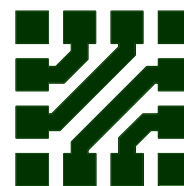




ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ
(ΤΕΙ) ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΤΕΦ
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΕ



ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

(Σημειώσεις Θεωρίας)

Γ' ΕΞΑΜΗΝΟ

Δρ. Βασίλειος Α. Κώτσος
Αναπληρωτής Καθηγητής

ΛΑΜΙΑ 2013

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

1.1 Τηλεπικοινωνίες και επικοινωνίες δεδομένων

Ξεκινώντας την περιήγησή μας στο χώρο των τηλεπικοινωνιών αξίζει να σχολιάσουμε ότι στόχος των επικοινωνιών γενικά είναι η αποστολή ενός μηνύματος από ένα σημείο σε ένα άλλο καθώς και η επιβεβαίωση της πλήρους, ορθής και κατανοητής λήψης του από έναν παραλήπτη. Παρά την απλή αυτή αναφορά, πίσω από τις επικοινωνίες κρύβεται πλήθος από θεωρίες και τεχνικές που ασχολούνται με την αποστολή του παραπάνω μηνύματος.

1.1.1 Επικοινωνίες και Τηλεπικοινωνίες

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η διάκριση μεταξύ των όρων **Επικοινωνία** και **Τηλεπικοινωνία**. Η ετυμολογία του όρου καθορίζει και την ορθή χρήση του.

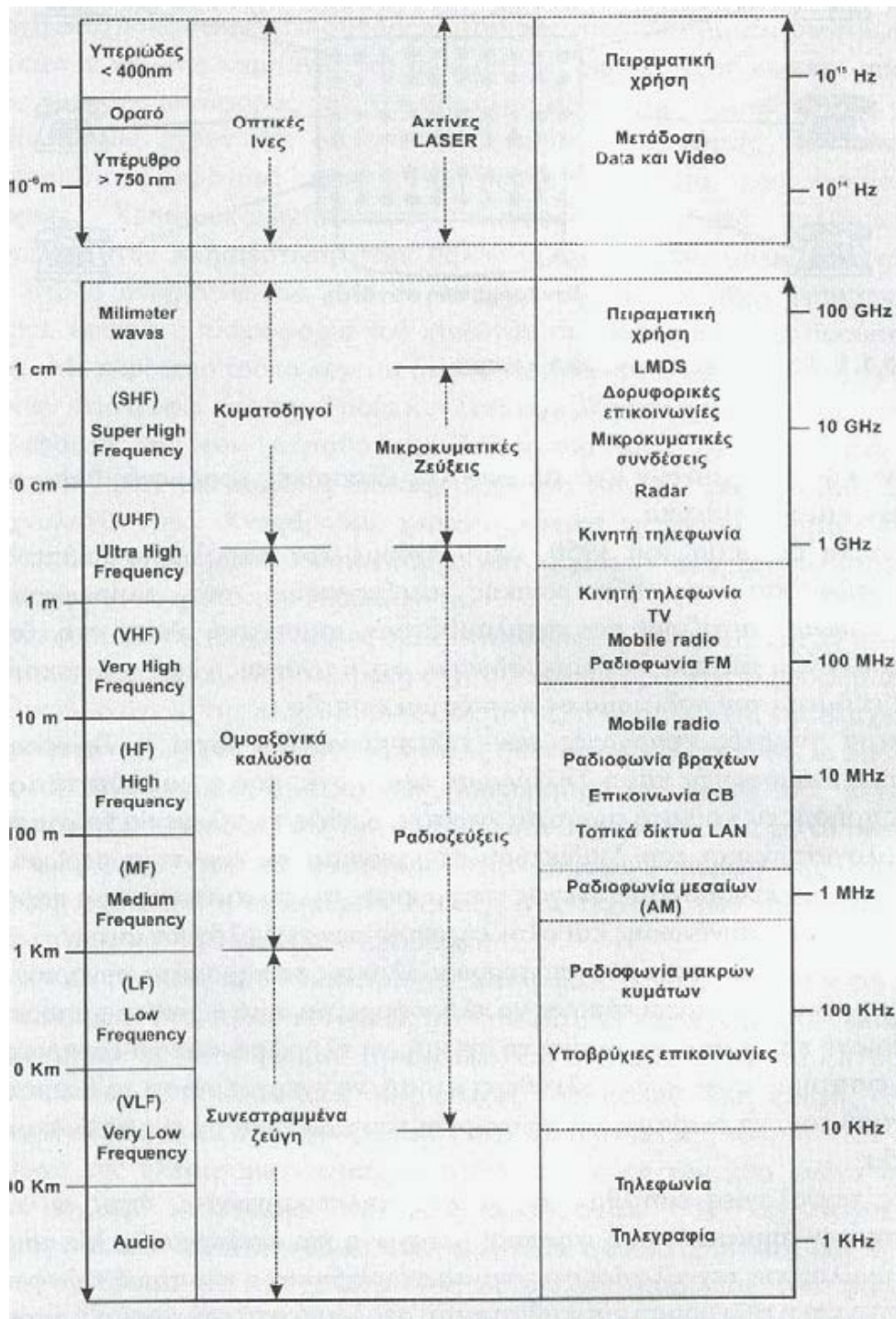
Συγκεκριμένα, όταν έχουμε Επικοινωνίες μακρινής απόστασης (από το αρχαίο ελληνικό τηλε), τότε χρησιμοποιούμε τον όρο Τηλεπικοινωνίες. Οι επικοινωνίες σε μεγάλες αποστάσεις, μας υποχρεώνουν λόγω ανεπάρκειας του μέσου μετάδοσης να αλλάζουμε την μορφή της πληροφορίας προκειμένου να την μεταδώσουμε. Επομένως όταν η πληροφορία δεν αλλάζει μορφή προκειμένου να μεταφερθεί σε μικρές αποστάσεις μιλάμε απλώς για Επικοινωνία, ενώ όταν αλλάζει μορφή για να μεταδοθεί σε μεγαλύτερες αποστάσεις μιλάμε για Τηλεπικοινωνία.

1.1.2 Εξέλιξη Τηλεπικοινωνιών

Από την αρχή της ανθρώπινης ύπαρξης αναπτύχθηκαν διάφορες μορφές τηλεπικοινωνιών καθώς ήταν απαραίτητη από τότε η ανάγκη για επικοινωνία από πολύ μακριά και στο λιγότερο δυνατό χρόνο. Κάθε εποχή χαρακτηρίστηκε από τους τρόπους που συντελούνταν οι τηλεπικοινωνίες. Τα σήματα καπνού, οι ήχοι των τυμπάνων και της καμπάνας και το άναμμα φωτιάς ήταν μερικοί από τους βασικούς τρόπους μεταφοράς της πληροφορίας σε κάποιες εποχές από τα προϊστορικά χρόνια μέχρι το 18ο αιώνα μ.Χ. με μικρές διαφορές και φυσικά κάθε φορά πιο εξελιγμένοι από τις προηγούμενες ανάλογα την εποχή, το λαό, τα μέσα τις ανάγκες και τους σκοπούς. Για παράδειγμα στην αρχαία Ελλάδα υπήρχαν πύργοι, που ονομάζονταν φρυκτωρίες, χτισμένοι σε στρατηγικά σημεία και εκεί άναβαν φωτιές. Με το άναμμα της φωτιάς από φρυκτωρία σε φρυκτωρία, έφθανε η πληροφορία στον προορισμό της. Ο στρατός του Ναπολέοντα είχε προς χρήση κινητούς πύργους οπτικής επικοινωνίας μέσω κωδικοποιημένων σημάτων που του έδιναν σημαντικό πλεονέκτημα έναντι των αντιπάλων. Οι τρόποι αυτοί της επικοινωνίας όμως δεν ήταν ακριβείς ούτε ήταν βέβαιη η επιτυχία τους. Επιπρόσθετα η ταχύτητα μεταφοράς της πληροφορίας ήταν μικρή, ο όγκος της πληροφορίας ελάχιστος και η ασφάλειά της ελάχιστη. Αυτές οι μορφές επικοινωνίας διατηρήθηκαν μέχρι την εμφάνιση του ηλεκτρισμού. Τότε έγιναν τα πρώτα σοβαρά βήματα με το τηλέφωνο και τον τηλεγράφο, για να φθάσουμε στην σημερινή μορφή της ψηφιακής τεχνολογίας, οπότε και η καθημερινή εξέλιξη στις τεχνικές των τηλεπικοινωνιών είναι αλματώδης και απρόβλεπτη.

Ο Samuel Morse το 1854 με τον τηλεγράφο και ο Graham Bell το 1876 με το τηλέφωνο ουσιαστικά έθεσαν τα θεμέλια των σύγχρονων τηλεπικοινωνιών. Η χρήση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας κατά τον 20ο αιώνα ήταν ο κινητήριος μοχλός ανάπτυξης. Η συχνότητα του ηλεκτρομαγνητικού κύματος είναι ένα ιδιαίτερο

χαρακτηριστικό και κάθε εφαρμογή συνδέεται με τη χρήση ενός ορισμένου τμήματος από το φάσμα συχνοτήτων (Σχήμα 1).



Σχήμα 1 Κατανομή των εφαρμογών στο φάσμα των συχνοτήτων
(Πηγή: Αλεξόπουλος Α., Λαγογιάννης Γ., Τηλεπικοινωνίες και Δίκτυα Υπολογιστών 6η έκδοση 2003).

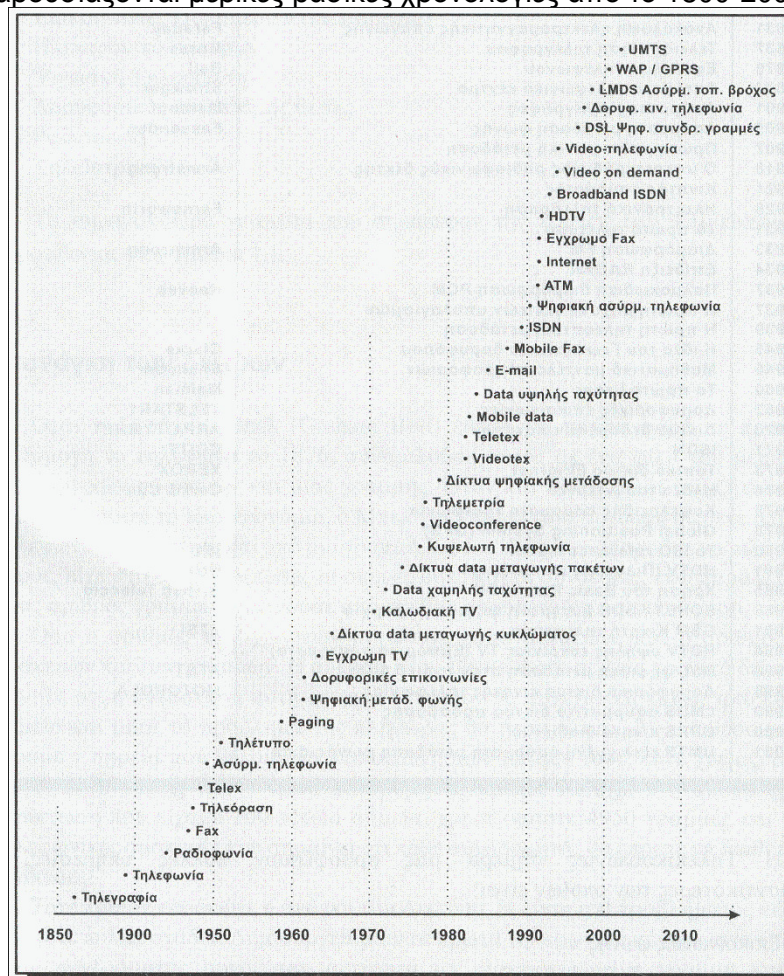
Η είσοδος της μικροηλεκτρονικής άλλαξε το πρόσωπο των τηλεπικοινωνιών και μετά τη δεκαετία του 1950, όπου έχουμε την παράλληλη ανάπτυξη των υπολογιστών και της ηλεκτρονικής επεξεργασίας των πληροφοριών, άρχισαν να καταλαμβάνουν σημαντική θέση στην καθημερινή ζωή του ανθρώπου μέχρι το σημείο να επηρεάζουν

άμεσα τον πολιτισμό σε παγκόσμιο επίπεδο. Σήμερα γνωστές εφαρμογές των τηλεπικοινωνιών είναι η **Τηλεφωνία**, το **Διαδίκτυο (internet)**, η **Ραδιοφωνία** και η **Τηλεόραση**, εφαρμογές που η μαζικότητά τους από πλευράς χρήσης τις καθιστά ευρύτατα γνωστές. Καθώς τα τελευταία χρόνια η χρήση των υπολογιστών και του Διαδικτύου επεκτείνεται σε ευρύτερα στρώματα του πληθυσμού, αναπτύσσονται συνεχώς νέες μορφές τηλεπικοινωνιών και παράλληλα υπάρχει μια τάση συνένωσης και ολοκλήρωσης των τεχνολογιών αυτών .

Η ψηφιακή μετάδοση των σημάτων και η ψηφιακή μεταγωγή και επεξεργασία είναι κάποιες από τις νέες τεχνολογίες που εισήλθαν στις τηλεπικοινωνίες και με αυτό τον τρόπο οι αναλογικές τεχνολογίες στις οποίες στηρίχθηκαν η κλασική τηλεφωνία, το ραδιόφωνο και η τηλεόραση αντικαθίστανται σταδιακά από την ψηφιακή τεχνολογία που αναπτύχθηκε κυρίως από τις επικοινωνίες data. Παράλληλα ήρθε η βελτίωση των μέσων μετάδοσης, της υποδομής (οπτικές ίνες, δορυφορικές ζεύξεις, κλπ.), των τεχνικών μετάδοσης (multiplexing, compression, κωδικοποιήσεις, διαμορφώσεις κλπ.).

Σήμερα βρισκόμαστε στο αναπτυξιακό στάδιο ενός νέου επιστημονικού κλάδου που καλείται Τηλεπληροφορική (από τους όρους Τηλεπικοινωνίες και Πληροφορική. Με τη βοήθεια αυτού του κλάδου της τεχνολογίας έχουμε πλέον ευρύτερες δυνατότητες επικοινωνιών στην εξυπηρέτηση φωνής αλλά και άλλων μορφών πληροφορίας όπως είναι το κείμενο, τα δεδομένα (data), η εικόνα κλπ. που η ολοκλήρωσή τους βοηθείται από τη χρήση της ψηφιακής τεχνολογίας.

Η ιστορική εξέλιξη των Τηλεπικοινωνιών μετά το 1850 φαίνεται στο Σχήμα 2, ενώ στο Σχήμα 3, παρουσιάζονται μερικές βασικές χρονολογίες από το 1800-2000.



Σχήμα 2: Εξέλιξη των τηλεπικοινωνιών

(Πηγή:Αλεξόπουλος Α., Λαγογιάννης Γ., Τηλεπικοινωνίες και Δίκτυα Υπολογιστών 6η έκδοση 2003)

1809 Πειραματική επίδειξη ηλεκτροχημικού τηλέγραφου VanSoemmerring
 1820 Δημιουργία μαγνητικού πεδίου από ηλεκτρ. ρεύμα Oersted
 1831 Ανακάλυψη ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής Faraday
 1837 Τελειοποίηση τηλέγραφου Morse
 1876 Εφεύρεση τηλεφώνου Bell
 1897 Αυτόματο τηλεφωνικό κέντρο Strowger
 1901 Ασύρματος τηλέγραφος Marconi
 1905 Ασύρματη μετάδοση φωνής Fessenden
 1907 Πρώτη ραδιοφωνική μετάδοση
 1921 Κινητός ασύρματος
 1928 Ηλεκτρονική τηλεόραση Farnsworth
 1931 Το πρώτο τηλέτυπο
 1933 Διαμόρφωση FM Armstrong
 1934 Επίδειξη RADAR
 1937 Παλμοκωδική διαμόρφωση PCM Reeves
 1937 Η πρώτη μηχανή γενικών υπολογισμών
 1939 Η πρώτη τηλεοπτική μετάδοση
 1945 Η ιδέα του Γεωστατικού δορυφόρου Clarke
 1948 Μαθηματικό μοντέλο πληροφοριών Shannon
 1962 Δορυφορικές επικοινωνίες
 1970 Δίκτυα δεδομένων πακέτων
 1971 ISDN
 1973 Τοπικό δίκτυο Ethernet
 1974 Η ιδέα του Ιντερνετ
 1978 Κυψελοειδής ασύρματη τηλεφωνία
 1978 Global Positioning System (GPS)
 1986 SONET / SDH Σύγχρονη ψηφιακή ιεραρχία
 1991 GSM Κινητή τηλεφωνία
 1996 DSL ψηφιακή μετάδοση στον τοπικό βρόχο
 1998 Δορυφορικά δίκτυα κινητής τηλεφωνίας
 1999 LMDS ασυρματικό δίκτυο πρόσβασης
 2000 GPRS κινητό διαδίκτυο
 2001 UMTS εξελιγμένη ασύρματη μετάδοση φωνής-data

Σχήμα 3: Σημαντικές χρονολογίες στην ιστορία των τηλεπικοινωνιών

Η Τηλεπικοινωνίες σήμερα προσφέρουν πολλές υπηρεσίες, οι σημαντικότερες των οποίων είναι: Επικοινωνίες φωνής, Επικοινωνίες δεδομένων (Data Communications), Παγκόσμιος ιστός (WWW -World Wide Web), Teletex, Τηλεομοιοτυπία (Telefax), Οπτική Τηλεδιάσκεψη (Videoconference), Ασύρματες κινητές επικοινωνίες (Mobile communication), ISDN (Integrated Services Digital Network), Τηλεμετρία και έλεγχος εκ του μακρόθεν, Ηλεκτρονικό ταχυδρομείο (Electronic mail), Τηλεειδοποίηση (Paging), Video telephony (Εικονοτηλέφωνο), Επικοινωνίες Πολυμέσων (multimedia), Ηλεκτρονικό εμπόριο, Ψηφιακή Τηλεόραση, Δορυφορικός εντοπισμός θέσης, Ραδιόφωνο, Τηλεϊατρική.

1.1.3 Ανάγκη των δικτύων

Όταν άρχισε η πρακτική εφαρμογή του τηλεφώνου ήταν απαραίτητα δυο τηλεφωνικές συσκευές και μια γραμμή. Στην περίπτωση που κάποιος ήθελε να επικοινωνεί με δύο διαφορετικά μέρη, έπρεπε να έχει δύο τηλέφωνα και δυο τηλεφωνικές γραμμές και αν ήθελε και με έναν τρίτο χρειαζόταν επιπλέον τηλεφωνική

συσκευή και γραμμή σύνδεσης. Δηλαδή κάποιος θα έπρεπε να είχε στο σπίτι του τόσες συσκευές όσες και οι συνδέσεις.

Όσο ο αριθμός των χρηστών μεγάλωνε τόσο μεγάλωνε και ο αριθμός των συσκευών και των γραμμών. Η αύξηση ήταν τέτοια ώστε σε λίγο χρονικό διάστημα η κατάσταση αυτή δεν μπορούσε να συνεχιστεί γιατί το πρόβλημα της πληθώρας ήταν άλυτο.

Αν υποθέσουμε ότι έχουμε n σημεία που θέλουν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους, τότε χρειαζόμαστε $n(n-1)/2$ συνδέσεις και ο κάθε συνδρομητής πρέπει να έχει $n-1$ συσκευές. Σε περίπτωση που έχουμε 100 τέτοια σημεία, χρειαζόμαστε 4950 γραμμές και 9900 τηλεφωνικές συσκευές που σημαίνει ότι κάθε συνδρομητής θα πρέπει να διαθέτει 99 συσκευές. Τότε προέκυψε η ανάγκη του Δικτύου.

Η λύση του προβλήματος πέρασε από πολλά στάδια. Δημιουργήθηκαν τα πρώτα τηλεφωνικά κέντρα, στα οποία ο κάθε συνδρομητής συνδεόταν ακτινωτά με μια αφιερωμένη γραμμή και μια συσκευή. Την εποχή εκείνη οι τηλεφωνητές χειριστές των κέντρων, συνδέαν τη γραμμή του καλούντος συνδρομητή με αυτή του καλούμενου με την βοήθεια βυσμάτων. Ειδικές γεννήτριες ρεύματος ενσωματωμένες στις τηλεφωνικές συσκευές επέτρεπαν τις κλήσεις προς το κέντρο καθώς δεν υπήρχε η επιλογή αριθμού. Αυτή ήταν και η πρώτη μορφή δικτύου επικοινωνιών φωνής. Στη συνέχεια η τεχνολογία των τηλεφωνικών κέντρων προόδευσε με την ανάπτυξη των ηλεκτρομηχανικών τηλεφωνικών κέντρων και τη χρήση της αυτόματης επιλογής. Ακολούθησε η ανάπτυξη των ηλεκτρονικών κέντρων, για να καταλήξουμε στη σημερινή χρήση υπολογιστικών συστημάτων και ψηφιακών τεχνικών επιλογής και μετάδοσης. Παρόμοια σχεδόν ιστορία ακολουθείται και στα δίκτυα Data. Στην αρχή ένας Τερματικός σταθμός (Data Terminal Equipment) συνδέεται με έναν άλλο τέτοιο σταθμό χρησιμοποιώντας το κοινό τηλεφωνικό δίκτυο ή τις μόνιμες αφιερωμένες (dedicated) γραμμές. Στη συνέχεια η ανάγκη πολλαπλών συνδέσεων των τερματικών σταθμών, οδήγησε στη δημιουργία και εκμετάλλευση ποικίλων δικτύων data. Τα σύγχρονα δίκτυα είναι τέτοια που δεν χρειάζονται πολλαπλές αφιερωμένες συνδέσεις μεταξύ των συνδρομητών. Ο κάθε συνδρομητής μπορεί να συνδέεται μόνο με μια γραμμή με το πλησιέστερο τηλεπικοινωνιακό κέντρο. Προς αυτή την κατεύθυνση δημιουργήθηκαν ιδιωτικά και δημόσια δίκτυα όπως το τηλεφωνικό, το δίκτυο telex, τα ασύρματα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας, το ISDN, το Ίντερνετ και άλλα.

1.1.3.1 Δίκτυα τηλεπικοινωνιών

Τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα έχουν δομή *ιεραρχική*. Αποτελούνται από κέντρα που ονομάζονται *αστικά ή τοπικά τερματικά κέντρα*, συνδέονται μεταξύ τους και σχηματίζουν το *αστικό δίκτυο (συνδρομητικό δίκτυο ή συνδρομητικός βρόχος)*. Όλα τα αστικά κέντρα πόλης ή περιοχής συνδέονται στο λεγόμενο *κομβικό κέντρο*. Για να είναι δυνατή η επικοινωνία με μια απομακρυσμένη περιοχή υπάρχει το *υπεραστικό δίκτυο* που συνδέει όλα τα κομβικά κέντρα. Αυτά συνδέονται μέσω των *Κύριων Κέντρων* που αποτελούν μέρος του κορμού ενός εθνικού υπεραστικού δικτύου. Ουσιαστικά τα Κύρια Κέντρα και τα κομβικά αποτελούν το υπεραστικό δίκτυο και λέγονται *διαβιβαστικά κέντρα*, διότι δεν συνδέονται με συνδρομητές αλλά διεκπεραιώνουν την κίνηση στο δίκτυο.

Σήμερα τα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα εκπληρώνουν ανάγκες μετάδοσης φωνής, data, εικόνας κλπ. και ολοκληρώνονται μέσω ψηφιακών δικτύων υψηλών ταχυτήτων που χρησιμοποιούν τεχνολογίες bandwidth on demand, για βέλτιστη εκμετάλλευση της χωρητικότητας των καναλιών και των επικοινωνιακών κόμβων με την χρήση τεχνικών όπως η ATM (Asynchronous Transfer Mode). Η ανάπτυξη της τεχνολογίας στα μέσα μετάδοσης (οπτικές ίνες), σε τεχνικές μεταγωγής και κόμβους υψηλών ταχυτήτων, συμβάλλουν στη δημιουργούνται νέων δικτύων και υπηρεσιών όπως video on demand, βιντεοτηλεφωνία, επικοινωνίες πολυμέσων κλπ.

Τέλος η επανάσταση στα δίκτυα, είναι η επέκταση των ψηφιακών ασύρματων επικοινωνιών υψηλών ταχυτήτων που επιτρέπουν την πρόσβαση σε φορητά

τερματικά πολυμέσων, που αλλάζει τη μορφή των δικτύων καθώς τα σύγχρονα τερματικά σημεία του δικτύου θα έχουν ελευθερία κίνησης λόγω ασύρματης επικοινωνίας.

Συνοψίζοντας, η τεχνολογία σήμερα μας επιτρέπει να έχουμε τηλεπικοινωνιακά δίκτυα καλωδιακής μορφής (απλά καλώδια, οπτικές ίνες), ασύρματα, κυψελωτά και δορυφορικά.

1.1.3.2 Επικοινωνίες δεδομένων

Με τον όρο **Επικοινωνίες Δεδομένων** εννοούμε την ανταλλαγή πληροφοριών με μορφή data μεταξύ υπολογιστικών και τερματικών σταθμών. Οι πληροφορίες αυτές είναι δεδομένα (data) που μπορεί να κωδικοποιούν χαρακτήρες όπως είναι τα γράμματα της αλφαβήτου, οι αριθμοί, τα σημεία στίξης και διάφορα άλλα σύμβολα.

Η διάκριση μεταξύ των επικοινωνιών data και των άλλων μορφών, δηλαδή φωνής, εικόνας κλπ. είναι το τι μεταφέρεται και όχι ο τρόπος με τον οποίο μεταφέρεται.

Ο ψηφιακός τρόπος μετάδοσης που χρησιμοποιούταν σχεδόν κατ' αποκλειστικότητα για την μεταφορά data, σήμερα χρησιμοποιείται και για μεταφορά φωνής και εικόνας.

Ας δούμε τώρα τους βασικούς όρους πληροφορία data, μετάδοση, επικοινωνία.

Με τον όρο **πληροφορία** στις επικοινωνίες ερμηνεύουμε κάθε οργανωμένο σήμα, ενώ με τη λέξη **δεδομένα ή data** εννοούμε το συμβολισμό που αναπαριστά την κωδικοποιημένη μορφή της πληροφορίας με τη μορφή γραμμάτων ή συμβόλων. Η κωδικοποίηση γίνεται ψηφιακά με τέτοιο τρόπο ώστε να καταστήσει την πληροφορία κατάλληλη για επεξεργασία, αποθήκευση ή μετάδοση. Με την έννοια **μετάδοση δεδομένων (data transmission)** προσδιορίζουμε την μετακίνηση της πληροφορίας μέσα από φυσικά κανάλια μετάδοσης.

Η **Επικοινωνία Δεδομένων** είναι ευρύτερη έννοια από αυτήν της μετάδοσης, αφού εκτός από τη λειτουργία της εκπομπής και της κωδικοποίησης της πληροφορίας, περιέχει τον έλεγχο της μετάδοσης ως προς τη φορά, την ορθότητά αλλά και τους κανόνες που πρέπει να διέπουν συστήματα ανταλλαγής πληροφοριών. Δηλαδή περιέχει τα φυσικά κυκλώματα μετάδοσης, τον απαιτούμενο εξοπλισμό και το λογισμικό, διαδικασίες αναγνώρισης και διόρθωσης των σφαλμάτων μετάδοσης, έλεγχο της ροής των δεδομένων και συνολικά κανόνες για την εξασφάλιση της επικοινωνίας δύο ή περισσότερων υπολογιστικών σταθμών.

1.1.4 Η Σύγκλιση των Τηλεπικοινωνιών

Η ευρύτητα των τηλεπικοινωνιών στην εποχή μας έχει δημιουργήσει παράλληλα με τα θετικά στοιχεία και μια χαστική κατάσταση αναφορικά με τη δικτύωση και τις υπηρεσίες. Έτσι εμφανίστηκε στο προσκήνιο ο όρος σύγκλιση (convergence) που σχετίζεται με τη συνένωση υπηρεσιών και υποδομών για τεχνολογικούς, οργανωσιακούς και οικονομικούς λόγους κυρίως. Το περιεχόμενό του όμως ποικίλει καθώς μέχρι στιγμής υπάρχουν διαφορετικών ειδών συγκλίσεις με μερικά παραδείγματα τα εξής:

1) Σύγκλιση φωνής - δεδομένων σε κοινά δίκτυα και υποδομές: Παλαιότερα οι δύο αυτές έννοιες εξυπηρετούντο από διαφορετικό εξοπλισμό και υποδομές ενώ σήμερα υπάρχει ορατή η τάση ενοποίησής τους.

2) Σύγκλιση σταθερής - κινητής τηλεφωνίας, όπου διακρίνεται η τάση ενοποίησης υποδομών και υπηρεσιών με μοναδικούς αριθμούς χρήστη ενιαίους αυτόματους τηλεφωνητές, κοινούς τρόπους χειρισμού κλπ.

3) Σύγκλιση τηλεόρασης - τηλεπικοινωνιών, όπου ο χρήστης τηλεπικοινωνιακού δικτύου έχει τη δυνατότητα να βλέπει τηλεοπτικό πρόγραμμα της αρεσκείας του, ενώ ο χρήστης τηλεόρασης μπορεί να χρησιμοποιήσει τη συσκευή του για σύνδεση στο Ίντερνετ.

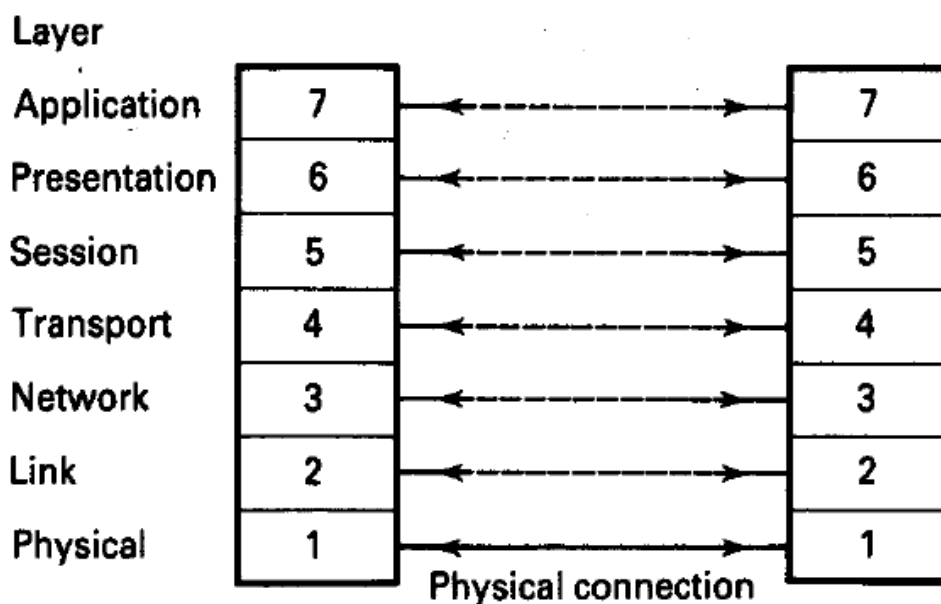
4) Σύγκλιση περιεχομένου, όπου οποιαδήποτε μορφή πληροφορίας (φωνή δεδομένα - εικόνα) συνυπάρχει π.χ. στο εμπόριο και τη ψυχαγωγία μέσω των Τηλεπικοινωνιών.

1.1.5 Το μοντέλο αναφοράς του OSI για τη διασύνδεση ανοικτών συστημάτων.

Προκειμένου να εξασφαλιστεί η ορθή μετάδοση των δεδομένων διαμέσου ενός δικτύου, πρέπει να καθιερωθούν κατάλληλες διαδικασίες λειτουργίας. Αυτές πρέπει να καθοριστούν λεπτομερώς και να ακολουθηθούν αυστηρά από τον τερματικό εξοπλισμό λήψης και εκπομπής καθώς και από τα ενδιάμεσα κέντρα μεταγωγής. Οι διαδικασίες αυτές ονομάζονται πρωτόκολλα.

Πολλά τοπικά δίκτυα δεδομένων (LANs) διασυνδέουν τερματικά δεδομένων του ίδιου κατασκευαστή και λειτουργούν χρησιμοποιώντας ιδιωτικά πρωτόκολλα. Ωστόσο, η ανάπτυξη στις επικοινωνίες δεδομένων δημιούργησε την ανάγκη επικοινωνίας μεταξύ υπολογιστών και τερματικών διαφορετικών κατασκευαστών. Η ανάγκη αυτή, οδήγησε στη σύλληψη της διασύνδεσης ανοικτών συστημάτων (Open System Interconnection, OSI), έτσι ώστε τα δίκτυα να είναι ανεξάρτητα του εξοπλισμού.

Την ανάπτυξη των αναγκαίων προδιαγραφών και πρωτοκόλλων για το OSI, ανέλαβε ο Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης (International Standards Organisation ISO). Τα πρότυπα του ISO βασίζονται σε ένα πρωτόκολλο επτά στρωμάτων γνωστό ως ISO Μοντέλο Αναφοράς για τη διασύνδεση ανοικτών συστημάτων. Η αρχή του μοντέλου αυτού [8] παρουσιάζεται στο σχήμα 1.8. Κάθε στρώμα αποτελεί ένα χρήστη υπηρεσίας για το αμέσως κατώτερο στρώμα και ένας παροχέας υπηρεσίας για το αμέσως ανώτερο στρώμα.



Σχήμα 1.8 Το μοντέλο OSI επτά στρωμάτων για τη διασύνδεση ανοικτών συστημάτων.

Έτσι όσον αφορά τους χρήστες, η επικοινωνία φαίνεται να γίνεται διαμέσου κάθε στρώματος, όπως δείχνουν οι διακεκομμένες γραμμές του σχήματος 1.8. Στην πραγματικότητα όμως, κάθε ανταλλαγή δεδομένων κινείται από το ανώτερο προς τα κατώτερα στρώματα φτάνοντας στο χαμηλότερο στρώμα (φυσικό επίπεδο) του τερματικού του αποστολέα, διασχίζει το δίκτυο προς το τερματικό του παραλήπτη όπου εκεί κινείται αντίστροφα, από το κατώτερο προς τα ανώτερα στρώματα.

Τα στρώματα του OSI είναι :

Στρώμα 1 : Το φυσικό στρώμα (physical layer). Καθορίζει μία διεπαφή όπου αφορά τις συνδέσεις, τα επίπεδα τάσης και τον ρυθμό δεδομένων, με σκοπό να μεταδοθούν τα σήματα bit προς bit.

Στρώμα 2 : Το στρώμα σύνδεσης (link layer). Παρέχει ανίχνευση και διόρθωση σφαλμάτων σε μία σύνδεση, προκειμένου να εξασφαλιστεί ότι η ανταλλαγή δεδομένων είναι αξιόπιστη. Μπορεί να απαιτεί τη διαίρεση της ροής των δεδομένων σε τμήματα (blocks), που ονομάζονται πακέτα με σκοπό την εισαγωγή bits ελέγχου ή το συγχρονισμό. Εντούτοις, διατηρείται η διαφάνεια για τα bits των δεδομένων στα τμήματα αυτά.

Στρώμα 3 : Το στρώμα δικτύου (network layer). Σχετίζεται με τη λειτουργία του δικτύου μεταξύ των τερματικών. Είναι επίσης υπεύθυνο για την εγκαθίδρυση των σωστών συνδέσεων μεταξύ των κατάλληλων κόμβων του δικτύου.

Στρώμα 4 : Το στρώμα μεταφοράς (transport layer). Είναι υπεύθυνο για την εξασφάλιση ενός δρόμου επικοινωνίας, ανεξαρτήτως δικτύου, κατάλληλο για τον τερματικό εξοπλισμό. Για παράδειγμα, παρέχει τον κατάλληλο ρυθμό δεδομένων καθώς και τον έλεγχο σφαλμάτων από άκρο σε άκρο.

Στρώμα 5 : Το στρώμα συνόδου (session layer). Είναι υπεύθυνο για τις λειτουργίες εγκατάστασης και συντήρησης μιας σύνδεσης μεταξύ δύο τερματικών. Για παράδειγμα, θέτοντας το 'on' στην αρχή μιας διεργασίας και το 'off' στο τέλος της.

Στρώμα 6 : Το στρώμα παρουσίασης (presentation layer). Ασχολείται με τη μορφή παρουσίασης των δεδομένων, προσπαθώντας να ξεπεράσει τις διαφορές που εντοπίζονται στην παρουσίαση της πληροφορίας, μεταξύ του τερματικού του αποστολέα και του παραλήπτη. Σκοπός του είναι να καταστήσει την επικοινωνία μέσω δικτύου ανεξάρτητη από τις τερματικές συσκευές.

Στρώμα 7 : Το στρώμα εφαρμογών (application layer). Καθορίζει τη φύση της εργασίας που εκτελείται. Εφοδιάζει το χρήστη με τα αναγκαία προγράμματα εφαρμογών, όπως το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, την επεξεργασία κειμένου, τις τραπεζικές συναλλαγές και άλλα.

Είναι χρήσιμο να αναλύουμε τα συστήματα επικοινωνιών στα πλαίσια του μοντέλου του OSI. [9-11] Σήμερα τα συστήματα καθορίζονται και σχεδιάζονται με διαστρωμένα πρωτόκολλα προσαρμοσμένα στο μοντέλο του OSI. Ένα παράδειγμα είναι το CCITT No.7 σύστημα σηματοδότησης.

Ο σχεδιασμός των τηλεπικοινωνιακών δικτύων ασχολείται κυρίως με τα τρία κατώτερα στρώματα. Τα ανώτερα στρώματα αφορούν την ανάπτυξη λογισμικού για συγκεκριμένες εφαρμογές του δικτύου. Στην περίπτωση της τηλεφωνίας, το στρώμα δικτύου απαιτεί μόνο, κλήση και καθαρισμό σημάτων (σύνδεση και αποσύνδεση), κουδουνισμό, τόνους και διευθυνσιοδότηση (πληκτρολόγηση αριθμού). Τα πρωτόκολλα των ανώτερων στρωμάτων μπορούν να αναπτυχθούν από τους χρήστες καθώς συνεχίζουν τη συνομιλία τους. Αντίθετα στην επικοινωνία μηχανών, όλα αυτά θα πρέπει να υπολογιστούν λεπτομερώς και να προγραμματιστούν προκαταβολικά.

1.1.6 Φορείς Τυποποίησης

Από τη στιγμή που οι τηλεπικοινωνίες μπήκαν στη ζωή των ανθρώπων με τη σύγχρονη μορφή τους, δημιουργήθηκε μια χασοπή κατάσταση εξαιτίας του διαφορετικού τρόπου δομής και λειτουργίας των παρόχων υπηρεσιών σε χώρες (π.χ. Η.Π.Α., Ιαπωνία) ή ευρύτερες γεωγραφικές περιοχές (π.χ. Ευρώπη). Έτσι δημιουργήθηκε η ανάγκη της συμβατότητας σε παγκόσμια κλίμακα, κάτι που είχε γίνει αντιληπτό ήδη από το 1865, με αποτέλεσμα να δημιουργηθούν οι λεγόμενοι **Φορείς Τυποποίησης**.

Η **Διεθνής Ένωση Τηλεπικοινωνιών (International Telecommunication Union - ITU)** είναι ένας από τους πιο σημαντικούς. Ιδρύθηκε το 1865 με την ονομασία

Διεθνής Τηλεγραφική Ένωση, ενώ το 1932 μετονομάστηκε σε Ένωση Τηλεπικοινωνιών. Τμήματά της είναι η CCIR (Consultative Committee on International Radio) και η CCITT (Consultative Committee on International telephone and Telegraph).

Ο **Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης (International Standards Organization - ISO)** ιδρύθηκε το 1946 και ουσιαστικά είναι μια παγκόσμια ομοσπονδία με μέλη 89 επιτροπές τυποποίησης κρατών. Ο ISO δίνει πρότυπα για έναν τεράστιο αριθμό θεμάτων (τρόφιμα, εργαλεία κ.τ.λ.) και ο χρόνος διάρκειας μιας τυποποίησης είναι 2 ή 3 χρόνια.

Άλλοι φορείς τυποποίησης είναι οι:

American National Standards Institute - ANSI, Electronic Industries Association - EIA, Institute of Electrical and Electronic Engineers - IEEE, National Institute Of Standards and Technology - NIST, Conference Europeen des Administration des Postes et des Telecommunications - CEPT και European Telecommunications Standards Institute -ETSI.

Στην Ελλάδα δραστηριοποιείται ο **Ελληνικός Οργανισμός Τυποποιήσεων - ΕΛΟΤ** που είναι και μέλος του ISO.

1.1.7 Ελληνική πραγματικότητα

Στην Ελλάδα μέχρι το 1949 υπήρχαν διάφορες, κυρίως ξένες, εταιρείες τηλεπικοινωνιών. Ο Ο.Τ.Ε. ιδρύθηκε το 1949 και του παραχωρήθηκε το προνόμιο του μονοπωλίου των τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών. Το πρώτο βήμα για τον περιορισμό του μονοπωλίου του Ο.Τ.Ε. έγινε το 1990 με διάταξη που επέτρεπε την εκμετάλλευση της κινητής τηλεφωνίας από ιδιωτικούς φορείς και το 1993 εισήλθαν επίσημα οι εταιρείες TIM και Vodafone. Το 1998 ακολούθησε η Cosmote και το 2001 η Q-Telecom.

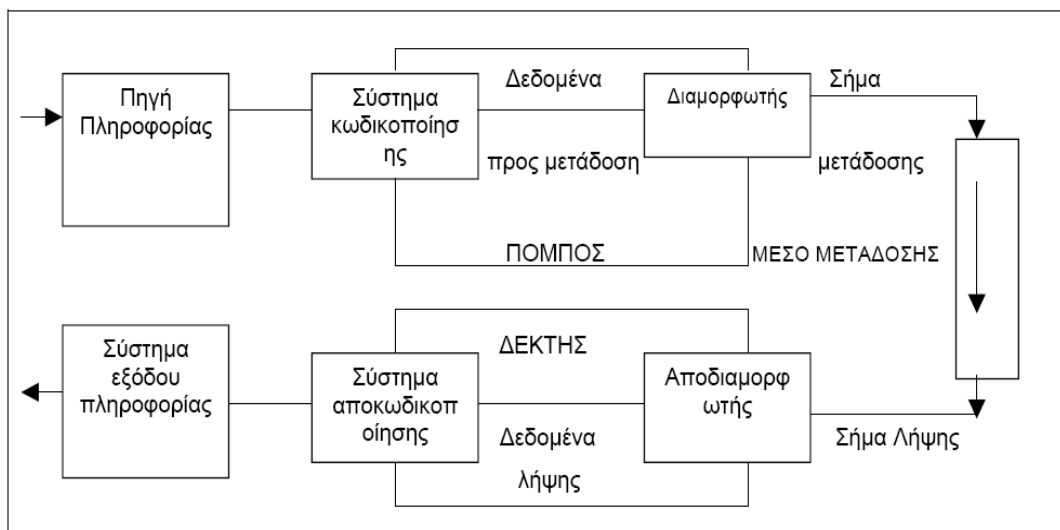
Από το 2001 ισχύει και η πλήρης απελευθέρωση στις τηλεπικοινωνίες με αποτέλεσμα τη δημιουργία νέων εταιρειών παροχής υπηρεσιών ή τη διεύρυνση των υπηρεσιών παλαιότερων εταιρειών (π.χ. Tellas, Forthnet, Teledome, Vivodi, Cosmoline κ.τ.λ.).

Στο ρυθμιστικό τομέα η Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών και Ταχυδρομείων - ΕΕΤΤ είναι η Εθνική Ρυθμιστική Αρχή που επιβλέπει και ρυθμίζει την τηλεπικοινωνιακή αγορά και την αγορά των ταχυδρομικών υπηρεσιών. Ιδρύθηκε το 1992 με την επωνυμία Εθνική Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών (ΕΕΤ) και οι αρμοδιότητές της επικεντρώνονταν στην εποπτεία της απελευθερωμένης αγοράς των τηλεπικοινωνιών. Η λειτουργία της όμως ξεκίνησε το 1995. Το 1998 ορόλος της επεκτάθηκε και στον τομέα των ταχυδρομικών υπηρεσιών. Το 2000 ενισχύθηκε ο εποπτικός, ελεγκτικός και ρυθμιστικός της ρόλος. Έτσι έχει ως στόχο την εξασφάλιση της ομαλής λειτουργίας και της ανάπτυξης των τηλεπικοινωνιών.

1.2 Βασικές έννοιες από τις τηλεπικοινωνίες

1.2.1 Το μοντέλο του Τηλεπικοινωνιακού συστήματος

Τα βασικά στοιχεία ενός τηλεπικοινωνιακού συστήματος είναι ο πομπός, το μέσο μετάδοσης και ο δέκτης. Το ακόλουθο σχήμα μας δίνει μια εικόνα αυτού και περιγράφει τα διάφορα στάδια από τα οποία περνάει ένα μήνυμα προς αποστολή:



Σχήμα 4: Το Τηλεπικοινωνιακό Σύστημα

Η πηγή πληροφορίας αποτελεί το χώρο δημιουργίας του μηνύματος που είναι να αποσταλεί. Ο πομπός αποτελείται από το σύστημα κωδικοποίησης και το διαμορφωτή. Το σύστημα κωδικοποίησης λαμβάνει το μήνυμα και το κωδικοποιεί με σκοπό τον περιορισμό των σφαλμάτων κατά τη μετάδοσή του ενώ ο διαμορφωτής το μετατρέπει στην κατάλληλη, προς μετάδοση, μορφή ώστε να μεταδοθεί από το μέσο με τον καλύτερο τρόπο.

Το μέσο μετάδοσης είναι το φυσικό κανάλι επικοινωνίας μεταξύ πομπού και δέκτη.

Μπορεί να είναι απλό καλώδιο, οπτική ίνα ή ακόμα και ο ελεύθερος χώρος.

Ο δέκτης αποτελείται από τον αποδιαμορφωτή και τον αποκωδικοποιητή και κάνει ακριβώς τις αντίστροφες διαδικασίες του πομπού. Συγκεκριμένο ο αποδιαμορφωτής λαμβάνει το σήμα μέσω του φυσικού καναλιού και το μετατρέπει σε κατάλληλη μορφή και μετά ο αποκωδικοποιητής το αποκωδικοποιεί για να είναι δυνατή η κατανόηση του σταλμένου μηνύματος. Το σήμα που λαμβάνεται δεν είναι το ίδιο με αυτό που εκπέμπεται λόγω θορύβου.

1.2.2 Στοιχεία από τη θεωρία Πληροφορίας

1.2.2.1 Έννοια Πληροφορίας

Αναφέραμε παραπάνω ότι στις επικοινωνίες εκπέμπονται μηνύματα από πομπούς και καταλήγουν σε δέκτες. Η λέξη μήνυμα φανερώνει το σύνολο της πληροφορίας που λαμβάνει κάποιος. Αυτή μπορεί να είναι κείμενο, ήχος, εικόνα ή συνδυασμοί αυτών. Δηλαδή η συνολική αυτή πληροφορία αποτελείται από άλλες μικρότερες με συνέπεια το μήνυμα να αποτελείται από μια ακολουθία μονοσήμαντα διακριτών συμβόλων διαφορετικών μεταξύ τους. Είναι λοιπόν πολύ σημαντική η έννοια της πληροφορίας.

Είναι φανερό από αυτά ότι, για να περιέχει ένα μήνυμα πληροφορία, θα πρέπει η εμφάνιση των συμβόλων να είναι αποτέλεσμα επιλογής από πολλά δυνατά σύμβολα. Όσο δύσκολος είναι ένας συνδυασμός τους, τόσο περισσότερες πληροφορίες φέρνει μαζί του και αντίστροφα. Ο ορισμός της πληροφορίας χρησιμοποιεί την πιθανότητα γιατί η πιθανότητα πραγματοποίησης ενός γεγονότος συνδέεται άμεσα με την πληροφορία που είναι σχετική με το γεγονός αυτό. Αν η πιθανότητα να πραγματοποιηθεί ένα γεγονός είναι μεγάλη, τότε η πληροφορία που φέρει το γεγονός αυτό είναι μικρή και αντίστροφα.

