

Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Ηπείρου
Τμήμα Μηχανικών Υπολογιστών Τ.Ε.

Πτυχιακή Εργασία

«Κεραίες και ασύρματες επικοινωνίες»



Όνοματεπώνυμο: Σπυριλιώτη Μαρία

Επιβλέπων καθηγητής: Σακκάς Λάμπρος

Άρτα 2014

Δήλωση περί λογοκλοπής

Η παρούσα εργασία αποτελεί προϊόν αποκλειστικά δικής μου προσπάθειας. Όλες οι πηγές που χρησιμοποιήθηκαν περιλαμβάνονται στη βιβλιογραφία και γίνεται ρητή αναφορά σε αυτές μέσα στο κείμενο όπου έχουν χρησιμοποιηθεί.

Ημερομηνία:

Όνοματεπώνυμο:

Υπογραφή:

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή.....	6
1.1	Γενικά.....	6
1.2	Διάρθρωση εργασίας.....	6
2	Ηλεκτρομαγνητισμός.....	7
2.1	Εισαγωγή.....	7
2.2	Μαθηματική περιγραφή.....	8
2.3	Είδη ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.....	10
2.4	Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.....	14
2.4.1	<i>Ιστορική αναδρομή.....</i>	<i>14</i>
2.4.2	<i>Εισαγωγικές έννοιες.....</i>	<i>14</i>
2.4.3	<i>Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα.....</i>	<i>16</i>
2.5	Μετάδοση και λήψη ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.....	18
2.5.1	<i>Εκπομπή σήματος.....</i>	<i>19</i>
2.5.2	<i>Λήψη σήματος.....</i>	<i>20</i>
2.6	Χαρακτηριστικά ΗΜ κυμάτων.....	21
3	Ασύρματες Επικοινωνίες.....	23
3.1	Εισαγωγή.....	23
3.2	Φυσικά φαινόμενα που επηρεάζουν την ασύρματη μετάδοση.....	27
3.3	Αναλογική και ψηφιακή μετάδοση.....	29
3.3.1	<i>Αναλογικά συστήματα.....</i>	<i>30</i>
3.3.2	<i>Ψηφιακά συστήματα.....</i>	<i>32</i>
3.4	Διαλείψεις και συστήματα διαφορικής λήψης.....	35
3.5	Εξασθένιση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων από την ατμόσφαιρα.....	38
4	Χαρακτηριστικά κεραιών.....	41
4.1	Βασικές έννοιες.....	41
4.2	Παράμετροι των κεραιών.....	53
4.2.1	<i>Κέρδος κεραίας και Αποτελεσματική Ισχύς Εκπομπής.....</i>	<i>43</i>
4.2.2	<i>Ένταση πεδίου.....</i>	<i>43</i>
4.2.3	<i>Αντίσταση ακτινοβολίας κεραίας.....</i>	<i>45</i>
4.2.4	<i>Εύρος ζώνης συχνοτήτων, Εύρος δέσμης και πολικότητα κεραίας.....</i>	<i>46</i>
4.3	Εξίσωση του Friis.....	47
4.4	Περιοχές ακτινοβολίας.....	49

4.5	Διαγράμματα ακτινοβολίας	50
4.6	Θερμοκρασία κεραίας.....	52
5	Κεραίες	53
5.1	Γραμμικές κεραίες	53
5.1.1	<i>Κεραίες Yagi - Uda</i>	53
5.2	Κλασσικές κεραίες	55
5.2.1	<i>Παραβολικές κεραίες</i>	55
5.2.1.1	<i>Κεραία πρώτης (μοναδικής) συγκέντρωσης – Prime focus</i>	58
5.2.1.2	<i>Κεραία παράκεντρης μονής συγκέντρωσης – Offset</i>	58
5.2.1.3	<i>Κεραία τύπου Cassegrain</i>	60
5.2.1.4	<i>Κεραία τύπου Gregorian</i>	61
5.2.1.5	<i>Σφαιρικά κάτοπτρα</i>	62
5.2.1.6	<i>Επίπεδα Planar Arrays</i>	63
5.2.2	<i>Κεραίες χοάνης</i>	64
5.2.2.1	<i>Cass-horn</i>	66
5.2.2.2	<i>Τοξοειδής κεραία</i>	67
5.2.3	<i>Ελικοειδής κεραία</i>	67
5.3	Έξυπνες κεραίες	70
5.3.1	<i>Multiple Input Multiple Output - MIMO</i>	71
6	Συμπεράσματα	74
	Πίνακας Εικόνων	76
	Πίνακας Πινάκων	78
	Πίνακας εξισώσεων	79
	Βιβλιογραφία.....	80

1^ο Κεφάλαιο: Εισαγωγή

1.1 Γενικά

Η κεραία αποτελεί μια μεταλλική κατασκευή η λειτουργία της οποίας εστιάζεται στη μετατροπή των υψίσυχνων τάσεων ή ρευμάτων σε ηλεκτρομαγνητικά κύματα και αντίστροφα. Ο κλάδος των ασύρματων και κινητών επικοινωνιών συνεχώς αναπτύσσεται με νέες δυνατότητες για τους χρήστες και νέες τεχνολογίες. Επομένως, απαιτείται τα συστήματα που χρησιμοποιούνται στις ασύρματες επικοινωνίες να εξελίσσονται. Για να επιτευχθεί η ασύρματη επικοινωνία μεταξύ δύο σημείων, απαιτείται ένας πομπός που στέλνει σήματα από μια κεραία και ένας δέκτης ο οποίος λαμβάνει σήματα μέσω μιας κεραίας. Επομένως παρατηρούμε ότι οι έννοιες των ασύρματων επικοινωνιών και των κεραιών είναι άρρηκτα συνδεδεμένες μεταξύ τους.

1.2 Διάρθρωση Εργασίας

Η παρούσα πτυχιακή εργασία χωρίζεται σε 5 κεφάλαια. Το πρώτο κεφάλαιο αποτελεί μία εισαγωγή στο θέμα και περιγράφει τη δομή της εργασίας. Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στην θεωρία του ηλεκτρομαγνητισμού, αφού οι ασύρματες επικοινωνίες υπακούουν στους νόμους που ισχύουν για τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Στο τρίτο κεφάλαιο συζητάμε για τις αρχές των ασύρματων επικοινωνιών, τα φυσικά φαινόμενα που τις επηρεάζουν και τις τεχνικές μετάδοσης. Στο επόμενο κεφάλαιο, μελετάμε τα χαρακτηριστικά των κεραιών, ενώ στο πέμπτο και τελευταίο κεφάλαιο βλέπουμε διάφορα είδη κεραιών και τα χαρακτηριστικά τους, οι οποίες χρησιμοποιούνται στις ασύρματες επικοινωνίες.

2^ο Κεφάλαιο Ηλεκτρομαγνητισμός

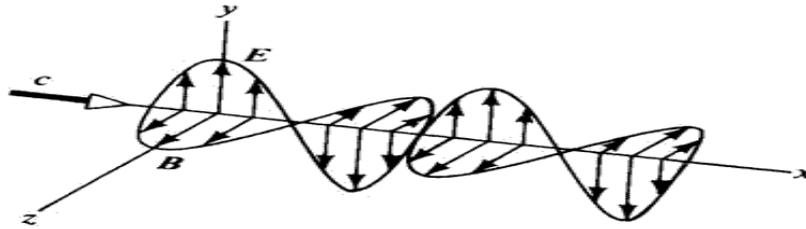
2.1 Εισαγωγή

Με τον όρο Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία εννοούμε την εκπομπή στον χώρο ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας με τη μορφή κυμάτων τα οποία ονομάζονται ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα είναι συγχρονισμένα ταλαντούμενα ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία τα οποία ταλαντώνονται σε κάθετα επίπεδα μεταξύ τους και κάθετα προς την διεύθυνση διάδοσης. Διαδίδονται στο κενό με ταχύτητα ίση με την ταχύτητα του φωτός ($c=3 \cdot 10^8$ m/s) αλλά και μέσα στην ύλη με ταχύτητα λίγο μικρότερη απ' την ταχύτητα του φωτός [14].

Για να δημιουργηθούν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα, χρειάζονται παλλόμενα ηλεκτρικά φορτία, αλλά και γενικότερα οποιοδήποτε φορτίο με επιτάχυνση. Μπορούν να δημιουργηθούν επίσης όταν ένα ηλεκτρόνιο, κάποιου ατόμου, χάνει μέρος της ενέργειάς του και μεταπίπτει σε χαμηλότερη τροχιά ή ενεργειακή στάθμη κοντά στον πυρήνα. Αυτό έχει ως συνέπεια να δημιουργηθεί μια ταλάντωση που διαδίδεται πλέον στο χώρο με τη μορφή ενός ταυτόχρονα ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου [14].

Για αν περιγραφεί το ηλεκτρικό πεδίο χρησιμοποιούμε το διάνυσμα E , όπως και το «γνωστό» ηλεκτρικό πεδίο το δημιουργούμενο από ηλεκτρικά φορτία, αλλά διαφέρει από αυτό στο ότι είναι «χρονικά μεταβαλλόμενο», δηλαδή η έντασή του σε ένα σημείο του χώρου μεταβάλλεται. Το μαγνητικό πεδίο περιγράφεται με το διάνυσμα B όπως και το «γνωστό» μαγνητικό πεδίο, αλλά επίσης διαφέρει στο ότι είναι «χρονικά μεταβαλλόμενο», δηλαδή η έντασή του σε ένα σημείο του χώρου μεταβάλλεται [14].

Αυτά τα δύο πεδία είναι, κάθετα μεταξύ τους, αλλά και κάθετα με τη διεύθυνση διάδοσης του παραγόμενου κύματος, που ονομάζεται ηλεκτρομαγνητικό κύμα. Όταν το ηλεκτρομαγνητικό κύμα προσκρούσει σε κάποιο άτομο τα δύο συνδυαζόμενα αυτού πεδία μπορούν να προσφέρουν μεταφερόμενη ενέργεια σε ένα ηλεκτρόνιο με αποτέλεσμα να το εξαναγκάσουν να μεταπηδήσει αυτό σε ανώτερη ενεργειακή στάθμη [14].



Εικόνα 1 Γραφική αναπαράσταση ηλεκτρομαγνητικού κύματος

2.2 Μαθηματική περιγραφή

Από το νόμο του Gauss για το ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο, το νόμο της επαγωγής του Faraday και το νόμο του Ampere συμπληρωμένο με έναν ακόμη όρο από τον Maxwell που αφορά την μεταβολή της ροής της ηλεκτρικής μετατόπισης μέσα από την επιφάνεια που περικλείει μια κλειστή γραμμή προκύπτουν οι τέσσερις εξισώσεις του Maxwell [13].

$$\begin{aligned}\nabla \cdot \vec{D} &= \rho_f \\ \nabla \times \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ \nabla \cdot \vec{B} &= 0 \\ \nabla \times \vec{H} &= \vec{j}_f + \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}\end{aligned}$$

Εξίσωση 1 Εξισώσεις Maxwell

όπου \vec{D} η ηλεκτρική μετατόπιση, \vec{H} η ένταση του μαγνητικού πεδίου, \vec{j}_f η πυκνότητα του ελεύθερου ρεύματος και ρ_f η πυκνότητα όγκου των ελεύθερων ηλεκτρικών φορτίων [13].

Σε περιοχές του χώρου όπου δεν υπάρχουν φορτία ή ρεύματα, οι εξισώσεις του Maxwell γράφονται ως:

$$\begin{aligned}\nabla \cdot \vec{E} &= 0 \\ \nabla \times \vec{E} &= -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \\ \nabla \cdot \vec{B} &= 0 \\ \nabla \times \vec{B} &= \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}\end{aligned}$$

Εξίσωση 2 Εξισώσεις Maxwell χωρίς φορτίο

όπου με \vec{E} συμβολίζεται η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου, με \vec{H} η ένταση του μαγνητικού πεδίου, με \vec{B} η μαγνητική επαγωγή και με ϵ_0 και μ_0 η ηλεκτρική και μαγνητική διαπερατότητα του κενού αντίστοιχα [13].

Από τις εξισώσεις αυτές, και με κατάλληλη μαθηματική επεξεργασία και αποσύζευξη του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου προκύπτουν οι σχέσεις:

$$\nabla^2 \vec{E} = \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2}$$

$$\nabla^2 \vec{B} = \epsilon_0 \mu_0 \frac{\partial^2 \vec{B}}{\partial t^2}$$

Εξίσωση 3 κυματική εξίσωση

οι οποίες έχουν τη μορφή κυματικής εξίσωσης, και περιγράφουν κύματα που κινούνται με ταχύτητα:

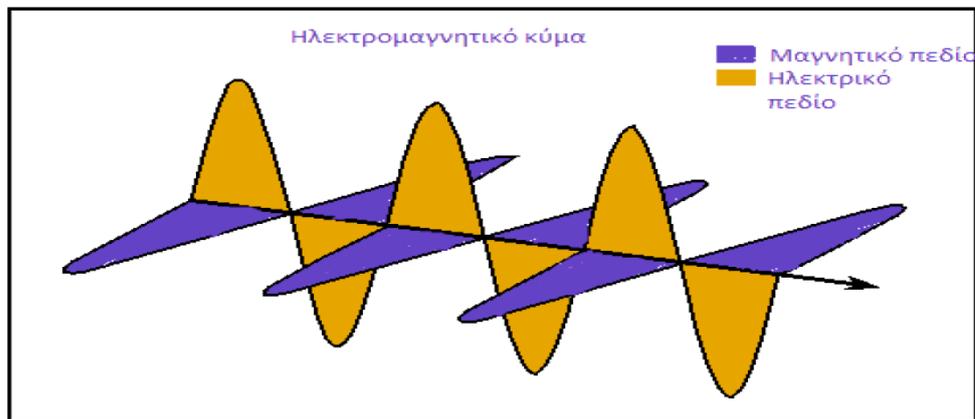
$$u = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = 3 \cdot 10^8$$

Εξίσωση 4 ταχύτητα κύματος

τιμή που ισούται ακριβώς με την ταχύτητα του φωτός. Οι βασικοί νόμοι του ηλεκτρομαγνητισμού προβλέπουν δηλαδή την ύπαρξη κυμάτων που κινούνται με την ταχύτητα του φωτός. Κατά συνέπεια, σύμφωνα με τον ίδιο τον Maxwell, είναι δύσκολο να αποφύγουμε το συμπέρασμα ότι το φως δεν είναι τίποτε άλλο παρά εγκάρσιοι κυματισμοί του ίδιου εκείνου μέσου που προκαλεί τα ηλεκτρικά και μαγνητικά φαινόμενα, να δεχθούμε δηλαδή την ερμηνεία του φωτός ως ηλεκτρομαγνητικό κύμα [13].

Στη συνέχεια δίνεται ορισμός για το τι είναι η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία: **«Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία είναι η εκπομπή ενέργειας στον χώρο με την μορφή κυμάτων»**.

Αυτά τα κύματα διαχωρίζονται σε ηλεκτρικά και μαγνητικά και ταλαντώνονται σε κάθετα μεταξύ τους επίπεδα όπως φαίνεται στην Εικόνα 2 [1].



Εικόνα 2 Ταλάντωση ηλεκτρικών και μαγνητικών κυμάτων

2.3 Είδη ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων

Τα μεγέθη που χαρακτηρίζουν την ακτινοβολία είναι [1]:

- Η συχνότητα (f) και μετριέται σε Hz (κύκλοι ανά δευτερόλεπτο) και πολλαπλάσια αυτού (KHz, MHz, GHz).
- Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου (E) μετριέται σε Volt ανά μέτρο (Volt/m ή V/m)
- Η ένταση του μαγνητικού πεδίου η οποία μετριέται σε Γκάους (G) ή πιο συχνά σε μίλιγκαους (mG) (επίσης σε Tesla ή μT με $1T=10.000 G$)
- Η ισχύς ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος η οποία μετριέται σε Watt ή υποπολλαπλάσια αυτού (mW, μW)
- Η πυκνότητα ισχύος η οποία μετριέται σε $Watt/m^2$ ή mW/m^2 ή mW/cm^2 ή $\mu W/cm^2$

Οι διάφορες μορφές της Ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι [3]:

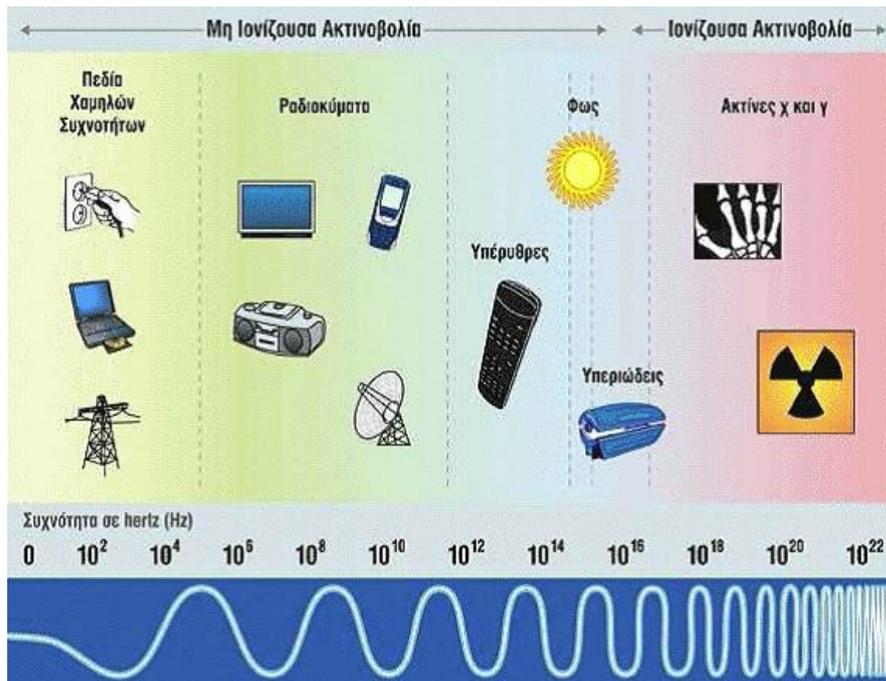
- Μη ιονίζουσα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία
 - 0-300 MHz ραδιοκύματα
 - 300 MHz – 300 GHz μικροκύματα
 - 300 GHz – 400 THz υπέρυθρες ακτίνες
 - 400 MHz – 800 MHz φως
- Ιονίζουσα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία
 - 800 THZ – 3×10^{17} Hz υπεριώδεις ακτίνες
 - $3 \cdot 10^{17} Hz - 5 \cdot 10^{19} Hz$ Ακτίνες X
 - $5 \cdot 10^{19} Hz - 3 \cdot 10^{22} Hz$ Ακτίνες γ
 - 3×10^{22} - Κοσμικές ακτίνες

Είδος	Συχνότητα
Γραμμές μεταφοράς ρεύματος Δ.Ε.Η.	50 Hz
Δίκτυο κινητής τηλεφωνίας GSM, UMTS	900 MHz, 1800 MHz, 1900 MHz, 2150 MHz
Ασύρματο τηλέφωνο Dect	1800MHz έως 2000 MHz
Φούρνος Μικροκυμάτων	2450 MHz

Πίνακας 1 Συχνότητα ακτινοβολιών

Όπως φαίνεται από τον παραπάνω πίνακα (Πίνακας 1) είναι δυνατόν να διαχωριστεί η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στις εξής κατηγορίες [1]:

- Ηλεκτρικά πεδία χαμηλών συχνοτήτων (ηλεκτρικές συσκευές, ηλεκτρολογική εγκατάσταση οικίας, γραμμές μεταφοράς ρεύματος Δ.Ε.Η., μετασχηματιστές).
- Μαγνητικά πεδία χαμηλών συχνοτήτων (ηλεκτρικές συσκευές, ηλεκτρολογική εγκατάσταση οικίας, γραμμές μεταφοράς ρεύματος Δ.Ε.Η., μετασχηματιστές).
- Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία Υψηλών συχνοτήτων
 - Παλμική (κεραίες κινητής τηλεφωνίας, ραντάρ, κινητά τηλέφωνα, ασύρματα τηλέφωνα DECT, ασύρματα δίκτυα WLAN, φούρνοι μικροκυμάτων κτλ).
 - Συνεχής (πομποί ραδιοφωνίας – τηλεόρασης)
- Ηλεκτροστατικά πεδία (συνθετικά υλικά και πλαστικά μέσα στο σπίτι)
- Μαγνητοστατικά πεδία (μαγνητισμένα μεταλλικά υλικά όπως μαγνήτες ηχείων και κάθε μεταλλικό φερρομαγνητικό αντικείμενο το οποίο έχει μαγνητιστεί ηθελημένα ή αθέλητα) Τα μαγνητοστατικά πεδία αλλοιώνουν Ραδιενέργεια το φυσικό γήινο μαγνητικό πεδίο το οποίο μας περιβάλλει
- Ραδιενέργεια (προέρχεται κυρίως από την γη αλλά και από : διάστημα, αέρα, νερό, ιατρική, βιομηχανία, διάφορα υλικά και συσκευές.



Εικόνα 3 Κατηγοριοποίηση ιονίζουσας και μη ακτινοβολίας

Όπως αναφέρθηκε, κατά τη μετάδοση των κυμάτων γίνεται μεταφορά ενέργειας. Αυτή η ενέργεια μπορεί να επιδρά πάνω στα αντικείμενα με τα οποία έρχεται σε επαφή και να τα μεταβάλλει. Επομένως μιλάμε για την έννοια της ακτινοβολίας που ορίζεται ως εξής [3]:

Ακτινοβολία είναι η μετάδοση ενέργειας στο διάστημα ως σωματίδιο ή κύμα, ανάλογα με τον τρόπο που αλληλεπιδρά με την ύλη.

Όμως η ακτινοβολία έχει επιπτώσεις σ' όλα τα στοιχεία της φύσης επομένως και στους ζωντανούς οργανισμούς. Επιπλέον, η ακτινοβολία χωρίζεται σε δύο μεγάλες κατηγορίες [3]:

- Ιονίζουσες ακτινοβολίες (IR): Προκαλούν μεταβολή της ύλης (απομάκρυνση ηλεκτρονίων από το άτομο). Μιλάμε λοιπόν για ραδιενέργεια. Προκαλούνται από κύματα με συχνότητα μεγαλύτερη ή ίση του ορατού φωτός. Οι ιονίζουσες ακτινοβολίες περιλαμβάνουν τις:
 - Οι Υπεριώδεις ακτίνες και οι ακτίνες X που προκαλούν ηλεκτρονιακές μεταπτώσεις, δηλαδή διαφυγή ηλεκτρονίων από τα άτομα.
 - Οι ακτίνες γ που προκαλούν πυρηνικές μεταπτώσεις δηλαδή διάσπαση του πυρήνα των ατόμων.

Πηγές ιονίζουσας ακτινοβολίας αποτελούν [3]:

- Η κοσμική ακτινοβολία που προέρχεται από το σύμπαν ή από ραδιενεργά στοιχεία που βρίσκονται στη φύση, στο υπέδαφος κ.λπ. Μιλάμε βέβαια για φυσικές πηγές ιονίζουσας ακτινοβολίας,
- Για εφαρμογές της στην Ιατρική – Οδοντιατρική, για πυρηνικές δοκιμές ή πυρηνικά ατυχήματα. Μιλάμε για τεχνητές πηγές ιονίζουσας ακτινοβολίας.

Η έκθεση σε ιονίζουσες ακτινοβολίες [3]:

- Είναι επιβλαβής όταν ξεπεραστούν τα καθορισμένα επιτρεπτά όρια,
 - Λειτουργεί αθροιστικά (συσσώρευση) καθώς τα ραδιενεργά στοιχεία απορροφούνται και παραμένουν στα κύτταρα – ιστούς των ζωντανών οργανισμών,
 - Όταν η δόση είναι πολύ μεγάλη μπορεί να προκαλέσει ασθένειες (καρκινούς κ.α.), τραυματισμό (π.χ. εγκαύματα) ή θάνατο.
- Μη-ιονίζουσες ακτινοβολίες (NIR): Οι ακτινοβολίες αυτές δεν προκαλούν μεταβολή της ύλης. Προκαλούνται από κύματα με συχνότητα μικρότερη ή ίση του ορατού φωτός. Οι μη-ιονίζουσες ακτινοβολίες περιλαμβάνουν τις [3]:
 - Τα υπέρυθρα κύματα που μπορεί να προκαλέσουν μοριακές μεταπτώσεις δηλαδή μεταβολή της σύστασης των μορίων,
 - Τα μικροκύματα και τα ραδιοκύματα που προκαλούν προσανατολισμούς στα συστατικά στοιχεία των μορίων.

Πηγές μη-ιονίζουσας ακτινοβολίας αποτελούν [3]:

- Οι κεραίες που χρησιμοποιούν ραδιοκύματα, μικροκύματα ή υπέρυθρα κύματα όπως οι κεραίες της ραδιοφωνίας, της τηλεόρασης, οι κεραίες των ασύρματων επικοινωνιών (π.χ. CB) και οι κεραίες κινητής τηλεφωνίας που μελετάμε στην παρούσα εργασία,
- Συσκευές που χρησιμοποιούν αυτού του είδους τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα όπως οι φούρνοι μικροκυμάτων, τα κινητά τηλέφωνα, οι ασύρματοι, τα ραντάρ, τα σονάρ.

2.4 Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία

Με την έννοια ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, οι επιστήμονες, ονομάζουν το εύρος της περιοχής όλων των συχνοτήτων που καλύπτουν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα εκτείνεται, θεωρητικά τουλάχιστον, από μηδενικές συχνότητες έως το άπειρο. Με βάση κάποιες χαρακτηριστικές ιδιότητες των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα χωρίζεται σε επιμέρους ζώνες. Αυτές είναι τα ραδιοκύματα, τα μικροκύματα, η υπέρυθη ακτινοβολία, η ορατή ακτινοβολία, που σε αυτές ανήκει το φως, η υπεριώδης ακτινοβολία, οι ακτίνες X και οι ακτίνες γ [1].

