσι παύει να υφίσταται ο περιορισμός της άμεσης δρομολόγησης της ληφθείσας πληροφορίας προς το downlink για το οποίο προορίζεται. Αυτό επιτρέπει στους επίγειους σταθμούς να εκπέμπουν όλη την πληροφορία τους στην ίδια ριπή, και άρα να εκπέμπουν μόνο μια ριπή ανά πλαίσιο. Ο αριθμός των ριπών ανά πλαίσιο ελαττώνεται, και η απόδοση του πλαισίου αυξάνεται.

### **Μετατροπή του ρυθμού μετάδοσης**

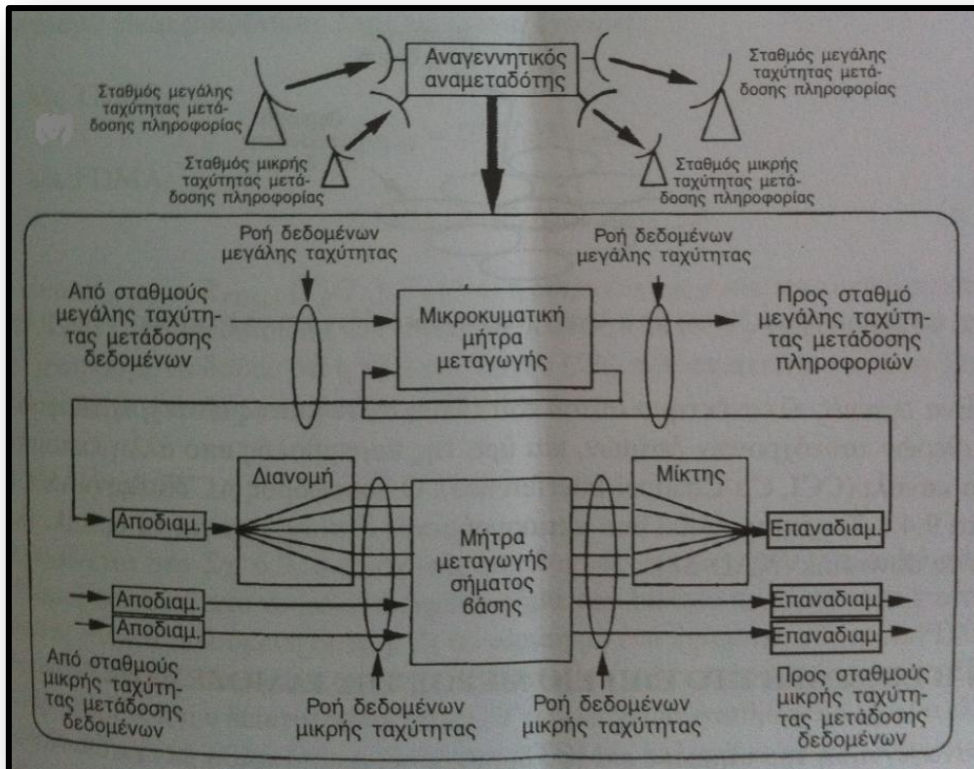
Με ένα διαφανή δορυφόρο, δεν είναι δυνατή η μετατροπή του ρυθμού μετάδοσης μεταξύ uplink και του downlink. Έτσι, οι σταθμοί μπορεί να διασυνδέονται μόνο μέσω φερόντων της ίδιας ικανότητας μεταφοράς πληροφορίας, και αυτό μπορεί να αποτελέσει περιορισμό. Για παράδειγμα, η διασύνδεση μεγάλων σταθμών που μεταφέρουν μεγάλους όγκους πληροφοριών και μικρών σταθμών (VSAT) με χαμηλής ταχύτητας μετάδοση πληροφορίας, υπονοεί μια επίγεια σύνδεση και μια διπλή διασύνδεση μέσω αναμεταδότη, όπως φαίνεται και στην εικόνα 4.17.



Εικόνα 4.17 Διασύνδεση δυο δικτύων με φέροντα διαφορετικών δυνατοτήτων μεταφοράς πληροφορίας. Περίπτωση διαφανούς δορυφόρου

Αντίθετα, μέσω της επεξεργασίας του σήματος επί του δορυφόρου, η μετάδοση πληροφοριών μεταξύ δικτύων με διαφορετικούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων μπορεί να μετάγεται στο επίπεδο του σήματος βάσης, και να συνδυάζεται πριν από την εκπομπή στα διάφορα downlink, ανάλογα με τον προορισμό τους και ανεξάρτητα από την ικανότητα μετάδοσης πληροφορίας του φέροντος (εικόνα 4.18).





Εικόνα 4.18 Διασύνδεση δυο δικτύων με φέροντα διαφορετικών δυνατοτήτων μεταφοράς πληροφορίας. Περίπτωση αναγεννητικού δορυφόρου.

Για να αποφευχθεί ο μεγάλος όγκος συσκευών και η μεγάλη κατανάλωση ισχύος, μόνο φέροντα με μεγάλες ταχύτητες μετάδοσης πληροφορίας που περιέχουν δεδομένα που προορίζονται για σταθμούς με μικρή ταχύτητα μετάδοσης δρομολογούνται μέσω ενός αποδιαμορφωτή μεγάλης ταχύτητας. Τα άλλα φέροντα μεγάλης ταχύτητας μεταγονται σε επίπεδο ραδιοσυχνότητας, και άρα δεν αποδιαμορφώνονται.

## Θ) Επαναλήπτης

### Οργάνωση του επαναλήπτη

Η οργάνωση του επαναλήπτη καθορίζεται από τη διαμόρφωση της επικοινωνιακής αποστολής και τους τεχνολογικούς περιορισμούς. Θα πρέπει να παρέχεται μεγάλη απολαβή ισχύος, μαζί με χαμηλή ενεργό

θερμοκρασία θορύβου εισόδου και υψηλής ισχύς εξόδου σε μεγάλη ζώνη συχνοτήτων. Θα πρέπει επίσης να γίνει και μετατροπή της συχνότητας των σημάτων.

### Ενίσχυση χαμηλού θορύβου και μετατροπή συχνότητας

Η μετατροπή συχνότητας μεταξύ των συνδέσεων από και προς τη Γη μας δίνει τη δυνατότητα να εξασφαλίσουμε την απόζευξη μεταξύ της εισόδου και της εξόδου του επαναλήπτη. Έτσι, μπορούμε να αποφύγουμε την εκ νέου εισαγωγή των σημάτων, που εκπέμπονται από την έξοδο, στην είσοδο του πομπού μέσω φιλτραρίσματος. Μπορούμε να θεωρήσουμε τη μετατροπή συχνότητας σαν την πρώτη επεξεργασία που επιτελείται στα φέροντα που φθάνουν από την κεραία. Ωστόσο, εκτός από μερικές περιπτώσεις, η διάταξη αυτή δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις θερμοκρασίας θορύβου του συστήματος, λόγω των υψηλών τιμών του θορύβου στους μίκτες. Ακόμη, είναι προτιμότερο να μοιράζουμε την απολαβή ισχύος μεταξύ δύο ενισχυτών, οι οποίοι λειτουργούν με διαφορετική συχνότητα εισόδου και εξόδου. Αυτό επηρεάζει τον κίνδυνο αστάθειας, που είναι εγγενής στους ενισχυτές υψηλής απολαβής, όταν όλα τα τμήματα τους λειτουργούν στην ίδια συχνότητα. Επομένως, ο επαναλήπτης αποτελείται αρχικά από έναν ενισχυτή χαμηλού θορύβου. Που παρέχει την απαιτούμενη ενεργή τιμή θερμοκρασίας θορύβου εισόδου, στη συχνότητα μετάδοσης προς τον δορυφόρο (up link). Μια απολαβή (20 μέχρι 40 dB) περιορίζει τη συμβολή του θορύβου του μίκτη, που συνοδεύει τον ενισχυτή. Έτσι, ένας μίκτης που συνδέεται με έναν τοπικό ταλαντωτή διεξάγει τη μετατροπή συχνότητας (εικόνα 4.19).

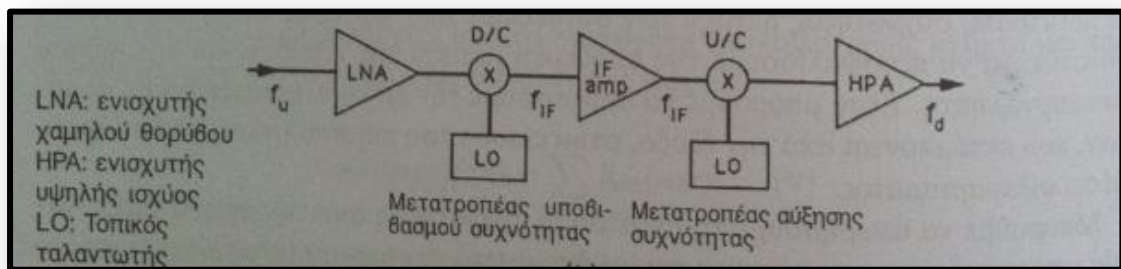


Εικόνα 4.19 Αρχιτεκτονική επαναλήπτη . Απλή μετατροπή συχνότητας.

Η θέση του μίκτη στην αλυσίδα καθορίζεται από το επίπεδο του σήματος, που πρόκειται να μετατραπεί, το οποίο χρειάζεται για να αντεπεξέλθει στην επίδραση των μη γραμμικών φαινομένων.