1.2.2.2 Μέτρο Πληροφορίας

Αν συμβολίσουμε με I την πληροφορία ενός μηνύματος m και υποθέσουμε ότι μια πηγή εκπέμπει μηνύματα με πιθανότητα $p_k, k=1,2,\dots,q$ έχουμε τις εξής συνθήκες:

$$\begin{aligned}\sum_{k=1}^q p_k &= 1 \\ I(m_i) > I(m_j) &\Leftrightarrow p_i < p_j \\ I(m_i) \rightarrow 0 &\Leftrightarrow p_i \rightarrow 1 \\ I(m_i) \geq 0 &\Leftrightarrow 0 \leq p_i \leq 1 \\ I(m_i \wedge m_j) &= I(m_i) + I(m_j), \quad m_i \text{ και } m_j \text{ ανεξάρτητα}\end{aligned}$$

Η σχέση που δίνει την πληροφορία I είναι

$$I = \log_a \left(\frac{1}{p_k} \right), \text{ όπου } a \text{ η βάση του λογαρίθμου}$$

Για τον ορισμό της απλούστερης μονάδας πληροφορίας θεωρούμε ότι έχουμε μόνο δύο δυνατά σύμβολα, αφού με ένα δεν γίνεται μήνυμα, με πιθανότητα εμφάνισης του καθενός $p=1/2$. Τότε έχουμε

$$I = \log_2 \frac{1}{\frac{1}{2}} = \log_2 2 = 1$$

Επομένως, όταν χρησιμοποιείται ως βάση το δυαδικό σύστημα, η μονάδα πληροφορίας είναι 1, ονομάζεται **bit** (από το **binary digit**), αντιπροσωπεύει την ελάχιστη ποσότητα πληροφορίας οποιουδήποτε συστήματος επικοινωνίας και χρησιμοποιείται ως βάση μέτρησης και αξιολόγησης της παροχής πληροφορίας των συστημάτων.

1.2.2.3 Μέση Πληροφορία

Θεωρούμε ένα μήνυμα που αποτελείται από N σύμβολα. Ονομάζουμε την πληροφορία H που περιέχει ανά σύμβολο **μέση πληροφορία ή εντροπία** και δίνεται από τον τύπο:

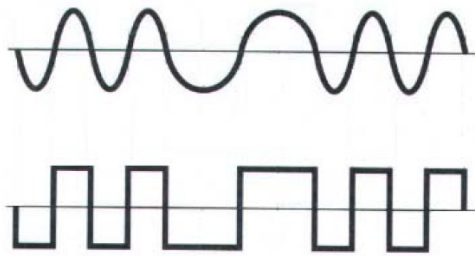
$$H = \frac{I_{\text{ολική}}}{N} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^q N p_i \log_2 \left(\frac{1}{p_i} \right) = \sum_{i=1}^q p_i \log_2 \left(\frac{1}{p_i} \right) \quad \frac{\text{bits}}{\text{σύμβολο}}$$

Παρατηρούμε ότι:

$$H_{\max} = \log_2 q \quad \frac{\text{bits}}{\text{σύμβολο}}$$

1.2.2.4 Τηλεπικοινωνιακή κίνηση

Η μετάδοση της πληροφορίας γίνεται με ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Το σήμα που εκπέμπεται μπορεί να είναι αναλογικό, δηλαδή να μεταβάλλεται με το χρόνο παίρνοντας συνεχείς τιμές, ή ψηφιακό, δηλαδή παίρνει τις συγκεκριμένες διακριτές τιμές 0 και 1. Για όλα αυτά θα γίνει παρακάτω λεπτομερής αναφορά (§ 2.3).



Σχήμα : Αναλογικό και ψηφιακό σήμα

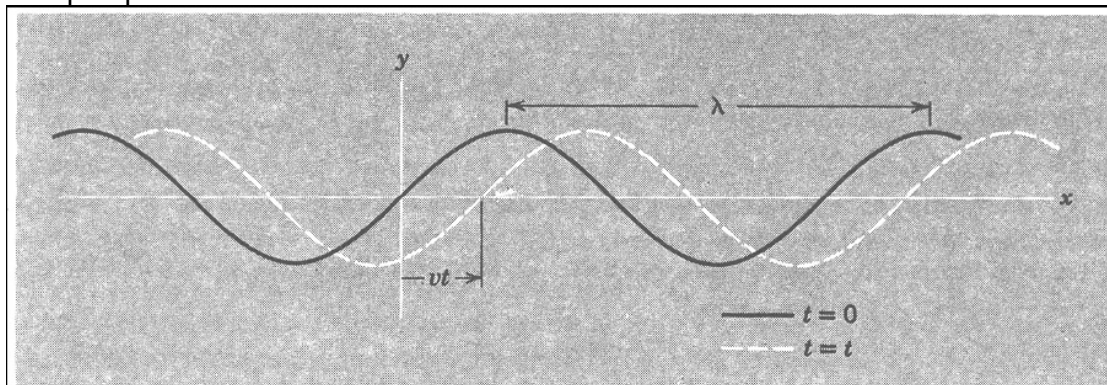
1.2.3 Στοιχεία από τη θεωρία σήματος

1.2.3.1 Ορισμοί

Μια **κίνηση** που επαναλαμβάνεται σε ίσους χρόνους με τον ίδιο τρόπο ονομάζεται **περιοδική**. Μια τέτοια κίνηση όταν γίνεται παλινδρομικά γύρω από ένα σημείο ισορροπίας λέγεται **ταλάντωση**.

Κύμα ονομάζεται κάθε διαταραχή που μεταφέρει ενέργεια και ορμή με ορισμένη ταχύτητα. Για την παραγωγή ενός κύματος χρειάζεται μια πηγή που να εκτελεί ταλαντώσεις. Τα κύματα που μας ενδιαφέρουν είναι τα **αρμονικά** δηλαδή αυτά που η απόσταση της πηγής από τη θέση ισορροπίας δίνεται από τη σχέση $y=y_0 \eta\mu(\omega t)$ όπου y_0 είναι το πλάτος της ταλάντωσης, ωt η φάση με $\omega=2\pi\nu$ την κυκλική συχνότητα και τα **εγκάρσια**, δηλαδή αυτά που οι κινήσεις των σωματιδίων που τα μεταφέρουν είναι κάθετες της διεύθυνσης διάδοσης.

Η παράσταση ενός κύματος φαίνεται στο Σχήμα-6 σημειώνοντας παράλληλα πως η ταχύτητά συνδέεται με τη συχνότητα ν και το μήκος κύματος λ με τη σχέση: $u=\lambda\nu$, όπου το λ είναι η απόσταση ανάμεσα σε δύο διαδοχικά σημεία του που έχουν την ίδια φάση.



Σχήμα-6 : Παράσταση κύματος τις χρονικές στιγμές $t=0, t$.
(Πηγή: Haliday D., Resnick R., Φυσική εκδόσεις Γ.Α. Πνευματικός 2η έκδοση)

Η εξίσωση του κύματος αυτού είναι:

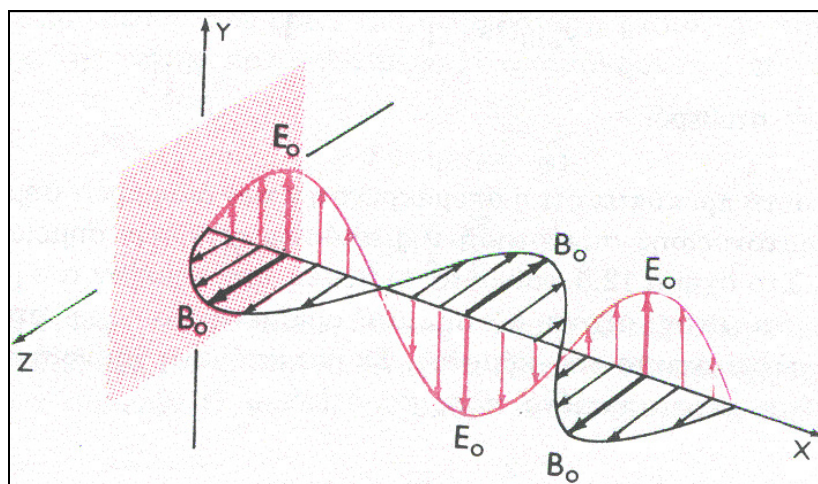
$$y = y_0 \eta\mu 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \Rightarrow y = y_0 \eta\mu 2\pi (ut - x)$$

Μία κατηγορία τέτοιων εγκάρσιων αρμονικών κυμάτων είναι τα ηλεκτρομαγνητικά. **Ηλεκτρομαγνητικό κύμα** ονομάζουμε το σύστημα δύο κυμάτων, ενός ηλεκτρικού και ενός μαγνητικού, που διαδίδονται με την ταχύτητα του φωτός σαν ένα αλλά σε κάθετα επίπεδα. Το ηλεκτρικό κύμα είναι η διάδοση ενός ηλεκτρικού πεδίου ενώ το μαγνητικό κύμα η διάδοση ενός μαγνητικού πεδίου στο χώρο. Άρα το ηλεκτρομαγνητικό κύμα είναι η διάδοση ενός ηλεκτρομαγνητικού πεδίου με την ταχύτητα του φωτός.

Το ηλεκτρικό πεδίο χαρακτηρίζεται από την ένταση E και το μαγνητικό πεδίο από την ένταση B . Εφαρμόζοντας την εξίσωση κύματος για το ηλεκτρικό και το μαγνητικό κύμα έχουμε:

$$E = E_0 \eta \mu 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \quad \text{και} \quad B = B_0 \eta \mu 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$

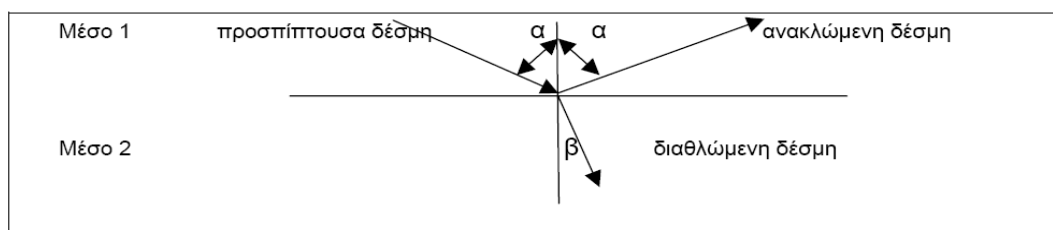
όπου E_0 , B_0 τα πλάτη των αντίστοιχων εντάσεων E και B .



Σχήμα-7: Παράσταση ηλεκτρομαγνητικού κύματος

Για τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα ισχύει η σχέση $c = \lambda \nu$ με c την ταχύτητα του φωτός ενώ επίσης ανακλώνται, διαθλώνται και δημιουργούν φαινόμενα συμβολής και περίθλασης.

Περίληπτικά αναφέρουμε ότι όταν μια δέσμη φωτός προσπέφτει σε μια διαχωριστική επιφάνεια δύο μέσων κατά το ένα μέρος ανακλάται (δεν αλλάζει μέσο) και κατά το άλλο διαθλάται (αλλάζει μέσο) (Σχήμα-8).



Σχήμα-8: Ανάκλαση και διάθλαση

Για την ανάκλαση ισχύουν: α) Το επίπεδο ανάκλασης είναι κάθετο στην ανακλώσα επιφάνεια και β) η γωνία πρόσπτωσης είναι ίση με τη γωνία ανάκλασης. Τα α), β) αποτελούν τους νόμους της ανάκλασης.

Για τη διάθλαση ισχύουν:

α) Το επίπεδο διάθλασης είναι κάθετο στη διαθλώσα επιφάνεια και β)

$$\frac{\eta \mu \alpha}{\eta \mu \beta} = \text{σταθερό} = \frac{c_1}{c_2} = n$$

όπου c_1 , c_2 οι ταχύτητες του φωτός στα μέσα 1, 2. Το n ονομάζεται δείκτης διάθλασης. Τα α), β) αποτελούν τους νόμους της διάθλασης.

Συμβολή κυμάτων είναι το φαινόμενο κατά το οποίο δύο ή περισσότερα κύματα συντίθενται και δημιουργούν φαινομενικά ένα κύμα με διαφορετικά ενδεχομένως βασικά χαρακτηριστικά από τα αντίστοιχα των επιμέρους κυμάτων (συχνότητα, μήκος, πλάτος κύματος).

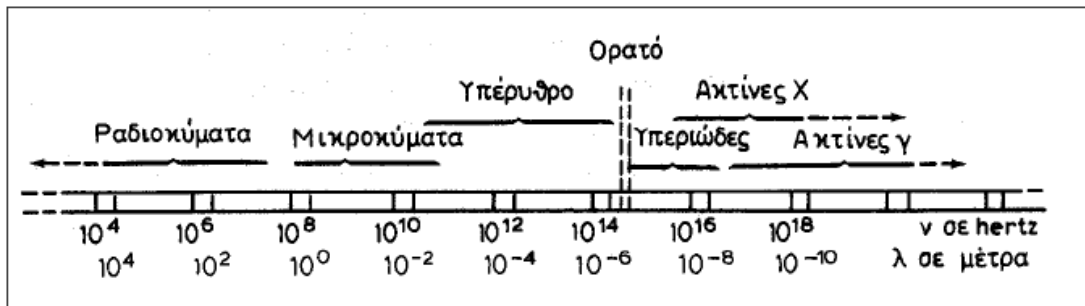
Περίθλαση είναι το φαινόμενο κατά το οποίο παρατηρείται απόκλιση της πορείας των φωτεινών ακτίνων από το νόμο της ευθύγραμμης διάδοσης του φωτός.

Αυτά τα στοιχεία οπτικής είναι στοιχειώδη. Στην πραγματικότητα τα φαινόμενα αυτά είναι πολύ πιο σύνθετα και υπάρχουν πολλές διαφορετικές υποπεριπτώσεις για το κάθε ένα από αυτά.

Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ονομάζεται η ακτινοβολία που μεταφέρει ενέργεια με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικού κύματος. Το **ηλεκτρομαγνητικό φάσμα** είναι μία συνεχής περιοχή τέτοιας ακτινοβολίας, που εκτείνεται από τις ακτίνες γάμα ως τα ραδιοφωνικά κύματα. Τα ονόματα που περιγράφουν τα διάφορα τμήματα του φάσματος έχουν ιστορική προέλευση, αλληλεπικαλύπτονται και παρέχουν κατάλληλη κατάταξη με βάση την πιο συνηθισμένη πηγή ακτινοβολίας: ραδιοκύματα και μικροκύματα από ηλεκτρόνια που κινούνται σε αγωγούς, υπέρυθρο από θερμά αντικείμενα, ορατό φως από πολύ θερμά αντικείμενα, υπεριώδες από ηλεκτρικά τόξα και εκκενώσεις αερίων, ακτίνες X από ηλεκτρόνια που κτυπούν ένα στόχο, ακτίνες γάμα από πυρήνες ραδιενεργών ατόμων.

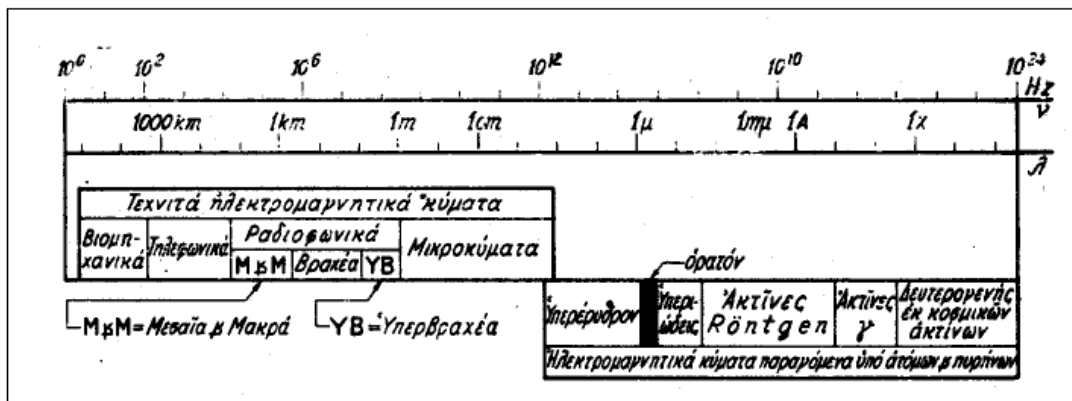
Όλα τα κύματα αυτά είναι ηλεκτρομαγνητικής φύσεως, έχουν την ίδια ταχύτητα $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/sec}$, ενώ η μόνη διαφορά είναι στο μήκος κύματος, άρα και στη συχνότητα.

Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα δεν έχει ορισμένο κάτω και άνω φράγμα, θεωρητικά όμως αναφερόμαστε στην περιοχή συχνοτήτων από $0 - 10^{24} \text{ Hz}$. Τα ακόλουθα σχήματα 5, 6 δίνουν μια εικόνα του φάσματος και περιλαμβάνουν συχνότητες και μήκη κυμάτων.



Σχήμα-5: Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

(Πηγή: Haliday D., Resnick R., Φυσική εκδόσεις Γ.Α. Πνευματικός 2η έκδοση)



Σχήμα-6: Το συνολικό ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

(Πηγή: Αλεξόπουλος Κ.Δ., Μαρίνος Δ.Ι., Γενική Φυσική-Ηλεκτρισμός εκδόσεις Παπαζήση 1η έκδοση 1993)

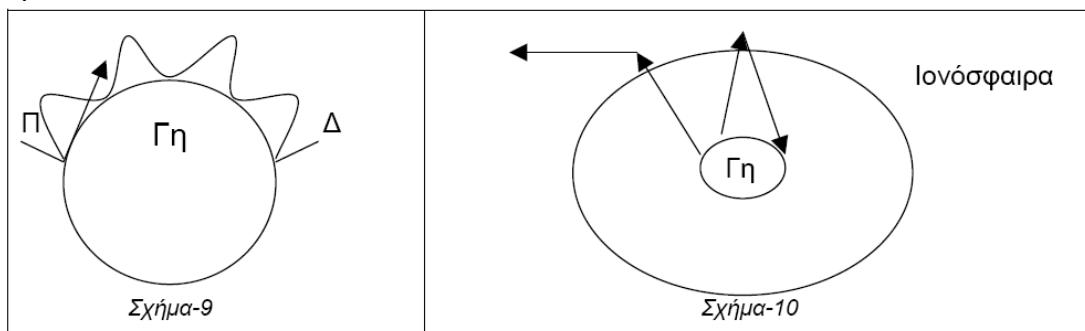
Οι ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες που παράγονται με κυκλώματα έχουν συχνότητες $0 - 10^{12}$ Ηz και διαδίδονται με ηλεκτρομαγνητικά κύματα που ονομάζουμε ερτζιανά ενώ αυτές με συχνότητα $10^{13} - 10^{24}$ Ηz παράγονται από άτομα και μόρια της ύλης που βρίσκονται σε κατάσταση διέγερσης.

Τα ερτζιανά κύματα χρησιμοποιούνται πάρα πολύ στις ραδιοτηλεπικοινωνίες (τηλεγραφία, τηλεφωνία, ραδιοφωνία, τηλεόραση, ραντάρ). Η ραδιοτηλεπικοινωνία με τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα μεταδίδει ενέργεια σε μεγάλη απόσταση την οποία εκπέμπει ο πομπός. Μέρος αυτής της ενέργειας λαμβάνεται από το δέκτη. Ταυτόχρονα τα ερτζιανά κύματα μεταφέρουν και στοιχεία που αντιστοιχούν σε μουσικά σήματα, ήχους ή εικόνες. Θα εξετάσουμε πολύ γενικά την εφαρμογή των ερτζιανών κυμάτων.

Φέρον κύμα: Ο πομπός ερτζιανών κυμάτων αποτελείται από ένα κύκλωμα ταλαντώσεων όπου παράγονται αμείωτες ηλεκτρικές ταλαντώσεις μεγάλης συχνότητας που ονομάζεται φέρουσα συχνότητα. Το κύκλωμα αυτό συνδέεται με την κεραία όπου παράγονται ηλεκτρικές ταλαντώσεις ίδιας συχνότητας. Η κεραία τότε εκπέμπει ηλεκτρομαγνητικό κύμα σταθερής συχνότητας και ονομάζεται **φέρων κύμα**.

Διάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων: Η διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων που εκπέμπονται από την κεραία επηρεάζεται κυρίως από δύο παράγοντες από το έδαφος και από ένα στρώμα της ατμόσφαιρας σε ύψος από 100 ως 350 Km περίπου που ονομάζεται ιονόσφαιρα. Έτσι τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα που εκπέμπονται από την κεραία διακρίνονται σε δύο κατηγορίες: α) στα κύματα επιφάνειας και β) τα κύματα χώρου.

Θεωρούμε στην επιφάνεια της Γης έναν πομπό Π και ένα δέκτη Δ (σχήμα-9). Τα κύματα επιφάνειας θα νόμιζε κάποιος ότι ακολουθούν τη διεύθυνση της επαπτόμενης στη θέση του πομπού Π. Τότε όμως δεν θα έφτανε ισχύς στο δέκτη ή αν έφτανε θα ήταν πολύ ασθενής. Στην πραγματικότητα, λόγω του εδάφους τα κύματα ακολουθούν καμπύλη τροχιά κατά μήκος της επιφάνειας. Όσο το κύμα επιφάνειας απομακρύνεται από τον πομπό, τόσο ελαττώνεται η ένταση της ακτινοβολίας, γιατί η ενέργεια του κύματος κατανέμεται σε μεγαλύτερο χώρο και ένα μέρος της απορροφάται από τη Γη.



Μάλιστα όσο μικρότερο είναι το μήκος κύματος τόσο μεγαλύτερη είναι η απορρόφηση. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται η επικοινωνία με τα κύματα επιφάνειας. Τα κύματα χώρου αποτελούνται από το τμήμα της ακτινοβολίας, το οποίο εκπεμπόμενο προς τα πάνω ανακλάται στην ιονόσφαιρα. Μετά την ανάκλαση τους επιστρέφουν στο έδαφος και φθάνουν σε μεγάλες αποστάσεις χωρίς η έντασή τους να έχει ελαττωθεί τόσο, όσο εκείνη των κυμάτων επιφανείας.

Όπως φαίνεται στο σχήμα-10, τα κύματα χώρου ανακλώνται μόνον όταν δεν πέφτουν κάθετα στην ιονόσφαιρα, ενώ όταν πέφτουν σχεδόν κάθετα, ανάλογα με το μήκος κύματος είτε ανακλώνται είτε τη διαπερνούν. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίον δεν είναι δυνατή η λήψη βραχέων κυμάτων χώρου σε μικρές αποστάσεις. Αντίθετα, τα μικροκύματα δεν ανακλώνται, περνούν την ιονόσφαιρα και φθάνουν στους τεχνητούς δορυφόρους. Είναι δυνατό λοιπόν, σε ένα σημείο της επιφάνειας της Γης να καταφθάσουν δύο κύματα ένα κύμα επιφάνειας και ένα χώρου. Τότε το σήμα στο δέκτη προέρχεται από τη συμβολή των δύο αυτών κυμάτων και εξαιτίας

της, άλλοτε έχουμε ενίσχυση και άλλοτε εξασθένηση του σήματος (διαλείψεις). Επίσης, οι ραδιοφωνικοί δέκτες έχουν επαρκή ενίσχυση ώστε να είναι δυνατή η λήψη και ασθενών ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

Όμως, η λήψη ενός προγράμματος δεν είναι ασφαλής όταν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα είναι ασθενή γιατί εκτός από τα κύματα επιφανείας και χώρου, ο δέκτης λαμβάνει και τα λεγόμενα “παράσιτα”, δηλαδή ανεπιθύμητες ηλεκτρομαγνητικές διαταραχές, που προέρχονται είτε από ηλεκτρικές διαταραχές της ατμόσφαιρας (ατμοσφαιρικά παράσιτα), είτε από διάφορες ηλεκτρικές συσκευές που λειτουργούν (βιομηχανικά παράσιτα). Η εκπομπή των βιομηχανικών παρασίτων μπορεί να ελαττωθεί με κατάλληλες αντιπαρασιτικές διατάξεις που εφαρμόζονται στις συσκευές που τα παράγουν. Επιπλέον, επειδή τα κύματα επιφανείας εισχωρούν μέσα στη Γη, είναι δυνατή η λήψη τους και κάτω από την επιφάνεια του εδάφους. Σε ξηρό έδαφος η λήψη είναι δυνατή σε βάθος 100 m και πάνω, ενώ μέσα στη θάλασσα περιορίζεται σε βάθος 1m (για μήκος κύματος 300 m).

Εμβέλεια ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων: Οι συνθήκες μεταδόσεως μιας ραδιοφωνικής εκπομπής εξαρτώνται πολύ από το χρησιμοποιούμενο μήκος κύματος επομένως τα κύματα που χρησιμοποιούνται στις τηλεπικοινωνία χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

α) Τα μακρά κύματα ($\lambda > 600$ m) παρουσιάζουν μικρή απορρόφηση ως κύματα επιφανείας και είναι κατάλληλα για μετάδοση σε μεγάλες αποστάσεις.

β) Τα μεσαία κύματα ($100 \text{ m} < \lambda < 600$ m) ($\lambda = 200-600$ m ή $\nu = 1,5-0,5$ MHz) παρουσιάζουν μεγαλύτερη απορρόφηση ως κύματα επιφανείας αλλά ως κύματα χώρου ανακλώνται στην ιονόσφαιρα και φτάνουν σε μεγάλες αποστάσεις από τον πομπό.

Χρησιμοποιούνται κυρίως για τη μετάδοση ραδιοφωνικών προγραμμάτων για σχετικά μικρές αποστάσεις όπως για παράδειγμα μέσα σε μια επικράτεια και αυτό λόγω της εξασθένησής τους. Σε μεγαλύτερες αποστάσεις επέρχονται διαλείψεις λόγω συμβολής με κύματα χώρου.

γ) Τα βραχέα κύματα ($10 \text{ m} < \lambda < 100$ m) ($\lambda = 18-50$ m $\nu = 6-16$ MHz) παρουσιάζουν πολύ μεγάλη απορρόφηση ως κύματα επιφανείας ώστε να εκλείψουν τελείως μέσα σε μερικές δεκάδες χιλιόμετρα αλλά ως κύματα χώρου μπορούν να πάθουν διαδοχικές ανακλάσεις πάνω στην ιονόσφαιρα και στο έδαφος και να φτάσουν σε μεγάλες αποστάσεις χωρίς αισθητή εξασθένηση.

δ) Τα υπερβραχέα κύματα ($1 \text{ m} < \lambda < 10$ m) ($\lambda < 10$ m ή $\nu > 30$ MHz) δεν ανακλώνται στην ιονόσφαιρα αλλά περνούν μέσα από αυτή και βγαίνουν στο αστρικό διάστημα. Οπότε για τη μετάδοση χρησιμοποιούμε μόνο τα κύματα επιφανείας που έχουν πολύ μικρή εμβέλεια. Δια δίδονται ευθύγραμμο, όπως το φως, και για αυτό ο δέκτης πρέπει να βρίσκεται στον οπτικό ορίζοντα του πομπού. Η εμβέλειά τους εξαρτάται από το ύψος στο οποίο βρίσκεται η κεραία πάνω από το έδαφος (60 Km για ύψος 100 m).

Χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση τηλεοπτικών προγραμμάτων στις περιοχές VHF (Very High Frequency) σε διαύλους 47-68 MHz και 174-230 MHz. Άλλοι σταθμοί εκπέμπουν σε ακόμη υψηλότερες τις UHF (Ultra High Frequency) από 470-960 MHz. Για αστική χρήση (C.B. = Citizen's Band) διατίθεται η ζώνη συχνοτήτων άνω των 27 MHz, ενώ για τη ναυτιλία, την αστυνομία, την αεροπλοΐα και το στρατό, ειδικές ζώνες.

ε) Τα μικροκύματα ($0,1 \text{ m} < \lambda < 1$ m) $\nu > 300$ MHz περνούν από την ιονόσφαιρα και βγαίνουν στο αστρικό διάστημα. Μπορούν να αποτελέσουν κατευθυνόμενη δέσμη όπως οι φωτεινές ακτίνες. Χρησιμοποιούνται στα ραντάρ και τη ραδιοτηλεφωνία.

| Όνομα | Μεσαία | Βραχεία | Υπερβραχεία | | Μικροκύματα |
|-----------------|-------------------|----------------------------|--|-------------------------------------|---|
| Μήκος κύματος λ | εκατοντάδες μέτρα | δεκάδες μέτρα | μέτρα | δεκατόμετρα | εκατοστόμετρα |
| Συχνότητα ν | 500-1500 KHz | 6-25 MHz | VHF 30-300 MHz | UHF 470-960 MHz | UHF 4-6 GHz |
| Χρήση | Ραδιοφωνία AM | Διηπειρωτική Ραδιοφωνία AM | <ul style="list-style-type: none"> Ραδιοφωνία AM (Ζώνη II) Τηλεόραση Δίαυλοι 5-11 (Ζώνη III) | Τηλεόραση Δίαυλοι 21-60 (Ζώνη IV&V) | Υπεραστική τηλεφωνία και δορυφορικές επικοινωνίες |

Σχήμα-11: Περιοχές ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων και χρήσεις τους.

Αναμετάδοση των κυμάτων και διαστημικές τηλεπικοινωνίες: Επειδή τα υπερβραχεία και τα μικροκύματα διαδίδονται ευθύγραμμα και εμποδίζονται από τα βουνά και την καμπυλότητα της Γης για να φτάσουν σε μεγάλες αποστάσεις, χρησιμοποιούνται σταθμοί αναμετάδοσης με τέτοιο τρόπο ώστε ο ένας σταθμός να αντικρύζει τον άλλο. Κάθε τέτοιος σταθμός έχει δέκτη, ενισχυτή και πομπό που τα ξαναεκπέμπει προς συγκεκριμένη κατεύθυνση. Τα ερτζιανά κύματα με μικρό μήκος κύματος μεταδίδονται σε μεγάλες αποστάσεις με τη βοήθεια ειδικών τεχνητών δορυφόρων, των τηλεπικοινωνιακών, που περιφέρονται γύρω από τη Γη σε ύψη που κυμαίνονται από 10.000 - 36.000 Km. Έχουν δέκτη, ενισχυτή και πομπό και λειτουργούν με συσσωρευτές που φορτίζονται με το ηλεκτρικό ρεύμα που παράγεται από πολλές φωτοστήλες οι οποίες μετατρέπουν την ηλιακή ενέργεια σε ηλεκτρική. Τα ερτζιανά κύματα που εκπέμπονται από την επιφάνεια της Γης ξαναγυρίζουν αφού έχουν διανύσει μεγάλες αποστάσεις έξω από την ατμόσφαιρα στο αστρικό διάστημα (διαστημικές τηλεπικοινωνίες).

1.2.3.2 Αναλογικό - Ψηφιακό σήμα

Τα σήματα πληροφορίας διακρίνονται σε αναλογικά και ψηφιακά. Οποιοδήποτε σήμα δεν είναι δυνατόν να διαδοθεί από οποιοδήποτε μέσο επικοινωνίας γιατί πρέπει το μέσο να είναι προσαρμοσμένο, στις χρονικές μεταβολές του. Έτσι, το σήμα πρέπει να αλλάξει χαρακτηριστικά (είδος, πλάτος, συχνότητα, κ.λ.π.), κάθε φορά που θα μεταδοθεί από διαφορετικό μέσο. Η διαδικασία επεξεργασίας του σήματος της πληροφορίας που το καθιστά ικανό να μεταδοθεί ονομάζεται **διαμόρφωση**. Το **διαμορφωμένο σήμα** είναι αυτό που τελικά μεταδίδεται και έχει αναλογική **φορέας (carrier)** ή ψηφιακή μορφή. Γενικά έχουμε τις εξής περιπτώσεις:

- αναλογικό σήμα \longrightarrow αναλογική μετάδοση (αναλογικός φορέας)
- ψηφιακό σήμα \longrightarrow αναλογική μετάδοση (αναλογικός φορέας)
- ψηφιακό σήμα \longrightarrow ψηφιακή μετάδοση και
- αναλογικό σήμα \longrightarrow ψηφιακή μετάδοση

1) Το αναλογικό σήμα πληροφορίας διαμορφώνεται και μετατρέπεται στον φορέα που δίνεται από σχέση της μορφής

$$S(t) = A \cdot \text{συν}(\omega t + \phi)$$

όπου A το πλάτος, $\omega = 2\pi f$ με f την συχνότητα του S(t) και φ η φάση.

Όταν ο φορέας φτάσει στον προορισμό του αποδιαμορφώνεται στο αρχικό σήμα πληροφορίας. Έχουμε έτσι μια από τις ακόλουθες περιπτώσεις:

- Διαμόρφωση πλάτους (AM- Amplitude Modulation)
- Διαμόρφωση συχνότητας (FM-Frequency Modulation) ή
- Διαμόρφωση φάσης (PM-Phase Modulation)

2) Τα ψηφιακά σήματα διαμορφώνονται με αντίστοιχες τεχνικές:

- Ψηφιακή διαμόρφωση πλάτους (ASK- Amplitude Shift Keying)
- Ψηφιακή διαμόρφωση συχνότητας (FSK-Frequency Shift Keying) ή την FSK με συνέχεια φάσης (CPFSK- CONTINUOUS Phase FSK)
- Ψηφιακή διαμόρφωση φάσης (PSK-Phase Shift Keying) ή την BPSK-Binary PSK ή την PSK 4αρων φάσεων (QPSK-Quad PSK) ή την PSK 8 φάσεων (8PSK) ή την διαφορική διαμόρφωση φάσης (DPSK-Differential PSK)
- QAM-Quadrature Amplitude Modulation
- TCM-Trellis Code Modulation

3) Και για αυτή την περίπτωση υπάρχουν πολλές μέθοδοι διαμόρφωσης όπως η Non Return to Zero (NRZ) και η Return to Zero (RZ).

4) Για να, θα πρέπει να μετατραπεί σε σήμα διακριτό ως προς το χρόνο. Η ψηφιακή μετάδοση είναι ουσιαστικά η μεταφορά ψηφιακών παλμών. Ως διαμόρφωση παλμών ονομάζουμε τη διαμόρφωση, όπου το σήμα φορέας είναι ακολουθία παλμών και το σήμα πληροφορίας διαμορφώνει κάποιο από τα χαρακτηριστικά των παλμών όπως το πλάτος, τη διάρκεια, τη θέση

Υπάρχουν αρκετές κατηγορίες διαμόρφωσης παλμών:

- Διαμόρφωση διάρκειας παλμών PWM-Pulse Width Modulation/PDM PulseDuration Modulation/PLM- Pulse Length Modulation
- Διαμόρφωση θέσης παλμών PPM-Pulse Position Modulation
- Διαμόρφωση εύρους παλμών PAM-Pulse Amplitude Modulation
- Παλμοκωδική διαμόρφωση PCM-Pulse Code Modulation
- Διαμόρφωση δέλτα Delta Modulation

Η μετατροπή αναλογικού σε ψηφιακό πραγματοποιείται με τη διαδικασία της δειγματοληψίας (sampling) κατά την οποία από ένα αναλογικό σήμα λαμβάνεται ένας πεπερασμένος αριθμός τιμών του (δείγματα).

Θεώρημα δειγματοληψίας (Nyquist): *Ας υποθέσουμε ότι έχουμε ένα αναλογικό σήμα πληροφορίας $S(t)$ περιορισμένης ζώνης συχνοτήτων και ότι f_{max} είναι η μεγαλύτερη συχνότητα που περιέχει. Αν πάρουμε δείγματα του πλάτους του σήματος σε κανονικά χρονικά διαστήματα με ρυθμό δειγματοληψίας μεγαλύτερο από $2f_{max}$, τα δείγματα αυτά περιέχουν όλη την πληροφορία του αρχικού αναλογικού σήματος $S(t)$.*

Έτσι κάθε αναλογικό σήμα μετατρέπεται σε ψηφιακό και με κατάλληλη επεξεργασία των δειγμάτων ξαναδημιουργείται το αρχικό σήμα.

1.2.3.3 Χαρακτηριστικά

Τα αναλογικά σήματα έχουν πολλές συνιστώσες συχνότητας, τις οποίες το κανάλι δε μεταδίδει ομοιόμορφα, με αποτέλεσμα το σήμα να παραμορφώνεται. Επίσης σε κάθε κανάλι το αναλογικό σήμα εξασθενεί καθώς ταξιδεύει και συμπαρασύρει ανεπιθύμητα σήματα (θόρυβος). Όσο μεγαλώνει η απόσταση, τόσο μεγαλώνει και ο θόρυβος.

Οι ψηφιακές επικοινωνίες επιτυγχάνουν την αποκατάσταση του εξασθενημένου και παραμορφωμένου σήματος απορρίπτοντας ταυτόχρονα το θόρυβο και την παραμόρφωση. Αυτό οφείλεται στο ότι στην ψηφιακή κωδικοποίηση υπάρχει ένα

περιορισμένο και καλά καθορισμένο σύνολο χαρακτήρων (συνήθως δύο μόνο, το 0 και 1). Έτσι, μπορούμε να ανιχνεύσουμε ένα ισχυρά παραμορφωμένο σήμα, αρκεί να μπορούμε να αναγνωρίσουμε εάν έχει σταλεί 0 ή 1.

1.2.3.4 Σύγκριση

Τα σύγχρονα ηλεκτρονικά επιτρέπουν στα αναλογικά σήματα να εκφραστούν σαν ακολουθίες αριθμών, δηλαδή ψηφιακά σήματα που μπορούν να μεταδοθούν αποφεύγοντας την υποβάθμιση που υφίστανται τα αναλογικά σήματα.

Επιπλέον η ψηφιακή μετάδοση είναι φθηνότερη, διότι είναι εύκολο να κατασκευαστούν διατάξεις οι οποίες πρέπει να αποφασίζουν για δύο καταστάσεις παρά διατάξεις ακριβείας που χειρίζονται σήματα με μεγάλο εύρος τιμών. Όμως, η ψηφιακή μετάδοση απαιτεί κανάλια επικοινωνίας μεγαλύτερου εύρους ζώνης σε σχέση με ένα αναλογικό σήμα. Επίσης, επιβαρύνονται ο πομπός και ο δέκτης για τις μετατροπές από αναλογικό σε ψηφιακό και από ψηφιακό σε αναλογικό.

Τα αναλογικά σήματα επηρεάζονται από κάθε θόρυβο που μεταβάλλει το πλάτος, τη συχνότητα ή τη φάση τους σε αντίθεση με τα ψηφιακά συστήματα που η ευαισθησία είναι μικρή. Τέλος σημαντική είναι η ευκολία επεξεργασίας των ψηφιακών σημάτων με τη σημερινή τεχνολογία. Ανεξάρτητα με τα επιμέρους αρνητικά και θετικά κυριαρχεί η τάση μετατροπής όλων των σημάτων σε ψηφιακά γιατί αποτελούν την καλύτερη λύση.

1.2.3.5 Μετασχηματισμός Fourier

Είναι πειραματικό δοσμένο ότι για πολλά είδη κυμάτων δύο ή περισσότερα μπορούν να διαδοθούν στον ίδιο χώρο ανεξάρτητα το ένα από το άλλο. Αυτό σημαίνει ότι η απομάκρυνση σε δοσμένο χρόνο είναι το άθροισμα των απομακρύνσεων που θα προκαλούσαν τα ξεχωριστά κύματα από μόνα τους. Η διαδικασία αυτή λέγεται επαλληλία. Για παράδειγμα, μέσα από μια κεραία ραδιοφώνου περνούν ραδιοκύματα πολλών συχνοτήτων και τα ηλεκτρικά ρεύματα που δημιουργεί στην κεραία η δράση όλων αυτών των κυμάτων είναι πολύ πολύπλοκα. Όμως μπορούμε να πιάνουμε ένα συγκεκριμένο σταθμό και μάλιστα το σήμα είναι το ίδιο με εκείνο που θα παίρναμε αν όλοι οι άλλοι σταθμοί σταματούσαν να εκπέμπουν. Όμοια μπορούμε να ακούμε νότες που προέρχονται από διαφορετικά μουσικά όργανα μιας ορχήστρας παρά το γεγονός ότι το ηχητικό κύμα που καταλήγει στα αυτιά μας από όλη την ορχήστρα είναι σύνθετο.

Για τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα η αρχή της επαλληλίας ισχύει γιατί οι μαθηματικές σχέσεις μεταξύ ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου είναι γραμμικές. Η φυσική σημασία της αρχής της επαλληλίας είναι η δυνατότητα να αναλύσουμε μια σύνθετη κυματική κίνηση σε άθροισμα απλών κυμάτων.

Ο Γάλλος μαθηματικός Fourier (1768-1830), έδειξε ότι για να δημιουργήσουμε τη γενική μορφή ενός περιοδικού κύματος χρειαζόμαστε απλά αρμονικά κύματα

$$y(t) = A_0 + A_1 \eta\mu(\omega t) + A_2 \eta\mu(\omega t) + A_3 \eta\mu(\omega t) + \dots + B_1 \sigma\upsilon\nu(\omega t) + B_2 \sigma\upsilon\nu(\omega t) + B_3 \sigma\upsilon\nu(\omega t) + \dots$$

Το άθροισμα αυτό λέγεται σειρά Fourier. Τα A και B είναι σταθερές με ορισμένες τιμές για οποιαδήποτε συγκεκριμένη περιοδική κίνηση y(t). Αν η κίνηση δεν είναι περιοδική, όπως ο παλμός, το άθροισμα αντικαθίσταται από ένα ολοκλήρωμα που λέγεται ολοκλήρωμα Fourier.

1.2.4 Η έννοια της κωδικοποίησης

Η κωδικοποίηση είναι μία από τις σημαντικότερες διαδικασίες, προκειμένου αναλογικά σήματα να μετατραπούν σε ψηφιακά και τα ψηφιακά να μετατραπούν σεκατάλληλη μορφή μετάδοσης μέσα από τα διάφορα φυσικά μέσα. Έχουμε δύο

βασικά είδη κωδικοποίησης, την κωδικοποίηση πηγής και την κωδικοποίηση καναλιού.

1.2.4.1 Κωδικοποίηση πηγής

Οι Η/Υ αναγνωρίζουν μόνο ψηφιακά σήματα και για να διαχειριστούν τα αναλογικά σήματα πρέπει να αναπαρασταθούν με ψηφιακό τρόπο.

Κωδικοποίηση πηγής είναι η διαδικασία κατά την οποία σε κάθε σύμβολο, γράμμα ή αριθμό αντιστοιχίζεται κατά μοναδικό τρόπο μία συγκεκριμένη δυαδική λέξη και επιτυγχάνεται με τη χρήση πινάκων αντιστοιχίας των διαφόρων χαρακτήρων με σειρές από bit που περιγράφουν τους **κώδικες**.

Βασικό χαρακτηριστικό κάθε κώδικα είναι ο αριθμός των bits που χρησιμοποιεί για να παραστήσει το κάθε σύμβολο. Αν ένας κώδικας χρησιμοποιεί μ αριθμό bits, ο αριθμός των δυνατών συνδυασμών δηλαδή των συμβόλων που μπορεί να περιγράψει με αυτά θα είναι ίσος με 2^μ . Αν ένας κώδικας έχει ως στόχο την κωδικοποίηση N διαφορετικών συμβόλων, τότε ο αριθμός μ των bits που θα πρέπει να χρησιμοποιήσει θα δίνεται από τη σχέση:

$$2^{\mu-1} < N \leq 2^\mu$$

Όσο λιγότερα bits χρησιμοποιεί ένας κώδικας, τόσο καλύτερα είναι ως προς την ταχύτητα μετάδοσης συμβόλων.

Από τους πιο γνωστούς κώδικες που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι ο **ASCII - American Standard Code for Information Interchange**. Χρησιμοποιεί 7 bits και έχει δυνατότητα για κωδικοποίηση 128 χαρακτήρων. Ένας άλλος κώδικας είναι ο **ΕΛΟΤ 928**, που ονομάστηκε έτσι από τον **Ελληνικό Οργανισμό Τυποποίησης** και αποτελεί επέκταση του ASCII με τα ελληνικά κεφαλαία και μικρά γράμματα και ειδικούς χαρακτήρες της ελληνικής γλώσσας. Χρησιμοποιεί 8 bits, δηλαδή έχει 256 δυνατούς συνδυασμούς και έχει υιοθετηθεί και από τον ISO (International Standardization Organization). Τέλος άλλος γνωστός κώδικας είναι ο **EBCDIC-Extended Binary Coded Decimal Interchange Code**. Είναι κώδικας 8 bit με 256 διαφορετικούς συνδυασμούς και περιλαμβάνει γραφικά σύμβολα, χαρακτήρες ελέγχου και χαρακτήρες άλλων γλωσσών. Όμως υστερεί σε επικοινωνίες data γιατί δεν περιέχει parity bit που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο σφαλμάτων με αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται μόνο σε περιπτώσεις άλλης εφαρμογής άλλης μεθόδου ανίχνευσης σφαλμάτων.

1.2.4.2 Κωδικοποίηση καναλιού

Ο πιο απλός τρόπος για να παρουσιάσει κανείς δυαδική πληροφορία είναι να χρησιμοποιήσει μία συγκεκριμένη τάση για να απεικονίσει το 1 και τη μηδενική τάση για να απεικονίσει το 0. Η μορφή αυτή ονομάζεται **απλή δυαδική (pure binary)** κωδικοποίηση και είναι απόλυτα ικανοποιητική, όταν χρησιμοποιείται σε τερματικές συσκευές ή άλλα συστήματα. Παρουσιάζει προβλήματα όταν χρησιμοποιείται για τη μετάδοση της πληροφορίας σε απόσταση που ξεπερνά τις μερικές δεκάδες μέτρα. Το κενό αυτό καλύπτεται από ένα μεγάλο αριθμό κωδικών καναλιού. **Κώδικας καναλιού** ή **κώδικες γραμμής (line code)** είναι κάθε μέθοδο κωδικοποίησης ψηφιακής πληροφορίας που διευκολύνει τη μετάδοσή της μέσα από αναλογικά και ψηφιακά μέσα μετάδοσης. Οι λόγοι που κάνουν απαραίτητη την ύπαρξη των κωδικών καναλιού είναι οι παρακάτω:

- Είναι απαραίτητο να αφαιρείται από το αποστελλόμενο σήμα η συνεχής συνιστώσα τάσης που μπορεί αυτό να έχει, λόγω του ότι το μέσο μετάδοσης δεν μπορεί να τη μεταδώσει.
- Η ανάγκη να είναι ενήμερος ο δέκτης για τη χρονική στιγμή που ξεκινάει η μετάδοση και τη διάρκειά της.

- Η ανάγκη βέλτιστης χρήσης του εύρους ζώνης του συγκεκριμένου καναλιού επικοινωνίας. Η ανάγκη ύπαρξης τρόπου εντοπισμού και διόρθωσης λαθών (error detection and error correction) που παρουσιάζονται κατά τη μετάδοση της πληροφορίας.
- Η ανάγκη μείωσης της παραμόρφωσης και
- Η μείωση της πιθανότητας παρουσίασης διαφωνίας (crosstalk).

