

Επικοινωνίες και δίκτυα



Β' & Γ' ΤΑΞΗ ΕΠΑ.Λ.

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΕΚΔΟΣΕΩΝ «ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ»

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ, ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ

Σ. ΜΑΤΑΚΙΑΣ (MSc), Α. ΤΣΙΓΚΟΠΟΥΛΟΣ (PhD),
Α. ΑΜΔΙΤΗΣ (PhD)

Η συγγραφή και η επιστημονική επιμέλεια του βιβλίου πραγματοποιήθηκε
υπό την αιγίδα του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου

Επικοινωνίες και Δίκτυα

Β΄ ΤΑΞΗ ΕΠΑ.Λ. & Γ΄ ΤΑΞΗ ΕΠΑ.Λ.

Ειδικότητα: Τεχνικός Ηλεκτρονικών και Υπολογιστικών
Συστημάτων, Εγκαταστάσεων, Δικτύων
και Τηλεπικοινωνιών

ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΙΑΣ, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ
ΚΑΙ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΥ

ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΕΚΔΟΣΕΩΝ «ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ»

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΚΔΟΣΗΣ

Συγγραφική ομάδα:

Σωτήρης Ματακιάς, Φυσικός, M.Sc. Τηλεπικοινωνίες

Καθηγητής Β΄ βαθμίας εκπαίδευσης

Ανδρέας Τσιγκόπουλος, Δρ. Ηλεκτρολόγος Μηχανικός

Σχολή Ναυτικών Δοκίμων

Άγγελος Αμδίτης, Δρ. Ηλεκτρολόγος Μηχανικός & Μηχ. Η/Υ, ΕΠΙΣΕΥ-ΕΜΠ

Συντονιστής παραγωγής και ηλεκτρονική επεξεργασία εικόνων:

Σωτήρης Ματακιάς

Φιλολογική επιμέλεια:

Θεόδωρος Κατσουλάκος, Δρ. Φιλοσοφίας

Κρίση του βιβλίου:

Θωμάς Σφηκόπουλος, Καθηγητής Πανεπιστημίου Αθηνών

Λάζαρος Μεράκος, Καθηγητής Πανεπιστημίου Αθηνών

Αθανάσιος Νασιδόπουλος, Φυσικός-Ηλεκτρονικός Μηχανικός, Καθηγητής Τμ.

Ηλεκτρονικής ΤΕΙ Αθηνών

Υπεύθυνος για το Παιδαγωγικό Ινστιτούτο:

Χαραλ. Δ. Κανελλόπουλος, Δρ. Φυσικός, Ραδιοηλεκτρολόγος,

Σύμβουλος Παιδαγωγικού Ινστιτούτου (Ph.D)

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΠΑΝΕΚΔΟΣΗΣ

Η επανέκδοση του παρόντος βιβλίου πραγματοποιήθηκε από το Ινστιτούτο Τεχνολογίας Υπολογιστών & Εκδόσεων «Διόφαντος» μέσω ψηφιακής μακέτας.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η συντελούμενη σήμερα επανάσταση στις τεχνολογίες πληροφορικής και επικοινωνιών έχει αλλάξει ριζικά το οικονομικό και κοινωνικό πλαίσιο σε παγκόσμιο επίπεδο. Έχουν ήδη αρχίσει να διαφαίνονται τα αποτελέσματα στους χώρους της τεχνολογίας, αλλά και στους τομείς των μεταφορών, του εμπορίου, της ναυτιλίας, του τουρισμού, της εκπαίδευσης, της βιομηχανίας, των τραπεζών και της απασχόλησης.

Η τεχνολογία των επικοινωνιών έχει δημιουργήσει από μόνη της μια βιομηχανία που συνεχώς διευρύνεται. Οι επικοινωνίες επηρεάζουν πλέον άμεσα οποιαδήποτε άλλη βιομηχανία ή εμπορικό κλάδο, αυξάνοντας την παραγωγικότητα και χαμηλώνοντας το κόστος. Πέραν της οικονομικής πλευράς, σημαντικότερες είναι οι επερχόμενες αλλαγές στην ανθρώπινη επικοινωνία, στους τρόπους εργασίας, διαβίωσης και εκπαίδευσης.

Σήμερα, εκατομμύρια χρήστες σε περισσότερες από 100 χώρες χρησιμοποιούν τα δίκτυα για ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, για την αναζήτηση και ανταλλαγή πληροφοριών, σαν πίνακες ανακοινώσεων και συζητήσεων κ.λπ. Ο αριθμός των συνδρομητών αυξάνεται περισσότερο από 10% κάθε μήνα. Η ταχύτητα με την οποία «κινούνται» οι πληροφορίες έχει ελαττωθεί από μήνες, εβδομάδες και μέρες, σε δευτερόλεπτα και δέκατα δευτερολέπτου. Ως αποτέλεσμα, ο χώρος και ο χρόνος σαν παράμετροι επικοινωνίας έχουν εκμηδενιστεί. Η ραγδαία αύξηση της ποσότητας και εξάπλωσης κάθε είδους πληροφορίας έχει ξεπεράσει αυτήν που επέφερε η τυπογραφία το 15ο αιώνα. Αν υποθέσουμε ότι η πληροφορία βρίσκεται στο επίκεντρο μίας νέας οικονομίας - κάτι το αντίστοιχο δηλαδή του μετάλλου που θεμελίωσε τη βιομηχανική εποχή -, τότε καταλαβαίνουμε ότι τα χαρακτηριστικά της νέας κοινωνίας απέχουν πολύ από τα αντίστοιχα της παλαιάς που πρόκειται να αντικατασταθεί.

Εν όψει λοιπόν όλων των παραπάνω δεδομένων αλλά και των διαφαινόμενων εξελίξεων και προοπτικών, κρίνουμε ότι είναι αναγκαία η παροχή στο μαθητή των βασικών γνώσεων γύρω από τις επικοινωνίες και τα δίκτυα επικοινωνίας, τα δίκτυα δηλαδή με τα οποία συντελείται η μεταφορά πληροφορίας από ένα σημείο σε οποιοδήποτε άλλο.

Το βιβλίο αποτελεί μια συνοπτική πραγμάτευση των βασικών εννοιών και εφαρμογών των επικοινωνιών και των δικτύων επικοινωνίας. Σκοπός είναι η εξοικείωση του μαθητή με θέματα που θα είναι ολοένα και πιο επίκαιρα στην κοινωνία, που συνεχώς εξελίσσεται και βιώνει ο μαθητής στην καθημερινή του εμπειρία. Το βιβλίο είναι κατανοητό σε εννέα κεφάλαια.

Στο 1ο κεφάλαιο δίνονται οι αναγκαίες βασικές έννοιες Φυσικής (ηλεκτρικό ρεύμα, εναλλασσόμενα μεγέθη, συχνότητα, ταχύτητα και μήκος κύματος) που απαιτούνται στις τηλεπικοινωνίες.

Στο 2ο κεφάλαιο δίνεται, μέσα από μια ιστορική προσέγγιση, η εξέλιξη των τηλεπικοινωνιών και εισάγονται οι έννοιες του ρυθμού μετάδοσης, της μεταγωγής και της πολυπλεξίας.

Στο 3ο κεφάλαιο περιγράφονται οι βασικές κατηγορίες μέσων μετάδοσης (ενσύρματα, ασύρματα, οπτικών ινών), ώστε να γνωρίζει ο μαθητής τις επιδόσεις και τα πλεονεκτήματά τους και να είναι σε θέση να κάνει σύγκριση και επιλογή μεταξύ μέσων μετάδοσης για κάποια εφαρμογή.

Στο 4ο κεφάλαιο περιγράφονται οι κυριότερες τεχνολογίες συστημάτων επικοινωνιών (ολοκληρωμένα κυκλώματα, μικροκυματικές διατάξεις, οπτικές πηγές και φωτοδέκτες, οπτικο ενισχυτές, οπτικοηλεκτρονικές διατάξεις).

Στο 5ο κεφάλαιο δίνονται οι βασικές έννοιες της θεωρίας πληροφορίας και οι λόγοι και οι τεχνικές μετατροπής αναλογικών σημάτων σε ψηφιακά. Παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα των ψηφιακών συστημάτων και οι βασικοί τρόποι κωδικοποίησης, διαμόρφωσης, πολυπλεξίας και πολλαπλής πρόσβασης στα δίκτυα.

Στο 6ο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι κυριότερες τερματικές διατάξεις επικοινωνιών (τηλέφωνο, τηλεόραση, διαποδιαμορφωτές (modem), ηλεκτρονικοί υπολογιστές).

Στο 7ο κεφάλαιο περιγράφεται η μεταγωγή (κέντρα μεταγωγής) και η δρομολόγηση (πρωτόκολλα, αριθμοδότηση, δρομολόγηση) στα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα.

Στο 8ο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι ασύρματες επικοινωνίες, τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας και τα δορυφορικά δίκτυα.

Στο 9ο κεφάλαιο περιγράφονται οι βασικές υπηρεσίες (φωνής, δεδομένων και εικόνας), οι υπηρεσίες διαδικτύου και η τεχνολογική σύγκλιση των μέσων και των υπηρεσιών.

Μερικά θέματα που περιέχονται στο βιβλίο επεκτείνονται, ώστε να αποτελέσουν σημείο αφετηρίας για περαιτέρω συζήτηση. Τα θέματα αυτά επισημαίνονται στο βιβλίο σε πλαίσιο με έγχρωμο φόντο και δεν αποτελούν υποχρεωτική διδακτέα ύλη.

Αισθανόμαστε την ανάγκη να ευχαριστήσουμε όλους τους κριτές και ιδιαίτερα τον κ. Θ. Σφηκόπουλο, από την επιτροπή κρίσης, για τις πολύ χρήσιμες και ιδιαίτερα εύστοχες παρατηρήσεις του. Θα θέλαμε επίσης να ευχαριστήσουμε τον κ. Δ. Χαρακλιά και τον κ. Ε. Χανιώτη του Μουσείου Τηλεπικοινωνιών του ΟΤΕ, οι οποίοι ευγενικά μας διευκόλυναν στη φωτογράφιση και μας έδωσαν πολύτιμες πληροφορίες.

Τέλος, θα θέλαμε να τονίσουμε ότι η συγγραφή και η έκδοση ενός νέου διδακτικού βιβλίου είναι το πρώτο βήμα για μια συνεχή βελτίωσή του, η οποία θα προκύψει με τις παρατηρήσεις των διδασκόντων και των μαθητών.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΧΡΗΣΙΜΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΦΥΣΙΚΗΣ

1.1	ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ - ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ.....	9
1.2	ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ - ΕΠΑΓΩΓΗ.....	12
1.3	ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟ ΡΕΥΜΑ.....	13
1.4	ΚΥΜΑΤΑ.....	16
1.5	ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ.....	19
1.6	ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ - ΝΤΕΣΙΜΠΕΛ.....	20

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΑΝΑΓΚΗ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΚΑΙ ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΣΗΜΑΤΩΝ - ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΗ

2.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	25
2.2	ΟΙ ΤΡΟΠΟΙ ΚΑΙ ΟΙ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΣΤΟΥΣ ΑΡΧΑΙΟΥΣ ΕΛΛΗΝΕΣ.....	26
2.3	ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΟΠΤΙΚΗΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ - ΟΠΤΙΚΟΣ ΤΗΛΕΓΡΑΦΟΣ.....	28
2.4	ΑΥΞΗΣΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΡΥΘΜΟΥ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ - ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΣ ΤΗΛΕΓΡΑΦΟΣ.....	30
2.4.1	Πομπός και δέκτης.....	30
2.4.2	Ο κώδικας του Μορς.....	31
2.4.3	Ανάγκη αύξησης του ρυθμού μετάδοσης.....	32
2.4.4	Ο εκτυπωτικός τηλεγράφος.....	33
2.5	ΠΟΛΥΠΛΕΞΙΑ - Η ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΤΗΛΕΓΡΑΦΙΚΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ.....	34
2.6	Η ΔΥΑΔΙΚΗ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ.....	36
2.6.1	Προτυποποίηση - Τηλετυπία.....	37
2.6.2	Μεταγωγή - TELEX.....	38
2.7	ΑΝΑΛΟΓΙΚΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗ - ΤΗΛΕΦΩΝΟ.....	38
2.7.1	Το τηλέφωνο του Ράις.....	38
2.7.2	Το τηλέφωνο του Μπελ.....	39
2.7.3	Το τηλέφωνο του Έντισον.....	40
2.8	ΚΕΡΑΙΕΣ ΚΑΙ ΚΥΜΑΤΑ- ΑΣΥΡΜΑΤΗ ΤΗΛΕΓΡΑΦΙΑ.....	41
2.8.1	Ο πομπός του Χερτς.....	42
2.8.2	Ο πομπός και ο δέκτης του Μαρκόνι.....	43
2.9	ΦΩΡΑΣΗ - Η ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΛΥΧΝΙΑ.....	45
2.9.1	Φώραση - Η Δίοδος λυχνία.....	45
2.9.2	Ενίσχυση - Η τρίοδος λυχνία.....	47
2.10	ΡΑΔΙΟΦΩΝΙΑ - ΕΥΡΥΕΚΠΟΜΠΗ.....	48
2.11	ΤΗΛΕΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ – ΑΝΑΛΟΓΙΚΟ ΤΗΛΕΟΜΟΙΟΤΥΠΟ.....	49
2.12	ΔΙΗΠΕΙΡΩΤΙΚΕΣ ΖΕΥΞΕΙΣ.....	50
2.13	ΤΟ ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ ΚΑΙ Η ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ.....	51
2.13.1	Η ένωση PN.....	51
2.13.2	Το τρανζίστορ.....	52
2.13.3	Η ολοκλήρωση.....	53
2.13.4	Οι ψηφιακές επικοινωνίες.....	53
2.14	ΑΠΟ ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΡΕΥΜΑ ΣΤΟ ΦΩΣ.....	54

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΕΣΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ

3.1	ΧΑΛΚΙΝΑ ΚΑΛΩΔΙΑ.....	58
3.1.1	Διαφωνία - Θόρυβος.....	58
3.1.2	Εύρος ζώνης - εξασθένηση.....	60
3.2	ΟΜΟΑΞΟΝΙΚΑ ΚΑΛΩΔΙΑ.....	61
3.3	ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΖΕΥΞΕΙΣ.....	63
3.4	ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ.....	67
3.4.1	Εισαγωγή.....	67
3.4.2	Η διάδοση του φωτός.....	68
3.4.3	Η δομή της οπτικής ίνας και η μετάδοση του φωτός.....	69
3.5	ΔΙΗΠΕΙΡΩΤΙΚΕΣ ΜΕΤΑΔΟΣΕΙΣ.....	74
3.5.1	Υποβρύχιες Διηπειρωτικές Ζεύξεις.....	74
3.5.2	Δορυφορικές Ζεύξεις.....	76

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

4.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	79
4.2	ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ.....	81
4.2.1	Ιστορική Εξέλιξη.....	81
4.2.2	Τεχνολογία Ολοκληρωμένων Κυκλωμάτων.....	86
4.3	ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ.....	87
4.4	ΟΠΤΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ.....	88
4.4.1	Πηγές LED.....	90
4.4.2	Πηγές Laser.....	91
4.5	ΦΩΤΟΔΕΚΤΕΣ.....	94
4.6	ΟΠΤΙΚΟΙ ΕΝΙΣΧΥΤΕΣ.....	96
4.6.1	Οπτικοί Ενισχυτές Ημιαγωγού.....	97
4.6.2	Οπτικοί Ενισχυτές Ίνας Προσμείξεων.....	97
4.7	ΟΠΤΙΚΟΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ.....	99

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΑΝΑΛΟΓΙΚΑ ΚΑΙ ΨΗΦΙΑΚΑ ΣΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΑΡΧΕΣ ΤΗΛ/ΝΙΩΝ

5.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	103
5.2	Ο ΟΡΟΣ «ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑ».....	104
5.3	Η ΜΟΝΑΔΑ ΠΟΣΟΤΗΤΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ «BIT».....	105
5.4	ΤΟ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ.....	106
5.5	ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΝΑΛΙΟΥ - ΘΕΩΡΗΜΑ SHANNON.....	108
5.6	ΨΗΦΙΑΚΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΟΓΙΚΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗ.....	109
5.7	ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ - ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΠΑΛΜΩΝ.....	111
5.8	ΨΗΦΙΑΚΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΑΝΑΛΟΓΙΚΩΝ ΣΗΜΑΤΩΝ.....	112
5.8.1	Παλμοκωδική Διαμόρφωση.....	112
5.8.2	Το Σύστημα PCM.....	115
5.9	ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ.....	116
5.9.1	Κωδικοποίηση πηγής.....	117
5.9.2	Κωδικοποίηση καναλιού.....	117
5.10	ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΟΓΙΚΗΣ ΚΑΙ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ.....	120
5.10.1	Βασικές Τεχνικές Αναλογικής Μετάδοσης Αναλογικών Σημάτων.....	120
5.10.2	Βασικές Τεχνικές Αναλογικής Μετάδοσης Ψηφιακών Σημάτων.....	125
5.11	ΠΟΛΥΠΛΕΞΙΑ.....	127

5.11.1	Πολυπλεξία Χρόνου (Time division multiplexing - TDM).....	128
5.11.2	Πολυπλεξία Συχνότητας (Frequency division multiplexing - FDM)	130
5.12	ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ.....	131
5.12.1	Πολλλαπλή Πρόσβαση Διαίρεσης Συχνότητας (FDMA).....	132
5.12.2	Πολλλαπλή Πρόσβαση Διαίρεσης Χρόνου (TDMA).....	133

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 : ΤΕΡΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ

6.1	ΤΟ ΤΗΛΕΦΩΝΟ	137
6.1.1	Επιλογή.....	139
6.2	ΡΑΔΙΟΦΩΝΟ	141
6.2.1	Στερεοφωνική εκπομπή	142
6.2.2	Ψηφιακοί δέκτες.....	142
6.3	ΤΗΛΕΟΡΑΣΗ	143
6.3.1	Παραγωγή τηλεοπτικού σήματος.....	144
6.3.2	Τηλεοπτικός δέκτης.....	145
6.3.3	Χαρακτηριστικά της εικόνας.....	147
6.3.4	Έγχρωμη τηλεόραση.....	148
6.3.5	Συνδρομητική τηλεόραση.....	148
6.4	ΔΙΑΠΟΔΙΑΜΟΡΦΩΤΗΣ - MODEM	149
6.4.1	Αμφίδρομη - Μονόδρομη επικοινωνία	150
6.4.2	Μόντεμ ακουστικής ζώνης (Voiceband)	151
6.4.3	Μόντεμ βασικής ζώνης.....	154
6.5	ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΕΣ.....	155

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΜΕΤΑΓΩΓΗ - ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ ΣΤΑ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

7.1	ΤΑ ΠΡΩΤΑ ΚΕΝΤΡΑ ΜΕΤΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ Η ΑΝΑΓΚΗ ΤΩΝ ΤΗΛΕΦΩΝΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ	157
7.2	ΤΗΛΕΦΩΝΙΚΑ ΚΕΝΤΡΑ-ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟ ΔΙΚΤΥΟ.....	159
7.2.1	Αυτόματα τηλεφωνικά κέντρα	159
7.2.2	Το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο	160
7.3	ΣΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗ ΣΥΝΔΡΟΜΗΤΗ - ΑΡΙΘΜΟΔΟΤΗΣΗ	163
7.3.1	Σηματοδότηση συνδρομητή.....	164
7.3.2	Αριθμοδότηση.....	165
7.4	ΔΙΚΤΥΑ ΜΕΤΑΓΩΓΗΣ - ΜΕΤΑΓΩΓΗ ΠΑΚΕΤΩΝ - ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ	168
7.4.1	Δίκτυα μεταγωγής (Switching)	168
7.4.2	Μεταγωγή κυκλώματος (Circuit switching).....	169
7.4.3	Μεταγωγή μηνυμάτων (Message switching).....	170
7.4.4	Μεταγωγή πακέτων (Packet switching)	171

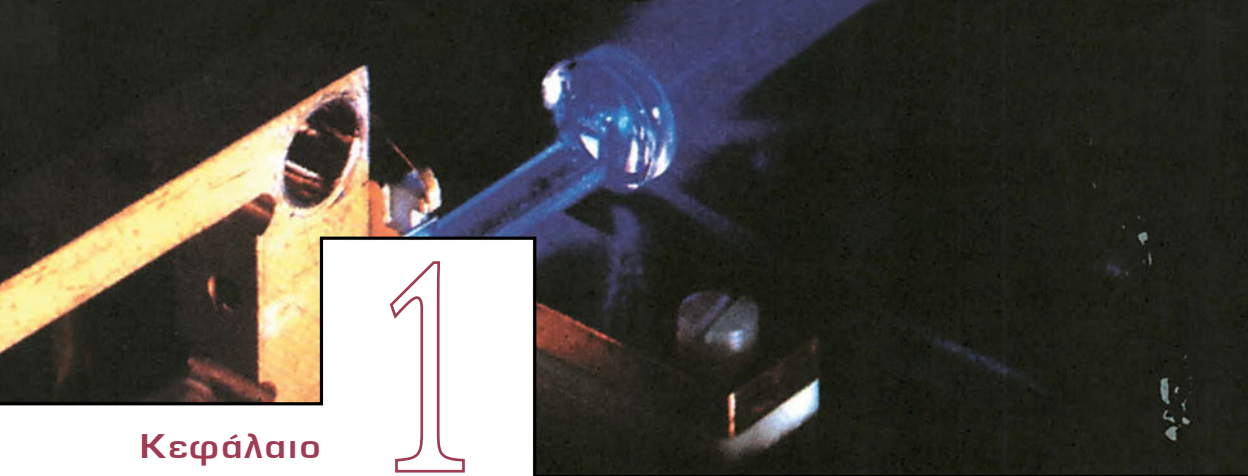
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ ΚΑΙ ΚΙΝΗΤΙΚΟΤΗΤΑ

8.1	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	173
8.2	ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ.....	175
8.2.1	Σύστημα Ασύρματης Επικοινωνίας DECT	176
8.3	ΚΙΝΗΤΗ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑ - ΚΥΨΕΛΩΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ.....	179
8.3.1	Ψηφιακό Σύστημα Κινητής Τηλεφωνίας GSM.....	179

8.3.2	Ψηφιακό Σύστημα Κινητής Τηλεφωνίας DCS-1800	181
8.3.3	Σύστημα Κινητής Τηλεφωνίας UMTS.....	182
8.4	ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ	183
8.4.1	Δορυφορικό Σύστημα Κινητής Επικοινωνίας Iridium	185
8.4.2	Δορυφορικό Σύστημα Κινητής Επικοινωνίας Globalstar.....	186
8.4.3	Δορυφορικό Σύστημα Κινητής Επικοινωνίας ICO.....	186
8.5	ΠΡΟΣΩΠΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ.....	187

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ

9.1	Η ΨΗΦΙΑΚΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΤΑ ΠΟΛΥΜΕΣΑ.....	191
9.1.1	Η ψηφιακοποίηση	192
9.1.2	Χαρακτηριστικά ψηφιακού κειμένου, ήχου, εικόνας και βίντεο	193
9.2	ΕΝΟΠΟΙΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΦΩΝΗΣ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΑΣ.....	195
9.2.1	Τα πολυμέσα	195
9.3	ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΣΤΕΝΗΣ ΚΑΙ ΕΥΡΕΙΑΣ ΖΩΝΗΣ	196
9.3.1	Υπηρεσίες στενής ζώνης	196
9.3.2	Υπηρεσίες ευρείας ζώνης	196
9.4	ΨΗΦΙΑΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ (ISDN).....	197
9.4.1	Βασική και πρωτεύουσα κατηγορία πρόσβασης.....	198
9.4.2	Υπηρεσίες του ISDN	199
9.5	ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ (INTERNET)	200
9.5.1	Παγκόσμιος Ιστός - Αναζήτηση Πληροφοριών	200
9.5.2	Ηλεκτρονικό Ταχυδρομείο	201
9.5.3	Ηλεκτρονικό εμπόριο	202
9.5.4	Μεταφορά αρχείων	203
9.6	ΣΥΓΚΛΙΣΗ ΤΗΛΕΟΡΑΣΗΣ, ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΚΑΙ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ	204
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	206



Κεφάλαιο

1

Χρήσιμες έννοιες Φυσικής

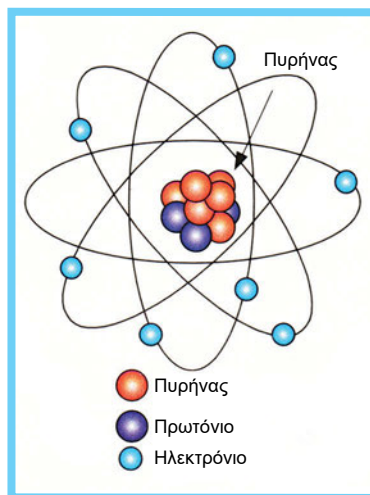
1.1 ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ – ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ

Ηλεκτρισμός είναι η ιδιότητα που αποκτούν μερικά υλικά, έπειτα από τριβή, να έλκουν μικρά ελαφρά αντικείμενα. Πρώτοι οι Ίωνες έξι αιώνες π.Χ. διαπίστωσαν ότι το γνωστό κεχριμπάρι το οποίο τότε ονομαζόταν «**ήλεκτρον**» είχε αυτή την ιδιότητα.

Σήμερα είναι γνωστά πολλά τέτοια υλικά όπως τα πλαστικά, το νάυλον, το γυαλί καθώς και άλλα, τα οποία έπειτα από τρίψιμο με ύφασμα έλκουν μικρά χαρτάκια. Αυτά τα υλικά ονομάζονται **μονωτές** και ως γνωστόν δεν επιτρέπουν τη μετακίνηση φορτίων μέσα από αυτά.

Αντίθετα οι **αγωγοί**, όπως ο χρυσός, το αλουμίνιο, το θαλασσινό νερό κ.λπ., επιτρέπουν τη μετακίνηση φορτίων στο εσωτερικό τους.

Οι πιο συνηθισμένοι αγωγοί του ηλεκτρισμού είναι τα μέταλλα. Τα μέταλλα περιέχουν στο εσωτερικό τους¹ **ελεύθερα ηλεκτρόνια**,



Σχήμα. 1.11 Σύμφωνα με το μοντέλο του Μπορ τα αρνητικά ηλεκτρόνια περιστρέφονται γύρω από τον θετικό πυρήνα. Το ηλεκτρόνιο έχει φορτίο $-1,6 \cdot 10^{-19}$ C. Το νετρόνιο είναι ουδέτερο ενώ το πρωτόνιο έχει φορτίο $+1,6 \cdot 10^{-19}$ C.

¹ Μερικές φορές τα ελεύθερα ηλεκτρόνια λόγω της μεγάλης ταχύτητάς τους μπορεί να βρεθούν έξω από το μέταλλο για μικρό χρονικό διάστημα.

τα οποία κινούνται ανάμεσα στα άτομα του μετάλλου με μεγάλες ταχύτητες. Η κίνησή τους μοιάζει αρκετά με την άτακτη κίνηση των μορίων ενός αερίου.

Ηλεκτρικό πεδίο και δυναμικό

Αν ένα θετικό φορτίο q με πολύ μικρό βάρος βρεθεί ανάμεσα σε δύο φορτισμένες πλάκες, όπως αυτές του σχήματος 1.1.2, τότε θα ασκηθεί πάνω του δύναμη F . Η δύναμη αυτή εμφανίζεται, διότι το φορτίο απωθείται από τη θετική πλάκα και έλκεται από την αρνητική. Σε οποιοδήποτε σημείο ανάμεσα στις δύο πλάκες και να τοποθετηθεί το φορτίο q , θα ασκείται πάνω του η ίδια δύναμη F .

Αυτό σημαίνει ότι στο χώρο ανάμεσα στις φορτισμένες πλάκες υπάρχει **ηλεκτρικό πεδίο E** . Ο ορισμός του ηλεκτρικού πεδίου δίνεται από τη σχέση:

$$E = \frac{F}{q} \Rightarrow F = E \cdot q \quad (1.1.1)$$

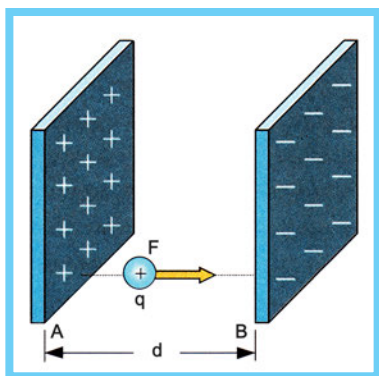
Αν το φορτίο αφεθεί ελεύθερο, θα μετακινηθεί από το σημείο Α της θετικής (+) πλάκας στο σημείο Β της αρνητικής (-), οι οποίες απέχουν απόσταση d . Το έργο W_{AB} της δύναμης θα δίνεται από τη σχέση:

$$W_{AB} = F \cdot d = E \cdot q \cdot d \quad (1.1.2)$$

Το έργο επομένως της δύναμης εξαρτάται από το πεδίο (E), από την απόσταση (d) και από το φορτίο (q). Αν διαιρεθεί το έργο με το φορτίο, ο λόγος W_{AB}/q που προκύπτει εξαρτάται μόνο από το πεδίο και την απόσταση και ονομάζεται **ηλεκτρική τάση ή διαφορά δυναμικού**, η οποία

συμβολίζεται με V και μετρείται σε Βολτ (V).

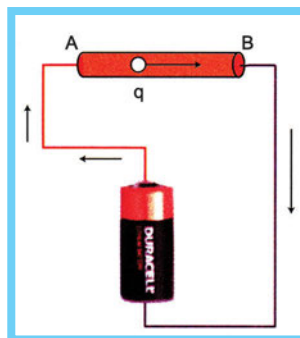
Η ηλεκτρική τάση της πηγής (μπαταρία) είναι η διαφορά δυναμικού στα άκρα του αγωγού AB. Είναι επίσης η αιτία που κινεί τα φορτία, όπως στο κύκλωμα του σχήματος 1.1.3. Οι ηλεκτρικές πηγές μπορούν να διατηρούν στα άκρα τους σταθερή διαφορά δυναμικού με την οποία τροφοδοτούν κυκλώματα με ηλεκτρική ενέργεια. Η ηλεκτρική ενέργεια στο σχήμα 1.1.3 ισούται με το έργο W_{AB} της δύναμης που μετακινεί το φορτίο q . Η ηλεκτρική ενέργεια της πηγής προέρχεται από την αποθηκευμένη χημική ενέργεια στο εσωτερικό της. Η μονάδα της ενέργειας και του έργου είναι το Τζάουλ (J) και η μονάδα του φορτίου είναι το Κουλόμπ (C).



Σχήμα. 1.1.2 Ένα φορτίο q ανάμεσα σε δύο πλάκες που απέχουν απόσταση d και είναι φορτισμένες με αντίθετα φορτία. Η διάταξη αυτή ονομάζεται **επίπεδος πυκνωτής**.

Επομένως, διαφορά δυναμικού ή τάση μεταξύ δύο σημείων A και B ονομάζεται το πηλίκο του έργου της μετακίνησης ενός φορτίου από το A στο B προς το φορτίο.

$$V_{AB} = \frac{W_{AB}}{q} = \frac{E \cdot q \cdot d}{q} = E \cdot d \quad (1.1.3)$$



Ηλεκτρικό ρεύμα

Αν τα άκρα ενός αγωγού συνδεθούν σε ηλεκτρική πηγή με σταθερή διαφορά δυναμικού, τότε στα ηλεκτρικά φορτία στο εσωτερικό του θα ασκείται η δύναμη του ηλεκτρικού πεδίου της πηγής. Η δύναμη αυτή θα προκαλέσει την κατευθυνόμενη και συνεχή κίνηση των ηλεκτρικών φορτίων. Η μετακίνηση αυτή των φορτίων δημιουργεί το ηλεκτρικό ρεύμα. Στα μέταλλα τα φορτία που μετακινούνται είναι τα αρνητικά ηλεκτρόνια. Για λόγους ιστορικούς έχει επικρατήσει ως φορά του ηλεκτρικού ρεύματος να θεωρείται η κίνηση του θετικού φορτίου. Η κίνηση των ηλεκτρονίων είναι αντίθετη από τη φορά του ρεύματος. Το ηλεκτρικό ρεύμα συνήθως συμβολίζεται με το I και εκφράζει το ηλεκτρικό φορτίο (q) που διαρρέει έναν αγωγό, ανά μονάδα χρόνου (t). Χρησιμοποιώντας τα παραπάνω σύμβολα θα έχουμε:

$$I = \frac{q}{t} \quad (1.1.4)$$

Η μονάδα του ρεύματος είναι το Αμπέρ (A) και του χρόνου το δευτερόλεπτο (s). Πολλές φορές το ρεύμα μετριέται σε $\text{mA} = 10^{-3} \text{ A} = 0.001 \text{ A}$.

Ηλεκτρική αντίσταση

Αν στα άκρα ενός αγωγού συνδεθεί μια ηλεκτρική πηγή, τότε το φορτίο (ηλεκτρόνια) θα αρχίσει να κινείται και ο αγωγός θα διαρρέεται από ρεύμα I . Καθώς τα ηλεκτρόνια περνούν από τον αγωγό συναντούν δυσκολίες λόγω της σύγκρουσής τους με τα άτομα του αγωγού. Αυτή η δυσκολία ορίζεται ως **ηλεκτρική αντίσταση**, συμβολίζεται με R και μετριέται σε Ω . Η σχέση που συνδέει την τάση και την αντίσταση είναι ο νόμος του Ω μ:

$$V = I \cdot R \quad \text{ή} \quad I = \frac{V}{R} \quad (1.1.5)$$

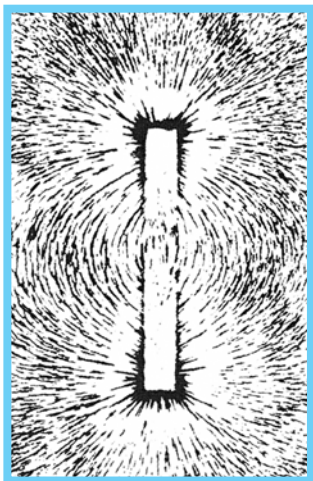
Ηλεκτρική ενέργεια και ισχύς

Σε έναν ηλεκτρικό αγωγό ο οποίος στα άκρα του έχει τάση V και διαρρέεται από ρεύμα I ισχύει η σχέση $V=I \cdot R$ (νόμος Ωμ). Η τάση V στα άκρα του δημιουργεί στο εσωτερικό του ένα ηλεκτρικό πεδίο E το οποίο εξαρτάται από το μήκος του. Ανάμεσα στα ηλεκτρόνια και τα άτομα του αγωγού υπάρχει αλληλεπίδραση και η ενέργεια του ηλεκτρικού πεδίου, η οποία προέρχεται από την πηγή, μεταβιβάζεται από τα ηλεκτρόνια στον αγωγό. Αυτό έχει ως συνέπεια: α) τα ηλεκτρόνια κινούνται με σταθερή μέση ταχύτητα και β) ο αγωγός θερμαίνεται.

Η θέρμανση των αγωγών οι οποίοι διαρρέονται από ρεύμα ονομάζεται **φαινόμενο Τζάουλ** (Joule). Από τη σχέση (1.1.3) η ηλεκτρική ενέργεια είναι: $W=V \cdot q$. Σύμφωνα με τον ορισμό, **ηλεκτρική ισχύς** είναι η ηλεκτρική ενέργεια που μεταβιβάζεται ανά μονάδα χρόνου. Η ηλεκτρική ισχύς συμβολίζεται με P και μετριέται σε Βατ (Watt, W). Ο ορισμός γίνεται:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{V \cdot q}{t} = V \cdot I = (I \cdot R) \cdot I = I^2 \cdot R \quad (1.1.6)$$

1.2 ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ - ΕΠΑΓΩΓΗ



Σχήμα. 1.2.1 Το μαγνητικό πεδίο γύρω από ένα ευθύγραμμο μαγνήτη. Οι γραμμές ονομάζονται δυναμικές γραμμές και σχηματίζονται με τον προσανατολισμό ρινισμάτων σιδήρου.

Ένας μαγνήτης δημιουργεί στο χώρο γύρω του **μαγνητικό πεδίο B** (σχήμα 1.2.1). Το πεδίο αυτό ανιχνεύεται με τη μαγνητική βελόνα, η οποία είναι και αυτή μαγνήτης με πολύ μικρή μάζα. Η μαγνητική βελόνα μπορεί να ανιχνεύει το πεδίο και να προσανατολίζεται στην κατεύθυνση του μαγνητικού πεδίου καθώς περιστρέφεται γύρω από τον άξονά της.

Ο μαγνήτης δεν είναι η μόνη πηγή μαγνητικών πεδίων. Συνδέοντας έναν αγωγό σε μια ηλεκτρική πηγή και πλησιάζοντάς τον σε μαγνητική βελόνα αυτή αποκλίνει. Αυτό το αποτέλεσμα δείχνει ότι και **ο αγωγός που διαρρέεται από ρεύμα παράγει μαγνητικό πεδίο**. Το πείραμα αυτό έγινε από τον Έρστεντ (Oersted) και έδειξε ότι τα ηλεκτρικά και τα μαγνητικά φαινόμενα δεν είναι εντελώς ανεξάρτητα μεταξύ τους.

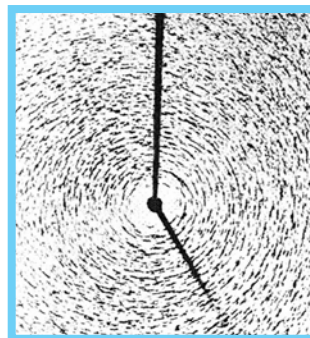
Οι γραμμές του μαγνητικού πεδίου που παράγονται από τα ρινίσματα σιδήρου δείχνουν τη διεύθυνση του πεδίου. Στα σημεία όπου οι γραμμές

είναι πυκνές δείχνουν ότι το πεδίο είναι ισχυρό. Το πηνίο (σχήμα 1.2.3) δημιουργεί στο εσωτερικό του σταθερό μαγνητικό πεδίο.

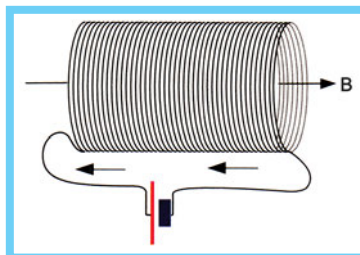
Στον χώρο έξω από το πηνίο οι δυναμικές γραμμές, οι οποίες δείχνουν το πεδίο, μοιάζουν με αυτές του ευθύγραμμου (ραβδόμορφου) μαγνήτη.

Αν στο εσωτερικό του πηνίου τοποθετηθεί κυλινδρικός σιδερένιος πυρήνας, το μαγνητικό πεδίο γίνεται μερικές χιλιάδες φορές πιο ισχυρό. Η μαγνήτιση αυτή του σιδερένιου πυρήνα είναι προσωρινή. Διαρκεί όσο χρόνο το πηνίο διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα. Αυτή η ιδιότητα του σιδήρου χρησιμοποιείται στην κατασκευή **ηλεκτρομαγνητών**.

Μετά τον Έρσεντ, ο οποίος πρώτος έδειξε ότι το ηλεκτρικό ρεύμα παράγει μαγνητικό πεδίο, ο **Φάρανταιν** (Faraday) κατάφερε να παράγει ρεύμα από το μαγνητικό πεδίο. Κάνοντας πειράματα με πηνία και μαγνήτες διαπίστωσε ότι, αν το μαγνητικό πεδίο είναι σταθερό στο εσωτερικό του πηνίου, κανένα ρεύμα δεν παράγεται. Όταν όμως **μεταβάλλεται το μαγνητικό πεδίο στο εσωτερικό ενός πηνίου, τότε παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα μόνο για όσο χρόνο διαρκεί η μεταβολή**. Αυτός είναι ο νόμος της επαγωγής ή ο νόμος του Φάρανταιν. Το μαγνητικό πεδίο αυξάνει στο εσωτερικό του πηνίου, αν ένας μαγνήτης πλησιάζει προς το πηνίο (σχήμα 1.2.5). Το ίδιο συμβαίνει αν ο μαγνήτης είναι ακίνητος και μετατοπίζεται το πηνίο. Και στις δυο περιπτώσεις το πηνίο διαρρέεται από **επαγωγικό ρεύμα**.



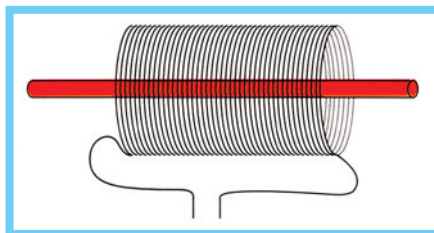
Σχήμα. 1.2.2 Το μαγνητικό πεδίο ενός ευθύγραμμου αγωγού ο οποίος διαρρέεται από ρεύμα είναι ομόκεντροι κύκλοι.



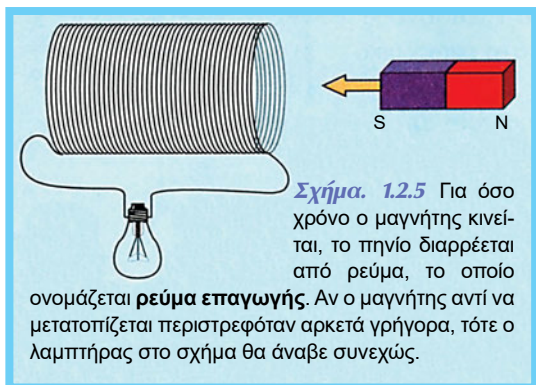
Σχήμα. 1.2.3 Το πηνίο όταν διαρρέεται από ρεύμα δημιουργεί γύρω του μαγνητικό πεδίο.