### Μετατροπή απλής και διπλής συχνότητας

Μετά από τη μετατροπή συχνότητας, και αφού υπολογίσουμε την απολαβή του ενισχυτή χαμηλού θορύβου και τις απώλειες μετατροπής του μίκτη, απομένει να αποδοθεί μια συγκεκριμένη ποσότητα απολαβής, για να μπορέσουμε να πάρουμε την απαιτούμενη ολική απολαβή ισχύος. Ανάλογα με τις ζώνες συχνοτήτων, κάποια τεχνολογικά ζητήματα μπορεί να δυσκολέψουν την επίτευξη υψηλής απολαβής ισχύος στη συχνότητα μετάδοσης προς τη Γη. Τότε εφαρμόζεται η μετατροπή διπλής συχνότητας (double frequency conversion), που χρησιμοποιεί μια ενδιάμεση συχνότητα μικρότερης τιμής, από τη συχνότητα μετάδοσης προς τη Γη (εικόνα 4.20).



Εικόνα 4.20 Αρχιτεκτονική επαναλήπτη . Διπλή μετατροπή συχνότητας.

Τα σήματα προς τον δορυφόρο μετατρέπονται πρώτα στην ενδιάμεση συχνότητα της τάξης μερικών gigahertz, όπου και ενισχύονται. Κατόπιν, ένα άλλο στάδιο μετατροπής της συχνότητας αυξάνει τη συχνότητα μετάδοσης προς τη Γη. Η διπλή μετατροπή συχνότητας χρησιμοποιήθηκε στους πρώτους δορυφόρους, που λειτουργούσαν στη ζώνη συχνοτήτων ku (14/12 GHz). Μπορεί να αποδειχθεί κατάλληλη και για δορυφόρους που λειτουργούν στη ζώνη συχνοτήτων Ka (30/20 GHz) και άνω.

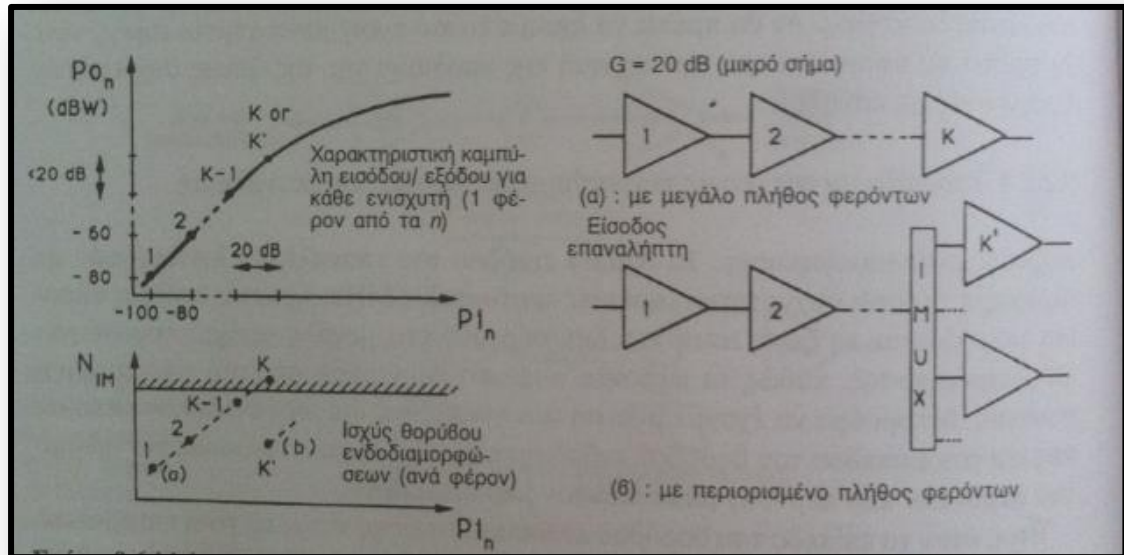
## **Ενίσχυση μετά από μετατροπή συχνότητας**

Μετά τη μετατροπή το σήμα ενισχύεται και άλλο. Το επίπεδο του σήματος αυξάνεται καθώς αυτό περνά τα στάδια ενίσχυσης του επαναλήπτη. Το επίπεδο του θορύβου ενδοδιαμόρφωσης είναι αμελητέο στα στάδια εισόδου, που λειτουργούν σε πολύ χαμηλό επίπεδο, και επομένως αυξάνει. Ανάλογα με την τεχνολογία που χρησιμοποιούμε, όπως χαρακτηρίζεται από τα σημεία τομής και συμπίεσης, το καθορισμένο μέγιστο επίπεδο ισχύος του θορύβου ενδοδιαμόρφωσης μπορεί να ξεπεραστεί, όταν το σήμα περάσει μέσα από συγκεκριμένο πλήθος σταδίων και φτάσει σε ένα δεδομένο επίπεδο ισχύος. Θα πρέπει να επιλέξουμε μια τεχνολογία με υψηλότερο σημείο τομής παραγωγού, που να δημιουργεί μικρότερο θόρυβο ενδοδιαμόρφωσης στο δεδομένο αυτό επίπεδο ισχύος. Αν θα πρέπει να έχουμε το πιο προηγμένο σημείο τομής, τότε θα πρέπει να εφαρμόσουμε την τεχνική της υποδιαίρεσης της ζώνης συχνοτήτων λειτουργίας σε κανάλια.

## **Υποδιαίρεση της ζώνης συχνοτήτων λειτουργίας του επαναλήπτη**

Θόρυβος ενδοδιαμόρφωσης. Τα στάδια εισόδου του επαναλήπτη λειτουργούν σε ολόκληρη τη ζώνη συχνοτήτων, αρκετές εκατοντάδες MHz. Αρκετές δεκάδες φέροντα μοιράζονται τη ζώνη αυτή και δημιουργούν ένα μεγάλο αριθμό παραγώγων ενδοδιαμόρφωσης, καθώς τα φέροντα αυτά περνούν μέσα από μια μη-γραμμική συσκευή. Μπορούμε να έχουμε μείωση των γινομένων διαμορφώσεων, και επομένως και του θορύβου ενδοδιαμόρφωσης, αν περιορίσουμε τον αριθμό των φερόντων που περνούν μέσα από τον ίδιο ενισχυτή. Έτσι, όταν το επίπεδο του θορύβου ενδοδιαμόρφωσης τείνει να γίνει υπερβολικό για ενίσχυση ευρείας ζώνης συχνοτήτων, η ζώνη συχνοτήτων του συστήματος διαιρείται σε αρκετές υπό-ζώνες, που ενισχύονται χωριστά. Υποδιαίρεση της ζώνης λειτουργίας σε κανάλια (Διαυλοποίηση). Σκοπός της υποδιαίρεσης της ζώνης λειτουργίας (channelization) του επαναλήπτη είναι να δημιουργεί κανάλια (υπό-ζώνες) με μικρό εύρος. Αφού ο αριθμός των φερόντων σε κάθε υπό-ζώνη συχνοτήτων είναι μικρότερος, ο θόρυβος ενδοδιαμορφώσεων, που δημιουργείται από το στάδιο ενίσχυσης, είναι πολύ μικρότερος από

εκείνον που θα δημιουργούνταν αν το στάδιο ενίσχυσης λειτουργούσε στο συνολικό εύρος ζώνης του συστήματος. Η εικόνα 4.21 παρουσιάζει τη σύγκριση των δύο.



Εικόνα 4.21 Μείωση του θορύβου ενδοδιαμόρφωσης μέσω της υποδιαίρεσης της ζώνης συχνοτήτων σε κανάλια

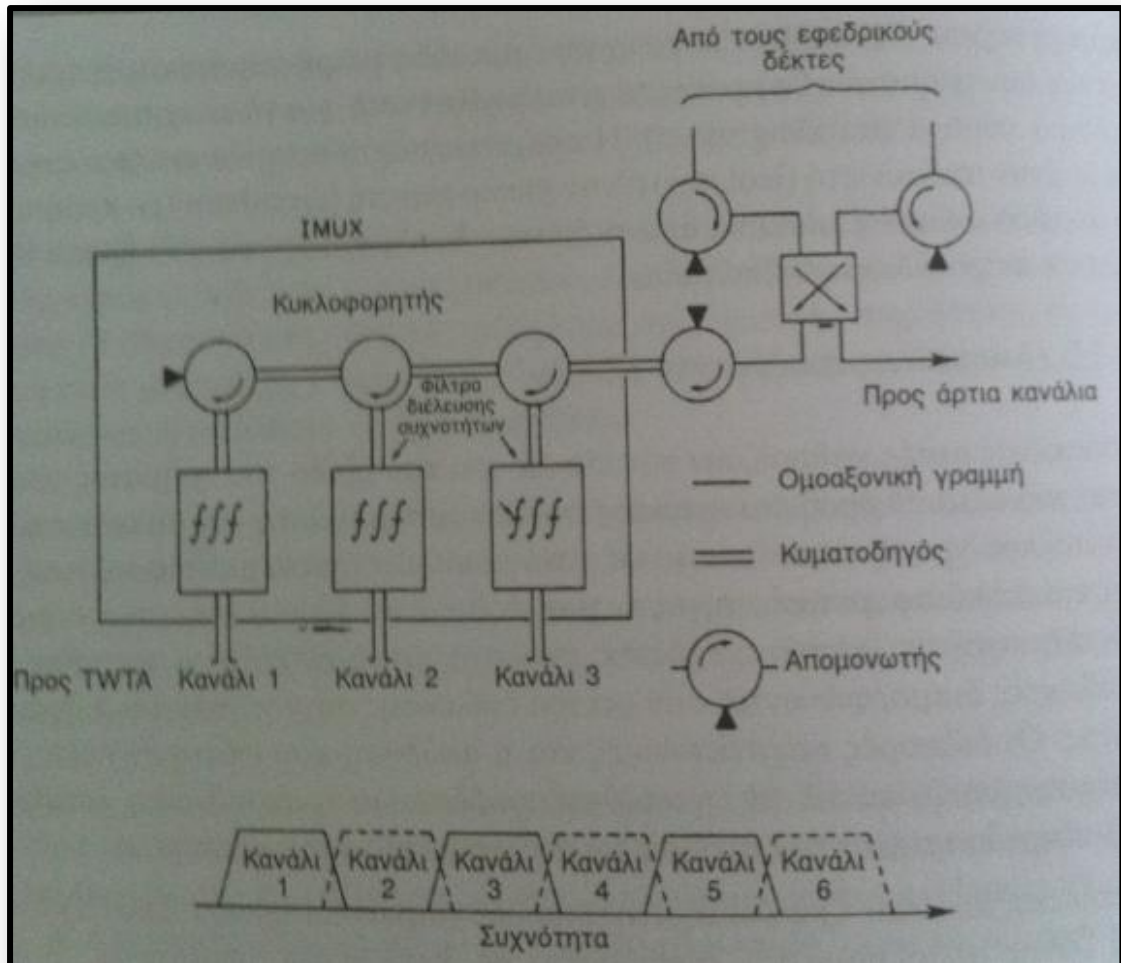
Η ενίσχυση των φερόντων συνεχίζεται μέσα στο κανάλι, μέχρι να φτάσει στο απαιτούμενο επίπεδο ισχύος. Η ισχύς του ενισχυτή διαμοιράζεται σε αρκετά φέροντα, τα οποία βρίσκονται στο κανάλι. Η μέγιστη ισχύς που διαθέτει ο διαθέσιμος εξοπλισμός, που έχει αναπτυχθεί για διαστημικές εφαρμογές, είναι περιορισμένη. Χωρίς την υποδιαίρεση σε κανάλια, αυτή η μέγιστη ισχύς θα έπρεπε να μοιραστεί σε όλα τα φέροντα του εύρους ζώνης του συστήματος. Με την υποδιαίρεση σε κανάλια, ένας περιορισμένος αριθμός φερόντων μοιράζονται τη μέγιστη ισχύ. Επομένως, η ισχύς που μπορεί να χρησιμοποιήσει κάθε φέρον είναι μεγαλύτερη. Τα πλεονεκτήματα της υποδιαίρεσης σε κανάλια είναι δύο:

1) Επιτρέπουν ενίσχυση της ισχύος με μια περιορισμένη αύξηση του θορύβου ενδοδιαμορφώσεων, λόγω του περιορισμένου αριθμού των φερόντων ανά ενισχυτή.

2) Αυξάνουν την ολική ισχύ του επαναλήπτη με τη δημιουργία αρκετών καναλιών, το καθένα από τα οποία επωφελείται από τη μέγιστη ισχύ, που διατίθεται από έναν μόνο ενισχυτή.

Καθώς η ζώνη διαιρείται σε παράλληλα κανάλια, εμφανίζεται παραμόρφωση, όταν ένα μέρος της ενέργειας του φέροντος τροφοδοτείται στα κανάλια που βρίσκονται γειτονικά του κανονικού, όπου και θα έπρεπε να περιέχεται το φάσμα των φερόντων. Αυτά τα φαινόμενα παρεμβολής γειτονικών καναλιών περιορίζονται μέσω μιας ζώνης ασφαλείας, που παρέχει αρκετό εύρος μεταξύ των καναλιών, και με τη χρήση φίλτρων, τα οποία περιορίζουν τα εύρη των καναλιών όσο το δυνατό πιο κοντά σε εκείνα των ιδανικών φίλτρων διέλευσης συχνοτήτων. Ο διαχωρισμός των καναλιών γίνεται από ένα σύνολο φίλτρων διέλευσης συχνοτήτων που ονομάζονται πολυπλέκτες εισόδου. Τα εύρη ζώνης των καναλιών κυμαίνονται από μερικές δεκάδες MHz μέχρι περίπου εκατό MHz. Οι διάφορες υπό-ζώνες συνδυάζονται ξανά στον πολυπλέκτη εξόδου, αφού ενισχυθεί κάθε κανάλι. Ο πολυπλέκτης εξόδου μπορεί να είναι του τύπου του γειτονικού καναλιού. Στα μη-γειτονικά κανάλια, τα διάφορα κανάλια που συνδυάζονται, μέσω ενός συγκεκριμένου πολυπλέκτη, διαχωρίζονται από μια μεγάλη ζώνη ασφαλείας, ίση, για παράδειγμα, με το εύρος ενός καναλιού. Επομένως, η απόδοση του πολυπλέκτη διευκολύνεται σε βάρος της αποδοτικής χρήσης της ζώνης ραδιοσυχνοτήτων. Για να χρησιμοποιήσουμε προς όφελός μας το εύρος ζώνης, το διαιρούμε σε εναλλασσόμενα άρτια και περιττά κανάλια με διαφορετικούς IMUX στην αρχή του τμήματος διοχέτευσης (εικόνα 4.22).





Εικόνα 4.22 Διάταξη ενός πολυπλέκτη εισόδου (IMUX)

Τα κανάλια κάθε ομάδας συνδυάζονται ξανά με έναν διαφορετικό ΟΜUX για κάθε κανάλι. Οι έξοδοι του ΟΜUX στην περίπτωση αυτή συνδέονται είτε με δύο διαφορετικές κεραίες εκπομπής, είτε με τις δύο εισόδους μιας κεραίας διπλής λειτουργίας, με τη βοήθεια ενός υβριδικού ζεύκτη. Ο πολυπλέκτης γειτονικών καναλιών επιτρέπει τον επανασυνδυασμό των γειτονικών καναλιών. Για καλή απόδοση (δηλαδή, στενή ζώνη ασφαλείας, μικρές απώλειες εισόδου και υψηλό επίπεδο απομόνωσης μεταξύ των καναλιών) τίθενται αυστηροί περιορισμοί στις χαρακτηριστικές καμπύλες των φίλτρων διέλευσης συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται, και έχουμε πολύ περίπλοκο σχεδιασμό και βελτίωση του πολυπλέκτη εισόδου.



## **Ενίσχυση καναλιού επαναλήπτη**

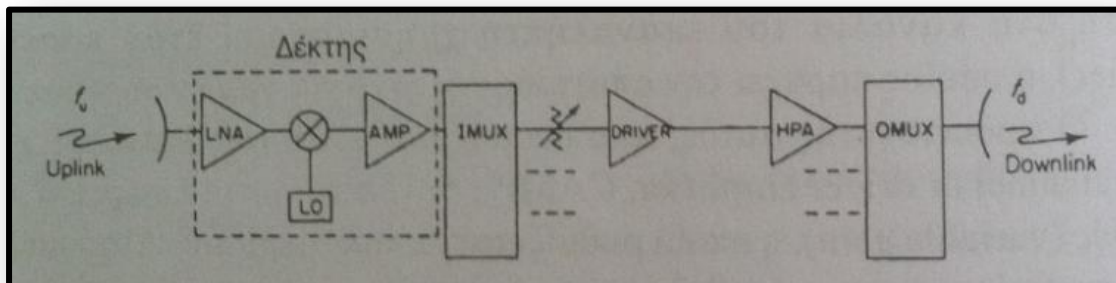
Η ενίσχυση στα κανάλια του επαναλήπτη χρησιμοποιεί έναν προενισχυτή (preamplifier), ο οποίος παρέχει την απαιτούμενη ισχύ για να λειτουργήσει το στάδιο εξόδου. Ο προενισχυτής αυτός, που ονομάζεται ενισχυτής καναλιού ή οδηγός ενίσχυσης, συνδέεται με μια συσκευή μεταβλητής απολαβής (variable gain), η οποία ρυθμίζεται με τηλεχειρισμό. Αυτό μας επιτρέπει να αντισταθμίσουμε τις μεταβολές της απολαβής του ενισχυτή ισχύος, κατά τη διάρκεια ζωής του δορυφόρου. Ο ενισχυτής υψηλής ισχύος (high power amplifier, HPA) παρέχει την ισχύ που προωθείται στις εισόδους του OMUX στην έξοδο κάθε καναλιού. Μπορούμε να περιορίσουμε τη μη-γραμμικότητα του καναλιού, αν συμπεριλάβουμε μια διάταξη γραμμικοποίησης σε μία από τις συσκευές ενίσχυσης.

## **Φιλτράρισμα εισόδου και εξόδου**

Στην είσοδο του επαναλήπτη, ένα φίλτρο διέλευσης συχνοτήτων περιορίζει το εύρος ζώνης του θορύβου και παρέχει υψηλή απόρριψη (rejection) των συχνοτήτων μετάδοσης προς τη Γη (downlink). Στην έξοδο, ένα φίλτρο διέλευσης συχνοτήτων εξαλείφει τις αρμονικές που δημιουργούνται από τα μη γραμμικά στοιχεία και απομονώνει ακόμη περισσότερο την είσοδο και την έξοδο του επαναλήπτη. Τα φίλτρα αυτά θα πρέπει να προκαλούν όσο το δυνατό μικρότερες απώλειες εισόδου στα ωφέλιμα σήματα. Οι υψηλές απώλειες φίλτρου εισόδου υποβαθμίζουν το δείκτη ποιότητας (G/T) του επαναλήπτη και οι απώλειες του φίλτρου εξόδου μειώνουν την ιστροπική ισχύ ακτινοβολίας (EIRP).

## Γενική οργάνωση

Η οργάνωση ενός επαναλήπτη με απλή μετατροπή συχνότητας, σύμφωνα με όσα σχολιάστηκαν ως τώρα, παρουσιάζονται στην εικόνα 4.23.