Τόσο η παραμόρφωση όσο και η διαφωνία σχετίζονται με το εύρος ζώνης συχνοτήτων του μεταδιδόμενου σήματος (§ 4.2). Έτσι οι κώδικες γραμμής περιορίζουν το χρησιμοποιούμενο φάσμα συχνοτήτων από το μεταδιδόμενο σήμα

1.3 Τηλεπικοινωνίες και Τεχνολογία

Η εξέλιξη των επικοινωνιών υπήρξε θεαματική ιδιαίτερα από το Β' Παγκόσμιο πόλεμο και μετά και ο λόγος ήταν η εξέλιξη της Ηλεκτρονικής η οποία σήμερα έχει αλλάξει τελείως φυσιογνωμία σε σχέση με 50 χρόνια πριν. Από τα φαινόμενα αγωγιμότητας στο κενό, στα αέρια ή στους ημιαγωγούς φτάσαμε σε τεχνικές που χρησιμοποιούν μεταβολές φυσικών μεγεθών για να διαβιβάσουν, να λάβουν, και να επεξεργαστούν μια πληροφορία (ηλεκτρομαγνητικά πεδία, φωτεινά σήματα (φωτόνια), ηλεκτρικό ρεύμα). Όλα τα επιτεύγματα τελευταίας τεχνολογίας βασίζονται σε:

- Ολοκληρωμένα κυκλώματα ημιαγωγών
- Μικροκυματικές διατάξεις
- Οπτικοηλεκτρονικές διατάξεις

Στην 3η Ενότητα θα παρουσιαστούν αναλυτικά τα εξής ζητήματα:

- ✓ Ολοκληρωμένα κυκλώματα τεχνολογία Si
- ✓ Μικροκυματικά κυκλώματα
- ✓ Οπτικά ολοκληρωμένα κυκλώματα – Οπτικοηλεκτρονική

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΣΤΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ

2.1 Η μετάδοση της πληροφορίας στα τηλεπικοινωνιακά συστήματα

2.1.1 Βασικές έννοιες

Στις επόμενες υποπαραγράφους θα ασχοληθούμε αναλυτικά με τα βασικά στοιχεία μετάδοσης δεδομένων (data). Συγκεκριμένα θα αναφερθούμε στους τύπους προώθησης τους και τις μορφές μετάδοσης, τους τρόπους επικοινωνίας και σύνδεσης καθώς και σε βασικά στοιχεία για το μέσο μετάδοσης, δηλαδή το κανάλι επικοινωνίας.

Αρχικά όμως θα γίνει μια μικρή αναφορά στις αρχιτεκτονικές των δικτύων. Από πλευράς γεωγραφικής διάταξης των τερματικών τους, μπορούμε να διαχωρίσουμε τα δίκτυα σε τρεις κύριες κατηγορίες: ευρείας περιοχής, τοπικά και αστικά.

2.1.1.1 Δίκτυα Ευρείας Περιοχής - Wide Area Network – WAN

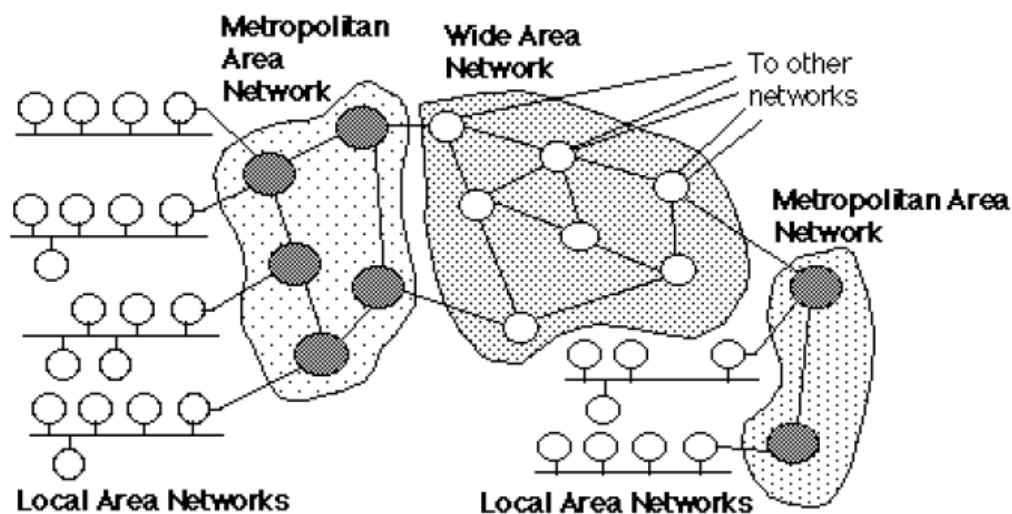
Τα δίκτυα της κατηγορίας αυτής καλύπτουν μεγάλες γεωγραφικές εκτάσεις ξεφεύγοντας από τα στενά όρια μιας πόλης, επεκτείνονται σε ολόκληρη την έκταση μιας χώρας και πολλές φορές καλύπτουν και μεγάλο αριθμό διαφορετικών χωρών. Πρόκειται στην πράξη για την παλαιότερη μορφή δικτύων. Χαρακτηριστικό τους είναι οι χαμηλοί ρυθμοί διάδοσης.

2.1.1.2 Τοπικά Δίκτυα - Local Area Network – LAN

Είναι τα δίκτυα που το σύνολο των στοιχείων που τα απαρτίζουν βρίσκονται στον ίδιο χώρο, όμως η έκταση που καταλαμβάνουν μπορεί να φτάνει μερικά χιλιόμετρα. Είναι υψηλής ταχύτητας και γνωρίζουν αλματώδη ανάπτυξη εξαιτίας των διευκολύνσεων που παρέχουν για παράδειγμα στα γραφεία μιας μεγάλης εταιρείας ή στους χώρους ενός Πανεπιστημίου.

2.1.1.3 Αστικά Δίκτυα - Metropolitan Area Network - MAN

Είναι νέα κατηγορία δικτύων που εμφανίστηκε από το 1990 και δεν ξεπερνούν γεωγραφικά το μέγεθος μιας πόλης. Καλύπτουν τις αυξημένες τηλεπικοινωνιακές ανάγκες μέσα σε μία πόλη, χρησιμοποιούν προηγμένες τεχνικές και μέσα και επιτυγχάνουν την κάλυψη μεγαλύτερων αποστάσεων από τα τοπικά δίκτυα και με μεγαλύτερες ταχύτητες.

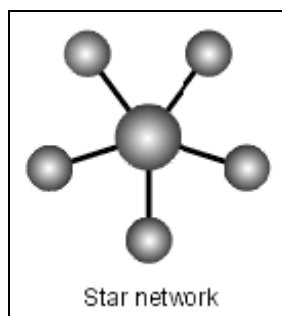


Σχήμα : WAN, LAN, MAN.

2.1.2 τοπολογίες δικτύων

2.1.2.1 Τοπολογία Αστέρα - Star

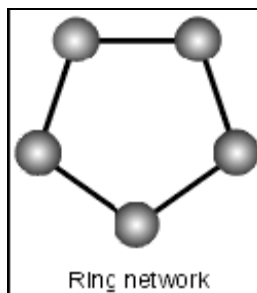
Είναι ένα δίκτυο όπου όλες οι τερματικές συσκευές συνδέονται ακτινωτά με έναν κεντρικό Η/Υ. Γενικά δίκτυα σε μορφή αστέρα χρησιμοποιούνται σε μικρές και μεσαίες εφαρμογές.



Σχήμα :Τοπολογία Αστέρα – Star.

2.1.2.2 Τοπολογία Δακτυλίου – Ring

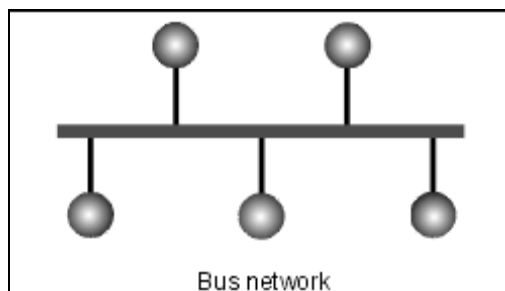
Είναι ένα δίκτυο όπου οι διάφοροι τερματικοί σταθμοί συνδέονται σε ένα κλειστό δακτύλιο μέσω κάποιου φυσικού μέσου. Η σύνδεση γίνεται με ένα τέτοιο τρόπο, που όλα τα δεδομένα ταξιδεύουν σειριακά πάνω στο δακτύλιο περνώντας διαδοχικά από όλους τους σταθμούς. Σε αυτή την περίπτωση ο κάθε τερματικός σταθμός λειτουργεί ως επαναλήπτης (repeater) με τη λογική ότι δέχεται κάποια δεδομένα, τα οποία αν δεν τον αφορούν, τα επανεκπέμπει προς τον επόμενο σταθμό στη σειρά.



Σχήμα :Τοπολογία Δακτυλίου – Ring.

2.1.2.3 Τοπολογία Αρτηρίας – Bus

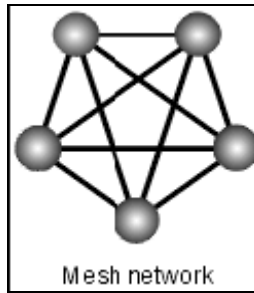
Είναι ένα δίκτυο που χρησιμοποιούν οι τερματικοί σταθμοί συνδέονται πάνω σε ένα κοινό καλώδιο το οποίο αποτελεί τη σπονδυλική στήλη του δικτύου και επιτρέπει την ανάπτυξη μεγάλων ταχυτήτων διάδοσης των δεδομένων. Οι σταθμοί εκμεταλλεύονται τον κοινό δρόμο και εισάγουν δεδομένα σε διαφορετικές χρονικές στιγμές.



Σχήμα :Τοπολογία αρτηρίας-bus.

2.1.2.4 Τοπολογία Mesh – Βρόχου

Σε ένα τέτοιο δίκτυο το κάθε τερματικό είναι συνδεδεμένο με τα άλλα με δύο τουλάχιστον δρόμους και με τέτοιο τρόπο, ώστε να δημιουργούνται βρόχοι. Χαρακτηρίζεται από την παρουσία περισσότερων από ένα δρόμους για την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ δύο σημείων σχηματίζοντας έτσι ένα πλέγμα μεταξύ των κόμβων του δικτύου.



Σχήμα :Τοπολογία mesh-βρόχου.

2.1.2.5 Τύποι μετάδοσης

Ανάλογα με την τεχνική μεταβίβασης της πληροφορίας από ένα τερματικό σημείο προς ένα άλλο έχουμε τις εξής περιπτώσεις:

- **Broadcast (ακρόαση):** Δίκτυα με κοινό μέσο επικοινωνίας, στα οποία ένας σταθμός εκπέμπει και όλοι οι τερματικοί σταθμοί λαμβάνουν το ίδιο σήμα. Τέτοια δίκτυα είναι τα ραδιοηλεκτρονικά, τα δορυφορικά και τα τοπικά (LAN).
- **Switched (μεταγωγή):** Δίκτυα που αποτελούνται από συνδεδεμένους κόμβους οι οποίοι λαμβάνουν δεδομένα εισερχόμενα στο δίκτυο από έναν τερματικό σημείο, μεταφέρονται από κόμβο σε κόμβο μέχρι το τελικό τερματικό σημείο. Υπάρχουν κόμβοι που δεν συνδέονται με τερματικό σημείο και απλά παίζουν το ρόλο του διεκπεραιωτή των δεδομένων. Υπάρχουν τρία είδη μεταγωγής: μεταγωγή κυκλώματος, μηνύματος και πακέτου που θα δούμε παρακάτω. Τέτοια δίκτυα έχουν οι τηλεπικοινωνιακές εταιρείες.
- **Networked (δικτύωση):** Δίκτυα τα οποία μεταφέρουν δεδομένα που αντιστοιχούν σε μια διεύθυνση μεταφέρονται προς μία άλλη μέσα από ένα πολύπλοκο σύστημα επιμέρους δικτύων. Ουσιαστικά συντελείται η αποκατάσταση επικοινωνίας μεταξύ δύο ακραίων τερματικών σημείων ενός μεγάλου δικτύου. Οι διαδρομές που ακολουθούνται περιλαμβάνουν φυσικές συνδέσεις και ζεύξεις δεδομένων. Παράδειγμα τέτοιου δικτύου είναι το Internet.

2.1.2.6 Μορφές μετάδοσης

Οι μορφές μετάδοσης των δεδομένων είναι οι εξής:

- **Σειριακή:** Σε αυτή τα bit των χαρακτήρων στέλνονται το ένα μετά το άλλο μέσα από ένα απλό φυσικό κανάλι μετάδοσης. Τις πιο πολλές φορές μεταδίδεται πρώτο το λιγότερο σημαντικό bit (LSB - Least Significant Bit) του χαρακτήρα και μόνο σε ορισμένες περιπτώσεις μεταδίδεται πρώτο το πιο σημαντικό bit (MSB - Most Significant Bit). Η σειριακή μετάδοση παρά το γεγονός ότι χρησιμοποιείται σε συνδέσεις μεγάλων αποστάσεων μέσω modem, η τυποποίηση και η ευρεία διάδοση της έχει ως αποτέλεσμα να χρησιμοποιείται και σε συνδέσεις μικρών αποστάσεων.
- **Παράλληλη:** Σε αυτή, όλα τα bit του χαρακτήρα στέλνονται ταυτόχρονα. Αυτό γίνεται με τη χρήση πολλαπλών καναλιών μετάδοσης τόσων όσα και τα bit του χαρακτήρα. Επιπρόσθετα, υπάρχουν και άλλα κανάλια για μεταφορά σημάτων ελέγχου επιτυχούς μετάδοσης. Τα πολλά κανάλια είναι ο λόγος που η μετάδοση αυτή χρησιμοποιείται για μικρές αποστάσεις.

2.1.2.7 Σύγκριση σειριακής και παράλληλης μετάδοσης

Η σειριακή μετάδοση είναι δημοφιλέστερη παρά τη μεγαλύτερη ταχύτητα της παράλληλης η οποία είναι πολύπλοκη και παρουσιάζει σοβαρά τεχνικά προβλήματα. Η πρώτη χρησιμοποιείται και για μικρές και για μεγάλες αποστάσεις παρά το ότι στη

δεύτερη με μεθόδους πολυπλεξίας μπορούμε να περάσουμε παράλληλα πολλά κανάλια από ένα μόνο φυσικό μέσο, για παράδειγμα μια τηλεφωνική γραμμή.

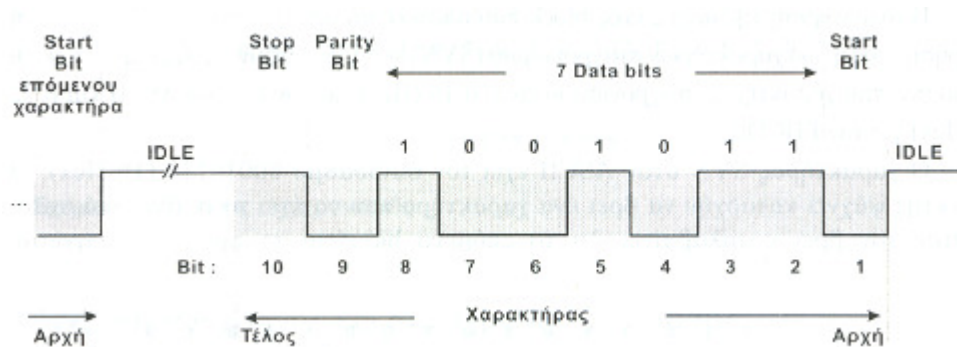
2.1.3 Συγχρονισμός

Μια μετάδοση δεδομένων για να γίνει με επιτυχία είναι πολύ βασικό στοιχείο ο πομπός να είναι συγχρονισμένος με το δέκτη. Αυτό προϋποθέτει σωστή ρύθμιση του δέκτη ώστε να ξέρει το ρυθμό μετάδοσης και τις στιγμές άφιξης των δεδομένων. Στην πραγματικότητα διαφέρουν κατά λίγο οπότε χρειάζονται κατάλληλες τεχνικές οι οποίες σχετίζονται με τον τρόπο μετάδοσης για τη διατήρηση του συγχρονισμού τους.

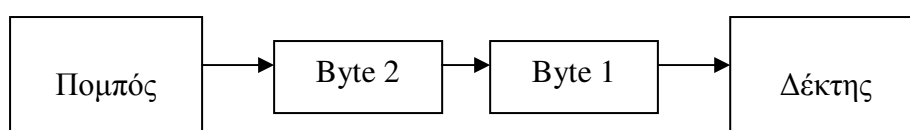
2.1.3.1 Ασύγχρονη μετάδοση

Τα δεδομένα στέλνονται με τη μορφή χαρακτήρων, αυτοί μεταδίδονται ένας-ένας εκ των οποίων κάθε ένας μεταδίδεται με μικρή χρονική απόσταση από τον επόμενο για να μπορεί ο δέκτης να τους διακρίνει. Ο δέκτης διακρίνει ένα διακριτικό start bit που υπάρχει πριν από κάθε χαρακτήρα και έχει τιμή 0 και καταλαβαίνει ότι ακολουθούν τα άλλα data bit του χαρακτήρα οπότε περιμένει να τα διαβάσει. Πριν φτάσει το start bit η γραμμή διατηρείται μόνιμα σε λογική τιμή 1 (idle). Τα bit του χαρακτήρα ακολουθούν το start bit, με πρώτο χρονικά το λιγότερο σημαντικό ψηφίο του (LSB) και τελευταίο το bit ισοτιμίας (parity) εάν υπάρχει και σχετίζεται με τον έλεγχο σφαλμάτων. Ο αριθμός των bit ανά χαρακτήρα είναι από την αρχή προσυμφωνημένος μεταξύ πομπού και δέκτη.

Μετά την μετάδοση κάθε χαρακτήρα η γραμμή επανέρχεται υποχρεωτικά στην κατάσταση της λογικής τιμής 1 (idle) για χρονικό διάστημα τουλάχιστον ενός bit που καλείται stop bit και η διάρκειά του ανάλογα με τον κώδικα και την ταχύτητα μετάδοσης είναι 1,5 ή 2 bit. Η γραμμή εξακολουθεί μετά το stop bit να παραμένει σε κατάσταση idle μέχρι την εμφάνιση του start bit του χαρακτήρα που έπεται. Η ασύγχρονη μετάδοση χρησιμοποιείται σε συνδέσεις απλών τερματικών με Η/Υ, PC με PC, στο δίκτυο telex, στη σειριακή σύνδεση υπολογιστών με εκτυπωτές και αλλού.



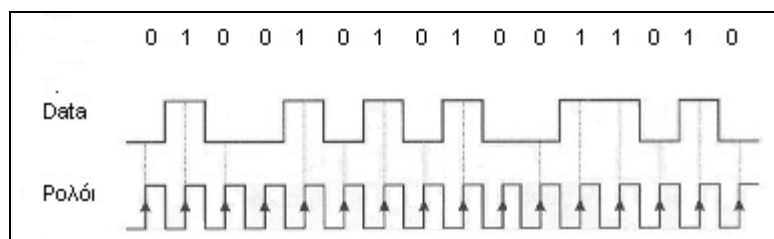
Σχήμα : Ασύγχρονη μετάδοση



Διαδικασία ασύγχρονης μετάδοσης

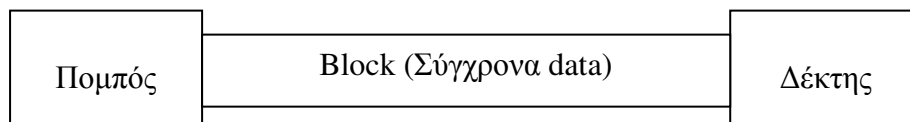
2.1.3.2 Σύγχρονη μετάδοση

Τα δεδομένα στέλνονται με τη μορφή χαρακτήρων οι οποίοι ομαδοποιούνται σε block και συνοδεύονται από ένα σήμα χρονισμού που είναι μια τετραγωνική κυματομορφή με συχνότητα ίση του ρυθμού μετάδοσης και ονομάζεται ρολόι (clock). Επίσης υπάρχει ένα ανεξάρτητο σήμα χρονισμού για την εκπομπή και ένα για τη λήψη. Τα data εκπομπής φεύγουν από τον πομπό συνοδευόμενα από το σήμα χρονισμού και φτάνουν στο δέκτη μαζί με αυτό. Κενός (idle) χρόνος ανάμεσα στο τελευταίο bit ενός χαρακτήρα και το πρώτο του επόμενου δεν υπάρχει. Είναι αναγκαία η ύπαρξη συγχρονισμού και για τη σωστή αναγνώριση των bit κατά τη μετάδοση τους από το φυσικό κανάλι αλλά και για το διαχωρισμό των χαρακτήρων μεταξύ τους. Ο δέκτης πρέπει πρώτα να αναγνωρίζει την αρχή και το τέλος κάθε block χαρακτήρων. Όταν το block αποτελείται από χαρακτήρες η αναγνώριση της αρχής του γίνεται με τη χρήση ενός ή δύο χαρακτήρων συγχρονισμού που τοποθετούνται στην αρχή του και η αναγνώριση του τέλους του από έναν χαρακτήρα που τοποθετείται στο τέλος του που λέγεται pad. Με την αναγνώριση του pad ο δέκτης αποσυγχρονίζεται μέχρι τους επόμενους χαρακτήρες συγχρονισμού οπότε και πάλι συγχρονίζεται. Στα block που αποτελούνται από bit ο συγχρονισμός γίνεται με έναν ειδικό χαρακτήρα που τοποθετείται στην αρχή κάθε block και ονομάζεται flag και είναι ο (01111110) και παρόμοια άλλων έναν στο τέλος του.



Σχήμα : Διαδικασία σύγχρονης μετάδοσης

(Πηγή: Αλεξόπουλος Α., Λαγογιάννης Γ., Τηλεπικοινωνίες και Δίκτυα Υπολογιστών 6η έκδοση 2003)



2.1.3.3 Σύγκριση των τεχνικών μετάδοσης

Η ασύγχρονη μετάδοση δεν έχει μεγάλη απόδοση γιατί εκτός από τα data bit στέλνονται επιπλέον μη πληροφοριακά bit, όπως τα start, stop και bit ισοτιμίας, έχει όμως το θετικό ότι πραγματοποιείται εύκολα με συσκευές χαμηλού κόστους, για παράδειγμα προσωπικοί υπολογιστές (PC).

Η σύγχρονη μετάδοση έχει υψηλότερη απόδοση αφού ο συγχρονισμός και ο αποσυγχρονισμός γίνεται μια φορά κατά τη διάρκεια της μετάδοσης του block και διαθέτει επιπλέον, αποδοτικότερους μηχανισμούς ελέγχου σφαλμάτων.

2.1.4 Τρόποι επικοινωνίας

Οι παρακάτω περιπτώσεις μας δείχνουν τους τρόπους που χρησιμοποιείται ένα μέσο μετάδοσης σχετικά με την κατεύθυνση της πληροφορίας.

2.1.4.1 Simplex (απλής κατεύθυνσης)

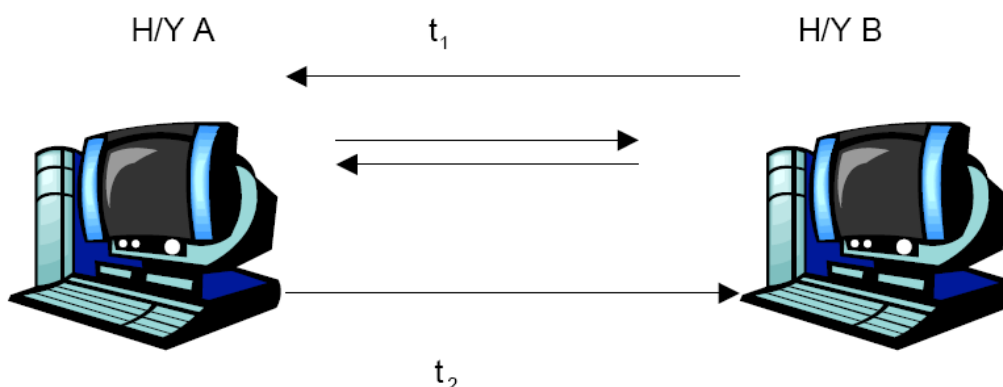
Είναι η απλούστερη μορφή κίνησης πληροφορίας όπου υπάρχει ένα κανάλι επικοινωνίας, στη μία πλευρά του οποίου ένα τερματικό σημείο αποκλειστικά εκπέμπει πληροφορία και στην άλλη πλευρά του ένα άλλο τερματικό αποκλειστικά τη λαμβάνει. Τέτοια περίπτωση είναι τα ραδιοηλεκτρονικά προγράμματα.



Σχήμα : Παράδειγμα επικοινωνίας simplex: Αποστολή data από Η/Υ σε εκτυπωτή.

2.1.4.2 Half Duplex (μη ταυτόχρονης αμφίδρομης κατεύθυνσης (HDX))

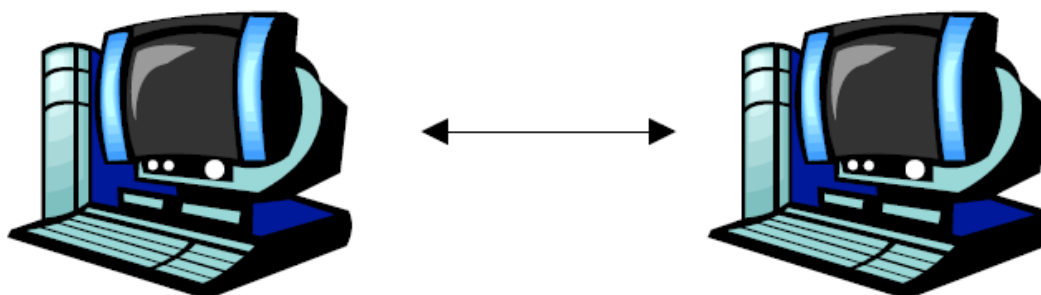
Η επικοινωνία διεξάγεται είτε προς τη μια κατεύθυνση είτε προς την άλλη αλλά όχι ταυτόχρονα. Η ροή των δεδομένων στο κανάλι επικοινωνίας αλλάζει κατεύθυνση ανάλογα με το ποιος είναι κάθε φορά ο πομπός και ποιος ο δέκτης. Χρησιμοποιείται στις περιπτώσεις όπου απαιτείται εναλλαγή στην πληροφορία. Γενικά είναι διαδεδομένη στο χώρο των data communication. Επιτυγχάνεται με τη χρήση γραμμών δύο ή τεσσάρων συρμάτων. Ειδικά στις δισύρματες γραμμές παρατηρείται χρόνος καθυστέρησης κατά την αλλαγή κατεύθυνσης.



Σχήμα : Παράδειγμα επικοινωνίας Half duplex

Στο παραπάνω σχήμα η πληροφορία μεταφέρεται από το τερματικό A στο B σε χρόνο t_1 , ενώ από το τερματικό B στο A σε χρόνο $t_2 \neq t_1$.

2.1.4.3 Full Duplex (Ταυτόχρονης αμφίδρομης κατεύθυνσης (FDX))



Σχήμα : Παράδειγμα επικοινωνίας Full duplex

Η επικοινωνία διεξάγεται και προς τις δύο κατευθύνσεις ταυτόχρονα. Οι πομπό και οι

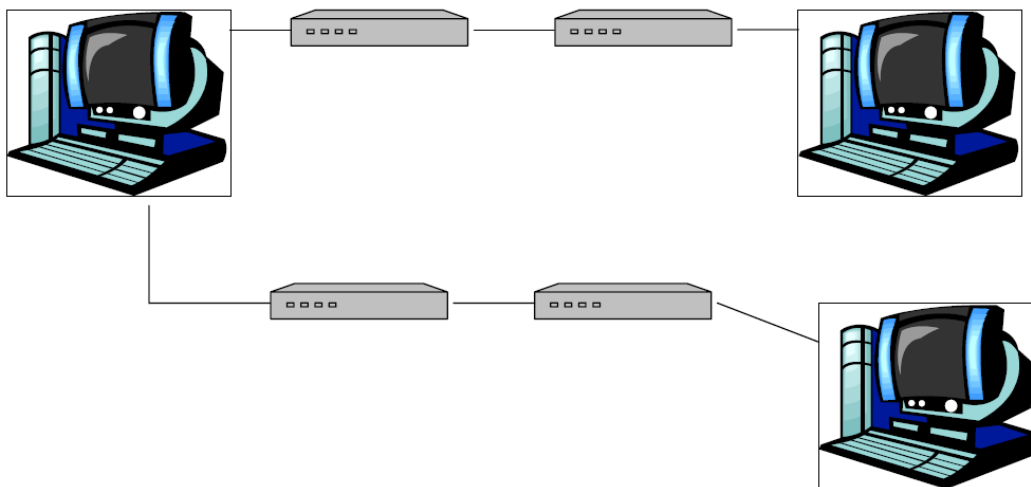
δέκτες στις δύο πλευρές του καναλιού επικοινωνίας λειτουργούν παράλληλα και για την υλοποίησή της ενώ χρειάζονται γραμμές τεσσάρων συρμάτων, νέες τεχνικές επιτρέπουν και δισύρματες γραμμές. Επίσης, χρόνος καθυστέρησης δεν υπάρχει.

2.1.5 Τρόποι σύνδεσης

Η σύνδεση, από τεχνικής πλευράς, ανάμεσα σε δύο τερματικά σημεία μπορεί να είναι:

2.1.5.1 Point to Point

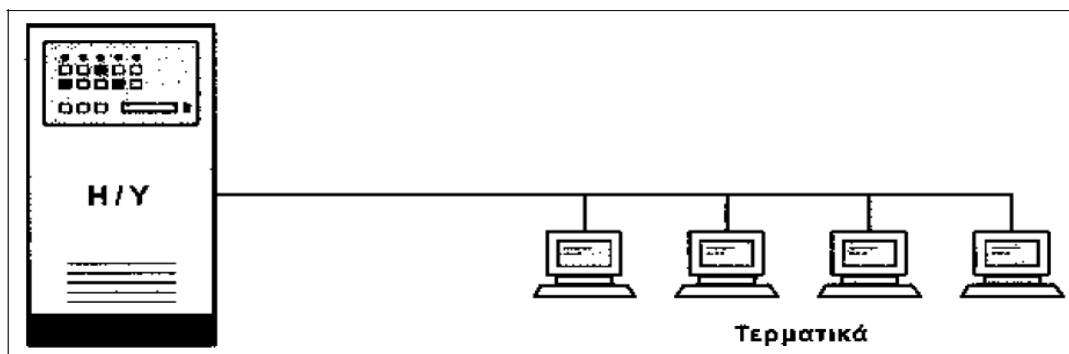
Αποτελεί την πρώτη μέθοδο που εφαρμόστηκε. Είναι η απλούστερη απευθείας σύνδεση μεταξύ δύο τερματικών σημείων και επιτυγχάνεται με δισύρματες ή τετρασύρματες γραμμές, ενώ η επικοινωνία μπορεί να είναι είτε half είτε full duplex. Με τον τρόπο αυτό γίνεται πλήρως εκμεταλλεύσιμη η χωρητικότητα του καναλιού.



Σχήμα :Point to Point συνδέσεις

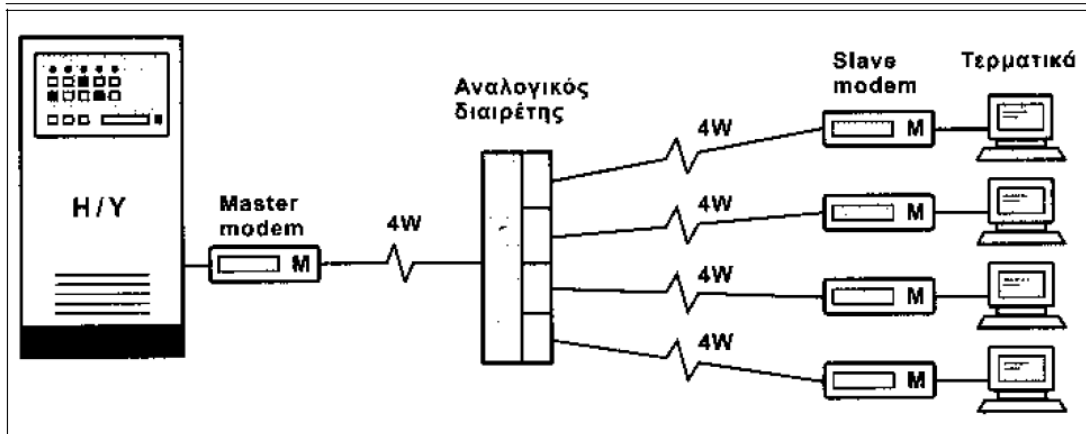
2.1.5.2 Point to Multipoint

Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται για να συνδέσει ένα τερματικό με πολλά άλλα χωρίς να χρειάζεται να κάνουμε πολλαπλές point to point συνδέσεις. Και απαιτούνται ειδικά πρωτόκολλα και έξυπνα τερματικά. Στην πράξη η point to multipoint σύνδεση μπορεί να γίνει είτε στο αναλογικό, είτε στο ψηφιακό τμήμα της γραμμής και επιτυγχάνεται με αναλογικό ή ψηφιακό διαιρέτη αντίστοιχα (σχήματα).

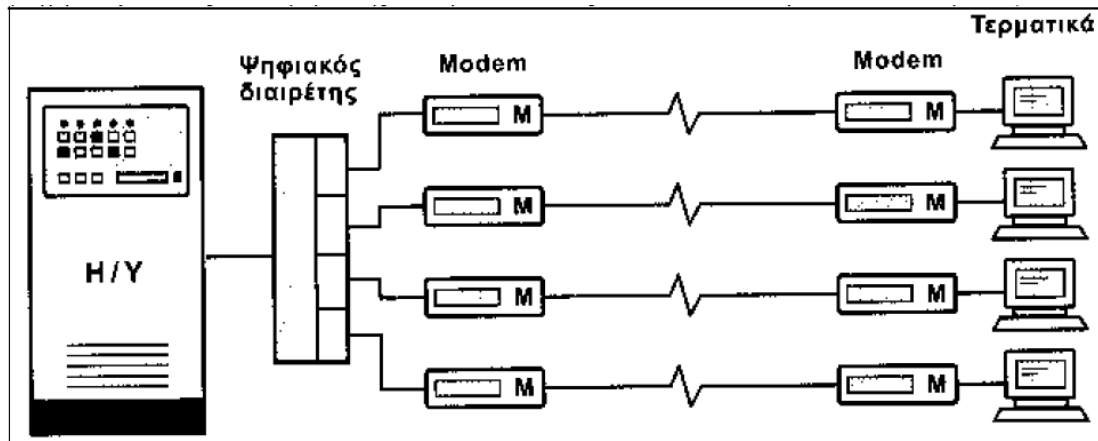


Σχήμα : Point to Multipoint σύνδεση

(Πηγή:Αλεξόπουλος Α., Λαγογιάννης Γ., Τηλεπικοινωνίες και Δίκτυα Υπολογιστών 6η έκδοση 2003)



Σχήμα : Point to Multipoint σύνδεση-αναλογική διακλάδωση
(Πηγή:Αλεξόπουλος Α., Λαγογιάννης Γ., Τηλεπικοινωνίες και Δίκτυα Υπολογιστών6η έκδοση 2003)



Σχήμα : Point to Multipoint σύνδεση-ψηφιακή διακλάδωση

2.1.6 Πολυπλεξία (Multiplexing)

Η τεχνική αυτή μας επιτρέπει να έχουμε πολλά σήματα σε μια γραμμή. Τα είδη πολυπλεξίας είναι:

- πολυπλεξία κώδικα - CDM (Code Division Multiplexing)
- πολυπλεξία μήκους κύματος - WDM (Wavelength Division Multiplexing)
- πολυπλεξία χρόνου -TDM (Time Division Multiplexing)
- πολυπλεξία συχνότητας - FDM (Frequency Division Multiplexing)

Για τη πολυπλεξία θα αναφερθούμε σε άλλη παράγραφο παρακάτω.

2.1.7 Ρυθμοί μετάδοσης

Ο όρος ρυθμός μετάδοσης αντιπροσωπεύει το ρυθμό εκπομπής bit από τον πομπό. Έτσι έχουμε ρυθμό μετάδοσης δεδομένων (bit rate), ρυθμό μετάδοσης διαμορφωμένου σήματος (baud rate), ρυθμό μετάδοσης πληροφορίας (information rate) και αυτά σχετίζονται με τη λεγόμενη χωρητικότητα καναλιού (channel capacity).

2.1.7.1 Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων (bit rate)

Είναι ο ρυθμός μετάδοσης bit δεδομένων από τον πομπό και εκφράζεται σε bit ανά μονάδα χρόνου, συγκεκριμένα bit per second (bps). Στην περίπτωση σειριακής μετάδοσης ορίζεται από τη σχέση:

$$S = \frac{1}{T} \log_2 M$$

όπου S ο ρυθμός μετάδοσης bps, T η διάρκεια ενός bit του αποστελλομένου σήματος σε sec και M ο αριθμός των διαφορετικών καταστάσεων του σήματος. Για τις ψηφιακές μεταδόσεις που το σήμα έχει δύο καταστάσεις 0 και 1, $M = 2$ οπότε ο τύπος γίνεται:

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

Στην περίπτωση παράλληλης μετάδοσης όπου χρησιμοποιούνται περισσότερα από ένα κανάλια μετάδοσης, ο ρυθμός δίνεται από του τύπο:

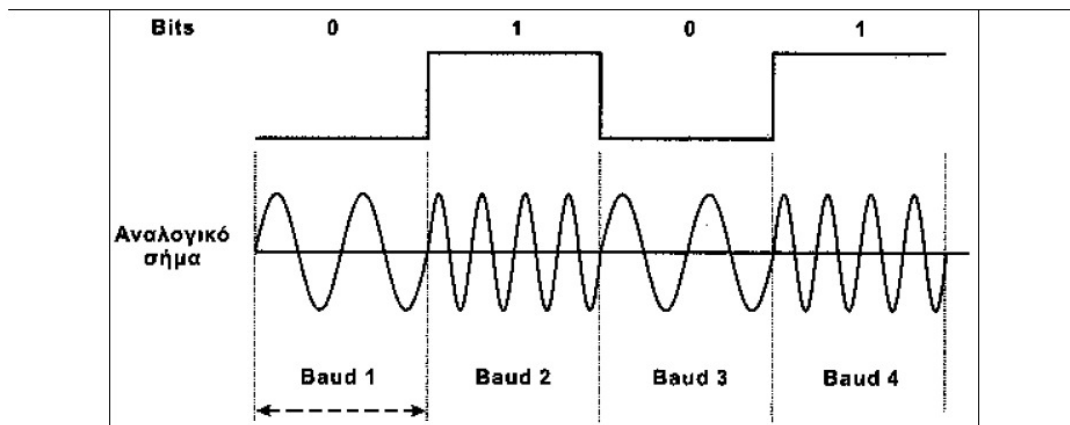
$$S = \frac{K}{T} \log_2 M$$

όπου K ο αριθμός των καναλιών που χρησιμοποιούνται, T η διάρκεια της μονάδας του διαμορφωμένου σήματος σε sec και M ο αριθμός των διαφορετικών καταστάσεων του διαμορφωμένου σήματος.

Για λόγους τυποποίησης οι τιμές ρυθμών μετάδοσης είναι 50, 75, 1200, 2400, 800, 7200, 9600, 12000, 14400, 16800, 19200, 24000, 28800, 33600, 38400 bps, 48 Kbps, 56, 64, 128 Kbps.

2.1.7.2 Ρυθμός μετάδοσης διαμορφωμένου σήματος (Baud rate)

Εκφράζει τον αριθμό των μεταβολών του διαμορφωμένου σήματος που έγιναν στη μονάδα του χρόνου και μετριέται σε baud χρησιμοποιούμενος κυρίως για μεταδόσεις μέσω modem. Ο ρυθμός μετάδοσης διαμορφωμένου σήματος δεν ταυτίζεται με το bit rate εκτός αν η τεχνική διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται αντιστοιχεί ένα bit σε κάθε μεταβολή διαμορφωμένου σήματος. Συνήθως όμως το bit rate είναι μεγαλύτερο του baud rate.



Σχήμα : baud rate και bit rate

2.1.7.3 Ρυθμός μετάδοσης πληροφορίας (Information rate)

Είναι η ταχύτητα μετάδοσης της καθαρής πληροφορίας μετρούμενη bps και αποτελεί πολύ βασική γνώση γιατί είναι αυτό που ενδιαφέρει είναι η πληροφορία χωρίς πρόσθετους συνοδευτικούς χαρακτήρες.

2.2 Μέσο μετάδοσης – κανάλι

2.2.1 Τύποι καναλιού θεωρητική προσέγγιση

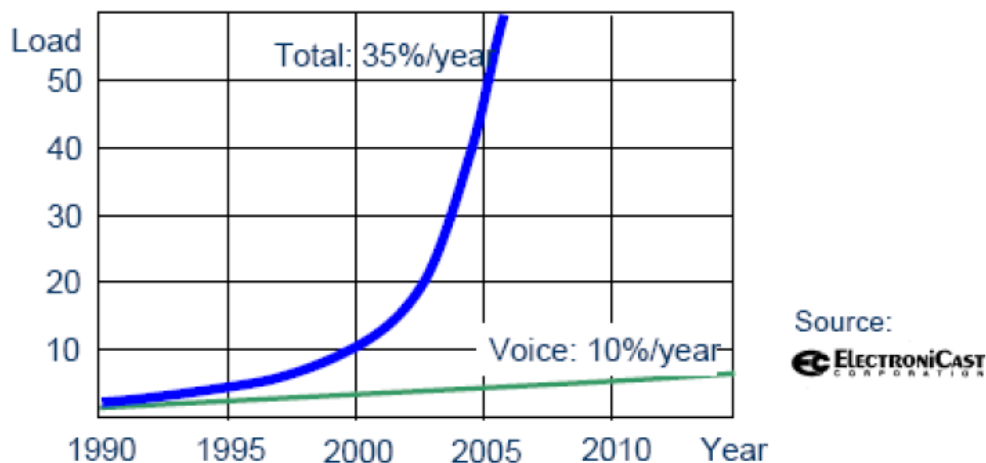
Κανάλι ή αλλιώς μέσο μετάδοσης, είναι η φυσική σύνδεση ανάμεσα σε έναν πομπό και έναν δέκτη σε οποιοδήποτε επικοινωνιακό σύστημα. Διακρίνονται σε ενσύρματα, ασύρματα και οπτικές ίνες. Παρουσιάζουν τα εξής βασικά χαρακτηριστικά:

1. Εύρος Ζώνης (bandwidth)
 2. Εξασθένιση: Είναι η απώλεια της ισχύος του σήματος κατά τη διάδοσή του.
 3. Διασπορά: Αναφέρεται στην παραμόρφωση του οπτικού παλμού ενός σήματος και οφείλεται στη διαφορετική άφιξη των συνιστωσών ενός σήματος οπτικού, στο δέκτη.
 4. Θόρυβο (noise)
 5. Διαφωνία (crosstalk): Είναι η ανεπιθύμητη επίδραση ποσοστού του σήματος μιας γραμμής σε μια άλλη γειτονική σε παράλληλη μετάδοση σήματος. Εκφράζεται με το λόγο: (κύριο σήμα γραμμής/ δημιουργημένο σήμα διπλανής γραμμής)
Θεωρείται θόρυβος.
 6. Ηχώ (echo): Είναι το φαινόμενο που παρατηρούνται ανακλάσεις και επιστροφές του σήματος σε μια τηλεφωνική γραμμή. Δημιουργείται όταν έχουμε ξαφνικές αλλαγές στην αντίσταση γραμμής.
- Όλα αυτά έχουν ως αποτέλεσμα την καθυστέρηση διάδοσης του σήματος.

2.2.2 Εύρος ζώνης – χωρητικότητα καναλιού

Με τον όρο εύρος ζώνης συχνοτήτων (bandwidth) προσδιορίζουμε το φάσμα των συχνοτήτων που μπορούν να περάσουν ανεμπόδιστα από ένα μέσο μετάδοσης σήματος. Το εύρος ζώνης επηρεάζει το ρυθμό μετάδοσης και άρα τον όγκο της μεταφερόμενης πληροφορίας.

Χωρητικότητα καναλιού (Channel capacity) είναι ο μέγιστος αριθμός συμβόλων που είναι δυνατό να μεταφερθούν μέσα από αυτό στη μονάδα του χρόνου. Μετρείται σε bit/sec.



Σχήμα : Αυξητικές τάσεις εύρους ζώνης.

Ο λόγος ορισμού της χωρητικότητας καναλιού απορρέει από το παρακάτω θεώρημα του Shannon:

Θεώρημα Shannon: Αν ο ρυθμός πληροφορίας R της πηγής είναι μικρότερος ή ίσος της χωρητικότητας C του καναλιού, δηλαδή $R \leq C$, τότε υπάρχει πάντα μία τεχνική κωδικοποίησης, ώστε να είναι δυνατή η μετάδοση πληροφορίας μέσα από το κανάλι με οποιοδήποτε μικρή πιθανότητα σφάλματος, ανεξάρτητα αν υπάρχει ή όχι θόρυβος

στο κανάλι. Αντίθετα, αν $R > C$, τότε δεν είναι δυνατή η μετάδοση μηνυμάτων χωρίς λάθη.

2.2.3 Περί Θορύβου

Θόρυβος είναι κάθε ανεπιθύμητο σήμα που επηρεάζει και παραμορφώνει το χρήσιμο πληροφορίας. Οι κυριότερες πηγές θορύβου είναι: από ακτινοβολία άλλων μέσων μετάδοσης, από κεραίες εκπομπής, από οικιακές συσκευές, από ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές, από παρεμβολές ραδιοσυχνοτήτων καθώς και από άλλες γειτονικές πηγές. Η μέτρηση του θορύβου γίνεται σε dB και έχει αξία να γίνεται στην είσοδο του δέκτη, διότι εκεί μας ενδιαφέρει η επίδραση του στο σήμα πληροφορίας.

Decibel (dB): Στις γραμμές επικοινωνίας παρατηρείται ότι η ισχύς στη λήψη ενός δέκτη διαφέρει από την ισχύ του ίδιου σήματος κατά την εκπομπή του.



Σχήμα : Λήψη και εκπομπή σήματος.

Το decibel (dB) είναι μονάδα μέτρησης του λόγου της ισχύος των σημάτων. Αν το ληφθέν σήμα έχει ισχύ P_1 και το εκπεμπόμενο P_2 τότε:

$$10 \cdot \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_2} \right)$$

και είναι σχετική μονάδα μέτρησης. Από την παραπάνω σχέση προκύπτει ότι όταν $P_2 > P_1$, ο λογάριθμος είναι θετικός εξαγόμενο του τύπου ονομάζεται ενίσχυση, ενώ αν $P_2 < P_1$, ο λογάριθμος είναι αρνητικός και το εξαγόμενο του τύπου ονομάζεται εξασθένηση.

2.2.4 Πληροφορία - εύρος ζώνης – Θόρυβος

Ο Nyquist προσδιόρισε τη χωρητικότητα:

$$C = 2 \cdot B \cdot \log_2 M$$

όπου C η χωρητικότητα του καναλιού σε bps, B το εύρος ζώνης συχνοτήτων σε Hz και M ο αριθμός των διαφορετικών καταστάσεων του σήματος. Στην πράξη υπάρχει και θόρυβος και οι Shannon, Hartley τον συμπεριέλαβαν μέσω του λόγου

$$(\text{Σήμα/θόρυβος}) = \frac{S}{N} \quad (\text{Signal to Noise Ratio, SNR})$$

στον ακόλουθο τύπο:

$$C = B \cdot \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$

όπου S η ισχύς του μεταδιδόμενου σήματος, N η ισχύς του θορύβου που υπάρχει στο κανάλι και B το εύρος ζώνης συχνοτήτων σε Hz. Παρ' όλα αυτά στην πραγματικότητα υπάρχουν και οι ατέλειες συσκευών και άλλες παραμορφώσεις. Ο λόγος S/N μετριέται σε dB.

2.3 Φυσικά μέσα μετάδοσης στα τηλεπικοινωνιακά συστήματα

Σε ένα σύστημα επικοινωνίας, ο πομπός και ο δέκτης συνδέονται με ένα φυσικό μέσο μέσα από το οποίο περνάει το σήμα. Είναι οι λεγόμενες γραμμές ή τα κανάλια επικοινωνίας. Τα μέσα μετάδοσης χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

1. ενσύρματα όπου σημαντικότερα είναι τα (συνεστραμμένα) χάλκινα και τα ομοαξονικά καλώδια
2. οπτικές ίνες και
3. ασύρματα όπου περιλαμβάνονται οι ραδιοεπικοινωνίες και οι μικροκυματικές επίγειες και δορυφορικές ζεύξεις

Τα ενσύρματα και οι οπτικές ίνες ονομάζονται και κατευθυντικά μέσα γιατί το σήμα πηγαίνει προς συγκεκριμένη κατεύθυνση, ενώ τα ασύρματα γενικά είναι μη κατευθυντικά αφού διαχέουν το σήμα προς διάφορες κατευθύνσεις.