1.3 ΕΝΑΛΛΑΣΣΟΜΕΝΟ ΡΕΥΜΑ

Όταν τα ηλεκτρόνια ρέουν σταθερά προς μία κατεύθυνση σε ένα κύκλωμα και το ρεύμα έχει σταθερή τιμή, τότε όλα τα ηλεκτρικά μεγέθη, όπως η τάση και η ισχύς, είναι σταθερά. Το ρεύμα αυτό ονομάζεται **συνεχές ρεύμα** (DC, **D**irect **C**urrent). Αν το ρεύμα δεν έχει σταθερή



Σχήμα. 1.2.4 Ο ηλεκτρομαγνήτης αποτελείται από σωληνοειδές πηνίο με μεγάλο αριθμό σπειρών και από σίδηρο τοποθετημένο στο εσωτερικό του πηνίου.

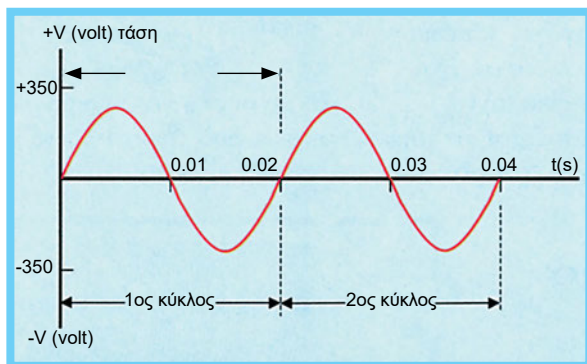


τιμή, ονομάζεται **μεταβαλλόμενο ρεύμα**. Ένα ρεύμα που ρέει πρώτα προς τη μία κατεύθυνση και κατόπιν προς την αντίθετη ονομάζεται **εναλλασσόμενο ρεύμα** (AC, **A**lternative **C**urrent). Ο πιο συνηθισμένος τρόπος παραγωγής εναλλασσόμενης τάσης πραγματοποιείται με την κίνηση ενός πηνίου κοντά σε ένα μαγνήτη.

Αν το πηνίο περιστρέφεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο, τότε σύμφωνα με το νόμο της επαγωγής παράγεται στα άκρα του εναλλασσόμενη τάση. Μια αντίσταση συνδεδεμένη στο πηνίο θα διαρρέεται από εναλλασσόμενο ρεύμα. Στην περίπτωση που το πηνίο περιστρέφεται ομαλά (με σταθερή γωνιακή ταχύτητα), η τάση θα μεταβάλλεται κάθε στιγμή αρμονικά (ή ημιτονοειδώς), όπως στο σχήμα 1.3.1.

Συχνότητα και περίοδος

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



Σχήμα. 1.3.1 Γραφική παράσταση της εναλλασσόμενης τάσεως μιας παροχής ηλεκτρικού ρεύματος, όπως απεικονίζεται στον παλμογράφο. Στον οριζόντιο άξονα ο χρόνος μετράται σε δευτερόλεπτα. Η τάση αυτή περιγράφεται και από τη σχέση

$$V = 310 \cdot \eta\mu(100 \cdot \pi \cdot t)$$

Η περίοδος είναι $T = \frac{1}{50} \text{ s} = 0.02 \text{ s}$.

Για να μετρηθούν τα χαρακτηριστικά της εναλλασσόμενης τάσης, χρησιμοποιείται ο παλμογράφος (Σχήμα 1.3.2). Η οθόνη του παλμογράφου απεικονίζει την τάση σε σχέση με το χρόνο. Μια τάση που μεταβάλλεται αρμονικά φαίνεται στο σχήμα 1.3.1.

Η τάση μιας οικιακής παροχής ρεύματος μεταβάλλεται το ίδιο. Η τάση ανεβαίνει περίπου στα 310 Volt προς τη μία πολικότητα (κατεύθυνση) και μετά πέφτει στο μηδέν, κατόπιν «ανεβαίνει»

πάλι στα 310 Volt προς την αντίθετη πολικότητα και πέφτει πάλι στο μηδέν. Η αλλαγή της πολικότητας συμβολίζεται με το αρνητικό πρόσημο στο σχήμα 1.3.1. Ο κύκλος αυτός επαναλαμβάνεται συνεχώς.

Η διάρκεια ενός κύκλου είναι $1/50$ του δευτερολέπτου. Ο χρόνος αυτός ονομάζεται *περίοδος* και συμβολίζεται με **T**. Σε ένα δευτερόλεπτο επαναλαμβάνονται 50 κύκλοι. Αυτή είναι η συχνότητα της εναλλασσόμενης τάσεως και συμβολίζεται με **f**. Η μονάδα μέτρησης είναι το Χέρτς (Hertz, Hz).

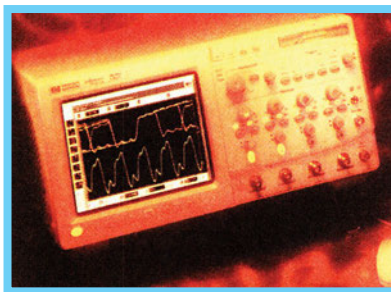
Ένα kilohertz (kHz) είναι 1000 κύκλοι ανά δευτερόλεπτο. Ένα megahertz (MHz) είναι ένα εκατομμύριο. Αν είναι γνωστή η συχνότητα, μπορεί να υπολογιστεί η περίοδος και το αντίστροφο. Οι σχέσεις που συνδέουν τη συχνότητα με την περίοδο είναι:

$$T = \frac{1}{f} \text{ και } f = \frac{1}{T} \quad (1.3.1)$$

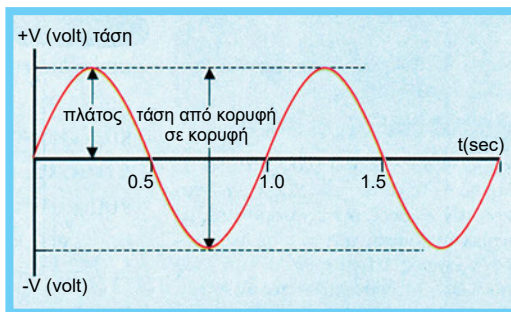
Πλάτος

Σε ένα κύκλωμα που ρέει συνεχές ρεύμα όλα τα μεγέθη είναι σταθερά. Στο εναλλασσόμενο ρεύμα τα μεγέθη μεταβάλλονται κάθε στιγμή και μπορούν να έχουν οποιαδήποτε τιμή ανάμεσα σε μια ελάχιστη και μια μέγιστη. Στο σχήμα 1.3.3 φαίνεται μια εναλλασσόμενη τάση με μέγιστη τιμή τα +12 Volt και ελάχιστη τα -12 Volt. Πλάτος τάσης ονομάζεται η κατακόρυφη απόσταση από τη μέση έως τη μέγιστη τιμή. Στο σχήμα 1.3.3 το πλάτος της τάσης είναι 12 Volt. Τάση από κορυφή σε κορυφή ονομάζεται η απόσταση από την ελάχιστη έως τη μέγιστη τιμή. Στο παράδειγμα είναι 24 Volt. Γενικά ισχύει η σχέση:

$$\text{πλάτος τάσης} = \frac{\text{τάση}_{\text{κορυφή σε κορυφή}}}{2} \quad (1.3.2)$$



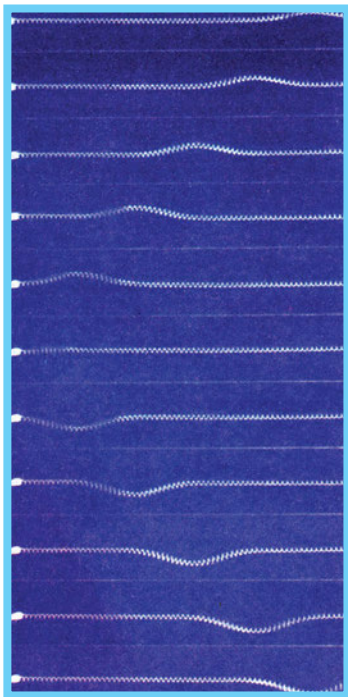
Σχήμα. 1.3.2 Ο παλμογράφος απεικονίζει στην οθόνη του μεταβαλλόμενες τάσεις.



Σχήμα. 1.3.3 Παράσταση εναλλασσόμενης τάσεως με περίοδο $T=1\text{s}$ και πλάτος=12 Volt.

Η αντίσταση στο εναλλασσόμενο

Αν συνδεθεί μια πηγή εναλλασσόμενης τάσης σε ένα σύρμα με ωμική αντίσταση, το σύρμα θα διαρρέεται από εναλλασσόμενο ρεύμα. Αν το σύρμα έχει μεγάλο



Σχήμα. 1.4.1 Κίνηση ενός παλμού σε ελατήριο. Το αριστερό άκρο είναι σταθερό. Οι εικόνες αυτές πάρθηκαν με κινηματογραφική μηχανή σε διαδοχικές χρονικές στιγμές που απέχουν χρονικά $1/24$ δευτερόλεπτα. Από αυτές τις εικόνες προκύπτουν μερικά συμπεράσματα σχετικά με την διάδοση: α) Ο παλμός μεταδίδεται με σταθερή ταχύτητα διατηρώντας το σχήμα του. β) Οι σπείρες του ελατηρίου κινούνται κατακόρυφα, δηλαδή κάθετα στη διεύθυνση διάδοσης του παλμού. γ) Συναντώντας το σταθερό αριστερό άκρο ο παλμός επιστρέφει, δηλαδή ανακλάται. δ) Ο ανακλώμενος παλμός έχει τη μετατόπιση προς τα κάτω, δηλαδή είναι αντεστραμμένος αλλά με το ίδιο σχήμα πριν από την ανάκλαση.

μήκος ή μεγάλες επιφάνειες, τότε, παρόλο που στα άκρα του εφαρμόζεται τάση (εναλλασσόμενη), ένα πολύ μικρό ρεύμα θα διαρρέει το σύρμα. Το σύρμα λόγω του σχήματός του εμφανίζει μεγαλύτερη αντίσταση από την ωμική. Η αντίσταση αυτή ονομάζεται *σύνθετη αντίσταση* και εμφανίζεται μόνο όταν η τάση ή το ρεύμα μεταβάλλονται. Η σύνθετη αντίσταση αφορά μόνο το εναλλασσόμενο ρεύμα (ή γενικά το μεταβαλλόμενο), μετράται και αυτή σε Ωμ και πρέπει να δίνεται προσοχή όταν γίνεται αναφορά σε αυτήν.

1.4 ΚΥΜΑΤΑ

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

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

Άλλο είδος κύματος είναι ο κυματισμός μιας σημαίας με τον άνεμο. Οι πτυχωσεις κινούνται (κύματα) επάνω στο ύφασμα. Το κάθε σημείο όμως στο ύφασμα της σημαίας κρατά τη θέση του, καθώς περνούν τα κύματα. Ακριβώς, όπως

το νερό δεν ταξιδεύει με τα κύματα νερού, το ίδιο και το ύφασμα στη σημαία παραμένει στη θέση του, αφού περάσουν από αυτό τα κύματα.

Μερικά κύματα είναι περιοδικά, πράγμα που σημαίνει ότι η κίνηση του υλικού επαναλαμβάνεται διαρκώς. Δεν έχουν όμως όλα τα κύματα αυτή την ιδιότητα. Αν τοποθετηθούν 5 όμοιες μπάλες του μπιλιάρδου σε μία ευθεία γραμμή με τρόπο που κάθε μπάλα να αγγίζει την επόμενη και μία άλλη όμοια μπάλα χτυπήσει το ένα άκρο της σειράς, τότε θα φύγει μόνο η τελευταία μπάλα στο άλλο άκρο της σειράς.

Η διαταραχή από το πρώτο χτύπημα πέρασε μέσα από κάθε μπάλα και μεταδόθηκε σε ολόκληρη τη σειρά από μπάλες καταλήγοντας στην τελευταία.

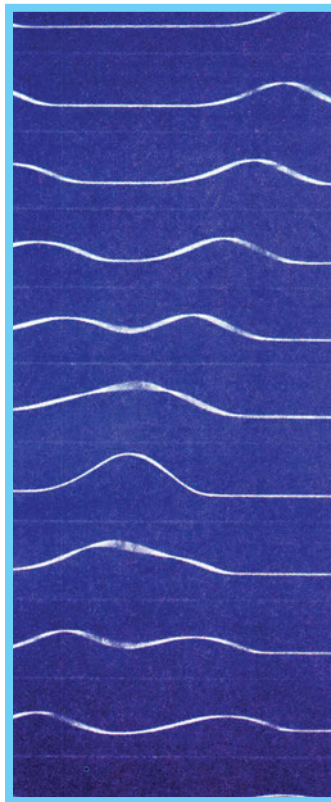
Μια τέτοια διαταραχή μικρής διάρκειας ονομάζεται παλμός. Κάθε μπάλα διαταράχθηκε, καμιά όμως δεν κινήθηκε από τη μια άκρη της σειράς στην άλλη. Σε κάθε περίπτωση η διαταραχή οδεύει σε κάποιο μέσο, όπως στο νερό, το ύφασμα της σημαίας και τις μπάλες του μπιλιάρδου.

Αλλά το μέσο δε μετακινείται μαζί με τη διαταραχή. Αυτές οι διαταραχές που μεταδίδονται στα στερεά, τα υγρά και τα αέρια λέγονται μηχανικά κύματα. **Μηχανικά κύματα λοιπόν είναι οι διαταραχές που ταξιδεύουν ή μεταδίδονται σε υλικά μέσα.**

Το σχήμα 1.4.1 δείχνει διαδοχικές εικόνες ενός παλμού να ταξιδεύει από δεξιά προς τα αριστερά σε ένα σπειροειδές ελατήριο.

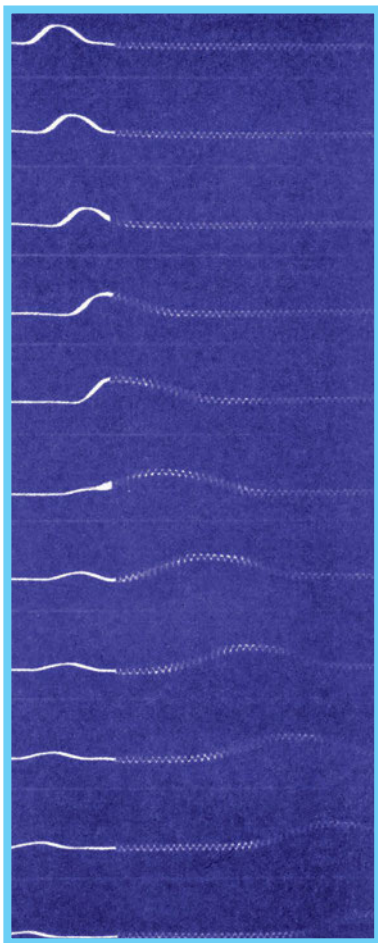
Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την μελέτη της κίνησης δείχνουν μερικές σημαντικές ιδιότητες των κυμάτων. Στην περίπτωση που υπάρχουν δύο παλμοί, οι οποίοι ταξιδεύουν στο ίδιο μέσο με αντίθετες κατευθύνσεις, παρατηρούμε ότι συναντώνται και διέρχεται ο ένας μέσα από τον άλλο, χωρίς να επηρεάσει την κίνησή τους. Το ίδιο θα συνέβαινε, αν υπήρχαν κύματα αντί για παλμούς.

Το ελατήριο προσφέρεται για τέτοιου είδους παρατηρήσεις, διότι η μετάδοση είναι σε μία διάσταση και οι μετρήσεις και οι παρατηρήσεις γίνονται με απλή φωτογράφιση.



Σχήμα. 1.4.2 Δύο παλμοί με διαφορετικό σχήμα που διασταυρώνονται. Ο παλμός που στην αρχή ήταν δεξιά, είναι στα αριστερά μετά τη διασταύρωση. Όταν διασταυρώνονται, συνδυάζονται και σχηματίζουν περίπλοκα σχήματα πάνω στο ελατήριο. Αμέσως μετά παίρνουν πάλι την αρχική μορφή τους και συνεχίζουν να ταξιδεύουν ανεπηρέαστοι σαν να μην είχε συμβεί τίποτα.

Για να παρατηρηθούν τα ίδια φαινόμενα στα ηλεκτρομαγνητικά κύματα, χρειάζεται πιο σύνθετος εξοπλισμός. Στο σχήμα 1.4.2 φαίνονται οι διαδοχικές εικόνες,



όπου δύο παλμοί διασταυρώνονται μεταξύ τους και συνεχίζουν ανεπηρέαστοι την κίνησή τους. Η παραπάνω θεμελιώδης ιδιότητα των κυμάτων ισχύει και για τρεις ή περισσότερους παλμούς και ονομάζεται *αρχή της επαλληλίας*. **Με την αρχή της επαλληλίας μπορεί να προβλεφθεί η μορφή ενός σύνθετου παλμού ή κύματος που προκύπτει από δύο ή περισσότερους παλμούς ή κύματα αντίστοιχα.**

Η αρχή της επαλληλίας ισχύει στα μηχανικά κύματα τα οποία, όπως αναφέρθηκε ήδη, μεταδίδονται σε στερεά, υγρά και αέρια. Βρίσκει όμως εφαρμογή και στα ηλεκτρομαγνητικά κύματα, τα οποία δεν απαιτούν κάποιο μέσο για να διαδοθούν σε αντίθεση με τα μηχανικά.

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα μπορούν να μεταδίδονται στο κενό αλλά και σε διάφορα μέσα, όπως το νερό, το γυαλί, ο αέρας κ.λπ.

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

Αυτό φαίνεται στη σύνδεση δύο διαφορετικών ελατηρίων στο σχήμα 1.4.3. Στο σημείο σύνδεσης, που αλλάζει το μέσο μετάδοσης, ένα μέρος της ενέργειας του παλμού ανακλάται στο ίδιο μέσο.

Το υπόλοιπο του παλμού διέρχεται και περνά στο άλλο μέσο συνεχίζοντας την ίδια κατεύθυνση. Το ποσοστό που θα ανακλαστεί

Σχήμα. 1.4.3 Ένας παλμός που μεταδίδεται στο ελατήριο και συναντά το σταθερό άκρο ανακλάται. Αν στο σταθερό άκρο συνδεθεί ένα άλλο ελατήριο με διαφορετικά χαρακτηριστικά (βαρύτερο ή σκληρότερο π.χ.), τότε στη ζεύξη, δηλαδή στο σύνορο μεταξύ των δύο ελατηρίων, ο παλμός χωρίζεται. Στο σχήμα φαίνονται δύο συνδεδεμένα ελατήρια, ένα βαρύ ελατήριο στα αριστερά και ένα ελαφρότερο στα δεξιά. Ο παλμός ταξιδεύει στο αριστερό ελατήριο με κατεύθυνση στα δεξιά. Στη ζεύξη ο παλμός και διέρχεται και ανακλάται μερικώς.

και το ποσοστό που θα διέλθει εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά των δύο μέσων.

Όλες οι παραπάνω παρατηρήσεις μπορούν να γενικευθούν και σε κύματα που μεταδίδονται σε δύο διαστάσεις, όπως τα κύματα στην επιφάνεια του νερού, αλλά και σε τρεις διαστάσεις, όπως τα ηχητικά κύματα.

Ταχύτητα διάδοσης - μήκος κύματος

Τα κύματα μεταδίδονται με διαφορετικές ταχύτητες σε διαφορετικά μέσα. Για παράδειγμα, το φως (ηλεκτρομαγνητικά κύματα)

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

ταξιδεύει πιο γρήγορα στον αέρα από ό,τι στο νερό. Αλλά και στο ίδιο μέσο, τα κύματα μεταδίδονται με διαφορετικές ταχύτητες, αν αλλάξουν οι συνθήκες. Τα κύματα σε ένα ελατήριο κινούνται ταχύτερα, αν το ελατήριο τεντωθεί. Τα ηχητικά κύματα στον αέρα μεταδίδονται ταχύτερα, αν αυξηθεί η θερμοκρασία του αέρα.

Για να μετρηθεί η ταχύτητα του κύματος σε ένα μέσο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας παλμός. Αν μετρηθεί ο χρόνος t που χρειάζεται ο παλμός για να διανύσει μια απόσταση s , τότε η ταχύτητα διάδοσης u είναι το πηλίκο s/t .

Επειδή ο παραπάνω τρόπος μέτρησης παρουσιάζει στην πράξη μεγάλη δυσκολία, χρησιμοποιείται μια γεννήτρια. Η γεννήτρια επαναλαμβάνοντας την κίνησή της κάθε χρονικό διάστημα T (η περίοδος) παράγει όμοιους παλμούς. Μια τέτοια κίνηση λέγεται *περιοδική*. Καθώς οι παλμοί κινούνται με ταχύτητα u , η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών παλμών ονομάζεται *μήκος κύματος* και συμβολίζεται με λ . Ο κάθε παλμός διανύει την απόσταση λ σε χρόνο T . Με την περίοδο και το μήκος κύματος μπορεί να υπολογιστεί η ταχύτητα διάδοσης (u), από τη σχέση:

$$u = \frac{\lambda}{T} \quad (1.4.1)$$

Η σχέση 1.3.1 ισχύει για οποιοδήποτε περιοδικό κύμα και, αν αντικατασταθεί η περίοδος T με τη σχέση $f = 1/T$, προκύπτει η σχέση:

$$u = \frac{\lambda}{T} = \lambda \cdot f \quad (1.4.2)$$

1.5 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ

Όταν κυκλοφορεί εναλλασσόμενο ρεύμα με συχνότητα f σε έναν αγωγό, δημιουργεί γύρω του στον χώρο δύο πεδία, ένα μαγνητικό και ένα ηλεκτρικό. Τα

η ταχύτητα του ήχου

α) στον αέρα είναι:

$$u_{\text{ΑΕΡΑ}} = 332 \text{ m/s}$$

β) στο νερό είναι:

$$u_{\text{ΝΕΡΟΥ}} = 1450 \text{ m/s}$$

γ) στα στερεά (σίδηρος) είναι:

$$u_{\text{ΣΤΕΡΕΑ}} = 5000 \text{ m/s}$$

δύο αυτά πεδία τα οποία ταξιδεύουν μαζί στο χώρο αποτελούν το ηλεκτρομαγνητικό κύμα το οποίο έχει και αυτό συχνότητα f .

Τα κύματα που προκύπτουν από γρήγορους κύκλους, δηλαδή από εναλλασσόμενα ρεύματα μεγάλης συχνότητας, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μεταφέρουν σήματα ραδιοφώνου και τηλεόρασης.

Όλες οι ιδιότητες των μηχανικών κυμάτων που αναφέρθηκαν στην προηγούμενη παράγραφο ισχύουν και στα ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Για να παρατηρηθούν όμως χρειάζονται ειδικά όργανα.

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα μεταδίδονται στο κενό με την ταχύτητα του φωτός που συμβολίζεται με c και είναι 300.000 km το δευτερόλεπτο. Η σχέση που συνδέει τη συχνότητα f με το μήκος κύματος λ είναι:

$$c = \lambda \cdot f$$

(1.5.1)

Παράδειγμα 1. Ένα **ηλεκτρομαγνητικό** ραδιοφωνικό κύμα έχει συχνότητα $f=100\text{MHz}$, το μήκος κύματος λ είναι:

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

Παράδειγμα 2. Να βρεθεί το μήκος κύματος λ των **ηχητικών** κυμάτων τα οποία είναι ακουστά και έχουν συχνότητες $f=20\text{Hz}$. Από την 1.5.1 προκύπτει:

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

1.6 ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ - ΝΤΕΣΙΜΠΕΛ

Στις επικοινωνίες οι μεταβαλλόμενες ηλεκτρικές τάσεις ονομάζονται σήματα. Τα σήματα μετριούνται με την τάση τους, την ισχύ τους ή το ρεύμα που παρέχουν σε κάποια αντίσταση. Όμως στην μετάδοση ενός σήματος από την πηγή στο δέκτη η ισχύς μπορεί να έχει υποβιβαστεί χιλιάδες ή και εκατομμύρια φορές. Αυτό συμβαίνει λόγω της εξασθένησης του σήματος και θα παρουσιαστεί αναλυτικά στα επόμενα κεφάλαια.

Σε ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα που αποτελείται από πολλά τμήματα, εκτός από αποσβέσεις στην πορεία του σήματος, υπάρχουν και ενισχύσεις από ενισχυτές.

Αν χρειαστεί να παρασταθεί γραφικά η ισχύς ενός σήματος, καθώς αυτό διέρχεται από διάφορα τμήματα, θα υπάρξουν δυσκολίες. Οι δυσκολίες προκύπτουν από τις διάφορες τιμές που μπορεί να έχει η ισχύς στην έξοδο κάθε τμήματος. Οι τιμές αυτές μπορεί να είναι πχ. 100W ή να είναι 0,000001 W. Για το λόγο αυτό προτιμώνται οι λογαριθμικές μονάδες μέτρησης όπως το ντεσιμπέλ (**deciBel** ή **dB**).

ΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑ ΚΑΙ ΥΠΟΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑ ΜΟΝΑΔΩΝ					
ΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑ			ΥΠΟΠΟΛΛΑΠΛΑΣΙΑ		
Πρόθεμα	Παράγοντας	Σύμβολο	Πρόθεμα	Παράγοντας	Σύμβολο
tera	10^{12}	T	deci	10^{-1}	d
giga	10^9	G	centi	10^{-2}	c
mega	10^6	M	milli	10^{-3}	m
kilo	10^3	k	micro	10^{-6}	μ
hecto	10^2	h	nano	10^{-9}	n
deca	10	da	pico	10^{-12}	p

Πίνακας 1.1

Όταν η τιμή ενός μεγέθους αυξηθεί 10 φορές, λέγεται επίσης ότι αυξήθηκε κατά μία τάξη μεγέθους. Όταν αυξηθεί 1000 φορές ($1000=10^3$), λέγεται ότι αυξήθηκε κατά τρεις τάξεις μεγέθους. Όταν η τιμή ενός μεγέθους υποβιβαστεί $1.000.000=10^6$ φορές, ελαττώνεται κατά έξι τάξεις μεγέθους (πχ. από 100 να γίνει 0,0001).

Η χρήση αυτή των δυνάμεων του δέκα χρησιμοποιείται και στο λογάριθμο. Η λογαριθμική συνάρτηση συμβολίζεται με $\log_{10}(x)$, ή $\log(x)$ ή απλά $\log x$ και γίνεται πιο εύκολα αντιληπτή αν κατανοηθούν τα παρακάτω παραδείγματα:

$$10^1 = 10 \Rightarrow \log 10 = 1$$

$$10^2 = 100 \Rightarrow \log 100 = 2$$

$$10^4 = 10000 \Rightarrow \log 10000 = 4$$

$$10^{-3} = 0,001 \Rightarrow \log 0,001 = -3$$

Η λογαριθμική συνάρτηση ορίζεται ως εξής:

$y = \log x \Rightarrow 10^y = x$, και ο x πρέπει να είναι θετικός.

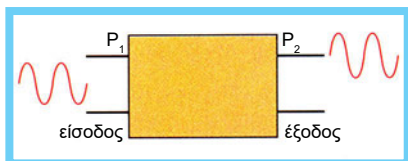
Η λογαριθμική συνάρτηση δεν ορίζεται μόνο για πολλαπλάσια του 10 αλλά και για οποιοδήποτε θετικό αριθμό. Για παράδειγμα:

$$\log 2 = 0,3,$$

$$\log 5 = 0,7,$$

$$\log 16 = 1,2$$

Γενικά $10^x = y$, $\log y = x$ ο αριθμός y πρέπει να είναι θετικός.



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

Σχήμα. 1.6.1 Σε μία διάταξη η ισχύς του σήματος μπορεί να αυξάνει ($P_1 < P_2$) ή να ελαττώνεται ($P_1 > P_2$).

$$A = 10 \cdot \log \frac{P_2}{P_1} \quad (1.6.1)$$

Από την παραπάνω σχέση προκύπτει ότι ο λογάριθμος είναι θετικός, όταν η ισχύς P_2 είναι μεγαλύτερη από την P_1 και τότε το A ονομάζεται *ενίσχυση*. Αν η P_2 είναι μικρότερη από την P_1 , ο λογάριθμος είναι αρνητικός και το A ονομάζεται *εξασθένηση* ή απώλειες.

Παράδειγμα 1. Στην είσοδο ενός ενισχυτή το σήμα έχει ισχύ $P_1 = 0,2W$ και στην έξοδο έχει ισχύ $P_2 = 200W$. Να υπολογιστεί ο λόγος των δύο σημάτων και η ενίσχυση A σε dB.

Ο λόγος των δύο σημάτων είναι: $\frac{P_2}{P_1} = \frac{200W}{0,2W} = 1000$, δηλαδή ο ενισχυτής ενίσχυσε το σήμα 1000 φορές.

Από τη σχέση 1.6.1 η ενίσχυση σε dB είναι:

$$A = 10 \cdot \log \frac{P_2}{P_1} = 10 \cdot \log \frac{200W}{0,2W} = 10 \cdot \log 1000 = 10 \cdot 3 = 30dB$$

Παράδειγμα 2. Ένα σήμα μεταδίδεται σε μια γραμμή η οποία έχει μήκος 3.000m. Στην αρχή της γραμμής η ισχύς του σήματος έχει τιμή $P_1 = 100W$. Στο τέλος της γραμμής και λόγω της εξασθένησης η ισχύς βρίσκεται να είναι $P_2 = 100\mu W = 0,1 mW = 10^{-4}W$. Να βρεθεί η συνολική εξασθένηση της γραμμής.

Ο λόγος των σημάτων στην είσοδο και την έξοδο της γραμμής είναι:

$\frac{P_2}{P_1} = \frac{100\mu W}{100W} = 10^{-6}$ δηλαδή η γραμμή υποβίβασε την ισχύ του σήματος ένα εκατομμύριο φορές.

Από τη σχέση 1.6.1 η εξασθένηση σε dB είναι:

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

ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ 1ΟΥ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

1. Η αντίσταση ενός μεταλλικού αγωγού είναι $R=4\text{K}\Omega$. Αν στις άκρες του εφαρμόζεται σταθερή τάση $V=12\text{V}$, να υπολογιστεί το ρεύμα που διαρρέει τον αγωγό.
2. Από πυκνωτή χρειάζεται να περάσει φορτίο $q=28800\text{C}$ σε χρόνο $t=4\text{h}$. Πόση είναι η μέση ένταση του ρεύματος;
3. Σε ηλεκτρικό λαμπτήρα αναγράφονται οι παρακάτω ενδείξεις: $V=220\text{V}$, $P=100\text{W}$. Να βρεθεί η αντίσταση και η ένταση του ρεύματος όταν αυτός λειτουργεί κανονικά.
4. Πώς παράγεται μαγνητικό πεδίο με τη βοήθεια ηλεκτρικού ρεύματος;
5. Ηλεκτρική αντίσταση $1\text{K}\Omega$ συνδέεται με μπαταρία των 3V . Να υπολογιστούν: α) Η ισχύς που καταναλώνει και β) το ρεύμα που τη διαρρέει.
6. Πώς παράγεται ηλεκτρικό ρεύμα από το μαγνητικό πεδίο;
7. Η συχνότητα μιας ταλάντωσης είναι 1kHz . Να υπολογιστεί η περίοδος της.
8. Πότε συμβαίνει ανάκλαση ενός κύματος;
9. Τι διαφορά έχει η ωμική αντίσταση από τη σύνθετη αντίσταση;
10. Δώστε μερικά παραδείγματα μηχανικών κυμάτων.
11. Να βρεθεί το μήκος κύματος λ των ηχητικών κυμάτων, τα οποία έχουν συχνότητες $f=20.000\text{Hz}$.
12. Η συχνότητα ραδιοφωνικού σταθμού στα μεσαία είναι 675kHz . Να υπολογιστεί το μήκος του σύρματος που πρέπει να χρησιμοποιηθεί για κεραία στο δέκτη, αν είναι γνωστά ότι: α) η κεραία αποτελεί το $1/4$ του μήκους κύματος και β) η ταχύτητα διάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων είναι $c=300.000\text{Km/s}$.
13. Για ποιο λόγο χρησιμοποιούνται τα λογαριθμικά μεγέθη;
14. Στην είσοδο ενός ενισχυτή το σήμα έχει ισχύ $P_2=10\text{W}$ και στην έξοδο έχει ισχύ $P_1=1000\text{W}$. Να βρεθεί η ενίσχυση A , σε dB .
15. Ένα καλώδιο παρουσιάζει εξασθένηση -60dB σε κάθε Km . Να υπολογιστεί η ισχύς του σήματος στο τέλος του καλωδίου, αν στην αρχή του η ισχύς του σήματος είναι 1000W και το καλώδιο έχει μήκος 1000m .
16. Δύο ενισχυτές E_1 και E_2 τοποθετούνται σε σειρά. Στην είσοδο του πρώτου (E_1) εφαρμόζεται σήμα με ισχύ 1W . Η ενίσχυσή του E_1 είναι 10dB ενώ του E_2 είναι 30dB . Να βρεθούν τα εξής: α) η ισχύς του σήματος στην έξοδο του E_1 ενισχυτή η οποία αποτελεί είσοδο του E_2 και β) η συνολική ενίσχυση του συστήματος σε dB .



Κεφάλαιο

2

Ανάγκη τηλεπικοινωνίας και μετάδοση σημάτων Ιστορική προσέγγιση

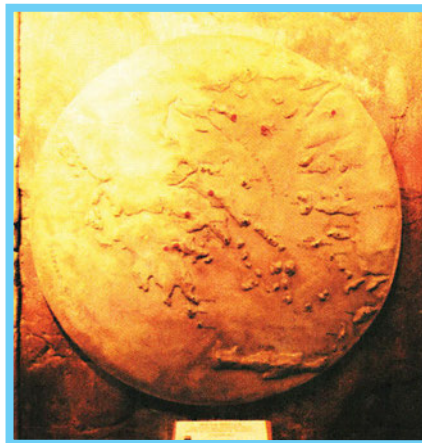
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η εξέλιξη των τηλεπικοινωνιών στην εποχή μας είναι ραγδαία και ακολουθεί την εξέλιξη της τεχνολογίας και των υπολογιστών. Συνεχώς παρουσιάζονται νέα και βελτιωμένα συστήματα επικοινωνιών και δικτύων για να μεταφέρουν διάφορα μηνύματα σε οποιοδήποτε σημείο, με τη μικρότερη δυνατή καθυστέρηση.

Η ανάγκη αυτή για αποστολή και λήψη μηνυμάτων και εκμηδένιση της απόστασης συνοδεύει τον άνθρωπο από τη στιγμή της εμφάνισής του στον πλανήτη.

Η ανάγκη για επικοινωνία φαίνεται και στην εποχή των αρχαίων Ελλήνων, όπως προκύπτει από πολλές ιστορικές πηγές. Τότε οι κορυφές των ψηλότερων βουνών αποτέλεσαν ένα πρωτόγονο δίκτυο πληροφόρησης. Ανάβοντας φωτιές πάνω σε διαδοχικές κορυφές, τις λεγόμενες **«φρυκτωρίες»**, μπορούσαν να μεταδώσουν τα μηνύματα σε μεγάλες αποστάσεις.

Όπως αναφέρει και ο Αισχύλος στον «Αγαμέμνονα», η Κλυταιμνήστρα μαθαίνει με αυτό το σύστημα τηλεπικοινωνίας την ίδια νύχτα την πτώση της Τροίας, κερδίζοντας το μακρό χρόνο που θα απαιτούσε το ταξίδι κάποιου αγγελιοφόρου.



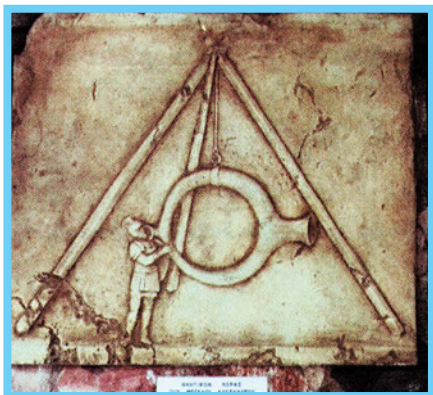
Σχήμα. 2.2.1 Εκμαγείο του Μουσείου Τηλεπικοινωνιών του ΟΤΕ όπου παρουσιάζονται τα πιο γνωστά δίκτυα τηλεπικοινωνιών με **φρυκτωρίες** με σπουδαιότερο το δίκτυο Τροίας-Μυκηνών.

Μολονότι χρησιμοποιήθηκαν πιο εξελιγμένες μέθοδοι για μετάδοση μηνυμάτων στους κλασικούς χρόνους, η μετάδοση με τις φωτιές «φρυκτούς» συνεχίστηκε, έως ότου ανακαλύφθηκε ο οπτικός και ο ηλεκτρικός τηλεγράφος στην ξηρά και τα σήματα με τις σημαίες στη θάλασσα.

Σ' αυτό το κεφάλαιο θα παρουσιαστεί η εξέλιξη των συστημάτων τηλεπικοινωνιών με αφετηρία τα πρώτα συστήματα των Αρχαίων Ελλήνων. Στη συνέχεια, θα εκτεθούν οι βασικές αρχές λειτουργίας των πρώτων σύγχρονων συστημάτων (οπτικός τηλεγράφος, ηλεκτρικός τηλεγράφος, σύστημα Μορς, τηλεφωνο Μπελ) καθώς και τα πιο προηγμένα συστήματα τηλεπικοινωνιών (συστήματα πολυπλεξίας συχνότητας, χρόνου και συστήματα δορυφορικών επικοινωνιών).

2.2 ΟΙ ΤΡΟΠΟΙ ΚΑΙ ΟΙ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΣΤΟΥΣ ΑΡΧΑΙΟΥΣ ΕΛΛΗΝΕΣ

Οπτικά σήματα - Φρυκτωρίες



Σχήμα. 2.2.2 Εκμαγείο ακουστικού τηλεγράφου (ηχητικό κέρας) του Μουσείου Τηλεπικοινωνιών του ΟΤΕ που χρησιμοποιήθηκε από το Μέγα Αλέξανδρο στις εκστρατείες του.

Αναφέρθηκε ήδη στην εισαγωγή το αρχαιότερο δίκτυο τηλεπικοινωνιών, αυτό των φρυκτωριών (πύργων αναμετάδοσης οπτικών σημάτων με φωτιές). Με το δίκτυο αυτό μπορούσαν να μεταδοθούν κάποια προκαθορισμένα μηνύματα σε αποστάσεις 30-100km. Κάθε πύργος «έβλεπε» το μήνυμα του προηγούμενου και το **αναμετέδιδε** στον επόμενο. Το σημαντικότερο από αυτά τα δίκτυα ήταν το δίκτυο Τροίας-Μυκηνών. Εφευρέτης των δικτύων φέρεται ο Παλαμήδης, ο οποίος ανέπτυξε το δίκτυο επικοινωνιών της περιόδου του Τρωικού Πολέμου (1195-1184 π.Χ.).

Η πτώση της Τροίας έγινε γνωστή με σήματα-φωτιές που διαδοχικά ανάφτηκαν στις βουνοκορφές της Λήμνου, του Αγίου Όρους, της Εύβοιας και της Στερεάς ως την Πελοπόννησο.

Ακουστικά σήματα - ηχητικό κέρας

Στην εποχή του Μεγάλου Αλεξάνδρου χρησιμοποιήθηκε το ηχητικό κέρας ή **ακουστικός τηλεγράφος**. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιήθηκε από το Μέγα Αλέξανδρο στις εκστρατείες του. Πληροφορίες αναφέρονται στην «Αλεξάνδρου

ανάβαση» του Αρριανού. Σε ένα μεγάλο τρίποδο είναι κρεμασμένο στρογγυλό κέρας μεγάλου μεγέθους με τρόπο που να επιτρέπεται η περιστροφή του. Αυτό δίνει τη δυνατότητα ο ήχος να πηγαίνει προς όλες τις κατευθύνσεις και σε απόσταση αρκετών χιλιομέτρων.

Υδραυλικός τηλεγράφος - συγχρονισμός

Μια κάποια πρόοδο στη μεταβίβαση μηνυμάτων αποτέλεσε ένα απλό σύστημα που επινόησε ο Αινείας ο Τακτικός. Το σύστημα είναι γνωστό ως **υδραυλικός τηλεγράφος** του Αινεία του Τακτικού. Στο σύστημα αυτό χρησιμοποιείται κυλινδρικό δοχείο με νερό το οποίο αδειάζει με τη βοήθεια κρουνού στη βάση του δοχείου. Στο πάνω ανοιχτό μέρος επιπλέει φελλός με στερεωμένη κάθετη ράβδο χωρισμένη σε ίσα τμήματα. Το καθένα τμήμα αντιστοιχεί σε προκαθορισμένο μήνυμα.

Με το σύστημα αυτό μπορούσαν να μεταδοθούν τα προκαθορισμένα μηνύματα της ράβδου με τη **σύγχρονη** κίνησή της στον αποστολέα και τον παραλήπτη. Το ίδιο δοχείο χρησιμοποιήθηκε¹ και για αποστολή και για λήψη μηνυμάτων.

Αξίζει να σημειωθεί ότι και τα σύγχρονα τηλεπικοινωνιακά συστήματα στηρίζονται στην αρχή του **συγχρονισμού** αποστολέα (πομπού) και παραλήπτη (δέκτη).



Σχήμα 2.2.3 Αντίγραφο του υδραυλικού τηλεγράφου του Αινεία του Τακτικού (362 π.Χ.), όπως περιγράφεται από τον ιστορικό Πολύβιο. Κατασκευάστηκε από το Μουσείο Τηλεπικοινωνιών του ΟΤΕ με βάση μια γκραβούρα του 18ου αιώνα.

Κωδικοποιημένα οπτικά σήματα

Ένα μεταγενέστερο σύστημα είναι η **Πυρσεία** ή Οπτικός Τηλέγραφος των Λεοξένη και Δημόκλειτου. Σύμφωνα με το σύστημα αυτό, τα γράμματα του

1. Πριν από την αποστολή ή λήψη μηνυμάτων το δοχείο πρέπει να είναι γεμάτο. Όταν επρόκειτο να σταλεί μήνυμα, ο χειριστής που έστελνε το μήνυμα άναβε φωτιά και ταυτόχρονα άνοιγε τον κρουνό για να αδειάζει το νερό. Ο χειριστής που λάμβανε το μήνυμα βλέποντας τη φωτιά άνοιγε και αυτός τον κρουνό στο δικό του δοχείο που έπρεπε και αυτό να είναι γεμάτο. Αδειάζοντας ταυτόχρονα το νερό με τον ίδιο ρυθμό στα δυο όμοια και γεμάτα δοχεία, οι ράβδοι με τα μηνύματα κατέβαιναν **συγχρόνως**. Όταν η ράβδος έφτανε στην επιθυμητή θέση, ο αποστολέας έσβηνε την φωτιά και οι δύο κρουνοί έκλειναν. Το άναμμα της φωτιάς ήταν το σήμα που **συγχρόνιζε** τις δύο συσκευές. Έτσι ξεκινούσε η μεταβίβαση των μηνυμάτων.



