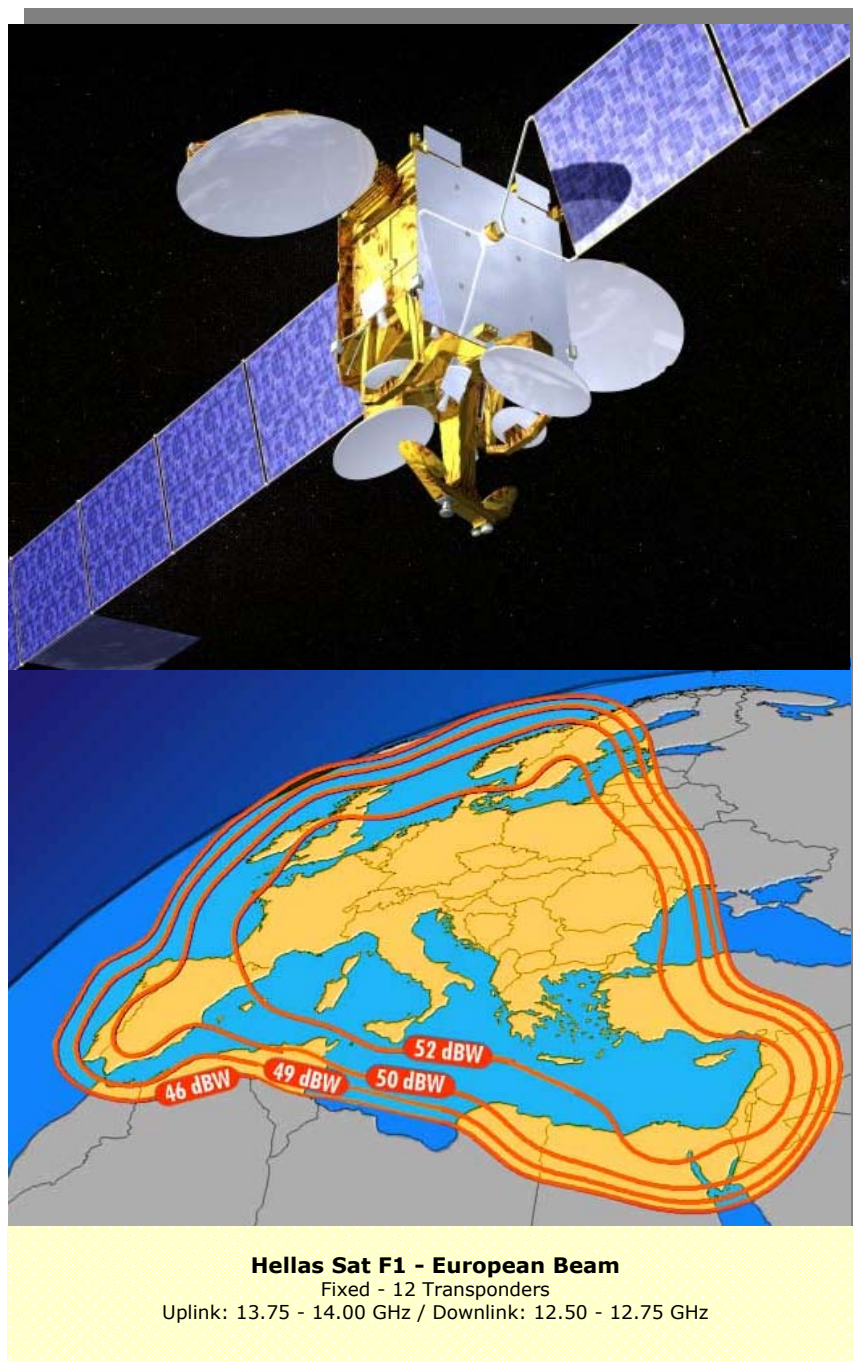
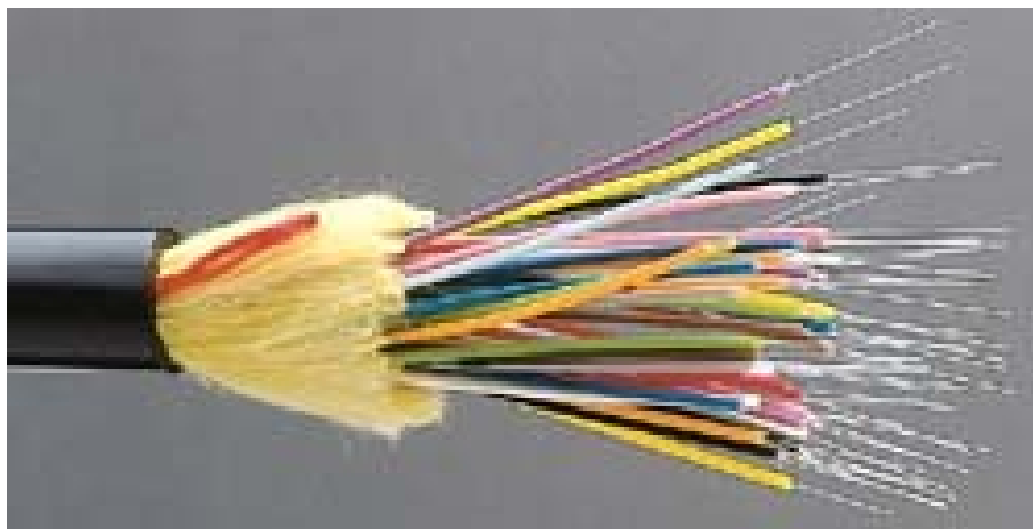


Τεχνολογία Ηλεκτρονικών Επικοινωνιών Β' Τάξης



Τεχνολογία Ηλεκτρονικών Επικοινωνιών Β' Τάξης



Πρόλογος

Η εποχή που ζούμε χαρακτηρίζεται από την ταχύτητα και τον τεράστιο όγκο πληροφοριών και δεδομένων. Οι Τηλεπικοινωνίες, η πληροφορική και οι νέες τεχνολογίες έχουν να παρουσιάσουν καθημερινά νέα προϊόντα και υπηρεσίες που βομβαρδίζουν κυριολεκτικά μηχανικούς, τεχνικούς και καταναλωτές, επηρεάζοντας καταλυτικά όλους τους τομείς της καθημερινής ζωής.

Πριν μερικά χρόνια ο όρος Τηλεπικοινωνίες περιοριζόταν στο γεγονός της απλής μετάδοσης μηνυμάτων λόγου (φωνής) ή εικόνας με λίγους αποδέκτες, ενώ σήμερα ο ίδιος όρος αγκαλιάζει όλο το φάσμα της καθημερινότητας και απευθύνεται στις πλατιές μάζες. Η μικροηλεκτρονική και η μαζική εμφάνιση των υπολογιστών απλοποίησε την επαφή του ανθρώπου με τη μηχανή και διευκόλυνε την επικοινωνία του με τον έξω κόσμο. Καθένας από μας, στο σπίτι ή στο γραφείο του, διαθέτει ένα πλήθος τηλεπικοινωνιακών συσκευών για να στείλει ή να πάρει μηνύματα και μπορούμε κάθε στιγμή να ανταλλάξουμε τεράστιο όγκο πληροφοριών με την άλλη άκρη της γης.

Ένα μεγάλο τμήμα των σύγχρονων Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων ή Δικτύων όπως ονομάζονται σήμερα αναφέρεται στις ασύρματες επικοινωνίες ή Ραδιοεπικοινωνίες. Σήμερα ο διαχωρισμός Ενσύρματες - Ασύρματες επικοινωνίες γίνεται όλο και δυσκολότερος, δεδομένου ότι το Δίκτυο των επικοινωνιών τείνει να γίνει ενιαίο και παγκόσμιο.

Αυτή η έκρηξη των τεχνολογιών προσθέτει συνεχώς νέες γνώσεις και νέα γνωστικά αντικείμενα για μελέτη.

Σε κάθε περίπτωση απαιτείται η αποσαφήνιση των βασικών εννοιών που αναφέρονται σε μια διαδικασία. Στις τηλεπικοινωνίες για παράδειγμα πρέπει κανείς να επιμείνει στην έννοια της πληροφορίας, η οποία δεν ορίζεται εύκολα ποσοτικά και τις περισσότερες φορές μάλιστα αντιπροσωπεύει ένα φυσικό μέγεθος που δεν ανήκει στον τομέα της ηλεκτρονικής. Από την έννοια της πληροφορίας σιγά σιγά αφομοιώνεται η έννοια του σήματος σαν ηλεκτρικού μεγέθους και στη συνέχεια δίδεται έμφαση στην έννοια του συστήματος ή του υποσυστήματος που θα επεξεργαστεί το σήμα για να δώσει κάποιο συγκεκριμένο αποτέλεσμα. Πρέπει επίσης να επιμείνει στα λειτουργικά χαρακτηριστικά του συστήματος, όπως τη ζώνη λειτουργίας, τη δυναμική του και μέσα από αυτά τα χαρακτηριστικά, να ορίσει τις απαιτήσεις και τις προδιαγραφές που πρέπει να θέσει για να πετύχει την σωστή σχεδίαση του. Ας σημειώσουμε ότι ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα πρέπει να μπορεί να συνυπάρξει στον ίδιο χώρο με άλλα αντίστοιχα συστήματα. Για παράδειγμα σε μια πόλη πρέπει να συνυπάρχουν και να λειτουργούν επιτυχώς πολλοί ραδιοφωνικοί ή τηλεοπτικοί σταθμοί. Δεν είμαστε μόνοι που τηλεφωνούμε και χρησιμοποιούμε κάποιο τμήμα του τηλεφωνικού δικτύου σε δεδομένη χρονική στιγμή, κλπ. Η έννοια της προσαρμογής ενός υποσυνόλου (σταδίου) με το επόμενο, η έννοια του ηλεκτρομαγνητικού φορέα που χρησιμοποιείται για τη ζεύξη (καλώδιο, οπτική ίνα, το κενό στις ασύρματες ζεύξεις), η διαδικασία της διαμόρφωσης, αποτελούν επίσης βασικές έννοιες των τηλεπικοινωνιών.

Τεχνολογία Ηλεκτρονικών Επικοινωνιών 2^{ης} Τάξης

Περιεχόμενα

Πρόλογος

Εισαγωγή στις Επικοινωνίες

- Μάθημα Ε1 - Ιστορική Αναδρομή στις Επικοινωνίες
- Μάθημα Ε2 - Βασικό Μοντέλο Επικοινωνιών
- Μάθημα Ε3 - Το Εναλλασσόμενο Ρεύμα
- Μάθημα Ε4 - Κύματα & Μήκος Κύματος
- Μάθημα Ε5 - Το Decibel

Ενότητα 1 - Ηλεκτρικά Σήματα

- Μάθημα 1.1 - Ηλεκτρικά Σήματα
- Μάθημα 1.2 - Φίλτρα

Ενότητα 2 - Το Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα

- Μάθημα 2.1 - Το Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα

Ενότητα 3 - Μέσα Μετάδοσης

- Μάθημα 3.1 - Εισαγωγή στα Μέσα Μετάδοσης
- Μάθημα 3.2 - Καλώδια Μεταλλικών Αγωγών
- Μάθημα 3.3 - Οπτικές Ίνες
- Μάθημα 3.4 - Ασύρματα Μέσα Μετάδοσης

Ενότητα 4 - Διαμόρφωση Αναλογικού Σήματος

- Μάθημα 4.1 - Η αναγκαιότητα της Διαμόρφωσης
- Μάθημα 4.2 - Διαμόρφωση κατά Πλάτος
- Μάθημα 4.3 - Διαμόρφωση κατά Συχνότητα

Ενότητα 5 - Διαμόρφωση Ψηφιακού Σήματος

- Μάθημα 5.1 - Η αναγκαιότητα της Ψηφιακής Διαμόρφωσης
- Μάθημα 5.2 - Ψηφιακή Διαμόρφωση κατά Πλάτος
- Μάθημα 5.3 - Ψηφιακή Διαμόρφωση κατά Συχνότητα

Ενότητα 6 - Πολυπλεξία

- Μάθημα 6.1 - Πολυπλεξία

Ενότητα 7- Συστήματα Ακτινοβολίας

- Μάθημα 7.1 - Γραμμές Μεταφοράς
- Μάθημα 7.2 - Κεραίες

Επίλογος - Το Μέλλον των επικοινωνιών

Παραρτήματα

- Παράρτημα 1 - Το Διεθνές Σύστημα Μονάδων SI
- Παράρτημα 2 - Τεχνολογία Οπτικών Συστημάτων
- Παράρτημα 3 - Η Διεθνής Τηλεπικοινωνιακή Ένωση - ITU
- Παράρτημα 4 - Διεθνείς Δορυφορικοί Τηλεπικοινωνιακοί Οργανισμοί
- Παράρτημα 5 - Ο Μορσικός Κώδικας
- Παράρτημα 6 - Ο Δορυφόρος HOTBIRD 7A
- Παράρτημα 7 - Το VSWR
- Παράρτημα 8 - Power Line Communications (PLC) - Επικοινωνίες μέσω γραμμών ισχύος
- Χρήσιμοι Πίνακες
 - Ο Νόμος του Ωμ
 - Το Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα
 - Περιοχές Συχνοτήτων, Μήκη Κύματος και Ονομασίες
 - Προδιαγραφές καλωδίων σύμφωνα με το ISO/IEC 11801 και ANSI/TIA/EIA-568
 - Τυπικά Ομοαξονικά Καλώδια και τα χαρακτηριστικά τους
 - VSWR

Βιβλιογραφία

Εισαγωγή στις Επικοινωνίες

- Μάθημα Ε1 - Ιστορική Αναδρομή στις Επικοινωνίες
- Μάθημα Ε2 - Βασικό Μοντέλο Επικοινωνιών
- Μάθημα Ε3 - Το Εναλλασσόμενο Ρεύμα
- Μάθημα Ε4 - Κύματα & Μήκος Κύματος
- Μάθημα Ε5 - Το Decibel

Μάθημα Ε1 - Ιστορική Αναδρομή στις Επικοινωνίες

ΣΤΟΧΟΙ

Στο τέλος αυτού του μαθήματος ο/η μαθητής/τρια πρέπει να :

- Εξηγεί και δικαιολογεί την αναγκαιότητα των επικοινωνιών και των επικοινωνιακών συστημάτων.
- Αναφέρει τους κυριότερους ιστορικούς σταθμούς της εξέλιξης των ηλεκτρονικών επικοινωνιών.

Ε1.1 Πριν τον ηλεκτρισμό

Η προσπάθεια για επικοινωνία ανάμεσα σε απομακρυσμένα μεταξύ τους σημεία είναι συνυφασμένη με την ανθρώπινη ιστορία. Η ανάγκη αυτή για αποστολή και λήψη μηνυμάτων και εκμηδένιση της απόστασης συνοδεύει τον άνθρωπο από τη στιγμή της εμφάνισής του στον πλανήτη. Η επικοινωνία είναι αναγκαία προϋπόθεση για επιβίωση. Οι ζωντανοί οργανισμοί, για να επιβιώσουν, πρέπει να έχουν γνώση των συνθηκών του περιβάλλοντος αλλά και να αντιλαμβάνονται την παρουσία άλλων οργανισμών.

Κατά την αρχαιότητα αναφέρονται τεχνικές επικοινωνίας μεταξύ απομακρυσμένων σημείων, οι οποίες επιτυγχάνονταν με χρήση τύμπανων, καπνού, φωτιάς και κατόπτρων που ανακλούσαν το ηλιακό φως. Δύο σημεία που είχαν οπτική επαφή το ένα με το άλλο μπορούσαν να επικοινωνήσουν, χρησιμοποιώντας κάποιο οπτικό σήμα, όπως ο καπνός και η φωτιά. Συνήθως τα σημεία αυτά βρίσκονταν στην κορυφή βουνών, ώστε να επιτρέπουν μεγαλύτερες αποστάσεις επικοινωνίας. Σύμφωνα με το θρύλο, η άλωση της Τροίας έγινε γνωστή στις Μυκήνες με μια σειρά από φωτιές που άναψαν διαδοχικά οι Αχαιοί στις βουνοκορφές της Λήμνου, της χερσονήσου του Άθω, της Εύβοιας και της Στερεάς, ως την Πελοπόννησο.

Ωστόσο, μόλις τον 20^ο αιώνα έγινε δυνατή η μεγάλη πρόοδος στις τηλεπικοινωνίες, η οποία συνδυάστηκε και με την εφαρμογή του ηλεκτρισμού σε όλο και περισσότερους τομείς της ανθρώπινης ζωής.

Ε1.2 Η εποχή του ηλεκτρισμού

• ΤΗΛΕΓΡΑΦΙΑ

Η πρόοδος στις τηλεπικοινωνίες έγινε δυνατή μόνο μετά την πραγματοποίηση των βασικών εφαρμογών του ηλεκτρισμού. Αρχικά χρησιμοποιήθηκαν οι ιδιότητες του στατικού ηλεκτρισμού και της ηλεκτρόλυσης και λίγο αργότερα οι ιδιότητες του ηλεκτρομαγνητισμού.

Βασίζομενος στο ηλεκτρομαγνητικό φαινόμενο, ο **Σάμιουελ Μορς** (Samuel Morse) εφεύρε το έτος 1837 τον ηλεκτρικό τηλέγραφο. Χρησιμοποιώντας έναν ηλεκτρομαγνήτη, μια ηλεκτρική πηγή και έναν αγωγό μεγάλου μήκους έδωσε λύση στο πρόβλημα της επικοινωνίας σε μεγάλες αποστάσεις. Για το λόγο αυτό θεωρείται και ο πατέρας της ηλεκτρικής τηλεγραφίας.

Η συσκευή του Morse είναι ταυτόχρονα και πομπός και δέκτης, τροφοδοτείται από μια τοπική ηλεκτρική συστοιχία και συνδέεται με τη συσκευή με την οποία επικοινωνεί με ένα μόνο σύρμα. Το κύκλωμα κλείνει μέσω της γης, που λειτουργεί ως δεύτερος αγωγός. Ο πομπός αποτελείται από ένα διακόπτη, μέσω του οποίου ο χειριστής κλείνει στιγμιαία το κύκλωμα και στέλνει παλμούς προς το κύκλωμα του δέκτη. Ο δέκτης αποτελείται από έναν ηλεκτρομαγνήτη με σπλισμό, στην άκρη του οποίου είναι στερεωμένη μια γραφίδα. Όταν κλείνει το κύκλωμα μέσω του διακόπτη του πομπού, ο σπλισμός του ηλεκτρομαγνήτη μετακινείται και η γραφίδα αφήνει ένα σημάδι πάνω σε μια ταινία που ξετυλίγεται με σταθερό ρυθμό.

Η μετάδοση των αλφαβητικών συμβόλων με τη βοήθεια του ηλεκτρικού ρεύματος γινόταν με τη χρησιμοποίηση ενός κώδικα, του κώδικα Morse (Παράρτημα 5). Ο μορσικός κώδικας

(μορσικό αλφάβητο) αποτελείται από συνδυασμούς δύο στοιχείων - ενός παλμού ηλεκτρικού ρεύματος μικρής διάρκειας (τελεία) και ενός παλμού ρεύματος μεγάλης διάρκειας (παύλα). Η λήψη μπορεί να γίνει είτε ακουστικά (με κτύπους) είτε γραφικά (τελείες-παύλες).

Οι συνδυασμοί του κώδικα Morse περιλαμβάνουν τα 26 κεφαλαία λατινικά γράμματα, τους 10 αριθμούς και σύμβολα, όπως την τελεία (.), το κόμμα (,), το ερωτηματικό (?) κλπ.

Το πρώτο τηλεγραφικό κύκλωμα λειτούργησε στις 24 Μαΐου 1844 μεταξύ Βαλτιμόρης και Ουάσιγκτον με ένα καλώδιο μήκους 60 km.

Η συσκευή του Morse αποτέλεσε την αρχική λύση στο πρόβλημα της τηλεγραφίας. Ακολούθησαν ωστόσο πολλές βελτιώσεις, οι οποίες είχαν στόχο την αύξηση της εμβέλειας (δηλαδή της μέγιστης απόστασης επικοινωνίας), την αύξηση της ταχύτητας μετάδοσης και την αύξηση της αποδοτικότητας (ή αλλιώς του βαθμού εκμετάλλευσης) της τηλεγραφικής γραμμής, η οποία αποτελεί και το δαπανηρότερο μέρος του τηλεγραφικού δικτύου.

Η αύξηση της εμβέλειας έγινε δυνατή με τη χρησιμοποίηση επαναληπτών, οι οποίοι ενισχύουν το σήμα και το επανεκπέμπουν. Έτσι, οι απώλειες του σήματος, οι οποίες γίνονται εντονότερες με την αύξηση της απόστασης, περιορίζονται και γίνεται δυνατή η μετάδοση σε μεγάλες αποστάσεις.

Η αύξηση της ταχύτητας μετάδοσης πραγματοποιήθηκε με την εφεύρεση των μηχανικών χειριστηρίων. Η χειροκίνητη χρήση του διακόπτη του πομπού μπορούσε να επιτύχει ταχύτητες μετάδοσης της τάξης των 15 λέξεων το λεπτό. Με τη χρήση μηχανικών χειριστηρίων η ταχύτητα αυξήθηκε δραματικά.

Η αύξηση του βαθμού εκμετάλλευσης της τηλεγραφικής γραμμής έγινε με την εφεύρεση της ηλεκτρονικής λυχνίας το 1906. Με τη χρήση της ηλεκτρονικής λυχνίας η μετάδοση χρησιμοποιούσε εναλλασσόμενο ρεύμα (αντί για συνεχές, όπως γινόταν μέχρι τότε). Μεταδίδοντας εναλλασσόμενο ρεύμα σε διαφορετικές συχνότητες και χρησιμοποιώντας κατάλληλα φίλτρα στο δέκτη έγινε δυνατή η ταυτόχρονη αποστολή και λήψη πολλών τηλεγραφημάτων (**πολυπλεξία**).

• ΤΗΛΕΤΥΠΟ - TELEX

Στον τηλεγράφο τα κωδικά σήματα (τελείες και παύλες), εκπέμπονται από τον πομπό και λαμβάνονται στο δέκτη. Τα σήματα αυτά στη συνέχεια μεταφράζονται από το χειριστή σε γράμματα του αλφαβήτου. Στο τηλέτυπο αυτά τα κωδικά σήματα μετατρέπονται απευθείας σε γράμματα. Έτσι, ο τηλετυπικός πομπός και δέκτης είναι μία συσκευή και έχει τη μορφή μιας μεγάλης γραφομηχανής. Η μετάδοση των κειμένων γίνεται με απλό χειρισμό των πλήκτρων. Η λήψη γίνεται με απευθείας εκτύπωση του κειμένου σε χάρτινη ταινία ή σε φύλλο χαρτιού.

Το τηλέτυπο αποτέλεσε το τελευταίο βήμα στην πρόοδο της τηλεγραφίας. Από το 1900 που άρχισε να χρησιμοποιείται, καθιερώθηκε λόγω της απλότητας και της αξιοπιστίας του. Η τηλετυπία έγινε διεθνής υπηρεσία με το όνομα TELEX.

• ΤΗΛΕΦΩΝΙΑ

Η τηλεφωνία έπεται χρονολογικά της τηλεγραφίας. Πατέρας της τηλεφωνίας θεωρείται ο Alexander Graham Bell, ο οποίος στις 14 Φεβρουαρίου του 1876 υπέβαλε αίτηση χορήγησης διπλώματος ευρεσιτεχνίας στις ΗΠΑ για την τηλεφωνική συσκευή που είχε εφεύρει.

Η τηλεφωνική διάταξη του Bell αποτελείτο από δύο όμοιες συσκευές (τηλέφωνα), που λειτουργούσαν και ως πομποί και ως δέκτες, μέσα από την ίδια γραμμή. Κάθε τηλέφωνο είναι ένας φυσικός μαγνήτης με μια συρμάτινη περιέλιξη γύρω του, οπλισμένος με μια μεμβράνη. Καθώς μιλάει κάποιος μπροστά από τη μεμβράνη, αυτή πάλλεται, με αποτέλεσμα να μεταβάλλεται η απόσταση της από το μαγνήτη του πομπού. Έτσι μεταβάλλεται το

μαγνητικό πεδίο μέσα στο οποίο βρίσκεται η περιέλιξη (πηνίο), με αποτέλεσμα τη δημιουργία ρεύματος από επαγωγή. Αυτή η μεταβολή του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου είναι φυσικά ανάλογη με τη μεταβολή της φωνής του ομιλητή. Το ρεύμα αυτό κυκλοφορεί στο κύκλωμα πομπού-δέκτη και δημιουργεί ένα μεταβαλλόμενο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο στο πηνίο του δέκτη. Το πηνίο αυτό προκαλεί μεταβαλλόμενη έλξη στη μεμβράνη του δέκτη, η οποία με τη σειρά της πάλλεται σύμφωνα με τις μεταβολές του πεδίου. Καθώς πάλλεται η μεμβράνη, προκαλεί παλμούς στον αέρα που την περιβάλλει, με αποτέλεσμα να ακούγεται πάλι ο αρχικός ήχος.

Από την παρουσίαση του τηλεφώνου του Bell και μετά, έγιναν πολλές βελτιώσεις στην τηλεφωνική συσκευή. Μια από τις πρώτες βελτιώσεις ήταν η εφεύρεση του μικροφώνου, το οποίο χρησιμοποιήθηκε στη συνέχεια ως πομπός στις τηλεφωνικές συσκευές. Το μικρόφωνο ήταν αποτελεσματικότερο κατά τη μετατροπή της φωνής σε ηλεκτρικό σήμα, με αποτέλεσμα να μεγαλώνει την ένταση του ρεύματος που έφτανε στο δέκτη. Έτσι αυξανόταν και η εμβέλεια του τηλεφώνου.

Η εμβέλεια πάντως εξακολουθούσε να είναι περιορισμένη, λόγω της μεγάλης αντίστασης της γραμμής σχετικά με τις αντιστάσεις μικροφώνου και ακουστικού. Οι απώλειες κατά τη μετάδοση του σήματος ήταν πολύ μεγάλες. Για το λόγο αυτό, εφευρέθηκε το επαγωγικό πηνίο, που είναι ένας μετασχηματιστής ανάμεσα στο μικρόφωνο και τη γραμμή (στον πομπό) και ανάμεσα στη γραμμή και το ακουστικό (στο δέκτη). Έτσι περιορίζονται οι απώλειες, καθώς ανεξαρτητοποιούνται οι μεταβολές του τηλεφωνικού ρεύματος από την αντίσταση της γραμμής.

Το μικρόφωνο, το επαγωγικό πηνίο και το ακουστικό αποτελούν μέχρι σήμερα τη βάση για την κατασκευή κάθε τηλεφωνικής συσκευής.

• ΑΣΥΡΜΑΤΗ ΤΗΛΕΓΡΑΦΙΑ

Οι εφευρέσεις της τηλεγραφίας και της τηλεφωνίας άνοιξαν το δρόμο για το μεγάλο όνειρο του ανθρώπου: την χωρίς όρια επικοινωνία με την εκμηδένιση του χρόνου και την εξάλειψη της απόστασης. Η επικοινωνία όμως απαιτούσε την εγκατάσταση καλωδίου ανάμεσα στον πομπό και τον δέκτη. Στις μεγάλες αποστάσεις το κόστος εγκατάστασης ήταν ιδιαίτερα ψηλό.

Ο Σκότος **Τζαϊμς Μάξγουελ** (James Maxwell) στην "Ηλεκτρομαγνητική Θεωρία του Φωτός", που ανέπτυξε μεταξύ του 1867 και του 1873, είχε προβλέψει την ύπαρξη των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και τη δυνατότητα διάδοσής τους στο χώρο. Ο Γερμανός **Χάινριχ Χερτς** (Heinrich Hertz) υπήρξε ο πρώτος που το 1887 κατόρθωσε να παραγάγει στο εργαστήριό του ραδιοκύματα και να επιβεβαιώσει τη θεωρία του Μάξγουελ. Γι' αυτό τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα ονομάζονται και "ερτζιανά" (ο καθιερωμένος όρος "ερτζιανά" προέρχεται από διαφορετική φωνητική απόδοση του ονόματος του Χερτς-Hertz).

Μετά τον Χερτς, πολλοί άλλοι ερευνητές συνέχισαν τις μελέτες και τα πειράματά του, εξετάζοντας τη δυνατότητα χρησιμοποίησης των ραδιοκυμάτων σε πρακτικές εφαρμογές. Ένας από αυτούς, ο Ιταλός **Γουλιέλμος Μαρκόνι** (Guglielmo Marconi) μελέτησε τις θεωρίες του Χερτς το 1894, όταν ήταν μόνο 20 ετών. Αντελήφθη γρήγορα ότι τα ραδιοκύματα θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για ασύρματη επικοινωνία.

Στις 12 Δεκεμβρίου του 1901 ο Μαρκόνι έλαβε το πρώτο μήνυμα (που ήταν οι τρεις τελείες του γράμματος "S" του Μορσικού αλφαβήτου) στο σταθμό που είχε εγκαταστήσει στην περιοχή Signal Hill της Νέας Γης του Καναδά. Το σήμα εκπομπής προερχόταν από την άλλη άκρη του Ατλαντικού στο σταθμό Poldhu της Κορνουάλης της Αγγλίας.

• ΡΑΔΙΟΦΩΝΙΑ

Η ανακάλυψη και η μαζική παραγωγή της ηλεκτρονικής λυχνίας στις αρχές του 20^{ου} αιώνα έδωσε τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα για την μεταφορά της φωνής. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα ακτινοβολούνται από την κεραία, η οποία τροφοδοτείται από τον πομπό με εναλλασσόμενο ρεύμα. Αυτά τα κύματα μεταδίδονται σε μεγάλες αποστάσεις. Στην τηλεγραφία, το ηλεκτρομαγνητικό κύμα μετέφερε τα σύμβολα του

μορσικού αλφάβητου. Για την εκπομπή τελείας ακτινοβολείται από τον πομπό ένα κύμα μικρής διάρκειας, ενώ για την μετάδοση της παύλας ακτινοβολείται κύμα με μεγαλύτερη διάρκεια.

Αυτό το σύστημα μετάδοσης που θεωρείται **ψηφιακό** (έχει μόνο δύο καταστάσεις) είναι εντελώς ακατάλληλο για τη μεταφορά φωνής. Τα ηχητικά κύματα της φωνής μεταβάλλονται συνεχώς. Το ίδιο και το ρεύμα ομιλίας από το σήμα του μικροφώνου. Τέτοια σήματα λέγονται **αναλογικά** και μπορούν να μεταφερθούν από τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα με την τεχνική της **διαμόρφωσης**.

Οι πρώτες ραδιοφωνικές εκπομπές άρχισαν να μεταδίδονται στις Ηνωμένες Πολιτείες γύρω στο 1920.

• ΤΗΛΕΟΜΟΙΟΤΥΠΙΑ (FAX)

Η πρώτη μετάδοση σχεδίων και ασπρόμαυρων φωτογραφιών με τη βοήθεια του ηλεκτρικού ρεύματος πραγματοποιήθηκε γύρω στο 1930. Οι πρώτες συσκευές τηλεφωτογραφίας μπορούσαν να λαμβάνουν και να μεταβιβάζουν ασπρόμαυρες φωτογραφίες και σχέδια με ανάλυση 96 σημείων ανά ίντσα. Ο χρόνος ο οποίος χρειαζόταν για τη μετάδοση ήταν 3-5 λεπτά ανάλογα με το ύψος του σχεδίου ή της φωτογραφίας. Η μετάδοση γινόταν μέσα από τις συνηθισμένες τηλεφωνικές γραμμές.

Η συσκευή περιελάμβανε ένα μεγάλο κύλινδρο πάνω στον οποίο στερεωνόταν η φωτογραφία ή το σχέδιο που επρόκειτο να μεταδοθεί. Ένας ίδιος κύλινδρος υπήρχε και στη συσκευή λήψης ο οποίος περιβαλλόταν από ευαίσθητο φωτογραφικό χαρτί. Οι δύο κύλινδροι περιστρέφονται αργά και **με την ίδια ακριβώς σταθερή ταχύτητα**. Κοντά στον κύλινδρο του αποστολέα υπήρχε φωτεινή πηγή (λαμπτήρας), η οποία εστίαζε το φως σε ένα σημείο πάνω στην φωτογραφία, με τη βοήθεια φακού. Το ανακλώμενο φως από το σημείο αυτό συλλεγόταν από ένα φωτοκύτταρο. Αν το σημείο ήταν λευκό, ένα μεγάλο ρεύμα διέρρηε το φωτοκύτταρο. Αν το σημείο ήταν μαύρο, το ρεύμα ήταν ελάχιστο. Για τις ενδιάμεσες αποχρώσεις του γκριζου, το ρεύμα είχε τις αντίστοιχες ενδιάμεσες τιμές.

Ο αποστολέας διέθετε μια γεννήτρια με δυνατότητα ρύθμισης της συχνότητας. Η ρύθμιση γινόταν από το ρεύμα του φωτοκύτταρου. Έτσι ένα φωτεινό σημείο αντιστοιχούσε σε μια υψηλή συχνότητα, ενώ ένα γκριζο σημείο αντιστοιχούσε σε μια χαμηλότερη συχνότητα. Με άλλα λόγια ο πομπός **μετέτρεπε τη φωτεινότητα σε κατάλληλες συχνότητες** για την τηλεφωνική γραμμή.

Στη λήψη ένα κύκλωμα έκανε την αντίστροφη μετατροπή. Από τη συχνότητα που είχε το λαμβανόμενο σήμα παρήγαγε μια ανάλογη τάση. Η τάση αυτή στα άκρα ενός λαμπτήρα γινόταν φωτεινή δέσμη. Η δέσμη φώτιζε το φωτογραφικό χαρτί με την ανάλογη φωτεινότητα. Η περιστροφή των κυλίνδρων ήταν **συγχρονισμένη**, και η εικόνα που **σάρωνε** ο κύλινδρος αποστολής καταγραφόταν ταυτόχρονα στο κύλινδρο λήψης.

• ΔΙΗΠΕΙΡΩΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΔΟΥΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΖΕΥΞΕΙΣ

Η επιτυχία της τηλεγραφίας ήταν τέτοια, που μόλις το 1866 εγκαταστάθηκε και λειτούργησε το πρώτο **υπερατλαντικό υποβρύχιο καλώδιο**. Το καλώδιο αυτό επέτρεψε την άμεση μετάδοση μηνυμάτων ανάμεσα στην Ευρώπη και την Αμερική. Όμως, η ανάγκη της δαπανηρής ενσύρματης γραμμής μετάδοσης, συνιστούσε ένα μεγάλο περιορισμό αυτών των συστημάτων. Για την τηλεφωνία αργότερα χρησιμοποιήθηκε καλώδιο με ενδιάμεσους ενισχυτές. Λόγω της εξασθένησης του καλωδίου η ισχύς του σήματος υποβιβάζεται καθώς το σήμα ταξιδεύει στο καλώδιο. Υπήρχαν λοιπόν κάθε 10 km ενισχυτές μέσα στο υποβρύχιο καλώδιο, για να ενισχύουν το μεταδιδόμενο σήμα. Η ενίσχυση ήταν απαραίτητη, ώστε να φτάσει στο άλλο άκρο αρκετό σήμα για τη λειτουργία του δέκτη.

Η ασύρματη μετάδοση έλυσε το πρόβλημα του καλωδίου στις μικρές αποστάσεις. Με την χρήση αναμεταδότη η απόσταση αυξήθηκε αρκετά. Τοποθετώντας τον αναμεταδότη σε ολοένα μεγαλύτερο ύψος, αυξάνεται η απόσταση αναμετάδοσης. Στο έδαφος οι

αναμεταδότες τοποθετούνται στα βουνά. Στον ωκεανό η μόνη λύση είναι να τοποθετηθεί ο αναμεταδότης στο διάστημα.

Έτσι χρησιμοποιώντας τις **δορυφορικές ζεύξεις** ξεπεράστηκαν οι μεγάλοι περιορισμοί και η δύσκολη εγκατάσταση των διηπειρωτικών υποβρυχίων καλωδίων. Το 1960 τέθηκε σε τροχιά ο πρώτος δοκιμαστικός δορυφόρος ο **Ηχώ 1**, με δυνατότητα αναμετάδοσης ραδιοφωνικών σημάτων. Το 1962 τέθηκε σε τροχιά ο **Τελεστάρ**, ο πρώτος εμπορικός δορυφόρος. Ο Τελεστάρ αναμετέδιδε τηλεοπτικά προγράμματα και τηλεφωνικές συνδιαλέξεις μεταξύ Ευρώπης και Αμερικής.

- **ΗΜΙΑΓΩΓΟΙ, ΤΟ ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ ΚΑΙ ΤΑ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ**

Η ηλεκτρονική λυχνία για παραπάνω από μισό αιώνα ήταν το βασικό εξάρτημα σχεδόν όλων των ηλεκτρονικών συσκευών. Τα μειονεκτήματα που είχε ήταν ο μεγάλος όγκος της, το υψηλό κόστος, η μεγάλη κατανάλωση, η αναμονή θέρμανσης της καθόδου και ο περιορισμένος χρόνος ζωής της.

Για παράδειγμα, ο πρώτος ηλεκτρονικός υπολογιστής ο ENIAC, στο πανεπιστήμιο της Πενσυλβάνια, χρησιμοποιούσε χιλιάδες λυχνίες οι οποίες καταλάμβαναν όγκο αρκετών δωματίων. Για την τροφοδοσία του χρειαζόταν ισχύ αντίστοιχη με αυτή που καταναλώνουν 20 σπίτια. Λόγω της θέρμανσης των καθόδων όλων των λυχνιών το περιβάλλον ήταν αποπνικτικό και η λειτουργία του ήταν τελείως αναξιόπιστη, διότι κατά διαστήματα καιγόταν κάποια από τις χιλιάδες λυχνίες που έπρεπε να αντικατασταθούν.

Οι ηλεκτρικές ιδιότητες των ημιαγωγών που χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή αρχικά διακριτών εξαρτημάτων (τρανζίστορ) και μετέπειτα των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων έδωσαν τεράστια ώθηση στην ανάπτυξη των ψηφιακών ηλεκτρονικών υπολογιστών και των επικοινωνιών.

- **ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ**

Η χρήση των οπτικών σημάτων για επικοινωνίες ήταν, όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, γνωστή από την αρχαιότητα. Όμως, οι περιορισμοί που θέτει η διάδοση φωτός στην ατμόσφαιρα (λ.χ. βροχή, χιόνι, ομίχλη, σκόνη) αποτέλεσαν σημαντικό εμπόδιο στην περαιτέρω εξέλιξη και ευρύτερη χρήση αυτών των συστημάτων, μέχρι τα μισά περίπου του 20ού αιώνα.

Η χρήση του φωτός και ενός γυάλινου κυματοδηγού που ονομάζεται οπτική ίνα δίνει τη δυνατότητα μετάδοσης μεγάλου όγκου πληροφοριών σε μεγάλες αποστάσεις χωρίς τη εξασθένηση του σήματος που συμβαίνει στην ατμόσφαιρα.

Μάθημα Ε2 - Βασικό Μοντέλο Επικοινωνιών

ΣΤΟΧΟΙ

Στο τέλος αυτού του μαθήματος ο/η μαθητής/τρια πρέπει να :

- Αναφέρει το αντικείμενο των ηλεκτρονικών επικοινωνιών.
- Αναφέρει τι είναι σήμα.
- Αναφέρει τα βασικά μέρη ενός επικοινωνιακού συστήματος :
 - Πομπός ή πηγή σήματος
 - Δίαυλος μετάδοσης σήματος
 - Δέκτης ή προορισμός σήματος
- Περιγράφει τους τρόπους επικοινωνίας σε επικοινωνιακά συστήματα με κριτήριο την κατεύθυνση επικοινωνίας:
 - Μονόδρομη
 - Ημιαμφίδρομη
 - Αμφίδρομη.
- Ορίζει την έννοια της πληροφορίας (δεδομένων).

Ε2.1 Αντικείμενο των Τηλεπικοινωνιών

Αντικείμενο των τηλεπικοινωνιών είναι γενικά η **μεταβίβαση πληροφοριών** από ένα σημείο σε άλλο με τη βοήθεια του ηλεκτρικού ρεύματος.

Τήλε = Μακριά

Για να μπορέσουμε να μεταδώσουμε ένα μήνυμα (πληροφορία) ήχου ή εικόνας σε μεγάλη απόσταση, θα πρέπει να το μετατρέψουμε σε μια κατάλληλη ηλεκτρική μορφή που ονομάζεται **σήμα**.

♦ **Μηνύματα - Πληροφορίες**

- ✓
- ✓ Ηχητικά μηνύματα (Φωνή, μουσική)
- ✓ Εικόνες (Οπτικά μηνύματα)
- ✓ Κείμενα
- ✓ Δεδομένα Η/Υ

♦ **Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα**

ΦΩΝΗΣ

Τηλεφωνία
Ραδιοφωνία

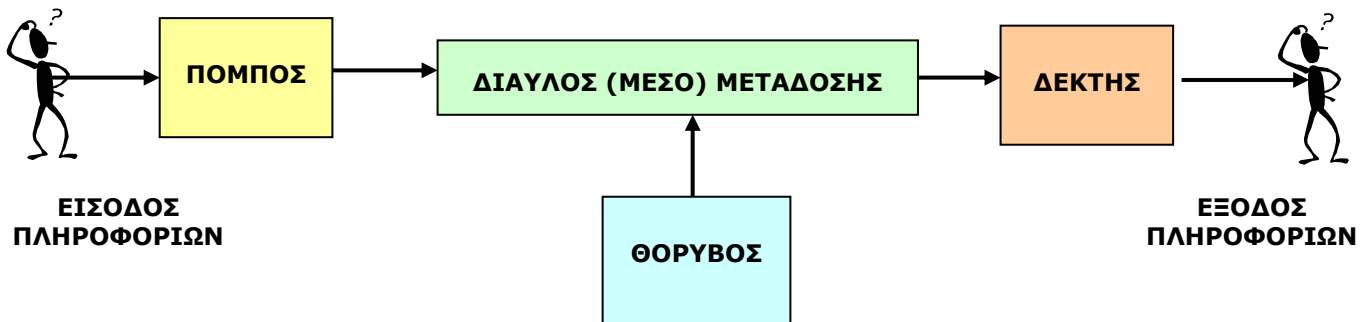
ΕΙΚΟΝΑΣ

Τηλεόραση

ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Τηλετυπία - Telex
Τηλεγραφία
Τηλεομοιοτυπία - Telefax
Ηλεκτρονικό ταχυδρομείο - E mail
Διαδίκτυο

E2.2 Μοντέλο Τηλεπικοινωνιακού Συστήματος



ΠΟΜΠΟΣ

Είναι το ηλεκτρονικό κύκλωμα που μετατρέπει τις πληροφορίες σε ένα ηλεκτρικό σήμα κατάλληλο για μετάδοση μέσου του διαύλου μετάδοσης

- Μικρόφωνο τηλεφωνικής συσκευής
- Ραδιοπομπός

ΔΙΑΥΛΟΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ

Είναι το μέσον μέσω του οποίου το ηλεκτρικό σήμα διαβιβάζεται από το πομπό στον δέκτη

- Δισύρματο καλώδιο
- Οπτικές ίνες
- Ομοαξονικά καλώδια
- Ραδιοεπικοινωνίες
- Δορυφορικές επικοινωνίες
- Ραδιόφωνο
- Τηλεόραση

ΕΝΣΥΡΜΑΤΗ ΣΥΝΔΕΣΗ

ΑΣΥΡΜΑΤΗ ΣΥΝΔΕΣΗ

ΔΕΚΤΗΣ

Είναι το ηλεκτρονικό κύκλωμα που δέχεται το μεταδιδόμενο σήμα και το μετατρέπει κατόπιν κατάλληλης επεξεργασίας στην αρχική του μορφή.

- Ακουστικό τηλεφωνικής συσκευής
- Ραδιοφωνικός Δέκτης
- Τηλεοπτικός Δέκτης

ΘΟΥΡΥΒΟΣ

Είναι μια τυχαία ανεπιθύμητη ηλεκτρική ενέργεια που παρεμβάλλεται στο μεταδιδόμενο ηλεκτρικό σήμα και το εκφυλίζει

ΤΕΧΝΗΤΟΣ ΘΟΥΡΥΒΟΣ

Προέρχεται από βιομηχανικές ή άλλες ηλεκτρικές εγκαταστάσεις:

Συστήματα Ηλεκτρικής ανάφλεξης
Λάμπες φθορισμού

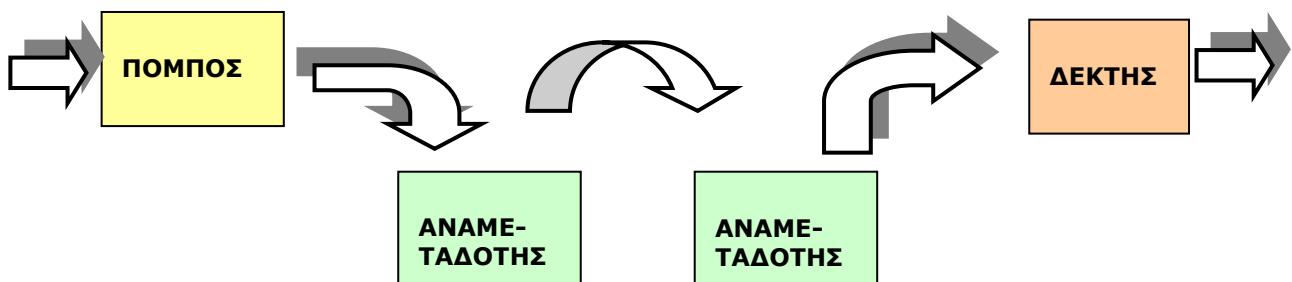
ΦΥΣΙΚΟΣ ΘΟΥΡΥΒΟΣ

Προέρχεται από φυσικά φαινόμενα:
Στατικός ηλεκτρισμός στην ατμόσφαιρα
Κεραυνοί
Ηλιακή και κοσμική ακτινοβολία

♦ **Αναμεταδότες**

Η εμβέλεια των ηλεκτρονικών επικοινωνιών μειώνεται λόγω εξασθένησης του σήματος και γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται αναμεταδότες. Οι αναμεταδότες συλλαμβάνουν το σήμα, το επεξεργάζονται και το εκπέμπουν ξανά ενισχυμένο.

Με αυτό το τρόπο αυξάνεται η εμβέλεια του πομπού σε μεγάλες αποστάσεις.

ΔΙΑΥΛΟΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ**E2.3 Τρόποι Ηλεκτρονικών Επικοινωνιών με κριτήριο την κατεύθυνση**

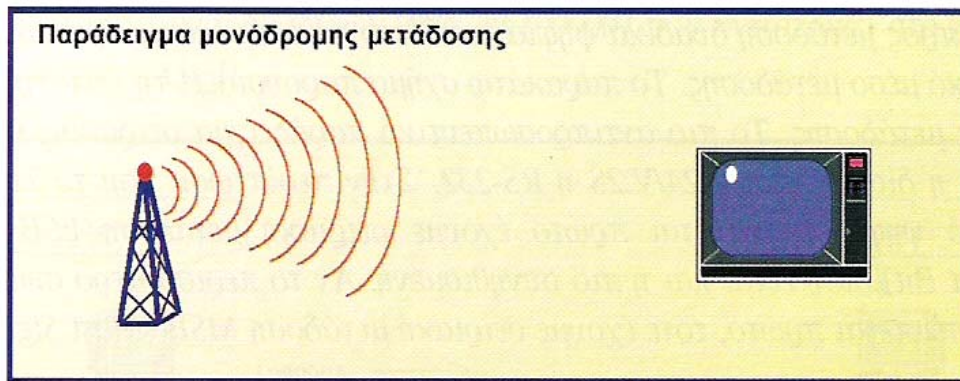
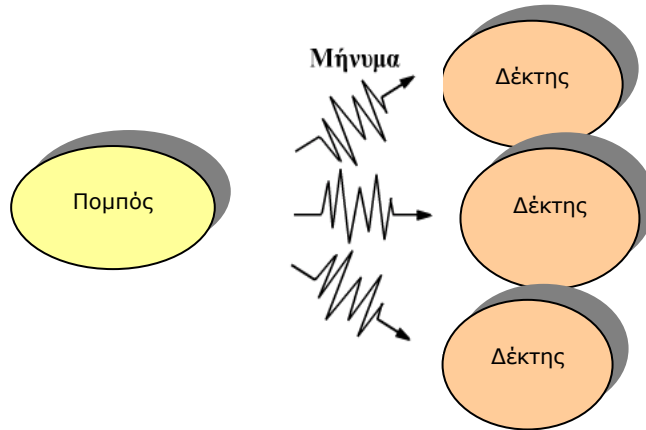
Κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες με κριτήριο την κατεύθυνση επικοινωνίας:

- **Μεταδόσεις μιας Κατεύθυνσης - Μονόδρομη (Simplex)**
- **Μεταδόσεις Διπλής Κατεύθυνσης - Αμφίδρομη (Duplex)**
- **Μεταδόσεις Διπλής Κατεύθυνσης με Εναλλαγή - Ημί Αμφίδρομη (Half Duplex)**

E2.4 ΜΕΤΑΔΟΣΕΙΣ ΜΙΑΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ - ΜΟΝΟΔΡΟΜΗ (SIMPLEX)

Οι πληροφορίες μεταδίδονται μόνο σε μια κατεύθυνση:

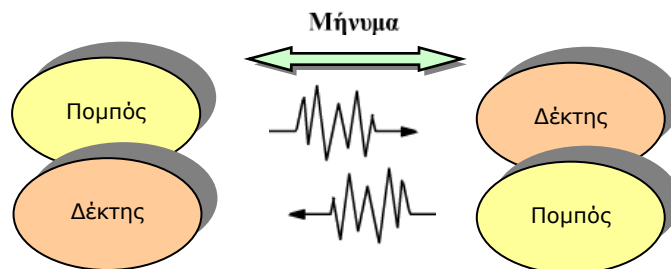
- Εκπομπές ραδιοφώνου και τηλεόρασης

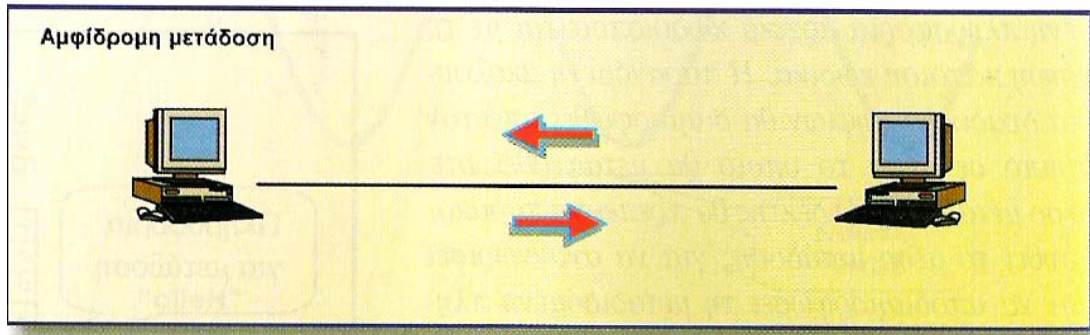


2. ΜΕΤΑΔΟΣΕΙΣ ΔΙΠΛΗΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ - ΑΜΦΙΔΡΟΜΗ (DUPLEX)

Οι πληροφορίες μεταδίδονται και λαμβάνονται ταυτόχρονα όπως π.χ. στην ανθρώπινη συνομιλία όπου μιλάμε και ακούμε ταυτόχρονα:

- Τηλεφωνία (Ενσύρματη, κινητή)





3. ΜΕΤΑΔΟΣΕΙΣ ΔΙΠΛΗΣ ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗΣ ΜΕ ΕΝΑΛΛΑΓΗ - ΗΜΙ ΑΜΦΙΔΡΟΜΗ (HALF DUPLEX)

Η επικοινωνία είναι διπλής κατεύθυνσης αλλά μόνο το ένα εκ των δύο μερών μπορεί να εκπέμπει κάθε φορά, δηλαδή εναλλάσσεται η φορά κατεύθυνσης επικοινωνίας.

- Ραδιοεπικοινωνίες (Ασύρματος)

E2.5 Η έννοια της πληροφορίας

Έχουμε πει αρκετά για τα μέρη και τους τύπους των συστημάτων επικοινωνιών. Δεν αναφερθήκαμε όμως καθόλου στο ίδιο το αντικείμενο της επικοινωνίας που είναι η διακίνηση της πληροφορίας. Η ίδια η πληροφορία είναι ένα άυλο πράγμα. Παίρνει όμως μορφή ανάλογα με το μέσο που χρησιμοποιούμε. Για παράδειγμα, το γεγονός ενός σεισμού μπορεί να το ακούσουμε στο ραδιόφωνο, να μας το πει ένας φίλος, να το δούμε στην τηλεόραση, να το διαβάσουμε σε μια εφημερίδα κ.ο.κ. Όλα αυτά όμως σημαίνουν το ίδιο πράγμα, ανεξάρτητα από το πώς αυτό θα παρουσιαστεί.

Τι είναι όμως αυτό που κάνει ένα μήνυμα, μια πληροφορία, να είναι συνταρακτική, δηλαδή τότε ένα νέο έχει αξία, τότε δημιουργεί μεγαλύτερο ενδιαφέρον;

Αν, για παράδειγμα, το μήνυμα είναι «*αύριο το πρωί θα βγει ο ήλιος από την ανατολή*» σίγουρα δεν έχει αξία, γιατί δε μας λέει κάτι καινούριο. Εξάλλου είναι κάτι που το περιμένουμε.

Αν όμως το δελτίο καιρού μας πληροφορήσει ότι «*αύριο θα υπάρξουν καταιγίδες που θα συνοδεύονται από πολύ δυνατούς ανέμους*» τότε η μεταδιδόμενη πληροφορία είναι πολύ σημαντική και θα πρέπει να τη λάβουμε υπ' όψη.

Συνεπώς, όσο πιο απρόσμενο είναι αυτό που μαθαίνουμε, τόσο μεγαλύτερο ενδιαφέρον προκαλεί και τότε λέμε ότι είναι πλούσιο σε πληροφορία. Στη δημοσιογραφία αυτό λέγεται είδηση.

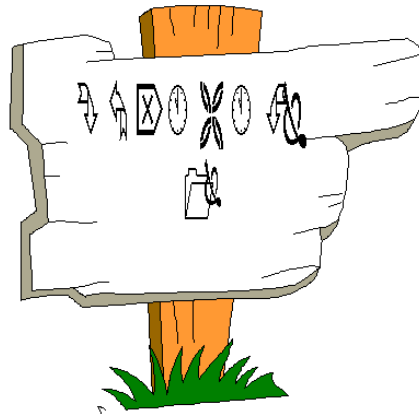
Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι όσο πιο απρόσμενο είναι το μήνυμα τόσο μεγαλύτερη πληροφορία φέρει και, για το λόγο αυτό, έχει μεγαλύτερη αξία και προκαλεί αντίστοιχο ενδιαφέρον. Έτσι λοιπόν μπορούμε να πούμε ότι η ποσότητα πληροφορίας που φέρει ένα μήνυμα εξαρτάται από το πόσο απρόσμενο είναι.

Ο ορισμός λοιπόν της πληροφορίας χρησιμοποιεί την έννοια της πιθανότητας.

Η πιθανότητα πραγματοποίησης ενός γεγονότος συνδέεται άμεσα με την πληροφορία τη σχετική με το γεγονός αυτό.

Αν η πιθανότητα πραγματοποίησης ενός γεγονότος είναι μεγάλη, τότε η πληροφορία που φέρει το γεγονός αυτό είναι μικρή και αντίστροφα. Στην ακραία περίπτωση, όταν η πιθανότητα να συμβεί ένα αποτέλεσμα είναι 100%, τότε η ποσότητα της μεταφερόμενης πληροφορίας είναι μηδενική. Αυτό σημαίνει ότι δεν χρειάζεται η διαβίβαση του μηνύματος, αφού το αποτέλεσμα είναι βέβαιο ότι θα συμβεί. Αντίθετα, αν η πιθανότητα του αποτελέσματος να συμβεί είναι μηδενική (απόλυτη βεβαιότητα), τότε η μεταφερόμενη πληροφορία είναι άπειρη.

Η αρχή αυτή χρησιμοποιείται στη "συμπύεση" των δεδομένων στις ψηφιακές μεταδόσεις για την εξοικονόμηση του χρησιμοποιούμενου φάσματος και την αύξηση του ρυθμού μετάδοσης. Βρίσκει σήμερα ευρεία χρήση στο διαδίκτυο (γραμμή Adsl, ψηφιακή μετάδοση του οπτικού σήματος, video κ.ο.κ.)

Βασικό Μοντέλο Επικοινωνιών - Ερωτήσεις Μαθήματος

1. Να αναφέρετε τι είναι το αντικείμενο των τηλεπικοινωνιών.
2. Τι ονομάζουμε σήμα στις Τηλεπικοινωνίες;
3. Να αναφερθούν κάποια είδη πληροφοριών που χρησιμοποιούνται για επικοινωνία.
4. Να σχεδιάσετε το δομικό διάγραμμα τηλεπικοινωνιακού συστήματος και να ονομάσετε τις δομικές μονάδες από τις οποίες αποτελείται.
5. Να δώσετε τον ορισμό των πιο κάτω μονάδων σ' ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα:
(α) Πομπός
(β) Δίαυλος (Μέσο Μετάδοσης)
(γ) Δέκτης
6. Ποιες οι βασικές δομικές μονάδες ενός τηλεπικοινωνιακού συστήματος; Να τις περιγράψετε.
7. Τι είναι θόρυβος σε ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα;
8. Να αναφέρετε τις τρεις κατηγορίες που κατατάσσουμε τις επικοινωνίες με κριτήριο την κατεύθυνση.
9. Γιατί είναι αναγκαία η χρήση αναμεταδοτών στα τηλεπικοινωνιακά συστήματα;
10. Τι εννοούμε με τον όρο πληροφορία;
11. Πότε νομίζετε ότι μια πληροφορία είναι σημαντική;

Μάθημα Ε3 - Το Εναλλασσόμενο Ρεύμα

ΣΤΟΧΟΙ

Στο τέλος αυτού του μαθήματος ο/η μαθητής/τρια πρέπει να :

- Να ορίζει και να υπολογίζει τα μεγέθη του εναλλασσόμενου ρεύματος:
 - ο Πλάτος
 - ο Ενεργός τιμή
 - ο Περίοδος
 - ο Συχνότητα
- Να αναφέρει τις μονάδες μέτρησης των μεγεθών του εναλλασσόμενου ρεύματος.

Ε3.1 Χαρακτηριστικά του Εναλλασσόμενου Ρεύματος

• Συχνότητα

Το εναλλασσόμενο ρεύμα αντίθετα με το συνεχές, αλλάζει συνεχώς κατεύθυνση. Είναι δυνατόν να δημιουργηθεί εναλλασσόμενο ρεύμα που αλλάζει την κατεύθυνσή του χιλιάδες, ακόμη και δισεκατομμύρια φορές το δευτερόλεπτο.

Η τάση μιας οικιακής παροχής ρεύματος μεταβάλλεται το ίδιο. Η τάση «ανεβαίνει» περίπου στα + 338 V προς την μία πολικότητα (θετική κατεύθυνση) και μετά πέφτει στο μηδέν. Κατόπιν «κατεβαίνει» στα - 338 V προς την αντίθετη πολικότητα (αρνητική κατεύθυνση) και ακολούθως ανεβαίνει πάλι στο μηδέν.

Ο κύκλος αυτός επαναλαμβάνεται συνεχώς. Η διάρκεια ενός κύκλου είναι 1/50 του δευτερολέπτου. Ο χρόνος αυτός ονομάζεται **περίοδος** και συμβολίζεται με το γράμμα **T**. Σε ένα δευτερόλεπτο επαναλαμβάνονται 50 κύκλοι. Αυτή είναι η **συχνότητα** της εναλλασσόμενης τάσεως και συμβολίζεται με το γράμμα **f**, με μονάδα μέτρησης το Χερτς (Hertz, Hz). Ένα kiloHertz (kHz) είναι 1 000 κύκλοι ανά δευτερόλεπτο. Ένα megaHertz (MHz) είναι ένα εκατομμύριο κύκλοι ανά δευτερόλεπτο. Αν είναι γνωστή η συχνότητα, μπορεί να υπολογιστεί η περίοδος και το αντίστροφο. Οι σχέσεις που συνδέουν τη συχνότητα με την περίοδο είναι:

$$T = \frac{1}{f} \quad \text{και} \quad f = \frac{1}{T}$$

Περίοδος

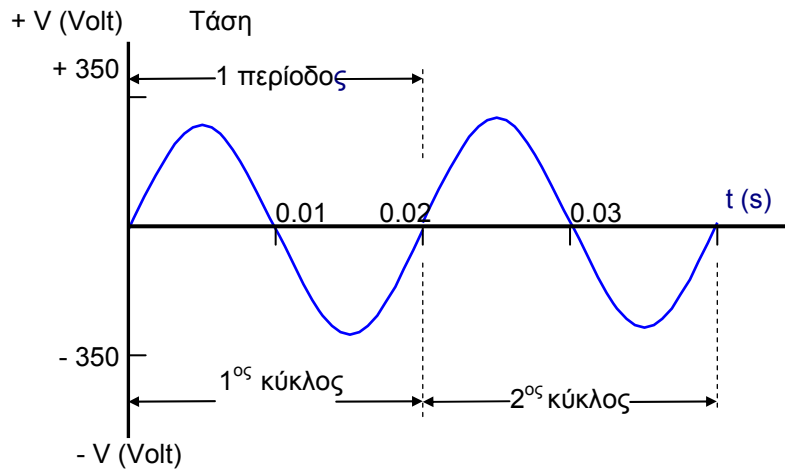
Είναι ο χρόνος που χρειάζεται για να συμπληρωθεί ένας πλήρης κύκλος ή η χρονική διάρκεια μιας πλήρους ταλάντωσης. Συμβολίζεται με το γράμμα **T**, με μονάδα μέτρησης το δευτερόλεπτο, **s**.

Κύκλος

Σε διάστημα μιας περιόδου συμπληρώνεται μια πλήρης μεταβολή ή ταλάντωση του σήματος. Μετά από ένα κύκλο επαναλαμβάνονται διαδοχικά οι ίδιες στιγμιαίες τιμές, όπως στο προηγούμενο κύκλο κ.ο.κ.

Συχνότητα

Είναι ο αριθμός των κύκλων που συμπληρώνει το σήμα σε ένα δευτερόλεπτο. Συμβολίζεται με το γράμμα **f** και μετράται σε **Hertz** (Χερτζ) με σύμβολο **Hz**.



Σχεδιάγραμμα 1

Γραφική παράσταση της εναλλασσόμενης τάσεως μιας παροχής ηλεκτρικού ρεύματος όπως απεικονίζεται στον παλμογράφο. Στον οριζόντιο άξονα ο χρόνος μετράται σε δευτερόλεπτα. Η τάση αυτή περιγράφεται και από τη σχέση (στιγμιαία τιμή, v):

$$v = 310 \cdot \eta\mu (2 \pi f) t \quad \eta\mu = \eta\mu\acute{\iota}\tau\omicron\nu\omicron \text{ (sine)}$$

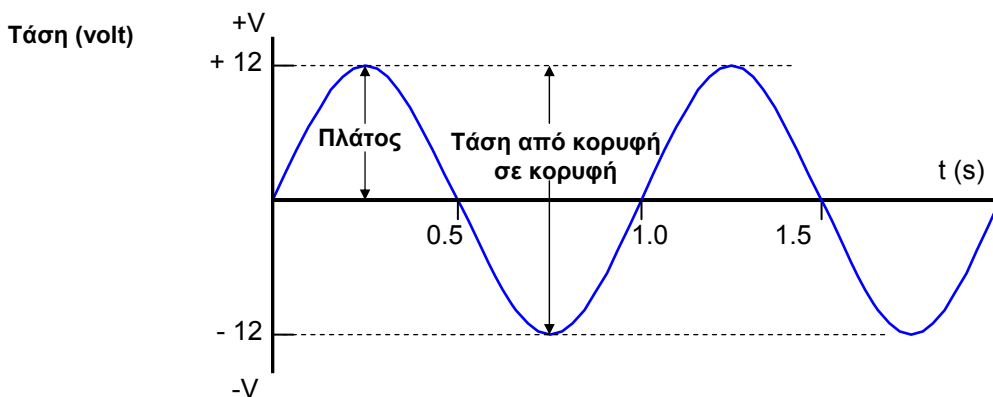
Η περίοδος είναι $T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} \text{ s} = 20 \text{ ms}$

• **Πλάτος**

Σε ένα κύκλωμα που ρέει συνεχές ρεύμα όλα τα μεγέθη είναι σταθερά. Στο εναλλασσόμενο ρεύμα τα μεγέθη μεταβάλλονται κάθε στιγμή και μπορούν να έχουν οποιαδήποτε τιμή ανάμεσα σε μια ελάχιστη και μια μέγιστη.