Εικόνα 4.23 Η οργάνωση ενός επαναλήπτη με μετατροπή μόνης συχνότητας

Το εξάρτημα που λειτουργεί σε ολόκληρο το εύρος ζώνης του συστήματος αποτελεί τον επωνομαζόμενο δέκτη (receiver). Ακολουθεί ο πολυπλέκτης εισόδου, που καθορίζει την αρχή του τμήματος διαυλοποίησης (channelization section), το κανάλι και τους ενισχυτές υψηλής ισχύος καθώς και τον πολυπλέκτη εξόδου. Όταν απαιτείται διπλής μετατροπής συχνότητας, η μετατροπή της συχνότητας μετάδοσης προς τον δορυφόρο διεξάγεται είτε στον δέκτη σε ολόκληρο το εύρος ζώνης του συστήματος με έναν μόνο μίκτη, είτε στο τμήμα υποδιαίρεσης σε κανάλια, όπου απαιτούνται τόσοι μίκτες, όσα είναι τα κανάλια. Στην πρώτη περίπτωση, όλο το τμήμα υποδιαίρεσης σε κανάλια λειτουργεί στη συχνότητα μετάδοσης προς τη Γη, και ο μίκτης λειτουργεί σε χαμηλό επίπεδο σε ολόκληρη τη ζώνη συχνοτήτων. Στη δεύτερη περίπτωση, διεξάγεται αποπολύπλεξη και ένα μέρος της ενίσχυσης του καναλιού, στην ενδιάμεση συχνότητα. Ωστόσο απαιτείται ένας μεγάλος αριθμός μικτών, που να λειτουργούν ταυτόχρονα.

### I) Ο Δέκτης

Ο δέκτης αποτελείται από έναν ενισχυτή στη συχνότητα μετάδοσης προς τον δορυφόρο (uplink frequency), ένα τμήμα μετατροπής συχνότητας και ενίσχυσης μετά από τη μετατροπή. Τα στοιχεία αυτά γενικά συσκευάζονται μαζί, χρησιμοποιώντας έναν σχεδιασμό με υπομονάδες

που συνδέονται μεταξύ τους. Ο ενισχυτής εισόδου. Ο ενισχυτής στην συχνότητα μετάδοσης προς τον δορυφόρο είναι το βασικό στοιχείο, το οποίο καθορίζει το δείκτη ποιότητας G/T του αναμεταδότη (transponder). Έτσι, ο ενισχυτής αυτός θα πρέπει να έχει χαμηλή θερμοκρασία θορύβου και υψηλή απολαβή, για να παρεμποδίσει την επίδραση του θορύβου στα τμήματα που ακολουθούν. Οι πρώτοι δορυφόροι χρησιμοποιούσαν ενισχυτές διόδων σήραγγας. Κατόπιν, χρησιμοποιήθηκαν παραμετρικοί ενισχυτές. Η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στην ανάκλαση του σήματος πάνω σε μια αρνητική αντίσταση. Το τμήμα μετατροπής της συχνότητας. Το τμήμα μετατροπής της συχνότητας αποτελείται από ένα μίκτη, έναν τοπικό ταλαντωτή και φίλτρα. Η συχνότητα του τοπικού ταλαντωτή είναι η διαφορά μεταξύ της κεντρικής συχνότητας της ζώνης μετάδοσης προς τη Γη. Στη ζώνη C, είναι της τάξης των 2.2 GHz. Στη ζώνη Ku είναι, της τάξης των 1.5, 2.58, ή 3.8 GHz, ανάλογα με τη ζώνη συχνοτήτων που χρησιμοποιείται στη μετάδοση προς τη Γη για μετάδοση προς τον δορυφόρο στη ζώνη των 14.5 GHz.

Οι βασικές παράμετροι είναι :

- 1) Η απώλεια μετατροπής, δηλαδή ο λόγος της ισχύος εισόδου ( σε συχνότητα μετάδοσης προς τον δορυφόρο) προς την ισχύ εξόδου και η τιμή θορύβου.
- 2) Η σταθερότητα της συχνότητας που δημιουργεί ο τοπικός ταλαντωτής. Η σταθερότητα εκφράζεται μακροπρόθεσμα για όλη τη διάρκεια ζωής του δορυφόρου και βραχυπρόθεσμα στα καθορισμένα πλαίσια της θερμοκρασίας.
- 3) Το πλάτος των ανεπιθύμητων σημάτων – υπολειμματικά σήματα εισόδου και εξόδου στη συχνότητα του ταλαντωτή και των αρμονικών του, ψευδή σήματα εισόδου σε συχνότητες κοντά σε εκείνη του κυρίως σήματος.

Συνήθως, ο μίκτης είναι διπλά ισοσταθμισμένος και χρησιμοποιεί διόδους Schottky. Η συχνότητα του τοπικού ταλαντωτή παράγεται από ένα συνθέτη συχνότητας που βασίζεται σε βρόγχο κλειδώσης-φάσης. Η συχνότητα δημιουργείται από έναν ταλαντωτή ελεγχόμενο από τάση, ο οποίος είναι σταθεροποιημένος μέσω συχνότητας αναφοράς κρυστάλλου quartz, που μπορεί να σταθεροποιηθεί ως προς τη θερμοκρασία, ή να

διαθέτει ένα κύκλωμα μικρορύθμισης για να μπορούμε να ρυθμίσουμε τη συχνότητα με τηλεχειρισμό.

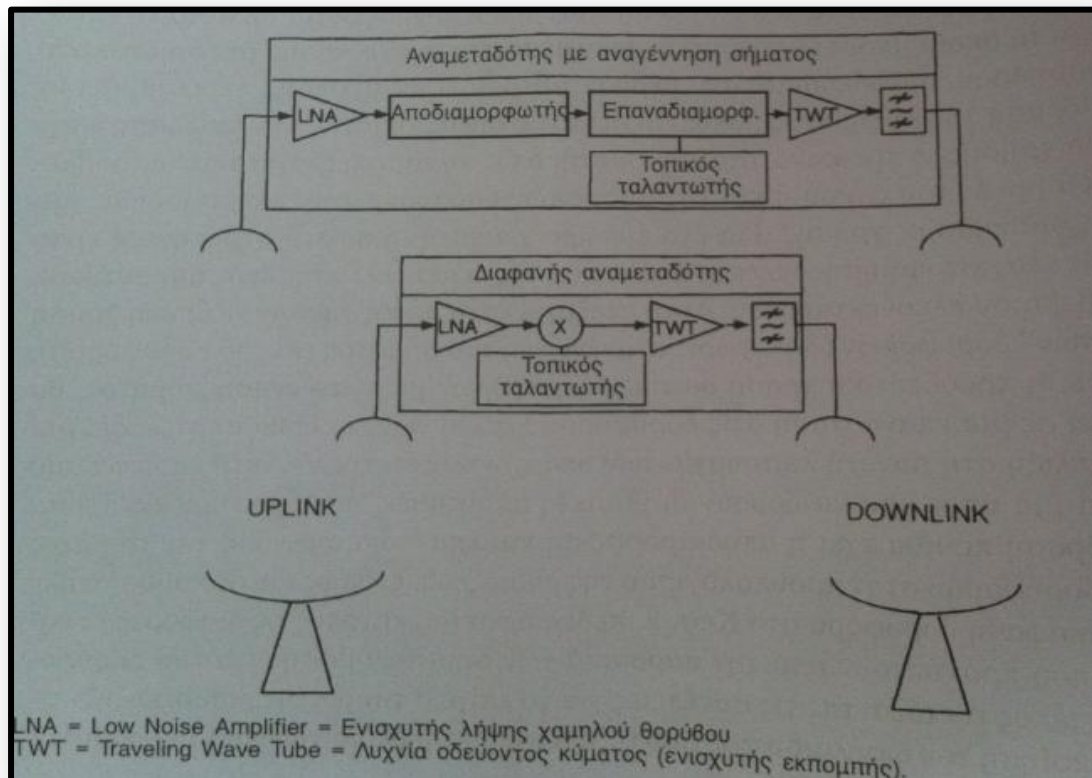
Ενίσχυση μετά από μετατροπή συχνότητας. Η ενίσχυση μετά από τη μετατροπή παρέχει απολαβή, η οποία συμπληρώνει εκείνη που δημιουργείται πριν το τμήμα υποδιαιρεθεί σε κανάλια. Αυτός ο ενισχυτής με τα πολλά τμήματα μπορεί να συμπεριλαμβάνει μια συσκευή για τον έλεγχο απολαβής με τηλεχειρισμό. Στα τμήματα αυτά το βασικό χαρακτηριστικό που απαιτείται είναι η πολύ υψηλή γραμμικότητα. Τα συγκεκριμένα τμήματα λειτουργούν σε μεγάλο εύρος ζώνης και επομένως με ένα μεγάλο πλήθος φερόντων σημάτων, των οποίων τα επίπεδα μπορεί να είναι αρκετά ώστε να προκαλέσουν μη γραμμικά φαινόμενα. Συνήθως, το επίπεδο των παραγώγων ενδοδιαμόρφωσης τρίτου βαθμού θα πρέπει να διατηρηθεί μικρότερο από εκείνο του φέροντος κατά περισσότερο από 40 db. Η ολική απολαβή του δέκτη είναι της τάξης των 60-75db. Η απολαβή θα πρέπει να είναι σταθερή ως προς τη συχνότητα πάνω από το ωφέλιμο εύρος ζώνης, για να αποφύγουμε την παραμόρφωση, λόγω της μη γραμμικότητας των τμημάτων εξόδου του πομπού. Συνήθως η κυμάτωση (ripple) δεν θα πρέπει να υπερβαίνει τα 0.5 db σε περιοχή εύρους 500 MHz. Για να έχουμε μια τόσο μικρή κυμάτωση, η προσαρμογή μεταξύ των τμημάτων θα πρέπει να είναι σχολαστική, για να ελαχιστοποιήσουμε τα στάσιμα κύματα. Η ελαχιστοποίηση αυτή διευκολύνεται αν εισάγουμε έναν απομονωτή ανάμεσα σε κάθε δύο τμήματα. Αυτός απορροφά τα κύματα που ανακλώνται στην ενδιάμεση βαθμίδα.

