

Συστήματα Μετάδοσης Πληροφορίας

Διδάσκοντες:

Κυριάκος Βλάχος, Επίκουρος Καθηγητής ΤΜΗΥΠ

Φώτης Γκιουλέκας, Διδάσκων Π.Δ. 407/80 ΤΜΗΥΠ

Κώστας Μπερμπερίδης, Καθηγητής ΤΜΗΥΠ

Συστήματα Μετάδοσης Πληροφορίας

■ **A' Μέρος: Ασύρματη μετάδοση πληροφορίας**

- Παναγιώτης Γ. Κωπτής, «Διαμόρφωση και Μετάδοση Σημάτων», Εκδόσεις Τζιόλα, 2η Έκδοση, 2008
- Διδακτικές Σημειώσεις: «Συστήματα Μετάδοσης Πληροφορίας A' Μέρος»

■ **B' Μέρος: Μετάδοση πληροφορίας μέσω οπτικών ινών**

- Διδακτικές Σημειώσεις

■ **Ώρες διδασκαλίας:**

- Τρίτη 15:00-17:00, B4
- Τετάρτη 18:00-20:00, BA
- Παρασκευή 18:00-20:00, ΑΠ7 (Εργαστήριο)

Το εργαστήριο θα γίνει προαιρετικά στο υπολογιστικό κέντρο σε ώρα που θα συμφωνηθεί μόλις δοθούν οι ασκήσεις

■ **2 προαιρετικές εργαστηριακές ασκήσεις**

- 2 μονάδες
-

Συστήματα Μετάδοσης Πληροφορίας

- **A' Μέρος: Ασύρματη μετάδοση πληροφορίας**
 - Διάδοση Ηλεκτρομαγνητικών Κυμάτων
 - Γραμμές Μεταφοράς
 - Κεραίες
 - Εκπομπή και Λήψη Αναλογικού Σήματος
- **Ιστοσελίδα A' μέρους:**
 - <http://xanthippi.ceid.upatras.gr/courses/its/its.php>
- **1^η Εργαστηριακή Άσκηση: Αναλογική Διαμόρφωση Πλάτους AM**
 - Εξομοίωση με χρήση του λογισμικού MATLAB

Συστήματα Μετάδοσης Πληροφορίας

Διάδοση Ηλεκτρομαγνητικών Κυμάτων

Διάδοση ΗΜ Κυμάτων

Βασικά Χαρακτηριστικά & Διάδοση

Εισαγωγή

- **Ασύρματο Τηλεπικοινωνιακό Σύστημα:**
 - Πομπός - Ασύρματος Δίαυλος - Δέκτης
 - Μετάδοση με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικής (ΗΜ) ακτινοβολίας



- **Ηλεκτρομαγνητικό Κύμα:**
 - Κύμα ενέργειας που ακτινοβολείται από την κεραία του πομπού
 - Θεωρία του Maxwell (James Clerk Maxwell, 1857)
- **Τρόπος Διάδοσης**
 - Άμεση εξάρτηση από τα χαρακτηριστικά του μέσου διάδοσης
 - **Ελεύθερος Χώρος:** χώρος χωρίς μαγνητικά πεδία και πεδία βαρύτητας, χωρίς συμπαγή σώματα και ιονισμένα σωματίδια
 - **Εναλλακτικά:** ιδανικές συνθήκες διάδοσης (κενό) που προσεγγίζονται από τις αντίστοιχες πραγματικές

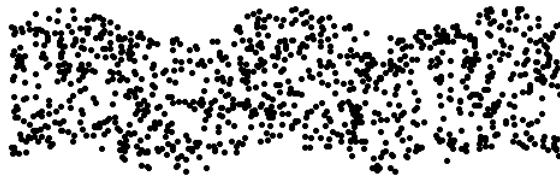
Χαρακτηριστικά του Κύματος

- **Κύμα:**
 - μια επαναλαμβανόμενη διαταραχή που διαδίδεται στο χώρο με ή χωρίς τη χρήση ενός φυσικού μέσου
 - άρα είναι ένας τρόπος μεταφοράς ενέργειας από τη μια μεριά στην άλλη
- **Παραδείγματα κυμάτων:**
 - φως
 - κύματα σε υγρά
 - ήχος
 - ραδιοκύματα
- **Παράδειγμα κύματος σε νερό**

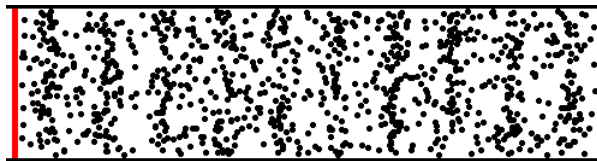
7

Εγκάρσια και Διαμήκη

- Ανάλογα με τη διεύθυνση των ταλαντώσεων ως προς τη διεύθυνση μετάδοσης διακρίνουμε
 - **Εγκάρσια Κύματα**



- **Διαμήκη Κύματα**



8

Βασική Κυματική Σχέση

$$v = \lambda f$$

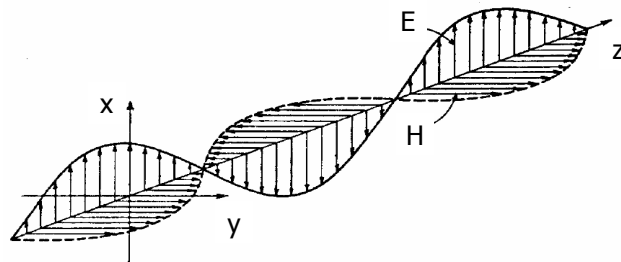
- Συχνότητα f :
 - γνώρισμα της πηγής
 - ανεξάρτητη από το μέσο μετάδοσης (Hz)
- Μήκος Κύματος λ :
 - απόσταση μεταξύ διαδοχικών κορυφών (ή κοιλάδων) του κύματος (m)
- Ταχύτητα Διάδοσης v (m/sec)
- Περίοδος Κύματος:
 - χρόνος για την εκτέλεση ενός κύκλου, μετά τη λήξη του οποίου το κύμα επαναλαμβάνεται (sec)

$$T = 1/f$$

9

Θεμελιώδη ΗΜ Κύματα

- Ηλεκτρομαγνητικό Κύμα:
 - ταλάντωση ηλεκτρομαγνητικών πεδίων
 - μπορεί να μεταδοθεί στο κενό
 - ταχύτητα διάδοσης: ταχύτητα του φωτός $c=3 \cdot 10^8$ m/sec
 - στον αέρα είναι λίγο μικρότερη
 - εγκάρσιο κύμα
 - ηλεκτρικό + μαγνητικό πεδίο κάθετα μεταξύ τους
 - και κάθετα στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος



10

Κύματα σε Ελεύθερο Χώρο (1/3)

■ Ισοτροπική Πηγή:

- σημειακή πηγή που εκπέμπει ομοιόμορφα προς όλες τις κατευθύνσεις
- είναι ιδανική
- χρήσιμη ως αναφορά



■ Ισοτροπικός Χώρος:

- σταθερή ταχύτητα διάδοσης σε όλα τα σημεία του χώρου

■ Μέτωπο Κύματος:

- όλα τα σημεία που έχουν την ίδια φάση
- τι σημαίνει ότι έχουν την ίδια φάση;

■ Νόμος του Αντίστροφου Τετραγώνου

$$P = \frac{P_t}{4\pi r^2}$$

- γιατί συμβαίνει αυτό;

11

Κύματα σε Ελεύθερο Χώρο (2/3)

■ Σε ένα ΗΜ κύμα έχουμε τα χαρακτηριστικά:

- E : Ενεργός τιμή έντασης του ηλεκτρικού πεδίου (V/m)
- H : Ενεργός τιμή έντασης του μαγνητικού πεδίου (A/m)
- Z : Χαρακτηριστική αντίσταση του μέσου (Ω)

$$E = ZH$$

■ Αντιστοιχία με φυσικά μεγέθη ηλεκτρικών κυκλωμάτων

- τάση (διαφορά δυναμικού) + ένταση ρεύματος

■ Χαρακτηριστική Αντίσταση του μέσου:

- μ : μαγνητική διαπερατότητα του μέσου (επαγωγή)
- ϵ : διηλεκτρική σταθερά του μέσου (χωρητικότητα)
- Για το κενό, $Z = 377 \Omega$, $\mu = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m}$, $\epsilon = (\pi/36) \times 10^9 \text{ F/m}$

$$Z = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} = 120\pi$$

12

Κύματα σε Ελεύθερο Χώρο (3/3)

- Η ισχύς σε ένα κύκλωμα δίνεται ως

$$P = I^2 R = V^2 / R$$

- Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου μπορεί να υπολογιστεί ως

$$E = \sqrt{PZ} = \frac{\sqrt{30P_t}}{r}$$

- παρατηρήσεις

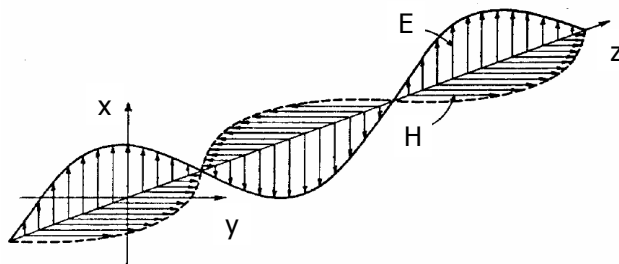
- **Επίπεδο Κύμα**
 - τι είναι;
 - πότε ισχύει;
 - πού χρησιμεύει;

Ακτινοβολία ΗΜ Κυμάτων

- Στις ασύρματες επικοινωνίες παράγεται ένα ΗΜ κύμα
- Αυτό ακτινοβολείται στο χώρο μέσω μιας κεραίας
- **Γιατί μια κεραία ακτινοβολεί;**
 - καλώδιο με ρεύμα → μαγνητικό πεδίο
 - καλώδιο με AC ρεύμα → μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο
 - μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο → μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό πεδίο
- Αν η συχνότητα AC είναι αρκετά υψηλή και η κεραία έχει το κατάλληλο μέγεθος
 - τα δύο πεδία ακτινοβολούνται στο χώρο

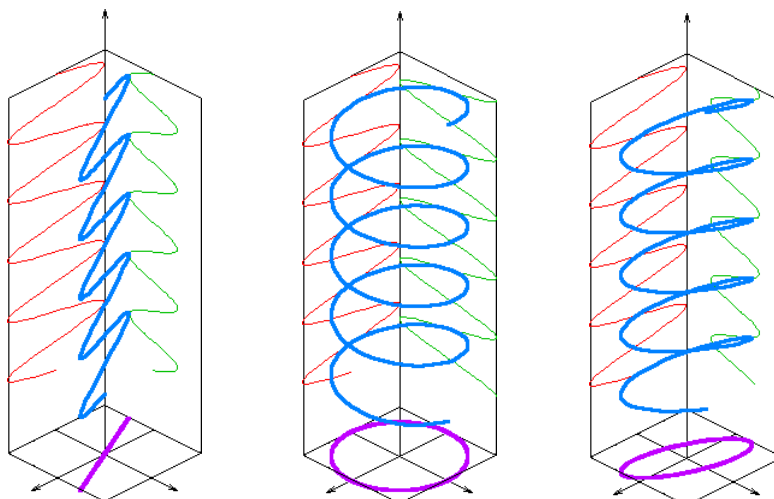
Πόλωση (1/2)

- Σε ελεύθερο χώρο ή σε ιστροπικό χώρο, το μαγνητικό πεδίο είναι πάντοτε κάθετο στο ηλεκτρικό
- Το κύμα μπορεί να περιγραφεί μόνο από το ηλεκτρικό πεδίο
- Η κατεύθυνση του ηλεκτρικού πεδίου καθορίζει και την πόλωση
- Πόλωση
 - η καμπύλη που διαγράφεται από το άκρο του διανύσματος E σε επίπεδα κάθετα προς τη διεύθυνση διάδοσης



15

Είδη Πόλωσης



Γραμμική

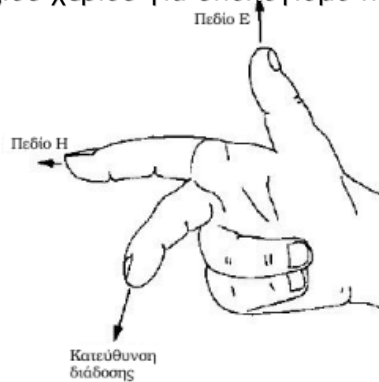
Κυκλική

Ελλειπτική

16

Πόλωση (2/2)

- Η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη είναι η γραμμική πόλωση
- Η κατεύθυνση της πόλωσης είναι **ίδια** με την κατεύθυνση της κεραίας
 - κάθετη κεραία → κάθετη πόλωση
 - οριζόντια κεραία → οριζόντια πόλωση
- Κανόνας του δεξιού χεριού για υπολογισμό πόλωσης



17

Διάδοση ΗΜ Κυμάτων

Το ΗΜ Φάσμα

18

Εισαγωγή

- Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα καλύπτει τις συχνότητες από 3kHz – 300GHz
- Αυτές λέγονται ραδιοσυχνότητες και χρησιμοποιούνται στις ασύρματες επικοινωνίες
- Το φάσμα χωρίζεται σε περιοχές συχνοτήτων
 - κάθε μία είναι 10 φορές μεγαλύτερη από την προηγούμενη
 - για μνημονικούς λόγους
- Ενδεικτικά:
 - υπέρυθρο / ορατό φως / υπεριώδεις έχουν συχνότητες της τάξης των 100 THz

19

Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα

Ονομασία Ζώνης	Όρια Συχνοτήτων	Εφαρμογες
Extremely Low Frequencies (ELF)	1 Hz - 10 kHz	Γραμμές Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας
Very Low Frequencies (VLF)	10 kHz - 30 kHz	Ραδιοπλοήγηση, Ραδιοφωνία AM
Low Frequencies (LF)	30 kHz - 300 kHz	Ραδιοπλοήγηση, Ραδιοφωνία AM
Median Frequencies (MF)	300 kHz - 3 MHz	Ραδιοφωνία AM
High Frequencies (HF)	3 MHz - 30 MHz	Ραδιοφωνία AM
Very High Frequencies (VHF)	30 MHz - 300 MHz	Ραδιοφωνία FM, Τηλεόραση, Κινητή τηλεφωνία (1ης γενιάς)
Ultra High Frequencies (UHF)	300 MHz - 3 GHz	Ραδιοξυζύξεις, Τηλεόραση, Ραδιοπλοήγηση, Κινητή τηλεφωνία (2ης γενιάς), RADAR
Super High Frequencies (SHF)	3 GHz - 30 GHz	Επίγειες και Δορυφορικές Ζεύξεις, Ψηφιακή Δορυφορική Τηλεόραση, RADAR
Extremely High Frequencies (EHF)	30 GHz - 300 GHz	Μετεωρολογία, Αστρονομία