Τάση από κορυφή σε κορυφή V_{pp} ονομάζεται η απόσταση από την ελάχιστη έως τη μέγιστη τιμή. Στο παράδειγμα είναι 24 V. Πλάτος τάσης ή μέγιστη τιμή ονομάζεται η τάση από τη μέση μέχρι τη μέγιστη τιμή και ισχύει η σχέση:

$$\text{Πλάτος} = V_m = \frac{V_{pp}}{2}$$



Σχεδιάγραμμα 2 - Παράσταση εναλλασσόμενης τάσης με περίοδο T = 1 s και πλάτος V = 12 V

- **Ενεργός Τιμή**

Είναι η αντίστοιχη τιμή του συνεχούς ρεύματος που δίδει το ίδιο ακριβώς ποσό θερμικής ενέργειας ανά δευτερόλεπτο με το ποσό που δίδει το εναλλασσόμενο ρεύμα/τάση στο φορτίο:

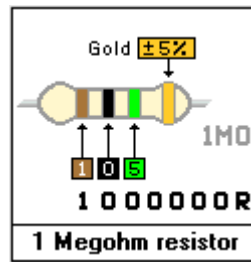
Τάση : $V_{\text{εV}} = 0,707V_m$

$$V_{\text{εV}} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

Ρεύμα : $I_{\text{εV}} = 0,707 I_m$

$$I_{\text{εV}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

Το Εναλλασσόμενο Ρεύμα - Ερωτήσεις Μαθήματος



Συμπληρώστε και απαντήστε τις πιο κάτω ερωτήσεις:

1. Η περίοδος μιας ημιτονοειδούς τάσης με συχνότητα $f = 50 \text{ Hz}$ είναι ms.
2. Εναλλασσόμενο ρεύμα με περίοδο 10 ms έχει συχνότητα Hz.
3. Ημιτονοειδής τάση με περίοδο 1 ms συμπληρώνει κύκλους σε ένα δευτερόλεπτο.
4. Συχνότητα f μιας ημιτονοειδούς κυματομορφής είναι ο αριθμός των της κυματομορφής που συμπληρώνονται σε ένα
5. Ο χρόνος που χρειάζεται μια ημιτονοειδής κυματομορφή για να συμπληρώσει ένα κύκλο ονομάζεται
6. Η τιμή από κορυφή σε κορυφή μιας εναλλασσόμενης τάσης είναι της μέγιστης τιμής.
7. Ποια είναι η συχνότητα f μιας ημιτονοειδούς κυματομορφής, αν η περίοδος της $T = 80 \mu\text{s}$;
 $f = \dots\dots\dots$
8. Υπολογίστε την περίοδο T μιας ημιτονοειδούς κυματομορφής, αν η συχνότητα f είναι 1 MHz .
 $T = \dots\dots\dots$
9. Υπολογίστε το πλάτος (μέγιστη τιμή) της τάσης του ηλεκτρικού δικτύου στην Κύπρο. (Η ενεργός τιμή της τάσης είναι $V_{\text{εφ}} = 240 \text{ V}$).
Πλάτος = V

Μάθημα Ε4 - Κύματα & Μήκος Κύματος

ΣΤΟΧΟΙ

Στο τέλος αυτού του μαθήματος ο/η μαθητής/τρια πρέπει να :

- Περιγράφει τη διάδοση των μηχανικών κυμάτων.
- Αναφέρει παραδείγματα μηχανικών κυμάτων στη φύση.
- Ορίζει το μήκος κύματος.
- Υπολογίζει το μήκος κύματος των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

Ε4.1 Μηχανικά Κύματα

Υπάρχουν αρκετά είδη κυμάτων στη φύση. Για παράδειγμα, όταν ρίχνεται ένα χαλίκι σε μία ήρεμη μικρή λίμνη ένα κυκλικό σχήμα απλώνεται προς τα έξω από το σημείο όπου πέφτει το χαλίκι. Αυτού του είδους η διαδιδόμενη διαταραχή ονομάζεται **κύμα**. Αν παρατηρηθεί το νερό από κοντά, καθώς ένα τέτοιο κύμα κινείται επάνω στην επιφάνεια, φαίνεται ότι το νερό δεν κινείται προς τα έξω μαζί με το κύμα. Αυτό γίνεται προφανές, αν παρατηρηθεί ένα κομμάτι φελλού που επιπλέει στη λίμνη. Ο φελλός κινείται πάνω κάτω και μπρος πίσω καθώς περνά το κύμα. Δεν παρασύρεται μαζί με το κύμα.

Με άλλα λόγια, **ένα κύμα μπορεί να κινείται στο νερό, αλλά, μόλις περάσει, κάθε σταγόνα νερού μένει εκεί πού ήταν προηγουμένως.**

Άλλο είδος κύματος είναι ο κυματισμός μιας σημαίας με τον άνεμο. Οι πτυχώσεις (κύματα) κινούνται επάνω στο ύφασμα. Το κάθε σημείο όμως στο ύφασμα της σημαίας κρατά τη θέση του, καθώς περνούν τα κύματα. Ακριβώς, όπως το νερό δεν ταξιδεύει με τα κύματα νερού, το ίδιο και το ύφασμα στη σημαία παραμένει στη θέση του, αφού περάσουν από αυτό τα κύματα.

Μερικά κύματα είναι περιοδικά, πράγμα που σημαίνει ότι η κίνηση του υλικού επαναλαμβάνεται διαρκώς. Σε κάθε περίπτωση η διαταραχή οδεύει σε κάποιο μέσο, όπως στο νερό και το ύφασμα της σημαίας. Αλλά το μέσο δε μετακινείται μαζί με τη διαταραχή. Αυτές οι διαταραχές που μεταδίδονται στα στερεά, τα υγρά και τα αέρια λέγονται μηχανικά κύματα.

- **Μηχανικά κύματα λοιπόν είναι οι διαταραχές που ταξιδεύουν ή μεταδίδονται σε υλικά μέσα (στερεά, υγρά και αέρια).**

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα, δεν απαιτούν κάποιο μέσο για να διαδοθούν σε αντίθεση με τα μηχανικά. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα μπορούν να μεταδίδονται στο κενό αλλά και σε διάφορα μέσα, όπως το νερό, το γυαλί, ο αέρας κλπ.

Όταν ένα κύμα που μεταδίδεται σε ένα μέσο συναντήσει μια αλλαγή στα χαρακτηριστικά του μέσου αυτού (αλλαγή στην πυκνότητα, στην ελαστικότητα, το δείκτη διάθλασης, κλπ) συμβαίνει το εξής: ένα μέρος από την ενέργεια που μεταφέρεται με το κύμα συνεχίζει και μεταδίδεται στο άλλο μέσο, ενώ το υπόλοιπο μέρος ανακλάται στο σημείο που αλλάζουν τα χαρακτηριστικά. Το ανακλώμενο κύμα κινείται στην αντίθετη κατεύθυνση με το αρχικό.

E4.2 Ταχύτητα διάδοσης - Μήκος κύματος

Τα κύματα μεταδίδονται με διαφορετικές ταχύτητες σε διαφορετικά μέσα. Για παράδειγμα, το φως (ηλεκτρομαγνητικό κύμα) ταξιδεύει πιο γρήγορα στον αέρα από ό,τι στο νερό. Αλλά και στο ίδιο μέσο, τα κύματα μεταδίδονται με διαφορετικές ταχύτητες, αν αλλάξουν οι συνθήκες. Τα ηχητικά κύματα στον αέρα μεταδίδονται ταχύτερα, αν αυξηθεί η θερμοκρασία του αέρα.

Το μήκος του κύματος προσδιορίζεται ως η απόσταση στην οποία το κύμα μεταδίδεται σε χρόνο μιας περιόδου. Συμβολίζεται με το γράμμα λ και μετράται σε \AA , Angstrom.

$$1 \text{ \AA} = 1.10^{-4} \mu\text{m}$$

Συνήθως μετράμε το μήκος κύματος σε μέτρα ή σε υποδιαιρέσεις αυτού.

Η ταχύτητα διάδοσης (u) ενός κύματος δίδεται από το τύπο

$$u = \frac{\lambda}{T}$$

Η πιο πάνω σχέση ισχύει για οποιοδήποτε περιοδικό κύμα και, αν αντικατασταθεί η περίοδος T με τη σχέση $f = 1/T$, προκύπτει η σχέση:

$$u = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f$$

Η ταχύτητα του ήχου σε υλικά μέσα

- Στον αέρα είναι: $u_{\text{ΑΕΡΑ}} = 332 \text{ m/s}$
- Στο νερό είναι: $u_{\text{ΝΕΡΟΥ}} = 1\,450 \text{ m/s}$
- Στα στερεά (σίδηρος) είναι: $u_{\text{ΣΤΕΡΕΑ}} = 5\,000 \text{ m/s}$

E4.3 Ηλεκτρομαγνητικά Κύματα

Η ταχύτητα του φωτός στο κενό είναι
 $c = 300.000 \text{ km/s} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$.

Όταν κυκλοφορεί εναλλασσόμενο ρεύμα με συχνότητα f σε ένα αγωγό, δημιουργεί γύρω του στον χώρο δύο πεδία, ένα μαγνητικό και ένα ηλεκτρικό. Τα δύο αυτά πεδία τα οποία ταξιδεύουν μαζί στο χώρο αποτελούν το ηλεκτρομαγνητικό κύμα το οποίο έχει και αυτό συχνότητα f .

Τα κύματα που προκύπτουν από εναλλασσόμενα ρεύματα μεγάλης συχνότητας, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μεταφέρουν σήματα ραδιοφώνου και τηλεοράσεως.

Όλες οι ιδιότητες των μηχανικών κυμάτων που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο ισχύουν και στα ηλεκτρομαγνητικά κύματα.

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα μεταδίδονται στο κενό με την ταχύτητα του φωτός που συμβολίζεται με c και είναι $300\,000 \text{ km}$ το δευτερόλεπτο. Η σχέση που συνδέει τη συχνότητα f με το μήκος κύματος λ , είναι:

$$c = \lambda \cdot f$$

Αν η διάδοση δε γίνεται στο κενό, αλλά σε άλλο μέσο, για παράδειγμα, σε υγρό, σε γυαλί ή σε κάποιο καλώδιο, η ταχύτητα είναι διαφορετική και εξαρτάται από τη διηλεκτρική σταθερά του υλικού.

Το μήκος κύματος μιας εκπομπής είναι σημαντικό μέγεθος στις τηλεπικοινωνίες διότι καθορίζει τις διαστάσεις των κεραιών εκπομπής και λήψης.

Παράδειγμα 1.

Ένα **ηλεκτρομαγνητικό** ραδιοφωνικό κύμα έχει συχνότητα $f = 100$ MHz, Το μήκος κύματος λ , είναι:

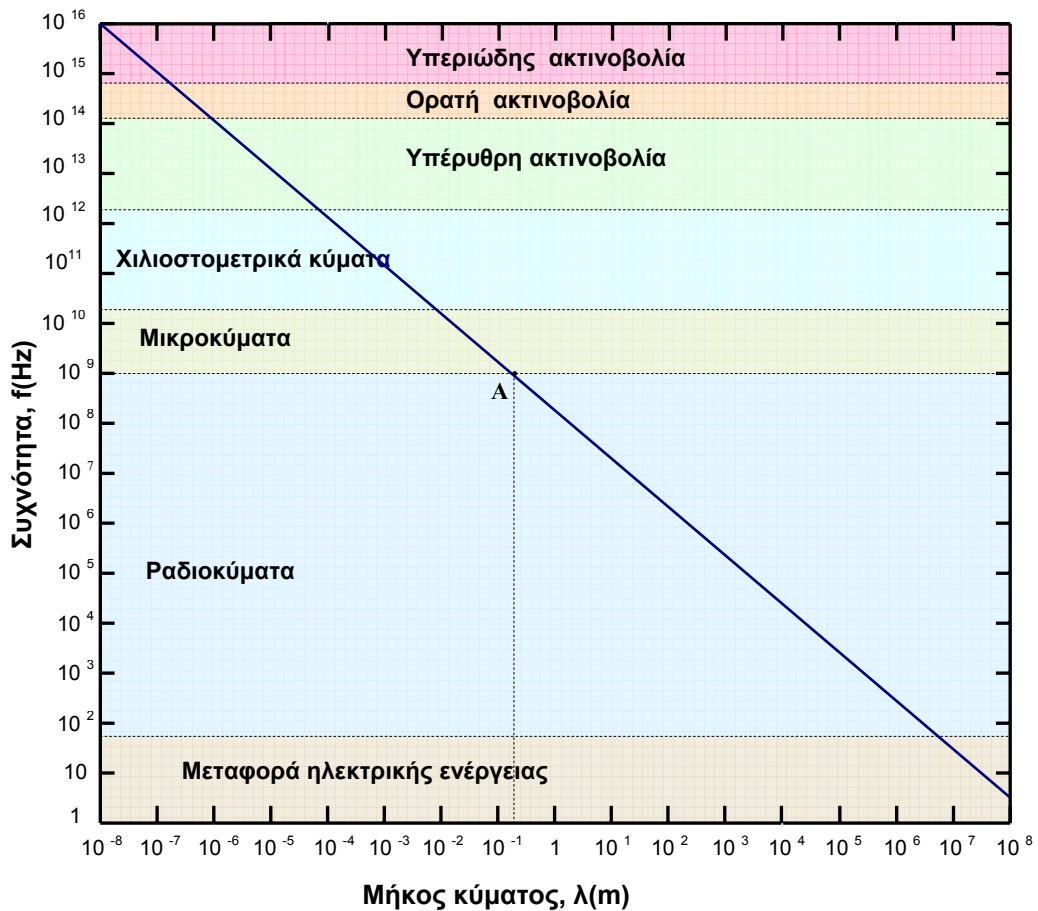
$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{100 \cdot 10^6 \text{ Hz}} = 3 \text{ m}$$

Παράδειγμα 2.

Να βρεθεί το μήκος κύματος λ . των **ηχητικών** κυμάτων με συχνότητα $f = 20$ Hz.

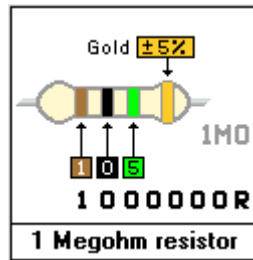
$$\lambda = \frac{v_{\text{ΑΕΡΑ}}}{f} = \frac{332 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{20 \text{ Hz}} = 16,6 \text{ m}$$

Αντιστοιχία Συχνοτήτων και Μήκους Κύματος



Οι συχνότητες και τα αντίστοιχα μήκη κύματος για τις κυριότερες περιοχές του φάσματος όπως προκύπτουν από τη σχέση $c = f \cdot \lambda$

Κύματα & Μήκος Κύματος - Ερωτήσεις Μαθήματος



1. Δώστε μερικά παραδείγματα μηχανικών κυμάτων στη φύση.
2. Να βρεθεί το μήκος κύματος λ των ηχητικών κυμάτων, τα οποία έχουν συχνότητα $f = 10$ kHz εάν η ταχύτητα του ήχου στο αέρα είναι 332 m/s.

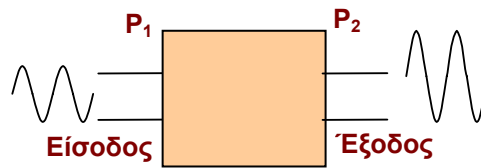
33, 2 mm
3. Η συχνότητα ραδιοφωνικού σταθμού στα μεσαία είναι 675 kHz. Υπολογίστε το μήκος κύματος της εκπομπής του αν τη ταχύτητα διάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων είναι $c = 300\,000$ km / s.

444 m
4. Υπολογίστε το μήκος κύματος ηλεκτρομαγνητικού κύματος με συχνότητα $f = 94, 8$ MHz.

3, 07 m
5. Να υπολογιστεί το μήκος κύματος, όταν η συχνότητα του κύματος είναι $f = 150$ MHz εάν η ταχύτητα των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στο κενό είναι $3 \cdot 10^8$ m/s.

2 m
6. Γιατί είναι σημαντικό μέγεθος το μήκος κύματος μιας τηλεπικοινωνιακής εκπομπής;

Μάθημα Ε5 - Μονάδες Μέτρησης - Το Ντεσιμπέλ (dB)



ΣΤΟΧΟΙ

Στο τέλος αυτού του μαθήματος ο/η μαθητής/τρια πρέπει να :

- Γνωρίζει και εξηγεί τους όρους κέρδος και εξασθένησης ισχύος ενός δικτύου ή συστήματος.
- Υπολογίζει το κέρδος ή την εξασθένηση ισχύος ενός δικτύου ή συστήματος όταν του δοθούν οι τιμές ισχύος εισόδου και εξόδου.
- Γνωρίζει το λόγο για τον οποίο χρησιμοποιούνται τα λογαριθμικά μεγέθη στις επικοινωνίες.
- Γνωρίζει και εξηγεί τον όρο ντεσιμπέλ (dB).
- Γνωρίζει και εξηγεί τον όρο dBm (dB σε σχέση προς το 1mW).
- Ορίζει το κέρδος και την εξασθένηση σε dB και dBm.

Ε5.1 Το Ντεσιμπέλ

Τα σήματα μετριούνται με την τάση τους, την ισχύ τους ή το ρεύμα που παρέχουν σε κάποια αντίσταση. Στην μετάδοση όμως ενός σήματος από την πηγή στο δέκτη η ισχύς μπορεί να έχει υποβιβαστεί χιλιάδες ή και εκατομμύρια φορές. Αυτό συμβαίνει λόγω της εξασθένησης του σήματος.

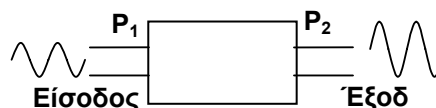
Σε ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα που αποτελείται από πολλά τμήματα, εκτός από εξασθενήσεις (αποσβέσεις) στην πορεία του σήματος, υπάρχουν και ενισχύσεις από ενισχυτές. Αν χρειαστεί να υπολογιστεί και να παρασταθεί γραφικά η ισχύς ενός σήματος, καθώς αυτό διέρχεται από διάφορα τμήματα, θα υπάρξουν δυσκολίες. Οι δυσκολίες προκύπτουν από τις διάφορες τιμές που μπορεί να έχει η ισχύς του σήματος στην έξοδο του κάθε τμήματος. Οι τιμές αυτές μπορεί να είναι πολύ μικρές και πολύ μεγάλες (πχ. 100 W και 0, 000001 W).

Για το λόγο αυτό προτιμάται να μετριέται η ισχύς του σήματος σε λογαριθμικές μονάδες μέτρησης όπως το ντεσιμπέλ:

(decibel ή dB).

Το ντεσιμπέλ (dB) είναι μονάδα μέτρησης του λόγου της ισχύος δύο σημάτων και ορίζεται από τη σχέση:

$$A = 10 \cdot \log \frac{P_2}{P_1}$$



Σε μία διάταξη η ισχύς του σήματος μπορεί να αυξάνει ($P_1 < P_2$) ή να ελαττώνεται ($P_1 > P_2$).

Από την παραπάνω σχέση προκύπτει ότι ο λογάριθμος είναι θετικός, όταν η ισχύς P_2 είναι μεγαλύτερη από την P_1 και τότε το A ονομάζεται **ενίσχυση (κέρδος)**.

Αν η P_2 είναι μικρότερη από την P_1 , ο λογάριθμος είναι αρνητικός και το A ονομάζεται **εξασθένιση (απόσβεση)**.

E5.2 Μονάδες Απόλυτης Στάθμης Ισχύος - dBm

Η ισχύς μπορεί να μετρηθεί απόλυτα και σε μονάδες dBm με ισχύ αναφοράς το 1mW:

$$P(\text{dBm}) = 10 \log \left(\frac{P}{1\text{mW}} \right)$$

Παράδειγμα

Ισχύς 31,6 μW αντιστοιχεί με στάθμη ισχύος -15 dBm.

$$P(\text{dBm}) = 10 \log \left(\frac{31,6 \cdot 10^{-3} \text{mW}}{1\text{mW}} \right) = -15 \text{dBm}$$

Η λογαριθμική συνάρτηση συμβολίζεται ως **log x**

Λογ = log
Λογάριθμος = Logarithm

Η λογαριθμική συνάρτηση ορίζεται ως εξής:

$$Y = \log x \Rightarrow 10^Y = x,$$

$10^0 = 1$	$\Rightarrow \log 1$	$= 0$
$10^1 = 10$	$\Rightarrow \log 10$	$= 1$
$10^2 = 100$	$\Rightarrow \log 100$	$= 2$
$10^3 = 1000$	$\Rightarrow \log 1000$	$= 3$
$10^{-1} = 0,1$	$\Rightarrow \log 0,1$	$= -1$
$10^{-2} = 0,01$	$\Rightarrow \log 0,01$	$= -2$

Η λογαριθμική συνάρτηση δεν ορίζεται μόνο για πολλαπλάσια του 10 αλλά και για οποιοδήποτε θετικό αριθμό. Για παράδειγμα:

log 2 = 0.3,
log 5 = 0.7,
log 16 = 1,2

Παράδειγμα 1.

Στην είσοδο ενός ενισχυτή το σήμα έχει ισχύ $P_1=0,2W$ και στην έξοδο έχει ισχύ $P_2 = 200 W$. Να υπολογιστεί ο λόγος των δύο σημάτων και η ενίσχυση A σε dB.

Ο λόγος των δύο σημάτων είναι:
$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{200W}{0,2W} = 1000$$

δηλαδή ο ενισχυτής ενίσχυσε το σήμα 1000 φορές. Η ενίσχυση σε dB είναι:

$$A = 10 \cdot \log \frac{P_2}{P_1} = 10 \cdot \log \frac{200W}{0.2W} = 10 \cdot \log 1000 = 10 \cdot 3 = 30dB$$

Παράδειγμα 2.

Ένα σήμα μεταδίδεται σε μια γραμμή η οποία έχει μήκος 3 000 m. Στην αρχή της γραμμής η ισχύς του σήματος έχει τιμή $P_1 = 100 W$. Στο τέλος της γραμμής και λόγω της εξασθένησης η ισχύς βρίσκεται να είναι $P_2 = 100 \mu W$. Να βρεθεί η συνολική εξασθένηση της γραμμής. ($100 \mu W = 1 \cdot 10^{-4} W$).

Ο λόγος των σημάτων στην είσοδο και την έξοδο της γραμμής είναι:
$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{100\mu W}{100W} = 10^{-6}$$

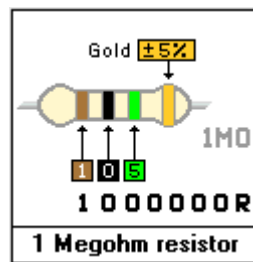
Δηλαδή η γραμμή υποβίβασε την ισχύ του σήματος ένα εκατομμύριο φορές. Η εξασθένηση σε dB είναι:

$$A = 10 \cdot \log \frac{P_2}{P_1} = 10 \cdot \log \frac{100\mu W}{100W} = 10 \cdot \log 10^{-6} = 10 \cdot (-6) = -60dB$$

ΙΣΧΥΣ ΚΑΙ ΕΞΑΣΘΕΝΗΣΗ (ΑΠΩΛΕΙΕΣ)

ΑΠΩΛΕΙΕΣ (dB)	ΙΣΧΥΣ ΠΟΥ ΧΑΝΕΤΑΙ %	ΙΣΧΥΣ ΠΟΥ ΠΑΡΑΜΕΝΕΙ %
0,1	2,3	97,7
0,2	4,5	95,5
0,3	6,7	93,3
0,4	8,8	91,2
0,5	10,9	89,1
0,6	12,9	87,1
0,7	14,9	85,1
0,8	16,8	83,2
0,9	18,7	81,3
1	20,6	79,4
2	36,9	63,1
3	49,9	50,1
4	60,2	39,8
5	68,4	31,6
6	74,9	25,1
7	80	20
8	84,2	15,8
9	87,4	12,6
10	90	10
20	99	1
30	99,9	0,1

Το Ντεσιμπέλ - Ερωτήσεις Μαθήματος



1. Να αναφέρετε το λόγο που μετρούμε το κέρδος ενός ενισχυτή σε dB.
2. Στην είσοδο ενός ενισχυτή το σήμα έχει ισχύ $P_1 = 2 \text{ W}$ και στην έξοδο έχει ισχύ $P_2 = 200 \text{ W}$. Να υπολογιστεί ο λόγος των δύο σημάτων και η ενίσχυση A σε dB.
(100, 20 dB)
3. Στην είσοδο ενός ενισχυτή το σήμα έχει ισχύ $P_1 = 5 \text{ W}$ και στην έξοδο έχει ισχύ $P_2 = 5000 \text{ W}$. Να βρεθεί η ενίσχυση A , σε dB.
(30 dB)
4. Ένα καλώδιο παρουσιάζει εξασθένηση -10 dB για κάθε km. Να υπολογιστεί η ισχύς του σήματος στο τέλος του καλωδίου, αν στην αρχή του η ισχύς του σήματος είναι 100 W και το καλώδιο έχει μήκος 2000 m .
(1 W)
5. Δύο ενισχυτές E_1 και E_2 τοποθετούνται σε σειρά. Στην είσοδο του πρώτου (E_1) εφαρμόζεται σήμα με ισχύ 1 W . Η ενίσχυσή του E_1 είναι 10 dB ενώ του E_2 είναι 20 dB . Να βρεθούν τα εξής:
(α) Η ισχύς του σήματος στην έξοδο του ενισχυτή E_1 , η οποία αποτελεί την είσοδο του ενισχυτή E_2 .
(β) Η συνολική ενίσχυση του συστήματος σε dB.
(γ) Η ισχύς του σήματος στην έξοδο του ενισχυτή E_2 .
(10 W, 30 dB, 1 kW)
6. Υπολογίστε την απόλυτη στάθμη ισχύος σε dBm για ένα σήμα με ισχύ 5 mW .
(7 dBm)

Ενότητα 1 - Ηλεκτρικά Σήματα

- Μάθημα 1.1 - Ηλεκτρικά Σήματα
- Μάθημα 1.2 - Φίλτρα

Μάθημα 1.1 - Ηλεκτρικά Σήματα

ΣΤΟΧΟΙ

Στο τέλος αυτού του μαθήματος ο/η μαθητής/τρια πρέπει να:

- Γνωρίζει και εξηγεί τον όρο ηλεκτρικό σήμα.
- Ορίζει και διακρίνει τα σήματα σε αναλογικά και ψηφιακά.
- Ορίζει και διακρίνει τα σήματα σε περιοδικά και μη περιοδικά.
- Γνωρίζει ότι οποιοδήποτε περιοδικό μη ημιτονικό σήμα αποτελείται από το άθροισμα πολλών ημιτονικών σημάτων αναλόγων συχνοτήτων.
- Εξηγεί τους όρους θεμελιώδης συχνότητα, αρμονικές, και φάσμα συχνοτήτων του σήματος.
- Προσδιορίζει το εύρος ζώνης ενός σήματος.
- Γνωρίζει το φάσμα συχνοτήτων του ακουστικού σήματος και του οπτικού σήματος.
- Αναφέρει τι είναι ο θόρυβος και πως επηρεάζει τις επικοινωνίες.
- Εξηγεί τη σημασία που έχει ο λόγος του σήματος προς το θόρυβο (SNR) στα συστήματα επικοινωνιών.

1.1.1 Ηλεκτρικά Σήματα

Σε ένα σύστημα επικοινωνιών είναι αναγκαία η μετατροπή των πληροφοριών π.χ. των ηχητικών μηνυμάτων (τηλεφωνία) ή των εικόνων (τηλεόραση) σε ένα χρονικά μεταβαλλόμενο ηλεκτρικό μέγεθος που ονομάζεται σήμα.

Η τάση ή ένταση αυτή η οποία είναι κατάλληλη για μετάδοση ονομάζεται **ηλεκτρικό σήμα**.

Ο πομπός είναι το ηλεκτρονικό κύκλωμα που μετατρέπει τις πληροφορίες σε ένα ηλεκτρικό σήμα κατάλληλο για μετάδοση μέσω του διαύλου μετάδοσης και ο δέκτης το αντίστοιχο ηλεκτρονικό κύκλωμα που δέχεται το μεταδιδόμενο σήμα και το μετατρέπει κατόπιν κατάλληλης επεξεργασίας στην αρχική του μορφή.

Έτσι για παράδειγμα σε μια τηλεφωνική ομιλία τα μηνύματα, δηλαδή οι συνομιλίες, είναι ακουστικά κύματα, τα οποία μετατρέπονται μετά από κατάλληλη επεξεργασία στο μικρόφωνο σε ηλεκτρικά σήματα και διακινούνται στο τηλεφωνικό δίκτυο.

1.1.2 Κατηγορίες Σημάτων

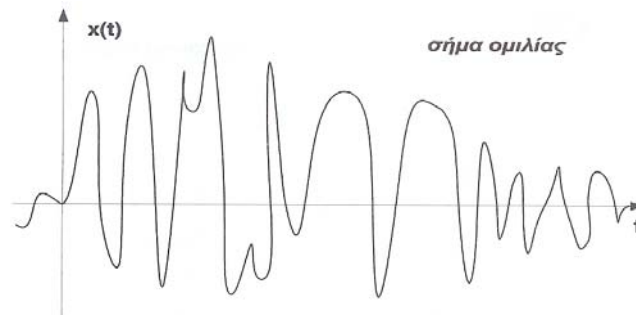
Τα ηλεκτρικά σήματα χωρίζονται ανάλογα με τη μορφή τους σε:

- ✓ **Αναλογικά και Ψηφιακά**
- ✓ **Περιοδικά και μη Περιοδικά**

1.1.2.1 Αναλογικά Σήματα

Αναλογικά ονομάζονται τα σήματα που παρουσιάζουν συνεχείς μεταβολές στο χρόνο και παίρνουν συνεχόμενες τιμές.

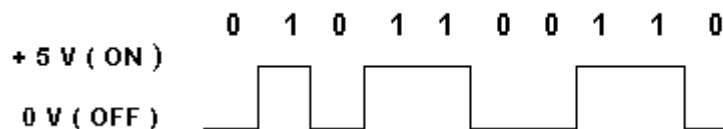
Τα σήματα στην αρχική τους μορφή στη φύση είναι αναλογικά (φωνή, μουσική) π.χ. το σήμα στην έξοδο ενός μικροφώνου όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.1.1.



Σχήμα 1.1.1 - Αναλογικό Σήμα

1.1.2.2 Ψηφιακά Σήματα

Ψηφιακά ονομάζονται τα σήματα που παρουσιάζουν διακριτές τιμές.



Σχήμα 1.1.2 - Παράδειγμα Ψηφιακού Σήματος

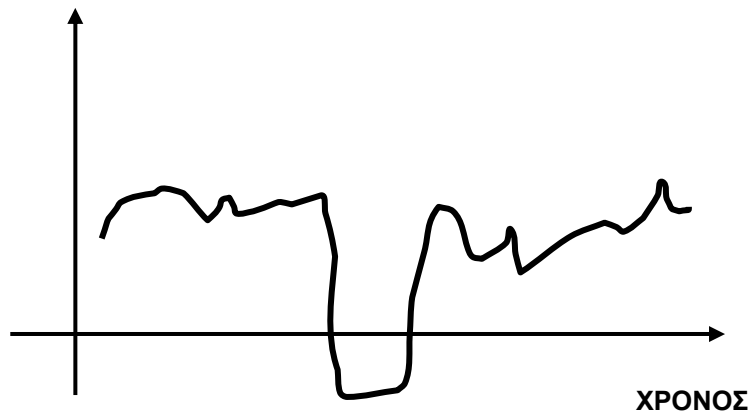
Το ψηφιακό σήμα μπορεί να πάρει μόνο δυο τιμές το μηδέν (0) και το ένα (1). Ψηφιακά σήματα δεν υπάρχουν στη φύση, αλλά προέρχονται από τη ψηφιοποίηση αναλογικών σημάτων, όπως για παράδειγμα σε ένα CD η μουσική είναι γραμμένη σε ψηφιακή μορφή, όπως στο Σχήμα 1.1.2.

Τα ηλεκτρικά σήματα επίσης μπορούν να χωριστούν σε **περιοδικά** και **μη περιοδικά**.

1.1.2.3 Μη Περιοδικά Σήματα

Μη περιοδικά σήματα είναι τα σήματα που δεν επαναλαμβάνονται στο χρόνο.

Ένα σήμα ομιλίας, η μουσική, ο θόρυβος και άλλα φυσικά σήματα είναι όλα μη περιοδικά, Σχήμα 1.1.3.



Σχήμα 1.1.3 - Μη Περιοδικό Σήμα

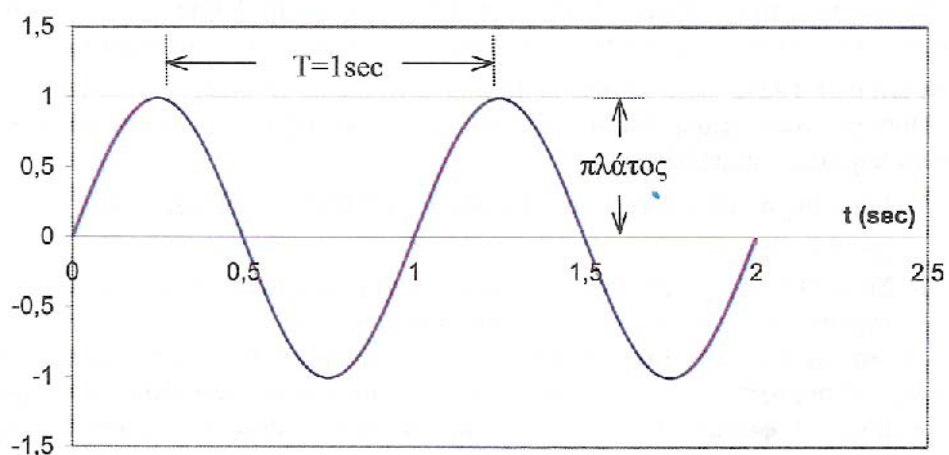
1.1.2.4 Περιοδικά Σήματα

Τα **περιοδικά σήματα** επαναλαμβάνονται στο χρόνο μετά από συγκεκριμένο χρονικό διάστημα T , που ονομάζεται **περίοδος** του σήματος που μετράται σε δευτερόλεπτα.

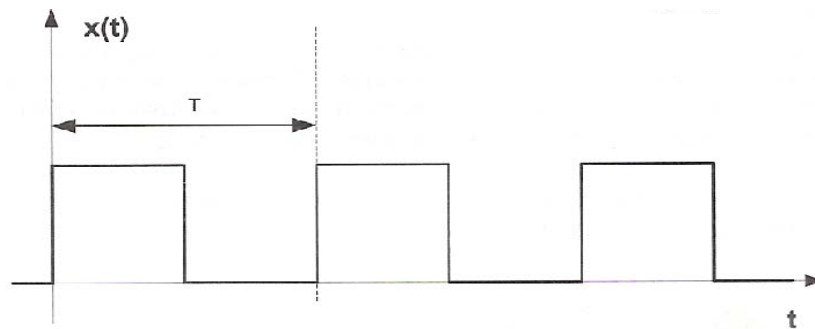
Ο ρυθμός επανάληψης του σήματος σε ένα δευτερόλεπτο ονομάζεται **συχνότητα**, είναι το αντίστροφο της περιόδου και μετράται σε Hertz:

$$f = \frac{1}{T}$$

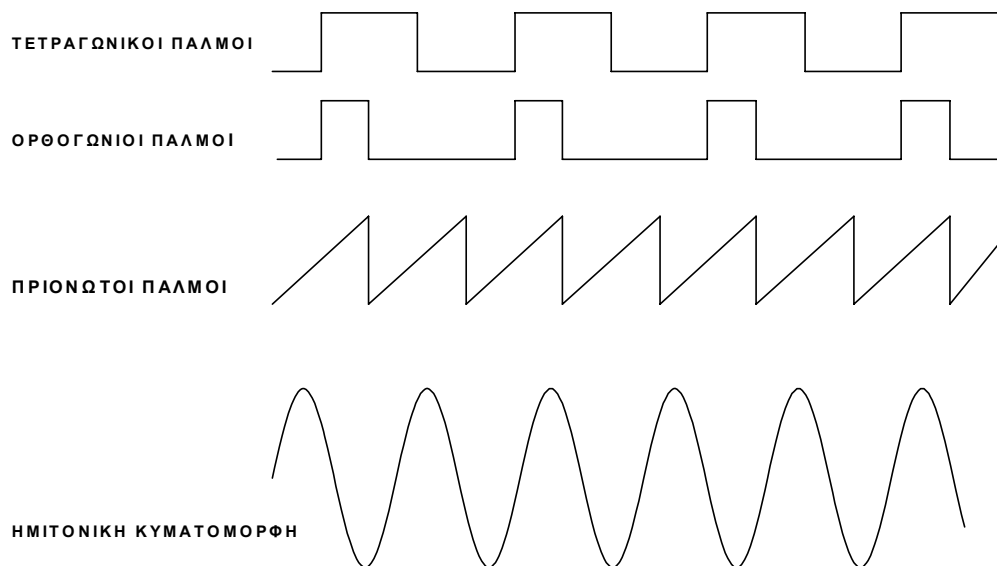
Για παράδειγμα ένα ημιτονικό σήμα και μια τετραγωνική κυματομορφή είναι περιοδικά σήματα, Σχήματα 1.1.4, 1.1.5 και 1.1.6.



Σχήμα 1.1.4 - Ημιτονικό Σήμα συχνότητας 1 Hz



Σχήμα 1.1.5 - Τετραγωνικό Σήμα



Σχήμα 1.1.6 - Διάφορα Περιοδικά Σήματα

1.1.3 Σύνθετα Περιοδικά Σήματα

Το απλούστερο περιοδικό σήμα είναι το ημιτονοειδές αφού αποτελείται από μια συχνότητα και μόνο.

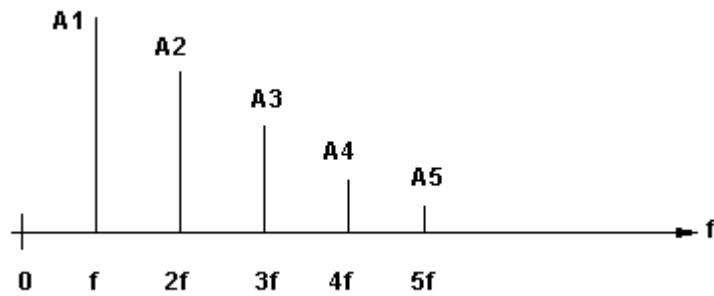
Όλα τα άλλα περιοδικά σήματα αποτελούνται από ένα αριθμό συχνοτήτων με την κάθε συχνότητα να έχει το δικό της πλάτος και φάση.

Μπορεί να αποδειχτεί ότι οποιοδήποτε σύνθετο περιοδικό σήμα αποτελείται από άπειρες ημοτονικές συχνότητες, οι οποίες είναι ακέραια πολλαπλάσια της **βασικής συχνότητας**. Οι συχνότητες αυτές λέγονται **αρμονικές συχνότητες**.

Η βασική συχνότητα ονομάζεται και **θεμελιώδης συχνότητα**.

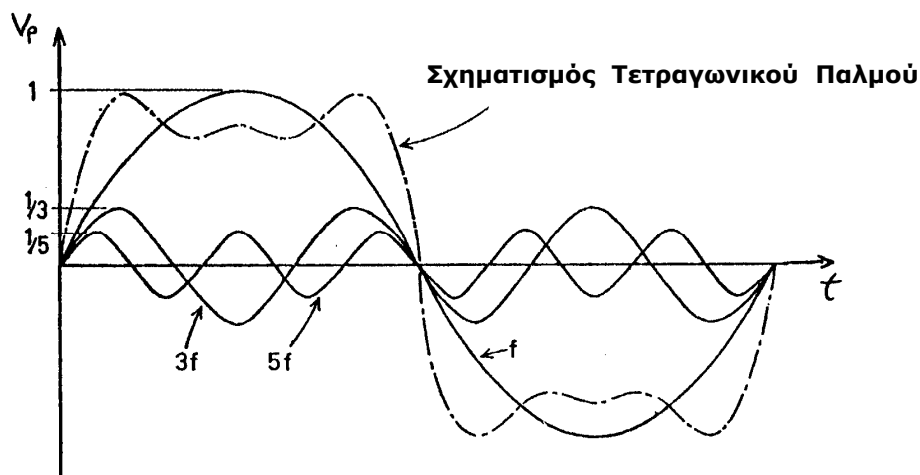
Εάν f είναι η βασική συχνότητα τότε $2f$ είναι η δεύτερη αρμονική, $3f$ είναι η τρίτη αρμονική κλπ.

Επίσης το πλάτος της κάθε συχνότητας ελαττώνεται με την αύξηση των αρμονικών συχνοτήτων (Σχήμα 1.1.7).



Σχήμα 1.1.7 - Φασματική Ανάλυση Περιοδικού Σήματος

Για παράδειγμα ο τετραγωνικός παλμός αποτελείται από μικρό αριθμό μονών συχνοτήτων που όταν προστεθούν δημιουργούν τον τετραγωνικό παλμό, Σχήμα 1.1.8.

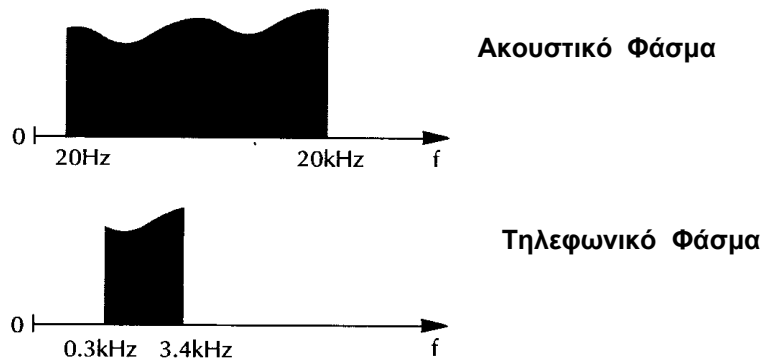


Σχήμα 1.1.8 - Σχηματισμός Τετραγωνικού Παλμού

Φάσμα ενός σήματος είναι το σύνολο των ημιτονικών συχνοτήτων που θα πρέπει να προστεθούν ώστε να δώσουν το αρχικό σήμα.

Η έννοια του φάσματος ενός σήματος είναι πολύ σημαντική στα ηλεκτρονικά και τις τηλεπικοινωνίες. Όσο πιο πλούσιο σε συχνότητες είναι το φάσμα ενός σήματος τόσο μεγαλύτερη είναι η "ποσότητα" των πληροφοριών που περιέχει το σήμα.

- ✓ **Μουσικό ακουστικό φάσμα** Περιέχει συχνότητες από 20 Hz - 20 KHz όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.1.9.
- ✓ **Τηλεφωνικό φάσμα** Οι συχνότητες που επιτρέπεται να περάσουν από μία τηλεφωνική γραμμή είναι 300 Hz - 3400 Hz.
- ✓ **Φάσμα οπτικού σήματος (video)** Περιέχει συχνότητες 0 Hz (DC) μέχρι 5 MHz.

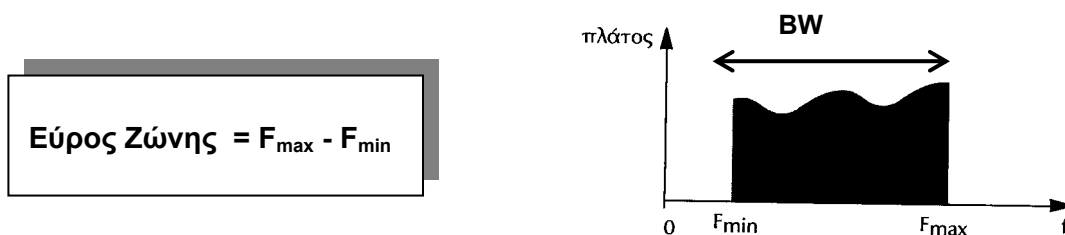


Σχήμα 1.1.9 - Ακουστικό Φάσμα

1.1.4 Εύρος Ζώνης

Το **εύρος ζώνης** ενός σήματος προσδιορίζεται ως η διαφορά μεταξύ της μέγιστης και της ελαχίστης συχνότητας που περιέχεται στο σήμα.

Ένα τηλεπικοινωνιακό κανάλι για να μεταδώσει ένα σήμα θα πρέπει να επιτρέπει τη διέλευση όλων των συχνοτήτων που περιέχονται στο σήμα, Σχήμα 1.1.11.



Σχήμα 1.1.11 - Εύρος Ζώνης Σήματος

1.1.5 Μετρήσεις Σημάτων

Τα δύο πιο βασικά όργανα με τα οποία μπορούμε να παρατηρήσουμε και μελετήσουμε διάφορα σήματα είναι ο παλμογράφος και ο αναλυτής φάσματος (spectrum analyzer).

- Με τον παλμογράφο παρατηρούμε πως μεταβάλλει το πλάτος ενός σήματος με το χρόνο (χρονική παρατήρηση).
- Με τον αναλυτή φάσματος παρατηρούμε το φάσμα του σήματος, δηλαδή ποιες συχνότητες περιέχει και το πλάτος της κάθε συχνότητας.

Διάφορες μετρήσεις που περιγράφουν ένα σήμα είναι :

- ο Ενεργός τιμή σήματος
- ο Πλάτος σήματος ή Μέγιστη τιμή V_m
- ο Τιμή από κορυφή σε κορυφή $V_{p-p} = 2V_m$
- ο Περίοδος T ή συχνότητα f
- ο Εύρος ζώνης (BW)

1.1.6 Θόρυβος

Μια ειδική περίπτωση ηλεκτρικού σήματος είναι ο θόρυβος που δεν μεταφέρει καμιά πληροφορία. Ο θόρυβος είναι ένα πρόβλημα στις επικοινωνίες που δεν μπορεί να αποφευχθεί. Αλλά όμως αντιμετωπίζεται όμως με διάφορους τρόπους.

Ο θόρυβος είναι μια τυχαία ανεπιθύμητη ηλεκτρική ενέργεια που παρεμβάλλεται στο μεταδιδόμενο ηλεκτρικό σήμα και το εκφυλίζει.

Όταν το σήμα εξασθενήσει πάρα πολύ και καλυφθεί από θόρυβο τότε η πληροφορία χάνεται. Ο θόρυβος προέρχεται από δύο πηγές:

- ✓ **Εξωτερικός θόρυβος**
- ✓ **Εσωτερικός θόρυβος**

❖ Εξωτερικός θόρυβος

ΤΕΧΝΗΤΟΣ ΘΟΡΥΒΟΣ

Προέρχεται από βιομηχανικές ή άλλες ηλεκτρικές εγκαταστάσεις:
Συστήματα Ηλεκτρικής ανάφλεξης
Κινητήρες
Λάμπες φθορισμού

ΦΥΣΙΚΟΣ ΘΟΡΥΒΟΣ

Προέρχεται από φυσικά φαινόμενα:
Στατικός ηλεκτρισμός στην ατμόσφαιρα
Κεραυνοί
Ηλιακή και κοσμική ακτινοβολία

❖ Εσωτερικός θόρυβος

Όλα τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα είναι πηγές θορύβου και έτσι μέσα σε κάθε ηλεκτρονικό σύστημα δημιουργείται θόρυβος.

Τα ηλεκτρόνια λόγω της θερμικής ενέργειας που έχουν κινούνται σε τυχαίες κατευθύνσεις μέσα στα εξαρτήματα δημιουργώντας τάσεις και ρεύματα, δηλαδή θόρυβο.

Ο θόρυβος γενικά σε ένα σύστημα αυξάνει με την αύξηση :

- Της θερμοκρασίας
- Του ρεύματος που ρέει σε ένα εξάρτημα
- Του εύρους ζώνης του σήματος

Ο θόρυβος επηρεάζει περισσότερο τις ψηλές συχνότητες που περιέχονται σε ένα σήμα παρά τις χαμηλές.

1.1.7 Παραμόρφωση Σήματος

Το σήμα που παίρνουμε στη έξοδο οποιουδήποτε συστήματος επικοινωνίας δεν είναι το ίδιο με το σήμα που εφαρμόζεται στην είσοδο του. Θα υποστεί κάποιου είδους παραμόρφωση, όπως για παράδειγμα:

- Παραμόρφωση πλάτους
- Παραμόρφωση από θόρυβο και παράσιτα

Οι διάφορες διατάξεις ενός συστήματος επικοινωνίας είναι σχεδιασμένες πολύ προσεκτικά, ώστε να αποφεύγονται παραμορφώσεις του σήματος και να ελαχιστοποιούνται οι επιπτώσεις του θορύβου. Μ' αυτό τον τρόπο γίνεται δυνατή η πιστή αναπαραγωγή του μηνύματος που εκπέμφθηκε.

1.1.8 Λόγος του Σήματος προς Θόρυβο

Όταν ο θόρυβος σε ένα σύστημα επικοινωνιών αυξηθεί πάνω από ένα όριο σε σχέση με το χρήσιμο σήμα, καθιστά τη μετάδοση των πληροφοριών αδύνατη ή τουλάχιστον προβληματική, λόγω λαθών.

Ο **λόγος του σήματος προς το θόρυβο (SNR - Signal to Noise Ratio)** δηλώνει τη σχετική στάθμη του σήματος ως προς τη στάθμη του θορύβου. Μετράται σε dB, και είναι ένα μέτρο που προσδιορίζει την ποιότητα της επικοινωνίας.

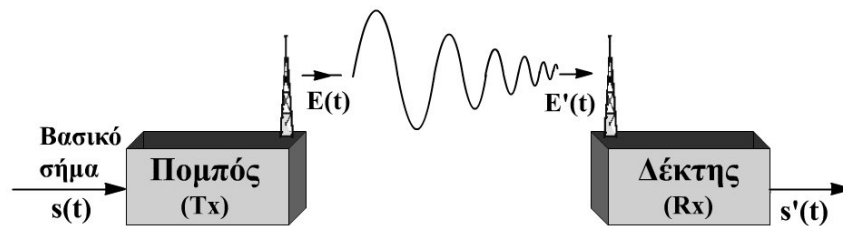
$$\text{SNR} = 10 \log \left(\frac{S}{N} \right)$$

Όσο πιο μεγάλος είναι ο λόγος του σήματος προς το θόρυβο, τόσο πιο αξιόπιστη γίνεται η μετάδοση του σήματος.

Για παράδειγμα στις τηλεφωνικές γραμμές, ο λόγος του σήματος προς το θόρυβο θεωρείται ικανοποιητικός για τη μετάδοση δεδομένων μόνο όταν είναι πάνω από 30 dB ($S/N > 30$ dB).

Στα ψηφιακά συστήματα μετάδοσης η χωρητικότητα ενός διαύλου (δηλαδή ο όγκος των πληροφοριών που μπορούν να μεταδοθούν) αυξάνεται όσο πιο μεγάλος είναι ο λόγος του σήματος προς το θόρυβο.

Ανακεφαλαίωση - Ηλεκτρικά Σήματα



- Τα ηλεκτρικά σήματα που αντιπροσωπεύουν πληροφορίες (μηνύματα) ονομάζονται βασικά σήματα ή απλά σήματα.
- Τα σήματα χαρακτηρίζονται από την ισχύ τους και το φάσμα τους (φασματικό περιεχόμενο).
- Τα ηλεκτρικά σήματα χωρίζονται σε **αναλογικά** και **ψηφιακά**:
 - **Αναλογικά ονομάζονται τα σήματα που παρουσιάζουν συνεχείς μεταβολές στο χρόνο και παίρνουν συνεχόμενες τιμές.**
 - **Ψηφιακά ονομάζονται τα σήματα που παρουσιάζουν διακριτές τιμές ή ασυνέχειες.**
- Τα σήματα επίσης χωρίζονται σε **περιοδικά** και **μη περιοδικά**:
 - **Τα περιοδικά σήματα επαναλαμβάνονται στο χρόνο μετά από συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.**
 - **Μη περιοδικά σήματα είναι τα σήματα που δεν επαναλαμβάνονται στο χρόνο.**
- Το απλούστερο σήμα, που στις τηλεπικοινωνίες το θεωρούμε σήμα αναφοράς και το χρησιμοποιούμε για να χαρακτηρίσουμε οποιοδήποτε άλλο σήμα ή σύστημα, είναι το ημιτονικό σήμα.
- Φάσμα ενός σήματος είναι το σύνολο των συχνοτήτων των ημιτονικών σημάτων, που, αν αθροιστούν, δίνουν ως αποτέλεσμα το αρχικό σήμα.
- Πλήρη γνώση ενός σήματος έχουμε, όταν γνωρίζουμε και την χρονική του εξέλιξη (παρατήρηση στον παλμογράφο) και το φασματικό του περιεχόμενο.
- Έμμεσα από την έννοια του φάσματος ορίζεται το εύρος ζώνης των συστημάτων επικοινωνιών. Πρόκειται για τη ζώνη συχνοτήτων μέσα στην οποία το σύστημα επιτρέπει σε ένα σήμα που του εφαρμόζεται στην είσοδο να διέλθει χωρίς αλλοίωση του φασματικού του περιεχόμενου. Είναι δηλαδή η ζώνη λειτουργίας των συστημάτων.
- Το σήμα κατά τη μετάδοση του μέσα από ένα τηλεπικοινωνιακό δίαυλο επηρεάζεται από το θόρυβο ο οποίος μπορεί να προέρχεται από τεχνητά ή φυσικά φαινόμενα και από παραμορφώσεις λόγω της συμπεριφοράς των ηλεκτρονικών συσκευών.
- Ένας σημαντικός παράγοντας που προσδιορίζει την ποιότητα της επικοινωνίας είναι ο **λόγος του σήματος προς το θόρυβο**.

Ηλεκτρικά Σήματα - Ερωτήσεις Μαθήματος

1. Τι ονομάζεται βασικό σήμα στις Τηλεπικοινωνίες;
2. Σε ποιες δύο κατηγορίες κατατάσσονται τα ηλεκτρικά σήματα;
3. Τι εννοούμε το τον όρο "αρμονικές συχνότητες ενός σύνθετου περιοδικού ηλεκτρικού σήματος";
4. Πως ορίζουμε το φάσμα ενός σήματος;
5. Ποιο είναι το φάσμα των πιο κάτω σημάτων;
(α) Τηλεφωνική Γραμμή
(β) Στερεοφωνική εκπομπή ραδιοφώνου FM
(γ) Οπτικό σήμα (Video)
6. Τι εννοούμε με το εύρος ζώνης ενός σήματος;
7. Τι είναι ο θόρυβος;
8. Να αναφέρετε γιατί ο λόγος σήματος προς θόρυβο σ' ένα σύστημα επικοινωνιών θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο μεγάλος.
9. Υπολογίστε το $\left(\frac{S}{N}\right)$ ενός τηλεπικοινωνιακού καναλιού αν ο λόγος του σήματος προς το θόρυβο $SNR = 10 \text{ dB}$.

Μάθημα 1.2 - Φίλτρα

ΣΤΟΧΟΙ

Στο τέλος αυτού του μαθήματος ο/η μαθητής/τρια πρέπει να:

- Γνωρίζει την αρχή λειτουργίας των φίλτρων.
- Κατατάσσει τα φίλτρα σε κατηγορίες ανάλογα με το εύρος ζώνης των συχνοτήτων που επιτρέπουν η απαγορεύουν τη διέλευση:
 - ο Φίλτρα διελεύσεως χαμηλών συχνοτήτων
 - ο Φίλτρα διελεύσεως ψηλών συχνοτήτων
 - ο Φίλτρα διελεύσεως ζώνης συχνοτήτων
 - ο Φίλτρα αποκοπής ζώνης συχνοτήτων
- Αναφέρει που στηρίζουν τη λειτουργία τους τα φίλτρα και από τι εξαρτώνται οι συχνότητες αποκοπής.
- Σχεδιάζει τα δομικά διαγράμματα και την απόκριση των φίλτρων.

1.2.1 Τα Φίλτρα

Τα φίλτρα είναι κυκλώματα που αποτελούνται από συνδυασμούς αντιστατών, πυκνωτών και πηνίων, και είναι κατάλληλα υπολογισμένα ώστε να επιτρέπουν ή να αποκόπτουν τη διέλευση σημάτων μιας περιοχής συχνοτήτων.

Η λειτουργία τους στηρίζεται στην ιδιότητα των πηνίων και των πυκνωτών να παρουσιάζουν διαφορετικές αντιστάσεις στο εναλλασσόμενο ρεύμα των διαφόρων συχνοτήτων.

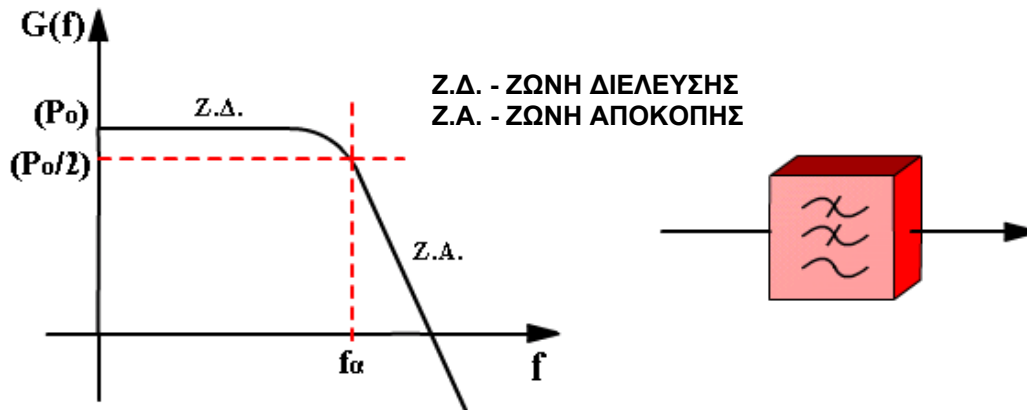
Ανάλογα με την περιοχή των συχνοτήτων που εργάζονται τα φίλτρα κατατάσσονται στις ακόλουθες κατηγορίες:

- ο **Φίλτρα διελεύσεως χαμηλών συχνοτήτων**
- ο **Φίλτρα διελεύσεως ψηλών συχνοτήτων**
- ο **Φίλτρα διελεύσεως ζώνης συχνοτήτων**
- ο **Φίλτρα αποκοπής ζώνης συχνοτήτων**

Τη ζώνη λειτουργίας των φίλτρων την ονομάζουμε συχνά και **‘εύρος ζώνης’ (Bandwidth)**. Τα όρια της ζώνης είναι οι συχνότητες στις οποίες η ισχύς του σήματος στην έξοδο υποβιβάζεται κατά 3 dB, δηλαδή διαιρείται δια δύο, σε σχέση με την ισχύ που έχει το σήμα στις συχνότητες λειτουργίας. Αυτά τα όρια ονομάζονται **‘συχνότητες αποκοπής’**.

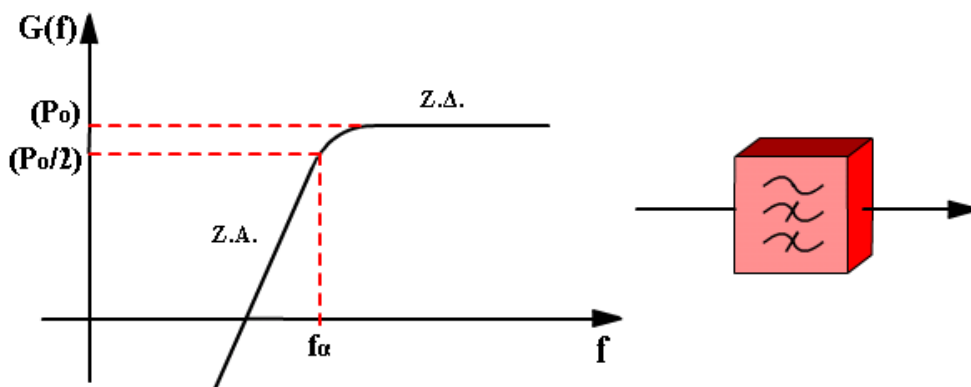
1.2.2 Φίλτρα διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων

Τα φίλτρα διέλευσης Χ.Σ. επιτρέπουν να περνούν όλες οι συχνότητες που περιλαμβάνονται μεταξύ της μηδενικής και της συχνότητας αποκοπής, f_a .



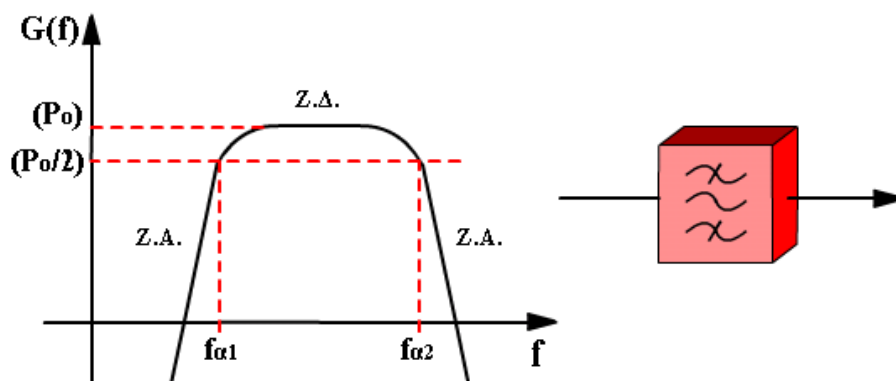
1.2.3 Φίλτρα διέλευσης υψηλών συχνοτήτων

Τα φίλτρα διέλευσης Υ.Σ. επιλεκτικά αφήνουν τη διέλευση του υψηλού τμήματος των συχνοτήτων. Η περιοχή διέλευσης περιορίζεται μεταξύ της συχνότητας αποκοπής f_a και της άπειρης συχνότητας.



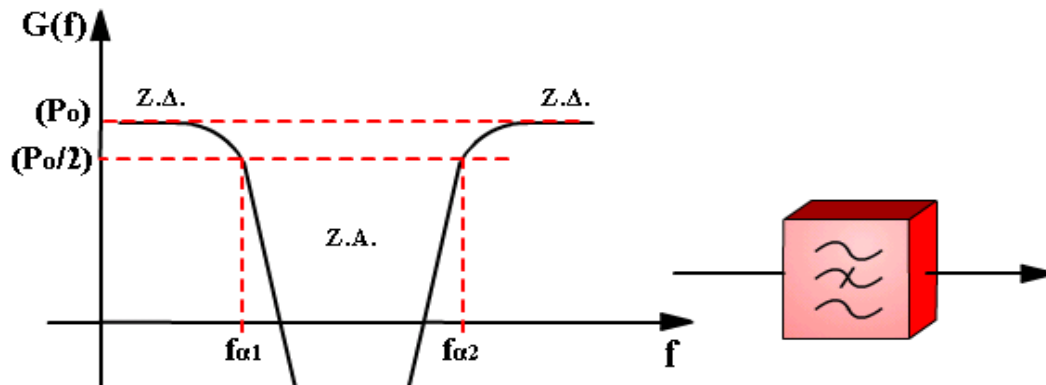
1.2.4 Φίλτρα διέλευσης ζώνης συχνοτήτων

Η ζώνη διέλευσης του φίλτρου περιορίζεται μεταξύ δύο συχνοτήτων αποκοπής και επιτρέπει τη διέλευση συγκεκριμένου μεσαίου τμήματος του φάσματος.



1.2.5 Φίλτρα αποκοπής ζώνης συχνοτήτων

Τα φίλτρα αυτά είναι αντίθετα με τα φίλτρα διέλευσης συχνοτήτων και δεν επιτρέπουν τη διέλευση μιας ζώνης μεταξύ των δύο συχνοτήτων αποκοπής.



Ανακεφαλαίωση - Φίλτρα

- Τα φίλτρα είναι κυκλώματα που αποτελούνται από συνδυασμούς πυκνωτών και πηνίων, και είναι κατάλληλα υπολογισμένα ώστε να επιτρέπουν ή να αποκόπτουν τη διέλευση σημάτων μιας περιοχής συχνοτήτων:
 - Φίλτρα διελεύσεως χαμηλών συχνοτήτων
 - Φίλτρα διελεύσεως ψηλών συχνοτήτων
 - Φίλτρα διελεύσεως ζώνης συχνοτήτων
 - Φίλτρα αποκοπής ζώνης συχνοτήτων

Φίλτρα - Ερωτήσεις μαθήματος

1. Τι είναι τα φίλτρα και από ποια εξαρτήματα αποτελούνται;
2. Να αναφέρετε που χρησιμοποιούνται τα φίλτρα;
3. Που στηρίζουν τη λειτουργία τους τα φίλτρα;
4. Τι ονομάζουμε συχνότητα αποκοπής στα φίλτρα και πως υπολογίζεται;
5. Σχεδιάστε την απόκριση και το δομικό διάγραμμα:
 - (α) Φίλτρου διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων με συχνότητα αποκοπής $f_a = 2\ 500\ \text{Hz}$.
 - (β) Φίλτρου διέλευσης ζώνης συχνοτήτων με συχνότητες αποκοπής $f_{a1} = 2\ 000\ \text{Hz}$ και $f_{a2} = 15\ 000\ \text{Hz}$.
 - (γ) Φίλτρου διέλευσης ψηλών συχνοτήτων με συχνότητα αποκοπής $f_a = 7\ \text{kHz}$.
 - (δ) Φίλτρου αποκοπής ζώνης συχνοτήτων με συχνότητες αποκοπής $f_{a1} = 300\ \text{Hz}$ και $f_{a2} = 3600\ \text{Hz}$.