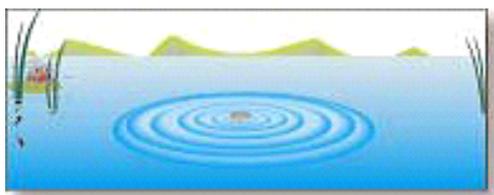
2.4.1 Ιστορική αναδρομή

Ο άνθρωπος βρισκόταν συνέχεια κάτω από την επίδραση της ισχυρής ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας του Ήλιου (υπέρυθη-ορατή-υπεριώδης), της αραιής κοσμικής ακτινοβολίας, η οποία έρχεται από το διάστημα, και της ραδιενέργειας (κυρίως ακτίνες γ), η οποία προερχόταν από τα ραδιενεργά κοιτάσματα, τα οποία υπήρχαν, και σήμερα ακόμα υπάρχουν, μέσα στο υπέδαφος της Γης. Όλες αυτές οι ακτινοβολίες, οι οποίες συνέχεια επιδρούσαν και επιδρούν στον άνθρωπο, ήταν φυσικές ακτινοβολίες, οι οποίες βέβαια είχαν διάφορες βιολογικές επιπτώσεις στην υγεία του και σε συνδυασμό με άλλους παράγοντες (π.χ. περιβαλλοντικούς, ψυχολογικούς, διατροφικούς κ.λπ.) έθεταν σε κάθε άτομο ένα ανώτατο όριο ζωής [14].

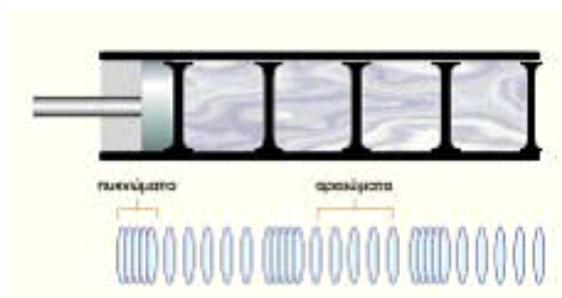
Όμως, ένα από τα τεχνολογικά δημιουργήματα του ανθρώπου είναι και η παραγωγή τεχνητών ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων (τεχνητές ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες). Οι τηλεπικοινωνίες, η μεταφορά ενέργειας και οι πάρα πολλές βιομηχανικές και ιατρικές εφαρμογές, η πυρηνική ενέργεια, κάνουν ευρεία χρήση και εκπομπή τεχνητών ηλεκτρομαγνητικών ακτινοβολιών [14].

2.4.2 Εισαγωγικές έννοιες

Με τον όρο κύμα ονομάζουμε μια διαταραχή που μπορεί να διαδίδεται. Κατά τη διάδοση του κύματος μεταφέρεται ενέργεια και ορμή από ένα σημείο του χώρου σε κάποιο άλλο όχι όμως και ύλη. Τα κύματα τα χωρίζουμε σε δύο κατηγορίες, στα εγκάρσια κύματα (π.χ. το κύμα στη θάλασσα) και στα διαμήκη κύματα (π.χ. το κύμα που δημιουργείται μέσα σ' ένα σωλήνα μετά από πίεση που εφαρμόζουμε στο ένα άκρο του) [13].



Εικόνα 4 Τα κύματα εγκάρσιου κύματος



Εικόνα 5 Τα κύματα διαμήκους κύματος

Κάποια κύματα μπορούν να προκληθούν και να είναι ορατά– εφαρμόζοντας δύναμη πάνω σε ελαστικά σώματα λ.χ. στο νερό, στο σχοινί, στο ελατήριο. Αυτά τα κύματα ονομάζονται μηχανικά κύματα. Αν σε έναν αγωγό (π.χ. σύρμα) εφαρμόσουμε εναλλασσόμενο ρεύμα τότε ο αγωγός θα φορτίζεται εναλλάξ με θετικά ή αρνητικά φορτία. Αυτό λοιπόν το κομμάτι σύρμα, παρατηρούμε ότι εκπέμπει κύματα τα οποία προκαλούνται από την εναλλαγή των φορτίων του ρεύματος και διαδίδονται γύρω του στο χώρο [13].

Τα παραπάνω κύματα, που περιγράψαμε, παρατηρούμε ότι είναι ταυτόχρονα και ηλεκτρικά και μαγνητικά. Η κατάλληλη ονομασία για αυτού του είδους τις διαταραχές (ηλεκτρικών και μαγνητικών πεδίων) που διαδίδονται είναι ηλεκτρομαγνητικό (ΗΜ) κύμα. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα μεταδίδονται στο κενό με την ταχύτητα του φωτός (300.000 km/sec), άλλωστε και το φως αποτελεί ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα. Ουσιαστικά, η αιτία δημιουργίας του ηλεκτρομαγνητικού

κύματος είναι η επιταχυνόμενη κίνηση των ηλεκτρικών φορτίων. Θεωρητικά όλα τα σώματα που διαρρέονται από εναλλασσόμενο ρεύμα εκπέμπουν ΗΜ κύματα [13].

Το σύστημα αυτό που παράγει πολλά ηλεκτρομαγνητικά κύματα ονομάζεται ταλαντούμενο ηλεκτρικό δίπολο ή αλλιώς κεραία.



Εικόνα 6 Ταλαντούμενο ηλεκτρικό δίπολο ή κεραία

2.4.3 Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

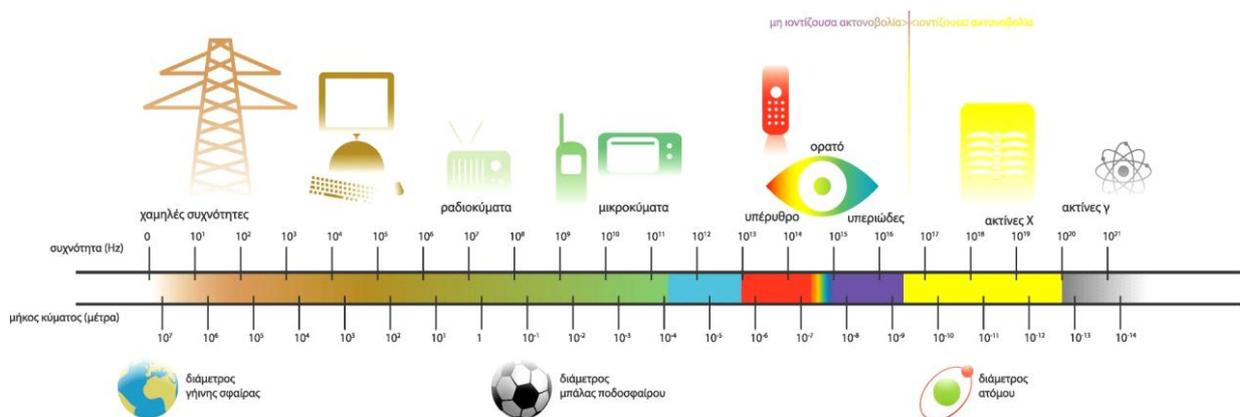
Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα όμως δεν παράγονται μόνο από ταλαντούμενα ηλεκτρικά δίπολα. Μπορούν να συνδεθούν με ένα πλήθος φυσικών φαινομένων όπως είναι η αποδιέγερση των ατόμων, οι πυρηνικές διασπάσεις κ.α. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα καλύπτουν ένα ευρύτατο φάσμα μηκών κύματος και συχνοτήτων, όπου η έκταση του φάσματος αυτού παρουσιάζεται στα παρακάτω σχήματα, και στο οποίο σημειώνονται προσεγγιστικά οι περιοχές μήκους κύματος και συχνότητας των διαφόρων τμημάτων του. Υπάρχουν σημαντικές διαφορές στις εφαρμογές και στην παραγωγή τους, ωστόσο όλα τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα έχουν τα γενικά χαρακτηριστικά που περιγράφηκαν προηγουμένως [1].

Το πρώτο πράγμα που αξίζει να αναφέρουμε και πρέπει να το θυμόμαστε, είναι ότι όσο αυξάνεται η συχνότητα του κύματος, τόσο αυξάνεται η ένταση του ρεύματος καθώς και η μεταφερόμενη ενέργεια, ενώ αντίστροφα τόσο μικραίνει το μήκος του κύματος [1].

Στη συνέχεια γίνεται μια σύντομη περιγραφή των διαφόρων περιοχών του φάσματος των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων με σειρά ελαττούμενου μήκους κύματος,

αλλά πρέπει να έχουμε υπόψη μας ότι δεν υπάρχει σαφής διαχωρισμός του κάθε τμήματος είδους κυμάτων από τα υπόλοιπα [1]:

- **Ραδιοκύματα.** Είναι τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα με μήκος κύματος από 105m έως μερικά εκατοστά. Δημιουργούνται από ηλεκτρονικά κυκλώματα, όπως τα κυκλώματα LC, και χρησιμοποιούνται στη ραδιοφωνία, την τηλεόραση και την κινητή τηλεφωνία.
- **Μικροκύματα.** Το μήκος κύματός τους εκτείνεται από 30cm έως 1mm περίπου. Παράγονται από ηλεκτρονικά κυκλώματα. Οι φούρνοι μικροκυμάτων με τους οποίους μαγειρεύουμε ή ζεσταίνουμε γρήγορα το φαγητό λειτουργούν με κύματα αυτής της περιοχής. Μικροκύματα χρησιμοποιούνται και στα ραντάρ καθώς και στη δορυφορική επικοινωνία
- **Υπέρυθρα κύματα.** Καλύπτουν την περιοχή από 1mm έως $7 \cdot 10^{-7}$ m περίπου. Τα κύματα αυτά εκπέμπονται από τα θερμά σώματα και απορροφώνται εύκολα από τα περισσότερα υλικά. Η υπέρυθη ακτινοβολία που απορροφάται από ένα σώμα αυξάνει το πλάτος της ταλάντωσης των σωματιδίων από τα οποία αποτελείται, αυξάνοντας έτσι τη θερμοκρασία του. Στις επικοινωνίες είναι γνωστή η χρήση των υπέρυθρων κυμάτων στα κινητά, στους Η/Υ και σε διάφορες άλλες ηλεκτρονικές συσκευές.



Εικόνα 7 Το Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

- Το ορατό φως. Είναι το μέρος εκείνο της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που ανιχνεύει ο ανθρώπινος οφθαλμός. Το μήκος κύματος του ορατού φωτός κυμαίνεται από 400 nm έως 700 nm (δηλαδή από $400 \cdot 10^{-9}$ m έως $700 \cdot 10^{-9}$ m). Το ορατό φως παράγεται

από την ανακατανομή των ηλεκτρονίων στα άτομα και στα μόρια. Κάθε υποπεριοχή του ορατού φάσματος προκαλεί στον άνθρωπο την αίσθηση κάποιου συγκεκριμένου χρώματος.

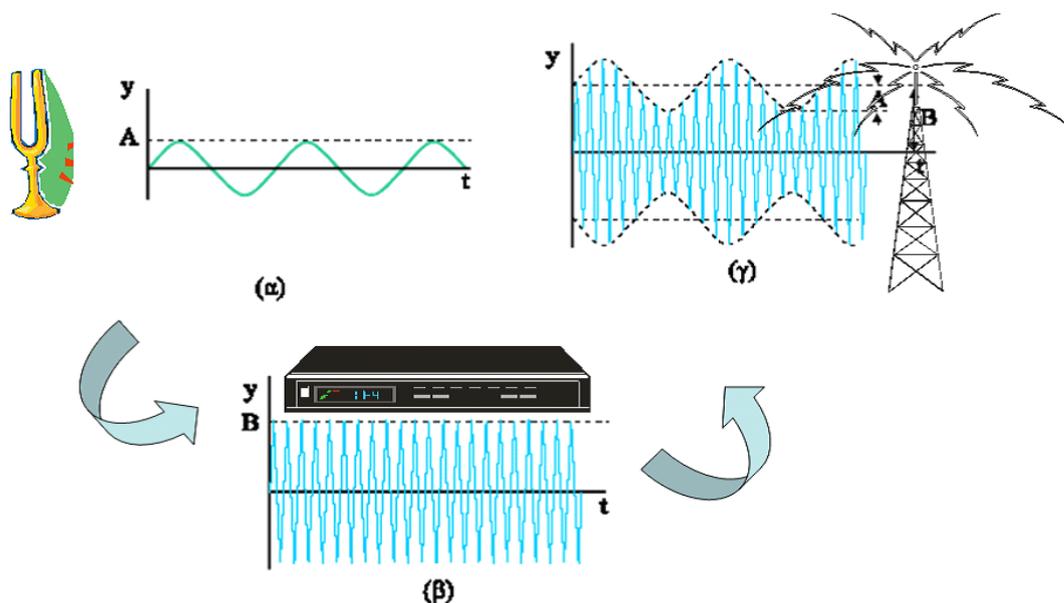
- Υπεριώδεις ακτίνες. Οι ακτίνες αυτές καλύπτουν τα μήκη κύματος από $3,8 \cdot 10^{-7}$ m έως $6 \cdot 10^{-8}$ m περίπου. Ο Ήλιος είναι ισχυρή πηγή υπεριώδους ακτινοβολίας. Οι υπεριώδεις ακτίνες είναι υπεύθυνες για το «μαύρισμα» όταν κάνουμε ηλιοθεραπεία, το καλοκαίρι. Μεγάλες δόσεις υπεριώδους ακτινοβολίας βλάπτουν τον ανθρώπινο οργανισμό. Το μεγαλύτερο μέρος της υπεριώδους ακτινοβολίας, που φτάνει στη Γη από τον Ήλιο απορροφάται από τα άτομα και τα μόρια της ανώτερης ατμόσφαιρας (στρατόσφαιρα). Το όζον της στρατόσφαιρας, απορροφά κατά κύριο λόγο την επικίνδυνη υπεριώδη ακτινοβολία. Σήμερα ανησυχούμε για την πιθανή καταστροφή αυτής της προστατευτικής ασπίδας ενάντια στις υπεριώδεις ακτίνες του Ήλιου. Το όζον της στρατόσφαιρας μειώνεται εξαιτίας εκτεταμένης χρήσης των χλωροφθορανθράκων, ενώσεων που χρησιμοποιούνται στα ψυγεία, τα κλιματιστικά τους ψεκαστήρες και αλλού.
- Οι ακτίνες X (ή ακτίνες Röntgen) είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με μήκη κύματος από 10^{-8} m έως 10^{-13} m περίπου. Η πιο κοινή αιτία παραγωγής ακτίνων X είναι η επιβράδυνση ηλεκτρονίων που προσκρούουν με μεγάλη ταχύτητα σε ένα μεταλλικό στόχο. Οι ακτίνες X χρησιμοποιούνται στην ιατρική, κυρίως για διαγνωστικούς σκοπούς (ακτινογραφίες), και στη μελέτη των διαφόρων κρυσταλλικών δομών. Οι ακτίνες X μπορούν να προκαλέσουν βλάβες στους ζωντανούς οργανισμούς και γι' αυτό πρέπει να αποφεύγουμε την έκθεσή μας σ' αυτές χωρίς σοβαρό λόγο.
- Οι ακτίνες γ. Είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται από ορισμένους ραδιενεργούς πυρήνες καθώς και σε αντιδράσεις πυρήνων και στοιχειωδών σωματιδίων ή ακόμα και κατά τη διάσπαση στοιχειωδών σωματιδίων. Τα μήκη κύματός τους αρχίζουν από 10^{-10} m και φτάνουν ως τα 10^{-14} m. Είναι πολύ διεισδυτικές και βλάπτουν τους οργανισμούς που τις απορροφούν.

2.5 Μετάδοση και λήψη ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων

Η εποχή που διανύουμε, συχνά αποκαλείται και «εποχή της πληροφορίας», διότι ένας ασύλληπτα μεγάλος αριθμός πληροφοριών μεταφέρονται από τον πομπό στο δέκτη της πληροφορίας, μέσα από καλώδια χαλκού ή οπτικές ίνες (ενσύρματη τηλεπικοινωνία) ή μέσω των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων (ασύρματη τηλεπικοινωνία) [3]. Σε κάθε μορφή τηλεπικοινωνίας, η πληροφορία που πρόκειται να μεταδοθεί - ήχος, εικόνα, video ή δεδομένα - μετατρέπεται χρησιμοποιώντας το κατάλληλο μέσο - μικρόφωνο ή βιντεοκάμερα - σε ένα ηλεκτρικό σήμα. Με τον όρο σήμα ορίζουμε μία σημαντική διαδικασία με την οποία η μετάδοση κάποιου κύματος μετατρέπεται σε ηλεκτρικό μέγεθος. Επομένως, σήμα είναι ένα ηλεκτρικό κύμα ή μια ηλεκτρική κυματομορφή [1].

2.5.1 Εκπομπή σήματος

Ένας ήχος μπορεί να μετατραπεί με ένα μικρόφωνο σε ηλεκτρικό σήμα. Έτσι ένας ήχος πολύ αρμονικός, σαν αυτόν του διαπασών, μετατρέπεται σε ηλεκτρικό σήμα της μορφής του παρακάτω σχήματος [3].

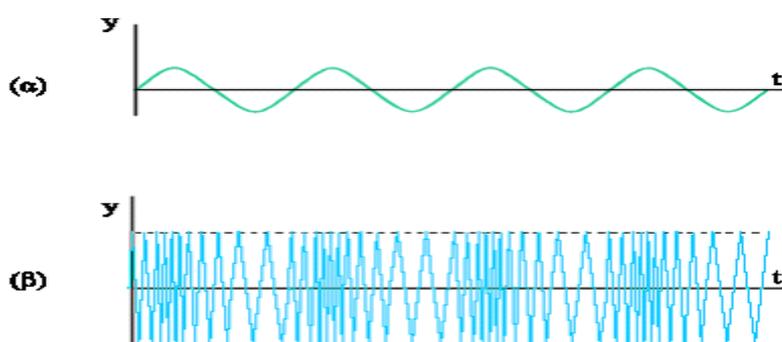


Εικόνα 8 AM διαμόρφωση σήματος

Για να μπορέσουμε να μεταδώσουμε την πληροφορία, το ηλεκτρικό σήμα που λαμβάνουμε από το μικρόφωνο κατευθύνεται στην κεραία του πομπού, αφού προηγουμένως έχει διαμορφωθεί. Αυτό σημαίνει ότι το σήμα προστίθεται σε ένα

αρμονικό κύμα υψηλής συχνότητας, που παράγεται στον πομπό (που ονομάζεται φέρουσα συχνότητα – βλ. Εικόνα 8 (β)). Έτσι το κύμα που εκπέμπεται από την κεραία έχει τη μορφή της Εικόνας 8 (γ). Η διαμόρφωση αυτή ονομάζεται διαμόρφωση κατά πλάτος ή AM (από τις λέξεις amplitude modulation) [3].

Το σήμα μπορεί να διαμορφωθεί και ως προς τη συχνότητά του. Η διαμόρφωση αυτή λέγεται διαμόρφωση κατά συχνότητα ή FM (frequency modulation) [3].



Εικόνα 9 FM διαμόρφωση σήματος

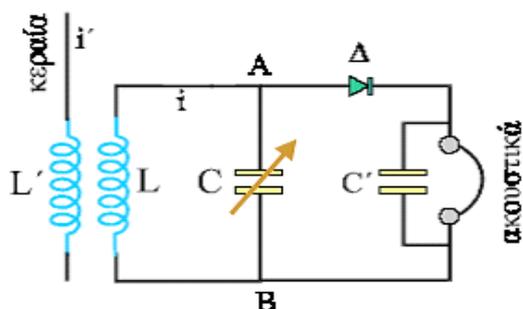
Όταν διαμορφώνουμε κατά συχνότητα, στο φέρον κύμα δημιουργούνται πυκνώματα και αραιώματα. Όσο πιο ισχυρό είναι το ηχητικό σήμα τόσο πιο έντονα είναι τα πυκνώματα και αραιώματα που δημιουργούνται στο φέρον κύμα. Το πλεονέκτημα αυτής της διαμόρφωσης είναι ότι το διαμορφωμένο κύμα δεν επηρεάζεται σημαντικά από παράσιτα. Τα παράσιτα, κατά τη συμβολή τους με το διαμορφωμένο κύμα, επηρεάζουν κυρίως τα πλάτη και λιγότερο τις συχνότητες [3].

Η διαμόρφωση του κύματος μπορεί να γίνει και με άλλους τρόπους και μάλιστα μπορεί να συνυπάρξουν πολλές διαμορφώσεις ταυτόχρονα σε ένα φέρον σήμα. Το διαμορφωμένο κύμα διεγείρει την κεραία. Τα φορτία της ταλαντώνονται και εκπέμπει ηλεκτρομαγνητικό κύμα αντίστοιχης μορφής [3].

2.5.2 Λήψη σήματος

Για να μπορέσει ο δέκτης να λάβει ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα χρησιμοποιείται ένας αγωγός που ονομάζεται κεραία. Ο δέκτης αρχικά συντονίζεται με τον αντίστοιχο πομπό, έπειτα διαχωρίζει το φέρον κύμα από την ταλάντωση που το διαμόρφωσε και το μετατρέπει σε ρεύμα όμοιας μορφής. Το ρεύμα αυτό αφού

ενισχυθεί οδηγείται στο μεγάφωνο το οποίο αναπαράγει τον αρχικό ήχο. Στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 10) βλέπουμε την αναπαράσταση ενός απλού ραδιοφωνικού δέκτη [3].



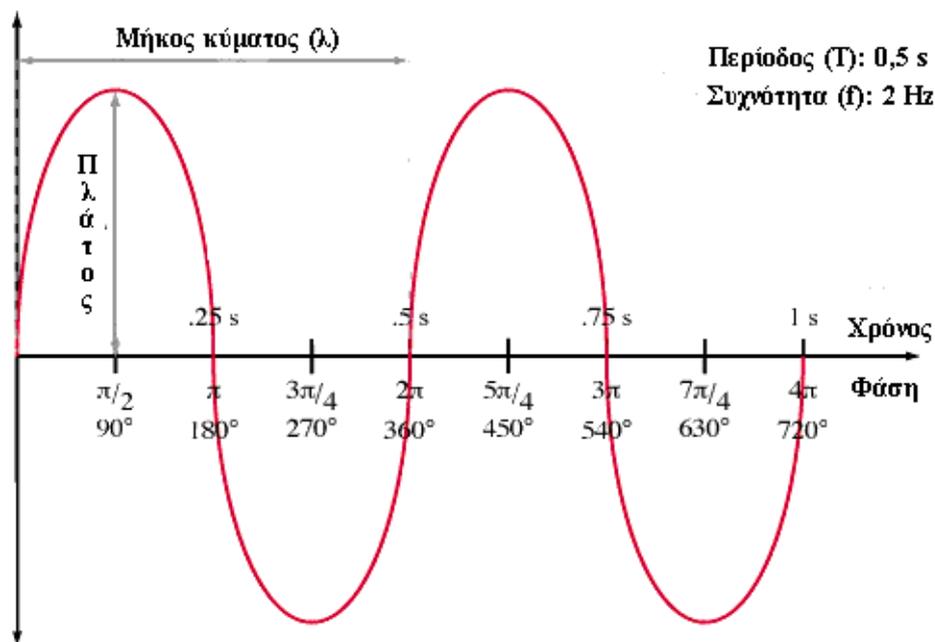
Εικόνα 10 Σχηματική αναπαράσταση απλού ραδιοφωνικού δέκτη

2.6 Χαρακτηριστικά ΗΜ κυμάτων

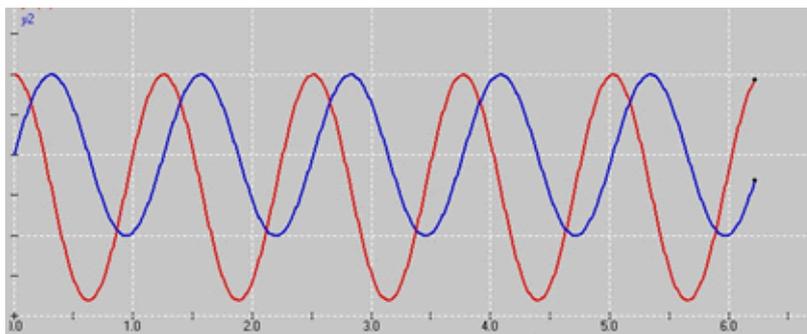
Τα χαρακτηριστικά ενός ηλεκτρομαγνητικού σήματος είναι τα ακόλουθα:

- **Περίοδος σήματος** (period): ονομάζεται η διάρκεια μιας πλήρους ταλάντωσης του υλικού σημείου στο ελαστικό μέσο, συμβολίζεται με T και μετριέται σε δευτερόλεπτα (sec).
- **Μήκος σήματος** (length): ονομάζεται η απόσταση στην οποία μεταδίδεται το σήμα σε χρόνο μιας περιόδου T και συμβολίζεται με λ . Στα εγκάρσια σήματα το μήκος εκφράζει την απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών κορυφών ή κοιλιών, ενώ στα διαμήκη σήματα εκφράζει την απόσταση μεταξύ δύο πυκνωμάτων ή αραιωμάτων.
- **Συχνότητα σήματος** (frequency): εκφράζει τον αριθμό των επαναλήψεων μιας πλήρους ταλάντωσης ενός οποιουδήποτε περιοδικού σήματος στη μονάδα του χρόνου (κάθε δευτερόλεπτο) και συμβολίζεται με ν ή f . Η μονάδα μέτρησης είναι ο κύκλος ανά δευτερόλεπτο που λέγεται και Hertz (Hz). Στην πράξη χρησιμοποιούνται πολλαπλάσια του Hertz. Έτσι ένα KiloHerz (KHz) ισούται με ένα χιλίοκυκλο, δηλαδή χίλιους κύκλους ανά δευτερόλεπτο, ένα MegaHerz (MHz) ισούται με ένα μεγάκυκλο, δηλαδή ένα εκατομμύριο κύκλους ανά δευτερόλεπτο ή χίλια KHz, και ένα GigaHerz (GHz) ισούται με ένα γιγάκυκλο, δηλαδή ένα δισεκατομμύριο κύκλους ανά δευτερόλεπτο ή ένα εκατομμύριο χιλίοκυκλους ανά δευτερόλεπτο.

- **Ταχύτητα μετάδοσης σήματος (velocity)**: ονομάζεται η ταχύτητα με την οποία το σήμα διαπερνά το μέσο μετάδοσης και συμβολίζεται με v . Σημαντική η θεμελιώδης εξίσωση των σημάτων: $v = \lambda \cdot \nu$
- **Πλάτος σήματος (amplitude)** εκφράζει τη στιγμιαία τιμή του σήματος σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή και συμβολίζεται με a . Στην περίπτωση ενός ηλεκτρομαγνητικού σήματος το πλάτος είναι η μέγιστη δύναμη του ηλεκτρικού ή του μαγνητικού πεδίου.
- **Φάση σήματος (phase)**: εκφράζει τη διαφορά ϕ ενός σήματος, όταν αυτό συγκρίνεται με κάποιο άλλο σήμα που χρησιμοποιούμε ως σήμα αναφοράς και του οποίου ο κύκλος ξεκινά τη χρονική στιγμή $t=0$. Επομένως, είναι φυσικό η διαφορά αυτή να δείχνει ότι το ένα σήμα προπορεύεται ή υστερεί του άλλου.