20

Εφαρμογές του Φάσματος

- **Ραδιοφωνία στα μακρά (AM)**
 - 540 - 1600 KHz (MF, HF)
- **Ραδιοφωνία στα βραχεία (FM)**
 - 88 - 108 MHz (VHF)
- **Τηλεόραση:**
 - υπάρχουν διάφορα πρότυπα NTSC (Αμερική), PAL (Ευρώπη, Αυστραλία), SECAM (Γαλλία) στην ίδια περιοχή φάσματος περίπου
 - Σύστημα PAL:
 - » VHF1: 50MHz
 - » VHF2: 100MHz
 - » UHF: 500MHz
- **Συστήματα Κυψελωτής Ψηφιακής Επικοινωνίας**
 - GSM: 900MHz, 1800 MHz (UHF)
- **WiFi:**
 - 2,4GHz (UHF) και 5,1GHz (SHF)

21

Διάδοση ΗΜ Κυμάτων

Φαινόμενα Μετάδοσης

22

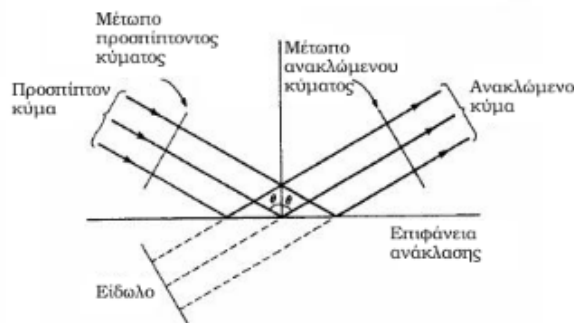
Φαινόμενα μετάδοσης

- Για να επιτευχθεί η μετάδοση ενός σήματος σε ένα ασύρματο κανάλι, απαιτείται η ύπαρξη απευθείας μονοπατιού μεταξύ πομπού και δέκτη (**Line of Sight, LOS**)
- Συνήθως, πομπός και δέκτης δεν βρίσκονται σε LOS λόγω μορφολογίας εδάφους, πυκνότητας δόμησης πόλεων, κλπ
- **Φυσικοί μηχανισμοί διάδοσης:**
 - Ανάκλαση (Reflection)
 - Διάθλαση (Refraction)
 - Περίθλαση (Diffraction)
- **Άλλα φαινόμενα:**
 - Σκέδαση ή διασκορπισμός (scattering)
 - Φαινόμενο Doppler

23

Ανάκλαση (Reflection) (1/2)

- **Δεύτερος Νόμος της Ανάκλασης:**
 - Η γωνία ανάκλασης είναι ίδια με την γωνία πρόσπτωσης
 - βασίζεται στη διατήρηση της ταχύτητας διάδοσης μέσα στο ίδιο μέσο
- Παράδειγμα με καθρέπτη



24

Ανάκλαση (Reflection) (2/2)

- **Συντελεστής Ανάκλασης ρ**
 - ο λόγος των εντάσεων ηλεκτρικού πεδίου ανακλώμενου προς προσπίπτοντος κύματος
 - Απορρόφηση ενέργειας λόγω μη τέλει αγωγιμης επιφάνειας
 - $\rho < 1$: Πρακτικά αγωγιμες επιφάνειες
 - $\rho = 1$: Τέλειος αγωγός
- Το υλικό και η υφή της επιφάνειας επηρεάζουν την ανάκλαση
 - καλοί ανακλαστές: λείες, μεταλλικές επιφάνειες
 - η επιφάνεια της γης
- Θα πρέπει το διάνυσμα E να έχει κάθετη συνιστώσα στην αγωγίμη επιφάνεια, αλλιώς δημιουργούνται **επιφανειακά ρεύματα**

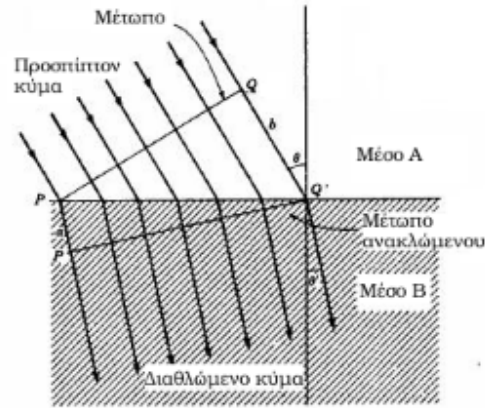
25

Διάθλαση (Refraction) (1/3)

- **Υπενθύμιση:**
 - η συχνότητα του κύματος είναι σταθερή
 - η ταχύτητα και το μήκος κύματος εξαρτώνται από το μέσο
- **Διάθλαση:**
 - όταν ένα κύμα περνά από ένα μέσο κάποιας πυκνότητας σε μέσο άλλης πυκνότητας
 - αλλάζει η ταχύτητα μετάδοσης
 - παράδειγμα από αντικείμενο σε υγρό
- **Αποτέλεσμα:** Το κύμα ακολουθεί μία άλλη κατεύθυνση στο δεύτερο μέσο και ταυτόχρονα η ταχύτητά του μεταβάλλεται

26

Διάθλαση (Refraction) (2/3)



27

Διάθλαση (Refraction) (3/3)

- Νόμος του Snell:

$$\frac{\sin(\theta')}{\sin(\theta)} = \frac{v_b}{v_a}$$

- v_a, v_b : ταχύτητα στα μέσα διάδοσης A και B
- πώς προέκυψε;

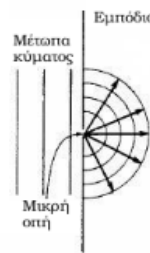
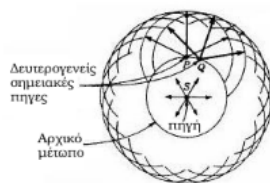
$$\frac{\sin(\theta')}{\sin(\theta)} = \sqrt{\frac{k}{k'}} = \frac{1}{\mu}$$

- k, k' : διηλεκτρικές σταθερές των μέσων A και B
- μ : συντελεστής διάθλασης

28

Περίθλαση (Diffraction) (1/3)

- **Περίθλαση:**
 - Οποιαδήποτε εκτροπή κυμάτων από την ευθύγραμμη διάδοση που δε μπορεί να ερμηνευτεί ως ανάκλαση, διάθλαση ή διάδοση
- **Αρχή του Huygens (C. Huygens, 1690):**
 - Κάθε σημείο του μετώπου ενός σφαιρικού κύματος μπορεί να θεωρηθεί ως μία δευτερογενής πηγή κυμάτων
- Το συνολικό πεδίο σε σημεία μακριά από την πηγή είναι ίσο με το διάνυσμα του αθροίσματος των δευτερευόντων αυτών κυμάτων



29

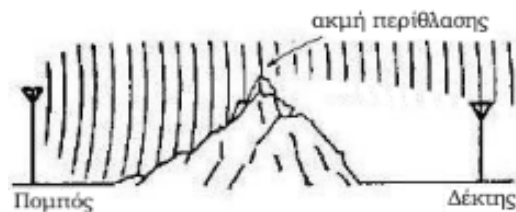
Περίθλαση (Diffraction) (2/3)

- **Περίθλαση:**
 - Οποιαδήποτε εκτροπή κυμάτων από την ευθύγραμμη διάδοση που δε μπορεί να ερμηνευτεί ως ανάκλαση, διάθλαση ή διάδοση
- **Αρχή του Huygens (C. Huygens, 1690):**
 - Κάθε σημείο του μετώπου ενός σφαιρικού κύματος μπορεί να θεωρηθεί ως μία δευτερογενής πηγή κυμάτων
- Το φαινόμενο εμφανίζεται όταν η διαδρομή από τον πομπό στο δέκτη εμποδίζεται από επιφάνειες με τραχιές ακμές, γωνίες ή οπές
- Οι γωνίες μετατρέπονται σε δευτερογενείς πηγές του κύματος και επανεκπέμπουν το κύμα (με μικρότερη ισχύ)