Ενότητα 2 - Το Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα

- Μάθημα 2.1 - Το Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα

Μάθημα 2.1 - Το Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα

ΣΤΟΧΟΙ

Στο τέλος αυτού του μαθήματος ο/η μαθητής/τρια πρέπει να:

- Αναφέρει τον ορισμό και να περιγράφει τη φύση του ηλεκτρομαγνητικού κύματος.
- Εξηγεί τα βασικά χαρακτηριστικά του ηλεκτρομαγνητικού κύματος:
 - ο Μήκος κύματος.
 - ο Ισχύς.
 - ο Πόλωση.
 - ο Ταχύτητα.
- Γνωρίζει τους λόγους που επιβάλλουν τη διαίρεση του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος σε ζώνες.
- Ονομάζει τις διάφορες περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και αντιλαμβάνεται την εμβέλεια των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων κάθε περιοχής.
- Αναφέρει τους παράγοντες που επηρεάζουν τη διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και τα ταξινομεί σε κύματα εδάφους και ιονοσφαιρικά.
- Αναφέρει ότι ο τρόπος διάδοσης εξαρτάται από τη συχνότητα.
- Περιγράφει τους τρεις τρόπους διάδοσης κυμάτων εδάφους:
 - ο Απ' ευθείας κύμα.
 - ο Από ανάκλαση στο έδαφος.
 - ο Κύμα επιφανείας.
- Περιγράφει τη φύση της ιονόσφαιρας και τον τρόπο διάδοσης των ιονοσφαιρικών κυμάτων.
- Γνωρίζει ποιες περιοχές συχνοτήτων έχουν καθορισθεί από διεθνείς οργανισμούς για διάφορες υπηρεσίες.

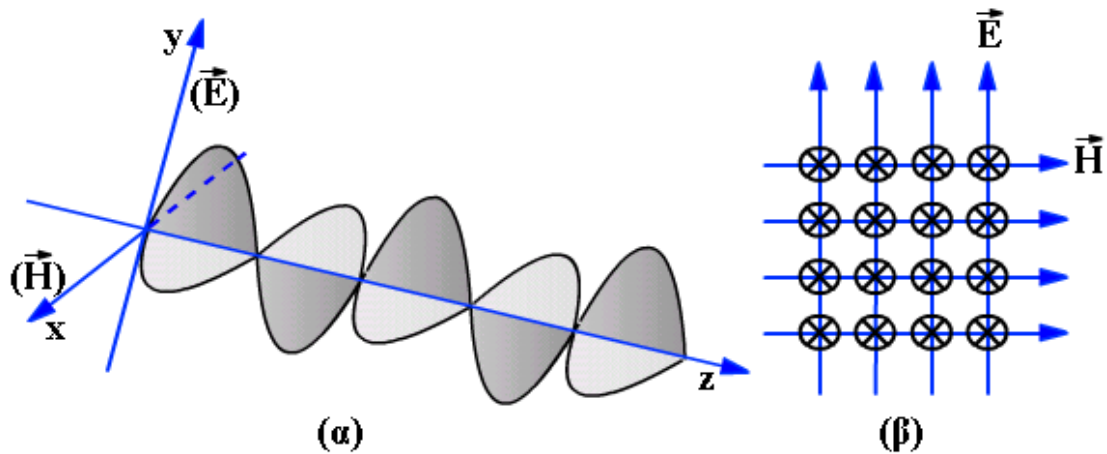
2.1.1 Ορισμός του ηλεκτρομαγνητικού κύματος

Στις ραδιοεπικοινωνίες (ασύρματες ζεύξεις), χρησιμοποιούνται τα **ηλεκτρομαγνητικά κύματα**.

Τι είναι το ηλεκτρομαγνητικό κύμα; Κάθε ηλεκτρικό κύκλωμα που διαρρέεται από εναλλασσόμενο ηλεκτρικό ρεύμα ακτινοβολεί μια ποσότητα της χορηγούμενης ηλεκτρικής ενέργειας υπό μορφή ηλεκτρομαγνητικού κύματος.

Το **ηλεκτρομαγνητικό κύμα** είναι μια μορφή ενέργειας συνδυασμένου ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου, που είναι κάθετα μεταξύ τους και κάθετα προς τη διεύθυνση διάδοσης τους.

Στο Σχήμα 2.1.1 (α) φαίνεται ο συνδυασμός των κάθετων πεδίων (ηλεκτρικό πεδίο E και μαγνητικό πεδίο H), που εμφανίζονται ως ημιτονικά σήματα. Στο Σχήμα 2.1.1 (β) σημειώνονται οι διευθύνσεις των διανυσμάτων έντασης των δύο πεδίων και, κάθετα προς το χαρτί του βιβλίου, η διεύθυνση διάδοσης.



Σχήμα 2.1.1 (α) Το ηλεκτρομαγνητικό κύμα. (β) Οι άξονες των διανυσμάτων E και H και της διάδοσης του κύματος.

Η ταχύτητα διάδοσης του ηλεκτρομαγνητικού κύματος στο κενό είναι η ταχύτητα διάδοσης του φωτός, το οποίο και αυτό είναι ηλεκτρομαγνητικό κύμα.

$$c = 300\,000 \text{ km/sec} = 3 \cdot 10^8 \text{ m/sec}$$

Αν η διάδοση δε γίνεται στο κενό, αλλά σε άλλο μέσο, για παράδειγμα, σε υγρό, σε γυαλί ή σε κάποιο καλώδιο, η ταχύτητα είναι διαφορετική και εξαρτάται από τη διηλεκτρική σταθερά του υλικού.

Βασικό χαρακτηριστικό μέγεθος του ηλεκτρομαγνητικού κύματος, είναι το **μήκος κύματος**, που συνήθως συμβολίζεται με το ελληνικό γράμμα λ .

Μήκος κύματος προσδιορίζεται ως η απόσταση που διανύει διαδιδόμενο το κύμα στο χρονικό διάστημα της περιόδου T του ηλεκτρικού σήματος από το οποίο προήλθε.

$$\lambda = c \cdot T$$

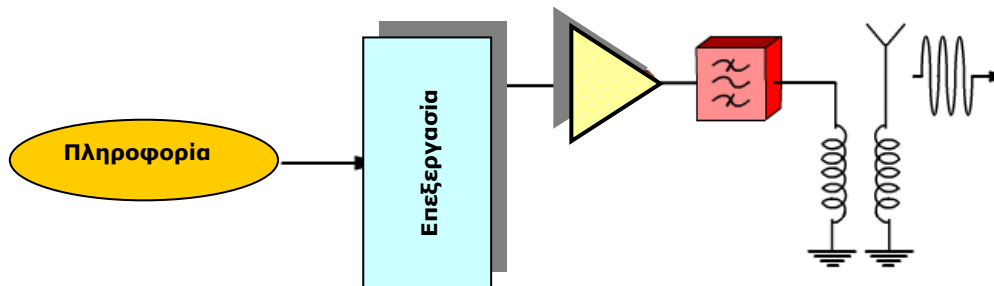
$$\lambda = c / f$$

Παράδειγμα 1: Να υπολογιστεί το μήκος κύματος, όταν η συχνότητα του είναι $f = 40 \text{ MHz}$

$$\text{Λύση: } \lambda = c/f = 3 \cdot 10^8 / 4 \cdot 10^7 = 0,75 \cdot 10 \text{ m} = 7,5 \text{ m}$$

2.1.2 Δημιουργία Ηλεκτρομαγνητικού Κύματος

Η μετατροπή του ηλεκτρικού σήματος σε ηλεκτρομαγνητικό κύμα σε ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα γίνεται στη κεραία που ακτινοβολεί την ενέργεια στον χώρο (Σχήμα 2.1.2).



Σχήμα 2.1.2 - Δημιουργία ηλεκτρομαγνητικού κύματος

Για να ακτινοβοληθεί επιτυχώς ένα σήμα θα πρέπει οι διαστάσεις της κεραίας να είναι ανάλογη προς το μήκος κύματος του ακτινοβολουμένου σήματος.

2.1.3 Πόλωση του Ηλεκτρομαγνητικού Κύματος

Το ηλεκτρικό και μαγνητικό πεδίο του κύματος, πάντοτε κάθετα μεταξύ τους, έχουν την ίδια φάση, όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.1.1.

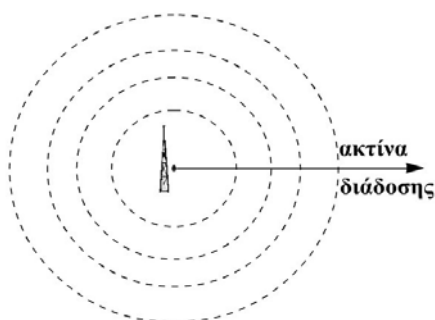
Το επίπεδο του ηλεκτρικού πεδίου ορίζει την κατεύθυνση του ηλεκτρομαγνητικού κύματος, η οποία ονομάζεται **‘πόλωση’** του κύματος.

Όταν το επίπεδο ταλάντωσης του ηλεκτρικού πεδίου είναι κατακόρυφο, λέμε ότι το κύμα είναι **κατακόρυφα πολωμένο**. Αν το ίδιο επίπεδο είναι οριζόντιο, λέμε ότι το ηλεκτρομαγνητικό κύμα είναι **οριζόντια πολωμένο**. Όταν το επίπεδο αυτό αλλάζει συνεχώς, δηλαδή περιστρέφεται, τότε έχουμε κυκλική πόλωση του κύματος.

Η πόλωση του κύματος σχετίζεται με τον προσανατολισμό της κεραίας που το ακτινοβολεί. Όταν η κεραία είναι κατακόρυφη, δημιουργεί ηλεκτρομαγνητικό κύμα κατακόρυφα πολωμένο. Όταν η κεραία είναι οριζόντια, δημιουργεί οριζόντια πολωμένο κύμα.

2.1.4 Ισχύς του Ηλεκτρομαγνητικού Κύματος

Στο κενό, χωρίς εμπόδια, το ηλεκτρομαγνητικό κύμα διαδίδεται σφαιρικά και η ισχύς του αποσβένεται αντιστρόφως ανάλογα προς το τετράγωνο της απόστασης, Σχήμα 2.1.3. Δηλαδή, κάθε φορά που διπλασιάζεται η απόσταση από την πηγή (κεραία), το ηλεκτρομαγνητικό κύμα γίνεται τέσσερις φορές ασθενέστερο.



Σχήμα 2.1.3 - Σφαιρική Διάδοση του Ηλεκτρομαγνητικού Κύματος

Όταν υπάρχουν εμπόδια, η συμπεριφορά του ηλεκτρομαγνητικού κύματος θυμίζει αυτήν του φωτός. Δηλαδή όταν συναντάει εμπόδια, ενδεχομένως ανακλάται ή άλλοτε υπόκειται σε διάθλαση.

2.1.5 Το Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα

Για να διευκολυνθεί η μελέτη της συμπεριφοράς των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, οι επιστήμονες έχουν διαιρέσει το **ηλεκτρομαγνητικό φάσμα** σε ζώνες, ανάλογα με τη συχνότητα του κύματος. Αυτές εκτείνονται από τις μικρές συχνότητες, έως το φως και τις ακτίνες X, που χρησιμοποιούνται στην ιατρική για τις ακτινογραφίες και φαίνονται στον Πίνακα 2.1.1 που ακολουθεί:

Ζώνη συχνοτήτων			Ονοματολογία	Συμβολισμός
100 Hz	-	3 kHz	Άκρως Χαμηλές Συχνότητες	ELF
3 kHz	-	30 kHz	Υπέρμακρα Κύματα	VLF
30 kHz	-	300 kHz	Μακρά Κύματα	LF
300kHz	-	3 MHz	Μεσαία Κύματα	MF
3MHz	-	30 MHz	Βραχέα Κύματα	HF
30 MHz	-	300MHz	Υπερβραχέα Κύματα	VHF
300MHz	-	3 GHz	Δεκατομετρικά Μικροκύματα	UHF
3 GHz	-	30GHz	Εκατοστομετρικά Μικροκύματα	SHF
30 GHz	-	300GHz	Χιλιοστομετρικά Μικροκύματα	EHF
300GHz	-	10^{14}	Υπέρυθρες ακτίνες	IR
10^{14}	-	10^{16}	Ορατό φως	
10^{16}	-	10^{18}	Υπεριώδεις ακτίνες	UV
10^{18}	-	Ακτίνες X	X

Πίνακας 2.1.1 - Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα και Ονοματολογία

- √ Στις ραδιοεπικοινωνίες σήμερα χρησιμοποιούνται περισσότερο οι συχνότητες από 100 kHz έως και 60 GHz ($1 \text{ GHz} = 10^9 \text{ Hz}$). Όσο αναπτύσσεται η τεχνολογία, γίνεται προσπάθεια να εκμεταλλευτούμε συχνότητες ακόμα υψηλότερες, έως και 300 GHz.
- √ Στις οπτικές επικοινωνίες, όπου το μέσο μετάδοσης είναι ειδικό γυάλινο καλώδιο, δηλαδή η οπτική ίνα, αξιοποιείται το υπέρυθρο (IR) και το ορατό φάσμα του φωτός.

2.1.6 Διαχείριση του Ηλεκτρομαγνητικού Φάσματος

Το Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα είναι εθνικός πλούτος και θα πρέπει διαχειρίζεται σωστά. Η παραχώρηση αδειών για ράδιο εκπομπές (ασύρματοι, ραδιοφωνία και τηλεόραση) γίνεται από τα αντίστοιχα Υπουργεία Συγκοινωνιών της κάθε χώρας.

Η Διεθνής Τηλεπικοινωνιακή Ένωση (**ITU - International Telecommunication Union**) στα πλαίσια των Ηνωμένων Εθνών συντονίζει τη διαχείριση του Ηλεκτρομαγνητικού Φάσματος μεταξύ των διαφόρων κρατών.

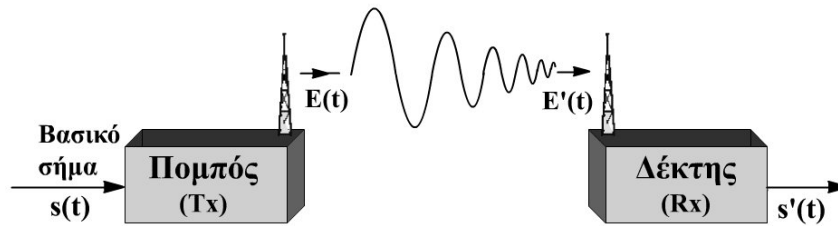
Στον Πίνακα 2.1.2 δίδονται χαρακτηριστικές χρήσεις του Ηλεκτρομαγνητικού Φάσματος που χρησιμοποιείται στις τηλεπικοινωνίες.

Ονοματολογία	Ενδεικτική Χρήση
Πολύ Μακρά Κύματα VLF - Πολύ Χαμηλές Συχνότητες 3 kHz - 30 kHz	
Μακρά Κύματα LF - Χαμηλές Συχνότητες 30 kHz - 300 kHz	
Μεσαία Κύματα MF - Μεσαίες Συχνότητες 300 kHz - 3 MHz	ΡΑΔΙΟΦΩΝΙΑ AM 535 kHz - 1 600 kHz
Βραχεία Κύματα HF - Ψηλές Συχνότητες 3 MHz - 30 MHz	ΡΑΔΙΟΦΩΝΙΑ AM 3, 3 MHz - 26 MHz
Υπεβραχεία Κύματα VHF - Πολύ Ψηλές Συχνότητες 30 MHz - 300 MHz	ΡΑΔΙΟΦΩΝΙΑ FM 88 MHz - 108 MHz ΤΗΛΕΟΡΑΣΗ VHF 47 MHz - 68 MHz (LOW) 174 MHz - 230 MHz (HIGH)
UHF - Υπερύψηλες Συχνότητες 300 MHz - 3 GHz	ΤΗΛΕΟΡΑΣΗ UHF 470 MHz - 861 MHz GSM - ΚΙΝΗΤΗ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑ (900 MHz) ΡΑΔΙΟΠΛΟΗΓΗΣΗ & ΡΑΝΤΑΡ 1, 7 GHz
Μικροκύματα SHF 3 GHz - 30 GHz	ΤΗΛΕΟΠΤΙΚΕΣ ΡΑΔΙΟΖΕΥΞΕΙΣ ΡΑΝΤΑΡ ΠΛΟΙΩΝ 3, 7 GHz ΕΠΙΓΕΙΕΣ & ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΖΕΥΞΕΙΣ ΡΑΝΤΑΡ ΠΛΟΙΩΝ 9,5 GHz ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΖΕΥΞΕΙΣ
EHF 30 GHz - 300 GHz	

Πίνακας 2.1.2 - Χρήση του Ηλεκτρομαγνητικού Φάσματος στις Τηλεπικοινωνίες

2.1.7 Διάδοση Ηλεκτρομαγνητικού Κύματος

Στις **ραδιοεπικοινωνίες** το ηλεκτρομαγνητικό κύμα αποτελεί το μέσο μεταφοράς της πληροφορίας, που εκπέμπεται, ακτινοβολείται στο χώρο από την κεραία, Σχήμα 2.1.4. Πολλές φορές το ηλεκτρομαγνητικό κύμα το ονομάζεται **ραδιοκύμα**.



Σχήμα 2.1.4 - Γενικό διάγραμμα Ραδιοεπικοινωνίας

Η κεραία λήψης στο δέκτη δέχεται ένα μικρό ποσοστό ενέργειας του ηλεκτρομαγνητικού κύματος. Η ενέργεια αυτή ενισχύεται, επεξεργάζεται κατάλληλα και μετατρέπεται στην έξοδο του δέκτη στο ωφέλιμο βασικό σήμα, δηλαδή την πληροφορία.

Τα ραδιοκύματα διαδίδονται στο χώρο σφαιρικά αλλά η διάδοση παρεμβάλλεται από την καμπυλότητα της γης και άλλα εμπόδια όπως βουνά και ψηλά κτίρια.

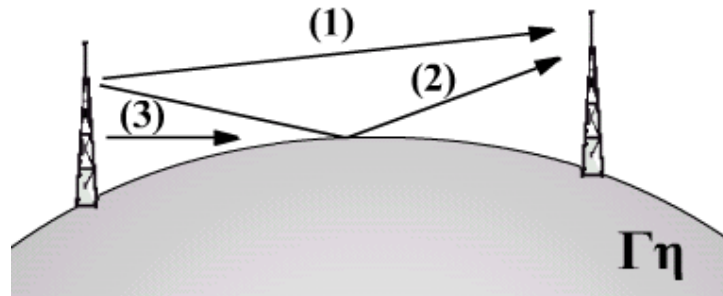
Ανάλογα με τη συχνότητας το ραδιοκύμα διαδίδεται κύρια με τους πιο κάτω τρόπους:

- ✓ **Κύματα εδάφους**
- ✓ **Κύματα χώρου (Ιονοσφαιρικά κύματα)**

Κύματα Εδάφους

Σε αυτή τη περίπτωση το ραδιοκύμα μπορεί να διαδοθεί από την κεραία εκπομπής στην κεραία λήψης χωρίς να απομακρύνεται πολύ από την επιφάνεια του εδάφους της γης (Σχήμα 2.1.5):

- ✓ Απευθείας (1)
- ✓ Μετά από αντανάκλαση στο έδαφος (2)
- ✓ Με κύμα επιφανείας που εφάπτεται με το έδαφος (3)



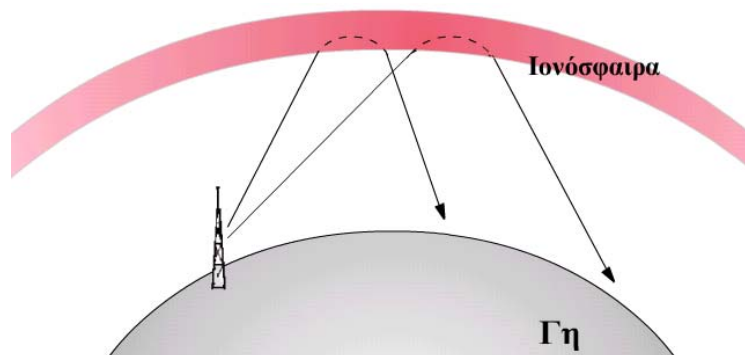
Σχήμα 2.1.5 - Κύματα Εδάφους

Αντανάκλαση στην Ιονόσφαιρα

Το ραδιοκύμα εκπέμπονται προς τον ουρανό όπου ανάλογα με τη συχνότητα και την ώρα της μέρας ή της νύκτας αντανακλώνται πίσω στη γη από τα στρώματα της Ιονόσφαιρας και φτάνουν έτσι στην κεραία λήψης, Σχήμα 2.1.6)

Τα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας από 100 μέχρι 400 χιλιόμετρα ονομάζονται **‘ιονόσφαιρα’** λόγω της μεγάλης περιεκτικότητας ιονισμένων ατόμων, δηλαδή ηλεκτρικών φορτίων.

Ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα, όταν βρεθεί σε ατμόσφαιρα ηλεκτρικών φορτίων, υφίσταται εξασθένηση, η ακτίνα διάδοσής του διαθλάται (κάμπτεται) και κάτω από ορισμένες συνθήκες ανακλάται πάλι προς τη γη.



Σχήμα 2.1.6 - Ιονοσφαιρικά Κύματα

Τα κύματα των χαμηλών συχνοτήτων (μακρά, μεσαία και βραχεία) αντανακλώνονται καλύτερα από τα σήματα των πιο ψηλών συχνοτήτων.

2.1.8 Επίδραση της συχνότητας του σήματος στη διάδοση

Ο τρόπος διάδοσης των ραδιοκυμάτων εξαρτάται σημαντικά από τη συχνότητα f του σήματος. Έτσι ο τρόπος διάδοσης τους ανά ζώνη του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος διαφέρει.

2.1.8.1 Διάδοση των Μεσαίων κυμάτων MF(300 kHz - 3 MHz)

Η ζώνη αυτή περιλαμβάνει το τμήμα του φάσματος που χρησιμοποιείται στην κλασική ραδιοφωνία με διαμόρφωση πλάτους (AM) 531 kHz - 1602 kHz.

Επίσης περιλαμβάνεται η ζώνη 1,7 GHz έως 3 GHz, που χρησιμοποιείται για ραδιοεπικοινωνίες για στρατιωτικές εφαρμογές.

Διαδίδονται με κύμα εδάφους με εμβέλεια που φτάνει έως μερικές εκατοντάδες χιλιόμετρα.

2.1.8.2 Διάδοση των Βραχέων κυμάτων HF (3 MHz - 30 MHz)

Τα βραχέα κύματα με συχνότητα από 3 MHz - 30 MHz απορροφούνται έντονα από το έδαφος.

Αντίθετα το κύμα χώρου επιτρέπει καλύψεις σε πολύ μεγάλες αποστάσεις χιλιάδων χιλιομέτρων. Αυτός είναι ο λόγος που τα βραχέα κύματα επικράτησαν για ζεύξεις μεγάλων αποστάσεων. Η ιονοσφαιρική διάδοση των κυμάτων αυτών, υπόκειται σε διαδοχικές ανακλάσεις στο έδαφος και στην ιονόσφαιρα αυξάνοντας έτσι την ακτίνα κάλυψης και οι συχνότητες αυτές χρησιμοποιούνται για μακρινές ζεύξεις.

2.1.8.3 Διάδοση Υπερβραχέων κυμάτων VHF (30 MHz - 300 MHz)

Οι συχνότητες πάνω από τα 30 MHz απορροφούνται από την ιονόσφαιρα και σπάνια ανακλώνται. Η ραδιοκάλυψη εξασφαλίζεται μόνο από το κύμα εδάφους και περιορίζεται ουσιαστικά σε αποστάσεις που υπάρχει οπτική επαφή των κεραιών εκπομπής και λήψης.

2.1.8.4 Διάδοση των Υπερύψηλων συχνοτήτων UHF (300 MHz - 3 GHz)

Στο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος με συχνότητες πέραν των 300 MHz οι συνθήκες διάδοσης είναι ακριβώς οι ίδιες μ' αυτές των υπερβραχέων κυμάτων. Στις ραδιοζεύξεις λόγω των μικρών μηκών κύματος χρησιμοποιούνται λίαν κατευθυντικές κεραιές ανάλογων διαστάσεων.

Επειδή είναι απαραίτητη η **οπτική επαφή** των κεραιών εκπομπής και λήψης, η εμβέλεια των συστημάτων είναι περιορισμένη.

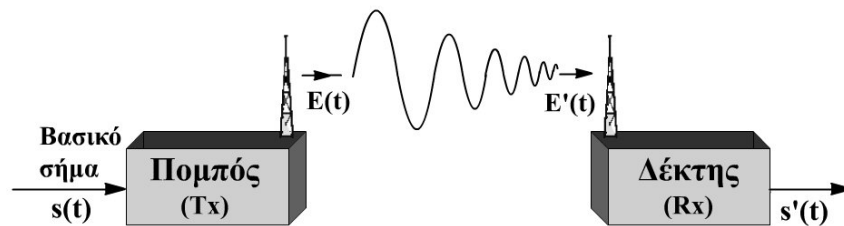
2.1.8.5 Μικροκυματικές Συχνότητες (3 GHz - 30 GHz)

Οι μικροκυματικές ζεύξεις (που είναι γνωστές και με τον όρο Radio Links) είναι αρκετά κατευθυντικές, ειδικά στις υψηλότερες μικροκυματικές συχνότητες με σημαντικό χαρακτηριστικό την αναγκαιότητα της οπτικής επαφής μεταξύ πομπού και δέκτη. Προκειμένου να επιτευχθούν ζεύξεις μεγαλύτερων αποστάσεων, απαιτείται η χρήση αναμεταδοτών.

Οι μικροκυματικές ζεύξεις χρησιμοποιούνται ευρύτατα από τηλεπικοινωνιακούς οργανισμούς, σε λίαν κατευθυντικές ζεύξεις με μεγάλο εύρος ζώνης και μεγάλο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων για συνδέσεις "**σημείου προς σημείο**" (**point to point**), με μικρή ισχύ εκπομπής.

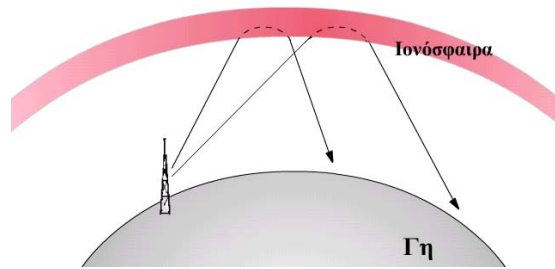
Επίσης χρησιμοποιούνται και στην ραδιοφωνία και τηλεόραση, όπως για παράδειγμα στη σύνδεση ραδιοθαλάμων και τηλεθαλάμων στις αστικές περιοχές με κέντρα εκπομπής εκτός πόλεων και για εξωτερικές μεταδόσεις γεγονότων και αθλητικών συναντήσεων.

Ανακεφαλαίωση - Το Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα



- Το ηλεκτρομαγνητικό κύμα είναι συνδυασμός ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου, τα οποία είναι κάθετα μεταξύ τους και κάθετα προς την διεύθυνση μετάδοσης.
- Στην ασύρματη επικοινωνία το μέσο μετάδοσης είναι η ατμόσφαιρα και το κενό όπου διαδίδονται τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα (ραδιοεπικοινωνία) με τη ταχύτητα του φωτός. Η κεραία εκπομπής ακτινοβολεί στο χώρο το διαμορφωμένο ηλεκτρικό σήμα.
- Το συνηθέστερο χρησιμοποιούμενο φάσμα στις ραδιοεπικοινωνίες εκτείνεται από τη συχνότητα των 100 kHz (LF) έως τη συχνότητα 60 GHz (μικροκύματα).
- Το επίπεδο του ηλεκτρικού πεδίου ορίζει την κατεύθυνση του ηλεκτρομαγνητικού κύματος, η οποία ονομάζεται 'πόλωση' του κύματος. Η πόλωση του ηλεκτρομαγνητικού κύματος καθορίζει και τη τοποθέτηση της κεραίας λήψης.
- Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα (ραδιοκύματα) διαδίδονται σφαιρικά αλλά εμποδίζονται από τη καμπυλότητα της γης.
- Τα ραδιοκύματα διαδίδονται με δυο τρόπους:
 - ✓ Κύματα εδάφους
 - ✓ Αντανάκλαση στα στρώματα της ιονόσφαιρας.
- Οι μηχανισμοί διάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων είναι πολύπλοκοι. Εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από τη συχνότητα τους. Για να διευκολυνθεί αυτή η μελέτη, χωρίζουμε το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα σε περιοχές συχνοτήτων, που λίγο πολύ έχουν την ίδια συμπεριφορά.
- Η Διεθνής Τηλεπικοινωνιακή Ένωση - ITU, συντονίζει τη διαχείριση του Ηλεκτρομαγνητικού Φάσματος το οποίο θεωρείται εθνικός πλούτος.
- Οι μικροκυματικές ζεύξεις έχουν μεγάλα πλεονεκτήματα και ψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων αλλά είναι αρκετά κατευθυντικές και γι αυτό απαιτείται οπτική επαφή κεραίας εκπομπής και λήψης. Σε μεγάλες αποστάσεις απαιτείται η χρήση αναμεταδοτών.

Το Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα - Ερωτήσεις Μαθήματος



1. Να δοθεί ο ορισμός του ηλεκτρομαγνητικού κύματος.
2. Τι ονομάζεται μήκος κύματος;
3. Με ποια ταχύτητα μεταδίδονται τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα στον αέρα και στο κενό;
4. Να αναφέρετε τις ζώνες συχνοτήτων εκπομπής του ραδιοφώνου AM και FM.
5. Να δοθεί η ζώνη συχνοτήτων των βραχέων κυμάτων.
6. Πότε έχουμε σφαιρική διάδοση του ηλεκτρομαγνητικού κύματος;
7. Ποια στρώματα της ατμόσφαιρας ονομάζονται ιονόσφαιρα;
8. Τι ονομάζουμε κύματα εδάφους και σε τι διακρίνονται;
9. Τι ονομάζουμε κύματα χώρου ή ιονοσφαιρικά κύματα;
10. Ποια είναι η περιοχή των μικροκυματικών συχνοτήτων; Ποια είναι τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της και ποιες οι εφαρμογές της;

Ενότητα 3 - Μέσα Μετάδοσης

- Μάθημα 3.1 - Εισαγωγή στα Μέσα Μετάδοσης
- Μάθημα 3.2 - Καλώδια Μεταλλικών Αγωγών
- Μάθημα 3.3 - Οπτικές Ίνες
- Μάθημα 3.4 - Ασύρματα Μέσα Μετάδοσης

Μάθημα 3.1 - Εισαγωγή στα Μέσα Μετάδοσης

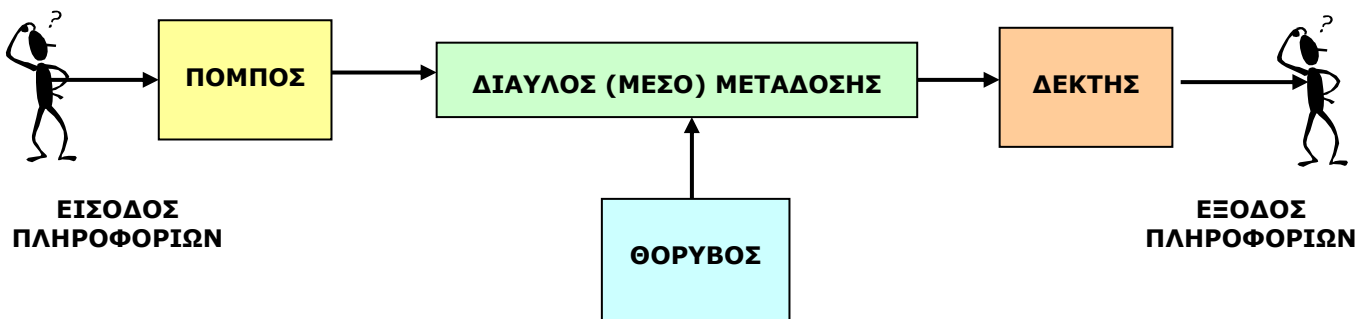
ΣΤΟΧΟΙ

Στο τέλος αυτού του μαθήματος ο/η μαθητής/τρια πρέπει να:

- Κατατάσσει τα μέσα μετάδοσης σε ενσύρματα και ασύρματα.
- Αναφέρει τα ενσύρματα και ασύρματα μέσα μετάδοσης.
- Αναφέρει τα βασικά χαρακτηριστικά των μέσων μετάδοσης:
 - Εύρος ζώνης συχνοτήτων
 - Μέγιστο μήκος μέσου μετάδοσης (Εξασθένιση)
 - Ευαισθησία στο θόρυβο
 - Ευκολία χρήσης
 - Ασφάλεια
- Εξηγεί την ορολογία:
 - Εύρος ζώνης καναλιού
 - Χωρητικότητα καναλιού

3.1.1 Μέσα Μετάδοσης

Κάθε πληροφορία προκειμένου να διαδοθεί από την πηγή στον προορισμό της χρειάζεται ένα μέσο μετάδοσης.



Το **μέσο μετάδοσης** σε κάθε τηλεπικοινωνιακό σύστημα αποτελεί το *φυσικό δρόμο*, ή το *κανάλι* μέσα από το οποίο περνούν τα σήματα, τα μηνύματα και οι πληροφορίες, οι οποίες μεταβιβάζονται από τον πομπό στο δέκτη.

Ο βασικός παράγοντας στην επιλογή του μέσου μετάδοσης είναι η μετάδοση των πληροφοριών με τις λιγότερες δυνατές αλλοιώσεις και με το χαμηλότερο κόστος.

Τα μέσα μετάδοσης κατατάσσονται σε:

- **Ενσύρματα μέσα**
- **Ασύρματα μέσα**

✓ Ενσύρματα Μέσα

- Δισύρματα Χάλκινα Καλώδια
- Ομοαξονικά Καλώδια
- Οπτικές Ίνες

✓ Ασύρματα Μέσα

- Εννοείται ο αέρας (και το κενό), μέσω του οποίου μπορούν να διαδοθούν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα (ραδιοκύματα) που μεταφέρουν τη χρήσιμη πληροφορία, όπως για παράδειγμα στα πιο κάτω συστήματα επικοινωνιών:
 - Επίγειες μικροκυματικές ζεύξεις
 - Δορυφορικές Επικοινωνίες
 - Κυψελωτή Τηλεφωνία
 - Ραδιόφωνο/Τηλεόραση
 - Ασύρματα Δίκτυα Ηλεκτρονικών Υπολογιστών (Wifi)

3.1.2 Επιλογή Μέσων Μετάδοσης

Τα βασικά χαρακτηριστικά, που χαρακτηρίζουν τα μέσα μετάδοσης, είναι τα ακόλουθα:

- **Εύρος ζώνης συχνοτήτων**
- **Μέγιστο μήκος μέσου μετάδοσης (Εξασθένιση)**
- **Ευαισθησία στο θόρυβο**
- **Ευκολία χρήσης**
- **Ασφάλεια**

3.1.3 Εύρος ζώνης συχνοτήτων

Κάθε μέσον μετάδοσης σημάτων καθορίζεται από το **εύρος ζώνης** του (**Bandwidth**). Αυτή καθορίζεται από τη διαφορά ανάμεσα στη μέγιστη και την ελαχίστη συχνότητα που μπορεί να μεταδοθεί.

Εύρος Ζώνης Συχνοτήτων (bandwidth) ονομάζεται το φάσμα των συχνοτήτων που μπορούν να διαδοθούν ανεμπόδιστα μέσα από το φυσικό μέσο.

Καθορίζεται από τη διαφορά ανάμεσα στη μέγιστη και την ελαχίστη συχνότητα που μπορεί να μεταδοθεί.

Η έννοια αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική καθώς ο **ρυθμός μετάδοσης** ψηφιακών δεδομένων είναι ανάλογος με το εύρος ζώνης.

Το εύρος ζώνης προσδιορίζει και τη **χωρητικότητα (capacity)** του καλωδίου που είναι το συνολικός όγκος των δεδομένων τα οποία μπορούν να μεταδοθούν σε μια ψηφιακή επικοινωνία.

Για παράδειγμα τα τηλεφωνικά καλώδια έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να έχουν εύρος ζώνης περίπου 4 kHz, δηλαδή συχνότητες από 300 Hz - 3 400 Hz, όπου βρίσκεται συγκεντρωμένο το μεγαλύτερο ποσοστό της ενέργειας (πληροφορίες) της ανθρώπινης φωνής.

Αντίθετα τα ομοαξονικά καλώδια έχουν μεγάλο εύρος ζώνης μέχρι 1 GHz, ώστε να μπορούν να μεταφέρουν το οπτικό σήμα (video).

3.1.4 Μέγιστο μήκος μέσου μετάδοσης (Εξασθένιση)

Το μέγιστο μήκος του μέσου μετάδοσης προσδιορίζει τη μέγιστη απόσταση, στην οποία μπορεί να μεταφερθεί η πληροφορία, χωρίς να γίνει η χρήση αναμεταδοτών για ενίσχυση του σήματος.

Αυτό εξαρτάται από την εξασθένιση που υφίστανται τα μεταδιδόμενα σήματα από το μέσο μετάδοσης.

3.1.5 Ευαισθησία στο θόρυβο

Προσδιορίζει την ευαισθησία, την οποία παρουσιάζει το μέσο μετάδοσης στο θόρυβο που παρενοχλεί τα προς μετάδοση σήματα.

3.1.6 Ευκολία χρήσης

Είναι η ευκολία με την οποία επιτυγχάνεται η εγκατάσταση του μέσου μετάδοσης, οι διάφορες διασυνδέσεις, ο έλεγχος και η συντήρηση του.

3.1.7 Ασφάλεια

Προσδιορίζει πόσο ασφαλές είναι το μέσο μετάδοσης από ανεπιθύμητες παρεμβολές και υποκλοπές.

Ανακεφαλαίωση - Εισαγωγή στα Μέσα Μετάδοσης

Το **μέσο μετάδοσης** αποτελεί τη φυσική σύνδεση μεταξύ του εκπομπού και του παραλήπτη (δέκτη) του σήματος σε οποιοδήποτε σύστημα επικοινωνιών.

Τα μέσα μετάδοσης διακρίνονται σε **ενσύρματα και ασύρματα**. Στα ενσύρματα μέσα ανήκουν τα χάλκινα καλώδια (δισύρματα χάλκινα καλώδια, ομοαξονικά καλώδια) και οι οπτικές ίνες.

Στα ασύρματα μέσα περιλαμβάνονται ο αέρας (και το κενό), μέσω του οποίου μπορούν να διαδοθούν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα (ραδιοκύματα). Τα συστήματα που χρησιμοποιούν τα ασύρματα μέσα μετάδοσης είναι οι επίγειες μικροκυματικές ζεύξεις, οι δορυφορικές επικοινωνίες, η κυψελωτή τηλεφωνία, το ραδιόφωνο και η τηλεόραση.

Τα βασικά χαρακτηριστικά, που χαρακτηρίζουν τα μέσα μετάδοσης, είναι τα ακόλουθα:

- Εύρος ζώνης συχνοτήτων
- Μέγιστο μήκος μέσου μετάδοσης (Εξασθένιση)
- Ευαισθησία στο θόρυβο
- Ευκολία χρήσης
- Ασφάλεια

Το **εύρος ζώνης** καθορίζεται ως η διαφορά ανάμεσα στη μέγιστη και την ελαχίστη συχνότητα που μπορεί να μεταδοθεί από το μέσο μετάδοσης.

Το εύρος ζώνης προσδιορίζει και τη χωρητικότητα του καλωδίου που είναι το συνολικός όγκος των δεδομένων τα οποία μπορούν να μεταδοθούν σε μια ψηφιακή επικοινωνία.

Εισαγωγή στα Μέσα Μετάδοσης - Ερωτήσεις Μαθήματος

1. Σε ποιες δύο κύριες κατηγορίες διακρίνουμε τα μέσα μετάδοσης;
2. Ποια είναι τα ενσύρματα μέσα μετάδοσης;
3. Ποια είναι τα ασύρματα μέσα μετάδοσης;
4. Ποια είναι τα κύρια κριτήρια στην επιλογή ενός μέσου μετάδοσης;
5. Τι εννοούμε με τον όρο "εύρος ζώνης" ενός μέσου μετάδοσης;

Μάθημα 3.2 - Καλώδια Μεταλλικών Αγωγών

ΣΤΟΧΟΙ

Στο τέλος αυτού του μαθήματος ο/η μαθητής/τρια πρέπει να:

- Διακρίνει τους διάφορους τύπους καλωδίων μεταλλικών αγωγών μεταφοράς σήματος και να αναφέρει χαρακτηριστικά τους:
 - ο Καλώδια δύο παραλλήλων αγωγών
 - ο Καλώδια συνεστραμμένων αγωγών
 - ο Ομοαξονικά καλώδια
- Αναφέρει τα μειονεκτήματα των καλωδίων δύο παραλλήλων αγωγών.
- Αναφέρει τους λόγους συνέλιξης στα καλώδια συνεστραμμένων αγωγών και τα πλεονεκτήματα που προκύπτουν.
- Σχεδιάζει και εξηγεί την κατασκευή των ομοαξονικών καλωδίων.
- Αναφέρει τα πλεονεκτήματα των ομοαξονικών καλωδίων.

3.2.1 Χάλκινα Καλώδια

Πρόκειται για το απλούστερο και φτηνότερο μέσο που μπορεί να χρησιμοποιήσει κανείς για την τηλεπικοινωνιακή ζεύξη δύο σημείων.

- ✓ **Πλεονέκτημα είναι η μικρή αντίσταση του χαλκού που σημαίνει μικρή εξασθένηση του σήματος.**

Τα χάλκινα καλώδια χρησιμοποιούνται κυρίως για:

- ➔ Τη μεταφορά αναλογικών ακουστικών σημάτων και
- ➔ Τη μεταφορά ψηφιακών σημάτων σε μικρές αποστάσεις

Κατατάσσονται σε τρεις κύριες κατηγορίες:

- **Καλώδια δύο παραλλήλων αγωγών**
- **Καλώδια συνεστραμμένων αγωγών**
- **Ομοαξονικά καλώδια**

Τα χάλκινα καλώδια χρησιμοποιούνται στη μετάδοση αναλογικών σημάτων, όπως το ρεύμα του μικροφώνου, αλλά και ψηφιακών σημάτων, όπως στα δίκτυα ηλεκτρονικών υπολογιστών.

Προκειμένου να επιτευχθεί η ζεύξη, χρησιμοποιούνται συνήθως **δύο** συρμάτινοι αγωγοί μονωμένοι μεταξύ τους, σχηματίζοντας έτσι ένα **χάλκινο ζεύγος** ή **δισύρματο** καλώδιο. Το χάλκινο ζεύγος (ή απλώς ζεύγος) είναι ιδανικό για χρήση σε ζεύξεις μικρών αποστάσεων λόγω του μικρού του κόστους και της εύκολης χρήσης του. Τα καλώδια που περιέχουν ζεύγη συναντώνται στις συνδέσεις μεταξύ ηλεκτρονικών υπολογιστών, τηλεφωνικών συσκευών κλπ.

3.2.2 Καλώδια Δυο Παράλληλων Αγωγών

Το καλώδιο αποτελείται από δύο παράλληλους αγωγούς (δισύρματο καλώδιο) που συνήθως χωρίζονται αναμεταξύ τους από ένα μονωτικό υλικό.

Τα δισύρματα καλώδια έχουν αρκετά μειονεκτήματα σε σύγκριση με τα άλλα χάλκινα καλώδια και γι' αυτό το λόγο δεν προτιμούνται στις τηλεπικοινωνίες:

- ✓ **Διαφωνία**
- ✓ **Ευαισθησία στο θόρυβο**
- ✓ **Εξασθένηση**
- ✓ **Ηχώ**

Μειονεκτήματα Καλωδίων Δύο Παραλλήλων Αγωγών

Διαφωνία

Σε ένα καλώδιο συνήθως τοποθετούνται πολλά χάλκινα ζεύγη. Τα σύρματα του κάθε ζεύγους, λόγω του σχήματός τους (δύο παράλληλοι αγωγοί), συμπεριφέρονται σαν κεραιές. Ένα μέρος από την ηλεκτρική ενέργεια που οδεύει σε ένα ζεύγος ακτινοβολείται και επηρεάζει τα γειτονικά ζεύγη. Ταυτόχρονα κάθε ζεύγος λαμβάνει σήματα από τα γειτονικά του ζεύγη. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **διαφωνία (cross talk)**.

Ευαισθησία

Η ευαισθησία στο θόρυβο σχετίζεται με την ευκολία με την οποία μέσο μετάδοσης επηρεάζεται από εξωτερικά ανεπιθύμητα σήματα.

Ηλεκτρονικός θόρυβος

Τα χάλκινα καλώδια λαμβάνουν και άλλα ανεπιθύμητα σήματα από το περιβάλλον όπως: από ακτινοβολία άλλων μέσων μετάδοσης, από κεραιές εκπομπής, από οικιακές συσκευές καθώς και από άλλες γειτονικές πηγές.

Τα ανεπιθύμητα αυτά σήματα δημιουργούν ένα ρεύμα το οποίο ονομάζεται **ηλεκτρονικός θόρυβος**. Όσο αυξάνει το μήκος του αγωγού τόσο περισσότερος θόρυβος συλλέγεται από το περιβάλλον. Επομένως τα καλώδια δύο παραλλήλων αγωγών είναι ακατάλληλα για επικοινωνία σε μεγάλες αποστάσεις, διότι παρουσιάζουν μεγάλη ευαισθησία σε περιβάλλον θορύβου.

Εξασθένηση

Η εξασθένηση δείχνει πόσο μειώνεται η στάθμη της ισχύος ενός σήματος κατά τη μετάδοση του μέσα από ένα φυσικό μέσο μετάδοσης.

Μετράται σε dB ανά μονάδα μήκους. Η εξασθένηση είναι ιδιαίτερα σημαντική σε σήματα που περιέχουν υψηλές συχνότητες όπως τα ψηφιακά. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι ένα δισύρματο καλώδιο παρουσιάζει, στη συχνότητα 1MHz μία εξασθένηση της τάξης των 20 dB ανά χιλιόμετρο, ενώ στη συχνότητα 100MHz παρουσιάζει εξασθένηση 230 dB ανά χιλιόμετρο.

Ηχώ

Ηχώ είναι η επιστροφή του σήματος στην πηγή δημιουργίας του. Στην περίπτωση της τηλεφωνίας, εκφράζεται σαν η επιστροφή της φωνής στον ομιλούντα, λόγω ανακλάσεως του σήματος σε ορισμένα σημεία της γραμμής.

Η ηχώ γίνεται αντιληπτή, όταν μεσολαβεί ορισμένη χρονική καθυστέρηση μεταξύ του αρχικού και του ανακλώμενου σήματος. Γι αυτό το λόγο εξαρτάται από τη μήκος της γραμμής και γίνεται περισσότερο ενοχλητική όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος της.

Συνήθως δημιουργείται, όταν έχουμε αλλαγές στη σύνθετη αντίσταση (χαρακτηριστική αντίσταση) της γραμμής, όπως και στις περιπτώσεις κακής προσαρμογής μεταξύ των γραμμών. Περίπτωση κακής προσαρμογής που δημιουργεί ηχώ, είναι η σύνδεση δυο γραμμών με διαφορετικές χαρακτηριστικές αντιστάσεις, για παράδειγμα ενός ομοαξονικού και ενός συνεστραμμένου καλωδίου.

3.2.3 Συνεστραμμένα Δισύρματα Καλώδια

Προκειμένου να αντιμετωπιστούν ως ένα βαθμό τα παραπάνω προβλήματα των απλών δισύρματων καλωδίων, οι δύο μονωμένοι αγωγοί συστρέφονται μεταξύ τους για να σχηματίσουν ένα συνεστραμμένο ζεύγος. Τα καλώδια αυτά ονομάζονται **συνεστραμμένα δισύρματα καλώδια**.

Ο βασικός λόγος της συνέλιξης τους είναι ο περιορισμός της λήψεως εξωτερικών σημάτων από το ζεύγος. Το γεγονός αυτό περιορίζει τη διαφωνία και την επίδραση του θορύβου. Πράγματι μέσω συνεστραμμένων καλωδίων ένα αναλογικό σήμα μπορεί να διανύσει αποστάσεις της τάξης των μερικών χιλιομέτρων. Για το λόγο αυτό ήταν και το πρώτο μέσο που χρησιμοποιήθηκε στα τηλεφωνικά δίκτυα.

Προκειμένου να αυξηθεί και άλλο η ανοχή των καλωδίων στο θόρυβο, μονώνονται αυτά με εξωτερικό αγωγίμο προστατευτικό περίβλημα. Τα καλώδια αυτά ονομάζονται **θωρακισμένα (Shielded)**. Το περίβλημα, ανάλογα με τη χρήση του καλωδίου, χρησιμοποιείται πολλές φορές και για προστασία από μηχανικές, περιβαλλοντικές, χημικές και άλλες καταπονήσεις.

Το εύρος ζώνης μεγαλώνει όσο μεγαλώνει και η διάμετρος του κάθε χάλκινου αγωγού. Ανάλογα με τη μέγιστη συχνότητα μετάδοσης τα καλώδια με χάλκινα συνεστραμμένα ζεύγη χωρίζονται στις κατηγορίες.

Τα καλώδια που αποτελούνται από συνεστραμμένα ζεύγη συρμάτων και είναι κατάλληλα μόνο για φωνή για χρήση στη τηλεφωνία, αλλά όχι για δεδομένα κατατάσσονται στην **Κατηγορία 1**.

Η πιο συνηθισμένες είναι οι **Κατηγορίες 5 και 6**, η οποίες χρησιμοποιούνται ευρύτατα στα δίκτυα υπολογιστών, Σχήμα 3.1.2.

Καλώδιο UTP Κατηγορίας 5 (Unshielded Twisted Pair - Καλώδιο Αθωράκιστων Συνεστραμμένων Ζευγών)

- Για μεταδόσεις μέχρι 100 Mbps
- Χρήση σε τύπους δικτύων ψηλών επιδόσεων και δίκτυα ευρείας περιοχής
- Έχει 4 ζεύγη συνεστραμμένα ζεύγη συρμάτων αντίστασης 100 Ω, με ψηλή χωρητικότητα και χαμηλή επικάλυψη
- Χρησιμοποιούν συνδέσμους RJ 45
- Μέγιστη συχνότητα 100 MHz

Στα Παραρτήματα στον Πίνακα Π 3 δίδονται οι διάφορες κατηγορίες καλωδίων με συνεστραμμένα χάλκινα ζεύγη συρμάτων.



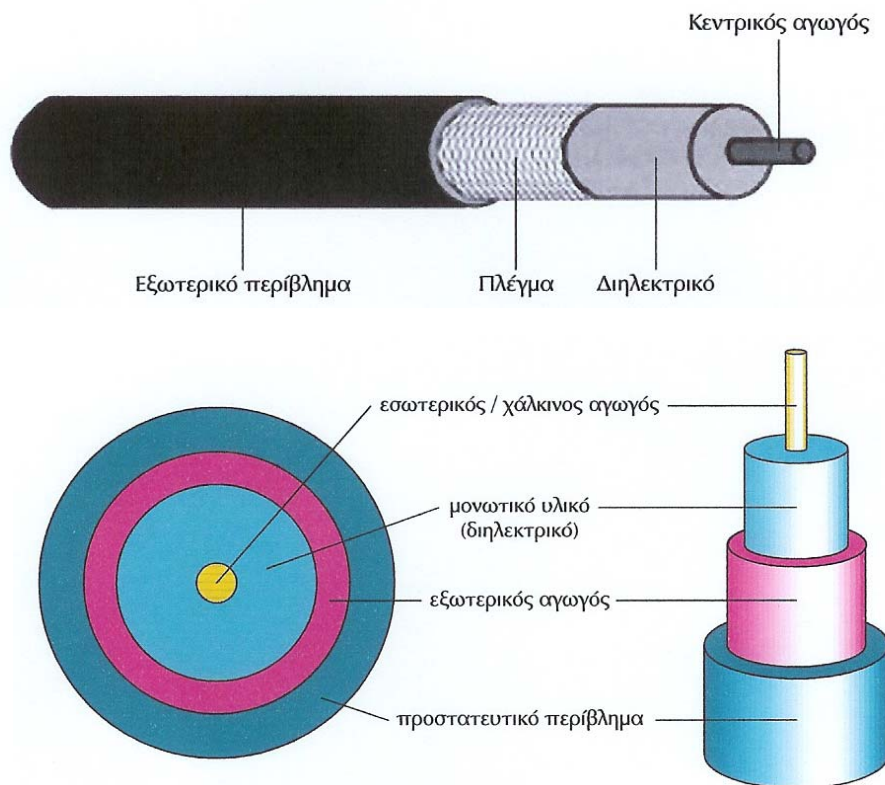
Σχήμα 3.1.2 - Καλώδια UPT Κατηγορίας 5

3.2.4 Ομοαξονικά Καλώδια

Ένα άλλο φυσικό μέσο μετάδοσης που χρησιμοποιείται στα δίκτυα αλλά και σε άλλες εφαρμογές (για παράδειγμα στη καλωδιακή τηλεόραση), είναι το ομοαξονικό καλώδιο. Το ομοαξονικό καλώδιο λόγω της κατασκευής του παρουσιάζει σημαντικά καλύτερη συμπεριφορά στα εξής:

- ✓ Επιτρέπει τη μετάδοση αναλογικών σημάτων με μεγάλο εύρος ζώνης, τυπικά 500 MHz
- ✓ Επιτρέπει τη μετάδοση ψηφιακών σημάτων με υψηλό ρυθμό μετάδοσης
- ✓ Έχει μικρότερη εξασθένηση και επομένως μπορεί να μεταδώσει ένα σήμα σε μεγάλη απόσταση.
- ✓ Παρουσιάζει μεγαλύτερη αναισθησία στο θόρυβο
- ✓ Είναι ασφαλές.

Η **ασφάλεια** του μέσου αναφέρεται στο πόσο ασφαλές είναι το μέσο σε εξωτερικές παρεμβάσεις που σκοπό έχουν την παρεμβολή, την μεταβολή ή και την υποκλοπή του μεταδιδόμενου σήματος.



Σχήμα 3.2.2 - Ομοαξονικό Καλώδιο

Ένα **ομοαξονικό καλώδιο** σχηματίζεται από δύο αγωγούς με κυλινδρικό σχήμα. Ο εσωτερικός αγωγός είναι μέσα στον εξωτερικό κατά τέτοιον τρόπο, ώστε ο δεύτερος να περιβάλλει πλήρως τον πρώτο. Ακριβώς, επειδή οι δύο αγωγοί έχουν κοινό άξονα, τα καλώδια αυτού του τύπου ονομάζονται ομοαξονικά. Οι δύο αγωγοί διαχωρίζονται πλήρως μεταξύ τους με τη χρήση ενός μονωτικού υλικού, το οποίο από τη μία αποτρέπει την αγωγή επαφή μεταξύ τους και από την άλλη επιτρέπει τη διάδοση του σήματος. Τα μονωτικά αυτά υλικά

ονομάζονται **διηλεκτρικά**. Εξωτερικά το καλώδιο περιβάλλεται από ειδικό μονωτικό και προστατευτικό περίβλημα.

Στον Πίνακα Π 4 των Παραρτημάτων δίδονται τα τυπικά ομοαξονικά καλώδια και τα χαρακτηριστικά τους.

Αντιπροσωπευτικές τιμές απωλειών (εξασθένισης) σε ομοαξονικά καλώδια	
Συχνότητα (MHz)	Απώλειες (dB/km)
1	2
100	10
1.000	33

Η μετάδοση του σήματος στα ομοαξονικά καλώδια γίνεται μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα διαδίδονται στο διηλεκτρικό υλικό με συνεχείς ανακλάσεις μεταξύ των δύο αγωγών του καλωδίου.

Η ταχύτητα διάδοσης του ηλεκτρομαγνητικού κύματος εξαρτάται από τη διηλεκτρική σταθερά του μονωτικού υλικού.

Ακριβώς λόγω της κατασκευής του, το εσωτερικό του ομοαξονικού καλωδίου, μέσα στο οποίο λαμβάνει χώρα η διάδοση, επιδέχεται ελάχιστο θόρυβο. Ελάχιστη είναι επίσης και η επίδραση εξωτερικών παρεμβολών. Για το λόγο αυτό το ομοαξονικό καλώδιο προσφέρεται για ασφαλείς μεταδόσεις. Ο εξωτερικός αγωγός του καλωδίου κατά τη σύνδεσή του στις διάφορες συσκευές συνήθως γειώνεται και τότε ονομάζεται **εξωτερικός αγωγός γης**.

✓ **ΧΡΗΣΕΙΣ**

Για τη μετάδοση τόσο αναλογικών όσο και ψηφιακών σημάτων (τοπικά δίκτυα ηλεκτρονικών υπολογιστών, σε υπεραστικές συνδέσεις του τηλεφωνικού δικτύου αλλά και στην καλωδιακή τηλεόραση). Για ζεύξεις μεγάλων αποστάσεων, είναι απαραίτητη η χρήση ενισχυτών και αναμεταδοτών κατά τακτά διαστήματα.

✓ **ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ**

Ασφάλεια
Μεγάλη αναισθησία στο θόρυβο
Μικρή εξασθένιση

✓ **ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ**

Ένα μειονέκτημα των ομοαξονικών καλωδίων είναι ότι λόγω της κατασκευής τους είναι αρκετά άκαμπτα και απαιτούν επίσης ειδικούς συνδετήρες (connectors) για να συνδεθούν με τις διάφορες τερματικές συσκευές

Ανακεφαλαίωση - Καλώδια Μεταλλικών Αγωγών

- Τα χάλκινα καλώδια αποτελούν ένα απλό και φτηνό μέσο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την τηλεπικοινωνιακή ζεύξη δύο σημείων.
Πλεονέκτημα τους είναι η μικρή αντίσταση του χαλκού που σημαίνει μικρή εξασθένηση του σήματος.
Τα χάλκινα καλώδια χρησιμοποιούνται κυρίως για:
 - **Τη μεταφορά αναλογικών ακουστικών σημάτων και**
 - **Τη μεταφορά ψηφιακών σημάτων σε μικρές αποστάσεις**
 Κατατάσσονται σε τρεις κύριες κατηγορίες:
 - **Καλώδια δύο παραλλήλων αγωγών**
 - **Καλώδια συνεστραμμένων αγωγών**
 - **Ομοαξονικά καλώδια**

- Τα **δισύρματα καλώδια** αποτελούνται από δύο παράλληλους αγωγούς που συνήθως χωρίζονται αναμεταξύ τους από ένα μονωτικό υλικό. Έχουν αρκετά μειονεκτήματα σε σύγκριση με τα άλλα χάλκινα καλώδια και γι' αυτό το λόγο δεν προτιμούνται στις τηλεπικοινωνίες:
 - **Διαφωνία**
 - **Ευαισθησία στο θόρυβο**
 - **Εξασθένηση**
 - **Ηχώ**

- Τα **συνεστραμμένα δισύρματα καλώδια** αντιμετωπίζουν ως ένα βαθμό τα παραπάνω προβλήματα των απλών δισύρματων καλωδίων. Οι δύο μονωμένοι αγωγοί συστρέφονται μεταξύ τους για να σχηματίσουν ένα συνεστραμμένο ζεύγος.
Η συνέλιξη περιορίζει τη διαφωνία και την επίδραση του θορύβου στο μεταφερόμενο σήμα. Προσφέρουν μεγάλο εύρος ζώνης και μεγάλες ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων.

- Τα **ομοαξονικά καλώδια** σχηματίζονται από δύο αγωγούς με κυλινδρικό σχήμα. Ο εσωτερικός αγωγός είναι μέσα στον εξωτερικό κατά τέτοιο τρόπο, ώστε ο δεύτερος να περιβάλλει πλήρως τον πρώτο. Ακριβώς, επειδή οι δύο αγωγοί έχουν κοινό άξονα, τα καλώδια αυτού του τύπου ονομάζονται ομοαξονικά. Οι δύο αγωγοί διαχωρίζονται πλήρως μεταξύ τους με τη χρήση ενός μονωτικού υλικού, το οποίο από τη μία αποτρέπει την αγωγή επαφή μεταξύ τους και από την άλλη επιτρέπει τη διάδοση του σήματος. Τα μονωτικά αυτά υλικά ονομάζονται διηλεκτρικά. Εξωτερικά το καλώδιο περιβάλλεται από ειδικό μονωτικό και προστατευτικό περίβλημα.
Το ομοαξονικά καλώδια λόγω της κατασκευής τους παρουσιάζουν σημαντικά καλύτερη συμπεριφορά στα εξής:
 - √ Επιτρέπουν τη μετάδοση αναλογικών σημάτων με μεγάλο εύρος ζώνης, τυπικά μέχρι και 1 GHz.
 - √ Επιτρέπουν τη μετάδοση ψηφιακών σημάτων με υψηλό ρυθμό μετάδοσης.
 - √ Έχουν μικρότερη εξασθένηση και επομένως μπορούν να μεταδώσουν ένα σήμα σε μεγάλη απόσταση.
 - √ Παρουσιάζουν μεγαλύτερη αναισθησία στο θόρυβο.
 - √ Είναι ασφαλή.

Καλώδια Μεταλλικών Αγωγών - Ερωτήσεις Μαθήματος

1. Ποια είναι το βασικό πλεονέκτημα των χάλκινων καλωδίων;
2. Να αναφέρετε τις τρεις κατηγορίες των χάλκινων καλωδίων.
3. Να αναφέρετε τα μειονεκτήματα των χάλκινων καλωδίων δύο παραλλήλων αγωγών.
4. Τι είναι το φαινόμενο της διαφωνίας;
5. Γιατί χρησιμοποιούνται τα συνεστραμμένα ζεύγη καλωδίων;
6. Να σχεδιάσετε ένα ομοαξονικό καλώδιο και να εξηγήσετε την κατασκευή του.
7. Ποια είναι τα πλεονεκτήματα των ομοαξονικών καλωδίων;
8. Γιατί τα καλώδια χρειάζονται θωράκιση;
9. Τι ονομάζουμε διηλεκτρικό υλικό; Πως επηρεάζει τη μετάδοση του σήματος;

Μάθημα 3.3 - Οπτικές Ίνες

ΣΤΟΧΟΙ

Στο τέλος αυτού του μαθήματος ο/η μαθητής/τρια πρέπει να:

- Γνωρίζει τη δομή και τα χαρακτηριστικά των οπτικών ινών.
- Αναφέρει τον τρόπο διάδοσης των φωτεινών σημάτων μέσα από τις οπτικές ίνες.
- Συγκρίνει τους δύο σημαντικότερους τύπους οπτικών ινών.
- Γνωρίζει τα δομικά στοιχεία και τη λειτουργία συστημάτων εκπομπής και λήψης σημάτων, που χρησιμοποιούν οπτικές ίνες.
- Κατανοεί τα πλεονεκτήματα της χρήσης οπτικών ινών σε επικοινωνιακά συστήματα σε σχέση με τα άλλα μέσα μετάδοσης.

3.3.1 Εισαγωγή

Το πιο προηγμένο, από τεχνολογικής πλευράς, φυσικό μέσο το οποίο χρησιμοποιείται στις τηλεπικοινωνίες για τη μετάδοση σημάτων και πληροφοριών είναι οι οπτικές ίνες. Πρόκειται για ίνες γυαλιού ή πλαστικού, οι οποίες έχουν την ιδιότητα να εγκλωβίζουν τις φωτεινές ακτίνες (το φως) και να τις οδηγούν προς μία συγκεκριμένη κατεύθυνση.

Η χρήση των οπτικών ινών για μετάδοση σημάτων στηρίζεται στην ιδέα της χρησιμοποίησης του φωτός ως φορέα της πληροφορίας αντί για το ηλεκτρικό ρεύμα, το οποίο χρησιμοποιείται στα χάλκινα καλώδια. Για να επιτευχθεί αυτό, χρησιμοποιείται στον πομπό μία πηγή φωτός ή αλλιώς μία **φωτεινή πηγή**.

Η πηγή αυτή παράγει ένα φωτεινό σήμα, το οποίο διαμορφώνεται με τις πληροφορίες που πρέπει να μεταδοθούν από τον πομπό προς το δέκτη. Η διαμόρφωση μπορεί να γίνει αναβοσβήνοντας την πηγή του φωτός με το ρυθμό της πληροφορίας, δηλαδή το ένα (1) να αντιστοιχεί σε φως και το μηδέν (0) σε σκότος. Το φως που παράγουν οι φωτεινές πηγές βρίσκεται στην περιοχή του υπέρυθρου και δεν είναι ορατό από το ανθρώπινο μάτι.

Στην άλλη πλευρά της οπτικής ίνας (στο δέκτη) υπάρχει ένας **ανιχνευτής φωτός**. Ένας τέτοιος ανιχνευτής είναι ο φωτοδέκτης, ο οποίος, όταν φωτίζεται, παράγει ένα μικρό ρεύμα. Έτσι, μετατρέπει τα φωτεινά σήματα σε ηλεκτρικά. Τα ηλεκτρικά σήματα που περιέχουν την ωφέλιμη πληροφορία περνούν στις επόμενες βαθμίδες ηλεκτρονικής επεξεργασίας.

Η διάδοση του φωτός

ΥΛΙΚΟ	ΔΕΙΚΤΗΣ ΔΙΑΘΛΑΣΗΣ
κενό	1, 0
αέρας	1, 0003
νερό	1, 33
γυαλί	1, 5
διαμάντι	2, 5

Το φως, όταν συναντήσει μια επιφάνεια που διαχωρίζει δύο διαφανή μέσα, μπορεί είτε να ανακλαστεί είτε να υποστεί διάθλαση. Μια τέτοια διαχωριστική επιφάνεια είναι αυτή μεταξύ αέρα και νερού.

Η διάθλαση θα γίνει κατανοητή με το ακόλουθο παράδειγμα. Ένα μολύβι το οποίο είναι μισοβυθισμένο στο νερό φαίνεται, λόγω της διάθλασης, να είναι σπασμένο. Η γωνία με την οποία αποκλίνει η διαθλώμενη ακτίνα εξαρτάται από την **οπτική πυκνότητα** του κάθε μέσου. Το μέτρο της οπτικής πυκνότητας ενός μέσου είναι ο **δείκτης διάθλασης** του.