Εικόνα 11 Βασικά χαρακτηριστικά σήματος



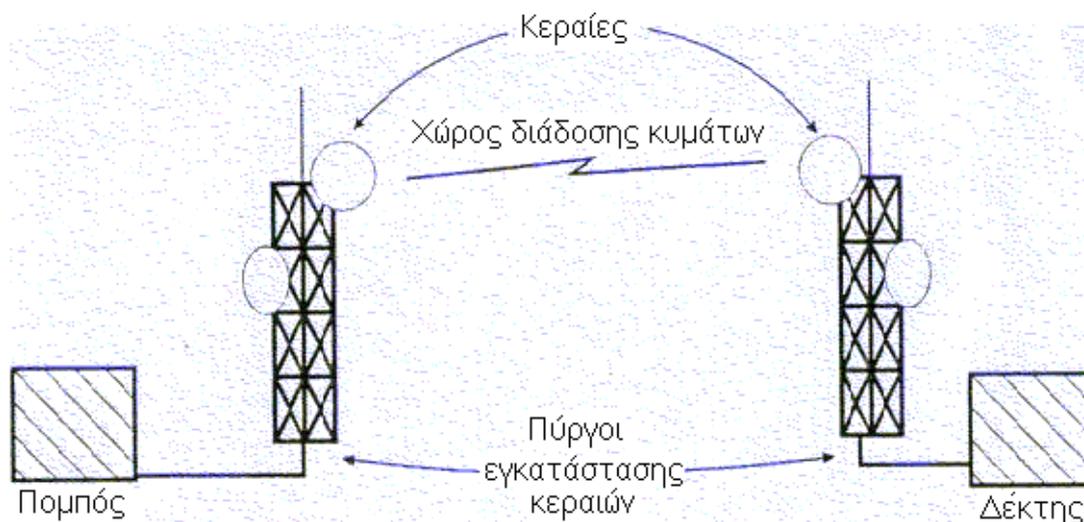
Εικόνα 12 Σήματα με διαφορά φάσης

3^ο Κεφάλαιο Ασύρματες Επικοινωνίες

3.1 Εισαγωγή

Με τον όρο ασύρματη τηλεπικοινωνία ή ραδιοζεύξη, εννοούμε τη διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων (τα οποία μεταφέρουν πληροφορίες), στον χώρο πάνω από την επιφάνεια της γης. Ένα σύστημα ασύρματης τηλεπικοινωνίας αποτελείται από τα εξής στοιχεία (Εικόνα 13) [8]:

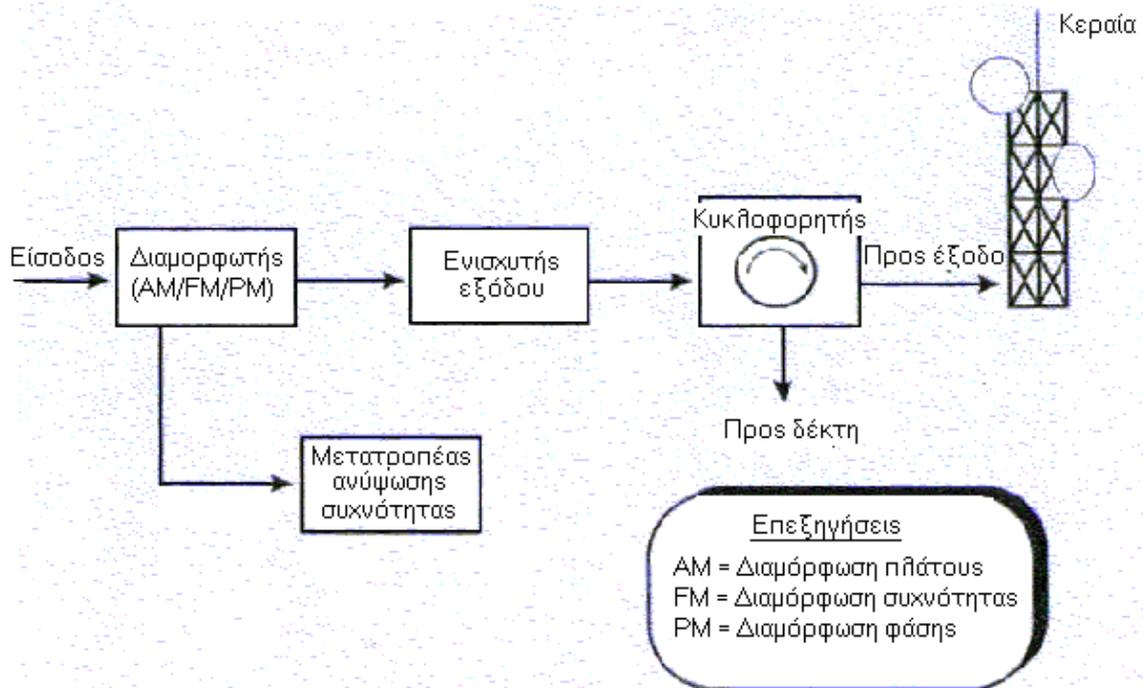
1. τον πομπό (transmitter)
2. τη γραμμή τροφοδοσίας (feeder) του πομπού με την κεραία εκπομπής
3. την κεραία εκπομπής (transmitting antenna)
4. το χώρο διάδοσης ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων (path)
5. την κεραία λήψεως (receiving antenna)
6. τη γραμμή σύνδεσης (feeder) της κεραίας λήψεως με το δέκτη
7. το δέκτη (receiver)
8. τους πύργους εγκατάστασης (tower) των κεραιών (όπου κρίνεται απαραίτητο)



Εικόνα 13 Βασικά στοιχεία ενός ασύρματου ραδιοσυστήματος

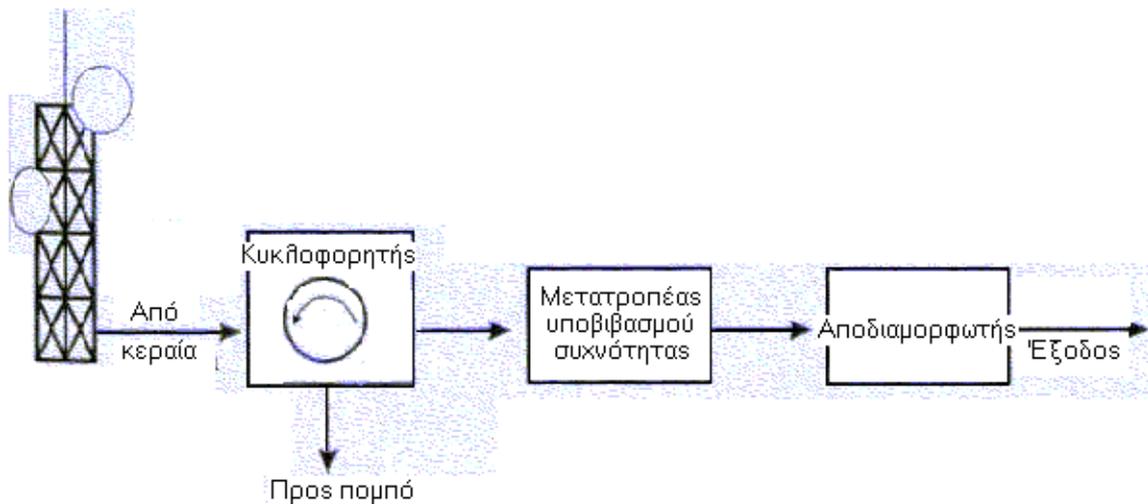
Ο πομπός που φαίνεται και στην Εικόνα 14, αποτελείται από τον διαμορφωτή (modulator) ο οποίος εφαρμόζει την προς μετάδοση πληροφορία σε ένα φέρον (carrier) σήμα, έναν προαιρετικό μετατροπέα συχνότητας (frequency up-converter) που ανυψώνει τη συχνότητα εισόδου – εξόδου, τον ενισχυτή εξόδου (output

amplifier) ο οποίος ενισχύει το σήμα για μετάδοση σε μεγάλες αποστάσεις και τον συζεύκτη κεραίας που χρησιμοποιεί έναν κυκλοφορητή (circulator) για να ενώσει ή να διαχωρίσει το λαμβανόμενο από το μεταδιδόμενο σήμα έτσι ώστε να χρησιμοποιείται η ίδια κεραία για εκπομπή και λήψη [8].



Εικόνα 14 Βασικά στοιχεία πομπού

Αντίστοιχα ο δέκτης (Εικόνα 15) αποτελείται από έναν κυκλοφορητή (circulator) για τον διαχωρισμό του λαμβανόμενου από το μεταδιδόμενο σήμα χρησιμοποιώντας την ίδια κεραία, το μετατροπέα συχνότητας (frequency down-converter) για τον υποβιβασμό της συχνότητας προς τα κάτω και τον αποδιαμορφωτή (demodulator) ο οποίος χρησιμοποιείται για την ανάκτηση της πληροφορίας από το φέρον κύμα [8].



Εικόνα 15 Βασικά στοιχεία δέκτη

Οι κεραίες εκπομπής και λήψης πρέπει να επιλέγονται με τρόπο, ώστε να παρέχουν βέλτιστη απόδοση, υψηλή αξιοπιστία στη μετάδοση, ευκολία στην επιλογή συχνότητας και να εναρμονίζονται με τις διεθνείς συστάσεις. Για να επιτευχθεί μετάδοση σημείου προς σημείο (point to point) οι κεραίες πρέπει να είναι ισχυρά κατευθυντικές σχήματος παραβολικού ή χοάνης [8].

Τα σημεία εγκατάστασης των πύργων των κεραιών παίζουν σημαντικό ρόλο στην επιτυχή διάδοση των ραδιοκυμάτων. Γι' αυτό, θα πρέπει να είναι ανυψωμένοι πάνω από τυχόν εμπόδια που υπάρχουν στη διαδρομή των ραδιοκυμάτων ώστε να εξασφαλίζεται η οπτική επαφή και να λαμβάνουν υπόψη τη σφαιρικότητα της γης. Οι παράγοντες που πρέπει να ληφθούν υπόψη για την επιλογή ενός πύργου είναι το κόστος, οι περιορισμοί λόγω νομοθεσίας, η κίνηση αεροσκαφών στην περιοχή, οι συνθήκες του εδάφους, ο καιρός (φόρτιση λόγω ανέμου) και τα χαρακτηριστικά των κυματοδηγών [8].

Η διάδοση κατά μήκος των γραμμών τροφοδοσίας εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά των γραμμών και των συνθέτων αντιστάσεων στα άκρα τους. Η διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων από την κεραία εκπομπής στην κεραία λήψεως εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά των κεραιών εκπομπής και λήψεως και από τις φυσικές ιδιότητες της ατμόσφαιρας όπου πραγματοποιείται η διάδοση. Πρέπει να σημειωθεί ότι κατά τη διάδοση στην ατμόσφαιρα, υφίστανται μεταβολές τόσο τα πλάτη όσο και οι φάσεις των ηλεκτρικών σημάτων [8].

Για να μεταβιβαστεί η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια από την κεραία εκπομπής στην κεραία λήψεως, απαιτείται η συχνότητα των ρευμάτων που πραγματοποιούν την ακτινοβολία της ενέργειας να είναι αρκετά υψηλή και μεγαλύτερη ενός ορισμένου κατώτερου ορίου, το οποίο εξαρτάται από τις διαστάσεις των κεραιών. Επίσης ο χώρος υπεράνω της γης θεωρείται ως ένα μέσο ενιαίο, ομοιογενές και ισότροπο, έτσι ώστε μια ηλεκτρομαγνητική διαταραχή που παράγεται σε ένα σημείο του ελεύθερου χώρου, διαδίδεται προς όλες τις κατευθύνσεις γύρω από το σημείο αυτό. Συνεπώς για να πραγματοποιήσουμε ταυτόχρονα δύο ή περισσότερες ραδιοηλεκτρικές ζεύξεις, απαιτούνται ειδικά τεχνάσματα ώστε να διακρίνουμε τα σήματα της μίας ζεύξεως από αυτά της άλλης. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται είναι οι εξής [8]:

- Χρησιμοποίηση ζωνοπερατών φίλτρων, τα οποία επιτρέπουν τη διέλευση χωρίς εξασθένιση κυματομορφών ορισμένων συχνοτήτων, ενώ εξασθενούν σημαντικά κυματομορφές άλλων συχνοτήτων. Για την πραγματοποίηση δύο ταυτόχρονων ραδιοζεύξεων, παράγονται δύο διαφορετικές φέρουσες συχνότητες και μετά την εκπομπή τους στον ελεύθερο χώρο υπάρχουν ταυτόχρονα και τα δύο ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Έτσι, τοποθετούμε στην είσοδο του δέκτη ένα φίλτρο, το οποίο επιτρέπει τη διέλευση σημάτων της επιθυμητής συχνότητας που είναι ίση ή παραπλήσια εκείνης που παράγεται στον πομπό.
- Χρησιμοποίηση κατάλληλων κατευθυντικών κεραιών εκπομπής και λήψης. Υπάρχουν κεραιές εκπομπής, οι οποίες εκπέμπουν ισχυρά ηλεκτρομαγνητικά κύματα εντός ενός περιορισμένου κώνου, ενώ εκτός αυτού τα εκπεμπόμενα κύματα είναι τόσο εξασθενημένα που δεν επιδρούν σε άλλους δέκτες. Το ίδιο συμβαίνει και με τις κεραιές λήψεως. Η δυσκολία που προκύπτει από τον περιορισμό της ενέργειας εντός μιας προκαθορισμένης γωνίας, εξαρτάται από τις απαιτούμενες διαστάσεις των κεραιών σε συνάρτηση με τη συχνότητα του ηλεκτρομαγνητικού κύματος. Για παράδειγμα, η γωνία ακτινοβολίας μιας κεραιάς στο οριζόντιο επίπεδο, δίνεται προσεγγιστικά από τη σχέση $\alpha = 60\lambda/l$ μοίρες, όπου λ είναι το χρησιμοποιούμενο μήκος κύματος και l η οριζόντια διάσταση της κεραιάς. Έτσι, για μια στενή δέσμη ακτινοβολίας της τάξεως της 1 μοίρας, απαιτείται $l = 60\lambda$. Συνεπώς αν η χρησιμοποιούμενη συχνότητα είναι $f = 1$ MHz, τότε προκύπτει $l = 18$ Km (!), ενώ αν $f = 1$ GHz θα είναι $l = 18$ m (ισχύει $\lambda = c/f$, όπου $c = 3 \cdot 10^8$ m/s είναι η ταχύτητα του φωτός). Από τα

παραπάνω προκύπτει ότι για κεραιές μεγάλης κατευθυντικότητας πρέπει να χρησιμοποιούνται οι υψηλότερες συχνότητες του φάσματος των ραδιοσυχνοτήτων.

- Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα ορισμένης συχνότητας υφίστανται ισχυρή απόσβεση κατά τη διάδοσή τους πέραν ορισμένων αποστάσεων. Έτσι είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν ηλεκτρομαγνητικά κύματα της ίδιας συχνότητας σε ταυτόχρονες ζεύξεις, σε περιοχές όμως που δεν βρίσκονται σε οπτική επαφή.

Από όλα όσα αναφέρθηκαν, προκύπτει ότι κατά τη σχεδίαση ενός συστήματος ασύρματης τηλεπικοινωνίας, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη τα εξής [8]:

1. Όσο υψηλότερη είναι η φέρουσα συχνότητα, τόσο μεγαλύτερο είναι το εύρος ζώνης και τόσο μικρότερες οι διαστάσεις των κεραιών για ορισμένο κέρδος (gain) των κεραιών. Αυτό όμως συνεπάγεται μικρότερη απόδοση και αξιοπιστία των ενισχυτών.
2. Μεγάλες κεραιές, σημαίνει μεγάλο κέρδος αλλά και αύξηση του κόστους του σταθμού.
3. Η τοποθέτηση κεραιών σε ψηλούς πύργους ή σε ψηλά βουνά, έχει ως αποτέλεσμα την κάλυψη μεγαλύτερων αποστάσεων αλλά και την αύξηση του κόστους κατασκευής και συντήρησης των σταθμών.
4. Η πραγματοποίηση ραδιοζεύξεων με μεγάλο εύρος ζώνης είναι επιθυμητή διότι αυξάνεται η ικανότητα του συστήματος, όμως πολλές φορές μια δεύτερη παράλληλη ζεύξη μπορεί να αποτελεί μια καλύτερη οικονομικά και τεχνικά λύση.

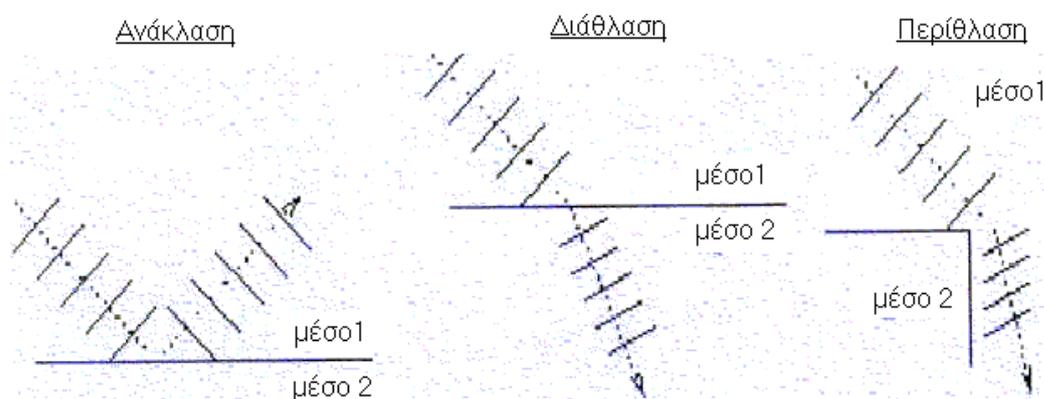
3.2 Φυσικά φαινόμενα που επηρεάζουν την ασύρματη μετάδοση

Σε ζεύξεις οπτικής επαφής χρησιμοποιούνται γενικά οι υψηλότερες συχνότητες του φάσματος συχνοτήτων. Για πιο χαμηλές συχνότητες, ο περιορισμός της οπτικής επαφής έχει μικρότερη σημασία, επειδή τα κύματα αυτά εισχωρούν – λόγω του φαινομένου της περίθλασης (diffraction) – σε εκείνες τις περιοχές οι οποίες θα βρίσκονταν «υπό σκιάν». Το φαινόμενο της περίθλασης παίζει σημαντικό ρόλο στη ραδιοφωνία, αφού με τον τρόπο αυτό είναι δυνατή η ραδιοφωνική κάλυψη περιοχών που βρίσκονται υπό τη «σκιά» βουνών, οικημάτων κλπ. Επί της τροχιάς των ραδιοηλεκτρικών ακτίνων και κατά τρόπο που εξαρτάται από τις χρησιμοποιούμενες συχνότητες επιδρούν και άλλα φαινόμενα, όπως ανάκλαση (reflection), διάθλαση

(refraction), διάχυση (diffusion) και απορρόφηση (absorption). Μερικά από τα προαναφερθέντα φαινόμενα περιγράφονται στην εικόνα 16 [12].

Ζώνη συχνότητας	Μήκος κύματος	Ονομασία συχνότητας (κυμάτων)	Σύμβολο	Χαρακτηρισμός κυμάτων	Χρήση
3 – 30 KHz	100–10 Km	Πολύ χαμηλή (μυριομετρικά)	VLF (Very low freq.)		Τηλεπ/νίες μεγάλης αποστάσεως
30–300 KHz	10 – 1 Km	Χαμηλή (χιλιομετρικά)	LF (Low freq)	Μακρά	Ραδιοφωνία, Ραδιοναυ-σιπλοΐα
0,3 – 3 MHz	1Km – 100m	Μέση (εκατομετρικά)	MF (Medium freq.)	Μεσαία	Ραδιοφωνία
3 – 30 MHz	100 – 10 m	Υψηλή (δεκαμετρικά)	HF (High Frequency)	Βραχεία	Ασύρματη τηλεφωνία μεγάλων αποστάσεων
30 – 300 MHz	10 – 1 m	Πολύ υψηλή (μετρικά)	VHF (Very High Frequency)	Υπερβραχεία	FM Ραδιοφωνία, Τηλεόραση, Τηλεπ/νία μεταξύ κινητών σημείων, Ραδιοναυσιπλοΐα
0,3 – 3 GHz	100 – 10 cm	Εξαιρετικά υψηλή (δεκατομετρικά)	UHF (Ultra High Freq)	Μικροκύματα	Τηλεόραση, Τηλεπ/νία μεταξύ κινητών σημείων, Ραδιοναυσιπλοΐα, Ραντάρ
3 – 30 GHz	10 – 1 cm	Υπερύψηλη (Εκατοστομετρικά)	SHF (Super High Freq)	Μικροκύματα	Ασύρματη τηλεφωνία, ραντάρ, δορυφορικές τηλεπ/νίες
30 – 300 GHz	10 – 1 mm	Υπερβολικά υπερύψηλη (χιλιοστομετρικά)	EHF (Extra High Freq.)		

Πίνακας 2 Ταξινόμηση ραδιοηλεκτρικών κυμάτων



Εικόνα 16 Φαινόμενα ανάκλασης, διάθλασης και περίθλασης

Η εξασθένιση (attenuation) των ραδιοηλεκτρικών κυμάτων είναι συνάρτηση της χρησιμοποιούμενης συχνότητας και οφείλεται στα συστατικά της ατμόσφαιρας. Για συχνότητες μικρότερες των 3 GHz περίπου, τα αέρια της ατμόσφαιρας δεν παράγουν εξασθένιση των κυμάτων. Όμως για συχνότητες άνω των 3 GHz , η εξασθένιση που οφείλεται στην απορρόφηση ενέργειας από το ατμοσφαιρικό οξυγόνο και τους υδρατμούς, γίνεται αισθητή. Με την αύξηση της συχνότητας παρατηρείται και αύξηση της εξασθένισης, ενώ παράλληλα εμφανίζονται φαινόμενα «συντονισμού» για συχνότητες άνω των 20 GHz . Έτσι είναι δυνατόν σε ορισμένες συχνότητες άνω των 20 GHz , οι αποσβέσεις να είναι τόσο μεγάλες ώστε να προκαλούν διακοπή της ζεύξεως ακόμη και μικρού μήκους, της τάξεως μερικών km . Άλλοι παράγοντες όπως η βροχή, το χαλάζι, η ομίχλη και η νέφωση προκαλούν ισχυρές εξασθενήσεις στην περιοχή των μικροκυμάτων [12].

Για ραδιοζεύξεις της τάξεως μερικών χιλιάδων km επί της επιφάνειας της γης, σημαντικό ρόλο παίζει η ιονόσφαιρα, δηλαδή εκείνη η περιοχή της ατμόσφαιρας που βρίσκεται σε ύψος μεταξύ περίπου 80 και 1000 km . Για συχνότητες μέχρι περίπου 30 MHz η ιονόσφαιρα δρα σαν κάτοπτρο ή καλύτερα σαν το μέσο που προκαλεί διάθλαση των ραδιοηλεκτρικών ακτίνων, δηλαδή προοδευτική κάμψη τους προς τα κάτω, ώστε οι ακτίνες να επιστρέφουν στη γη. Το ύψος όπου το κύμα υφίσταται ανάκλαση είναι συνάρτηση της συχνότητας του και της ηλεκτρονικής πυκνότητας της ιονόσφαιρας. Η ηλεκτρονική πυκνότητα εξαρτάται από την ηλιακή ακτινοβολία και συνεπώς η ιονοσφαιρική διάδοση είναι συνάρτηση του ημερήσιου χρόνου και της εποχής του έτους. Άρα, για να είναι εφικτή μία ζεύξη πρέπει να γνωρίζουμε τη σύνθεση και το ύψος της ιονόσφαιρας, ώστε να μεταβάλλεται η συχνότητα ζεύξεως μέσα σε διάστημα λίγων ωρών [12].

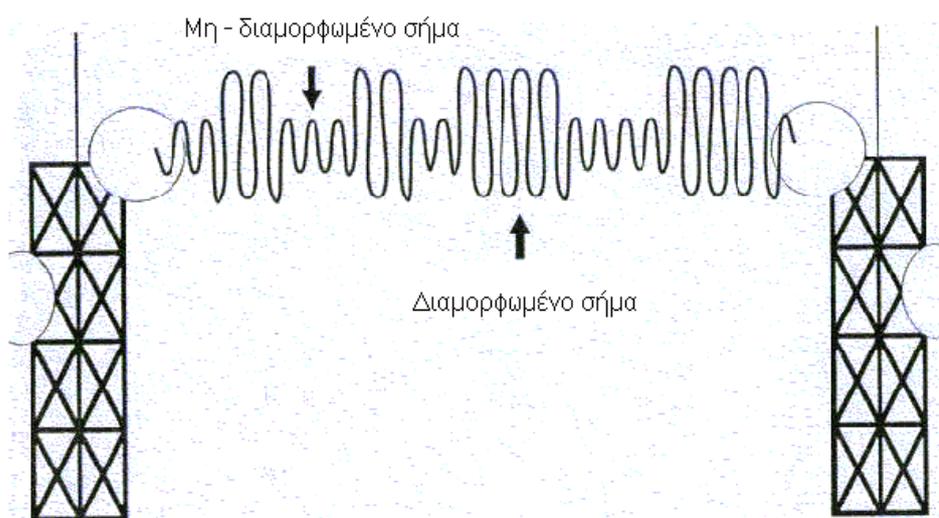
Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η εκλογή συχνότητας είναι καθοριστικός παράγοντας για την υλοποίηση μιας ασύρματης ζεύξης, έτσι ώστε να ελαχιστοποιούνται οι παρεμβολές μεταξύ των διαφόρων τηλεπικοινωνιακών συστημάτων [12].