## **K) Ο ενισχυτής καναλιού (CAMP)**

Η ισχύς εξόδου του δέκτη θα πρέπει να διατηρείται μέγιστη, για να παραμένει σε αποδεκτά όρια ο θόρυβος ενδοδιαμόρφωσης που οφείλεται στις μη γραμμικές χαρακτηριστικές καμπύλες του δέκτη. Έτσι, οι απώλειες του πολυπλέκτη εισόδου καθορίζουν το επίπεδο του σήματος που διατίθεται στην είσοδο του καναλιού. Γενικά, το επίπεδο αυτό δεν είναι αρκετό για να οδηγήσει τον ενισχυτή υψηλής ισχύος στην έξοδο του καναλιού. Ο ενισχυτής του καναλιού παρέχει την απαιτούμενη απολαβή ισχύος, που είναι συνήθως της τάξης των 20 μέχρι 50 db. Απαιτείται πολύ καλή γραμμικότητα, παρά το περιορισμένο πλήθος των φερόντων σε ένα κανάλι, για να αποφύγουμε υπερβολική αύξηση του θορύβου ενδοδιαμόρφωσης του συστήματος. Η χρήση μονολιθικών, μικροκυματικών ολοκληρωμένων κυκλωμάτων μας επιτρέπει να δημιουργήσουμε συμπαγείς και ελαφρούς ενισχυτές. Ο ενισχυτής συνδέεται συχνά με έναν εξασθενητή, που ρυθμίζει την απολαβή από 0 έως αρκετά db με βήμα 10 db. Ο εξασθενητής αυτός, που ελέγχεται μέσω των συνδέσεων τηλεχειρισμού (TCC) του ωφέλιμου φορτίου, υλοποιείται συνήθως με διόδους PIN, των οποίων η πόλωση ρυθμίζεται για να μεταβάλλεται η αγωγιμότητα τους. Ακόμη, μπορεί να συνδέεται με μία διάταξη γραμμικοποίησης, που αντισταθμίζει τα μη χαρακτηριστικά πλάτους και φάσης της εξόδου. Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε αρκετές τεχνικές γραμμικοποίησης. Η καταλληλότερη, ωστόσο, φαίνεται να είναι η τεχνική προ-παραμόρφωσης, κατά την οποία το σήμα περνά μέσα από ένα κύκλωμα με συνάρτηση μεταφοράς αντίθετη από εκείνη της συσκευής που υφίσταται γραμμικοποίηση.

## Λ) Αναγεννητικός επαναλήπτης

Η εικόνα 4.24 παρουσιάζει τις σημαντικότερες λειτουργίες ενός αναγεννητικού επαναλήπτη (regenerative repeater).



Εικόνα 4.24 Η οργάνωση ενός αναμεταδότη με αναγέννηση σήματος, και ενός διαφανή αναμεταδότη

Βασικά, ένας αναγεννητικός επαναλήπτης αποδιαμορφώνει και επαναδιαμορφώνει το φέρον από τα σήματα της ζώνης χαμηλών συχνοτήτων πριν τη μετάδοση στη συχνότητα εκπομπής από τον δορυφόρο. Ακόμη, η διαθεσιμότητα των σημάτων της ζώνης χαμηλών συχνοτήτων μας επιτρέπει να διεξάγουμε συγκεκριμένες επεξεργασίες. Προς το παρόν δύο εφαρμογές είναι προφανείς:

1) Συστήματα δορυφόρων για σταθερούς σταθμούς με μεταγωγή της ραδιοζεύξης στη ζώνη χαμηλών συχνοτήτων, χρησιμοποιώντας πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης χρόνου. Το πλεονέκτημα ενός αναγεννητικού δορυφόρου είναι η δυνατότητα να αλληλοσυνδέσουμε δίκτυα με διαφορετικούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων.

2) Συστήματα δορυφόρων για επικοινωνία μέσω κινητών τηλεφώνων με πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου στις μεταδόσεις από τον δορυφόρο και σε εκείνες προς αυτόν με απλό κανάλι ανά φέρον, που έχουν πρόσβαση στον δορυφόρο χρησιμοποιώντας πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης συχνότητας. Χρησιμοποιώντας αναγεννητικούς δορυφόρους, μπορούμε να μειώσουμε την απαιτούμενη EIRP για τους κινητούς σταθμούς και να θέσουμε τον επαναλήπτη του δορυφόρου σε λειτουργία κοντά στο σημείο κόρου.

### Εξαρτήματα των αναγεννητικών επαναληπτών

Ένας αναγεννητικός επαναλήπτης περιέχει διάφορες μονάδες από τις οποίες μερικές, όπως οι ενισχυτές χαμηλού θορύβου, οι μίκτες, οι ενισχυτές ενδιάμεσης συχνότητας, οι ενισχυτές ισχύος και τα φίλτρα ραδιοσυχνότητας, μοιάζουν με εκείνα ενός συμβατικού αναμεταδότη. Τα εξαρτήματα που αφορούν αποκλειστικά σε έναν αναγεννητικό δορυφόρο είναι εξαρτήματα επεξεργασίας σήματος ζώνης χαμηλών συχνοτήτων. Τα σήματα που μεταδίδει ένας αναγεννητικός αναμεταδότης είναι ψηφιακά. Επομένως, τα ειδικά αυτά εξαρτήματα έχουν σχεδιαστεί να επεξεργάζονται ψηφιακά σήματα.

### **M) Δορυφορική κεραία**

#### Λειτουργίες και χαρακτηριστικά της κεραίας

Οι βασικές λειτουργίες μιας κεραίας δορυφόρου είναι οι εξής:

- 1) Να συλλέγει τα ραδιοκύματα που εκπέμπονται, σε δεδομένη ζώνη συχνοτήτων και με δεδομένη πόλωση, από τους επίγειους σταθμούς μέσα σε μια συγκεκριμένη περιοχή πάνω στην επιφάνεια της Γης.
- 2) Να συλλαμβάνει όσο το δυνατόν λιγότερα ανεπιθύμητα σήματα. Αυτά δεν καλύπτουν τα χαρακτηριστικά που προαναφέραμε.
- 3) Να εκπέμπει ραδιοκύματα, σε συγκεκριμένη ζώνη συχνοτήτων και με δεδομένη πόλωση, σε μια συγκεκριμένη περιοχή πάνω στην επιφάνεια της γης.
- 4) Να εκπέμπει ελάχιστη ισχύ εκτός της συγκεκριμένης ζεύξης.”<sup>11</sup>

<sup>11</sup> Δορυφορικές Επικοινωνίες Παναγιώτης Γ.Κωττής Χρήστος Ν.Καυάλης 2<sup>η</sup> έκδοση εκδόσεις Τζιόλα  
Δορυφορικές Επικοινωνίες Α. Καρατζής, Γ. Τζανιδάκης, Χρονολογία Εκδόσεως: 1988