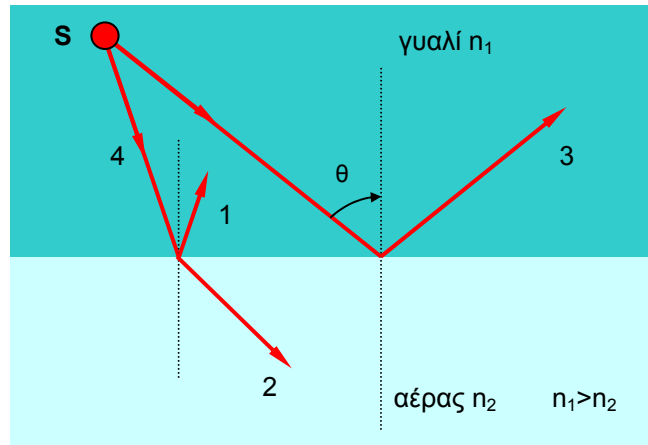
Στο Σχήμα 3.3.1 φαίνονται μερικές ακτίνες οι οποίες προέρχονται από φωτεινή πηγή τοποθετημένη μέσα σε ένα μέσο με μεγάλο δείκτη διάθλασης (π.χ. γυαλί που είναι οπτικά πυκνό υλικό). Οι ακτίνες αυτές, αν συναντήσουν τη διαχωριστική επιφάνεια ενός άλλου μέσου με μικρότερο δείκτη διάθλασης (π.χ. αέρα), τότε:

- (α) μερικές ακτίνες διαθλώνται και εισέρχονται στο δεύτερο μέσο (ακτίνα 2),

- (β) μερικές ακτίνες ανακλώνται και παραμένουν στο πρώτο μέσο (ακτίνα 3),
- (γ) ένα μέρος από την ακτίνα 4 ανακλάται και παραμένει στο γυαλί (ακτίνα 1).

Οι ακτίνες οι οποίες δεν καταφέρνουν να διαπεράσουν την διαχωριστική επιφάνεια (ακτίνα 3) παθαίνουν **ολική εσωτερική ανάκλαση**.

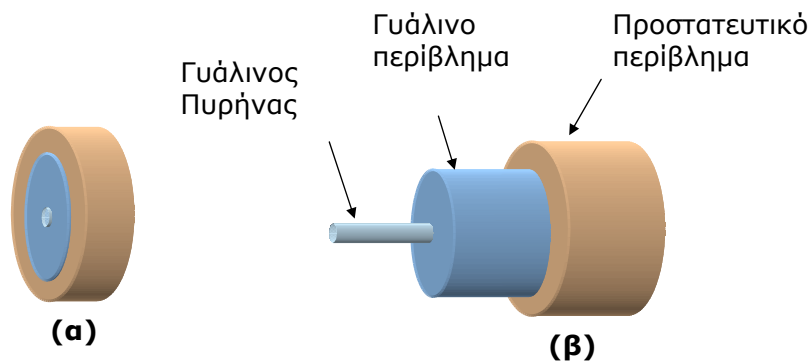
Η πιο μικρή γωνία θ , για την οποία οι ακτίνες δε διαθλώνται, αλλά ανακλώνται και παραμένουν στο αρχικό μέσο, ονομάζεται **οριακή γωνία** (ονομάζεται επίσης και **κρίσιμη γωνία**).



Σχήμα 3.3.1 - Οι ακτίνες της πηγής S κατευθύνονται από μέσο με μεγάλο δείκτη διάθλασης σε μέσο με μικρό δείκτη

3.3.2 Η δομή της οπτικής ίνας και η μετάδοση του φωτός

Οι οπτικές ίνες οι οποίες χρησιμοποιούνται σαν μέσα μετάδοσης κατασκευάζονται από γυαλί υψηλής καθαρότητας. Στην τελική μορφή της η οπτική ίνα μοιάζει πολύ με μια λεπτή διάφανη τρίχα. Στο εσωτερικό της το γυαλί μπορεί να μεταδίδει το φως. Το περίβλημα (το οποίο βρίσκεται εξωτερικά) εξασφαλίζει ότι το φως θα παραμένει συνεχώς μέσα στην ίνα, Σχήμα 3.3.2.

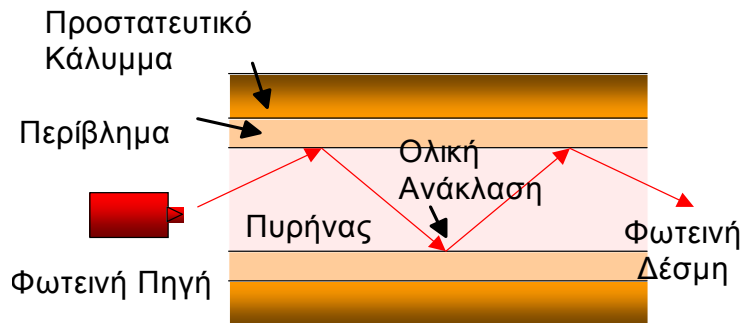


Σχήμα 3.7.2 (α) Τομή οπτικής ίνας (β) Λεπτομέρεια διαστρωμάτωσης οπτικής ίνας.

Το κεντρικό μέρος της ίνας ονομάζεται **πυρήνας**. Το **περίβλημα** έχει μικρότερο δείκτη διάθλασης από τον πυρήνα και τον καλύπτει κυλινδρικά. Ο πυρήνας και το περίβλημα μοιάζουν με κυλίνδρους με κοινό άξονα. Για λόγους προστασίας τοποθετείται κατά τη διάρκεια κατασκευής της ίνας, μια επικάλυψη (πρόσθετο προστατευτικό περίβλημα) από συνθετικό ή πολυμερές υλικό το οποίο αυξάνει την αντοχή της.

Το φως που εισάγεται στον πυρήνα οδεύει στο εσωτερικό του με διαδοχικές ανακλάσεις στην επιφάνεια διαχωρισμού πυρήνα - περιβλήματος.

Με τις **ολικές ανακλάσεις** το φως ανακλάται διαδοχικά και συνεχίζει την πορεία του στον πυρήνα, χωρίς καμία ακτίνα να διαθλαστεί και να διαφύγει στο περίβλημα, Σχήμα 3.3.3. Έτσι η συνολική φωτεινή ενέργεια παραμένει εγκλωβισμένη στο εσωτερικό της οπτικής ίνας, με αποτέλεσμα ένα αποστελλόμενο φωτεινό σήμα να μπορεί να διανύσει πολύ μεγάλες αποστάσεις με ελάχιστες απώλειες, σε σχέση με οποιοδήποτε άλλο μέσο μετάδοσης.



Σχήμα 3.3.3 - Ο μηχανισμός διάδοσης στην οπτική ίνα

Ανάλογα με τη διάμετρο του πυρήνα και τη διάδοση των φωτεινών ακτίνων, υπάρχουν οι εξής κατηγορίες ινών:

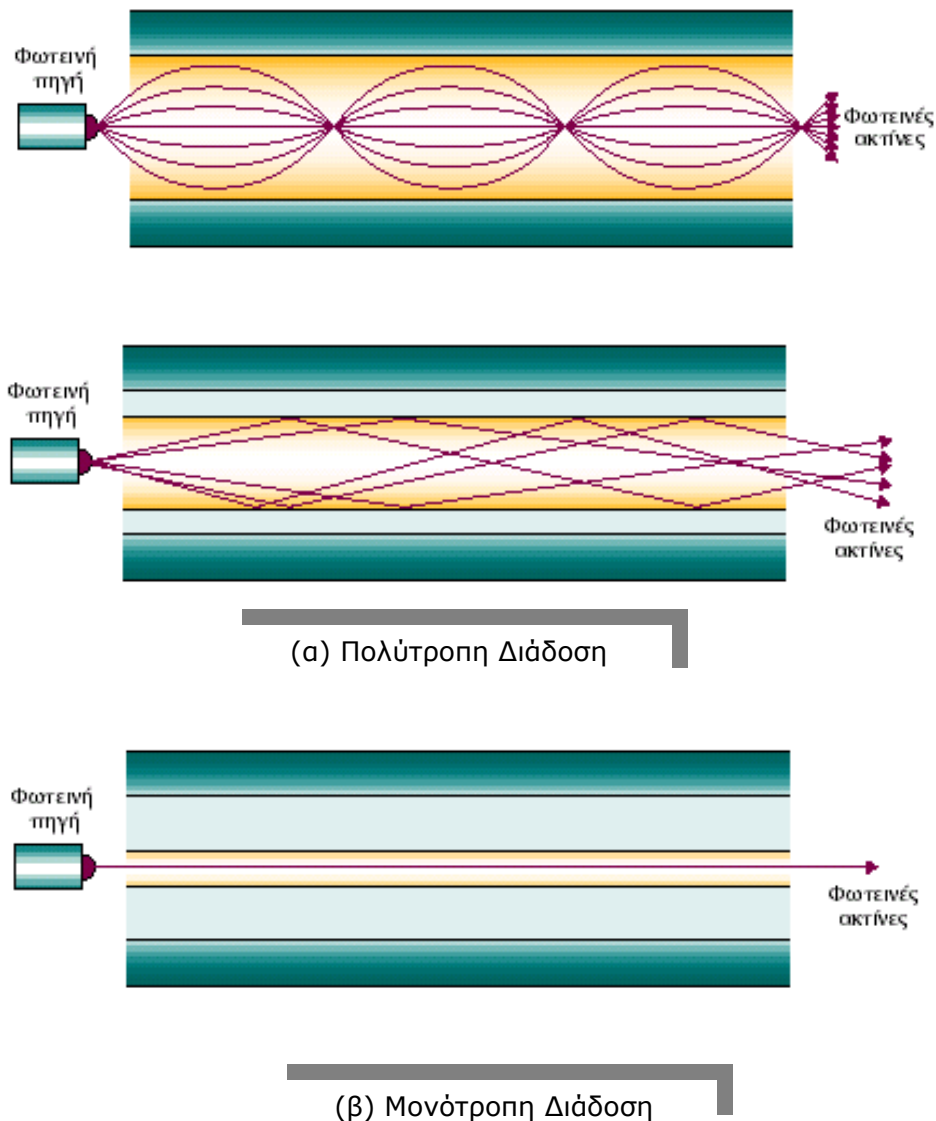
- Η **πολύτροπη** (multimode)
- Η **μονότροπη** (single mode ή monomode)

Στην πολύτροπη διάδοση ένα φωτεινό σήμα, το οποίο αποτελείται από πολλές φωτεινές ακτίνες, εισέρχεται στον πυρήνα της οπτικής ίνας. Η κάθε ακτίνα ανακλάται με διαφορετική γωνία στα τοιχώματα του περιβλήματος. Ανάλογα με τη γωνία με την οποία εισέρχεται η κάθε ακτίνα οδεύει κατά μήκος της οπτικής ίνας διανύοντας διαφορετικό δρόμο. Επειδή ακριβώς υπάρχουν πολλοί τρόποι μετάδοσης που αντιστοιχούν στις διαδρομές των ακτίνων, η διάδοση αυτή ονομάζεται **πολύτροπη**. Οι ίνες που επιτρέπουν αυτού του είδους τη μετάδοση φωτός ονομάζονται **πολύτροπες ίνες**.

Όπως είναι λογικό, ο κάθε τρόπος μετάδοσης έχει διαφορετικό μήκος. Επομένως, η κάθε ακτίνα φτάνει σε διαφορετικό χρόνο στην άλλη άκρη της οπτικής ίνας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική παραμόρφωση του σήματος. Επιπλέον, λόγω του ότι κάποιες από τις ακτίνες δεν επιτυγχάνουν ολική ανάκλαση, η μέθοδος αυτή διάδοσης επιφέρει κάποια πρόσθετη εξασθένηση στο φωτεινό σήμα.

Έχει αποδειχθεί πως όσο μικρότερη είναι η διάμετρος του πυρήνα, τόσο λιγότεροι τρόποι μετάδοσης υπάρχουν. Όταν αυτή η διάμετρος μειωθεί και γίνει παραπλήσια με το μήκος κύματος του φωτεινού σήματος, απομένει μόνο ένας τρόπος μετάδοσης, ο αξονικός. Η μετάδοση ονομάζεται τότε **μονότροπη**.

Η μονότροπη ίνα είναι η καταλληλότερη για ζεύξεις μεγάλων αποστάσεων και εκεί όπου απαιτούνται υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης. Φυσικά οι ίνες αυτές παρουσιάζουν κάποιες δυσκολίες στην εισαγωγή αρκετού φωτός στον πυρήνα τους, μια και η διάμετρός τους είναι πολύ μικρή.



Σχήμα 3.3.4 - Τρόποι μετάδοσης του Σήματος στις Οπτικές Ίνες

3.3.3 Πλεονεκτήματα Οπτικών Ίνων

Στα βασικά πλεονεκτήματα της οπτικής ίνας έναντι των άλλων ενσύρματων μέσων διάδοσης περιλαμβάνονται τα ακόλουθα:

- ✓ **Μεγάλο εύρος ζώνης**
 - ✓ **Δεν επηρεάζονται από ηλεκτρομαγνητικά πεδία**
 - ✓ **Ασφαλές μέσο μετάδοσης**
 - ✓ **Μικρή εξασθένηση**
 - ✓ **Μικρό όγκο και βάρος**
 - ✓ **Δεν παρουσιάζουν κίνδυνο σπινθήρων**
 - ✓ **Δεν επηρεάζονται από την υγρασία με κίνδυνο βραχυκυκλώματος και αύξηση του φαινομένου της διαφωνίας**
 - ✓ **Χαμηλότερο κόστος πρώτης ύλης**
- Οι οπτικές ίνες διαθέτουν πολύ μεγάλο εύρος ζώνης συχνοτήτων, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνουν υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης.

- Λόγω της κατασκευής τους οι οπτικές ίνες είναι ανεπηρέαστες από ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία και κατά συνέπεια από εξωτερικά σήματα θορύβου. Για το λόγο αυτό βρίσκουν μεγάλη εφαρμογή σε περιβάλλοντα υψηλού ηλεκτρομαγνητικού θορύβου.
- Είναι επίσης και ιδιαίτερα ασφαλές μέσο μετάδοσης, καθώς είναι σχεδόν αδύνατη η εξωτερική επέμβαση για την υποκλοπή ή την παρεμβολή των μεταφερόμενων σημάτων.
- Τα σήματα που μεταδίδονται σε οπτικές ίνες εξασθενούν ελάχιστα σε σχέση με άλλα ενσύρματα μέσα. Είναι χαρακτηριστικό ότι ένα φωτεινό σήμα μπορεί να διαδοθεί μέσω οπτικής ίνας, σε αποστάσεις μεγαλύτερες από 150 χιλιόμετρα, χωρίς τη βοήθεια αναμεταδοτών.
- Τόσο ο όγκος, όσο και το βάρος, των οπτικών ινών είναι σημαντικά μικρότερος από άλλα καλώδια. Για παράδειγμα, χάλκινο καλώδιο με εύρος ζώνης 50 MHz και μήκους 500 μέτρων ζυγίζει περίπου 4 τόνους (4 000 κιλά), ενώ το αντίστοιχο οπτικό καλώδιο ζυγίζει λιγότερο από 45 κιλά προσφέροντας παράλληλα μεγαλύτερο εύρος ζώνης.
- Δεδομένου ότι τα οπτικά καλώδια μεταφέρουν οπτικά σήματα και όχι ηλεκτρικά, δεν παρουσιάζουν κίνδυνο σπινθήρων γι αυτό και προτιμώνται σε περιοχές υψηλού κινδύνου από σπινθήρες. Ταυτόχρονα δεν επηρεάζονται από την υγρασία, σε αντίθεση με τα χάλκινα καλώδια που η έκθεσή τους σε υγρασία μπορεί να προκαλέσει βραχυκυκλώματα ή το φαινόμενο της διαφωνίας.
- Το κόστος του πυριτίου (γυαλί), που αποτελεί τη πρώτη ύλη από την οποία κατασκευάζονται οι οπτικές ίνες είναι πολύ πιο χαμηλό από το χαλκό από τον οποίο κατασκευάζονται τα μεταλλικά καλώδια.

Καλωδιακά Συστήματα Οπτικών Ινών

Τα πλεονεκτήματα της μικρής εξασθένησης με την ανάγκη της χρήσης αναμεταδοτών μόνο μετά τα 150 km και η δυνατότητα μεταφοράς μεγάλου όγκου πληροφοριών λόγω του μεγάλου εύρους ζώνης σε σύγκριση με το βάρος τους έχουν καθιερώσει τις οπτικές ίνες στα καλώδια των υποβρυχίων ζεύξεων και στις διηπειρωτικές ζεύξεις

3.3.4 Μειονεκτήματα

Τα αρχικά μειονεκτήματα σχετικά με την πολυπλοκότητα των οπτικών ινών στη σύνδεση, διακλάδωση και βυσμάτωση έχουν σήμερα πλήρως ξεπεραστεί με την κατάλληλη τεχνολογική ωρίμανση.

Οπτικοί Ενισχυτές

Το 1987 οι ερευνητές του Πανεπιστημίου του Southampton στην Αγγλία και της AT&T στην Αμερική, ανακάλυψαν μια ίνα με προσμίξεις, η οποία μπορούσε να ενισχύσει το οπτικό σήμα που μεταδιδόταν στο εσωτερικό της. Η σπουδαία αυτή ανακάλυψη οδήγησε στην ανάπτυξη των οπτικών ενισχυτών, κάνοντας περιττή τη μετατροπή του οπτικού σήματος σε ηλεκτρικό, προκειμένου αυτό να ενισχυθεί και στη συνέχεια να ξαναμετατραπεί σε οπτικό, για να συνεχιστεί η διάδοση.

Εφαρμογές Οπτικών Ινών

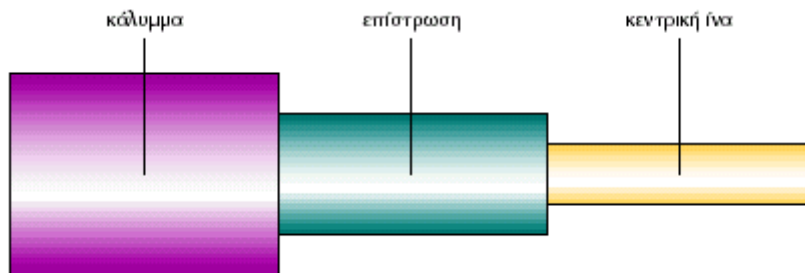
- Σε τοπικά δίκτυα Η/Υ για επικοινωνίες δεδομένων υψηλών ταχυτήτων
- Στα αστικά δίκτυα όπου απαιτείται η κάλυψη μεγάλων αποστάσεων με υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης.
- Σε τηλεπικοινωνιακές ζεύξεις μεγάλων αποστάσεων τόσο επίγειες όσο και υποβρύχιες.
- Σε συνδέσεις σε βιομηχανικές περιοχές με υψηλό επίπεδο ηλεκτρομαγνητικού θορύβου αλλά και υψηλού κινδύνου για εκρήξεις από σπινθήρες.
- Για μετάδοση δεδομένων με υψηλές απαιτήσεις ασφάλειας από εξωτερικές παρεμβολές και υποκλοπές, όπως τα στρατιωτικά δίκτυα.

Πηγές Εκπομπής Οπτικών Σημάτων

Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες πηγών οπτικών σημάτων :

1. Οι πηγές **Λέιζερ (Laser Light Amplification of Stimulated Emission of Radiation)** με τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:
 - Μεγαλύτερη ισχύ εκπομπής
 - Υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης
 - Είναι σχεδόν μονοχρωματική που σημαίνει ότι εκπέμπει σε ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος
2. Οι **δίοδοι εκπομπής (LED - Light Emitting Diode)** με τα εξής πλεονεκτήματα:
 - Χαμηλότερο κόστος
 - Μεγαλύτερη διάρκεια ζωής
 - Μικρή ευαισθησία σε μεταβολές της θερμοκρασίας

Ανακεφαλαίωση - Οπτικές Ίνες



- Οι συνδέσεις με οπτικές ίνες βασίζονται στη μεταφορά των πληροφοριών με τη χρήση του ορατού φωτός ή του υπέρυθρου.
- Οι οπτικές ίνες είναι κατασκευασμένες από γυαλί ή πλαστικό και έχουν την ιδιότητα να εγκλωβίζουν τις οπτικές ακτίνες και να τις οδηγούν προς μία συγκεκριμένη κατεύθυνση. Οι οπτικές ίνες αποτελούνται από δύο βασικά μέρη, τον πυρήνα και το περίβλημα.
- Υπάρχουν δύο τρόποι μετάδοσης σε οπτικές ίνες, η πολύτροπη (multimode) και η μονότροπη (single mode).
- Στα βασικά πλεονεκτήματα της οπτικής ίνας έναντι των άλλων ενσύρματων μέσων διάδοσης περιλαμβάνονται τα ακόλουθα:
 - ✓ Μεγάλο εύρος ζώνης
 - ✓ Δεν επηρεάζονται από ηλεκτρομαγνητικά πεδία
 - ✓ Ασφαλές μέσο μετάδοσης
 - ✓ Μικρή εξασθένηση
 - ✓ Μικρό όγκο και βάρος
 - ✓ Δεν παρουσιάζουν κίνδυνο σπινθήρων
 - ✓ Δεν επηρεάζονται από την υγρασία με κίνδυνο βραχυκυκλώματος και αύξηση του φαινομένου της διαφωνίας
 - ✓ Χαμηλότερο κόστος πρώτης ύλης
- Τα αρχικά μειονεκτήματα σχετικά με την πολυπλοκότητα των οπτικών ινών στη σύνδεση, διακλάδωση και βυσμάτωση έχουν σήμερα πλήρως ξεπεραστεί με την κατάλληλη τεχνολογική ωρίμανση:
- Οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται για ζεύξεις μεγάλων αποστάσεων (διότι έχουν μικρή εξασθένηση με την ανάγκη χρήσης αναμεταδοτών μόνο μετά τα 150 km) και για μεταφορά μεγάλου όγκου πληροφοριών (διότι προσφέρουν μεγάλο εύρος ζώνης).
- Γι αυτό το λόγο οι οπτικές ίνες έχουν επικρατήσει και στα καλώδια των υποβρυχίων ζεύξεων.

Οπτικές Ίνες - Ερωτήσεις Μαθήματος



1. Περιγράψτε την κατασκευή του καλωδίου οπτικών ινών.
2. Ποιο είναι το μέσο μετάδοσης στις οπτικές ίνες;
3. Ποια είναι τα βασικά πλεονεκτήματα των οπτικών ινών σε σχέση με τα άλλα μέσα μετάδοσης ;
4. Αναφέρετε τους δυο τρόπους μετάδοσης του σήματος στις οπτικές ίνες.
5. Αναφέρετε γιατί οι οπτικές ίνες έχουν επικρατήσει στα υποβρύχια καλώδια.

Μάθημα 3.4 - Ασύρματα Μέσα Μετάδοσης

ΣΤΟΧΟΙ

Στο τέλος αυτού του μαθήματος ο/η μαθητής/τρια πρέπει να:

- Αναφέρει τις κύριες ασύρματες ζεύξεις:
 - ο Επίγειες μικροκυματικές ζεύξεις
 - ο Δορυφορικές Επικοινωνίες
 - ο Ασύρματη Τηλεφωνία
 - ο Κυψελωτή Τηλεφωνία
 - ο Ασύρματα Δίκτυα Ηλεκτρονικών Υπολογιστών
- Αναφέρει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των ασυρμάτων μέσων μετάδοσης.

3.4.1 Ασύρματα Μέσα Μετάδοσης

Εκτός από τα ενσύρματα μέσα μετάδοσης (συνεστραμμένα χάλκινα ζεύγη, ομοαξονικά καλώδια και οπτικές ίνες) που εξετάστηκαν στα προηγούμενα μαθήματα, μια από τις σημαντικότερες ζεύξεις, με πολλαπλές εφαρμογές, είναι η ασύρματη μετάδοση.

Χαρακτηριστική εφαρμογή είναι η χρήση παραδοσιακών ασυρμάτων σε εφαρμογές όπου η ενσύρματη επικοινωνία δεν είναι εφικτή.

Στις τηλεπικοινωνίες χρησιμοποιούμε τα πιο κάτω συστήματα ασύρματων επικοινωνιών:

- ✓ **Επίγειες μικροκυματικές ζεύξεις**
- ✓ **Δορυφορικές Επικοινωνίες**
- ✓ **Ασύρματη Τηλεφωνία**
- ✓ **Κυψελωτή Τηλεφωνία**
- ✓ **Ασύρματα Δίκτυα Ηλεκτρονικών Υπολογιστών**

Ασύρματη ονομάζεται η ζεύξη που είναι ανεξάρτητη από υλικά μέσα (όπως τα καλώδια) και χρησιμοποιεί ως μέσο διάδοσης τον αέρα ή το κενό. Οι ασύρματες ζεύξεις χρησιμοποιούνται σε διάφορες περιοχές συχνοτήτων του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος ανάλογα με τις απαιτήσεις της κάθε εφαρμογής.

Η ασύρματη μετάδοση στηρίζεται στη διάδοση σημάτων στην ατμόσφαιρα μέσω της χρήσης κατάλληλων κεραιών. Η **κεραία** είναι ένα σύστημα κατάλληλου σχήματος, το οποίο επιτρέπει στην ενέργεια να περάσει από το ενσύρματο μέσο μεταφοράς (καλώδιο) στον ελεύθερο χώρο (ασύρματο μέσο), με όσο το δυνατόν καλύτερη απόδοση.

Οι κεραιές εκπομπής, τροφοδοτούνται με εναλλασσόμενο ρεύμα από τον πομπό και ακτινοβολούν στον χώρο ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Οι κεραιές λήψεως λαμβάνουν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα από το χώρο και τα μετατρέπουν σε ηλεκτρικά σήματα. Οι βασικές ιδιότητες που καθορίζουν τη λειτουργία μιας κεραιάς είναι το σχήμα της και οι διαστάσεις της σε σχέση με το μήκος κύματος. Αυτά καθορίζουν και την κατεύθυνση στην οποία θα ακτινοβολούνται τα κύματα, αν είναι κεραιά εκπομπής, ή την κατεύθυνση από την οποία θα λαμβάνονται τα κύματα, αν είναι κεραιά λήψης.

3.4.2 Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Ασύρματων Μέσων

- ✓ **ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ**
 - Ανεξαρτησία της από υλικά μέσα διάδοσης.
Υπάρχουν μάλιστα χαρακτηριστικές περιπτώσεις ζεύξεων που η επικοινωνία θα ήταν αδύνατη χωρίς τη χρήση ασυρμάτων μεθόδων. Παραδείγματα τέτοιων ζεύξεων είναι οι επικοινωνίες μεταξύ πλοίων ή μεταξύ πλοίου και στεριάς, μεταξύ εδάφους και αεροπλάνων κλπ.
- ✓ **ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ**
 - Μεγάλη ισχύς, προκειμένου τα σήματα να διαδοθούν σε μεγάλες αποστάσεις, λόγω της μεγάλης εξασθένησης που παρουσιάζουν τα σήματα κατά τη διάδοσή τους στην ατμόσφαιρα.
 - Μεγάλη ευαισθησία τους σε παρεμβολές είτε φυσικές (θόρυβος) είτε τεχνικές. Κατά συνέπεια η ασφάλεια των μεταδιδόμενων πληροφοριών είναι χαμηλή, μια και είναι σχετικά εύκολη υπόθεση είτε η παρεμβολή τους είτε η υποκλοπή τους.

3.4.3 Επίγειες μικροκυματικές ζεύξεις

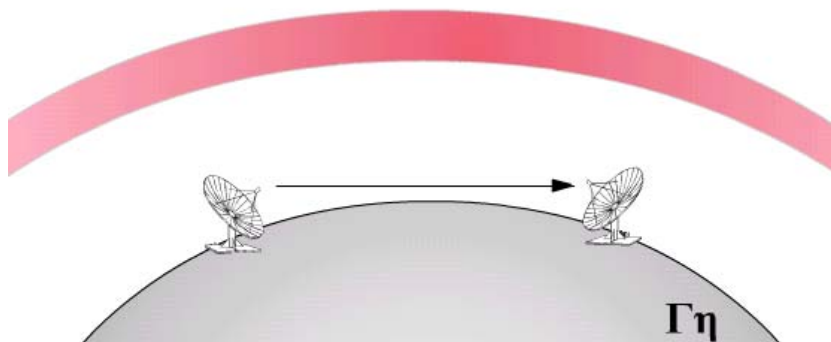
Τα χαρακτηριστικά των επίγειων μικροκυματικών ζεύξεων είναι:

- ✓ Ψηλός ρυθμός μετάδοσης δεδομένων
- ✓ Λίαν κατευθυντικές και άρα περισσότερο ασφαλείς από άλλες ασύρματες ζεύξεις
- ✓ Ευαισθησία στα άσχημα καιρικά φαινόμενα
- ✓ Οπτική επαφή μεταξύ πομπού και δέκτη

Οι επίγειες ασύρματες επικοινωνίες χρησιμοποιούν τη **μικροκυματική ζώνη συχνοτήτων**, η οποία καταλαμβάνει την περιοχή από 3 GHz - 30 GHz. Η μετάδοση σε αυτή την περιοχή παρουσιάζει μεγάλα πλεονεκτήματα, ανάμεσα στα οποία είναι και ο ψηλός ρυθμός μετάδοσης δεδομένων.

Η εξέλιξη της μικροκυματικής τεχνολογίας συνδέεται άμεσα με την ανάπτυξη των συστημάτων ραντάρ. Τα περισσότερα συστήματα αυτής της κατηγορίας χρησιμοποιούν συχνότητες από 2 έως 18 GHz.

Οι μικροκυματικές ζεύξεις χρησιμοποιούν χοανοκεραίες, οι οποίες συνδυάζονται σχεδόν πάντα με κοίλες μεταλλικές παραβολικές επιφάνειες, που ονομάζονται παραβολικά κάτοπτρα. Οι κεραίες που προκύπτουν συχνά ονομάζονται και παραβολικές κεραίες.



Σχήμα 3.4.1 Παράδειγμα Επίγειας Μικροκυματικής Ζεύξης

Οι μικροκυματικές ζεύξεις είναι αρκετά κατευθυντικές, ειδικά στις υψηλότερες μικροκυματικές συχνότητες. Για το λόγο αυτό είναι περισσότερο ασφαλείς από τις κοινές ασύρματες ζεύξεις.

Πράγματι, για να παρεμβληθεί ή να υποκλαπεί μια μικροκυματική ζεύξη, θα πρέπει κάποιος να βρεθεί με μία κεραία στην ευθεία που ενώνει το πομπό με το δέκτη.

Οι μικροκυματικές ζεύξεις χρησιμοποιούνται ευρύτατα από τηλεπικοινωνιακούς οργανισμούς, σε λίαν κατευθυντικές ζεύξεις με μεγάλο εύρος ζώνης και μεγάλο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων για συνδέσεις "**σημείου προς σημείο**" (**point to point**), με μικρή ισχύ εκπομπής.

Επίσης χρησιμοποιούνται και στην ραδιοφωνία και τηλεόραση, όπως για παράδειγμα στη σύνδεση ραδιοθαλάμων και τηλεθαλάμων στις αστικές περιοχές με κέντρα εκπομπής εκτός πόλεων και για εξωτερικές μεταδόσεις γεγονότων και αθλητικών συναντήσεων.

Στα μειονεκτήματα των μικροκυματικών ζεύξεων θα πρέπει να συμπεριληφθεί η ευαισθησία τους στα άσχημα καιρικά φαινόμενα, καθώς μια κακοκαιρία είναι πιθανόν να οδηγήσει ακόμη και στη διακοπή της ζεύξης. Το σημαντικότερο όμως χαρακτηριστικό των μικροκυματικών ζεύξεων είναι ότι απαιτείται **οπτική επαφή** μεταξύ πομπού και δέκτη. Προκειμένου να επιτευχθούν ζεύξεις μεγαλύτερων αποστάσεων, απαιτείται η χρήση αναμεταδοτών.

Σήμερα οι περισσότερες επίγειες μικροκυματικές ζεύξεις έχουν αντικατασταθεί με καλώδια οπτικών ινών λόγω αυτών των μειονεκτημάτων.

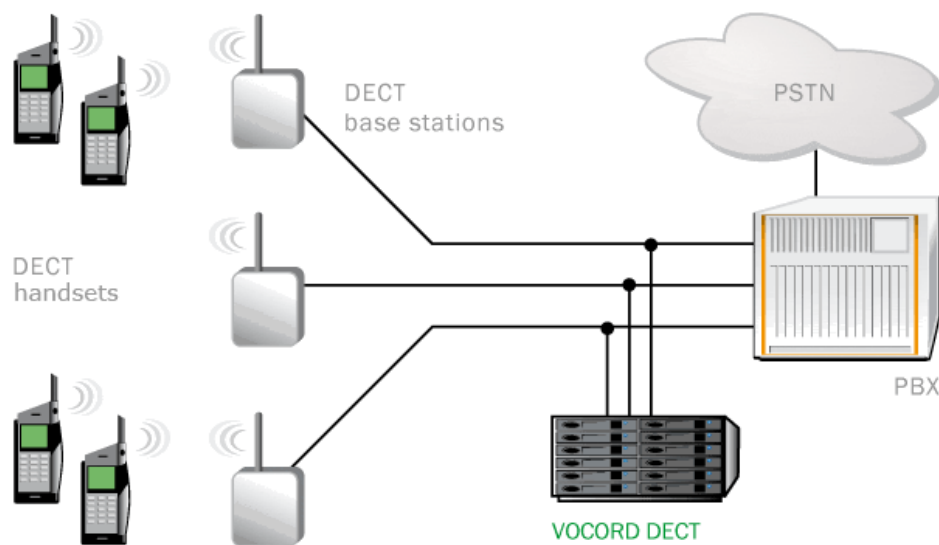
3.4.4 Ασύρματη Τηλεφωνία

Η έννοια της **ασύρματης τηλεφωνίας (cordless Telephony)** συνδέεται με τη δυνατότητα ενός συνδρομητή να συνδεθεί με το υπάρχον τηλεφωνικό δίκτυο μέσω μίας ασύρματης συσκευής, δηλαδή μίας συσκευής που δε χρειάζεται καλώδιο για να στείλει ή να λαμβάνει τηλεφωνικά σήματα.

Χρησιμοποιεί ευρέως το πρότυπο **DECT** με συχνότητες από 1880 MHz μέχρι 1930 MHz.

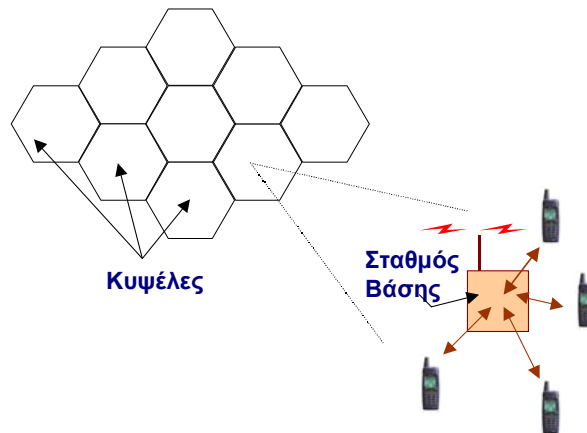
Τα ασύρματα τηλέφωνα είναι συνηθισμένα τηλέφωνα, όπου όμως το ακουστικό και το μικρόφωνό τους δεν απαιτεί καλωδιακή σύνδεση με τη σταθερή βάση του τηλεφώνου. Μέσω της σταθερής (καλωδιωμένης) βάσης, ο συνδρομητής συνδέεται με το τηλεφωνικό δίκτυο.

Γι' αυτό το λόγο τα ασύρματα τηλέφωνα έχουν περιορισμένη εμβέλεια, αφού η ισχύς που εκπέμπεται είναι μόνο 10 mW. Η επιτυχία και η διάδοση των ασυρμάτων τηλεφώνων έφερε και τα προβλήματα με μεγαλύτερο εκείνο του κορεσμού των χρησιμοποιούμενων συχνοτήτων λόγω της ποικιλίας των υπαρχόντων συστημάτων και του μεγάλου αριθμού συσκευών που άρχισαν να λειτουργούν ταυτόχρονα στους ίδιους χώρους.



3.4.5 Κυψελωτή Τηλεφωνία

Τα **κυψελωτά δίκτυα της κινητής τηλεφωνίας** βασίζονται στη διαίρεση μιας μεγάλης γεωγραφικής περιοχής σε μικρότερες, που ονομάζονται **κυψέλες**. Έτσι οι τηλεπικοινωνιακοί πομποί είναι μικρής ισχύος, ενώ ταυτόχρονα μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι ίδιες συχνότητες σε μη γειτονικές κυψέλες. Η κάθε κυψέλη διαθέτει ένα σταθερό σταθμό βάσης.

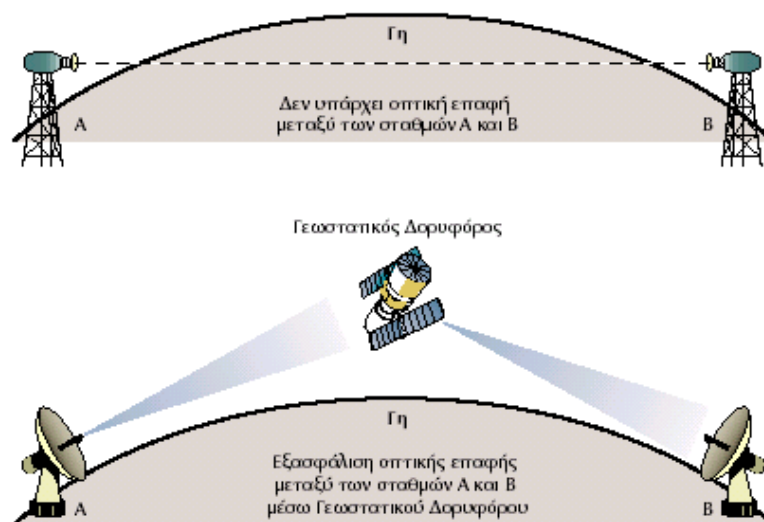


Σχήμα 3.4.2 Δίκτυο Κυψελωτής Τηλεφωνίας

Το σύστημα GSM της κινητής τηλεφωνίας που χρησιμοποιείται παγκόσμια έχει βασικό στοιχείο τη μετατροπή του σήματος φωνής σε ψηφιακό σήμα και λειτουργεί στη ζώνη συχνοτήτων UHF στα 900 MHz και 1 800 MHz. Ο κάθε συνδρομητής επιτρέπεται να κινείται τόσο μέσα στη ίδια κυψέλη όσο και μεταξύ διαφορετικών κυψελών, χωρίς να υπάρχει διακοπή της επικοινωνίας, ακόμη και όταν ο χρήστης κινείται με ταχύτητα 240 χιλιομέτρων την ώρα.

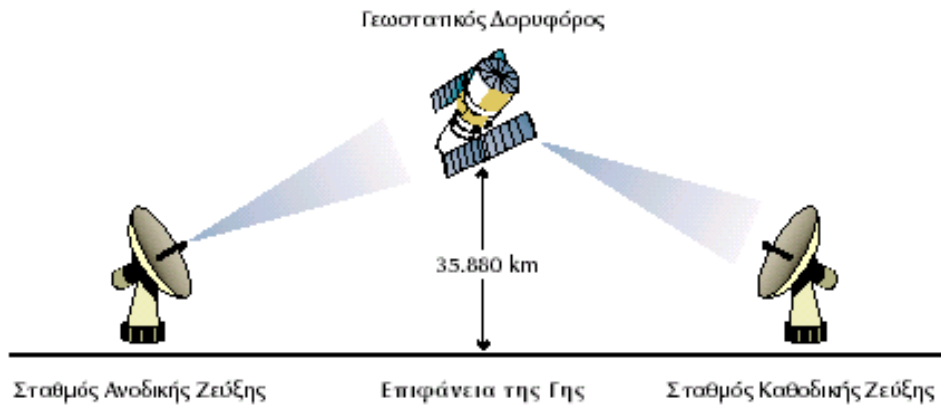
3.4.6 Δορυφορικές ζεύξεις

Τα προβλήματα στη μετάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων σε μεγάλες αποστάσεις λόγω του σχήματος και της καμπυλότητας της γης και της μορφολογίας του εδάφους που εμποδίζουν την απαιτούμενη οπτική επαφή μεταξύ κεραιών, μπορούν να λυθούν με τη χρήση αναμεταδοτικών σταθμών σε τακτές αποστάσεις ή με τη χρήση καλωδίων. Αυτές οι μέθοδοι όμως, είναι δαπανηρές και όταν παρεμβάλλονται άλλες ενδιαμέσες χώρες, όχι μόνο αυξάνουν το κόστος της σύνδεσης αλλά και χρειάζονται διακρατικές συμφωνίες για να μπορέσουν να εφαρμοστούν. Έτσι οι δορυφορικές επικοινωνίες προσφέρουν μια φτηνή υπαλλακτική λύση.



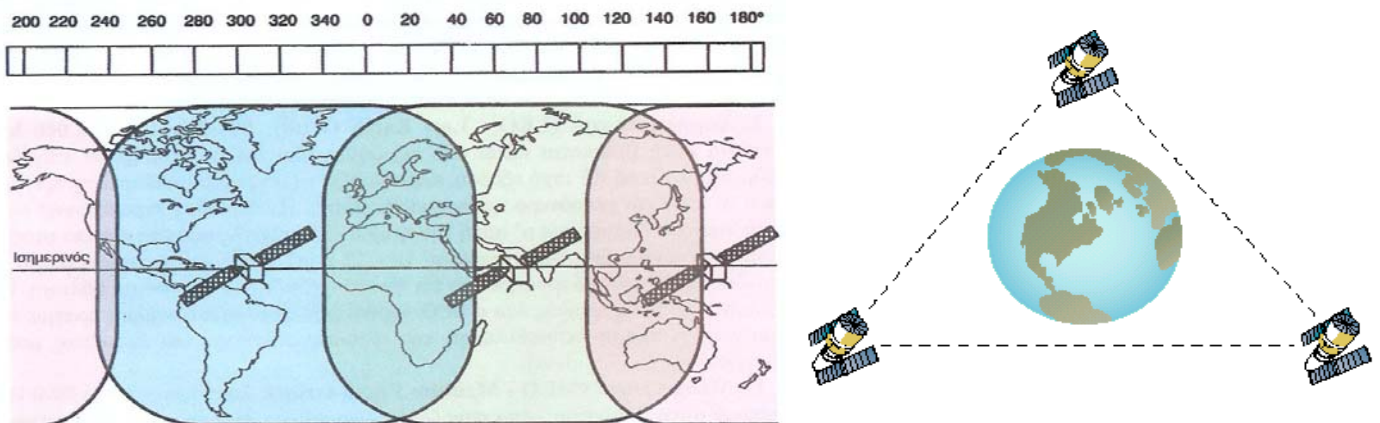
Σχήμα 3.4.3 Καμπυλότητα της Γης

Οι δορυφορικές ζεύξεις χρησιμοποιούν **γεωστατικούς δορυφόρους** ως **αναμεταδότες**, οι οποίοι τίθενται σε τροχιά πάνω από τον Ισημερινό σε ύψος **35 800 χιλιομέτρα** από την επιφάνεια της γης και με μια ταχύτητα περιστροφής ίση με τη περιστροφή της γης γύρω από τον άξονα της, ώστε να μένουν σταθεροί πάνω από το ίδιο σημείο.



Σχήμα 3.4.4 Γεωστατικός Δορυφόρος

Η γεωστατική τροχιά επιτρέπει τη κάλυψη ολόκληρης της γης με μόνο τρεις δορυφόρους.



Σχήμα 3.4.5 Κάλυψη Γεωστατικών Δορυφόρων

3.4.7 Ασύρματα Δίκτυα Ηλεκτρονικών Υπολογιστών

Τα **ασύρματα δίκτυα WiFi** επιτρέπουν σε ένα ηλεκτρονικό υπολογιστή να συνδεθεί ασύρματα σε ένα δίκτυο με στόχο τη πρόσβαση στο Διαδίκτυο είτε στο σπίτι είτε σε διάφορους δημόσιους χώρους όπως καφετέριες, σταθμούς λεωφορίων ή τρένων, αεροδρομίων και λιμανιών.

Χρησιμοποιούνται μικροκυματικές συχνότητες και το πρότυπο **IEEE 802**.

Ανακεφαλαίωση - Ασύρματα Μέσα Μετάδοσης

- **Ασύρματη** ονομάζεται η ζεύξη που είναι ανεξάρτητη από υλικά μέσα (όπως τα καλώδια) και χρησιμοποιεί ως μέσο διάδοσης τον αέρα ή το κενό. Οι ασύρματες ζεύξεις χρησιμοποιούνται σε διάφορες περιοχές συχνοτήτων του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος ανάλογα με τις απαιτήσεις της κάθε εφαρμογής:

- ✓ **Επίγειες μικροκυματικές ζεύξεις**
- ✓ **Δορυφορικές Επικοινωνίες**
- ✓ **Ασύρματη Τηλεφωνία**
- ✓ **Κυψελωτή Τηλεφωνία**
- ✓ **Ασύρματα Τοπικά Δίκτυα Ηλεκτρονικών Υπολογιστών**

Πλεονεκτήματα ασυρμάτων μέσων μετάδοσης

- Ανεξαρτησία της από υλικά μέσα διάδοσης.

Μειονεκτήματα ασυρμάτων μέσων μετάδοσης

- Μεγάλη ισχύς, προκειμένου τα σήματα να διαδοθούν σε μεγάλες αποστάσεις λόγω της μεγάλης εξασθένησης των σημάτων στη διάδοσή τους.
- Μεγάλη ευαισθησία τους σε παρεμβολές είτε φυσικές (θόρυβος) είτε τεχνικές.
- Χαμηλή ασφάλεια των μεταδιδόμενων πληροφοριών.

- Οι **επίγειες μικροκυματικές ζεύξεις** χρησιμοποιούν τη **μικροκυματική ζώνη συχνοτήτων**, η οποία καταλαμβάνει την περιοχή από 3 GHz - 30 GHz.

Πλεονεκτήματα:

- Μεγάλο εύρος ζώνης και ψηλό ρυθμό μετάδοσης δεδομένων
- Περισσότερο ασφαλείς από τις κοινές ασύρματες ζεύξεις, διότι συγκεκριμένα στις ψηλότερες συχνότητες οι συνδέσεις είναι αρκετά κατευθυντικές.

Μειονεκτήματα:

- Ευαισθησία τους στα άσχημα καιρικά φαινόμενα
- Απαιτείται οπτική επαφή μεταξύ πομπού και δέκτη
- Η **ασύρματη τηλεφωνία** δίνει τη δυνατότητα σε ένα συνδρομητή να συνδεθεί με το υπάρχον τηλεφωνικό δίκτυο μέσω μίας ασύρματης συσκευής, δηλαδή μίας συσκευής που δε χρειάζεται καλώδιο για να στείλει ή να λαμβάνει τηλεφωνικά σήματα.
- Τα **κυψελωτά δίκτυα** της κινητής τηλεφωνίας βασίζονται στη διαίρεση μιας μεγάλης γεωγραφικής περιοχής σε μικρότερες, που ονομάζονται κυψέλες. Το σύστημα GSM της κινητής τηλεφωνίας που χρησιμοποιείται παγκόσμια έχει βασικό στοιχείο τη μετατροπή του σήματος φωνής σε ψηφιακό σήμα και λειτουργεί στη ζώνη συχνοτήτων UHF.
- Οι **δορυφορικές ζεύξεις** χρησιμοποιούν γεωστατικούς δορυφόρους, που παραμένουν σταθεροί πάνω από το ίδιο σημείο της γης. Η γεωστατική τροχιά επιτρέπει τη κάλυψη ολόκληρης της γης με μόνο τρεις δορυφόρους.
- Τα **ασύρματα δίκτυα Ηλεκτρονικών Υπολογιστών** επιτρέπουν τη ασύρματη σύνδεση με το Διαδίκτυο είτε στο σπίτι είτε σε δημόσιους χώρους.

Ασύρματα Μέσα Μετάδοσης - Ερωτήσεις Μαθήματος

1. Τι ονομάζουμε ασύρματες ζεύξεις;
2. Ποιες κατηγορίες επικοινωνιών χρησιμοποιούν ασύρματες ζεύξεις;
3. Ποια τα πλεονεκτήματα και ποια τα μειονεκτήματα των ασύρματων ζεύξεων;
4. Να αναφέρατε παραδείγματα όπου οι ασύρματες ζεύξεις είναι απαραίτητες.
5. Να αναφέρετε τα χαρακτηριστικά των επίγειων μικροκυματικών ζεύξεων;
6. Να αναφέρετε τι είναι η γεωστατική δορυφορική τροχιά.

Ενότητα 4 - Αναλογικές Διαμορφώσεις

- Μάθημα 4.1 - Η αναγκαιότητα της Διαμόρφωσης
- Μάθημα 4.2 - Διαμόρφωση κατά Πλάτος
- Μάθημα 4.3 - Διαμόρφωση κατά Συχνότητα

Μάθημα 4.1 - Η αναγκαιότητα της Διαμόρφωσης

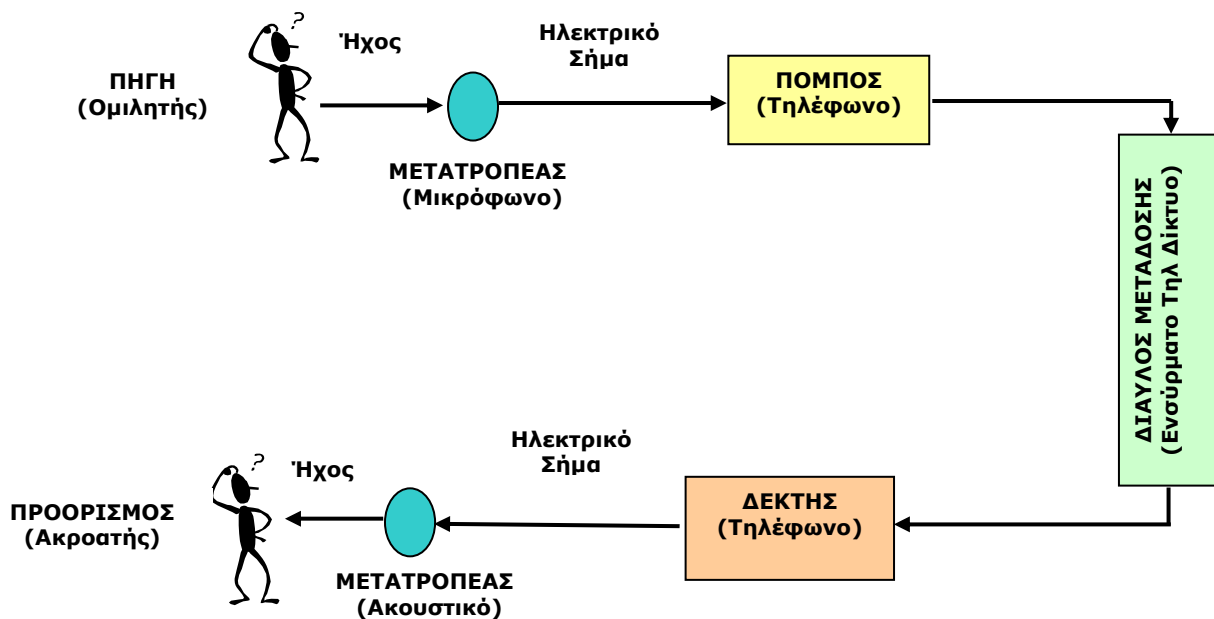
ΣΤΟΧΟΙ

Στο τέλος αυτού του μαθήματος ο/η μαθητής/τρια πρέπει να:

- Αναγνωρίζει την αναγκαιότητα της διαμόρφωσης των ηλεκτρικών σημάτων βασικής ζώνης.
- Ορίζει και εξηγεί τους όρους Διαμόρφωση και Αποδιαμόρφωση.
- Αναφέρει τις τεχνικές διαμόρφωσης αναλογικών σημάτων:
 - ο Διαμόρφωση κατά Πλάτος
 - ο Διαμόρφωση κατά Συχνότητα

4.1.1 Η ανάγκη για διαμόρφωση

Σ' ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα μετά από τον μετατροπέα όπου το μήνυμα μετατρέπεται σε ηλεκτρικό σήμα, ακολουθεί ο πομπός. Ο σκοπός του πομπού είναι να ενισχύσει το σήμα και να το "διαμορφώσει" κατάλληλα, ώστε να μπορεί να μεταδοθεί μέσα από το δίαυλο μετάδοσης και να ληφθεί από το δέκτη.



Σχήμα 4.1.1 - Σύστημα Ενσύρματης Τηλεφωνικής Επικοινωνίας

Στη μετάδοση ενός μόνο σήματος μέσα από μια καλωδιακή σύνδεση, όπως την περίπτωση της ενσύρματης τηλεφωνίας το σήμα μπορεί να μεταδοθεί χωρίς περαιτέρω επεξεργασία.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.1.1 που δείχνει ένα τηλεφωνικό σύστημα επικοινωνίας, η φωνή, αφού μετατραπεί με τη βοήθεια του μικροφώνου σε ηλεκτρικό σήμα, μεταδίδεται απευθείας μέσω του ενσύρματου τηλεφωνικού δικτύου σε μια άλλη τηλεφωνική συσκευή. Εκεί με τη βοήθεια του ακουστικού, αναπαράγεται ο αρχικός ήχος.

Στην περίπτωση όμως της ασύρματης επικοινωνίας όπως για παράδειγμα στη ραδιοφωνία και στην τηλεόραση, τα ακουστικά και τα οπτικά σήματα θα πρέπει να τύχουν περαιτέρω επεξεργασίας πριν μεταδοθούν. Αφού τα σήματα ενισχυθούν και διαμορφωθούν στον πομπό, μετατρέπονται σε ηλεκτρομαγνητικά κύματα και εκπέμπονται από την κεραία ώστε να διαδοθούν στο χώρο με την ταχύτητα του φωτός.

Όσο μεγαλύτερη είναι η συχνότητα ενός σήματος τόσο ευκολότερα ακτινοβολείται η ενέργεια του στον κενό χώρο. Δηλαδή, πιο εύκολα ακτινοβολείται και διαδίδεται σήμα με συχνότητα 100 MHz από ότι σήμα συχνότητας 1 kHz.

Επίσης, για να ακτινοβοληθεί επιτυχώς ένα σήμα, απαιτείται το μήκος της κεραίας να είναι ανάλογο προς το μήκος κύματος του σήματος.

Το μήκος κύματος ενός σήματος με συχνότητα 1 kHz είναι 300 km. Το μήκος κύματος ενός σήματος με συχνότητα 100 MHz είναι 3 m. Καταλαβαίνουμε λοιπόν, ότι πιο εύκολα κατασκευάζεται μια κεραία για σήμα 100 MHz από ότι για σήμα 1 kHz. Θα ήταν ίσως πρακτικά αδύνατο να κατασκευάσουμε κεραία μήκους 300 km.

Το συμπέρασμα είναι ότι φαίνεται τουλάχιστον άστοχο να προσπαθήσουμε να μετατρέψουμε απ' ευθείας το ακουστικό σήμα με εύρος ζώνης 20kHz σε ηλεκτρομαγνητικό κύμα, για να διαδοθεί στον χώρο. Θα απαιτούσε μια δυσπροσάρμοστη θεόρατη κεραία.

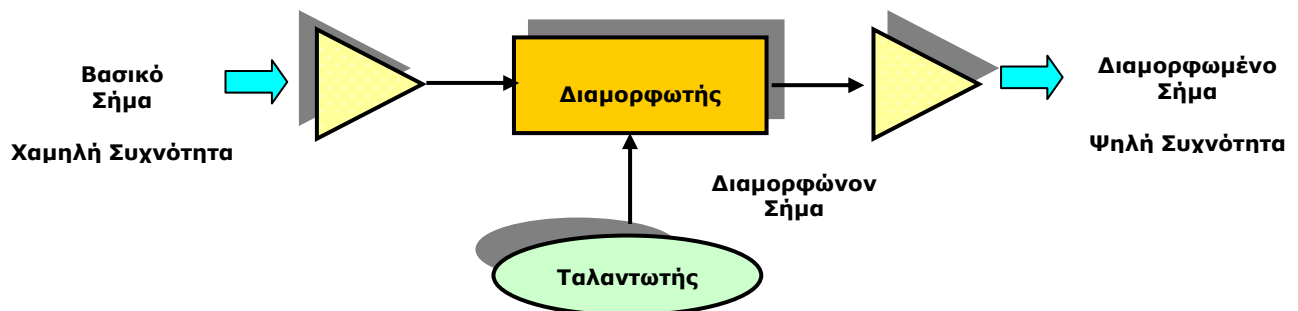
Η διαδικασία αλλαγής του σήματος ώστε να καταστεί κατάλληλο για να μεταδοθεί ονομάζεται **'διαμόρφωσης του σήματος'**.

Το **βασικό σήμα** (δηλαδή, το σήμα της πληροφορίας) 'φορτώνεται' με κάποιο τρόπο πάνω σε ένα άλλο σήμα πολύ ψηλότερης συχνότητας, που μεταδίδεται ευκολότερα, για να το μεταφερθεί στο κανάλι μετάδοσης. Λόγω του ρόλου του το σήμα ψηλής συχνότητας ονομάζεται **'φέρον σήμα'**. Το βασικό σήμα ονομάζεται **'διαμορφώνον σήμα'** ή **'σήμα διαμόρφωσης'**.

Στο δέκτη θα πρέπει να γίνει η ανάποδη διαδικασία, για να 'ξεφορτωθεί' το ωφέλιμο σήμα από το φέρον σήμα ψηλής συχνότητας. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται **'αποδιαμόρφωση'**.

4.1.2 Γενικά περί Διαμορφώσεων

Εφόσον το βασικό σήμα που αντιπροσωπεύει την πληροφορία στις περισσότερες περιπτώσεις δεν είναι απ' ευθείας μεταδόσιμο, καταφεύγουμε στην αξιοποίηση (χρήση) ενός σήματος πολύ μεγαλύτερης συχνότητας, που παίζει το ρόλο του μεταφορέα και γι' αυτό ονομάζεται **φέρον σήμα**, Σχήμα 4.1.2.



Σχήμα 4.1.2 - Η διαδικασία της διαμόρφωσης

Το αναλογικό αυτό σήμα χαρακτηρίζεται από δύο βασικά μεγέθη:

- Το πλάτος
- Τη συχνότητα

Το βασικό σήμα (το σήμα της πληροφορίας) διαμορφώνει το φέρον σήμα μεταβάλλοντας ένα από τα δύο μεγέθη του. Η μεταβολή γίνεται με τέτοιο τρόπο, ώστε να είναι ενδεικτική της πληροφορίας που θα μεταφέρει το φέρον σήμα.

Η συχνότητα του φέροντος σήματος επιλέγεται με τέτοιο τρόπο ώστε να διασφαλίζει ιδανικές συνθήκες διέλευσης του σήματος από το συγκεκριμένο κανάλι μετάδοσης.

4.1.3 Είδη Διαμορφώσεων

- √ **Αναλογικές διαμορφώσεις** Όταν το βασικό σήμα είναι αναλογικό και το φέρον σήμα είναι ημιτονικό.
 - Διαμόρφωση κατά Πλάτος
 - Διαμόρφωση κατά Συχνότητα
- √ **Ψηφιακές διαμορφώσεις** Όταν το βασικό σήμα είναι ψηφιακό (π.χ. προέρχεται από ένα ηλεκτρονικό υπολογιστή).

4.1.4 Διαμορφώσεις Αναλογικού Σήματος

- **Διαμόρφωση κατά Πλάτος (Amplitude Modulation - AM)**
- **Διαμόρφωση κατά Συχνότητα (Frequency Modulation-FM)**
- √ **Διαμόρφωση κατά Πλάτος (Amplitude Modulation - AM)**

Στη Διαμόρφωση κατά Πλάτος (**A**mplitude **M**odulation) ή **AM**, το βασικό σήμα μεταβάλλει ή διαμορφώνει το πλάτος του φέροντος σήματος.
- √ **Διαμόρφωση κατά Συχνότητα (Frequency Modulation-FM)**

Στη Διαμόρφωση κατά Συχνότητα (**F**requency **M**odulation) ή **FM**, το βασικό σήμα μεταβάλλει ή διαμορφώνει τη συχνότητα του φέροντος σήματος.

Ανακεφαλαίωση - Η αναγκαιότητα της Διαμόρφωσης

- Το βασικό σήμα που αντιπροσωπεύει την πληροφορία στις περισσότερες περιπτώσεις δεν είναι απ' ευθείας μεταδίδσιμο.
- Για τη μετάδοση ενός βασικού σήματος, καταφεύγουμε στην αξιοποίηση (χρήση) ενός σήματος πολύ μεγαλύτερης συχνότητας, που παίζει το ρόλο του μεταφορέα και γι' αυτό ονομάζεται φέρον σήμα.
- Το βασικό σήμα (το σήμα της πληροφορίας) διαμορφώνει το φέρον σήμα μεταβάλλοντας ένα από τα δύο βασικά μεγέθη του:
 - Το πλάτος
 - Τη συχνότητα
- Στη Διαμόρφωση κατά Πλάτος (Amplitude Modulation) ή AM, το βασικό σήμα μεταβάλλει ή διαμορφώνει το πλάτος του φέροντος σήματος.
- Στη Διαμόρφωση κατά Συχνότητα (Frequency Modulation) ή FM, το βασικό σήμα μεταβάλλει ή διαμορφώνει τη συχνότητα του φέροντος σήματος.

Η αναγκαιότητα της Διαμόρφωσης - Ερωτήσεις Μαθήματος

1. Γιατί είναι αναγκαία η διαμόρφωση του βασικού σήματος σε ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα;
2. Να αναφέρετε τι είναι η διαδικασία της διαμόρφωσης και αποδιαμόρφωσης.
3. Να αναφέρετε τα δύο είδη των αναλογικών διαμορφώσεων.
4. Τι είναι η διαμόρφωση κατά πλάτος;
5. Τι είναι η διαμόρφωση κατά συχνότητα;

Μάθημα 4.2 - Διαμόρφωση κατά Πλάτος

ΣΤΟΧΟΙ

Στο τέλος αυτού του μαθήματος ο/η μαθητής/τρια πρέπει να:

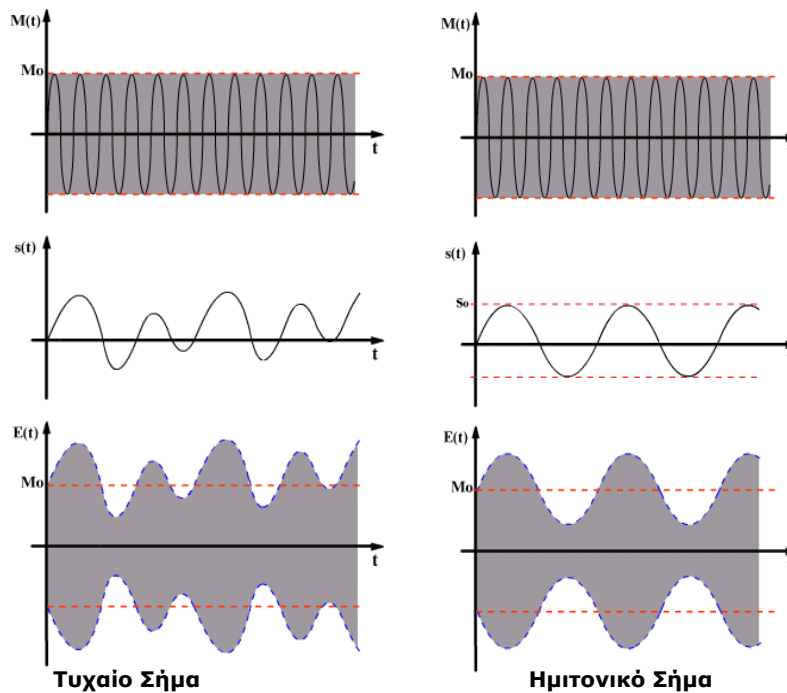
- Αναφέρει τα βασικά χαρακτηριστικά της Διαμόρφωσης κατά Πλάτος(AM).
- Σχεδιάζει τις κυματομορφές του αναλογικού σήματος χαμηλής συχνότητας, του φέροντος σήματος ψηλής συχνότητας και του διαμορφωμένου κατά πλάτος (AM) σήματος στο πεδίο του χρόνου και στο πεδίο της συχνότητας.
- Εξηγεί το Βαθμό ή Συντελεστή Διαμόρφωσης του AM σήματος.
- Ορίζει το εύρος ζώνης του AM σήματος.
- Αναφέρει το λόγο για τον οποίο καταφεύγουμε στην καταστολή της φέρουσας στις εκπομπές AM.
- Γνωρίζει και εξηγεί τη Διαμόρφωση Διπλής Πλευρικής Ζώνης.
- Γνωρίζει και εξηγεί τη Διαμόρφωση Απλής ή Μονής Πλευρικής Ζώνης, SSB.
- Εξηγεί τα πλεονεκτήματα της Διαμόρφωσης SSB.

4.2.1 Διαμόρφωση κατά Πλάτος (Amplitude Modulation - AM)

Όταν το σήμα πληροφορίας μεταβάλλει/διαμορφώνει το πλάτος του φέροντος σήματος, πρόκειται για **Διαμόρφωση Πλάτους (Amplitude Modulation) ή AM**, Σχήμα 4.2.1.