3.3 Αναλογική και ψηφιακή μετάδοση

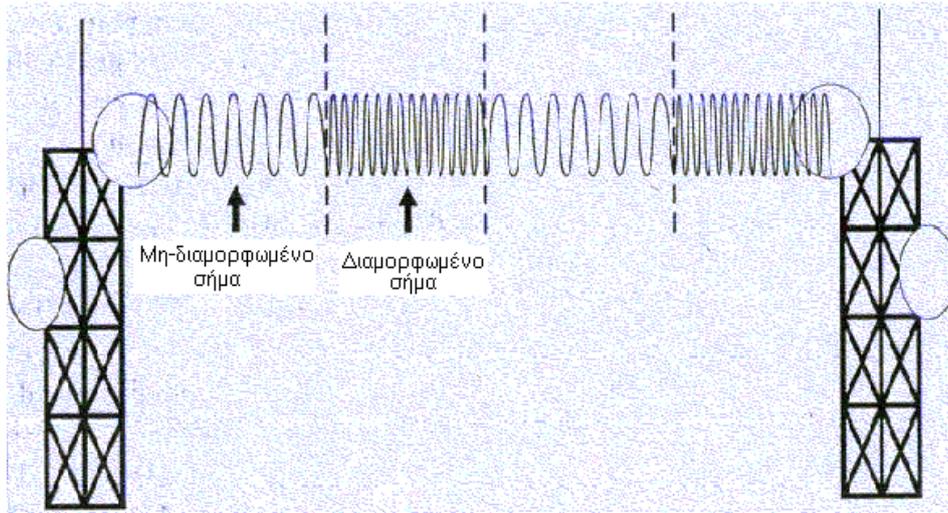
Τα μικροκυματικά ασύρματα συστήματα κατατάσσονται ευρέως σε αναλογικά και ψηφιακά, γεγονός που εξαρτάται από την τεχνική διαμόρφωσης.

3.3.1 Αναλογικά συστήματα

Τα αναλογικά συστήματα χρησιμοποιούν είτε την διαμόρφωση πλάτους (*AM*) είτε τη διαμόρφωση συχνότητας (*FM*), με περισσότερο ευρέως χρησιμοποιούμενη την *FM*. Για εύρος ζώνης *30 MHz* ενός κοινού φορέα *6 GHz*, η υποθετική χωρητικότητα της *FM* τεχνολογίας είναι *2400* κανάλια ομιλίας. Άλλες χωρητικότητες καναλιών χρησιμοποιούν διαμόρφωση πλάτους (*AM*) και μετάδοση απλής πλευρικής ζώνης (*Single Side Band - SSB*). Για το ίδιο εύρος ζώνης των *30 MHz*, ένα σύστημα *AM SSB*, μπορεί να μεταφέρει *6000* κανάλια. Σχηματικά, τα δύο είδη διαμορφώσεων *AM* και *FM* στα αναλογικά συστήματα παριστάνονται στις εικόνες 17 και 18 [8].

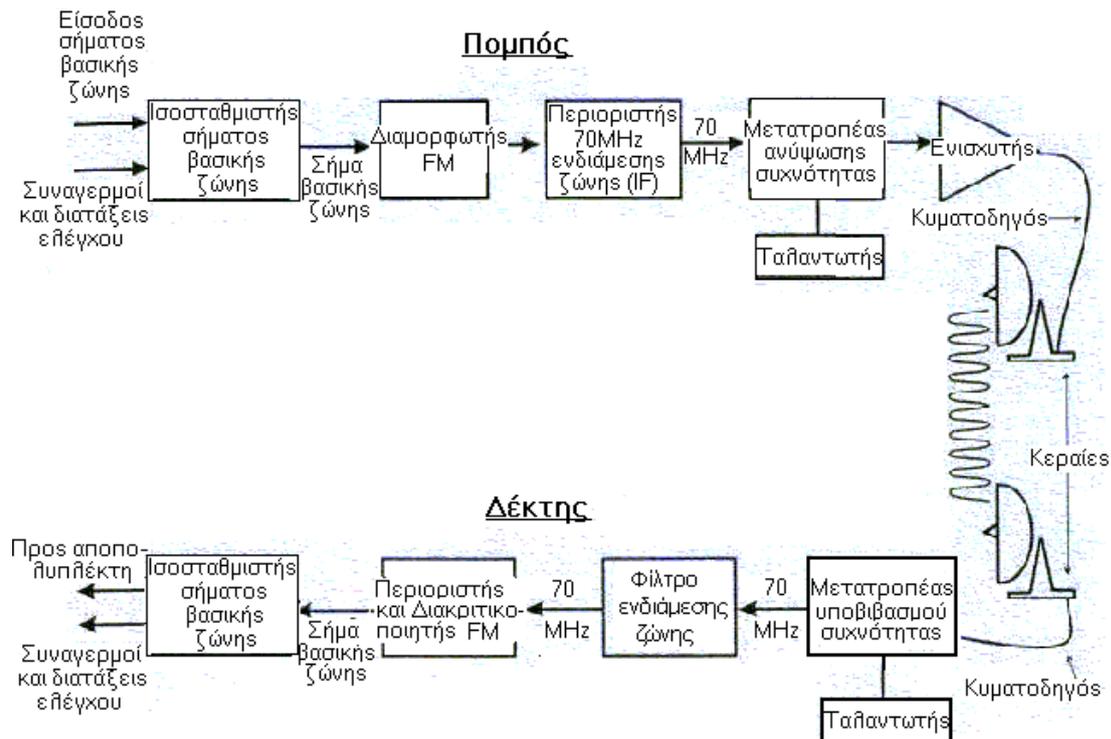


Εικόνα 17 Διαμόρφωση AM. Το φέρον σήμα συνδυάζεται με το διαμορφώνον σήμα ώστε να παράγει μια αύξηση στο πλάτος η οποία παριστάνει την πραγματική πληροφορία



Εικόνα 18 Διαμόρφωση FM. Το φέρων σήμα συνδυάζεται με το διαμορφώνον σήμα ώστε να παράγει έναν υψηλότερο ρυθμό συχνότητας ο οποίος παριστάνει την πραγματική πληροφορία

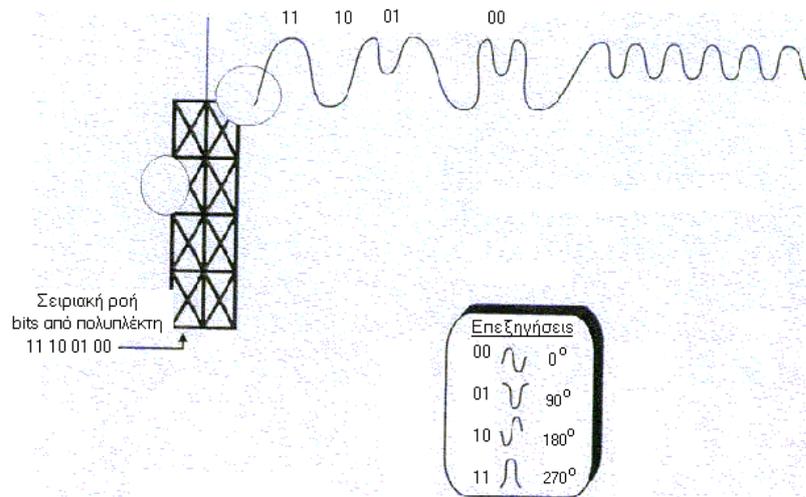
Ένα block διάγραμμα ενός πλήρους μικροκυματικού συστήματος αναλογικής διαμόρφωσης συχνότητας παριστάνεται στην εικόνα 19. Το σήμα βασικής ζώνης (baseband input) αφού περάσει από έναν ισοσταθμιστή (equaliser) διαμορφώνει το φέρων κύμα με τη χρήση του διαμορφωτή *FM* (*FM modulator*). Το διαμορφωμένο σήμα μετατρέπεται σε μια ενδιάμεση συχνότητα (*IF*) των *70 MHz*, το οποίο στη συνέχεια αυξάνει στη χρησιμοποιούμενη συχνότητα με τη χρήση του up-converter. Στο δέκτη πραγματοποιείται η αντίστροφη διαδικασία. Ο δέκτης λαμβάνει το διαμορφωμένο σήμα και το υποβαθμίζει στην ενδιάμεση συχνότητα (*IF*) των *70 MHz* με τη χρήση του down-converter. Στη συνέχεια το σήμα περνάει μέσα από ένα φίλτρο και έναν ενισχυτή (gain control) ώστε να εξομαλυνθεί οποιαδήποτε παραμόρφωση καθυστέρησης στα φίλτρα. Στη συνέχεια οδηγείται στον διακριτικοποιητή (discriminator) όπου ακολουθείται η διαδικασία αποδιαμόρφωσης. Συστήματα που χρησιμοποιούν αναλογική μετάδοση, μπορούν τυπικά να μεταφέρουν από 24 μέχρι 2700 κανάλια ομιλίας [8].



Εικόνα 19 Τυπικό ασύρματο αναλογικό δίκτυο διαμορφώσης FM

3.3.2 Ψηφιακά συστήματα

Μικροκυματικά συστήματα ψηφιακής μετάδοσης άρχισαν να χρησιμοποιούνται από τα μέσα της δεκαετίας του 1970. Στην ψηφιακή μετάδοση χρησιμοποιείται συνήθως η διαμόρφωση μετατόπισης φάσεως (phase shift keying-PSK, Εικόνα 20) ή η διαμόρφωση τετραγωνικού παλμού (quadrature amplitude modulation=QAM). Έτσι ένας συνολικός αριθμός από 1344 κανάλια φωνής μπορούν να πολυπλεθθούν σε 30 MHz ραδιοσυχνότητας και να έχουμε μια φασματική απόκριση περίπου 3 bits/Hz. Καινούργιες τεχνικές των 64 QAM υποστηρίζουν 2014 κανάλια ομιλίας σε 30 MHz ραδιοσυχνότητας και η φασματική απόκριση είναι τώρα 4,5 bits/Hz [8].

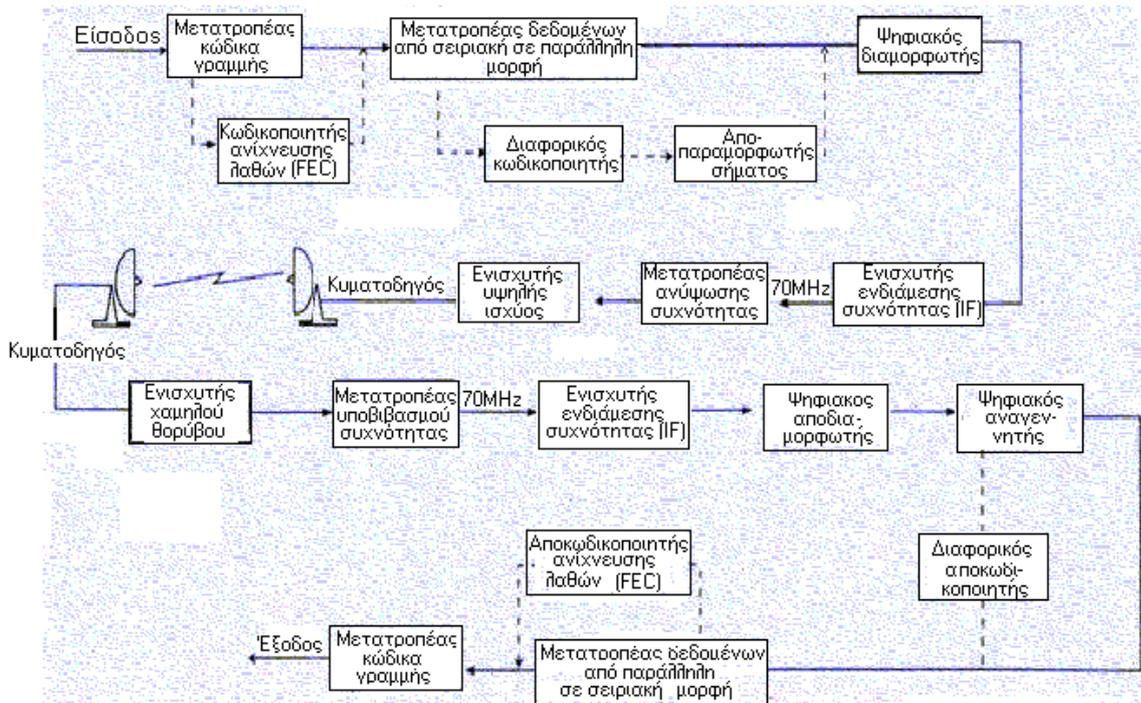


Εικόνα 20 Διαμόρφωση QPSK

Στην εικόνα 21, παρουσιάζεται ένα ψηφιακό ασύρματο μικροκυματικό σύστημα. Μερικά από τα υποσυστήματα που παρουσιάζονται στο σχήμα είναι προαιρετικά. Ο μετατροπέας γραμμής κώδικα (line code converter) λαμβάνει ένα τυποποιημένο κώδικα γραμμής παλμοκωδικής διαμόρφωσης (PCM) και την μετατρέπει σε μορφή non-return to zero (NRZ). Επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας κωδικοποιητής ανιχνεύσεως και διορθώσεως λαθών [Forward Error Check (FEC) coder] αν και αυτή η διαδικασία δεν υλοποιείται πάντα. Η μετατροπή από σειριακή σε παράλληλη γίνεται από τον κατάλληλο μετατροπέα (serial to parallel converter) και διαχωρίζει τη ροή των σειριακών δεδομένων σε δύο διαφορετικές εισόδους: την (I) φάση και την τετραγωνική (Q) φάση ώστε να εκτελεστεί η τεχνική διαμόρφωσης φάσεως. Ένας προαιρετικός διαφορικός κωδικοποιητικής (differential coder) χρησιμοποιείται για να ισοσταθμίσει ασάφειες στις φάσεις των δεδομένων. Η συσκευή pre-distorter που είναι επίσης προαιρετική, χρησιμοποιείται για τη διόρθωση τυχόν παραμόρφωσης του σήματος λόγω ενίσχυσης. Ο διαμορφωτής (digital modulator) παρέχει τη συνάρτηση διαμόρφωσης του σήματος βασικής ζώνης (baseband signal) [8].

Το διαμορφωμένο σήμα στη συνέχεια μετατρέπεται σε μια ενδιάμεση συχνότητα, ενισχύεται και αποστέλλεται στον μετατροπέα συχνότητας προς τα άνω (up-converter), ο οποίος μετατρέπει το σήμα βασικής ζώνης στη χρησιμοποιούμενη συχνότητα του ραδιοσυστήματος. Το σήμα στη συνέχεια περνά από τον ενισχυτή υψηλής ισχύος (high-power amplifier) και μέσω κυματοδηγού (waveguide) οδηγείται

στην κεραία για εκπομπή. Στο δέκτη ακολουθείται η αντίστροφη διαδικασία ώστε να ανακτάται η πληροφορία στην αρχική της μορφή [8].



Εικόνα 21 Τυπικό ψηφιακό ασύρματο σύστημα

Οι συνήθεις χωρητικότητες των ψηφιακών ασύρματων συστημάτων, που χρησιμοποιούνται σε πρακτικές ραδιοζεύξεις είναι οι εξής: 2 Mbits/s, 2x2 Mbits/s, 4x2 Mbits/s, 8x2 Mbits/s, 16x2 Mbits/s, 34 Mbits/s, 51 Mbits/s και 155 Mbits/s.

Για να αξιολογήσουμε την καλή λειτουργία μιας ραδιοζεύξης ορίζουμε τις ακόλουθες παραμέτρους: [8]

BER (Bit Error Rate): Ρυθμός λαθών στο χρόνο μέτρησης

EFS (Error Free Seconds): Δευτερόλεπτα χωρίς λάθη

ES (Errored Seconds): Δευτερόλεπτα με λάθη

SES (Severely Errored Seconds: Δευτερόλεπτα με πάρα πολλά λάθη

DM (Degraded Minutes): Πρώτα λεπτά με λάθη

US (Unavailable Seconds): Μη διαθέσιμα δευτερόλεπτα

Η επίδραση των λανθασμένων bits στη μετάδοση φωνής παρουσιάζεται στον πίνακα 3. Στις πρακτικές ραδιοζεύξεις, θεωρούμε συνήθως ως αποδεκτή τιμή του *BER* το 10^3 .

Ρυθμός λαθών (BER)	Υποκειμενική εντύπωση των λαθεμένων bits
10^{-6}	Όχι αντιληπτή.
10^{-5}	Σποραδικοί κρουστικοί θόρυβοι στις χαμηλές στάθμες ομιλίας, μόλις αντιληπτή
10^{-4}	Σποραδικοί κρουστικοί θόρυβοι μερικών επιδράσεων, στις χαμηλές στάθμες ομιλίας
10^{-3}	Παρενόχληση σε κάθε στάθμη ομιλίας
10^{-2}	Υψηλός βαθμός παρενόχλησης, κατανόηση ομιλίας ουσιαστικά ελαττωμένη
5×10^{-2}	Σχεδόν ακατανόητη

Πίνακας 3 Επίδραση των λανθασμένων bits στη μετάδοση φωνής

3.4 Διαλείψεις και συστήματα διαφορικής λήψης

Το ηλεκτρομαγνητικό κύμα, όταν διαδίδεται στο μέσο, υφίσταται μεταβολές τόσο στο εύρος όσο και στη φάση του, σε συνάρτηση με τον χρόνο κατά τυχαίο τρόπο. Αυτές οι μεταβολές και ειδικά εκείνες που αλλοιώνουν το πλάτος, ονομάζονται διαλείψεις (fading) και εκφράζονται σε dB ως προς την θεωρητική στάθμη του σήματος στον ελεύθερο χώρο ή ως προς την πραγματική μέση στάθμη του σήματος, που διαφέρει από την προηγούμενη κατά μερικά dB [17].

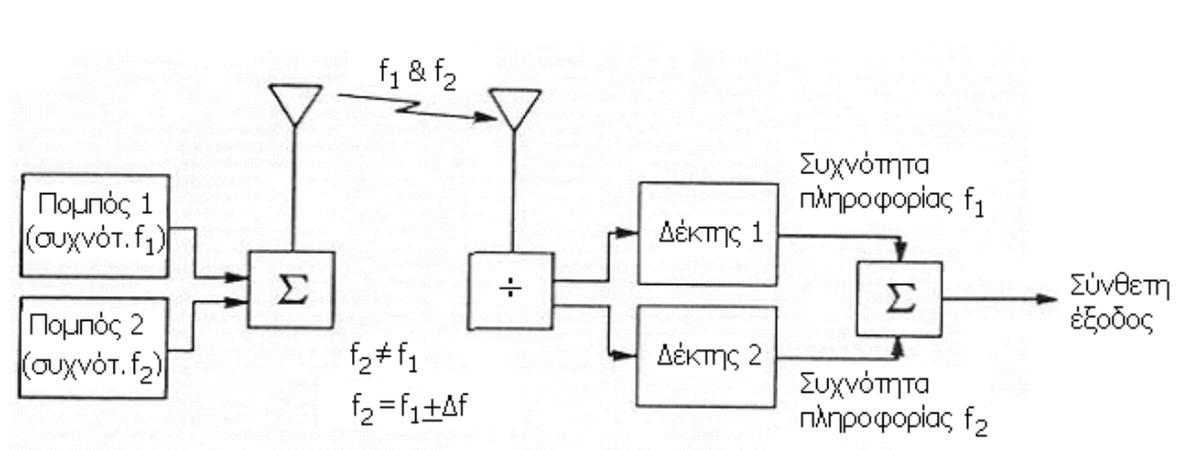
Οι διαλείψεις οφείλονται στη στιγμιαία εκτροπή της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας προς άλλες κατευθύνσεις ή στη συμβολή κυμάτων που φτάνουν στον δέκτη μέσω διαφορετικών οδών (πολλαπλές οδεύσεις) ή ακόμη στη συμβολή μεταξύ του κατευθείαν και του ανακλώμενου κύματος και σε μεταβολές των ατμοσφαιρικών συνθηκών κατά μήκος της ζεύξης. Οι διαλείψεις αυξάνουν συνήθως με την αύξηση της συχνότητας και την απόσταση της ζεύξης. Μόνο στην ιδανική περίπτωση ομοιόμορφης ατμόσφαιρας η μετάδοση γίνεται με το κατευθείαν κύμα, διαφορετικά το κύμα υφίσταται καμπύλωση προς τα πάνω ή προς τα κάτω ανάλογα με τις ατμοσφαιρικές συνθήκες που επικρατούν. Η καμπύλωση αυτή μπορεί να οδηγήσει στον μετασχηματισμό μιας ζεύξης οπτικής επαφής σε μια ζεύξη άνευ ορατότητας. Ο τύπος αυτός των διαλείψεων μπορεί να διαρκέσει επί αρκετές ώρες και η συχνότητά τους όπως και το βάθος τους μπορούν να μειωθούν εκλέγοντας κατάλληλα τη διαδρομή της ζεύξης [17].

Οι διαλείψεις που οφείλονται στη συμβολή του κατευθείαν και του ανακλώμενου κύματος, είναι σημαντικές σε ζεύξεις υπεράνω θαλάσσης, λιμνών ή

λείου υγρού εδάφους και μπορούν να ελαχιστοποιηθούν τοποθετώντας τη μια κεραία υψηλά και την άλλη χαμηλά. Με τον τρόπο αυτόν το σημείο ανακλάσεως τοποθετείται πλησίον της χαμηλής κεραίας και η διαφορά φάσεως μεταξύ του κατευθείαν και του ανακλώμενου κύματος παραμένει σχετικά σταθερή [17].

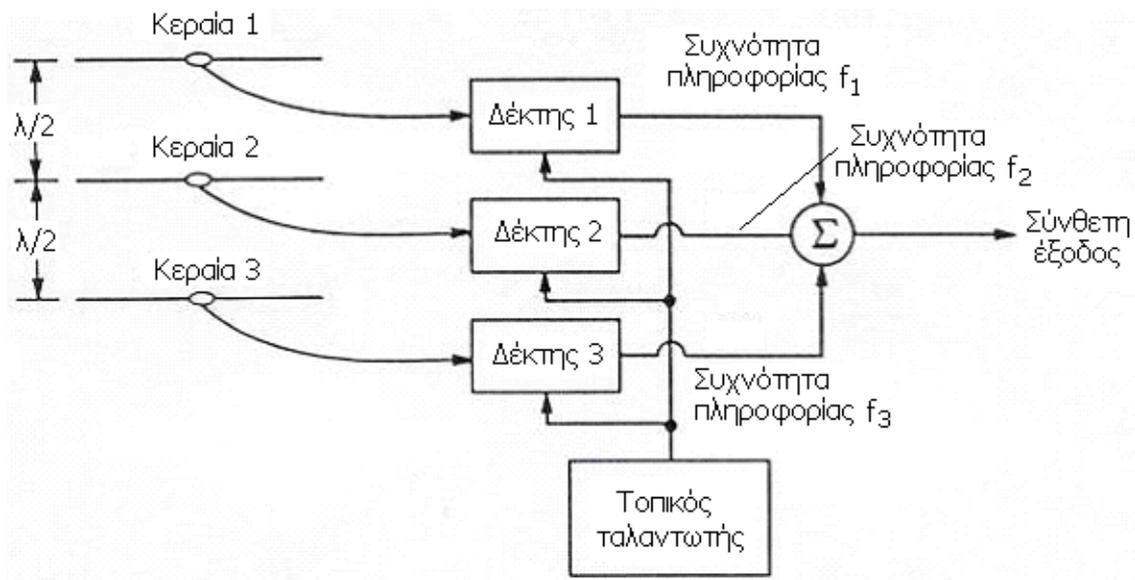
Σχετικά με το φαινόμενο των πολλαπλών διαδρομών του κύματος το οποίο προκαλεί διαλείψεις, οφείλεται στις ανομοιογένειες του δείκτη διαθλάσεως κυρίως κατά την κατακόρυφη διεύθυνση αλλά και σε μικρότερο βαθμό, κατά την οριζόντια διεύθυνση. Λόγω διαφοράς στα μήκη των διαδρομών, το σήμα στον δέκτη είναι το άθροισμα των συνιστωσών με συγκρίσιμα πλάτη αλλά τυχαίες φάσεις. Τα πλάτη και οι φάσεις των συνιστωσών αυτών μεταβάλλονται συνεχώς λόγω των αντίστοιχων μεταβολών της ατμόσφαιρας. Η κατανομή των διαλείψεων λόγω πολλαπλών οδεύσεων πλησιάζει την κατανομή Rayleigh. Το βάθος των διαλείψεων στη χειρότερη περίπτωση, φτάνει τα 40 dB [17].

Για τον περιορισμό των διαλείψεων χρησιμοποιούνται στην πράξη τρεις διαφορετικές τεχνικές: η διαφορική λήψη συχνότητας, η διαφορική λήψη χώρου και η διαφορική λήψη πολικότητας. Στη διαφορική λήψη συχνότητας (Εικόνα 22) ο πομπός εκπέμπει σε δύο ή περισσότερες συχνότητες συγχρόνως, οι οποίες περιέχουν την ίδια διαμορφώνουσα πληροφορία. Εφόσον οι δύο συχνότητες θα παρουσιάζουν διαφορετική διάλεια κατά τη διάδοση, η μία θα έχει πάντα ισχυρό πλάτος [17].



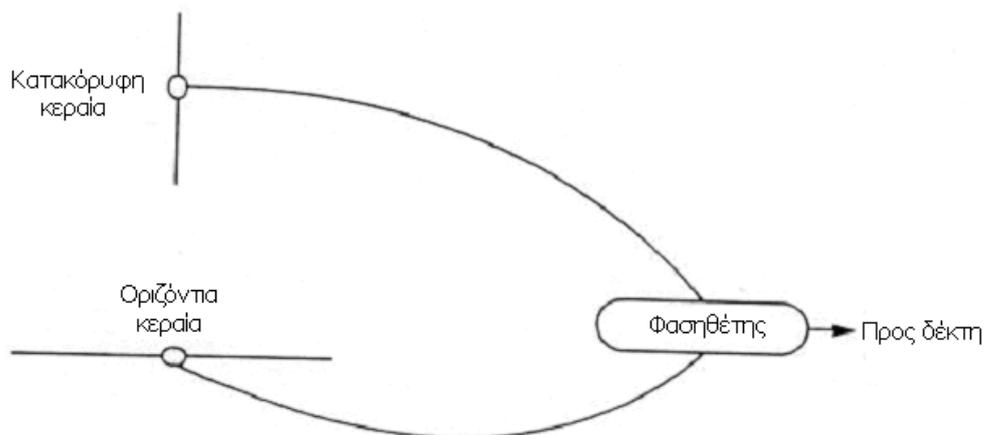
Εικόνα 22 Διαφορική λήψη συχνότητας

Σε ένα σύστημα διαφορικής λήψης χώρου, σαν αυτό που φαίνεται στην εικόνα 23, ο πομπός εκπέμπει μία συχνότητα αλλά στη λήψη χρησιμοποιούνται δύο ή περισσότερες κεραιές λήψεως σε απόσταση μισού μήκους κύματος μεταξύ τους. Έτσι το λαμβανόμενο σήμα μπορεί να παρουσιάζει διάλεια στη μία κεραία λήψης αλλά θα είναι ισχυρό στην άλλη κεραία [17].