Σχήμα 2.2.4 Εκμαγείο του Μουσείου Τηλεπικοινωνιών του ΟΤΕ όπου παρουσιάζεται η **Πυρσεΐα** ή **Οπτικός Τηλέγραφος των Λεοξένι και Δημόκλειτου** (150 π.Χ.). Η αναπαράσταση βασίστηκε σε κείμενο του Πολύβιου.

	1	2	3	4	5
1	Α	Β	Γ	Δ	Ε
2	Ζ	Η	Θ	Ι	Κ
3	Λ	Μ	Ν	Ξ	Ο
4	Π	Ρ	Σ	Τ	Υ
5	Φ	Χ	Ψ	Ω	

ελληνικού αλφαβήτου τοποθετούνται σε πλάκα σε ομάδες πέντε γραμμών. Κάθε γραμμή χωρίζεται σε πέντε στήλες. Με αυτή τη διάταξη κάθε γράμμα αντιστοιχίζεται σε ένα ζευγάρι αριθμών.

Το Θ για παράδειγμα βρίσκεται στη δεύτερη γραμμή και την τρίτη στήλη. Αντιστοιχεί επομένως στο ζευγάρι (2,3).

Οι αριθμοί που χρησιμοποιούνται στην αντιστοίχιση είναι από το 1 μέχρι το 5. Για τη μετάδοση των γραμμάτων χρησιμοποιήθηκαν δέκα πυρσοί χωρισμένοι σε δύο ομάδες. Η πρώτη ομάδα δείχνει τη γραμμή και η δεύτερη τη στήλη.

Για τη μετάδοση του γράμματος Θ θα έπρεπε να ανάψουν οι δύο πυρσοί της πρώτης ομάδας και οι τρεις πυρσοί της δεύτερης.

Η παραπάνω αντιστοίχια των γραμμάτων με το πλήθος των αναμμένων πυρσών ονομάζεται **κωδικοποίηση πηγής**. Το πλεονέκτημα αυτής της κωδικοποίησης είναι ότι επιτρέπει τη μετάδοση οποιουδήποτε γράμματος, λέξης ή κειμένου με τμήμα την εξαιρετικά αργή μετάδοση.

Η μέθοδος αυτή θα μπορούσε να θεωρηθεί πρόδρομος της σημερινής κωδικοποίησης. Η μέγιστη απόσταση ήταν πιο μικρή σε σχέση με τα προηγούμενα συστήματα. Ο λόγος είναι ότι αντί για μία φωτιά υπήρχαν δέκα πυρσοί, οι οποίοι έπρεπε να διακρίνονται μεταξύ τους.

2.3 ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΟΠΤΙΚΗΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ - ΟΠΤΙΚΟΣ ΤΗΛΕΓΡΑΦΟΣ

Ο οπτικός τηλεγράφος επινοήθηκε από τον Γάλλο **Κλωντ Σαπ** (Claude Chappe) και είχε τη δυνατότητα να μεταβιβάσει 192 διαφορετικά σύμβολα - σήματα. Για να το επιτύχει χρησιμοποιούσε μία διάταξη, που την αποτελούσαν 3 ράβδοι, μία κεντρική περιστρεφόμενη περί το κέντρο της και δύο αρθρωτές, μία σε

κάθε ένα από τα δύο άκρα της πρώτης. Το σύστημα αυτό των 3 ράβδων ήταν τοποθετημένο στην κορυφή ενός πύργου για να είναι ορατό από μακριά. Οι ράβδοι μπορούσαν να κινηθούν με τροχαλίες, ώστε να σχηματίσουν 192 διαφορετικούς συνδυασμούς στη σχετική θέση μεταξύ τους. Κάθε σχετική θέση των 3 ράβδων αντιστοιχούσε σε ένα γράμμα του αλφαβήτου ή αριθμό ή και σε ολόκληρη λέξη ή φράση. Ο δέκτης έβλεπε με γυμνό μάτι ή με τηλεσκόπιο το συνδυασμό και σημείωνε το εκπεμπόμενο σήμα.

Το σύστημα είχε ικανότητα **ρυθμού μετάδοσης 3 συμβόλων ανά λεπτό**. Για τη μετάδοση μηνυμάτων σε πολύ μεγάλες αποστάσεις υπήρχαν ενδιάμεσα αναμεταδότες.

Ο **αναμεταδότης** λαμβάνει το μήνυμα από τον προηγούμενο σταθμό και στη συνέχεια το μεταβιβάζει στον επόμενο.

Το σύστημα Σαπ χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1791 μεταξύ Λίλλης- Παρισιού. Τα δύο άκρα είχαν απόσταση 240km ενώ χρησιμοποιήθηκαν ενδιάμεσα 14 αναμεταδότες.

Μέχρι το τέλος των Ναπολεόντειων πολέμων, η Γαλλία είχε ένα δίκτυο συνολικού μήκους 1790 km που εξυπηρετείτο από 224 σταθμούς (πύργους). Το σύστημα του οπτικού τηλεγράφου ικανοποίησε τις απαιτήσεις της τηλεπικοινωνίας στη Γαλλία τόσο καλά, που καθυστέρησε αρκετά χρόνια η εισαγωγή του ηλεκτρικού τηλεγράφου, η οποία είχε στο μεταξύ εφευρεθεί στη χώρα αυτή.

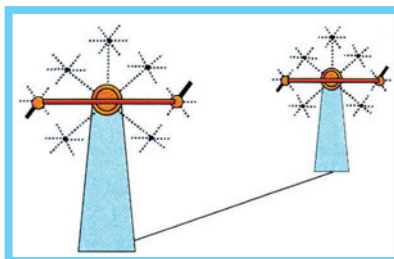
Το σύστημα μεταφέρθηκε επίσης με επιτυχία στη Μεγάλη Βρετανία και τις Η.Π.Α.

Ο οπτικός τηλεγράφος του Σαπ είχε όλα τα πλεονεκτήματα των προηγούμενων συστημάτων.

Με τους 192 συνδυασμούς μπορούσε να μεταδώσει γράμματα και μηνύματα. Το μεγάλο μειονέκτημά του ήταν η αδυναμία μετάδοσης μεγάλου αριθμού συμβόλων σε μικρό χρονικό διάστημα.



Σχήμα 2.3.1 Ακριβές αντίγραφο της διάταξης ράβδων του τηλεγραφικού συστήματος Chappe. Σχεδίαση - Κατασκευή Μουσείο Τηλεπικοινωνιών του ΟΤΕ.



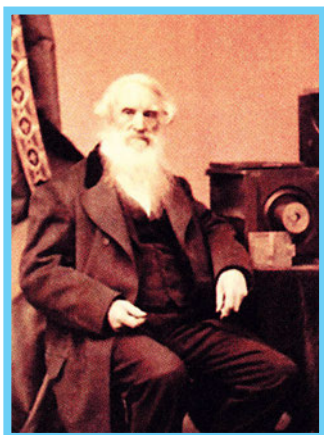
Σχήμα 2.3.2 Σχηματική παράσταση του τηλεγραφικού συστήματος Chappe.

Ο **ρυθμός** δηλαδή **μετάδοσης πληροφορίας** ήταν **ιδιαίτερα χαμηλός** καθώς υπήρχε ανάγκη επανάληψης κάθε συμβόλου για επιβεβαίωση ορθής λήψης. Ο ρυθμός μετάδοσης ενός τέτοιου μηχανικού συστήματος εξαρτάται από την ταχύτητα αλλαγής θέσεων των ράβδων.

2.4 ΑΥΞΗΣΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΚΑΙ ΡΥΘΜΟΥ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ - ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΣ ΤΗΛΕΓΡΑΦΟΣ

Η ουσιαστική γέννηση της τηλεγραφίας έρχεται μετά την ανακάλυψη του ηλεκτρισμού με τον **ηλεκτρικό τηλέγραφο**.

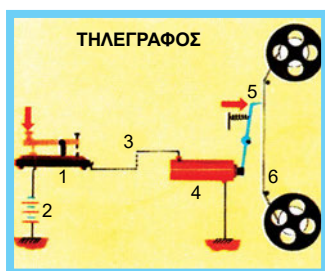
Χρησιμοποιώντας έναν ηλεκτρομαγνήτη, μια ηλεκτρική πηγή και έναν αγωγό μεγάλου μήκους ο **Σάμιουελ Μορς** (Samuel Morse) έδωσε το 1837 λύση στο πρόβλημα της επικοινωνίας σε μεγάλες αποστάσεις.



Σχ. 2.4.1 Ο Σάμιουελ Μορς.

Για το λόγο αυτό θεωρείται και ο πατέρας της ηλεκτρικής τηλεγραφίας. Το πρώτο τηλεγραφικό κύκλωμα λειτούργησε στις 24 Μαΐου 1844 μεταξύ Βαλτιμόρης και Ουάσιγκτον με ένα καλώδιο μήκους 60 km.

Λίγο αργότερα, ανάλογο τηλεγραφικό σύστημα κατασκευασμένο από το Γερμανό **Βέρνερ Ζήμενς** (Werner Siemens) λειτούργησε μεταξύ Βερολίνου και Φρανκφούρτης. Με τον ηλεκτρικό τηλέγραφο αυξήθηκε σημαντικά η απόσταση μετάδοσης η οποία δεν απαιτούσε πλέον σκοτάδι ή άπνοια, αλλά το κυριότερο αυξήθηκαν η αξιοπιστία και ο ρυθμός μετάδοσης.



Σχήμα 2.4.2 Σύστημα τηλεγραφικής επικοινωνίας: (1) χειριστήριο, (2) συστοιχία ηλεκτρικών συσσωρευτών, (3) αγωγός σύνδεσης, (4) ηλεκτρομαγνήτης, (5) γραφίδα, (6) χάρτινη ταινία.

2.4.1 Πομπός και δέκτης

Η συσκευή που μεταβιβάζει τα κωδικοποιημένα γράμματα ονομάζεται **πομπός** και βρίσκεται στο ένα άκρο του αγωγού σύνδεσης.

Ο πομπός αποτελείται από ένα απλό διακόπτη (τηλεγραφικό πλήκτρο ή χειριστήριο), μέσω του οποίου ο χειριστής κλείνει στιγμιαία το κύκλωμα. Ο διακόπτης τροφοδοτείται από ηλεκτρική πηγή και στέλνει παλμούς ηλεκτρικού ρεύματος προς τον παραλήπτη μέσω του μεταλλικού (συρμάτινου) αγωγού.

Στο άλλο άκρο του αγωγού βρίσκεται η συσκευή που λαμβάνει τους ηλεκτρικούς παλμούς και ονομάζεται **δέκτης**.

Ο δέκτης αποτελείται από έναν ηλεκτρομαγνήτη με κινητό σπλισμό. Όταν ο ηλεκτρομαγνήτης διαρρέεται από ρεύμα, έλκει τον σπλισμό και παράγει ηχητικά σήματα (κτύπους).

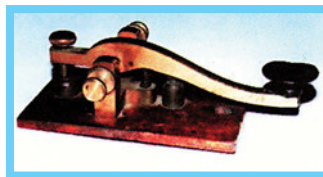
Αρχικά η ακουστική λήψη ήταν αρκετή για τις ανάγκες της εποχής. Αργότερα όμως με την καθιέρωση του τηλέγραφου, χρειάστηκε να καταγράφονται τα λαμβανόμενα μηνύματα σε χαρτί. Ο νέος δέκτης, για να μπορεί να **καταγράφει** τα μηνύματα, λειτουργούσε ως εξής: επάνω στον σπλισμό του ηλεκτρομαγνήτη στερεώθηκε γραφίδα, που σημειώνει τις μετακινήσεις του σπλισμού σε μια χάρτινη λωρίδα.

Η λωρίδα ξετυλίγεται μπροστά στη γραφίδα με σταθερή ταχύτητα με τη βοήθεια ωρολογιακού μηχανισμού. Η γραφίδα χαράσσει πάνω στην ταινία διαστήματα περισσότερο ή λιγότερο μακρά (παύλες ή τελείες) ανάλογα με τη διάρκεια των παλμών ρεύματος που εστάλησαν από τον πομπό. Η συσκευή που χρησιμοποίησε αρχικά ο Μορς ήταν ταυτόχρονα και πομπός και δέκτης. Με τον τρόπο αυτό τα δύο άκρα της ζεύξης επικοινωνούσαν **αμφίδρομα**.

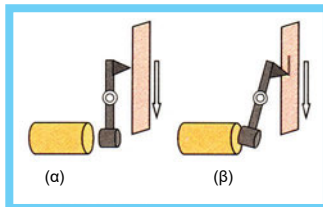
Μπορούσαν δηλαδή και να μεταβιβάζουν και να δέχονται μηνύματα, όχι όμως ταυτόχρονα. Οι συσκευές συνδέονταν μεταξύ τους με ένα μόνο σύρμα. Κάθε συσκευή στα δύο άκρα είχε ανεξάρτητη τροφοδοσία από μία τοπική ηλεκτρική πηγή (μπαταρία). Το κύκλωμα έκλεινε μέσω της γης, που επιτελούσε το ρόλο του δεύτερου αγωγού. Η μετάδοση των αλφαβητικών συμβόλων με τη βοήθεια του ηλεκτρικού ρεύματος γινόταν με τη χρησιμοποίηση ενός **κώδικα**, του κώδικα Μορς.

2.4.2 Ο κώδικας του Μορς

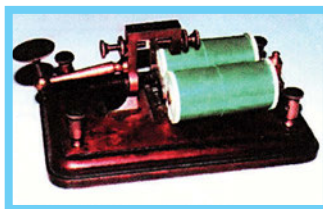
Ο μορσικός κώδικας (μορσικό αλφάβητο) αποτελείται από συνδυασμούς δύο στοιχείων - ενός



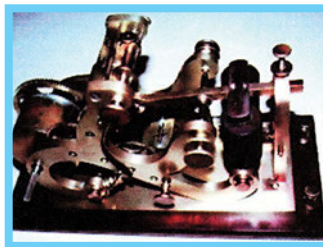
Σχήμα 2.4.3 Τηλεγραφικό πλήκτρο.



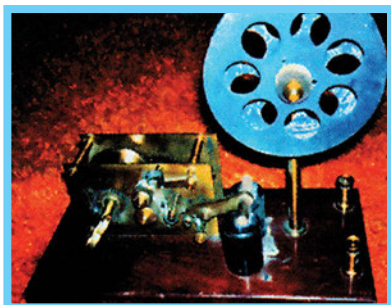
Σχήμα 2.4.4 Όταν ο ηλεκτρομαγνήτης του δέκτη δεν διαρρέεται από ρεύμα (α), η γραφίδα δεν σημειώνει τίποτε. Όταν πιέζεται το πλήκτρο στον πομπό και ο ηλεκτρομαγνήτης διαρρέεται από ρεύμα (β), έλκει τη γραφίδα η οποία σημειώνει γραμμή.



Σχήμα 2.4.5 Χειριστήριο τηλεγράφου του 1849. Η ίδια συσκευή είναι πομπός και δέκτης.



Σχήμα 2.4.6 Αυτόματο καταγραφικό τηλεγράφου του 1850.



Σχήμα 2.4.7 Καταγραφικό τηλεγράφου του 1860 με χάρτινη ταινία.

παλμού ηλεκτρικού ρεύματος μικρής διάρκειας (τελεία) και ενός παλμού ρεύματος μεγάλης διάρκειας (παύλα). Η λήψη μπορεί να γίνει είτε ακουστικά (με κτύπους) είτε γραφικά (τελείες-παύλες).

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

2.4.3 Ανάγκη αύξησης του ρυθμού μετάδοσης

Το σύστημα του ηλεκτρικού τηλεγράφου, αν και ουσιαστικά έλυσε το πρόβλημα της επικοινωνίας, είχε ένα σοβαρό περιορισμό στην ταχύτητα μετάδοσης συμβόλων. Ο περιορισμός αυτός είναι η ταχύτητα του χειριστή στην αποστολή παλμών. Στο χειροκίνητο χειριστήριο **η ταχύτητα μετάδοσης έφθανε στις 15 λέξεις το λεπτό.**

A	. _	P	. _ _ .	5	
B	_ . . .	Q	_ _ . . _	6	_
C	_ . . .	R	. _ .	7	_ _ . . .
D	_ . .	S	. . .	8	_ _ . .
E	.	T	_	9	_ _ _ . .
F		U	. . _	0	_ _ _ _ _
G	_ _ .	V	. . . _	.	. _ . . . _
H		W	. _ _	,	_ _ . . . _
I	. .	X	_ . . _	?	. . _ . .
J	. _ _ _	Y	_ . . _	:	_ _
K	_ . .	Z	_ _ . .	'	. _ _ . . .
L		1	. _ . . . _	“	
M	_ _	2	 _		_
N	_ .	3	 _	()	_ _
O	_ _ _	4	 _	/	_

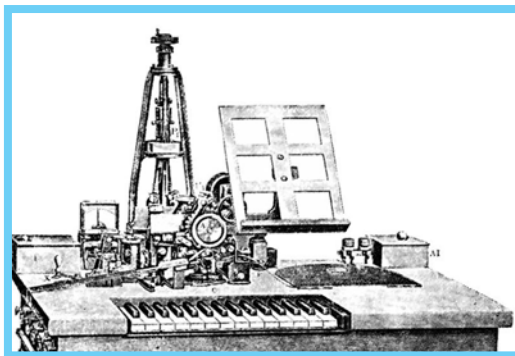
Πίνακας 2.4.1 Κώδικας Μορς.

Για να βελτιωθεί η κατάσταση, έγινε προσπάθεια για καλύτερη εκμετάλλευση της τηλεγραφικής γραμμής, **η οποία αποτελεί το δαπανηρότερο τμήμα όλης της τηλεγραφικής εγκατάστασης.** Στην αρχή, χρησιμοποιήθηκε το διπλό (duplex) σύστημα (Stearns-Girtl, 1853), με το οποίο ήταν δυνατή η ταυτόχρονη μεταβίβαση τηλεγραφήματος και από τα δύο άκρα της γραμμής (αμφίδρομη επικοινωνία).

Αργότερα, χρησιμοποιήθηκαν οι αυτόματες τηλεγραφικές μηχανές (αυτόματη μεταβίβαση). Η αυτόματη μεταβίβαση μέσω

τηλεγραφικών μηχανών πραγματοποιείται με την παρασκευή εκ των προτέρων του μηνύματος που πρόκειται να μεταδοθεί, υπό μορφή διάτρητης ταινίας. Η διάτρηση της ταινίας πραγματοποιείται σε ειδική διάταξη, το **διατρητή**, στον οποίο ο χειριστής με τη βοήθεια πλήκτρων ανοίγει οπές σύμφωνα με κάποιο συμβολικό κώδικα. Στη συνέχεια η διάτρητη ταινία περνάει από μία συσκευή (αυτόματος μεταβιβαστής) η οποία τη μεταφράζει σε τελείες και παύλες σύμφωνα με το αλφάβητο του Μορς.

Ο δέκτης του σταθμού λήψης ενεργοποιείται από τους παλμούς ρεύματος που φθάνουν και ανοίγει οπές σε χάρτινη ταινία. Η ταινία οδηγείται στη συνέχεια στο **μεταφραστή**, ο οποίος είναι μια ειδική εκτυπωτική διάταξη, που βγάζει στην έξοδο του χάρτινη ταινία με τυπωμένους αλφαβητικούς χαρακτήρες οι οποίοι αντιστοιχούν στις διατρήσεις της χάρτινης ταινίας εισόδου. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται υψηλή ταχύτητα μετάδοσης που δεν θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί από κανένα χειριστή. Το αυτόματο τηλεγραφικό σύστημα **Μορς-Γουίτστοουν** μπορούσε να μεταβιβάσει έως **250 λέξεις το λεπτό** σε σχέση με τις 15 μόνο του απλού χειριστή Μορς.



Σχήμα 2.4.8 Εκτυπωτικός τηλεγράφος του Χιούζ. Στον τηλεγράφο αυτό, δύο τροχοί, ένας σε κάθε σταθμό εκπομπής και λήψης, έφεραν στην περιφέρειά τους ανάγλυφα τα ψηφία του αλφαβήτου και περιστρέφονταν σύγχρονα. Έτσι, όταν ο τροχός του ενός μηχανήματος παρουσίαζε στο κάτω του μέρος λ.χ. το Α, το ίδιο συνέβαινε και στη λήψη. Αν πιεζόταν πάνω στον τροχό εκείνη τη στιγμή μια χάρτινη ταινία, θα τυπωνόταν επάνω της το σύμβολο Α. Για την εκπομπή υπήρχε ένα σύνολο πλήκτρων, ένα για κάθε ψηφίο και αριθμό. Η άσκηση πίεσης από το χειριστή στο πλήκτρο του συμβόλου Α είχε ως συνέπεια την εκπομπή ρεύματος στη γραμμή, τη στιγμή ακριβώς που το σύμβολο Α βρισκόταν σε θέση εκτύπωσης και στους δύο σταθμούς. Το ρεύμα, καθώς διερχόταν μέσω ενός ηλεκτρομαγνήτη στη λήψη, πίεζε τη χάρτινη ταινία και έτσι τυπωνόταν το σύμβολο Α.

2.4.4 Ο εκτυπωτικός τηλεγράφος

Ένα άλλο σύστημα τηλεγραφίας στο οποίο η λήψη γινόταν επίσης με αλφαβητικά σύμβολα και όχι με τελείες και παύλες ήταν ο εκτυπωτικός τηλεγράφος του Χιούζ (Hughes). Βέβαια, ο τηλεγράφος αυτός ήταν **πολύπλοκος** και απαιτούσε ειδικό χειρισμό και **πολύμηνη εκπαίδευση**, διότι η λειτουργία του βασιζόταν στο συνδυασμό ορισμένων πλήκτρων και του ρυθμού εκπομπής. Η ταχύτητα μετάδοσης ήταν **25-30 λέξεις το λεπτό**. Δηλαδή διπλάσιες από τον απλό χειριστή.

Οι παραπάνω βελτιώσεις έδειχναν ότι υπήρχε έντονη η τάση:

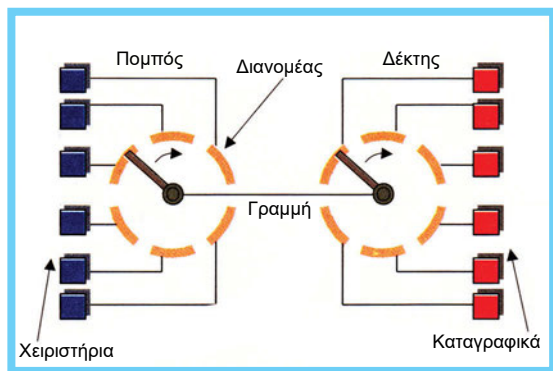
- να αυξηθεί ο ρυθμός μετάδοσης,
- στην εκπομπή και τη λήψη να χρησιμοποιούνται μόνο αλφαβητικοί χαρακτήρες, δηλαδή κείμενο και όχι ο κώδικας Μορς,
- να απλουστευτούν η εκπομπή και η λήψη και να γίνουν ανεξάρτητες από την ικανότητα του χειριστή.

2.5 ΠΟΛΥΠΛΕΞΙΑ - Η ΑΞΙΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΤΗΛΕΓΡΑΦΙΚΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ

Μια συσκευή που επινοήθηκε από τον **Μποντό** (Γάλλο τηλεγραφετή Jean Maurice Baudot) έδωσε τη δυνατότητα να αξιοποιηθεί ακόμη περισσότερο η τηλεγραφική γραμμή. Η συσκευή αυτή επέτρεπε την αποστολή μέχρι έξι τηλεγραφημάτων ταυτόχρονα μέσα από μία τηλεγραφική γραμμή. Στη λήψη τα έξι τηλεγραφήματα εκτυπώνονταν με τη μορφή κειμένου από τους εκτυπωτικούς τηλέγραφους του Μποντό.

Η βασική ιδέα του συστήματος Μποντό ήταν η εξής: Η διάρκεια της εκπομπής υποδιαιρείται σε ίσα διαστήματα. Το κάθε χρονικό διάστημα διατίθεται σε διαφορετικό χειριστήριο (πομπό). Έτσι, ένας συγκεκριμένος αριθμός χειριστών χρησιμοποιεί ο καθένας με τη σειρά του, για λίγο, τη γραμμή επικοινωνίας, ενώ η γραμμή λειτουργεί συνεχώς.

Για τη μεταβίβαση των τηλεγραφημάτων υπήρχαν έξι χειριστήρια. Το κάθε χειριστήριο (πομπός) είχε στη διάθεσή του την τηλεγραφική γραμμή για περιορισμένο χρονικό διάστημα. Ένας **διανομέας**, που ήταν και το κύριο όργανο του συστήματος, συνέδεε διαδοχικά τα έξι χειριστήρια με τη γραμμή. Δηλαδή συνέδεε με τη σειρά το πρώτο, μετά από λίγο το δεύτερο, το τρίτο κ.λπ. Μετά το έκτο χειριστήριο συνέδεε και πάλι το πρώτο, εκτελώντας κυκλική περιοδική κίνηση.



Σχήμα 2.5.1 Η χρονική πολυπλεξία που εισήγαγε ο Μποντό χρησιμοποιώντας το διανομέα.

Επειδή ο χρόνος που είχε το κάθε χειριστήριο ήταν συγκεκριμένος, ο Μποντό επινόησε ένα διαφορετικό κώδικα στον οποίο όλοι οι αλφαβητικοί χαρακτήρες ήταν συνδυασμοί **πέντε πλήκτρων**. Το κάθε πλήκτρο είχε δύο δυνατές θέσεις: πιεσμένο και ελεύθερο. Ο χαρακτήρας Α για παράδειγμα είχε συνδυασμό: τα τρία πρώτα πλήκτρα ελεύθερα και τα τέταρτο και πέμπτο πιεσμένα.

Κάθε χειριστήριο είχε επομένως πέντε πλήκτρα, ώστε ο χειριστής να σχηματίζει τους αλφαβητικούς χαρακτήρες χρησιμοποιώντας τον κώδικα Μποντό. Στην πρώτη χρονική περίοδο κάθε χειριστής έστελνε τον πρώτο χαρακτήρα καθενός από τα έξι τηλεγραφήματα, στη δεύτερη περίοδο το δεύτερο χαρακτήρα κ.ο.κ. Στο σταθμό λήψης υπήρχε άλλος όμοιος διανομέας, ο οποίος λειτουργούσε **σύγχρονα** με αυτόν του πομπού και συνέδεε διαδοχικά τη γραμμή με έξι δέκτες, παρόμοιους με αυτούς του συστήματος Χιούζ. Η ταχύτητα του κάθε ενός τηλεγράφου ήταν 50 λέξεις το λεπτό, ενώ ο ρυθμός μετάδοσης στη γραμμή του συστήματος έφθανε τις 300 λέξεις το λεπτό.

Τα βασικά σημεία στο σύστημα Μποντό ήταν:

- η κωδικοποίηση των αλφαβητικών χαρακτήρων με σταθερού μήκους κώδικα (5 πλήκτρα),
- το κάθε χειριστήριο είχε στη διάθεσή του τη γραμμή για μικρή χρονική διάρκεια,
- ο συγχρονισμός του πομπού και του δέκτη επέτρεπε την αποστολή του κειμένου στο σωστό προορισμό.

Η αρχή αυτή μετάδοσης εφαρμόζεται σήμερα ακόμα και στα πιο προηγμένα συστήματα τηλεπικοινωνιών. Ονομάζεται **χρονική πολυπλεξία** και είναι η μέθοδος μετάδοσης κατά την οποία σήματα (δηλ. ακολουθίες συμβόλων) από διαφορετικές πηγές πολυπλέκονται χρονικά και σχηματίζουν μια ακολουθία συμβόλων η οποία μεταβιβάζεται προς το δέκτη. Ο δέκτης είναι σε θέση να **αποπολυπλέκει** τα σήματα και να κατευθύνει το καθένα προς το σωστό παραλήπτη.

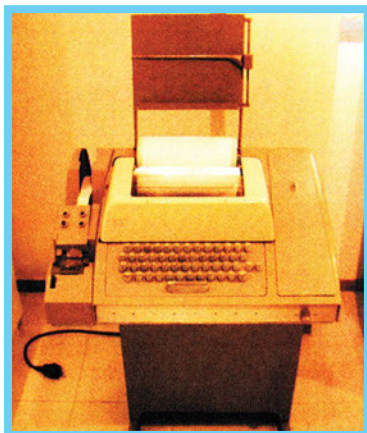
συνδυασμός 5 πλήκτρων	LETTERS	FIGURES
00000	Κενός χαρακτήρας	Κενός χαρακτήρας
00001	E	3
00010	Αλλαγή Γραμμής	Αλλαγή Γραμμής
00011	A	-
00100	Διάστημα	Διάστημα
00101	S	'
00110	I	8
00111	U	7
01000	Αρχή γραμμής	Αρχή γραμμής
01001	D	+
01010	R	4
01011	J	Bell
01100	N	,
01101	F	Διεθνής χρήση
01110	C	:
01111	K	(
10000	T	5
10001	Z	+
10010	L	)
10011	W	2
10100	H	&
10101	Y	6
10110	P	0
10111	Q	1
11000	O	9
11001	B	?
11010	G	%
11011	Figure Shift	Figure Shift
11100	M	.
11101	X	/
11110	V	=
11111	Letter Shift	Letter Shift

Πίνακας 2.6.1 Κώδικας Μποντό.

2.6 Η ΔΥΑΔΙΚΗ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ



Σχήμα 2.6.1 Τηλέτυπο του 1965 - Μουσείο Τηλεπικοινωνιών ΟΤΕ.



Σχήμα 2.6.2 Μεταγενέστερο τηλέτυπο - Μουσείο Τηλεπικοινωνιών ΟΤΕ.

Στον τηλεγράφο του Μποντό, για τη μετάφραση των παλμών ρεύματος σε χαρακτήρες, χρησιμοποιείται ο κώδικας Μποντό¹. Για τη μετατροπή και κωδικοποίηση των χαρακτήρων χρησιμοποιούνται 5 πλήκτρα. Επειδή το κάθε πλήκτρο έχει δύο θέσεις, οι δυνατοί συνδυασμοί των 5 πλήκτρων είναι $2^5 = 32$. Η θέση του κάθε πλήκτρου μπορεί να αντιστοιχιστεί ως εξής:

- πλήκτρο ελεύθερο → 0
- πλήκτρο πιεσμένο → 1

Οι δύο αυτές θέσεις μπορούν να θεωρηθούν σαν δυαδικά σύμβολα ή ψηφία και ονομάζονται στη συνέχεια μπιτ (bit).

Οι 32 συνδυασμοί των 5 bit δεν είναι αρκετοί για να παραστήσουν τα 26 γράμματα του Λατινικού αλφαβήτου και τους 10 αριθμούς. Ο Μποντό με ένα έξυπνο τέχνασμα αντιμετώπισε το πρόβλημα με επιτυχία. Τα 64 συνολικά σύμβολα που έχει ο κώδικας χωρίζονται σε δύο ομάδες των 32, όπως φαίνεται στον πίνακα 2.6.1.

Η πρώτη ομάδα που περιλαμβάνει τα γράμματα ονομάζεται LETTERS και η δεύτερη με αριθμούς και άλλα σύμβολα ονομάζεται FIGURES. Η μετάδοση δεδομένων αρχίζει πάντοτε με ένα από τα δύο σύμβολα FIGURE SHIFT (11011) ή LETTER SHIFT (11111).

1. Ο κώδικας Μποντό ονομάζεται και κώδικας Μάρρεη (Murray) προς τιμήν του Νεο-ζηλανδού Μάρρεη ο οποίος επίσης ασχολήθηκε με το πρόβλημα της κωδικοποίησης στην τηλεγραφία.

Όταν εμφανίζεται το LETTER SHIFT, όσοι συνδυασμοί από bit ακολουθούν αναφέρονται σε γράμματα της πρώτης ομάδας, ενώ, αν προηγείται το FIGURE SHIFT, αναφέρονται σε αριθμούς ή σύμβολα της δεύτερης ομάδας. Όταν κατά τη διάρκεια μετάδοσης γραμμάτων απαιτηθεί η αποστολή ενός αριθμού, τότε πριν τον αριθμό πρέπει να σταλεί το σύμβολο FIGURE SHIFT. Για να επανέλθει η μετάδοση γραμμάτων πρέπει να σταλεί εκ νέου το LETTER SHIFT. Όπως φαίνεται και από τον πίνακα, κάποια από τα 32 σύμβολα της κάθε ομάδας είναι κοινά και στις δύο ομάδες. Αυτά είναι τα Κενός χαρακτήρας, *Αλλαγή γραμμής*, *Διάστημα*, *Αρχή γραμμής*, FIGURE SHIFT και LETTER SHIFT.

Όλη η μέθοδος κωδικοποίησης κατά τον Μποντό βασίζεται στην ανάγκη για ταχύτερη μετάδοση πληροφορίας. Γι' αυτό, αντί να καταφύγει ο Μποντό στην κωδικοποίηση με 6 πλήκτρα δηλαδή 6 bit, που θα έδινε $2^6 = 64$ συνδυασμούς, προτίμησε να ελαχιστοποιήσει τον αριθμό των bits για κάθε χαρακτήρα σε 5. Ο κώδικας με 5 μόνο bits επέτρεπε την ταχύτερη «πληκτρολόγηση» των χαρακτήρων από τους χειριστές. Το τέχνασμα αυτό με τη χρήση των FIGURE SHIFT και LETTER SHIFT επιβεβαιώνεται και από το γεγονός ότι στη μετάδοση της φυσικής γλώσσας του ανθρώπου η εναλλαγή μεταξύ γραμμάτων και αριθμών είναι πολύ πιο σπάνια από ό,τι περίμενε κανείς.

2.6.1 Προτυποποίηση - Τηλετυπία

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

Στην τηλετυπία χρησιμοποιήθηκε ο κώδικας του Μποντό. Ο κώδικας αυτός έγινε αποδεκτός από όλα τα κράτη, πράγμα που επέτρεψε τη διεθνή επικοινωνία. Ένας κώδικας που χρησιμοποιείται σε διεθνή κλίμακα ονομάζεται **τυποποιημένος**. Η καθιέρωση και η τυποποίηση ενός κώδικα από όλους τους διεθνείς οργανισμούς τηλεπικοινωνιών δημιούργησε την ανάγκη της συνεργασίας των τηλεπικοινωνιακών φορέων και της εισαγωγής **προτύπων**. Ο κώδικας Μποντό είναι πλέον τυποποιημένος και χρησιμοποιείται στο διεθνές δίκτυο τηλετυπίας. Μια επέκταση του κώδικα του Μποντό με την προσθήκη 2 ακόμη bit είναι ο κώδικας ASCII¹. Με 7 bit οι συνδυασμοί έγιναν $2^7=128$.

1. Ο κώδικας ASCII θα αναφερθεί στο κεφάλαιο 5.

2.6.2 Μεταγωγή - TELEX

Το τηλέτυπο αποτέλεσε το τελευταίο βήμα στην πρόοδο της τηλεγραφίας. Από το 1900 που άρχισε να χρησιμοποιείται, καθιερώθηκε λόγω της απλότητας και της αξιοπιστίας του. Η τηλετυπία έγινε διεθνής υπηρεσία με το όνομα **TELEX**, χρησιμοποιώντας τον τυποποιημένο κώδικα του Μποντό η εκτεταμένη χρήση του τηλέτυπου δημιούργησε την ανάγκη συγκέντρωσης όλων των καλωδίων των τηλετύπων (γραμμών σύνδεσης), σε ένα σημείο. Στο σημείο αυτό θα ήταν εύκολη η σύνδεση δύο οποιωνδήποτε τηλετύπων μεταξύ τους. Η σύνδεση αυτή ονομάζεται **μεταγωγή** και αρχικά γινόταν από χειριστή (χειροκίνητη μεταγωγή). Τα σημεία συγκέντρωσης των γραμμών ονομάστηκαν **κέντρα μεταγωγής**. Τα κέντρα αυτά αργότερα εξυπηρετήσαν και το δίκτυο της τηλεφωνίας.

2.7 ΑΝΑΛΟΓΙΚΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗ - ΤΗΛΕΦΩΝΟ

Αρχικά για τη μετάδοση της φωνής χρησιμοποιήθηκε το σωληνωτό τηλέφωνο. Τα ηχητικά κύματα της φωνής αναγκάζονταν να «οδηγηθούν» μέσα σε ένα σωλήνα, χρησιμοποιώντας σαν μέσο μετάδοσης τον αέρα, για να φθάσουν από τον πομπό στο δέκτη (λ.χ. σωληνωτά τηλέφωνα μεταξύ γέφυρας και μηχανοστασίου πλοίων).

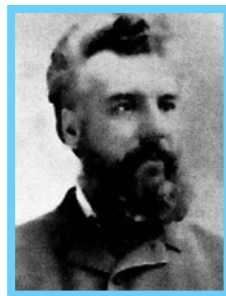
Στην τηλεγραφία χρησιμοποιήθηκε το ηλεκτρικό ρεύμα για να μεταφέρει παλμούς από τον πομπό στο δέκτη. Ένας παλμός μικρής διάρκειας λαμβανόταν σαν 0, ενώ ένας παλμός μεγάλης διάρκειας σαν 1. Πέντε συνεχόμενοι παλμοί ισοδυναμούσαν με ένα κωδικοποιημένο χαρακτήρα του αλφαβήτου. Αυτή η κωδικοποιημένη μετάδοση των δύο συμβόλων (0 και 1) εξελίχθηκε αργότερα στην ψηφιακή μετάδοση. Ήταν όμως εντελώς ακατάλληλη για τη μετάδοση **αναλογικών σημάτων** όπως η φωνή. Έτσι άρχισαν οι ερευνητές να επιδιώκουν την ανακάλυψη τρόπων για τη μετάδοση φωνής χρησιμοποιώντας το ηλεκτρικό ρεύμα.

2.7.1 Το τηλέφωνο του Ράις

Το 1861 ο Γερμανός Φίλιπ Ράις (Philip Reis) χρησιμοποίησε ένα σύστημα που το αποτελούσαν ένας πομπός, μία γραμμή, ένας δέκτης και μία ηλεκτρική πηγή. Ο πομπός ήταν ένα ηχείο, που στη μία έδρα του είχε μία μεμβράνη, επάνω στην οποία ακουμπούσε μία βελόνα. Με τα ακουστικά κύματα η μεμβράνη άρχιζε να πάλλεται και άλλοτε μεν ακουμπούσε άλλοτε δε όχι στη βελόνα. Αποτέλεσμα αυτής της διαδικασίας ήταν να διακόπτεται το ηλεκτρικό κύκλωμα πομπού-δέκτη στη θέση επαφής μεμβράνης και βελόνας με το ρυθμό της παλμικής κίνησης. Το διακοπτόμενο ρεύμα κυκλοφορούσε από το πηνίο του δέκτη και δημιουργούσε

εκεί μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο, που έκανε τον πυρήνα του πηνίου να πάλλεται στο ρυθμό των μεταβολών.

Η παλμική αυτή κίνηση ενισχυόταν από το ηχείο του δέκτη και ακουγόταν έτσι ένας ήχος, που έμοιαζε κάπως με τον αρχικό ήχο που ενεργοποιούσε τον πομπό. Στη συσκευή του αυτή ο Ράις έδωσε το όνομα τηλέφωνο. Με το σύστημα αυτό επιτεύχθηκε η μετάδοση μόνο μερικών ήχων, χωρίς ποτέ να κατορθωθεί η μετάδοση ομιλίας. Έτσι, το σύστημα δεν μπόρεσε να χρησιμοποιηθεί αποδοτικά στην πράξη και ξεχάστηκε χωρίς να εφαρμοστεί ποτέ.



Σχήμα. 2.7.1 Ο Γκράχαμ Μπελ.

2.7.2 Το τηλέφωνο του Μπελ

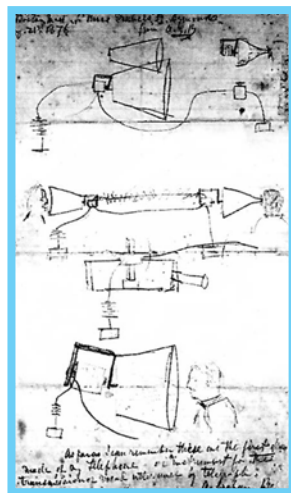
Η τηλεφωνία οφείλει ουσιαστικά την ανακάλυψή της στον **Αλεξάντερ Γκράχαμ Μπελ** (Alexander Graham Bell). Για την επινόηση αυτή απονεμήθηκε στον Μπελ δίπλωμα ευρεσιτεχνίας στις 7 Μαρτίου 1876 στις Η.Π.Α.

Ο Μπελ είχε διαγνώσει ότι για την παραγωγή ηλεκτρικού ρεύματος, το οποίο θα είχε τα ίδια χαρακτηριστικά μεταβολής με τις κυμάνσεις του αέρα της ομιλίας, **δεν** θα έπρεπε το ρεύμα αυτό να είναι διακοπτόμενο, όπως στη συσκευή του Ράις. Το ρεύμα όφειλε να μεταβάλλεται κατά **συνεχή** τρόπο με μεταβλητή απλώς ένταση. Για να το επιτύχει, εκμεταλλεύθηκε το φαινόμενο της δημιουργίας **επαγωγικού ρεύματος** λόγω μεταβολής του μαγνητικού πεδίου ενός πηνίου.