Διαμόρφωση Πλάτους ορίζεται η διαδικασία κατά την οποία το πλάτος του φέροντος σήματος διαμορφώνεται από το σήμα πληροφορίας που είναι σαφώς χαμηλότερης συχνότητας.

Το αποτέλεσμα είναι ένα διαμορφωμένο σήμα AM, του οποίου οι μεταβολές του πλάτους του μεταφέρουν ουσιαστικά τη χρήσιμη πληροφορία.



Σχήμα 4.2.1 - Σήμα διαμορφωμένο κατά πλάτος

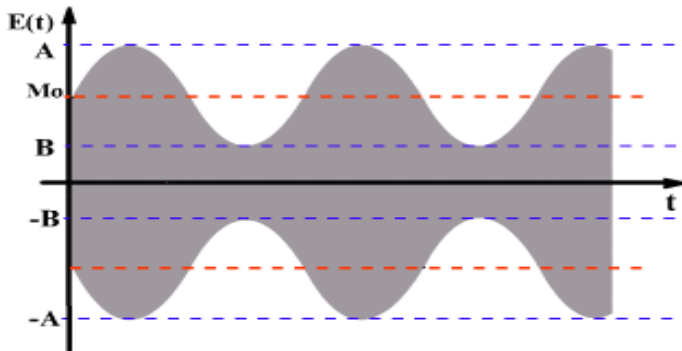
Για παράδειγμα, το σήμα πληροφορίας (βασικό σήμα) θα μπορούσε να είναι η φωνή του εκφωνητή σε ένα ραδιόφωνο και το σήμα φορέας θα μπορούσε να είναι ένα σήμα στην κατάλληλη ψηλή συχνότητα (μακρά, μεσαία ή βραχεία κύματα) που εκπέμπεται στη ατμόσφαιρα, απ' όπου λαμβάνεται στους ραδιοφωνικοί δέκτες.

4.2.2 Βαθμός ή Συντελεστής Διαμόρφωσης

Ο βαθμός ή συντελεστής διαμόρφωσης m, ορίζεται ως ο λόγος του πλάτους του βασικού σήματος προς το πλάτος του φέροντος σήματος.

$$m = \frac{\text{Πλάτος Βασικού Σήματος}}{\text{Πλάτος Φέροντος Σήματος}} = \frac{(A_{\max} - A_{\min})}{(A_{\max} + A_{\min})}$$

όπου A_{\max} και A_{\min} είναι το μεγαλύτερο και το μικρότερο αντίστοιχα πλάτος του διαμορφωμένου σήματος. Ο συντελεστής m εκφράζεται σαν καθαρός αριθμός ή σαν ποσοστό (%) και είναι συνήθως μικρότερος της μονάδας, Σχήμα 4.2.2.



$$m = \frac{(A - B)}{(A + B)}$$

Σχήμα 4.2.2 - Βαθμός διαμόρφωσης

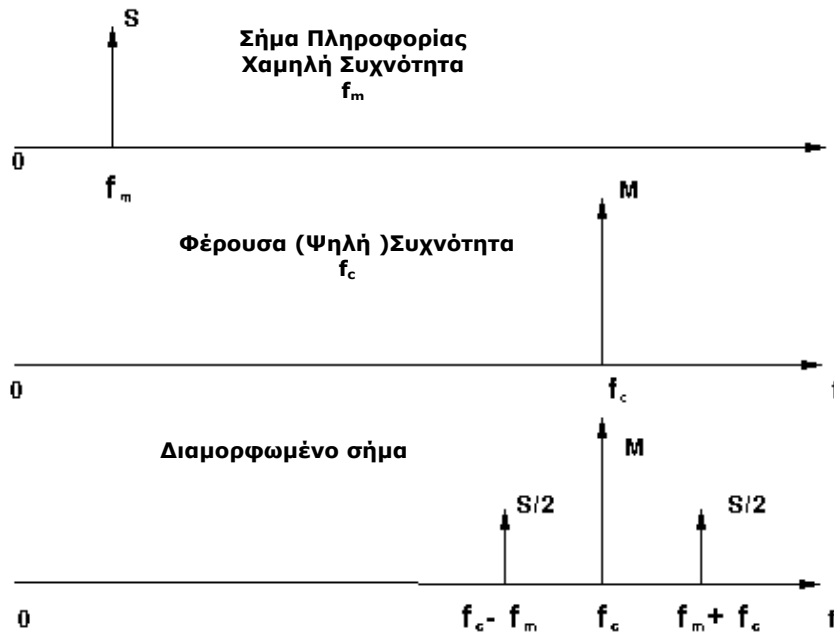
4.2.3 Διαμορφωμένο Σήμα AM στο πεδίο της συχνότητας

Στο πεδίο της συχνότητας το AM σήμα αποτελείται από τη κεντρική συχνότητα του φέροντος, f_c , και τις συχνότητες του σήματος πληροφορίας f_m , μετατοπισμένες σε δύο πλευρικές περιοχές συχνοτήτων γύρω από την κεντρική συχνότητα του φορέα. Οι περιοχές αυτές ονομάζονται **άνω πλευρική ζώνη** (συχνότητες μεγαλύτερες από τη συχνότητα του φορέα) και **κάτω πλευρική ζώνη**, Σχήμα 4.2.3.

Δηλαδή, το διαμορφωμένο φέρον που προκύπτει, αποτελείται από τρεις φασματικές ακτίνες στις συχνότητες:

$f_c - f_m$	f_c	$f_c + f_m$
Κάτω Πλευρική Συχν.	Φέρουσα Συχν.	Άνω Πλευρική συχν.

Η πρώτη ακτίνα είναι η φασματική ακτίνα του φέροντος. Οι δύο άλλες ονομάζονται **πλευρικές φασματικές ακτίνες** και καταλαμβάνουν θέσεις συμμετρικές γύρω από την κεντρική συχνότητα f_c .



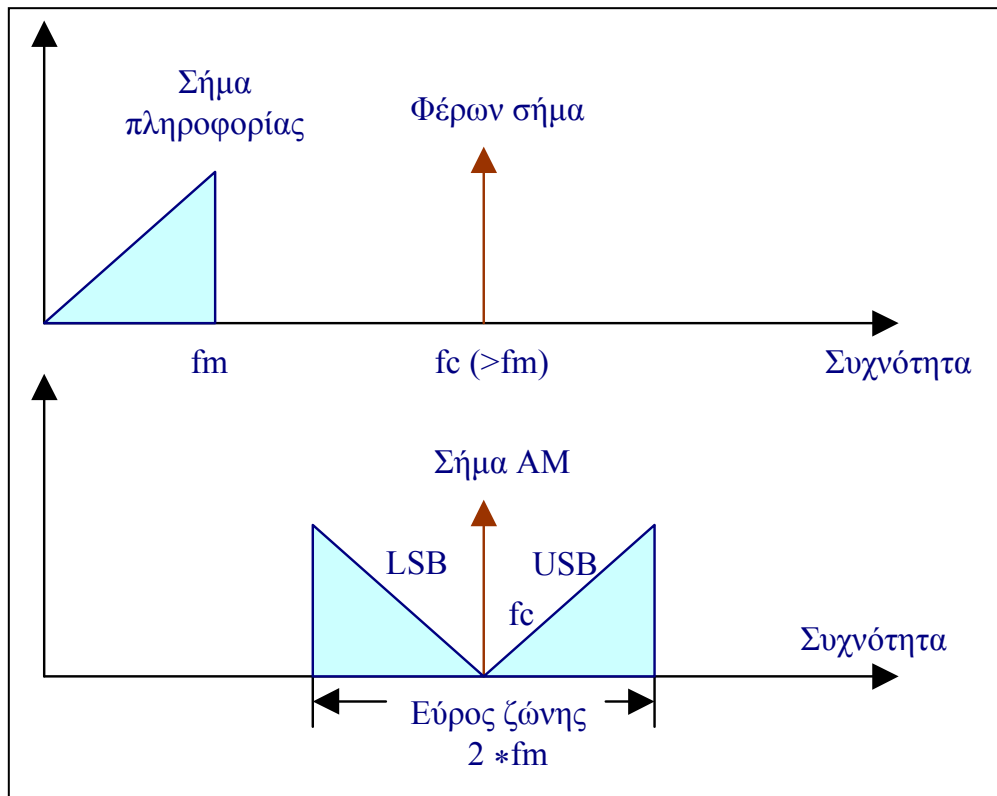
Σχήμα 4.2.3 - Φάσματα σημάτων πριν και μετά από τη διαμόρφωση

Το αντίστοιχο φάσμα συχνοτήτων ενός AM σήματος δίνεται με ένα παράδειγμα στο Σχήμα 4.2.4. Στο παράδειγμα αυτό έχει θεωρηθεί ότι το σήμα βασικής ζώνης (ή το φασματικό περιεχόμενο του σήματος πληροφορίας) έχει τριγωνική μορφή για λόγους ευκολίας παράστασης του AM σήματος.

Το **εύρος ζώνης** ενός σήματος AM είναι ευθέως ανάλογο της μέγιστης συχνότητας f_{max} του σήματος πληροφορίας και δίνεται από τη σχέση:

$$\text{Εύρος Ζώνης} = 2 \cdot f_{max}$$

Η ζώνη συχνοτήτων στα μεσαία κύματα στο ραδιόφωνο που χρησιμοποιούν τη διαμόρφωση AM κυμαίνεται από 560 kHz μέχρι 1600 kHz.
 Το εύρος ζώνης του διαμορφωμένου σήματος διεθνώς περιορίζεται στα 5 kHz.



Σχήμα 4.2.4 - Φασματικό περιεχόμενο σήματος AM

4.2.4 Διαμόρφωση Διπλής Πλευρικής Ζώνης - DSB.

Παρατηρούμε ότι το φάσμα του διαμορφωμένου σήματος AM, περιέχει δύο πλευρικές ζώνες και γι' αυτό το λόγο η διαμόρφωση αυτή ονομάζεται **Διαμόρφωση Πλάτους Διπλής Πλευρικής Ζώνης - Double Side Band Modulation, DSB.**

Ισχύς του Διαμορφωμένου Σήματος AM

Η ισχύς του διαμορφωμένου σήματος AM ορίζεται από το άθροισμα των ισχύων:

$$P = P_C + P_{LSB} + P_{USB} \quad \text{όπου} \quad \begin{aligned} P_C &= \text{Ισχύς φέροντος σήματος} \\ P_{LSB} &= \text{Ισχύ φάσματος κάτω πλευρικής ζώνης} \\ P_{USB} &= \text{Ισχύ φάσματος άνω πλευρικής ζώνης} \end{aligned}$$

Το μέτρο της ισχύος του σήματος στις δύο πλευρικές ζώνες σε σχέση με την ισχύ του φέροντος σήματος εξαρτάται από το βαθμό ή συντελεστή διαμόρφωσης m . Όσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός διαμόρφωσης, τόσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό ισχύος που βρίσκεται στο διαμορφωμένο σήμα.

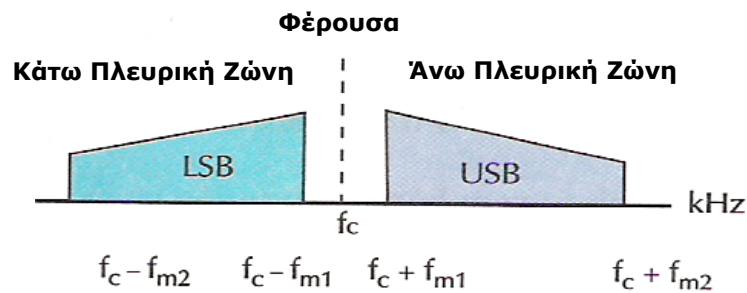
Όταν έχουμε πλήρη διαμόρφωση, δηλαδή διαμόρφωση με βαθμό $m = 1$ (100%), τότε η ισχύς της κάθε πλευρικής ζώνης είναι το 1/4 της ισχύος της φέρουσας (Το άθροισμα των ισχύων στις δύο πλευρικές ζώνες είναι ίσο με το μισό της ισχύος του φέροντος σήματος).

$$P = P_C + \frac{P_C}{4} + \frac{P_C}{4}$$

Εφόσον το μεγαλύτερο μέρος της ισχύος ενός διαμορφωμένου σήματος κατά πλάτος (AM) καταναλώνεται για την εκπομπή της φέρουσας συχνότητας η οποία ούτως ή άλλως δεν μεταφέρει καμιά πληροφορία, πολλές φορές καταφεύγουμε στην καταστολή του φέροντος σήματος ώστε να ελαχιστοποιηθεί η ανάγκη χρήσης ψηλών ισχύων για την εκπομπή ενός σήματος AM.

4.2.5 Διαμόρφωση Διπλής Ζώνης με καταστολή του φέροντος σήματος

Το σήμα της πληροφορίας διαμορφώνεται κατά πλάτος (AM) με ταυτόχρονη καταστολή της φέρουσας και εκπομπή μόνο των δύο πλευρικών ζωνών (Double Side Band, DSB), Σχήμα 4.2.5. Η ισχύς κατανέμεται ανά 50% σε κάθε πλευρική ζώνη.



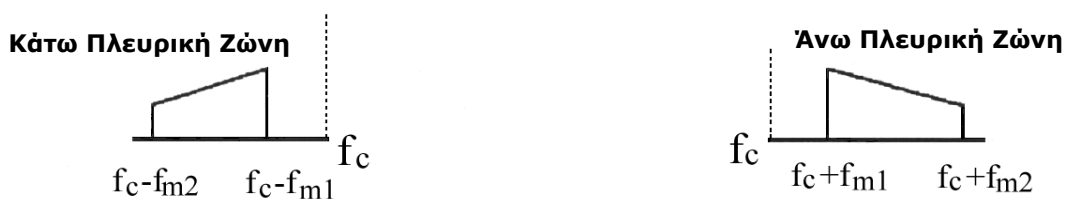
Σχήμα 4.2.5 - Διαμόρφωση Διπλής Ζώνης με καταστολή του φέροντος σήματος

4.2.6 Διαμόρφωση Απλής Ζώνης με ή χωρίς καταστολή της φέρουσας

Οι άνω και η κάτω πλευρικές ζώνες του σήματος της Διαμόρφωσης Διπλής Πλευρικής Ζώνης περιέχουν ακριβώς και οι δύο την ίδια πληροφορία. Έτσι αν μεταδίδαμε την μια μόνο πλευρική ζώνη (είτε την άνω είτε την κάτω), δε θα είχαμε χάσει οτιδήποτε από την πληροφορία αλλά συνάμα θα είχαμε εξοικονόμηση στο φάσμα συχνοτήτων και με την ωφέλιμη ισχύ στο διαμορφωμένο σήμα να είναι μεγαλύτερη.

Η διαμόρφωση στην οποία μεταδίδεται η μια μόνο από τις δύο πλευρικές ζώνες ονομάζεται **Διαμόρφωση Απλής ή Μονής Πλευρικής Ζώνης - Single Side Band, SSB**.

Επίσης η διαμόρφωση του σήματος της πληροφορίας με ταυτόχρονη καταστολή της φέρουσας και αποκοπή μιας εκ των δύο πλευρικών ζωνών, επιφέρει περαιτέρω μείωση της απαιτούμενης ισχύος αφού μεταδίδεται η μια μόνο πλευρική ζώνη και καταστέλλεται και η φέρουσα.



Σχήμα 4.2.6 - Διαμόρφωση Απλής Ζώνης

Η διαμόρφωση SSB είναι αποτελεσματικότερη από την AM και γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιείται στη ραδιοτηλεφωνία των βραχέων κυμάτων για μακρινές ζεύξεις όπου απαιτείται μεγάλη ισχύς σήματος.

Αριθμητικά Παραδείγματα Διαμόρφωσης AM

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1: Στον παλμογράφο στην εικόνα διαμορφωμένου AM φέροντος μετρούμε μέγιστη τάση 100 V και ελάχιστη 25 V. Να προσδιοριστεί ο βαθμός διαμόρφωσης του φέροντος. Να προσδιοριστούν επίσης τα πλάτη του σήματος διαμόρφωσης και του αδιαμόρφωτου φέροντος σήματος.

ΛΥΣΗ:

Βαθμός διαμόρφωσης, $m = (A - B) / (A + B)$

$$m = (100 - 25) / (100 + 25) = 0,6 \text{ ή } 60\%.$$

Πλάτος σήματος διαμόρφωσης = $(100 \text{ V} - 25 \text{ V}) / 2 = 37,5 \text{ V}$

Πλάτος φέροντος σήματος = $100 \text{ V} - 37,5 \text{ V} = 62,5 \text{ V}$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2: Ένα βασικό σήμα της μορφής $s(t) = 10 \sin(2\pi \cdot 10^3 t)$ V διαμορφώνει φέρον σήμα $M(t) = 15 \sin(2\pi \cdot 10^6 t)$ V. Προσδιορίστε:

(α) Το ποσοστό διαμόρφωσης

(β) Το φάσμα που προκύπτει

Λύση:

α) $m = S_m / M_m = 10 / 15 = 2/3 = 0,66 \text{ ή } 66\%$.

β) Το φάσμα περιλαμβάνει δύο φασματικές ακτίνες στις συχνότητες:

$$1 \text{ MHz} - 1 \text{ kHz} = 999 \text{ kHz}$$

$$1 \text{ MHz} + 1 \text{ kHz} = 1001 \text{ kHz}.$$

Έχουν πλάτος $S_m / 2 = 5 \text{ V}$

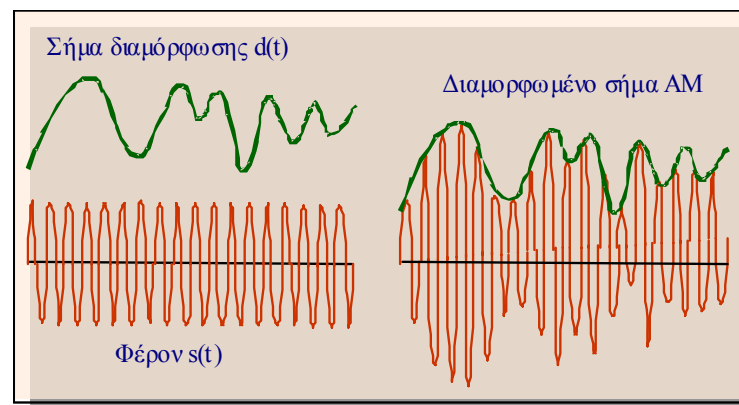
ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3: Η ζώνη των μεσαίων εκτείνεται από 531 kHz έως 1602 kHz. Με τον περιορισμό του εύρους ζώνης των ακουστικών σημάτων έως 4,5 kHz, να προσδιοριστεί ο αριθμός των ραδιοφωνικών εκπομπών με AM διαμόρφωση που μπορούν να συνυπάρξουν στην παραπάνω ζώνη.

Λύση:

Το εύρος ζώνης στην AM είναι $2f_{\max} = 9 \text{ kHz}$.

Άρα, $N = (1602 - 531) / 9 = 119$ ανεξάρτητοι ραδιοφωνικοί σταθμοί.

Ανακεφαλαίωση - Διαμόρφωση κατά Πλάτος



- Όταν το σήμα πληροφορίας μεταβάλλει/διαμορφώνει το πλάτος του φέροντος σήματος, πρόκειται για **διαμόρφωση πλάτους** (amplitude modulation) ή AM.
- Διαμόρφωση Πλάτους ορίζεται η διαδικασία κατά την οποία το πλάτος του φέροντος σήματος διαμορφώνεται από το σήμα πληροφορίας που είναι σαφώς χαμηλότερης συχνότητας. Οι μεταβολές στο πλάτος του φέροντος σήματος μεταφέρουν ουσιαστικά τη χρήσιμη πληροφορία.
- Ο **βαθμός ή συντελεστής διαμόρφωσης m**, ορίζεται ως ο λόγος του πλάτους του βασικού σήματος προς το πλάτος του φέροντος σήματος.
- Στο πεδίο της συχνότητας το AM σήμα αποτελείται από τη κεντρική συχνότητα του φέροντος, f_c , και τις συχνότητες του σήματος πληροφορίας f_m , μετατοπισμένες σε δύο πλευρικές περιοχές συχνοτήτων γύρω από την κεντρική συχνότητα του φορέα. Οι περιοχές αυτές ονομάζονται **άνω πλευρική ζώνη** (συχνότητες μεγαλύτερες από τη συχνότητα του φορέα) και **κάτω πλευρική ζώνη**.
- Το εύρος ζώνης του σήματος AM είναι διπλάσια της μέγιστης συχνότητας του σήματος της πληροφορίας.
- Εφόσον το μεγαλύτερο μέρος της ισχύος ενός διαμορφωμένου σήματος AM καταναλώνεται για την εκπομπή της φέρουσας συχνότητας η οποία ούτως ή άλλως δεν μεταφέρει καμιά πληροφορία, πολλές φορές καταφεύγουμε στην καταστολή του φέροντος σήματος ώστε να ελαχιστοποιηθεί η ανάγκη χρήσης πομπών ψηλής ισχύος την εκπομπή ενός σήματος AM.
- Το φάσμα του διαμορφωμένου σήματος AM, περιέχει δύο πλευρικές ζώνες και γι' αυτό το λόγο η διαμόρφωση αυτή ονομάζεται **Διαμόρφωση Διπλής Πλευρικής Ζώνης - DSB**. Οι άνω και η κάτω πλευρικές ζώνες του διαμορφωμένου σήματος περιέχουν ακριβώς και οι δύο την ίδια πληροφορία.
- Η διαμόρφωση στην οποία μεταδίδεται η μια μόνο από τις δύο πλευρικές ζώνες ονομάζεται **Διαμόρφωση Μονοπλευρικής Ζώνης - SSB**.
- Η διαμόρφωση SSB είναι αποτελεσματικότερη από τη διαμόρφωση AM:
 - Η ισχύς του ωφέλιμου σήματος είναι μεγαλύτερη.
 - Οικονομία στο φάσμα όπου στο εύρος ζώνης που απαιτείται στη διαμόρφωση AM μπορούν να υπάρξουν δύο εκπομπές SSB.

Διαμόρφωση κατά Πλάτος - Ερωτήσεις Μαθήματος

1. Τι εννοούμε με τον όρο φέρον σήμα;
2. Τι είναι η διαμόρφωση AM;
3. Τι ονομάζουμε συντελεστή διαμόρφωσης στη διαμόρφωση AM;
4. Τι ονομάζουμε άνω και κάτω πλευρική ζώνη;
5. Ποιο είναι το εύρος ζώνης ενός AM σήματος;
6. Να αναφέρετε το λόγο που πολλές φορές καταφεύγουμε στην καταστολή του φέρουσας συχνότητας στην εκπομπή ενός σήματος AM.
7. Τι είναι η διαμόρφωση απλής ή μονής ζώνης;
8. Να αναφέρετε δύο πλεονεκτήματα της διαμόρφωσης SSB σε σχέση με την AM.
9. Υπολογίστε το εύρος ζώνης ενός AM σήματος, όταν το σήμα πληροφορίας είχε συχνότητα 8 kHz. Σχεδιάστε το φασματικό περιεχόμενο του σήματος αυτού.
(16 kHz)
10. Ένα βασικό σήμα της μορφής $s(t) = 10 \sin(2\pi \cdot 4 \cdot 10^3 t)$ διαμορφώνει φέρον σήμα $M(t) = 25 \sin(2\pi 10^6 t)$. Να προσδιοριστεί το ποσοστό διαμόρφωσης και το φάσμα που προκύπτει (Οι συχνότητες δίνονται σε Hz, τα πλάτη σε Volt).
(40%)
11. Στον παλμογράφο, στην εικόνα διαμορφωμένου AM φέροντος μετρούμε μέγιστη τάση 120 V και ελάχιστη 40 V. Να προσδιοριστεί το ποσοστό διαμόρφωσης του φέροντος. Να προσδιοριστούν επίσης τα πλάτη του σήματος διαμόρφωσης και του αδιαμόρφωτου φέροντος.
(50%, 40 V, 80 V)

Μάθημα 4.3 - Διαμόρφωση κατά Συχνότητα

ΣΤΟΧΟΙ

Στο τέλος αυτού του μαθήματος ο/η μαθητής/τρια πρέπει να:

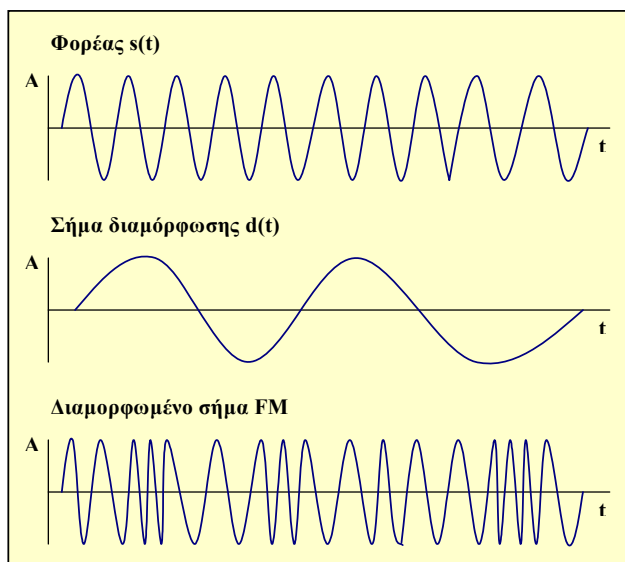
- Αναφέρει τα βασικά χαρακτηριστικά της Διαμόρφωσης κατά Συχνότητα (FM).
- Εξηγεί τους όρους:
 - Δείκτης Διαμόρφωσης
 - Απόκλιση Συχνότητας
- Αναφέρει τον κανόνα Carson και ορίζει το πρακτικό εύρος ζώνης FM σήματος FM.
- Αναγνωρίζει και σχεδιάζει σήμα διαμορφωμένο κατά συχνότητα.
- Συγκρίνει τις διαμορφώσεις AM και FM και αναφέρει τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της μιας έναντι της άλλης.

4.3.1 Διαμόρφωση κατά Συχνότητα (Frequency Modulation-FM)

Όταν το πλάτος του σήματος πληροφορίας μεταβάλλει/διαμορφώνει τη συχνότητα του φέροντος σήματος, πρόκειται για **διαμόρφωση συχνότητας (Frequency modulation - FM)**, Σχήμα 4.3.1.

Διαμόρφωση συχνότητας ονομάζεται η διαδικασία κατά την οποία το σήμα πληροφορίας μεταβάλλει (ή διαμορφώνει) τη συχνότητα του φέροντος σήματος.

Στη περίπτωση αυτή η στιγμιαία συχνότητα του φέροντος σήματος μεταβάλλεται ανάλογα με το πλάτος του σήματος πληροφορίας. Στο συγκεκριμένο παράδειγμα το σήμα πληροφορίας μπορεί να είναι ένα τραγούδι που μεταδίδεται από το ραδιόφωνο και το φέρον σήμα το αντίστοιχο ραδιοφωνικό σήμα που εκπέμπεται από το ραδιοσταθμό.



Σχήμα 4.3.1 - Διαμόρφωση κατά Συχνότητα (FM)

Στη διαμόρφωση FM το σήμα μεταφέρεται με τις αλλαγές στη συχνότητα της φέρουσας (ενώ ο θόρυβος επηρεάζει το πλάτος κάποιου σήματος). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα οι εκπομπές του

ραδιοφώνου FM να ακούγονται πολύ καλύτερα απ' αυτές στα AM. Η μουσική ακούγεται πολύ πιο πιστά κι ευχάριστα, ακόμα και η φωνή ακούγεται πολύ καλύτερα.

4.3.2 Δείκτης Διαμόρφωσης

Ένα σημαντικό μέγεθος στην FM διαμόρφωση είναι ο **δείκτης διαμόρφωσης (modulation index) β**, που ορίζεται ως ο λόγος:

$$\beta = \frac{\Delta f_c}{f_{m(MAX)}}$$

Δf_c Μέγιστη **απόκλιση συχνότητας (frequency deviation)** του σήματος FM. Η τελευταία ορίζεται ως η μέγιστη μεταβολή συχνότητας του φέροντος λόγω της διαμόρφωσης.

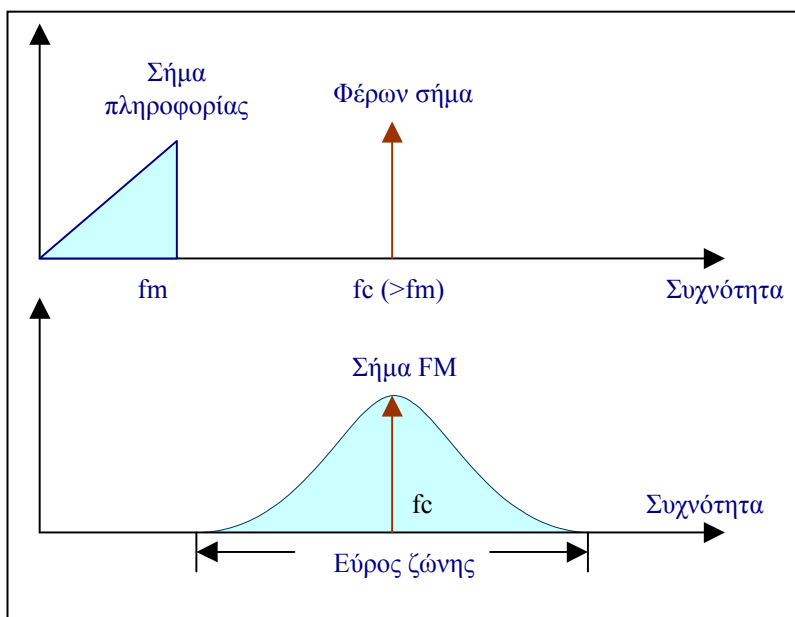
$f_{m(MAX)}$ Μέγιστη συχνότητα του σήματος πληροφορίας

Χαρακτηριστικά η μέγιστη επιτρεπτή απόκλιση συχνότητας έχει καθοριστεί για τη ραδιοφωνία FM στα 75 kHz και για την τηλεόραση (σήματα FM που μεταφέρουν τον τηλεοπτικό ήχο) στα 50 kHz.

4.3.3 Εύρος Ζώνης σήματος FM

Ένα διαμορφωμένο σήμα FM αποτελείται από ένα πλήθος συχνοτήτων, που ονομάζονται **αρμονικές** και βρίσκονται γύρω από την κεντρική συχνότητα του φέροντος. Το πλάτος των αρμονικών αυτών συχνοτήτων μειώνεται συνεχώς, όσο η τιμή τους απομακρύνεται από την κεντρική συχνότητα, για να γίνει αμελητέα σε συχνότητες που απέχουν πολύ από αυτή.

Ένα χρήσιμο μέγεθος στη διαμόρφωση FM είναι το **εύρος ζώνης συχνοτήτων (Bandwidth) BW** του σήματος FM που ορίζεται ως η περιοχή συχνοτήτων στην οποία συγκεντρώνεται το 95% της ολικής ενέργειας του σήματος, δίδεται από τον **Κανόνα Carson** και υπολογίζεται πρακτικά από τη σχέση:



Κανόνας Carson

$$BW = 2 \cdot (\Delta f_c + f_{m(MAX)})$$

Σχήμα 4.3.2 Εύρος Ζώνης σήματος FM

Συμπερασματικά, όσο μεγαλύτερη τιμή έχει ο δείκτης διαμόρφωσης τόσο μεγαλύτερο είναι το φασματικό εύρος του σήματος.

Έτσι, όπου έχουμε υψηλές απαιτήσεις καθαρότητας του σήματος, υιοθετούμε μεγάλο δείκτη διαμόρφωσης, όπως στη ραδιοφωνία, και μιλάμε για **Διαμόρφωση Συχνότητας Μεγάλου Εύρους (Wide Band Frequency Modulation - WBFM)**.

Στη ραδιοφωνία FM για μια **μονοφωνική εκπομπή**, έχουν διεθνώς καθιερωθεί οι πιο κάτω τιμές (WBFM):

Μέγιστη συχνότητα του ακουστικού σήματος	$f_{m(MAX)} = 15 \text{ kHz}$
Μέγιστη απόκλιση συχνότητας	$\Delta f_c = \pm 75 \text{ kHz}$
Δείκτης διαμόρφωσης	$\beta = 5$
Φασματικό Εύρος	$BW = 2 \times (75+15) = 180\text{kHz}$

Σημείωση: Για μια στερεοφωνική εκπομπή το κωδικοποιημένο στερεοφωνικό σήμα έχει εύρος ζώνης 53 kHz.

Άρα το εύρος ζώνης με βάσει τον κανόνα Carson φτάνει τα 256 KHz.

Για να υπάρχει ένα μικρό περιθώριο και να μην επικαλύπτονται ο ένας ραδιοφωνικός σταθμός από τον άλλο, οι συχνότητες (κεντρικές), που χορηγούνται με νόμο που πρέπει να τηρείται και να εφαρμόζεται αυστηρά, τοποθετούνται σε απόσταση τουλάχιστον 300 kHz και πλέον ο ένας από τον άλλο.

Η φασματική ζώνη της FM διαμόρφωσης είναι πολύ πλατύτερη από την αντίστοιχη της AM. Γι' αυτό και για να μπορέσουν να συνυπάρξουν σε δεδομένη ζώνη συχνοτήτων πολλοί ραδιοφωνικοί σταθμοί, αναγκαζόμαστε να χρησιμοποιούμε πολύ μεγαλύτερες συχνότητες.

Η ραδιοφωνία FM βρίσκεται στη ζώνη VHF, 88 - 108 MHz

Όπου αυτές οι απαιτήσεις είναι μικρότερες, όπως στη ραδιοτηλεφωνία, υιοθετούμε μικρό δείκτη διαμόρφωσης και μιλάμε για **Διαμόρφωση Συχνότητας Στενού Εύρους (Narrow Band Frequency Modulation - NBFM)**.

Στην ασύρματη ραδιοεπικοινωνία έχουν καθιερωθεί οι τιμές (NBFM):

Μέγιστη απόκλιση συχνότητας	$\Delta f_c = \pm 5 \text{ kHz}$
Διαχωρισμός διαύλων	12, 5 KHz ή 25 kHz

4.3.4 Σύγκριση των διαμορφώσεων AM και FM

- ✓ Η διαμόρφωση FM καλύτερη συμπεριφορά στο θόρυβο και μεγαλύτερη πιστότητα στη μετάδοση από την διαμόρφωση AM και για τους λόγους αυτούς χρησιμοποιείται για εκπομπές ποιότητας στη ραδιοφωνία FM και για τη μετάδοση ήχου στην τηλεόραση.
- ✓ Το φάσμα όμως στην FM είναι πολύ ευρύτερο από ότι στην AM, το οποίο προσφέρει και καλύτερο Λόγο Σήματος ως προς το Θόρυβο.
- ✓ Το μειονέκτημα του μεγάλου εύρους ζώνης που έχει ένα σήμα FM που μεταφράζεται σε μικρότερο αριθμό καναλιών για την ίδια περιοχή συχνοτήτων, αντιμετωπίζεται στη ραδιοφωνία FM με τη χρήση της ζώνης VHF (88 MHz - 108 MHz).

Ανακεφαλαίωση - Διαμόρφωση κατά Συχνότητα

- **Διαμόρφωση συχνότητας (*frequency modulation*)** ονομάζεται η διαδικασία κατά την οποία το σήμα πληροφορίας μεταβάλλει (ή διαμορφώνει) τη συχνότητα του φέροντος σήματος.
- Η διαμόρφωση FM προσφέρει καλύτερη συμπεριφορά στο θόρυβο (αφού το σήμα μεταφέρεται με τις αλλαγές στη συχνότητα της φέρουσας, ενώ ο θόρυβος επηρεάζει το πλάτος κάποιου σήματος) και μεγαλύτερη πιστότητα στη μετάδοση από την διαμόρφωση AM και για τους λόγους αυτούς χρησιμοποιείται για εκπομπές ποιότητας στη ραδιοφωνία FM και για τη μετάδοση ήχου στην τηλεόραση.
- Ένα διαμορφωμένο σήμα FM αποτελείται από ένα πλήθος συχνοτήτων, που ονομάζονται **αρμονικές** και βρίσκονται γύρω από την κεντρική συχνότητα του φέροντος. Το πλάτος των αρμονικών αυτών συχνοτήτων μειώνεται συνεχώς, όσο η τιμή τους απομακρύνεται από την κεντρική συχνότητα, για να γίνει αμελητέα σε συχνότητες που απέχουν πολύ από αυτή.
- Το **εύρος ζώνης συχνοτήτων (Bandwidth) BW**, του σήματος FM που ορίζεται ως η περιοχή συχνοτήτων στην οποία συγκεντρώνεται το 95% της ολικής ενέργειας του σήματος και δίδεται από τον **Κανόνα Carson**.

Διαμόρφωση κατά Συχνότητα - Ερωτήσεις Μαθήματος

1. Τι είναι η διαμόρφωση FM;
2. Τι ονομάζουμε δείκτη διαμόρφωσης στη διαμόρφωση FM ;
3. Πώς υπολογίζεται πρακτικά το εύρος ζώνης ενός σήματος FM; Αναφέρετε τον Κανόνα Carson.
4. Ποιο είναι τα πλεονεκτήματα και τα μειονέκτημα της διαμόρφωσης FM σε σύγκριση με τη διαμόρφωση AM;
5. Το φάσμα ενός ακουστικού σήματος εκτείνεται από 300 Hz έως 3, 4 kHz. Ο δείκτης διαμόρφωσης FM που αντιστοιχεί στη μέγιστη συχνότητα είναι $\beta = 4$. Υπολογίστε τη μέγιστη απόκλιση συχνότητας του φέροντος σήματος μετά από τη διαμόρφωση.

Ενότητα 5 - Διαμόρφωση Ψηφιακού Σήματος

- Μάθημα 5.1 - Η αναγκαιότητα της Ψηφιακής Διαμόρφωσης
- Μάθημα 5.2 - Ψηφιακές Διαμορφώσεις

Μάθημα 5.1 - Η αναγκαιότητα της Ψηφιακής Διαμόρφωσης

ΣΤΟΧΟΙ

Στο τέλος αυτού του μαθήματος ο/η μαθητής/τρια πρέπει να:

- Αναφέρει τα πλεονεκτήματα της ψηφιακής μετάδοσης σε σύγκριση με την αναλογική.
- Αναφέρει τι είναι χωρητικότητα ενός διαύλου μετάδοσης και από τι εξαρτάται.
- Περιγράφει τη διαδικασία μετατροπής ενός αναλογικού σήματος σε ψηφιακό με τις διαδικασίες της παλμοκωδικής διαμόρφωσης (PCM):
 - Δειγματοληψία
 - Κβάντιση
 - Κωδικοποίηση
- Αναφέρει το Θεώρημα της Δειγματοληψίας(Nyquist).
- Αναφέρει ότι ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων των ψηφιακών συστημάτων τηλεφωνίας είναι 64 kbit/s και το δικαιολογεί.
- Αναφέρει τις βασικές Τεχνικές Αναλογικής Μετάδοσης Ψηφιακών Σημάτων:
 - Με μεταλλαγή πλάτους
 - Με μεταλλαγή συχνότητας



5.1.1 Ψηφιακή και Αναλογική Μετάδοση

Τα πρώτα ηλεκτρονικά συστήματα επικοινωνιών όπως στην περίπτωση του Ηλεκτρικού Τηλέγραφου ήταν ψηφιακά όπου υπήρχε αντιστοιχία κάθε μεταδιδόμενου χαρακτήρα σε μια σειρά διακριτών συμβόλων (παύλα ή τελεία).

Τα συστήματα αυτά που χρησιμοποιούν σύμβολα διακριτών καταστάσεων, όπως το ΝΑΙ – ΟΧΙ, ή το Άσπρο - Μαύρο, ή το 0 – 1, χαρακτηρίζονται ως **ψηφιακά**. Στις αρχές του 19ου αιώνα έγινε μια μεγάλη αλλαγή και από τα πρώτα συστήματα, που ήταν ουσιαστικά ψηφιακά, περάσαμε στα λεγόμενα αναλογικά, όπως το τηλέφωνο, το ραδιόφωνο, η τηλεόραση, στα οποία το σήμα είναι σε αναλογική μορφή.

Με την είσοδο στον 21^ο αιώνα, η τεχνολογία των τηλεπικοινωνιών γίνεται πάλι σε μεγάλο βαθμό ψηφιακή. Για τη μετάδοση χρησιμοποιείται πολλές φορές οπτικό σήμα αντί για ηλεκτρομαγνητικό σήμα υψηλών συχνοτήτων. Οι μεγάλες ποσότητες πληροφορίας διακινούνται με μια ροή διαδοχικών παλμών φωτός που οδηγούνται μέσα από τις οπτικές ίνες. Οι παλμοί αυτοί αντιπροσωπεύουν ψηφιακά δυαδικά σύμβολα.

Τα ψηφιακά συστήματα επικοινωνιών χρησιμοποιούνται όχι μόνο για τη μετάδοση σημάτων από ψηφιακές πηγές (Ηλεκτρονικοί Υπολογιστές), αλλά και από αναλογικές. Γι' αυτό το λόγο είναι αναγκαία η μετατροπή ενός αναλογικού σήματος βασικής ζώνης σε ψηφιακό.

Το αναλογικό σήμα μετατρέπεται με την κατάλληλη επεξεργασία σε ψηφιακό και διαμορφώνει ένα βασικό μέγεθος του φέροντος σήματος ώστε να μεταδοθεί από το πομπό

στο δέκτη μέσα από το δίαυλο μετάδοσης. Στο δέκτη το ψηφιακό σήμα μετατρέπεται πάλι αντίστροφα σε αναλογικό.

Ο δίαυλος μετάδοσης μπορεί να είναι ένα δισύρματο ηλεκτρικό καλώδιο, μια οπτική ίνα ή ο ελεύθερος χώρος, στον οποίο διαβιβάζεται το διαμορφωμένο σήμα.

Δύο είναι τα **κύρια πλεονεκτήματα** που μας ωθούν στη χρήση της ψηφιακής μετάδοσης:

- **Η μικρή ευαισθησία των ψηφιακών σημάτων στο θόρυβο.** Τα αναλογικά σήματα επηρεάζονται από κάθε θόρυβο που μεταβάλλει το πλάτος, τη συχνότητα ή τη φάση τους. Αντίθετα, στα ψηφιακά συστήματα οι παραπάνω παράμετροι δεν είναι απαραίτητο να αξιολογηθούν στη λήψη με τόση ακρίβεια, διότι κατά τη λήψη εκτιμάται απλώς το εάν υπερβαίνουν ή όχι μια συγκεκριμένη στάθμη κατωφλίου (συνήθως στη μέση μεταξύ της στάθμης 0 και της στάθμης 1).
- **Η μεγαλύτερη δυνατότητα και ευκολία επεξεργασίας των ψηφιακών σημάτων με τη σημερινή τεχνολογία.** Οι δυνατότητες αυτές αφορούν στην ευκολία αποθήκευσης ενός ψηφιακού σήματος, στην επεξεργασία με ηλεκτρονικούς υπολογιστές, στην ευκολία προσαρμογής στο ρυθμό μετάδοσης από συσκευή σε συσκευή και στην ευκολία πολυπλεξίας.

Χωρητικότητα ενός διαύλου μετάδοσης ορίζεται ως η είναι η μέγιστη τιμή του ρυθμού μετάδοσης των ψηφιακών πληροφοριών.

Η **χωρητικότητα** του καναλιού εξαρτάται τόσο από το εύρος ζώνης του καναλιού όσο και από το ποσοστό του θορύβου που επηρεάζει αρνητικά το μεταδιδόμενο σήμα.

5.1.2 Μετατροπή Αναλογικού σήματος σε Ψηφιακό - Δειγματοληψία

Για να μετατραπεί ένα αναλογικό σήμα σε ψηφιακό, θα πρέπει να μετατραπεί σε σήμα διακριτό ως προς το χρόνο. Διακριτό είναι ένα σήμα που δεν είναι συνεχές στο χρόνο, παίρνει δηλαδή τιμές σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές.

Το αρχικό αναλογικό σήμα μπορεί να ξαναδημιουργηθεί, από το ψηφιακό σήμα κατόπιν κατάλληλης επεξεργασίας. Έτσι έχουμε τη δυνατότητα, αντί να μεταδίδουμε ολόκληρο το αναλογικό σήμα από ένα κανάλι επικοινωνίας, να μεταδώσουμε μόνο τα δείγματα σε ψηφιακή μορφή που προέκυψαν από τη δειγματοληψία του και να ανασυνθέσουμε το σήμα στο δέκτη στη αρχική του μορφή.

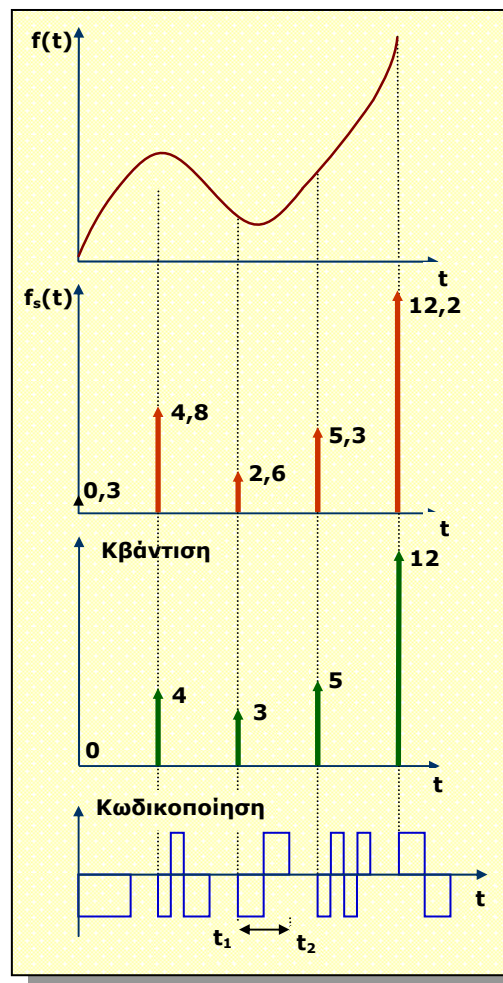
Η μετατροπή του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό πραγματοποιείται με τις ακόλουθες διαδικασίες κατά σειρά, Σχήμα 5.1.1:

- **Δειγματοληψία**
- **Κβάντιση**
- **Κωδικοποίηση**

Δειγματοληψία ονομάζεται η διαδικασία, κατά την οποία από ένα αναλογικό σήμα λαμβάνονται ένας πεπερασμένος αριθμός τιμών του (δείγματα).

Ποιος είναι όμως ο κατάλληλος ρυθμός δειγματοληψίας;

Θεώρημα Δειγματοληψίας (Nyquist): Η συχνότητα δειγματοληψίας του αναλογικού σήματος και μετατροπής αυτού σε ψηφιακό πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή τουλάχιστον ίση με το διπλάσιο της μέγιστης συχνότητας που εμπεριέχεται στο αναλογικό σήμα, για να μπορεί να αναπαραχθεί το αναλογικό σήμα σωστά στο δέκτη από το ψηφιακό.



Σχήμα 5.1.1 - Διαδικασία μετατροπής αναλογικού σήματος σε ψηφιακό

Ακολουθώς τα αναλογικά δείγματα στρογγυλοποιούνται στη πλησιέστερη στάθμη από 256 τιμές με τη διαδικασία της **κβάντισης**.

Στη διαδικασία της **κωδικοποίησης** η κάθε κβαντισμένη στάθμη μετατρέπεται σε ένα κωδικό αριθμό με 8 δυαδικά ψηφία ($2^8 = 256$).

5.1.3 Παλμοκωδική Διαμόρφωση

Η **παλμοκωδική διαμόρφωση (PCM - Pulse Code Modulation)** είναι μια μέθοδος μετατροπής του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (A/D conversion), σύμφωνα με την οποία η πληροφορία που περιέχεται σε συγκεκριμένα δείγματα ενός αναλογικού σήματος αναπαρίσταται από συγκεκριμένες κωδικές λέξεις που αποτελούνται από ένα ψηφιακό σήμα σε σειριακή μορφή.

Το τηλεφωνικό κανάλι έχει εύρος ζώνης 4 kHz. Για να μετατρέψουμε λοιπόν το αναλογικό σήμα ομιλίας σε ψηφιακό θα πρέπει να κάνουμε δειγματοληψία σε ρυθμό τουλάχιστον 8 000 δειγμάτων/s σύμφωνα με το Θεώρημα του Nyquist.

Το σύστημα PCM της τηλεφωνίας χρησιμοποιεί 8-bit για κάθε στάθμη του αναλογικού σήματος. Επιτρέπει δηλαδή συνολικά $2^8=256$ στάθμες κβάντισης. Ο συνολικός ρυθμός πληροφορίας του ψηφιακού σήματος PCM που προκύπτει από το αναλογικό σήμα ομιλίας θα είναι:

$$8\ 000\ \text{δειγματα/s} \times 8\ \text{bits/δειγμα} = 64\ \text{kbit/s}$$

Αυτός είναι ο ρυθμός μετάδοσης των πληροφοριών των ψηφιακών συστημάτων της ΑΤΗΚ.

Μια άλλη εφαρμογή της διαμόρφωσης PCM είναι το δημοφιλές CD. Εδώ απαιτείται ένα ακουστικό σήμα με ψηλή ποιότητα, δηλαδή με εύρος ζώνης 20 kHz. Αν ο ρυθμός δειγματοληψίας που απαιτείται, σύμφωνα με το Θεώρημα Nyquist, είναι 40 kHz, στην πράξη χρησιμοποιείται ρυθμός 44,1 kHz, για να αποφευχθούν οι επιδράσεις των μη ιδανικών φίλτρων ανακατασκευής. Το σήμα κβαντίζεται σε 65536 στάθμες, ώστε να περιοριστεί ο θόρυβος κβάντισης.

Κάθε στάθμη απαιτεί κωδική λέξη 16 bits για την κωδικοποίηση κάθε δείγματος ($2^{16} = 65536$). Έτσι κατά την αναπαραγωγή του CD, ο ρυθμός του σήματος PCM είναι $16 \times 44100 = 705600\ \text{bit/s}$ για κάθε κανάλι.

5.1.4 Βασικές Τεχνικές Αναλογικής Μετάδοσης Ψηφιακών Σημάτων

Αν τα προς μετάδοση σήματα πληροφορίας είναι ψηφιακά, τότε θα πρέπει να ληφθεί υπόψη το μεγάλο εύρος ζώνης συχνοτήτων που παρουσιάζουν σε σχέση με τα αναλογικά σήματα.

Το γεγονός αυτό οδηγεί στη χρήση ειδικών μεθόδων διαμόρφωσης, προκειμένου τα σήματα αυτά να μπορούν να περάσουν ακόμη και από φυσικά μέσα με μικρό εύρος ζώνης, όπως για παράδειγμα τα χάλκινα καλώδια.

Οι τεχνικές αυτές στηρίζονται στις αρχές των διαμορφώσεων AM και FM που εξετάστηκαν στην προηγούμενη ενότητα:

✓ Ψηφιακή Διαμόρφωση με μεταλλαγή Πλάτους (Amplitude Shift Keying- ASK).

Το πλάτος του ημιτονικού φέροντος σήματος μεταβάλλεται ανάλογα με την τιμή του ψηφιακού σήματος.

✓ Ψηφιακή Διαμόρφωση με μεταλλαγή Συχνότητας (Frequency Shift Keying - FSK).

Η συχνότητα του ημιτονικού φέροντος σήματος μεταβάλλεται ανάλογα με την τιμή του ψηφιακού σήματος.

Ανακεφαλαίωση - Η αναγκαιότητα της Ψηφιακής Διαμόρφωσης

- Η ψηφιακή μετάδοση πλεονεκτεί σε σχέση με την αναλογική λόγω της μικρής ευαισθησίας των ψηφιακών σημάτων στο θόρυβο και λόγω της μεγαλύτερης δυνατότητας και ευκολίας επεξεργασίας των ψηφιακών σημάτων με τη σημερινή τεχνολογία.
- Χωρητικότητα ενός διαύλου μετάδοσης ορίζεται ως η είναι η μέγιστη τιμή του ρυθμού μετάδοσης των πληροφοριών.
- Η χωρητικότητα του καναλιού εξαρτάται τόσο από το εύρος ζώνης του καναλιού όσο και από το ποσοστό του θορύβου που επηρεάζει αρνητικά το μεταδιδόμενο σήμα.
- Για να μετατραπεί ένα αναλογικό σήμα σε ψηφιακό, θα πρέπει να μετατραπεί σε σήμα διακριτό ως προς το χρόνο με τις ακόλουθες διαδικασίες κατά σειρά:
 - Δειγματοληψία
 - Κβάντιση
 - Κωδικοποίηση
- Το Θεώρημα Δειγματοληψίας (Nyquist) αναφέρει ότι η συχνότητα δειγματοληψίας του αναλογικού σήματος και μετατροπής αυτού σε ψηφιακό πρέπει να είναι μεγαλύτερη ή τουλάχιστον ίση με το διπλάσιο της μέγιστης συχνότητας που εμπεριέχεται στο αναλογικό σήμα.
- Τα ψηφιακά σήματα έχουν μεγάλο εύρος ζώνης σε σχέση με τα αναλογικά και για τη μετάδοση τους χρησιμοποιούμε ειδικές μεθόδους διαμόρφωσης:
 - Ψηφιακή Διαμόρφωση με μεταλλαγή Πλάτους, ASK
 - Ψηφιακή Διαμόρφωση με μεταλλαγή Συχνότητας, FSK

Η αναγκαιότητα της Ψηφιακής Διαμόρφωσης - Ερωτήσεις Μαθήματος

1. Να αναφέρετε τα πλεονεκτήματα της ψηφιακής μετάδοσης σε σύγκριση με την αναλογική.
2. Τι ορίζεται ως χωρητικότητα ενός διαύλου μετάδοσης στις ψηφιακές μεταδόσεις;
3. Από τι εξαρτάται η χωρητικότητα ενός διαύλου μετάδοσης;
4. Ποιες είναι οι διαδικασίες κατά σειρά για τη μετατροπή ενός αναλογικού σήματος σε ψηφιακό;
5. Να αναφέρετε το Θεώρημα της Δειγματοληψίας.
6. Να δικαιολογήσετε γιατί τα συστήματα τηλεφωνίας για τη ψηφιακή μετάδοση φωνής έχουν ρυθμό 64 kbit/s.
7. Να υπολογίσετε τον ελάχιστο ρυθμό δειγματοληψίας που απαιτείται για τη μετατροπή ενός αναλογικού σήματος με μέγιστη συχνότητα 20 KHz σε ψηφιακό.
8. Να αναφέρατε τα δύο είδη διαμόρφωσης ψηφιακών σημάτων.

Μάθημα 5.2 - Ψηφιακές Διαμορφώσεις

ΣΤΟΧΟΙ

Στο τέλος αυτού του μαθήματος ο/η μαθητής/τρια πρέπει να:

- Περιγράφει με τη βοήθεια σχεδιαγραμμάτων τις βασικές Τεχνικές Αναλογικής Μετάδοσης Ψηφιακών Σημάτων (διαμορφώσεις):
 - Με μετατόπιση πλάτους (ASK).
 - Με μετατόπιση συχνότητας (FSK).
- Αναφέρει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των διαμορφώσεων ASK και FSK.
- Γνωρίζει και εξηγεί την αρχή λειτουργίας των διαποδιαμορφωτών ακουστικής ζώνης (MODEM).

5.2.1 Βασικές Τεχνικές Αναλογικής Μετάδοσης Ψηφιακών Σημάτων

Έχουμε δει ότι αν τα προς μετάδοση σήματα πληροφορίας είναι ψηφιακά, τότε θα πρέπει να ληφθεί υπόψη το μεγάλο εύρος ζώνης συχνοτήτων που παρουσιάζουν σε σχέση με τα αναλογικά σήματα.

Ένα από τα σημαντικότερα ζητήματα σε κάθε μέθοδο διαμόρφωσης είναι το εύρος ζώνης συχνοτήτων που καταλαμβάνει το διαμορφωμένο σήμα. Λόγω του περιορισμένου μεγέθους του φάσματος συχνοτήτων που χρησιμοποιείται για τηλεπικοινωνιακούς σκοπούς, έχει μεγάλη σημασία η όσο το δυνατό μεγαλύτερη μείωση του εύρους ζώνης του μεταδιδόμενου σήματος.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα του μεγάλου εύρους ζώνης των ψηφιακών σημάτων είναι στην τηλεφωνία το εύρος ζώνης του ψηφιακού σήματος PCM (της τάξης των 32 kHz) που προκύπτει από τη μετατροπή αναλογικού σήματος φωνής με εύρος ζώνης 4 kHz.

Το γεγονός αυτό οδηγεί στη χρήση ειδικών μεθόδων διαμόρφωσης, προκειμένου τα σήματα αυτά να μπορούν να περάσουν ακόμη και από φυσικά μέσα με μικρό εύρος ζώνης, όπως για παράδειγμα τα χάλκινα καλώδια.

Οι τεχνικές αυτές στηρίζονται στις αρχές των διαμορφώσεων AM και FM:

✓ Ψηφιακή Διαμόρφωση με μετατόπιση Πλάτους (Amplitude Shift Keying-ASK).

Το πλάτος του ημιτονικού φέροντος σήματος μεταβάλλεται ανάλογα με την τιμή του ψηφιακού σήματος.

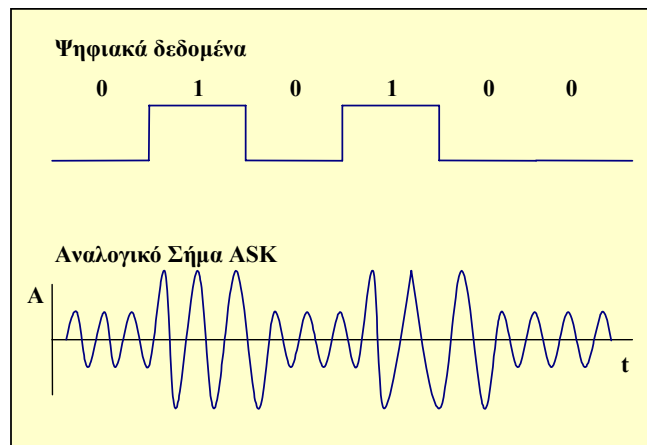
✓ Ψηφιακή Διαμόρφωση με μετατόπιση Συχνότητας (Frequency Shift Keying-FSK).

Η συχνότητα του ημιτονικού φέροντος σήματος μεταβάλλεται ανάλογα με την τιμή του ψηφιακού σήματος.

5.2.2 Ψηφιακή Διαμόρφωση Πλάτους (Amplitude Shift Keying- ASK)

Η ψηφιακή διαμόρφωση πλάτους ή ASK είναι η απλούστερη μορφή ψηφιακής διαμόρφωσης, όπως αντίστοιχα η διαμόρφωση AM είναι και η απλούστερη αναλογική. Και εδώ το πλάτος του ημιτονικού σήματος – φέροντος, μεταβάλλεται ανάλογα με την τιμή του ψηφιακού σήματος πληροφορίας, Σχήμα 5.2.1.

Η δουλειά του δέκτη στην περίπτωση των ψηφιακών σημάτων είναι πιο απλή, μιας και το μόνο που κάνει είναι να παρατηρεί χονδρικά το πλάτος του λαμβανόμενου ASK σήματος και να κρίνει αν λαμβάνει τη συγκεκριμένη στιγμή «0» ή «1».

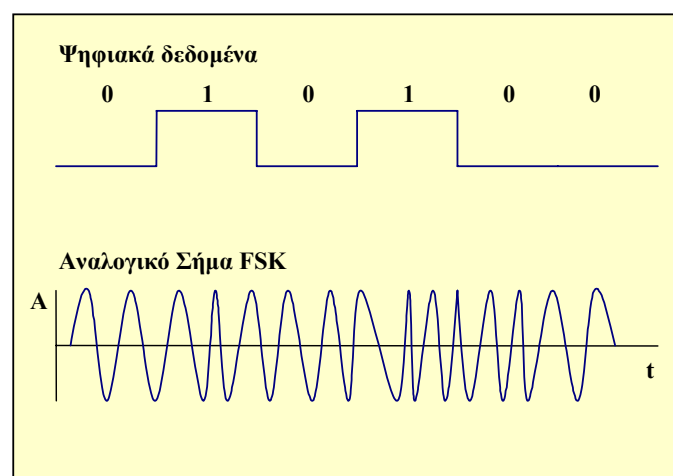


Σχήμα 5.2.1 - Διαμόρφωση ψηφιακών σημάτων κατά πλάτος (ASK)

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑ :

Δεδομένου ότι ο θόρυβος επηρεάζει ουσιαστικά το πλάτος των σημάτων, τα σήματα ASK είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στο θόρυβο και ειδικά στις υψηλές ταχύτητες μετάδοσης. Για το λόγο αυτό η χρήση της διαμόρφωσης ASK είναι σήμερα περιορισμένη και έχει αντικατασταθεί από πλέον σύγχρονες μεθόδους διαμόρφωσης.

5.2.3 Ψηφιακή Διαμόρφωση Συχνότητας (Frequency Shift Keying - FSK).



Σχήμα 5.2.2 - Διαμόρφωση ψηφιακών σημάτων κατά συχνότητα (FSK)

Όπως και στην περίπτωση της διαμόρφωσης FM, έτσι και στη ψηφιακή διαμόρφωση συχνότητας ή FSK, η συχνότητα του ημιτονικού φέροντος σήματος μεταβάλλεται με διακριτό τρόπο ανάλογα με την τιμή του ψηφιακού σήματος πληροφορίας. Στην απλούστερη περίπτωση αυτό σημαίνει μία τιμή συχνότητας για τη δυαδική τιμή «1» και μία άλλη τιμή συχνότητας για τη δυαδική τιμή «0». Χαρακτηριστικό παράδειγμα ψηφιακής διαμόρφωσης συχνότητας δίνεται στο Σχήμα 5.2.2.

Το εύρος ζώνης ενός σήματος FSK εξαρτάται άμεσα από το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων μια και αυτός καθορίζει την απόσταση μεταξύ των δύο συχνοτήτων του φάσματος. Πιο συγκεκριμένα, όσο μεγαλύτερος ο ρυθμός διάδοσης δεδομένων, τόσο μεγαλύτερο εύρος ζώνης απαιτείται για τη μεταφορά τους.

5.2.4 Διαποδιαμορφωτής - Modem

Η λέξη **modem** προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων **MO**dulator **DE**Modulator (**Διαμορφωτής – Αποδιαμορφωτής**). Τα modem (διαποδιαμορφωτές) είναι οι συσκευές που μετατρέπουν τα ψηφιακά σήματα των υπολογιστών σε ηλεκτρικά σήματα ακουστικών συχνοτήτων κατάλληλης έντασης, ώστε να μπορούν να μεταδοθούν από ειδικά καλώδια ή από το τηλεφωνικό δίκτυο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 5.2.3. Επίσης φροντίζουν και για την αντίστροφη μετατροπή, δηλαδή των αναλογικών ηλεκτρικών σημάτων σε ψηφιακά, ώστε τελικά να επιτρέπουν την επικοινωνία μεταξύ δύο υπολογιστών μέσω του τηλεφωνικού δικτύου.



Σχήμα 5.2.3 - Οι Διαποδιαμορφωτές ακουστικών συχνοτήτων μπορούν να συνδέσουν δύο υπολογιστές χρησιμοποιώντας το τηλεφωνικό δίκτυο

Για να υπάρξει συμβατότητα στη λειτουργία των διαποδιαμορφωτών διαφορετικών κατασκευαστών και για να μπορούν αυτά να συνεργάζονται μεταξύ τους, εθνικοί και διεθνείς οργανισμοί τυποποίησης όπως η ITU-T (International Telecommunication Union) έχουν θεσπίσει κατάλληλες τυποποιήσεις.

Οι κυριότεροι διαποδιαμορφωτές χρησιμοποιούν τη ζώνη των ακουστικών συχνοτήτων (Voiceband).

5.2.5 Διαποδιαμορφωτής Ακουστικής Ζώνης (Voiceband)

Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό των διαποδιαμορφωτών ακουστικής ζώνης συχνοτήτων είναι ότι το φάσμα συχνοτήτων που χρησιμοποιούν για επικοινωνία, περιορίζεται στο κανάλι ομιλίας, δηλαδή μέσα στη στενή περιοχή των ακουστικών συχνοτήτων από 300 έως 3400 Hz, που προσφέρεται από το τηλεφωνικό δίκτυο. Επειδή οι περιοχές συχνοτήτων κοντά στα άκρα των 300 Hz και 3400 Hz συνήθως παρουσιάζουν έντονες παραμορφώσεις και ισχυρή εξασθένηση, το εύρος συχνοτήτων που χρησιμοποιείται στην πράξη είναι λίγο μικρότερο.

Διακρίνουμε δύο μεγάλες κατηγορίες στις τυποποιήσεις των διαποδιαμορφωτών ακουστικής ζώνης, ανάλογα με τον τύπο της τηλεφωνικής γραμμής που χρησιμοποιούν:

- | | |
|---|---|
| • Επιλεγόμενης (Dial-up) γραμμής | Προορίζονται για το κοινό δισύρματο επιλεγόμενο τηλεφωνικό δίκτυο |
| • Αφιερωμένης ή μισθωμένης γραμμής (Dedicated ή Leased line) | Συνδέονται με μόνιμες τηλεφωνικές γραμμές |

5.2.6 Διαποδιαμορφωτής Επιλεγόμενης Γραμμής (Dial-up)

Στην κατηγορία αυτή η σύνδεση στο επιλεγόμενο τηλεφωνικό δίκτυο γίνεται με σχηματισμό του αριθμού επιλογής αυτόματα από το διαποδιαμορφωτή. Οι διαποδιαμορφωτές αυτοί είναι οι πιο διαδεδομένοι, διότι είναι κατάλληλοι για περιβάλλον γραφείου αλλά και για οικιακή χρήση. Η τηλεφωνική συσκευή μπορεί να συνδεθεί παράλληλα με το διαποδιαμορφωτή, ώστε να μοιράζονται την ίδια τηλεφωνική γραμμή. Μέσα στο διαποδιαμορφωτή υπάρχει ένας διακόπτης μεταγωγής, ο οποίος το συνδέει με την τηλεφωνική γραμμή, μόνο όταν υπάρχει επικοινωνία. Όταν το modem δεν χρησιμοποιείται, ο μεταγωγός αυτός το αποσυνδέει από την γραμμή.