Εικόνα 23 Σύστημα διαφορικής λήψης χώρου

Το σύστημα διαφορικής λήψεως πολικότητας (Εικόνα 24) χρησιμοποιεί στη λήψη κεραιές, και οριζόντιας και κατακόρυφης πόλωσης. Οι έξοδοι από τις δύο κεραιές λήψης συνδυάζονται για να παράγουν ένα σταθερό σήμα εξόδου [17].



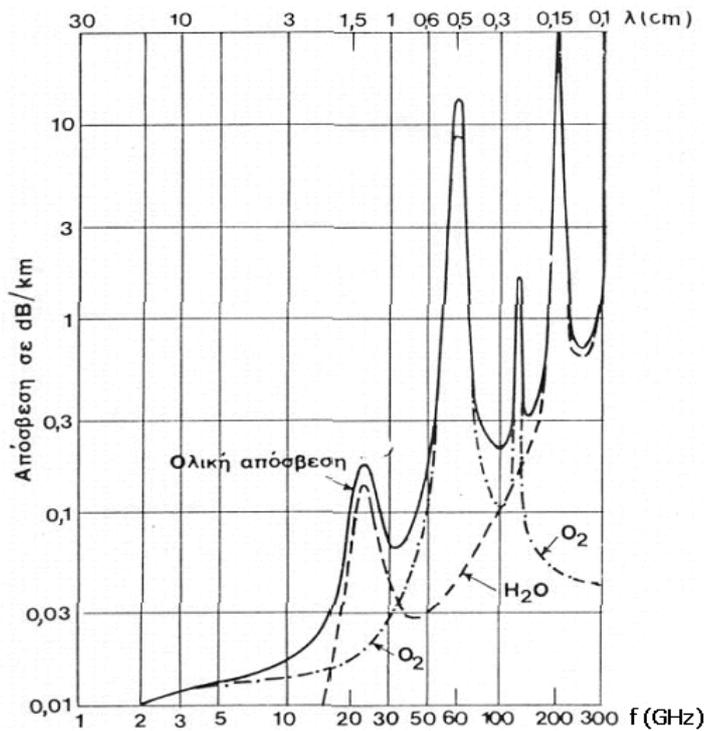
Εικόνα 24 Σύστημα διαφορικής λήψης πολικότητας

Ένας άλλος τύπος διάλειαης είναι η επιλεκτική διάλειαη και προέρχεται από το γεγονός ότι η διάλειαη είναι συνάρτηση της συχνότητας. Σε ένα σήμα με *AM* διαμόρφωση για παράδειγμα, η άνω και η κάτω πλευρική ζώνη διαφέρουν ελαφρώς ως προς τη συχνότητα και έτσι φτάνουν στο δέκτη με διαφορετικές φάσεις. Αυτού του είδους η διάλειαη μπορεί να αντιμετωπιστεί με εκπομπή της μιας μόνο πλευρικής ζώνης ή με τη χρήση κατάλληλων φίλτρων στον δέκτη [17].

3.5 Εξασθένιση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων από την ατμόσφαιρα

Σχετικά με τις συχνότητες που είναι μικρότερες των 3 GHz , τα συστατικά αέρια της ατμόσφαιρας δεν προκαλούν απορρόφηση της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας. Αντίθετα, δεν συμβαίνει το ίδιο για συχνότητες μεγαλύτερες των 3 GHz , όπου η εξασθένιση των κυμάτων που οφείλεται στην απορρόφηση ενέργειας από το οξυγόνο και τους υδρατμούς της ατμόσφαιρας, καθώς και στην απορρόφηση και σκέδαση ενέργειας από τη βροχή, το χαλάζι ή την ομίχλη, είναι αρκετά σημαντική [8].

Η εξασθένιση που συμβαίνει, λόγω απορροφήσεως της ενέργειας από τα μόρια του οξυγόνου και του υδρατμού αυξάνει εκθετικά με το μήκος της ζεύξεως και επομένως μπορεί να εκφραστεί σε dB/km . Στην εικόνα 25 απεικονίζεται η καμπύλη απόσβεσης που οφείλεται στο ατμοσφαιρικό οξυγόνο και τους υδρατμούς. Από τη σχήμα αυτό παρατηρούμε ότι για το οξυγόνο έχουμε μέγιστα για μήκη κύματος περίπου 5 mm ($f=60\text{ GHz}$) και $2,5\text{ mm}$ ($f=120\text{ GHz}$). Ααντίστοιχα για τους υδρατμούς τα μέγιστα παρουσιάζονται για μήκη κύματος περίπου $13,5\text{ mm}$ ($f=22,5\text{ GHz}$) και $1,5\text{ mm}$ ($f=200\text{ GHz}$) [8].



Εικόνα 25 Καμπύλες αποσβέσεως που οφείλεται στο ατμοσφαιρικό οξυγόνο και τους υδρατμούς

Η εξασθένιση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, εξαιτίας στο οξυγόνο και τους υδρατμούς της ατμόσφαιρας εξαρτάται από τη συχνότητα, την πίεση των υδρατμών και τη θερμοκρασία. Σε μία δεδομένη ζεύξη, η πίεση των υδρατμών, δηλαδή η απόλυτη υγρασία, συνήθως μεταβάλλεται κατά μήκος της ζεύξεως και συνεπώς η απορρόφηση της ενέργειας παρουσιάζει μεταβολές συναρτήσεως του χρόνου. Κατά τη διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στην ατμόσφαιρα, η οποία περιέχει σταγόνες ύδατος που αιωρούνται (ομίχλη) ή πέφτουν (βροχή), δύο είναι οι μηχανισμοί που την προκαλούν, αφ' ενός μεν σκέδαση και αφ' ετέρου μετασχηματισμός σε θερμότητα της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας εξαιτίας των επαγομένων ρευμάτων στα σταγονίδια, λόγω της ηλεκτρικής αγωγιμότητας που παρουσιάζουν. Στην πράξη, συνήθως μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα η επίδραση του δεύτερου μηχανισμού [8].

Στην Εικόνα 26 δίνονται καμπύλες της αποσβέσεως για διάφορες εντάσεις βροχοπτώσεως (mm/hr) και για διάφορους τύπους ομίχλης. Όπως προκύπτει από το σχήμα, η βροχή προκαλεί εξασθένιση, η οποία αυξάνει αυξανόμενης της συχνότητας του κύματος και της εντάσεως της βροχοπτώσεως και εξαρτάται από το μέγεθος των σταγόνων [8].

4^ο Κεφάλαιο Χαρακτηριστικά κεραιών

4.1 Βασικές έννοιες

Η κεραία, τόσο σαν πομπός όσο και σαν δέκτης, είναι ένα σύστημα αγωγών κατάλληλης μορφής και διαστάσεων, το οποίο διαρρέεται από ρεύματα υψηλής συχνότητας. Ένας συνηθισμένος τύπος κεραίας που χρησιμοποιείται ευρέως σε επίγειες ασυρματικές ζεύξεις είναι η παραβολική κεραία, την οποία θα αναλύσουμε σε επόμενη ενότητα [16].

Σε κάθε ασύρματο σύστημα, οι κεραίες χρησιμοποιούνται σε κάθε άκρο της σύνδεσης. Η κεραία είναι ένα μέσο για να μεταφέρουμε την ισχύ ραδιοσυχνότητας από την γραμμή εκπομπής στον ελεύθερο χώρο, επιτρέποντας έναν πομπό να ακτινοβολεί, και έναν δέκτη να λαμβάνει επικείμενη ηλεκτρομαγνητική ισχύ. Οι κεραίες μπορούν να είναι τόσο απλές όσο ένα κομμάτι καλωδίου, ή μπορούν να είναι σύνθετα συστήματα με ενεργά ηλεκτρόδια. Παρά το εύρος των τεχνολογιών που αφορούν στα κεραιοσυστήματα, υπάρχει ένας αριθμός αντιλήψεων που είναι κοινές σε όλα τα κεραιοσυστήματα [16].

Η ακτινοβολούμενη συνολική μέση ισχύς από μία κεραία, μπορεί γενικά να ορισθεί ως η καταναλισκόμενη ισχύς σε μια υποθετική, ισοδύναμη αντίσταση, η οποία ονομάζεται αντίσταση ακτινοβολίας. Εάν I είναι η μέγιστη τιμή του ρεύματος στην κεραία, η αντίσταση ακτινοβολίας ορίζεται από τη σχέση [16].

$$W_a = \frac{1}{2} R_a I^2$$

Εξίσωση 5 Αντίσταση ακτινοβολίας

Η συνάρτηση κατευθυντικότητας $D(\theta, \phi)$ μιας κεραίας κατά τη διεύθυνση (θ, ϕ) ορίζεται ως ο λόγος της ακτινοβολούμενης ισχύος ανά μονάδα στερεάς γωνίας κατά τη διεύθυνση (θ, ϕ) δια της ακτινοβολούμενης συνολικής μέσης ισχύος ανά μονάδα στερεάς γωνίας. Η ισχύς ανά μονάδα στερεάς γωνίας $U(\theta, \phi)$ ορίζεται ως [16]:

$$U(\theta, \phi) = r^2 P_r$$

Εξίσωση 6 ισχύς/ μονάδα στερεάς γωνίας

όπου P_r είναι η πυκνότητα ισχύος σε απόσταση r από την κεραία. Η ακτινοβολούμενη συνολική μέση ισχύς ανά μονάδα στερεάς γωνίας δίνεται από τη σχέση:

$$U_o = \frac{W_a}{4\pi}$$

Εξίσωση 7 Ακτινοβολούμενη μέση ισχύς

η οποία είναι και η ακτινοβολούμενη ισχύς ανά μονάδα στερεάς γωνίας από μια υποθετική ισοτροπική κεραία, που ακτινοβολεί ομοιόμορφα προς όλες τις κατευθύνσεις την αυτή συνολική ισχύ W_a , όπως και η θεωρούμενη κεραία. Συνεπώς η συνάρτηση κατευθυντικότητας δίνεται γενικότερα από τη σχέση [16]:

$$D(\theta, \phi) = \frac{U(\theta, \phi)}{U_o} = \frac{U(\theta, \phi)}{W_a / 4\pi} = \frac{4\pi r^2 P_r}{W_a}$$

Εξίσωση 8 κατευθυντικότητα

Η μέγιστη τιμή της συνάρτησης κατευθυντικότητας, δηλαδή η τιμή της κατά τη διεύθυνση της μέγιστης ακτινοβολίας, η οποία είναι και πρακτικώς πιο χρήσιμη, ονομάζεται κατευθυντικότητα της κεραίας. Η κατευθυντικότητα είναι ένα μέτρο του πόσο αποτελεσματική είναι η κεραία στο να συγκεντρώνει σε μια δεδομένη κατεύθυνση την ακτινοβολούμενη ισχύ [16].

Συχνά αντί της συνάρτησης κατευθυντικότητας χρησιμοποιείται η συνάρτηση κέρδους, η οποία ορίζεται ως ο λόγος της πυκνότητας ισχύος σε ένα ορισμένο σημείο (μέση χρονική τιμή του διανύσματος Poynting) σε μία δεδομένη κατεύθυνση, προς την πυκνότητα ισχύος στο ίδιο σημείο, που παρέχεται από μια ισοτροπική κεραία που τροφοδοτείται με την ίδια συνολική ισχύ εισόδου, με την οποία τροφοδοτείται και η κεραία της οποίας ζητείται η συνάρτηση κέρδους. Δηλαδή η συνάρτηση κέρδους $G(\theta, \phi)$ δίνεται από τη σχέση [16]:

$$G(\theta, \phi) = \frac{P_r}{(W_a + W_{απ}) / 4\pi r^2} = \frac{4\pi r^2 P_r}{W_T}$$

Εξίσωση 9 Συνάρτηση Κέρδους

όπου $W_T = W_a + W_{απ}$ είναι η συνολική ισχύς τροφοδοσίας της κεραίας και η $W_{απ}$ περιλαμβάνει όλες τις ωμικές απώλειες. Η μέγιστη τιμή της συνάρτησης κέρδους ορίζει το λεγόμενο κέρδος της κεραίας:

$$G = \frac{4\pi r^2 P_{r(\muεγ.)}}{W_T}$$

Εξίσωση 10 Κέρδος

Συχνά το κέρδος, όπως και η κατευθυντικότητα, εκφράζονται σε decibel, δηλαδή:

$$G = 10 \log \frac{4\pi r^2 P_{r(\text{μεγ.})}}{W_T}$$

Εξίσωση 11 κέρδος σε dB

Όταν είναι γνωστό, το κέρδος μιας κεραίας σε μια δεδομένη κατεύθυνση, η μέση χρονική στιγμή του διανύσματος Poynting (πυκνότητα ισχύος) σε εκείνη τη κατεύθυνση, σε απόσταση r από την κεραία εκπομπής, προσδιορίζεται από την έκφραση:

$$P_r = \frac{W_T G}{4\pi r^2}$$

Εξίσωση 12 Πυκνότητα ισχύος

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το κέρδος μιας κεραίας εξαρτάται από τη συχνότητα εκπομπής.

Ο λόγος της ακτινοβολούμενης ισχύος από την κεραία προς τη συνολική ισχύ εισόδου στην κεραία ορίζει τον βαθμό απόδοσης (radiation efficiency) της κεραίας:

$$a = \frac{W_a}{W_T} = \frac{G}{D}$$

Εξίσωση 13 βαθμός απόδοσης

Η ικανότητα μιας κεραίας λήψεως να απορροφά ισχύ χαρακτηρίζεται από την παράμετρο A_R , η οποία καλείται ενεργός επιφάνεια της κεραίας. Η A_R ορίζεται ως ο λόγος μεταξύ της απορροφούμενης ισχύος W_R στο φορτίο υπό συνθήκες μέγιστης μεταφερόμενης ισχύος και προσαρμογής και της ισχύος ανά μονάδα επιφάνειας P του προσπίπτοντος ηλεκτρομαγνητικού κύματος:

$$A_R = \frac{W_R}{P}$$

Εξίσωση 14 ενεργός επιφάνεια

Ο λόγος ενεργός επιφάνεια προς κατευθυντικότητα (ή κέρδος) μιας κεραίας δίνεται από τη σχέση:

$$\frac{A}{D} = \frac{\lambda^2}{4\pi}$$

Εξίσωση 15 ενεργός επιφάνεια/κατευθυντικότητα

4.2 Παράμετροι κεραιών

Πρέπει να οριστούν τα κατάλληλα μεγέθη με τη βοήθεια των οποίων θα περιγραφούν και καθοριστούν τα χαρακτηριστικά κάθε κεραιάς. Ενδεικτικά αναφέρονται ως τέτοια, το κέρδος της κεραιάς η κατευθυντικότητα της, το εύρος ζώνης το εύρος δέσμης ακτινοβολίας κτλ [16].

4.2.1 Κέρδος κεραιάς και Αποτελεσματική Ισχύς Εκπομπής

Υπάρχουν ορισμένες κεραιές οι οποίες κατευθύνουν το διάγραμμα ακτινοβολίας τους, σε μία συγκεκριμένη κατεύθυνση σε αντίθεση με τις ομοιοκατευθυντικές κεραιές (omnidirectional-isotropic antenna) που ακτινοβολούν προς όλες τις κατευθύνσεις. Ένας άλλος τρόπος περιγραφής του χαρακτηριστικού της κεραιάς να συγκεντρώνει την εκπεμπόμενη ακτινοβολία, αποτελεί το μέγεθος του κέρδους της κεραιάς (antenna gain) (μετρούμενο σε decibels) [2]:

- Κατευθυντικό κέρδος (directive gain): Ορίζεται ως ο λόγος της πυκνότητας της εκπεμπόμενης ισχύος (power density) σε συγκεκριμένη κατεύθυνση προς την πυκνότητα ισχύος η οποία θα εκπεμπόταν από μία ομοιοκατευθυντική κεραιά. Η πυκνότητα ισχύος αμφότερων των δύο τύπων κεραιών μετράται σε συγκεκριμένη κατεύθυνση και ως εκ τούτου ένας συγκριτικός λόγος υπολογίζεται. Έπειτα από μετρήσεις προκύπτουν τα εξής: Κατά πρώτον, αυξανόμενου του μήκους της κεραιάς αυξάνεται η τιμή του κέρδους της κεραιάς. Κατά δεύτερον, συγκρίνοντας τα κέρδη των συντονισμένων κεραιών με τα αντίστοιχα των μη συντονισμένων προκύπτει το συμπέρασμα ότι οι μη συντονισμένες κεραιές παρουσιάζουν μεγαλύτερο κέρδος γεγονός αναμενόμενο [2].
- Κατευθυντικότητα και κέρδος ισχύος (directivity and power gain): Ένα επιπλέον μέγεθος το οποίο χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του κέρδους μίας κεραιάς είναι το κέρδος ισχύος (power gain). Το συγκεκριμένο μέγεθος στην πραγματικότητα αποτελεί μέτρο σύγκρισης της ισχύος εξόδου μίας συγκεκριμένης κεραιάς σε συγκεκριμένη κατεύθυνση, σε σχέση με μία ισοτροπική κεραιά. Το κέρδος μίας κεραιάς είναι ο λόγος ισχύος μεταξύ μίας ομοιοκατευθυντικής και μίας κατευθυντικής κεραιάς. Η μαθηματική έκφραση μέσω της οποίας εκφράζεται και υπολογίζεται είναι η ακόλουθη [2]:

$$A(\text{dB})=10 \log_{10}(P_2/P_1)$$

Όπου $A(\text{dB})$: το κέρδος της κεραίας σε decibels

P_1 : η εκπεμπόμενη ισχύς της κατευθυντικής κεραίας

P_2 : η εκπεμπόμενη ισχύς της ισοτροπικής κεραίας

Ένας επιπρόσθετος όρος ο οποίος χρησιμοποιείται προκειμένου να περιγράψει την απόδοση του συστήματος εκπομπής είναι ο effective radiated power (ERP).

4.2.2 Ένταση πεδίου

Οι τάσεις που αναπτύσσονται σε μία κεραία λήψεως είναι πολύ μικρές, της τάξεως των μικροβόλτ, επομένως οι λαμβανόμενες μετρήσεις της εντάσεως του πεδίου (*field strength*) θα είναι της τάξεως των mV/m [2].

- Ένταση πεδίου: Η ένταση του πεδίου, που δημιουργείται ως αποτέλεσμα της εκπομπής ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας στον περιβάλλοντα χώρο, σε συγκεκριμένο σημείο ισοδυναμεί με την επαγόμενη τάση επί καλωδίου μήκους 1m το οποίο βρίσκεται στο συγκεκριμένο σημείο. Η τιμή της εξαρτάται από ένα σύνολο παραγόντων αναφέροντας χαρακτηριστικά τη χρονική στιγμή της ημέρας που πραγματοποιείται η εκπομπή της κεραίας, τις ατμοσφαιρικές συνθήκες την απόσταση του καλωδίου από την κεραία κτλ [2].

4.2.3 Αντίσταση ακτινοβολίας κεραίας

Η αντίσταση ακτινοβολίας της κεραίας, είναι ένα υποθετικό μέγεθος με θεωρητική μόνο σημασία [2].

- Αντίσταση ακτινοβολίας της κεραίας (*antenna radiation resistance*), είναι η ωμική αντίσταση ενός κυκλώματος στην οποία θα απελευθερώνονταν το ίδιο ποσό ενέργειας με το αντίστοιχο ακτινοβολούμενο από την κεραία. Προσδιορίζεται δε από το λόγο της μέσης ακτινοβολούμενης ισχύος της κεραίας προς το τετράγωνο της έντασης του επαγόμενου ρεύματος που αναπτύσσεται σε συγκεκριμένο απομακρυσμένο σημείο (*feed point*) [2].
- Απώλειες και βαθμός απόδοσης: Εκτός από την ενέργεια που εκπέμπεται από την κεραία, ένα σημαντικό μέγεθος, ο προσδιορισμός και περιορισμός του οποίου αποτελεί εξέχουσας σημασίας έργο, είναι οι απώλειες ισχύος. Παράγοντες που συμβάλλουν στην απώλεια ισχύος κατά την εκπομπή της κεραίας είναι μεταξύ των άλλων, η *ground resistance*, *corona effects*, *imperfect dielectric* στον

περιβάλλοντα χώρο της κεραίας και σε θερμικές απώλειες κατά μήκος της κεραίας. Συνδυάζοντας λοιπόν όλα τα παραπάνω, προκύπτει η σχέση: $P_{in} = P_d + P_{rad}$, όπου P_{in} η συνολική ισχύς τροφοδοσίας της κεραίας

P_d : η απολεσθείσα ενέργεια

P_{rad} : η συνολικά ακτινοβολούμενη ενέργεια

Από την παραπάνω σχέση και αντικαθιστώντας καθ' έναν εκ των τριών όρων με τον αντίστοιχο $I^2 R$ όρο, προκύπτει η ισοδύναμη σχέση $R_{in} = R_d + R_{rad}$ βασιζόμενοι στην οποία μπορούμε να ορίσουμε την παράμετρο του βαθμού απόδοσης της κεραίας ως εξής: $\eta = R_{rad} / (R_{rad} + R_d) * 100\%$, όπου R_d : η αντίσταση της κεραίας (*antenna resistance*) R_{rad} : η αντίσταση ακτινοβολίας της κεραίας

Ο βαθμός απόδοσης της κεραίας μπορεί να οριστεί ως ο λόγος της ακτινοβολούμενης ισχύος από την κεραία προς τη συνολική ισχύ τροφοδοσίας της κεραίας [2].

4.2.4 Εύρος ζώνης συχνοτήτων, Εύρος δέσμης και πολικότητα κεραίας

Το εύρος ζώνης συχνοτήτων, στις οποίες λειτουργεί η κεραία, το εύρος δέσμης της κεραίας που καθορίζει το βαθμό συρρίκνωσης του διαγράμματος ακτινοβολίας, γύρω από τον κεντρικό άξονα και τέλος η πολικότητα (*polarity*) που περιγράφει τον προσανατολισμό (*space orientation*) των εκπεμπόμενων κυμάτων στο χώρο αποτελούν τις πιο σημαντικές παραμέτρους της κεραίας [2].

Συγκεκριμένα, με τον όρο εύρος ζώνης προσδιορίζεται το εύρος των συχνοτήτων στο οποίο η κεραία μπορεί να λειτουργεί αποδοτικά, εννοώντας για παράδειγμα ότι η κεραία θα επιτυγχάνει ικανοποιητική απόδοση (*throughput*) στο συγκεκριμένο εύρος συχνοτήτων. Στο σημείο όπου η ισχύς της κεραίας μειώνεται στο μισό της μέγιστης τιμής της (3dB), το μέγιστο και ελάχιστο του συγκεκριμένου εύρους ζώνης συχνοτήτων στο οποίο λειτουργεί η κεραία έχει επιτευχθεί οπότε και η απόδοση της κεραίας μειώνεται σταδιακά. Στην περίπτωση δε των κεραιών που λειτουργούν σε μεγάλο εύρος ζώνης συχνοτήτων, προκειμένου να διατηρείται η απόδοση τους σε υψηλά επίπεδα, ενσωματώνονται κατάλληλα αντισταθμιστικά κυκλώματα (*compensating circuits*) έτσι ώστε ανά πάσα στιγμή να εξασφαλίζεται η προσαρμογή σύνθετη αντίστασης της κεραίας. Κατ' αυτό τον τρόπο, ελαχιστοποιώντας την πιθανότητα δημιουργίας στάσιμων κυμάτων, εξασφαλίζεται

τρόπον τινά η “προστασία” του εκπεμπόμενου σήματος από αυτού του είδους τις παραμορφώσεις-υποβιβάσεις [2].

Το εύρος δέσμης της κεραίας προσδιορίζει την ικανότητα συρρίκνωση ή όχι της ακτινοβολούμενης δέσμης γύρω από τον κύριο άξονα ακτινοβολίας. Συνήθως περιγράφεται ως η γωνία που σχηματίζεται από τα σημεία ημίσεως ισχύος (*half power points*-σημεία στα οποία η ένταση του πεδίου της κεραίας μειώνεται στο 0.707 της μέγιστης τιμής της) του κυρίως λοβού του διαγράμματος ακτινοβολίας [2].

Σχετικά με την πολικότητα της κεραίας, είναι μία παράμετρος που προσδιορίζει τον προσανατολισμό στο χώρο των πεδίων του εκπεμπόμενου ηλεκτρομαγνητικού κύματος. Στον ελεύθερο χώρο, τον περιβάλλοντα την κεραία, το μαγνητικό πεδίο του κύματος είναι κάθετο στη διεύθυνση του ηλεκτρικού πεδίου και επιπλέον η διεύθυνση διάδοσης του ηλεκτρομαγνητικού κύματος είναι κάθετη και στα δύο επαγόμενα πεδία. Η πολικότητα της κεραίας καθορίζεται από την πολικότητα του εκπεμπόμενου ηλεκτρομαγνητικού κύματος. Έτσι λοιπόν στην περίπτωση που η διεύθυνση του ηλεκτρικού πεδίου είναι κάθετη, η κεραία εμφανίζεται κάθετα πολωμένη ενώ αντιθέτως όποτε η διεύθυνση του ηλεκτρικού πεδίου είναι οριζόντια η κεραία χαρακτηρίζεται ως οριζόντια πολωμένη. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι οι LF (*Low Frequency*) κεραίες εμφανίζουν κάθετη πολικότητα κατά το πλείστο τους, εξ’ αιτίας τόσο της επιδράσεως της επιφάνειας της γης στα εκπεμπόμενα LF ηλεκτρομαγνητικά κύματα όσο και των μεθόδων κατασκευής τους. Από την άλλη μεριά, οι HF (*High Frequency*) κεραίες εμφανίζουν συνήθως οριζόντια πόλωση [2].