30

Περιθλαση (Diffraction) (4/4)

- Οι **χαμηλές συχνότητες** υφίστανται εντονότερη περιθλαση απ' ότι οι πιο υψηλές
 - παράδειγμα από ακουστικές συχνότητες
- Χωρίς την περιθλαση, τα κύματα δεν θα διαδίδονταν πίσω από εμπόδια



31

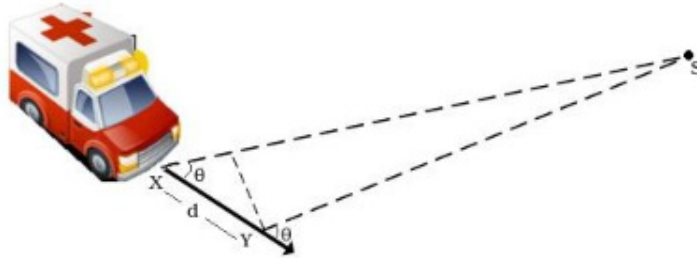
Σκέδαση (Scattering)

- **Σκέδαση ή Διασκορπισμός:**
 - το ΗΜ κύμα προσπίπτει σε αντικείμενα ή επιφάνειες με διαστάσεις ανάλογες του μήκους κύματος
 - παραδείγματα: λαμπτήρες, σήματα κυκλοφορίας, φυλλωσιές δέντρων, διαφημιστικές πινακίδες
- **Αποτέλεσμα:** Επανεκπομπή της ενέργειας του πομπού προς πολλές διαφορετικές κατευθύνσεις
- Παρέχει ενέργεια σε περιοχές που κανονικά δε θα είχαν κάλυψη
- Είναι δύσκολο να προβλεφθεί

32

Φαινόμενο Doppler (1/2)

- Εμφανίζεται όταν υπάρχει σχετική κίνηση ανάμεσα στον πομπό και το δέκτη ενός σήματος



- **Αποτέλεσμα:** Αυξομείωση της φέρουσας συχνότητας

33

Φαινόμενο Doppler (2/2)

- Ο κινούμενος δέκτης λαμβάνει τη φέρουσα συχνότητα f_c μετατοπισμένη κατά μία ποσότητα f_d :

$$f_d = \frac{v}{\lambda} \cos(\theta) = f_D \cos(\theta)$$

- v : σχετική ταχύτητα
- λ : μήκος κύματος
- θ : γωνία ανάμεσα στην κατεύθυνση κίνησης και στην ευθεία πομπού - δέκτη
- **Μετατόπιση Doppler f_D :** Η μέγιστη μετατόπιση που μπορεί να εμφανιστεί
- Εάν ο δέκτης κινείται προς την κατεύθυνση από την οποία έρχεται το σήμα,
 - τότε η μετατόπιση Doppler είναι θετική, ενώ στην αντίθετη περίπτωση είναι αρνητική

34

Διάδοση ΗΜ Κυμάτων

Ατμόσφαιρα

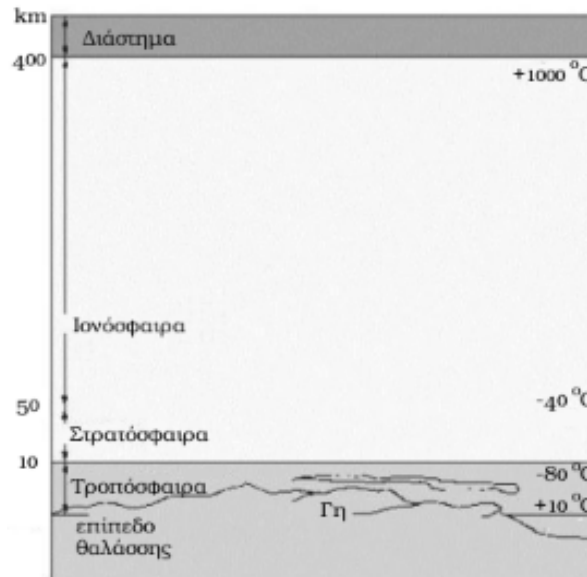
35

Εισαγωγή

- Η διάδοση των ΗΜ κυμάτων σε ελεύθερο ή ιστροπικό χώρο περιγράφονται από τα προηγούμενα φαινόμενα
- Ωστόσο, η ατμόσφαιρα της γης είναι αρκετά περίπλοκη στη δομή της
 - διαφορετική πυκνότητα
 - ιονισμένα σωματίδια
- Επηρεάζεται από παράγοντες όπως
 - ύψος
 - γεωγραφική θέση
 - καιρικές συνθήκες
 - χρόνος

36

Σύνθεση Ατμόσφαιρας



37

Τροπόσφαιρα

- Το κατώτερο τμήμα της ατμόσφαιρας, στο οποίο η τιμή της θερμοκρασίας μειώνεται με το ύψος
- Εκτείνεται από την επιφάνεια του εδάφους έως ένα συγκεκριμένο ύψος (6 km στους πόλους, 18 km στον ισημερινό)
- Οι μεταβολές του δείκτη διάθλασης, της πίεσης και της υγρασίας καθώς επίσης τα νέφη και οι υδρομετεωρίτες επηρεάζουν σημαντικά τη διάδοση των ραδιοσυχνοτήτων
- Οι διάφοροι μηχανισμοί μπορούν να μεταφέρουν ενέργεια αρκετά μακριά από τον κανονικό ορίζοντα

38

Στρατόσφαιρα

- Βρίσκεται μεταξύ της τροπόσφαιρας και της ιονόσφαιρας
- Πάχος περίπου 40 km
- Η θερμοκρασία της διατηρείται σταθερή με μικρή παρουσία υδρατμών
- Ασκεί πολύ μικρή επίδραση στα ραδιοκύματα λόγω των αμελητέων θερμοκρασιακών μεταβολών

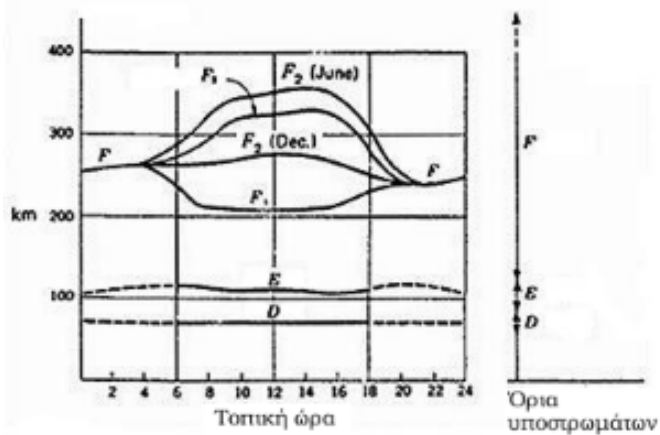
Ιονόσφαιρα

- Το ανώτερο στρώμα της ατμόσφαιρας εκτείνεται σε ύψος 50-400km από την επιφάνεια της γης
- Αποτελείται από ηλεκτρικά φορτισμένα ιόντα
- **Ιονισμός:**
 - το υπεριώδες φως του ήλιου συγκρούεται με τα άτομα των αερίων της ιονόσφαιρας προκαλώντας αποδέσμευση ηλεκτρονίων
- Υπεριώδεις ακτινοβολίες διαφορετικών συχνοτήτων δημιουργούν διαφορετικά ιονισμένα υποστρώματα σε διαφορετικά ύψη
- Η πυκνότητα και το ύψος των ιονισμένων στρωμάτων καθορίζεται από τη θέση του ήλιου ως προς τον ορίζοντα και εξαρτάται από την ώρα της ημέρας και την εποχή του χρόνου
- **Επανασύνδεση:** Αντίστροφη διαδικασία του ιονισμού