Τα πλεονεκτήματά των διαποδιαμορφωτών επιλεγόμενης γραμμής είναι:

- ✓ Χρησιμοποιώντας την υπάρχουσα τηλεφωνική υποδομή, μπορεί κανείς να μεταφέρει αρχεία ή δεδομένα από κάποιον υπολογιστή σε οποιοδήποτε σημείο του κόσμου.
- ✓ Προσφέρουν την οικονομικότερη λύση για μεταφορά μικρών αρχείων ή για μετάδοση μικρών μηνυμάτων.

Γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται στην σύνδεση υπολογιστών με το Διαδίκτυο (Internet).

Τα μειονεκτήματά τους είναι:

- ✓ Η περιορισμένη ταχύτητα επικοινωνίας (2.4 έως 56 kbit/s)
- ✓ Η μη σταθερή ταχύτητα μετάδοσης
- ✓ Η απρόβλεπτη διακοπή της σύνδεσης, όταν υπάρχει πολύς θόρυβος στη γραμμή.

Στην προσπάθεια να αυξηθεί η ταχύτητα μετάδοσης μέσω διαποδιαμορφωτών από τους παροχείς υπηρεσιών προς τους χρήστες του Internet, δημιουργήθηκε μια οικογένεια συσκευών που επιτρέπει τη μεταφορά δεδομένων με ταχύτητα 56 kbit/s μέσω του κοινού επιλεγόμενου τηλεφωνικού δικτύου. Οι διαποδιαμορφωτές αυτοί έχουν σχεδιαστεί ώστε η ταχύτητα επικοινωνίας να είναι ασύμμετρη, δηλαδή στην κατεύθυνση παροχέα – χρήστη είναι 56 kbit/s, ενώ στην αντίθετη κατεύθυνση είναι 33.6 kbit/s (V.34).

5.2.7 Διαποδιαμορφωτής Αφιερωμένης Γραμμής

Οι **διαποδιαμορφωτές αφιερωμένης γραμμής** δε χρειάζονται να έχουν τη δυνατότητα κλήσης και απάντησης. Η αφιερωμένη γραμμή είναι ένα καλώδιο που συνδέει συνεχώς τους δύο διαποδιαμορφωτές, χωρίς να περνά μέσα από το επιλογικό τηλεφωνικό δίκτυο. Με αυτό τον τρόπο η σύνδεση είναι απαλλαγμένη από τους θορύβους των τηλεφωνικών κέντρων. Η αφιερωμένη γραμμή είναι επομένως πιο «καθαρή» και τα δεδομένα μεταδίδονται, χωρίς να εμφανίζονται λάθη στη λήψη.

Ανακεφαλαίωση - Ψηφιακές Διαμορφώσεις

- Τα ψηφιακά σήματα έχουν μεγάλο εύρος ζώνης σε σχέση με τα αναλογικά και για τη μετάδοση τους χρησιμοποιούμε ειδικές μεθόδους διαμόρφωσης:
- √ **Ψηφιακή Διαμόρφωση με μετατόπιση Πλάτους - Amplitude Shift Keying, ASK**
Το πλάτος του ημιτονικού φέροντος σήματος μεταβάλλεται ανάλογα με την τιμή του ψηφιακού σήματος.
- √ **Ψηφιακή Διαμόρφωση με μετατόπιση Συχνότητας - Frequency Shift Keying, FSK**
Η συχνότητα του ημιτονικού φέροντος σήματος μεταβάλλεται ανάλογα με την τιμή του ψηφιακού σήματος.
- Η διαμόρφωση FSK υπερτερεί της αντίστοιχης διαμόρφωσης ASK διότι η δεύτερη είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στο θόρυβο, ειδικά στις ψηλές συχνότητες και για αυτό το λόγο δεν χρησιμοποιείται σήμερα.
- Οι **διαποδιαμορφωτές (modems)** είναι συσκευές που μετατρέπουν τα ψηφιακά σήματα των ηλεκτρονικών υπολογιστών σε ηλεκτρικά ακουστικών συχνοτήτων, κατάλληλα να μεταδοθούν μέσω του τηλεφωνικού δικτύου.
- Οι κυριότεροι διαποδιαμορφωτές χρησιμοποιούν τη ζώνη των ακουστικών συχνοτήτων (Voiceband).
 - ♦ **Επιλεγόμενης (dial-up) γραμμής.**
 - ♦ **Αφιερωμένης ή μισθωμένης γραμμής (dedicated ή leased line).**

Ψηφιακές Διαμορφώσεις - Ερωτήσεις Μαθήματος

1. Να αναφέρετε τα δύο είδη ψηφιακών διαμορφώσεων.
2. Να περιγράψετε τις ψηφιακές διαμορφώσεις με μετατόπιση πλάτους και συχνότητας ASK και FSK αντίστοιχα.
3. Να αναφέρετε το μειονέκτημα της ψηφιακής διαμόρφωσης με μετατόπιση πλάτους ASK σε σχέση με τη διαμόρφωση με μετατόπιση συχνότητας FSK.
4. Να δώσετε τον ορισμό του διαποδιαμορφωτή.
5. Ποιο είναι το βασικό πρόβλημα των ψηφιακών επικοινωνιών που αντιμετωπίζεται με τη χρήση διαποδιαμορφωτών;
6. Ποια είναι τα πλεονεκτήματα των διαποδιαμορφωτών επιλεγόμενης γραμμής (dial up line);
7. Ποιο είναι το σημαντικό πλεονέκτημα των διαποδιαμορφωτών αφιερωμένης γραμμής (dedicated line);

Ενότητα 6 - Πολυπλεξία

- Μάθημα 6.1 - Πολυπλεξία

Μάθημα 6.1 - Πολυπλεξία

ΣΤΟΧΟΙ

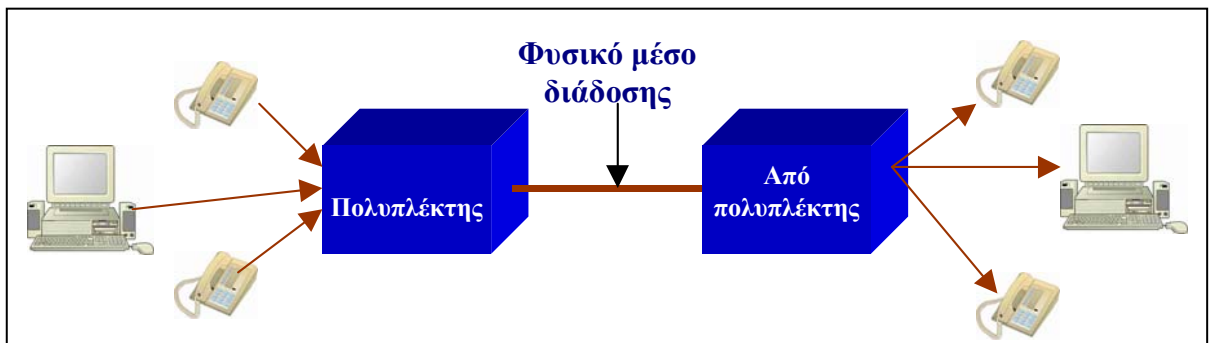
Στο τέλος αυτού του μαθήματος ο/η μαθητής/τρια πρέπει να:

- Εξηγεί την έννοια της πολυπλεξίας.
- Αναγνωρίζει την αναγκαιότητα της χρήσης της τεχνικής της πολυπλεξίας στις τηλεπικοινωνίες για την εξοικονόμηση πόρων.
- Γνωρίζει τις κύριες μεθόδους πολυπλεξίας και αναφέρει τα χαρακτηριστικά τους:
 - ο Πολυπλεξίας με διαίρεση συχνότητας (FDM).
 - ο Πολυπλεξίας με διαίρεση χρόνου (TDM).
- Συγκρίνει τις μεθόδους πολυπλεξίας με διαίρεση συχνότητας και διαίρεση χρόνου.

6.1.1 Εισαγωγή

Ένας δίαυλος επικοινωνίας π.χ. ένα ομοαξονικό ή ένα καλώδιο οπτικών ινών έχει την ικανότητα να μεταβιβάσει χωρίς πρόβλημα ταυτόχρονα περισσότερα από ένα μήνυμα χωρίς την ανάγκη ξεχωριστών καναλιών επικοινωνίας για κάθε σύνδεση, Σχήμα 6.1.1.

Η ταυτόχρονη μεταβίβαση πολλών σημάτων μέσα από το ίδιο δίαυλο μετάδοσης ονομάζεται **πολυπλεξία (multiplexing)**



Σχήμα 6.1.1 - Πολυπλεξία διαφορετικών ζεύξεων σε κοινό μέσο διάδοσης

Η πολυπλεξία εφαρμόζεται συνήθως σε κάποιο τηλεπικοινωνιακό κόμβο με τον οποίο είναι συνδεδεμένοι πολλοί χρήστες, προκειμένου να διανυθεί η απόσταση μέχρι κάποιο άλλο κόμβο (συνήθως σε μεγάλη απόσταση π.χ. μεταξύ δυο πόλεων ή δυο τηλεφωνικών κέντρων) μέσα από ένα φυσικό μέσο διάδοσης.

Στην άλλη άκρη της σύνδεσης εφαρμόζεται **αποπολυπλεξία** και τα δεδομένα διαχωρίζονται, προκειμένου να κατευθυνθούν προς τον παραλήπτη τους.

Το κύριο πλεονέκτημα της πολυπλεξίας είναι η εξοικονόμηση τηλεπικοινωνιακών πόρων (καλωδίων και συσκευών).

ΚΥΡΙΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΠΟΛΥΠΛΕΞΙΑΣ

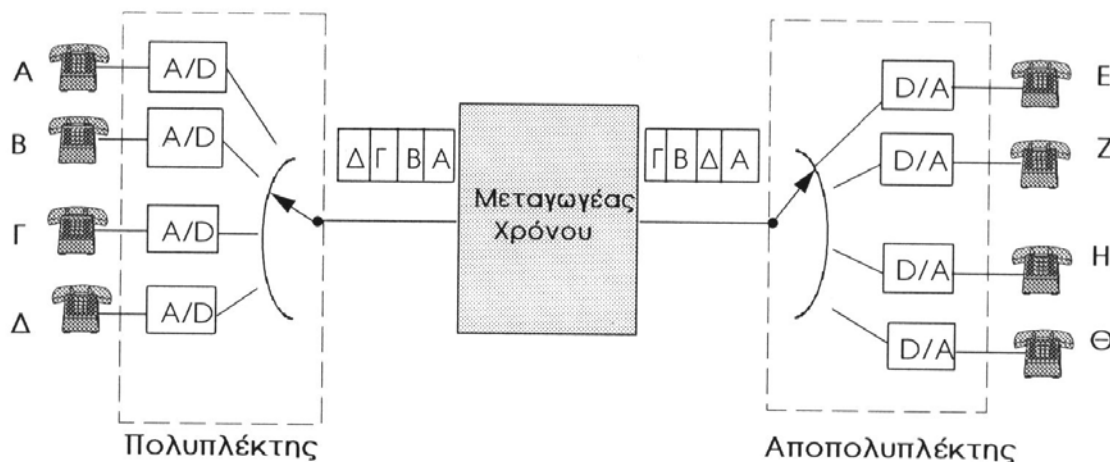
- ✓ Πολυπλεξία με διαίρεση Χρόνου (Time Division Multiplexing – TDM)
- ✓ Πολυπλεξία με διαίρεση Συχνότητας (Frequency Division Multiplexing – FDM)

Η πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας χρησιμοποιείται κυρίως στην αναλογική μετάδοση σημάτων

Η πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου χρησιμοποιείται στην ψηφιακή μετάδοση σημάτων.

6.1.2 Πολυπλεξία με διαίρεση Χρόνου (Time division multiplexing – TDM)

Το θεώρημα δειγματοληψίας επιτρέπει τη μετάδοση όλης της πληροφορίας που περιέχεται σε ένα σήμα, απλώς στέλνοντας δείγματα αυτού του σήματος, που λαμβάνονται ομοιόμορφα. Ένα πολύ σημαντικό χαρακτηριστικό αυτής της διαδικασίας είναι η εξοικονόμηση χρόνου. Πράγματι η μετάδοση των δειγμάτων απασχολεί το κανάλι επικοινωνίας για μικρά χρονικά διαστήματα σε περιοδική βάση. Έτσι το κανάλι μετάδοσης απελευθερώνεται για συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα, κατά τα οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί από άλλες ανεξάρτητες πηγές πληροφορίας για τη μετάδοση των δικών τους δεδομένων. Ένα τέτοιο τηλεπικοινωνιακό σύστημα που επιτρέπει τη συνδυασμένη χρήση ενός κοινού καναλιού μετάδοσης από διαφορετικούς χρήστες χωρίς αμοιβαία παρεμβολή και σε μία βάση χρονικού καταμερισμού, ονομάζεται σύστημα **πολυπλεξίας με διαίρεση χρόνου (Time Division Multiplexing system – TDM)**, Σχήμα 6.1.2.



Σχήμα 6.1.2 Πολυπλεξία με Διαίρεση Χρόνου

Στα συστήματα πολυπλεξίας TDM ο χρόνος χωρίζεται σε χρονικά τμήματα (**χρονοθυρίδες – timeslots**). Ο χρήστης έχει στη διάθεσή του το χρονικό αυτό τμήμα (διάστημα), άσχετα αν έχει ή όχι δεδομένα να μεταδώσει. Η σειρά με την οποία εκπέμπουν τα διάφορα τερματικά δεν αλλάζει.

Στην άλλη πλευρά του κοινού καναλιού επικοινωνίας υπάρχει ένας αποπολυπλέκτης (demultiplexer), ο οποίος με τη σειρά του αποπολυπλέκει τα δεδομένα διαχωρίζοντάς τα και οδηγώντας τα στους κατάλληλους δρόμους. Είναι προφανές πως όσοι δρόμοι καταλήγουν στον πολυπλέκτη στη μία πλευρά του κοινού καναλιού, τόσοι δρόμοι πρέπει να φεύγουν και από τον αποπολυπλέκτη στην άλλη πλευρά. Τα δεδομένα βγαίνουν από τον αποπολυπλέκτη με την ίδια ταχύτητα που είχαν πριν πολυπλεχτούν.

Απαραίτητη προϋπόθεση για την ορθή λειτουργία ενός TDM συστήματος είναι η ύπαρξη **συγχρονισμού** των πλαισίων (frames). Η έννοια του συγχρονισμού έχει να κάνει με τη

γνώση από πλευράς του δέκτη των χρονικών στιγμών που ξεκινάει και τελειώνει το κάθε πλαίσιο.

Σημείωση: Απώλεια συγχρονισμού σημαίνει απώλεια δεδομένων για όλους τους χρήστες προς τους οποίους διακινείται πληροφορία στο πλαίσιο.

✓ **Πλεονεκτήματα Πολυπλεξίας Με Διαίρεση Χρόνου**

- Ελάχιστη καθυστέρηση στη μετάδοση δεδομένων, μια και ο χρόνος που απαιτείται για τη συλλογή των πληροφοριών από κάθε χρήστη και για το σχηματισμό του κάθε πλαισίου είναι ασήμαντος. Το γεγονός αυτό κάνει ιδιαίτερα χρήσιμους τους πολυπλέκτες TDM σε εφαρμογές ευαίσθητες σε καθυστερήσεις.
- Απλότητα στην υλοποίηση και στην κατασκευή με αποτέλεσμα μικρό κόστος.

✓ **Μειονεκτήματα Πολυπλεξίας Με Διαίρεση Χρόνου**

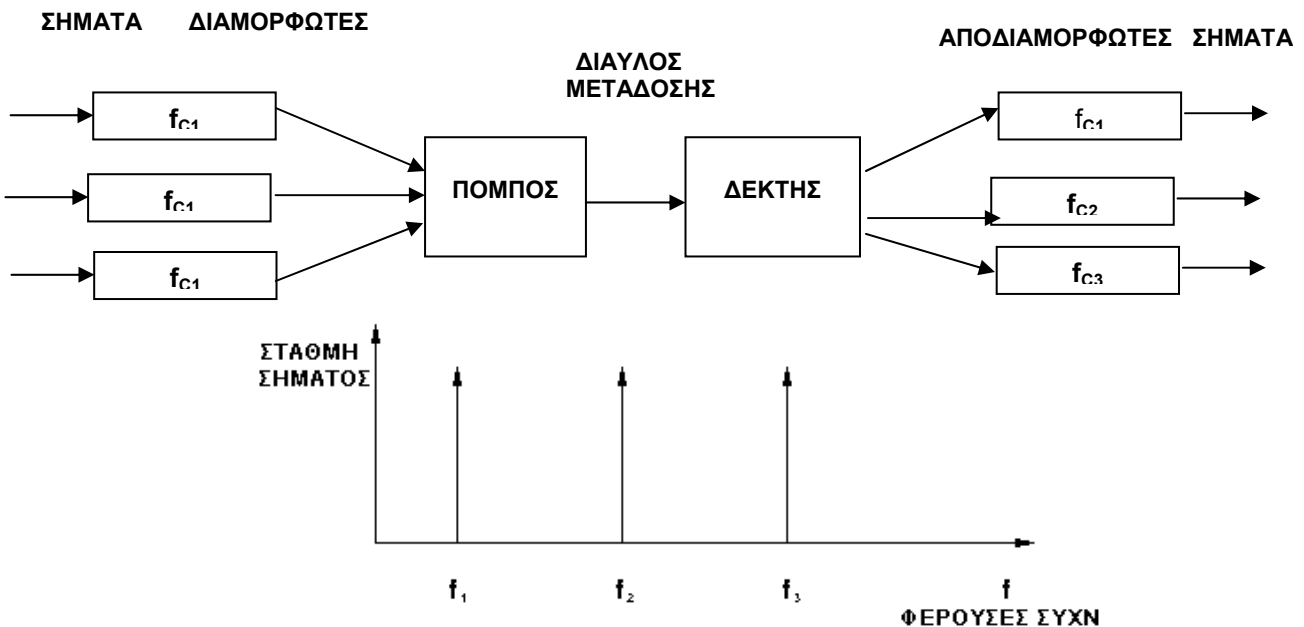
- Για κάθε χρήστη αφιερώνεται πάντοτε ένα χρονικό τμήμα, ανεξάρτητα αν αυτός έχει να μεταδώσει κάτι ή όχι, και αυτό οδηγεί σε κακή εκμετάλλευση της γραμμής μετάδοσης.

6.1.3 Πολυπλεξία με διαίρεση Συχνότητας (Frequency Division Multiplexing – FDM)

Ο δεύτερος τρόπος για να επιτευχθεί η πολυπλεξία διαφορετικών σημάτων πληροφορίας, προκειμένου αυτά να μεταδοθούν μέσα από ένα κοινό κανάλι, είναι να γίνει αυτό στο πεδίο της συχνότητας.

Η μέθοδος αυτή ονομάζεται **Πολυπλεξία με διαίρεση Συχνότητας (Frequency Division Multiplexing – FDM)** και στηρίζεται στη χρήση φερόντων σημάτων με διαφορετικές συχνότητες.

Για τον κάθε χρήστη, αφιερώνεται ένα διαφορετικό τμήμα του διαθέσιμου φάσματος συχνοτήτων, μέσα στο οποίο θα πρέπει να μεταφερθούν τα δικά του σήματα.



Σχήμα 6.1.3 - Πολυπλεξία με Διαίρεσης Συχνότητας

✓ **Μειονεκτήματα Πολυπλεξίας Με Διάρθρωση Συχνότητας**

- Η μη βέλτιστη εκμετάλλευση του διαθέσιμου φάσματος του καναλιού μετάδοσης.

Μεταξύ των περιοχών συχνοτήτων που καταλαμβάνει ο κάθε χρήστης θα πρέπει να υπάρχει ικανοποιητικός διαχωρισμός (αχρησιμοποίητες συχνότητες), ώστε να αποφεύγεται η πιθανότητα παρεμβολών μεταξύ διαδοχικών σημάτων. Ο ίδιος διαχωρισμός απαιτείται και μεταξύ των καναλιών μετάδοσης και λήψης που αντιστοιχούν στον κάθε χρήστη, για να αποφεύγονται φαινόμενα αυτοπαρεμβολών. Το αποτέλεσμα είναι να γίνεται σπατάλη ενός από τους πιο πολύτιμους τηλεπικοινωνιακούς πόρους, των διαθέσιμων για μετάδοση συχνοτήτων.

6.1.4 Παραδείγματα Πολυπλεξίας

- **Πολυπλεξίας με Διάρθρωση Χρόνου**

✓ **Ψηφιακό Δίκτυο Ενοποιημένων Υπηρεσιών - ISDN**

Προσφέρει είτε 2 (Βασικός Ρυθμός Πρόσβασης - BRI) είτε 30 (Πρωτεύον Ρυθμός Πρόσβασης - PRI) ψηφιακές τηλεφωνικές συνδιαλέξεις με τη χρήση μιας μόνο σύνδεσης.

Στην περίπτωση αυτή η σύνδεση είναι ενσύρματη και υλοποιείται με τη χρήση ενός συνεστραμμένου ζεύγους χάλκινου καλωδίου.

- **Πολυπλεξία με Διάρθρωση Συχνότητας**

✓ **Ραδιοφωνία FM**

Στο κάθε ραδιοφωνικό σταθμό εκχωρείται φάσμα συχνοτήτων 300 kHz στη ζώνη συχνοτήτων VHF από 88 MHz - 108 MHz.

✓ **Τηλεόραση**

Τα κανάλια της τηλεόρασης διαχωρίζονται ανά 8 MHz στις ζώνες συχνοτήτων VHF και UHF (Κανάλια 2 - 69).

Στη περίπτωση αυτή το μέσο μετάδοσης είναι ο αέρας και η μετάδοση επιτυγχάνεται με την εκπομπή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων από την κεραία του κάθε σταθμού

Ανακεφαλαίωση - Πολυπλεξία

Η ταυτόχρονη μεταβίβαση πολλών σημάτων μέσα από το ίδιο δίαυλο μετάδοσης ονομάζεται Πολυπλεξία (multiplexing)

Το κύριο πλεονέκτημα της πολυπλεξίας είναι η εξοικονόμηση τηλεπικοινωνιακών πόρων (καλωδίων και συσκευών).

Οι κύριες μέθοδοι πολυπλεξίας είναι

- ✓ Πολυπλεξία με διαίρεση συχνότητας (Frequency Division Multiplexing)
Η πολυπλεξία διαίρεσης συχνότητας χρησιμοποιείται κυρίως στην αναλογική μετάδοση σημάτων
- ✓ Πολυπλεξία με διαίρεση χρόνου (Time Division Multiplexing)
Η πολυπλεξία διαίρεσης χρόνου χρησιμοποιείται στην ψηφιακή μετάδοση σημάτων.

Πολυπλεξία - Ερωτήσεις Μαθήματος

1. Τι ονομάζουμε πολυπλεξία και ποια η αναγκαιότητα χρήσης της;
2. Να αναφέρατε τις δύο κύριες μεθόδους πολυπλεξίας και τα χαρακτηριστικά τους.
3. Ποια είναι η κύρια προϋπόθεση στην πολυπλεξία με διαίρεση χρόνου;
4. Να αναφέρετε τρεις περιπτώσεις χρήσης της τεχνικής της πολυπλεξίας στην τηλεφωνία και στην ραδιοφωνία.

Ενότητα 7 - Συστήματα Ακτινοβολίας

- Μάθημα 7.1 - Γραμμές Μεταφοράς
- Μάθημα 7.2 - Κεραίες

Μάθημα 7.1 - Γραμμές Μεταφοράς

ΣΤΟΧΟΙ

Στο τέλος αυτού του μαθήματος ο/η μαθητής/τρια πρέπει να:

- Αναφέρει τι ονομάζουμε γραμμές μεταφοράς.
- Εξηγεί τον όρο χαρακτηριστική αντίσταση γραμμής μεταφοράς.
- Αναφέρει τι είναι τα τρέχοντα και στάσιμα κύματα σε μια γραμμή μεταφοράς.
- Εξηγεί τη σημασία της προσαρμογής πομπού, γραμμής μεταφοράς, κεραίας εκπομπής και κεραίας λήψης, γραμμής μεταφοράς, δέκτη.

7.1.1 Εισαγωγή

Για να πραγματοποιηθεί μία ασύρματη επικοινωνία θα πρέπει η ισχύς εξόδου του πομπού να μεταφερθεί όσο το δυνατόν με λιγότερες απώλειες στην κεραία εκπομπής για να ακτινοβοληθεί στο χώρο σαν ηλεκτρομαγνητικό κύμα.

Ταυτόχρονα, μια κεραία λήψης θα πρέπει να συλλάβει αυτό το ηλεκτρομαγνητικό κύμα και να το μεταφέρει με μορφή ηλεκτρικού σήματος στην είσοδο ενός δέκτη με λιγότερες απώλειες όπου θα υποστεί την κατάλληλη επεξεργασία, για να μετατραπεί σε ωφέλιμο σήμα.

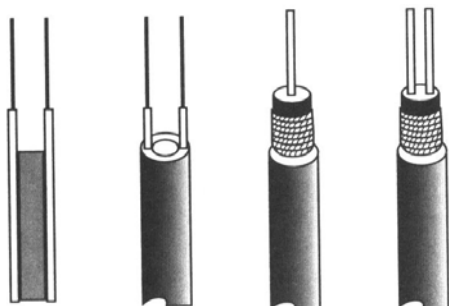
Οι διατάξεις που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά της ηλεκτρικής ισχύος από τους πομπούς στις κεραίες ή από τις κεραίες στους δέκτες ονομάζονται **γραμμές μεταφοράς**.

Οι διατάξεις που ακτινοβολούν ηλεκτρομαγνητικά κύματα στο χώρο ή συλλαμβάνουν ηλεκτρομαγνητικά κύματα από το χώρο ονομάζονται **κεραίες**.

7.1.2 Γραμμές Μεταφοράς

Η μεταφορά του σήματος (της ηλεκτρικής ενέργειας) από τον πομπό στην κεραία εκπομπής πραγματοποιείται μέσω γραμμών μεταφοράς:

- Καλώδια δύο παράλληλων αγωγών
- Ομοαξονικά καλώδια
- Κυματοδηγοί



(α) (β) (γ) (δ)

- (α) Αθωράκιστη διπολική γραμμή 300 Ω
- (β) Αθωράκιστη σωληνωτή διπολική γραμμή 300 Ω
- (γ) Θωρακισμένο ομοαξονικό καλώδιο 50 Ω / 75 Ω.
- (δ) Θωρακισμένο συμμετρικό καλώδιο 120 Ω.

Σχήμα 7.1.1 Γραμμές μεταφοράς

Εκτός από τα καλώδια, χρησιμοποιούνται επίσης και κυματοδηγοί για την μεταφορά σημάτων στις μικροκυματικές συχνότητες, Σχήμα 7.1.2.



Σχήμα 7.1.2 Κυματοδηγός και Χοανοκεραία

Ο κυματοδηγός είναι ένας κυκλικός, ελλειπτικός ή ορθογώνιος κοίλος αγωγός ή σωλήνας μέσω του οποίου διαδίδονται τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα στις ψηλές μικροκυματικές συχνότητες.

7.1.3 Χαρακτηριστική Αντίσταση Γραμμής Μεταφοράς

Κάθε γραμμή μεταφοράς μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από πλήθος πυκνωτών, πηνίων και αντιστάσεων κατανεμημένων σε όλο της το μήκος. Η δράση των αντιστάσεων έχει αποτέλεσμα την απώλεια ενός μέρους της μεταφερόμενης ενέργειας, ενώ η δράση των υπόλοιπων στοιχείων περιορίζει τη μέγιστη συχνότητα του ρεύματος που μπορεί να περάσει μέσα από τη γραμμή.

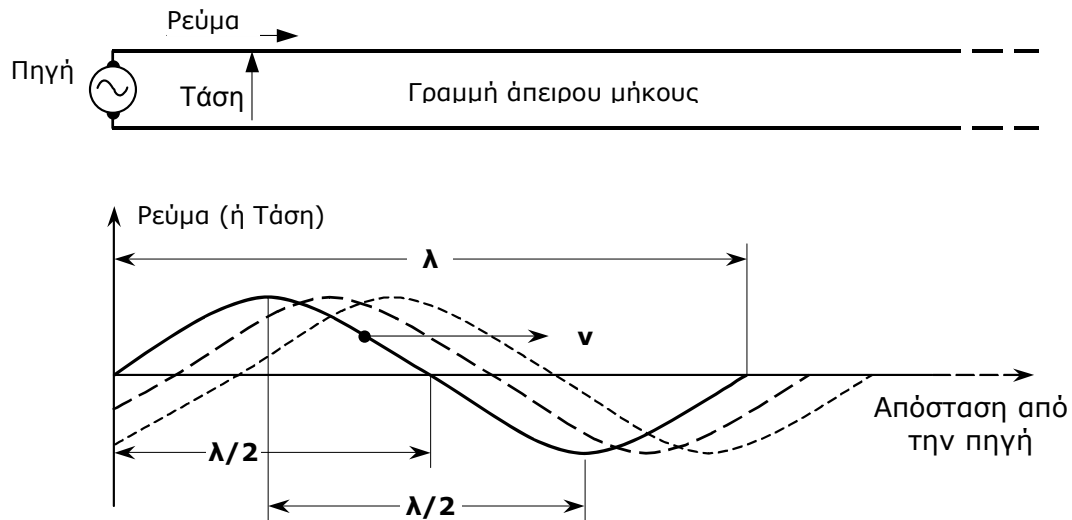
Τα κατανεμημένα στοιχεία καθορίζουν επίσης και τη **χαρακτηριστική αντίσταση** της γραμμής. Αυτή η αντίσταση, εξαρτάται από τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της γραμμής.

Χαρακτηριστική αντίσταση ορίζεται ως η αντίσταση που θα προέβαλλε η γραμμή στη διέλευση του ηλεκτρομαγνητικού κύματος που ταξιδεύει σ' αυτήν, αν είχε άπειρο μήκος.

7.1.4 Τρέχοντα κύματα

Σε μια γραμμή μεταφοράς άπειρου μήκους, η οποία τροφοδοτείται στο ένα άκρο της από μια πηγή εναλλασσόμενης ημιτονικής τάσης υψηλής συχνότητας παρατηρούμε ότι το ρεύμα και η τάση σχηματίζουν "κύματα" που μετακινούνται πάνω στη γραμμή, τα οποία ονομάζουμε **τρέχοντα κύματα**.

Η ταχύτητα με την οποία μετακινούνται τα τρέχοντα κύματα πάνω στη γραμμή εξαρτάται από το είδος του μονωτικού υλικού μεταξύ των συρμάτων. Αν στη θέση του μονωτικού υπάρχει το κενό, η ταχύτητα είναι ίση με την ταχύτητα του φωτός (300 000 km/s). Σε κάθε άλλη περίπτωση η ταχύτητα είναι από 5% ως 20% μικρότερη.



Σχήμα 7.1.3 Κύματα ρεύματος (ή τάσης) κατά μήκος μιας γραμμής μεταφοράς

7.1.5 Στάσιμα κύματα

Όταν το κύμα σε μια γραμμή η οποία δεν είναι άπειρη και δεν είναι τερματισμένη με μια ωμική αντίσταση ίση με τη χαρακτηριστική αντίσταση της γραμμής, αυτό ανακλάται (**ανακλώμενο κύμα**).

Όταν το ανακλώμενο κύμα φτάσει στην πηγή, η κατάσταση αυτή παγιάνεται και καμιά κίνηση δεν παρατηρείται. Η κατάσταση αυτή ονομάζεται **στάσιμο κύμα**.

7.1.6 Γραμμές με ωμικό φορτίο

Όταν το φορτίο (κεραία) έχει τιμή ίση με τη χαρακτηριστική αντίσταση της γραμμής, η γραμμή συμπεριφέρεται σαν να είχε άπειρο μήκος και από μέσα της περνούν μόνο τρέχοντα κύματα.

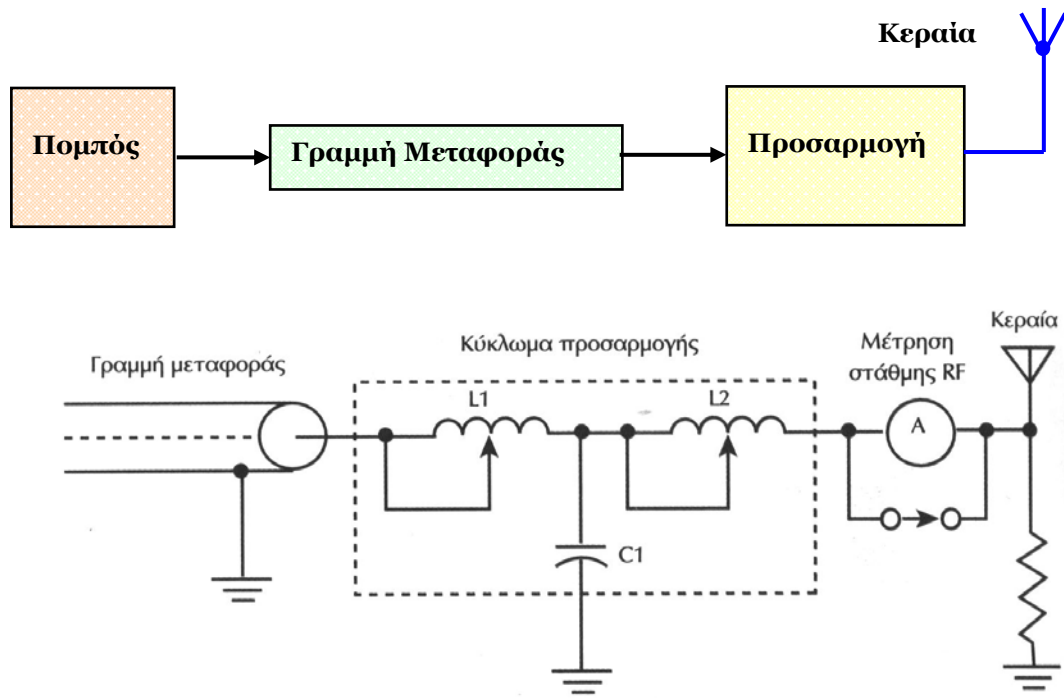
Όταν το ωμικό φορτίο δεν έχει τιμή ίση με τη χαρακτηριστική αντίσταση της γραμμής, τότε δεν μπορεί να απορροφήσει όλη την ενέργεια που έρχεται από την πηγή και ένα μέρος της το αντανακλά πίσω.

Η εμφάνιση στάσιμων κυμάτων πάνω σε μια γραμμή μεταφοράς είναι ιδιαίτερα ανεπιθύμητη κατάσταση, γιατί σημαίνει ότι ένα μέρος ή και όλη η ισχύς της πηγής δεν απορροφάται από στο φορτίο, αλλά επιστρέφει πίσω.

7.1.7 Προσαρμογή

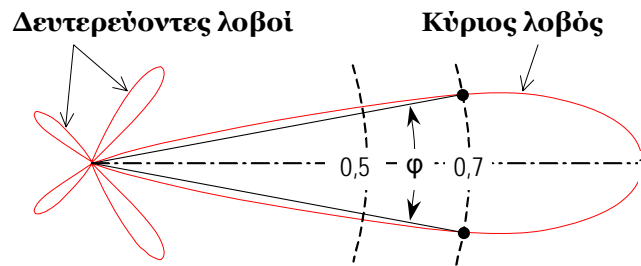
Προσαρμογή ονομάζεται η εξασφάλιση των συνθηκών που επιτρέπουν τη μεταφορά της μέγιστης δυνατής ισχύος από μια πηγή σ' ένα φορτίο. Στην περίπτωση των γραμμών μεταφοράς η τέλεια προσαρμογή επιτυγχάνεται μόνο, όταν ταυτόχρονα η αντίσταση εξόδου του πομπού είναι ίση με τη χαρακτηριστική αντίσταση της γραμμής και η χαρακτηριστική αντίσταση της γραμμής είναι ίση με την αντίσταση φορτίου.

Στις περιπτώσεις που η αντίσταση εξόδου του πομπού είναι διαφορετική από την αντίσταση του φορτίου χρησιμοποιούμε κυκλώματα προσαρμογής για να επιτευχθεί μέγιστη μεταφορά ισχύος από το πομπό στη κεραία.



Σχήμα 7.1.4 Κύκλωμα Προσαρμογής μεταξύ Γραμμής Μεταφοράς και Κεραίας

Ανακεφαλαίωση - Γραμμές Μεταφοράς



Για να πραγματοποιηθεί μία ασύρματη επικοινωνία θα πρέπει η ισχύς εξόδου του πομπού να μεταφερθεί όσο το δυνατόν με λιγότερες απώλειες στην κεραία εκπομπής για να ακτινοβοληθεί στο χώρο σαν ηλεκτρομαγνητικό κύμα.

Η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας από τον πομπό στην κεραία εκπομπής πραγματοποιείται με τις **γραμμές μεταφοράς** (καλώδια δύο παραλλήλων αγωγών, ομοαξονικά καλώδια, κυματοδηγοί).

Κάθε γραμμή μεταφοράς μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από πλήθος πυκνωτών, πηνίων και αντιστάσεων κατανεμημένων σε όλο της το μήκος της. Η δράση των αντιστάσεων έχει αποτέλεσμα την απώλεια ενός μέρους της μεταφερόμενης ενέργειας, ενώ η δράση των υπόλοιπων στοιχείων περιορίζει τη μέγιστη συχνότητα του ρεύματος που μπορεί να περάσει μέσα από τη γραμμή.

Τα κατανεμημένα στοιχεία καθορίζουν επίσης και τη **χαρακτηριστική αντίσταση** της γραμμής. Η χαρακτηριστική αντίσταση της γραμμής εξαρτάται από τα κατασκευαστικά χαρακτηριστικά της γραμμής και θα ήταν η αντίσταση που θα προέβαλλε η γραμμή στη διέλευση του υψίσυχνου ρεύματος, αν είχε άπειρο μήκος.

Σε μια γραμμή μεταφοράς άπειρου μήκους, η οποία τροφοδοτείται στο ένα άκρο της από μια πηγή εναλλασσόμενης ημιτονικής τάσης υψηλής συχνότητας παρατηρούμε ότι το ρεύμα και η τάση σχηματίζουν "κύματα" που μετακινούνται πάνω στη γραμμή, τα οποία ονομάζουμε **τρέχοντα κύματα**.

Όταν το κύμα σε μια γραμμή η οποία δεν είναι άπειρη και δεν είναι τερματισμένη με μια ωμική αντίσταση ίση με τη χαρακτηριστική αντίσταση της γραμμής, αυτό αντανακλάται (**ανακλώμενο κύμα**), δημιουργώντας ένα **στάσιμο κύμα**.

Η εμφάνιση στάσιμων κυμάτων πάνω σε μια γραμμή μεταφοράς είναι ιδιαίτερα ανεπιθύμητη κατάσταση, γιατί σημαίνει ότι ένα μέρος ή και όλη η ισχύς της πηγής δεν απορροφάται από το φορτίο (κεραία), αλλά επιστρέφει πίσω.

Προσαρμογή ονομάζεται η εξασφάλιση των συνθηκών που επιτρέπουν τη μεταφορά της μέγιστης δυνατής ισχύος από μια πηγή σ' ένα φορτίο.

Στις περιπτώσεις που η αντίσταση εξόδου του πομπού είναι διαφορετική από την αντίσταση του φορτίου χρησιμοποιούμε κυκλώματα προσαρμογής για να επιτευχθεί μέγιστη μεταφορά ισχύος από το πομπό στη κεραία.

Γραμμές Μεταφοράς - Ερωτήσεις Μαθήματος

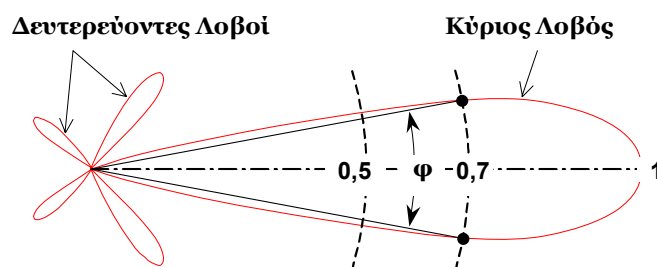
1. Να αναφέρετε τι είναι οι γραμμές μεταφοράς.
2. Ποια καλώδια χρησιμοποιούμε ως γραμμές μεταφοράς;
3. Τι είναι οι κυματοδηγοί και σε ποιες συχνότητες χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά σημάτων;
4. Τι ορίζουμε ως χαρακτηριστική αντίσταση μια γραμμής μεταφοράς.
5. Τι είναι τα τρέχοντα και τα στάσιμα κύματα σε μια γραμμή μεταφοράς;
6. Ποιες είναι οι απαραίτητες προϋποθέσεις για τη μέγιστη μεταφορά ισχύος από ένα πομπό στην κεραία;
7. Τι επιτυγχάνουμε με τη προσαρμογή;

Μάθημα 7.2 - Κεραίες

ΣΤΟΧΟΙ

Στο τέλος αυτού του μαθήματος ο/η μαθητής/τρια πρέπει να:

- Περιγράφει το φυσικό φαινόμενο της εκπομπής ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και αναφέρει τι ονομάζουμε κεραία.
- Γνωρίζει τη σχέση μεταξύ κεραίας και κυκλώματος συντονισμού σειράς.
- Αναφέρει και ορίζει τα πιο κάτω χαρακτηριστικά των κεραιών:
 - Ιδιοσυχνότητα
 - Πόλωση
 - Κατευθυντικότητα
 - Κέρδος
 - Αντίσταση εισόδου
- Αναγιγνώσκει τα διαγράμματα ακτινοβολίας κεραιών.
- Γνωρίζει και περιγράφει τη μορφή και τα χαρακτηριστικά των κεραιών:
 - Κεραία $\lambda/4$
 - Δίπολο, $\lambda/2$
 - Αναδιπλωμένο δίπολο
 - Κεραία Yagi
- Αναφέρει ότι στις μικροκυματικές συχνότητες χρησιμοποιούνται χοανοκεραίες και περιγράφει την κατασκευή της.



7.2.1 Εισαγωγή

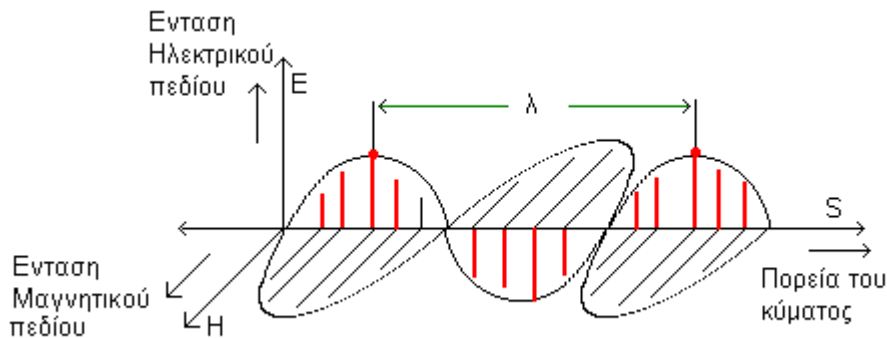
Οι κεραίες είναι διατάξεις που αποτελούνται από συστήματα αγωγών, που εκπέμπουν ή συλλαμβάνουν ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Για την εκπομπή οι κεραίες συνδέονται στην έξοδο ενός πομπού, ενώ για τη λήψη συνδέονται στην είσοδο ενός δέκτη. Μια κεραία εκπομπής μπορεί εξίσου καλά να εργαστεί και ως κεραία λήψης, και αντίστροφα.

Οι διατάξεις που ακτινοβολούν ηλεκτρομαγνητικά κύματα στο χώρο ή συλλαμβάνουν ηλεκτρομαγνητικά κύματα από το χώρο ονομάζονται **κεραίες**.

Μια κεραία σε λειτουργία μπορεί να θεωρηθεί κύκλωμα συντονισμού με πηνίο και πυκνωτή σε σειρά.

7.2.2 Το ηλεκτρομαγνητικό κύμα της κεραίας

Η κεραία εκπομπής ακτινοβολεί ηλεκτρομαγνητική ενέργεια στο χώρο. Το ρεύμα υψηλής συχνότητας που διαρρέει την κεραία δημιουργεί γύρω της ένα μεταβαλλόμενο μαγνητικό και ηλεκτρικό πεδίο, το οποίο διαδίδεται με την ταχύτητα του φωτός.



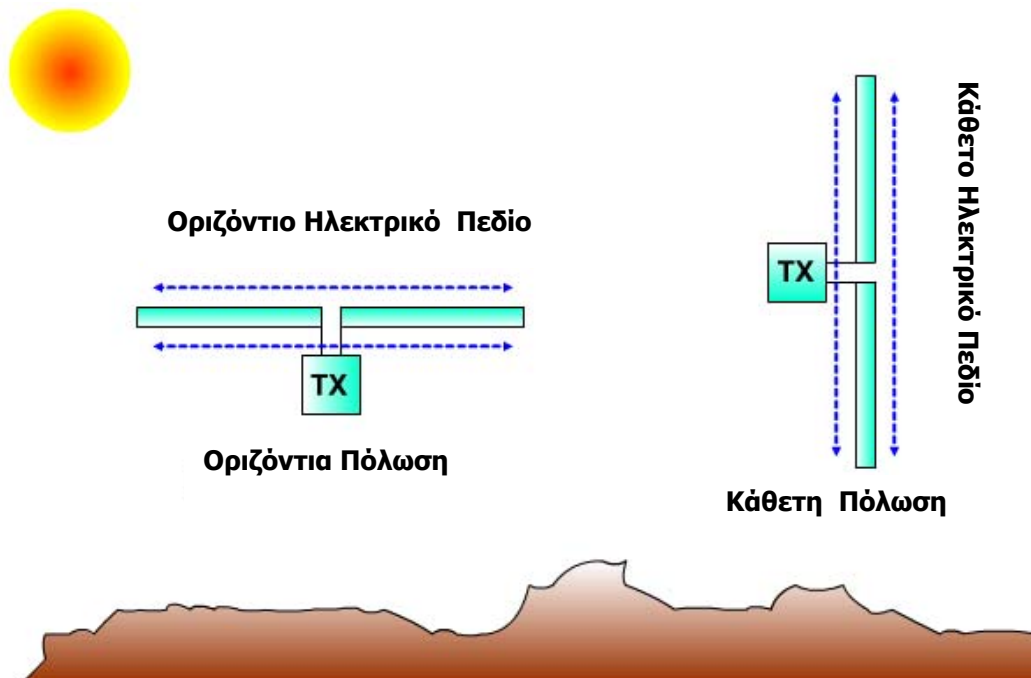
Σχήμα 7.2.1 Ηλεκτρομαγνητικό κύμα στον ελεύθερο χώρο

Το ηλεκτρομαγνητικό κύμα χαρακτηρίζεται από δύο μεγέθη:

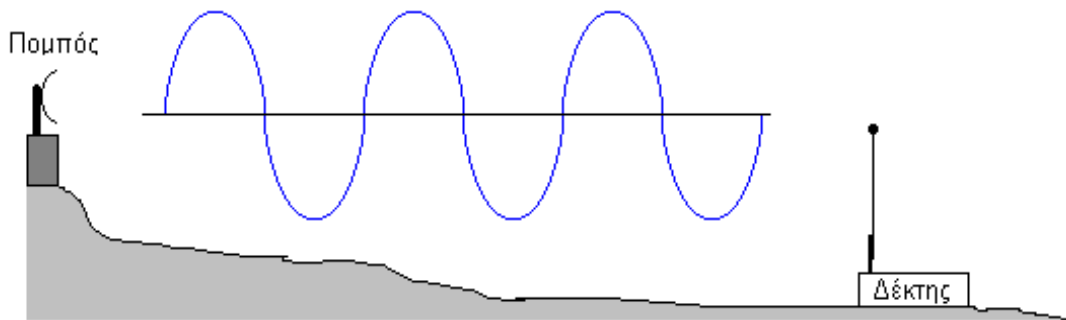
- Την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου E και,
- Την ένταση του μαγνητικού πεδίου H.

Τα διανύσματα των εντάσεων ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου είναι κάθετα μεταξύ τους και κάθετα στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος.

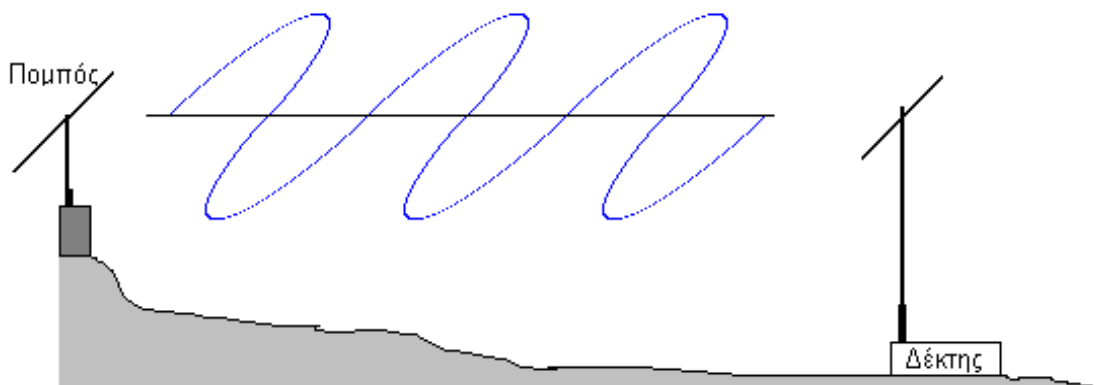
Η **πόλωση** του Η/Μ κύματος καθορίζεται από τη διεύθυνση του ηλεκτρικού του πεδίου. Αν το ηλεκτρικό πεδίο είναι κάθετο προς τη γη, το κύμα χαρακτηρίζεται σαν κάθετα (κατακόρυφα) πολωμένο. Αν όμως το ηλεκτρικό πεδίο είναι παράλληλο προς τη γη, το κύμα χαρακτηρίζεται σαν οριζόντια πολωμένο.



Σχήμα 7.2.2 Ηλεκτρικό Πεδίο και Πόλωση



Σχήμα 7.2.3 Κύμα με κατακόρυφη πόλωση



Σχήμα 7.2.4 Κύμα με οριζόντια πόλωση

7.2.3 Χαρακτηριστικά Κεραιών

Για κάθε κεραία υπάρχουν μια σειρά από μεγέθη που χαρακτηρίζουν τη λειτουργία της και την καταλληλότητά της για κάθε περίπτωση χρήσης. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι τα εξής :

- ✓ **Ιδιοσυχνότητα**
- ✓ **Πόλωση**
- ✓ **Κατευθυντικότητα**
- ✓ **Κέρδος ή απολαβή**
- ✓ **Αντίσταση εισόδου**

Ιδιοσυχνότητα :

Είναι η συχνότητα στην οποία συντονίζεται μια κεραία με δοσμένο μήκος των στοιχείων που την αποτελούν.

Πόλωση:

Καθορίζεται ως η κατεύθυνση του ηλεκτρικού πεδίου εκπομπής ή λήψης της κεραίας. Αυτή υλοποιείται βασικά από την κατεύθυνση της κεραίας, με αποτέλεσμα οι οριζόντιες κεραίες να θεωρούνται οριζόντιας πόλωσης και οι κατακόρυφες κατακόρυφης πόλωσης.

Κατευθυντικότητα:

Είναι ο λόγος της ισχύος που απαιτείται για την παραγωγή δεδομένης έντασης ακτινοβολίας σε ορισμένη κατεύθυνση.

Κέρδος ή απολαβή: Ορίζεται ως ο λόγος της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου του κύματος που παράγεται από την κεραία σε ένα σημείο στην κατεύθυνση μέγιστης εκπομπής προς την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου του κύματος που παράγει στο ίδιο σημείο από μια κεραία αναφοράς (δίπολο $\lambda/2$).

Το κέρδος μιας κεραίας εκπομπής εκφράζεται σε decibel και το κέρδος αναφοράς είναι 0 db.

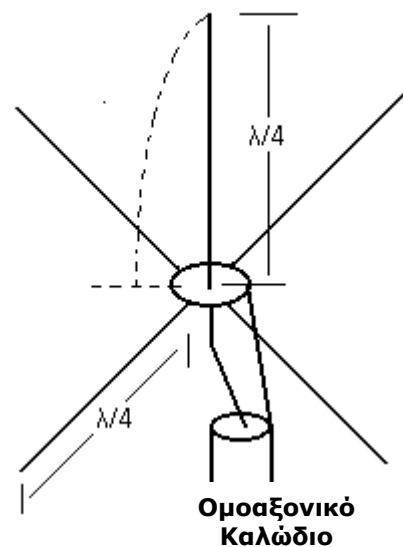
Αντίσταση εισόδου : Εάν V και I η τάση και το ρεύμα στην είσοδο της κεραίας τότε $Z = V / I$, είναι η αντίσταση εισόδου.

7.2.4 Κεραία $\lambda/4$ – Marconi

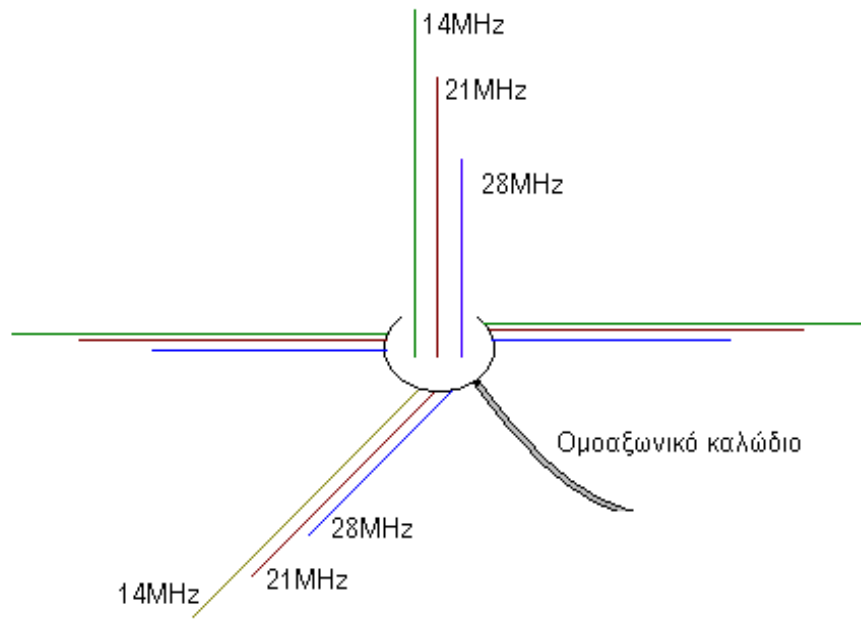
Η κεραία αυτή είναι γνωστή ως κατακόρυφη κεραία ή κεραία με επίπεδο γείωσης. Τροφοδοτείται με ομοαξονικό καλώδιο, με τον κεντρικό αγωγό συνδεδεμένο στην κάθοδο της κεραίας και με τον εξωτερικό αγωγό γειωμένο.

Με τον τρόπο αυτό η γη λειτουργεί ως ηλεκτρικό κάτοπτρο, παρέχοντας το άλλο $\lambda/4$ της κεραίας. Το αποτέλεσμα είναι μία κατακόρυφα πολωμένη πανκατευθυντική κεραία.

Η κεραία $\lambda/4$ χρησιμοποιείται στα βραχέα κύματα και στα VHF.



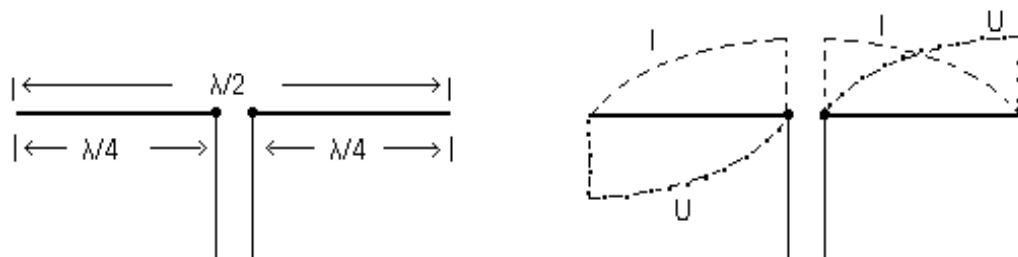
Σχήμα 7.2.5 Η κεραία $\lambda/4$ χρησιμοποιεί ακτίνες για γείωση



Σχήμα 7.2.6 Διάφορα είδη κεραιών $\lambda/4$ διαφορετικής συχνότητας

7.2.5 Απλό δίπολο $\lambda/2$ ή κεραία Hertz

Μια από τις πιο συνηθισμένες μορφές κεραιών είναι το δίπολο $\lambda/2$. Συνήθως είναι ένα κομμάτι σύρμα ή σωλήνα μήκους $\lambda/2$ στη συχνότητα λειτουργίας.



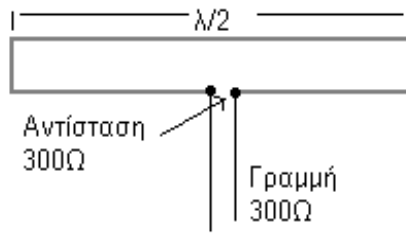
Σχήμα 7.2.7 Δίπολο $\lambda/2$ με την κατανομή ρεύματος και τάσης

Η κεραία στην πραγματικότητα αποτελείται από δύο μεταλλικά στελέχη με μήκος $\lambda/4$ τοποθετημένα κοντά, το ένα στην προέκταση του άλλου, $\lambda/4 + \lambda/4 = \lambda/2$.

Η χαρακτηριστική αντίσταση της κεραιάς είναι 75Ω . Η γραμμή μεταφοράς συνδέεται στο κέντρο του δίπολου.

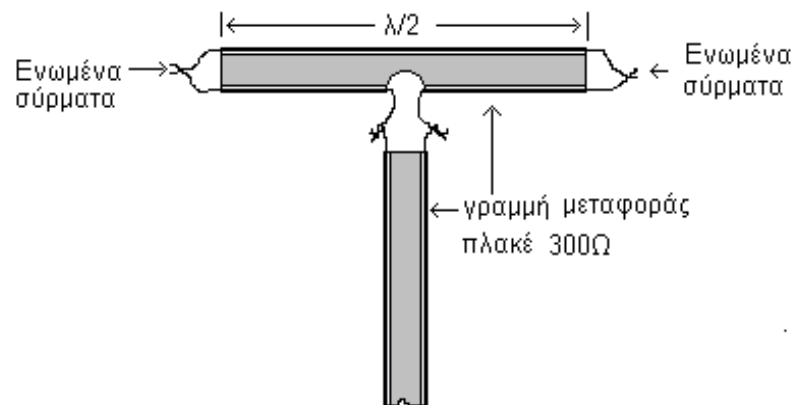
7.2.6 Το αναδιπλωμένο δίπολο $\lambda/2$ ή κεραία FOLDED

Μια παραλλαγή του δίπολου $\lambda/2$, που χρησιμοποιείται ευρύτατα σήμερα είναι το αναδιπλωμένο δίπολο.



Σχήμα 7.2.8 Απλό δίπολο

Το αναδιπλωμένο δίπολο παρουσιάζει αντίσταση εισόδου της τάξης των 300Ω. Η κεραία αυτή κατασκευάζεται από ένα αναδιπλωμένο μεταλλικό σωλήνα, ή ένα κομμάτι επίπεδης γραμμής μεταφοράς όπως φαίνεται και στο Σχήμα 7.2.8.



Σχήμα 7.2.9 Κατασκευή αναδιπλωμένου δίπολου

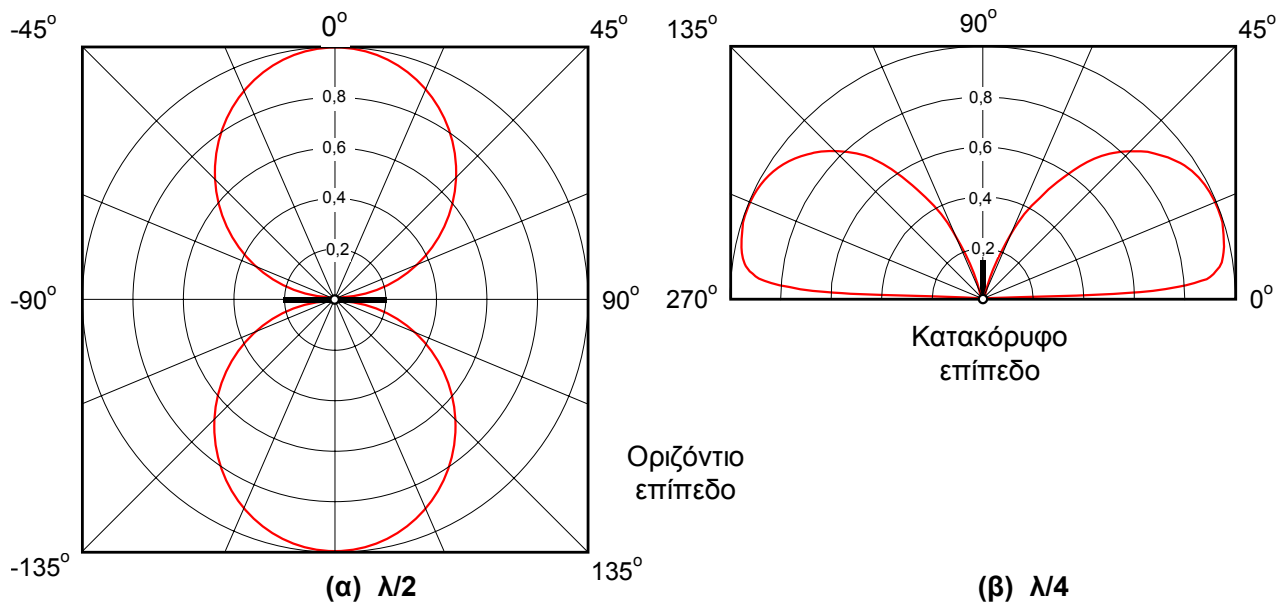
Το αναδιπλωμένο δίπολο είναι φθινό και εύκολο στην κατασκευή του και χρησιμοποιείται ευρέως για τηλεοπτικές και ραδιοφωνικές λήψεις στη ζώνη των FM.

7.2.7 Διαγράμματα Ακτινοβολίας Κεραίων

Καμία πραγματική κεραία δεν εκπέμπει τα ηλεκτρομαγνητικά της κύματα ομοιόμορφα προς όλες τις κατευθύνσεις του χώρου. Η ένταση της ακτινοβολίας προς ορισμένες κατευθύνσεις είναι μεγαλύτερη σε σύγκριση με άλλες. Οι κατευθυντικές ιδιότητες των κεραίων περιγράφονται από το **διάγραμμα ακτινοβολίας**.

Το **διάγραμμα ακτινοβολίας** είναι μια γραφική παράσταση που μας δίνει την ένταση της ακτινοβολίας της κεραίας προς διάφορες κατευθύνσεις πάνω σε ένα επίπεδο και για σημεία που απέχουν εξίσου από την κεραία.

Στο Σχήμα 7.2.9 φαίνονται τα διαγράμματα ακτινοβολίας μιας οριζόντιας κεραίας $\lambda/2$ στο οριζόντιο επίπεδο και μιας κατακόρυφης κεραίας $\lambda/4$ στο κατακόρυφο επίπεδο. Λόγω του τρόπου κατανομής της ακτινοβολίας στο οριζόντιο επίπεδο, η κεραία $\lambda/2$ ονομάζεται **διπλοκατευθυντική**, ενώ η $\lambda/4$ **πανκατευθυντική**.



Σχήμα 7.2.10 Διάγραμμα κατευθυντικότητας κεραίας

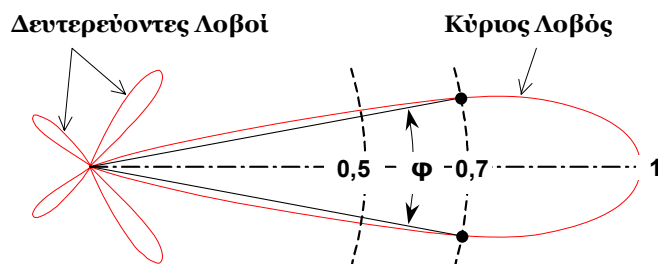
(α) Κεραία λ/2 (β) Κεραία λ/4

Η κεραία θεωρείται ότι είναι τοποθετημένη στο κέντρο του διαγράμματος. Στα διαγράμματα διακρίνονται κλειστές καμπύλες – περιοχές, που ονομάζονται λοβοί. Οι λοβοί μπορούν να μας δώσουν μια εικόνα για το πώς κατανέμεται η ακτινοβολία της κεραίας σ' ένα επίπεδο.