4.3 Εξίσωση του Friis

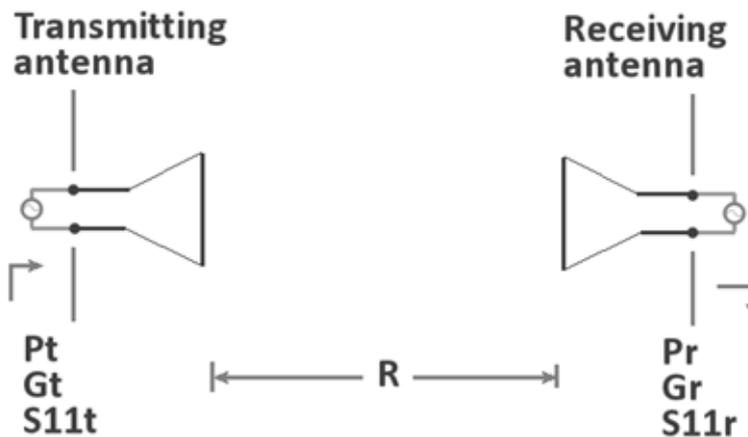
Τα μεγέθη που αναπτύχθηκαν στην προηγούμενη ενότητα, μας επιτρέπουν να προσδιορίσουμε τη σχέση μεταξύ της ισχύος W_R , την οποία η κεραία λήψεως παρέχει στον δέκτη και της ισχύος W_T , την οποία η πηγή παρέχει στην κεραία εκπομπής, σε ένα ασύρματο τηλεπικοινωνιακό σύστημα. Η σχέση αυτή εκφράζεται από την εξίσωση του Friis [16].

Από τις εξισώσεις (8) και (10) και για απόσταση d μεταξύ των κεραιών τοποθετημένων στον ελεύθερο χώρο (Εικόνα 23), η ισχύς στην είσοδο του δέκτη δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$W_R = A_R P = A_R \frac{W_T G_T}{4\pi d^2} = W_T \frac{A_R G_T}{4\pi d^2}$$

Εξίσωση 16 εξίσωση Friis

όπου G_T είναι το κέρδος της κεραίας εκπομπής. Η εξίσωση αυτή είναι γνωστή σαν εξίσωση μετάδοσης στον ελεύθερο χώρο ή εξίσωση του Friis [16].



Εικόνα 27 Προσανατολισμός κεραίας εκπομπής (transmitting antenna) και κεραίας λήψης (receiving antenna)

Η εξίσωση (16) μπορεί να γραφεί σε διαφορετικές μορφές αν λάβουμε υπόψη προηγούμενες εξισώσεις και τα αντίστοιχα μεγέθη εκπομπής και λήψης. Έτσι καταλήγουμε στις ακόλουθες σχέσεις στις οποίες εμφανίζονται μόνον τα κέρδη ή μόνον οι ενεργές επιφάνειες των δύο κεραίων:

$$W_R = W_T \frac{G_T G_R \lambda^2}{(4\pi d)^2}$$

Εξίσωση 17 μόνο με κέρδη

$$W_R = W_T \frac{A_T A_R}{d^2 \lambda^2}$$

Εξίσωση 18 μόνο με ενεργές επιφάνειες

Οι παραπάνω εξισώσεις προσδιορίστηκαν δεχόμενοι ότι στην κεραία λήψης, σε απόσταση d από την κεραία εκπομπής φτάνει ένα επίπεδο ηλεκτρομαγνητικό κύμα και δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν όταν η απόσταση d είναι μικρή. Οι εξισώσεις

αυτές ισχύουν μόνο για τον ελεύθερο χώρο, όταν οι αποστάσεις μεταξύ των κεραιών και από τον γήινο χώρο είναι τέτοιες ώστε να ισχύει η σχέση:

$$d > 2a^2/\lambda$$

όπου a είναι η μεγαλύτερη γραμμική διάσταση μιας των δύο κεραιών.

Από την εξίσωση (17) προκύπτει ο λόγος $W_T/W_R = (4\pi d)^2/(G_T G_R \lambda^2)$ ο οποίος ονομάζεται απώλεια μετάδοσης (transmission loss) στον ελεύθερο χώρο και συνήθως εκφράζεται σε dB :

$$A_0(dB) = 10 \log \frac{W_T}{W_R} = A_b(dB) - G_{R(dB)} - G_{T(dB)}$$

Εξίσωση 19 απώλεια μετάδοσης

όπου:

$$A_b = 10 \log(4\pi d / \lambda)^2$$

Εξίσωση 20 απώλεια σε dB

ονομάζεται βασική απώλεια μεταδόσεως (basic transmission loss). Εάν εκφράσουμε την απόσταση d σε km και το μήκος κύματος λ σε εκατοστά, η εξίσωση (19) μετατρέπεται στην ακόλουθη πρακτική έκφραση:

$$A_0(dB) = 122 + 20 \log d(km) - G_{R(dB)} - G_{T(dB)} - 20 \log \lambda_{(cm)}$$

Εξίσωση 21 απώλειες σε συνάρτηση με την απόσταση

Από τη σχέση (12) και αντικαθιστώντας το λ με c/f προκύπτει η σχέση:

$$G = A \frac{4\pi f^2}{c^2}$$

Εξίσωση 22 κέρδος (β)

η οποία δηλώνει ότι για μια κεραία δεδομένης γεωμετρικής επιφάνειας και αποδοτικότητας, το κέρδος θα είναι τόσο μεγαλύτερο όσο υψηλότερη είναι η συχνότητα. Επίσης, από τις σχέσεις (21) και (22) προκύπτει ότι η απώλεια μετάδοσης στον ελεύθερο χώρο μεταξύ δύο κεραιών σε σταθερή απόσταση και δεδομένης γεωμετρικής επιφάνειας και αποδοτικότητας, ελαττώνεται αυξανόμενης της συχνότητας [16].

Αν θεωρήσουμε ότι $W_{R(min)}$ είναι η ελάχιστη ισχύς λήψεως στους ακροδέκτες της κεραίας λήψεως ικανή να δώσει ακόμη ένα σήμα χρήσιμο και W_T είναι η ισχύς

μεταδόσεως στους ακροδέκτες της κεραίας εκπομπής, τότε η μέγιστη απόσταση μεταδόσεως στον ελεύθερο χώρο, θα είναι:

$$d_o = \frac{\sqrt{G_T G_R \lambda^2}}{4\pi} \sqrt{\frac{W_T}{W_{R(\min)}}}$$

Εξίσωση 23 Μέγιστη απόσταση μετάδοσης

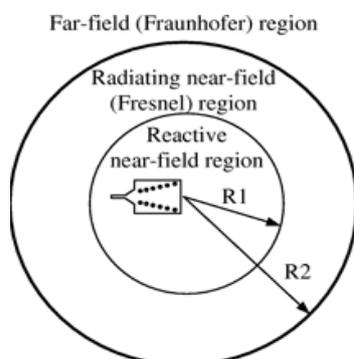
Συνεπώς, η απόσταση ασύρματης ζεύξης στον ελεύθερο χώρο θα πρέπει να είναι μικρότερη ή ίση της αποστάσεως που καθορίζεται από την εξίσωση (23) [16].

4.4 Περιοχές ακτινοβολίας

Ο χώρος που περιβάλλει μία κεραία χωρίζεται σε τρεις περιοχές, την κοντινή περιοχή, την περιοχή Fresnel και την μακρινή περιοχή. Σε αυτές τις τρεις περιοχές η το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο της κεραίας συμπεριφέρεται με διαφορετικό τρόπο. Στην κοντινή περιοχή η κεραία δεν ακτινοβολεί και αυτή η απόσταση καθορίζεται από την ακτίνα $R_1 = 0.62 \cdot (D^3 / \lambda)^{1/2}$, όπου D είναι η μέγιστη διάσταση της κεραίας και λ το μήκος κύματος ($c = \lambda \cdot f$) και συνδέεται με τη συχνότητα λειτουργίας της κεραίας [16].

Η επόμενη περιοχή ονομάζεται ζώνη Fresnel και βρίσκεται μεταξύ της κοντινής και της μακρινής περιοχής. Σε αυτή την περιοχή η κεραία παρουσιάζει χαρακτηριστικά ακτινοβολίας αλλά οι εγκάρσιες συνιστώσες διατηρούν ακτινική εξάρτηση. Αυτή η περιοχή περιορίζεται από την ακτίνα $R_2 = 2 \cdot D^2 / \lambda$ [16].

Τέλος υπάρχει η μακρινή περιοχή όπου χαρακτηριστικό είναι ότι οι εγκάρσιες συνιστώσες είναι ανεξάρτητες από την ακτινική συνιστώσα. Η περιοχή αυτή εκτείνεται πέρα από την ακτίνα R_2 και ουσιαστικά η κεραία ακτινοβολεί μόνο σε αυτή την περιοχή [16].



Εικόνα 27 Περιοχές ακτινοβολίας

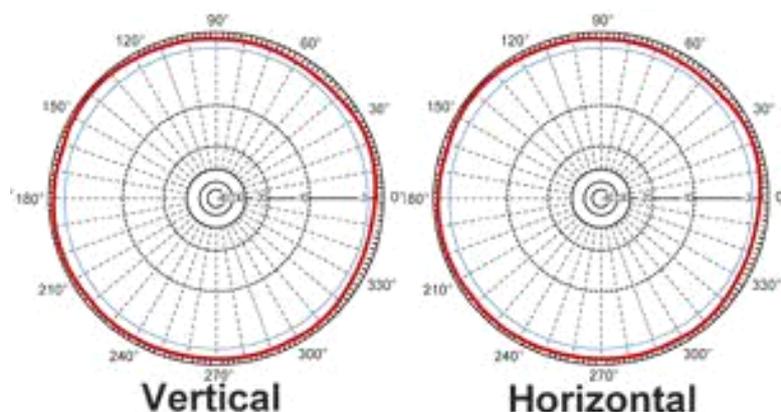
4.4 Διαγράμματα ακτινοβολίας

Το διάγραμμα ακτινοβολίας είναι η γραφική παράσταση που παρουσιάζει τον τρόπο με τον οποίο ακτινοβολεί μια κεραία καθώς μεταβάλλεται το σημείο παρατήρησης του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου. Στις πιο πολλές περιπτώσεις το διάγραμμα ακτινοβολίας προσδιορίζεται για την μακρινή περιοχή της κεραίας. Από το διάγραμμα ακτινοβολίας μπορούμε να δώ μεγέθη, την ένταση ακτινοβολίας και την ένταση του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου [12].

Από το διάγραμμα ακτινοβολίας μπορούμε να ερμηνεύσουμε την συμπεριφορά της κεραίας από τους λοβούς ακτινοβολίας. Λοβός ακτινοβολίας ονομάζεται το τμήμα του διαγράμματος που οριοθετείται από περιοχές πολύ ασθενούς, συνήθως μηδενικής έντασης ακτινοβολίας. Κύριος λοβός ονομάζεται αυτός που περιέχει τη διεύθυνση μέγιστης ακτινοβολίας. Δευτερεύων λοβός είναι κάθε λοβός ακτινοβολίας που δεν είναι κύριος. Επίσης υπάρχουν και οι πλευρικοί λοβοί οι οποίοι δεν περιέχουν τη διεύθυνση ενδιαφέροντος της κεραίας, ενώ οπίσθιος λοβός είναι αυτός που βρίσκεται στην αντίθετη διεύθυνση από τον κύριο λοβό [12].

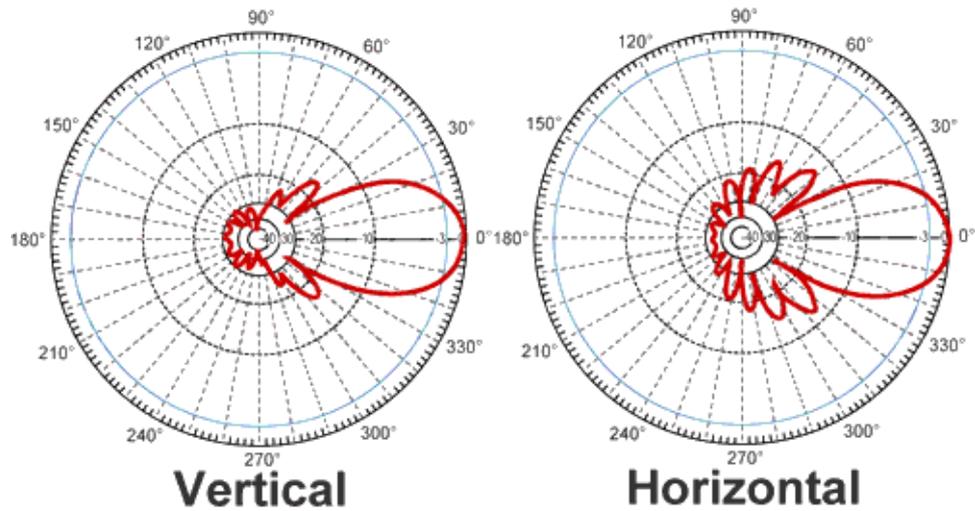
Υπάρχουν τρία βασικά είδη κεραιών σύμφωνα με τα διαγράμματα ακτινοβολίας τους [12]:

- η ιστροπική κεραία, η οποία θεωρείται ιδανική και εκπέμπει χωρίς απώλειες την ίδια ισχύ προς όλες τις κατευθύνσεις (στην πραγματικότητα δεν μπορεί να κατασκευαστεί τέτοια κεραία).



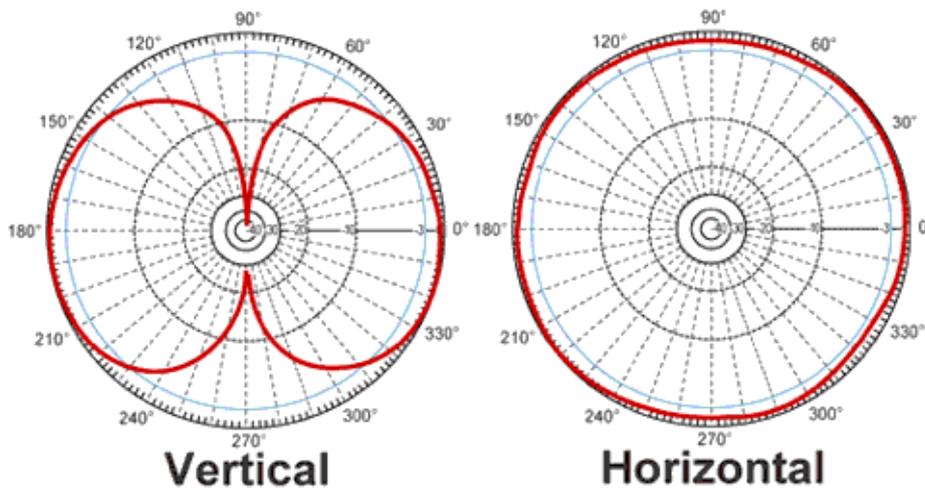
Εικόνα 28 Ισοτροπική κεραία

- η κατευθυντική κεραία, η οποία λαμβάνει ή εκπέμπει με μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα σε ορισμένες κατευθύνσεις.



Εικόνα 29 Κατευθυντική κεραία

- η ομοιοκατευθυντική κεραία, η οποία σε ένα επίπεδο είναι κατευθυντική, αλλά δεν εκπέμπει καθόλου σε οποιοδήποτε κάθετο επίπεδο σε αυτό.



Εικόνα 30 Ομοιοκατευθυντική κεραία

4.5 Θερμοκρασία κεραίας

Μία κεραία μπορεί να θεωρηθεί και ως δέκτης θορύβου, αφού κάθε αντικείμενο που έχει θερμοκρασία πάνω από το απόλυτο μηδέν ακτινοβολεί. Η ποσότητα της ακτινοβολούμενης ισχύος μπορεί να παρασταθεί από μια ισοδύναμη θερμοκρασία [16].

Η ισχύς θερμικού θορύβου ανά μονάδα εύρους ζώνης συχνοτήτων που είναι διαθέσιμη στους ακροδέκτες μιας αντίστασης R η οποία βρίσκεται σε θερμοκρασία T , δίνεται από τη σχέση:

$$w(f) = kT$$

Εξίσωση 24 ισχύς θερμικού θορύβου (α)

όπου k είναι η σταθερά του Boltzmann και T η απόλυτη θερμοκρασία [16].

Για μια πλήρως προσαρμοσμένη κεραία η οποία δεν παρουσιάζει ωμικές απώλειες, η ισχύς θορύβου ανά μονάδα εύρους ζώνης που μεταφέρεται στο φορτίο είναι:

$$w = kT_a$$

Εξίσωση 25 ισχύς θερμικού θορύβου (β)

όπου T_a είναι η θερμοκρασία της κεραίας ή θερμοκρασία της αντίστασης ακτινοβολίας της κεραίας, που προσδιορίζεται από τη θερμοκρασία του χώρου ή αντικειμένου προς το οποίο η κεραία είναι προσανατολισμένη [16].

5^ο Κεφάλαιο Κεραίες

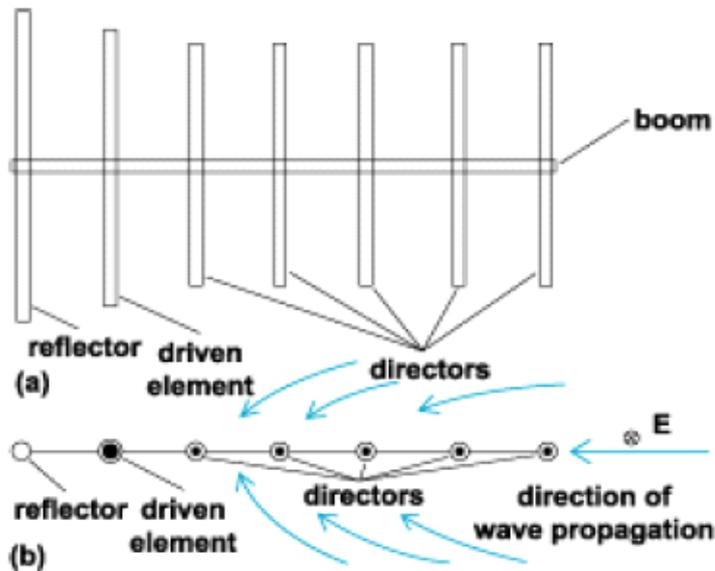
Η ζήτηση για ασύρματες υπηρεσίες επικοινωνιών έχει αυξηθεί κατά πολύ τα τελευταία χρόνια, με αποτέλεσμα η επιστημονική κοινότητα να αναζητά συνεχώς νέους τρόπους να αυξήσει τη φασματική απόδοση των ασύρματων δικτύων αλλά και τη μείωση της παρεμβολής από γειτονικά δίκτυα. Για παράδειγμα, η ανάπτυξη των ασύρματων δικτύων Wi-Fi είναι ραγδαία, ενώ έχουν αρχίσει να χρησιμοποιούνται σε μεγάλο βαθμό και δίκτυα RFID τόσο από επιχειρήσεις όσο και από ιδιώτες.

Με την εξέλιξη της επιστήμης αλλά και με την αύξηση των φασματικών απαιτήσεων άρχισε να χρησιμοποιείται και η τεχνική OFDM. Η μελέτη, ωστόσο της πολυπλεξίας ορθογωνικής διαίρεσης συχνότητας είχε ήδη ξεκινήσει από τη δεκαετία του 1980 αλλά τα συστήματα δεν ήταν υλοποιήσιμα λόγω υψηλού κόστους. Με το συνδυασμό της παραπάνω τεχνικής αλλά και τεχνικών πολλαπλής προσπέλασης, OFDMA, OFDM-TDMA, OFDM-CDMA, οδηγηθήκαμε στην αποτελεσματική χρησιμοποίηση του φάσματος αλλά και στην εξάλειψη της διασυμβολικής παρεμβολής. Παρόλα αυτά οι απαιτήσεις σε εύρος ζώνης και η ανάγκη για ανάπτυξη δικτύων με υψηλές ταχύτητες, όπως τα πρωτόκολλα 802.11n και 802.16, έκαναν επιτακτική την ανάγκη για ακόμα πιο καινοτόμες λύσεις, με συνέπεια την εμφάνιση και την υλοποίηση των έξυπνων κεραιών.

5.1 Γραμμικές κεραιές

5.1.1 Κεραίες Yagi – Uda

Η κλασική Yagi-Uda κεραία ανακαλύφθηκε το 1926 από τους H. Yagi και S. Uda στην Ιαπωνία. Πρόκειται για μια κεραία στην οποία το κέρδος ενός διπόλου ενισχύεται χάρη στη παρουσία ενός ανακλαστικού στοιχείου το οποίο βρίσκεται πίσω από αυτό. Στη συνέχεια η εκπεμπόμενη ακτινοβολία συγκεντρώνεται και κατευθύνεται σε μια συγκεκριμένη διεύθυνση, χάρη στη παρουσία ενός ή περισσότερων κατευθυντικών στοιχείων που βρίσκονται μπροστά από το τροφοδοτούμενο δίπολο [5].



Εικόνα 31Κλασική Yagi-Uda

Η κεραία Yagi-Uda είναι μία στοιχειοκεραία η οποία αποτελείται από ένα διεγερόμενο στοιχείο και ένα ή περισσότερα παρασιτικά στοιχεία. Αυτά είναι τοποθετημένα επί μιας ευθείας γραμμής και κοντά το ένα στο άλλο, μαζί με το αντίστοιχο σύστημα στην οπτική και το διάγραμμα ακτινοβολίας [5].

Επειδή είναι κατευθυντική, όπως φαίνεται από τη μορφή του διαγράμματος ακτινοβολίας, και έχει ένα μέτριο κέρδος στην περιοχή των 7dB, η κεραία Yagi-Uda χρησιμοποιείται ως HF κεραία εκπομπής. Επίσης χρησιμοποιείται σε υψηλότερες συχνότητες, κυρίως σαν μια VHF κεραία λήψης τηλεόρασης. Ο οπίσθιος λοβός μπορεί να ελαττωθεί, και έτσι ο λόγος front-to-back της κεραίας μπορεί να βελτιωθεί, φέρνοντας τα ακτινοβολούντα στοιχεία πλησιέστερα. Αυτό, όμως, έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της σύνθετης αντίστασης εισόδου της στοιχειοκεραίας. Τελικά η απόσταση που φαίνεται στο σχήμα (0.1λ) είναι η βέλτιστη τιμή [2].

Η ακριβής επίδραση του παρασιτικού στοιχείου εξαρτάται από την απόστασή του και την ρύθμισή του, δηλ. από το μέγεθος και τη φάση του ρεύματος που επάγεται σε αυτό. Όπως αναφέρθηκε ήδη, ένα παρασιτικό στοιχείο συντονισμένο σε μια χαμηλότερη συχνότητα από το διεγερόμενο στοιχείο, (δηλ. μεγαλύτερο σε μήκος) θα συμπεριφερθεί ως ήπιος ανακλαστήρας, ενώ ένα μικρότερο σε μήκος παρασιτικό στοιχείο θα ενεργήσει ως ήπιος κατευθυντήρας της ακτινοβολίας. Καθώς ένα παρασιτικό στοιχείο τοποθετείται όλο και πιο κοντά στο διεγερόμενο στοιχείο, θα προσθέσει περισσότερο φορτίο στο διεγερόμενο στοιχείο και θα μειώσει τη

σύνθετη αντίσταση εισόδου του. Αυτός είναι ίσως ο βασικός λόγος για την τόσο συχνή χρησιμοποίηση του αναδιπλωμένου δίπολου ως το διεγερόμενο στοιχείο μιας τέτοιας στοιχειοκεραίας [2].

Το συγκεκριμένο είδος κεραίας είναι γνωστό γιατί παρουσιάζει ένα υψηλού κέρδους ακροπυροδοτικό διάγραμμα ακτινοβολίας με ένα ικανοποιητικό εύρος ζώνης λειτουργίας. Η περιοχή των διπόλων αποτελείται από τρία βασικά στοιχεία: ένα τροφοδοτούμενο δίπολο, ένα ανακλαστικό στοιχείο και ένα ή περισσότερα όμοια παρασιτικά κατευθυντικά στοιχεία. Το τροφοδοτούμενο δίπολο χρησιμοποιείται για τη διέγερση της συγκεκριμένης δομής, στη συνέχεια το πεδίο που εκπέμπεται από αυτό το δίπολο ανακλάται από το μακρύ ανακλαστικό στοιχείο το οποίο βρίσκεται σε διεύθυνση αντίθετη από αυτή της ακροπυροδοτικής ακτινοβολίας. Τα επιπρόσθετα παρασιτικά κατευθυντικά στοιχεία, συντελούν στην ενίσχυση και κατεύθυνση της ακτινοβολίας στην εμπρόσθια ακροπυροδοτική κατεύθυνση [2].

Αρχικά οι Yagi –Uda κεραίες χρησιμοποιήθηκαν σε τηλεοπτικούς δέκτες για λήψη του τηλεοπτικού σήματος και σε εφαρμογές χαμηλών συχνοτήτων. Η σταδιακή μελέτη και βελτίωσή τους είχε ως αποτέλεσμα να κριθεί απαραίτητη η χρήση τους σε μοντέρνα επικοινωνιακά συστήματα. Επομένως κατασκευαστήκαν Yagi-Uda κεραίες μικρού μεγέθους ικανές να λειτουργούν σε υψηλές συχνότητες. Λόγω του γεγονότος ότι εμφανίζουν υψηλή αποδοτικότητα και κατευθυντικότητα αναπτύχθηκαν τεχνικές ελαχιστοποίησης των διαστάσεων τους και ενσωμάτωσής τους σε τερματικές διατάξεις. Είναι γεγονός ότι σήμερα πια οι συγκεκριμένες κεραίες μπορούν να τυπωθούν επάνω σε διηλεκτρικά υποστρώματα υψηλής διηλεκτρικής σταθεράς και να αποτελέσουν τμήματα μικροκυματικών κυκλωμάτων. Τόσο η ελαχιστοποίηση των διαστάσεων τους, όσο και η αύξηση του κέρδους και εύρους ζώνης λειτουργίας τους είχαν ως αποτέλεσμα οι τυπωμένες Yagi κεραίες να χρησιμοποιούνται σε ένα τεράστιο σύνολο επικοινωνιακών εφαρμογών [2].