Η διάταξη του Μπελ αποτελείται από δύο όμοιες συσκευές (τηλέφωνα), οι οποίες λειτουργούσαν και ως πομποί και ως δέκτες και τη γραμμή επικοινωνίας. Το κάθε τηλέφωνο ήταν ένας απλός φυσικός μαγνήτης που είχε γύρω του μια συρμάτινη περιέλιξη (πηνίο). Είχε επίσης στερεωμένη πάνω του μία μεμβράνη. Όταν μιλούσε κανείς μπροστά από τη μεμβράνη του πομπού, αυτή άρχιζε να πάλλεται στο ρυθμό των ακουστικών κυμάτων και να μεταβάλλει ρυθμικά την απόστασή της από το μαγνήτη (πυρήνα) του πομπού. Αποτέλεσμα της μεταβολής αυτής της απόστασης ανάμεσα στη μεμβράνη και τον πυ-



Σχήμα 2.7.2 Η πρωτότυπη τηλεφωνική συσκευή του Μπελ.



Σχήμα 2.7.3 Χειρόγραφο σκαρίφημα και σημειώσεις της τηλεφωνικής του συσκευής από τον Γκράχαμ Μπελ.

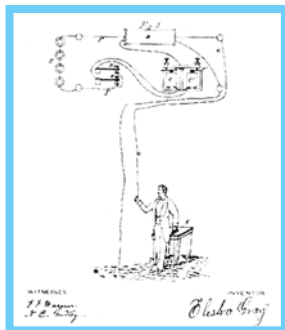


Σχήμα 2.7.4 Ο Γκράχαμ Μπελ μπροστά στην τηλεφωνική συσκευή που στάθηκε η πιο σημαντική του εφεύρεση με τεράστια συνεισφορά στην τεχνολογική εξέλιξη του ανθρώπου.

ρήνα ήταν η μεταβολή του μαγνητικού πεδίου μέσα στο οποίο βρισκόταν το πηνίο και η δημιουργία σ' αυτό ρεύματος από επαγωγή.

Το μεταβαλλόμενο αυτό ηλεκτρικό ρεύμα στο κύκλωμα πομπός - γραμμή - δέκτης έφθανε στο πηνίο του δέκτη και δημιουργούσε με τη σειρά του ένα μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο, που προσθέτονταν στο φυσικό μαγνητικό πεδίο του πυρήνα του δέκτη και έτσι γεννιόταν και εδώ ένα μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο. Αυτό προκαλούσε άλλοτε ασθενέστερη και άλλοτε ισχυρότερη έλξη στη μεμβράνη, η οποία με τον τρόπο αυτό άρχιζε να πάλλεται στο ρυθμό του ρεύματος, δηλαδή στο ρυθμό της αρχικής φωνής. Καθώς παλλόταν, ανάγκαζε το γύρω της αέρα να πάλλεται και αυτός και έτσι να ακούγεται ξανά ο αρχικός ήχος.

Για την Ιστορία μνημονεύεται εδώ ότι την ίδια ακριβώς ημέρα και μόλις 2 ώρες αργότερα ο Ελίσα Γκρέυ (Elisha Gray) κατέθεσε επίσης στις Η.Π.Α. αίτηση για κατοχύρωση ευρεσιτεχνίας για τηλέφωνο. Το τηλέφωνο του Γκρέυ είχε τον ίδιο δέκτη αλλά διαφορετικό πομπό από αυτόν του Μπελ και στηριζόταν στη μεταβολή αντιστάσεως του κυκλώματος μεταξύ της παλλόμενης ακίδας και του υγρού (οξυ), που περιεχόταν μέσα σε ένα δοχείο και που αποτελούσε τον πομπό.

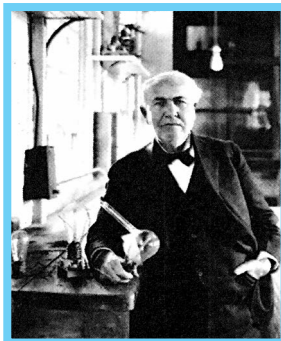


Σχήμα 2.7.5 Χειρόγραφο σκαρίφημα και σημειώσεις της τηλεφωνικής του συσκευής από τον Γκράχαμ Μπελ.

2.7.3 Το τηλέφωνο του Έντισον

Το τηλέφωνο του Μπελ σημείωσε τεράστια επιτυχία μόλις εμφανίστηκε. Η Αμερικανική Τηλεγραφική εταιρεία Ουέστερν Γιούνιον Τέλεγκραφ (Western Union Telegraph), που είχε την εκμετάλλευση της τηλεγραφίας, είδε να κινδυνεύουν τα συμφέροντά της και προσπάθησε να βρει τρόπο να ξεπεράσει τον κίνδυνο. Ο διάσημος εφευρέτης της εποχής εκείνης Τόμας Έντισον (Thomas Edison) ασχολήθηκε με το πρόβλημα για λογαριασμό της Western Union και πέτυχε να κατασκευάσει ένα πομπό διαφορετικό από αυτόν του Μπελ.

Ο πομπός του Έντισον λειτουργούσε βασιζόμενος στην ιδιότητα του άνθρακα να μεταβάλλει την εσωτερική του ηλεκτρική αντίσταση, όταν μεταβάλλεται η πίεση που ασκείται στη μάζα του. Αν μιλήσει κανείς μπροστά από μια ράβδο άνθρακα που πιέζεται και συγκρατείται από 2 ελάσματα, η ράβδος θα αρχίσει να πάλλεται από τα ηχητικά κύματα και η πίεση στα σημεία επαφών ράβδου και ελασμάτων, και επομένως στη μάζα της ράβδου, θα μεταβάλλεται με αποτέλεσμα να μεταβάλλεται η ηλεκτρική αντίστασή της. Αυτό θα έχει ως συνέπεια να μεταβάλλεται το ρεύμα και επομένως στο δέκτη θα αναπαράγεται η φωνή, όπως γίνεται και στο σύστημα του Μπελ. Ο Έντισον βελτίωσε επίσης τα χαρακτηριστικά του σήματος που εκπέμπεται από το ακουστικό προσθέτοντας ένα επαγωγικό πηνίο¹ στο κύκλωμα εκπομπής. Αργότερα, ο πομπός του Έντισον βελτιώθηκε από τον Χιούζ (Hughes) ο οποίος χρησιμοποίησε αντί για ράβδο από άνθρακα μερικά σφαιρίδια από άνθρακα ανάμεσα σε μεταλλικά ελάσματα. Στον πομπό αυτό δόθηκε για πρώτη φορά το όνομα **μικρόφωνο**. Στα σημερινά μικρόφωνα χρησιμοποιούνται ψήγματα άνθρακα μέσα στην κάψα του τηλεφώνου για καλύτερη επαφή.



Σχήμα 2.7.6 Ο Τόμας Έντισον.

2.8 ΚΕΡΑΙΕΣ ΚΑΙ ΚΥΜΑΤΑ - ΑΣΥΡΜΑΤΗ ΤΗΛΕΓΡΑΦΙΑ

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

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

1. Δύο πηνία τυλιγμένα στον ίδιο πυρήνα.

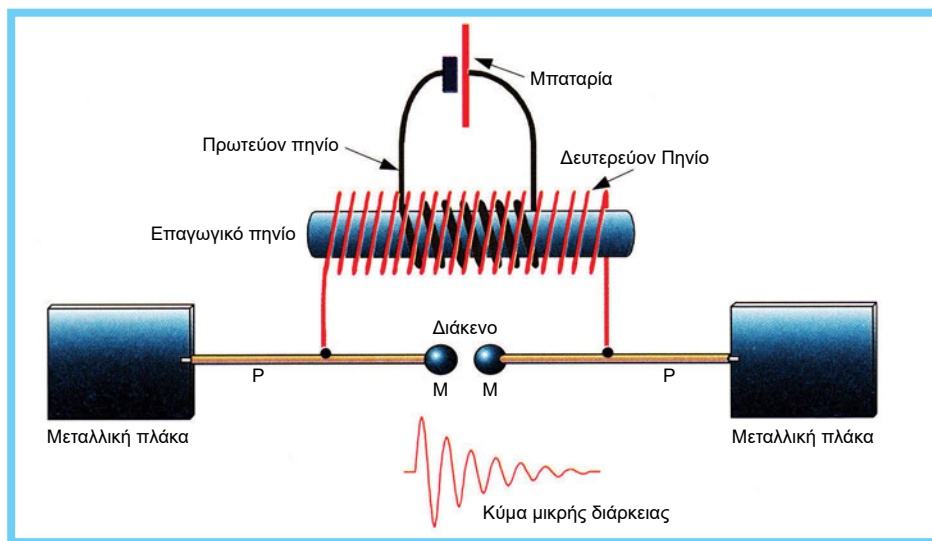
2.8.1 Ο πομπός του Χερτς

Ο πομπός του Χερτς φαίνεται στο σχήμα 2.8.1. Ήταν κατασκευασμένος από δυο όμοιες μεταλλικές πλάκες, στερεωμένες η κάθε μία σε μία μεταλλική ράβδο (P), η οποία κατέληγε σε μια μεταλλική μπάλα (M). Το κάθε σύστημα πλάκα - ράβδος - μπάλα ήταν συνδεδεμένο στην έξοδο ενός επαγωγικού πηνίου.

Στο πρωτεύον του επαγωγικού πηνίου εφαρμοζόταν συνεχής τάση και τότε λόγω της επαγωγής, εμφανιζόταν στο δευτερεύον πηνίο, για μικρό χρονικό διάστημα, μια αρκετά μεγαλύτερη τάση. Οι δύο μπάλες ήταν αρκετά κοντά μεταξύ τους και σχημάτιζαν ένα μικρό διάκενο. Όταν η τάση στο δευτερεύον ξεπερνούσε τη διηλεκτρική¹ αντοχή του αέρα, τότε περνούσε ένα σύντομο ρεύμα, με τη μορφή σπινθήρα, ανάμεσα στις μεταλλικές μπάλες.

Το ρεύμα αυτό ήταν εναλλασσόμενο υψηλής συχνότητας, εξ αιτίας του σχήματος της κάθε μεταλλικής πλάκας και της ράβδου που αποτελούσαν χωρητικότητα και αυτεπαγωγή. Στη μικρή διάρκεια που οι πλάκες διαρρέονται από εναλλασσόμενο ηλεκτρικό ρεύμα ακτινοβολούν στον γύρω χώρο ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Οι πλάκες αυτές επομένως αποτελούσαν την **κεραία εκπομπής**.

Τα **ραδιοκύματα** είναι τα αόρατα ηλεκτρομαγνητικά κύματα που διαδίδονται στην ατμόσφαιρα με την ταχύτητα του φωτός.

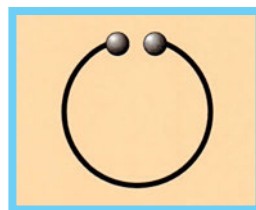


Σχήμα 2.8.1 Ο πομπός του Χερτς.

1. Διηλεκτρικό ονομάζεται ένας μονωτής ο οποίος βρίσκεται σε ηλεκτρικό πεδίο. Συνήθως στο εσωτερικό του πυκνωτή.

Για να ανιχνεύσει ο Χερτς τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα, χρησιμοποίησε ένα ανοιχτό μεταλλικό δακτύλιο με δύο μεταλλικές μπάλες στερεωμένες στα άκρα του ανοίγματος (σχήμα 2.8.2). Οι μπάλες σχημάτιζαν ένα διάκενο στο οποίο παρατηρούσαν μικροσκοπικούς σπινθήρες, όταν η διάταξη ήταν δίπλα στον πομπό και εκπέμποταν από αυτόν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.

Το παραπάνω σύστημα παραγωγής και ανίχνευσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων είχε πολύ μικρή εμβέλεια της τάξης των μερικών μέτρων. Χρησιμοποιήθηκε εκτεταμένα για πολλά χρόνια από τον Χερτς για τη μελέτη των ιδιοτήτων των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων (ανάκλαση, διάθλαση κ.λπ.).



Σχήμα 2.8.2 Ο δέκτης (ανιχνευτής) του Χερτς.



Σχήμα 2.8.3 Ο Γουλιέλμος Μαρκόνι.

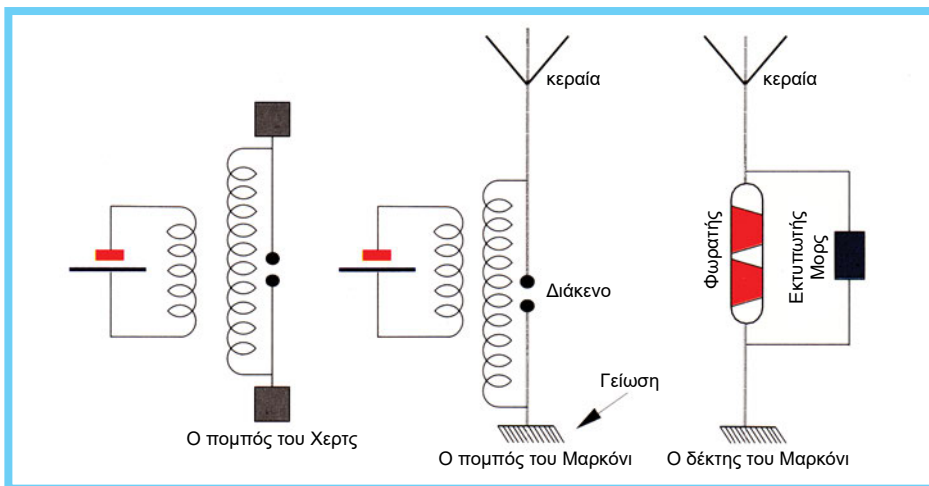
2.8.2 Ο πομπός και ο δέκτης του Μαρκόνι

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

Στα πρώτα πειράματα το 1895 πέτυχε τη μετάδοση σημάτων σε απόσταση ενός μιλίου (~ 1600 m). Η χρονολογία αυτή (1895) αποτελεί και το χρονικό ορόσημο γέννησης της ασύρματης επικοινωνίας. Ο Μαρκόνι κατάφερε να αυξήσει την εμβέλεια του πομπού του Χέρτς αντικαθιστώντας τη μία από τις δύο πλάκες της κεραίας του Χερτς με μια κατακόρυφη κεραία εναέριου καλωδίου, η οποία στηριζόταν σε υψηλούς ξύλινους στύλους.

Τη δεύτερη μεταλλική πλάκα τη σύνδεσε στη γη (γείωση).

Τα μεταδιδόμενα σήματα ήταν τηλεγραφικά (δηλ. σε κώδικα Μορς). Ο δέκτης αποτελείτο και αυτός από μία ίδια κεραία, η οποία μετέτρεπε τα ραδιοκύματα που προσέπιπταν πάνω της σε ηλεκτρικό ρεύμα και στη συνέχεια μετατρέπονταν σε ηχητικό σήμα με τη βοήθεια κατάλληλου **φωρατή**. Το πρόβλημα της φώρασης, δηλαδή της ανίχνευσης του λαμβανόμενου σήματος, είχε λυθεί από τον Γερμανό φυσικό Μπράουν (Ferdinand Braun). Το 1874 ο Μπράουν είχε παρατηρήσει ότι διάφοροι κρύσταλλοι μπορούν να άγουν ρεύμα μόνο στη μία κατεύθυνση. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται **ανόρθωση**. Με την ανόρθωση του λαμβανόμενου σήματος ο κρύσταλλος μπορεί να αναδείξει και να διαχωρίσει την εκπεμπόμενη



Σχήμα 2.8.4 Ο πομπός και ο δέκτης του Μαρκόνι.



Σχήμα 2.8.5 Οι κεραίες του πρώτου σταθμού υπερατλαντικής ασύρματης τηλεγραφικής ζεύξης στη Νέα Σκωτία του Καναδά.



Σχήμα 2.8.6 Ο Μαρκόνι δίπλα στον εξοπλισμό με τον οποίο έλαβε το πρώτο υπερατλαντικό ασύρματο τηλεγραφικό σήμα στις 12 Δεκεμβρίου 1901.

πληροφορία. Οι διατάξεις που χρησιμοποιούν τέτοιους ανορθωτικούς κρυστάλλους ονομάζονται *φωρατές*.

Χρησιμοποιώντας διάφορα υλικά για τους φωρατές, ο Μαρκόνι βελτίωνε την ευαισθησία του δέκτη και ταυτόχρονα κατασκεύαζε όλο και ισχυρότερους σταθμούς εκπομπής. Στη συνέχεια, πήγε στην Αγγλία όπου συνέστησε την εταιρεία «Marconi Wireless Telegraph and Signal Company» και αφοσιώθηκε στο μεγαλεπήβολο σχέδιό του να επιτύχει την ασύρματη υπερατλαντική ζεύξη Αμερικής- Αγγλίας. Οι περισσότεροι επιστήμονες της εποχής του πίστευαν ότι αυτό ήταν αδύνατο, διότι τα ραδιοκύματα, όπως και το φως, περιορίζονταν σε μικρές αποστάσεις διάδοσης, όση και του οπτικού ορίζοντα. Όμως ο Μαρκόνι, με βάση τα πειράματά του, είχε ενδείξεις ότι το όριο αυτό μπορούσε να ξεπεραστεί, γι' αυτό συνέχισε την προσπάθεια για την επίτευξη συνεχώς μεγαλύτερων αποστάσεων διάδοσης. Εκτός από τη συνεχή βελτίωση πομπού και δέκτη μελετούσε και τα χαρακτηριστικά της κεραίας.

Εκείνο που κανείς μέχρι τότε δεν γνώριζε ήταν ότι η ιονόσφαιρα, ένα από τα ανώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας το οποίο ανακλά τα ραδιοκύματα, θα ήταν η αιτία που θα έκανε το όνειρο του Μαρκόνι πραγματικότητα.

Οι προσπάθειες του Μαρκόνι στέφθηκαν από επιτυχία στις 12 Δεκεμβρίου του 1901. Τότε έλαβε το πρώτο μήνυμα (που ήταν οι τρεις τελείες του γράμματος «S» του Μορσικού αλφαβήτου) στο σταθμό που είχε εγκαταστήσει στην περιοχή Signal Hill της Νέας Γης του Καναδά. Το σήμα εκπομπής προερχόταν από το σταθμό Poldhu της Κορνουάλης της Αγγλίας που επίσης είχε εγκαταστήσει ο ίδιος.

Ο Μαρκόνι συνέχισε τις προσπάθειές του μέχρι που στις 15 Οκτωβρίου 1907 ξεκίνησε η λειτουργία σε πλήρη δημόσια εκμετάλλευση της ασύρματης ζεύξης μεταξύ των σταθμών Glace Bay στη Νέα Σκωτία του Καναδά και Clifden στην Ιρλανδία με ανταλλαγή δέκα χιλιάδων λέξεων την πρώτη κιόλας ημέρα λειτουργίας.



Σχήμα 2.8.7 Ο Μαρκόνι στο σταθμό λήψης υπερατλαντικών σημάτων στη Νέα Σκωτία του Καναδά.

2.9 ΦΩΡΑΣΗ - Η ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΛΥΧΝΙΑ

2.9.1 Φώραση - Η Δίοδος λυχνία

Μία ανακάλυψη η οποία βοήθησε σε μεγάλο βαθμό τη λήψη του δέκτη του Μαρκόνι ήταν η **δίοδος λυχνία**.

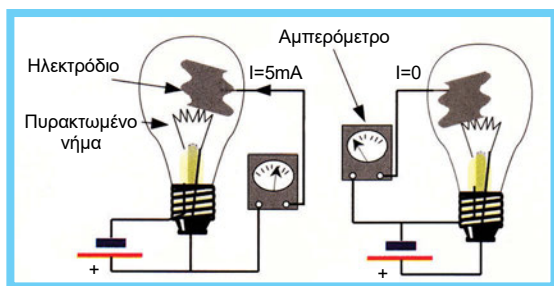
Τα πρώτα βήματα για την ανακάλυψη αυτή έγιναν το 1882, όταν ο Έντισον προσπαθούσε να βελτιώσει τη λειτουργία των ηλεκτρικών λαμπτήρων προσθέτοντας ένα λεπτό αλουμινόχαρτο στο εσωτερικό του γυαλιού.

Το αλουμινόχαρτο αυτό είχε σκοπό να απωθεί τα φορτισμένα άτομα άνθρακα να συσσωρεύονται στο γυαλί και να το θαμπώνουν. Στην δοκιμή που έκανε λοιπόν ο Έντισον παρατήρησε ότι

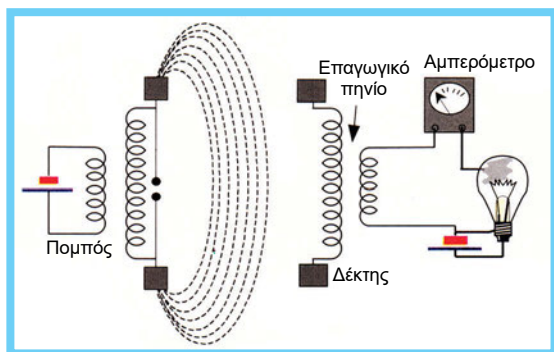
Η διάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στον πραγματικό χώρο διαφέρει από την ευθύγραμμη διάδοση στον ελεύθερο χώρο. Οι λόγοι είναι οι εξής: α) το σφαιρικό σχήμα της γήινης επιφάνειας β) η ανομοιογένεια των χαρακτηριστικών της ατμόσφαιρας τα οποία μεταβάλλονται χρονικά και γ) η παρουσία μιας ιονισμένης περιοχής, της **ιονόσφαιρας**. Ιονόσφαιρα ονομάζεται η περιοχή της ατμόσφαιρας που εκτείνεται από 80 μέχρι 600 χιλιόμετρα περίπου πάνω από την επιφάνεια της γης.

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μετάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων από την κεραία εκπομπής προς την κεραία λήψης με πολλούς δρόμους.

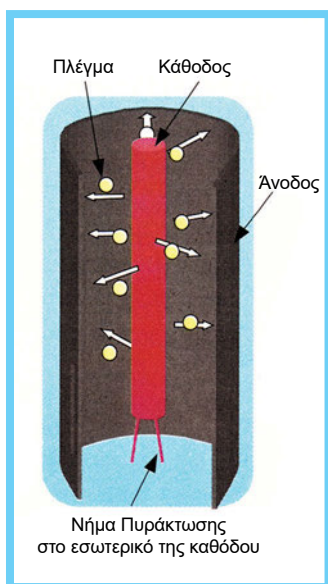
Τα κύματα που φθάνουν στο δέκτη κατόπιν ανάκλασης ή σκέδασης στην ιονόσφαιρα είναι γνωστά ως **ιονοσφαιρικά κύματα**. Η ύπαρξη της ιονόσφαιρας οφείλεται στον ιονισμό των συστατικών της ανώτερης ατμόσφαιρας από την ηλιακή ακτινοβολία. Με μία μόνον ανάκλαση από την ιονόσφαιρα τα ραδιοφωνικά κύματα μπορούν να καλύψουν αποστάσεις μέχρι περίπου 4000 χιλιόμετρα. Όμως είναι δυνατό να υποστούν πολλαπλές ανακλάσεις από την ιονόσφαιρα και τη γη με αποτέλεσμα να διαδίδονται σε ακόμα μεγαλύτερες αποστάσεις.



Σχήμα 2.9.1 Το φαινόμενο Έντισον στον ηλεκτρικό λαμπτήρα.



Σχήμα 2.9.2 Ο λαμπτήρας με το πρόσθετο ηλεκτρόδιο χρησιμοποιείται σαν φωρατής - ανορθωτής.



Σχήμα 2.9.3
Η **δίοδος** λυχνίας στην οποία φαίνεται με βέλη η κίνηση των ηλεκτρονίων από την πυρακτωμένη κάθοδο προς την άνοδο.

συνδέοντας ένα αμπερόμετρο στο πρόσθετο αυτό ηλεκτρόδιο και το θετικό πόλο της τροφοδοσίας περνούσε ένα πολύ μικρό ρεύμα. Όταν σύνδεε το αμπερόμετρο στο ηλεκτρόδιο και στον αρνητικό πόλο, δεν περνούσε κανένα ρεύμα.

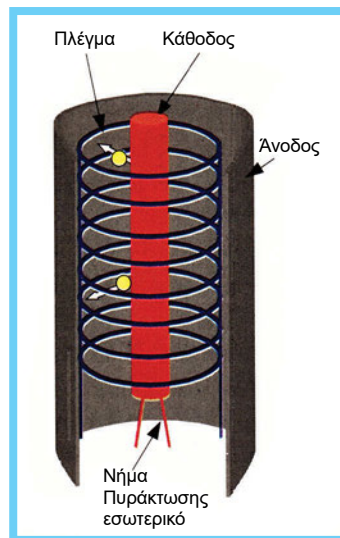
Το φαινόμενο αυτό ονομάστηκε φαινόμενο Έντισον, ενώ ο ίδιος απλώς το σημείωσε και δεν του έδωσε σημασία, διότι εκείνο το διάστημα ήταν απορροφημένος στην προσπάθειά του να αυξήσει τη διάρκεια και την απόδοση λειτουργίας των λαμπτήρων.

Αρκετά χρόνια αργότερα ο Φλέμιγκ (J. Fleming), ο οποίος είχε διαβάσει για το φαινόμενο Έντισον, αποφάσισε να το ερευνήσει και ο ίδιος. Ήθελε να χρησιμοποιήσει την ιδέα αυτή για την κατασκευή ενός νέου φωρατή. Οι μέχρι τότε γνωστοί φωρατές υπέφεραν από προβλήματα στατικού ηλεκτρισμού, μεγάλης ευαισθησίας κ.λπ.

Στις δοκιμές του ο Φλέμιγκ χρησιμοποίησε έναν πομπό σαν του Χερτς και στο δέκτη πρόσθεσε ένα επαγωγικό πηνίο. Στο πρωτεύον του επαγωγικού πηνίου σύνδεσε την κεραία. Στο ηλεκτρόδιο του λαμπτήρα σύνδεσε το ένα άκρο του δευτερεύοντος ενώ το άλλο άκρο το σύνδεσε στην αρνητική τροφοδοσία του λαμπτήρα.

Το αποτέλεσμα ήταν ακριβώς αυτό που περιμέναμε. Όταν τα κύματα έφτασαν στο δέκτη, μετατρέπονταν σε εναλλασσόμενο ρεύμα. Ο λαμπτήρας ανόρθωνε το εναλλασσόμενο ρεύμα. Όταν το ηλεκτρόδιο είχε θετική τάση σε σχέση με το πυρακτωμένο νήμα του λαμπτήρα, το αμπερόμετρο έδειχνε ένα ρεύμα.

Ο λόγος για τον οποίο το ρεύμα μπορεί να κινείται μόνο σε μία κατεύθυνση στο εσωτερικό της δίοδου είναι η θερμιονική¹ εκπομπή του πυρακτωμένου νήματος της λυχνίας. Το πυρακτωμένο νήμα στην τελική μορφή της λυχνίας καλύφθηκε από ένα μικρό κύλινδρο, ο οποίος ονομάζεται **κάθοδος**. Η κάθοδος θερμαίνεται από το «νήμα θέρμανσης», το οποίο βρίσκεται πλέον στο εσωτερικό της. Ένας μεγαλύτερος κύλινδρος περιβάλλει τον πρώτο και ονομάζεται **άνοδος**. Τα ηλεκτρόνια μπορούν να κινούνται μόνο από την κάθοδο προς την άνοδο. Η αντίθετη κίνηση εμποδίζεται από τα ηλεκτρόνια που περιβάλλουν την πυρακτωμένη κάθοδο. Η διάταξη αυτή ονομάστηκε δίοδος λυχνία, περιβάλλεται από γυαλί και λειτουργεί σε κενό αέρα. Η δίοδος λυχνία παρουσιάστηκε επίσημα το 1904, αντικαθιστώντας τους παλαιότερους φωρατές.



Σχήμα 2.9.4 Η τρίοδος λυχνία περιλαμβάνει το πλέγμα. Τα ηλεκτρόνια για να φτάσουν στην άνοδο είναι υποχρεωμένα να περάσουν μέσα από το πλέγμα. Έτσι ελέγχεται το ρεύμα ανόδου-καθόδου.

2.9.2 Ενίσχυση - Η τρίοδος λυχνία

Το επόμενο μεγάλο βήμα στην εξέλιξη της ηλεκτρονικής λυχνίας ήταν η επινόηση του Φόρεστ (Lee De Forest) το 1906, ο οποίος εισήγαγε άλλο ένα ηλεκτρόδιο ανάμεσα στην άνοδο και την κάθοδο στο εσωτερικό της λυχνίας. Το τρίτο αυτό ηλεκτρόδιο ονομάστηκε **πλέγμα** και ήταν ένα συμμάτινο κυλινδρικό σπείρωμα το οποίο περιέβαλλε την κάθοδο. Συνδέοντας το πλέγμα σε μια τάση μπορούσε να ελέγχει τη ροή των ηλεκτρονίων από την κάθοδο προς την άνοδο. Όσο πιο αρνητικό είναι το δυναμικό του πλέγματος



Σχήμα 2.9.5
Ο Λ. Φόρεστ.

¹ Θερμιονική εκπομπή είναι το φαινόμενο της εξόδου ηλεκτρονίων από ένα μέταλλο, όταν αυτό πυρακτώνεται. Τα ηλεκτρόνια αποκτούν υψηλές ταχύτητες λόγω της μεγάλης θερμοκρασίας πράγμα που τους επιτρέπει την έξοδο από το υλικό του μετάλλου.

τόσο λιγότερα ηλεκτρόνια μπορούν να διέλθουν από το πλέγμα, διότι απωθούνται από το δυναμικό του. Ο έλεγχος του ρεύματος ανόδου-καθόδου με την τάση του πλέγματος έδωσε τη δυνατότητα της ενίσχυσης των σημάτων. Έτσι γεννήθηκε η **ενισχύτρια τριόδος λυχνία**. Η ονομασία τριόδος φανερώνει τα τρία ηλεκτρόδια (άνοδος, πλέγμα, κάθοδος).

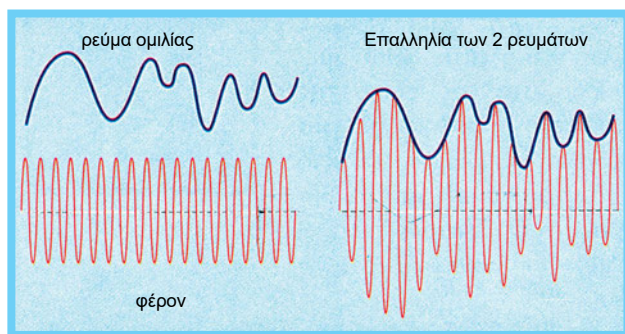
Στη συνέχεια βελτιώνοντας τη γεωμετρία και τα υλικά των ηλεκτροδίων η τριόδος λυχνία χρησιμοποιήθηκε εκτός από την ενίσχυση και σε άλλες εφαρμογές, όπως: στην παραγωγή εναλλασσόμενων σημάτων, στην άθροιση δυο σημάτων, σε κυκλώματα υψηλών συχνοτήτων κ.λπ.

Η εφεύρεση της τριόδου αποτέλεσε σταθμό στην εξέλιξη των επικοινωνιών, της ηλεκτρονικής και της τεχνολογίας. Με τις λυχνίες έγινε δυνατή η ραδιοφωνική εκπομπή και λήψη, η τηλεόραση, το ραντάρ οι διάφορες συσκευές αποθήκευσης και αναπαραγωγής ήχου, καθώς και οι πρώτοι υπολογιστές.

2.10 ΡΑΔΙΟΦΩΝΙΑ – ΕΥΡΥΕΚΠΟΜΠΗ

Η ανακάλυψη και η μαζική παραγωγή της ηλεκτρονικής λυχνίας έδωσε τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα για τη μεταφορά της φωνής. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα ακτινοβολούνται από την κεραία, η οποία τροφοδοτείται από τον πομπό με εναλλασσόμενο ρεύμα. Αυτά τα κύματα μεταδίδονται σε μεγάλες αποστάσεις. Στην τηλεγραφία, το ηλεκτρομαγνητικό κύμα μετέφερε τα σύμβολα του μορσικού αλφάβητου. Για την εκπομπή τελείας ακτινοβολείται από τον πομπό ένα κύμα μικρής διάρκειας, ενώ για τη μετάδοση της παύλας ακτινοβολείται κύμα με μεγαλύτερη διάρκεια.

Αυτό το σύστημα μετάδοσης είναι εντελώς ακατάλληλο για τη μεταφορά φωνής. Τα ηχητικά κύματα της φωνής μεταβάλλονται συνεχώς. Το ίδιο και το ρεύμα ομιλίας από το σήμα του μικροφώνου. Τέτοια σήματα λέγονται **αναλο-**



Σχήμα 2.10.1 Διαβίβαση ηλεκτρικού ρεύματος τηλεφωνικής ομιλίας ή τηλεγραφίας πάνω σε ρεύμα υψηλής συχνότητας (φερέσυχο).

γικά και μπορούν να μεταφερθούν από τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα με την τεχνική της **διαμόρφωσης**.

Η τεχνική της διαμόρφωσης, η οποία χρησιμοποιήθηκε αρχικά, ήταν η **διαμόρφωση πλάτους**. Στη διαμόρφωση αυτή ο πομπός παράγει ένα εναλλασσόμενο ρεύμα υψηλής

συχνότητας, το οποίο ονομάζεται **φέρων**. Το πλάτος του φέροντος μεταβάλλεται ανάλογα με το ρεύμα ομιλίας. Το ρεύμα που προκύπτει από την επαλληλία τους τροφοδοτεί την κεραία του ραδιοφωνικού πομπού. Το κύμα το οποίο εκπέμπεται από την κεραία μεταφέρει την ομιλία (πληροφορία) και έχει μεταβλητό πλάτος. Το κύμα αυτό λέγεται **διαμορφωμένο κύμα**. Ο ραδιοφωνικός δέκτης μπορεί να ανακτά το σήμα ομιλίας το οποίο **μεταφέρεται** από ένα διαμορφωμένο ραδιοφωνικό κύμα. Η τεχνική μετάδοσης φωνής και ήχων με τη βοήθεια ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων από ένα πομπό σε πολλούς δέκτες ονομάζεται **ραδιοφωνία**. Η ζεύξη από σημείο σε σημείο ονομάζεται **ραδιοζεύξη** ή **ασυρματική ζεύξη**.

Ραδιοφωνικές εκπομπές άρχισαν να μεταδίδονται γύρω στο 1920. Η πρώτη ραδιοφωνική εκπομπή στον κόσμο έγινε στις Ηνωμένες Πολιτείες από τους σταθμούς Πίτσμπουργκ και Νητρώιτ.

Στην Αγγλία η πρώτη ραδιοφωνική εκπομπή για το κοινό μεταδόθηκε στις 14 Νοεμβρίου 1922 από ένα σταθμό του **Μπι-Μπι-Σι** BBC (British Broadcasting Company). Η εταιρεία BBC καθόρισε πρώτη τους κανονισμούς, που ακολούθησαν στη συνέχεια όλα τα ραδιοφωνικά ιδρύματα.

Η εμφάνιση της τηλεόρασης το 1950 στην Αμερική και λίγο αργότερα στις άλλες χώρες περιόρισε σημαντικά το ραδιόφωνο. Σήμερα τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα χρησιμοποιούνται για μετάδοση ραδιοφωνικών και τηλεοπτικών προγραμμάτων και ψηφιακών δεδομένων (τελετέξτ). Η εκπομπή κυμάτων από ένα πομπό σε πολλούς δέκτες ονομάζεται **ευρυεκπομπή (broadcasting)**.

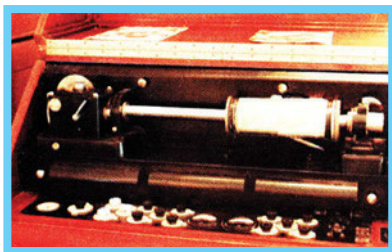
2.11 ΤΗΛΕΦΩΤΟΓΡΑΦΙΑ - ΑΝΑΛΟΓΙΚΟ ΤΗΛΕΟΜΟΙΟΤΥΠΟ

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

Η συσκευή περιελάμβανε ένα μεγάλο κύλινδρο πάνω στον οποίο στερεωνόταν η φωτογραφία ή το σχέδιο που επρόκειτο να μεταδοθεί. Ένας ίδιος κύλινδρος υπήρχε και στη συσκευή λήψης ο οποίος περιβαλλόταν από ευαίσθητο φωτογραφικό χαρτί. Οι δύο κύλινδροι περιστρέφονται αργά και **με την ίδια ακριβώς σταθερή ταχύτητα**.



Σχήμα 2.11.1 Το αναλογικό τηλεομοιότυπο (φαξ) του 1935. Από το Μουσείο Τηλεπικοινωνιών του ΟΤΕ.



Σχήμα 2.11.2 Ο κύλινδρος του αναλογικού τηλεμοιούτυπου (φαξ).

Αυτό ήταν το πιο κρίσιμο και απαραίτητο στοιχείο για τη σωστή μετάδοση της εικόνας. Ταυτόχρονα με την περιστροφή οι δύο κύλινδροι μετατοπίζονται όπως ο κοχλίας (βίδα). Κοντά στον κύλινδρο του αποστολέα υπήρχε φωτεινή πηγή (λαμπτήρας), η οποία εστίαζε το φως σε ένα σημείο πάνω στη φωτογραφία, με τη βοήθεια φακού. Το ανακλώμενο φως από το σημείο αυτό συλλεγόταν από ένα φωτοκύτταρο.

Αν το σημείο ήταν λευκό, ένα μεγάλο ρεύμα διέρρεε το φωτοκύτταρο. Αν το σημείο ήταν μαύρο, το ρεύμα ήταν ελάχιστο. Για τις ενδιάμεσες αποχρώσεις του γκριζου, το ρεύμα είχε τις αντίστοιχες ενδιάμεσες τιμές.

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

Στη λήψη ένα κύκλωμα έκανε την αντίστροφη μετατροπή. Από τη συχνότητα που είχε το λαμβανόμενο σήμα παρήγαγε μια ανάλογη τάση. Η τάση αυτή στα άκρα ενός λαμπτήρα γινόταν φωτεινή δέσμη. Η δέσμη φώτιζε το φωτογραφικό χαρτί με την ανάλογη φωτεινότητα. Η περιστροφή των κυλίνδρων ήταν **συγχρονισμένη**, και η εικόνα που **σάρωνε** ο κύλινδρος αποστολής καταγραφόταν ταυτόχρονα στο κύλινδρο λήψης. Αργότερα η τεχνική αυτή εξελίχθηκε σε ψηφιακή, με αύξηση της ανάλυσης στα 300 σημεία ανά ίντσα και μείωση του χρόνου μετάδοσης σε λιγότερο από ένα λεπτό. Είναι η γνωστή συσκευή τηλεμοιοτυπίας ή φαξ η οποία σήμερα χρησιμοποιείται ευρύτατα.

2.12 ΔΙΗΠΕΙΡΩΤΙΚΕΣ ΖΕΥΞΕΙΣ

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

ώστε να φτάσει στο άλλο άκρο αρκετό σήμα για τη λειτουργία του δέκτη.

Η ασύρματη μετάδοση έλυσε το πρόβλημα του καλωδίου στις μικρές αποστάσεις. Με τη χρήση αναμεταδότη η απόσταση αυξήθηκε αρκετά. Τοποθετώντας τον αναμεταδότη σε ολοένα μεγαλύτερο ύψος, αυξάνεται η απόσταση αναμετάδοσης. Στο έδαφος οι αναμεταδότες τοποθετούνται στα βουνά. Στον ωκεανό η μόνη λύση είναι να τοποθετηθεί ο αναμεταδότης στο διάστημα.

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

2.13 ΤΟ ΤΡΑΝΖΙΣΤΟΡ ΚΑΙ Η ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ

Η ηλεκτρονική λυχνία για παραπάνω από μισό αιώνα ήταν το βασικό εξάρτημα σχεδόν όλων των ηλεκτρονικών συσκευών. Τα μειονεκτήματα που είχε ήταν ο μεγάλος όγκος της, το υψηλό κόστος, η μεγάλη κατανάλωση, η αναμονή θέρμανσης της καθόδου και ο περιορισμένος χρόνος ζωής της. Για παράδειγμα, ο πρώτος ηλεκτρονικός υπολογιστής ο ENIAC, ο οποίος κατασκευάστηκε στο Πανεπιστήμιο της Πενσυλβάνια, χρησιμοποιούσε χιλιάδες λυχνίες οι οποίες καταλάμβαναν όγκο αρκετών δωματίων.

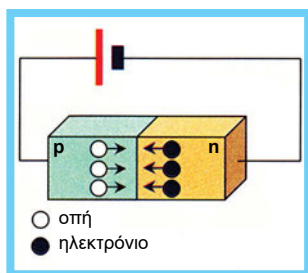
Για την τροφοδοσία του χρειαζόταν ισχύ αντίστοιχη με αυτή που καταναλώνουν 20 σπίτια. Λόγω της θέρμανσης των καθόδων όλων των λυχνιών το περιβάλλον ήταν αποπνικτικό. Η λειτουργία του ENIAC ήταν τελείως αναξιόπιστη, διότι κατά διαστήματα καίγονταν κάποια από τις χιλιάδες λυχνίες. Τα μειονεκτήματα αυτά προέτρεψαν τους μηχανικούς και τους επιστήμονες της εποχής να ανακαλύψουν κάτι μικρότερο, φτηνότερο και πιο αξιόπιστο από τις ηλεκτρονικές λυχνίες για τις ολοένα και μεγαλύτερες ανάγκες των επικοινωνιών.



Σχήμα 2.13.1 Κρύσταλλος καθαρού γερμανίου (Ge).

2.13.1 Η ένωση PN

Η ιδιότητα μερικών κρυστάλλων να εμφανίζουν διαφορετική συμπεριφορά ανάλογα με τη φορά του ρεύματος έδωσε το έναυσμα για την έρευνα και την κατασκευή ενός φωρατή μικρών διαστάσεων για να χρησιμοποιηθεί αρχικά στην



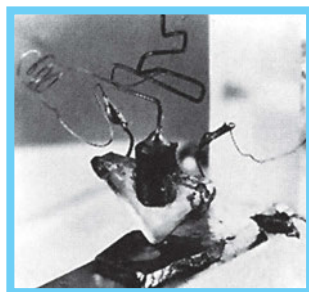
Σχήμα 2.13.2 Ένωση PN.