Σε κάθε κεραία υπάρχει μια κατεύθυνση μέγιστης ακτινοβολίας. Ο λοβός που αντιστοιχεί σ' αυτή ονομάζεται κύριος λοβός. Η ένταση της ακτινοβολίας προς την κατεύθυνση του μέγιστου λοβού παίρνει στο διάγραμμα τιμή ίση με 1 και όλες οι υπόλοιπες εντάσεις αντιστοιχούν σε αναλόγως μικρότερους αριθμούς.

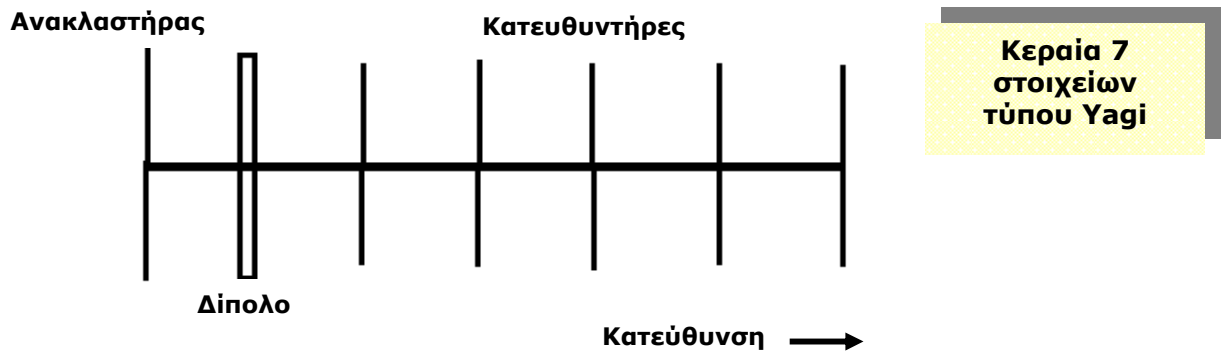
Υπάρχουν κεραίες που εκπέμπουν το μεγαλύτερο μέρος της ισχύος του πομπού προς μια κατεύθυνση. Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται η του πεδίου στο σημείο που μας ενδιαφέρει να γίνεται η λήψη, χωρίς να χρειαστεί να αυξηθεί η ισχύς του πομπού. Οι κεραίες αυτές ονομάζονται **υψηλής κατευθυντικότητας**.

Τέτοιες κεραίες χρησιμοποιεί, για παράδειγμα, το ΡΙΚ , όταν κάνει εκπομπές στα βραχέα κύματα για τους ξενιτεμένους Κύπριους.



Σχήμα 7.2.11 Διάγραμμα κεραίας υψηλής κατευθυντικότητας

7.2.8 Κεραίες Yagi



Οι κεραίες αυτές έχουν εκτός από το απαραίτητο δίπολο, έναν ανακλαστήρα και έναν ή περισσότερους κατευθυντήρες. Έχουν ονομαστεί **κεραίες Yagi** προς τιμή του Ιάπωνα Yagi, εφευρέτη της κεραίας το 1926. Η κεραία Yagi έχει υψηλό κέρδος και είναι πολύ κατευθυντική.

Οι κεραίες Yagi χρησιμοποιούνται ευρέως, λόγω της κατευθυντικότητάς τους και του κέρδους τους τόσο στην εκπομπή όσο και στην λήψη.

Στις κεραίες Yagi η απολαβή μεγαλώνει με αυξανόμενο τον αριθμό των παρασιτικών στοιχείων. Σήμερα έχουμε κεραίες Yagi με πλήθος στοιχείων, ανάλογα με τις απαιτήσεις που έχουμε. Οι απαιτήσεις αυτές είναι:

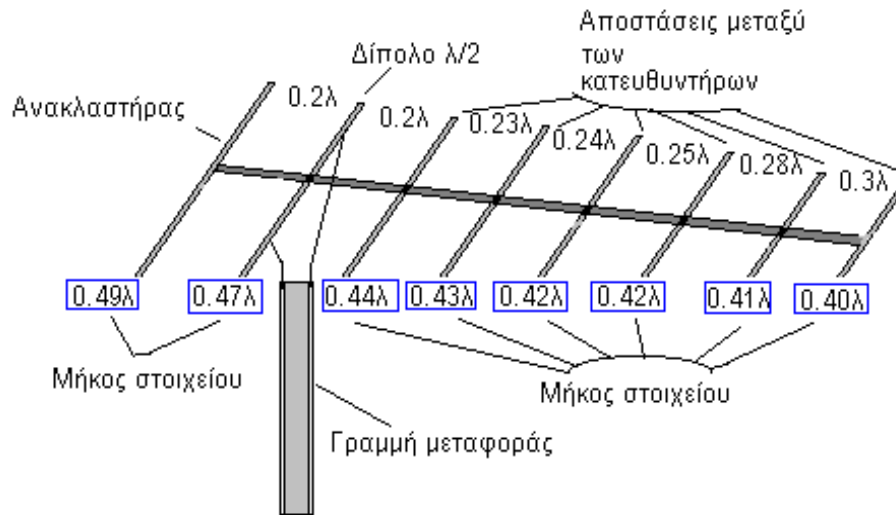
- ✓ Η υψηλή απολαβή
- ✓ Η προσαρμογή με τη γραμμή μεταφοράς
- ✓ Το εύρος ζώνης συχνοτήτων

Τα στοιχεία που βρίσκονται μπροστά από το ενεργό δίπολο (σύμφωνα με την κατεύθυνση εκπομπής και λήψης) ονομάζονται κατευθυντήρες, ενώ εκείνο που βρίσκεται πίσω από αυτό ονομάζεται ανακλαστήρας.

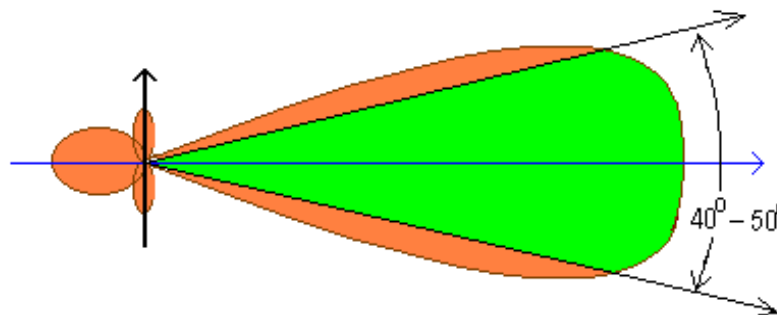
Ο ανακλαστήρας αποτελείται από ένα ή περισσότερα στοιχεία, τοποθετημένα έτσι, ώστε να σχηματίζουν ανακλαστική επιφάνεια, στην οποία η κατεύθυνση της κεραίας είναι κάθετη.

Από τις αποστάσεις και τα μήκη αυτών των στοιχείων καθορίζονται η αντίσταση εισόδου, η κατευθυντικότητα και η απολαβή.

Όσο αυξάνει ο αριθμός των κατευθυντήρων, τόσο στενεύει η διερχόμενη από την κεραία ζώνη συχνοτήτων. Επομένως, κεραίες Yagi με πολλούς κατευθυντήρες είναι κατάλληλες για την λήψη μικρής περιοχής συχνοτήτων. Επίσης, το διάγραμμα κατευθυντικότητας γίνεται οξύτερο.



Σχήμα 7.2.12 Διαστάσεις Κεραίας Yagi

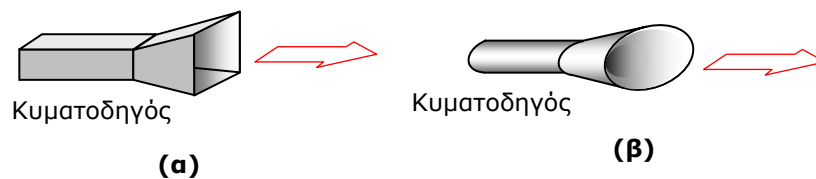


Σχήμα 7.2.13 Διάγραμμα (οριζόντιας) κατευθυντικότητας - λήψης, κεραίας Yagi

7.2.9 Χοανοκεραίες

Στις ψηλότερες συχνότητες της περιοχής των μικροκυμάτων, το μήκος κύματος γίνεται τόσο μικρό, ώστε τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα αρχίζουν να συμπεριφέρονται σαν ακτίνες φωτός. Έτσι, μπορούμε να εκμεταλλευτούμε την ανάκλαση των κυμάτων πάνω σε σχετικά μικρές μεταλλικές επιφάνειες, για να πετύχουμε με απλά μέσα εξαιρετικά μεγάλη κατευθυντικότητα και απολαβή από τις κεραίες.

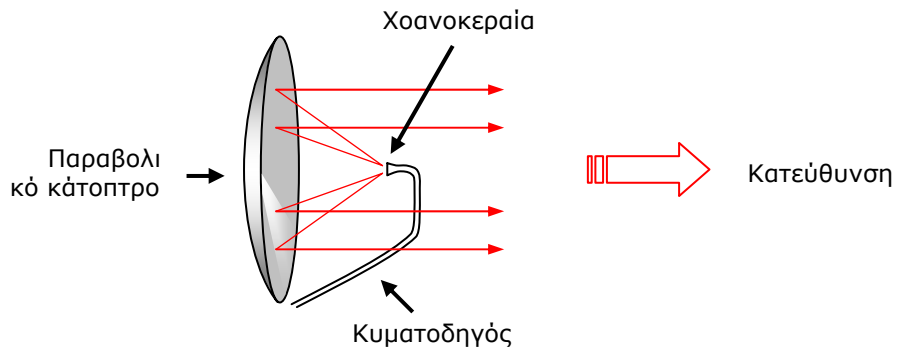
Ο πιο συνηθισμένος τύπος βασικής κεραίας μικροκυμάτων είναι η χοανοκεραία. Αυτή δεν είναι τίποτε άλλο παρά μια διεύρυνση της άκρης του κυματοδηγού που χρησιμοποιείται αντί της ομοαξονικής γραμμής μεταφοράς σ' αυτές τις συχνότητες (Σχήμα 7.2.13).



Σχήμα 7.2.14 Παράλληλόγραμμη (α) και κωνική (β) χοανοκεραία

Οι χοανοκεραίες συνδυάζονται σχεδόν πάντα με κοίλες μεταλλικές παραβολικές επιφάνειες, που ονομάζονται παραβολικά κάτοπτρα. Οι κεραίες που προκύπτουν συχνά ονομάζονται και

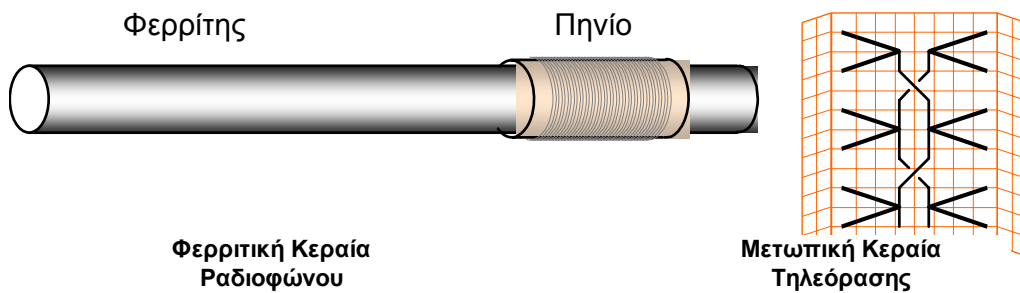
παραβολικές κεραίες. Οι χοανοκεραίες τοποθετούνται μπροστά από το κέντρο των κατόπτρων έτσι, ώστε η κωνική δέσμη ακτινοβολίας που εκπέμπουν να μετατρέπεται μετά την ανάκλασή της σε παράλληλη. Με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζεται πολύ υψηλό κέρδος και εξαιρετικά στενή δέσμη εκπομπής, όπως η δέσμη του φωτός ενός προβολέα (Σχήμα 7.2.14).



Σχήμα 7.2.15 Παραβολική κεραία μικροκυμάτων

7.2.10 Κεραίες φορητών συσκευών

Υπάρχουν ορισμένες ειδικές κεραίες που χρησιμοποιούνται μόνο για την λήψη, όπως οι κεραίες πλαίσια, οι ραβδοειδείς και οι φερριτικές κεραίες, Σχήμα 7.2.15.



Σχήμα 7.2.16 Κεραίες Φορητών Συσκευών

Ανακεφαλαίωση - Κεραίες

Οι διατάξεις που ακτινοβολούν ηλεκτρομαγνητικά κύματα στο χώρο ή συλλαμβάνουν ηλεκτρομαγνητικά κύματα από το χώρο ονομάζονται **κεραίες**.

Μια κεραία σε λειτουργία μπορεί να θεωρηθεί κύκλωμα συντονισμού με πηνίο και πυκνωτή σε σειρά.

Η κεραία εκπομπής ακτινοβολεί ηλεκτρομαγνητική ενέργεια στο χώρο. Το ρεύμα υψηλής συχνότητας που διαρρέει την κεραία δημιουργεί γύρω της ένα μεταβαλλόμενο μαγνητικό και ηλεκτρικό πεδίο, το οποίο διαδίδεται με την ταχύτητα του φωτός. Το ηλεκτρομαγνητικό κύμα χαρακτηρίζεται από δύο μεγέθη:

- Την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου E και,
- Την ένταση του μαγνητικού πεδίου H .

Τα διανύσματα των εντάσεων ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου είναι κάθετα μεταξύ τους και κάθετα στη διεύθυνση διαδόσεως του κύματος.

Η **πόλωση** του Η/Μ κύματος καθορίζεται από τη διεύθυνση του ηλεκτρικού του πεδίου. Αν το ηλεκτρικό πεδίο είναι κάθετο προς τη γη, το κύμα χαρακτηρίζεται σαν κάθετα πολωμένο. Αν όμως το ηλεκτρικό πεδίο είναι παράλληλο προς τη γη, το κύμα χαρακτηρίζεται σαν οριζόντια πολωμένο.

Για κάθε κεραία υπάρχουν μια σειρά από μεγέθη που χαρακτηρίζουν τη λειτουργία της και την καταλληλότητά της για κάθε περίπτωση χρήσης. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι τα εξής:

- **Ιδιοσυχνότητα**
- **Πόλωση**
- **Κατευθυντικότητα**
- **Κέρδος ή απολαβή**
- **Αντίσταση εισόδου**

Οι κατευθυντικές ιδιότητες των κεραιών περιγράφονται από το **διάγραμμα ακτινοβολίας**.

Το **διάγραμμα ακτινοβολίας** είναι μια γραφική παράσταση που μας δίνει την ένταση της ακτινοβολίας της κεραίας προς διάφορες κατευθύνσεις πάνω σε ένα επίπεδο και για σημεία που απέχουν εξίσου από την κεραία.

Η πανκατευθυντική **κεραία $\lambda/4$** είναι κάθετα πολωμένη και γνωστή ως κατακόρυφη κεραία ή κεραία με επίπεδο γείωσης. Τροφοδοτείται με ομοαξονικό καλώδιο, με τον κεντρικό αγωγό συνδεδεμένο στην κάθοδο της κεραίας και με τον εξωτερικό αγωγό γειωμένο.

Το απλό δίπολο $\lambda/2$ είναι συνήθως είναι ένα κομμάτι σύρμα ή σωλήνα μήκους $\lambda/2$ στη συχνότητα λειτουργίας.

Μια παραλλαγή του δίπολου $\lambda/2$, που χρησιμοποιείται ευρύτατα σήμερα είναι το **αναδιπλωμένο δίπολο**.

Οι **κεραίες Yagi** έχουν εκτός από το απαραίτητο δίπολο, έχουν έναν ανακλαστήρα και έναν ή περισσότερους κατευθυντήρες. Έχουν υψηλό κέρδος και είναι πολύ κατευθυντικές.

Χρησιμοποιούνται ευρέως, λόγω της κατευθυντικότητας τους και του κέρδους τους τόσο στην εκπομπή όσο και στην λήψη. Στις κεραίες Yagi η απολαβή μεγαλώνει με αυξανόμενο τον αριθμό των παρασιτικών στοιχείων.

Ο πιο συνηθισμένος τύπος βασικής κεραίας μικροκυμάτων είναι η **χοανοκεραία**. Αυτή δεν είναι τίποτε άλλο παρά μια διεύρυνση της άκρης του κυματοδηγού που χρησιμοποιείται αντί της ομοαξονικής γραμμής μεταφοράς σ' αυτές τις συχνότητες. Οι χοανοκεραίες συνδυάζονται σχεδόν πάντα με κοίλες μεταλλικές παραβολικές επιφάνειες, που ονομάζονται παραβολικά κάτοπτρα. Οι κεραίες που προκύπτουν ονομάζονται και παραβολικές κεραίες.

Κεραίες - Ερωτήσεις Μαθήματος

1. Να δώσετε τον ορισμό της κεραίας.
2. Να περιγράψετε πως μια κεραία δημιουργεί ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα.
3. Ποια είναι τα δύο μεγέθη που καθορίζουν ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα;
4. Πως προσδιορίζουμε τη πόλωση ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος;
5. Να αναφέρετε τέσσερα χαρακτηριστικά των κεραιών.
6. Να περιγράψετε την κεραία $\lambda/4$.
7. Τι είναι το διάγραμμα κατευθυντικότητας μιας κεραίας;
8. Από τι αποτελείται μια κεραία Yagi;
9. Να αναφέρετε που χρησιμοποιείται η κεραία Yagi.
10. Να αναφέρετε ποια είναι η βασική κεραία στις μικροκυματικές συχνότητες.
11. Να περιγράψετε την κατασκευή της χοανοκεραίας.

Επίλογος - Το Μέλλον των Επικοινωνιών

ΤΟ ΜΕΛΛΟΝ ΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Τεχνολογικές Εξελίξεις και Επικοινωνίες

Η εξέλιξη των επικοινωνιών ήταν θεαματική κατά τη διάρκεια του 20ου αιώνα. Σήμερα όλος ο πλανήτης είναι διασυνδεδεμένος με συστήματα επικοινωνίας, τα οποία μεταφέρουν φωνή, κείμενο, κινούμενες εικόνες κινούμενη ή μη και δεδομένα.

Κατευθυντήρια δύναμη της εξέλιξης των επικοινωνιών είναι η αντίστοιχη εξέλιξη της ηλεκτρονικής. Ο ακρογωνιαίος λίθος αυτής της εξέλιξης είναι η ανάπτυξη των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων. Τα ολοκληρωμένα κυκλώματα έχουν πετύχει να ελαχιστοποιήσουν το μέγεθος των ηλεκτρονικών διατάξεων και να αυξήσουν την αξιοπιστία τους, να μειώσουν τη κατανάλωση ηλεκτρικής ισχύος και το κόστος κατασκευής.

Παράλληλα με τα ηλεκτρονικά έχουν αναπτυχθεί και τα μικροκυματικά ολοκληρωμένα κυκλώματα, τα οποία είναι κατάλληλα για τη διαχείριση υπερύψηλων συχνοτήτων (> 3 GHz). Οι εφαρμογές τους εκτείνονται σε πολλούς τομείς των επικοινωνιών, στα ραντάρ και στα αμυντικά στρατιωτικά συστήματα. Οι δορυφορικοί αναμεταδότες, η δορυφορική τηλεόραση και τα κινητά τηλέφωνα στα 900 MHz και 1800 MHz χρησιμοποιούν μικροκυματικά ολοκληρωμένα κυκλώματα.

Πέρα από τις εξελίξεις που αφορούν τις συμβατικές τεχνολογίες, μια νέα τεχνολογική επανάσταση, η οπτικοηλεκτρονική ολοκλήρωση, που είναι η ταυτόχρονη ανάπτυξη οπτικών και ηλεκτρονικών διατάξεων στο ίδιο ημιαγωγικό υπόστρωμα. Αυτό σημαίνει ότι στο ίδιο κύκλωμα (οπτικοηλεκτρονικό) θα υπάρχουν η δίοδος laser, το κύκλωμα τροφοδοσίας και διαμόρφωσης της, η φωτοδίοδος και το κύκλωμα ενίσχυσης της και διάφορα παθητικά οπτικά στοιχεία.

Η οπτικοηλεκτρονική τεχνολογία είναι υψίστης σημασίας στη νέα κατάσταση που προδιαγράφεται στις επικοινωνίες και γενικά στο χώρο επεξεργασίας της πληροφορίας. Σκεφτείτε την αγορά των σύμπυκνων δίσκων (CD), και των DVD, που δεν θα υπήρχαν χωρίς την ανάπτυξη των διόδων Laser. Η ανάπτυξη της τεχνολογίας των φωτοδiodων, έκανε προσιτή σε όλους την προσωπική βιντεοκάμερα, ενώ η ανάπτυξη των επιπέδων οθονών υγρών κρυστάλλων (TFT), έχει αλλάξει το σκηνικό στο χώρο των υπολογιστών και των οικιακών συσκευών τηλεόρασης. Όμως, το μεγαλύτερο αναμενόμενο επίτευγμα της οπτικοηλεκτρονικής τεχνολογίας είναι η υλοποίηση των οπτικών υπολογιστών που θα έχουν τη δυνατότητα της παράλληλης επεξεργασίας φωτεινών σημάτων και των οπτικών μνημών που, όπως φαίνεται, θα αλλάξουν πολλά στο χώρο επεξεργασίας της πληροφορίας.

Επιπλέον, ο συνδυασμός της εξέλιξης των οπτικοηλεκτρονικών διατάξεων με την εξέλιξη των ηλεκτρονικών και μικροκυματικών ολοκληρωμένων κυκλωμάτων αναμένεται να έχει έντονη επίδραση σε τομείς όπως η ρομποτική, η δορυφορική τεχνολογία και τα ηλεκτρονικά ευρείας χρήσης.

Οι εξελίξεις στη χρήση των Συστημάτων Επικοινωνιών

Σήμερα οι τηλεφωνικές κλήσεις μέσω του διαδικτύου (VoIP), που πριν μερικά χρόνια ήταν ανέφικτες, είναι αντικείμενο εμπορικής εκμετάλλευσης σε όλο τον κόσμο. Τα κινητά τηλέφωνα σήμερα είναι απαραίτητο βοήθημα για τους περισσότερους. Με οδηγό την ψηφιακή τεχνολογία και το Διαδίκτυο, εμφανίζονται νέες υπηρεσίες και εφαρμογές, όπως το ηλεκτρονικό εμπόριο, οι ηλεκτρονικές εφημερίδες, οι τραπεζικές συναλλαγές μέσω Διαδικτύου, και η διαφήμιση.

Οι ασύρματες επικοινωνίες κυριαρχούν στη μετάδοση φωνής και το τηλέφωνο θα είναι ένα προσωπικό μεταφερόμενο βοήθημα, παρά μια στατική συσκευή σε ένα συγκεκριμένο μέρος. Σ' αυτό, μεγάλη είναι η συνεισφορά των δορυφορικών συστημάτων, οπότε οποιοσδήποτε θα μπορεί να επικοινωνεί με οποιονδήποτε, σε οποιοδήποτε περιοχή του πλανήτη.

Σήμερα για λόγους ανταγωνισμού, οι τηλεπικοινωνίες έχουν απελευθερωθεί και πολλές ιδιωτικές εταιρείες παρέχουν τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες σε πάρα πολλές χώρες. Αυτό θα αποβεί προς όφελος των καταναλωτών, που θα απολαμβάνουν περισσότερες και καλύτερες υπηρεσίες σε χαμηλότερες τιμές. Η ενοποιημένη αγορά και ο αυξημένος ανταγωνισμός θα προκαλέσει την ανάγκη ύπαρξης ισχυρών φορέων, με αποτέλεσμα τις συγχωνεύσεις μεταξύ μεγάλων εταιρειών που δραστηριοποιούνται στο χώρο των επικοινωνιών.

Η διαδικασία της σύγκλισης των Επικοινωνιών και των Ηλεκτρονικών Υπολογιστών

Μέχρι σήμερα ο τομέας των επικοινωνιών περιλάμβανε τρεις διακριτούς χώρους:

- Τις τηλεπικοινωνίες
- Την πληροφορική
- Τα οπτικοακουστικά μέσα (τηλεόραση, ραδιόφωνο)

Οι διαφορές στους ρυθμούς εξέλιξης της τεχνολογίας καθενός από τους παραπάνω τομείς είχε ως αποτέλεσμα τον πλήρη διαχωρισμό τους από πλευράς τεχνολογίας, κατασκευαστών, παροχών υπηρεσιών και συνθηκών αγοράς.

Οι αλλαγές που συντελούνται σήμερα έχουν στόχο την ενοποίηση του χώρου των επικοινωνιών και η όλη διαδικασία είναι γνωστή με τον όρο σύγκλιση. Αυτό σημαίνει ότι στο μέλλον θα απολαμβάνουμε υπηρεσίες παροχής εικόνας, δεδομένων και γενικά οποιασδήποτε μορφής πληροφορίας, χρησιμοποιώντας μια μόνο τερματική συσκευή και μια μόνο παροχή!

Οι επιπτώσεις της εξέλιξης των Επικοινωνιών στην κοινωνία

Η σύγκλιση παρέχει νέες ευκαιρίες τόσο για τους τομείς παραγωγής, όσο και για τους τομείς παροχής υπηρεσιών. Καινούργιες υπηρεσίες, όπως home-shopping και video-on-demand εξελίσσονται για να εξυπηρετήσουν και τους οικιακούς χρήστες. Η τηλε-εκπαίδευση και η τηλε-εργασία, θα δημιουργήσουν μια καινούρια κατάσταση στη κοινωνία, καταπολεμώντας τον αναλφαβητισμό και την ανεργία. Εκτός από τις επιδράσεις στον τομέα παροχής υπηρεσιών αναμένεται η προώθηση της οικονομικής ανάπτυξης που εντοπίζεται στη δημιουργία θέσεων εργασίας, που θα απαιτούν όμως ποικίλες ικανότητες και στην αύξηση της παραγωγικότητας στο δημόσιο και στον ιδιωτικό τομέα.

Οι τεχνολογικές εξελίξεις επίσης θέτουν ενώπιον μας και προβλήματα που σχετίζονται με την προστασία του ατόμου, ως πολίτη μιας δημοκρατικής κοινωνίας, ως χρήστη των νέων τεχνολογιών, ως εργαζόμενου και ως καταναλωτή. Πιθανοί κίνδυνοι για τον πολίτη είναι οι εξής:

- Αδυναμία πρόσβασης σε κάθε πηγή πληροφόρησης.
- Αποκλεισμός από τις νέες τεχνολογίες λόγω άγνοιας ή λόγω υψηλού κόστους.
- Αποκλεισμός κοινωνικών, φυλετικών, θρησκευτικών ή άλλων ομάδων από τις εξελίξεις και τα οφέλη που αυτές συνεπάγονται.

Παραρτήματα

- Παράρτημα 1 - Το Διεθνές Σύστημα Μονάδων SI
- Παράρτημα 2 - Τεχνολογία Οπτικών Συστημάτων
- Παράρτημα 3 - Η Διεθνής Τηλεπικοινωνιακή Ένωση - ITU
- Παράρτημα 4 - Διεθνείς Δορυφορικοί Τηλεπικοινωνιακοί Οργανισμοί
- Παράρτημα 5 - Ο Μορσικός Κώδικας
- Παράρτημα 6 - Ο Δορυφόρος HOT BIRD 7A
- Παράρτημα 7 - Το VSWR
- Παράρτημα 8 - Power Line Communications (PLC) - Επικοινωνίες μέσω γραμμών ισχύος
- Χρήσιμοι Πίνακες
 - Ο Νόμος του Ωμ
 - Το Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα
 - Περιοχές Συχνοτήτων, Μήκη Κύματος και Ονομασίες
 - Προδιαγραφές καλωδίων σύμφωνα με το ISO/IEC 11801 και ANSI/TIA/EIA-568
 - Τυπικά Ομοαξονικά Καλώδια και τα χαρακτηριστικά τους
 - VSWR

Παράρτημα 1 - ΤΟ ΔΙΕΘΝΕΣ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΟΝΑΔΩΝ S.I.

Π 1.1 Μονάδες Μέτρησης

Στα μαθήματα της Ηλεκτρολογίας ασχολούμεθα με ορισμένα φυσικά φαινόμενα. **Φυσικό φαινόμενο** είναι κάθε αλλαγή που μπορεί να υποστεί η ύλη.

Ο άνθρωπος πάντοτε παρακολουθούσε τα φυσικά φαινόμενα και προσπαθούσε να τα εξηγήσει. Στην αρχή η εξήγηση ήταν μόνο ποιοτική. Αργότερα όμως θέλησε να δώσει και ποσοτική ερμηνεία. Γι' αυτό όμως χρειάζονται μετρήσεις.

Οι έννοιες που μεταβάλλονται ποσοτικά λέγονται **φυσικά μεγέθη** όπως ο χρόνος η μάζα, το μήκος, η θερμοκρασία, η ταχύτητα, το ηλεκτρικό ρεύμα κ.λ.π.

Αν θέλουμε να συγκρίνουμε δύο ίδια φυσικά μεγέθη π.χ. το βάρος δύο εμπορευμάτων χρησιμοποιούμε μια ζυγαριά και μονάδα μέτρησης, κάποιο σώμα όπως μια πέτρα.

Η πέτρα ενός ορισμένου βάρους είναι μια **μονάδα μέτρησης** που χρησιμοποιήθηκε αυθαίρετα. Ίσως κάποιος άλλος να χρησιμοποιούσε πέτρες κάποιου άλλου βάρους για να συγκρίνει τα ίδια εμπορεύματα. Για την αποφυγή γενικής ακαταστασίας στις μετρήσεις και για να μιλάμε όλοι την ίδια «γλώσσα», υπογράφηκε μια διεθνής συμφωνία το 1875 με την οποία ιδρύθηκε το **«Διεθνές Γραφείο Μέτρων και Σταθμών»**.

Το 1889 η **«Γενική Διάσκεψη Μέτρων και Σταθμών»** καθόρισε σαν μονάδα μήκους την απόσταση μεταξύ δύο χαραγμένων γραμμών πάνω σε μια ράβδο από κράμα ιριδίου και πλατίνας, σε θερμοκρασία μηδέν βαθμούς Κελσίου. Η ράβδος αυτή φυλαγόταν στις Σέβρες της Γαλλίας και ήταν το **«πρότυπο μέτρο»**, δηλαδή το πρότυπο για τη σύγκριση όλων των άλλων μέτρων. Σήμερα η πρότυπη μονάδα μήκους ορίζεται με πιο ακριβή τρόπο.

Π 1.2 Το Σύστημα Μονάδων S.I.

Το 1960 η Γενική Διάσκεψη Μέτρων και Σταθμών πρότεινε για παγκόσμια χρήση το **Διεθνές Σύστημα Μονάδων**, γνωστό ως **S.I. (Système Internationale)**. Στην Κύπρο χρησιμοποιείται από το 1974.

Το σύστημα S.I. αποτελείται από τριών ειδών μονάδες:

- **ΘΕΜΕΛΙΩΔΕΙΣ ΜΟΝΑΔΕΣ**

Αποτελούνται από 7 κύριες μονάδες που είναι ανεξάρτητες (Πίνακας 1).

- **ΠΑΡΑΓΩΓΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ**

Παράγονται από τις θεμελιώδεις μονάδες με πολλαπλασιασμό ή / και με διαίρεση.

Για παράδειγμα η μονάδα μέτρησης της ταχύτητας είναι το «μέτρο ανά δευτερόλεπτο» (m/s).

$$\text{ταχύτητα} = \frac{\text{απόσταση}}{\text{Χρόνος}} = \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- **ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑΤΙΚΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ**

Συμπληρώνουν τις θεμελιώδεις μονάδες:

Ακτίνιο	rad	Μέτρηση επιπέδων γωνιών
Στερακτίνιο	sr	Μέτρηση στερεών γωνιών

ΦΥΣΙΚΟ ΜΕΓΕΘΟΣ		ΜΟΝΑΔΑ	
ΟΝΟΜΑ	ΣΥΜΒΟΛΟ	ΟΝΟΜΑ	ΣΥΜΒΟΛΟ
ΜΗΚΟΣ (LENGTH)	l	ΜΕΤΡΟ (METRE)	m
ΜΑΖΑ (MASS)	m	ΧΙΛΙΟΓΡΑΜΜΟ (KILOGRAM ME)	kg
ΧΡΟΝΟΣ (TIME)	t	ΔΕΥΤΕΡΟΛΕΠΤΟ (SECOND)	s
ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ (THERMODYNAMIC TEMPERATURE)	θ	ΚΕΛΒΙΝ (KELVIN)	K
ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΡΕΥΜΑ (ELECTRIC CURRENT)	I	ΑΜΠΕΡ (AMPERE)	A
ΦΩΤΟΒΟΛΙΑ (LUMINOUS INTENSITY)	I	ΚΗΡΙΟ (CANDELA)	cd
ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΥΛΗΣ (QUANTITY OF MATTER)	ν	ΜΟΛ (MOLE)	mol

Πίνακας 1 - Θεμελιώδεις Μονάδες του Συστήματος SI

Π 1.3 Ορισμοί Θεμελιωδών Μονάδων

Όλες οι θεμελιώδεις μονάδες ορίζονται με κάποια συγκεκριμένη αλλαγή ενός φυσικού φαινομένου.

ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΡΕΥΜΑ - ΑΜΠΕΡ :

«Το αμπέρ είναι η ένταση του σταθερού ρεύματος, που, όταν διαρρέει δύο παράλληλους ευθύγραμμους αγωγούς απείρου μήκους, αμελητέας κυκλικής διατομής και τοποθετημένους σε απόσταση ενός μέτρου στο κενό, δημιουργεί μεταξύ τους μια δύναμη ίση με $2 \cdot 10^{-7}$ Νιούτον ανά μέτρο».

Τα ονόματα και τα σύμβολα των Φυσικών Μεγεθών και των μονάδων τους δίδονται στον Πίνακα 2.

Φυσικό Μέγεθος		Μονάδα	
Όνομα	Συνηθισμένο Σύμβολο	Όνομα	Καθορισμένο Σύμβολο
Αγωγιμότητα	G	Σήμενς	S
Αντίσταση	R	Ωμ	Ω
Διαφορά δυναμικού	V, E	Βολτ	V
Δύναμη	F	Νιούτον	N
Ειδική αντίσταση	ρ	Ωμ επί μέτρο	Ω.m
Ενέργεια	W	Τζιούλ	J
Επαγωγικότητα	L	Χένρυ	H
Έργο	W	Τζιούλ	J
Ηλεκτρική διαπερατότητα	ε	Φάραντ ανά μέτρο	F/m
Ηλεκτρεγερτική δύναμη	E	Βολτ	V
Θερμοκρασία	Θ, θ	Κέλβιν	K
Ισχύς	P	Βατ	W
Μαγνητική διαπερατότητα	μ	Χένρυ ανά μέτρο	H/m
Μαγνητική ροή	Φ	Βέμπερ	Wb
Μάζα	m	Χιλιόγραμμα	kg
Μήκος	ℓ	Μέτρο	m
Μήκος κύματος	λ	Angstrom ($1 \cdot 10^{-10}$ m)	Å
Περίοδος	T	Δευτερόλεπτο	s
Ποσότητα ύλης	v	Μολ	mol
Πτώση τάσεως	V	Βολτ	V
Πυκνότητα μαγνητικής ροής	B	Τέσλα	T
Ρεύμα	I	Αμπέρ	A
Συχνότητα	F	Χερτς	Hz
Τάση	V	Βολτ	V
Φορτίο	Q, q	Κουλόμπ	C
Φωτοβολία	I	Κηρίο	cd
Χρόνος	t	Δευτερόλεπτο	s
Χωρητικότητα	C	Φάραντ	F

Πίνακας 2 - Ονόματα και Σύμβολα Φυσικών Μεγεθών και των μονάδων τους

Π 1.4 Προθέματα

Πολλές φορές είναι πιο πρακτικό να χρησιμοποιούνται πολλαπλάσια και υποπολλαπλάσια των μονάδων. Η απόσταση μεταξύ δύο πόλεων εκφράζεται πρακτικότερα σε χιλιόμετρα αντί σε μέτρα.

Τα πολλαπλάσια και υποπολλαπλάσια των δύο μονάδων συμβολίζονται με προθέματα, δηλ. γράμματα που μπαίνουν μπροστά από τις μονάδες:

20 Km = 2 0000 m Απόσταση είκοσι χιλιομέτρων ισούται με 20 000 μέτρα.

3,5 Kg = 3 500 g Βάρος 3,5 κιλών ισούται με 3 500 γραμμάρια

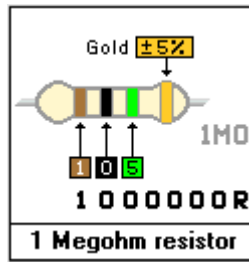
200 mm = 0,2 m Μήκος 200 χιλιοστών ισούται με 0,2 μέτρα

Τα προθέματα δίδονται στον Πίνακα 3.

ΟΝΟΜΑ ΠΡΟΘΕΜΑΤΟΣ		ΣΥΜΒΟΛΟ ΠΡΟΘΕΜΑΤΟΣ	ΤΙΜΗ ΠΡΟΘΕΜΑΤΟΣ
ΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑ			
ΕΞΑ ΠΕΤΑ ΤΕΡΑ	ΕΧΑ ΡΕΤΑ ΤΕΡΑ	Ε Ρ Τ	10 ¹⁸ 10 ¹⁵ 10 ¹²
♦ ΓΙΓΑ	GIGA	G	10⁹
♦ ΜΕΓΑ	MEGA	M	10⁶
♦ ΚΙΛΟ	KILO	k	10³
ΧΕΚΤΟ ΔΕΚΑ	HECTO DECA	h da	10 ² 10 ¹
ΥΠΟΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑ			
ΔΕΚΑΤΟ ΕΚΑΤΟΣΤΟ	DECI CENTI	d c	10 ⁻¹ 10 ⁻²
♦ ΧΙΛΙΟΣΤΟ	MILLI	m	10⁻³
♦ ΜΙΚΡΟ	MICRO	μ	10⁻⁶
♦ ΝΑΝΟ	NANO	n	10⁻⁹
♦ ΠΙΚΟ	PICO	p	10⁻¹²
ΦΕΜΤΟ ΑΤΤΟ	FEMTO ATTO	f a	10 ⁻¹⁵ 10 ⁻¹⁸

Πίνακας 3 - Προθέματα Μονάδων

Αξιολόγηση - Μονάδες SI και Προθέματα



1. Συμπληρώστε τους πιο κάτω πίνακες:

ΦΥΣΙΚΟ ΜΕΓΕΘΟΣ		ΜΟΝΑΔΑ	
ΟΝΟΜΑ	ΣΥΜΒΟΛΟ	ΟΝΟΜΑ	ΣΥΜΒΟΛΟ
ΜΗΚΟΣ	ℓ	ΜΕΤΡΟ	m
ΜΑΖΑ		ΧΙΛΙΟΓΡΑΜΜΟ	
	t	ΔΕΥΤΕΡΟΛΕΠΤΟ	
		ΚΕΛΒΙΝ	K
ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΡΕΥΜΑ	I		
	I	ΚΗΡΙΟ	
	v		mol

ΣΥΜΒΟΛΟ ΠΡΟΘΕΜΑΤΟΣ	ΤΙΜΗ ΠΡΟΘΕΜΑΤΟΣ	ΟΝΟΜΑ ΠΡΟΘΕΜΑΤΟΣ
		πίκο
	10^{-9}	
		μίκρο
	10^{-3}	
c		
	10^3	
		μέγα

2. Μετατρέψτε τα πιο κάτω δεδομένα σε μονάδες SI χωρίς προθέματα:

$I = 2 \mu A = 0,000\,002\,A$

$V = 20\,kV = \dots\dots\dots V$

$R = 3\,k\Omega = \dots\dots\dots \Omega$

$I = 30\,mA = \dots\dots\dots A$

$Q = 4\,mC = \dots\dots\dots C$

$\ell = 150\,cm = \dots\dots\dots m$

3. Μετατρέψτε τις πιο κάτω μονάδες σε μονάδες χωρίς προθέματα:

$5\,k\Omega = \dots\dots\dots 0,6\,k\Omega = \dots\dots\dots$

$0,005\,k\Omega = \dots\dots\dots$

$4\,MW = \dots\dots\dots 5\,000\,mA = \dots\dots\dots$

$400\,mA = \dots\dots\dots$

$20\,mV = \dots\dots\dots 10\,000\,\mu F = \dots\dots\dots$

$15\,mm = \dots\dots\dots$

4. Μετατρέψτε τις πιο κάτω τιμές ρεύματος σε μίλλι αμπέρ:

$$2 \text{ A} = \quad \quad \quad 3,4 \text{ A} = \quad \quad \quad 0,120 \text{ A} =$$

$$0,033 \text{ A} = \quad \quad \quad 0,006 \text{ A} = \quad \quad \quad 10,5 \text{ A} =$$

5. Μετατρέψτε τις πιο κάτω τιμές τάσεις σε βολτ:

$$124 \text{ mV} = \quad \quad \quad 1\,200 \text{ mV} = \quad \quad \quad 25 \text{ mV} =$$

$$2\,000 \text{ mV} = \quad \quad \quad 8 \text{ mV} = \quad \quad \quad 15\,600 \text{ mV} =$$

6. Μετατρέψτε τις πιο κάτω τιμές αντίστασης σε kΩ:

$$1\,000 \, \Omega = \quad \quad \quad 27\,000 \, \Omega = \quad \quad \quad 680\,000 \, \Omega =$$

$$15\,000 \, \Omega = \quad \quad \quad 330 \, \Omega = \quad \quad \quad 18 \, \Omega =$$

7. Μετατρέψτε τις πιο κάτω τιμές ισχύος σε μεγαβάτ:

$$6\,000\,000 \text{ W} = \quad \quad \quad 800\,000 \text{ W} = \quad \quad \quad 720\,000\,000 \text{ W} =$$

8. Γράψτε με σύμβολα και αριθμούς σε μονάδες SI τα πιο κάτω:

Ένταση ρεύματος 1500 μίλλι Αμπέρ $I = 1\,500 \text{ mA}$
 Διαφορά Δυναμικού 24 Βολτ
 Χωρητικότητα 22 μικρο Φάραντ
 Συχνότητα 94,8 μέγα Χερτς

9. Μετατρέψτε τα ακόλουθα σε μονάδες με προθέματα:

$$I = 0,003 \text{ A} = 3 \text{ mA} \quad \quad \quad W = 5 \cdot 10^{-6} \text{ J} = \dots\dots\dots \, \mu\text{J}$$

$$Q = 4 \cdot 10^{-3} \text{ C} = \dots\dots\dots \text{ mC} \quad \quad \quad t = 0,0002 \text{ s} = \dots\dots\dots \text{ ms}$$

$$V = 11\,000 \text{ V} = \dots\dots\dots \text{ kV} \quad \quad \quad R = 470\,000 \, \Omega = \dots\dots\dots \text{ k}\Omega$$

$$f = 94,8 \cdot 10^6 \text{ Hz} = \dots\dots\dots \text{ MHz}$$

10. Μετατρέψτε :

$$300 \text{ mA} = \dots\dots\dots \text{ A} \quad \quad \quad 0,01 \text{ A} = \dots\dots\dots \text{ mA} \quad \quad \quad 3\,000 \, \mu\text{A} = \dots\dots\dots \text{ A}$$

$$0,3 \text{ mA} = \dots\dots\dots \text{ A} \quad \quad \quad 0,5 \text{ mA} = \dots\dots\dots \, \mu\text{A} \quad \quad \quad 1 \text{ mA} = \dots\dots\dots \, \mu\text{A}$$

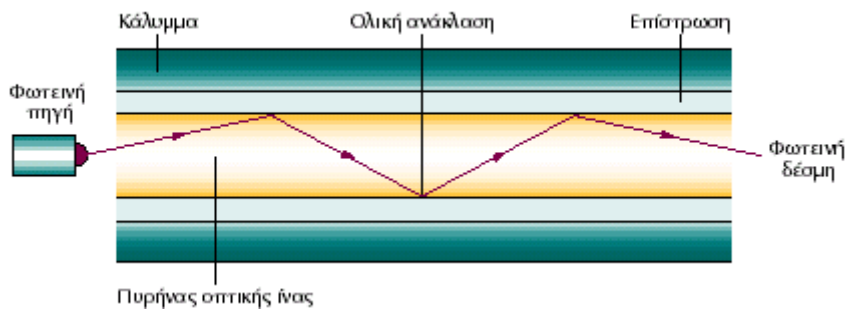
11. Συμπληρώστε:

Κίλο	= χίλια	= 1000	= 10^3
Μέγα	=	=	= 10^6
Μίλλι	= ένα	=	=
Μίκρο	= ένα	=	=

12. Συμπληρώστε:

220 kΩ =	Ω	1,2 MΩ =	kΩ	330 000 Ω =	kΩ
110 kV =	V	160 mA =	A	470 000 Ω =	kΩ
20 000 V =	kV	0,6 V =	mV	220 μA =	mA
10 kΩ =	Ω	1200 Ω =	kΩ	6 000 μV =	V
600 μV =	mV	0,25 A =	mA	0,0025 A =	mA

Παράρτημα 2 - Τεχνολογία Οπτικών Συστημάτων



Π 2.1 Οπτικές Πηγές

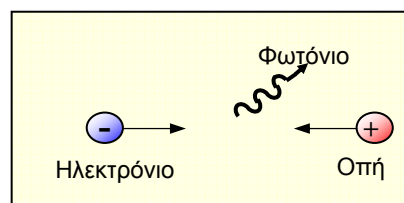
Οι πηγές φωτός (ορατού και μη ορατού) βρίσκονται σήμερα στην καρδιά των δύο πλέον αναπτυσσόμενων βιομηχανιών: των υπολογιστών και των τηλεπικοινωνιών. Η οπτική ίνα μεταφέρει το φως κατάλληλων πηγών το οποίο περιέχει πληροφορία δεδομένων, εικόνας και φωνής, σε πολύ υψηλούς ρυθμούς. Τέτοιες φωτεινές (οπτικές) πηγές χρησιμοποιούνται, για να διαβάζουν τα δεδομένα που έχουν αποθηκευθεί σε CD ή σε οπτικό ψηφιακό δίσκο (**Digital Video Disk, DVD**) ή χρησιμοποιούνται σε εκτυπωτές υπολογιστικών συστημάτων.

Η αναγκαιότητα χρησιμοποίησης οπτικών μέσων στις τηλεπικοινωνίες προέκυψε από την ανάγκη μεταφοράς ολοένα και μεγαλύτερων ποσών πληροφορίας. Είναι γνωστή αρχή των τηλεπικοινωνιών ότι η ικανότητα μεταφοράς πληροφορίας μιας πηγής εξαρτάται από τη συχνότητά της, η οποία ονομάζεται **φέρουσα** συχνότητα. Όσο μεγαλύτερη είναι αυτή η συχνότητα, τόσο περισσότερη είναι και η πληροφορία που μπορεί να μεταδώσει η πηγή.

Οι οπτικές πηγές με φέρουσες συχνότητες της τάξης 10^{14} Hz υπερτερούν κατά 4 - 5 τάξεις μεγέθους σε σχέση με τις μικροκυματικές πηγές, οι οποίες εκπέμπουν σε συχνότητες μερικών GHz (10^9 Hz). Άρα, τα οπτικά συστήματα είναι σε θέση να μεταβιβάσουν 10 έως 100 χιλιάδες φορές περισσότερη πληροφορία από τα αντίστοιχα μικροκυματικά και βεβαίως εκατοντάδες εκατομμύρια φορές σε σχέση με οποιοδήποτε άλλο μέσο μετάδοσης (π.χ. χάλκινα καλώδια). Η ανακάλυψη του laser το 1960, σε συνδυασμό με την εξαιρετική ιδιότητα της οπτικής ίνας να "οδηγεί" το φως σε πολύ μακρινές αποστάσεις, επέτρεψαν τη ραγδαία εξέλιξη των οπτικών επικοινωνιών μέσα σε διάστημα λίγων δεκαετιών.

Οι δύο περισσότερο συνηθισμένες οπτικές πηγές είναι οι **LED (Light Emitting Diode)** και οι **Laser**. Σκοπός τους είναι να μετατρέπουν το ηλεκτρικό ρεύμα με το οποίο τροφοδοτούνται σε δέσμη φωτός. Με αυτό τον τρόπο η πληροφορία μεταφέρεται από το ρεύμα τροφοδοσίας στη φωτεινή δέσμη. Η πληροφορία, η οποία εμπεριέχεται στις μεταβολές ή διακυμάνσεις του ρεύματος, μετατρέπεται σε μεταβολές των χαρακτηριστικών (π.χ. της έντασης) της φωτεινής δέσμης.

Π 2.1.1 Πηγές LED



Επανασύνδεση ηλεκτρονίου και οπής και εκπομπή φωτονίου

Οι LED είναι πηγές σχετικά απλές και βρίσκουν ευρεία χρήση σε ασύρματες υπέρυθρες επικοινωνίες, στα τηλεχειστήρια, σε εφαρμογές ηλεκτρονικής απεικόνισης (φωτεινοί ενδείκτες) κλπ.

Η LED είναι μία ημιαγωγική διάταξη ένωσης $p-n$, η οποία εκπέμπει φως, όταν ο θετικός ακροδέκτης τροφοδοσίας συνδεθεί στην περιοχή τύπου p και ο αρνητικός στην περιοχή τύπου n (αυτή η συνδεσμολογία ονομάζεται **ορθή πόλωση**).

Παραγωγή φωτός δεν προκύπτει από οποιοδήποτε ημιαγωγό αλλά από συγκεκριμένους ημιαγωγούς. Στους συνήθεις ημιαγωγούς των ηλεκτρονικών, δηλ. το πυρίτιο και το γερμάνιο, η επανασύνδεση των ελευθέρων ηλεκτρονίων και των οπών πραγματοποιείται με απελευθέρωση ενέργειας σε μορφή θερμότητας και όχι φωτός και επομένως οι ημιαγωγοί αυτοί δεν είναι κατάλληλοι για οπτικές πηγές.

Οι καταλληλότεροι ημιαγωγοί είναι σύνθετοι ημιαγωγοί. Αυτοί προέρχονται από ανάμειξη των στοιχείων αλουμίνιο (Al), γάλλιο (Ga), ή ινδίο (In) με τα στοιχεία φώσφορο (P), αρσενικό (As), ή αντιμόνιο (Sb), π.χ. GaAsP, GaAlAs ή GaInAsP. Το μήκος κύματος του φωτός που εκπέμπεται εξαρτάται από την ακριβή σύνθεση του ημιαγωγού.

Η φωτεινή ισχύς της LED φθάνει τα μερικά mW. Η **απόδοση** της LED είναι το κλάσμα της ηλεκτρικής ισχύος εισόδου που μετατρέπεται σε φωτεινή ισχύ εξόδου. Η απόδοση αυτή σήμερα είναι της τάξης του 10%.

Οι LED μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μετάδοση πληροφορίας σε ψηφιακή ή αναλογική μορφή μέσα από μια οπτική ίνα. Στην ψηφιακή μετάδοση ο ρυθμός μπορεί να φτάσει μερικές εκατοντάδες Mbit/s. Αυτό επιτυγχάνεται με κατάλληλη διαμόρφωση του ρεύματος οδήγησης της LED από το σήμα πληροφορίας.

Πίνακας 1 ΗΜΙΑΓΩΓΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΟΠΤΙΚΩΝ ΠΗΓΩΝ	
ΥΛΙΚΟ (ενεργό στρώμα/ υπόστρωμα)	ΜΗΚΗ ΚΥΜΑΤΟΣ
GaAlAs/GaAs	750 - 870 nm
GaAs/GaAs	904 nm
InGaAsP/InP	1100 - 1650 nm
AlGaAsSb/InGaAsSb	2,0-3,0 μm

Στον Πίνακα 1 φαίνονται τα κυριότερα ημιαγωγικά υλικά, από τα οποία κατασκευάζονται οι οπτικές πηγές και το αντίστοιχο μήκος κύματος του φωτός που εκπέμπουν. Με διαφορετικό χρώμα τονίζονται τα υλικά που δίνουν φως στα μήκη κύματος των οπτικών επικοινωνιών 0,85 , 1,3 και 1,55 μm.

Π 2.1.2 Πηγές Laser

Στα συστήματα επικοινωνιών με οπτικές ίνες οι πηγές που χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά είναι τα διοδικά laser ημιαγωγού. Τα πρώτα laser ημιαγωγού κατασκευάστηκαν το 1962, όμως τελειοποιήθηκαν το 1970, οπότε και άρχισαν να χρησιμοποιούνται.

Ο όρος "laser" προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation (Ενίσχυση Φωτός από Εξαναγκασμένη Εκπομπή Ακτινοβολίας) που δείχνουν ακριβώς τη δυνατότητα των laser να παράγουν *σύμφωνο φως* εκμεταλλευόμενα την *εξαναγκασμένη ακτινοβολία* μέσα σε ένα υλικό.

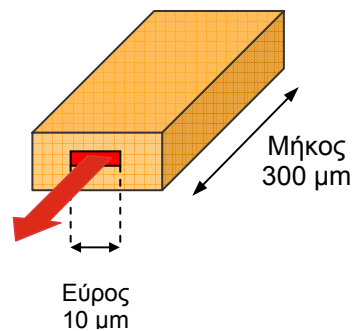
Οι πηγές laser είναι παρόμοιες κατασκευαστικά με τις LED (δηλ. είναι και αυτές ενώσεις $p-n$), αλλά διαφέρουν στο ότι το φως παράγεται από *εξαναγκασμένη* (όχι αυθόρμητη) επανασύνδεση ηλεκτρονίων-οπών. Επίσης διαθέτουν ανακλαστικά άκρα. Όταν το laser τροφοδοτηθεί με ρεύμα, το φως ανακλάται πολλαπλά εσωτερικώς μεταξύ των ανακλαστικών επιφανειών. Οι πολλαπλές ανακλάσεις των φωτεινών κυμάτων (**οπτική ανατροφοδότηση**) έχουν ως αποτέλεσμα την εξαναγκασμένη αποδιέγερση όλο και περισσότερων ηλεκτρονίων

και την ενίσχυση της ακτινοβολίας λόγω εξαναγκασμένης εκπομπής. Μόλις το ρεύμα αυξηθεί αρκετά, τότε :

- (α) Η ενίσχυση (απολαβή) ξεπερνά τις εσωτερικές απώλειες του υλικού
- (β) Η φωτεινή δέσμη διαπερνά τα ημιδιαφανή ανακλαστικά άκρα (κάτοπτρα) και
- (γ) Εκπέμπεται μια σχεδόν **μονοχρωματική** φωτεινή δέσμη, εξαιρετικά μεγάλης λαμπρότητας και μεγάλης κατευθυντικότητας.

Οι διαστάσεις των ημιαγωγικών laser "ταιριάζουν" σε αυτές των οπτικών ινών. Το μήκος τους είναι 300-400 μm , ενώ το εύρος της ενεργού περιοχής είναι της τάξης των 10 μm , όσο περίπου και η διάμετρος της ίνας. Η μεγάλη κατευθυντικότητα και η μονοχρωματικότητα επιτρέπουν την εύκολη εστίαση της δέσμης με φακούς και την αντιμετώπιση του φαινομένου της διασποράς των οπτικών ινών.

Τα laser έχουν ισχύ εκπομπής μέχρι μερικά Watts. Είναι πολύ ισχυρότερα από τις LED και, συνεπώς, έχουν δυνατότητα μετάδοσης σε πολύ πιο μακρινές αποστάσεις μέσα στην ίνα. Η απόδοση των laser είναι σήμερα της τάξης του 30%. Ένα άλλο πλεονέκτημα των laser ως προς τις LED είναι η ικανότητά τους να διαμορφώνονται με ταχύτερους ρυθμούς που σήμερα φθάνουν τα 10 Gbit/s.



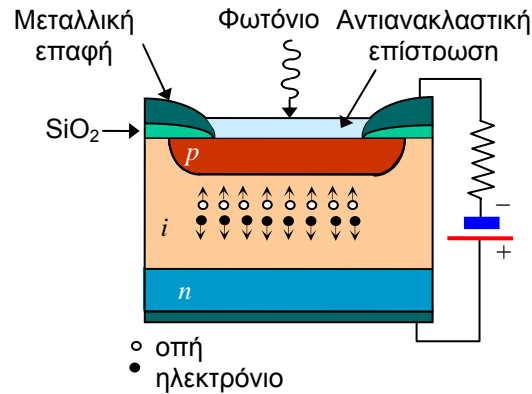
Οι διαστάσεις του laser ημιαγωγού.

Π 2.2 Φωτοδέκτες

Οι φωτοδέκτες είναι οι ηλεκτρονικές διατάξεις που μετατρέπουν ένα φωτεινό σήμα σε ηλεκτρικό. Το φωτεινό σήμα φθάνει συνήθως μέσω μιας οπτικής ίνας και μετατρέπεται σε ηλεκτρική μορφή, προκειμένου να οδηγηθεί στις επόμενες βαθμίδες ηλεκτρονικής επεξεργασίας.

Ο ιδανικός φωτοδέκτης θα πρέπει να έχει υψηλή απόδοση μετατροπής του φωτός σε ρεύμα (δηλ. υψηλή ευαισθησία) στο μήκος κύματος του φωτός που πρόκειται να ανιχνεύσει (π.χ. 1,3 ή 1,55 μm), να μην προσθέτει θόρυβο στο σήμα, να ανταποκρίνεται στο ρυθμό δεδομένων, να είναι αξιόπιστος και φθηνός και να έχει διαστάσεις συγκρίσιμες με τη διάμετρο του πυρήνα της ίνας. Τις απαιτήσεις αυτές ικανοποιούν οι **φωτοдиодοι** ημιαγωγού, που χρησιμοποιούνται σήμερα στους δέκτες όλων των οπτικών συστημάτων. Υπάρχουν δύο τύποι φωτοδιόδων ημιαγωγού: η *φωτοδιόδος PIN* και η *φωτοδιόδος χιονοστοιβάδας* (APD: avalanche photodiode).

Η *φωτοδιόδος PIN* αποτελείται από τρία στρώματα. Ένα τύπου *p*, ένα τύπου *n* και μεταξύ τους παρεμβάλλεται ένα φωτοευαίσθητο στρώμα χαμηλής νόθευσης (intrinsic). Σε αυτό το στρώμα πραγματοποιείται η μετατροπή της οπτικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Η φωτοδιόδος πολώνεται **ανάστροφα** (δηλ. ο θετικός ακροδέκτης τροφοδοσίας συνδέεται στην περιοχή τύπου-*n* και ο αρνητικός στην περιοχή τύπου-*p*) με τυπική τιμή τάσης 5V. Όταν πέσει φως πάνω στη φωτοδιόδο, τότε κάθε φωτόνιο απορροφάται και δημιουργείται ένα ζεύγος ηλεκτρονίου-οπής. Κάτω από την επίδραση της ανάστροφης πόλωσης, τα αντίθετα ηλεκτρικά φορτία ηλεκτρονίου και οπής κινούνται σε αντίθετες διευθύνσεις και δημιουργούν ένα ηλεκτρικό ρεύμα στο εξωτερικό κύκλωμα.



Δομή και συνδεσμολογία μια διόδου PIN.

Το μήκος κύματος λειτουργίας μιας φωτοδιόδου εξαρτάται από το υλικό κατασκευής της. Το Si είναι κατάλληλο για τα μικρά μήκη κύματος (0,8-0,9 μm), το Ge για το πρώτο "παράθυρο" των οπτικών ινών (1,3 μm) και το InGaAs (Ίνδιο - Γάλλιο - Αρσενικό) για το δεύτερο "παράθυρο" των οπτικών ινών (1,55 μm).

Το ρεύμα εξόδου μιας PIN είναι πολύ ασθενές, της τάξης του μA , και επομένως χρειάζεται ενίσχυση πριν διοχετευθεί στις υπόλοιπες βαθμίδες του ηλεκτρονικού δέκτη. Η ενίσχυση πραγματοποιείται με τη βοήθεια ενισχυτή με τρανζίστορ FET και έτσι έχουμε το συνδυασμό PIN με τρανζίστορ FET, ο οποίος ονομάζεται με μία λέξη φωτοδέκτης PIN-FET.

Π 2.3 Οπτικοί Ενισχυτές

Στα μέχρι πρότινος επίγεια και υποθαλάσσια τηλεπικοινωνιακά συστήματα οπτικών ινών μεγάλων αποστάσεων, για την περιοδική ενίσχυση του σήματος χρησιμοποιούνται **επαναλήπτες - αναγεννητές** οι οποίοι μετατρέπουν το οπτικό σήμα σε ηλεκτρικό, το ενισχύουν ηλεκτρονικά και στη συνέχεια το αναμεταδίδουν σε οπτική μορφή. Η χρήση όμως των επαναληπτών - αναγεννητών έχει τους εξής περιορισμούς:

- το θόρυβο της ηλεκτρονικής ενίσχυσης,
- το κόστος και το μέγεθος των αναγεννητών,
- την ανάγκη συχνής συντήρησής τους και,
- την αδυναμία ταυτόχρονης ενίσχυσης πολλών μηκών κύματος μέσα στην ίδια ίνα.

Ο μόνος τρόπος για να ξεπεραστούν όλες οι παραπάνω αδυναμίες είναι να διατηρηθεί το σήμα σε οπτική μορφή σε όλο το μήκος της διαδρομής. Αυτό συνεπάγεται ότι θα πρέπει να γίνεται απευθείας ενίσχυση του οπτικού σήματος, από **καθαρά οπτικούς ενισχυτές**.

Υπάρχουν τρεις κυρίως τρόποι με τους οποίους μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε έναν οπτικό ενισχυτή:

- ως **ενισχυτή ισχύος**, αν τοποθετηθεί αμέσως μετά από το laser εκπομπής για να υπώσει το σήμα εξόδου σε μια υψηλή στάθμη,
- ως **ενισχυτή γραμμής**, για να ενισχύει το σήμα περιοδικά κατά μήκος της διαδρομής όπου παίζει το ρόλο αναγεννητή,
- ως **προενισχυτή**, για να βελτιώσει την ευαισθησία του δέκτη.

Στην πράξη, υπάρχουν δύο τύποι οπτικών ενισχυτών: οι **ενισχυτές ημιαγωγού** (semiconductor optical amplifiers - SOA) και οι **ενισχυτές με ίνα προσμείξεων ερβίου** (erbium doped fiber amplifiers - EDFA).

Πλεονεκτήματα Οπτικών Ενισχυτών

- ✓ Ο **επαναλήπτης-αναγεννητής** λαμβάνει το εξασθενημένο οπτικό σήμα που έχει διαδοθεί μέσα στην ίνα, το μετατρέπει σε ηλεκτρικό σήμα, στη συνέχεια το ενισχύει και το επαναφέρει στην αρχική ψηφιακή μορφή του διορθώνοντας τυχόν λάθη κατά τη μετάδοση. Η επαναφορά αυτή (αναγέννηση) περιορίζει τον επαναλήπτη να λειτουργεί μόνο στο ρυθμό μετάδοσης, για τον οποίο σχεδιάστηκε η ζεύξη. Μετά την αναγέννηση το ηλεκτρικό σήμα μετατρέπεται σε οπτικό και εκπέμπεται στο επόμενο τμήμα του οπτικού καλωδίου.
- ✓ Επομένως, ο επαναλήπτης-αναγεννητής σχεδιάζεται για να λειτουργεί αποκλειστικά σε ένα μήκος κύματος και σε συγκεκριμένο ρυθμό μετάδοσης.
- ✓ Αντίθετα, ο οπτικός ενισχυτής μπορεί να ενισχύσει **οποιοδήποτε μήκος κύματος** (ακόμα και περισσότερα από ένα) σε **οποιοδήποτε ρυθμό μετάδοσης** και έχει μεγάλο εύρος ζώνης. Έτσι, τα συστήματα μετάδοσης μπορούν να αναβαθμίζονται χωρίς να χρειάζεται αντικατάσταση των ενδιάμεσων οπτικών ενισχυτών.

Π 2.3.1 Οπτικοί Ενισχυτές Ημιαγωγού

Οι ενισχυτές ημιαγωγού που κατασκευαστικά μοιάζουν πολύ με τα laser ημιαγωγού, έχουν μικρή κατανάλωση και μπορούν να ολοκληρώνονται μονολιθικά με άλλα ηλεκτρονικά κυκλώματα. Έχουν τα πιο κάτω μειονεκτήματα:

- ✓ Εισάγουν όμως θόρυβο στο σήμα
- ✓ Έχουν σχετικά μεγάλο κόστος
- ✓ Εμφανίζουν διαφωνία μεταξύ των οπτικών σημάτων που ενισχύονται.

Π 2.3.2 Οπτικοί Ενισχυτές Ίνας Προσμείξεων

Οι ενισχυτές αυτοί βασίζονται στην αρχή της ενίσχυσης του φωτός μέσα στην ίνα λόγω νόθευσής της με κατάλληλα υλικά (στοιχεία).

Στον ενισχυτή ίνας τα άτομα προσμείξεων απορροφούν φωτεινή ενέργεια από μια πηγή laser και την αποδίδουν στο μήκος κύματος του σήματος (εξαναγκασμένη εκπομπή). Μ' αυτόν τον τρόπο, το σήμα ενισχύεται σε οπτική μορφή, καθώς οδεύει μέσα στην ίνα.

Τυπικές τιμές της ενίσχυσης (απολαβής) ενός ενισχυτή ίνας φθάνουν τα 30 dB με εύρος ζώνης 40 nm.

Πλεονεκτήματα :

- ✓ Απλότητα στην κατασκευή,
- ✓ Ευκολία ζεύξης με τη γραμμή οπτικής ίνας με χαμηλές απώλειες,
- ✓ Εξάλειψη των φαινομένων διαφωνίας των οπτικών σημάτων που ενισχύονται.