5.2 Κλασσικές κεραίες

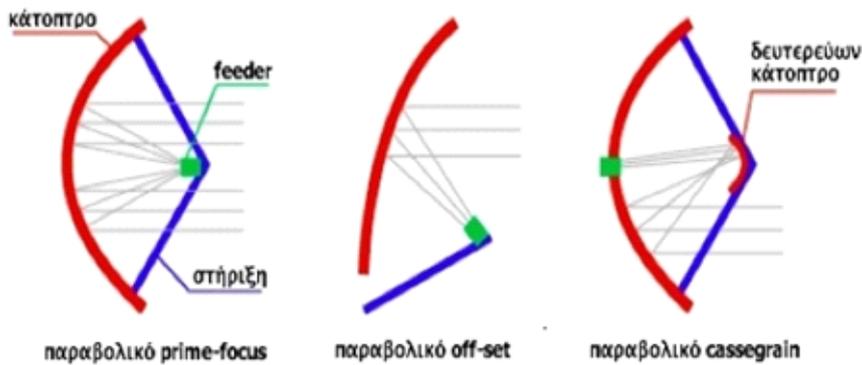
5.2.1 Παραβολικές κεραίες

Ο πιο συνηθισμένος τύπος κατευθυντικής κεραίας που προσφέρει υψηλή κατευθυντικότητα σε λήψη και εκπομπή με μικρές σχετικά διαστάσεις είναι η παραβολική κεραία. Μια τυπική παραβολική κεραία αποτελείται από ένα παραβολικό κάτοπτρο που φωτίζεται από μια μικρή κεραία που παίζει το ρόλο του τροφοδότη ή

αλλιώς feeder. Το κάτοπτρο είναι μια παραβολική μεταλλική επιφάνεια η οποία σχηματίζει (συνήθως) ένα κυκλικό πλαίσιο το οποίο αποτελεί και την διάμετρο της κεραίας. Πρόκειται για παθητικό στοιχείο και η χρήση του περιορίζεται στο να ανακλά τα ραδιοκύματα που δέχεται από το feeder παράλληλα προς μία κατεύθυνση όταν εκπέμπει ή να συγκεντρώνει τα ραδιοκύματα που δέχεται προς το feeder. Ο τροφοδότης (feeder) είναι μια χαμηλής κατευθυντικότητας μικρή κεραία που εστιάζει στο κάτοπτρο, όπως ένα δίπολο, ένας κυματοδηγός (waveguide horn), ή ακόμα και μια μικρή yagi. Σε πιο πολύπλοκες (και πιο σπάνιες) κατασκευές, όπως η Cassegrain παραβολική κεραία, για ακόμα καλύτερη απόδοση χρησιμοποιείται και δεύτερο βοηθητικό κάτοπτρο έτσι ώστε να αποφευχθεί η τοποθέτηση του feeder μέσα στην κεντρική δέσμη εστίασης της κεραίας. Το feeder είναι συνδεδεμένο μέσω καλωδίου με την συσκευή που παίζει το ρόλο του πομπού ή του δέκτη. Η κατασκευή του κατόπτρου μπορεί να είναι είτε συμπαγής είτε πλέγματος (grid). Γενικά τα κάτοπτρα που είναι συμπαγή εμφανίζουν καλύτερες ιδιότητες αλλά είναι πιο βαριά και δέχονται μεγαλύτερες πιέσεις από τον αέρα. Ειδικές περιπτώσεις παραβολικών κεραιών είναι τα offset και τα cassegrain [15].



Εικόνα 32 Τύποι παραβολικών κεραιών



Εικόνα 33 Κάτοπτρα παραβολικών

Στα παραβολικά κάτοπτρα off-set, το feeder τοποθετείται πάλι μπροστά από το κάτοπτρο αλλά αυτή την φορά αντίθετα με τα prime focus εστιάζει μόνο σε ένα μέρος του κατόπτρου (το οποίο παρότι μοιάζει κυκλικό δεν είναι συμμετρικό προς όλες τις μεριές). Με αυτό τον τρόπο αποφεύγεται να μπει το feeder που είναι ενεργό στοιχείο μπροστά από την κεντρική εκπομπή. Η επιλογή του off-set είναι συνήθης στους ραδιοερασιτέχνες αφού εύκολα και φτηνά μπορούν να φτιάξουν μια ποιοτική κεραία [15].

Τα cassegrain είναι διαφορετικές κατασκευές και όπως προαναφέρθηκε χρησιμοποιούν δεύτερο βοηθητικό ανακλαστήρα-κάτοπτρο. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμα στην περίπτωση που θέλουμε να τοποθετήσουμε το ράδιο πάνω στο feeder και πίσω από το κάτοπτρο (με αυτόν τον τρόπο μπορούμε να μειώσουμε στο ελάχιστο τις απώλειες του καλωδίου). Σημαντική παράμετρος σε ένα παραβολικό πιάτο είναι η αποφυγή του υπερφωτισμού (spillover) που μπορεί να προκληθεί από λάθος επιλογή και τοποθέτηση του feeder (ή του βοηθητικού κατόπτρου στην περίπτωση του cassegrain) κάτι που μπορεί να αλλιώσει αρκετά το διάγραμμα ακτινοβολίας της κεραίας και να ενισχύσει τους πλάγιους λοβούς της. Σε πιο ακριβά – επαγγελματικά κεραιοσυστήματα για την μείωση των φαινομένων που προκαλούνται από τον υπερφωτισμό, μερικές φορές χρησιμοποιούνται πλαϊνοί microwave absorbers. Ίσως έχετε δει κάποιες παραβολικές κεραίες που στην εξωτερική τους εμφάνιση θυμίζουν “τύμπανα” οι οποίες εσωτερικά στα πλαϊνά τους είναι ενισχυμένες με φύλλα από υλικά όπως η πολυορεθάνη ή η σιλικόνη και που απορροφούν μέρος των μη ωφέλιμων μικροκυμάτων [15].

5.2.1.1 Κεραία πρώτης (μοναδικής) συγκέντρωσης – Prime focus

Η βασική αρχή της παραβολικής καμπύλης, μπορεί να συμπεριληφθεί στα διαφορετικά σχέδια κεραιών, με πολλούς τρόπους. Κάτοπτρα με σημείο εστίασης ακριβώς στο κέντρο, εμπρός από τον ανακλαστήρα, ονομάζονται κάτοπτρα Prime Focus (κύριας εστίασης). Τα κάτοπτρα Prime Focus, αν και είναι εύκολα σε κατασκευή και εγκατάσταση, εμπεριέχουν δύο βασικά μειονεκτήματα. Ο κυματοδηγός (feedhorn) και το σύστημα στήριξής του, «σκιάζουν» μέρος της ανακλαστικής επιφάνειας και επιπρόσθετα, η γωνία τοποθέτησης του συστήματος είναι τέτοια, που λαμβάνει και εκπεμπόμενο ή ανακλώμενο θόρυβο από το έδαφος [4].



Εικόνα 34 Prime focus

5.2.1.2 Κεραία παράκεντρης μονής συγκέντρωσης – Offset

Το βασικό κάτοπτρο στη δορυφορική λήψη, είναι το κάτοπτρο offset. Η κατασκευή του, στηρίζεται στη χρήση ενός μικρότερου μέρους της ίδιας παραβολικής καμπύλης, με τα Prime Focus, αλλά η διαφοροποίηση είναι ότι τα offset έχουν ένα μεγάλο άξονα στη διεύθυνση Βορρά/ Νότου και ένα μικρότερο στη διεύθυνση Ανατολής/ Δύσης. Με το σχεδιασμό αυτό, ο κυματοδηγός δεν τοποθετείται πλέον στο κέντρο, εμπρός από τον ανακλαστήρα, αλλά στο κάτω μέρος του κατόπτρου. Στην πραγματικότητα, το σύστημα feedhorn-στήριξης, βρίσκεται πάλι στο κέντρο, αν

επεκτείνουμε νοητά το κάτοπτρο σε όλο το μέγεθος της παραβολικής καμπύλης. Το κέρδος στο σχεδιασμό offset, είναι αφενός, ότι το σύστημα στήριξης του κυματοδηγού δεν «σκιάζει» το κάτοπτρο και αφετέρου ότι το LNB είναι περισσότερο στραμμένο προς τον «κρύο» ουρανό, παρά προς τη «ζεστή» γη, με αποτέλεσμα να λιγοστεύει κατά πολύ ο παρασιτικός θόρυβος. Λόγω των δύο αυτών πλεονεκτημάτων, το offset κάτοπτρο μπορεί να πετύχει μεγαλύτερα επίπεδα επάρκειας από τα Prime Focus. Οι μικρές γωνίες κλίσεις που χρειάζεται το offset κάτοπτρο, σε σχέση με το Prime Focus, αποδεικνύονται μεγάλο πλεονέκτημα σε συγκεκριμένες καιρικές συνθήκες [4].

Τα πλεονεκτήματα του δορυφορικού κατόπτρου offset είναι:

- Τα μικροκύματα εισέρχονται στην κατοπτρική επιφάνεια, χωρίς να παρενοχλούνται από τη χοάνη συγκέντρωσης και το LNB τα οποία είναι έξω από τη δέσμη. Αυτό σημαίνει καλύτερη απόδοση σε σύγκριση με την παράβολο που κάποιο μέρος του σήματος «μπλοκάρεται» από το σύνολο χοάνη συγκέντρωσης (LNB) - στηρίγματα.
- Η χοάνη είναι σε τέτοια θέση κατά την λήψη που δεν έχει θόρυβο από το έδαφος όπως στο παραβολικό (prime focus) στο οποίο η χοάνη «βλέπει» το έδαφος.
- Η θέση της κατοπτρικής επιφάνειας που είναι περισσότερο κάθετη δεν επιτρέπει τη συσσώρευση χιονιού, και άλλων τυχόν σωμάτων που μπορεί να προκαλέσουν παραμόρφωση της επιφάνειας.
- Στην αγορά υπάρχουν δορυφορικές κεραίες offset, οι οποίες δείχνουν περισσότερο κυκλικές (κάτι που γίνεται μόνο για αισθητικούς λόγους), ωστόσο –σύμφωνα με αυτά που είπαμε παραπάνω– οι κεραίες αυτές έχουν και μεγαλύτερο εύρος δέσμης στο οριζόντιο επίπεδο. Έτσι μία τέτοια κεραία μπορεί να μας εξυπηρετήσει περισσότερο όταν θελήσουμε να κάνουμε λήψη πολλών δορυφόρων (με παράκεντρα LNB) [15,4].

Σαν μειονέκτημα αυτού του τύπου κατόπτρου μπορούμε να πούμε ότι, λόγω κατασκευής έχει μεγάλη διάμετρο επομένως το σημείο συγκέντρωσης του κατόπτρου offset είναι τόσο μακριά, ώστε απαιτείται πολύ βαριά κατασκευή για να είναι σταθερό στη θέση του. Επίσης λόγω της μορφής της επιφάνειας ανάκλασης (συνήθως

είναι ωσειδής) έχει διαφορετική απολαβή (gain) στη λήψη των διαφορετικών σημείων του ορίζοντα όταν το κάτοπτρο είναι κινητό [15,4].



Εικόνα 35 offset

5.2.1.3 Κεραία τύπου Cassegrain

Αυτού του είδους τα κάτοπτρα βασίζονται στη θεωρία της διπλής ανάκλασης. Η κλασική θεωρία της διπλής ανάκλασης, παρουσιάστηκε από τον N. Cassegrain και χρησιμοποιεί ένα υπο-ανακλαστήρα σχήματος υπερβολής, που συγκεντρώνει την πρωταρχική εστίαση από το βασικό παραβολικό ανακλαστήρα (κάτοπτρο). Όπως και στα Prime Focus κάτοπτρα, το μειονέκτημα των Cassegrain είναι η «σκίαση» τμήματος της ανακλαστικής επιφάνειας, στην προκειμένη περίπτωση από τον υπο-ανακλαστήρα. Όσο βέβαια μεγαλώνει η διάμετρος του κατόπτρου, το ποσοστό «σκίασης» μειώνεται και σε πολύ μεγάλα κάτοπτρα θεωρείται αμελητέο. Η κατεύθυνση του LNB στα κάτοπτρα Cassegrain, θυμίζει περισσότερο την offset λογική κι έτσι το κάτοπτρο δεν επηρεάζεται σημαντικά από επανεκπεμπόμενη λόγω albedo ακτινοβολία θορύβου. Εκείνο που είναι ιδιαίτερα σημαντικό στα κάτοπτρα Cassegrain, είναι η ακρίβεια στην κατασκευή τους, αφού η διπλή ανάκλαση προϋποθέτει και σωστή θέση του υπο-ανακλαστήρα (στην πρωτογενή κυρία εστία), αλλά και του LNB (στη δευτερογενή εστίαση). Το γεγονός αυτό, αυξάνει αφενός το κόστος κατασκευής, αλλά και δημιουργεί μια πρόσθετη δυσκολία στην εγκατάσταση [4].



Εικόνα 36 Cassegrain

5.2.1.4 Κεραία τύπου Gregorian

Αυτή η κατηγορία κεραιών βασίζονται επίσης στη θεωρία διπλής ανάκλασης και θα μπορούσαν να θεωρηθούν υποκατηγορία των κατόπτρων Cassegrain. Η διαφορά είναι ότι ο Γρηγοριανός (Gregorian) ανακλαστήρας, χρησιμοποιεί ελλειψοειδή υπο-ανακλαστήρα και σχεδιασμό πρωτογενούς ανάκλασης, τύπου offset. Μια ακόμη παραλλαγή διπλής ανάκλασης, είναι η κεραία Toroidal Η κεραία διπλής ανάκλασης Toroidal μοιάζει με το Γρηγοριανό ανακλαστήρα σαν σχήμα, οι βασικές όμως εξισώσεις διαφέρουν. Βασική διαφορά επίσης είναι ότι δεν υπάρχει παραβολική επιφάνεια. Το σύστημα έχει κυρτό-κοίλο υπο-ανακλαστήρα. Ο υπο-ανακλαστήρας είναι κυρτός στη μία του επιφάνεια και κοίλος στις ορθογώνιες επιφάνειες. Το πραγματικό σχήμα του, καθορίζεται με βάση μαθηματικές εξισώσεις, οι οποίες σαν στόχο έχουν να δημιουργήσουν μία επιφάνεια , που θα εστιάζει μέγιστη, αλλά και ισόποση κατανομή σήματος σε πολλαπλά σημεία [4].



Εικόνα 37 Gregorian

5.2.1.5 Σφαιρικά κάτοπτρα

Τα σφαιρικά κάτοπτρα είναι σχεδιασμένα για να δημιουργούν πολλαπλά σημεία εστίασης στο εμπρόσθιο κεντρικό σημείο της ανακλαστικής επιφάνειας, για λήψη διαφορετικών δορυφόρων. Η καμπύλη της ανακλαστικής επιφάνειας είναι με τέτοιο τρόπο σχεδιασμένη, που αν επεκταθεί νοητά και προς τους δύο άξονες, θα δημιουργήσει μια σφαίρα. Οι σφαιρικές κεραίες χρησιμοποιούνται κυρίως για λήψη πολλαπλών δορυφόρων, οι οποίοι απέχουν έως $\pm 20^\circ$ από τον κύριο άξονα του κατόπτρου [4].



Εικόνα 38 Κυκλικό

5.2.1.6 Επίπεδα Planar Arrays

Μια εναλλακτική λύση κεραίας, είναι η Planar Array, η οποία είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη στην Κεντρική Ευρώπη. Αυτές οι επίπεδες κεραίες δεν στηρίζονται στις βασικές αρχές, που χρησιμοποιούν όλα τα παραβολικά κάτοπτρα. Αντ' αυτού, ένα πλέγμα από μικροσκοπικά στοιχεία, είναι εμφυτευμένο στην εσωτερική επιφάνεια της κεραίας. Αυτά τα στοιχεία έχουν σχήμα και μέγεθος τέτοιο, που συντονίζονται με την εισερχόμενη μικροκυματική ακτινοβολία. Ένας ιστός από γραμμές-κυματοδηγούς χρησιμοποιείται για να συνδέσει τις ταλαντώσεις όλων των στοιχείων με τέτοιο τρόπο, ώστε όλες να βρίσκονται σε φάση και εν συνεχεία οδηγούνται στο κέντρο του Array (στην προκειμένη περίπτωση ιστού), ο οποίος είναι απευθείας συνδεδεμένος με το LNB [4].

Τα Planar Arrays έχουν δύο βασικά πλεονεκτήματα. Αφενός δεν χρειάζονται feedhorn και αφετέρου δεν «σκιάζονται» από το σύστημα στήριξης του LNB, το οποίο βρίσκεται «αθέατο» στο πίσω μέρος της κεραίας. Το βασικό μειονέκτημα των Planar Arrays κατόπτρων, είναι το περιορισμένο bandwidth (εύρος συχνοτήτων), που δεν υπερβαίνει τα 500MHz, πράγμα που τα καθιστά κατάλληλα μόνο για συγκεκριμένες εφαρμογές. Οι παραβολικές κεραίες, σε αντίθεση, έχουν εξαιρετικά μεγάλο bandwidth, πράγμα που τους επιτρέπει λήψη από S, C και Ku μπάντα. Ένα άλλο μειονέκτημα των Planar Arrays κατόπτρων, είναι το μεγάλο κόστος κατασκευής, που ξεπερνάει έως και τέσσερις φορές το κόστος κατασκευής ενός παραβολικού κατόπτρου, μαζί με το feedhorn [4].



Εικόνα 39 Επίπεδο

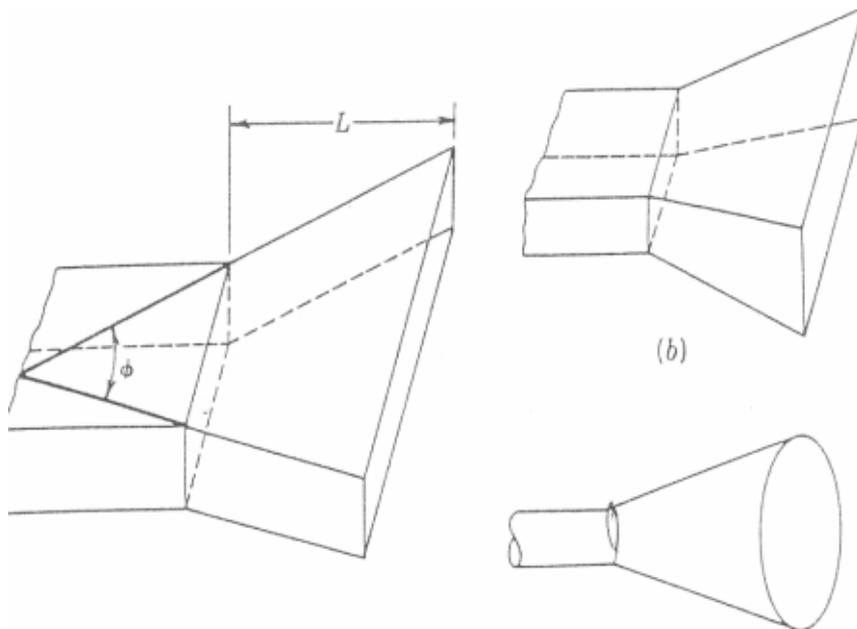
5.2.2 Κεραίες χοάνης

Κάποιες κεραίες οι οποίες είναι κατάλληλες για την εκπομπή –λήψη Η/Μ κυμάτων σε υψηλές συχνότητες, πάνω από 1GHz, είναι οι κεραίες χοάνης. Αυτές οι κεραίες γενικά παρουσιάζουν μεγάλη απολαβή, χαμηλό VSWR, σχετικά μεγάλο εύρος συχνοτήτων και μικρό βάρος [15].

Υπάρχουν αρκετοί δυνατοί τύποι χοανών: τρεις από τις πιο συνηθισμένες χοάνες παρουσιάζονται εδώ [15]:

- Η χοάνη τομέα (sectoral horn) εκπέμπει σε μία μόνο κατεύθυνση και είναι ισοδύναμη με τον pillbox παραβολικό ανακλαστήρα.
- Η πυραμοειδής χοάνη (pyramidal horn) είναι μια δικάτευθυντική κεραία και έχει το σχήμα κόλουρης πυραμίδας.
- Η κωνική χοάνη (conical horn) είναι παρόμοια με την πυραμοειδή και αποτελεί ένα λογικό τερματισμό για τους κυκλικούς κυματοδηγούς.

Αν η γωνία εκπομπής φ είναι τόσο μικρή, οδηγώντας σε μία ρηχή χοάνη, το μέτωπο του κύματος θα είναι σφαιρικό και όχι επίπεδο, και η δέσμη ακτινοβολίας δεν θα είναι κατευθυντική. Το ίδιο ισχύει και για τις δύο γωνίες εκπομπής της πυραμοειδούς χοάνης. Αν η γωνία φ είναι πολύ μικρή, το ίδιο μικρό θα είναι και το στόμιο της χοάνης, και η κατευθυντικότητα θα υποφέρει για μια ακόμα φορά (είναι πολύ πιθανά φαινόμενα διαθλάσεως). Είναι λοιπόν φανερό ότι η γωνία εκπομπής έχει μία βέλτιστη τιμή, η οποία σχετίζεται στενά με το μήκος L , που σημειώνεται στην Εικόνα 40, εκφρασμένο σε μήκη κύματος [15].



Εικόνα 40 Κεραίες Χοάνης. (α) Τομέας, (b) πυραμοειδής, (c) κωνική

Η χρήση πυραμοειδούς ή κωνικής χοάνης βελτιώνει την συνολική κατευθυντικότητα γιατί η εκπομπή γίνεται τώρα σε περισσότερες από μία κατευθύνσεις. Στην περίπτωση των παραβολικών ανακλαστήρων το παραπάνω δεν είναι πάντα απαραίτητο. Η κεραία χοάνης δεν είναι τόσο κατευθυντική, όσο μία κεραία με παραβολικό ανακλαστήρα, αλλά έχει αρκετά καλή κατευθυντικότητα, ένα ικανοποιητικό εύρος ζώνης (στην περιοχή του 10%) και απλή μηχανική κατασκευή. Η συγκεκριμένη κεραία χρησιμοποιείται πολύ συχνά μαζί με κυματοδηγούς. Απλές χοάνες χρησιμοποιούνται συχνά είτε μόνες τους, είτε ως πρωταρχικές κεραίες εκπομπής για παραβολοειδείς ανακλαστήρες [15].

Ορισμένες συνθήκες υπαγορεύουν την χρήση μίας κοντής, ρηχής χοάνης, όπου το μέτωπο του εκπεμπόμενου κύματος είναι κυρτό, και όχι επίπεδο όπως θεωρήθηκε μέχρι τώρα. Όταν κάτι τέτοιο δεν μπορεί να αποφευχθεί χρησιμοποιείται ένας διηλεκτρικός φακός για να διορθωθεί η κυρτότητα. Οι κεραίες φακών περιγράφονται στην επόμενη ενότητα [15].

Υπάρχουν δύο κεραίες σε χρήση που είναι σχετικά δύσκολο να τις κατατάξουμε, αφού κάθε μία αποτελεί διασταύρωση μεταξύ μίας χοάνης και ενός παραβολικού ανακλαστήρα. Πρόκειται για την Cass χοάνη και την τριπλά αναδιπλούμενη χοάνη ανακλαστήρα, η τελευταία αποκαλείται συχνότερα τοξοειδής χοάνη [15].

5.2.2.1 Cass-horn

Στην Cass-χοάνη κεραία, τα ραδιοκύματα συλλέγονται από μια μεγάλη επιφάνεια βάση, η οποία είναι ελαφρά (παραβολικά) κυρτή και ανακλώνται προς τα πάνω σε γωνία 45° . Όταν χτυπήσουν την πάνω επιφάνεια, η οποία είναι ένας μεγάλος υπερβολικός κύλινδρος, ανακλώνται προς τα κάτω στην εστία, η οποία, βρίσκεται στο κέντρο της επιφάνειας της βάσης. Εκεί, οι ακτίνες συλλέγονται από την κωνική χοάνη που είναι τοποθετημένη στην εστία. Στην περίπτωση της εκπομπής συμβαίνουν τα ακριβώς αντίθετα [15].

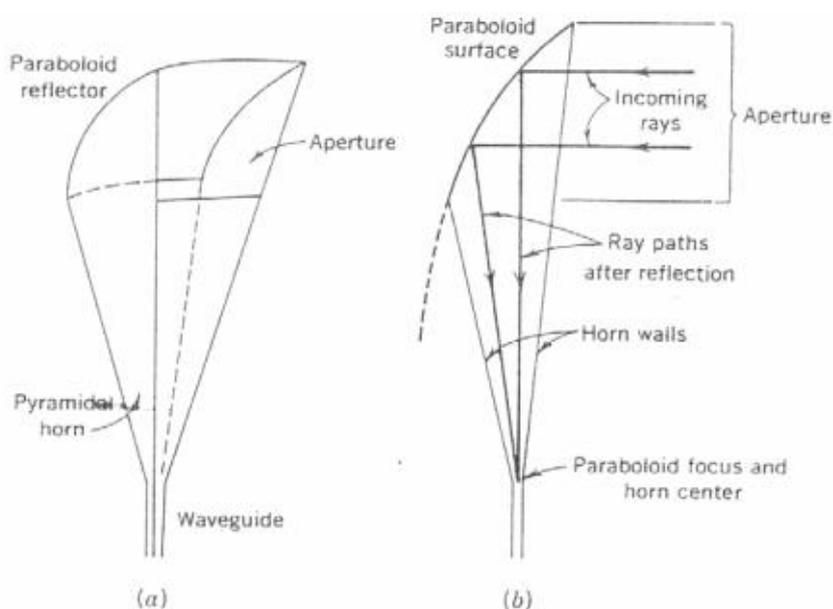
Αυτός ο τύπος της κεραίας χοάνης - ανακλαστήρα έχει κέρδος και εύρος δέσμης συγκρίσιμο με αυτό ενός παραβολοειδούς ανακλαστήρα της ίδιας διαμέτρου. Όπως και το Cassegrain feed, από το οποίο πήρε και το όνομά του, η Cass-χοάνη έχει τέτοια γεωμετρία που επιτρέπει την τοποθέτηση του δέκτη (ή του πομπού) στην εστία, χωρίς εμπόδια. Πρόκειται λοιπόν για μια κεραία χαμηλού θορύβου που χρησιμοποιείται στην παρακολούθηση δορυφόρων και επικοινωνιακών σταθμών [15].



Εικόνα 41 Cass-horn

5.2.2.2 Τοξοειδής κεραία

Η τοξοειδής κεραία στην Εικόνα 42 αποτελεί έναν άλλον συνδυασμό παραβολοειδούς και χοάνης. Πρόκειται για μια χαμηλού-θορύβου μικροκυματική κεραία, όπως και η Cass-χοάνη, και έχει παρόμοιες εφαρμογές. Αποτελείται από έναν παραβολικό κύλινδρο ενωμένο με μία πυραμοειδή χοάνη, με ακτίνες που πηγάζουν από, ή λαμβάνονται στην κορυφή της χοάνης. Ένα από τα πλεονεκτήματα της τοξοειδούς χοάνης έγκειται στο ότι το σημείο λήψεως δεν μετακινείται όταν η κεραία περιστρέφεται γύρω από τον άξονά της [15].