Υποστρώματα Ιονόσφαιρας (1/3)

■ Υποστρώματα:

- Τέσσερα βασικά υποστρώματα: D, E, F_1 , F_2
- Τα δύο τελευταία συνδυάζονται τη νύχτα σχηματίζοντας ένα μόνο υπόστρωμα F



41

Υποστρώματα Ιονόσφαιρας (2/3)

■ Υπόστρωμα D:

- Εξαρτάται από τη θέση του ήλιου ως προς τον οριζοντα και για αυτό το λόγο εξαφανίζεται τη νύχτα
- Ανακλά κύματα στις συχνότητες VLF και LF
- Απορροφά κάποια κύματα στις MF και HF συχνότητες

■ Υπόστρωμα E:

- Εξαφανίζεται τη νύχτα
- Ανακλά κύματα στις συχνότητες HF και MF

■ Σποραδικό Υπόστρωμα E_s :

- Εμφανίζεται κάποιες φορές με το E
- Λεπτό με υψηλό βαθμό ιονισμού
- Διατηρείται και τη νύχτα
- Δημιουργεί πολύ καλές συνθήκες μετάδοσης

42

Υποστρώματα Ιονόσφαιρας (3/3)

- Υπόστρωμα F:
 - Διατηρείται και τη νύχτα καθώς είναι το περισσότερο ιονισμένο στρώμα
 - Η πυκνότητα του αέρα είναι μικρή, οπότε τα μόρια έχουν μεγαλύτερο μέσο ελεύθερο μονοπάτι
 - Κατά τη διάρκεια της μέρας διαιρείται σε δύο υποστρώματα
- Υπόστρωμα F_1 :
 - Ανακλά κάποια από τα κύματα HF
 - Απορροφά σημαντική ενέργεια των HF
- Υπόστρωμα F_2 :
 - Πολύ σημαντικό γιατί ανακλά τελικά τα HF
 - Τη νύχτα ενώνεται με το F_1
- Ερώτηση: Γιατί τη νύχτα έχουμε καλύτερη λήψη των HF;

43

Διάδοση ΗΜ Κυμάτων

Τρόποι Μετάδοσης

44

Εισαγωγή

- Ανάλογα με τη διαδρομή που ακολουθούν, υπάρχουν οι εξής κατηγορίες ΗΜ κυμάτων:
 1. **Κύματα Εδάφους (Ground Waves)**
 - Διαδίδονται κοντά στην επιφάνεια της γης
 - Διακρίνονται σε
 - » **Κύματα Επιφάνειας (Surface Waves)**
 - » **Κύματα Χώρου (Space Waves)**
 2. **Ουράνια Κύματα (Sky Waves) ή Ιονοσφαιρικά**
 - Διάθλαση στην ιονόσφαιρα

45

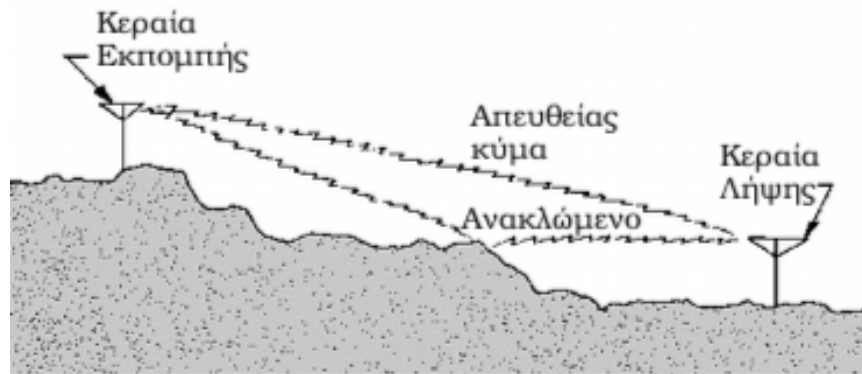
Κύματα Επιφανείας

- Πρέπει να είναι **κατακόρυφα πολωμένα** προς αποφυγή βραχυκυκλώματος της ηλεκτρικής συνιστώσας
- Προκαλείται εξασθένηση λόγω επαγόμενου ρεύματος στη γη
- Η εξασθένηση εξαρτάται από το **είδος του εδάφους**
 - μεταδίδονται καλύτερα σε καλούς αγωγούς
 - π.χ. στη θάλασσα για επικοινωνία πλοίων
- Διαδίδονται και με τη βοήθεια του μηχανισμού της **περίθλασης** όταν συναντάνε εμπόδια στο έδαφος
- Εμφανίζονται σε **χαμηλές συχνότητες** (μέχρι 2MHz-μπάντα των HF)
 - λόγω μεγάλου μήκους κύματος
 - άρα ευκολίας στην περίθλαση
- Χρησιμοποιούνται στις χαμηλές συχνότητες (VLF) με σταθμούς μεγάλης ισχύος και υψηλές κεραιές

46

Κύματα Χώρου

- Μπορούν να ακολουθήσουν δύο διαφορετικές πορείες:
 - Απευθείας Κύματα (direct waves)
 - Ανακλώμενα από το Έδαφος Κύματα (ground reflected waves)



47

Απευθείας Κύματα

- Μεταδίδονται γενικά σε ευθείες γραμμές
- Προσεγγίζουν τη μετάδοση σε ελεύθερο χώρο
- Περιορίζονται σε οπτική επαφή και άρα από την **καμπυλότητα της γης**
- **Σημαντικό:** λόγω της σύστασης της ατμόσφαιρας, ο ραδιοηλεκτρικός ορίζοντας είναι κατά $4/3$ μεγαλύτερος του οπτικού
- Οι κεραιές τοποθετούνται σε ψηλά σημεία (κτίρια, βουνά)
- Η εμβέλεια μπορεί να φτάσει τα 1000 km
- Χρησιμοποιούνται στις **υψηλές συχνότητες** (πάνω από HF) οι οποίες
 - δεν ανακλώνται στην ιονόσφαιρα
 - δε μπορούν να διαδοθούν με κύματα επιφανείας

48

Ανακλώμενα Κύματα

- Μπορούν να βοηθήσουν σε περίπτωση έλλειψης οπτικής επαφής
 - ένας δέκτης μπορεί να μη βρίσκεται σε ευθεία οράσεως με τον πομπό και να λάβει ανακλώμενα κύματα
- Λόγω των ανακλάσεων εμφανίζεται η **πολύδρομη μετάδοση (multipath)**
 - το σήμα φθάνει στο δέκτη σε πολλαπλά αντίτυπα
 - με διαφορετικές εξασθενήσεις και καθυστερήσεις
- Αναλογικές Επικοινωνίες:
 - φαινόμενο **ghosting**
 - π.χ. στην τηλεόραση

49

Διάθλαση στην Ιονόσφαιρα

- Όταν ένα ΗΜ κύμα διαδίδεται σε ένα ιονισμένο υπόστρωμα της ατμόσφαιρας λαμβάνει χώρα το **φαινόμενο της διάθλασης**
- Η διάθλαση ενός κύματος **εξαρτάται** από:
 1. Το βαθμό ιονισμού του υποστρώματος
 2. Τη συχνότητα του ΗΜ κύματος
 3. Τη γωνία πρόσπτωσης του κύματος στο υπόστρωμα
- Στη συνέχεια θα μελετήσουμε κάθε ένα από αυτούς τους παράγοντες ξεχωριστά