2.3.1 Χαρακτηριστικά των μέσων μετάδοσης

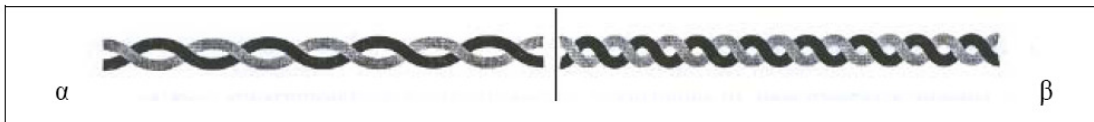
Τα μέσα μετάδοσης έχουν κάποια στοιχεία (όπως είδαμε και στην § 4.2) που τα χαρακτηρίζουν. Αυτά είναι η ασφάλεια από ανεπιθύμητες παρεμβολές και ίσως υποκλοπές, το εύρος ζώνης συχνοτήτων (bandwidth), που φανερώνει το φάσμα των συχνοτήτων που μπορούν να διέλθουν από το μέσον, και επηρεάζει άμεσα το ρυθμός μετάδοσης και τον όγκο της μεταφερόμενης πληροφορίας, το μέγιστο μήκος του μέσου μετάδοσης που εξαρτάται από τις απώλειες των σημάτων επικοινωνίας, η ευαισθησία στο θόρυβο, δηλαδή ο βαθμός επίδρασης του και η ευκολία χρήσης, αναφορικά με την εγκατάσταση, τη διασύνδεση, τον έλεγχο και η συντήρηση του μέσου.

2.3.2 Ενσύρματη μετάδοση

2.3.2.1 Δισύρματα καλώδια

Ένα από τα παλαιότερα μέσα μετάδοσης που παραμένει ακόμα από τα πιο συνηθισμένα. Είναι τα πιο απλά αφού τα συνθέτουν δύο σύρματα μονωμένα μεταξύ τους. Χρησιμοποιούνται για συνδέσεις πολύ κοντινών αποστάσεων όπως υπολογιστών με περιφερειακά, ενώ δεν είναι κατάλληλα για μακρινές αποστάσεις λόγω μεγάλης ευαισθησίας στο θόρυβο. Εξελιγμένη μορφή αυτών είναι τα συνεστραμμένα ζεύγη (twisted pair), όπου μονωμένα χάλκινα σύρματα πάχους περίπου 1 mm συστρέφονται ελικοειδώς μεταξύ τους για μεγαλύτερη αντίσταση στο θόρυβο αλλά και για τη μείωση της ακτινοβολίας που εκπέμπουν δύο παράλληλα σύρματα, επειδή αποτελούν κεραία.

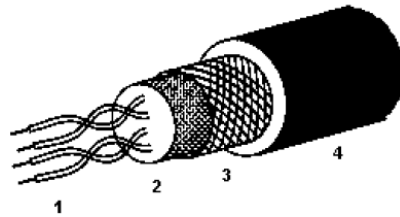
Με αυτά, ένα σήμα μπορεί να διανύσει αποστάσεις χιλιομέτρων και έτσι χρησιμοποιήθηκε στα τηλεφωνικά δίκτυα, αλλά για μεγαλύτερες αποστάσεις χρειάζονται επαναλήπτες (repeaters). Το εύρος ζώνης συχνοτήτων εξαρτάται από τη διάμετρο και το μήκος και κυμαίνεται από μερικά KHz έως εκατοντάδες MHz. Τα σύρματα αυτά λέγονται και αθωράκιστα σύστροφα ζεύγη (UTP-Unshielded Twisted Pair).



Σχήμα : αθωράκιστα σύστροφα ζεύγη (UTP-Unshielded Twisted Pair) α)κατηγορία 3, β) κατηγορία 5

Τα θωρακισμένα (shielded) συνεστραμμένα καλώδια είναι τα ίδια αλλά μονωμένα με εξωτερικό προστατευτικό κάλυμμα για ακόμα πιο μεγάλη αντίσταση στον θόρυβο.

1) σύστροφα ζεύγη, 2)μονωτικό υλικό,
3)μεταλλική θωράκιση, 4)προστατευτικό κάλυμα



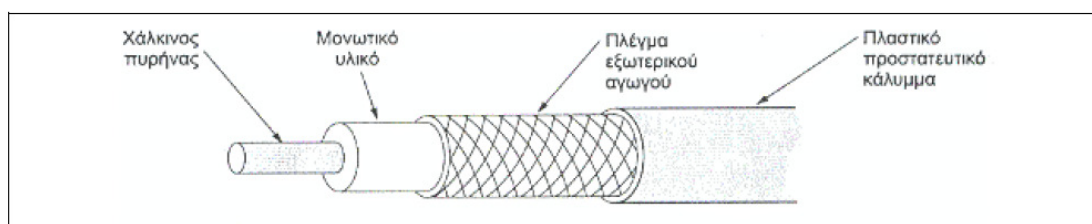
Σχήμα : θωρακισμένα σύστροφα ζεύγη (STP-Snshielded Twisted Pair)

Μέσω των συνεστραμμένων καλωδίων μεταδίδουμε αναλογικά σήματα όπως και ψηφιακά σήματα αλλά σε μικρές αποστάσεις. Η εξασθένιση του σήματος στα συνεστραμμένα καλώδια είναι της τάξης του 1 dB ανά χιλιόμετρο. Λόγω της επαρκούς απόδοσής, της εύκολης χρήσης και του χαμηλού τους κόστους τα καλώδια σύστροφου ζεύγους χρησιμοποιούνται ευρύτατα. Υπάρχουν σε πολλές ποικιλίες όπως για παράδειγμα τα καλώδια κατηγορίας 3 που αποτελούνται από δύο μονωμένα σύρματα ελαφρώς συστραμμένα μεταξύ τους εύρος ζώνης 16 MHz. Από το 1988 περίπου εμφανίστηκαν τα καλώδια σύστροφου ζεύγους κατηγορίας 5 παρόμοια με αυτά της κατηγορίας 3 αλλά με περισσότερες στροφές ανά εκατοστό και εύρος ζώνης 100 MHz, γεγονός που οδηγεί σε λιγότερες παρεμβολές και καλύτερη ποιότητα σήματος. Οι ανερχόμενες κατηγορίες 6 και 7 έχουν εύρος ζώνης 250 MHz και 600 MHz αντίστοιχα. Οι τύποι αυτοί ανήκουν στα καλώδια UTP.

Τυποποιήσεις χάλκινων καλωδίων: Είδαμε στην προηγούμενη παράγραφο ότι τα συνεστραμμένα χάλκινα καλώδια χρησιμοποιούνται σε ευρεία κλίμακα. Επειδή υπάρχουν πολλοί τύποι καλωδίων, για να αποφευχθεί η διαφοροποίηση ξεχωριστών τύπων για τον ίδιο σκοπό καθιερώθηκαν τυποποιήσεις κυρίως από την EIA/TIA - Electronic/Telecommunication Industry Association.

2.3.2.2 Ομοαξονικά καλώδια - κυματοδηγοί

Τα ομοαξονικά καλώδια (coaxial cable) που ονομάζονται έτσι λόγω κατασκευής τους, αποτελούν και αυτά συνηθισμένο μέσο μετάδοσης. Χρησιμοποιούνται αντί των συνεστραμμένων για να ξεπεραστούν οι περιορισμοί με την απόσταση μετάδοσης και την ταχύτητα επικοινωνίας αλλά και γιατί παρουσιάζουν μεγαλύτερη ασφάλεια στην επικοινωνία. Αποτελείται από έναν πυρήνα άκαμπτου χάλκινου καλωδίου, ο οποίος περιβάλλεται από ένα μονωτικό υλικό. Ο μονωτής καλύπτεται από έναν κυλινδρικό αγωγό με μορφή πυκνού δικτυωτού πλέγματος και ο εξωτερικός αγωγός καλύπτεται από πλαστικό προστατευτικό περίβλημα. Έχουν διάμετρο 0,6-2 cm και προσφέρουν υψηλό εύρος ζώνης συχνοτήτων που φτάνει τα 1 GHz. Χρησιμοποιούνται στην καλωδιακή τηλεόραση, σε τοπικά δίκτυα υπολογιστών ή σε κομβικές συνδέσεις του τηλεφωνικού συστήματος. Μεταδίδουν και αναλογικό και ψηφιακό σήμα και για μεγάλες αποστάσεις παρεμβάλλονται αναμεταδότες. Δύο τύποι ομοαξονικού καλωδίου χρησιμοποιούνται ευρέως, το καλώδιο των 50 Ohm συνήθως προορίζεται από την αρχή για ψηφιακή μετάδοση και το καλώδιο των 75 Ohm συνήθως για αναλογική μετάδοση στην καλωδιακή τηλεόραση και για πρόσβαση στο Internet.

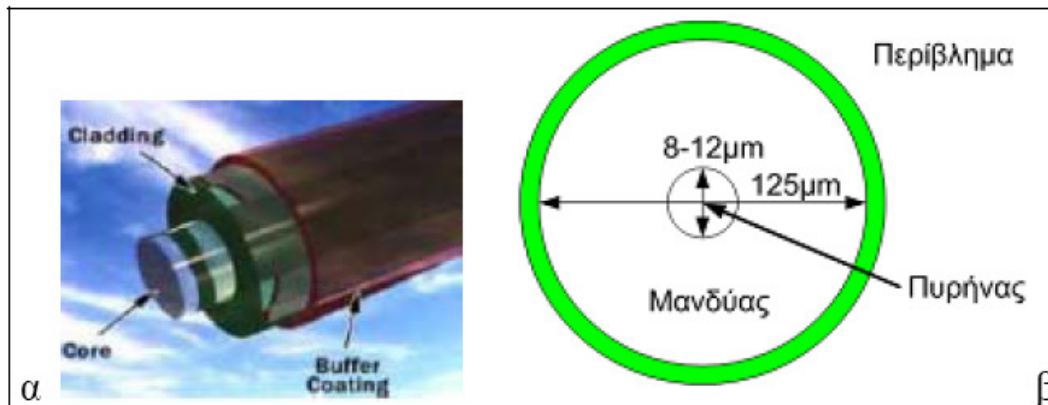


Σχήμα : Σύνθεση ομοαξονικού καλωδίου (Πηγή: Tanenbaum A.S. Δίκτυα Υπολογιστών, εκδόσεις Κλειδάριθμος 4η έκδοση 2003)

2.3.3 Οπτικές ίνες

Οι οπτικές ίνες (fiber optic) είναι η καλύτερη λύση στα μέσα μετάδοσης όπου το φως είναι ο φορέας της πληροφορίας αντί του ρεύματος ή της τάσης που χρησιμοποιούνται στα ενσύρματα μέσα. Αποτελούνται από τρεις ομόκεντρες κυλινδρικές οντότητες: Στο κέντρο βρίσκεται ένας γυάλινος πυρήνας, η κεντρική ίνα (core) μέσω του οποίου διαδίδεται το φως και έχει περίπου το πάχος μιας ανθρώπινης τρίχας. Ο πυρήνας περικλείεται από μια γυάλινη επικάλυψη, το μανδύα (cladding) και στη συνέχεια υπάρχει ένα λεπτό πλαστικό κάλυμμα (buffer) για προστασία του μανδύα.

Οι οπτικές ίνες συνήθως ομαδοποιούνται σε δέσμες οι οποίες προστατεύονται από τα εξωτερικά περιβάλλοντα. Η φωτεινή δέσμη που μεταφέρει την πληροφορία, μεταδίδεται μέσω της κεντρικής ίνας (core) και διαδίδεται με διαδοχικές ανακλάσεις στα τοιχώματα της ίνας προς το άλλο άκρο.



Σχήμα : καλώδιο οπτικής ίνας α) πλάγια όψη, β)σε τομή

Αντίθετα με τα χάλκινα καλώδια, όσο μικρότερη είναι η διάμετρος της ίνας τόσο μεγαλύτερη η απόσταση διάδοσης του σήματος. Στο τέρμα της οπτικής ίνας βρίσκεται ένας φωτοδέκτης που ανιχνεύει την έλευση του φωτός.

Οι οπτικές ίνες διασυνδέονται με τρεις τρόπους: Μπορεί να τερματίζονται με συζευκτήρες και να συνδέονται σε υποδοχές οπτικών ινών ή να συγκολλούνται μηχανικά, δηλαδή τα εξαρτήματα μηχανικής συγκόλλησης τοποθετούν τα δύο προσεκτικά κομμένα άκρα το ένα δίπλα στο άλλο μέσα σε ένα ειδικό κάλυμμα και τα σφίγγουν στη σωστή θέση ή δύο τμήματα οπτικής ίνας μπορούν να τηχθούν έτσι ώστε να σχηματίσουν μια συμπαγή σύνδεση που είναι σχεδόν το ίδιο καλή με μια μονοκόμματη οπτική ίνα.

Στα πλεονεκτήματα των οπτικών ινών είναι το μεγάλο εύρος ζώνης συχνοτήτων, με αποτέλεσμα την επίτευξη υψηλών ρυθμών μετάδοσης της τάξης 5 Gbps, είναι ανεπηρέαστες από θόρυβο, ο ρυθμός εμφάνισης σφαλμάτων (error rate) είναι σε πολύ χαμηλά επίπεδα, το βάρος και ο όγκος τους είναι σημαντικά μικρότερος από άλλους αντίστοιχους αγωγούς, είναι αρκετά ασφαλείς και προξενούν μικρότερη εξασθένιση στα σήματα από ότι τα χάλκινα και τα ομοαξονικά καλώδια (επιτυγχάνονται αποστάσεις χωρίς αναμεταδότη, άνω των 300 χιλιομέτρων).

Μειονεκτήματα θεωρούνται η δυσκολία στον τρόπο σύνδεσης σε πομπό και δέκτη και η δυσκολία σύνδεσης πολλών χρηστών πάνω σε ένα καλώδιο.

2.3.4 Παράγοντες απωλειών και περιορισμού εύρους ζώνης στις οπτικές ίνες

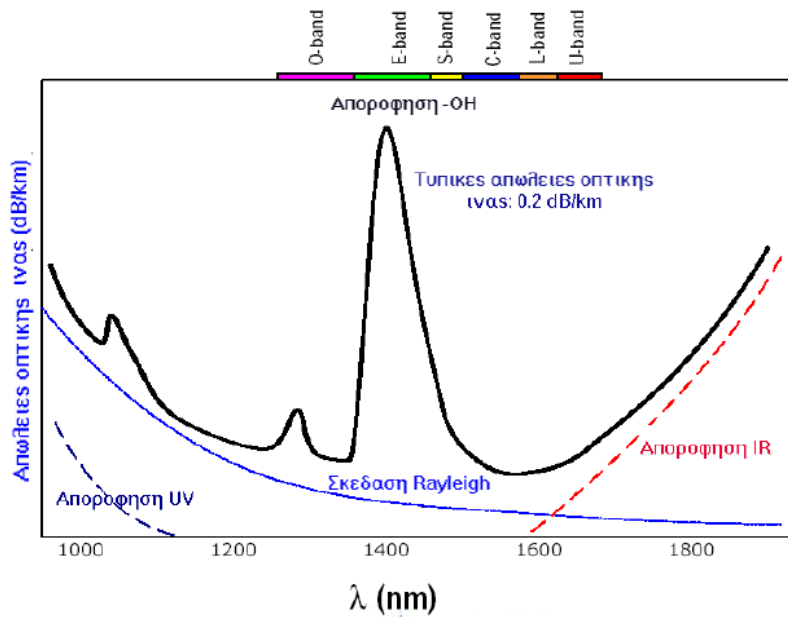
Έχει ενδιαφέρον να εξετάσουμε τους παράγοντες που σχετίζονται με το εύρος ζώνης της οπτικής ίνας και την εξασθένηση που επιφέρει στο οπτικό σήμα. Το εύρος ζώνης συσχετίζεται άμεσα με το ρυθμό πληροφορίας που μπορούμε να μεταδώσουμε μέσω της ίνας, ενώ η εξασθένηση καθορίζει τον αριθμό επαναληπτών-ενισχυτών που θα τοποθετηθούν μεταξύ πομπού και δέκτη σε μια οπτική ζεύξη. Η τοποθέτηση και η συντήρηση αυτών των διατάξεων έχει μεγάλη επίδραση στο ολικό κόστος του συστήματος.

2.3.4.1 Εξασθένηση

Η εξασθένηση σήματος (ή απώλεια σήματος) σε μια οπτική ίνα ορίζεται ως ο λόγος της οπτικής ισχύος στην έξοδο της σε σχέση με τη ισχύ εισόδου και εκφράζεται σε dB/km. Αν για παράδειγμα μια οπτική ίνα έχει απώλειες 3 dB/km, τότε η ισχύς του σήματος μειώνεται κατά 50% σε απόσταση 1km. Η εξασθένηση σε μια οπτική ίνα οφείλεται κυρίως σε δύο μηχανισμούς:

I. Απορρόφηση (absorption). Τα ηλεκτρόνια ξένων προσμείξεων που υπάρχουν στο γυαλί της ίνας απορροφούν μέρος της μεταδιδόμενης οπτικής ισχύος. Ιδιαίτερα τα ιόντα OH⁻, ευθύνονται για τις μεγάλες απώλειες των οπτικών ινών. Απώλειες απορρόφησης έχουμε ακόμα στην περιοχή του υπεριώδους λόγω του ίδιου του υλικού της ίνας και στο υπέρυθρο λόγω αλληλεπίδρασης των φωτονίων με τα ταλαντούμενα μόρια του πλέγματος του γυαλιού. Επίσης άλλοι εξωγενείς παράγοντες όπως ξένες προσμίξεις, ανομοιογένειες στη κατασκευή της ίνας συμβάλλουν στις απώλειες λόγω απορρόφησης.

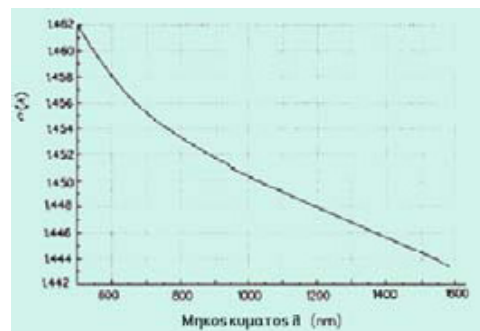
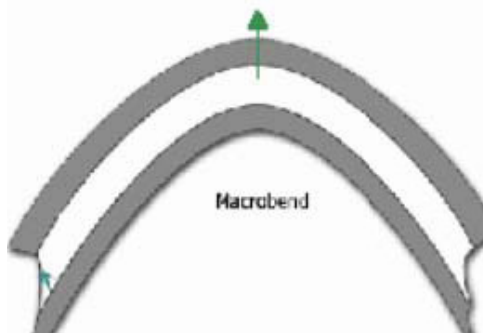
| dB = 10 • log₁₀ (P₁ / P₀) |
|---|
| 0 dB = 1 |
| + 0.1 dB = 1.023 |
| + 3 dB = 2 |
| + 5 dB = 3 |
| + 10 dB = 10 |
| -3 dB = 0.5 |
| -10 dB = 0.1 |
| -20 dB = 0.01 |
| -30 dB = 0.001 |
| dBm = 10 • log₁₀ (P / 1 mW) |
| 0 dBm = 1 mW |
| 3 dBm = 2 mW |
| 5 dBm = 3 mW |
| 10 dBm = 10 mW |
| 20 dBm = 100 mW |
| -3 dBm = 0.5 mW |
| -10 dBm = 100 μW |
| -30 dBm = 1 μW |
| -60 dBm = 1 nW |



Σχήμα 2.1: Η ολική εξασθένιση σε μια τυπική οπτική ίνα. Διακρίνονται οι κορυφές που οφείλονται στη ύπαρξη των ιόντων OH⁻.

II. Σκέδαση (Scattering). Με τον όρο αυτό χαρακτηρίζουμε τη διάχυση που υφίσταται η φωτεινή ακτινοβολία στο μανδύα καθώς διαδίδεται στον πυρήνα της ίνας. Οφείλεται σε ανωμαλίες στη σύνθεση του υλικού της ίνας, με μέγεθος μικρότερο από το χρησιμοποιούμενο μήκος κύματος λ . Η προκαλούμενη εξασθένιση είναι ανάλογη του λ^4 , κυριαρχεί στα μικρά μήκη κύματος και είναι γνωστή και ως σκέδαση Rayleigh. Στο βλέπουμε την εξάρτηση των απωλειών μιας τυπικής οπτικής ίνας σε σχέση με το χρησιμοποιούμενο μήκος κύματος και με τους μηχανισμούς που τις προκαλούν. Φαίνονται οι περιοχές (O-band, S,C,L,U-band) γύρω από τα μήκη κύματος 1.3 μm και 1.5 μm , όπου η οπτική ίνα παρουσιάζει μικρή εξασθένιση. Οι περιοχές αυτές, γνωστές και σαν “φασματικά παράθυρα” των οπτικών επικοινωνιών χρησιμοποιούνται για την οπτική μετάδοση.

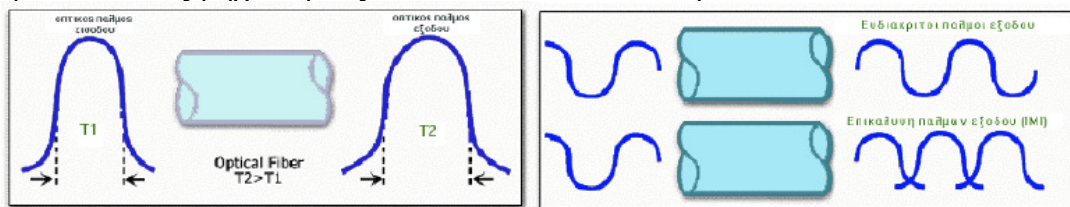
Δεν Διακρίνεται βέβαια το “ιστορικό” παράθυρο των 0.8 μm που χρησιμοποιήθηκε αρχικά. Τα παράθυρα των 1.3 μm με εύρος περίπου 12 THz και των 1.55 μm με εύρος περίπου 15 THz, χρησιμοποιούνται πλέον στα σημερινά συστήματα, αφού η τεχνολογία επέτρεψε την κατασκευή κατάλληλων φωτοπηγών και φωτοφωρατών. Οι μακροσκοπικές (macro bending) και οι μικροσκοπικές (micro bending) κάμψεις της οπτικής ίνας αποτελούν εξωγενή αίτια απωλειών.



2.3.4.2 Διασπορά και διεύρυνση οπτικών παλμών

Η τιμή του δείκτη διάθλασης μειώνεται όσο το μήκος κύματος αυξάνει. Η ταχύτητα διάδοσης είναι συνάρτηση του δείκτη διάθλασης και επομένως του μήκους κύματος. Το φαινόμενο αυτό χαρακτηρίζεται με τον όρο *διασπορά* (dispersion) και έχει σαν

αποτέλεσμα τη παραμόρφωση των φωτεινών παλμών που διαδίδονται στην ίνα διότι η οπτική ισχύς κατανέμεται σε μια περιοχή μηκών κύματος. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη διαπλάτυνση του οπτικού παλμού και τον περιορισμό του εύρους ζώνης ενός οπτικού συστήματος λόγω αλληλοπαρεμβολής συμβόλων (ISI – Inter Symbol Interference). Το φαινόμενο αυτό παρουσιάζεται στο παρακάτω σχήμα και οφείλεται στους μηχανισμούς που αναλύονται στα επόμενα.



Σχήμα 2.2: Το φαινόμενο της διασποράς στις οπτικές ίνες

Η διασπορά τρόπων εξαλείφεται πλήρως με τη χρήση οπτικών ινών που μπορούν να διαδώσουν μόνο ένα τρόπο (*μονότροπες ίνες*). Χαρακτηριστικό τους είναι η πολύ μικρή διάμετρος του πυρήνα. Σε αυτή τη περίπτωση η διασπορά τρόπων εξαλείφεται πλήρως με αποτέλεσμα την αύξηση του εύρους ζώνης. Οι μονότροπες ίνες είναι βέβαια ακριβότερες και εμφανίζουν δυσκολίες στη σύζευξή τους με τις οπτικές πηγές.

2.3.5 Είδη οπτικών ινών και οπτικά καλώδια

Οι οπτικές ίνες ταξινομούνται σύμφωνα με τα ακόλουθα κριτήρια:

- ♦ Προφίλ του δείκτη διάθλασης του πυρήνα
- ♦ Υλικό πυρήνα και περιβλήματος
- ♦ Τρόπος διάδοσης του φωτός
- ♦ Χαρακτηριστικά της διάδοσης

2.3.5.1 Τύποι οπτικών ινών

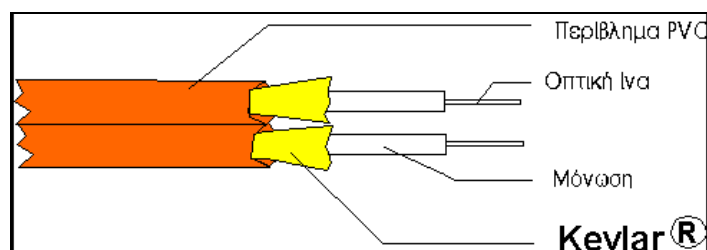
Από τα προηγούμενα συνάγεται ότι ο δείκτης διάθλασης του πυρήνα μπορεί να είναι σταθερός, οπότε μιλάμε για ίνες *βηματικού δείκτη (step index)* ή να μεταβάλλεται ακτινικά, οπότε έχουμε ίνες *διαβαθμισμένου δείκτη (graded index)*. Ανάλογα με τον αριθμό των τρόπων που μπορούν να διαδοθούν στην ίνα έχουμε τις *μονότροπες* (διάδοση ενός μόνο τρόπου) και τις *πολύτροπες* (διάδοση πολλών τρόπων) ίνες.

Γνώρισμα των μονότροπων ινών είναι οι πολύ μικρές διαστάσεις της διαμέτρου του πυρήνα (~ 5 - 8 μm), τα πολύ καλά χαρακτηριστικά διάδοσης αλλά και το μεγάλο κόστος και η δυσκολία χειρισμού τους.

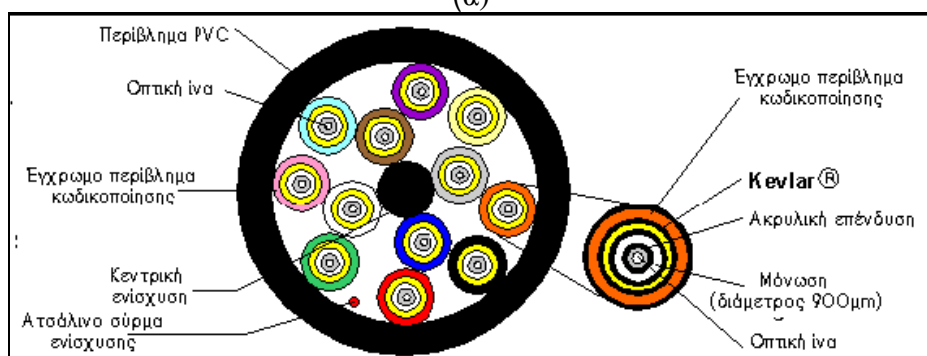
Για την κατασκευή του πυρήνα και του μανδύα χρησιμοποιούνται πυριτύαλος και πλαστικό. Έτσι υπάρχουν οι ίνες silica (μανδύας και πυρήνας από γυαλί), οι ίνες PCS (μανδύας από γυαλί και πυρήνας από πλαστικό) και από το 1980 και μετά οι πλαστικές ίνες (μανδύας και πυρήνας από πλαστικό) που χρησιμοποιούνται σε ζεύξεις μικρών αποστάσεων λόγω της εύκολης σύνδεσής τους με τα ενεργά στοιχεία του οπτικού συστήματος. Οι μονότροπες ίνες είναι πάντα τύπου silica, βηματικού δείκτη. Είναι ο τύπος που χρησιμοποιείται πλέον στα σύγχρονα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα μεγάλων αποστάσεων αποκλειστικά.

2.3.5.2 Οπτικά καλώδια

Η χρήση των οπτικών ινών ενισχύεται από την δυνατότητα των μηχανικών να τις συσκευάζουν με τέτοιο τρόπο ώστε να τις προστατεύουν αλλά και να κάνουν εύκολα συνδέσεις.



(α)



(β)

Σχήμα 2.5 : Οπτικό καλώδιο α) δύο ινών και β) δώδεκα ινών

Σε μικρά μήκη, η οπτική ίνα μπορεί να προστατευτεί απλά με χρήση λεπτών πλαστικών περιβλημάτων. Για μεγάλα μήκη, η οπτική ίνα υπόκειται σε μηχανικές τάσεις και πρέπει να ληφθεί μέριμνα για την προστασία της τόσο κατά την κατασκευή της, όσο κατά την εγκατάσταση και κατά τη διάρκεια της χρησιμοποίησής της. Οι μικρές διαστάσεις των οπτικών ινών επιτρέπουν ακόμη την ομαδοποίησή τους σε ένα καλώδιο μικρής διαμέτρου.

Έχει αναπτυχθεί μια μεγάλη ποικιλία οπτικών καλωδίων. Όλα στοχεύουν στην καλύτερη των μηχανικών ιδιοτήτων των οπτικών ινών που περιέχουν, χωρίς να υποβαθμίζουν τις οπτικές τους ιδιότητες. Έτσι τα οπτικά καλώδια προστατεύουν τις ίνες από τις μηχανικές τάσεις που αναπτύσσονται κατά και μετά την εγκατάστασή τους, με τη βοήθεια ατσάλινων συρμάτων ενίσχυσης. Αυξάνουν την αντοχή της ίνας στα σπασίματα λόγω πλευρικών δυνάμεων και μεγάλων κάμψεων και την προστατεύουν από γδαρσίματα. Τέλος μειώνουν τις δονήσεις και προστατεύουν την ίνα από την υγρασία και από χημικές επιδράσεις. Στο Σχήμα 2.7 παρουσιάζονται μερικά από τα χρησιμοποιούμενα είδη οπτικών καλωδίων. Ένα τυπικό οπτικό καλώδιο μπορεί έχει διάμετρο 15 mm και βάρος 12.5 kg/km.

2.3.6 Ασύρματη μετάδοση

Ασύρματη ονομάζεται η ζεύξη που είναι ανεξάρτητη από υλικά μέσα και χρησιμοποιεί ως μέσο διάδοσης τον αέρα ή το κενό. Στηρίζεται στη διάδοση σημάτων στην ατμόσφαιρα μέσω της χρήσης κεραιών, που επιτρέπουν στην ενέργεια να περάσει από το ενσύρματο μέσο μεταφοράς στο χώρο, με την καλύτερη απόδοση. Οι ασύρματες ζεύξεις είναι από τους σημαντικότερους τρόπους μετάδοσης και χρησιμοποιούνται αρκετά μετά το 1950.

Βασικό στοιχείο είναι η ανεξαρτησία από υλικά μέσα διάδοσης, όμως απαιτείται μεγάλη ισχύς προκειμένου τα σήματα, που παρουσιάζουν μεγάλη εξασθένηση κατά τη διάδοσή στην ατμόσφαιρα, να διαδοθούν σε μεγάλες αποστάσεις. Οι ασύρματες ζεύξεις παρουσιάζουν μεγάλη ευαισθησία σε παρεμβολές θορύβου και χαμηλή ασφάλεια πληροφορίας.

Παρ' ότι αναπτύχθηκαν για μετάδοση φωνής και εικόνας, σήμερα χρησιμοποιούνται ευρέως για όλες τις μορφές τηλεπικοινωνιών.

Για τη μετάδοση του σήματος, απαιτείται η χρήση ενός αναλογικού σήματος, του φορέα ή φέροντος. Ανάλογα με την περιοχή συχνοτήτων που ανήκει αυτή του φέροντος σήματος, αυτό χαρακτηρίζεται από ιδιότητες, όπως η απόσταση μετάδοσης, το εύρος ζώνης και η κατευθυντικότητα (directional ή omni directional: κατευθυντικός μη κατευθυντικός). Χρησιμοποιούνται διάφορες περιοχές συχνοτήτων ανάλογα με τις απαιτήσεις της κάθε εφαρμογής (§ 2.3.1). Η επιλογή της κατάλληλης συχνότητας εξαρτάται κάθε φορά από τις απαιτήσεις της συγκεκριμένης ζεύξης.

2.3.6.1 Ραδιοκύματα

Παράγονται εύκολα, μπορούν να διανύσουν μεγάλες αποστάσεις και χρησιμοποιούνται και για επικοινωνία σε εσωτερικούς χώρους εξ' αιτίας της διεισδυτικότητάς τους.

Ταξιδεύουν προς όλες τις κατευθύνσεις (μη κατευθυντικά) οπότε δεν χρειάζεται ευθυγράμμιση πομπού και δέκτη. Ραδιοκύματα με μικρές συχνότητες διαπερνούν εμπόδια αλλά ελαττώνεται απότομα η ισχύς τους, ενώ σε υψηλές συχνότητες ταξιδεύουν σε ευθεία αλλά ανακλώνται από εμπόδια. Επίσης υπόκεινται σε παρεμβολές.

2.3.6.2 Μικροκύματα

Χρησιμοποιούνται στις επικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων από το 1930 σαν επέκταση των ραδιοφωνικών συχνοτήτων. Έχουν συχνότητες 1 - 50 GHz και είναι ιδιαίτερα χρήσιμες στις περιπτώσεις που είναι δύσκολη μια μικρής απόστασης ενσύρματη επίγεια σύνδεση π.χ. η σύνδεση δύο κτιρίων που χωρίζονται από κάτι, στην τηλεφωνία και τηλεόραση, στα ραντάρ αλλά και στους δορυφόρους.

Οι μικροκυματικές ζεύξεις είναι αρκετά κατευθυντικές, έτσι είναι πιο ασφαλείς από τις άλλες ασύρματες. Απαιτούν οπτική επαφή μεταξύ πομπού και δέκτη, έχουν ευαισθησία καιρικά φαινόμενα και για ζεύξεις μεγαλύτερων αποστάσεων, η χρήση αναμεταδοτών είναι απαραίτητη.

2.3.6.3 Κινητές επικοινωνίες

Η **ασύρματη τηλεφωνία (cordless telephony)** έκανε την εμφάνισή της στα πλαίσια της επικοινωνίας χωρίς γεωγραφικά και χρονικά όρια. Έτσι κάποιος μπορεί να συνδεθεί με τηλεφωνικό δίκτυο μέσω μίας συσκευής που δε χρειάζεται καλώδιο για να στείλει ή να λαμβάνει σήματα. Οι πρώτες ασύρματες τηλεφωνικές συσκευές εμφανίστηκαν στην Ευρώπη τη δεκαετία του 1980 και η ανάπτυξη της ψηφιακής τεχνολογίας τους επέτρεψε να εξελιχθούν πολύ γρήγορα από απλές οικιακές συσκευές σε συστήματα ασύρματης επικοινωνίας για την κάλυψη μικρών αποστάσεων, με δυνατότητα εκπομπής χαμηλής ισχύος.

Η επόμενη μεγάλη εξέλιξη ήταν τα συστήματα **κινητής τηλεφωνίας (mobile telephony)** που ήρθε να καλύψει την ανάγκη για επικοινωνία σε μεγάλες αποστάσεις που απαιτεί μεγάλη ισχύ εκπομπής και μεγάλο αριθμό συχνοτήτων, προκειμένου να είναι δυνατή η κάλυψη πολλών χρηστών ταυτόχρονα. Και εδώ η εξέλιξη της ψηφιακής τεχνολογίας και η εφαρμογή της ιδέας των **κυψελωτών δικτύων (cellular mobile network)** οδήγησε στην ανάπτυξη και διάδοση της κινητής τηλεφωνίας. Τα κυψελωτά δίκτυα βασίζονται στην ιδέα της διαίρεση μιας μεγάλης γεωγραφικής περιοχής σε μικρότερες, που ονομάζονται **κυψέλες (cells)**. 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.

Τα πρώτα συστήματα κυψελωτής κινητής τηλεφωνίας ήταν και αυτά αναλογικά που στη συνέχεια έγιναν ψηφιακά. Το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιου συστήματος με ευρεία χρήση σήμερα είναι το **GSM (Global System for Mobile communications)**.

Δημιουργήθηκε από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό για τα Ταχυδρομεία και τις Τηλεπικοινωνίες (Conference of European Postal and Telecommunications - CEPT). Βασικό του στοιχείο είναι η μετατροπή του σήματος φωνής σε ψηφιακό και η μετάδοσή του σε συχνότητες UHF γύρω στα 900 MHz, με κανάλια εύρους ζώνης 200 kHz. Άλλο σύστημα κινητών επικοινωνιών είναι το **Παγκόσμιο Σύστημα Κινητής Τηλεπικοινωνίας (Universal Telecommunications System – UMTS)** και συσχετίζεται με την αντίστοιχη προσπάθεια που ξεκίνησε η International Telecommunications Union – ITU για να αναπτυχθεί ένα σύστημα που να προσφέρει όλες τις τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες. Με συχνότητες της τάξης των 2.000 MHz και ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων 2 Mbps είναι απόλυτα συμβατό με τα σταθερά δίκτυα και έχει δυνατότητα συνεργασίας με αυτά.

2.3.6.4 Δορυφορικές επικοινωνίες

Τα συστήματα κινητής επικοινωνίας λειτουργούν με διάφορες ασύμβατες τεχνικές, με αποτέλεσμα πολλές φορές, όταν κάποιος αγοράζει ένα τηλέφωνο στην Αμερική, να μην δουλεύει στην Ευρώπη και αντιστρόφως. Έτσι κλήθηκαν τα **συστήματα δορυφορικών επικοινωνιών (satellite mobile communications)** για να παρέχουν μια πραγματικά παγκόσμια τηλεπικοινωνιακή κάλυψη.

Οι δορυφορικές επικοινωνίες ξεκίνησαν μετά το 1950 ενώ κάποια νηπιακά βήματα είχαν γίνει μετά το 1942. Τα πρώτα δορυφορικά συστήματα δεν ήταν βιώσιμα λόγω της μικρής ισχύος των πυραύλων που τους έθεταν σε τροχιά. Η χαμηλή τροχιά των 10 Km είχε σαν αποτέλεσμα ο δορυφόρος να κινείται ταχύτερα από την περιστροφή της γης, κάτι που επηρέαζε την κατασκευή των γήινων σταθμών, αφού έπρεπε να περιστρέφονται συνεχώς για να τους παρακολουθούν. Στην εξέλιξη των συστημάτων αυτών κατασκευάστηκαν διάφοροι τύποι δορυφόρων:

- Γεωστατικοί GEO (Geosynchronous Earth Orbit)
- δορυφόροι χαμηλής LEO (Low Earth Orbit) και μέσης τροχιάς MEO (Medium Earth Orbit) και
- δορυφόροι ελλειπτικής τροχιάς HEO (Highly inclined Elliptical Orbit).

Οι δορυφόροι

- καλύπτουν με μεγάλες γεωγραφικές περιοχές και απομακρυσμένες
- έχουν μεγάλο εύρος ζώνης
- έχουν μεγάλη καθυστέρηση σήματος της τάξης των 250 msec που οφείλεται στην μεγάλη απόσταση
- δεν επηρεάζονται από την απόσταση μεταξύ επικοινωνούντων
- έχουν μεγάλους χρόνους μετάδοσης, καθώς για να διανύσει ένα σήμα τη διαδρομή από και προς το δορυφόρο, απαιτείται χρόνος 0,3 sec)
- δεν παρέχουν καμία ασφάλεια, Γι' αυτό το λόγο αυτό υπάρχουν αυξημένες απαιτήσεις κρυπτογράφησης των σημάτων
- απαιτείται μεγάλη ισχύς εκπομπής από το δορυφόρο με συνέπεια την αύξηση του βάρους του και τη μείωση της ζωής του, καθώς η απόσταση από τη γη προκαλεί εξασθένηση του σήματος.

Χρησιμοποιούνται:

- για τηλεφωνικές συνδέσεις
- για ραδιοφωνικές και τηλεοπτικές μεταδόσεις
- για κινητές επικοινωνίες
- για προσωπικές επικοινωνίες σε αλληλεπιδραστικές υπηρεσίες πολυμέσων.

Ο παρακάτω πίνακας περιέχει μερικά χαρακτηριστικά των παραπάνω τύπων δορυφόρων:

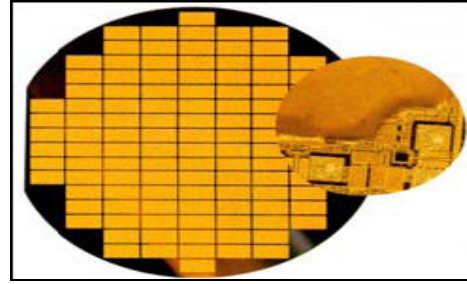
| Τύποι δορυφόρων χαρακτηριστικά | LEO | MEO | GEO | HEO |
|-----------------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------|-----------------------|
| Τροχιά | Κυκλική | Κυκλική | Κυκλική | Ελλειπτική |
| Αριθμός τροχιών | 6 | 3 | 1 | 4 |
| Ύψος ² | 785 Km | 10.354 Km | 35.786 Km | - |
| Απόγειο | - | - | - | 40.000 Km |
| Περίγειο | - | - | - | 500 Km |
| Περίοδος | 1 h 40 min | 6 h | 24 h | 12 h |
| Ταχύτητα | 25.560 Km/h | | 11.070 Km/h | Μη σταθερή |
| Βάρος | 700 Kgr | 1.000 Kgr | 1.500 Kgr | 1.000 Kgr |
| Απαιτούμενος αριθμός | 66 (11 ανά τροχιά) | 66 (11 ανά τροχιά) | 3 | 66 (11 ανά τροχιά) |
| Ελάχιστη γωνία ανύψωσης | 8° | 8° | 5° | 80° |
| Διάρκεια ορατότητας | 10 min | 1 h | 24 h | 8 h |
| Χρόνος ζωής | 3-7 χρόνια | 10-15 χρόνια | 10-15 χρόνια | 7-10 χρόνια |
| Καθυστέρηση σήματος | μικρή | μέση | μεγάλη | μεγάλη |
| Εξασθένιση σήματος | μικρή | μέση | μεγάλη | μεγάλη |
| Πολυπλοκότητα δικτύου | μεγάλη | μέση | μικρή | μέση |

Πίνακας : Χαρακτηριστικά δορυφόρων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

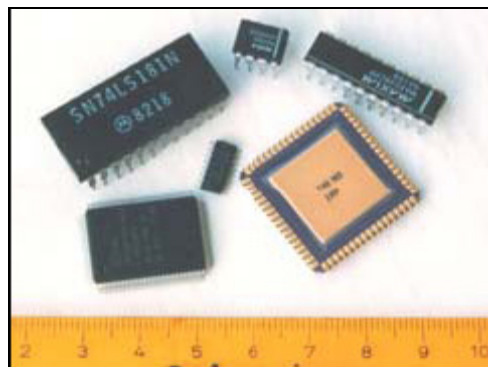
Η εξέλιξη των επικοινωνιών υπήρξε θεαματική σε όλη τη διάρκεια του 20ού αιώνα. Ιδιαίτερα από το Β' Παγκόσμιο πόλεμο και μετά, δόθηκε τεράστια σημασία στην τεχνολογία των συστημάτων επικοινωνιών με χρήση ηλεκτρικών σημάτων. Ανάμεσα στα πιο αξιόλογα επιτεύγματα της περιόδου αυτής περιλαμβάνονται το ραντάρ, τα μικροκυματικά συστήματα, το τρανζίστορ και τα ολοκληρωμένα κυκλώματα, οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές, οι τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι και τα laser. Σήμερα όλος ο πλανήτης μας είναι διασυνδεδεμένος με συστήματα επικοινωνίας που μεταφέρουν ομιλία, κείμενο, εικόνες και διάφορες πληροφορίες.



Ημιαγωγικό δισκίο και λεπτομέρεια από ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα (chip).

Κατευθυντήρια δύναμη και προϋπόθεση της εξέλιξης αυτής ήταν η αντίστοιχη εξέλιξη της Ηλεκτρονικής. Η Ηλεκτρονική σήμερα έχει αλλάξει τελείως φυσιογνωμία σε σχέση με το τί ήταν πριν 50 χρόνια. Μέχρι το 1950 ορίζαμε την Ηλεκτρονική ως τη σπουδή των φαινομένων της αγωγιμότητας στο κενό, στα αέρια, ή στους ημιαγωγούς, καθώς και τη χρήση των διατάξεων που βασίζονται στα φαινόμενα αυτά.

Σήμερα, η Ηλεκτρονική περιγράφεται ως το σύνολο των τεχνικών που χρησιμοποιούν μεταβολές φυσικών μεγεθών για να διαβιβάσουν, να λάβουν, και να επεξεργαστούν μια πληροφορία. Τα φυσικά μεγέθη που χρησιμοποιεί η Ηλεκτρονική είναι τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία, τα φωτεινά σήματα (φωτόνια) και το ηλεκτρικό ρεύμα. Η επεξεργασία και η μετάδοση της πληροφορίας (δηλ. η επικοινωνία), γίνεται ο στόχος της νέας Ηλεκτρονικής.



Η ανταλλαγή πληροφορίας είναι η βάση της ανάπτυξης των επικοινωνιών. Στη χώρα μας, οι επικοινωνίες αλλάζουν με ταχύτετους ρυθμούς. Το παλιό αναλογικό τηλεφωνικό δημόσιο δίκτυο αντικαθίσταται με ψηφιακά δίκτυα και εισάγονται νέες τεχνολογίες και υπηρεσίες. Οι οπτικές ίνες είναι πλέον το απαραίτητο μέσο μετάδοσης πληροφορίας και παρόμοια ανάπτυξη γνωρίζουν οι ασύρματες επικοινωνίες (λ.χ. δορυφορικές επικοινωνίες, κινητή τηλεφωνία). Όλες αυτές οι εξελίξεις βασίζονται στην ανάπτυξη της τεχνολογίας των:

- Ολοκληρωμένων ημιαγωγικών κυκλωμάτων
- Μικροκυματικών διατάξεων
- Οπτικοηλεκτρονικών διατάξεων

Στο κεφάλαιο αυτό θα παρουσιαστούν συνοπτικά οι κυριότερες τεχνολογίες, οι οποίες χρησιμοποιούνται στα συστήματα επικοινωνιών

3.1 Ολοκληρωμένα κυκλώματα

3.1.1 Ιστορική εξέλιξη

Για την κατασκευή των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων, μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του '50, χρησιμοποιούνταν οι *ηλεκτρονικές λυχνίες*. Η ανακάλυψη της τριόδου

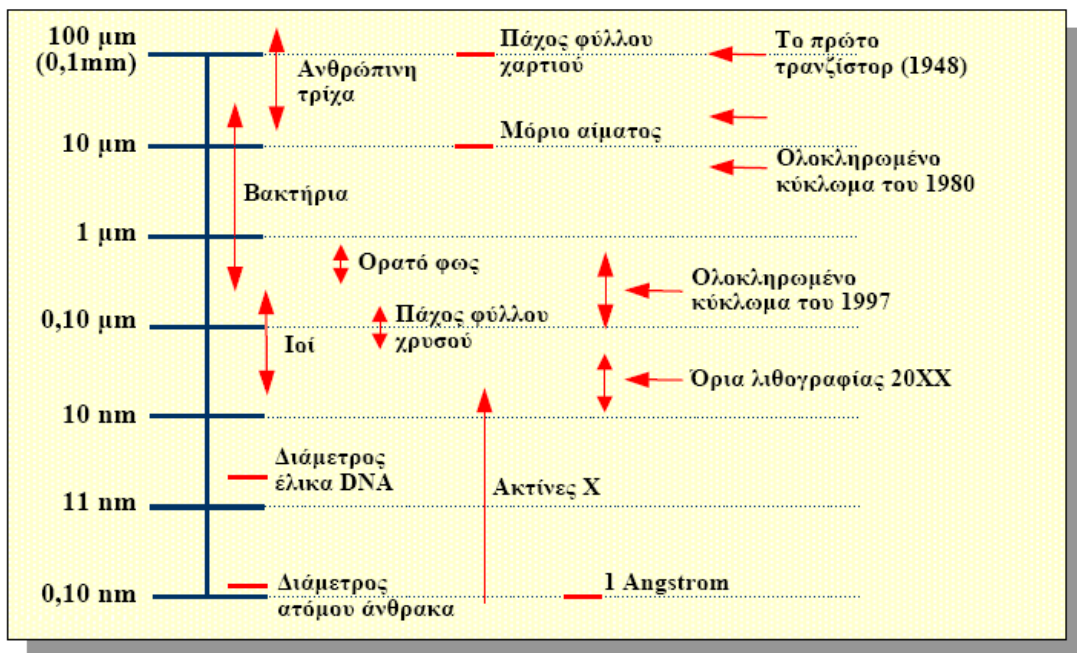
ηλεκτρονικής λυχνίας κενού από τον Λη ντε Φόρεστ, αποτέλεσε, λόγω της ενισχυτικής ιδιότητάς της, τον ακρογωνιαίο λίθο της νέας τεχνικής για την εποχή εκείνη. Η τεχνική αυτή επέτρεψε τη γέννηση της ασύρματης τηλεγραφίας με σήματα Μορς, της ραδιοτηλεφωνίας, της ραδιοφωνίας, της τηλεόρασης και του ραντάρ.