Εικόνα 42 Τοξοειδής χοάνη. (α) Όψη, (b) διαδρομές ακτινών

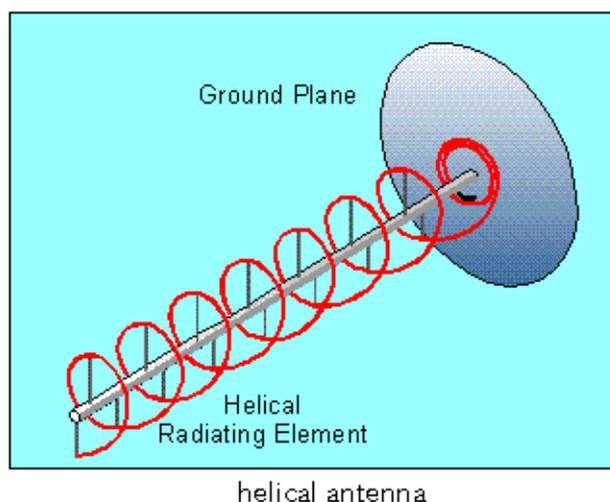
5.2.3 Ελικοειδής κεραία

Τα πρώτα πειράματα αναφορικά με το αν μπορεί μια έλικα να χρησιμοποιηθεί σαν κεραία πραγματοποιήθηκαν το 1946 από τον καθηγητή John D.Kraus στο εργαστήριο που βρισκόταν στο υπόγειο του σπιτιού του. Το πρώτο δοκίμιο που κατασκεύασε ήταν ένα ελικοειδές πηνίο 7 σπειρών, με περιφέρεια 1λ, το οποίο το τροφοδοτούσε μέσω ομοαξονικής γραμμής και επιπέδου γειώσεως από τον ταλαντωτή σε μήκος κύματος 12cm. Το αποτέλεσμα ήταν μια στενή δέσμη κυκλικά πολωμένης ακτινοβολίας από το ανοικτό άκρο, γεγονός το οποίο έδωσε νέες ελπίδες στον ευρηματικό ερευνητή. Χρειάστηκαν πολλά χρόνια εκτενών μετρήσεων και υπολογισμών ώστε να εξαχθούν τα πρώτα ασφαλή συμπεράσματα αναφορικά με τα

χαρακτηριστικά ακτινοβολίας της συγκεκριμένης κεραίας και τον τρόπο με τον οποίο αυτά εξαρτώνται από τα γεωμετρικά και μηχανικά χαρακτηριστικά του εν λόγω ακτινοβολητή [2].

Η VHF ζώνη συχνοτήτων, η οποία περιλαμβάνει και την περιοχή συχνοτήτων από 30 έως 300MHz, παρουσιάζει επικαλύψεις σε άλλες περιοχές. Ορισμένες UHF και μικροκυματικές κεραίες μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν στην ζώνη αυτή. Οι ελικοειδής κεραίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα δέκτη αεροπορίας [2].

Η κεραία αποτελείται από έναν χαλαρό έλικα που συγκρατείται από ένα ground plane, το οποίο είναι απλά μία οθόνη (screen) κατασκευασμένη από σύρμα περιφραξης. Υπάρχουν δύο ρυθμοί ακτινοβολίας, ο κανονικός (δηλαδή ο κάθετος) και ο αξονικός. Στον πρώτο, η κατεύθυνση της ακτινοβολίας είναι σε ορθή γωνία με τον άξονα του έλικα. Ο δεύτερος ρυθμός παράγει μια ευρείας ζώνης, αρκετά κατευθυντική ακτινοβολία κατά την διεύθυνση του άξονα. Αν η περιφέρεια του έλικα προσεγγίζει το μήκος κύματος, μπορεί να δείχτει ότι το κύμα ταξιδεύει κατά μήκος των στροφών του έλικα, και η δέσμη της ακτινοβολίας σε αυτήν την ακροποροδοτική ενέργεια είναι κυκλικά πολωμένη [2].



Εικόνα 43 Δομή ελικοειδούς κεραίας

Η ελικοειδής κεραία χρησιμοποιείται είτε μόνη της είτε σε διάταξη. Χρησιμοποιείται λοιπόν συχνά για δορυφορικές επικοινωνίες, κυρίως για την ραδιοτηλεμετρία. Όταν η περιφέρεια του έλικα είναι πολύ μικρή συγκρινόμενη με το μήκος κύματος, η συνολική ακτινοβολία είναι ο συνδυασμός της ακτινοβολίας που εκπέμπεται από ένα μικρό δίπολο τοποθετημένο κατά μήκος του άξονα του έλικα, και

εκείνης από έναν μικρό βρόχο τοποθετημένου στις στροφές του έλικα (σε αυτήν την περίπτωση το ground plane δεν χρησιμοποιείται). Και οι δύο αυτές κεραίες έχουν πανομοιότυπα διαγράμματα ακτινοβολίας, και είναι τοποθετημένες σε ορθές γωνίες, έτσι ώστε η ακτινοβολία να είναι κυκλικά πολωμένη αν οι δύο συνιστώσες είναι ίσες ή ελλειπτικά πολωμένη αν η μία από τις δύο κυριαρχεί [2].



Εικόνα 44 Διάταξη ελικοειδών

Το σημαντικότερο και πιο ενδιαφέρον στοιχείο ,ωστόσο, είναι το γεγονός πως η κατάσταση αυξημένης κατευθυντικότητας της έλικας παραμένει σχεδόν αμετάβλητη για μεγάλο εύρος συχνοτήτων, υποδεικνύοντας ότι η ταχύτητα φάσεως της έλικας αλλάζει ακριβώς κατά το σωστό ποσοστό ,ώστε να διατηρούνται τα χαρακτηριστικά αυξημένης κατευθυντικότητας. Οι πειραματικές μετρήσεις ταχύτητας φάσεως κατά μήκος της έλικας επιβεβαίωσαν απόλυτα την παραπάνω διαπίστωση. Η έλικα, δηλαδή, 'κλειδώνει' στην κατάσταση αυξημένης κατευθυντικότητας και επιτυγχάνει μια αυτόματη επαναρύθμισή της στην κατάσταση αυτή σε ένα πολύ μεγάλο εύρος συχνοτήτων γύρω από την γεωμετρικά προσδιοριζόμενη κεντρική της συχνότητα [2].

5.3 Έξυπνες κεραίες

Βασικό χαρακτηριστικό των έξυπνων κεραιών είναι ότι οδηγούν σε διαχωρισμό των σημάτων και στο πεδίο του χώρου, γεγονός που μπορεί να κάνει δυνατή τη λήψη σημάτων που χρησιμοποιούν το ίδιο φάσμα, την ίδια χρονική στιγμή, με αμελητέα παρεμβολή μεταξύ τους. Μια πρώτη μέθοδος για να πραγματοποιήσουμε το χωρικό διαχωρισμό, είναι κεραίες που παράγουν έναν αριθμό από σταθερούς λοβούς

ακτινοβολίας και με βάση διαφορετικούς αλγόριθμους επιλογής λοβού επιλέγουμε κάθε φορά το λοβό ακτινοβολίας που βελτιστοποιεί το σήμα του εκάστοτε χρήστη. Η τεχνική αυτή “μεταγωγής λοβών” (switched beams) αποτελεί μια σχετικά απλή μέθοδο υλοποίησης συστήματος έξυπνων κεραιών. Άλλες τεχνικές έξυπνων κεραιών βασίζονται σε προσαρμοστικές μεθόδους (adaptive solutions) και αποτελούν πιο προηγμένες τεχνικές υλοποίησης [9].

Η θεωρία πίσω από τις ευφυείς κεραιές δεν είναι καινούρια. Η τεχνική είχε για πολλά χρόνια χρησιμοποιηθεί στον ηλεκτρονικό πόλεμο (EWF) σαν αντίμετρο στην ηλεκτρονική παρεμβολή. Σε στρατιωτικά συστήματα ραντάρ παρόμοιες τεχνικές χρησιμοποιούνταν ήδη από τον 2ο Παγκόσμιο Πόλεμο. Υπάρχουν σε γενικές γραμμές διάφοροι τρόποι με τους οποίους μια προσαρμοστικά διευθετήσιμη ακτίνα κεραιών μπορεί να παραχθεί, παραδείγματος χάριν με μηχανικά οδηγούμενες κεραιές [9].

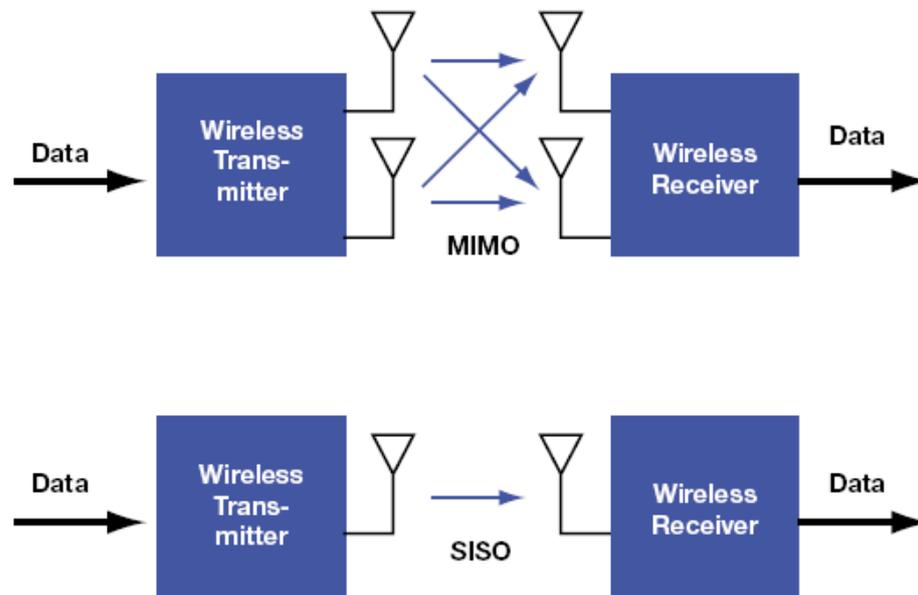
Στην πραγματικότητα δεν είναι έξυπνες οι κεραιές αλλά τα συστήματα κεραιών. Συνήθως τα συστήματα αυτά, που θα μας απασχολήσουν και στο υπόλοιπο της μελέτης μας, εγκαθίστανται στο σταθμό βάσης, κυρίως λόγω όγκου. Τα τελευταία χρόνια, όμως αρχίζουν να γίνονται προσπάθειες για χρήση των έξυπνων κεραιών και σε τερματικά, κινητά ή μη. Βασικό χαρακτηριστικό της λειτουργίας τους είναι ότι συνδυάζουν την απλή διάταξη κεραιάς με τη διαδικασία ψηφιακής επεξεργασίας σήματος καθώς και της προσαρμοζόμενης και με μεγάλη ευαισθησία ικανότητας εκπομπής και λήψης. Με απλά λόγια, ένα σύστημα έξυπνης κεραιάς μπορεί αυτόματα να αλλάξει την κατευθυντικότητα του διαγράμματος ακτινοβολίας της κεραιάς του για βελτίωση του εκπεμπόμενου ή λαμβανόμενου σήματος [9].

Αποτελούν επομένως είδος στοιχειοκεραίας με έναν συγκεκριμένο αριθμό στοιχείων, συνήθως από 4 με 12, που κατανέμονται στο χώρο με τρόπο γραμμικό, κυκλικό ή πολικό. Ο συνδυασμός των διαγραμμάτων ακτινοβολίας των επιμέρους κεραιών δημιουργούν αυτό της έξυπνης κεραιάς που μπορεί να επεξεργαστεί στη συνέχεια με πολύπλοκους αλγόριθμους και να πάρουμε το επιθυμητό διάγραμμα [9].

5.3.1 Multiple Input Multiple Output - MIMO

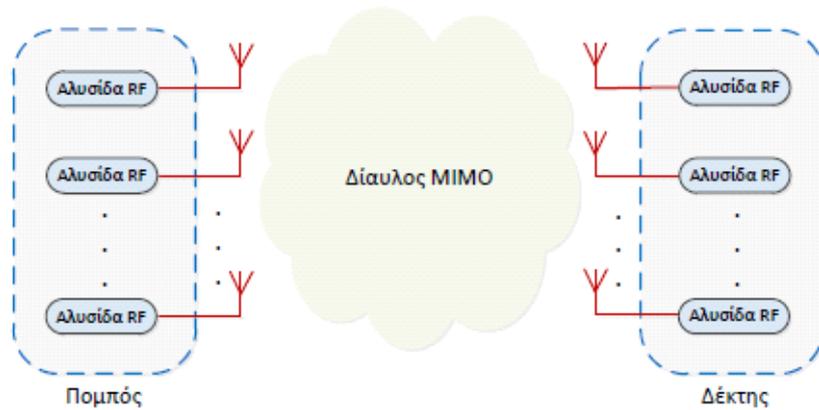
Μεγάλη επιδίωξη των ερευνητών πλέον είναι να υλοποιήσουν συστήματα MIMO (multi-input multi-output), δηλαδή με πολλές κεραιές στον πομπό και πολλές κεραιές στο δέκτη με αποτέλεσμα να εξυπηρετούν μεν ταυτόχρονα πολλούς χρήστες

αλλά και να πετυχαίνουν σημαντική αύξηση του συνολικού κέρδους που προστίθεται στο λαμβανόμενο σήμα. Για τη σύγκρισή τους με τις συμβατικές κεραιές ακολουθεί η επόμενη εικόνα (Εικόνα 45) [11]:



Εικόνα 45 Σύγκριση MIMO και SISO κεραιών

Με τον όρο ασύρματο σύστημα MIMO μπορεί κανείς να χαρακτηρίσει ένα «κλασσικό» ασύρματο σύστημα ζεύξης, με τον πομπό και το δέκτη να διαθέτουν πολλαπλές κεραιές. Τα αντίστοιχα σήματα από τις κεραιές εκπομπής στις κεραιές λήψης συνδυάζονται κατάλληλα ώστε να βελτιωθούν οι παράμετροι λειτουργίας του συστήματος, καθιστώντας πιο αποδοτική και ποιοτική την ασύρματη ζεύξη. Η χρήση στοιχειοκεραίας εκπομπής και λήψης που χαρακτηρίζει τα εν λόγω συστήματα επιτρέπει την εκπομπή και λήψη ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από ένα ορισμένο αριθμό στοιχείων - κεραιών. Έτσι και στα δύο άκρα του ασύρματου καναλιού υπάρχουν στοιχεία εκπομπής και λήψης τα οποία μπορούν να λειτουργούν στο ίδιο εύρος συχνοτήτων, ταυτόχρονα. Με τον τρόπο αυτό, το σύστημα αναπτύσσει τεχνικές χωρικού διαφορισμού (spatial diversity), οι οποίες είναι σε θέση να μειώσουν σε μεγάλο βαθμό της παραμορφώσεις των σημάτων λόγω πολυδιαδρομικής διαδρομής (multipath propagation) [10].



Εικόνα 47 Αρχιτεκτονική συστημάτων MIMO

Συγκεκριμένα, σε ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα σημείου προς σημείου τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα δεν οδεύουν μόνο απευθείας από τη κεραία εκπομπής στη κεραία λήψης. Αντίθετα, υφίστανται ανάκλαση, διάθλαση και περίθλαση καθώς συναντούν εμπόδια στη διαδρομή τους. Αυτές οι επιδράσεις στο ηλεκτρομαγνητικό σήμα διάδοσης συνθέτουν την έννοια της πολυδιαδρομικής διάδοσης, την οποία εκμεταλλεύεται η αρχιτεκτονική των MIMO συστημάτων επικοινωνίας. Ενώ λοιπόν σε μία κλασική ασύρματη ζεύξη αυτό αποτελεί ανεπιθύμητο φαινόμενο, τα συστήματα MIMO εκμεταλλεύονται την ύπαρξη ασύρματου περιβάλλοντος πλούσιου σε σκεδαστές για να βελτιώσουν την φασματική τους απόδοση [10].

Είναι λοιπόν φανερό, πως η «στρατηγική» χρήσης πολλαπλών στοιχείων – κεραιών στην εκπομπή και στη λήψη σε ένα σύστημα ασύρματης ζεύξης προσφέρει σημαντική βελτίωση στην απόδοση του αναβαθμίζοντας την ποιότητα και την αξιοπιστία των παρεχόμενων υπηρεσιών [10].

Πιο συγκεκριμένα, η απολαβή κεραιοσυστοιχίας (Array Gain) είναι ένα από τα βασικότερα προτερήματα των συστημάτων πολλαπλών εισόδων – εξόδων. Ουσιαστικά, η έννοια αυτή αναφέρεται στη μέση αύξηση του λόγου σήματος προς θόρυβο στη διάταξη του δέκτη, λόγω της επίδρασης της χρήσης πολλών κεραιών είτε στη πλευρά του δέκτη, είτε του πομπού, είτε και στα δύο άκρα του ασύρματου συστήματος. Με κατάλληλο συνδυασμό των σημάτων στη λήψη, ο δέκτης μπορεί να πετύχει αύξηση του λόγου σήματος – προς – θόρυβο, σε σχέση με τη αντίστοιχη τιμή για ένα στοιχείο ακτινοβολίας εκπομπής και λήψης, η οποία είναι ανάλογη του αριθμού των κεραιών στο δέκτη [10].

6^ο Κεφάλαιο Συμπεράσματα

Στην εποχή που διανύουμε ο κλάδος των τηλεπικοινωνιών παραμένει δυναμικός και συνεχώς μεταβαλλόμενος. Οι ραγδαίες αναπτυσσόμενες νέες ασύρματες τεχνολογίες των WiMAX και LTE αποτελούν αντικείμενο ισχυρού ανταγωνισμού τόσο μεταξύ των κατασκευαστών όσο και μεταξύ των μεγαλύτερων τηλεπικοινωνιακών παρόχων ανά τον κόσμο. Για να είναι δυνατές όλες αυτές οι εξελίξεις θα πρέπει να αναβαθμιστούν τα υπάρχοντα συστήματα και οι κεραιές εκπομπής και λήψης.

Όπως είδαμε στην παρούσα πτυχιακή εργασία υπάρχουν πολλών ειδών κεραιές που χρησιμοποιούνται στις ασύρματες επικοινωνίες. Ωστόσο, ανάλογα την εφαρμογή για την οποία προορίζεται και κυρίως ανάλογα τη συχνότητα στην οποία λειτουργεί το ασύρματο σύστημα, λαμβάνεται η απόφαση για το ποια κεραιά είναι καταλληλότερη. Άλλος βασικός παράγοντας στην επιλογή της κατάλληλης κεραιάς είναι το κέρδος της και οι απώλειες που παρουσιάζει.

Η τάση που υπάρχει στις μέρες μας, είναι να χρησιμοποιηθούν σε περισσότερα ασύρματα συστήματα τηλεπικοινωνιών οι κεραιές MIMO. Τα οφέλη της τεχνολογίας MIMO, που συμβάλει στην επίτευξη σημαντικού κέρδους απόδοσης, είναι το κέρδος της στοιχειοκεραίας, το κέρδος διαφορισμού, το κέρδος της χωρικής πολυπλεξίας και η μείωση παρεμβολής.

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1 Γραφική αναπαράσταση ηλεκτρομαγνητικού κύματος.....	9
Εικόνα 2 Ταλάντωση ηλεκτρικών και μαγνητικών κυμάτων	11
Εικόνα 3 Κατηγοριοποίηση ιονίζουσας και μη ακτινοβολίας.....	13
Εικόνα 4 Τα κύματα εγκάρσιου κύματος	16
Εικόνα 5 Τα κύματα διαμήκους κύματος.....	16
Εικόνα 6 Ταλαντούμενο ηλεκτρικό δίπολο ή κεραία.....	17
Εικόνα 7 Το Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα	18
Εικόνα 8 AM διαμόρφωση σήματος	20
Εικόνα 9 FM διαμόρφωση σήματος.....	21
Εικόνα 10 Σχηματική αναπαράσταση απλού ραδιοφωνικού δέκτη.....	22
Εικόνα 11 Βασικά χαρακτηριστικά σήματος.....	23
Εικόνα 12 Σήματα με διαφορά φάσης.....	23
Εικόνα 13 Βασικά στοιχεία ενός ασύρματου ραδιοσυστήματος	24
Εικόνα 14 Βασικά στοιχεία πομπού	25
Εικόνα 15 Βασικά στοιχεία δέκτη	26
Εικόνα 16 Φαινόμενα ανάκλασης, διάθλασης και περίθλασης	29
Εικόνα 17 Διαμόρφωση AM. Το φέρον σήμα συνδυάζεται με το διαμορφώνον σήμα ώστε να παράγει μια αύξηση στο πλάτος η οποία παριστάνει την πραγματική πληροφορία	31
Εικόνα 18 Διαμόρφωση FM. Το φέρον σήμα συνδυάζεται με το διαμορφώνον σήμα ώστε να παράγει έναν υψηλότερο ρυθμό συχνότητας ο οποίος παριστάνει την πραγματική πληροφορία.....	32
Εικόνα 19 Τυπικό ασύρματο αναλογικό δίκτυο διαμορφώσης FM.....	33
Εικόνα 20 Διαμόρφωση QPSK.....	34
Εικόνα 21 Τυπικό ψηφιακό ασύρματο σύστημα	35
Εικόνα 22 Διαφορική λήψη συχνότητας.....	37
Εικόνα 23 Σύστημα διαφορικής λήψης χώρου	38
Εικόνα 24 Σύστημα διαφορικής λήψης πολικότητας	38
Εικόνα 25 Καμπύλες αποσβέσεως που οφείλεται στο ατμοσφαιρικό οξυγόνο και τους υδρατμούς.....	40
Εικόνα 26 Απώλεια σκεδάσεως που οφείλεται στη βροχή (συνεχόμενη γραμμή) και στην ομίχλη (διακεκομμένη γραμμή)	41
Εικόνα 27 Περιοχές ακτινοβολίας.....	51
Εικόνα 28 Ισοτροπική κεραία.....	52
Εικόνα 29 Κατευθυντική κεραία	53
Εικόνα 30 Ομοιοκατευθυντική κεραία.....	53
Εικόνα 31 Κλασική Yagi-Uda	56
Εικόνα 32 Τύποι παραβολικών κεραιών	58
Εικόνα 33 Κάτοπτρα παραβολικών	59
Εικόνα 34 Prime focus	60
Εικόνα 35 offset.....	62
Εικόνα 36 Cassegrain.....	63
Εικόνα 37 Gregorian.....	64
Εικόνα 38 Κυκλικό	64

Εικόνα 39 Επίπεδο.....	65
Εικόνα 40 Κεραίες Χοάνης. (α) Τομέας, (b) πυραμοειδής, (c) κωνική.....	67
Εικόνα 41 Cass-horn	68
Εικόνα 42 Τοξοειδής χοάνη. (α) Όψη, (b) διαδρομές ακτινών	69
Εικόνα 43 Δομή ελικοειδούς κεραίας	70
Εικόνα 44 Διάταξη ελικοειδών	71
Εικόνα 45 Σύγκριση MIMO και SISO κεραιών	73

Πίνακας Πινάκων

Πίνακας 1 Συχνότητα ακτινοβολιών	12
Πίνακας 2 Ταξινόμηση ραδιοηλεκτρικών κυμάτων	29
Πίνακας 3 Επίδραση των λανθασμένων bits στη μετάδοση φωνής.....	36

Πίνακας εξισώσεων

Εξίσωση 1 Εξισώσεις Maxwell.....	9
Εξίσωση 2 Εξισώσεις Maxwell χωρίς φορτίο	9
Εξίσωση 3 κυματική εξίσωση	10
Εξίσωση 4 ταχύτητα κύματος.....	10
Εξίσωση 5 Αντίσταση ακτινοβολίας.....	42
Εξίσωση 6 ισχύς/ μονάδα στερεάς γωνίας	42
Εξίσωση 7 Ακτινοβολούμενη μέση ισχύς.....	43
Εξίσωση 8 κατευθυντικότητα.....	43
Εξίσωση 9 Συνάρτηση Κέρδους.....	43
Εξίσωση 10 Κέρδος.....	43
Εξίσωση 11 κέρδος σε dB	44
Εξίσωση 12 Πυκνότητα ισχύος.....	44
Εξίσωση 13 βαθμός απόδοσης	44
Εξίσωση 14 ενεργός επιφάνεια.....	44
Εξίσωση 15 ενεργός επιφάνεια/κατευθυντικότητα	44
Εξίσωση 16 εξίσωση Friis	49
Εξίσωση 17 μόνο με κέρδη.....	49
Εξίσωση 18 μόνο με ενεργές επιφάνειες.....	49
Εξίσωση 19 απώλεια μετάδοσης	50
Εξίσωση 20 απώλεια σε dB	50
Εξίσωση 21 απώλειες σε συνάρτηση με την απόσταση	50
Εξίσωση 22 κέρδος (β)	50
Εξίσωση 23 Μέγιστη απόσταση μετάδοσης	51
Εξίσωση 24 ισχύς θερμικού θορύβου (α)	54
Εξίσωση 25 ισχύς θερμικού θορύβου (β)	54

Βιβλιογραφία

1. <http://2lyk-lefkad.lef.sch.gr/>
2. <http://www.ceid.upatras.gr/>
3. <http://www.ekke.gr/>
4. <http://www.digitaltvinfo.gr/>
5. <http://hdl.handle.net>
6. <http://www.home-biology.gr>
7. <http://scholar.lib.vt.edu/>
8. <http://webcache.googleusercontent.com/>
9. <http://www.iec.org>
10. A. J. Paulraj, R. Nabar and D. Gore, “Introduction to Space-Time Wireless Communications”, Cambridge University Press, 2003
11. G.V.Tsoulos, ‘Adaptive Antennas and MIMO Systems for Mobile Communications’, Institute of Communications and Computer Systems, Department of Electrical and Computer Engineering, National Technical University of Athens, technical report, 2003
12. Ασύρματες επικοινωνίες Αρχές και Πρακτική, Β’ Έκδοση, Rapport, Επιμέλεια Κ. Τσουκάτος, Εκδόσεις Τζιόλα, 2006
13. Εφαρμοσμένος ηλεκτρομαγνητισμός, L.C. Shen – J.A. Kong, Επιμέλεια Κ. Λιολιούσης, Εκδόσεις ΙΩΝ, 2003
14. Ηλεκτρομαγνητισμός, J. Kraus, 4^η έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα, 1993
15. Κεραίες, Ανάλυση και σχεδίαση, C. Balanis, Επιμέλεια Κ. Λιολιούσης, Εκδόσεις ΙΩΝ, 2005
16. Κεραίες Ασύρματες Ζεύξεις, Χ. Καψάλης – Π. Κωττής, Εκδόσεις Τζιόλα, 2008

17. Συστήματα κινητών επικοινωνιών, Α. Κανάτας, Φ. Κωνσταντίνου, Γ. Πάντος,
Παλασωτηρίου 2008