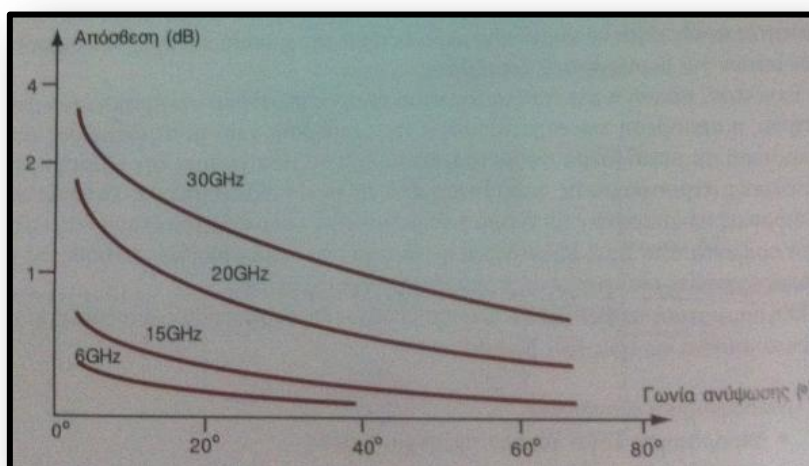


## Κεφάλαιο 5

### Επίδραση του μέσου διάδοσης στα δορυφορικά σήματα

“Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα κατά την μετάδοσή τους μέσω της ατμόσφαιρας, εκτός από την απόσβεση λόγω διάδοσης υφίστανται και άλλες επιπτώσεις όπως απορρόφηση, διάθλαση και αποπόλωση. Το μέγεθος της επίδρασης των φαινομένων αυτών στην ποιότητα των δορυφορικών μεταδόσεων εξαρτάται από το μήκος της διαδρομής του σήματος μέσω της ατμόσφαιρας και αποτελεί καθοριστικό παράγοντα όταν η δορυφορική ζεύξη πραγματοποιείται υπό μικρή γωνία ανύψωσης. Η απορρόφηση προκαλείται κυρίως από τα χαμηλότερα στρώματα της ατμόσφαιρας. Η διάθλαση προκαλείται από τα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, ενώ το φαινόμενο της αποπόλωσης προκαλείται όταν το ηλεκτρομαγνητικό κύμα διέρχεται μέσα από την ιονόσφαιρα ή όταν συμβαίνουν βροχοπτώσεις. Η ατμόσφαιρα παρουσιάζει ένα αριθμό παραθύρων στο ραδιοφάσμα, όπου η απόσβεση των ραδιοκυμάτων είναι μικρή. Οι δορυφορικές μεταδόσεις δεν επηρεάζονται από ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις (βροχή, χιονοπτώσεις κ.λπ.) σε συχνότητες χαμηλότερες των 10GHz. Το φαινόμενο της απορρόφησης από την ατμόσφαιρα προκαλείται κυρίως λόγω του οξυγόνου και των υδρατμών. Το οξυγόνο παρουσιάζει μια στενή φασματική περιοχή απορρόφησης στα 118.74GHz και άλλες παρόμοιες περιοχές απορρόφησης μεταξύ 50 και 70GHz. Αντίστοιχα, οι υδρατμοί παρουσιάζουν τρεις στενές περιοχές στα 22.5GHz, στα 183.3GHz και στα 323.8GHz. Η σημαντική αύξηση της απόσβεσης που παρουσιάζεται στις συχνότητες αυτές είναι το κυριότερο μειονέκτημα της χρησιμοποίησης των συχνοτήτων αυτών για δορυφορικές μεταδόσεις. Επιπλέον, επειδή η πυκνότητα της ατμόσφαιρας μειώνεται σε συνάρτηση με το υψόμετρο, η απόσβεση του σήματος λόγω της μετάδοσης του της ατμόσφαιρας είναι μικρότερη σε μεγαλύτερα υψόμετρα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την εξάρτηση της συνολικής ατμοσφαιρικής απόσβεσης από τη γωνία ανύψωσης. Οι κατακόρυφες μεταδόσεις υπερτερούν σημαντικά των μεταδόσεων που πραγματοποιούνται κοντά στον ορίζοντα. Στην εικόνα 5.1 φαίνεται η

εξάρτηση της ατμοσφαιρικής απόσβεσης για διάφορες γωνίες ανύψωσης ως συνάρτηση της συχνότητας.



Εικόνα 5.1 Απόσβεση λόγω διάδοσης μέσω της ατμόσφαιρας

### Επίδραση της βροχόπτωσης

Η σοβαρότερη ατμοσφαιρική επίπτωση στις δορυφορικές μεταδόσεις παρατηρείται όταν υπάρχει βροχόπτωση κατά μήκος της ζεύξης. Οι σταγόνες της βροχής σκεδάζουν και απορροφούν την προσπίπτουσα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία προκαλώντας απόσβεση. Η καλή λειτουργία του δορυφορικού συστήματος και κατά τη διάρκεια βροχοπτώσεων απαιτεί την εκπομπή σημαντικά μεγαλύτερης ισχύος ή τη λήψη κατάλληλων αντιμέτρων, ώστε να αντισταθμισθεί η σημαντική πρόσθετη απόσβεση που προκαλεί η βροχόπτωση. Κατά συνέπεια, είναι αναγκαία η γνώση της τιμής της πρόσθετης απόσβεσης για τη σωστή σχεδίαση των δορυφορικών συστημάτων επικοινωνιών. Η εξασθένηση λόγω βροχής εξαρτάται από τη συχνότητα λειτουργίας, το ύψος βροχόπτωσης και το μήκος της διαδρομής του ραδιοκύματος υπό βροχή. Η μαθηματική περιγραφή της ειδικής απόσβεσης λόγω βροχόπτωσης  $A$ , γίνεται μέσω της σχέσης

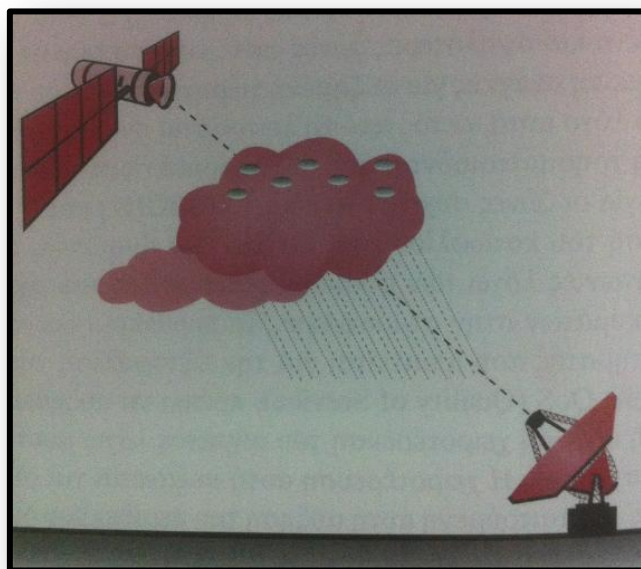
$$A = \alpha * r^2$$

όπου  $r$  είναι το ύψος βροχόπτωσης και  $\alpha$  είναι παράμετρος του προτύπου που υπολογίζεται ώστε η συνάρτηση  $A$  να προσεγγίζει με τη μέθοδο

ελαχίστων τετραγώνων τα εμπειρικά δεδομένα βροχόπτωσης που προέρχονται από μετρήσεις στην περιοχή του επίγειου σταθμού.

### Εξασθένηση λόγω ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων

Κατά τη μετάδοση μέσω βροχής ή χιονόπτωσης, τα ραδιοκύματα υφίστανται εξασθένηση λόγω υδρομετεωρικής σκέδασης και απορρόφησης όπως φαίνεται και στην εικόνα 5.2.



Εικόνα 5.2 Ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις σε δορυφορική ζεύξη

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

### **Απόσβεση από αέρια 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. 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.

### **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.

### **Αύξηση της θερμοκρασίας θορύβου**

Οι ίδιοι λόγοι που συμβάλλουν στην αύξηση της εξασθένησης του δορυφορικού σήματος 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.

### **Τροποσφαιρικοί σπινθηρισμοί**

Οι μεταβολές του δείκτη διάθλασης της τροπόσφαιρας οδηγούν σε διακυμάνσεις στην στάθμη 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.

### **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.

### **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 παρεμβάλλοντος  $CIR_{cs}$  (Carrier to Interference Ratio). Υπό συνθήκες βροχόπτωσης, ενδεχόμενη διαφορική απόσβεση λόγω βροχής επιβαρύνει τη δορυφορική ζεύξη όταν το επιθυμητό σήμα υφίσταται μεγαλύτερη απόσβεση σε σχέση με αυτήν που υφίσταται το ανεπιθύμητο σήμα από ένα γειτονικό δορυφόρο.

### **Εξασθένηση από αμμοθύελλες**

Η ειδική εξασθένηση (db/km) είναι αντιστρόφως ανάλογη με την ορατότητα, και εξαρτάται έντονα από την υγρασία των σωματιδίων της άμμου. Στα 14 GHz είναι της τάξης των 0.03 db/km για ξηρά σωματίδια

και 0.65 db/km για σωματίδια με περίπου 20% υγρασία. Αν το μήκος διαδρομής εντός αμμοθύελλας είναι 3 km, η εξασθένηση μπορεί να φθάσει τα 1 μέχρι 2 db.

### **Σπινθηρισμός**

Ο σπινθηρισμός είναι διακυμάνσεις του πλάτους του λαμβανόμενου φέροντος που προκαλούνται από διακυμάνσεις του δείκτη διάθλασης της τροπόσφαιρας και της ιονόσφαιρας. Το από κορυφή πλάτος αυτών των διακυμάνσεων, σε συχνότητα 11 GHz και μέτρια γεωγραφικά πλάτη, μπορεί να υπερβεί το 1 db για ποσοστό 0.01 % του χρόνου. Η τροπόσφαιρα και η ιονόσφαιρα έχουν διαφορετικούς δείκτες διάθλασης. Ο δείκτης διάθλασης της τροπόσφαιρας ελαττώνεται όταν αυξάνεται το ύψος, είναι συνάρτηση των μετεωρολογικών συνθηκών και είναι ανεξάρτητος από τη συχνότητα. Ο δείκτης διάθλασης της ιονόσφαιρας εξαρτάται από τη συχνότητα και τη συγκέντρωση ηλεκτρονίων στην ιονόσφαιρα. Και οι δυο δείκτες υπόκεινται σε γρήγορες τοπικές μεταβολές. Η διάθλαση προκαλεί καμπυλότητα στην πορεία του κύματος, διακυμάνσεις της ταχύτητας του κύματος και άρα του χρόνου μετάδοσης. Ο πιο ενοχλητικός σπινθηρισμός είναι ο ατμοσφαιρικός σπινθηρισμός. Είναι εντονότερος όταν η συχνότητα είναι μικρή, και ο επίγειος σταθμός βρίσκεται κοντά στον ισημερινό.

### **Επίδραση του εδάφους-φαινόμενα πολλαπλών διαδρομών**

Όταν η κεραία του επίγειου σταθμού είναι μικρή, και άρα έχει μια δέσμη με μεγάλο εύρος δέσμης, το λαμβανόμενο φέρον κύμα μπορεί να είναι το άθροισμα ενός κύματος το οποίο λαμβάνεται απευθείας και ενός κύματος ισοδύναμου πλάτους το οποίο λαμβάνεται μετά από ανάκλαση στο έδαφος ή σε αντικείμενα του περιβάλλοντος χώρου. Στην περίπτωση αθροίσματος με αντίθεση φάσης, παρατηρείται μεγάλη εξασθένηση. Αυτό το φαινόμενο δεν παρατηρείται, όταν ο επίγειος σταθμός είναι εξοπλισμένος με μια κεραία που διαθέτει αρκετή κατευθυντικότητα, ώστε να αποκλείεται το κύμα από ανάκλαση.