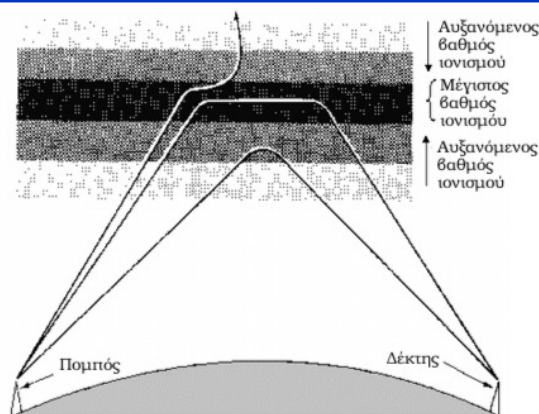
50

Επίδραση του Ιονισμού (1/2)

- Όταν ένα στρώμα είναι περισσότερο ιονισμένο, τότε
 - είναι περισσότερο ηλεκτρικά αγώγιμο
 - έχει μικρότερη διηλεκτρική σταθερά
 - και φαίνεται στο κύμα ως αραιότερο
- Δηλαδή το κύμα είναι ευκολότερο να διέλθει από το στρώμα αυτό
 - έχει μεγαλύτερη ταχύτητα
 - και ο δείκτης διάθλασης μειώνεται
- Κάθε ιονισμένο υπόστρωμα εμφανίζει
 - μία **κεντρική περιοχή** με υψηλό βαθμό ιονισμού
 - και πλευρικές περιοχές με μικρότερο ιονισμό
- **Αποτέλεσμα:** η σταδιακή διάθλαση οδηγεί στην αλλαγή πορείας του κύματος κατευθύνοντας το πίσω στη γη

51

Επίδραση του Ιονισμού (2/2)

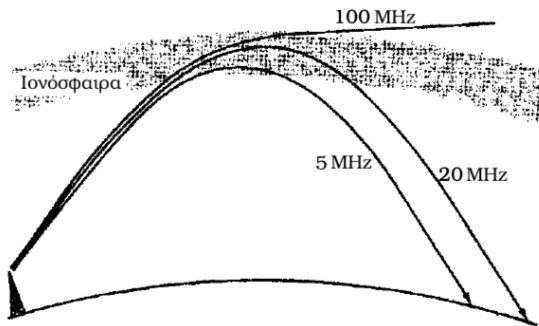


- **Σημείωση:** για να συμβεί διάθλαση-ανάκλαση το μήκος κύματος είναι μεγαλύτερο του πάχους του υποστρώματος
 - αφού τα υποστρώματα είναι πάχους χιλιομέτρων
 - το φαινόμενο εμφανίζεται στις χαμηλές συχνότητες

52

Επίδραση της Συχνότητας

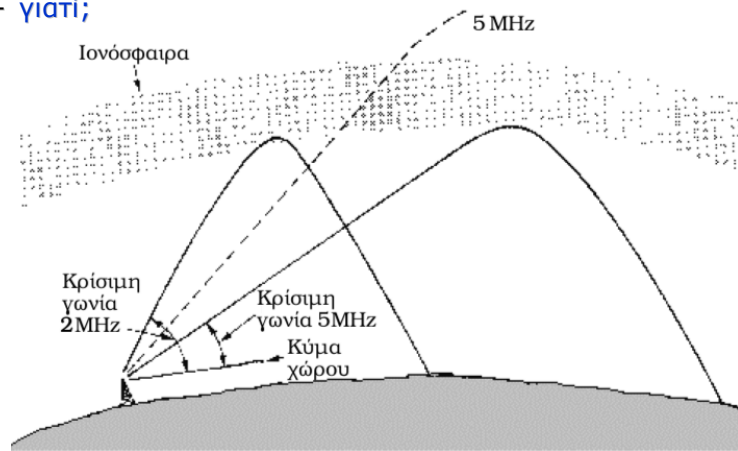
- Όσο μεγαλύτερη είναι η συχνότητα του ραδιοκύματος,
 - τόσο λιγότερο πιθανή είναι η διάθλαση-ανάκλαση και η επιστροφή του στη γη
- **Κρίσιμη Συχνότητα:** Για δεδομένο υπόστρωμα, είναι η υψηλότερη συχνότητα ενός κύματος που θα πέσει κάθετα στο υπόστρωμα και θα μπορέσει να επιστρέψει στη γη
 - εξαρτάται από επικρατούσες συνθήκες
 - 5-12MHz (HF) για το F_2



53

Επίδραση της Γωνίας

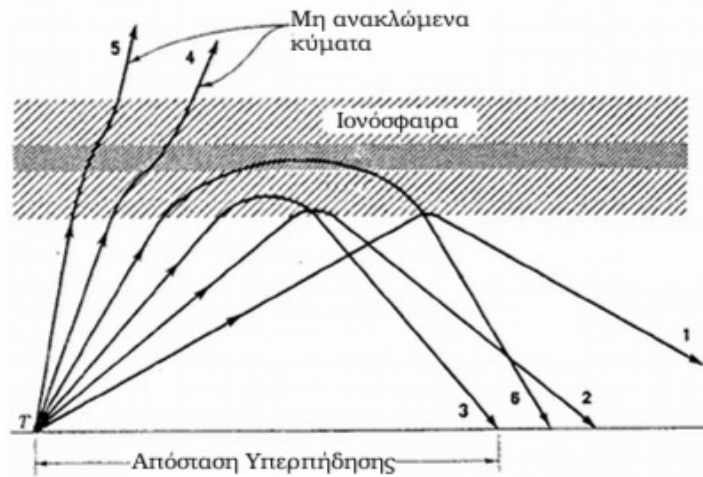
- **Κρίσιμη Γωνία:** Για δεδομένη συχνότητα, είναι η μέγιστη γωνία για την οποία το ραδιοκύμα ανακλάται πίσω στη γη
- Όσο η συχνότητα αυξάνεται, η κρίσιμη γωνία θα πρέπει να μειωθεί
 - γιατί;



54

Απόσταση Υπερπήδησης

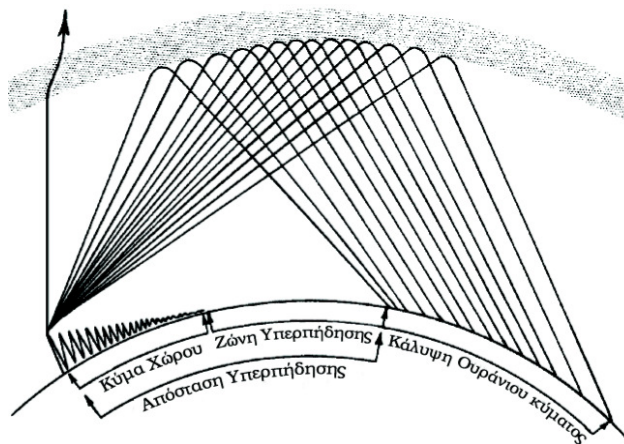
- **Απόσταση Υπερπήδησης (Skip Distance):** Η μικρότερη απόσταση από τον πομπό στην οποία ένα ουράνιο κύμα συγκεκριμένης συχνότητας θα επιστρέψει στη γη



55

Ζώνη Υπερπήδησης

- **Ζώνη Υπερπήδησης (Skip Zone):** Αν υπάρχει και ένα κύμα επιφανείας, είναι η απόσταση μεταξύ του σημείου που αυτό εξασθενεί πλήρως και του σημείου που προσπίπτει το πρώτο ανακλώμενο από την ιονόσφαιρα κύμα



56

MUF - OWF

- Όταν η γωνία πρόσπτωσης δεν είναι κάθετη,
 - η κρίσιμη συχνότητα ονομάζεται **μέγιστη χρησιμοποιούμενη συχνότητα** (Maximum Usable Frequency, MUF)
 - και εξαρτάται από τη γωνία πρόσπτωσης