Η ανακάλυψη της **κρυσταλλοτρίοδου (τρανζίστορ)** το 1948 από τους Μπαρντίν, Μπρατέν και Σόκλεϋ, ξεπερνώντας τα μειονεκτήματα των λυχνιών (θέρμανση, κατανάλωση, όγκος, κλπ.), έφερε μια πραγματική επανάσταση στην Ηλεκτρονική και σημάδεψε ουσιαστικά την έλευση της εποχής της **Μικροηλεκτρονικής**.

Τα τρανζίστορ αποτελούνται από ημιαγωγό (λ.χ. πυρίτιο ή γερμάνιο), ο οποίος είναι κατά περιοχές αρνητικά ή θετικά φορτισμένος με τη βοήθεια στοιχείων προσμείξεων πλούσιων αντίστοιχα σε ηλεκτρόνια ή οπές.

Τα τρανζίστορ εκτελούν τις ίδιες ακριβώς λειτουργίες με τις λυχνίες, χωρίς να έχουν τα μειονεκτήματά τους. Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματά τους, χάρη στα οποία εκτόπισαν σταδιακά τις λυχνίες, είναι:

- η χαμηλή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας,
- το μικρό μέγεθος,
- το χαμηλό κόστος κατασκευής,
- η υψηλή αξιοπιστία,
- η έλλειψη προβλημάτων υπερθέρμανσης και,
- η καταλληλότητά τους για παλμική λειτουργία σε συστήματα ψηφιακής μετάδοσης.



Διαστάσεις ολοκληρωμένων κυκλωμάτων σε σχέση με άλλες φυσικές ποσότητες.

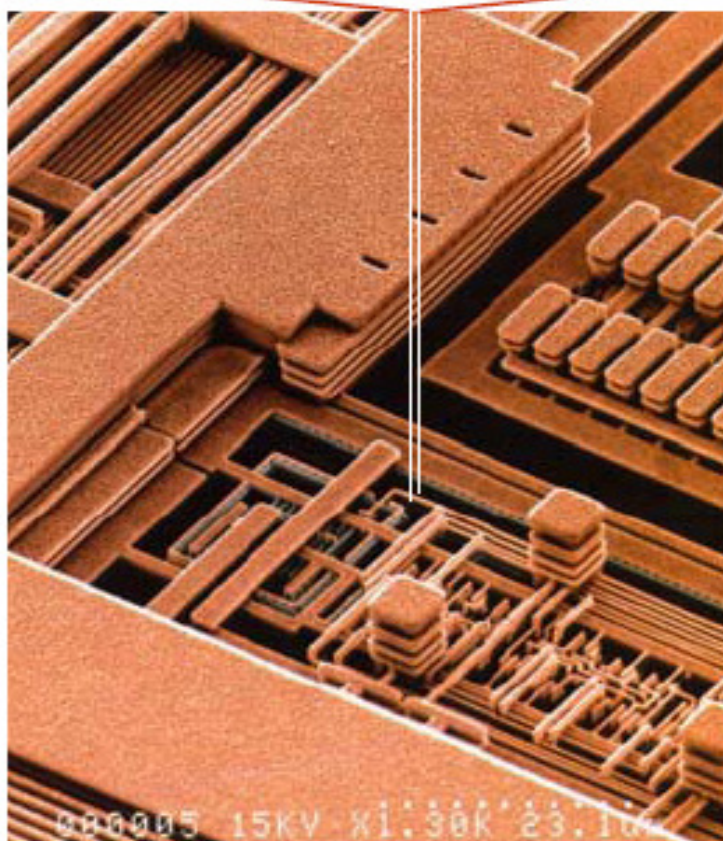
Το επόμενο βήμα στην εξέλιξη της Ηλεκτρονικής συντελέστηκε με την ανακάλυψη των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1

Κατάταξη των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων με τον αριθμό των στοιχείων που περιέχουν

| Όνομασία | Αριθμός στοιχείων | Τυπικές εφαρμογές |
|---|----------------------|--------------------------------|
| SSI (Small Scale Integration) | 1-100 | Πύλες, τελεστικοί ενισχυτές |
| MSI (Medium Scale Integration) | 100-1000 | Καταχωρητές, φίλτρα |
| LSI (Large | 1000-100.000 | Μικρο- επεξεργαστές, |

ελάχιστη διάσταση κυκλώματος

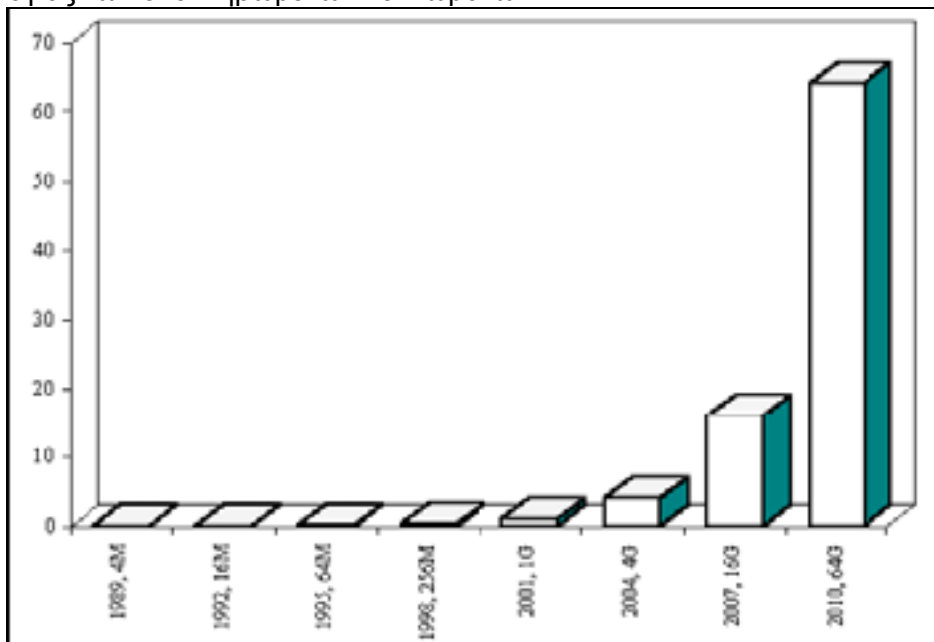


Λεπτομέρεια από ολοκληρωμένο κύκλωμα και προσδιορισμός της ελάχιστης διάστασης του κυκλώματος.

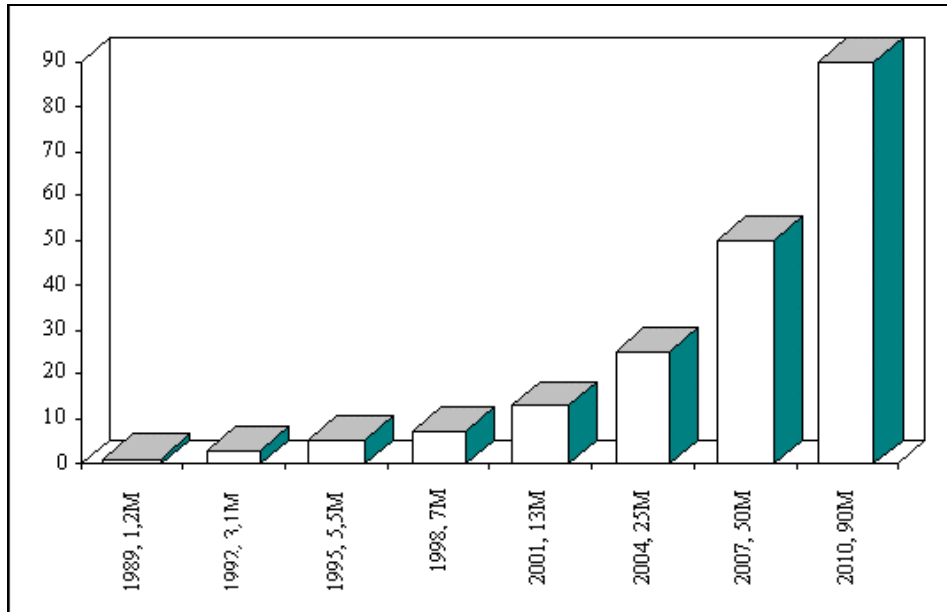
Η διαφορά τους από τα κλασικά κυκλώματα είναι ότι όλα τα στοιχεία του ολοκληρωμένου κυκλώματος και οι διασυνδέσεις τους περιλαμβάνονται μέσα ή πάνω σε ένα τμήμα *μονοκρυστάλλου ημιαγωγού* (δηλ. ένα κομμάτι ημιαγωγού το οποίο έχει παντού την ίδια κρυσταλλική δομή), το οποίο ονομάζεται **υπόστρωμα (substrate)**. Το υπόστρωμα προέρχεται από τεμαχισμό ενός μεγάλου κυκλικού και λεπτού δίσκου (παρόμοιου με ένα δίσκο CD) με διάμετρο 30 εκατοστών και πάχους κλάσματος του χιλιοστού του μέτρου. Ο δίσκος αυτός είναι μονοκρυστάλλος και ονομάζεται **δισκίο (wafer)**.

Κατά την κατασκευή, τα τρανζίστορ, οι δίοδοι, οι αντιστάσεις κλπ. καθώς και οι διασυνδέσεις τους διαμορφώνονται συγχρόνως κατά τη διάρκεια μιας ενιαίας σειράς κατασκευαστικών φάσεων. Τα ολοκληρωμένα κυκλώματα είναι το αποτέλεσμα μιας εκπληκτικής εξέλιξης της τεχνολογίας των ηλεκτρονικών για να πετύχει την: ελαχιστοποίηση του μεγέθους των ηλεκτρονικών διατάξεων αύξηση ταχύτητας μείωση κατανάλωσης.

Σήμερα, τα ολοκληρωμένα κυκλώματα περιέχουν ένα τεράστιο αριθμό τρανζίστορ που υπερβαίνει τα δέκα εκατομμύρια. Τα ολοκληρωμένα κυκλώματα που έχουν τέτοια μεγάλη πυκνότητα ημιαγωγικών στοιχείων (τρανζίστορ) ονομάζονται κυκλώματα VLSI (Very Large Scale Integration) και αποτελούν την τελευταία λέξη της τεχνολογίας των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων.



Σχήμα 4.2.1. Εξέλιξη χωρητικότητας ημιαγωγικών ολοκληρωμένων μνημών ($M=10^6$, $G=10^9$).

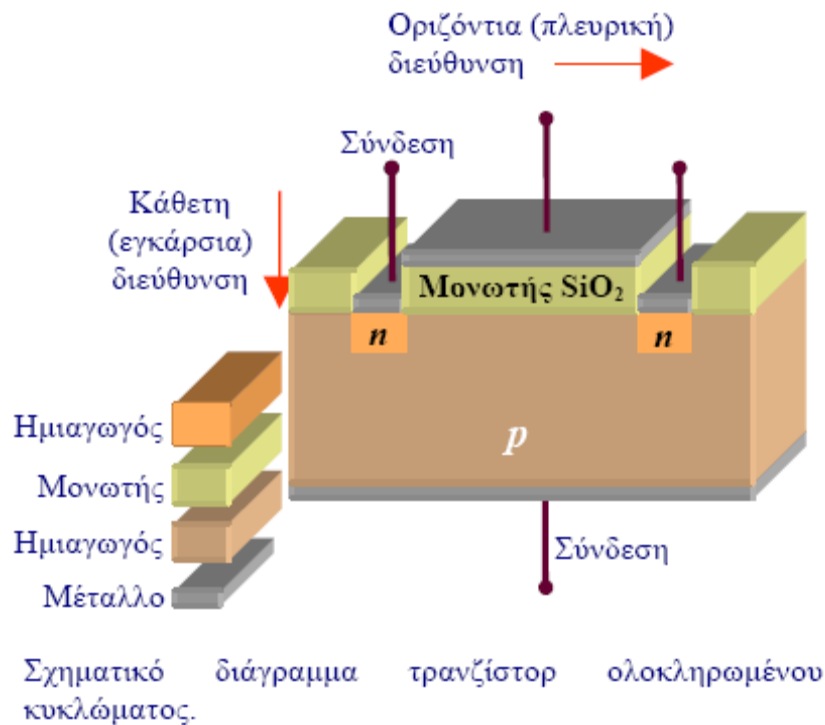


Σχήμα .4.2.2.: Εξέλιξη αριθμού τρανζίστορ επεξεργαστών υπολογιστών, ($M=10^6$, $G=10^9$).

Τα ολοκληρωμένα κυκλώματα κατατάσσονται ανάλογα με τον αριθμό των στοιχείων που περιέχουν, όπως φαίνεται στον πίνακα 3.1, ή ανάλογα με την ελάχιστη διάσταση των στοιχείων του κυκλώματος (λ.χ. ελάχιστη απόσταση μεταξύ γειτονικών τρανζίστορ ή ελάχιστο πάχος μεταλλικών συνδέσεων). Η ελάχιστη διάσταση ήταν στη δεκαετία του '70 της τάξης των 7-10 μm , στη δεκαετία του '80 μειώθηκε στα 2 μm , στη δεκαετία του '90 έφθασε στα 0,25 μm και σήμερα στα 0,18 μm . Η μείωση της ελάχιστης διάστασης είναι καθοριστικός παράγοντας για την κατασκευή ολοκληρωμένων με όσο το δυνατόν μικρότερη επιφάνεια και όσο το δυνατόν μεγαλύτερο αριθμό στοιχείων.

Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η αύξηση του αριθμού των κυκλωμάτων μέσα στο ίδιο ολοκληρωμένο. Αυτό σημαίνει μείωση του κόστους, καθώς συνδυάζονται στο ίδιο ολοκληρωμένο κύκλωμα περισσότερες λειτουργίες, και αύξηση της ταχύτητας των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων (ισχύς επεξεργασίας).

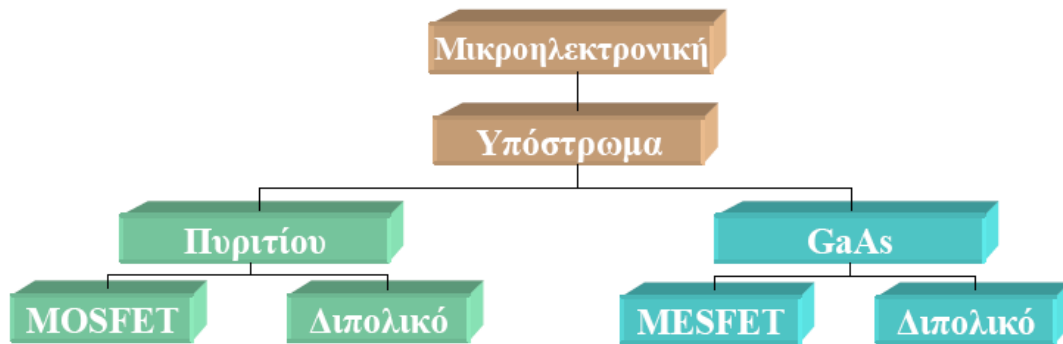
Το 1965, μόλις έξι χρόνια μετά την κατασκευή του πρώτου ολοκληρωμένου κυκλώματος, ο Μουρ (G. Moore) διατύπωσε την άποψη ότι ο αριθμός των τρανζίστορ σε ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα – και επομένως η ταχύτητα επεξεργασίας του – θα διπλασιάζεται κάθε χρόνο, χωρίς να υπάρχει ανάλογη αύξηση του κόστους. Η διατύπωση αυτή, γνωστή και ως “νόμος του Moore”, ισχύει μέχρι σήμερα με μικρές αποκλίσεις (ο διπλασιασμός επιτυγχάνεται τα τελευταία δεκαπέντε χρόνια ανά 18 μήνες), και φαίνεται στα σχ. 4.2.1 και 4.2.1 για τις ημιαγωγικές μνήμες και τους επεξεργαστές που χρησιμοποιούνται στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές.



Η συνεχής όμως αύξηση των επιδόσεων των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων δεν μπορεί να συνεχιστεί επ' άπειρον. Υπάρχουν θεωρητικά όρια τα οποία υπαγορεύουν ότι η ταχύτητα, που προκύπτει από τη συνεχή σμίκρυνση των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, δεν μπορεί να αυξηθεί πάνω από τρεις ή τέσσερις τάξεις μεγέθους σε σχέση με τη σημερινή. Το όριο αυτό τίθεται από το πρακτικό πρόβλημα της απαγωγής θερμότητας. Καθώς η επιφάνεια του ημιαγωγού μειώνεται, γίνεται ολοένα και δυσκολότερη η απαγωγή της θερμότητας που αναπτύσσεται, με αποτέλεσμα την υπερθέρμανση και την πρόωρη καταστροφή του ημιαγωγού.

Υπάρχουν επίσης και όρια στην ελάχιστη διάσταση των στοιχείων του κυκλώματος. Το ελάχιστο επιτρεπτό μέγεθος των στοιχείων του κυκλώματος δεν μπορεί να είναι μικρότερο από την απόσταση των ατόμων μέσα στον ημιαγωγικό κρύσταλλο. Το όριο αυτό κατά την **κάθετη (εγκάρσια) διεύθυνση** η σημερινή τεχνολογία το έχει ήδη επιτύχει. Τα διάφορα στρώματα ημιαγωγού, από τα οποία απαρτίζεται ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα, μπορούν δηλαδή να είναι τόσο λεπτά, όσο η απόσταση δύο ατόμων μέσα στον κρύσταλλο.

Το ελάχιστο μέγεθος στην **οριζόντια (πλευρική) διεύθυνση**, καθορίζεται από τη διακριτική ικανότητα της μεθόδου κατασκευής των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων. Με την καθιερωμένη μέθοδο της φωτολιθογραφίας (που θα παρουσιαστεί στη συνέχεια), η ελάχιστη διάσταση στοιχείων στην οριζόντια διεύθυνση είναι περίπου 0,18 μm . Η τιμή αυτή μπορεί να μειωθεί ακόμα περισσότερο με τη βοήθεια ακτίνων -X ή δέσμης ηλεκτρονίων σε διαστάσεις κάτω από 0,1 μm .

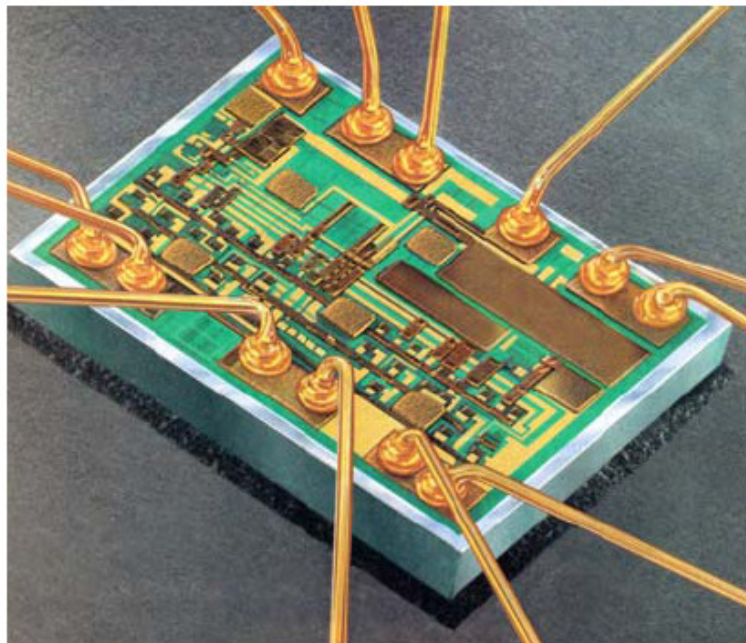


Σχ. 4.2.3. Οικογένειες ολοκληρωμένων κυκλωμάτων.

Είναι φανερό από τα παραπάνω ότι είναι δύσκολο προς το παρόν να προβλεφθεί το τελικό όριο των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων και αναμένεται σημαντική πρόοδος μέσα στον επόμενο αιώνα.

3.2 Τεχνολογία ολοκληρωμένων κυκλωμάτων

Τα ολοκληρωμένα κυκλώματα κατασκευάζονται πάνω σε υπόστρωμα μονοκρυσταλλικού πυριτίου (Si) ή αρσενικούχου γαλλίου GaAs. Τα στοιχεία τα οποία απαρτίζουν το κύκλωμα (δηλ. τα τρανζίστορ, οι αντιστάσεις, οι πυκνωτές κλπ.), αποτελούνται από περιοχές τύπου p (θετικά φορτισμένων προσμείξεων) και τύπου n (αρνητικά φορτισμένων προσμείξεων) πάνω στον αρχικό μονοκρύσταλλο πυριτίου. Οι προσμείξεις εισάγονται είτε κατά τη διάρκεια κατασκευής του αρχικού ολοκληρωμένου (chip) ή στη συνέχεια με *επιλεκτική διάχυση* σε συγκεκριμένες περιοχές (όπως θα δούμε παρακάτω). Η τεχνολογία που χαρακτηρίζει ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα προκύπτει από την τεχνολογία κατασκευής του ενεργού στοιχείου του ολοκληρωμένου κυκλώματος, δηλαδή του τρανζίστορ.



Ολοκληρωμένο κύκλωμα

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι τρανζίστορ, το τρανζίστορ διπολικών ενώσεων **BJT** (Bipolar Junction Transistor) και το τρανζίστορ επιδράσεως πεδίου **FET** (Field Effect Transistor). Τα διπολικά τρανζίστορ χρησιμοποιούνται κυρίως σε κυκλώματα

ενίσχυσης ασθενών σημάτων ή σε κυκλώματα υψηλής ισχύος. Τα FET χρησιμοποιούνται συνήθως ως ηλεκτρονικοί διακόπτες σε λογικά (ψηφιακά) κυκλώματα. Από τα FET, τα πιο σημαντικά είναι τα λεγόμενα τρανζίστορ **MOSFET (Metal Oxide Semiconductor FET)** και **MESFET (Metal Semiconductor FET)**, ονομασία που προέρχεται από την ειδική κατασκευή των ηλεκτροδίων τους.

3.3 Μικροκυματικές διατάξεις

Ο όρος “**μικροκυματικές**” αναφέρεται σε διατάξεις που λειτουργούν στην περιοχή συχνοτήτων από 1 GHz έως 30 GHz, η οποία αντιστοιχεί σε μήκη κύματος από 30 cm έως 1 cm. Η ιστορική εξέλιξη των μικροκυματικών κυκλωμάτων μοιάζει με αυτή των κλασικών ηλεκτρονικών. Υπήρξε μια συνεχής τάση για μετάβαση από τις ηλεκτρονικές μικροκυματικές λυχνίες σε μικροκυματικά ολοκληρωμένα κυκλώματα.

Όμως, επειδή τα μικροκύματα αφορούσαν στρατιωτικές εφαρμογές (λ.χ. ραντάρ, συστήματα διεύθυνσης βολής, πλοήγησης κλπ.), οι επιπτώσεις τους για ένα μεγάλο διάστημα έγιναν λιγότερο αισθητές. Οι πρώτες ανακαλύψεις έγιναν κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου πολέμου, οπότε και κατασκευάστηκαν τα πρώτα δοκιμαστικά μικροκυματικά κυκλώματα.

Οι **γραμμές μεταφοράς** στα μικροκυματικά κυκλώματα μεταφέρουν ενέργεια ή πληροφορία μεταξύ δύο σημείων του κυκλώματος. Είναι ουσιαστικά το αντίστοιχο των μεταλλικών διασυνδέσεων των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων χαμηλών συχνοτήτων. Επειδή όμως στα MIC το μέγεθος των αγωγών αυτών είναι συγκρίσιμο με το μήκος κύματος λειτουργίας, οι αγωγοί θεωρούνται **κατανεμημένοι**, ονομάζονται γραμμές μεταφοράς και έχουν εντελώς διαφορετικά χαρακτηριστικά διάδοσης του σήματος από αυτά που έχουν στις χαμηλές συχνότητες. Οι έννοιες κατανεμημένο στοιχείο ή κύκλωμα αναφέρονται ακριβώς στις σχετικές τους διαστάσεις ως προς το μήκος κύματος.

Κατανεμημένο είναι ένα στοιχείο του οποίου οι διαστάσεις είναι συγκρίσιμες με το μήκος κύματος, ενώ **εντοπισμένο** (συγκεντρωμένο) είναι το στοιχείο με διαστάσεις πολύ μικρότερες από αυτές του μήκους κύματος.

Η μεγαλύτερη εξέλιξη πραγματοποιήθηκε την περίοδο 1960-1980, οπότε και αναπτύχθηκαν τα **μικροκυματικά ολοκληρωμένα κυκλώματα (Microwave Integrated Circuits, MIC)**, τα οποία συνδυάζουν ενεργές διατάξεις (λ.χ. τρανζίστορ FET) και παθητικά στοιχεία (γραμμές μεταφοράς, αντιστάσεις, πυκνωτές, πηνία) κατανεμημένα ή συγκεντρωμένα πάνω σε ένα **διηλεκτρικό** (μονωτικό) υπόστρωμα (συνήθως αλουμίνα, Al₂O₃).

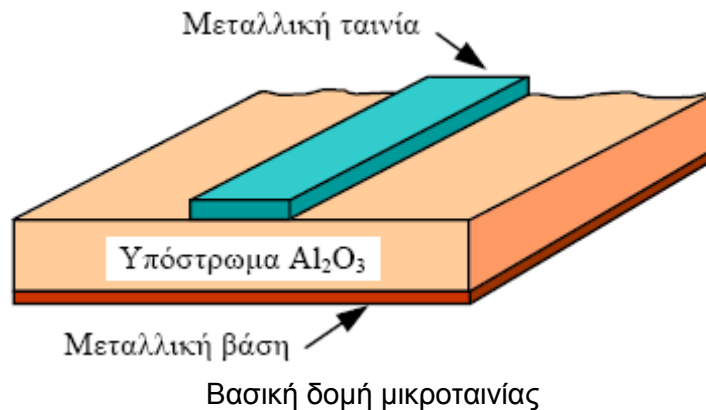
Η λογική τους εξέλιξη ήταν βέβαια τα **μονολιθικά μικροκυματικά ολοκληρωμένα κυκλώματα (Monolithic Microwave Integrated Circuits, MMIC)**, στα οποία οι ενεργές διατάξεις και τα παθητικά στοιχεία διαμορφώνονται μέσα ή πάνω σε ένα **ημιαγωγικό υπόστρωμα**, με χρησιμοποίηση των διαδικασιών κατασκευής που ισχύουν για τα συνήθη ολοκληρωμένα κυκλώματα. Το υπόστρωμα που χρησιμοποιείται συνήθως είναι το αρσενικούχο γάλλιο (GaAs). Το υλικό αυτό έχει καλύτερες ιδιότητες από το πυρίτιο το οποίο είναι ακατάλληλο για τις υψηλές συχνότητες.

Τα μικροκυματικά ολοκληρωμένα κυκλώματα έχουν μεγάλη αξιοπιστία, μικρό μέγεθος, χαμηλό κόστος, μεγάλο εύρος ζώνης και συνδυάζουν πολλές λειτουργίες πάνω στο ίδιο τσιπ. Οι εφαρμογές των μικροκυματικών ολοκληρωμένων κυκλωμάτων αφορούν σε πολλούς τομείς των επικοινωνιών, ραντάρ, και αμυντικών συστημάτων.

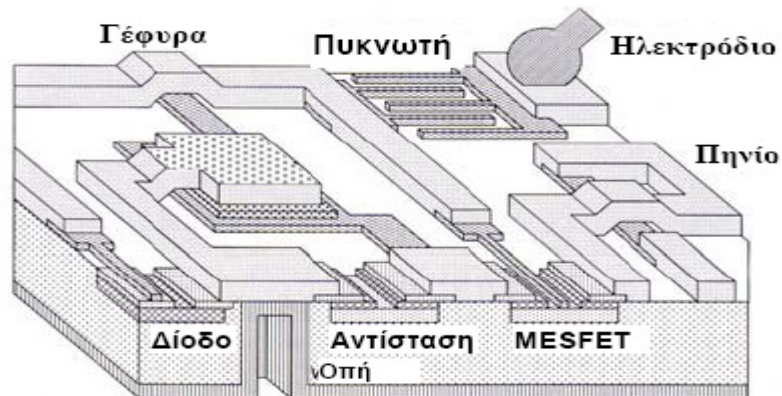
Ο πιο χαρακτηριστικός τύπος ολοκληρωμένης γραμμής μεταφοράς είναι η **μικροταινία** (microstrip) η οποία είναι το αντίστοιχο της ομοαξονικής γραμμής (π.χ. της γραμμής της τηλεόρασης) για ένα μικροκυματικό ολοκληρωμένο κύκλωμα.

Η μικροταινία είναι μια γραμμή μεταφοράς σε σμίκρυνση και αποτελείται από μία μεταλλική ταινία πάνω σε διηλεκτρικό (λ.χ. αλουμίνα) του οποίου η κάτω επιφάνεια

έχει μεταλλική επικάλυψη. Η διέγερση με ρεύμα του ενός άκρου της μικροταινίας οδηγεί σε διάδοση ηλεκτρομαγνητικού κύματος κατά μήκος αυτής με το μεγαλύτερο μέρος του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου να περιέχεται μέσα στο διηλεκτρικό.



Οι δορυφορικοί πομποί και δέκτες σε συχνότητες 12 ή 4 GHz, η δορυφορική τηλεόραση, το δορυφορικό τηλέφωνο και τα κινητά τηλέφωνα στα 900 και 1800 MHz χρησιμοποιούν MMIC. Επίσης, τα ναυτιλιακά και στρατιωτικά ραντάρ και τα συστήματα ηλεκτρονικού πολέμου χρησιμοποιούν μικροκυματικά ολοκληρωμένα κυκλώματα.

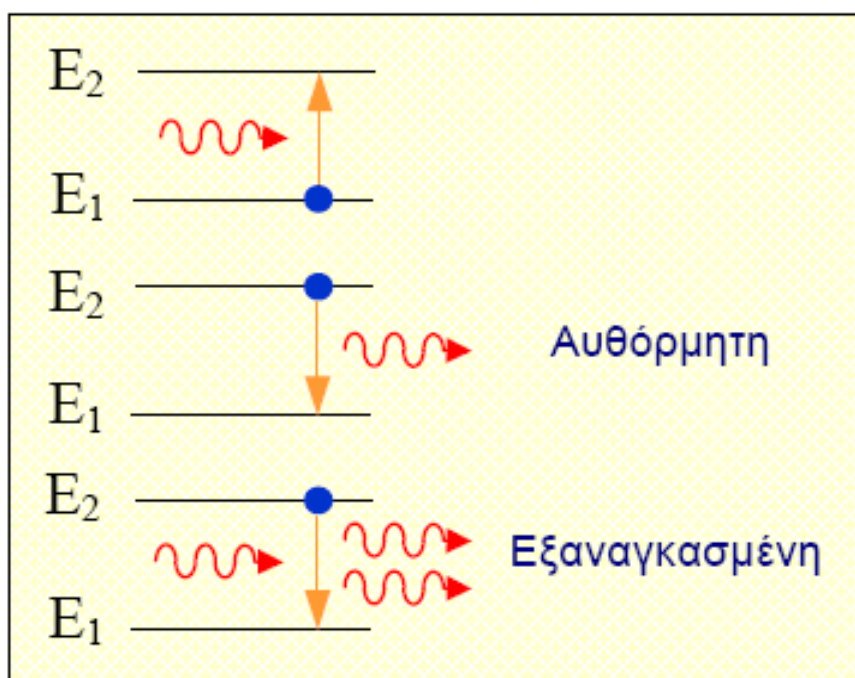


Τρισδιάστατο σχηματικό διάγραμμα MMIC

Τα MMIC έχουν εξελιχθεί σήμερα σε τέτοιο βαθμό, ώστε να λειτουργούν σε συχνότητες της τάξης των 100 GHz. Οι επιδόσεις αυτές οφείλονται στα βελτιωμένα υλικά και τις προωθημένες τεχνολογίες κατασκευής ολοκληρωμένων κυκλωμάτων. Ο συνδυασμός της εξέλιξης των μικροκυματικών κυκλωμάτων με την εξέλιξη των οπτικοηλεκτρονικών διατάξεων θα έχει έντονη επίδραση σε περιοχές της τεχνολογίας, όπως η ρομποτική, η δορυφορική τεχνολογία, οι μικροκυματικοί αισθητήρες και τα ηλεκτρονικά ευρείας χρήσης.

3.4 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.



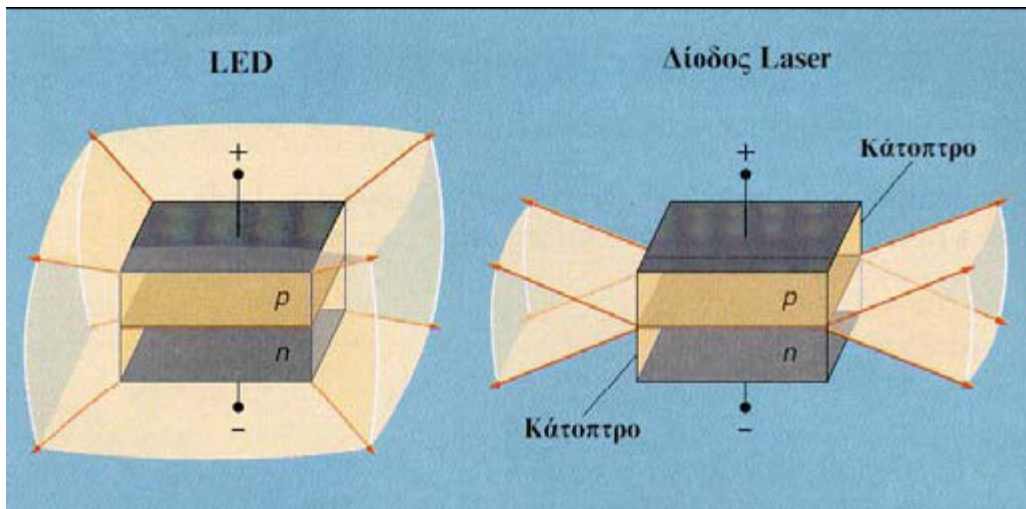
Βασικές αλληλεπιδράσεις ύλης – ενέργειας.

(α) Απορρόφηση: Ένα φωτόνιο ενέργειας $E_2 - E_1$ απορροφάται από ένα ηλεκτρόνιο στη βασική κατάσταση E_1 και μεταβαίνει στην ανώτερη ενεργειακή κατάσταση E_2 .

(β) Αυθόρμητη εκπομπή: Το διεγερμένο ηλεκτρόνιο αποδιεγείρεται “αυθόρμητα” εκπέμποντας φωτόνιο ενέργειας $(E_2 - E_1)$. Το φως που προκύπτει εκπέμπεται κατά τελείως τυχαίο τρόπο, δηλ. σε τυχαίες χρονικές στιγμές και σε τυχαίες διευθύνσεις.

(γ) Εξαναγκασμένη εκπομπή: Ένα φωτόνιο ενέργειας $(E_2 - E_1)$ εξαναγκάζει την αποδιέγερση του διεγερμένου ηλεκτρονίου και προκαλεί την εκπομπή δευτερογενούς φωτονίου.

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.



Εκπομπή φωτός από Led και Laser

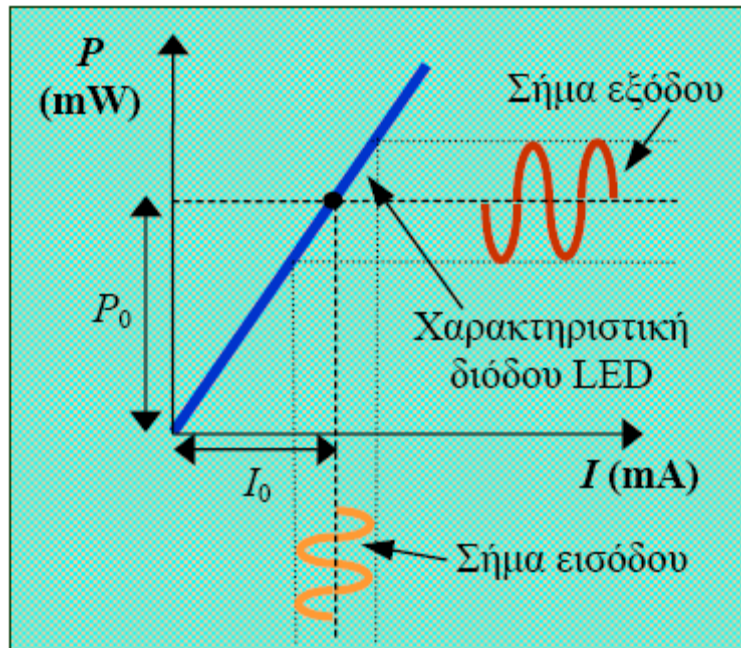
Οι οπτικές πηγές με φέρουσες συχνότητες της τάξης 10^{14} Hz υπερτερούν κατά 4-5 τάξεις μεγέθους σε σχέση με τις μικροκυματικές πηγές, οι οποίες εκπέμπουν σε συχνότητες μερικών GHz (10^9 Hz). Άρα, τα οπτικά συστήματα είναι σε θέση να μεταβιβάσουν 10 έως 100 χιλιάδες φορές περισσότερη πληροφορία από τα αντίστοιχα μικροκυματικά και βεβαίως εκατοντάδες εκατομμύρια φορές σε σχέση με οποιοδήποτε άλλο μέσο μετάδοσης (λ.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 (λ.χ. της έντασης) της φωτεινής δέσμης.

3.4.1 Πηγές LED

Οι LED είναι πηγές σχετικά απλές και βρίσκουν ευρεία χρήση σε ασύρματες υπέρυθρες επικοινωνίες, στα τηλεχειστήρια, σε εφαρμογές ηλεκτρονικής απεικόνισης (φωτεινοί ενδείκτες) κλπ.

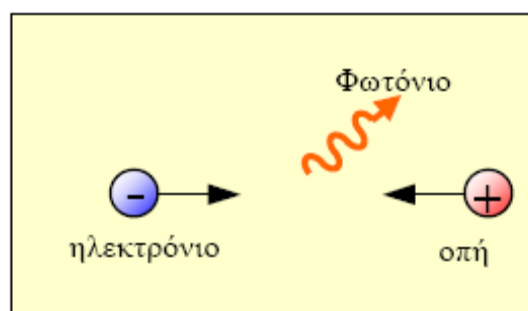
Η LED είναι μία ημιαγωγική διάταξη ένωσης $p-n$, η οποία εκπέμπει φως, όταν ο θετικός ακροδέκτης τροφοδοσίας συνδεθεί στην περιοχή τύπου p και ο αρνητικός στην περιοχή τύπου n (αυτή η συνδεσμολογία ονομάζεται **ορθή πόλωση**).



Σχ. Χαρακτηριστική οπτικής ισχύος εκπομπής – ρεύματος πόλωσης διόδου LED.

Η διαμόρφωση του ρεύματος οδήγησης της LED από το σήμα πληροφορίας μετατρέπεται από το γραμμικό τμήμα της καμπύλης σε αντίστοιχες διακυμάνσεις της οπτικής ισχύος εξόδου.

Ο μηχανισμός με τον οποίο παράγεται το φως στην ένωση $p-n$ είναι ο εξής: ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο, καθώς κινείται προς το θετικό ακροδέκτη, συναντά μια αντίθετα κινούμενη οπή στην περιοχή της ένωσης. Τα δύο σωματίδια επανασυνδέονται μεταξύ τους και αποδίδουν ενέργεια υπό μορφή ενός φωτονίου. Η παραγωγή φωτός κατ' αυτόν τον τρόπο ονομάζεται *αυθόρμητη εκπομπή* και χαρακτηρίζει τον τρόπο λειτουργίας των διόδων LED κατά τον οποίο το φως εκπέμπεται ομοιόμορφα προς όλες τις διευθύνσεις στο χώρο.



Επανασύνδεση οπής-ηλεκτρονίου και εκπομπή φωτονίου

Παραγωγή φωτός δεν προκύπτει από οποιοδήποτε ημιαγωγό αλλά από συγκεκριμένους ημιαγωγούς. Στους συνήθεις ημιαγωγούς των ηλεκτρονικών, δηλ. το πυρίτιο και το γερμάνιο, η επανασύνδεση πραγματοποιείται με απελευθέρωση 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 ίνδιο (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.

| ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3 ΗΜΙΑΓΩΓΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΟΠΤΙΚΩΝ ΠΗΓΩΝ | |
|--|---------------------|
| ΥΛΙΚΟ (ενεργό στρώμα/ υποστρώμα) | 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 3.3 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.

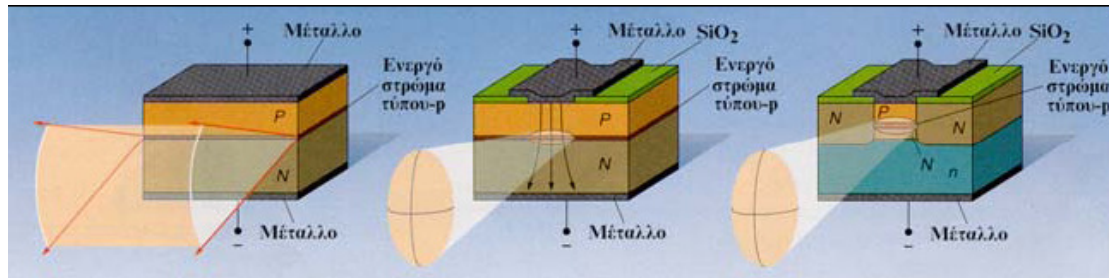
Η εξαναγκασμένη εκπομπή δίνει ένα δευτερογενές φωτόνιο που προκύπτει από το αρχικό και έχει την ίδια συχνότητα, φάση και διεύθυνση με αυτό. Τα δύο αυτά φωτόνια μπορούν με τη σειρά τους να παράγουν άλλα δύο με εξαναγκασμένη εκπομπή. Έτσι έχουμε παραγωγή φωτονίων κατά αλυσιδωτή έννοια, και επομένως ενίσχυση του αρχικού οπτικού σήματος το οποίο προήλθε από αυθόρμητη εκπομπή.

Ο όρος *σύμφωνο φως* αναφέρεται ακριβώς στο γεγονός ότι όλα τα φωτόνια που εκπέμπονται τελικά από ένα laser είναι συγχρονισμένα μεταξύ τους (δηλαδή έχουν την ίδια φάση).

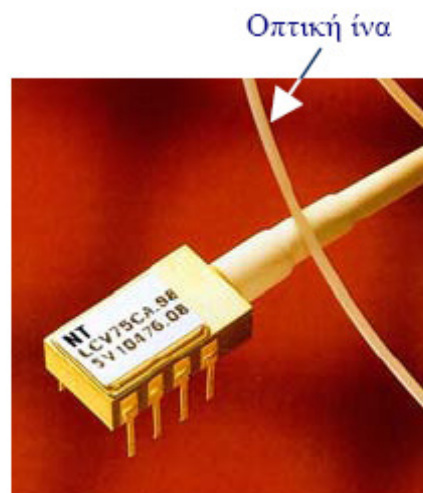
Η φωτεινή ισχύς της LED φθάνει τα μερικά mW. Η **απόδοση** της LED είναι το κλάσμα της ηλεκτρικής ισχύος εισόδου που μετατρέπεται σε φωτεινή ισχύ εξόδου. Η απόδοση αυτή σήμερα είναι της τάξης του 10%. Οι LED μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μετάδοση πληροφορίας σε ψηφιακή ή αναλογική μορφή μέσα από μια 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. Η διαμόρφωση είναι η μεταβολή της φωτεινής ισχύος εκπομπής της LED σύμφωνα με τις μεταβολές του ρεύματος οδήγησης που τη διαρρέει. Η δυνατότητα αυτή φαίνεται στο σχ. 3.8 όπου παριστάνεται η οπτική ισχύς εξόδου της LED συναρτήσει του ρεύματος οδήγησης. Η σχέση αυτή είναι μια ευθεία γραμμή, και επομένως οι διακυμάνσεις του ρεύματος μετατρέπονται με γραμμικό τρόπο σε διακυμάνσεις της οπτικής ισχύος εξόδου.

3.4.2 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.



Διάφοροι τύποι ημιαγωγικού Laser



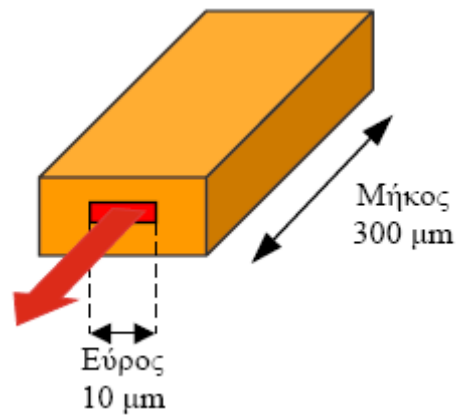
Πομπός ημιαγωγικού Laser του εμπορίου

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 :

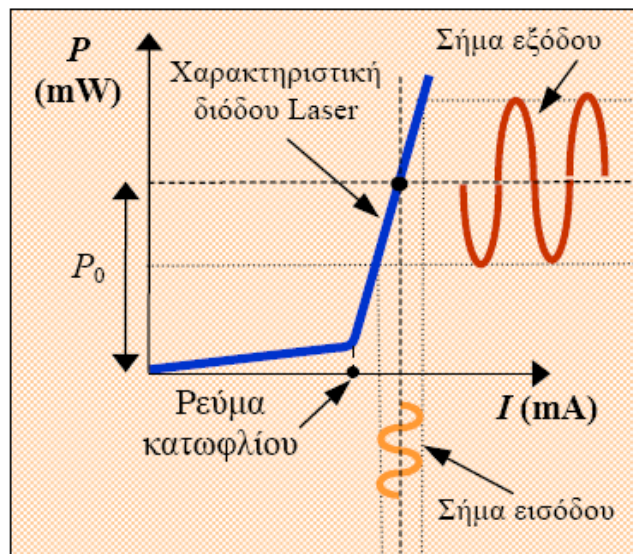
- α) η ενίσχυση (απολαβή) ξεπερνά τις εσωτερικές απώλειες του υλικού
- β) η φωτεινή δέσμη διαπερνά τα ημιδιαφανή ανακλαστικά άκρα (κάτοπτρα) και
- γ) εκπέμπεται μια σχεδόν **μονοχρωματική** φωτεινή δέσμη, εξαιρετικά μεγάλης λαμπρότητας και μεγάλης κατευθυντικότητας.

Η αυθόρμητη εκπομπή παράγει ασύμφωνο φως, φως που δεν έχει μια αναγνωρίσιμη ημιτονοειδή φύση, αφού αποτελείται από μια ροή φωτονίων με ανεξάρτητη φάση μεταξύ τους. Το φως που προέρχεται από αυθόρμητη εκπομπή εμφανίζει πολύ μεγάλο φάσμα συχνοτήτων. Το είδος αυτό φωτός είναι χαρακτηριστικό μιας θερμικής πηγής, όπως ένας φωτεινός λαμπτήρας ή μιας πηγής αυθόρμητου φωτός όπως η LED.

Η εξαναγκασμένη εκπομπή του laser παράγει σύμφωνο φως σε μία πολύ στενή περιοχή συχνοτήτων (μονοχρωματικό φως). Η ιδιότητα ακριβώς αυτή είναι που κάνει τα laser τις πλέον κατάλληλες πηγές για επικοινωνίες με οπτικές ίνες, στις οποίες η αντιμετώπιση του φαινομένου της διασποράς απαιτεί πηγές με στενό φάσμα εκπομπής για την αύξηση της μέγιστης απόστασης διάδοσης.