σμείξης κατασκευάστηκαν δύο τύποι ημιαγωγών. Ο ένας τύπος ονομάστηκε **P** και είχε ως φορείς του ηλεκτρικού ρεύματος θετικά φορτία (*οπές*) και ο δεύτερος ονομάστηκε **N** και είχε ως φορείς του ηλεκτρικού ρεύματος αρνητικά φορτία (*ηλεκτρόνια*). Η εισαγωγή προσμείξεων στο εσωτερικό του ημιαγωγού ονομάζεται **νόθευση**. Εάν φέρουμε σε επαφή δύο ημιαγωγούς, έναν τύπου P και έναν τύπου N, στο σημείο ένωσής τους εμφανίζεται μια σημαντική ιδιότητα: **η επιλεκτική κίνηση των ηλεκτρονίων προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση, αυτή από το N στο P**. Η επαφή PN ονομάζεται **δίοδος** και χρησιμοποιείται ευρύτατα στα ηλεκτρονικά κυκλώματα.

2.13.2 Το τρανζίστορ

Όπως ο Φόρεστ τοποθέτησε ένα πλέγμα στο εσωτερικό της διόδου λυχνίας, για να ελέγχει το ρεύμα της, έτσι και οι **Μπαρντίν, Μπρατέην** και **Σόκλεϋ** (J. Bardeen, W. Brattain, W. Shockley) τοποθέτησαν ένα ενδιάμεσο κομμάτι ημιαγωγού ανάμεσα σε δυο άλλους, για να ελέγχουν το διερχόμενο ρεύμα.

Η ανακάλυψη αυτή το 1948 ονομάστηκε **κρυσταλλοτρίοδος (τρανζίστορ)** και έφερε μια πραγματική επανάσταση στην Ηλεκτρονική. Ουσιαστικά η ανακάλυψη του τρανζίστορ έφερε την εποχή της **Μικροηλεκτρονικής**. Τα τρανζίστορ εκτελούν τις ίδιες ακριβώς λειτουργίες με τις λυχνίες, χωρίς να έχουν τα μειονεκτήματά τους.



Σχήμα 2.13.3 Το πρώτο τρανζίστορ το 1948.

Επειδή αποτελούνται από ημιαγωγό (λ.χ. πυρίτιο ή γερμάνιο), εμφανίζουν μια σειρά από σημαντικά πλεονεκτήματα όπως:

- χαμηλή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας,
- μικρό μέγεθος,
- χαμηλό κόστος κατασκευής,
- υψηλή αξιοπιστία,
- έλλειψη προβλημάτων υπερθέρμανσης.

Επίσης τα τρανζίστορ (κρυσταλλοτρίοδοι) είναι κατάλληλα για γρήγορη παλμική λειτουργία, δηλ. μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ηλεκτρονικά συστήματα δυαδικής (ψηφιακής) μετάδοσης πληροφορίας. Τα τρανζίστορ σταδιακά αντικατέστησαν τις λυχνίες κενού στις περισσότερες εφαρμογές και αποτέλεσαν το έναυσμα για την ανάπτυξη ολότελα νέων ηλεκτρονικών συστημάτων.

2.13.3 Η ολοκλήρωση

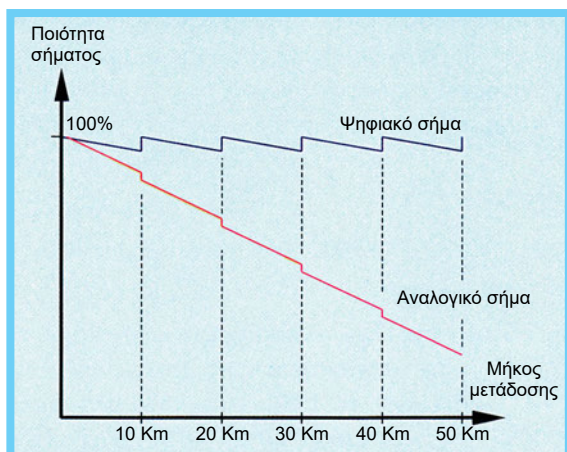
Το επόμενο μεγάλο βήμα στην εξέλιξη της Ηλεκτρονικής πραγματοποιήθηκε από τον **Τζακ Κίλμπυ** (Jack Kilby), στα εργαστήρια της εταιρείας Texas Instruments στις Η.Π.Α. Ο Κίλμπυ κατασκεύασε το 1958 το πρώτο ολοκληρωμένο κύκλωμα (Integrated Circuit, **IC**). **Ολοκληρωμένο κύκλωμα (chip)** είναι ένα σύστημα που περιλαμβάνει ενεργά στοιχεία (τρανζίστορ) και παθητικά στοιχεία (αντιστάσεις, πυκνωτές, διόδους), κατά τρόπο που να αποτελούν ένα **ενιαίο** σύνολο και είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους, όπως και στα κυκλώματα που έχουν ανεξάρτητα στοιχεία. Το χαμηλό κόστος των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων και η δυνατότητά τους να λειτουργούν σαν διακόπτες σε πολύ μεγάλη ταχύτητα προκάλεσαν τη μεγάλη ανάπτυξη των ψηφιακών επικοινωνιών.

2.13.4 Οι ψηφιακές επικοινωνίες

Οι επικοινωνίες αρχικά στην τηλεγραφία (ασύρματη και ενσύρματη) και μετά στην τηλετυπία χρησιμοποιούσαν ψηφιακές τεχνικές μετάδοσης. Αργότερα με την εμφάνιση της τηλεφωνίας η μετάδοση έγινε αναλογική και επικράτησε σε σχέση με την ψηφιακή. Η αναλογική μετάδοση επεκτάθηκε ακόμη περισσότερο με τη χρήση της ραδιοφωνίας και της τηλεόρασης.

Η ψηφιακή τεχνική, αφού περιορίστηκε για όλο αυτό το διάστημα μόνο στην τηλετυπία, επανήλθε στο προσκήνιο με την ανακάλυψη του τρανζίστορ και των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων. Στην αρχή οι ψηφιακές τεχνικές χρησιμοποιήθηκαν μόνο στην τηλεφωνία με την **παλμοκωδική διαμόρφωση (PCM)**¹. Ένα μεγάλο πλεονέκτημα της τεχνικής αυτής είναι η αναισθησία στον θόρυβο. Πράγματι το ψηφιακό σήμα μετά από μετάδοση σε μεγάλη απόσταση μπορεί να **αναγεννηθεί**, δηλαδή να γίνει ακριβώς όπως ήταν αρχικά. Αντιθέτως το αναλογικό σήμα, αν ενισχυθεί μετά από μετάδοση σε γραμμή μεγάλου μήκους, θα συνοδεύεται πάντα από αρκετά **ανεπιθύμητα σήματα (θόρυβο)**. Τα σήματα αυτά καθώς βρίσκονται στην ίδια γραμμή με το ωφέλιμο αναλογικό σήμα, θα ενισχύονται υποχρεωτικά και αυτά από τον ενισχυτή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη

1. Η παλμοκωδική διαμόρφωση θα εξηγηθεί στο κεφάλαιο 5.



Σχήμα 2.13.3 Η υποβάθμιση της ποιότητας ενός αναλογικού και ενός ψηφιακού σήματος σε σχέση με την απόσταση. Κάθε 10 km υπάρχει αναγεννητής στο ψηφιακό σήμα και ενισχυτής στο αναλογικό. Η ποιότητα στο ψηφιακό στο τέλος παραμένει αμετάβλητη.

συνεχούς αυτής εξέλιξης των τηλεφωνικών κέντρων ήταν η μετατροπή τους τελικά σε μεγάλους υπολογιστές τηλεπικοινωνιών, οι οποίοι μεταφέρουν πληροφορίες (ήχο, εικόνα, βίντεο, φωνή, γραφικά, κείμενο, δεδομένα κ.λπ.). Οι πληροφορίες που μεταφέρονται από το τηλεφωνικό δίκτυο είναι πλέον σε **ψηφιακή μορφή**.

2.14 ΑΠΟ ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΡΕΥΜΑ ΣΤΟ ΦΩΣ

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

Επιπλέον, τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα επηρεάζονται πολύ λιγότερο από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες. Τα κύματα αυτά από τις αρχές του 20ού αιώνα (βλ. ασύρματη τηλεγραφία Μαρκόνι) επέτρεψαν την **ασύρματη** μετάδοση σε μεγάλες αποστάσεις **δεδομένων** (όπως στην τηλετυπία) και **φωνής** (όπως στην τηλεφωνία).

Υπήρχαν όμως αρκετοί περιορισμοί στον ρυθμό μετάδοσης, δηλαδή την ποσότητα πληροφορίας την οποία μπορούσαν να μεταφέρουν τα κύματα. Η ποσότητα πληροφορίας, στην περίπτωση δεδομένων, μετρίεται σε λέξεις ανά λεπτό και, όπως έχει αναφερθεί, ονομάζεται **ρυθμός μετάδοσης**. Ήταν ήδη γνωστό

ότι όσο μεγαλύτερη συχνότητα είχε το κύμα, τόσο περισσότερη πληροφορία μπορεί να μεταφέρει. Οι τηλεγραφικοί πομποί του Μαρκόνι χρησιμοποιούσαν κύματα με συχνότητα 300kHz, η οποία είναι πολύ μικρή σε σύγκριση με τη συχνότητα που έχει το φως. Ήταν αναγκαίο να βρεθεί ένας τρόπος, ώστε από τη μια πλευρά να αξιοποιηθεί η δυνατότητα μετάδοσης μεγάλης ποσότητας πληροφορίας που επιτρέπει το φως και από την άλλη πλευρά να αποφεύγονται τα προβλήματα της μετάδοσης του φωτός στην ατμόσφαιρα.

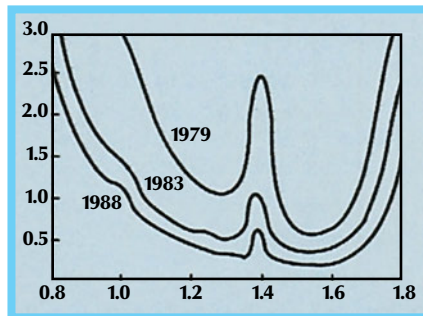
Η λύση προτάθηκε για πρώτη φορά το 1966 από τους **Κάο** (K.C. Kao) και **Χόκαμ** (G.A. Hockham) στο εργαστήριο της ITT στο Χάρλοου (Harlow, Αγγλία). Η λύση αυτή ήταν η χρήση ενός γυάλινου κυματοδηγού¹, ο οποίος ονομάστηκε **οπτική ίνα**. Εξάλλου, η δυνατότητα διάδοσης του φωτός σε γυάλινους (διηλεκτρικούς) κυματοδηγούς είχε ήδη αποδειχθεί θεωρητικά από τους **Χόνδρο** και **Ντιμπάου** (Debye) το 1910. Η εξασθένηση των οπτικών ινών στα πρώτα πειράματα των Κάο και Χόκαμ ήταν της τάξης του 1dB/30cm. Σήμερα, η εξασθένηση του φωτός μέσα σε μια οπτική ίνα έχει φθάσει στο 1dB/5km². Η τιμή αυτή είναι χαμηλότερη (πολλές τάξεις μεγέθους) από την εξασθένηση σε **οποιοδήποτε άλλο μέσο** ενσύρματο ή ασύρματο.

Η εξασθένηση σχετίζεται άμεσα με την καθαρότητα του γυαλιού. Όσο πιο καθαρό είναι το γυαλί, τόσο μικρότερη είναι η εξασθένησή του. Στο σχήμα 2.14.1 φαίνεται η εξέλιξη στην κατασκευή των οπτικών ινών. Στην περιοχή που η εξασθένηση είναι ελάχιστη η απόσταση μετάδοσης γίνεται μέγιστη. Μια τέτοια περιοχή ονομάζεται **τηλεπικοινωνιακό παράθυρο** και, όπως δείχνεται, βρίσκεται στην περιοχή με μήκος κύματος από 1,5 μέχρι 1,6 μm .

Η θεαματική μείωση της εξασθένησης των ινών συντελέστηκε σε δεκαπέντε μόλις χρόνια από την ανακάλυψή τους. Η βελτίωση αυτή οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στη γνώση κατασκευής και επεξεργασίας του γυαλιού από τους αρχαίους

Μια φωτεινή πηγή με μήκος κύματος $\lambda=0,001\text{mm}$ έχει συχνότητα $f=c/\lambda$, δηλαδή

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{m}}{\text{s}}}{10^6 \text{m}} = 300.000 \text{GHz}$$



Σχήμα 2.14.1 Η εξέλιξη της εξασθένησης στην οπτική ίνα σε σχέση με το μήκος κύματος λ .

1. Κατά τον ίδιο τρόπο που ο χάλκινος αγωγός μεταφέρει ("οδηγεί") το ηλεκτρικό ρεύμα, ο **κυματοδηγός** οδηγεί - μεταφέρει τα κύματα σε μεγάλες αποστάσεις περιορίζοντάς τα στο εσωτερικό του και απομονώνοντάς τα από τις επιδράσεις του περιβάλλοντος.

2. για φως με μήκος κύματος $\lambda = 1,55 \mu\text{m}$.

ακόμα χρόνους. Ιστορικά αναφέρεται η κατασκευή γυαλιού στην αρχαία Αίγυπτο, το οποίο ήταν διαφανές για πάχη μέχρι 1 mm (η διαφάνεια αυτή ισοδυναμεί με εξασθένηση ~ 20 dB/mm). Σήμερα, η ίδια εξασθένηση αντιστοιχεί σε οπτική ίνα μήκους περίπου 100 km (0,2 dB/km). Οι οπτικές ίνες κατασκευάζονται σήμερα από διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) με λίγες προσμίξεις.

Η ύπαρξη των οπτικών ζεύξεων και γενικά των **ΟΠΤΙΚΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ** βασίζεται στις οπτικές ίνες και έχει μια ιστορία 35 περίπου χρόνων.

Για να πραγματοποιηθεί μια ζεύξη με οπτική ίνα, χρειάζεται μια φωτεινή πηγή στον πομπό και ένας φωρατής στο δέκτη. Η ιδανική φωτεινή πηγή για την οπτική ίνα είναι το λέιζερ (βλ. κεφάλαιο 4), το οποίο αναπτύχθηκε παράλληλα με αυτήν. Επίσης στο δέκτη ως φωρατής χρησιμοποιείται η φωτοδίοδος (βλ. κεφάλαιο 4).

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ 2ΟΥ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

1. Ποια ήταν τα κυριότερα συστήματα μετάδοσης των Αρχαίων Ελλήνων;
2. Ποια ήταν τα πλεονεκτήματα του οπτικού τηλεγράφου σε σχέση με τον υδραυλικό τηλεγράφο;
3. Τι είναι ο πομπός και ο δέκτης;
4. Ποιος ήταν ο ρυθμός μετάδοσης στα αυτόματα τηλεγραφικά συστήματα;
5. Τι είναι η πολυπλεξία και ποια τα πλεονεκτήματά της;
6. Ποια είναι τα βασικά σημεία του συστήματος κωδικοποίησης Μποντό;
7. Τι είναι το τηλέτυπο;
8. Ποια είναι η αρχή λειτουργίας του τηλεφώνου Μπελ;
9. Ποιες βελτιώσεις έγιναν στην τηλεφωνική συσκευή από τον Έντισον και τον Χιουζ;
10. Πώς λειτουργούσε ο πομπός και ο δέκτης του Χερτς;
11. Τι βελτιώσεις έκανε ο Μαρκόνι στον πομπό και δέκτη του Χερτς;
12. Πώς γίνεται η φώραση στη δίοδο λυχνία;
13. Τι λειτουργίες μπορεί να κάνει η τριόδος λυχνία;
14. Με ποιον τρόπο μεταδίδεται ασύρματα ένα σήμα ομιλίας;
15. Ποια είναι η αρχή λειτουργίας της τηλεφωτογραφίας;
16. Ποια ήταν τα μειονεκτήματα του πρώτου ηλεκτρονικού υπολογιστή με λυχνίες;
17. Πώς και πότε ξεκίνησε η εποχή της μικροηλεκτρονικής;
18. Ποια είναι τα πλεονεκτήματα των ημιαγωγών;
19. Τι είναι το ολοκληρωμένο κύκλωμα (chip);
20. Ποια είναι τα πλεονεκτήματα της ψηφιακής σε σχέση με την αναλογική μετάδοση;
21. Γιατί το φως επιτρέπει υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων;
22. Από τι εξαρτάται η εξασθένηση των οπτικών ινών;
23. Σε ποια μήκη κύματος οι ίνες παρουσιάζουν την ελάχιστη εξασθένηση;

Κεφάλαιο

3

Μέσα Μετάδοσης

Το μέσο μετάδοσης είναι απαραίτητο συστατικό οποιουδήποτε τηλεπικοινωνιακού συστήματος. Στα πρώτα συστήματα μετάδοσης στην αρχαιότητα το μέσο αυτό ήταν ο αέρας.

Αργότερα με την ανακάλυψη του ηλεκτρισμού χρησιμοποιήθηκαν σαν μέσο οι μεταλλικοί αγωγοί. Ένα άλλο μέσο που παρουσιάστηκε στο δεύτερο κεφάλαιο είναι η οπτική ίνα, η οποία μεταφέρει φωτεινά σήματα.

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

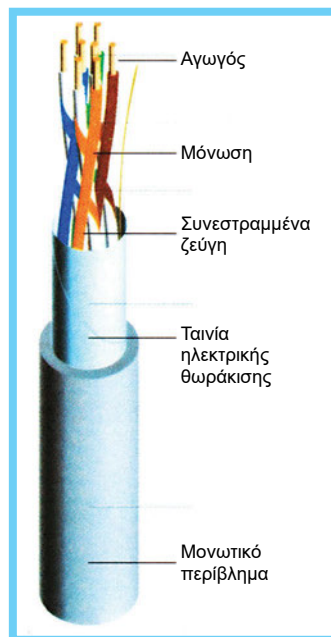
Από τις πρώτες κιόλας χρήσεις των διαφόρων συστημάτων επικοινωνίας χρησιμοποιήθηκαν διάφορα υλικά σαν μέσο μετάδοσης.

Ένας γενικός διαχωρισμός των μέσων αυτών είναι:

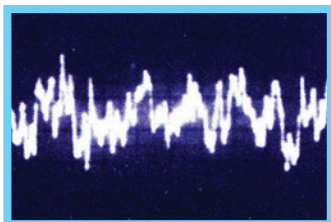
- ενσύρματα μέσα
- ασύρματα μέσα

Ως ασύρματο μέσο εννοείται ο αέρας, μέσω του οποίου μπορούν να διαδοθούν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα ή διάφορα φωτεινά σήματα που μεταφέρουν τη χρήσιμη πληροφορία.

Στα ενσύρματα μέσα ανήκει μία ποικιλία από υλικά τα οποία χρησιμοποιήθηκαν και χρησιμο-



Σχήμα 3.1.1 Θωρακισμένο καλώδιο με πολλαπλά συνεστραμμένα ζεύγη χαλκινων αγωγών.



Σχ. 3.1.2 Ο ηλεκτρονικός θόρυβος στη άκρη ενός χάλκινου ζεύγους όπως φαίνεται στον παλμογράφο.

ποιούνται μέχρι σήμερα, το καθένα για τις ιδιαίτερες ιδιότητές του. Στο πλαίσιο των τηλεπικοινωνιών τα σπουδαιότερα ενσύρματα μέσα διάδοσης που συναντώνται σήμερα σε διάφορες εφαρμογές είναι τα ακόλουθα:

- δισύρματα χάλκινα καλώδια
- ομοαξονικά καλώδια
- οπτικές ίνες

Καθένα από τα παραπάνω μέσα θα αναλυθεί στη συνέχεια και θα αναφερθούν επίσης οι βασικές του ιδιότητες. Ιδιαίτερο βάρος θα δοθεί στα πλεονεκτήματα και στα μειονεκτήματα σε σχέση με τη διάδοση τηλεπικοινωνιακών σημάτων.

Τέλος, θα αναφερθούν όλα τα μέσα και οι τρόποι διάδοσης που αφορούν μια ειδική κατηγορία τηλεπικοινωνιακών ζεύξεων και συγκεκριμένα των διηπειρωτικών. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι υποβρύχιες και οι δορυφορικές ζεύξεις.

3.1 ΧΑΛΚΙΝΑ ΚΑΛΩΔΙΑ



Σχήμα 3.1.3 Διπλό θωρακισμένο καλώδιο με πολλαπλά ζεύγη χάλκινων αγωγών.

Πρόκειται για το απλούστερο και φτηνότερο μέσο που μπορεί να χρησιμοποιήσει κανείς για την τηλεπικοινωνιακή ζεύξη δύο σημείων. Η χρήση του στηρίζεται στην εκμετάλλευση της μικρής ωμικής αντίστασης του χαλκού. Μικρή ωμική αντίσταση σημαίνει μικρή εξασθένηση του σήματος. Τα χάλκινα καλώδια χρησιμοποιούνται στη μετάδοση αναλογικών σημάτων,

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

3.1.1 Διαφωνία - Θόρυβος

Σε ένα καλώδιο συνήθως τοποθετούνται πολλά χάλκινα ζεύγη. Τα σύρματα του κάθε ζεύγους, λόγω του σχήματός τους (δύο παράλληλοι αγωγοί), συμπερι-

φέρονται σαν κεραίες. Ένα μέρος από την ηλεκτρική ενέργεια που οδεύει σε ένα ζεύγος ακτινοβολείται και επηρεάζει τα γειτονικά ζεύγη. Ταυτόχρονα κάθε ζεύγος λαμβάνει τα σήματα από τα γειτονικά του ζεύγη. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **διαφωνία (crosstalk)**.

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

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

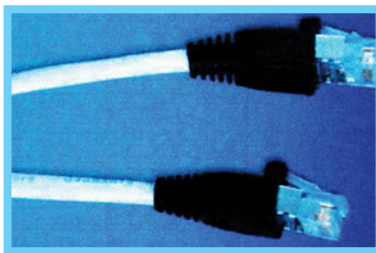
Η ευαισθησία στο θόρυβο σχετίζεται με την ευκολία με την οποία το μέσο μετάδοσης επηρεάζεται από εξωτερικά ανεπιθύμητα σήματα.

Προκειμένου να αντιμετωπιστούν ως ένα βαθμό τα παραπάνω προβλήματα, χρησιμοποιείται μία παραλλαγή των απλών δισύρματων καλωδίων, όπου δύο μονωμένοι αγωγοί είναι συνεστραμμένοι μεταξύ τους. Τα καλώδια αυτά ονομάζονται **συνεστραμμένα δισύρματα καλώδια**. Ο βασικός λόγος της συνέλιξής τους είναι ο περιορισμός της λήψης εξωτερικών σημάτων από το ζεύγος.

Το γεγονός αυτό περιορίζει τη διαφωνία και την επίδραση του θορύβου. Πράγματι μέσω συνεστραμμένων καλωδίων ένα αναλογικό σήμα μπορεί να διανύσει αποστάσεις της τάξης των μερικών χιλιομέτρων.

Για το λόγο αυτό ήταν και το πρώτο μέσο που χρησιμοποιήθηκε στα τηλεφωνικά δίκτυα. Προκειμένου να αυξηθεί και άλλο η ανοχή των καλωδίων στο θόρυβο, μονώνονται αυτά με εξωτερικό αγωγίμο προστατευτικό περίβλημα. Τα καλώδια αυτά ονομάζονται **θωρακισμένα (Shielded)**. Ένα θωρακισμένο καλώδιο μπορεί να περιέχει περισσότερα από ένα ζεύγη συνεστραμμένων αγωγών. Προκειμένου να περιοριστούν τα φαινόμενα διαφωνίας, χρησιμοποιείται διαφορετικό βήμα συνέλιξης σε κάθε ζεύγος. Το περίβλημα, ανάλογα με τη χρήση του καλωδίου, χρησιμοποιείται πολλές φορές και για προστασία από μηχανικές, περιβαλλοντικές, χημικές και άλλες καταπονήσεις (για παράδειγμα στα υπόγεια καλώδια).

Στις περιπτώσεις αυτές κατασκευάζεται από μέταλλο ή ειδικό πλαστικό. Αν υπάρχει ανάγκη και για προστασία από μεγάλες μηχανικές καταπονήσεις, χρησιμοποιείται προστατευτικό υλικό από χάλυβα. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα χάλκινου συνεστραμμένου καλωδίου δίνεται στο σχήμα 3.1.3.



Σχήμα 3.1.4 Οι συνδετήρες (RJ45) με τους οποίους τερματίζονται τα καλώδια που περιέχουν χάλκινα ζεύγη.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ
3	μέγιστη συχνότητα 16MHz,
4	μέγιστη συχνότητα 20MHz
5	μέγιστη συχνότητα 100MHz
6	μέγιστη συχνότητα 250MHz
7	μέγιστη συχνότητα 600MHz
Προδιαγραφές καλωδίων σύμφωνα με το ISO/IEC 11801 και ANSI/TIA/EIA-568	

Πίνακας 3.1 Κατηγορίες χάλκινων συνεστραμμένων ζευγών.

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

Πίνακας 3.2 Η ισχύς και η εξασθένηση (απώλειες).

3.1.2 Εύρος ζώνης - εξασθένηση

Τα δισύρματα καλώδια μπορούν να μεταδώσουν σήματα με συχνότητα μερικών εκατοντάδων MHz. Σήματα με μεγαλύτερη συχνότητα είναι αδύνατον να μεταδοθούν μέσα από τα καλώδια αυτά.

Η ακριβής τιμή της μέγιστης συχνότητας, η οποία μπορεί να μεταδοθεί από ένα δισύρματο καλώδιο, εξαρτάται από τις διαστάσεις των αγωγών και ονομάζεται **εύρος ζώνης**.

Το εύρος ζώνης μεγαλώνει όσο μεγαλώνει και η διάμετρος του κάθε χάλκινου αγωγού. Ανάλογα με τη μέγιστη συχνότητα μετάδοσης, τα καλώδια με χάλκινα συνεστραμμένα ζεύγη χωρίζονται στις κατηγορίες που φαίνονται στον πίνακα 3.1. Η πιο συνηθισμένη είναι η **κατηγορία 5**, η οποία χρησιμοποιείται ευρύτατα στα δίκτυα υπολογιστών.

Ένα άλλο μεγάλο πρόβλημα που παρουσιάζεται στα χάλκινα καλώδια είναι η μεγάλη εξασθένηση του μεταδιδόμενου σήματος σε σχέση με την απόσταση.

Η εξασθένηση δείχνει πόσο μειώνεται η στάθμη της ισχύος σε ένα σήμα, κατά τη μετάδοσή του μέσα από ένα φυσικό μέσο μετάδοσης. Μετράται σε dB ανά μονάδα μήκους.

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

Τα χάλκινα καλώδια χρησιμοποιούνται κυρίως:

α) για τη μεταφορά αναλογικών ακουστικών σημάτων και

β) για τη μεταφορά ψηφιακών σημάτων σε μικρές αποστάσεις

Στον πίνακα 3.2 φαίνεται ότι με εξασθένηση (απώλειες) 20dB χάνεται το 99% της ισχύος του σήματος επαληθεύοντας έτσι το παραπάνω παράδειγμα. Αυτό που πρέπει να τονιστεί είναι ότι **με εξασθένηση ή απώλειες 3dB απομένει η μισή από την αρχική ισχύ** του σήματος.

Εύρος Ζώνης Συχνότητων (bandwidth) ονομάζεται το φάσμα των συχνοτήτων που μπορούν να διαδοθούν ανεμπόδιστα μέσα από το φυσικό μέσο. Η έννοια αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική καθώς ο **ρυθμός μετάδοσης** ψηφιακών δεδομένων είναι ανάλογος με το εύρος ζώνης.

3.2 ΟΜΟΑΞΟΝΙΚΑ ΚΑΛΩΔΙΑ

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

α) επιτρέπει τη μετάδοση αναλογικών σημάτων με μεγάλο εύρος ζώνης, τυπικά 500 MHz,

β) επιτρέπει τη μετάδοση ψηφιακών σημάτων με υψηλό ρυθμό μετάδοσης, 10 εκατομμύρια bit ανά δευτερόλεπτο ($10 \cdot 10^9 \text{ bit/s}$ ή 10Gbit/s ή 10Gb/s ή 10Gbps, **Giga bit per second**),

γ) έχει μικρότερη εξασθένηση και επομένως μπορεί να μεταδώσει ένα σήμα σε μεγάλη απόσταση,

δ) παρουσιάζει μεγαλύτερη αναισθησία στο θόρυβο,

ε) είναι ασφαλές.

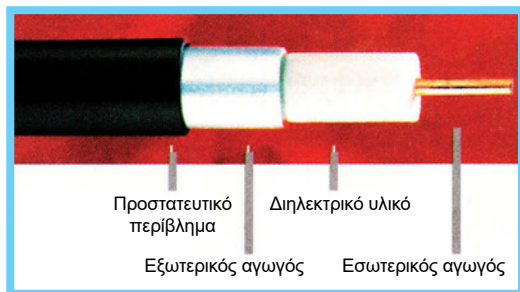
Παράδειγμα. Ένα χάλκινο ζεύγος μήκους ενός χιλιομέτρου μεταφέρει ηλεκτρικό σήμα με ισχύ 10W. Στο τέλος του καλωδίου το ηλεκτρικό σήμα έχει ισχύ 100mW. Να υπολογιστεί η εξασθένηση του καλωδίου.

Έστω $P_1=10\text{W}$ η ισχύς του σήματος στην αρχή του καλωδίου και $P_2=100\text{mW}$ η ισχύς στο τέλος. Από τη σχέση $A=10 \cdot \log \frac{P_2}{P_1}$, μπορεί να υπολογιστεί η εξασθένηση.

$$A=10 \cdot \log \frac{100 \cdot 10^{-3}}{10} \text{ dB} = 10 \cdot \log 10^{-2} \text{ dB} = -20 \text{ dB}$$

Το πρόσημο (-) παραλείπεται διότι δείχνει απλώς ότι η ισχύς μειώθηκε, οπότε: $A=20\text{dB}$.

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



Σχήμα 3.2.1 Ομοαξονικό καλώδιο.



Σχήμα 3.2.2 Διάφορα είδη ομοαξονικών καλωδίων.



Σχήμα 3.2.3 Συνδετήρες για ομοαξονικά καλώδια.

Όπως φαίνεται και από το σχήμα 3.2.1 ένα ομοαξονικό καλώδιο σχηματίζεται από δύο αγωγούς με κυλινδρικό σχήμα. Ο εσωτερικός αγωγός είναι μέσα στον εξωτερικό κατά τέτοιον τρόπο, ώστε ο δεύτερος να περιβάλλει πλήρως τον πρώτο. Ακριβώς, επειδή οι δύο αγωγοί έχουν κοινό άξονα, τα καλώδια αυτού του τύπου ονομάζονται ομοαξονικά. Οι δύο αγωγοί διαχωρίζονται πλήρως μεταξύ τους με τη χρήση ενός μονωτικού υλικού, το οποίο από τη μία αποτρέπει την αγωγή επαφή μεταξύ τους και από

την άλλη επιτρέπει τη διάδοση του σήματος. Τα μονωτικά αυτά υλικά ονομάζονται *διηλεκτρικά*.

Εξωτερικά το καλώδιο περιβάλλεται από ειδικό μονωτικό και προστατευτικό περίβλημα.

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

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

Τα ομοαξονικά καλώδια χρησιμοποιούνται για μετάδοση τόσο αναλογικών όσο και ψηφιακών σημάτων. Αν κάποια εφαρμογή απαιτεί ζεύξεις μεγάλων αποστάσεων, είναι απαραίτητη η χρήση ενισχυτών - αναμεταδοτών κατά τακτά διαστήματα. Λόγω των ιδιοτήτων τους αυτών χρησιμοποιούνται σε πολλαπλές εφαρμογές, όπως σε τοπικά δίκτυα ηλεκτρονικών υπολογιστών (βλέπε κεφάλαιο 10), σε υπεραστικές συνδέσεις του τηλεφωνικού δικτύου αλλά και στην καλωδιακή τηλεόραση.

Ένα μειονέκτημα των ομοαξονικών καλωδίων είναι ότι λόγω της κατασκευής τους είναι αρκετά άκαμπτα και απαιτούν επίσης ειδικούς συνδετήρες (connectors) για να συνδεθούν με τις διάφορες τερματικές συσκευές (βλέπε σχήμα 3.2.3).

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

Σχήμα 3.3

3.3 ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΖΕΥΞΕΙΣ

Εκτός από τα χάλκινα ζεύγη και τα ομοαξονικά που εξετάστηκαν στις προηγούμενες παραγράφους, μια από τις σημαντικότερες ζεύξεις, με πολλαπλές εφαρμογές, είναι η ασύρματη μετάδοση.

Ασύρματη ονομάζεται η ζεύξη που είναι ανεξάρτητη από υλικά μέσα (όπως τα καλώδια) και χρησιμοποιεί ως μέσο διάδοσης τον αέρα ή το κενό. Η ασύρματη μετάδοση στηρίζεται στη διάδοση σημάτων στην ατμόσφαιρα μέσω της χρήσης κατάλληλων κεραιών. Η **κεραία** είναι ένα σύστημα κατάλληλου σχήματος, το οποίο επιτρέπει στην ενέργεια να περάσει από το ενσύρματο μέσο μεταφοράς (καλώδιο) στον ελεύθερο χώρο (ασύρματο μέσο), με όσο το δυνατόν καλύτερη απόδοση.

Οι κεραίες εκπομπής, στις χαμηλές συχνότητες, είναι κατασκευασμένες από μεταλλικά μέρη. Τροφοδοτούνται με εναλλασσόμενο ρεύμα από τον πομπό και ακτινοβολούν στον χώρο ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Οι κεραίες λήψεως λαμβάνουν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα από το χώρο και τα μετατρέπουν σε ηλεκτρικά σήματα. Σύμφωνα με τα παραπάνω θα μπορούσε να δοθεί ένας δεύτερος ορισμός για την κεραία γενικά, σαν «*τη διάταξη η οποία παρεμβάλλεται και προσαρμόζει τη γραμμή μεταφοράς¹ στον ελεύθερο χώρο*».

1. Η γραμμή μεταφοράς είναι το ειδικό καλώδιο που συνδέει την κεραία με τον πομπό ή το δέκτη.

Γενικά, **κατευθυντικότητα** ονομάζεται η ιδιότητα που έχουν ορισμένα μέσα μετάδοσης να κατευθύνουν το διαδιδόμενο κύμα ή σήμα προς μία συγκεκριμένη διεύθυνση. Η έλλειψη κατευθυντικότητας σημαίνει την απώλεια σημαντικού μέρους της ισχύος του σήματος μια και αυτό διαδίδεται προς όλες τις κατευθύνσεις άσχετα αν ο παραλήπτης βρίσκεται σε μία συγκεκριμένη. Γενικά τα ενσύρματα μέσα θεωρούνται κατευθυντικά ενώ οι ασύρματες ζεύξεις μη κατευθυντικές. Το τελευταίο δεν είναι απόλυτα σωστό μια και με χρήση κατάλληλων κεραιών και ειδικά σε υψηλές συχνότητες, μπορεί κανείς να πετύχει ιδιαίτερα κατευθυντικές ζεύξεις.



Σχήμα 3.3.1 Κεραία Δορυφορικής Λήψης.

Οι βασικές ιδιότητες που καθορίζουν τη λειτουργία μιας κεραίας είναι το σχήμα της, και το σημείο στο οποίο τροφοδοτείται από τον πομπό. Το σχήμα της καθορίζει και την **κατεύθυνση** στην οποία θα ακτινοβολούνται τα κύματα, αν είναι κεραία εκπομπής ή την κατεύθυνση από την οποία θα λαμβάνονται τα κύματα, αν είναι κεραία λήψης.

Στα πλεονεκτήματα της ασύρματης ζεύξης περιλαμβάνεται η ανεξαρτησία της από υλικά μέσα διάδοσης, πράγμα

που σημαίνει ότι είναι δυνατή η ζεύξη δύο σημείων χωρίς την ανάγκη ένωσης αυτών των δύο σημείων με κάποιο καλώδιο.

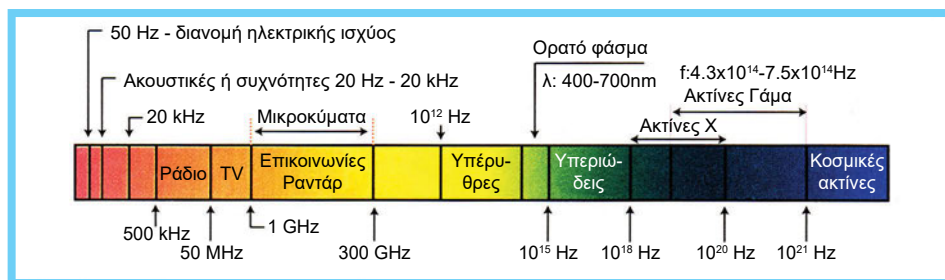
Υπάρχουν μάλιστα χαρακτηριστικές περιπτώσεις ζεύξεων που η επικοινωνία θα ήταν αδύνατη χωρίς τη χρήση ασυρμάτων μεθόδων. Παραδείγματα τέτοιων ζεύξεων είναι οι επικοινωνίες μεταξύ πλοίων ή μεταξύ πλοίου και στεριάς, μεταξύ εδάφους και αεροπλάνων κ.λπ.

Στα μειονεκτήματα των ασυρμάτων ζεύξεων περιλαμβάνονται η μεγάλη ισχύς που απαιτείται, προκειμένου τα σήματα να διαδοθούν σε μεγάλες αποστάσεις.

Η απαίτηση αυτή οφείλεται στη μεγάλη εξασθένηση που παρουσιάζουν τα σήματα κατά τη διάδοσή τους στην ατμόσφαιρα. Ένα άλλο μειονέκτημα των ασύρματων ζεύξεων είναι η μεγάλη ευαισθησία τους σε παρεμβολές είτε φυσικές (θόρυβος) είτε τεχνητές. Κατά συνέπεια η ασφάλεια των μεταδιδόμενων πληροφοριών είναι χαμηλή, μια και είναι σχετικά εύκολη υπόθεση είτε η παρεμβολή τους είτε η υποκλοπή τους.

Επιπλέον οι ασύρματες ζεύξεις είναι ιδιαίτερα ευαίσθητες στο θόρυβο τόσο τον τεχνικό όσο και του περιβάλλοντος. Ο θόρυβος σε μία τηλεπικοινωνιακή ζεύξη είναι όλα τα σήματα, φυσικά ή τεχνητά, που λαμβάνονται, μαζί με το χρήσιμο σήμα, από την κεραία του δέκτη. Όταν αυτός ο θόρυβος φτάσει να γίνει τόσο μεγάλος όσο το σήμα, τότε είναι αδύνατο για το δέκτη να αναγνωρίσει τη χρήσιμη πληροφορία που μεταφέρει το σήμα.

Οι ασύρματες επικοινωνίες χρησιμοποιούνται για μετάδοση σημάτων τα οποία μεταφέρουν φωνή, δεδομένα ή τηλεοπτικά προγράμματα. Προκειμένου να μεταδοθεί το οποιοδήποτε σήμα, είτε αυτό είναι φωνή, είτε πληροφορία



Σχήμα 3.3.2 Οι κυριότερες περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος και η χρήση της κάθε περιοχής.

απαιτείται η χρήση ενός αναλογικού σήματος, του φορέα ή φέροντος (βλέπε κεφάλαιο 5).

Ανάλογα με την περιοχή συχνοτήτων στην οποία ανήκει η συχνότητα του φέροντος σήματος, το τελευταίο χαρακτηρίζεται από μία σειρά ιδιοτήτες, όπως η απόσταση μετάδοσης, το εύρος ζώνης και η κατευθυντικότητα.

Σήμερα ασύρματες ζεύξεις χρησιμοποιούνται σε διάφορες περιοχές συχνοτήτων ανάλογα με τις απαιτήσεις της κάθε εφαρμογής. Προκειμένου να τυποποιηθούν οι διάφορες περιοχές συχνοτήτων και οι εφαρμογές για τις οποίες μπορεί να χρησιμοποιηθεί η κάθε μία περιοχή, το σύνολο των συχνοτήτων ή αλλιώς το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα έχει χωριστεί από τους διεθνείς οργανισμούς σε συγκεκριμένες περιοχές, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.3.2.

Κάθε μία από αυτές τις περιοχές χρησιμοποιείται για συγκεκριμένες εφαρμογές. Στον πίνακα 3.4, φαίνονται αυτές οι περιοχές, οι ονομασίες τους, καθώς και τα αντίστοιχα μήκη κύματος.

Η επιλογή της κατάλληλης συχνότητας εξαρτάται κάθε φορά από τις απαιτήσεις της συγκεκριμένης ζεύξης. Έτσι, για παράδειγμα η χρήση υψηλών συχνοτήτων (HF) επιτρέπει τη διάδοση σε μεγάλες αποστάσεις, η ποσότητα όμως της πληροφορίας που μπορεί να μεταφέρει το αντίστοιχο σήμα είναι μικρή. Επίσης μια και η διάδοση σε αυτή την περιοχή συχνοτήτων είναι μη κατευθυντική (γίνεται δηλαδή προς όλες τις κατευθύνσεις) απαιτούνται πολύ ισχυρά σήματα, προκειμένου αυτά να φτάσουν στον προορισμό τους και να γίνουν αντιληπτά.

Μία περιοχή συχνοτήτων με ιδιαίτερα μεγάλες εφαρμογές είναι αυτή των **μικροκυματικών συχνοτήτων**, η οποία καταλαμβάνει την περιοχή από 1-30 GHz.

Οι ασύρματες ζεύξεις σε αυτή την περιοχή συχνοτήτων (μικροκυματικές ζεύξεις) παρουσιάζουν μεγάλη ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια, λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών τους. Ιστορικά τα μικροκυματικά συστήματα άρχισαν να χρησιμοποιούνται από τη δεκαετία του 1940 σαν επέκταση των ραδιοφωνικών συχνοτήτων.