Π 2.4 Οπτικοηλεκτρονική Ολοκλήρωση

Σήμερα, βρισκόμαστε στο ξεκίνημα μιας νέας τεχνολογικής επανάστασης, της **οπτικοηλεκτρονικής ολοκλήρωσης.**

Οπτικοηλεκτρονική ολοκλήρωση είναι η ταυτόχρονη ανάπτυξη οπτικών, ηλεκτρο-οπτικών και ηλεκτρονικών διατάξεων στον ίδιο μονοκρύσταλλο.

Η οπτικοηλεκτρονική ολοκλήρωση επιτεύχθηκε χάρη στην πρόοδο των διαδικασιών κατασκευής ολοκληρωμένων κυκλωμάτων. Έτσι, στο ίδιο ολοκληρωμένο κύκλωμα μπορεί να συνυπάρχουν:

- (α) η δίοδος laser,
- (β) το ηλεκτρονικό κύκλωμα τροφοδοσίας και διαμόρφωσης της δίοδου laser,
- (γ) η φωτοδίοδος,
- (δ) το κύκλωμα ενίσχυσης της φωτοδίοδου,
- (ε) παθητικά φωτονικά κυκλώματα (οπτικά φίλτρα, κλπ.)

Στις τηλεπικοινωνίες η οπτικοηλεκτρονική ολοκλήρωση προσφέρει τη δυνατότητα ανάπτυξης διατάξεων που θα πραγματοποιούν πολυπλεξία και μεταγωγή στο οπτικό επίπεδο. Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται η οπτικοηλεκτρονική και ηλεκτροοπτική μετατροπή και αυξάνεται ο ρυθμός μετάδοσης των γραμμών μεταξύ των κέντρων μεταγωγής του τηλεπικοινωνιακού δικτύου, εφόσον όλες αυτές οι λειτουργίες θα εκτελούνται στο οπτικό πεδίο. Η επεξεργασία στο οπτικό πεδίο προσφέρει τεράστιες δυνατότητες, όπως για παράδειγμα την ταυτόχρονη μετάδοση πολλών μηκών κύματος μέσα από την ίδια ίνα (δηλαδή πολυπλεξία μηκών κύματος που το κάθε μήκος κύματος μεταφέρει πληροφορία σε υψηλούς ρυθμούς).

Παράρτημα 3 - Η Διεθνής Τηλεπικοινωνιακή Ένωση - ITU



Η Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών, International Telecommunication Union - ITU, με έδρα τη Γενεύη της Ελβετίας, είναι ένας διεθνής οργανισμός στα πλαίσια των Ηνωμένων Εθνών, μέσω του οποίου κυβερνήσεις και ο ιδιωτικός τομέας συντονίζουν παγκόσμια τηλεπικοινωνιακά δίκτυα και υπηρεσίες.

Η ITU διεξάγει συνέδρια και διασκέψεις και είναι ο κύριος εκδότης όρων, πρότυπων και κανονισμών στις τηλεπικοινωνίες.

Η ITU χωρίζεται στους πιο κάτω τομείς:

◆ **ITU - R, Radiocommunication Sector**

Ο τομέας της ITU - R παίζει ένα ζωτικό ρόλο στη διαχείριση του ραδιοηλεκτρικού φάσματος και των δορυφορικών τροχιών, που θεωρούνται φυσικοί πόροι με αυξημένη ζήτηση από ένα μεγάλο αριθμό υπηρεσιών όπως σταθερών, κινητών, ραδιοφωνικών, τηλεοπτικών και ερασιτεχνικών επικοινωνιών, όπως και επίσης για την εξερεύνηση του διαστήματος, τη μετεωρολογία, τα συστήματα παγκόσμιας ραδιοπλοήγησης αλλά και κύρια τις τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες που διασφαλίζουν τη ζωή στη θάλασσα και στον αέρα.

◆ **ITU - T, Telecommunication Standardization Sector**

Ο τομέας της ITU - T έχει αντικαταστήσει τη προηγούμενη Συμβουλευτική Επιτροπή Τηλεγραφίας και Τηλεφωνίας, International Telegraph and Telephone Consultative Committee - CCITT, με αποστολή να εξασφαλίσει αποτελεσματικά και έγκαιρα τη δημιουργία υψηλών προδιαγραφών προτύπων (Υποδείξεων) που καλύπτουν όλα τα πεδία των τηλεπικοινωνιών εξαιρουμένων των θεμάτων των ραδιοεπικοινωνιών:

- Διαδίκτυο
- Τεχνολογίες πρόσβασης δικτύων (xDSL)
- Χρεώσεις και λογιστικά θέματα
- Θέματα κινητικότητας δικτύων
- Τεχνολογίες Δικτύων με οπτικές ίνες
- Υπηρεσίες πολυμέσων και συστημάτων

◆ **ITU - D, Telecommunication Development Bureau**

Ο τομέας της ITU - D έχει στόχο την ανάπτυξη, επέκταση και διαχείριση τηλεπικοινωνιακών δικτύων και υπηρεσιών ειδικά στις αναπτυσσόμενες χώρες ενισχύοντας τις δυνατότητες ανάπτυξης του ανθρώπινου δυναμικού, το σχεδιασμό, τη διαχείριση, τη έρευνα, την ανάπτυξη, την επιστράτευση πόρων, την παροχή βοήθειας στο τομέα των τηλεπικοινωνιών και τη μεταφορά τεχνολογίας.

Η ιστοσελίδα της ITU στο διαδίκτυο είναι:

<http://www.itu.int/home/index.html>

Παράρτημα 4 - Διεθνείς Δορυφορικοί Τηλεπικοινωνιακοί Οργανισμοί

Οι κύριοι διεθνείς οργανισμοί τηλεπικοινωνιακών δορυφόρων και των οποίων η ΑΤΗΚ είναι μέλος είναι οι INTELSAT, EUTELSAT και INMARSAT.

1. Intelsat



Είναι ο Διεθνής Οργανισμός Τηλεπικοινωνιακών Δορυφόρων (INTELSAT - International Telecommunications Satellite Organisation). Κύριος σκοπός του INTELSAT είναι η παροχή πάνω σε εμπορική βάση τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών υψηλής ποιότητας και αξιοπιστίας, οι οποίες να προσφέρονται χωρίς καμιά διάκριση σ' όλες τις περιοχές του κόσμου.

Ο INTELSAT, με βάση στοιχεία του 1995, διαθέτει το πιο διαδεδομένο δορυφορικό δίκτυο σ' ολόκληρο τον κόσμο. Τη συνεχή κάλυψη ολόκληρης της γης παρέχουν περισσότεροι από 25 δορυφόροι σε γεωσταθερή τροχιά πάνω από τον Ισημερινό σε ύψος 35,786 χιλιομέτρων σε περιοχές πάνω από τον Ατλαντικό, Ειρηνικό και Ινδικό Ωκεανό.

Για την διοίκηση, λειτουργία και συντήρηση των δορυφόρων είναι υπεύθυνο το Δορυφορικό Κέντρο Ελέγχου INTELSAT (SCC - Satellite Control Center). Το δορυφορικό Κέντρο Ελέγχου, μέσω κεραιών που βρίσκονται σκορπισμένες σε διάφορα στρατηγικά σημεία της γης (π.χ. Μ. Βρετανία, Ιταλία, Γερμανία, Κίνα, Χαβάη, Η.Π.Α.), παραμένει σε συνεχή επαφή με κάθε δορυφόρο για να παρακολουθεί τη λειτουργία του. Το κέντρο επίσης διεκπεραιώνει σημαντικό ρόλο κατά την τοποθέτηση των δορυφόρων σε τροχιά και την μετέπειτα αφαίρεση τους από την τροχιά.

2. Eutelsat



Ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Τηλεπικοινωνιακών Δορυφόρων (EUTELSAT - European Telecommunications Satellite Organisation) ιδρύθηκε με πρωτοβουλία της Ευρωπαϊκής Ένωσης Ταχυδρομείων και Τηλεπικοινωνιών (CEPT) το 1977.

Οι δορυφόροι του Eutelsat προσφέρουν υπηρεσίες για τηλεφωνία, τηλεγραφία, τέλεξ, τηλεομοιοτυπία, μετάδοση δεδομένων, τηλεόραση και ραδιοεκπομπές. Ο οργανισμός επίσης προσφέρει ειδικές υπηρεσίες, όπως ραδιοναυτικές υπηρεσίες, υπηρεσίες εξερεύνησης στο διάστημα, μετεωρολογικές υπηρεσίες, μακρινό έλεγχο των επίγειων πόρων και υπηρεσία ανταλλαγής μηνυμάτων και αναφοράς θέσης για κινητούς σταθμούς (EUTELTRACKS). Μέλη του το 1993 ήταν ιδιωτικοί και δημόσιοι τηλεπικοινωνιακοί οργανισμοί σε 41 χώρες.

Ο Eutelsat με 23 δορυφόρους παρέχει 1250 τηλεοπτικά κανάλια και 700 ραδιοφωνικούς σταθμούς. Ο Οργανισμός ανήκει στις χώρες μέλη του όπως και στην περίπτωση του INTELSAT.

3. Inmarsat



Ο Inmarsat όταν πρωτοιδρύθηκε το 1982 είχε σαν αρχικό στόχο την εξυπηρέτηση των ραδιοεπικοινωνιών και την ασφάλεια των πλοίων μέσω δικτύου δορυφόρων με κάλυψη σχεδόν ολόκληρης της υφηλίου. Αργότερα το 1985 τέθηκε και δεύτερος στόχος, η κάλυψη των ίδιων αναγκών και για την πολιτική αεροπορία. Το 1989 προστέθηκε και τρίτος στόχος για την εξυπηρέτηση των τηλεπικοινωνιακών αναγκών της κινητής υπηρεσίας

εδάφους μέσω δορυφόρων.

Οι υπηρεσίες που προσφέρονται από τον οργανισμό αυτό περιλαμβάνουν τηλεφωνία, τηλετυπία, τηλεομοιοτυπία, μετάδοση δεδομένων και ηλεκτρονικό ταχυδρομείο στη διεθνή ναυσιπλοΐα, πληροφορίες σχετικά με την πτήση αεροσκαφών και τηλεφωνική επικοινωνία επιβατών με τηλέφωνα στη γη, καθώς και αμφίδρομη μετάδοση δεδομένων, αυτόματο εντοπισμό της θέσης κινούμενων σταθμών και ηλεκτρονικό ταχυδρομείο στη ξηρά.

4. Άλλοι Δορυφορικοί Οργανισμοί

Ο οργανισμός **Intersputnik** ιδρύθηκε το 1971 για την εξυπηρέτηση της πρώην ΕΣΣΔ (Ένωση Σοσιαλιστικών Σοβιετικών Δημοκρατιών) και των άλλων σοσιαλιστικών χωρών και με στόχο να σπάσει το μονοπώλιο του **Intelsat** στις παγκόσμιες δορυφορικές επικοινωνίες.

Εκτός από τους παγκόσμιους δορυφορικούς οργανισμούς, ένας αριθμός δορυφορικών συστημάτων λειτουργεί σε περιφερικό επίπεδο όπως ο **Arabsat**, στον οποίο συμμετέχουν οι Αραβικές χώρες, ο **Aussat** που εξυπηρετεί την Αυστραλία και τη Νέα Γουϊνέα, ο **Asiasat** που εξυπηρετεί χώρες της ΝΑ Ασίας.

Παράρτημα 5 - Ο Μορσικός Κώδικας

Ο κώδικας Morse είναι ένα σύστημα που παριστάνει γράμματα, αριθμούς και σημεία στίξης με τη χρήση ενός κωδικού σήματος. Ο κώδικας αναπτύχθηκε από το Σαμουήλ Μορς (Samuel Morse) και τον Alfred Vail το 1835.

Ο μορσικός κώδικας είναι μια πρώιμη μορφή ψηφιακής επικοινωνίας. Αντίθετα όμως με τους σημερινούς δυαδικούς κώδικες που έχουν μόνο δύο διακριτές καταστάσεις (το 0 και το 1), ο κώδικας Μορς χρησιμοποιεί πέντε:

Τη τελεία	(.)
Την παύλα	(-)
Μικρή διακοπή	(μεταξύ γραμμάτων)
Μέση διακοπή	(μεταξύ λέξεων)
Μακρά διακοπή	(μεταξύ προτάσεων)

Ο Μορς άρχισε να ενδιαφέρετε για την τηλεγραφία το 1832 και επεξεργάστηκε τις βασικές αρχές για ένα σύστημα αναμετάδοσης το 1835. Βαθμιαία ο εξοπλισμός βελτιώθηκε και επεδείχθη το 1837. Ο Μορς ανέπτυξε το σύστημα και ο "Κώδικας Μορς" πήρε δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το 1840.

Το πρώτο μήνυμα στάλθηκε το Μάιο του 1844 στη γραμμή Βαλτιμόρης και Ουάσιγκτον.

Ο αρχικός κώδικας του Μορς αποτελείτο από ένα συνδυασμό από τέλειες και παύλες που παρίστανε αριθμούς οι οποίοι αντιπροσώπευαν μια λέξη. Αυτό απαιτούσε τη χρήση ενός πίνακα για να ευρεθεί η αντιστοιχία μεταξύ των αριθμών και των λέξεων

A	. -	P	. - - - .	5
B	-	Q	- - - . -	6	-
C	- . - - .	R	. - . .	7	- - - . .
D	- . . .	S	. . .	8	- - - - .
E	.	T	-	9	- - - - - .
F	. . - . .	U	. . -	0	- - - - -
G	- - . .	V	. . . -	.	. - - - - .
H	W	. - - -	,	- - - . - -
I	. .	X	- . . -	?	. . - - . .
J	. - - - -	Y	- - - -	:	- - - . . .
K	- . -	Z	- - . . .	'	. - - - - .
L	. - . . .	1	. - - - - -	"	. -
M	- -	2	. . - - -	-	- -
N	- .	3	. . . - -	()	- - - . . -
O	- - -	4 -	/	-

Πίνακας - Μορσικό Αλφάβητο

Παράρτημα 6 - Ο Δορυφόρος HOT BIRD 7A

Ο τηλεπικοινωνιακός δορυφόρος HOT BIRD 7A της Eutelsat ο οποίος κατασκευάστηκε από την εταιρεία Alcatel Alenia Space τέθηκε σε τροχιά από το διαστημικό κέντρο Κούρου της Γαλλικής Γουιάνας το πρώτο 15θήμερο του Μαρτίου 2006, επί πυραύλου-φορέα Ariane 5.

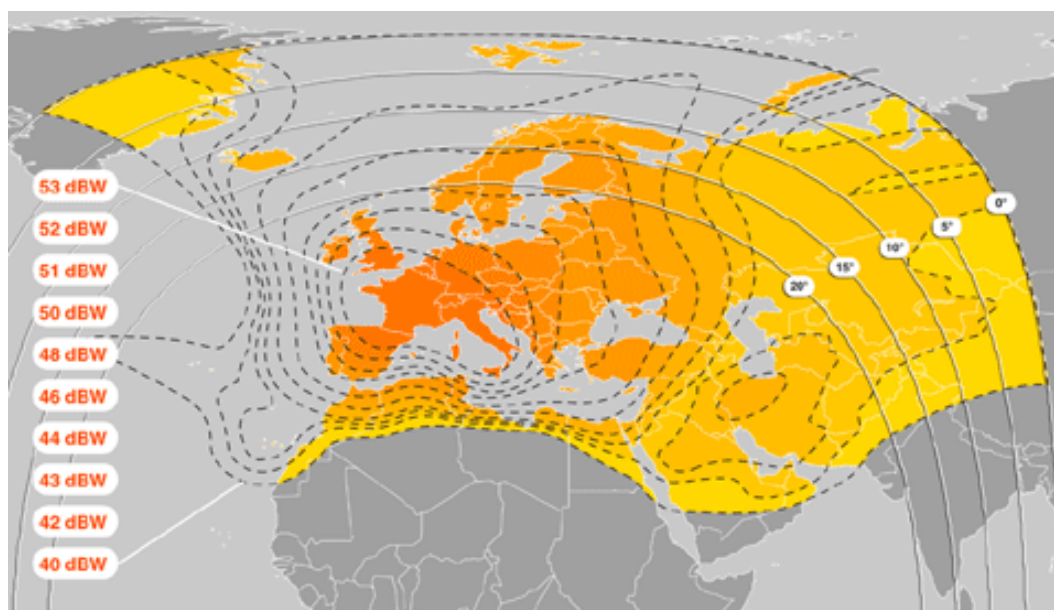


Ο Δορυφόρος HOT BIRD 7A

Ο νέος δορυφόρος αντικαθιστά το HOT BIRD 7, ο οποίος καταστράφηκε κατά τη διάρκεια της εκτόξευσης του το Δεκέμβρη 2002.

Ο δορυφόρος θα επιτρέψει στην Eutelsat να αναμεταδίδει ψηφιακά τηλεοπτικά καθώς και ραδιοφωνικά προγράμματα σε Ευρώπη, Β. Αφρική και Μέση Ανατολή. Ο νέος δορυφόρος βασίζεται στην πλατφόρμα Spacebus 3000B3 της εταιρείας και θα προστεθεί στους αντίστοιχους δορυφόρους HOT BIRD που βρίσκονται στις 13 μοίρες ανατολικά και μεταδίδουν 676 τηλεοπτικά και 565 ραδιοφωνικά κανάλια σε 110 εκατομμύρια σπίτια στις προαναφερθείσες περιοχές. Ο δορυφόρος έχει σχεδιασθεί για μια διάρκεια ζωής 15 ετών και έχει μάζα 4,1 τόνων, φέρει ηλιακούς συσσωρευτές που παρέχουν ενέργεια 10 kW για τη λειτουργία των 38 αναμεταδοτών με εύρος ζώνης συχνοτήτων 33 MHz στη Ζώνη Ku.

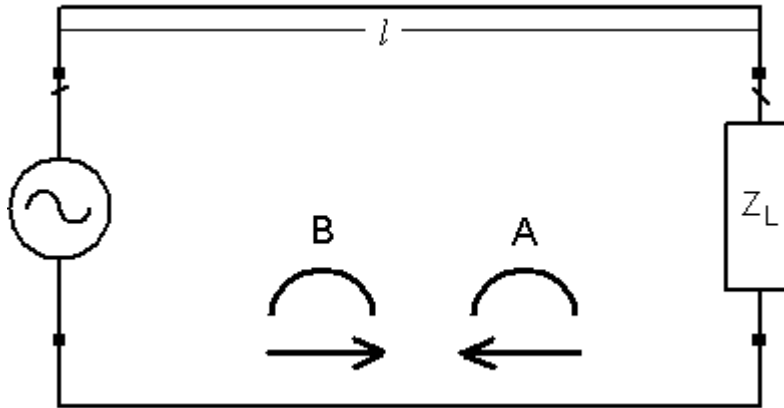
Ο HOT BIRD 7A αντικαθιστά τον HOT BIRD 1 (με 16 αναμεταδότες) του οποίου η χρήσιμη ζωή τερματίστηκε και θα αυξήσει το σύνολο των σε τροχιά ευρισκόμενων αναμεταδοτών παρέχοντας εφεδρικές δυνατότητες. Οι υπόλοιποι 20 αναμεταδότες του δορυφόρου θα βρίσκονται σε εφεδρεία για πιθανή αντικατάσταση των δορυφόρων HOTBIRD 2,3 και 4.



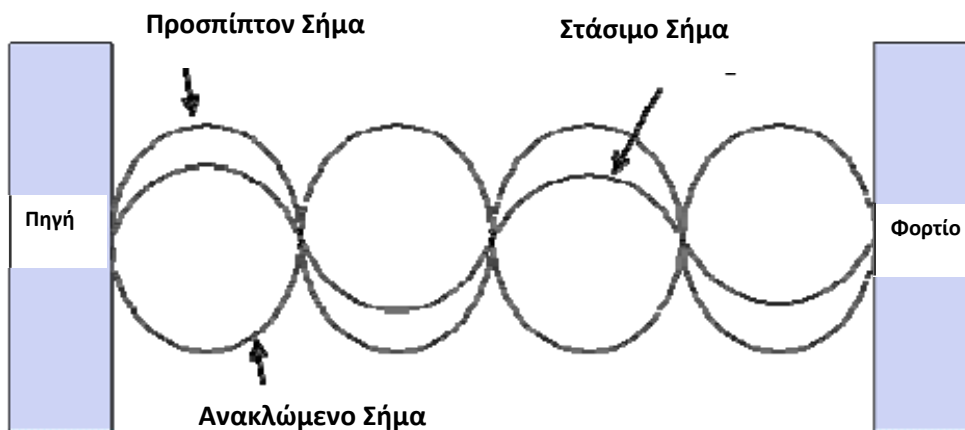
Δορυφορικό Ίχνος HOT BIRD 7A

Παράρτημα 7 Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) Λόγος Στάσιμου Κύματος Τάσης

Στις περιπτώσεις στις οποίες η χαρακτηριστική αντίσταση μιας γραμμής μεταφοράς δεν είναι η ίδια με αυτή του φορτίου, τότε η ενέργεια του ηλεκτρομαγνητικού κύματος που φτάνει στο φορτίο δεν απορροφάται πλήρως αλλά μέρος της αντανακλάται πίσω προς την γραμμή μεταφοράς.



Το ανακλώμενο κύμα, ταξιδεύει προς τα πίσω και “αναμιγνύεται” με το μεταδιδόμενο (προς τα εμπρός κύμα). Το προσπίπτων και ανακλώμενο κύμα μπορούν να συνυπάρχουν και αλληλεπιδρούν μεταξύ τους. Τότε δημιουργείται στη γραμμή μεταφοράς ένα **στάσιμο κύμα**.



Σε ένα συγκεκριμένο σημείο της γραμμής μεταφοράς υπάρχει διαφορά φάσης μεταξύ του προς τα εμπρός κύματος και του ανακλώμενου κύματος. Αυτή η διαφορά φάσης καθορίζεται από το μήκος κύματος του κύματος, το ακριβές μήκος της γραμμής και τη θέση του συγκεκριμένου σημείου σχετικά με την πηγή ή το φορτίο.

Στάσιμα κύματα δημιουργούνται για τα μέτωπα κύματος της τάσης και του ρεύματος. Αν δεν υπάρχει ανάκλαση, τα μέτωπα κύματος για την τάση και το ρεύμα είναι σε φάση.

Ένα χρήσιμο μέγεθος για το χαρακτηρισμό ενός στάσιμου κύματος είναι ο **λόγος στάσιμων κυμάτων (SWR)**.

Ο λόγος της μέγιστης προς την ελάχιστη τάση ονομάζεται VSWR - Voltage Standing Wave Ratio (Λόγος Στάσιμου Κύματος Τάσης)

Υπάρχουν πολλές μέθοδοι για την μέτρηση του VSWR. Παλιά στις ανοικτές γραμμές μεταφοράς ήταν δυνατόν να μετρηθεί κατά μήκος της γραμμής μεταφοράς η μέγιστη και η ελάχιστη τιμή της τάσης (που απέχουν $\lambda/4$).

Με τη χρήση γραμμών μεταφοράς με ομοαξονικά καλώδια χρησιμοποιούνται διπλοί συζεύκτες για να μετρηθεί η μεταδιδόμενη και ανακλώμενη ισχύς για να υπολογιστεί το VSWR:

$$VSWR = \frac{1 + \sqrt{\frac{P_{rev}}{P_{fwd}}}}{1 - \sqrt{\frac{P_{rev}}{P_{fwd}}}}$$

P_{fwd} = Μεταδιδόμενη ισχύς
 P_{rev} = Ανακλώμενη ισχύς



VSWR μεγέθους 1:1 σημαίνει ότι δεν υπάρχει ανακλώμενη ισχύς προς την πηγή και είναι μια ιδανική περίπτωση. Στην πράξη στις πλείστες περιπτώσεις μεγέθη VSWR μέχρι και 2.0 θεωρούνται πολύ καλά.

VSWR της τάξης 2.0 σημαίνει ότι 10% της εκπεμπόμενης ισχύος αντανakλάται πίσω στον πομπό. Ένα ψηλό VSWR σημαίνει ότι όχι μόνο σπαταλείται ισχύς, αλλά και ότι η ανακλώμενη ισχύς δημιουργεί προβλήματα θερμότητας στα καλώδια και στους ενισχυτές ισχύος του πομπού.

Χρήσιμες ιστοσελίδες

Υπολογιστής VSWR

<http://www.microwaves101.com/encyclopedia/calvswr.cfm>

Εφαρμογίδιο στάσιμων κυμάτων

Walter Fendt <http://www.walter-fendt.de/ph14e/stwaveref1.htm>

THE EFFECT OF VSWR ON TRANSMITTED POWER													
VSWR	VSWR (dB)	RETURN LOSS (dB)	TRANS. LOSS (dB)	VOLT. REFL. COEFF.	POWER TRANS. (%)	POWER REFL. (%)	VSWR	VSWR (dB)	RETURN LOSS (dB)	TRANS. LOSS (dB)	VOLT. REFL. COEFF.	POWER TRANS. (%)	POWER REFL. (%)
1.00	.0	∞	.000	.00	100.0	.0	1.64	4.3	12.3	.263	.24	94.1	5.9
1.01	.1	46.1	.000	.00	100.0	.0	1.66	4.4	12.1	.276	.25	93.8	6.2
1.02	.2	40.1	.000	.01	100.0	.0	1.68	4.5	11.9	.289	.25	93.6	6.4
1.03	.3	36.6	.001	.01	100.0	.0							
1.04	.3	34.2	.002	.02	100.0	.0	1.70	4.6	11.7	.302	.26	93.3	6.7
							1.72	4.7	11.5	.315	.26	93.0	7.0
1.05	.4	32.3	.003	.02	99.9	.1	1.74	4.8	11.4	.329	.27	92.7	7.3
1.06	.5	30.7	.004	.03	99.9	.1	1.76	4.9	11.2	.342	.28	92.4	7.0
1.07	.6	29.4	.005	.03	99.9	.1	1.78	5.0	11.0	.356	.28	92.1	7.9
1.08	.7	28.3	.006	.04	99.9	.1							
1.09	.7	27.3	.008	.04	99.8	.2	1.80	5.1	10.9	.370	.29	91.8	8.2
							1.82	5.2	10.7	.384	.29	91.5	8.5
1.10	.8	26.4	.010	.05	99.8	.2	1.84	5.3	10.6	.398	.30	91.3	8.7
1.11	.9	25.7	.012	.05	99.7	.3	1.86	5.4	10.4	.412	.30	91.0	9.0
1.12	1.0	24.9	.014	.06	99.7	.3	1.88	5.5	10.3	.426	.31	90.7	9.3
1.13	1.1	24.3	.016	.06	99.6	.4							
1.14	1.1	23.7	.019	.07	99.6	.4	1.90	5.6	10.2	.440	.31	90.4	9.6
							1.92	5.7	10.0	.454	.32	90.1	9.9
1.15	1.2	23.1	.021	.07	99.5	.5	1.94	5.8	9.9	.468	.32	89.8	10.2
1.16	1.3	22.6	.024	.07	99.5	.5	1.96	5.8	9.8	.483	.32	89.5	10.5
1.17	1.4	22.1	.027	.08	99.4	.6	1.98	5.9	9.7	.497	.33	89.2	10.8
1.18	1.4	21.7	.030	.08	99.3	.7							
1.19	1.5	21.2	.033	.09	99.2	.8	2.00	6.0	9.5	.512	.33	88.9	11.1
							2.50	8.0	7.4	.881	.43	81.6	18.4
1.20	1.6	20.8	.036	.09	99.2	.8	3.00	9.5	6.0	1.249	.50	75.0	25.0
1.21	1.7	20.4	.039	.10	99.1	.9	3.50	10.9	5.1	1.603	.56	69.1	30.9
1.22	1.7	20.1	.043	.10	99.0	1.0	4.00	12.0	4.4	1.938	.60	64.0	36.0
1.23	1.8	19.7	.046	.10	98.9	1.1							
1.24	1.9	19.4	.050	.11	98.9	1.1	4.50	13.1	3.9	2.255	.64	59.5	40.5
							5.00	14.0	3.5	2.553	.67	55.6	44.4
1.25	1.9	19.1	.054	.11	98.8	1.2	5.50	14.8	3.2	2.834	.69	52.1	47.9
1.26	2.0	18.8	.058	.12	98.7	1.3	6.00	15.6	2.9	3.100	.71	49.0	51.0
1.27	2.1	18.5	.062	.12	98.6	1.4	6.50	16.3	2.7	3.351	.73	46.2	53.8
1.28	2.1	18.2	.066	.12	98.5	1.5							
1.29	2.2	17.9	.070	.13	98.4	1.6	7.00	16.9	2.5	3.590	.75	43.7	56.2
							7.50	17.5	2.3	3.817	.76	41.5	58.5
1.30	2.3	17.7	.075	.13	98.3	1.7	8.00	18.1	2.2	4.033	.78	39.5	60.5
1.32	2.4	17.2	.083	.14	98.1	1.9	8.50	18.6	2.1	4.240	.79	37.7	62.3
1.34	2.5	16.8	.093	.15	97.9	2.1	9.00	19.1	1.9	4.437	.80	36.0	64.0
1.36	2.7	16.3	.102	.15	97.7	2.3							
1.38	2.8	15.9	.112	.16	97.5	2.5	9.50	19.6	1.8	4.626	.81	34.5	65.5
							10.00	20.0	1.7	4.807	.82	33.1	66.9
1.40	2.9	15.6	.122	.17	97.2	2.8	11.00	20.8	1.6	5.149	.83	30.6	69.4
1.42	3.0	15.2	.133	.17	97.0	3.0	12.00	21.6	1.5	5.466	.85	28.4	71.6
1.44	3.2	14.9	.144	.18	96.7	3.3	13.00	22.3	1.3	5.762	.86	26.5	73.5
1.46	3.3	14.6	.155	.19	96.5	3.5							
1.48	3.4	14.3	.166	.19	96.3	3.7	14.00	22.9	1.2	6.040	.87	24.9	75.1
							15.00	23.5	1.2	6.301	.88	23.4	76.6
1.50	3.5	14.0	.177	.20	96.0	4.0	16.00	24.1	1.1	6.547	.88	22.1	77.9
1.52	3.6	13.7	.189	.21	95.7	4.3	17.00	24.6	1.0	6.780	.89	21.0	79.0
1.54	3.8	13.4	.201	.21	95.5	4.5	18.00	25.1	1.0	7.002	.89	19.9	80.1
1.56	3.9	13.2	.213	.22	95.2	4.8							
1.58	4.0	13.0	.225	.22	94.9	5.1	19.00	25.6	.9	7.212	.90	19.0	81.0
							20.00	26.0	.9	7.413	.90	18.1	81.9
1.60	4.1	12.7	.238	.23	94.7	5.3	25.00	28.0	.7	8.299	.92	14.8	85.2
1.62	4.2	12.5	.250	.24	94.4	5.6	30.00	29.5	.6	9.035	.94	12.5	87.5

Παράρτημα 8 Power Line Communications (PLC) - Επικοινωνίες μέσω γραμμών ισχύος

Η τεχνολογία **Power Line Communications (PLC) - Επικοινωνίες μέσω γραμμών ισχύος**, είναι μια μέθοδος επικοινωνίας που χρησιμοποιεί τα υφιστάμενα καλώδια μεταφοράς ηλεκτρικού ρεύματος για την αποστολή και λήψη δεδομένων.

Το PLC είναι γνωστό και με τις πιο κάτω ονομασίες:

- Power Line Networking (PLN) - Δικτύωση (μέσω) γραμμών ισχύος
- Mains Communication - Επικοινωνία (μέσω) του ηλεκτρικού δικτύου
- Power Line Telecoms (PLT) - Τηλεπικοινωνίες (μέσω) γραμμών ισχύος

Με τη τεχνολογία PLC μπορούμε να υπερθέσουμε ένα αναλογικό διαμορφωμένο σήμα πάνω από το εναλλασσόμενο ρεύμα 50 Hz ή 60 Hz που ταξιδεύει στις γραμμές μεταφοράς ηλεκτρικής ενέργειας. Το διαμορφωμένο αναλογικό σήμα μπορεί να μεταφέρει σήματα φωνής και δεδομένων.

Η τεχνολογία PLC μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ηλεκτρικά δίκτυα για την μεταφορά δεδομένων:

- Χαμηλής τάσης
- Ψηλής τάσης

Μέσα στο σπίτι χρησιμοποιείται για τη δικτύωση ηλεκτρονικών υπολογιστών αντί ενός ενσύρματου ή ασύρματου τοπικού δικτύου (LAN). Οι συνδέσεις PLC μπορούν να χρησιμοποιηθούν οπουδήποτε υπάρχει διαθέσιμη ηλεκτρική πρίζα παροχής ρεύματος.

Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο του φωτισμού και συσκευών, χωρίς να απαιτείται η εγκατάσταση ειδικής καλωδίωσης ελέγχου.

Μια σειρά από διάφορες διατάξεις διαμορφώσεων σε συνάρτηση με τεχνικές πολυπλεξίας χρησιμοποιούνται από την τεχνολογία PLC για τη μεταφορά των δεδομένων.

Η τεχνολογία PLC χωρίζεται σε δύο κύριες κατηγορίες:

- PLC στενής ζώνης
- PLC Ευρείας ζώνης

Π.8.1. PLC Στενής Ζώνης

Χρησιμοποιούνται φέροντα αναλογικά σήματα στις χαμηλότερες συχνότητες μέχρι 500 kHz με χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, μέχρι 100 kbps, αλλά με μεγάλη εμβέλεια που φτάνει μερικές δεκάδες χιλιόμετρα. Η εμβέλεια του συστήματος μπορεί να επεκταθεί με τη χρήση αναμεταδοτών.

Χρησιμοποιείται από τις ηλεκτρικές εταιρείες για έλεγχο και μετρήσεις στο ηλεκτρικό δίκτυο ως και επίσης σε εφαρμογές έξυπνων μετρητών και έλεγχο ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

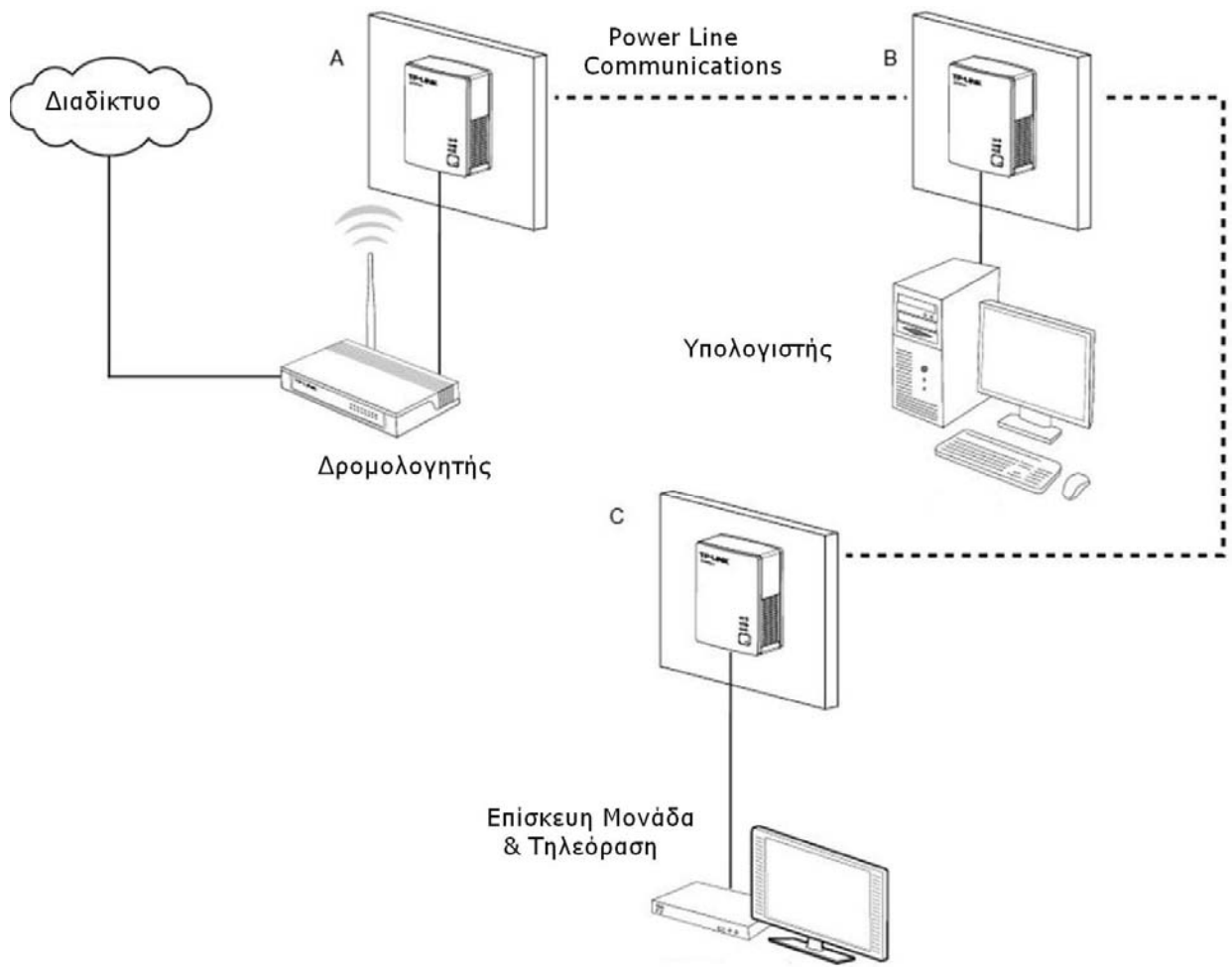
Π.8.2. PLC Ευρείας Ζώνης

Λειτουργεί στις ψηλότερες συχνότητες 1,8 MHz μέχρι 250 MHz με πολύ μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων, αλλά σε πιο κοντινές αποστάσεις.

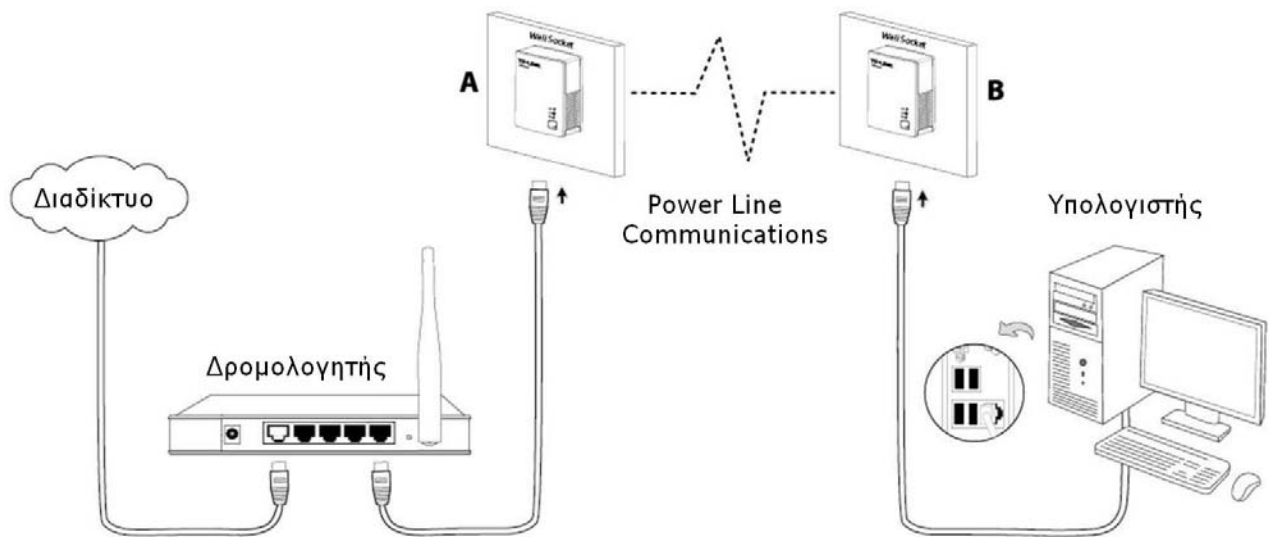
Το PLC ευρείας ζώνης χρησιμοποιείται για την επέκταση του διαδικτύου σε σπίτια μέσω των συμβατικών ηλεκτρικών γραμμών - ευζωνικό διαδίκτυο (αντί της χρήσης οπτικών ινών), και σε οικιακά τοπικά δίκτυα και οικιακές εφαρμογές πολυμέσων.

ο Οικιακή Δικτύωση

Η τεχνολογία PLC δικτυώνει οικιακούς υπολογιστές, περιφερειακά και συσκευές (όπως τηλεοράσεις και ηχοσυστήματα) με θύρα Ethernet, όμως αυτή τη στιγμή δεν υπάρχει ένα καθολικό πρότυπο για αυτή την εφαρμογή. Πρότυπα για οικιακό δίκτυο μέσω των γραμμών ηλεκτροδότησης έχουν αναπτυχθεί από πολλές διαφορετικές εταιρείες στο πλαίσιο της HomePlug Powerline Alliance (Συμμαχίας HomePlug Powerline) και του Universal Powerline Association (Σύνδεσμος Universal Powerline). Οι πιο πρόσφατες προδιαγραφές είναι το IEEE 1901.



Σχήμα 1 - Παράδειγμα Οικιακής Δικτύωσης 1

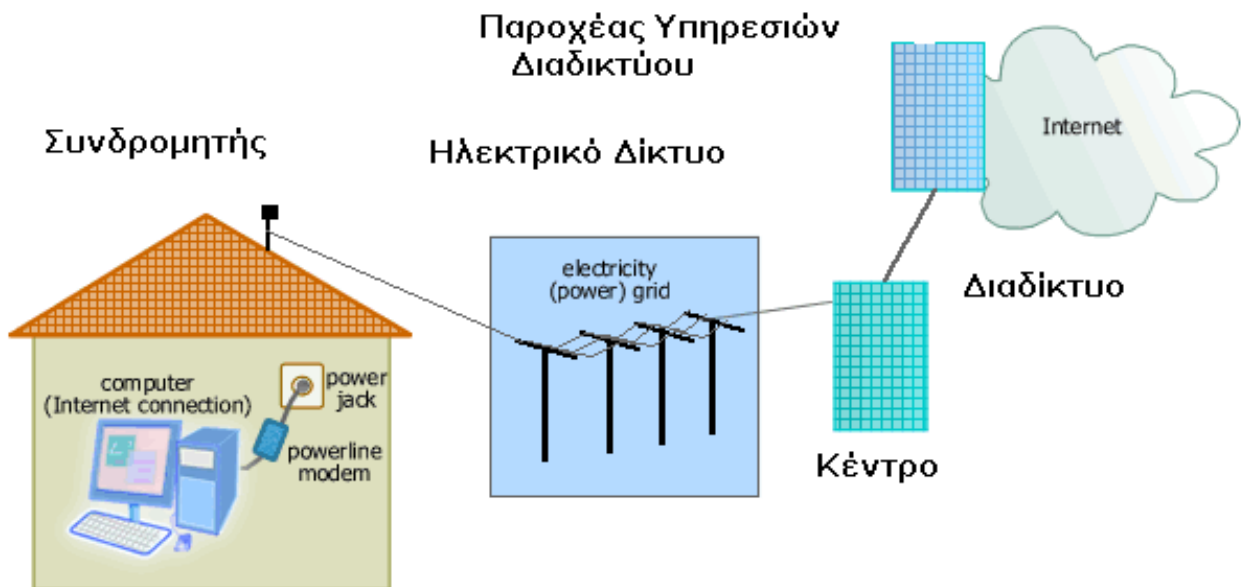


Σχήμα 2 - Παράδειγμα Οικιακής Δικτύωσης 2

ο **Πρόσβαση στο Διαδίκτυο - Broadband over Powerlines**

Το **BPL, Broadband over Powerlines - Ευρωζωνικό Διαδίκτυο μέσω γραμμών ισχύος**, παρέχει πρόσβαση στο διαδίκτυο χρησιμοποιώντας το υφιστάμενο ηλεκτρικό δίκτυο τροφοδοσίας στα 110 V ή 220 V, χωρίς να είναι απαραίτητη η χρήση αποκλειστικών ενσύρματων ή ασύρματων δικτύων με ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων όπως οι γραμμές Adsl.

Οι διαμορφωτές PLC εκπέμπουν στις συχνότητες από 1,6 MHz μέχρι 80 MHz, με ασύμμετρες ταχύτητες από 256 kbit/s έως 2,7 Mbit/s.

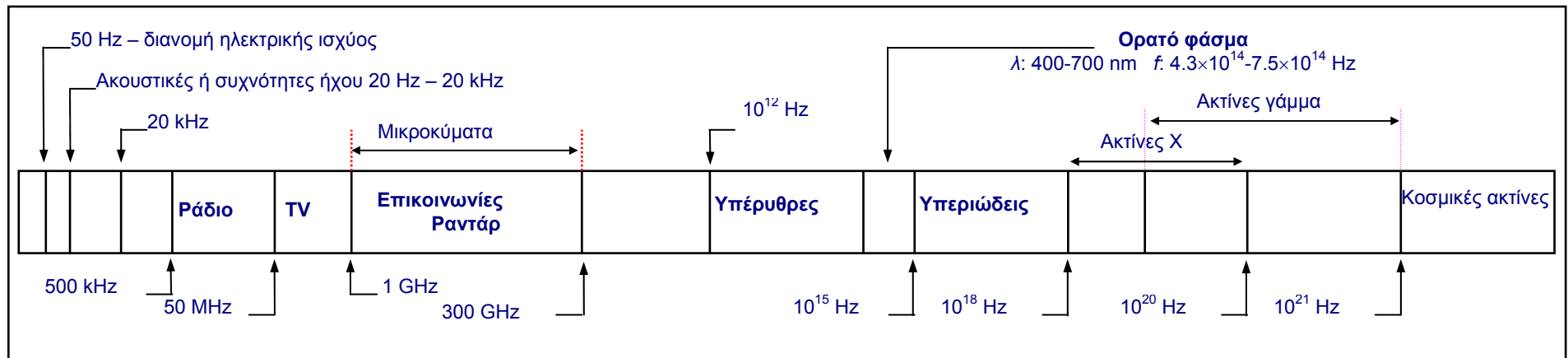


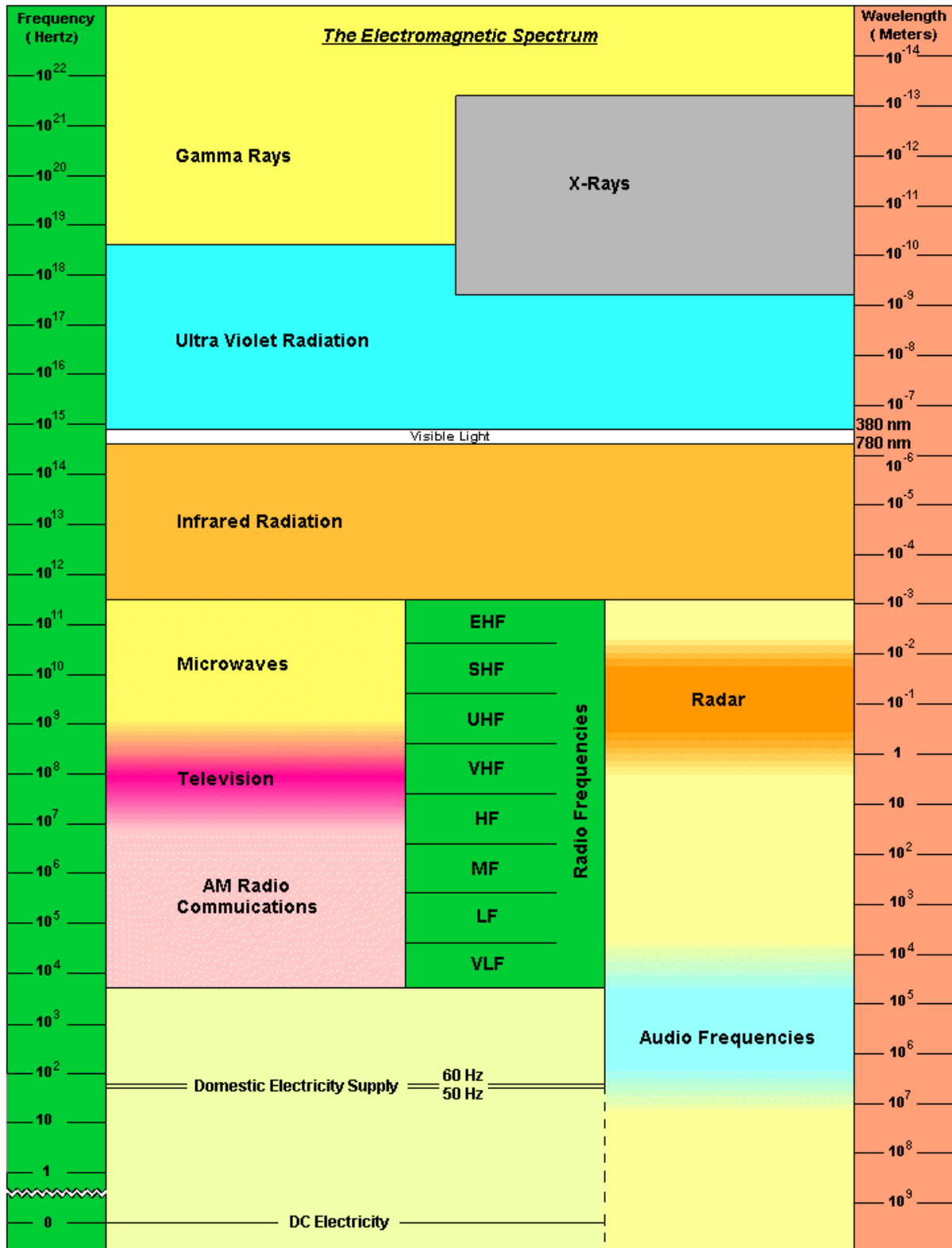
Σχήμα 3 - Παράδειγμα Παροχής Ευρωζωνικού Διαδικτύου

Π.8.3. Χρήση σε Δίκτυα Συνεχούς Τάσης

Η τεχνολογία PLC μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε ηλεκτρικά δίκτυα συνεχούς τάσης για τον ηλεκτρονικό έλεγχο στη παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και στις μεταφορές (αεροπλάνα, αυτοκίνητα και τρένα).

Πίνακας Π 1 ΟΙ ΚΥΡΙΟΤΕΡΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΦΑΣΜΑΤΟΣ ΚΑΙ Η ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΘΕ ΠΕΡΙΟΧΗΣ





Πίνακας Π 2 - Περιοχές Συχνοτήτων, Μήκη Κύματος & Ονομασίες

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
1	<ul style="list-style-type: none">• Τηλεφωνικά καλώδια συνεστραμμένων ζευγών συρμάτων, κατάλληλα μόνο για φωνή για χρήση στη τηλεφωνία, αλλά όχι για δεδομένα.
2	<ul style="list-style-type: none">• Για μεταδόσεις μέχρι 4 Mbps.• Έχει 4 συνεστραμμένα ζεύγη συρμάτων.
3	<ul style="list-style-type: none">• Για μεταδόσεις μέχρι 10 Mbps για χρήση σε τοπικά δίκτυα υπολογιστών.• Έχει 4 ζεύγη συρμάτων με 10 στροφές ανά μέτρο.• Μέγιστη συχνότητα 16 MHz.
4	<ul style="list-style-type: none">• Για μεταδόσεις μέχρι 16 Mbps για χρήση σε τοπικά δίκτυα υπολογιστών.• Έχει 4 συνεστραμμένα ζεύγη συρμάτων.• Μέγιστη συχνότητα 20 MHz.
5	<ul style="list-style-type: none">• Για μεταδόσεις μέχρι 100 Mbps.• Χρήση σε τύπους δικτύων ψηλών επιδόσεων και δίκτυα ευρείας περιοχής.• Έχει 4 ζεύγη συνεστραμμένα ζεύγη συρμάτων αντίστασης 100 Ω, με ψηλή χωρητικότητα και χαμηλή επικάλυψη.• Μέγιστη συχνότητα 100 MHz.
6	<ul style="list-style-type: none">• Μέγιστη συχνότητα 200 MHz.
7	<ul style="list-style-type: none">• Μέγιστη συχνότητα 600 MHz.

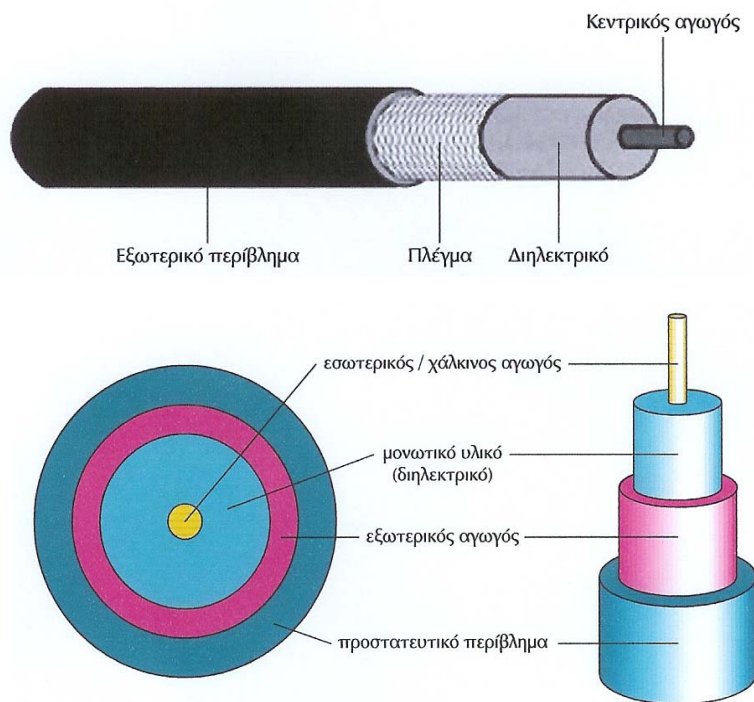
Πίνακας Π 3 - Προδιαγραφές καλωδίων σύμφωνα με το ISO/IEC 11801 και ANSI/TIA/EIA-568

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
1	<ul style="list-style-type: none">• Τηλεφωνικά καλώδια συνεστραμμένων ζευγών συρμάτων, κατάλληλα μόνο για φωνή για χρήση στη τηλεφωνία, αλλά όχι για δεδομένα.
2	<ul style="list-style-type: none">• Για μεταδόσεις μέχρι 4 Mbps.• Έχει 4 συνεστραμμένα ζεύγη συρμάτων.
3	<ul style="list-style-type: none">• Για μεταδόσεις μέχρι 10 Mbps για χρήση σε τοπικά δίκτυα υπολογιστών.• Έχει 4 ζεύγη συρμάτων με 10 στροφές ανά μέτρο.• Μέγιστη συχνότητα 16 MHz.
4	<ul style="list-style-type: none">• Για μεταδόσεις μέχρι 16 Mbps για χρήση σε τοπικά δίκτυα υπολογιστών.• Έχει 4 συνεστραμμένα ζεύγη συρμάτων.• Μέγιστη συχνότητα 20 MHz.
5	<ul style="list-style-type: none">• Για μεταδόσεις μέχρι 100 Mbps.• Χρήση σε τύπους δικτύων ψηλών επιδόσεων και δίκτυα ευρείας περιοχής.• Έχει 4 ζεύγη συνεστραμμένα ζεύγη συρμάτων αντίστασης 100 Ω, με ψηλή χωρητικότητα και χαμηλή επικάλυψη.• Μέγιστη συχνότητα 100 MHz.
6	<ul style="list-style-type: none">• Μέγιστη συχνότητα 200 MHz.
7	<ul style="list-style-type: none">• Μέγιστη συχνότητα 600 MHz.

Πίνακας Π 4 - Τυπικά Ομοαξονικά Καλώδια και τα χαρακτηριστικά τους

Τυπικά Ομοαξονικά καλώδια και τα χαρακτηριστικά τους

Τυποποίηση	Εσωτερικός αγωγός (χιλ.)	Διηλεκτρικό	Διάμετρος Διηλεκτρικ.	Εξωτερική διάμετρος	Εξασθένισ η dB/m f=1 GHz	Μέγιστη τάση (V)
RG-8 A/U	7x 0,75 χάλκινα σύρματα	Συνθετική ρητίνη	7, 24	10, 3	0, 3	5 000
RG-58 C/U	19 x 0,18 επικασσιτερωμέν οι αγωγοί	Πολυαιθυλένιο	2, 95	4, 95	0, 65	1 900
RG-213 U	7x 0,75 χάλκινα σύρματα	Πολυαιθυλένιο	7, 24	10, 3	0, 3	5 000
RG-214	7x 0,75 επαργυρωμένα χάλκινα σύρματα	Πολυαιθυλένιο	7, 24	10, 8 διπλή θωράκιση	0, 3	5 000
RG-11	7x 0,26 AGU		7, 24	10, 5	0, 3	5 000
RG-196 A/U	7x 0,1 επαργυρωμένο ατσάλι	Στερεό Teflon	0, 86	2	0,1	1 000



THE EFFECT OF VSWR ON TRANSMITTED POWER													
VSWR	VSWR (dB)	RETURN LOSS (dB)	TRANS. LOSS (dB)	VOLT. REFL. COEFF.	POWER TRANS. (%)	POWER REFL. (%)	VSWR	VSWR (dB)	RETURN LOSS (dB)	TRANS. LOSS (dB)	VOLT. REFL. COEFF.	POWER TRANS. (%)	POWER REFL. (%)
1.00	.0	∞	.000	.00	100.0	.0	1.64	4.3	12.3	.263	.24	94.1	5.9
1.01	.1	46.1	.000	.00	100.0	.0	1.66	4.4	12.1	.276	.25	93.8	6.2
1.02	.2	40.1	.000	.01	100.0	.0	1.68	4.5	11.9	.289	.25	93.6	6.4
1.03	.3	36.6	.001	.01	100.0	.0							
1.04	.3	34.2	.002	.02	100.0	.0	1.70	4.6	11.7	.302	.26	93.3	6.7
							1.72	4.7	11.5	.315	.26	93.0	7.0
1.05	.4	32.3	.003	.02	99.9	.1	1.74	4.8	11.4	.329	.27	92.7	7.3
1.06	.5	30.7	.004	.03	99.9	.1	1.76	4.9	11.2	.342	.28	92.4	7.0
1.07	.6	29.4	.005	.03	99.9	.1	1.78	5.0	11.0	.356	.28	92.1	7.9
1.08	.7	28.3	.006	.04	99.9	.1							
1.09	.7	27.3	.008	.04	99.8	.2	1.80	5.1	10.9	.370	.29	91.8	8.2
							1.82	5.2	10.7	.384	.29	91.5	8.5
1.10	.8	26.4	.010	.05	99.8	.2	1.84	5.3	10.6	.398	.30	91.3	8.7
1.11	.9	25.7	.012	.05	99.7	.3	1.86	5.4	10.4	.412	.30	91.0	9.0
1.12	1.0	24.9	.014	.06	99.7	.3	1.88	5.5	10.3	.426	.31	90.7	9.3
1.13	1.1	24.3	.016	.06	99.6	.4							
1.14	1.1	23.7	.019	.07	99.6	.4	1.90	5.6	10.2	.440	.31	90.4	9.6
							1.92	5.7	10.0	.454	.32	90.1	9.9
1.15	1.2	23.1	.021	.07	99.5	.5	1.94	5.8	9.9	.468	.32	89.8	10.2
1.16	1.3	22.6	.024	.07	99.5	.5	1.96	5.8	9.8	.483	.32	89.5	10.5
1.17	1.4	22.1	.027	.08	99.4	.6	1.98	5.9	9.7	.497	.33	89.2	10.8
1.18	1.4	21.7	.030	.08	99.3	.7							
1.19	1.5	21.2	.033	.09	99.2	.8	2.00	6.0	9.5	.512	.33	88.9	11.1
							2.50	8.0	7.4	.881	.43	81.6	18.4
1.20	1.6	20.8	.036	.09	99.2	.8	3.00	9.5	6.0	1.249	.50	75.0	25.0
1.21	1.7	20.4	.039	.10	99.1	.9	3.50	10.9	5.1	1.603	.56	69.1	30.9
1.22	1.7	20.1	.043	.10	99.0	1.0	4.00	12.0	4.4	1.938	.60	64.0	36.0
1.23	1.8	19.7	.046	.10	98.9	1.1							
1.24	1.9	19.4	.050	.11	98.9	1.1	4.50	13.1	3.9	2.255	.64	59.5	40.5
							5.00	14.0	3.5	2.553	.67	55.6	44.4
1.25	1.9	19.1	.054	.11	98.8	1.2	5.50	14.8	3.2	2.834	.69	52.1	47.9
1.26	2.0	18.8	.058	.12	98.7	1.3	6.00	15.6	2.9	3.100	.71	49.0	51.0
1.27	2.1	18.5	.062	.12	98.6	1.4	6.50	16.3	2.7	3.351	.73	46.2	53.8
1.28	2.1	18.2	.066	.12	98.5	1.5							
1.29	2.2	17.9	.070	.13	98.4	1.6	7.00	16.9	2.5	3.590	.75	43.7	56.2
							7.50	17.5	2.3	3.817	.76	41.5	58.5
1.30	2.3	17.7	.075	.13	98.3	1.7	8.00	18.1	2.2	4.033	.78	39.5	60.5
1.32	2.4	17.2	.083	.14	98.1	1.9	8.50	18.6	2.1	4.240	.79	37.7	62.3
1.34	2.5	16.8	.093	.15	97.9	2.1	9.00	19.1	1.9	4.437	.80	36.0	64.0
1.36	2.7	16.3	.102	.15	97.7	2.3							
1.38	2.8	15.9	.112	.16	97.5	2.5	9.50	19.6	1.8	4.626	.81	34.5	65.5
							10.00	20.0	1.7	4.807	.82	33.1	66.9
1.40	2.9	15.6	.122	.17	97.2	2.8	11.00	20.8	1.6	5.149	.83	30.6	69.4
1.42	3.0	15.2	.133	.17	97.0	3.0	12.00	21.6	1.5	5.466	.85	28.4	71.6
1.44	3.2	14.9	.144	.18	96.7	3.3	13.00	22.3	1.3	5.762	.86	26.5	73.5
1.46	3.3	14.6	.155	.19	96.5	3.5							
1.48	3.4	14.3	.166	.19	96.3	3.7	14.00	22.9	1.2	6.040	.87	24.9	75.1
							15.00	23.5	1.2	6.301	.88	23.4	76.6
1.50	3.5	14.0	.177	.20	96.0	4.0	16.00	24.1	1.1	6.547	.88	22.1	77.9
1.52	3.6	13.7	.189	.21	95.7	4.3	17.00	24.6	1.0	6.780	.89	21.0	79.0
1.54	3.8	13.4	.201	.21	95.5	4.5	18.00	25.1	1.0	7.002	.89	19.9	80.1
1.56	3.9	13.2	.213	.22	95.2	4.8							
1.58	4.0	13.0	.225	.22	94.9	5.1	19.00	25.6	.9	7.212	.90	19.0	81.0
							20.00	26.0	.9	7.413	.90	18.1	81.9
1.60	4.1	12.7	.238	.23	94.7	5.3	25.00	28.0	.7	8.299	.92	14.8	85.2
1.62	4.2	12.5	.250	.24	94.4	5.6	30.00	29.5	.6	9.035	.94	12.5	87.5

Βιβλιογραφία

1. Ηλεκτρολογία Δ΄ Τάξης Τεχνικής Κατεύθυνσης , Φρ. Δημητριάδη - ΥΑΠ ΜΤΕΕ
2. Κανόνες για τη γραφή αριθμών και συμβόλων των μονάδων SI, Υπηρεσία Μέτρων και Σταθμών - Υπουργείο Εμπορίου και Βιομηχανίας
3. Επικοινωνίες και Δίκτυα, Ματακιάς, Τσιγκόπουλος και Αδμίτης, ΟΕΔΒ
4. Τεχνολογία Επικοινωνιών, Πεκμεσιζή, Καραίσκος, Καλούδης, Τσίπουρας και Ούτσιος ΟΕΔΒ
5. Συστήματα Εκπομπής και Λήψης, Αθανάσιος, Νασιόπουλος και Χατζόπουλος ΟΕΔΒ
6. Εκπομπή και Λήψη Ραδιοφωνικού Σήματος, Τουσούνης, Κυριακής και Κώτσος ΟΕΔΒ
7. Τεχνολογία Δικτύων Επικοινωνιών, Αρβανίτης, Κολυβάς, Ούτσιος, ΟΕΔΒ
8. Μετάδοση Δεδομένων & Δίκτυα Υπολογιστών I & II, Τσιλιγκιρίδης, Αλεξίου, Μπούρας, Μαμαλούκας, Αγγελόπουλος, ΤΕΕ, Υπουργείο Παιδείας και Θρησκευμάτων, Παιδαγωγικό Ινστιτούτο
9. Προηγμένες Τηλεπικοινωνιακές Υποδομές και Υπηρεσίες, Τόμος Α΄, Βασιλόπουλος & Παγιατάκης, ΟΤΕ
10. Ειδικές Ηλεκτρικές Εγκαταστάσεις Α΄ Τεύχος, Δημητρόπουλος, Κουταλάκος, Βαρβατσουλάκης & Γεωργάκης, Υπουργείο Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων - ΠΙ
11. Σημειώσεις Υπηρεσίας Ανάπτυξης Ανθρωπίνου Δυναμικού ΑΤΗΚ
12. Hellas Sat - <http://www.hellas-sat.net>