- Η MUF δε χρησιμοποιείται στην πράξη λόγω προβλημάτων που δημιουργούνται από μικρές αλλαγές στη σύνθεση των υποστρωμάτων της ιονόσφαιρας

- Πρακτικά, χρησιμοποιείται μία συχνότητα που αντιστοιχεί στο 85% της MUF και ονομάζεται **βέλτιστη συχνότητα λειτουργίας** (Optimum Working Frequency)

57

Υπερδιάθλαση ή Κυματοδήγηση (1/2)

- Υπό Κανονικές Συνθήκες: με την αύξηση του ύψους
 - μειώνεται η πυκνότητα και η θερμοκρασία του αέρα
 - Η αύξηση του δείκτη διάθλασης είναι γραμμική και σταδιακή

- **Φαινόμενο Αντιστροφής Θερμοκρασίας:**
 - ένα στρώμα θερμού αέρα παγιδεύεται πάνω από ένα στρώμα ψυχρού
 - συμβαίνει κυρίως πάνω από υδάτινες επιφάνειες
 - σε χαμηλό ύψος περίπου 30 m

- Η **απότομη αλλαγή** του δείκτη διάθλασης προκαλεί καμπύλωση στα μικροκύματα (υψηλές συχνότητες, π.χ. UHF)
 - όπως η ιονόσφαιρα αλλάζει την καμπυλότητα των χαμηλότερων συχνοτήτων

58

Υπερδιάθλαση ή Κυματοδήγηση (2/2)

- Τα μικροκύματα διαθλώνται και επιστρέφουν στη γη
- Ανακλώνται από το έδαφος και η διαδικασία συνεχίζεται

- Μπορούν να μεταδοθούν έως και 1000 km

- Το φαινόμενο ονομάζεται
 - υπερδιάθλαση (superrefraction)
 - κυματοδήγηση (ducting)

59

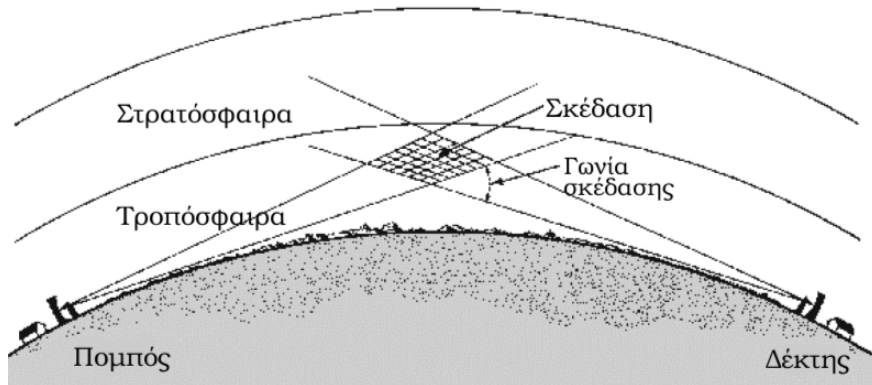
Τροποσφαιρική Μετάδοση (1/2)

- **Tropospheric Scatter Propagation**
- Πρόκειται για μετάδοση UHF κυμάτων πέρα από τον ορίζοντα
- Οφείλεται σε ανακλάσεις σε:
 - σταγονίδια στην ατμόσφαιρα
 - ατμοσφαιρικά στρώματα (μεγέθους συγκρίσιμου του λ)

- **Χαρακτηριστικά:**
 - ισχυρή εξασθένηση
 - απαιτούνται κεραιές υψηλής κατευθυντικότητας σε μεγάλο ύψος
 - είναι μόνιμο και όχι σποραδικό φαινόμενο

60

Τροποσφαιρική Μετάδοση (2/2)



61

Διάδοση ΗΜ Κυμάτων

Παράγοντες Υποβάθμισης

62

Εισαγωγή

- Βασικοί παράγοντες υποβάθμισης:
 - Απώλειες Μετάδοσης
 - Πολύδρομη Μετάδοση
 - Διαλείψεις
 - Απορρόφηση στην Ιονόσφαιρα
 - Μεταβολές στην Ιονόσφαιρα
 - Ηλεκτρομαγνητικές Παρεμβολές
 - Επίδραση Καιρικών Συνθηκών

63

Απώλειες Μετάδοσης

- Ακόμη και κατά τη μετάδοση σε ελεύθερο χώρο, η ισχύς του σήματος μειώνεται με το νόμο του αντίστροφου τετραγώνου
- Απώλειες Μετάδοσης:

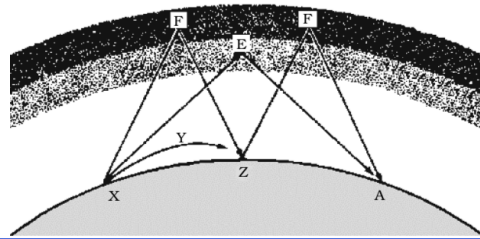
$$\alpha = 10 \log \left(\frac{P_1}{P_2} \right) = 20 \log \left(\frac{r_1}{r_2} \right)^2$$

- α : η εξασθένηση της πυκνότητας ισχύος
- P_1, P_2 : οι πυκνότητες ισχύος σε απόσταση r_1 και r_2 ($r_2 > r_1$) από την πηγή των ΗΜ κυμάτων

64

Πολύδρομη Μετάδοση

- Χρησιμοποιείται για να περιγράψει τις πολλαπλές διαδρομές που ακολουθεί ένα ΗΜ κύμα κατά τη διάδοσή του
- Τα κύματα φτάνουν στο δέκτη σε διαφορετικές χρονικές στιγμές έχοντας διανύσει διαφορετικές διαδρομές
 - Ενίσχυση σήματος (ίδια φάση)
 - Εξασθένιση σήματος (διαφορετικές φάσεις)
- Χρήση τεχνικών diversity
 - **Space Diversity:** 2 ή περισσότερες κεραιές λήψης
 - **Frequency Diversity:** 2 πομποί και 2 δέκτες για μετάδοση της πληροφορίας σε 2 διαφορετικές συχνότητες



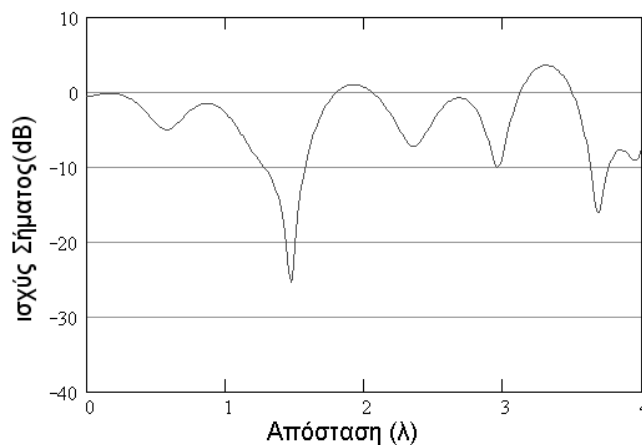
65

Διαλείψεις (Fading) (1/2)

- Είναι ένα γενικό φαινόμενο που περιλαμβάνει τις αυξομειώσεις στην ισχύ του λαμβανόμενου ΗΜ κύματος
- Το φαινόμενο είναι αρκετά τυχαίο και περιγράφεται μόνο πιθανοτικά
- Μπορεί να οφείλονται
 - αλλαγή στην πόλωση του κύματος
 - απορρόφηση ενέργειας στην ιονόσφαιρα
 - εξασθένηση λόγω καιρικών φαινομένων
 - πολύδρομη μετάδοση
 - » ανακλάσεις – διαθλάσεις – περιθλάσεις σε αντικείμενα, ατμοσφαιρικά στρώματα, μορφολογία του εδάφους