Ονομασία	Σύμβολο	Συχνότητες (f)	Μήκη Κύματος (λ)	Ονομασία Κυμάτων	Χαρακτηρισμός
Πολύ Χαμηλές Συχνότητες (Very Low F.)	VLF	0-30 kHz	>10 Km	Μυριομετρικά	
Χαμηλές Συχν. (Low Freq.)	LF	30-300 kHz	10-1 Km	Χιλιόμετρικά	Μακρά (L)
Μεσαίες Συχν. (Medium Freq.)	MF	0,3-3 MHz	1000-100 m	Εκατομετρικά	Μεσαία (M)
Υψηλές Συχν. (High Freq.)	HF	3-30 MHz	100-10 m	Δεκαμετρικά	Βραχεία (K ή S)
Πολύ Υψηλές Συχν. (Very High Freq.)	VHF	30-300 MHz	10-1 m	Μετρικά	Υπερβραχεία (U)
Εξαιρετικά Υψηλές Συχν. (Ultra High Freq.)	UHF	0,3-3 GHz	1-0,1 m	Δεκατομετρικά	
Υπερυψηλές Συχν. (Super High Freq.)	SHF	3-30 GHz	10-0,1 cm	Εκατοστομετρικά	
Υπέρ-Υπερυψηλές Συχν. (Extremely High Freq.)	EHF	30-300 GHz	10-1 mm	Χιλιοστομετρικά	

Πίνακας 3.4 Περιοχές Συχνοτήτων, Μήκη κυμάτων και Ονομασίες.

Η εξέλιξη της μικροκυματικής τεχνολογίας συνδέεται άμεσα με την ανάπτυξη των συστημάτων ραντάρ. Τα περισσότερα συστήματα αυτής της κατηγορίας χρησιμοποιούν συχνότητες από 2 έως 18 GHz. Η μετάδοση σε αυτή την περιοχή παρουσιάζει μεγάλα πλεονεκτήματα, ανάμεσα στα οποία είναι και ο υψηλός ρυθμός μετάδοσης δεδομένων που φτάνει τα 300 Mbit/s.

Οι μικροκυματικές ζεύξεις είναι αρκετά κατευθυντικές, ειδικά στις υψηλότερες μικροκυματικές συχνότητες. Για το λόγο αυτό είναι περισσότερο ασφαλείς από τις κοινές ασύρματες ζεύξεις. Πράγματι, για να παρεμβληθεί ή να υποκλαπεί μια μικροκυματική ζεύξη, θα πρέπει κάποιος να βρεθεί με μία κεραία στην ευθεία που ενώνει τον πομπό με το δέκτη.

Στα μειονεκτήματα των μικροκυματικών ζεύξεων θα πρέπει να συμπεριληφθεί η ευαισθησία τους στα άσχημα καιρικά φαινόμενα, καθώς μια κακοκαιρία είναι

πιθανόν να οδηγήσει ακόμη και στη διακοπή της ζεύξης. Το σημαντικότερο όμως χαρακτηριστικό των μικροκυματικών ζεύξεων είναι ότι απαιτείται **οπτική επαφή** μεταξύ πομπού και δέκτη. Προκειμένου να επιτευχθούν ζεύξεις μεγαλύτερων αποστάσεων, απαιτείται η χρήση αναμεταδοτών.

Για ακόμη μεγαλύτερους ρυθμούς μετάδοσης καθώς και μεγαλύτερη κατευθυντικότητα (και ασφάλεια) μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα υπέρυθρα κύματα καθώς και τα laser. Τα πρώτα χρησιμοποιούν συχνότητες από 10^{11} έως 10^{14} Hz και τα δεύτερα από 10^{14} έως 10^{15} Hz. Φυσικά οι ζεύξεις αυτές χρησιμοποιούνται για μικρές αποστάσεις λόγω της μεγάλης εξασθένησης που παρουσιάζουν αυτές οι συχνότητες στην ατμόσφαιρα. Οι οπτικές ίνες, που θα εξεταστούν στη συνέχεια, μπορούν να οδηγούν το φως από τις πηγές laser σε πολύ μεγάλες αποστάσεις.

Οι συχνότητες στις οποίες εκπέμπουν οι πηγές laser είναι πολύ μεγάλες, της τάξης του ενός εκατομμυρίου GHz. Οι περιοχές του φάσματος στις οποίες εκπέμπουν είναι: η υπέρυθρη, η ορατή και η υπεριώδης περιοχή. Οι πηγές με τόσο μεγάλη συχνότητα χαρακτηρίζονται μόνο από το μήκος κύματος (λ) και λέγονται **φωτεινές πηγές** ή **οπτικές πηγές**.

Η συχνότητα υπολογίζεται εύκολα από τη σχέση, $f=c/\lambda$. Για παράδειγμα μια πηγή laser με μήκος κύματος $\lambda=1,5\mu\text{m} = 1,5\cdot 10^{-6}\text{ m}$ θα έχει συχνότητα:

$$f= c/\lambda = (3\cdot 10^8\text{m/s}) / (1,5\cdot 10^{-6}\text{ m}) = 200.000\text{GHz} = 200\text{THz}.$$

Στις πηγές αυτές, η συχνότητα συνήθως αναφέρεται σαν «χρώμα», ενώ η εκπομπή τους λέγεται και ακτινοβολία ή φωτισμός.

3.4 ΟΠΤΙΚΕΣ ΙΝΕΣ

3.4.1 Εισαγωγή

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

Η χρήση των οπτικών ινών για μετάδοση σημάτων στηρίζεται στην ιδέα της χρησιμοποίησης του φωτός ως φορέα της πληροφορίας αντί για το ρεύμα, το οποίο χρησιμοποιείται στα χάλκινα καλώδια. Για να επιτευχθεί αυτό, χρησιμοποιείται στον πομπό μία πηγή φωτός ή αλλιώς μία **φωτεινή πηγή**. Η πηγή αυτή παράγει ένα φωτεινό σήμα, το οποίο διαμορφώνεται με τις πληροφορίες που πρέπει να μεταδοθούν από τον πομπό προς το δέκτη.

Η διαμόρφωση μπορεί να γίνει αναβοσβήνοντας την πηγή του φωτός με το ρυθμό της πληροφορίας, δηλαδή το ένα (1) να αντιστοιχεί σε φως και το μηδέν (0) σε σκότος.

Το φως που παράγουν οι φωτεινές πηγές βρίσκεται στην περιοχή του υπέρυθρου και δεν είναι ορατό από το ανθρώπινο μάτι. Στην άλλη πλευρά της οπτικής ίνας (στο δέκτη) υπάρχει ένας **ανιχνευτής φωτός**.

Ένας τέτοιος ανιχνευτής είναι ο φωτοδέκτης (θα παρουσιαστεί στο κεφ. 4), ο οποίος, όταν φωτίζεται, παράγει ένα μικρό ρεύμα. Έτσι, μετατρέπεται τα φωτεινά σήματα σε ηλεκτρικά. Τα ηλεκτρικά σήματα που περιέχουν την ωφέλιμη πληροφορία περνούν στις επόμενες βαθμίδες ηλεκτρονικής επεξεργασίας.

3.4.2 Η διάδοση του φωτός

Η διάδοση του φωτός στις οπτικές ίνες μπορεί να περιγραφεί με τη γεωμετρική οπτική. Στη γεωμετρική οπτική το φως παριστάνεται με ακτίνες οι οποίες κινούνται σε ευθείες¹ γραμμές.

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

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

Το μέτρο της οπτικής πυκνότητας ενός μέσου είναι ο **δείκτης διάθλασής** του. Ο δείκτης διάθλασης ενός μέσου (n) είναι ο λόγος της ταχύτητας του φωτός στο κενό (c) προς την ταχύτητα του φωτός στο μέσο: $n=c/u$.

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

Η ταχύτητα του φωτός στο κενό είναι $c=300.000\text{km/s}$. Η ταχύτητα του φωτός σε οποιοδήποτε άλλο διαφανές μέσο (u) είναι μικρότερη από την ταχύτητά του στο κενό. Ο δείκτης διάθλασης (n) επομένως είναι πάντα μεγαλύτερος από τη μονάδα.

Ο δείκτης διάθλασης του γυαλιού μπορεί να τροποποιηθεί² κατά τη διάρκεια κατασκευής του εάν προσθέσουμε διάφορα υλικά.

Στο σχήμα 3.4.1 φαίνονται μερικές ακτίνες οι

Πίνακας 3.5

1. Όταν το μέσο είναι ομογενές, οι ακτίνες είναι ευθείες.

2. Ο δείκτης διάθλασης του γυαλιού μπορεί να πάρει τιμές από 1,4 μέχρι 1,6.

οποίες προέρχονται από φωτεινή πηγή τοποθετημένη μέσα σε ένα μέσο με μεγάλο δείκτη διάθλασης¹ (π.χ. γυαλί).

Οι ακτίνες αυτές, αν συναντήσουν τη διαχωριστική επιφάνεια ενός άλλου μέσου με μικρότερο δείκτη διάθλασης (π.χ. αέρα), τότε:

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

β) μερικές ακτίνες ανακλώνται και παραμένουν στο πρώτο μέσο (ακτίνα 3),

γ) ένα μέρος από την ακτίνα 4 ανακλάται και παραμένει στο γυαλί (ακτίνα 1).

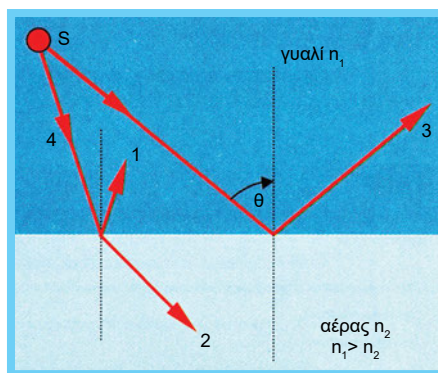
Οι ακτίνες οι οποίες δεν καταφέρνουν να διαπεράσουν τη διαχωριστική επιφάνεια (ακτίνα 3) παθαίνουν **ολική εσωτερική ανάκλαση**.

Η πιο μικρή γωνία θ , για την οποία οι ακτίνες δε διαθλώνται, αλλά ανακλώνται και παραμένουν στο αρχικό μέσο, ονομάζεται **οριακή γωνία**².

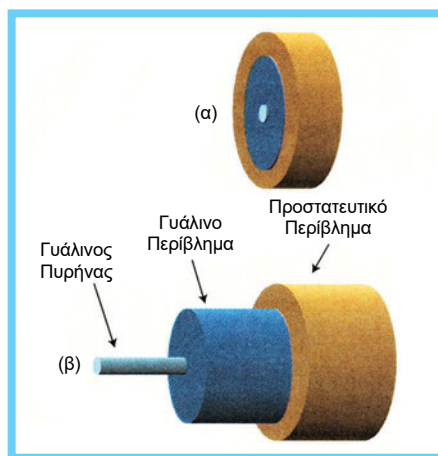
3.4.3 Η δομή της οπτικής ίνας και η μετάδοση του φωτός

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

Το κεντρικό μέρος της ίνας ονομάζεται **πυρήνας**. Το **περίβλημα** έχει μικρότερο δείκτη διάθλασης από τον πυρήνα και τον καλύπτει κυλινδρικά (βλέπε σχήμα



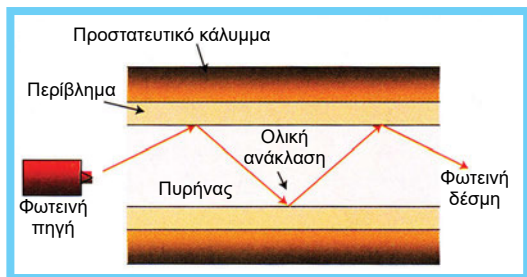
Σχήμα 3.4.1 Οι ακτίνες της πηγής S κατευθύνονται από μέσο με μεγάλο δείκτη διάθλασης (δ.δ.), σε μέσο με μικρό δ.δ.



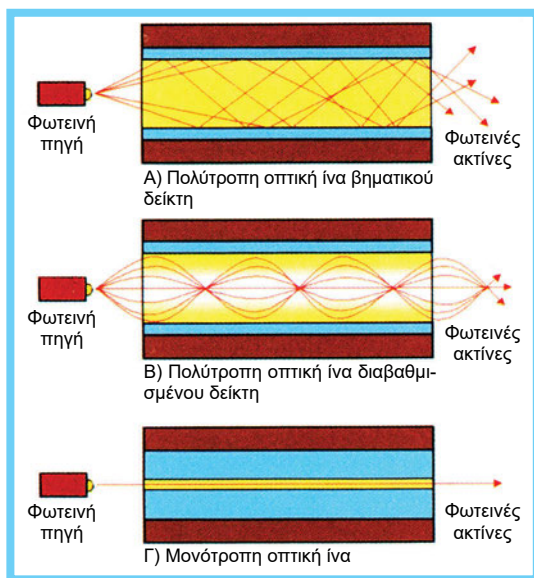
Σχήμα 3.4.2 (α) Τομή οπτικής ίνας (β) Λεπτομέρεια διαστρωμάτωσης οπτικής ίνας.

1. Τα μέσα με μεγάλο δείκτη διάθλασης ονομάζονται πυκνά.

2. Ονομάζεται επίσης και κρίσιμη γωνία.



Σχήμα 3.4.3 Ο μηχανισμός διάδοσης στην οπτική ίνα.



Σχήμα 3.4.4 Η διάδοση στις πολύτροπες και στις μονότροπες οπτικές ίνες.

3.4.2). Ο πυρήνας (core) και το περίβλημα (cladding) μοιάζουν με κυλίνδρους με κοινό άξονα. Για λόγους προστασίας τοποθετείται κατά τη διάρκεια κατασκευής της ίνας μια επικάλυψη (πρόσθετο προστατευτικό περίβλημα) από συνθετικό ή πολυμερές υλικό το οποίο αυξάνει την αντοχή της.

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

Με τις **ολικές ανακλάσεις** το φως ανακλάται διαδοχικά (σχήμα 3.4.3) και συνεχίζει την πορεία του στον πυρήνα, χωρίς καμία ακτίνα να διαθλαστεί και να διαφύγει στο περίβλημα. Έτσι η συνολική φωτεινή ενέργεια παραμένει εγκλωβισμένη στο εσωτερικό της οπτικής ίνας, με αποτέλεσμα ένα αποστελλόμενο φωτεινό σήμα να μπορεί να διανύσει πολύ μεγάλες αποστάσεις με ελάχιστες απώλειες, σε σχέση με οποιοδήποτε άλλο μέσο μετάδοσης.

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

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

Στην πολύτροπη διάδοση ένα φωτεινό σήμα, το οποίο αποτελείται από πολλές φωτεινές ακτίνες, εισέρχεται στον πυρήνα της οπτικής ίνας. Η κάθε ακτίνα ανακλάται με διαφορετική γωνία στα τοιχώματα του περιβλήματος. Ανάλογα με τη γωνία με την οποία εισέρχεται η κάθε ακτίνα οδεύει κατά μήκος της οπτικής ίνας διανύοντας διαφορετικό δρόμο.

Επειδή ακριβώς υπάρχουν πολλοί τρόποι μετάδοσης που αντιστοιχούν στις

διαδρομές των ακτίνων, η διάδοση αυτή ονομάζεται **πολύτροπη (multimode)**. Οι ίνες που επιτρέπουν αυτού του είδους τη μετάδοση φωτός ονομάζονται **πολύτροπες ίνες**. Όπως είναι λογικό, ο κάθε τρόπος μετάδοσης έχει διαφορετικό μήκος. Επομένως, η κάθε ακτίνα φτάνει σε διαφορετικό χρόνο στην άλλη άκρη της οπτικής ίνας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική παραμόρφωση του σήματος. Επιπλέον, λόγω του ότι κάποιες από τις ακτίνες δεν επιτυγχάνουν ολική ανάκλαση, η μέθοδος αυτή διάδοσης επιφέρει κάποια πρόσθετη εξασθένηση στο φωτεινό σήμα.

Οι πολύτροπες οπτικές ίνες χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες, ανάλογα με την τιμή του δείκτη διάθλασης στον πυρήνα:

- **ίνες βηματικού δείκτη διάθλασης (Step index)** και τις
- **ίνες διαβαθμισμένου δείκτη διάθλασης (Graded index)**

Οι πρώτες χαρακτηρίζονται από απότομη μεταβολή του δείκτη διάθλασης μεταξύ του πυρήνα και περιβλήματος. Έχουν διαστάσεις 50/125 μm και 62,5/125 μm . Το 50 και 62,5 μm είναι η διάμετρος του πυρήνα, ενώ το 125 μm είναι η εξωτερική διάμετρος της ίνας. Η εξασθένηση για τις ίνες **βηματικού** δείκτη διάθλασης (step index) είναι 10-50 dB ανά χιλιόμετρο. Είναι οι πιο απλές και φθηνές οπτικές ίνες για εφαρμογές που δεν έχουν μεγάλες απαιτήσεις σε εύρος ζώνης.

Η δεύτερη κατηγορία πολύτροπων ινών είναι οι ίνες **διαβαθμισμένου** δείκτη διάθλασης. Σε αυτές τις ίνες ο δείκτης διάθλασης μεταβάλλεται ομαλά από το κέντρο του πυρήνα προς το περίβλημα. Η διαφορά αυτή στο δείκτη διάθλασης αναγκάζει τις ακτίνες να φθάσουν ταυτόχρονα στην άλλη άκρη της οπτικής ίνας, παρόλο που η κάθε μία διανύει διαφορετική απόσταση.

Η εξασθένηση για τις ίνες διαβαθμισμένου δείκτη διάθλασης (graded index) είναι 7-15 dB ανά χιλιόμετρο. Οι ίνες αυτές χρησιμοποιούνται σε δίκτυα υπολογιστών και σε εφαρμογές που απαιτούν μεγάλο εύρος ζώνης. Στο σχήμα 3.4.4 φαίνεται η πορεία των οπτικών ακτίνων και στις δύο περιπτώσεις.

Πηγές Εκπομπής Οπτικών Σημάτων

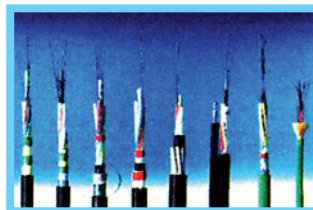
Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες πηγών οπτικών σημάτων:

A) Οι πηγές **Λέιζερ (Laser-Light Amplification of Simulated Emission of Radiation)** με τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

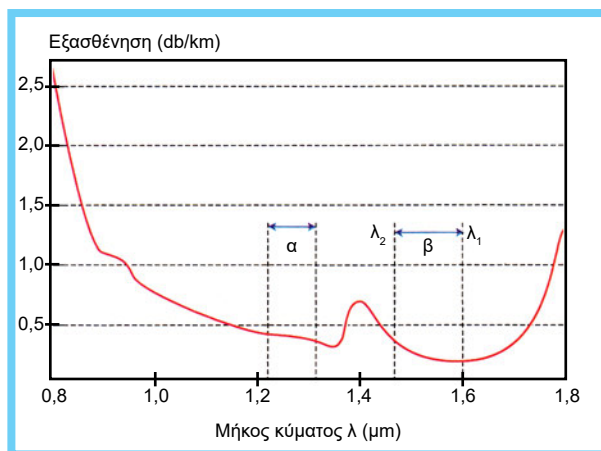
- Μεγαλύτερη ισχύ εκπομπής
- Υψηλότερο ρυθμό μετάδοσης
- Είναι σχεδόν μονοχρωματική που σημαίνει ότι εκπέμπει σε ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος

B) Οι **δίοδοι εκπομπής (LED-Light Emitting Diode)** με τα εξής πλεονεκτήματα:

- Χαμηλότερο κόστος
- Μεγαλύτερη διάρκεια ζωής
- Μικρή ευαισθησία σε μεταβολές της θερμοκρασίας



Σχήμα 3.4.5 Καλώδια οπτικών ινών για διάφορες εφαρμογές.



Σχήμα 3.4.6 Παράθυρα χαμηλής εξασθένησης στις μονότροπες οπτικές ίνες.

Εφαρμογές Οπτικών Ινών

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

τερο παράθυρο (α) στην περιοχή 1,3μm. Η περιοχή των 1,5 μm χρησιμοποιείται σήμερα στις τηλεπικοινωνίες και στις ζεύξεις μεγάλων αποστάσεων, ενώ η περιοχή με μήκος κύματος 1,3μm (παράθυρο α) χρησιμοποιείται όλο και πιο σπάνια.

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

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

- Οι οπτικές ίνες διαθέτουν πολύ μεγάλο εύρος ζώνης συχνοτήτων, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνουν υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης, που, με πολυπλεξία,

Έχει αποδειχθεί πως όσο μικρότερη είναι η διάμετρος του πυρήνα, τόσο λιγότεροι τρόποι μετάδοσης υπάρχουν. Όταν αυτή η διάμετρος μειωθεί και γίνει παραπλήσια με το μήκος κύματος του φωτεινού σήματος, απομένει μόνο ένας τρόπος μετάδοσης, ο αξονικός. Η μετάδοση ονομάζεται τότε **μονότροπη** (single mode). Η διάμετρος του πυρήνα στη μονότροπη οπτική ίνα είναι 9μm και η εξωτερική διάμετρος της ίνας είναι 125μm (9/125). Η εξασθένηση της μονότροπης ίνας στο φως που έχει μήκος κύματος 1,5μm είναι μόλις 0,19 dB ανά χιλιόμετρο. Η περιοχή αυτή του φάσματος από 1,5 έως 1,6μm ονομάζεται *παράθυρο χαμηλής εξασθένησης* και φαίνεται στο σχήμα 3.4.6 (παράθυρο β). Στο σχήμα 3.4.6 φαίνεται και ένα δεύ-

φθάνουν ακόμη και τα 128 Gbit/s. Το μεγάλο εύρος ζώνης (Δf) προκύπτει ως εξής:

$$\begin{aligned}\Delta f = f_2 - f_1 &= (c/\lambda_2) - (c/\lambda_1) \Rightarrow \Delta f = c \cdot \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_1 \cdot \lambda_2} = \\ &= 3 \cdot 10^8 \cdot \frac{1600 \cdot 10^{-9} - 1500 \cdot 10^{-9}}{1600 \cdot 10^{-9} \cdot 1500 \cdot 10^{-9}} \text{ Hz} \Rightarrow \\ &\Rightarrow \Delta f = 12.500 \text{ GHz}.\end{aligned}$$

Οπτικοί Ενισχυτές

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

- Λόγω της κατασκευής τους οι οπτικές ίνες είναι ανεπηρέαστες από ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία και κατά συνέπεια από εξωτερικά σήματα θορύβου. Για το λόγο αυτό βρίσκουν μεγάλη εφαρμογή σε περιβάλλοντα υψηλού ηλεκτρομαγνητικού θορύβου.
- Είναι επίσης και ιδιαίτερα ασφαλές μέσο μετάδοσης, καθώς είναι σχεδόν αδύνατη η εξωτερική επέμβαση για την υποκλοπή ή την παρεμβολή των μεταφερόμενων σημάτων.
- Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, τα σήματα που μεταδίδονται σε οπτικές ίνες εξασθενούν ελάχιστα σε σχέση με άλλα ενσύρματα μέσα. Είναι χαρακτηριστικό ότι ένα φωτεινό σήμα μπορεί να διαδοθεί μέσω οπτικής ίνας, σε αποστάσεις μεγαλύτερες από 200 χιλιόμετρα, χωρίς τη βοήθεια αναμεταδοτών.
- Τόσο ο όγκος, όσο και το βάρος, των οπτικών ινών είναι σημαντικά μικρότερος από άλλα καλώδια. Για παράδειγμα, χάλκινο καλώδιο με εύρος ζώνης 50MHz και μήκους 500 μέτρων ζυγίζει περίπου 4 τόνους (4000 κιλά), ενώ το αντίστοιχο οπτικό καλώδιο ζυγίζει λιγότερο από 45 κιλά προσφέροντας παράλληλα μεγαλύτερο εύρος ζώνης.
- Δεδομένου ότι τα οπτικά καλώδια μεταφέρουν οπτικά σήματα και όχι ηλεκτρικά δεν παρουσιάζουν κίνδυνο σπινθήρων γι' αυτό και προτιμώνται σε περιοχές υψηλού κινδύνου από σπινθήρες. Ταυτόχρονα δεν επηρεάζονται από την υγρασία, σε αντίθεση με τα χάλκινα καλώδια που η έκθεσή τους σε υγρασία μπορεί να προκαλέσει βραχυκυκλώματα ή το φαινόμενο της διαφωνίας.

Στα μειονεκτήματα των οπτικών ινών μπορεί να συμπεριλάβει κανείς τη δυσκολία σύνδεσης των οπτικών ινών με άλλα εξαρτήματα.

Ένα σημαντικό πρόβλημα που συναντάται είναι η ευθυγράμμιση της ίνας με τη φωτεινή πηγή του πομπού.

Είναι χαρακτηριστικό ότι και μικρές ακόμη αποκλίσεις στην ευθυγράμμιση αυτή μπορούν να προξενήσουν μεγάλη απώλεια του φωτεινού σήματος.

3.5 ΔΙΗΠΕΙΡΩΤΙΚΕΣ ΜΕΤΑΔΟΣΕΙΣ

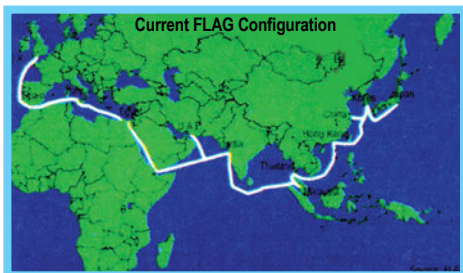
Μία ειδική κατηγορία τηλεπικοινωνιακών ζεύξεων είναι αυτή που αφορά τις διηπειρωτικές μεταδόσεις, λόγω των μεγάλων αποστάσεων. Στις διηπειρωτικές μεταδόσεις χρησιμοποιούνται τόσο ενσύρματα όσο και ασύρματα μέσα μετάδοσης. Στα πρώτα περιλαμβάνονται τα ομοαξονικά καλώδια και κυρίως οι οπτικές ίνες. Και τα δύο μέσα εξετάστηκαν στις προηγούμενες παραγράφους. Εδώ θα εξεταστούν επιπλέον οι υποβρύχιες διηπειρωτικές ζεύξεις με τη χρήση οπτικών ινών.

Στα ασύρματα μέσα περιλαμβάνονται κυρίως οι δορυφορικές ζεύξεις με τη χρήση μικροκυμάτων.

3.5.1 Υποβρύχιες διηπειρωτικές ζεύξεις

Το παράδειγμα των Υπερατλαντικών καλωδίων TAT12/13

Τα πρώτα υποβρύχια διηπειρωτικά δίκτυα οπτικών καλωδίων που κατασκευάστηκαν και λειτουργούν ήταν τα TAT12/13. Πρόκειται ουσιαστικά για δύο διαφορετικά καλώδια οπτικών ινών μήκους 7.000 χιλιομέτρων το καθένα που ενώνουν τις ΗΠΑ με τη Βρετανία (TAT12) και τη Γαλλία (TAT13). Η λειτουργία τους ξεκίνησε το 1995 και ο ρυθμός μετάδοσης είναι 5Gbit/s το καθένα. Κάθε καλώδιο περιέχει μόλις δύο ζεύγη οπτικών ινών με οπτικούς ενισχυτές κάθε 45 χιλιόμετρα. Το κόστος του ήταν περίπου 188 δισεκατομμύρια δραχμές. Υπολογίζεται ότι σε πλήρη λειτουργία το δίκτυο αυτό θα κάλυπτε πλήρως το κόστος του μέσα σε μόλις ...τρεις ημέρες!



Σχήμα 3.5.1 Το υποβρύχιο δίκτυο οπτικών καλωδίων FLAG.

Η πόντιση καλωδίων στους ωκεανούς για τη σύνδεση τηλεπικοινωνιακών δικτύων σε διηπειρωτικές αποστάσεις δεν είναι νέα. Εδώ και πολλά χρόνια ποντίζονται καλώδια (χάλκινα ζεύγη και ομοαξονικά) για τις ανάγκες της διεθνούς τηλεφωνίας. Η εμφάνιση των οπτικών ινών με τα εντυπωσιακά πλεονεκτήματα (βλέπε παραπάνω) οδήγησε, πολύ γρήγορα, στην πλήρη επικράτησή τους έναντι όλων των άλλων καλωδίων, στις υπερπόντιες ζεύξεις.

Ήδη από τις αρχές της δεκαετίας του 1980 τέθηκαν σε λειτουργία υπερατλαντικά καλώδια οπτικών ινών (TAT), που συνδέουν Αμερική και Ευρώπη, προσφέροντας πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης μεταξύ των δύο ηπείρων.

Η βελτίωση της τεχνολογίας κατασκευής οπτικών ινών, των καλωδίων και της οπτικοηλεκτρονικής οδήγησε στην εκμετάλλευση ενός μεγάλου μέρους του εύρους ζώνης των οπτικών ινών. Το άμεσο αποτέλεσμα αυτής της εξέλιξης ήταν το κόστος πόντισης οπτικών καλωδίων, αν και τεράστιο σε πραγματικούς αριθμούς, να μει-

ώνεται συνεχώς, μια και μέσα από το ίδιο καλώδιο μπορεί πλέον να περνά τεράστιος αριθμός τηλεπικοινωνιακών ζεύξεων.

Σήμερα πλέον το μεγαλύτερο μέρος του πλανήτη είναι δικτυωμένο με χρήση υποβρυχίων οπτικών καλωδίων. Ταυτόχρονα νέα και εντυπωσιακά φιλόδοξα σχέδια πόντισης οπτικών καλωδίων έρχονται συνεχώς στο φως της δημοσιότητας, τόσο από τους δημόσιους οργανισμούς τηλεπικοινωνιών, όσο και από αντίστοιχες ιδιωτικές εταιρείες.

Τα καλώδια οπτικών ινών για υποβρύχιες ζεύξεις έχουν πολύ περισσότερες προστασίες από τα συνηθισμένα καλώδια που χρησιμοποιούνται σε τοπικά ή αστικά δίκτυα.

Παρόλο που η τεχνολογία επιτρέπει την κατασκευή οπτικών καλωδίων με μικρό βάρος και με αυξημένη αντοχή, τα υποβρύχια οπτικά καλώδια είναι σχετικά ογκώδη και βαριά, εξαιτίας των απαραίτητων ενισχύσεων που πρέπει να διαθέτουν για να αντέξουν στο περιβάλλον των ωκεανών.

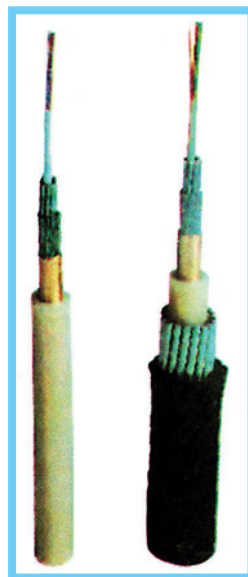
Έτσι διαθέτουν μικρό σχετικά αριθμό οπτικών ινών (συνήθως 12) και εξωτερική ενίσχυση που εξαρτάται από το βάθος στο οποίο θα ποντιστούν.

Εξωτερικά διαθέτουν μεταλλική ενίσχυση για αντοχή στις μηχανικές καταπονήσεις, λόγω των ρευμάτων των ωκεανών και πιθανών επιθέσεων από μεγάλα ψάρια (καρχαρίες κτλ.).

Η εξασθένηση των οπτικών ινών, αν και πολύ μικρή, γίνεται σημαντική λόγω των πολύ μεγάλων αποστάσεων των διηπειρωτικών ζεύξεων. Για το λόγο αυτό τοποθετούνται μέσα στα υποβρύχια καλώδια, κάθε 200km, *οπτικοί ενισχυτές* (θα παρουσιαστούν στο κεφ. 4), προκειμένου να αντιμετωπίζεται η εξασθένηση των μεταδιδόμενων σημάτων.

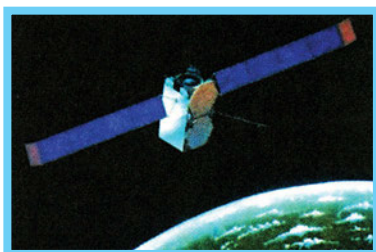
Λόγω της δυσκολίας της κατασκευής του υποβρυχίου καλωδίου και της εγκατάστασής του, υπάρχουν ελάχιστες εταιρείες στον κόσμο που μπορούν να πραγματοποιήσουν υποβρύχιες ζεύξεις.

Το υποβρύχιο καλώδιο, επειδή είναι μονοκόμματο, στη διάρκεια της κατασκευής του φορτώνεται στο ειδικό καράβι που το μεταφέρει και το ποντίζει. Η πόντιση του υποβρυχίου καλωδίου ξεκινά από την ακτή μιας χώρας όπου καταλήγει ένα χερσαίο καλώδιο με το οποίο συγκολλείται. Η άλλη άκρη του υποβρυχίου καλωδίου μπορεί να καταλήγει στην ακτή κάποιας χώρας, που απέχει εκατομμύρια μέτρα από την πρώτη.



Σχήμα 3.5.2 Δείγμα υποβρυχίων οπτικών καλωδίων. Για να τροφοδοτούνται με ρεύμα οι οπτικοί ενδιάμεσοι ενισχυτές, το υποβρύχιο καλώδιο περιλαμβάνει και χάλκινους αγωγούς.

3.5.2 Δορυφορικές ζεύξεις



Σχήμα 3.5.3 Δορυφόρος σε τροχιά γύρω από τη γη.

Ο **αναμεταδότης** είναι γενικά ένα σύστημα που έχει τη δυνατότητα να λαμβάνει ένα μεταδιδόμενο σήμα σε κάποιο ενδιάμεσο σημείο της διαδρομής του και να το αποστέλλει ξανά προς την κατεύθυνση του δέκτη, αφού πρώτα το ενισχύσει, προκειμένου να ακυρώσει την επίδραση της εξασθένησης που έχει υποστεί μέχρι εκείνη τη στιγμή.

Το πρώτο σύστημα δορυφορικών επικοινωνιών εμφανίστηκε το 1958 με τον πρώτο δορυφόρο που εκτοξεύτηκε από τις ΗΠΑ. Το πρώτο εμπορικό δίκτυο δορυφορικών επικοινωνιών τέθηκε σε λειτουργία στις 6 Απριλίου του 1965 με τη βοήθεια του δορυφόρου Early Bird. Τα πρώτα δορυφορικά συστήματα δεν ήταν βιώσιμα, μια και δεν υπήρχε τεχνική δυνατότητα να τεθούν δορυφόροι σε υψηλές τροχιές.

Το όριο της εποχής εκείνης ήταν τα 10 χιλιόμετρα. Η χαμηλή αυτή τροχιά είχε σαν συνέπεια ο δορυφόρος να κινείται με ταχύτητα μεγαλύτερη από την περιστροφή της γης, πράγμα που σημαίνει ότι και οι κεραίες του σταθμού βάσης θα πρέπει να περιστρέφονται συνεχώς, προκειμένου να βρίσκονται μέσα στο οπτικό πεδίο του δορυφόρου.

Με την εξέλιξη της δορυφορικής και της πυραυλικής τεχνολογίας εμφανίστηκαν οι **γεωστατικοί (GEO) δορυφόροι**. Πρόκειται για δορυφόρους που τίθενται σε τροχιά **38.880 χιλιομέτρων** από την επιφάνεια της γης και με ταχύτητα περιστροφής 11.040 χλμ./ώρα, ώστε να μένουν σταθεροί πάνω από το ίδιο σημείο της γης. Ο γεωστατικός δορυφόρος έχει περίοδο περιστροφής ίση με την περίοδο περιστροφής της γης, δηλαδή 23 ώρες, 56 λεπτά και 4,1 δευτερόλεπτα και καλύπτει μία περιοχή με άνοιγμα 120 μοίρες. Έτσι με τρεις γεωστατικούς δορυφόρους μπορεί να καλυφθεί ολόκληρη η γη.

Οι δορυφορικές ζεύξεις έχουν τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

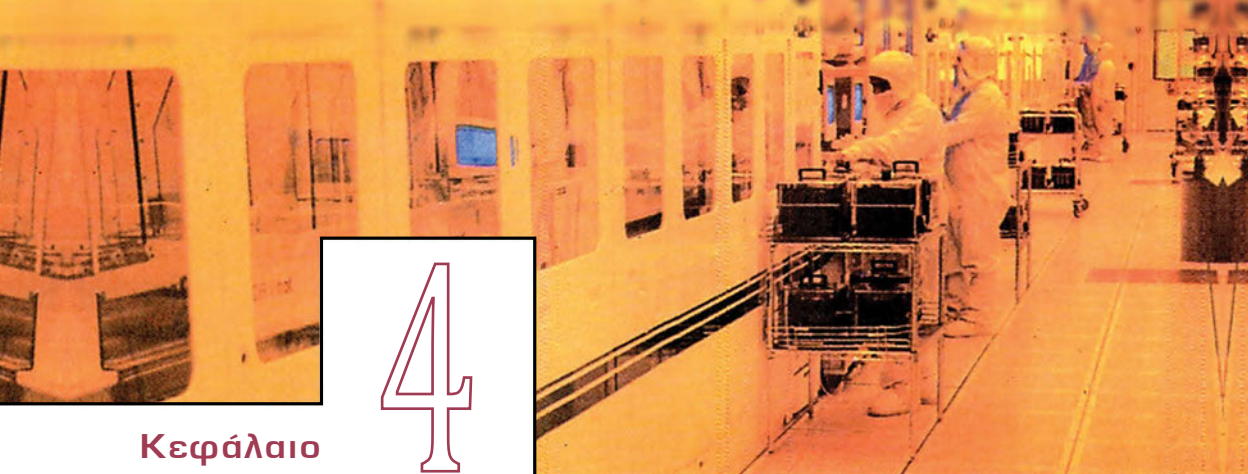
- οι δορυφόροι καλύπτουν εφαρμογές με απαιτήσεις σε εύρος ζώνης, όπως η μετάδοση τηλεοπτικών προγραμμάτων,
- δεν επηρεάζονται καθόλου από την απόσταση μεταξύ των επικοινωνούντων. Ταυτόχρονα όμως παρουσιάζουν και κάποιους περιορισμούς:
- Έχουν μεγάλους χρόνους μετάδοσης, καθώς, για να διανύσει ένα σήμα τη διαδρομή από και προς το δορυφόρο, απαιτείται ένας σημαντικός χρόνος (της τάξης των 0,3 sec) που δημιουργεί προβλήματα στις επικοινωνίες των ηλεκτρονικών υπολογιστών.
- Δεν παρέχει καμία ασφάλεια, καθώς τα μεταδιδόμενα σήματα από ένα δορυφόρο μπορούν να ληφθούν με μεγάλη ευκολία από τον οποιοδήποτε. Για το λόγο αυτό υπάρχουν αυξημένες απαιτήσεις κρυπτογράφησης των δορυφορικών σημάτων.

- Η μεγάλη απόσταση του δορυφόρου από τη γη προκαλεί πολύ μεγάλη εξασθένηση του σήματος. Η βροχή εισάγει επιπλέον εξασθένηση στο δορυφορικό σήμα και μπορεί να μειώσει ή και να διακόψει μια σύνδεση. Για το λόγο αυτό απαιτείται μεγάλη ισχύς εκπομπής από το δορυφόρο (πράγμα που του αυξάνει το βάρος και του μειώνει τη ζωή) και ιδιαίτερα ευαίσθητοι δέκτες στη λήψη. Στο κεφάλαιο 8 θα δοθούν μερικά επιπλέον στοιχεία για τις δορυφορικές επικοινωνίες.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ 3ΟΥ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

1. Ποιος είναι ο γενικός διαχωρισμός των μέσων μετάδοσης που χρησιμοποιούνται στις επικοινωνίες;
2. Ποια είναι τα βασικά ενσύρματα μέσα μετάδοσης; Περιγράψτε τα με συντομία.
3. Να οριστούν οι έννοιες του εύρους ζώνης και της εξασθένησης.
4. Τι ονομάζουμε θόρυβο; Ποια η επίδρασή του στις επικοινωνίες;
5. Ποια είναι τα βασικά χαρακτηριστικά των χάλκινων καλωδίων; Ποια τα πλεονεκτήματά τους και ποια τα μειονεκτήματά τους;
6. Γιατί χρησιμοποιούνται συνεστραμμένα ζεύγη καλωδίων; Τι είναι το φαινόμενο της διαφωνίας;
7. Γιατί τα καλώδια χρειάζονται θωράκιση;
8. Τι είναι το ομοαξονικό καλώδιο; Ποια τα βασικά του χαρακτηριστικά; Τι ονομάζουμε διηλεκτρικό υλικό;
9. Τι είναι οι οπτικές ίνες; Τι είναι η ολική ανάκλαση;
10. Ποια είναι τα βασικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των οπτικών ινών;
11. Ποια τα είδη των πολύτροπων οπτικών ινών;
12. Τι ονομάζουμε ασύρματη ζεύξη; Τι ονομάζουμε κεραία; Ποιες οι βασικές ιδιότητες μιας κεραίας;
13. Ποια τα πλεονεκτήματα και ποια τα μειονεκτήματα των ασύρματων ζεύξεων; Αναφέρατε παραδείγματα όπου οι ασύρματες ζεύξεις είναι απαραίτητες.
14. Τι είναι το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα; Αναφέρατε κάποιες περιοχές συχνοτήτων και τη χρήση τους.
15. Ποια είναι η περιοχή των μικροκυματικών συχνοτήτων; Ποια τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της και ποιες οι εφαρμογές της;
16. Τι είναι οι διηλεκτρικές ζεύξεις και πού χρησιμοποιούνται; Τι μέσα μετάδοσης χρησιμοποιούνται σε αυτές;
17. Ποιες οι ιδιαιτερότητες των υποβρύχιων καλωδίων με οπτικές ίνες; Γιατί οι οπτικές ίνες έχουν κυριαρχήσει στα υποβρύχια καλώδια;
18. Τι είναι οι δορυφορικές επικοινωνίες; Πού χρησιμοποιούνται; Τι ονομάζουμε αναμεταδότη;

- 19.** Ποια τα πλεονεκτήματα των δορυφορικών επικοινωνιών και ποιοι οι περιορισμοί τους;
- 20.** Τι ονομάζουμε κεραία και ποιο ρόλο επιτελεί;
- 21.** Ένα χάλκινο καλώδιο μήκους ενός χιλιομέτρου μεταφέρει σήμα με ισχύ 1W. Στο τέλος του καλωδίου το ηλεκτρικό σήμα έχει ισχύ 10mW. Να υπολογιστεί η εξασθένηση του καλωδίου.
- 22.** Να υπολογιστεί το εύρος ζώνης του «α» τηλεπικοινωνιακού παραθύρου (σχ. 3.4.6) όπου $\lambda_1 = 1,25 \mu\text{m}$ και $\lambda_2 = 1,35 \mu\text{m}$.