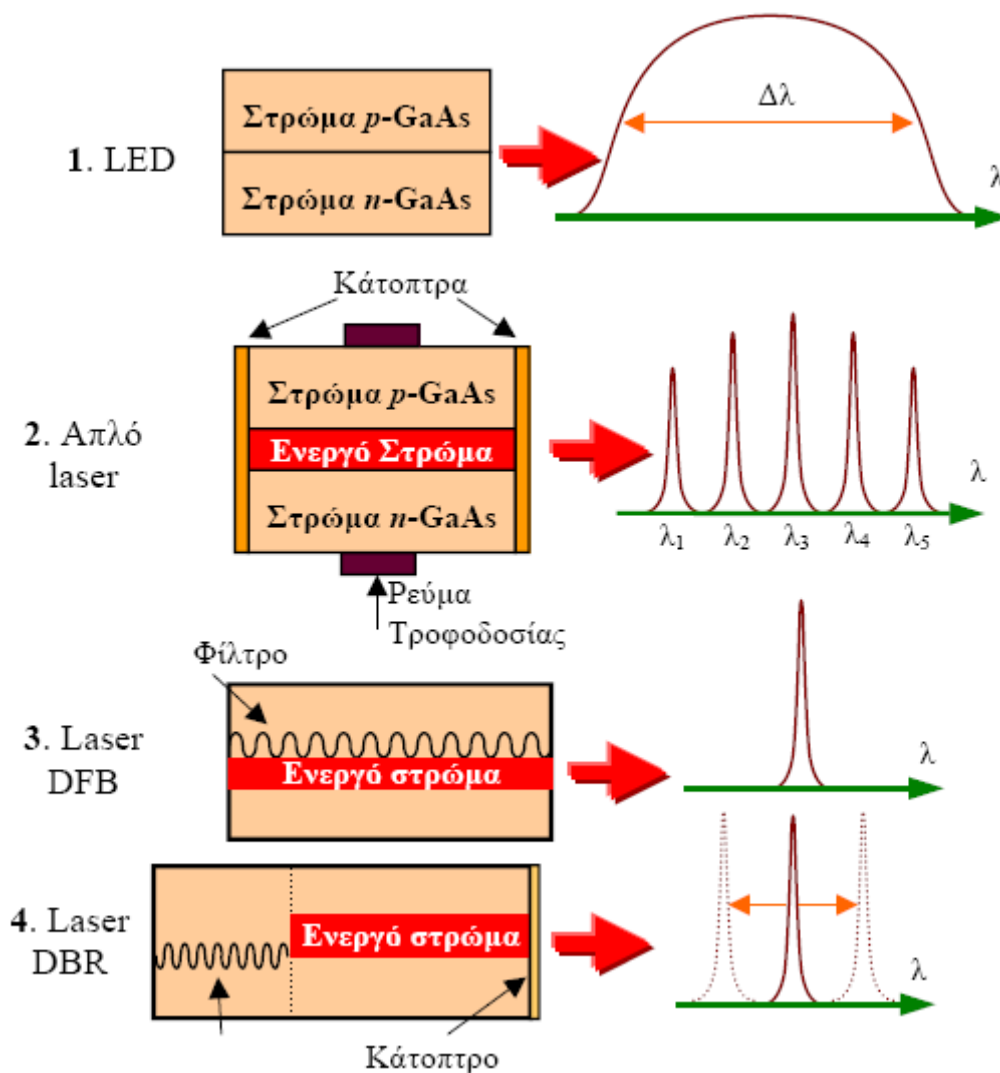


Τυπικές διαστάσεις του ημιαγωγικού Laser



Σχ. Χαρακτηριστική οπτικής ισχύος εκπομπής – ρεύματος πόλωσης διόδου Laser. Η διαμόρφωση του ρεύματος οδήγησης της Laser από το σήμα πληροφορίας, μετατρέπεται από το γραμμικό τμήμα της καμπύλης σε αντίστοιχες διακυμάνσεις της οπτικής ισχύος εξόδου.

Η περιοχή γύρω από την ένωση $p-n$ στην οποία πραγματοποιείται η παραγωγή σύμφωνα φωτός ονομάζεται **ενεργός περιοχή** ή **ενεργό στρώμα**. Το ρεύμα πάνω από το οποίο παράγεται σύμφωνα φως ονομάζεται **ρεύμα κατωφλίου**.



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.

Με την πάροδο των ετών, αναπτύχθηκαν πολυάριθμες σχεδιάσεις δομών laser. Η πιο απλή δομή ημιαγωγικού laser, που ήδη εξετάστηκε, περιλαμβάνει δύο κάτοπτρα στα άκρα της. Μια τέτοια δομή όμως εκπέμπει πολλά μήκη κύματος ταυτόχρονα σε μια στενή περιοχή του φάσματος.

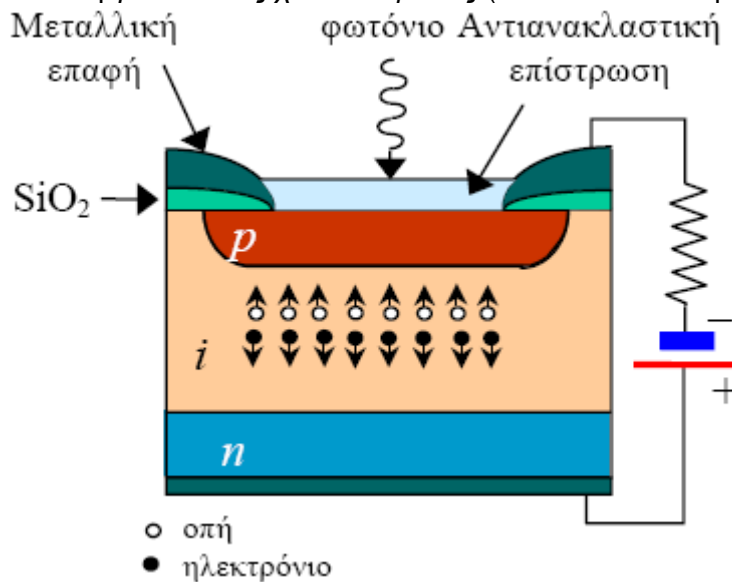
Υπάρχουν όμως και δομές laser για εφαρμογές που απαιτούν εκπομπή σε ένα μόνο μήκος κύματος (δηλ. πολύ στενό φάσμα εκπομπής ή “μονοχρωματική” εκπομπή). Δύο σημαντικές τέτοιες δομές είναι τα laser DFB (**D**istributed **F**eed**B**ack) και DBR (**D**istributed **B**ragg **R**eflector) που χρησιμοποιούν ένα φίλτρο μέσα στον ημιαγωγό, το

οποίο επιτρέπει την ανατροφοδότηση του φωτός σε **ένα** μήκος κύματος. Το laser DFB εκπέμπει σε ένα προκαθορισμένο μήκος κύματος, ενώ το laser DBR έχει τη δυνατότητα να μεταβάλλει (ρυθμίζει) το μήκος κύματος εκπομπής μέσα σε μια περιοχή. Αυτό πραγματοποιείται εάν αλλάζουμε τα χαρακτηριστικά του φίλτρου.

3.5 Φωτοδέκτες

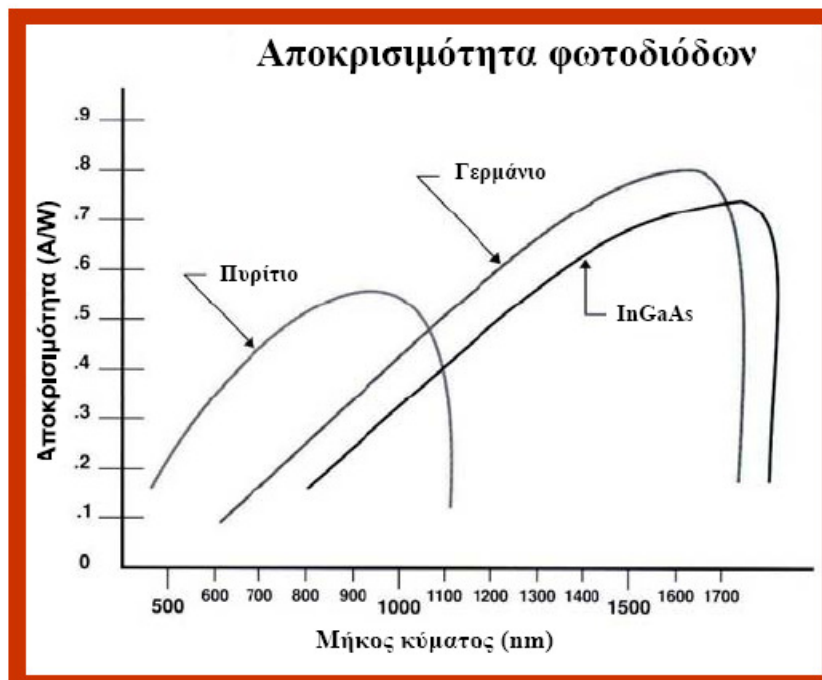
Οι φωτοδέκτες ή φωτοφωρατές είναι οι ηλεκτρονικές διατάξεις που μετατρέπουν ένα φωτεινό σήμα σε ηλεκτρικό. Το φωτεινό σήμα φθάνει συνήθως μέσω μιας οπτικής ίνας και μετατρέπεται σε ηλεκτρική μορφή, προκειμένου να οδηγηθεί στις επόμενες βαθμίδες ηλεκτρονικής επεξεργασίας.

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 φωτοдиодων ημιαγωγού: η φωτοдиодος *PIN* και η φωτοдиодος χιονοστοιβάδας (APD: avalanche photodiode).



Δομή και συνδεσμολογία μιας διόδου PIN

Η φωτοдиодος *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 φωτοдиодος 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 φωτοдиодο, 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.



Σχ. Καμπύλες αποκρισιμότητας φωτοδιόδων συναρτήσει του μήκους κύματος του προσπίπτοντος φωτός για υλικά Si, Ge, InGaAs.

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).

Η σημαντικότερη παράμετρος μιας φωτοδιόδου είναι η *αποκρισιμότητα* R (Responsivity) που συσχετίζει το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα, με την προσπίπτουσα στη φωτοδίοδο οπτική ισχύ P μέσω της σχέσης

$$R = \frac{I}{P}$$

και εξαρτάται από το μήκος κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Οι τυπικές τιμές της αποκρισιμότητας είναι 0,75 – 0,9 A/W.



Φωτοδίοδος PIN

Σημαντική επίσης ιδιότητα μιας φωτοδιόδου PIN είναι το μεγάλο εύρος φωτεινής ισχύος που μπορεί να ανιχνεύσει. Η φωτοδίοδος μπορεί να ανιχνεύσει φωτεινή ισχύ στην περιοχή από μερικά nWatts μέχρι μερικές δεκάδες mWatts. Σε όλη αυτήν την περιοχή η φωτοδίοδος παράγει ρεύμα **ανάλογο** ($I = R \cdot P$) της προσπίπτουσας φωτεινής ισχύος. Το ρεύμα εξόδου μιας PIN είναι πολύ ασθενές, της τάξης του μΑ,

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.

3.6 Οπτικοηλεκτρονική ολοκλήρωση

Στην αρχή του κεφαλαίου αναφέρθηκαν δύο ιστορικές ανακαλύψεις στο χώρο της Ηλεκτρονικής: η ανακάλυψη του τρανζίστορ το 1948 και του ολοκληρωμένου κυκλώματος το 1958. 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.**

Έτσι, στο ίδιο ολοκληρωμένο κύκλωμα μπορεί να συνυπάρχουν:

- α) η διόδος laser,
- β) το ηλεκτρονικό κύκλωμα τροφοδοσίας και διαμόρφωσης της διόδου laser,
- γ) η φωτοδίοδος,
- δ) το κύκλωμα ενίσχυσης της φωτοδίοδου,
- ε) παθητικά φωτονικά κυκλώματα (οπτικά φίλτρα, κλπ.)

Η ολοκλήρωση αυτή επιτρέπει στους σχεδιαστές να συνδυάζουν τα πλεονεκτήματα κάθε ξεχωριστής διάταξης σε μια ενιαία δομή και να προτείνουν δομές με εντελώς νέες δυνατότητες και εφαρμογές. Η οπτικοηλεκτρονική ολοκλήρωση επιτεύχθηκε χάρη στην πρόοδο των διαδικασιών κατασκευής ολοκληρωμένων κυκλωμάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Κωδικοποίηση πηγής

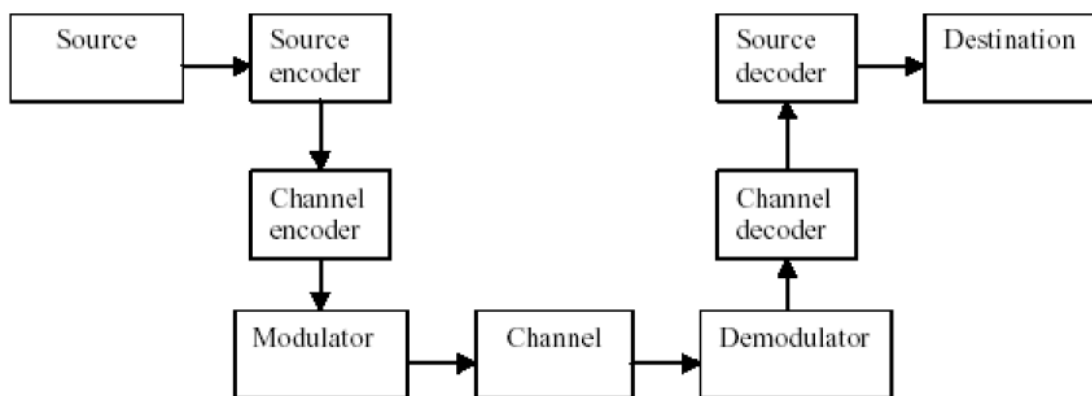
Σε ένα σύστημα επικοινωνίας έχουμε μετάδοση δεδομένων από τη πηγή τους σε κάποιον προορισμό (δέκτη), όπως βλέπουμε στο σχήμα 1. Τα δεδομένα στην πηγή υφίστανται επεξεργασία από ένα κωδικοποιητή πηγής, που τα μετασχηματίζει σε μια πιο συμπαγή συμπιεσμένη μορφή. Οι κωδικοποιητές παράγουν στην έξοδο τους κωδικές λέξεις (codewords). Μια κωδική λέξη είναι μια ακολουθία χαρακτήρων από ένα κωδικό αλφάβητο. Οι κωδικές λέξεις που εμφανίζονται στην έξοδο της πηγής (source codewords) είναι ακολουθίες από σύμβολα του κώδικα πηγής.

Οι ακολουθίες αυτές κατόπιν οδηγούνται σε ένα κωδικοποιητή καναλιού, όπου μετασχηματίζονται σε κωδικές λέξεις καναλιού (channel codewords). Σε αντίθεση με τους κωδικοποιητές πηγής, όπου σκοπός είναι η συμπίεση της μεταδιδόμενης ακολουθίας, οι κωδικοποιητές καναλιού αυξάνουν το μέγεθος της προς μετάδοση ακολουθίας, προσθέτοντας σε αυτήν bit πλεονασμού (redundancy bits).

Ο λόγος που γίνεται αυτό είναι η προστασία των ψηφιακών δεδομένων από σφάλματα μετάδοσης. Στη συνέχεια ο διαμορφωτής (modulator) μετασχηματίζει τα σύμβολα του κώδικα καναλιού στην τελική μορφή (αναλογικό σήμα) που θα μεταδοθεί στο κανάλι. Κατά τη μετάδοση τους στο κανάλι, τα σήματα υφίστανται διάφορες αλλοιώσεις λόγω φαινομένων όπως θόρυβος, παραμόρφωση και παρεμβολές. Ο αποδιαμορφωτής είναι η μονάδα εκείνη όπου ανακτάται η πληροφορία της πηγής. Σε πρώτο στάδιο από το μεταδιδόμενο σήμα ανακτώνται τα σύμβολα, που προκύπτουν στην έξοδο του κωδικοποιητή καναλιού στην πηγή.

Για να επιτευχθεί αυτό από ένα σήμα, που όπως αναφέραμε παραπάνω, έχει υποστεί πλήθος αλλοιώσεων κατά τη μετάδοσή του, απαραίτητα είναι τα bits πλεονασμού. Έπειτα οι μορφές αυτές οδηγούνται στον αποκωδικοποιητή πηγής

όπου υφίστανται αποσυμπίεση για να λάβουμε την αρχική μορφή της πληροφορίας. Σκοπός μας είναι πάντα η πιο αποδοτική μετάδοση των δεδομένων. Λέγοντας αποδοτική εννοούμε, όταν για παράδειγμα έχουμε ένα δεδομένο κανάλι και μια δεδομένη επιθυμητή ποιότητα υπηρεσίας στο δέκτη, τη μετάδοση των δεδομένων στην υψηλότερη δυνατή ταχύτητα. Τα θεωρητικά όρια για την κωδικοποίηση πηγής και καναλιού μας τα παρέχει η θεωρία πληροφοριών. Η θεωρία πληροφοριών αποτέλεσε και τη βάση για τις πρώτες εφαρμογές συμπίεσης δεδομένων. Οι περισσότερες πρακτικές μέθοδοι που χρησιμοποιούνται στην κωδικοποίηση καναλιού στηρίζονται στη θεωρία αλγεβρικής κωδικοποίησης. Παρακάτω θα αναφερθούμε μόνο στις πολύ βασικές ιδέες των δύο αυτών τεράστιων σε όγκο θεωριών.



Μπλόκ διάγραμμα ενός ψηφιακού καναλιού επικοινωνίας

4.1 Κωδικοποίηση πηγής: εντροπία και συμπίεση

Η έννοια της πληροφορίας είναι εξαιρετικά ευρεία για να εξαντληθεί σε έναν απλό ορισμό. Η εντροπία είναι ένα μέγεθος που μπορεί να υπολογιστεί για κάθε πιθανοτική κατανομή και έχει πολλές ιδιότητες που βρίσκονται σε συμφωνία με την αντίληψη που έχουμε, βασιζόμενοι στη διαίσθησή μας, για μια μέτρηση της πληροφορίας.

Ας θεωρήσουμε X μια διακριτή τυχαία μεταβλητή ενός αλφαβήτου \mathcal{X} με κατανομή πιθανότητας $p(x)=\Pr(X=x)$, x ανήκει στο \mathcal{X} . Η εντροπία $H(X)$ μιας διακριτής τυχαίας μεταβλητής X καθορίζεται από τον τύπο:

$$H(X) = -\sum_x p(x) \log_2 p(x)$$

και μετριέται σε bits. Για μια δυαδική μεταβλητή, όταν $P(x=1)=p$ και $P(x=0)=1-p$, ο παραπάνω τύπος απλοποιείται στον:

$$h(p) = p \log_2 p + (1-p) \log_2 (1-p)$$

Συγκεκριμένα για την περίπτωση της ρίψης ενός νομίσματος (κορώνα-γράμματα) η εντροπία είναι 1. Αυτό προκύπτει απλά από τον παραπάνω τύπο αν θέσουμε $p=0.5$ (ισοπίθανα ενδεχόμενα). Η εντροπία είναι μέγεθος που δεν λαμβάνει αρνητικές τιμές, γιατί αφού $0 \leq p(x) \leq 1$, συνεπάγεται ότι $\log_2 p(x) \leq 0$.

Υποθέστε ότι η τυχαία μεταβλητή X έχει πιθανά αποτελέσματα a, b, c, d με αντίστοιχες πιθανότητες $1/2, 1/4, 1/8, 1/8$. Ένα άτομο A επιλέγει ένα από τα παραπάνω, σύμφωνα

με την παραπάνω κατανομή πιθανοτήτων. Ένα άλλο άτομο B πρέπει να βρει το αποτέλεσμα με τον ελάχιστο αριθμό ερωτήσεων. Θα ρωτήσει πρώτα αν είναι το a. Αν ναι, σταματά εκεί, αλλιώς ρωτά «Είναι το b;», Αν ναι, σταματά εκεί, αλλιώς ρωτάει αν είναι το c. Με τον τρόπο αυτό ο B ξεδιαλώνει την αβεβαιότητα για το αποτέλεσμα με τρεις δυαδικές ερωτήσεις. Ο μέσος αριθμός ερωτήσεων που θα πραγματοποιήσει είναι:

$$0.5 \cdot 1 + 0.25 \cdot 2 + 0.25 \cdot 3 = 1.75$$

Αυτό που είναι ενδιαφέρον στο παραπάνω παράδειγμα είναι ότι η εντροπία έχει την ίδια τιμή, δηλαδή $H(X) = 1.75$. Γενικά ο ελάχιστος αναμενόμενος αριθμός δυαδικών ερωτήσεων είναι μεταξύ $H(X)$ και $H(X)+1$.

Στο σημείο αυτό μπορούμε να καθορίσουμε το θεμελιώδες όριο συμπίεσης της πληροφορίας. Η συμπίεση δεδομένων μπορεί να επιτευχθεί περιγράφοντας τα πιο συχνά αποτελέσματα με δυαδικές ακολουθίες μικρού μήκους και με δυαδικές ακολουθίες μεγαλύτερου μήκους τα λιγότερο συχνά. Παρακάτω εξηγούμε την περίφημη κωδικοποίηση του Huffman, με την οποία βρίσκονται τα ελάχιστα μήκη δυαδικών ακολουθιών που αναπαριστούν δεδομένα.

Ένας κώδικας πηγής C για μια τυχαία μεταβλητή X είναι μια αντιστοίχιση από τη κλίμακα X στην αντίστοιχη Y^* , όπου Y^* το σύνολο των ορισμένου μήκους ακολουθιών από ένα s-αδικό αλφάβητο, π.χ. $Y^* = \{y_1, y_2, \dots, y_s\}$. Έστω $C(x)$ η κωδική λέξη που αντιστοιχεί στη x και έστω $l(x)$ το μήκος της $C(x)$. Το αναμενόμενο μήκος $L(C)$ ενός κώδικα μιας πηγής C για μια τυχαία μεταβλητή με πυκνότητα πιθανότητας $p(x)$, δίνεται από τον τύπο

$$L(C) = \sum_x p(x)l(x).$$

Για το αριθμητικό παράδειγμα που αναλύσαμε παραπάνω, κατά Huffman η πηγή μπορεί να κωδικοποιηθεί ως $C = \{0, 10, 110, 111\}$, όπου $C(a) = 0$, $C(b) = 10$, $C(c) = 110$, $C(d) = 111$, και $L(C) = 1.75$.

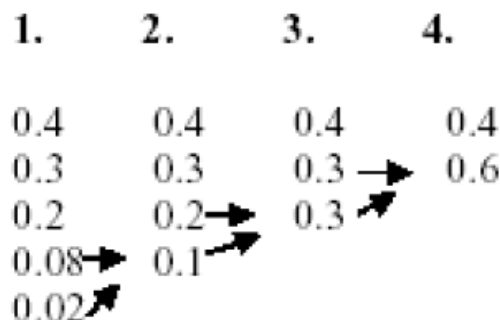
Ένας κώδικας καλείται κώδικας προθέματος (prefix code) αν δεν υπάρχει κωδική λέξη η οποία να αποτελεί πρόθεμα άλλης κωδικής λέξης. Ο κώδικας του παραπάνω παραδείγματος είναι κώδικας προθέματος.

Στην περίπτωση που έχουμε κώδικα προθέματος, ένα άτομο μπορεί από ένα σύνολο κωδικών λέξεων συνενωμένων (concatenated) σε μια μακριά ακολουθία, να ξεχωρίσει κάθε κωδική λέξη και κατόπιν να προχωρήσει στην αποκωδικοποίησή τους. Συνεπώς, ένας κώδικας προθέματος είναι ένας μοναδικά αποκωδικοποιήσιμος κώδικας.

Για έναν τυχαίο τέτοιο κώδικα C, το αναμενόμενο μήκος κωδικής λέξης δε μπορεί να είναι μικρότερο από $H(X)/\log_2 s$. Ο αλγόριθμος για την εύρεση του βέλτιστου μοναδικά αποκωδικοποιήσιμου κώδικα είναι γνωστός: ο κώδικας Huffman. Η εφαρμογή του δίνει μέσο μήκος κωδικής λέξης ανάμεσα σε $H(X)$ και $H(X)+1$:

$$H(X)/\log_2 s \leq L(C) < H(X+1)/\log_2 s + 1$$

Για καλύτερη κατανόηση παραθέτουμε ένα αριθμητικό παράδειγμα, για μια τυχαία μεταβλητή X με κατανομή πιθανοτήτων: $\{0.4, 0.3, 0.2, 0.08, 0.02\}$.



Συνδυάζουμε τα 2 λιγότερο πιθανά σύμβολα σε ένα σύμβολο, έως ότου τελικά μείνουμε με ένα μόνο σύμβολο και μετά αντιστοιχίζουμε κωδικές λέξεις στα σύμβολα ξεκινώντας από το βήμα 4 προς τα πίσω.

Πρώτα αντιστοιχίζουμε την κωδική λέξη $C(x1)=0$ στην πιθανότητα 0.4 και το πρόθεμα 1 σε όλες τις άλλες πιθανότητες της κατανομής. Το πρόθεμα επιμηκύνεται με το bit 0 και έχουμε την $C(x2)=10$ με πιθανότητα 0.3 στο βήμα 3. Το άλλο τμήμα του 0.6, με πιθανότητα 0.3 πάλι, αποκτά πρόθεμα 11. Στο βήμα 2 το πρόθεμα 11 επιμηκύνεται με το bit 0 και έχουμε $C(x3)=110$ και το πρόθεμα 111 στο βήμα 1 επιμηκύνεται με bits 0 και 1 δίνοντας τις κωδικές λέξεις $C(x4)=1110$ και $C(x5)=1111$ αντίστοιχα.

Το πλεονέκτημα του αυτοσυγχρονισμού των κωδικών προθέματος αποτελεί ταυτόχρονα και μειονέκτημα όταν μεταδίδονται μέσω ενός καναλιού με θόρυβο, που οδηγεί σε αλλοιώσεις του σήματος που φτάνει στο δέκτη. Μπορεί, στην περίπτωση αυτή, η απώλεια συγχρονισμού σε ένα σημείο μιας ακολουθίας bits, να οδηγήσει σε λανθασμένη αποκωδικοποίηση όλων των επόμενων κωδικών λέξεων.

Αν αντίθετα χρησιμοποιήσουμε κώδικα, όπου οι κωδικές λέξεις έχουν σταθερό μήκος, το πρόβλημα αυτό εξαλείφεται. Δυστυχώς όμως, ένας μοναδικά αποκωδικοποιήσιμος κώδικας με σταθερό μήκος δε μας δίνει δυνατότητα για συμπίεση. Κατά συνέπεια πρέπει να εγκαταλείψουμε την μονοσήμαντη αποκωδικοποίηση, αν θέλουμε να έχουμε σταθερό μήκος λέξεων παράλληλα με δυνατότητα για συμπίεση. Δεχόμαστε τότε την παραμόρφωση που εισάγει μια συμπίεση αυτής της μορφής. Η παραμόρφωση αυτή δεν είναι αποδεκτή για περιπτώσεις συμπίεσης (π.χ. program codes) αλλά είναι αποδεκτή για πηγές φωνής ή εικόνας, μέσα σε κάποια καθορισμένα όρια ποιότητας υπηρεσίας (Quality of Service - QoS).

4.2 Φασματικό bit rate και αναλογία ενέργειας bit προς θόρυβο

Θεωρήστε τον κωδικοποιητή και το διαμορφωτή σαν μια μονάδα, η οποία δέχεται μηνύματα και παράγει σήματα στην έξοδο. Με άλλα λόγια ένα μήνυμα συλλέγει ένα σήμα από ένα σύνολο κυματομορφών σηματοδosis. Έστω S η μέση ενέργεια που στέλνει το σήμα στο κανάλι. Αν με R_b [bit/sec] συμβολίσουμε το bit rate τότε η ενέργεια bit είναι $E_b=S/R_b$.

Ο Shannon ήταν αυτός που μας έδωσε τον τύπο που μας δίνει τη χωρητικότητα C [bit/sec] για κανάλι με **προσθετικό θόρυβο Gauss** (additive gaussian noise):

$$C=W \log_2(1+S/N_0W)$$

όπου W είναι το εύρος ζώνης του καναλιού, πράγμα που σημαίνει ότι για τη κυματομορφή σηματοδosis $s(t)$ με ενέργεια $S=E_b R_b$, το φάσμα της μηδενίζεται έξω από τη ζώνη $[-W/2, W/2]$. Επιπλέον, με N_0 [watts/Hz] συμβολίζουμε την φασματική πυκνότητα του λευκού θορύβου. Ο παραπάνω τύπος μας λέει ότι κάθε κυματομορφή σηματοδosis δε μπορεί να μεταδώσει περισσότερα C bits/sec διά μέσω ενός προσθετικού καναλιού λευκού θορύβου, με αυθαίρετα χαμηλό ρυθμό σφάλματος bit (bit error rate). Όπως γίνεται αντιληπτό, ο τύπος του Shannon μας δίνει ένα όριο που λειτουργεί ως σημείο αναφοράς για την αξιολόγηση της απόδοσης ενός ψηφιακού καναλιού επικοινωνίας. Πειραματιζόμενοι με τον παραπάνω τύπο μπορούμε να εξαγάγουμε χρήσιμα συμπεράσματα. Είναι ενδιαφέρον το τι συμβαίνει αν θεωρήσουμε στον παραπάνω τύπο πολύ μεγάλο εύρος ζώνης. Προκύπτει τότε, ότι ο ελάχιστος λόγος ενέργεια σήματος προς θόρυβο πρέπει να βρίσκεται πάνω από -1.6 dB αν θέλουμε να έχουμε πολύ χαμηλό ρυθμό σφάλματος bit.

Η εμπειρία διδάσκει ότι είναι εύκολο να σχεδιαστούν κυματομορφές που παρέχουν μικρό ρυθμό σφάλματος bit, αν ο λόγος E_b/N_0 είναι περί τα 12 dB (συνήθης για ψηφιακή διαμόρφωση χωρίς κωδικοποίηση).

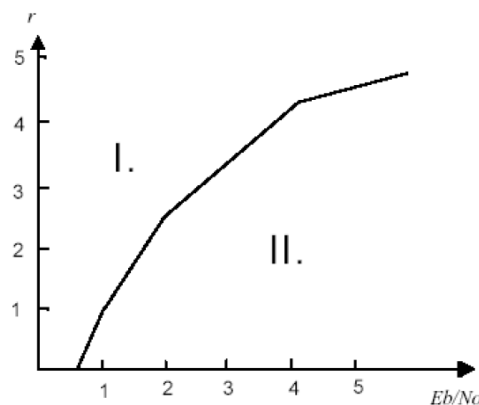
Η αποτελεσματικότητα των κωδικοποιητών μετρείται με ένα μέγεθος που ονομάζεται **κέρδος κωδικοποίησης (coding gain)**, το οποίο είναι η μείωση του λόγου E_b/N_0 που απαιτείται για να επιτύχουμε το ίδιο ρυθμό σφάλματος bit. Με τον τρόπο αυτό, διαφορετικές σχεδιάσεις κωδικοποιητή-διαμορφωτή μπορούν να συγκριθούν, πράγμα που συνήθως γίνεται συγκρίνοντας το λόγο E_b/N_0 , που απαιτείται για να επιτύχουμε δεδομένο bit error rate (π.χ. BER = 10^{-5}) και οι συγκρινόμενες μονάδες τοποθετούνται μεταξύ της ίδιας πηγής και καναλιού.

Οι πιο εξελιγμένοι κωδικοποιητές στις μέρες μας χρησιμοποιούν κώδικες turbo (turbo codes). Με τη χρήση των κωδίκων αυτών, μπορούμε να επιτύχουμε λόγο E_b/N_0 της τάξεως του 1 dB (!) για τυπικές τιμές BER, που συναντούμε στην πράξη. Οι κώδικες αυτοί είναι βελτιώσεις πάνω σε κλασικούς συνελκτικούς κώδικες και χρησιμοποιούν εξαιρετικά περίπλοκες μεθόδους αποκωδικοποίησης.

Αν δε μπορούμε να κρατήσουμε το ίδιο bit rate και εύρος ζώνης, καθώς συγκρίνουμε διαφορετικές σχεδιάσεις, μπορούμε να υπολογίσουμε την **απόδοση φάσματος $r=R_b/W$ [bit/sec / Hz]**. Η απόδοση φάσματος r και ο ο λόγος E_b/N_0 είναι οι δύο πιο σημαντικές παράμετροι ενός ψηφιακού συστήματος επικοινωνίας. Από την παραπάνω σχέση προκύπτει επίσης, ότι για κάθε σύστημα επικοινωνίας που θέλει να προσεγγίσει πολύ χαμηλό ρυθμό σφάλματος bit πρέπει **$E_b/N_0 \geq 2^r - 1/r$** .

Επιπλέον ο λόγος E_b/N_0 με κατάλληλη σχεδίαση μπορεί να προσεγγιστεί από τον τύπο **$f(r)=(2^r-1)/r$** .

Μια γραφική αναπαράσταση των παραπάνω έχουμε στο παρακάτω σχήμα:



Μέγιστες αποδόσεις φάσματος συναρτήσει του E_b/N_0 για πολύ μικρό BER

Η περιοχή II στο σχήμα αντιστοιχεί στα εφικτά ζευγάρια $[r, E_b/N_0]$, με άλλα λόγια για κάθε σημείο κάτω από την καμπύλη μπορεί να σχεδιαστεί ένα ψηφιακό σύστημα επικοινωνίας, που έχει όσο μικρό ρυθμό σφάλματος bit επιθυμεί ο σχεδιαστής του.

Η καμπύλη που χωρίζει τις δύο περιοχές δίνεται από τη συνάρτηση $f(r)$. Για παράδειγμα, αν το r τείνει στο 0 (άρα και το εύρος ζώνης W τείνει στο άπειρο) ο χαμηλότερος δυνατός λόγος ενέργειας bit προς θόρυβο είναι 0,69 (-1.6dB).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ

5.1 Μετάδοση σε βασική ζώνη

Στη μετάδοση στη **βασική ζώνη (baseband)** το σήμα πληροφορίας μεταδίδεται στη αρχική μπάντα συχνοτήτων του (με κεντρική συχνότητα την $f=0$), χωρίς μετατόπιση του σε κάποια υψηλότερη συχνότητα (διαμόρφωση φέροντος).

Χρησιμοποιείται μια μορφή ψηφιακής διαμόρφωσης, η διαμόρφωση παλμών. Ως διαμόρφωση παλμών ονομάζουμε τη διαμόρφωση όπου το σήμα φορέας είναι

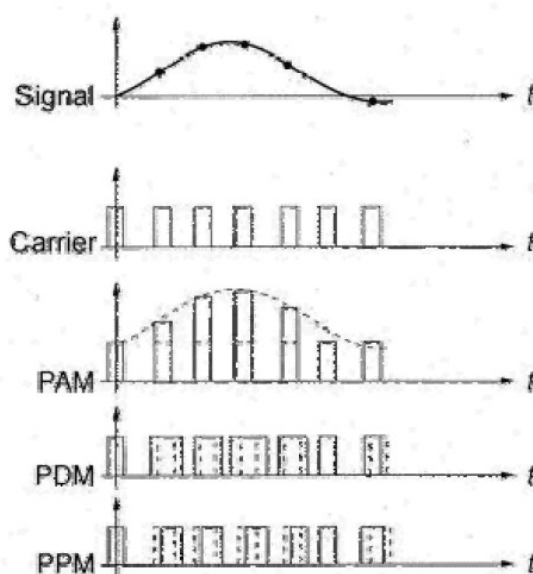
ακολουθία παλμών και το σήμα πληροφορίας διαμορφώνει κάποιο από τα χαρακτηριστικά όπως το πλάτος τη διάρκεια, τη θέση κλπ.

Έτσι έχουμε διάφορα είδη διαμόρφωσης παλμών, όπως η **διαμόρφωση πλάτους παλμών (Pulse Amplitude Modulation)** η **διαμόρφωση διάρκειας παλμών (Pulse Duration Modulation)** και η **διαμόρφωση θέσης παλμών (Pulse Position Modulation)**.

Θα επικεντρωθούμε στην διαμόρφωση πλάτους παλμών, η απλούστερα **PAM**, και ειδικότερα στη **παλμοκωδική διαμόρφωση PCM (Pulse Code Modulation)**.

5.1.1 Διαμόρφωση Πλάτους Παλμών (PAM)

Σε αυτό το είδος διαμόρφωσης τα πλάτη μιας σειράς παλμών μεταβάλλονται ανάλογα με τις αντίστοιχες τιμές των δειγμάτων ενός συνεχούς σήματος. Στο παρακάτω σχήμα βλέπουμε μια διαμόρφωση PAM σε σύγκριση με τις δύο άλλες τεχνικές διαμόρφωσης που αναφέραμε παραπάνω.



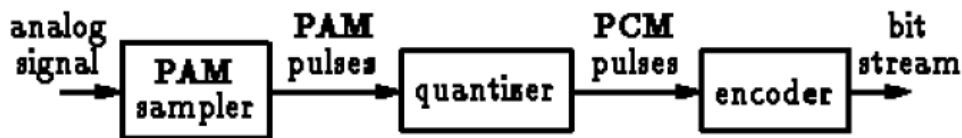
Σχ.4. 1 : Διαμόρφωση PAM

Είναι η απλούστερη μορφή διαμόρφωσης παλμών. Μπορούμε να πούμε ότι αποτελεί μια μορφή AM, με τη μόνη διαφορά ότι το φέρον σήμα είναι μια σειρά παλμών.

Αυτό συνεπάγεται ότι η διαμόρφωση PAM έχει τις ίδιες αδυναμίες με την AM, δηλαδή υψηλή ευαισθησία του σήματος σε θόρυβο και παρεμβολές. Αυτό συμβαίνει γιατί κάθε παρεμβολή κατά τη διαδρομή μετάδοσης (transmission path) θα προκαλέσει αλλαγές στη στάθμη της τάσης του σήματος και κατά συνέπεια στο πλάτος του. Αφού όμως το σήμα πληροφορίας αναπαρίσταται από το πλάτος του PAM σήματος, θα έχουμε παραμόρφωση σήματος. Για το λόγο αυτό η διαμόρφωση PAM δε χρησιμοποιείται συχνά. Έχουν αναπτυχθεί άλλες τεχνικές διαμόρφωσης παλμών όπως η τεχνική PCM που θα δούμε παρακάτω.

5.1.2 Παλμοκωδική Διαμόρφωση (PCM)

Λέγοντας παλμοκωδική διαμόρφωση στην ουσία εννοούμε την ψηφιοποίηση της διαμόρφωσης PAM. Οι ουσιώδεις λειτουργίες του πομπού ενός συστήματος PCM είναι η **δειγματοληψία (sampling)**, η **κβάντιση (quantizing)**, και η **κωδικοποίηση (encoding)**, όπως φαίνεται στο σχήμα 2 :



Σχ. 4.2 : Λειτουργίες PCM πομπού

Η έξοδος του δειγματολήπτη είναι προφανώς το σήμα PAM που αναλύσαμε στην προηγούμενη παράγραφο. Η κβάντιση είναι η διαδικασία μετατροπής της τιμής κάθε αναλογικού δείγματος PAM σε μια διακριτή τιμή που μπορεί να αναπαρασταθεί από μια **λέξη κώδικα** (code word). Το αρχικό συνεχές σήμα προσεγγίζεται από ένα σήμα το οποίο κατασκευάζεται από διακριτά πλάτη, επιλεγμένα από ένα διαθέσιμο σύνολο με βάση την ελαχιστοποίηση του σφάλματος. Προφανώς εάν καθορίσουμε διακριτές στάθμες πλάτους με αρκετά μικρό βήμα μεταξύ τους, μπορούμε να κάνουμε το προσεγγιζόμενο σήμα να μη ξεχωρίζει πρακτικά από το αρχικό συνεχές σήμα.

Η διαφορά μεταξύ των δύο γειτονικών διακριτών τιμών ονομάζεται **κβάντο** (quantum) ή μέγεθος βήματος (step-size). Καθώς τα δείγματα PAM εισέρχονται στη φάση της κβάντισης, αντιστοιχίζονται σε μια διακριτή στάθμη πλάτους. Σε κάθε στάθμη αντιστοιχίζεται μια διακριτή τιμή με τη μορφή δυαδικής κωδικής λέξης (binary code word).

Αν το μήκος της κωδικής λέξης είναι n bits τότε θα έχουμε 2^n διακριτές στάθμες PCM. Αν ένα δείγμα PAM δεν αντιστοιχιστεί στη διακριτή στάθμη την πιο κοντινή στην πραγματική τιμή του τότε έχουμε το λεγόμενο **θόρυβο κβάντισης** (quantization noise).

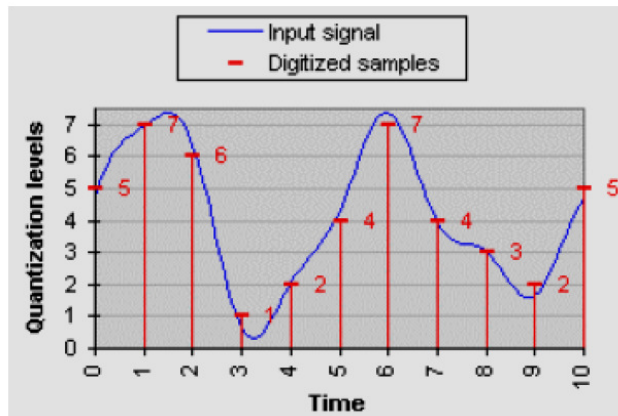
Ο θόρυβος κβάντισης μειώνει το SNR του σήματος. Ας δούμε ένα παράδειγμα PCM κωδικοποίησης για να ξεδιαλύνουν όλα τα παραπάνω!

Ένα απλό παράδειγμα PCM κωδικοποίησης

Στο παράδειγμα που θα εξετάσουμε παρακάτω παίρνουμε 11 δείγματα από το PAM δείγμα και χρησιμοποιούμε 8 διακριτά επίπεδα κβάντισης, τα οποία κωδικοποιούνται σύμφωνα με τον πίνακα :

| Level | Code word |
|-------|-----------|
| 0 | 000 |
| 1 | 001 |
| 2 | 010 |
| 3 | 011 |
| 4 | 100 |
| 5 | 101 |
| 6 | 110 |
| 7 | 111 |

Στο σχήμα 3 βλέπουμε την διαδικασία της κβάντισης και ψηφιοποίησης του PAM σήματος. Στα δεξιά κάθε δείγματος είναι ο αριθμός του επιπέδου κβάντισης του. Ο αριθμός αυτός αντιστοιχίζεται σε μια κωδική λέξη μήκους 3-bit σύμφωνα με το παραπάνω πίνακα.

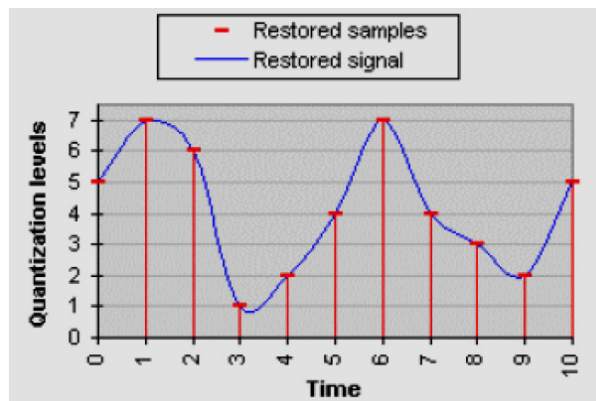


Σχ4..3 : Κβάντιση και ψηφιοποίηση σήματος

Το κωδικοποιημένο PCM σήμα του πομπού είναι :

101 111 110 001 010 100 111 100 011 010 101

Δηλαδή για την κωδικοποίηση χρησιμοποιήθηκαν συνολικά 33 bits. Ο αριθμός των bits μπορεί να μειωθεί με κατάλληλες μεθόδους συμπίεσης. Στο σχήμα 4 βλέπουμε το ανακτώμενο σήμα στο δέκτη. Βλέπουμε ότι εμφανίζει απόκλιση από το αρχικό, συνέπεια του θορύβου κβάντισης.



Σχ. 4.4: Ανάκτηση σήματος στο δέκτη

5.1.2.1 Εύρος Ζώνης PCM

Το εύρος ζώνης μιας δυαδικής PCM κυματομορφής υπολογίζεται ως εξής :

Bit Rate : $R = n f_s$, n- αριθμός bits στο PCM , f_s - συχνότητα δειγματοληψίας

Το n ουσιαστικά είναι το μήκος των κωδικών λέξεων.

BPCM $\geq \frac{1}{2} R = \frac{1}{2} n f_s$ άρα Minimum BW : $\frac{1}{2} R = \frac{1}{2} n f_s$

5.1.3 Εφαρμογές PCM – Ψηφιακή Τηλεφωνία

Η τεχνική PCM έχει μεγάλο εύρος πρακτικών εφαρμογών : ψηφιακό video, ψηφιακή εγγραφή ήχου (CD) και ψηφιακή τηλεφωνία. Στην τελευταία περίπτωση έχουμε το αναλογικό σήμα της ανθρώπινης φωνής το εύρος ζώνης του οποίου κυμαίνεται από 200 ως 3400 Hz , για πρακτικούς λόγους ας θεωρήσουμε ότι είναι 4000 Hz.

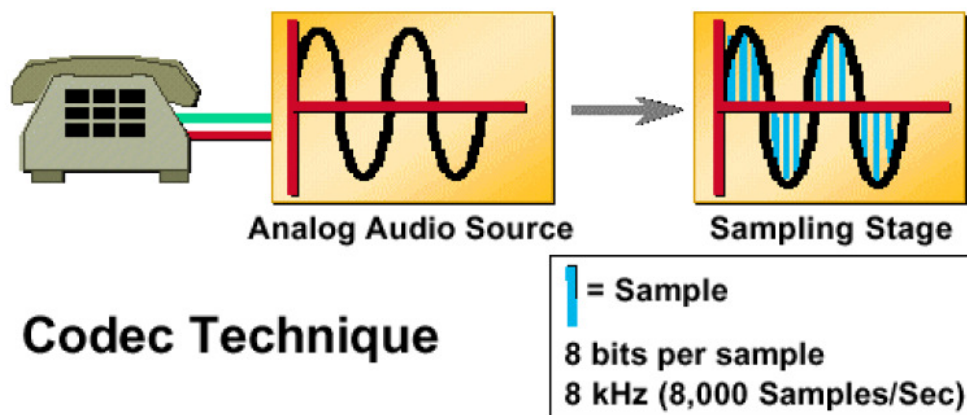
Τότε σύμφωνα με το κριτήριο του Nyquist για το ρυθμό δειγματοληψίας πρέπει να ισχύει :

$$F_s \geq 2BW = 2 \times 4000 = 8000 \text{ samples/sec}$$

Κατά την κβάντιση κάθε δείγμα κωδικοποιείται με μια λέξη (code word) μήκους 8 bits οπότε ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης για την τηλεφωνία PCM είναι $8 \times 8000 = 64000$ bits/sec ή 64 kbps. Προφανώς minimum bandwidth : $\frac{1}{2} R = \frac{1}{2} 64 = 32$ kHz . Στις γραμμές T1 έχουμε 24 πολυπλεγμένα κανάλια (ΗΠΑ) με κωδικοποίηση PCM bit rate = $24 \times 64000 + 8$ (framing bits) = 1544 kbps.

Pulse Code Modulation—Nyquist Theorem

Voice Bandwidth =
200 Hz to 3400 Hz



5.1.4 Πλεονεκτήματα PCM έναντι PAM

1. Μικρότερη ευαισθησία σε θόρυβο και χαμηλότερη πιθανότητα σφάλματος.
2. Ποιότητα μετάδοσης ανεξάρτητη από απόσταση, αφού με τη χρήση ενδιάμεσων αναγεννητών μπορούμε να αναπαράγουμε το ψηφιακό σήμα.
3. Ικανότητα μεταφοράς σημάτων σε μεγάλη απόσταση (ψηφιακή τηλεφωνία).
4. Δυνατότητα χρήσης TDM.
5. Χαμηλότερο κόστος ψηφιακού κυκλώματος.