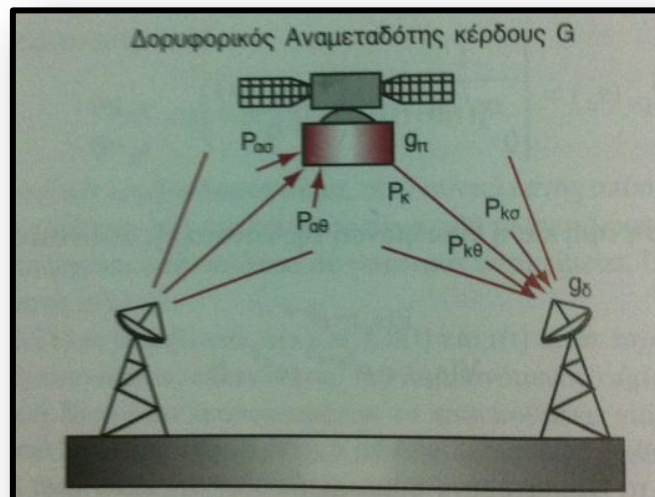
### **Συμπεράσματα**

Σε μικρές συχνότητες (κάτω από 10GHz), η εξασθένηση  $L_A$  είναι γενικά μικρή, και η κύρια αιτία υποβάθμισης της ραδιοζεύξης είναι η

ασυμφωνία πόλωσης. Αυτή προκαλείται από την ιονόσφαιρα και από την παρουσία παγοκρυστάλλων σε μεγάλο ύψος στην τροπόσφαιρα. Σε μεγαλύτερες συχνότητες, παρατηρούνται τόσο τα φαινόμενα της εξασθένησης όσο και της ασυμφωνίας πόλωσης. Αυτά προκαλούνται κατά κύριο λόγο από τα ατμοσφαιρικά αέρια, από τις βροχοπτώσεις και από άλλα υδρομετέωρα. Στατιστικά, αυτά τα φαινόμενα γίνονται εντονότερα, όταν εξετάζεται ένα μικρό ποσοστό χρόνου. Η διαθεσιμότητα της ραδιοζεύξης αυξάνεται όταν μπορούν να αντισταθμιστούν αυτά τα φαινόμενα.

### Σηματοθρομβική ανάλυση δορυφορικών ζεύξεων

Η ζεύξη μεταξύ δύο επίγειων σταθμών μέσω δορυφόρου χωρίζεται σε δύο τμήματα, την άνω ζεύξη μεταξύ του επίγειου σταθμού ως πομπού και του δορυφόρου ως δέκτη και την προς τα κάτω ζεύξη μεταξύ του δορυφόρου ως πομπού και του επίγειου σταθμού ως δέκτη. Στην εικόνα 5.3 φαίνεται το απλοποιημένο διάγραμμα μιας δορυφορικής ζεύξης δύο επίγειων σταθμών μέσω δορυφόρου.



Εικόνα 5.3 Απλοποιημένο διάγραμμα δορυφορικής ζεύξης

Η απαραίτητη στάθμη ισχύος για τη μετάδοση του σήματος από το δορυφορικό αναμεταδότη στον επίγειο σταθμό επιτυγχάνεται με



μικροκυματικούς ενισχυτές μέτριας ισχύος εκπομπής, όπως λυχνίες οδεύοντος κύματος (TWTA). Από την άλλη πλευρά, επειδή ο ενισχυτής ισχύος και η κεραία του επίγειου σταθμού βρίσκονται στο έδαφος, το βάρος ή οι διαστάσεις τους δεν αποτελούν περιοριστικό παράγοντα, οπότε είναι δυνατή η επίτευξη υψηλών τιμών ισχύος εκπομπής και κατευθυντικού κέρδους των κεραιών. Η μείωση του εύρους δέσμης, που είναι απαραίτητη προκειμένου να αποφεύγονται παρενοχλήσεις δορυφόρων που βρίσκονται σε μικρή γωνιακή απόσταση από τον επιθυμητό, δεν είναι δυνατό να γίνεται με αβεβαιότητα. Συνεπώς, για την κεραία του επίγειου σταθμού απαιτείται συνήθως ένα εύρος μισής ισχύος της τάξης των 0. 6°, ώστε να αποφεύγονται προβλήματα αποπροσανατολισμού. Η γωνιακή απόσταση δύο γειτονικών δορυφόρων πρέπει να μην υπολείπεται των 2° περίπου, ώστε το σήμα που λαμβάνεται από γειτονικούς δορυφόρους να είναι τουλάχιστον κατά 20db μειωμένο σε σχέση με τη μέγιστη τιμή του. Στο δορυφόρο, η πρωτεύουσα λειτουργία είναι να μετατραπεί το σήμα της άνω ζεύξης και να εκπεμφθεί ενισχυμένο και μετατοπισμένο κατά συχνότητα.”<sup>12</sup>

---

<sup>12</sup> <http://lyk-vatheos.eyv.sch.gr/Ergasies/2006-2007/Tep/Doryforoi.htm>

<http://techteam.gr/forum/topic/12042-Ti-einai-doryforos;-/>

<http://techteam.gr/forum/topic/44012-Thlepikoinoniakoi-doryforoi--/>

[http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A4%CE%B7%CE%BB%CE%B5%CF%80%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CE%B9%CE%BD%CF%89%CE%BD%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CF%8C%CF%82\\_%CE%B4%CE%BF%CF%81%CF%85%CF%86%CF%8C%CF%81%CE%BF%CF%82](http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A4%CE%B7%CE%BB%CE%B5%CF%80%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CE%B9%CE%BD%CF%89%CE%BD%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CF%8C%CF%82_%CE%B4%CE%BF%CF%81%CF%85%CF%86%CF%8C%CF%81%CE%BF%CF%82)

<http://www.pireas.gr/%CE%B4%CE%BF%CF%81%CF%85%CF%86%CE%BF%CF%81%CE%BF%CF%83>

## Κεφάλαιο 6

### Διαμόρφωση ψηφιακών σημάτων

“Τα σύγχρονα συστήματα δορυφορικών επικοινωνιών σε πολύ μεγάλο ποσοστό διαχειρίζονται ψηφιακής μορφής σήματα, δηλαδή σήματα που απαρτίζονται από ακολουθίες δυαδικών ψηφίων. Στο τμήμα εκπομπής ενός επίγειου σταθμού, η ακολουθία των ψηφίων πληροφορίας διαμορφώνει το υψίσυχνο φέρον της προς τα άνω ζεύξης. Στο τμήμα λήψης του επίγειου σταθμού γίνεται η αποδιαμόρφωση του σήματος της κάτω ζεύξης με στόχο την αξιόπιστη αναπαραγωγή της αρχικής ακολουθίας ψηφίων πληροφορίας. Ενώ στις αναλογικές επικοινωνίες στόχος του τηλεπικοινωνιακού συστήματος είναι η πιστή αναπαραγωγή του αναλογικού σήματος, στις ψηφιακές επικοινωνίες ο στόχος είναι η ορθή απόφαση για τα ψηφία πληροφορίας από τα οποία αποτελείται το ψηφιακό σήμα. Η διαφοροποίηση αυτή ως προς το στόχο διευκολύνει τη λειτουργία του συστήματος λήψης και αυξάνει σημαντικά την αξιοπιστία ενός ψηφιακού συστήματος επικοινωνιών σε σχέση με ένα αντίστοιχο αναλογικό σύστημα.

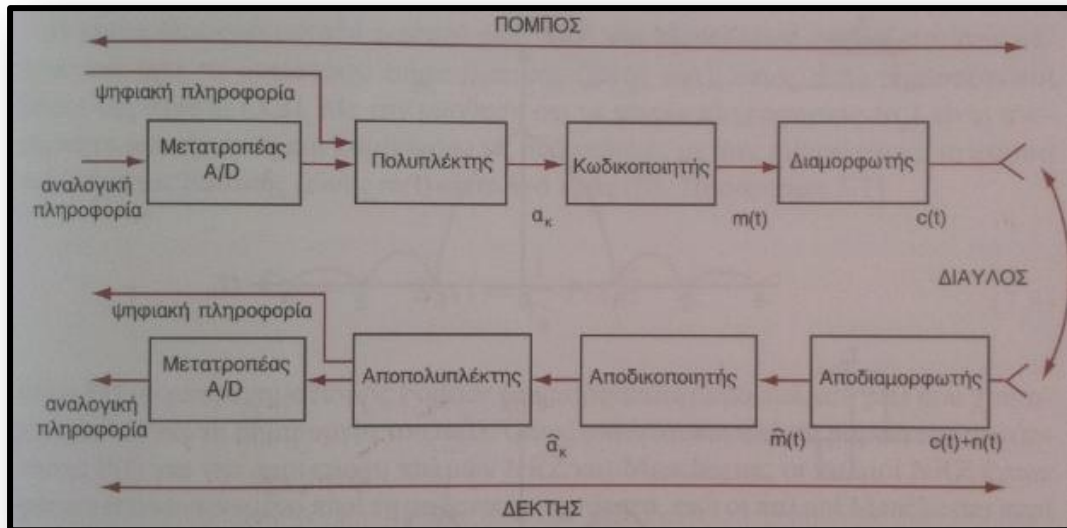
Τα σημαντικά πλεονεκτήματα που προσφέρουν οι ψηφιακές επικοινωνίες είναι :

- 1) Υψηλή αξιοπιστία, ευστάθεια και προσαρμοστικότητα στη διαρκή εξέλιξη της τεχνολογίας ολοκληρωμένων κυκλωμάτων.
- 2) Αποθήκευση και αναχρησιμοποίηση των ψηφιακών σημάτων με αξιοπιστία και ταχύτητα ώστε να αίρονται οι δυσαρμονίες μεταξύ διαφορετικών συστημάτων.
- 3) Ελάττωση της δυσμενούς επίδρασης του θορύβου με χρήση επαναληπτών.
- 4) Ευελιξία στην ικανοποίηση των προδιαγραφών μιας ζεύξης με ανταλλαγή εύρους ζώνης συχνοτήτων και ισχύος του σήματος.
- 5) Ευκολία πολύπλεξης και σηματοδοσίας.