66

Διαλείψεις (Fading) (2/2)



- Η ισχύς λήψης μπορεί να μεταβάλλεται σημαντικά ακόμη και για μικρές μετατοπίσεις του δέκτη (κινητό)

67

Απορρόφηση

- **Απορρόφηση:** Η απώλεια ισχύος ενός ραδιοκύματος εξαιτίας της απορρόφησής του από την ιονόσφαιρα
- Δεν υφίσταται στη περίπτωση του κενού
- Τα μόρια της ατμόσφαιρας απορροφούν ενέργεια, ταλαντώνονται και θερμαίνονται
- Όσο μεγαλύτερη η πυκνότητα του ιονισμένου στρώματος,
 - τόσο μεγαλύτερη η απορρόφηση (ποικίλλει με την εποχή, την ημέρα και την ώρα)

68

Μεταβολές στην Ιονόσφαιρα

- Σχετίζονται με
 - τις ακτινοβολίες που εκπέμπονται από τον ήλιο
 - τις αλλαγές στη δραστηριότητά του
 - και την μετακίνηση της γης γύρω από αυτόν
- **Κανονικές Μεταβολές:** περιοδικές και προβλέψιμες
 - **Ημερήσιες:** Αποτέλεσμα της 24ωρης περιστροφής της γης γύρω από τον άξονά της
 - **Εποχιακές:** Αποτέλεσμα της περιστροφής της γης γύρω από τον ήλιο
 - **Ηλιακού κύκλου:** Σχετίζονται με τον 11ετή ηλιακό κύκλο
- **Τυχαίες Μεταβολές:** απρόβλεπτες
 - Τυχαία Νεφελώματα (σποραδικό E)
 - Ιονοσφαιρικές Θύελλες: σχετίζονται με τις ηλιακές εκρήξεις και την περιστροφή του ήλιου

69

Ηλεκτρομαγνητικές Παρεμβολές

- **Electromagnetic Interference (EMI):**
 - Ανθρώπινες
 - Φυσικές
- **Ανθρώπινες Παρεμβολές:** Προκαλούνται από τον άνθρωπο και έχουν διάφορες πηγές όπως
 - Πομποί τηλεπικοινωνιακών σημάτων παρόμοιας ραδιοσυχνότητας
 - Ηλεκτρικές συσκευές
 - Μειώνονται αισθητά τη νύχτα
- **Φυσικές Παρεμβολές:** Οφείλονται σε φυσικά φαινόμενα όπως καταιγίδες, χιονοθύελλες, κοσμικές πηγές, ήλιος
 - Μεταδίδονται κατά προσέγγιση όπως τα ραδιοκύματα
 - Είναι ακανόνιστες αλλά γενικά μειώνονται καθώς αυξάνεται η συχνότητα λειτουργίας

70

Επίδραση Καιρικών Συνθηκών (1/2)

- Διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο στη διάδοση των ραδιοκυμάτων
- Ανάλογα με τις εκάστοτε καιρικές συνθήκες, τα ραδιοκύματα μπορεί
 - είτε να διαδοθούν περὰ της πραγματικής τους εμβέλειας
 - είτε να εξασθενήσουν σημαντικά
- Δεν υπάρχουν αυστηροί κανόνες για την επίδρασή τους
- Καθώς το μήκος κύματος γίνεται πιο μικρό,
 - οι ατμοσφαιρικές κατακρημνίσεις επηρεάζουν περισσότερο τα ραδιοκύματα

71

Επίδραση Καιρικών Συνθηκών (2/2)

- **Εξασθένηση λόγω Σταγόνων Βροχής:** πάνω από 100 MHz
 - Μεγαλύτερη σε σχέση με τις υπόλοιπες
 - Απορρόφηση ή σκέδαση
- **Εξασθένηση λόγω Ομίχλης:**
 - Μέτρια εξασθένηση ανάλογα με την περιοχή συχνοτήτων
 - Καθορίζεται από την ποσότητα νερού ανά μονάδα όγκου και από το μέγεθος των σταγονιδίων
- **Εξασθένηση λόγω Χιονιού:**
 - Δύσκολο να υπολογιστεί λόγω των ασύμμετρων νιφάδων
 - Μικρότερη σε σύγκριση με την αντίστοιχη της βροχής
- **Εξασθένηση λόγω Χαλαζιού:**
 - Καθορίζεται από το μέγεθος και την πυκνότητα των κόκκων
 - Μικρότερη σε σύγκριση με την αντίστοιχη της βροχής

72

Διάδοση ΗΜ Κυμάτων

Συμπεράσματα

73

Ζώνες Χαμηλών Συχνοτήτων

- Ζώνες VLF + ELF
- Μήκος κύματος πάνω από 10Km
- **Μετάδοση:**
 - ιονοσφαιρική μετάδοση (υπόστρωμα D)
 - κύματα επιφανείας
 - » λόγω μεγάλου μήκους κύματος
 - » πάνω από θάλασσες
 - φτάνουν σε όλο τον πλανήτη
- **Εφαρμογή:** επικοινωνία πλοίων
- **Θόρυβος:**
 - κεραυνοί
 - παρεμβολή χρηστών

74

Ζώνη Μεσαίων Συχνοτήτων

- Ζώνη MF
- **Μετάδοση:**
 - κύματα επιφανείας σε περιορισμένη απόσταση
 - απορροφώνται από υποστρώματα D, E
 - ιονοσφαιρική μετάδοση τη νύχτα μέσω ανάκλασης στο F
- **Εφαρμογή:**
 - ραδιοφωνία AM
 - ναυτιλία
- **Θόρυβος:**
 - ατμοσφαιρικός θόρυβος
 - ανθρώπινες παρεμβολές
 - θερμικός θόρυβος στο δέκτη

75

Ζώνη Υψηλών Συχνοτήτων

- Ζώνη HF
- **Μετάδοση:**
 - οι υψηλότερες συχνότητες που μπορούν να ανακλαστούν στην ιονόσφαιρα (στρώμα F)
 - πολύδρομη μετάδοση
- **Εφαρμογή:**
 - ραδιοφωνία AM
 - ραδιοερασιτέχνες
- **Θόρυβος:**
 - ατμοσφαιρικός θόρυβος
 - θερμικός θόρυβος στο δέκτη

76

Ζώνες VHF+UHF

- **Μετάδοση:**
 - κύματα χώρου (Line Of Sight)
 - » υψηλές κεραιές
 - » αυξημένος ηλεκτρικός ορίζοντας
 - τροποσφαιρική μετάδοση + υπερδιάθλαση με υψηλή εξασθένηση
 - διαπερνούν την ατμόσφαιρα
 - **Εφαρμογή:**
 - ραδιοφωνία FM
 - τηλεόραση
 - κινητή τηλεφωνία
 - αεροναυσιπλοΐα
 - radar
 - δορυφόροι
 - **Θόρυβος:**
 - θερμικός θόρυβος στο δέκτη
 - κοσμικός θόρυβος
-

77

Υψηλότερες Ζώνες

- Ζώνες SHF και πάνω (πάνω από 10GHz)
 - Μήκος κύματος: μικρότερο του cm
 - **Μετάδοση:**
 - κύματα χώρου με μεγάλη εξασθένηση
 - **Εφαρμογή:**
 - πειραματικά
 - δορυφορικά
 - **Θόρυβος:**
 - μεγάλη ευαισθησία στα καιρικά φαινόμενα
-

78