Γίνεται τώρα φανερό γιατί στη πράξη χρησιμοποιούμε σχεδόν αποκλειστικά την PCM. Μειονέκτημά της έναντι της PAM το μεγαλύτερο εύρος ζώνης της.

5.2 ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΣΕ ΖΩΝΗ ΔΙΕΛΕΥΣΗΣ

Η μετάδοση σήματος στη βασική ζώνη είναι ικανοποιητική για εφαρμογές όπως η σταθερή τηλεφωνία, όμως δεν επαρκεί για άλλες εφαρμογές όπως π.χ. ασύρματη μετάδοση.

Σε τέτοιες περιπτώσεις μετατρέπουμε το σήμα βασικής ζώνης (**baseband**) σε σήμα ζώνης διέλευσης (**passband**), με μια διαδικασία που ονομάζεται **διαμόρφωση φέροντος**. Με τη διαμόρφωση φέροντος το σήμα βασικής ζώνης που περιέχει την πληροφορία που θέλουμε να μεταδώσουμε, 'επικάθεται' σε ένα σήμα υψηλότερης συχνότητας, το λεγόμενο **φέρον σήμα (carrier signal)**. Στην ουσία κάποιο από τα χαρακτηριστικά του φέροντος σήματος μεταβάλλεται συναρτήσει του σήματος πληροφορίας.

Οι βασικοί λόγοι που μας ωθούν στη διαμόρφωση του baseband σήματος πληροφορίας είναι :

Το μήκος των κεραιών πρέπει να είναι της τάξεως του μήκους κύματος λ του σήματος (π.χ. $\lambda/2$, $\lambda/4$). Είναι όμως $\lambda = c/f$, όπου c η ταχύτητα του φωτός και f η συχνότητα του σήματος. Συνεπώς όσο μετατοπίζουμε το σήμα σε υψηλότερη συχνότητα, τόσο μικρότερο είναι το μέγεθος των κεραιών που θα χρειαστεί να χρησιμοποιήσουμε. Για παράδειγμα ένα σήμα 100 Hz έχει $\lambda = 3\text{km}$, ενώ με διαμόρφωση στα 100MHz έχει $\lambda = 3\text{m}$.

Γίνεται δυνατή η χρήση της τεχνικής της πολυπλεξίας σήματος, έτσι π.χ. μπορούμε να μεταδώσουμε δύο ή περισσότερα σήματα ταυτόχρονα, πράγμα αδύνατο αν περιοριζόμασταν μόνο στη μετάδοση σε βασική ζώνη αφού θα ήταν αναπόφευκτες επικαλύψεις ανάμεσα στα σήματα.

Διακρίνουμε δύο τύπους διαμόρφωσης, την αναλογική και τη ψηφιακή.

5.2.1 Αναλογική Διαμόρφωση

Ένα αναλογικό σήμα χαρακτηρίζεται από τρία βασικά μεγέθη :

- Το πλάτος του A
- Τη συχνότητά του f
- Τη φάση του φ

Βάσει αυτών των μεγεθών το ημιτονικό σήμα του φέροντος γράφεται :

$$C(t) = A \cdot \sigma\upsilon\nu(\omega \cdot t + \varphi)$$

όπου t είναι ο χρόνος και $\omega = 2\pi f$ η γωνιακή συχνότητα του σήματος. Το σήμα πληροφορίας διαμορφώνει το φέρον σήμα, όταν μεταβάλλει ένα από τα τρία βασικά του μεγέθη, πλάτος, συχνότητα ή φάση. Στη συνέχεια θα εξεταστούν οι δύο βασικές μέθοδοι αναλογικής διαμόρφωσης που είναι η **διαμόρφωση κατά πλάτος** και η **διαμόρφωση κατά συχνότητα**.

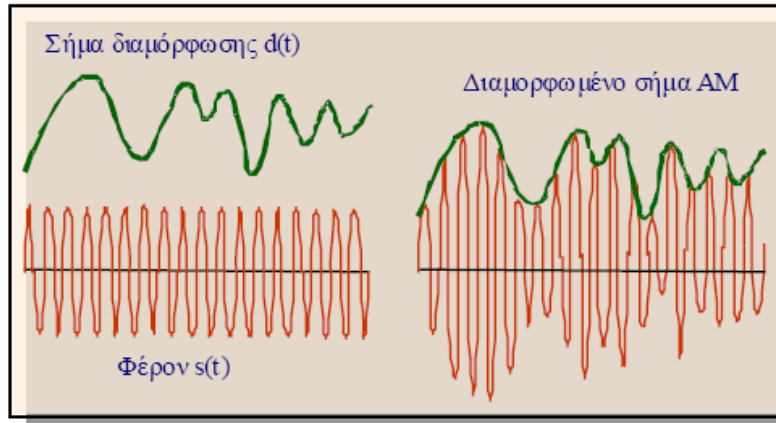
5.2.1.1 Διαμόρφωση κατά Πλάτος (Amplitude Modulation-AM)

Όταν το σήμα πληροφορίας μεταβάλλει/διαμορφώνει το πλάτος του φέροντος σήματος, πρόκειται για **διαμόρφωση πλάτους (amplitude modulation) ή AM**, όπως είναι ευρύτερα γνωστή.

Αν θεωρήσουμε ως φέρον σήμα το σήμα της εξίσωσης 6.2.1 και ως σήμα πληροφορίας το σήμα $d(t)$, ορίζεται ως διαμόρφωση πλάτους η διαδικασία κατά την οποία το πλάτος του φορέα A μεταβάλλεται γραμμικά με το σήμα πληροφορίας $d(t)$, γύρω από μία μέση τιμή. Η διαδικασία αυτή παρουσιάζεται στο σχήμα 5, όπου φαίνεται ότι 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.

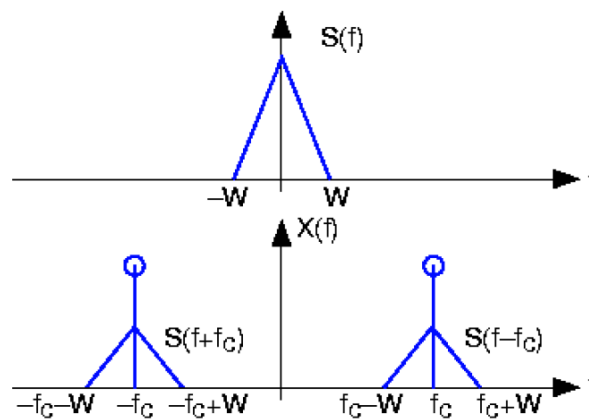
Για παράδειγμα, το σήμα πληροφορίας $d(t)$ θα μπορούσε να είναι η φωνή του εκφωνητή σε ένα ραδιόφωνο και το σήμα φορέας θα μπορούσε να είναι ένα σήμα με κατάλληλη συχνότητα (μακρά, μεσαία ή βραχεία κύματα) για τη μετάδοσή του στο περιβάλλον, από όπου θα το λάμβαναν οι ραδιοφωνικοί δέκτες.

Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται το διαμορφωμένο κατά πλάτος σήμα στο πεδίο του χρόνου.



Σχ. 4.5 : Διαμόρφωση σήματος κατά πλάτος (AM)

Στο πεδίο της συχνότητας το AM σήμα αποτελείται από τη κεντρική συχνότητα του φέροντος και τις συχνότητες του σήματος πληροφορίας μετατοπισμένες σε δύο πλευρικές περιοχές συχνοτήτων γύρω από την κεντρική συχνότητα f_c του φορέα. Οι περιοχές αυτές ονομάζονται **πάνω πλευρική ζώνη** (συχνότητες μεγαλύτερες από τη συχνότητα του φορέα) και **κάτω πλευρική ζώνη** (**Upper and Lower Side Band-USB and LSB**). Το αντίστοιχο φάσμα συχνοτήτων ενός AM σήματος δίνεται με ένα παράδειγμα στο σχήμα 6. 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.



Σχ.4. 6 : Φασματικό περιεχόμενο AM σήματος

Το **εύρος ζώνης** BW (Bandwidth) ενός σήματος AM είναι ευθέως ανάλογο της μέγιστης συχνότητας f_{max} του σήματος πληροφορίας $d(t)$ και δίνεται από τη σχέση:

$$BW = 2 \cdot f_{max}$$

Πέρα από τη βασική μορφή της AM διαμόρφωσης υπάρχουν και διάφορες παραλλαγές της με αντίστοιχα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Οι πιο χαρακτηριστικές από αυτές είναι οι ακόλουθες :

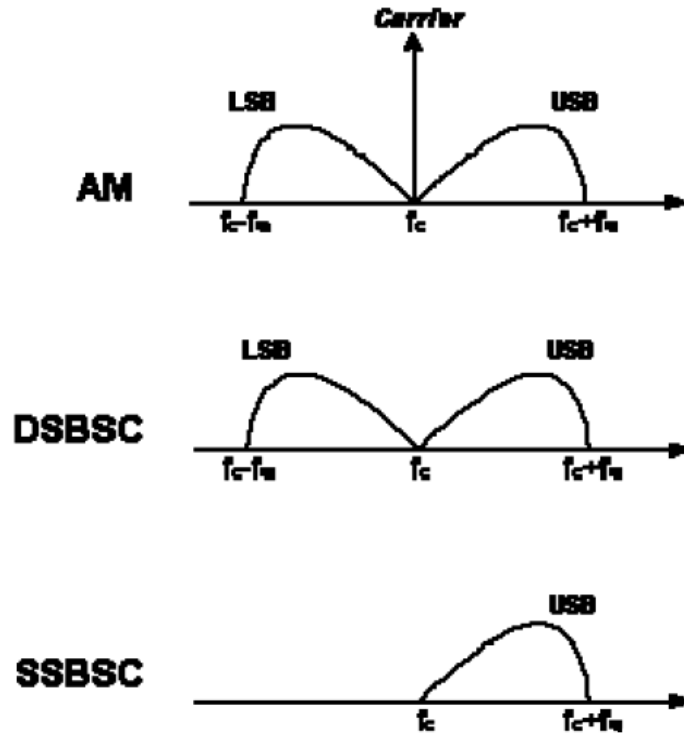
Πέρα από τη βασική μορφή της AM διαμόρφωσης υπάρχουν και διάφορες παραλλαγές της με αντίστοιχα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα. Οι πιο χαρακτηριστικές από αυτές είναι οι ακόλουθες :

Μετάδοση της διπλής πλευρικής ζώνης χωρίς την παρουσία του φέροντος (Double Sideband Suppressed Carrier- DSSC).

Σύμφωνα με την τεχνική αυτή μεταδίδεται το διαμορφωμένο σήμα χωρίς την κεντρική συχνότητα του φέροντος σήματος.

Μετάδοση της μίας πλευρικής ζώνης (Single Side Band – SSB). Με τη μέθοδο αυτή εξοικονομείται και ενέργεια αλλά κυρίως εύρος ζώνης, μια και μεταδίδεται μόνο η μία από τις δύο πλευρικές ζώνες συχνοτήτων.

Στο σχήμα 7 βλέπουμε μια σύγκριση των τριών μορφών AM.



Σχ. 4.7 : Φασματικό περιεχόμενο AM, DSBSC, SSBSC

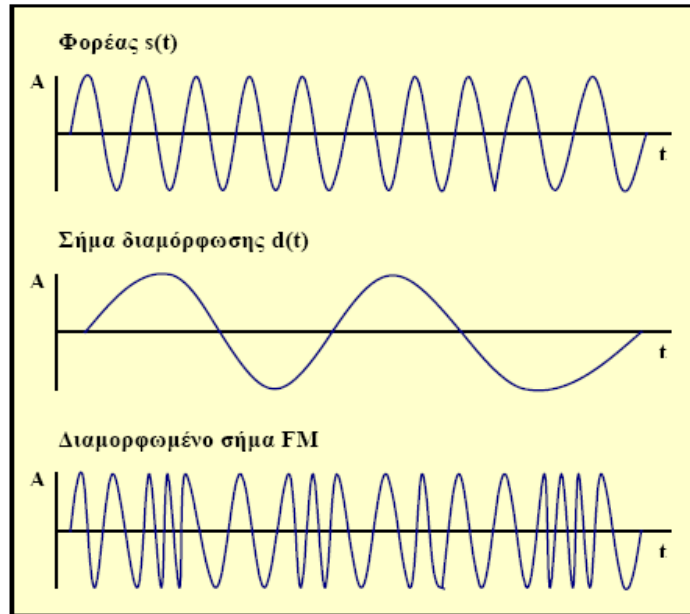
Δεδομένου ότι τα AM σήματα απαιτούν μεγάλη ακρίβεια στον υπολογισμό του στιγμιαίου πλάτους τους (που μεταφέρει τη χρήσιμη πληροφορία), είναι ευαίσθητα στην παρουσία του θορύβου.

5.2.1.2 Διαμόρφωση κατά Συχνότητα (Frequency Modulation-FM)

Όταν το σήμα πληροφορίας μεταβάλλει/διαμορφώνει τη συχνότητα του φέροντος σήματος, πρόκειται για **διαμόρφωση συχνότητας (Frequency modulation) ή FM**.

Έτσι, ονομάζεται **διαμόρφωση συχνότητας** η διαδικασία κατά την οποία το σήμα πληροφορίας $d(t)$ μεταβάλλει (ή διαμορφώνει) τη συχνότητα του φέροντος σήματος $C(t)$ (βλέπε εξίσωση 4.1). Κατά τη διαδικασία αυτή η γωνιακή συχνότητα ω του φέροντος μεταβάλλεται γραμμικά με το πλάτος του σήματος πληροφορίας γύρω από μία μέση τιμή.

Στο σχήμα 8 δίνεται ένα παράδειγμα FM διαμόρφωσης. Όπως φαίνεται από το σχήμα αυτό, η στιγμιαία συχνότητα του φέροντος 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.

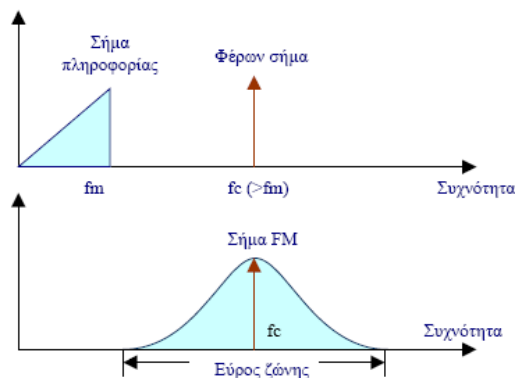


Σχ. 4.8: Διαμόρφωση Συχνότητας (FM)

Ο υπολογισμός του εύρους ζώνης συχνοτήτων ενός FM σήματος απαιτεί μια ιδιαίτερα σύνθετη μαθηματική διαδικασία που δεν άπτεται των σκοπών αυτού του συγγράματος.

Το αποτέλεσμα της μαθηματικής ανάλυσης πάντως δείχνει ότι ένα FM σήμα αποτελείται από ένα πλήθος συχνοτήτων, που ονομάζονται **αρμονικές** και βρίσκονται γύρω από την κεντρική συχνότητα του φέροντος. Μάλιστα 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 χαρακτηριστικό παράδειγμα της μορφής ενός σήματος FM στο πεδίο της συχνότητας δίνεται στο σχήμα 9.



Σχ. 4.9: Εύρος ζώνης FM σήματος

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 και υπολογίζεται πρακτικά από τη σχέση:

$$BW = 2 \cdot (\Delta f_s + f_m)$$

όπου Δf_s είναι η απόκλιση συχνότητας (frequency deviation) του σήματος FM.

Η τελευταία ορίζεται ως η μέγιστη μεταβολή συχνότητας του φέροντος λόγω της διαμόρφωσης. Επιπλέον f_m είναι η μέγιστη συχνότητα του σήματος πληροφορίας $d(t)$. Η διαμόρφωση συχνότητας παρουσιάζει καλύτερη συμπεριφορά στο θόρυβο και μεγαλύτερη πιστότητα στη μετάδοση από την AM διαμόρφωση και για τους λόγους αυτούς χρησιμοποιείται για εκπομπές ποιότητας στη ραδιοφωνία FM και για τη μετάδοση ήχου στην τηλεόραση.

Το μειονέκτημα του μεγάλου εύρους ζώνης που έχει ένα σήμα FM, που μεταφράζεται σε μικρότερο αριθμό καναλιών για την ίδια περιοχή συχνοτήτων, αντιμετωπίζεται τουλάχιστον στη ραδιοφωνία FM από το γεγονός της μικρής εμβέλειας των ραδιοφωνικών σημάτων (συχνότητες φέροντος κοντά στα 100 MHz). Έτσι δύο ραδιοφωνικοί σταθμοί που λειτουργούν στην ίδια συχνότητα, σε διαφορετική όμως γεωγραφική περιοχή, δε δημιουργούν προβλήματα ο ένας στον άλλο (αρκεί βέβαια να μη χρησιμοποιούνται αναμεταδότες).

5.2.2 Ψηφιακή Διαμόρφωση

Στην εποχή μας χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο ψηφιακές μέθοδοι διαμόρφωσης.

Η ψηφιακή διαμόρφωση εμφανίζει τα παρακάτω πλεονεκτήματα :

- Μεγαλύτερη αντοχή στο θόρυβο (αναγέννηση σήματος)
- Συμπίεση φωνής → Αύξηση χωρητικότητας συστήματος
- Μείωση κόστους
- Βελτίωση Ασφάλειας (τεχνικές κωδικοποίησης)
- Μικρότερη απαιτούμενη ισχύς

Φωνή και δεδομένα αντιμετωπίζονται με τον ίδιο τρόπο (π.χ. 3G συστήματα)

Βασικές έννοιες που πρέπει να διακρίνουμε πριν συνεχίσουμε είναι αυτές του bit rate και του symbol (ή baud) rate. Bit rate είναι ο ρυθμός με τον οποίο μεταφέρεται η στοιχειώδης μονάδα πληροφορίας (bit). Baud rate είναι ο αριθμός συμβόλων ανά δευτερόλεπτο. Για ένα σύμβολο που αποτελείται από n bits, έχουμε M καταστάσεις σήματος, όπου $M=2^n$. **Baud rate = bit rate /αριθμό bits ανά σύμβολο.**

Ιδιαίτερα σημαντική παράμετρος που αποτελεί δείκτη ποιότητας ενός τύπου ψηφιακής διαμόρφωσης είναι η **απόδοση φάσματος (spectrum efficiency)**.

Η απόδοση φάσματος περιγράφει πόσο ικανοποιητικά χρησιμοποιείται το διαθέσιμο εύρος ζώνης και μετριέται σε bps/Hz. Το μέτρο της δίνεται από το πηλίκο του ρυθμού μετάδοσης προς το διαθέσιμο εύρος ζώνης. Π.χ. για ένα σήμα που μεταδίδεται με bit rate 140 Mbits/sec σε ένα εύρος ζώνης 52.5 MHz έχουμε απόδοση φάσματος $140 \text{ Mbps}/52.5 \text{ MHz} = 2.7 \text{ bps/Hz}$.

Τέλος άλλη μια παράμετρος που θα μας απασχολήσει ιδιαίτερα στις παρακάτω παραγράφους είναι το BER (Bit Error Rate). Σε μια ψηφιακή διαμόρφωση το BER είναι το ποσοστό των bits με σφάλμα προς τον συνολικό αριθμό των μεταδιδόμενων ή λαμβανόμενων bits για μια δεδομένη χρονική περίοδο.

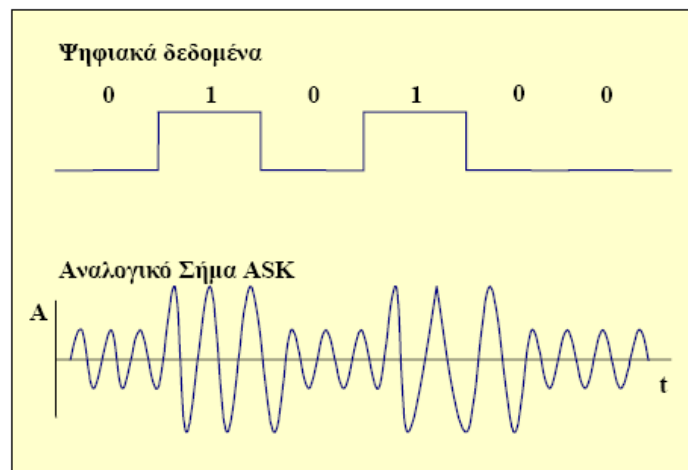
Συνήθως εκφράζεται ως αρνητική δύναμη του 10. Π.χ. 4 λανθασμένα bits για 100.000 bits που μεταδόθηκαν εκφράζεται ως 4×10^{-5} , ενώ BER 3×10^{-6} σημαίνει ότι 3 bits είχαν σφάλμα από τα 1.000.000 που μεταδόθηκαν.

5.2.2.1 Ψηφιακή Διαμόρφωση Πλάτους (Amplitude Shift Keying- ASK)

Η ψηφιακή διαμόρφωση πλάτους ή ASK είναι η απλούστερη μορφή ψηφιακής διαμόρφωσης, όπως αντίστοιχα η AM διαμόρφωση είναι και η απλούστερη αναλογική.

Και εδώ το πλάτος του ημιτονικού σήματος – φέροντος, μεταβάλλεται αναλογικά με την τιμή του ψηφιακού σήματος πληροφορία Μόνο που στην περίπτωση των

ψηφιακών σημάτων, λόγω του ότι ουσιαστικά περιέχουν παλμούς, το ASK σήμα θα έχει τη μορφή του σχήματος 10 :



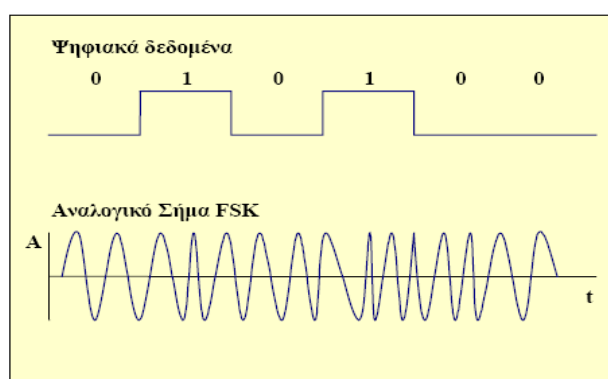
Σχήμα 4.10 : Διαμόρφωση ASK

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 έχει αρχίσει να περιορίζεται πλέον σήμερα και να αντικαθίσταται από πλέον σύγχρονες μεθόδους διαμόρφωσης.

5.2.2.2 Ψηφιακή Διαμόρφωση Συχνότητας (Frequency Shift Keying-FSK)

Όπως και στην περίπτωση της FM διαμόρφωσης, 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 11 :



Σχήμα 4. 11 : Διαμόρφωση FSK

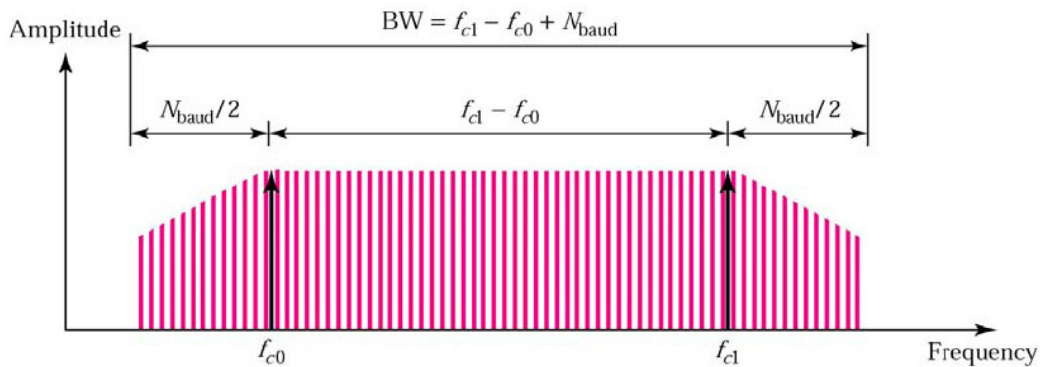
Η διαμόρφωση FSK εμφανίζει μεγαλύτερη αντοχή στο θόρυβο σε σχέση με την ASK, ενώ έχει εύρος ζώνης

$$B_{RF} = \text{baud rate} + f_2 - f_1$$

όπου f_1 και f_2 οι δύο τιμές που παίρνει η συχνότητα του ημιτονικού φέροντος ανάλογα με το αν μεταδίδεται 0 ή 1 (f_2 η μεγαλύτερη τιμή πάντα). Στην περίπτωση της δυαδικής FSK, bit rate και baud rate συμπίπτουν οπότε η 6.2.4 γράφεται αλλιώς :

$$B_{RF} = R_B + f_2 - f_1$$

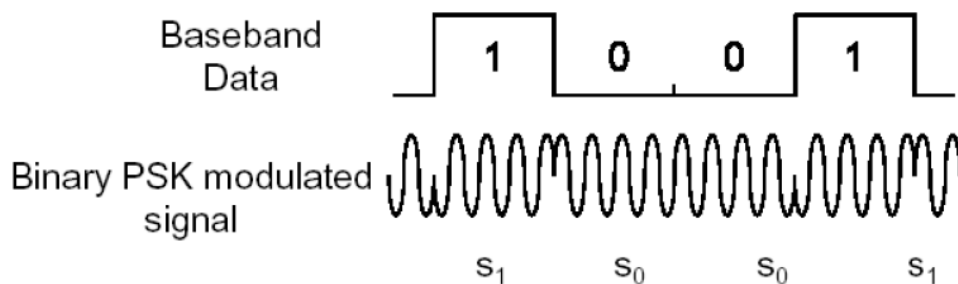
Στο παρακάτω σχήμα έχουμε ένα σήμα FSK στο πεδίο της συχνότητας, όπου μπορούμε να δούμε πιο παραστατικά το εύρος ζώνης για τη διαμόρφωση FSK



Σχήμα 4.12 : Εύρος Ζώνης FSK

5.2.2.3 Ψηφιακή Διαμόρφωση Φάσης (Phase Shift Keying- PSK)

Στην περίπτωση αυτή είναι η φάση του ημιτονικού φέροντος που μεταβάλλεται συναρτήσει του σήματος πληροφορίας. Η πιο απλή μορφή της είναι η δυαδική PSK (Binary Phase Shift Keying – BPSK) όπου χρησιμοποιούνται δύο φάσεις για την αναπαράσταση των δυαδικών ψηφίων 0 και 1. Ένα τέτοιο σήμα έχει μορφή του παρακάτω σχήματος :



Σχήμα 4.13 : Διαμόρφωση PSK

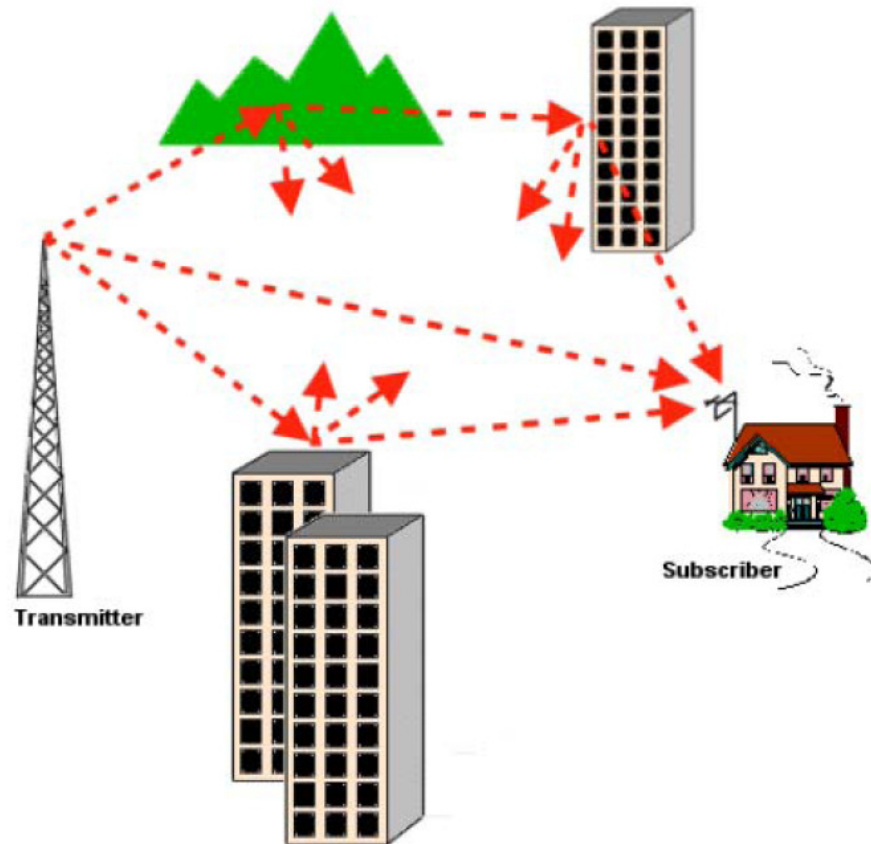
όπου $s_0 = A \cos(\omega_c t + \pi)$ και $s_1 = A \cos \omega_c t$.

5.3 Ορθογωνική Πολυπλεξία Συχνότητας (Orthogonal Frequency Division Multiplexing – OFDM)

Η ορθογωνική πολυπλεξία συχνότητας (**OFDM**) είναι μια μορφή διαμόρφωσης στην οποία μεταδίδουμε περισσότερα του ενός φέροντα σε συχνότητες ορθογωνικές μεταξύ τους.

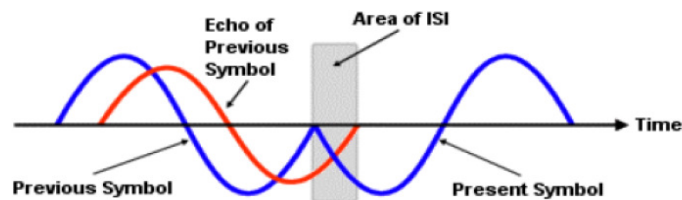
Μεγάλο πλεονέκτημα της OFDM είναι ότι εμφανίζει μεγάλη αντοχή στο θόρυβο και σε λοιπές παρεμβολές καθώς και ότι αντιμετωπίζει ικανοποιητικά το φαινόμενο των **πολλαπλών διοδεύσεων (multipath effect)**. Το μεταδιδόμενο σήμα ανακλάται σε φυσικά εμπόδια και οι αντανακλάσεις του φτάνουν με χρονική διαφορά στο δέκτη.

Ως αποτέλεσμα αυξάνεται η ενδοσυμβολική παρεμβολή (InterSymbol Interference - ISI) στο δέκτη.



Σχ.4. 22 : Φαινόμενο πολλαπλών διοδεύσεων (multipath effect)

Ας δούμε αναλυτικότερα πως η τεχνική OFDM μειώνει την ενδοσυμβολική παρεμβολή σε σχέση με τη διαμόρφωση ενός φέροντος. Βλέπουμε στο παρακάτω σχήμα πως η ηχώ του προηγούμενου σύμβολου παρεμβάλλεται στο τρέχον σύμβολο.



Σχ 4.23 : Καθυστέρηση διάδοσης

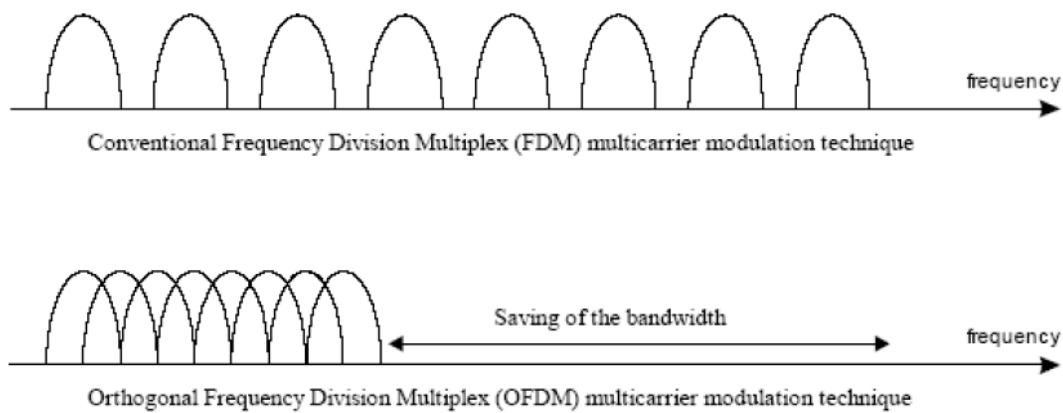
Η περιοχή ISI εκφράζει την **καθυστέρηση διάδοσης (delay spread)**. Ισχύει προσεγγιστικά, $ISI = \tau_{max}/T_{s,sc}$, όπου τ_{max} η μέγιστη καθυστέρηση διάδοσης και $T_{s,sc}$ η περίοδος συμβόλου για διαμόρφωση με ένα φέρον.

Για την OFDM, αν έχουμε N φέροντα τότε είναι $T_s = N \times T_{s,sc}$. Είναι τότε

$$ISI = \tau_{max} / T_s = \tau_{max} / N \times T_{s,sc}$$

Συγκρίνοντας τις σχέσεις βλέπουμε τη μείωση στην ISI λόγω της OFDM.

Και όλα αυτά επιτυγχάνονται με σαφώς αποδοτικότερη χρήση του διαθέσιμου φάσματος από ότι αν χρησιμοποιούσαμε απλή πολυπλεξία συχνότητας (FDM) όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



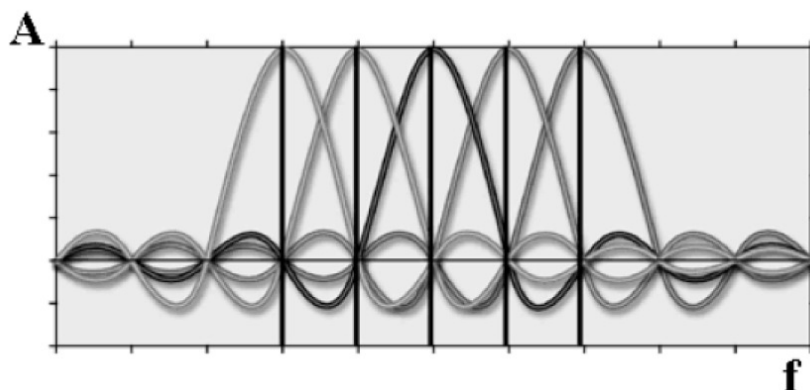
Σχ. 4.24: Εξοικονόμηση φάσματος OFDM σε σχέση με FDM

Το “μυστικό” της OFDM είναι η χρήση **ορθογωνικών υποφερόντων (orthogonal subcarriers)**, η οποία επιτρέπει τη δυνατότητα αποδιαμόρφωσης των υποφερόντων στο δέκτη ακόμα και όταν υπάρχει επικάλυψη (overlapping) μεταξύ των φασμάτων τους.

Δύο σήματα λέγονται ορθογωνικά όταν ισχύει

$$\int \chi_k(t) * x_j(t) dt = 0$$

Για γίνει περισσότερο κατανοητό το παραπάνω, μπορούμε να πούμε ότι όταν ένα υποφέρων εμφανίζει μέγιστο, τα υπόλοιπα έχουν μηδενική τιμή, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα 25.



Σχ. 4.25 : Φασματική απεικόνιση OFDM

5.4 Επαναχρησιμοποίηση φάσματος

Το φάσμα στις ασύρματες επικοινωνίες είναι περιορισμένο – φανταστείτε την ασύρματη μετάδοση σαν να έχουμε ένα αόρατο καλώδιο στον ουρανό που πρέπει να το μοιραστεί όλος ο κόσμος. Αυτός είναι ένας από τους βασικούς περιορισμούς όσον αφορά την ασύρματη μετάδοση, με αποτέλεσμα να απαιτούνται τεχνικές για την

αποτελεσματικότερη χρήση του φάσματος γνωστές και ως μέθοδοι επαναχρησιμοποίησης φάσματος

Ένα πρώτο βήμα είναι να εφαρμόσουμε **διαίρεση χώρου (space division)**. Έτσι μπορούμε να ξαναχρησιμοποιήσουμε συχνότητες στις περιοχές κάλυψης, τις λεγόμενες **κυψέλες (cells)**.

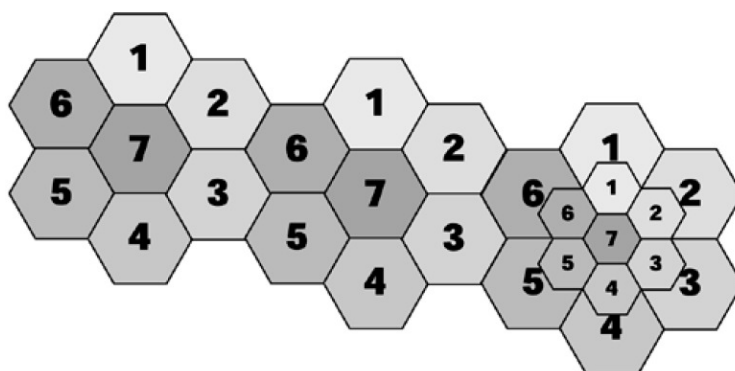
Δεύτερο βήμα είναι να εφαρμόσουμε κάποια τεχνική πολλαπλής πρόσβασης, που επιτρέπει το μοίρασμα του φάσματος σε πολλούς χρήστες.

Μετά από όλα αυτά υπάρχουν οι τεχνικές ευρέως φάσματος (spread spectrum), duplexing και συμπίεσης ώστε να οδηγηθούμε σε ακόμα αποδοτικότερη χρήση του διαθέσιμου φάσματος.

Διαίρεση Χώρου (Space Division)

Εφαρμόζεται η γνωστή σε όλους μας κυψελοειδής αρχιτεκτονική. Η βασική ιδέα είναι η επαναχρησιμοποίηση συχνοτήτων από μη γειτονικές κυψέλες.

Στο παρακάτω σχήμα 29 βλέπουμε πως γίνεται επαναχρησιμοποίηση για $n = 7$ συχνότητες, που είναι το πιο συνηθισμένο πρότυπο επαναχρησιμοποίησης στα αναλογικά κυψελωτά δίκτυα.



Σχ. 4.29 : Κυψελοποίηση

Όσο μεγαλώνουν οι απαιτήσεις σε φάσμα τόσο μειώνεται το μέγεθος της κυψέλης και κατ' επέκταση και η ισχύς των σταθμών βάσης. Ήδη έχουμε περάσει από το **macrocell** (13 km διάμετρος) των πρώτων αναλογικών κυψελωτών δικτύων στο **microcell** (1 km διάμετρος) και οδεύουμε προς το **picocell** (με ακτίνα κάλυψης μικρότερη των 50m).

5.5 Τεχνικές Πολλαπλής Πρόσβασης

Οι βασικές τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης είναι οι εξής:

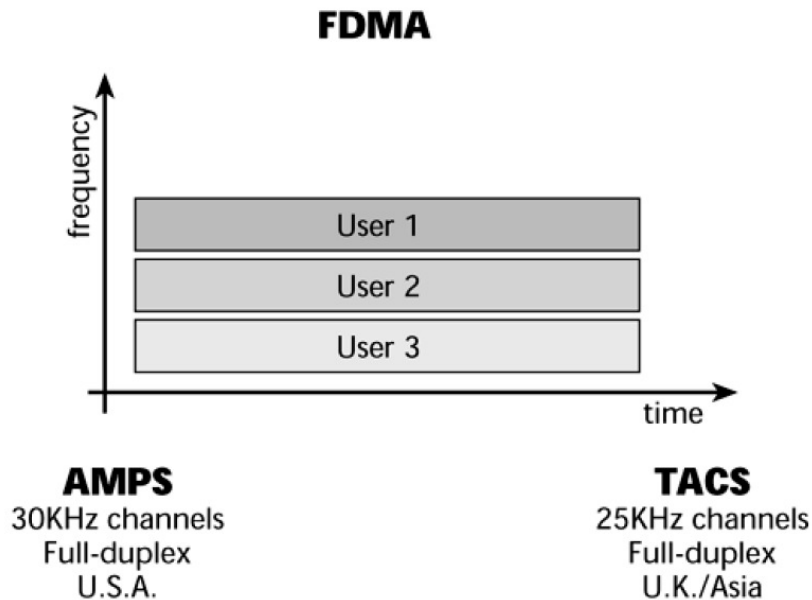
- **Πολλαπλή Πρόσβαση με Διαίρεση στη Συχνότητα (Frequency Division Multiple Access – FDMA),**
- **Πολλαπλή Πρόσβαση με Διαίρεση στο Χρόνο (Time Division Multiple Access – TDMA) και**
- **Πολλαπλή Πρόσβαση με Διαίρεση Κώδικα (Code Division Multiple Access – CDMA).**

5.5.1 FDMA

Η FDMA χρησιμοποιείται σε κυψελωτά αναλογικά κυψελωτά δίκτυα. Κάθε χρήστης εκπέμπει σε διαφορετική συχνότητα. Με την FDMA όλοι εκπέμπουν ταυτόχρονα, αλλά κάθε εκπομπή καταλαμβάνει διαφορετική μπάντα συχνοτήτων. Για τις σημερινές απαιτήσεις η χωρητικότητα των FDMA συστημάτων είναι μικρή, περίπου

60 χρήστες ανά κυψέλη. Έτσι μόνο με αυτή τη τεχνική δε θα μπορούσε να εξυπηρετηθεί ο συνεχώς αυξανόμενος αριθμός ασύρματων χρηστών.

Πλεονεκτήματα της FDMA είναι το συγκριτικά χαμηλό κόστος υλοποίησης καθώς και το ότι δε χρειάζεται μηχανισμούς χρονισμού για το συγχρονισμό των σταθμών βάσης όπως η TDMA. Στο επόμενο σχήμα βλέπουμε παραστατικότερα πως στην FDMA όλοι οι χρήστες χρησιμοποιούν το σύστημα ταυτόχρονα, αλλά κάθε χρήστης 'δουλεύει' σε διαφορετική συχνότητα:



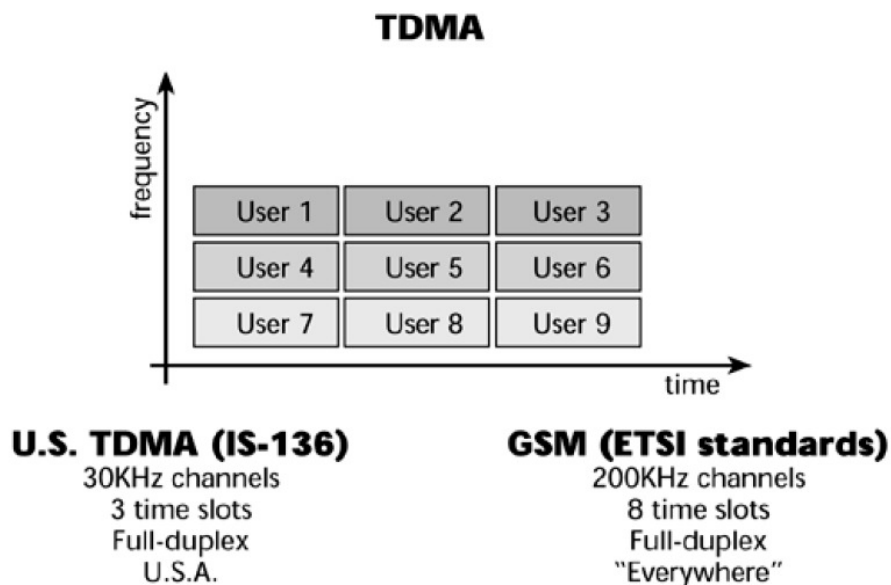
Σχ 4.30 : FDMA

5.5.2 TDMA

Η TDMA χρησιμοποιείται σε ψηφιακά κυψελωτά και PCS συστήματα. Στην ουσία είναι ένας συνδυασμός **Frequency Division Multiplexing** (FDM) και **Time Division Multiplexing** (TDM). Πρώτα διαιρείται το διαθέσιμο φάσμα σε έναν αριθμό καναλιών. Έπειτα σε κάθε κανάλι εφαρμόζουμε TDM ώστε να μπορεί να 'σηκώνει' πολλαπλούς χρήστες πολυπλεγμένους στο χρόνο. Πολλά σύγχρονα πρότυπα κυψελωτών δικτύων στηρίζονται στη TDMA όπως τα GSM (Global System for Mobile Communications), UWC (Universal Wireless Communications), και JDC (Japanese Digital Cellular).

Στο GSM για παράδειγμα κάθε κανάλι μπορεί να εξυπηρετήσει 8 χρήστες, όπου ο καθένας εκπέμπει/λαμβάνει σε διαφορετική χρονοθυρίδα (time slot).

Πλεονεκτήματα της σε σχέση με την FDMA είναι ότι παρέχει μεγαλύτερη χωρητικότητα και απόδοση φάσματος καθώς και η δυνατότητα χρήσης 'έξυπνων' ψηφιακών συσκευών (smart devices).



Σχ4. 31: TDMA

5.5.3 CDMA

Η CDMA είναι η τεχνική πολλαπλής πρόσβασης που κερδίζει όλο και περισσότερο έδαφος στις μέρες μας. Στην CDMA οι χρήστες μπορούν να χρησιμοποιούν την ίδια συχνότητα την ίδια χρονική στιγμή. Αυτό γίνεται δυνατό γιατί κάθε 'συνομιλία' κωδικοποιείται με μοναδικό τρόπο. Έτσι κάθε δέκτης μπορεί να ξεχωρίσει την εκπομπή που απευθύνεται σ' αυτόν. Είναι η τεχνική πολλαπλής πρόσβασης που επιτυγχάνει τη μέγιστη πυκνότητα κάλυψης.

Ένα κλασικό παράδειγμα για τη κατανόηση της λειτουργία της CDMA είναι αυτό του 'κοκτέηλ πάρτι'. Φανταστείτε ότι βρίσκεστε σε ένα πάρτι και γύρω σας μιλάνε ταυτόχρονα ένας Έλληνας, ένας Ιάπωνας και ένας Ινδός. Ακούτε τις ομιλίες τους και επικεντρώνετε την προσοχή σας σε αυτή που περιέχει κατανοητές σε σας λέξεις. Είστε με άλλα λόγια ικανοί να φιλτράρετε τις συζητήσεις που δε σας ενδιαφέρουν γιατί αναγνωρίσατε έναν κώδικα (γλώσσα) κατανοητό σε σας.

Στα σχήματα 32 και 33 μπορούμε να δούμε παραστατικότερα πως λειτουργεί η CDMA:

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

6.1 Ασύρματα Τηλεπικοινωνιακά συστήματα

Οι ασύρματες τεχνολογίες αντιπροσωπεύουν έναν γρήγορα αναδυόμενο τομέα όσον αφορά την ανάπτυξη και την αναγκαιότητα για την παροχή ευρείας πρόσβασης στο δίκτυο για όλες τις κοινότητες των πανεπιστημιούπολεων.

Οι σπουδαστές, η σχολή και το προσωπικό θέλουν όλο και πιο ελεύθερη πρόσβαση στο δίκτυο από τις τάξεις γενικής χρήσης, τις αίθουσες συνεδριάσεων, τις αίθουσες διασκέψεων, ακόμη και τους διαδρόμους των κτηρίων των πανεπιστημιούπολεων. Υπάρχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τη δημιουργία κινητών υπολογιστικών εργαστηρίων

που θα χρησιμοποιούν, υπολογιστές lap-top και οι οποίοι θα εξοπλίζονται με ασύρματες κάρτες Ethernet.

| Frequency band | Frequency range | Wavelength range |
|-------------------------------|-----------------|------------------|
| Extremely low frequency (ELF) | < 3 kHz | > 100,000 m |
| Very low frequency (VLF) | 3–30 kHz | 100,000–10,000 m |
| Low frequency (LF) | 30–300 kHz | 10,000–1,000 m |
| Mediumwave frequency (MF) | 300–3,000 kHz | 1,000–100 m |
| High frequency (HF) | 3–30 MHz | 100–10 m |
| Very high frequency (VHF) | 30–300 MHz | 10–1.0 m |
| Ultra high frequency (UHF) | 300–3,000 MHz | 1.0–0.1 m |
| Super high frequency (SHF) | 3–30 GHz | 10–1.0 cm |
| Extra high frequency (EHF) | 30–300 GHz | 1.0–0.1 cm |

Πρόσφατα, η βιομηχανία έχει σημειώσει σημαντική πρόοδο στην επίλυση μερικών περιορισμών για τη ευρεία υιοθέτηση των ασύρματων τεχνολογιών. Μερικοί από τους περιορισμούς ήταν οι διαφορές στην προτυποποίηση, το χαμηλό εύρος ζώνης και το υψηλό κόστος υποδομής και υπηρεσιών.