6) Κωδικοποίηση για διόρθωση λαθών και κρυπτογράφηση για την ασφάλεια των επικοινωνιών.

7) Αρθρωτή υλοποίηση που προσφέρει τη δυνατότητα αναβάθμισης και την ευκολία ενσωμάτωσης υπηρεσιών.

Τα πλεονεκτήματα αυτά έχουν καταστήσει τις ψηφιακές επικοινωνίες κύριο τρόπο μετάδοσης σημάτων τόσο στις δορυφορικές επικοινωνίες όσο και στο σύνολο των τηλεπικοινωνιακών εφαρμογών. Οι κύριες παράμετροι ενός συστήματος ψηφιακών επικοινωνιών είναι ο ρυθμός μετάδοσης (Transmission Rate) ψηφιακής πληροφορίας  $R$  και το ποσοστό λαθών (Bit Error Ratio) BER. Μέσω των παραμέτρων αυτών περιγράφονται, αντίστοιχα, η ταχύτητα μετάδοσης ψηφίων σε bits/s και το ποσοστό λανθασμένων ψηφίων μετά την ψηφιακή αποδιαμόρφωση. Πρέπει να σημειωθεί ότι ο ρυθμός μετάδοσης αφορά όλα τα ψηφία που μεταδίδονται ανά δευτερόλεπτο, τα οποία συνήθως δεν είναι όλα ψηφία πληροφορίας, ιδιαίτερα σε συστήματα που απαιτούν υψηλή αξιοπιστία. Στα συστήματα αυτά, σημαντικό ποσοστό των ψηφίων που μεταδίδονται είναι πρόσθετα ψηφία για εφοδιασμό του σήματος με διορθωτική ικανότητα. Εφόσον χρησιμοποιείται κωδικοποίηση για διόρθωση λαθών, ο ρυθμός μετάδοσης ψηφίων πληροφορίας που αποτελεί και το μέγεθος που πραγματικά ενδιαφέρει, εξαρτάται και από το ρυθμό του κώδικα που χρησιμοποιείται, από τον οποίο, άλλωστε, εξαρτάται και η διορθωτική ικανότητα. Ως προς το ποσοστό λαθών, που αναφέρεται και στα ψηφία πληροφορίας και στα πρόσθετα ψηφία που προσάπτονται για διάφορους λόγους, πρέπει να γίνει διάκριση ανάμεσα στο ποσοστό λαθών BER που εκτιμάται για κάποια ζεύξη. Το μέγεθος BER μεταβάλλεται χρονικά λόγω αντιστοίχων μεταβολών του διαύλου και χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση της αξιοπιστίας της ζεύξης. Το διάγραμμα ενός συστήματος ψηφιακών επικοινωνιών φαίνεται στην εικόνα 6.1



Εικόνα 6.1 Λειτουργικό διάγραμμα ψηφιακού τηλεπικοινωνιακού συστήματος

Η προς μετάδοση πληροφορία είτε απευθείας σε ψηφιακή μορφή είτε αφού μετατραπεί από αναλογική σε ψηφιακή, διοχετεύεται υπό τη μορφή δυαδικών ψηφίων στον κωδικοποιητή. Αυτός με την σειρά του, από την ακολουθία δυαδικών ψηφίων δημιουργεί το σήμα βασικής ζώνης. Στη συνέχεια, το σήμα βασικής ζώνης  $m(t)$  διαμορφώνει ένα υψίσυχο φέρον. Η διαμόρφωση για τη δημιουργία του σήματος  $c(t)$ , το οποίο, αφού ενισχυθεί, εκπέμπεται στον τηλεπικοινωνιακό δίαυλο, είναι σχεδόν πάντα γωνιακή διαμόρφωση. Το σήμα που εκπέμπεται από τον πομπό, αφού υποστεί την προσθετική επίδραση του θορύβου του διαύλου, φθάνει εξασθενημένο στο δέκτη, όπου υφίσταται μία σειρά αντιστρόφων διαδικασιών με στόχο την αναπαραγωγή των ψηφίων πληροφορίας. Η αξιοπιστία της ζεύξης, που χαρακτηρίζεται από το μέγεθος BER, εξαρτάται από την ισχύ εκπομπής, το σχήμα κωδικοποίησης που χρησιμοποιείται, την πυκνότητα ισχύος του θορύβου του διαύλου, την απόσταση πομπού και δέκτη και τη συνολική παραμόρφωση που εισάγεται κατά την επεξεργασία του σήματος στον πομπό και το δέκτη.<sup>13</sup>

<sup>13</sup> Δορυφορικές Επικοινωνίες Παναγιώτης.Γ.Κωττής Χρήστος.Ν.Καψάλης 2<sup>η</sup> έκδοση εκδόσεις Τζιόλα

## Κεφάλαιο 7

### ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Οι δορυφορικές επικοινωνίες είναι πια μέρος του περιβάλλοντός μας. Κάθε μέρα λαμβάνουμε και εκπέμπουμε πληροφορίες μέσω δορυφόρου, συχνά χωρίς να το γνωρίζουμε. Η διαθεσιμότητα της δορυφορικής υπηρεσίας φτάνει το 99.5%. Οι δορυφορικές επικοινωνίες αντιμετωπίζουν τον ανταγωνισμό των επίγειων δικτύων με οπτικές ίνες. Οι πιο βιομηχανοποιημένες χώρες δικτυώνονται μέσω οπτικών ιών. Τα δίκτυα αυτά προσφέρουν τόσο μεγάλο εύρος ζώνης, όσο και μεγάλη χωρητικότητα. Έτσι, οι δορυφόροι ενσωματώνονται σε τέτοια δίκτυα, προσφέρουν εφεδρική κάλυψη και εναλλακτικές διαδρομές ασφαλείας εντός του επίγειου δικτύου. Όμως, ο ανταγωνισμός αναγκάζει τους παροχείς δορυφορικών υπηρεσιών να προσφέρουν εξειδικευμένες υπηρεσίες, που χρησιμοποιούν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά των δορυφορικών επικοινωνιών. Όπως και να είναι, μπορεί να είναι κανείς σίγουρος ότι οι δορυφόροι θα συνεχίσουν να παίζουν σημαντικό ρόλο ως μέσο επικοινωνίας.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

<http://lyk-vatheos.eyv.sch.gr/Ergasies/2006-2007/Tep/Doryforoi.htm>

<http://techteam.gr/forum/topic/12042-Ti-einai-doryforos;-/>

<http://techteam.gr/forum/topic/44012-Thlepikoinoniakoi-doryforoi--/>

[http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A4%CE%B7%CE%BB%CE%B5%CF%80%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CE%B9%CE%BD%CF%89%CE%BD%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CF%8C%CF%82\\_%CE%B4%CE%BF%CF%81%CF%85%CF%86%CF%8C%CF%81%CE%BF%CF%82](http://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A4%CE%B7%CE%BB%CE%B5%CF%80%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CE%B9%CE%BD%CF%89%CE%BD%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CF%8C%CF%82_%CE%B4%CE%BF%CF%81%CF%85%CF%86%CF%8C%CF%81%CE%BF%CF%82)

<http://www.pireas.gr/%CE%B4%CE%BF%CF%81%CF%85%CF%86%CE%BF%CF%81%CE%BF%CF%83>

[http://www.scribd.com/doc/49652052/102/%CE%94%CE%BF%CF%81%CF%85%CF%86%CE%BF%CF%81%CE%B9%CE%BA%CE%95%CE%A3-](http://www.scribd.com/doc/49652052/102/%CE%94%CE%BF%CF%81%CF%85%CF%86%CE%BF%CF%81%CE%B9%CE%BA%CE%95%CE%A3-%CE%95%CE%A0%CE%99%CE%9A%CE%9F%CE%99%CE%9D%E2%84%A6%CE%9D%CE%99%CE%95%CE%A3)

[%CE%95%CE%A0%CE%99%CE%9A%CE%9F%CE%99%CE%9D%E2%84%A6%CE%9D%CE%99%CE%95%CE%A3](http://www.scribd.com/doc/49652052/102/%CE%94%CE%BF%CF%81%CF%85%CF%86%CE%BF%CF%81%CE%B9%CE%BA%CE%95%CE%A3-%CE%95%CE%A0%CE%99%CE%9A%CE%9F%CE%99%CE%9D%E2%84%A6%CE%9D%CE%99%CE%95%CE%A3)

[Άρθρα Δρ.Ανδρέα Βλησίδη καθηγητή δορυφορικών επικοινωνιών](#)

[Ένθετο του ΟΤΕ \(ΤΗΛΕ\) για τον Hellas Sat](#)

[Βιβλία:](#)

[1\) Δορυφορικές επικοινωνίες](#)

[Συστήματα, Τεχνικές και Τεχνολογία G. Maral M. Bousquet Τρίτη Έκδοση εκδόσεις Τζιόλα](#)

[2\) Δορυφορικές Επικοινωνίες Παναγιώτης.Γ.Κωττής Χρήστος.Ν.Καυάλης 2<sup>η</sup> έκδοση εκδόσεις Τζιόλα](#)

[3\) Δορυφορικές Επικοινωνίες Α. Καρατζής, Γ. Τζανιδάκης, Χρονολογία Εκδόσεως: 1988](#)

[4\) Δορυφορικές Επικοινωνίες PRATT,BOSTIAN,ALLNUTT εκδόσεις: Παπασωτηρίου ,Νοέμβριος, 2008](#)