Κεφάλαιο

4

Τεχνολογία Συστημάτων

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

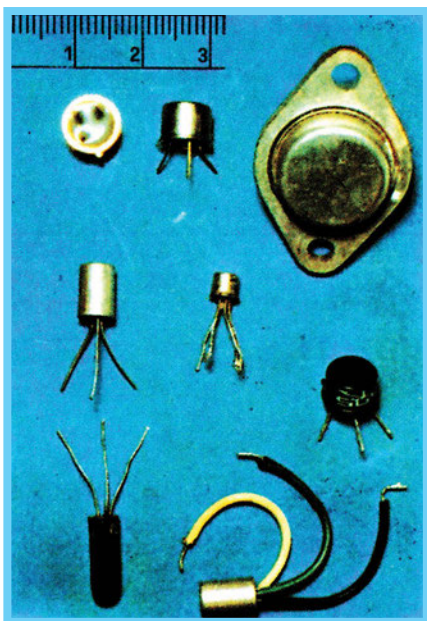
Η εξέλιξη των επικοινωνιών υπήρξε θεαματική σε όλη τη διάρκεια του 20ού αιώνα. Ιδιαίτερα από το Β΄ Παγκόσμιο πόλεμο και μετά, δόθηκε τεράστια σημασία στην τεχνολογία των συστημάτων επικοινωνιών με χρήση ηλεκτρικών σημάτων. Ανάμεσα στα πιο αξιόλογα επιτεύγματα της περιόδου αυτής περιλαμβάνονται το ραντάρ, 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.

Κατευθυντήρια δύναμη και προϋπόθεση της εξέλιξης αυτής ήταν η αντίστοιχη εξέλιξη της Ηλεκτρονικής. Η Ηλεκτρονική σήμερα έχει αλλάξει τελείως φυσιογνωμία σε σχέση με το τι 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.

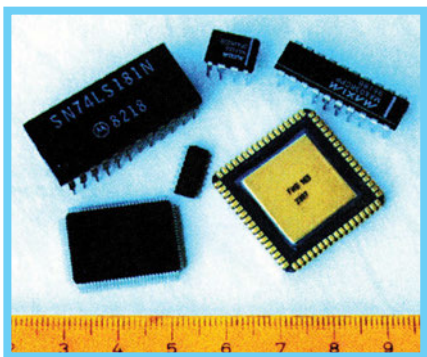
Σήμερα, η Ηλεκτρονική περιγράφεται ως το σύνολο των τεχνικών που χρησιμοποιούν μεταβολές φυσικών μεγεθών για να διαβιβάσουν, να λάβουν και να επεξεργαστούν μια πληροφορία.



Σχήμα 4.1.1 Ηλεκτρονική λυχνία κενού.



Σχήμα 4.1.2 Διάφορα είδη τρανζίστορ και αντιστοιχία διαστάσεων σε χιλιοστομετρική κλίμακα.



Σχήμα 4.1.3 Διάφοροι τύποι ολοκληρωμένων κυκλωμάτων και αντιστοιχία διαστάσεων σε εκατοστομετρική κλίμακα.

Τα φυσικά μεγέθη που χρησιμοποιεί η Ηλεκτρονική είναι τα ηλεκτρομαγνητικά πεδία, τα φωτεινά σήματα (φωτόνια) και το ηλεκτρικό ρεύμα¹. 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 ταχύτατους 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. Ξεκινώντας από τα τρανζίστορ και φθάνοντας στην οπτικοηλεκτρονική ολοκλήρωση, θα μελετήσουμε τις αρχές λειτουργίας και κατασκευής και τις εφαρμογές των κυριότερων δομικών στοιχείων των συστημάτων. Θα σκιαγραφήσουμε επίσης τις διαφαινόμενες τάσεις και προοπτικές.

¹ Στους ημιαγωγούς το ηλεκτρικό ρεύμα προκύπτει από την κίνηση δύο τύπων ηλεκτρικών φορέων: των ηλεκτρονίων και των οπών.

4.2 ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ

4.2.1 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 (Σχ. 4.1.1), 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.

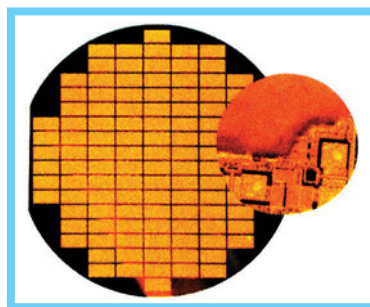
Η ανακάλυψη της **κρυσταλλοτριόδου (τρανζίστορ)** το 1948 από τους Μπαρντν, Μπρατέν και Σόκλεϋ, ξεπερνώντας τα μειονεκτήματα των λυχνιών (θέρμανση, κατανάλωση, όγκος κ.λπ.), έφερε μια πραγματική επανάσταση στην Ηλεκτρονική και σημάδεψε ουσιαστικά την έλευση της εποχής της **Μικροηλεκτρονικής**.

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.

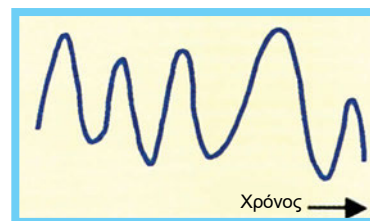
Τα τρανζίστορ εκτελούν τις ίδιες ακριβώς λειτουργίες με τις λυχνίες, χωρίς να έχουν τα μειονεκτήματά τους.

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματά τους, χάρη στα οποία εκτόπισαν σταδιακά τις λυχνίες, είναι:

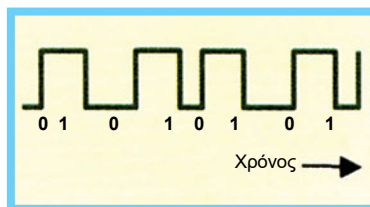
- η χαμηλή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας,
- το μικρό μέγεθος,
- το χαμηλό κόστος κατασκευής,
- η υψηλή αξιοπιστία,
- η έλλειψη προβλημάτων υπερθέρμανσης και
- η καταλληλότητά τους για παλμική λειτουργία σε συστήματα ψηφιακής μετάδοσης.



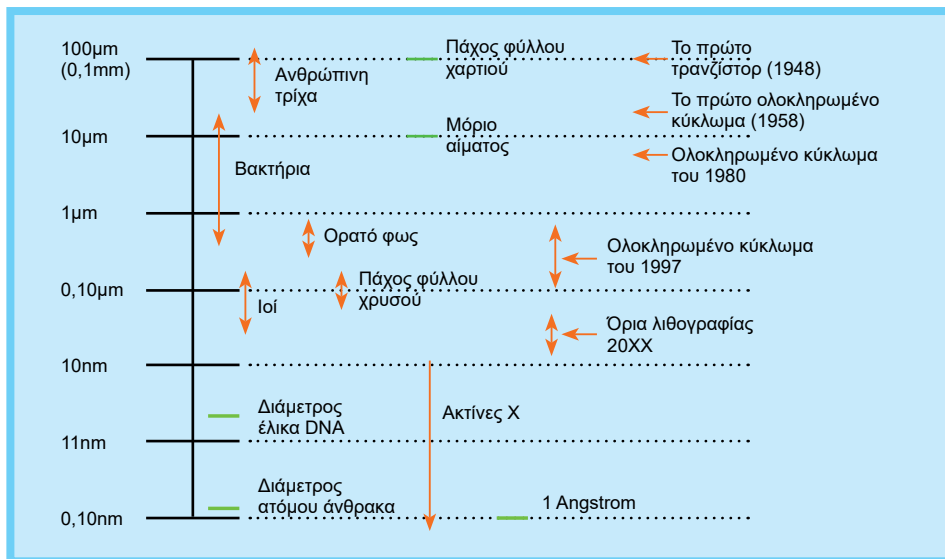
Σχήμα 4.14 Ημιαγωγικό δισκίο και λεπτομέρεια από ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα (chip).



Σχήμα 4.2.1 Αναλογική μετάδοση δεδομένων (συνεχής μεταβολή με το χρόνο - κυματοειδής μορφή).



Σχήμα 4.2.2 Ψηφιακή μετάδοση δεδομένων (ασυνεχής μεταβολή με το χρόνο - παλμική μορφή).



Σχήμα 4.2.3 Διαστάσεις ολοκληρωμένων κυκλωμάτων σε σχέση με άλλες φυσικές ποσότητες.

Ολοκληρωμένο κύκλωμα ή τσιπ (chip) είναι ένα κομμάτι ημιαγωγού το οποίο περιλαμβάνει τρανζίστορ και παθητικά στοιχεία (αντιστάσεις, πυκνωτές, διόδους), κατά τρόπο που να αποτελούν ένα ενιαίο σύνολο και τα οποία είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους όπως και στα κλασικά κυκλώματα που έχουν ανεξάρτητα στοιχεία.

Η ενισχυτική ιδιότητα των ηλεκτρονικών στοιχείων, όπως είναι η τρίοδος λυχνία, αναφέρεται στην ικανότητα των στοιχείων αυτών, όταν συνδεθούν σε κατάλληλο κύκλωμα, να παραλαμβάνουν ένα ασθενές σήμα στην είσοδο του κυκλώματός τους, και να το αποδίδουν στην έξοδο ενισχυμένο. Το ασθενές σήμα στην είσοδο είναι το μήνυμα σε ηλεκτρική μορφή, λ.χ. η μεταβαλλόμενη στιγμιαία τιμή τάσης που εμφανίζεται στην έξοδο ενός μικροφώνου ή ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή.

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

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 πάχος κλάσματος του χιλιοστού του μέτρου. Ο δίσκος αυτός είναι μονοκρυστάλλος και ονομάζεται **δισκίο (wafer)**.

Κατά την κατασκευή, τα τρανζίστορ, οι διόδοι, οι αντιστάσεις κ.λπ. 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 πετύχουν 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.

Τα ολοκληρωμένα κυκλώματα κατατάσσονται ανάλογα με τον αριθμό των στοιχείων που περιέχουν, όπως φαίνεται στον πίνακα 4.2.2 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

Μονάδα	Σύμβολο	Άνγκ-στρομ	Νανό-μετρο	Μικρό-μετρο	Μέτρο
Άνγκ-στρομ	Å	-	10^{-1}	10^{-4}	10^{-10}
Νανό-μετρο	nm	10	-	10^{-3}	10^{-9}
Μικρό-μετρο	μm	10^4	10^3	-	10^{-6}
Μέτρο	m	10^{10}	10^9	10^6	-

Πίνακας 4.2.1 Σχέση μονάδων διαστάσεων.

Ονομασία	Αριθμός στοιχείων	Τυπικές εφαρμογές
SSI (Small Scale Integration)	1-100	Πύλες, τελεστικοί ενισχυτές
MSI (Medium Scale Integration)	100-1000	Καταχωρητές, φίλτρα
LSI (Large Scale Integration)	1000-100.000	Μικροεπεξεργαστές, μετατροπείς A/D
VLSI (Very Large Scale Integration)	$10^5 - 10^7$	Μνήμες, υπολογιστές, επεξεργασία σήματος

Πίνακας 4.2.2 Κατάταξη των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων με τον αριθμό των στοιχείων που περιέχουν.

Η αγωγιμότητα των ημιαγωγών οφείλεται στα ελεύθερα ηλεκτρόνια (δηλ. στα ηλεκτρόνια που έχουν αποσυνδεθεί από τον πυρήνα τους), τα οποία προσλαμβάνουν κινητική ενέργεια υπό την επίδραση ηλεκτρικού πεδίου και έτσι έχουμε ροή ρεύματος.

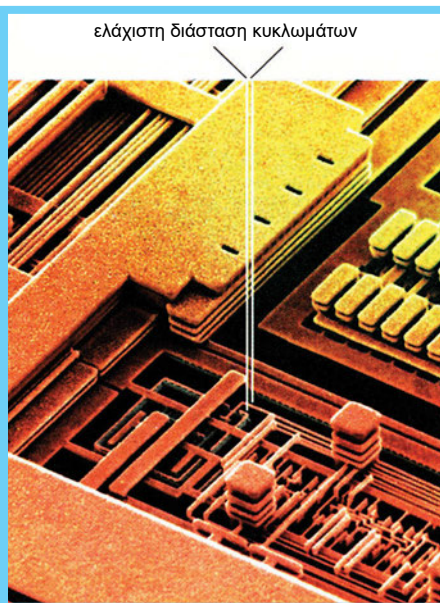
Η κενή θέση που αφήνει κάθε ελεύθερο ηλεκτρόνιο στο άτομο από το οποίο έχει αποσυνδεθεί ονομάζεται *οπή*. Η οπή, που ισοδυναμεί με έλλειψη ηλεκτρονίου στον κρύσταλλο του ημιαγωγού, συμπεριφέρεται σαν θετικό φορτίο. Καθώς το ελεύθερο ηλεκτρόνιο κινείται αδέσμευτο μέσα στο πλέγμα, συμβάλλει στην αγωγιμότητα του κρυστάλλου. Αλλά και η οπή (έλλειψη ηλεκτρονίου) μπορεί να συμπληρωθεί εύκολα από ένα γειτονικό ηλεκτρόνιο και να συμβάλει και αυτή στην αγωγιμότητα του ημιαγωγού. Τότε βέβαια μια άλλη οπή θα εμφανιστεί στη θέση του γειτονικού ηλεκτρονίου και αυτό ισοδυναμεί με μετακίνηση της αρχικής οπής.

Όταν λοιπόν εφαρμόζεται ηλεκτρικό πεδίο, θα έχουμε μετακίνηση δύο ειδών φορτίου: των αρνητικών ηλεκτρονίων και των θετικών οπών. Οι δύο μετακινήσεις φορτίων γίνονται κατ' αντίθετη φορά και επομένως τόσο οι οπές όσο και τα ηλεκτρόνια συμβάλλουν στην αγωγιμότητα του ημιαγωγού.

Η αγωγιμότητα των ημιαγωγών μπορεί να αυξηθεί κατά πολλές τάξεις μεγέθους με την *πρόσμειξη* (impurity), δηλ. την εισαγωγή κατάλληλων στοιχείων μέσα στον κρύσταλλο. Τα στοιχεία αυτά αυξάνουν τον αριθμό των ηλεκτρονίων ή των οπών μέσα στον ημιαγωγό. Στοιχεία προσμείξεων τα οποία παρέχουν ηλεκτρόνια ονομάζονται *δότες* (donors). Τέτοια είναι ο φωσφόρος (P) και το αρσενικό (As). Παρόμοια, τα στοιχεία τα οποία παρέχουν οπές ονομάζονται *αποδέκτες* (acceptors). Τέτοια στοιχεία είναι το αλουμίνιο (Al) και το γάλλιο (Ga). Αν ο ημιαγωγός περιέχει πλειονότητα δοτών, χαρακτηρίζεται ως *τύπου-n* ενώ αντίθετα, αν περιέχει πλειονότητα αποδεκτών, ως *τύπου-p*.

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. 4.2.5 και 4.2.6 για τις ημιαγωγικές μνήμες και τους επεξεργαστές που χρησιμοποιούνται στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές.

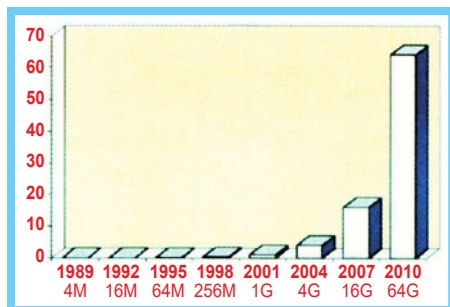


Σχήμα 4.2.4 Λεπτομέρεια από ολοκληρωμένο κύκλωμα και προσδιορισμός της ελάχιστης διάστασης του κυκλώματος.

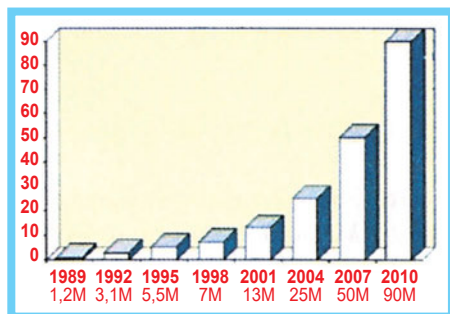
Η συνεχής όμως αύξηση των επιδόσεων των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων δεν μπορεί να συνεχιστεί επ' άπειρον. Υπάρχουν θεωρητικά όρια τα οποία υπαγορεύουν ότι η ταχύτητα, που προκύπτει από τη συνεχή σμίκρυνση των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, δεν μπορεί να αυξηθεί πάνω από τρεις ή τέσσερις τάξεις μεγέθους σε σχέση 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.

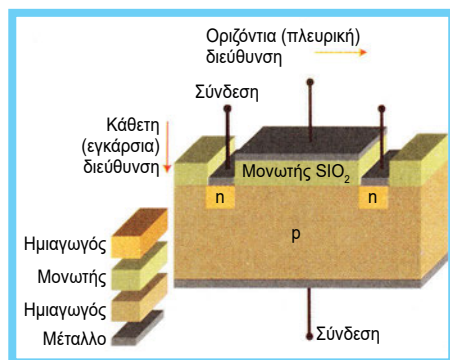
Το ελάχιστο μέγεθος στην **οριζόντια (πλευρική) διεύθυνση** καθορίζεται από τη διακριτική ικανότητα της μεθόδου κατασκευής των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων. Με την καθιερωμένη μέθοδο της φωτολιθογραφίας, η ελάχιστη διάσταση στοιχείων στην οριζόντια διεύθυνση είναι περίπου $0,18 \mu\text{m}$. Η τιμή αυτή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



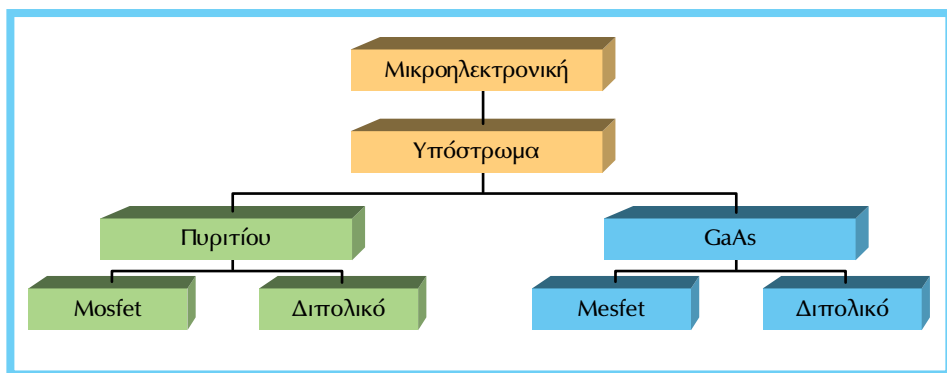
Σχήμα 4.2.5 Εξέλιξη χωρητικότητας ημιαγωγικών ολοκληρωμένων μνημών ($M=10^6$, $G=10^9$).



Σχήμα 4.2.6 Εξέλιξη αριθμού τρανζίστορ επεξεργαστών υπολογιστών, ($M=10^6$, $G=10^9$).



Σχήμα 4.2.7 Σχηματικό διάγραμμα τρανζίστορ ολοκληρωμένου κυκλώματος.



Σχήμα 4.2.8 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.

4.2.2 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 κ.λπ.) 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.

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.

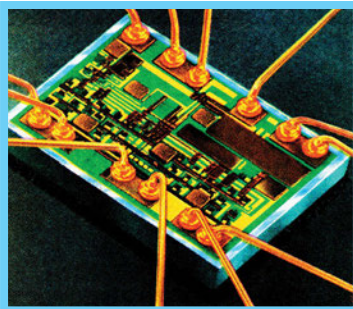
4.3 ΜΙΚΡΟΚΥΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ

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 κ.λπ.), 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.

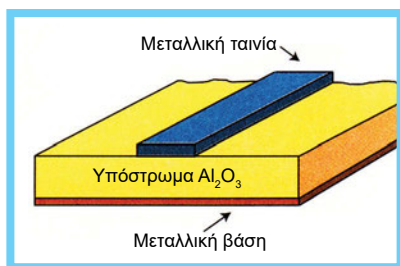
Η μεγαλύτερη εξέλιξη πραγματοποιήθηκε την περίοδο 1960-1980, οπότε και αναπτύχθηκαν τα **μικροκυματικά ολοκληρωμένα κυκλώματα (Microwave Integrated Circuits, MIC)**, τα οποία συνδυάζουν ενεργές διατάξεις (λ.χ. τρανζίστορ FET) και παθητικά στοιχεία (γραμμές μεταφοράς, αντιστάσεις, πυκνωτές, πηνία) κατανεμημένα ή συγκεντρωμένα πάνω σε ένα **διηλεκτρικό** (μονωτικό) υπόστρωμα (συνήθως αλουμίνα, Al_2O_3).

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.



Σχήμα 4.2.9 Φωτογραφία ολοκληρωμένου κυκλώματος.

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.



Σχήμα 4.3.1 Βασική δομή μικροταινίας.

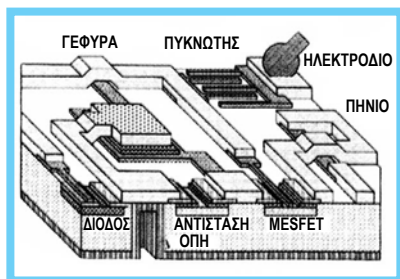
Ο πιο χαρακτηριστικός τύπος ολοκληρωμένης γραμμής μεταφοράς είναι η **μικροταινία** (microstrip) η οποία είναι το αντίστοιχο της ομοαξονικής γραμμής (π.χ. της γραμμής της τηλεόρασης) για ένα μικροκυματικό ολοκληρωμένο κύκλωμα.

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.

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. 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.

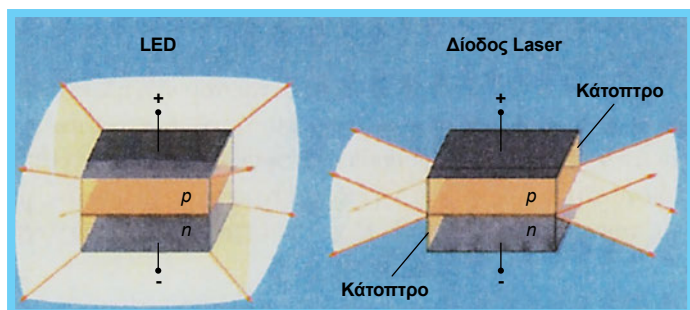
Τα MMIC έχουν εξελιχθεί σήμερα σε τέτοιο βαθμό, ώστε να λειτουργούν σε συχνότητες της τάξης των 100 GHz. Οι επιδόσεις αυτές οφείλονται στα βελτιωμένα υλικά και τις προωθημένες τεχνολογίες κατασκευής ολοκληρωμένων κυκλωμάτων. Ο συνδυασμός της εξέλιξης των μικροκυματικών κυκλωμάτων με την εξέλιξη των οπτικοηλεκτρονικών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



Σχήμα 4.3.2 Τριδιάστατο σχηματικό διάγραμμα MMIC.

4.4 ΟΠΤΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ

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.

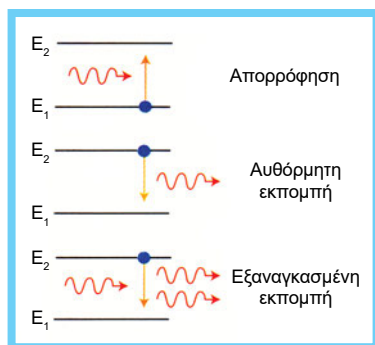


Σχήμα 4.4.1 Εκπομπή φωτός από LED και Laser.

Τέτοιες φωτεινές (οπτικές) πηγές χρησιμοποιούνται, για να διαβάσουν τα δεδομένα που έχουν αποθηκευθεί σε CD ή σε οπτικό ψηφιακό δίσκο (**D**igital **V**ideo **D**isk, DVD) ή χρησιμοποιούνται σε εκτυπωτές υπολογιστικών συστημάτων.

Η αναγκαιότητα χρησιμοποίησης οπτικών μέσων στις τηλεπικοινωνίες προέκυψε από την ανάγκη μεταφοράς ολοένα και μεγαλύτερων ποσών πληροφορίας. Είναι γνωστή αρχή των τηλεπικοινωνιών ότι η ικανότητα μεταφοράς πληροφορίας μιας πηγής εξαρτάται από τη συχνότητά της, η οποία ονομάζεται **φέρουσα** συχνότητα. Όσο μεγαλύτερη είναι αυτή η συχνότητα, τόσο περισσότερη είναι και η πληροφορία που μπορεί να μεταδώσει η πηγή.

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



Σχήμα 4.4.2 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 αποδιεγέρση του διεγερμένου ηλεκτρονίου και προκαλεί την εκπομπή δευτερογενούς φωτονίου.

νωνιών μέσα σε διάστημα λίγων δεκαετιών.

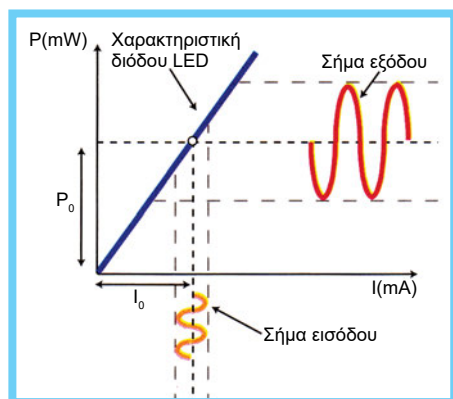
Οι δύο περισσότερο συνηθισμένες οπτικές πηγές είναι οι LED (Light Emitting Diode) και οι Laser. Σκοπός τους είναι να μετατρέπουν το ηλεκτρικό ρεύμα με το οποίο τροφοδοτούνται σε δέσμη φωτός. Με αυτό τον τρόπο η πληροφορία μεταφέρεται από το ρεύμα τροφοδοσίας στη φωτεινή δέσμη. Η πληροφορία, η οποία εμπεριέχεται στις μεταβολές ή διακυμάνσεις του ρεύματος, μετατρέπεται σε μεταβολές των χαρακτηριστικών (λ.χ. της έντασης) της φωτεινής δέσμης.

4.4.1 Πηγές LED

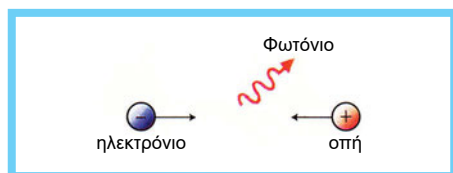
Οι LED είναι πηγές σχετικά απλές και βρίσκουν ευρεία χρήση σε ασύρματες υπέρυθρες επικοινωνίες, στα τηλεχειριστήρια σε εφαρμογές ηλεκτρονικής απεικόνισης (φωτεινοί ενδείκτες) κ.λπ. Η LED είναι μία ημιαγωγική διάταξη ένωσης p - n , η οποία εκπέμπει φως, όταν ο θετικός ακροδέκτης τροφοδοσίας συνδεθεί στην

περιοχή τύπου p και ο αρνητικός στην περιοχή τύπου n (αυτή η συνδεσμολογία ονομάζεται **ορθή πόλωση**). 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 μία 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.

Παραγωγή φωτός δεν προκύπτει από οποιοδήποτε ημιαγωγό αλλά από συγκεκριμένου 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.



Σχήμα 4.4.3 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.



Σχήμα 4.4.4 Επανασύνδεση ηλεκτρονίου και οπής και εκπομπή φωτονίου.

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.

Στον **πίνακα 4.4.1** φαίνονται τα κυριότερα ημιαγωγικά υλικά, από τα οποία κατασκευάζονται οι οπτικές πηγές και το αντίστοιχο μήκος κύματος του φωτός που εκπέμπουν. Με διαφορετικό χρώμα τονίζονται τα υλικά που δίνουν φως στα μήκη κύματος των οπτικών επικοινωνιών 0,85, 1,3 και 1,55 μm .

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. 4.4.3 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.

ΥΛΙΚΟ (ενεργό στρώμα/ υπόστρωμα)	ΜΗΚΗ ΚΥΜΑΤΟΣ
GaAlAs/GaAs	750–870 nm
GaAs/GaAs	904 nm
InGaAsP/InP	1100–1650 nm
AlGaAsSb/InGaAsSb	2,0–3,0 μm

Πίνακας 4.4.1

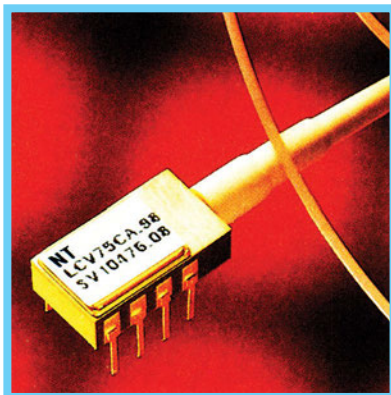
Ημιαγωγικά υλικά Οπτικών Πηγών.

4.4.2 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 **Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation** (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.

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).



Σχήμα 4.4.5 Φωτογραφία πομπού 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:

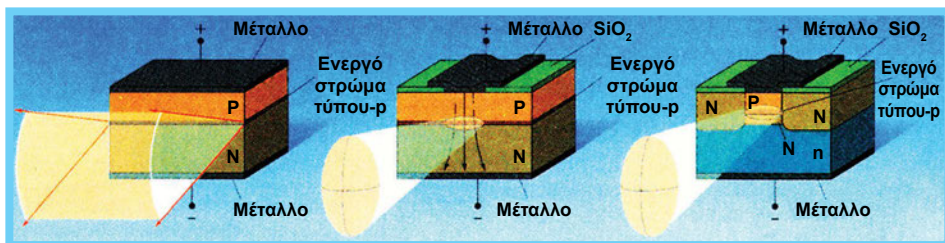
α) η ενίσχυση (απολαβή) ξεπερνά τις εσωτερικές απώλειες του υλικού

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

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



Σχήμα 4.4.6 Διάφοροι τύποι ημιαγωγικών laser.

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.

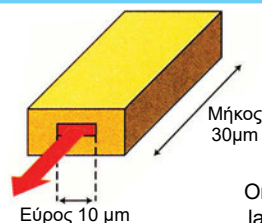
Τα laser έχουν ισχύ εκπομπής μέχρι μερικά Watts. Είναι πολύ ισχυρότερα από τις LED και, συνεπώς, έχουν δυνατότητα μετάδοσης σε πολύ πιο μακρινές αποστάσεις μέσα στην ίνα. Η απόδοση των laser είναι σήμερα της τάξης του 30%. Ένα άλλο πλεονέκτημα των laser ως προς τις LED είναι η ικανότητά τους να διαμορφώνονται 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 κύμα-

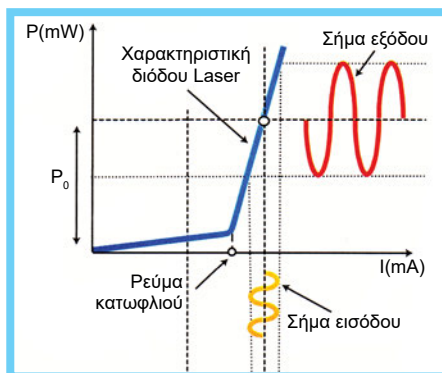
Η αυθόρμητη εκπομπή παράγει *ασύμ-φωνο φως*, φως που δεν έχει μια αναγνωρίσιμη ημιτονοειδή φύση, αφού αποτελείται από μια ροή φωτονίων με ανεξάρτητη φάση μεταξύ τους. Το φως που προέρχεται από αυθόρμητη εκπομπή εμφανίζει πολύ μεγάλο φάσμα συχνοτήτων. Αυτό το είδος φωτός είναι χαρακτηριστικό μιας θερμικής 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.

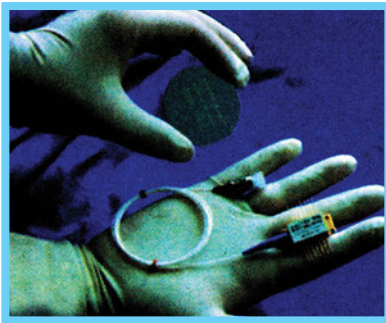


Σχήμα 4.4.7

Οι διαστάσεις του laser ημιαγωγού.



Σχήμα 4.4.8 Χαρακτηριστική οπτικής ισχύος εκπομπής - ρεύματος πόλωσης δίοδου Laser. Η διαμόρφωση του ρεύματος οδήγησης της Laser από το σημείο πληροφορίας μετατρέπεται από το γραμμικό τμήμα της καμπύλης σε αντίστοιχες διακυμάνσεις της οπτικής ισχύος εξόδου.



Σχήμα 4.4.9 Συσκευασμένο laser ημιαγωγού με προσαρτημένη την οπτική ίνα. Φαίνεται επίσης το ημιαγωγικό δισκίο από το οποίο προήλθε το laser.

τος εκπομπής μέσα σε μια περιοχή. Αυτό πραγματοποιείται εάν αλλάζουμε τα χαρακτηριστικά του φίλτρου.

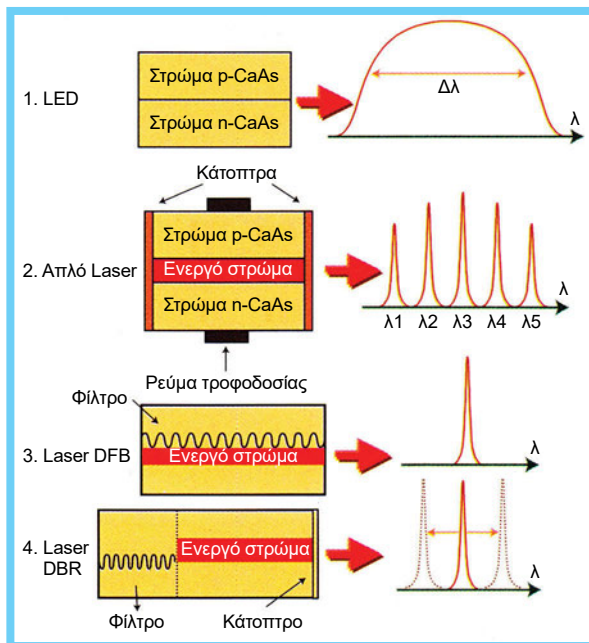
4.5 ΦΩΤΟΔΕΚΤΕΣ

Οι φωτοδέκτες ή φωτοφωρατές είναι οι ηλεκτρονικές διατάξεις που μετατρέπουν ένα φωτεινό σήμα σε ηλεκτρικό. Το φωτεινό σήμα θθάνει 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 **φωτοδίοδοι** ημιαγωγού,

που χρησιμοποιούνται σήμερα στους δέκτες όλων των οπτικών συστημάτων. Υπάρχουν δύο τύποι φωτοδίοδων ημιαγωγού: η *φωτοδίοδος PIN* και η *φωτοδίοδος χιονοστιβάδας* (APD: avalanche photodiode).

Η *φωτοδίοδος PIN* αποτελείται από τρία στρώματα. Ένα τύπου *p*, ένα τύπου *n* και μεταξύ τους παρεμβάλλεται ένα φωτευσιασθητο στρώμα χαμηλής νόθευσης (-intrinsic). Σε αυτό το στρώμα πραγματοποιείται η μετατροπή της οπτικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Η φωτοδίοδος πολώνεται **ανάστροφα**



Σχήμα 4.4.10 Μήκη κύματος εκπομπής δίοδων laser και LED.

(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 φωτοδίοδο, 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.

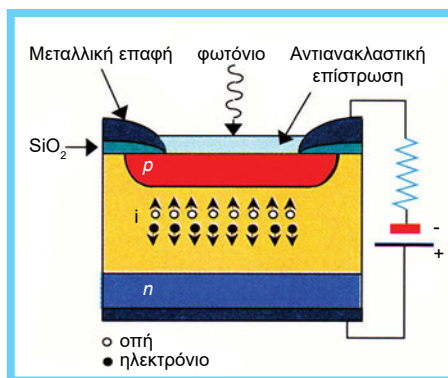
Το μήκος κύματος λειτουργίας μιας φωτοδίοδου εξαρτάται από το υλικό κατασκευής της. Το Si είναι κατάλληλο για τα μικρά μήκη κύματος (0,8-0,9 μm), το Ge για το πρώτο «παράθυρο» των οπτικών ινών (1,3 μm) και το InGaAs (Ίνδιο - Γάλλιο - Αρσενικό) για το δεύτερο «παράθυρο» των οπτικών ινών (1,55 μm).

Η σημαντικότερη παράμετρος μιας φωτοδίοδου είναι η *αποκρισιμότητα* R (Responsivity) που συσχετίζει το παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα I με την προσπίπτουσα στη φωτοδίοδο οπτική ισχύ P

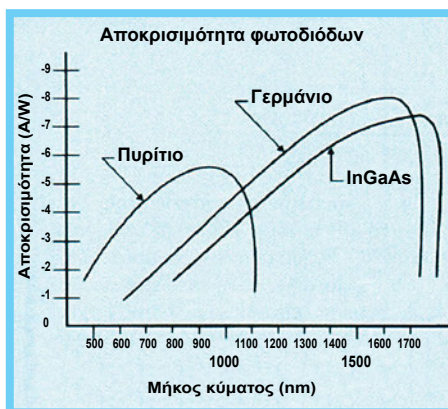
$$R = \frac{I}{P}$$

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

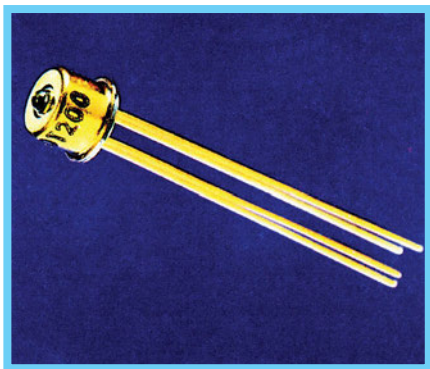
Σημαντική επίσης ιδιότητα μιας φωτοδίοδου PIN είναι το μεγάλο εύρος φωτεινής ισχύος που μπορεί να ανιχνεύσει. Η φωτοδίοδος μπορεί να ανιχνεύσει φωτεινή ισχύ στην περιοχή από μερικά nWatts μέχρι μερικές δεκάδες mWatts. Σε όλη αυτήν την περιοχή η φωτοδίοδος παράγει ρεύμα **ανάλογο** ($I = R \cdot P$) της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



Σχήμα 4.5.1 Δομή και συνδεσμολογία μιας διόδου PIN.



Σχήμα 4.5.2 Καμπύλες αποκρισιμότητας φωτοδίοδων συναρτήσει του μήκους κύματος του προσπίπτοντος φωτός για υλικά Si, Ge, InGaAs.



Σχήμα 4.5.3 Φωτοδίοδος PIN. Στην άκρη αριστερά διακρίνεται ο φακός εστίασης της εισερχόμενης φωτεινής δέσμης.

Πλεονεκτήματα

Οπτικών Ενισχυτών

- Ο επαναλήπτης-αναγεννητής λαμβάνει το εξασθενημένο οπτικό σήμα που έχει διαδοθεί μέσα στην ίνα, το μετατρέπει σε ηλεκτρικό σήμα, στη συνέχεια το ενισχύει και το επαναφέρει στην αρχική ψηφιακή μορφή του διορθώνοντας τυχόν λάθη κατά τη μετάδοση. Η επαναφορά αυτή (αναγέννηση) περιορίζει τον επαναλήπτη να λειτουργεί μόνο στο ρυθμό μετάδοσης, για τον οποίο σχεδιάστηκε η ζεύξη. Μετά την αναγέννηση το ηλεκτρικό σήμα μετατρέπεται σε οπτικό και εκπέμπεται στο επόμενο τμήμα του οπτικού καλωδίου. Επομένως, ο επαναλήπτης-αναγεννητής σχεδιάζεται για να λειτουργεί αποκλειστικά σε ένα μήκος κύματος και σε συγκεκριμένο ρυθμό μετάδοσης.

- Αντίθετα, ο οπτικός ενισχυτής μπορεί να ενισχύσει **οποιοδήποτε μήκος κύματος** (ακόμα και περισσότερα από ένα) σε **οποιοδήποτε ρυθμό μετάδοσης** και έχει μεγάλο εύρος ζώνης. Έτσι, τα συστήματα μετάδοσης μπορούν να αναβαθμίζονται χωρίς να χρειάζεται αντικατάσταση των ενδιάμεσων οπτικών ενισχυτών.

Το ρεύμα εξόδου μιας PIN είναι πολύ ασθενές, της τάξης του μA , και επομένως χρειάζεται ενίσχυση πριν διοχετευθεί στις υπόλοιπες βαθμίδες του ηλεκτρονικού δέκτη. Η ενίσχυση πραγματοποιείται με τη βοήθεια ενισχυτή με τρανζίστορ FET και έτσι έχουμε το συνδυασμό PIN με τρανζίστορ FET, ο οποίος ονομάζεται με μία λέξη φωτοδέκτης PIN-FET.