Οι ασύρματες τεχνολογίες μπορούν να παρέχουν τις απαιτούμενες υπηρεσίες και να παρέχουν παράλληλα οικονομικές και αποδοτικές λύσεις. Η ασύρματη τεχνολογία υιοθετείται σε πολλές νέες εφαρμογές : στην διασύνδεση υπολογιστών, στον απομακρυσμένο έλεγχο και την ανάκτηση δεδομένων, στην παροχή ελέγχου πρόσβασης και την ασφάλεια, και είναι αναγκαία λύση για περιβάλλοντα όπου στα οποία δεν είναι εφικτή η καλωδίωση.

Στο ρυθμιστικό μέτωπο, η Ομοσπονδιακή Επιτροπή Τηλεπικοινωνιών (FCC) αναγνώρισε την αξία των μικροκυματικών συχνοτήτων και καθιέρωσε ζώνες συχνοτήτων καθώς και διαδικασίες χορήγησης αδειών για τα ευρυζωνικά ασύρματα συστήματα στα 2, 4, και 11 GHz.

Οι κατανομές για άλλες υπηρεσίες όπως στην ιδιωτική βιομηχανική ραδιοεπικοινωνία, στους συνδέσμους αποστολής σημάτων ραδιοφωνικής μετάδοσης (STLs), στις επιχειρήσεις μεταφορών, καθώς και σε άλλες επιχειρήσεις έγιναν πάνω σε άλλες μικροκυματικές ζώνες συχνοτήτων.

Σήμερα, αυτές οι multihop (πολλαπλών αλμάτων) μικροκυματικές διαδρομές μεγάλων αποστάσεων έχουν αντικατασταθεί κατά ένα μεγάλο μέρος από τις οπτικές ίνες, που παρέχουν πολύ χαμηλότερες απώλειες και πολύ μεγαλύτερη χωρητικότητα επικοινωνιακής κίνησης. Οι δορυφορικές επικοινωνίες διαδραματίζουν επίσης σημαντικό ρόλο, αν και για τη διπλής κατεύθυνσης μετάδοση φωνής και βίντεο, οι οπτικές ίνες είναι μια καλύτερη λύση δεδομένου ότι δεν υφίσταται η χρονική καθυστέρηση των ¼ δευτερολέπτων (κατά προσέγγιση) λόγω του round-trip, όταν αναμεταδίδεται το σήμα μέσω ενός δορυφόρου ο οποίος βρίσκεται σε γεωστατική τροχιά 35.700 χιλιομέτρων επάνω από τον ισημερινό της Γης.

Σήμερα, οι συχνότητες μέχρι και τα 42 GHz είναι προσβάσιμες χρησιμοποιώντας την υπάρχουσα τεχνολογία, και οι έρευνες έχουν στραφεί στις υψηλότερες συχνότητες. Τα fixed wireless ευρυζωνικά συστήματα που πραγματευόμαστε σε αυτό το βιβλίο λειτουργούν στις συχνότητες του εύρους ζώνης που προαναφέραμε.

Εντούτοις, είναι προφανές από την προηγούμενη συζήτηση της εξέλιξης των ασύρματων συστημάτων, ότι οι νέοι ημιαγωγοί και η υπόλοιπη τεχνολογία για τα μικροκύματα θα συμβάλλουν στην ανάπτυξη του hardware που χρησιμοποιείτε στις ασύρματες επικοινωνίες

Οι συχνότητες μέχρι τα 350 GHz αποτελούν το αντικείμενο της έρευνας και, ως ένα ορισμένο βαθμό, χρησιμοποιούνται για περιορισμένες στρατιωτικές και εμπορικές εφαρμογές.

6.1.1 Fixed wireless

Οι τύποι σταθερών ασύρματων τεχνολογιών περιλαμβάνουν LMDS (local multipoint distribution service), MMDS (multi-channel multipoint distribution service), κυψελοειδής / PC (προσωπικό σύστημα επικοινωνιών), DBS (direct broadcast satellite), και επίγειες ψηφιακές υπηρεσίες. Οι point-to-point LMDS ασύρματες εφαρμογές περιλαμβάνουν τις συνδέσεις μεταξύ των πύργων κινητής τηλεφωνίας και των κεντρικών γραφείων, ή τις υπεραστικές συνδέσεις μεταξύ μητροπολιτικών κτηρίων με ρυθμούς δεδομένων μεταξύ 150 Mbps και 620 Mbps σε απόσταση 2 χλμ. Οι point-to-multipoint συσκευές μπορούν να μεταδώσουν πακέτα με ρυθμούς της τάξεως των 150 Mbps προς όλες τις κατευθύνσεις σε απόσταση εύρους από 1 έως 3 χλμ. Τα LMDS λειτουργούν στις συχνότητες των 24 GHz, 28 GHz, και 39 GHz – επιτυγχάνοντας ρυθμούς δεδομένων (θεωρητικά) της τάξεως των 100Mbps, με τα 45 Mbps να είναι ο ρυθμός δεδομένων που επιτυγχάνεται στην πράξη.

Οι σταθερές ασύρματες επικοινωνίες εξυπηρετούν και τα δημόσια δίκτυα και τις ιδιωτικές επιχειρήσεις. Οι αρχικές point-to-point ασύρματες συνδέσεις προσέφεραν ταχύτητες της τάξεως των megabit με ρυθμούς T1/E1 για να επεκτείνουν το χαλκό στα PDH δίκτυα.

Οι σημερινές ασύρματες συνδέσεις θα απαιτούν προσαρμοζόμενες ταχύτητες της τάξεως των gigabit για να υποστηρίξουν OC-192 ρυθμούς στα σημερινά αναπτυσσόμενα δίκτυα SONET/SDH. Η MMDS τεχνολογία χρησιμοποιεί συχνότητες ανάμεσα στα 2.1GHz και 2.7GHz, σε απόσταση 50km, και με ρυθμούς από 128 Kbps μέχρι 10 Mbps. Η συγκεκριμένη τεχνολογία μπορεί να αποτελέσει μια καλή εναλλακτική λύση σε σχέση με τους DSL και cable διαποδιαμορφωτές (modems).

Η Fixed wireless τεχνολογία εντούτοις ήταν αργή στο να επεκταθεί και να αναπτυχθεί και αποτελεί την τρίτη σε σειρά ευρυζωνική υπηρεσία, σε αριθμό συνδρομητών. Μερικές από τις προκλήσεις όσο αφορά την επέκταση περιλαμβάνουν την τυποποίηση της τεχνολογίας, αναπτύσσοντας μια ευρύτερη βάση κατασκευαστών υλικού εξοπλισμού (hardware), και συνεχίζοντας την τάση προς τη εδραίωση των σταθερών ασύρματων φορέων παροχής υπηρεσιών. Επίσης, η αξιοπιστία επηρεάζεται δραματικά από τις δύσκολες καιρικές συνθήκες – όπου σε ομιχλώδης συνθήκες το σήμα διαστρεβλώνεται, με αποτέλεσμα να αναγκάζονται οι προμηθευτές να εγκαταστήσουν τις συσκευές αποστολής σημάτων πιο κοντά μεταξύ τους.

Οι LMDS και MMDS είναι οι χαρακτηριστικές σταθερές ασύρματες τεχνολογίες - με τις άλλες προηγούμενες καθιερωμένες ασύρματες τεχνολογίες, όπως κυψελοειδής/PCs, DBS και οι ψηφιακές επίγειες υπηρεσίες να είναι καλές εναλλακτικές λύσεις για την παροχή υπηρεσιών υψηλής ταχύτητας πρόσβασης στο Διαδίκτυο.

Στην συνέχεια του κεφαλαίου θα γίνει μια επισκόπηση των υπαρχουσών ασύρματων τεχνολογιών και άλλων σχετικών ζητημάτων.

6.1.2 Είδη FIXED WIRELESS Δικτύων

Οι τύποι τοπολογιών, Fixed wireless δικτύων που θα συναντήσουμε σε αυτό το κεφάλαιο διακρίνονται σε τέσσερις ευρείες κατηγορίες. Κάθε μία παρουσιάζεται εν συντομία στις εξής υποενότητες και πιο λεπτομερής ανάλυση γίνεται στα επόμενα κεφάλαια.

6.1.2.1 Point-to-point (PTP) δίκτυα

Τα point to point δίκτυα (PTP) αποτελούνται από έναν ή περισσότερους σταθερούς PTP συνδέσμους, υιοθετώντας συνήθως ιδιαιτέρως κατευθυντικές κεραίες μετάδοσης και λήψης, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.2. Τα δίκτυα τέτοιων συνδέσμων που είναι συνδεδεμένοι από άκρη σε άκρη, μπορούν να καλύψουν μεγάλες αποστάσεις όπως στην περίπτωση του AT&T 4-gHz δικτύου συνδέσμων που διέσχισε τις Ηνωμένες Πολιτείες το 1951.

Οι σύνδεσμοι που είναι διασυνδεδεμένοι από άκρη σε άκρη, αναφέρονται συχνά ως διαδοχικά (tandem) συστήματα, και η ανάλυση για την end-to-end αξιοπιστία ή διαθεσιμότητα ολόκληρου του δικτύου πρέπει να υπολογιστεί χωριστά από την διαθεσιμότητα των μεμονωμένων συνδέσμων.

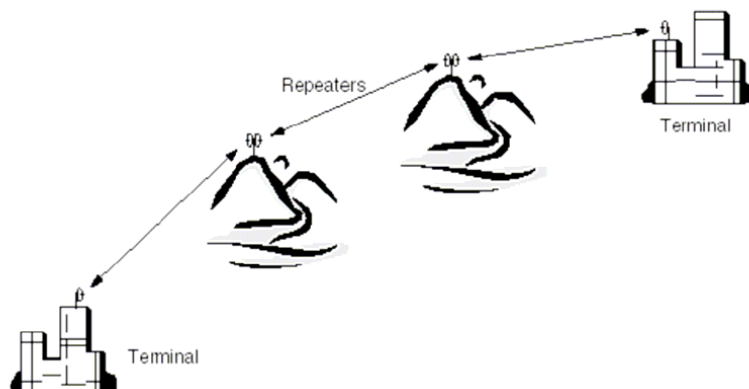


Figure 1.2 Point-to-point (PTP) network connecting two cities through mountaintop repeaters.

6.1.2.2 Point-to-multipoint (PMP) δίκτυα

Τα PMP δίκτυα χρησιμοποιούσαν μια 'hub and spoke' προσέγγιση για τη διανομή υπηρεσιών δεδομένων όπως φαίνεται στο σχήμα 1.4. Ο κόμβος (hub) είναι κάτι ανάλογο με το σταθμό βάσης σε ένα κυψελοειδές σύστημα. Αποτελείται από μια ή περισσότερες κεραίες ευρείας δέσμης ραδιοσήματος που σχεδιάζονται για να εκπέμπουν προς πολλαπλά τερματικά. Ανάλογα με τη ζώνη συχνότητας που χρησιμοποιείται, και τους ρυθμούς δεδομένων που παρέχονται στους τελικούς χρήστες, απαιτούνται αρκετοί κόμβοι για να παρέχουν υπηρεσίες - παντού - σε μια πόλη.

Τα απομακρυσμένα τερματικά των τελικών χρηστών είναι μηχανικές εγκαταστάσεις στις οποίες οι κατευθυντικές κεραίες έχουν εγκατασταθεί σε θέσεις οι οποίες είναι στο LOS (line of site – εύρος κάλυψης) του κόμβου και έχουν προσανατολιστεί, από έναν τεχνικό, προς τον κόμβο.. Σε μερικές περιπτώσεις αυτό μπορεί να απαιτήσει εκτενή εργασία σε κάθε θέση τερματικού.

Η PMP αρχιτεκτονική δικτύων είναι πέραν κάθε αμφιβολίας η δημοφιλέστερη προσέγγιση στην Fixed wireless ευρυζωνική τεχνολογία. Μιμείται την τοπολογία δικτύων που χρησιμοποιείται επιτυχώς για δεκαετίες στα καλωδιακά τηλεφωνικά δίκτυα, τα δίκτυα καλωδιακών τηλεοράσεων, ακόμα και στα ηλεκτρικά δίκτυα, δίκτυα φυσικού αερίου, και δίκτυα νερού όλων των ειδών.

Για τις ασύρματες τεχνολογίες, το σημαντικότερο μειονέκτημα είναι το κόστος της υποδομής για την κατασκευή των κόμβων που απαιτούνται για να επιτευχθεί το LOS σε ένα μεγάλο ποσοστό της υπηρεσίας.

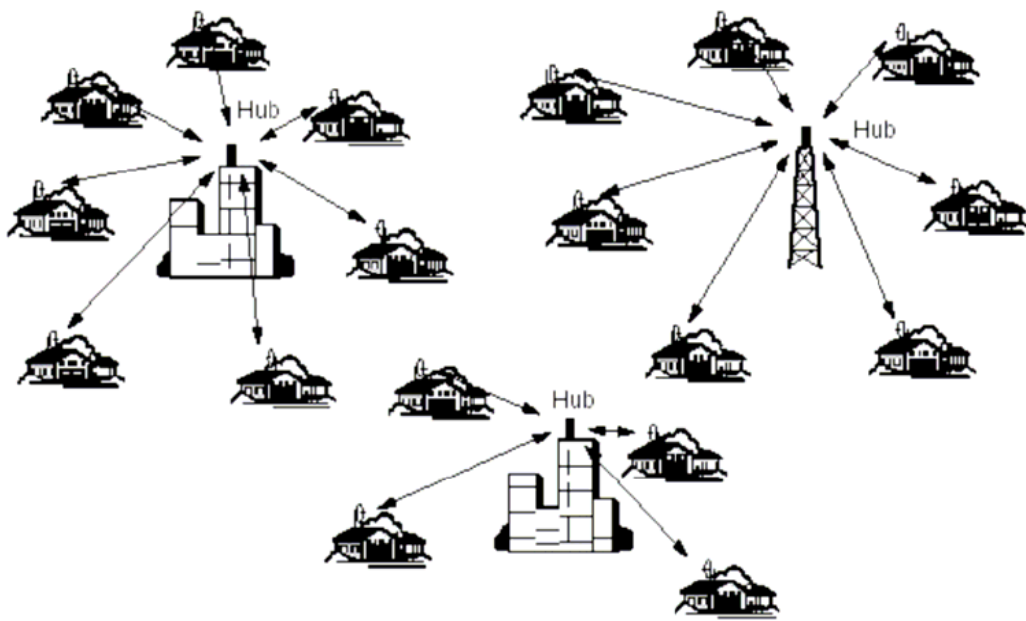


Figure 1.4 Point-to-multipoint (PMP) network.

6.1.3 Μετάδοση φωνής και μηνυμάτων

Τα κινητά τηλέφωνα, τα μπίπερ, και τα εμπορικά διπλής κατεύθυνσης επιχειρησιακά ραδιόφωνα μπορούν να παρέχουν και τις υπηρεσίες φωνής και μηνύματος. Αυτές οι συσκευές μπορούν να βασιστούν στα αναλογικά ή ψηφιακά πρότυπα που διαφέρουν πρώτιστα στον τρόπο με τον οποίο επεξεργάζονται τα σήματα και κωδικοποιούν τις πληροφορίες.

Το αναλογικό πρότυπο είναι το Advanced Mobile Phone Service (AMPS). Το ψηφιακό πρότυπο είναι το Global System for Mobile Communications (GSM), το Time Division Multiple Access (TDMA – πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση στο χρόνο-), ή το Code Division Multiple Access (CDMA – πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση κώδικα).

Κανονικά, οι συσκευές λειτουργούν μέσα σε δίκτυα που παρέχουν μητροπολιτική, πολιτειακή, ή εθνική κάλυψη. Αυτά τα μεγάλα και δαπανηρά δίκτυα χρησιμοποιούνται από τους φορείς όπως το AT&T, Sprint, Verizon, τοπικές τηλεφωνικές επιχειρήσεις, κ.λπ. και λειτουργούν σε διαφορετικές ζώνες συχνοτήτων, που διατίθενται από τη FCC. Η ρυθμαπόδοση εξαρτάται από τα πρότυπα τα οποία χρησιμοποιούνται, αλλά προς το παρόν στις ΗΠΑ, αυτά τα δίκτυα λειτουργούν σε ρυθμούς της τάξεως των 16 Kbps.

Τα νέα ψηφιακά πρότυπα, επίσης καλούμενα ως «Υπηρεσίες Τρίτης Γενιάς» ("Third Generation Services") ή 3G, ξεκίνησαν την λειτουργία τους το 2004, και παρέχουν 30 φορές ταχύτερους ρυθμούς μεταγωγής και προηγμένες δυνατότητες. Λόγω της ύπαρξης πολλών προτύπων, υπάρχουν ζητήματα διαλειτουργικότητας μεταξύ των δικτύων, των φορέων, και των συσκευών. Γενικά, οι χρεώσεις βασίζονται στην χρήση ανά λεπτό ή ανά αριθμό μηνυμάτων αποστολής.

6.1.4 Φορητές και άλλες Internet-enabled συσκευές

Τα κινητά τηλέφωνα (που χρησιμοποιούνται για σύνδεση στο διαδίκτυο) και Personal Digital Assistants (PDAs) αποτελούν τα νεώτερα προϊόντα που μπορούν να συνδεθούν με το Διαδίκτυο μέσω ενός ψηφιακού ασύρματου δικτύου.

Τα νέα πρωτόκολλα, όπως το Wireless Application Protocol (WAP), και οι νέες γλώσσες, όπως η WML (Wireless Markup Language) έχουν αναπτυχθεί ειδικά για αυτές τις συσκευές, ώστε να μπορούν να συνδεθούν στο Διαδίκτυο. Εντούτοις, η πλειοψηφία των ισχυουσών υπηρεσιών στο Διαδίκτυο δεν έχουν βελτιστοποιηθεί για αυτές τις συσκευές προς το παρόν, μόνο το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, τα stock quotes, οι ειδήσεις, τα μηνύματα και απλές nd transaction-oriented υπηρεσίες είναι διαθέσιμες. Άλλοι περιορισμοί περιλαμβάνουν το χαμηλό εύρος ζώνης (λιγότερο από 14 Kbps), τη χαμηλή ποιότητα υπηρεσίας, το υψηλό κόστος, την ανάγκη για επιπρόσθετο εξοπλισμό, και την υψηλή αξιοποίηση της ισχύος των μπαταριών των συσκευών. Εντούτοις, αυτός ο τύπος ασύρματης τεχνολογίας αναπτύσσεται ραγδαία, με πιο βελτιωμένα και πιο διαλειτουργικά προϊόντα.

6.1.5 Δικτύωση δεδομένων

Κάνουμε τη διαφοροποίηση μεταξύ των 'καθαρών' εφαρμογών δεδομένων σε [ασύρματα τοπικά δίκτυα \(WLANs\)](#) και δεδομένων, φωνής, και βίντεο που συγκλίνουν στην [ευρυζωνική ασύρματη τεχνολογία](#). Επίσης εν συντομία συζητάμε για το [Bluetooth](#), μια νέα ασύρματη τεχνολογία.

6.1.5.1 Ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN)

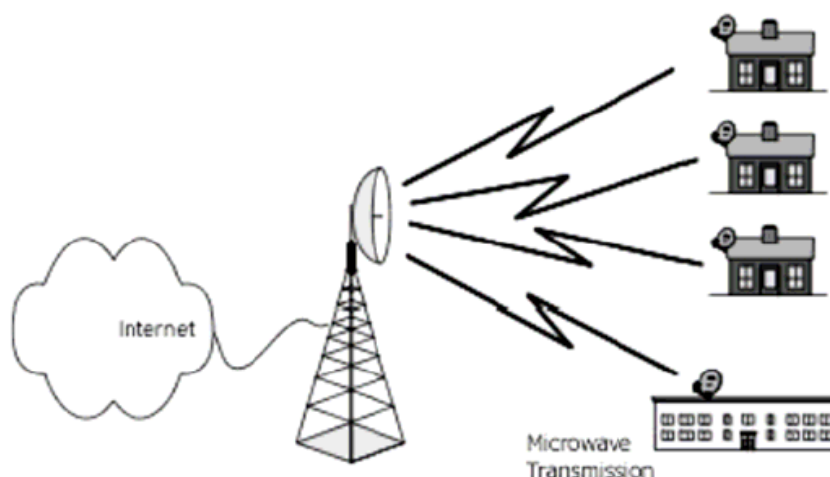
Τα ασύρματα τοπικά δίκτυα (WLAN) εφαρμόζονται ως επέκταση στα ενσύρματα LANs μέσα σε ένα κτήριο και μπορεί να παρέχει τα τελευταία λίγα μέτρα της σύνδεσης μεταξύ ενός ενσύρματου δικτύου και του κινητού χρήστη.

Τα WLANs είναι βασισμένα στο IEEE 802.11 πρότυπο. Υπάρχουν τρία φυσικά επίπεδα για τα WLANs: δύο προδιαγραφές ραδιοσυχνοτήτων (RF – direct sequence and frequency hopping spread spectrum) και ένα υπέρυθρο (IR). Τα περισσότερα WLANs λειτουργούν στην ζώνη συχνοτήτων των 2,4 GHz που δεν απαιτεί άδεια, και παρέχουν ρυθμούς μετάδοσης μέχρι και 2 Mbps.

Το νέο πρότυπο, το 802.11b είναι direct sequence μόνο, και παρέχει ρυθμούς μετάδοσης μέχρι και 11 Mbps. Αυτήν την περίοδο το κυρίαρχο πρότυπο, υποστηρίζεται ευρέως από προμηθευτές όπως η Cisco, η Lucent, η Apple, κ.λπ.... Από τα μέσα του 2002, λειτουργεί ένα νέο πρότυπο, το 802.11a, λειτουργεί στην ζώνη συχνοτήτων των 5 GHz (δεν απαιτείται άδεια σε αυτό το φάσμα) και παρέχει ρυθμούς μέχρι και 54 Mbps.

Οι WLAN διατάξεις ποικίλουν από -απλές, ανεξάρτητες, peer-to-peer συνδέσεις μεταξύ ενός συνόλου υπολογιστών-, μέχρι και σε πιο πολύπλοκα δίκτυα πιο σύνθετης, υποδομής. Υπάρχουν επίσης και ασύρματες λύσεις από σημείο -σε-σημείο (point-to-point) και από σημείο -σε- πολλαπλά σημεία (point-to-multipoint).

Μια point-to-point λύση χρησιμοποιείται για να ενώσει δύο τοπικά δίκτυα, και για να παρέχει μια εναλλακτική λύση σε σχέση με την ενσύρματη σύνδεση μεταξύ δύο γεωγραφικά απομακρυσμένων θέσεων (μέχρι και 30 μίλια). Οι λύσεις point-to-multipoint συνδέουν αρκετές, αυτόνομες εγκαταστάσεις σε μια περιοχή ή σε ένα κτήριο. Και οι point-to-point και οι point-to-multipoint λύσεις μπορούν να βασιστούν στο πρότυπο 802.11b ή σε πιο δαπανηρές λύσεις που βασίζονται στην υπέρυθρη τεχνολογία και μπορούν να παρέχουν ρυθμούς μέχρι και 622 Mbps(ταχύτητα Oc- 12) Σε μια τυπική διάταξη WLAN, υπάρχουν δύο βασικά συστατικά:



Σημεία πρόσβασης (Access Points) - ένας σταθμός πρόσβασης σημείου/βάσης συνδέεται με ένα LAN μέσω ενός Ethernet καλωδίου. Τα σημεία πρόσβασης συνήθως τοποθετούνται σε υψηλά σημεία και λαμβάνουν, αποθηκεύουν και μεταδίδουν δεδομένα μεταξύ του WLAN και της ενσύρματης υποδομής δικτύων.

Ένα σημείο πρόσβασης μπορεί να υποστηρίξει κατά μέσον όρο είκοσι χρήστες και παρέχει κάλυψη που ποικίλλει από 20 μέτρα, σε περιοχές με εμπόδια (τοίχοι, κλιμακοστάσια, ανελκυστήρες) και μέχρι 100 μέτρα σε περιοχές χωρίς εμπόδια. Σε ένα κτήριο μπορεί να χρειαστούν διάφορα σημεία πρόσβασης για να υπάρχει πλήρης κάλυψη και να επιτρέπεται στους χρήστες να μετακινούνται μεταξύ των σημείων πρόσβασης χωρίς να χάνουν τη σύνδεσή τους με το δίκτυο.

Οι κεραίες WLL τοποθετούνται σε μικρούς πύργους ή στις οροφές του πελάτη και είναι στραμμένες προς έναν κεντρικό κύριο WLL πύργο που παρέχει την υπηρεσία. Σε μερικές δοκιμαστικές περιπτώσεις, οι WLL αντικαθιστούν εξολοκλήρου την παραδοσιακή καλωδίωση. Παραδείγματος χάριν, μια απομακρυσμένη κοινότητα μπορεί να μοιράζεται μία γραμμή T-3 (45 Mbps) που παρέχει ασύρματη συνδεσιμότητα για όλες τις ανάγκες φωνής, βίντεο, και δεδομένων.

Ασύρματος προσαρμογέας συνδέει τους χρήστες μέσω ενός σημείου πρόσβασης με το υπόλοιπο LAN. Ένας ασύρματος προσαρμογέας μπορεί να είναι μια κάρτα PC σε ένα φορητό υπολογιστή, ένας προσαρμογέας ISA ή PCI σε έναν υπολογιστή γραφείου, ή μπορεί να ενσωματωθεί πλήρως μέσα σε μια φορητή συσκευή. Οι E1/T1 ή STM-1/OC-3 διεπαφές μπορούν να συνδεθούν και στις δύο πλευρές με WLL. Όπως συμβαίνει και στο LMDS, όταν απαιτούνται διεπαφές δεδομένων, χρησιμοποιείται ένας συνδυασμός χρήσης δεδομένων και φωνής.

6.1.5.2 Broadband Wireless

Η ασύρματη ευρυζωνική (BW) τεχνολογία είναι μια νέα ασύρματη τεχνολογία που επιτρέπει την ταυτόχρονη ασύρματη μετάδοση φωνής, δεδομένων, και βίντεο. Το BW θεωρείται ανταγωνιστική τεχνολογία με τη Digital Subscriber Line (DSL) τεχνολογία. Εφαρμόζεται γενικά στις μητροπολιτικές περιοχές και απαιτείται line of sight μεταξύ του πομπού και του δέκτη. Το BW διακρίνεται σε:

[Local multipoint distribution service \(LMDS\)](#) και
[Multi-channel multi-point distribution service \(MMDS\)](#).

Και οι δύο λειτουργούν στο FCC-αδειοδοτημένο φάσμα συχνοτήτων.

Η LMDS είναι μία υπηρεσία δικτύωσης υψηλού εύρους ζώνης που λειτουργεί στο εύρος των 28-31 GHz του φάσματος συχνοτήτων και έχει ικανοποιητικό εύρος ζώνης για να μεταδώσει όλα τα κανάλια της δορυφορικής τηλεόρασης, όλα τα τοπικά over-the-air κανάλια, και υπηρεσία δεδομένων με πολύ υψηλή ταχύτητα ταυτόχρονης αμφίδρομης κατεύθυνσης (full duplex). Η μέση απόσταση μεταξύ των LMDS πομπών είναι περίπου ένα μίλι..

Η MMDS λειτουργεί σε χαμηλότερες συχνότητες, στο αδειοδοτημένο εύρος συχνοτήτων των 2.5 GHz. Η MMDS παρέχει ευρύτερη κάλυψη από την LMDS, μέχρι 35 μίλια, αλλά έχει χαμηλότερη ρυθμαπόδοση. Η ασύρματη ευρυζωνική υπηρεσία απαιτεί δαπανηρό εξοπλισμό και υποδομές. Εντούτοις, καθώς υιοθετείται ευρύτερα, αναμένεται ότι το κόστος υπηρεσιών θα μειωθεί.

Bluetooth

Το Bluetooth είναι μια προδιαγραφή τεχνολογίας για τις χαμηλού κόστους, και περιορισμένου φάσματος ασύρματες συνδέσεις, μεταξύ φορητών PCs, κινητών τηλεφώνων, και άλλες φορητές συσκευές, και για τη σύνδεση στο Διαδίκτυο. Το Bluetooth Special Interest Group (SIG) καθοδηγεί την ανάπτυξη της τεχνολογίας, την φέρνει στην αγορά και περιλαμβάνει διαφημιστικές επιχειρήσεις όπως η 3Com, Ericsson, IBM, Intel, Lucent, Motorola, Nokia, και πάνω από 1.800 Adopter/Associate 128 επιχειρήσεις μέλη.

Το Bluetooth παρέχει κάλυψη μέχρι και δέκα μέτρων στη μη αδειοδοτημένη ζώνη των 2.4GHz. Επειδή τα 802.11 WLANs λειτουργούν επίσης στην ίδια ζώνη, υπάρχουν ζητήματα παρεμβολής που πρέπει να εξετασθούν. Η τεχνολογία και τα προϊόντα Bluetooth άρχισαν να διατίθενται το 2001, αλλά η διαλειτουργικότητα φαίνεται να είναι ένα μεγάλο πρόβλημα.

Σημαντικά ζητήματα για τις ασύρματες τεχνολογίες

Όπως με οποιαδήποτε σχετικά νέα τεχνολογία, υπάρχουν πολλά ζητήματα που έχουν επιπτώσεις στην εφαρμογή και τη χρησιμοποίηση των ασύρματων δικτύων. Υπάρχουν κοινά και συγκεκριμένα ζητήματα ανάλογα με τον τύπο του ασύρματου δικτύου. Μερικοί από τους κοινούς παράγοντες περιλαμβάνουν την ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή και τα φυσικά εμπόδια που περιορίζουν την κάλυψη των ασύρματων δικτύων, ενώ άλλοι είναι πιο συγκεκριμένοι, όπως τα πρότυπα, η ασφάλεια δεδομένων, η ρυθμαπόδοση, η ευκολία στη χρήση, κ.λπ.

6.2 Ευρυζωνικές Τεχνολογίες

Όλες οι παραδοσιακές υπηρεσίες τηλεόρασης και ραδιοφώνου με τις οποίες έχουμε μεγαλώσει, χρησιμοποιούν την αναλογική μετάδοση για τη παροχή σήματος που μπορεί να μετατραπεί σε εικόνα ή ήχο. Έχουμε καλύψει ήδη τα προβλήματα που προκύπτουν με την αναλογική μετάδοση, έτσι είναι θέμα χρόνου τα ακουστικά και τηλεοπτικά σήματα ραδιοφωνικής μετάδοσης να μεταδίδονται ψηφιακά (όπως και είναι στις μέρες μας).

Πριν από χρόνια έγιναν προσπάθειες να μεταδοθεί ο ψηφιακός ήχος μέσω του δορυφόρου, παρέχοντας ήχο ποιότητας όπως αυτό του CD, στο σπίτι ή στο αυτοκίνητό μας. Η HDTV (high definition television) παρέχει βίντεο κινηματογραφικής ποιότητας και ήχο ποιότητας όπως του Cd στο καθιστικό μας.

Θα χρειαστεί να περάσουν κάποια χρόνια μέχρι αυτές οι νέες τεχνολογίες ραδιοφωνικής μετάδοσης να ωριμάσουν αρκετά ώστε να αντικαταστήσουν την παραδοσιακή αναλογική τηλεόραση και το ραδιόφωνο.

Οι πρόσφατες προσπάθειες από τη Federal Communications Commission (FCC) για να κάνουν τη HDTV ένα προτυποποιημένο σύστημα μέχρι το έτος 2008, καλύπτονται από πολύ σκεπτικισμό.

6.2.1 Ψηφιακή ραδιομετάδοση

Το δορυφορικό ραδιόφωνο είχε συζητηθεί από το 1992 όταν η Federal Communications Commission (FCC) διέθεσε την συχνότητα των 2,3 GHz για την Digital Audio Radio Service (DARS), επίσης γνωστή ως δορυφορικό ραδιόφωνο.

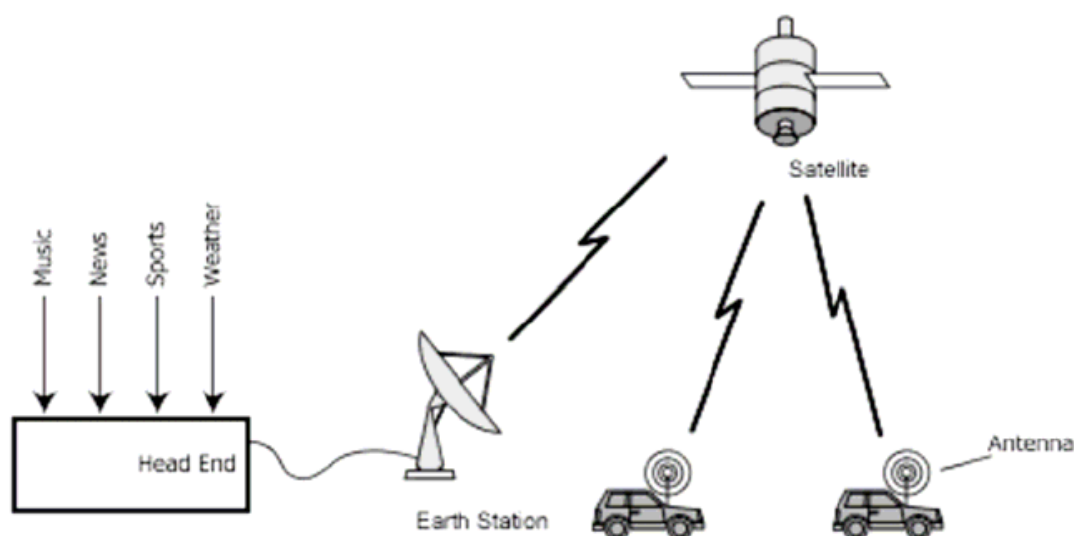
Πολύ σύντομα, τρεις επιχειρήσεις θα αρχίσουν τη μετάδοση μουσικής από το διάστημα μέσω των δορυφόρων. Οι τρεις επιχειρήσεις είναι:

- Sirius Satellite Radio— Ψηφιακή ραδιοφωνική μετάδοση στις ΗΠΑ.
- XM Satellite Radio— Ψηφιακή ραδιοφωνική μετάδοση στις ΗΠΑ.
- Worldspace— Ψηφιακή ραδιοφωνική μετάδοση στην Νότια Αμερική, στην Ασία και την Αφρική.

Οι αρχές για το ψηφιακό δορυφορικό ραδιόφωνο περιλαμβάνουν έναν αυτοκινούμενο δέκτη καθώς επίσης και έναν επιτραπέζιο δέκτη. Ένας uplink σταθμός εδάφους θα μεταδώσει ψηφιακή μουσική ποιότητας Cd, συζήτηση, και τις ειδήσεις στον δορυφόρο σε ύψος 22.300 μιλίων επάνω από τη γη για τη λήψη της σε ολόκληρες τις Ηνωμένες Πολιτείες. Λόγω του μεγάλου ίχνους της δορυφορικής λήψης, θα είστε σε θέση να οδηγείτε σε ολόκληρη τη χώρα χωρίς να πρέπει να αλλάξετε τον ραδιοφωνικό σας σταθμό.

Οι τρεις επιχειρήσεις που αναπτύσσουν αυτήν την τεχνολογία υπόσχονται πάνω από 100 κανάλια (η κάθε μια) συνεχούς στερεοφωνικού ήχου (Cd-ποιότητας) με λίγες ή καθόλου διαφημίσεις.

Δορυφορική ραδιομετάδοση.



Για περίπου \$10 μηνιαίως, οι συνδρομητές θα αποκωδικοποιούν ένα κρυπτογραφημένο σήμα που θα τους επιτρέπει να λαμβάνουν ψηφιακό δορυφορικό ραδιόφωνο.

Πολλοί κατασκευαστές αυτοκινήτων έχουν συνάψει συμφωνίες με τους προμηθευτές δορυφορικού ραδιοφώνου για τα μελλοντικά μοντέλα τους. Οι κατασκευαστές συμπεριλαμβανομένων των Sony, Sharp, και Pioneer έχουν αρχίσει επίσης την ανάπτυξη των δεκτών και για το αυτοκίνητο και για την χρήση στο σπίτι. Το ψηφιακό δορυφορικό ραδιόφωνο έχει λαμπρό μέλλον μπροστά του και τα πρώτα δείγματα γραφής έχουν ήδη φανεί..

6.2.1.1 Ιστορική αναδρομή της High Definition Television (HDTV)

- 1987 The FCC indicates that HDTV standards should be compatible with SDTV service.
- 1988 The FCC receives 23 different proposals for potential HDTV service.
- 1990 The FCC requests simultaneous broadcasting of HDTV and SDTV services.
- 1993 The FCC narrows down the ensuing technology to four contenders and creates a "grand alliance" among all four of them.
- 1995 The HDTV standard is tested and adopted.
- 1987 η FCC δείχνει ότι τα πρότυπα HDTV πρέπει να είναι συμβατά με την υπηρεσία SDTV.
- 1988 η FCC λαμβάνει 23 διαφορετικές προτάσεις για την πιθανή HDTV υπηρεσία.
- 1990 η FCC ζητά την ταυτόχρονη ραδιοφωνική αναμετάδοση των υπηρεσιών HDTV και SDTV.
- 1993 η FCC δημιουργεί μια 'μεγάλη συμμαχία' μεταξύ των τεσσάρων ανταγωνιστών.
- 1995 το πρότυπα HDTV δοκιμάζονται και υιοθετούνται.

6.2.2 High Definition Television

Η HDTV έχει περίπου διπλάσια οριζόντια και κάθετη ανάλυση από τα τρέχοντα αναλογικά συστήματα τηλεοπτικής ραδιοφωνικής μετάδοσης 525-γραμμής. Το πρόβλημα με τη HDTV δεν είναι η ίδια η τεχνολογία αλλά η συμβατότητά της με τα υπάρχοντα πρότυπα. Το 1957, η συμβατότητα ήταν ένα σημαντικό ζήτημα όταν εισήχθη αρχικά η έγχρωμη τηλεόραση. Το τυποποιημένο τηλεοπτικό (SDTV) σήμα ευκρίνειας έπρεπε να είναι συμβατό με τους και δέκτες λευκού και μαύρου χρώματος. Η συμβατότητα μεταξύ SDTV και της HDTV είναι πιο σύνθετη.

Καταρχήν, υπάρχει το εύρος ζώνης: Η HDTV απαιτεί 20 MHz, ενώ η SDTV απαιτεί 6 MHz.

Δεύτερον: η SDTV έχει έναν λόγο διάστασης 4/3 (σχεδόν τετραγωνικό), ενώ η HDTV έχει ένα 16/9 ευρύ (letterbox) σχήμα.

Τρίτον: η SDTV χρησιμοποιεί τη μετάδοση αναλογικών σημάτων, και η HDTV χρησιμοποιεί τη μετάδοση ψηφιακών σημάτων.

Τέταρτον: οι γραμμές HDTV ανιχνεύονται διαδοχικά και δεν συμπλέκονται όπως στην SDTV.

Λόγω αυτών των ζητημάτων, η HDTV είναι ταυτόχρονη ραδιοφωνική μετάδοση μαζί με ένα σήμα SDTV (σε διαφορετικές συχνότητες). Ο σχεδιαστικός στόχος της HDTV είναι να παρασχεθεί μεγαλύτερη συμβατότητα με τους υπολογιστές παρά με την υπάρχουσα SDTV τυποποίηση. Η HDTV προσφέρει 60 πλαίσια το δευτερόλεπτο, το οποίο είναι δύο φορές η ανάλυση της SDTV. Αυτό το χαρακτηριστικό γνώρισμα συνεισφέρει στην ομαλή κίνηση και στην ευκρίνεια των σημάτων με ποιότητα όπως

στις ταινίες. Επίσης δεν πρέπει να παραλείψουμε την ψηφιακή ραδιοφωνική μετάδοση των 5,1 καναλιών AC3 που συμπεριλαμβάνεται με το τηλεοπτικό σήμα.

Η HDTV είναι διαθέσιμη μέσω του ψηφιακού δορυφόρου ραδιοφωνικής μετάδοσης (DBS) και από τους προμηθευτές καλωδιακής τηλεόρασης. Πρέπει να ελέγξετε είτε με τον δορυφορικό προμηθευτή σας είτε με τον προμηθευτή καλωδίων για να καθορίσετε τη συμβατότητα HDTV.

Θυμάστε τις προηγούμενες συζητήσεις μας σχετικά με την αναλογική και ψηφιακή μετάδοση; Η μετάδοση αναλογικών σημάτων υπόκειται στο θόρυβο και τη διαστρέβλωση ενώ η μετάδοση ψηφιακών σημάτων γίνεται σχετικά χωρίς θόρυβο και χωρίς διαστρέβλωση. Παραδείγματος χάριν, μια ραδιοφωνική μετάδοση HDTV που προέρχεται από το Μανχάτταν θα φανεί με τόση ευκρίνεια στην πόλη του Τζέρσεϋ, του Νιου Τζέρσεϋ (ανατολικό Νιου Τζέρσεϋ) όσο και στο Phillipsburg, του Νιου Τζέρσεϋ (δυτικό Νιου Τζέρσεϋ).

Μια ραδιοφωνική μετάδοση SDTV δεν μπορεί να ληφθεί καθαρά (ίσως και καθόλου) στο Phillipsburg, του Νιου Τζέρσεϋ. Τα ψηφιακά σήματα είναι είτε on είτε off, επομένως μη καθοδηγούμενος θόρυβος μετάδοσης δεν έχει επιπτώσεις στο σήμα HDTV. Ένα εξαιρετικά αδύνατο ψηφιακό σήμα HDTV δεν θα λειτουργήσει καθόλου.

Τα αρχικά σχέδια, που είχαν εκδοθεί από τη FCC, απαιτούσαν το κλείσιμο της SDTV μέχρι το έτος 2008. Το αν αυτό θα συμβεί είναι βασισμένο κατά ένα μεγάλο μέρος στο πόσο γρήγορα η HDTV θα υιοθετηθεί από εμάς. Οι ραδιοφωνικές μεταδόσεις HDTV είναι διαθέσιμες από τις επιχειρήσεις καλωδίων και τις δορυφορικές επιχειρήσεις.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

1.1 Τηλεπικοινωνίες και επικοινωνίες δεδομένων

| | | |
|-------|--|----|
| 1.1.1 | Επικοινωνίες και Τηλεπικοινωνίες | 2 |
| 1.1.2 | Εξέλιξη Τηλεπικοινωνιών | 2 |
| 1.1.3 | Ανάγκη των δικτύων | 5 |
| 1.1.4 | Η Σύγκλιση των Τηλεπικοινωνιών | 7 |
| 1.1.5 | Το μοντέλο αναφοράς του ISO για τη διασύνδεση ανοικτών συστημάτων. | 8 |
| 1.1.6 | Φορείς Τυποποίησης | 9 |
| 1.1.7 | Ελληνική πραγματικότητα | 10 |

1.2 Βασικές έννοιες από τις Τηλεπικοινωνίες

| | | |
|-------|---|----|
| 1.2.1 | Το μοντέλο του Τηλεπικοινωνιακού συστήματος | 10 |
| 1.2.2 | Στοιχεία από τη θεωρία Πληροφορίας | 11 |
| 1.2.3 | Στοιχεία από τη θεωρία σήματος | 13 |
| 1.2.4 | Η έννοια της κωδικοποίησης | 20 |

1.3 Τηλεπικοινωνίες και Τεχνολογία

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΣΤΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ

2.1 Η μετάδοση της πληροφορίας στα τηλεπικοινωνιακά συστήματα

| | | |
|-------|---------------------------|----|
| 2.1.1 | Βασικές έννοιες | 22 |
| 2.1.2 | τοπολογίες δικτύων | 23 |
| 2.1.3 | Συγχρονισμός | 26 |
| 2.1.4 | Τρόποι επικοινωνίας | 27 |
| 2.1.5 | Τρόποι σύνδεσης | 29 |
| 2.1.6 | Πολυπλεξία (Multiplexing) | 30 |
| 2.1.7 | Ρυθμοί μετάδοσης | 30 |

2.2 Μέσο μετάδοσης – κανάλι

| | | |
|-------|-------------------------------------|----|
| 2.2.1 | Τύποι καναλιού θεωρητική προσέγγιση | 32 |
| 2.2.2 | Εύρος ζώνης – χωρητικότητα καναλιού | 32 |
| 2.2.3 | Περί Θορύβου | 33 |
| 2.2.4 | Πληροφορία - εύρος ζώνης – Θόρυβος | 33 |

2.3 Φυσικά μέσα μετάδοσης στα τηλεπικοινωνιακά συστήματα

| | | |
|-------|--|----|
| 2.3.1 | Χαρακτηριστικά των μέσων μετάδοσης | 34 |
| 2.3.2 | Ενσύρματη μετάδοση | 34 |
| 2.3.3 | Οπτικές ίνες | 36 |
| 2.3.4 | Παράγοντες απωλειών και περιορισμού του εύρους ζώνης στις οπτικές ίνες | 36 |
| 2.3.5 | Είδη οπτικών ινών και οπτικά καλώδια | 39 |
| 2.3.6 | Ασύρματη μετάδοση | 40 |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

3.1 Ολοκληρωμένα κυκλώματα

| | | |
|-------|------------------|----|
| 3.1.1 | Ιστορική εξέλιξη | 44 |
|-------|------------------|----|

| | |
|--|----|
| 3.2 Τεχνολογία ολοκληρωμένων κυκλωμάτων | |
| 3.3 Μικροκυματικές διατάξεις | |
| 3.4 Οπτικές πηγές | |
| 3.4.1 Πηγές Led | 54 |
| 3.4.2 Πηγές Laser | 57 |
| 3.5 Φωτοδέκτες | |
| 3.6 Οπτικοηλεκτρονική ολοκλήρωση | |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ ΠΗΓΗΣ ΚΑΙ ΚΑΝΑΛΙΟΥ

| | |
|---|----|
| 4.1 Κωδικοποίηση πηγής: εντροπία και συμπίεση | 63 |
| 4.2 Φασματικό bit rate και αναλογία ενέργειας bit προς θόρυβο | 65 |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ

| | |
|---|----|
| 5.1 Μετάδοση σε βασική ζώνη | |
| 5.1.1 Διαμόρφωση Πλάτους Παλμών (PAM) | 67 |
| 5.1.2 Παλμοκωδική Διαμόρφωση (PCM) | 67 |
| 5.1.3 Εφαρμογές PCM – Ψηφιακή Τηλεφωνία | 69 |
| 5.1.4 Πλεονεκτήματα PCM έναντι PAM | 70 |

| | |
|---------------------------------------|----|
| 5.2 Μετάδοση σε ζώνη διέλευσης | |
| 5.2.1 Αναλογική Διαμόρφωση | 71 |
| 5.2.2 Ψηφιακή Διαμόρφωση | 75 |

5.3 Ορθογωνική Πολυπλεξία Συχνότητας (Orthogonal Frequency Division Multiplexing – OFDM)

5.4 Επαναχρησιμοποίηση φάσματος

| | |
|---|----|
| 5.5 Τεχνικές Πολλαπλής Πρόσβασης | |
| 5.5.1 FDMA | 80 |
| 5.5.2 TDMA | 81 |
| 5.5.3 CDMA | 82 |

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

| | |
|---|----|
| 6.1 Ασύρματα Τηλεπικοινωνιακά συστήματα | |
| 6.1.1 Fixed wireless | 84 |
| 6.1.2 Είδη FIXED WIRELESS Δικτύων | 84 |
| 6.1.3 Μετάδοση φωνής και μηνυμάτων | 86 |
| 6.1.4 Φορητές και άλλες Internet-enabled συσκευές | 86 |
| 6.1.5 Δικτύωση δεδομένων | 87 |

| | |
|------------------------------------|----|
| 6.2 Ευρυζωνικές Τεχνολογίες | |
| 6.2.1 Ψηφιακή ραδιομετάδοση | 90 |
| 6.2.2 High Definition Television | 91 |