4.6 ΟΠΤΙΚΟΙ ΕΝΙΣΧΥΤΕΣ

Στα μέχρι πρότινος επίγεια και υποθαλάσσια τηλεπικοινωνιακά συστήματα οπτικών ινών μεγάλων αποστάσεων, για την περιοδική ενίσχυση του σήματος χρησιμοποιούνται **επαναλήπτες-αναγεννητές** οι οποίοι μετατρέπουν το οπτικό σήμα σε ηλεκτρικό, το ενισχύουν ηλεκτρονικά και στη συνέχεια το αναμεταδίδουν σε οπτική μορφή. Η χρήση όμως των επαναληπτών - αναγεννητών έχει τους εξής περιορισμούς:

- το θόρυβο της ηλεκτρονικής ενίσχυσης,
- το κόστος και το μέγεθος των αναγεννητών,
- την ανάγκη συχνής συντήρησής τους και,
- την αδυναμία ταυτόχρονης ενίσχυσης πολλών μηκών κύματος μέσα στην ίδια ίνα.

Ο μόνος τρόπος για να ξεπεραστούν όλες οι παραπάνω αδυναμίες είναι να διατηρηθεί το σήμα σε οπτική μορφή σε όλο το μήκος της διαδρομής. Αυτό συνεπάγεται ότι θα πρέπει να γίνεται απευθείας ενίσχυση του οπτικού σήματος από **καθαρά οπτικούς ενισχυτές**.

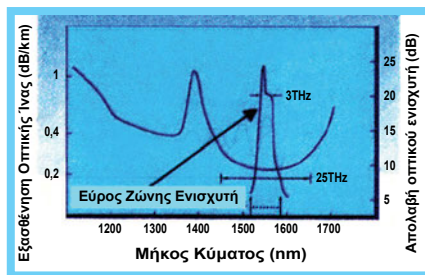
Υπάρχουν τρεις κυρίως τρόποι με τους οποίους μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε έναν οπτικό ενισχυτή:

α) ως *ενισχυτή ισχύος*, αν τοποθετηθεί αμέσως μετά από το laser εκπομπής για να υψώσει το σήμα εξόδου σε μια υψηλή στάθμη,

β) ως *ενισχυτή γραμμής*, για να ενισχύει το σήμα περιοδικά κατά μήκος της διαδρομής όπου παίζει το ρόλο αναγεννητή,

γ) ως *προενισχυτή*, για να βελτιώσει την ευαισθησία του δέκτη.

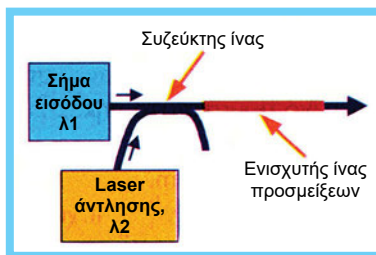
Στην πράξη, υπάρχουν δύο τύποι οπτικών ενισχυτών: οι *ενισχυτές ημιαγωγού* (semiconductor optical amplifiers - SOA) και οι *ενισχυτές με ίνα προσμείξεων ερβίου* (erbium doped fiber amplifiers - EDFA).



Σχήμα 4.6.1 Η εξασθένιση στην οπτική ίνα έχει ένα ελάχιστο μήκος κύματος 1550 nm, περιοχή στην οποία οι ενισχυτές ίνας προσμείξεων ερβίου εμφανίζουν τη μέγιστη απολαβή τους.

4.6.1 Οπτικοί ενισχυτές ημιαγωγού

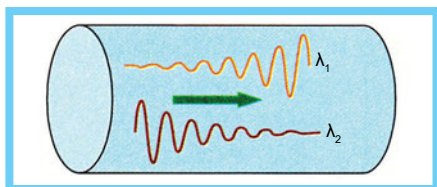
Οι ενισχυτές ημιαγωγού που κατασκευαστικά μοιάζουν πολύ με τα laser ημιαγωγού, έχουν μικρή κατανάλωση και μπορούν να ολοκληρώνονται μονολιθικά με άλλα ηλεκτρονικά κυκλώματα. Το εύρος ζώνης τους (δηλ. η περιοχή συχνοτήτων την οποία ενισχύουν) είναι της τάξης των 35 nm, αλλά με ειδικές ημιαγωγικές δομές έχει φθάσει σήμερα μέχρι 240 nm. Εισάγουν όμως θόρυβο στο σήμα, έχουν σχετικά μεγάλο κόστος και εμφανίζουν διαφωνία μεταξύ των οπτικών σημάτων που ενισχύονται.



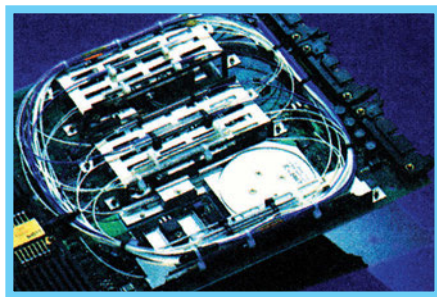
Σχήμα 4.6.2 Ενισχυτής ίνας προσμείξεων. Ο συζεύκτης ίνας εισάγει τα δύο μήκη κύματος στον πυρήνα της ίνας προσμείξεων.

4.6.2 Οπτικοί ενισχυτές ίνας προσμείξεων

Οι ενισχυτές αυτοί βασίζονται στην αρχή της ενίσχυσης του φωτός μέσα στην ίνα λόγω νόθευσής της με κατάλληλα υλικά (στοιχεία). Τα άτομα των προσμείξεων βρίσκονται στον πυρήνα της ίνας, από τον οποίο διέρχεται και το προς ενίσχυση σήμα εισόδου (με μήκος κύματος λ_1). Στον ίδιο πυρήνα διοχετεύεται και φως υψηλής ισχύος από μια πηγή laser, η οποία ονομάζεται laser άντλησης (με



Σχήμα 4.6.3 Στην ίνα προσμίξεων, η ενέργεια από το laser άντλησης (λ_2) μεταφέρεται στο φωτεινό σήμα πληροφορίας (λ_1), ενισχύοντάς το.



Σχήμα 4.6.4 Οπτικός ενισχυτής ίνας. Στο κάτω αριστερό άκρο διακρίνεται το laser άντλησης.

μήκος κύματος λ_2). **Η άντληση είναι η διαδικασία με την οποία δίνεται η αναγκαία ενέργεια σε έναν οπτικό ενισχυτή ή μια πηγή laser, για να λειτουργήσει.** Η άντληση είναι απαραίτητη για να διεγερθούν τα άτομα του υλικού, ώστε να έχουμε εξαναγκασμένη εκπομπή.

Η ενέργεια άντλησης μπορεί να δίνεται: α) με τη μορφή ηλεκτρικού ρεύματος (ενισχυτής ή laser ημιαγωγού) και β) με τη μορφή φωτεινής ακτινοβολίας (ενισχυτής ίνας).

Στον ενισχυτή ίνας τα άτομα προσμίξεων έχουν την εξής ιδιότητα: Απορροφούν φωτεινή ισχύ στο μήκος κύματος λ_2 και την αποδίδουν στο μήκος κύματος λ_1 . Μ' αυτόν τον τρόπο, το σήμα ενισχύεται σε οπτική μορφή, καθώς οδεύει μέσα στην ίνα. Οι πιο συνηθισμένοι ενισχυτές ίνας χρησιμοποιούν μερικά μέτρα ίνας με προσμίξεις του στοιχείου ερβίου (Er) και ενισχύουν

φωτεινά σήματα στο μήκος κύματος 1,55 μm των οπτικών επικοινωνιών.

Ως πηγή άντλησης χρησιμοποιείται ένα laser ημιαγωγού, το οποίο εκπέμπει στα 0,98 ή 1,48 μm .

Τυπικές τιμές της ενίσχυσης (απολαβής) ενός ενισχυτή ίνας φθάνουν τα 30 dB με εύρος ζώνης 40 nm.

Οι ενισχυτές ίνας εμφανίζουν πλεονεκτήματα όπως:

- α)** απλότητα στην κατασκευή,
- β)** ευκολία ζεύξης με τη γραμμή οπτικής ίνας με χαμηλές απώλειες,
- γ)** εξάλειψη των φαινομένων διαφωνίας των οπτικών σημάτων που ενισχύονται.

Οπτικοί ενισχυτές ίνας προσμίξεων ερβίου έχουν ήδη εγκατασταθεί σε πολλές ζεύξεις, όπως στο υπερατλαντικό υποβρύχιο καλώδιο (TAT 12/13), το οποίο συνδέει τη Μεγάλη Βρεταννία, τη Γαλλία και τις Η.Π.Α. με ρυθμό μετάδοσης 10 Gbit/s.

4.7 ΟΠΤΙΚΟΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΟΛΟΚΛΗΡΩΣΗ

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 δίοδος laser,
- β)** το ηλεκτρονικό κύκλωμα τροφοδοσίας και διαμόρφωσης της δίοδου laser,
- γ)** η φωτοδίοδος,
- δ)** το κύκλωμα ενίσχυσης της φωτοδίοδου,
- ε)** παθητικά φωτονικά κυκλώματα (οπτικά φίλτρα κ.λπ.)

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.

Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, η Μικροηλεκτρονική αρχίζει να φθάνει στα όριά της. Όσο οι διαστάσεις των κυκλωμάτων μικραίνουν, τόσο το μήκος των εσωτερικών διασυνδέσεων πάνω στον ημιαγωγό αποκτά ιδιαίτερη σημασία για τη δομή και τις επιδόσεις του κυκλώματος.

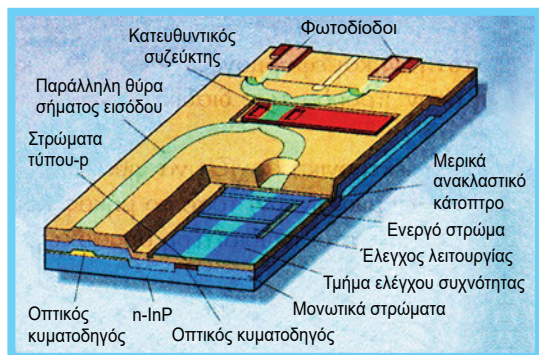
Το γεγονός αυτό περιορίζει τον αριθμό των ημιαγωγικών στρωμάτων που μπορούν να αναπτυχθούν σε ένα ολοκληρωμένο. Παρόλο που θεωρητικά είναι εφικτό, στην πράξη είναι δύσκολη η κατασκευή ολοκληρωμένων κυκλωμάτων με περισσότερα από έξι στρώματα μεταλλικών διασυνδέσεων. Επίσης, η ευαισθη-



Σχήμα 4.7.1 Ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των οπτικών διατάξεων που τις καθιστούν πλεονεκτική τεχνολογία για την επεξεργασία της πληροφορίας.



Σχήμα 4.7.2 Περιοχές στις οποίες η οπτικοηλεκτρονική έχει επιδράσει σημαντικά.



Σχήμα 4.7.3 Σχηματικό διάγραμμα ολοκληρωμένου οπτικοηλεκτρονικού φωτοδέκτη.

σία των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων σε ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές είναι ένα σημαντικό πρόβλημα.

Ένα οπτικοηλεκτρονικό σύστημα μπορεί να αντιμετωπίσει τα παραπάνω προβλήματα. Επιπλέον, είναι απολύτως συμβατό με τις εφαρμογές οπτικών επικοινωνιών και οπτικής απεικόνισης που συνεχώς κερδίζουν έδαφος.

Η οπτικοηλεκτρονική τεχνολογία είναι κεφαλαιώδους σημασίας στη νέα κοινωνία της πληροφορίας.

Αρκεί κανείς να αναλογιστεί την αγορά ψηφιακών δίσκων (CD), εκτυπωτών laser και οπτικών βινεοδίσκων (DVD). Χωρίς την ύπαρξη της διόδου laser οι τεχνολογίες αυτές δεν θα υπήρχαν καν! Επίσης, ο συνδυασμός της διόδου laser με την οπτική ίνα οδήγησε σε μια έκρηξη της αγοράς των τηλεπικοινωνιών με εντελώς νέες υπηρεσίες και εφαρμογές. Η τεχνολογία επίπεδης οθόνης υγρών κρυστάλλων έχει ανατρέψει το σκηνικό στο χώρο των υπολογιστών (φορητοί υπολογιστές) και είναι σε θέση να αντικαταστήσει τις συμβατικές οθόνες τηλεόρασης και υπολογιστών. Τέλος, η τεχνολογία CCD (Charge

Coupled Devices), η οποία βασίζεται στις φωτοδίοδους, έκανε προσιτή σε όλους την προσωπική βιντεοκάμερα και χρησιμοποιείται ήδη στις επαγγελματικές κάμερες της τηλεόρασης.

Ότι προαναφέρθηκε είναι ένα μέρος των σημερινών εφαρμογών της οπτικοηλεκτρονικής τεχνολογίας. Το μέλλον προβλέπεται ακόμη πιο ενδιαφέρον, καθώς η εξέλιξη της οπτικοηλεκτρονικής επιτρέπει να μιλάμε σήμερα για «**ΟΠΤΙ-**

κούς υπολογιστές». Οι οπτικοί υπολογιστές θα έχουν δυνατότητες **παράλληλης** επεξεργασίας πολλών φωτεινών σημάτων. Η ικανότητά τους αυτή βασίζεται:

α) στην ιδιότητα μιας φωτεινής δέσμης να μην παρεμβάλλεται με άλλη φωτεινή δέσμη, όταν αυτές διασταυρώνονται και,

β) στην ευκολία με την οποία οι οπτικές δέσμες καθοδηγούνται (με τη βοήθεια μικροσκοπικών φακών ή πρισμάτων).

Ακόμη, η δυνατότητα παραγωγής, από laser, εξαιρετικά στενών παλμών φωτός, με εύρος της τάξης των 10^{-15} δευτερολέπτων, επιτρέπει την εκμετάλλευση μη γραμμικών φαινομένων¹ μέσα στην οπτική ίνα για τη μετάδοση πληροφορίας σε ρυθμούς δεκάδων Gbit/s και σε αποστάσεις εκατοντάδων χιλιομέτρων.

Τέλος, η οπτικοηλεκτρονική ολοκλήρωση προσφέρει τη δυνατότητα ανάπτυξης διατάξεων που θα πραγματοποιούν πολυπλεξία και μεταγωγή στο οπτικό επίπεδο (οι λειτουργίες αυτές θα εξεταστούν στο κεφ. 5). Με αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται η οπτικοηλεκτρονική και ηλεκτροοπτική μετατροπή και αυξάνεται ο ρυθμός μετάδοσης των γραμμών μεταξύ των κέντρων μεταγωγής του τηλεπικοινωνιακού δικτύου, εφόσον όλες αυτές οι λειτουργίες θα εκτελούνται στο οπτικό πεδίο. Η επεξεργασία στο οπτικό πεδίο προσφέρει τεράστιες δυνατότητες, όπως για παράδειγμα την ταυτόχρονη μετάδοση πολλών μηκών κύματος μέσα από την ίδια ίνα (δηλαδή πολυπλεξία μηκών κύματος που το κάθε μήκος κύματος μεταφέρει πληροφορία σε υψηλούς ρυθμούς).

1. Τα μη γραμμικά φαινόμενα στην οπτική ίνα εμφανίζονται, όταν η ένταση του φωτός γίνει πολύ μεγάλη. Τότε ο δείκτης διάθλασης του γυαλιού της ίνας παύει να είναι σταθερός και εξαρτάται από την ένταση του φωτός. Αυτό το μη γραμμικό φαινόμενο αλλάζει ριζικά τον τρόπο διάδοσης του φωτός μέσα στην ίνα.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ 4ΟΥ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

1. Ποια είναι η σημαντικότερη ιδιότητα της τριόδου ηλεκτρονικής λυχνίας και ποια τα μειονεκτήματά της;
2. Ποια είναι τα πλεονεκτήματα του τρανζίστορ;
3. Ποιες επιπτώσεις έχει η συνεχής μείωση του μεγέθους των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων και ποιο χαρακτηριστικό τους παίζει πρωταρχικό ρόλο στην προσπάθεια αυτή;
4. Ποια η βασική διαφορά των MIC από τα MMIC;
5. Να αναφέρετε μερικές εφαρμογές των μικροκυματικών ολοκληρωμένων κυκλωμάτων.
6. Ποιες είναι οι βασικές κατασκευαστικές και λειτουργικές διαφορές ανάμεσα σε μια δίοδο LED και ένα laser;
7. Σε τι οφείλεται η διαφορά στη χαρακτηριστική καμπύλη *οπτικής ισχύος εκπομπής-ρεύματος πόλωσης* μιας LED και ενός laser;
8. Από τι εξαρτάται το μήκος κύματος εκπομπής των οπτικών πηγών;
9. Ποια υλικά δίνουν «φως» στα μήκη κύματος των οπτικών επικοινωνιών;
10. Αν θέλατε να πραγματοποιήσετε σύστημα επικοινωνίας με οπτική ίνα σε ρυθμό 1 Gbit/s και μήκος κύματος 1,55 μm , τι είδους πηγή και φωτοδέκτη θα χρησιμοποιούσατε;
11. Ποιο μήκος κύματος είναι κατάλληλο για μετάδοση μεγάλων αποστάσεων με οπτική ίνα; α) 980nm, β) 1550nm, γ) 670nm και δ) 904nm.
12. Μια πηγή laser εκπέμπει φως ισχύος 20mW. Κατά την εισαγωγή του φωτός στην οπτική ίνα μήκους 100Km, χάνεται η μισή ισχύς. Η εξασθένηση της οπτικής ίνας είναι 0,2dB/Km. Το φως στην έξοδο της ίνας πέφτει σε μια φωτοδίοδο με αποκρισιμότητα $R=0,8\text{A/W}$. Να βρεθούν: α) Η φωτεινή ισχύς P στην έξοδο της ίνας και β) το ρεύμα I της φωτοδίοδου.
13. Ποια τα πλεονεκτήματα της χρήσης οπτικών ενισχυτών αντί των επαναληπτών-αναγεννητών στις ζεύξεις μεγάλων αποστάσεων;
14. Εξηγήστε την αρχή λειτουργίας των οπτικών ενισχυτών.
15. Ποια είναι τα πλεονεκτήματα των οπτικών ενισχυτών ίνας σε σχέση με τους ενισχυτές ημιαγωγού;
16. Ποια τα πλεονεκτήματα της οπτικοηλεκτρονικής ολοκλήρωσης;

Αναλογικά και ψηφιακά σήματα και αρχές τηλεπικοινωνιών

5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Από τα βασικότερα χαρακτηριστικά της σημερινής εποχής είναι η ταχύτατη εξέλιξη της τεχνολογίας στον τομέα των επικοινωνιών. Είδαμε στο Κεφ. 2 δείγματα των προγόνων των σημερινών τηλεπικοινωνιακών συστημάτων. Εδώ πρέπει να παρατηρήσουμε ότι τα πρώτα αυτά συστήματα επικοινωνίας ήταν συστήματα συγκεκριμένων καταστάσεων, όπου λ.χ. το μήνυμα με τη φωτιά ήταν το συγκεκριμένο άγγελμα που ήταν προσχεδιασμένο να σημαίνει η αναμμένη φωτιά ή στην περίπτωση του τηλεγράφου, υπήρχε αντιστοίχιση κάθε μεταδιδόμενου χαρακτήρα σε μια σειρά διακριτών συμβόλων (παύλα ή τελεία).

Τα συστήματα αυτά που χρησιμοποιούν σύμβολα διακριτών καταστάσεων, όπως το ΝΑΙ - ΟΧΙ ή το άσπρο - μαύρο ή το 0 - 1, με δύο σύμβολα, χαρακτηρίζονται ως *δυαδικά*. Γενικά, τα συστήματα που χρησιμοποιούν διακριτά σύμβολα (ενδεχομένως περισσότερα από δύο) χαρακτηρίζονται ως *ψηφιακά*. Στις αρχές του 19ου αιώνα έγινε μια μεγάλη αλλαγή και από τα πρώτα συστήματα, που ήταν ουσιαστικά ψηφιακά, περάσαμε στα λεγόμενα αναλογικά, όπως το τηλέφωνο, το ραδιόφωνο, η τηλεόραση, στα οποία το σήμα είναι σε αναλογική μορφή.

Με την είσοδο στον 21ο αιώνα, η τεχνολογία των τηλεπικοινωνιών γίνεται πάλι σε μεγάλο βαθμό ψηφιακή. Για τη μετάδοση χρησιμοποιείται πολλές φορές

Έστω ότι δύο μαθητές Α και Β δίνουν πανελλαδικές εξετάσεις, από τους οποίους ο μεν Α είναι αριστούχος μαθητής, ο δε Β μόλις περνάει τη βάση στο απολυτήριο. Διαβάζοντας τα αποτελέσματα βλέπει κανείς ότι ο μαθητής Α πέτυχε, ενώ ο μαθητής Β απέτυχε. Είναι φανερό ότι ένα τέτοιο μήνυμα δεν έχει σημασία μιας και ήταν αναμενόμενο. Αντίθετα, αν διαβάζοντας τα αποτελέσματα έβλεπε ότι ο μαθητής Α απέτυχε, ενώ ο μαθητής Β πέτυχε, τότε το μήνυμα αυτό περιέχει αρκετή πληροφορία, γιατί ήταν κάτι που δεν το περίμενε κανείς.

Λογάριθμος: Εάν η δύναμη ενός αριθμού $a^x=N$, όπου το a είναι διάφορο του 0 και του 1, τότε ο εκθέτης $x=\log_a N$ ορίζεται ως ο λογάριθμος του N με βάση το a .

Παράδειγμα: Επειδή $2^4=16$, έχουμε $\log_2 16=4$. Ομοίως, $2^3=8$ άρα $\log_2 8=3$, $2^2=4$ άρα $\log_2 4=2$, $2^1=2$ άρα $\log_2 2=1$.

Ισχύει επίσης ότι $\log_a a=1$ και $\log_a 1=0$, για οποιοδήποτε αριθμό a . Λογάριθμος αρνητικού αριθμού δεν ορίζεται.

Η σχέση $y=\log_a x$ ονομάζεται **λογαριθμική συνάρτηση**.

οπτικό σήμα αντί για ηλεκτρομαγνητικό σήμα υψηλής συχνότητας. Οι μεγάλες ποσότητες πληροφορίας διακινούνται με μια ροή διαδοχικών παλμών φωτός που οδηγούνται μέσα από οπτικές ίνες. Οι παλμοί αυτοί αντιπροσωπεύουν ψηφιακά δυαδικά σύμβολα. Αξίζει να σημειωθεί, όπως θα δούμε στη συνέχεια, ότι κάθε αναλογικό σήμα μπορεί να μετατραπεί με κάποια κωδικοποίηση σε ψηφιακό.

Στο κεφάλαιο αυτό θα εξεταστούν οι

βασικές αρχές της έννοιας της πληροφορίας και η σημασία των ψηφιακών συστημάτων επικοινωνίας. Θα παρουσιαστούν επίσης οι τεχνικές μετατροπής αναλογικού σήματος σε ψηφιακό, οι τεχνικές κωδικοποίησης και οι σημαντικότεροι τρόποι αναλογικής και ψηφιακής διαμόρφωσης του σήματος πληροφορίας που πρόκειται να μεταδοθεί. Τέλος, θα παρουσιαστεί η αρχή και οι βασικότεροι τρόποι πολυπλεξίας των σημάτων πληροφορίας.

5.2 Ο ΟΡΟΣ «ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑ»

Η επικοινωνία συντελείται με μεταβίβαση μηνυμάτων από μία θέση σε μια άλλη, δηλαδή από ένα πομπό σ' ένα δέκτη. Με τον όρο «Μήνυμα» (MESSAGE) εννοείται μια σειρά από πληροφορίες οι οποίες δίνουν ένα ολοκληρωμένο και αυτοτελές νόημα.

Ένα μήνυμα αποτελείται συνήθως από μια διαδοχή συμβόλων, τα οποία διακρίνονται μονοσήμαντα μεταξύ τους και τα οποία συνιστούν μια ακολουθία. Η ακολουθία αυτή μπορεί να συγκροτείται από διακριτά σύμβολα (π.χ. γράμματα αλφαβήτου, αριθμούς, «τελείες-παύλες», «ναι-όχι» κ.λπ.) ή μπορεί να είναι μια συνεχής ακολουθία από στάθμες ενός μεγέθους (στιγμιαία πλάτη μιας κυματομορφής φωνής, μουσικής κ.λπ.).

Η **Θεωρία πληροφορίας** αναπτύχθηκε στην προσπάθεια των επιστημόνων, με πρωτεργάτη τον Κλωντ Σάννον (C. Shannon), να βρουν κάθε φορά την ελάχιστη ποσότητα πληροφορίας που χρειάζεται για να εκφραστεί ένα μήνυμα και, στη συνέχεια, τον καλύτερο συνδυασμό συμβόλων για τη μετάδοσή του. Ένα βασικό ζήτημα της Θεωρίας πληροφορίας είναι ο ακριβής ορισμός της **πληροφορίας**. Η υποκειμενική αξιολόγηση της πληροφορίας που σχετίζεται με τον παρατηρητή και τις «αξίες» που τον ενδιαφέρουν ξεφεύγει τελείως από τα πλαίσια της Θεωρίας πληροφορίας. Ζητούμενο λοιπόν είναι ο ορισμός της **απόλυτης πληροφορίας** ή πιο σωστά της **ποσότητας πληροφορίας** που περιλαμβάνεται σε ένα σήμα, ώστε να μπορούμε με αυτήν σαν βάση να μετράμε και να

αξιολογούμε τα διάφορα συστήματα. Η ποσότητα πληροφορίας πρέπει να οριστεί αυστηρά, δηλαδή να εκφράζεται από μια μαθηματική σχέση. Το δε σήμα μπορεί να είναι εξ ίσου τηλεπικοινωνιακό, βιολογικό (λ.χ. ηλεκτροκαρδιογράφημα), σήμα εισόδου υπολογιστή, σήμα καθοδήγησης συστήματος αυτομάτου ελέγχου ή κάποια μετεωρολογική παράμετρος.

Θα ασχοληθούμε με «ασυνεχή σήματα ή μηνύματα» δηλαδή με ακολουθίες διακριτών συμβόλων. Είναι φανερό ότι, για να περιέχει ένα μήνυμα μια κάποια πληροφορία, θα πρέπει η εμφάνιση των συμβόλων να είναι αποτέλεσμα μιας επιλογής από πολλά δυνατά σύμβολα. Όσο περισσότερο απίθανος ή δυσεύρετος είναι ένας συνδυασμός, τόσο περισσότερες πληροφορίες φέρνει μαζί του και αντίστροφα.

Ο ορισμός λοιπόν της πληροφορίας χρησιμοποιεί την έννοια της πιθανότητας.

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

Αποδεικνύεται ότι η σχέση αυτή της ποσότητας πληροφορίας / ενός συμβόλου και της πιθανότητας εμφάνισής του P περιγράφεται από τη μαθηματική έννοια της **λογαριθμικής συνάρτησης**

$$I = \log_{\alpha} \frac{1}{P}$$

(5.2.1)

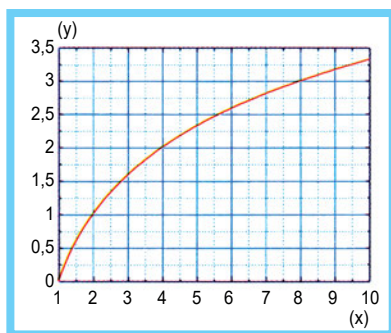
α , είναι η βάση του λογαρίθμου.

5.3 Η ΜΟΝΑΔΑ ΠΟΣΟΤΗΤΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ "BIT"

Για να ορίσουμε τώρα την απλούστερη μονάδα ποσότητας πληροφορίας, θα θεωρήσουμε την περίπτωση που έχουμε δύο μόνο δυνατά σύμβολα A και B (αφού με ένα μόνο δεν γίνεται μήνυμα) και θα τα θεωρήσουμε ισοπίθανα, δηλ. η πιθανότητα εμφάνισης του καθενός είναι $P=50\%$ ή $P=1/2$. Τότε η ποσότητα πληροφορίας θα είναι

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

(5.3.1)



Σχήμα 5.3.1 Λογαριθμική συνάρτηση $y = \log_2(x)$.

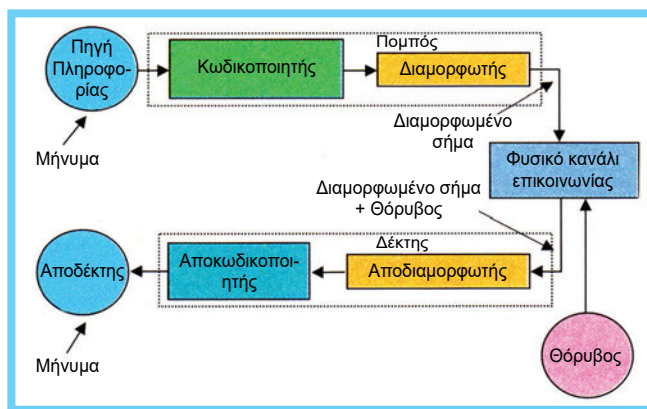
Έτσι, όταν ως βάση χρησιμοποιείται το δύο (δυαδικό σύστημα), η μονάδα πληροφορίας είναι 1, και ονομάζεται **bit** (από το **binary digit**). Το bit αντιπροσωπεύει ουσιαστικά την ελάχιστη ποσότητα πληροφορίας οποιουδήποτε συστήματος επικοινωνίας και χρησιμοποιείται ως βάση μέτρησης και αξιολόγησης της παροχής πληροφορίας των διαφόρων συστημάτων (λ.χ. το ψηφιακό σήμα ομιλίας μεταδίδεται με ρυθμό 64 kbit/s).

5.4 ΤΟ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ

Σε γενικές γραμμές ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα περιλαμβάνει: έναν πομπό, το μέσο μετάδοσης (δίαυλο ή φυσικό κανάλι επικοινωνίας) μέσα από το οποίο θα μεταδοθεί η πληροφορία και ένα δέκτη. Στο διάγραμμα του Σχ. 5.4.1. διακρίνονται:

- Η **πηγή πληροφορίας**, η οποία παράγει ένα μήνυμα που φέρει την πληροφορία (λ.χ. μια ακολουθία συμβόλων) προς διαβίβαση σε έναν αποδέκτη (άνθρωπο, υπολογιστή, όργανο καταγραφής κ.λπ.).

- Ο **πομπός**, ο οποίος αποτελείται από τον **κωδικοποιητή** και το **διαμορφωτή**. Ο **κωδικοποιητής μετατρέπει το μήνυμα της πηγής σε μια δυαδική ακολουθία από 0 και 1**. Για παράδειγμα, στον κώδικα ASCII ο χαρακτήρας Ε παριστάνεται με το συνδυασμό 7 bits 1000101. Ο κωδικοποιητής λοιπόν έχει ως σκοπό να μετατρέψει την ακολουθία συμβόλων που εκπέμπονται από την



Σχήμα 5.4.1 Σχηματικό διάγραμμα τηλεπικοινωνιακού συστήματος.

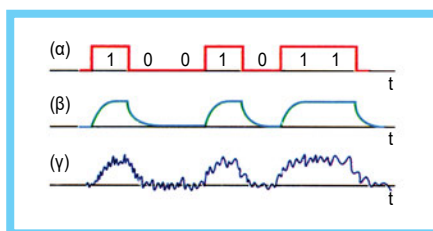
πηγή (που συνιστά το προς μετάδοση μήνυμα) σε μια ακολουθία bits, σύμφωνα με την κωδικοποίηση που έχει επιλεγεί (λ.χ. ASCII, EBCDIC κ.λπ.). Η κωδικοποίηση αποσκοπεί στον περιορισμό των σφαλμάτων κατά τη μετάδοση της πληροφορίας και θα εξεταστεί αναλυτικά αργότερα.

Ο διαμορφωτής δέχεται στην είσοδό του μια ακολουθία δυαδικών ψηφίων και τη μετατρέπει σε κυματομορφή κατάλληλη για μετάδοση μέσω του διαύλου επικοινωνίας (κανάλι), ώστε το σήμα πληροφορίας να μεταδοθεί κατά τον αποδοτικότερο τρόπο μέσα από αυτόν. Η διαδικασία αυτή λέγεται *διαμόρφωση* (modulation). Στην περίπτωση λ.χ. της ασύρματης επικοινωνίας, για τη διαμόρφωση χρησιμοποιείται ως φέρον ένα ηλεκτρομαγνητικό σήμα. Η ακολουθία συμβόλων από τον κωδικοποιητή μεταβάλλει τα χαρακτηριστικά (πλάτος, συχνότητα κ.λπ.) του ηλεκτρομαγνητικού (φέροντος) σήματος, το οποίο στη συνέχεια εκπέμπεται από μια κεραία ως ηλεκτρομαγνητικό διαμορφωμένο κύμα (ραδιοφωνική διαμόρφωση AM, FM). Το διαμορφωμένο σήμα που προκύπτει έχει δύο βασικές ιδιότητες: (α) περιέχει την πληροφορία της δυαδικής ακολουθίας και (β) μπορεί να μεταδοθεί σε μεγάλες αποστάσεις λόγω της υψηλής του συχνότητας (μικρή εξασθένηση).

- Το **φυσικό κανάλι επικοινωνίας**, που μπορεί να είναι το δισύρματο ηλεκτρικό καλώδιο ή ο ελεύθερος χώρος ή η οπτική ίνα, διαβιβάζει το διαμορφωμένο σήμα. Ουσιαστικά δηλαδή μεταφέρει την ακολουθία συμβόλων της πηγής στο δέκτη, εξασφαλίζοντας τη μεταξύ τους φυσική σύνδεση. Όμως η μεταφορά στη γενική περίπτωση δεν είναι ιδανική. Ένας αριθμός συμβόλων δε μεταδίδεται σωστά λόγω του **θορύβου** του καναλιού. **Θόρυβος είναι η προσθήκη ξένων ανεπιθύμητων σημάτων κατά τη διέλευση του ωφέλιμου σήματος πληροφορίας από ένα φυσικό κανάλι ή ένα σύστημα επικοινωνίας**. Επίσης, εσφαλμένη λήψη συμβόλων μπορεί να προκύψει από παραμόρφωσή τους, λόγω περιορισμένης **χωρητικότητας** του καναλιού.

Συνδυασμοί δύο συμβόλων παράγουν 4 καταστάσεις		
Σύμβολο A	Σύμβολο B	Συνδυασμός
0	0	00
0	1	01
1	0	10
1	1	11

Συνδυασμοί τριών συμβόλων παράγουν 8 καταστάσεις			
Σύμβολο A	Σύμβολο B	Σύμβολο Γ	Συνδυασμός
0	0	0	000
0	0	1	001
0	1	0	010
0	1	1	011
1	0	0	100
1	0	1	101
1	1	0	110
1	1	1	111



Σχήμα 5.4.2 Αλλοιώσεις κυματομορφής σε ψηφιακά συστήματα: (α) Τυπική μορφή ψηφιακών παλμών, (β) Παραμόρφωση κυματομορφής λόγω περιορισμένης χωρητικότητας καναλιού, (γ) Επίδραση προσθετικού θορύβου.

Χωρητικότητα ενός φυσικού καναλιού επικοινωνίας είναι η μέγιστη τιμή του ρυθμού μετάδοσης πληροφορίας. Η έννοια της χωρητικότητας καναλιού θα εξεταστεί αναλυτικά πιο κάτω.

- Ο **δέκτης** στον οποίο πραγματοποιούνται οι αντίστροφες διαδικασίες. Δηλαδή γίνεται πρώτα η αποδιαμόρφωση του σήματος και η εξαγωγή του δυαδικού ψηφιακού σήματος πληροφορίας, το οποίο λόγω θορύβου και χωρητικότητας καναλιού δεν είναι στη γενική περίπτωση ίδιο με αυτό που εκπέμφθηκε.

Στη συνέχεια γίνεται η αποκωδικοποίηση του σήματος, δηλ. η μετατροπή των δυαδικών ψηφίων στην ακολουθία συμβόλων και μετά χρήση των σημάτων από τον αποδέκτη του μηνύματος.

5.5 ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΝΑΛΙΟΥ - ΘΕΩΡΗΜΑ SHANNON

Παράδειγμα: Υπολογίστε τη χωρητικότητα ενός καναλιού με διαθέσιμο εύρος ζώνης 3000 Hz και λόγο σήματος-προς-θόρυβο SNR = 1000 στην έξοδό του.

Λύση: Η χωρητικότητα του καναλιού δίνεται από την εξ. (5.5.1):

$$C = B \log_2(1 + S/N) = 3000 \log_2(1 + 1000) \\ 29.900 \text{ bit/s.}$$

Βλέπετε δηλαδή ότι από μια γραμμή με εύρος ζώνης 3 kHz μπορούν να περάσουν δεδομένα σε ρυθμούς της τάξης των 30 kbit/s. Κάτι τέτοιο συμβαίνει με την τηλεφωνική γραμμή την οποία χρησιμοποιούμε για τη μετάδοση ψηφιακών δεδομένων μέσω modem. Αν και το εύρος ζώνης της δισύρματης τηλεφωνικής γραμμής είναι μόνο 4 kHz, σήμερα χρησιμοποιούμε για τη σύνδεση των υπολογιστών μας modem στα 56 kbit/s. Το modem είναι ο κωδικοποιητής, ο οποίος βάσει του θεωρήματος του Shannon επιτυγχάνει την αξιοποίηση του μικρού εύρους ζώνης των 4 kHz για να περάσει πληροφορία σε υψηλούς ρυθμούς. Υπάρχουν συστήματα του ΟΤΕ, τα οποία με κατάλληλη κωδικοποίηση μπορούν να περάσουν από την τηλεφωνική γραμμή ρυθμούς της τάξης των Mbit/s.

Στις τηλεπικοινωνίες, ως **φυσικό κανάλι** ορίζεται **ο χώρος μετάδοσης της πληροφορίας ανάμεσα στον πομπό και στο δέκτη. Χωρητικότητα C καναλιού είναι ο μέγιστος αριθμός των συμβόλων που μπορούν να μεταφερθούν μέσω ενός καναλιού στη μονάδα του χρόνου.** Εκφράζεται σε αριθμό bit/s. Ο λόγος του ορισμού της χωρητικότητας καναλιού απορρέει από το παρακάτω θεώρημα του Shannon, το οποίο είναι θεμελιώδες στη θεωρία των τηλεπικοινωνιών.

Θεώρημα Shannon: Αν ο ρυθμός πληροφορίας R της πηγής είναι μικρότερος ή το πολύ ίσος με τη χωρητικότητα C του καναλιού, δηλαδή $R \leq C$, τότε υπάρχει πάντα μία τεχνική κωδικοποίησης, έτσι ώστε να είναι δυνατή η μετάδοση πληροφορίας μέσα από το κανάλι με οσοδήποτε μικρή πιθανότητα σφάλματος, ανεξάρτητα από την ύπαρξη ή όχι θορύβου στο κανάλι. Αντίθετα,

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

Στην πράξη, για να είναι δυνατή η σύγκριση των διαφόρων ειδών συστημάτων τηλεπικοινωνιών, το κανάλι περιγράφεται σε σχέση με το εύρος ζώνης και το λόγο σήματος-προς-θόρυβο (Signal to Noise Ratio, SNR). Για το λόγο αυτό, υπάρχει το θεώρημα Hartley-Shannon, που αποτελεί συμπλήρωμα του θεωρήματος Shannon.

Θεώρημα Shannon-Hartley: Η χωρητικότητα C ενός καναλιού εύρους ζώνης B δίνεται από τη σχέση

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right) \quad (5.5.1)$$

όπου S και N είναι η μέση ισχύς του σήματος και του θορύβου αντίστοιχα, στην έξοδο του καναλιού.

Το θεώρημα αυτό είναι βασικής σημασίας για τις τηλεπικοινωνίες διότι μας δίνει το ανώτατο όριο ρυθμού μετάδοσης αξιόπιστων δεδομένων μέσα από ένα κανάλι με θόρυβο. Έτσι, κάθε σχεδιαστής συστήματος προσπαθεί να κάνει «άριστο» το σύστημά του, για να πετύχει ρυθμό δεδομένων όσο γίνεται πλησιέστερο στο C της εξ. (5.5.1) με έναν αποδεκτό ρυθμό σφαλμάτων.

Μια σημαντική επίσης συνέπεια του θεωρήματος αυτού είναι η δυνατότητα να αυξομειώνουμε το ένα μέγεθος σε βάρος του άλλου ανάλογα με τις ανάγκες μας. Μπορούμε δηλαδή να αυξάνουμε (ή να ελαττώνουμε) το εύρος ζώνης σε βάρος (ή σε όφελος) του λόγου σήματος-προς-θόρυβο. Έστω, για παράδειγμα, ότι θέλουμε να μεταδώσουμε δεδομένα με ρυθμό 9.000 bit/s με ένα κανάλι εύρους ζώνης $B=3000$ Hz. Για να μεταδώσουμε δεδομένα με ρυθμό 9.000 bit/s, χρειαζόμαστε ένα κανάλι με χωρητικότητα τουλάχιστον 9.000 bit/s. Αν το κανάλι έχει χωρητικότητα μικρότερη από το ρυθμό δεδομένων, τότε είναι αδύνατη η ασφαλής μετάδοση δεδομένων. Έτσι, με $C=9.000$ bit/s μπορούμε να βρούμε από την εξ. (5.5.1) την εξής θεωρητική απαίτηση (S/N) στην έξοδο του καναλιού:

$$(S/N) = 2^{(C/B)} - 1 = 2^3 - 1 \approx 7$$

Για το ίδιο πρόβλημα, αν έχουμε ένα κανάλι με εύρος ζώνης 9.000 Hz, τότε χρειαζόμαστε S/N ίσο με 1. Έτσι, μια μείωση του εύρους ζώνης από 9.000 Hz σε 3.000 Hz οδηγεί σε μια αύξηση του S/N από 1 σε 7. Μπορούμε, δηλαδή, με αύξηση του εύρους ζώνης να εκμεταλλευθούμε την ελάττωση του απαιτούμενου λόγου σήματος-προς-θόρυβο, ενώ, αντίστροφα, η ελάττωση του εύρους ζώνης πρέπει να πληρωθεί με αύξηση του απαιτούμενου λόγου σήματος-προς-θόρυβο, για δεδομένη ποσότητα μεταφερόμενης πληροφορίας.

5.6 ΨΗΦΙΑΚΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΟΓΙΚΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗ

Η ψηφιακή μετάδοση είναι σήμερα η τεχνική εκείνη η οποία έχει κυριαρχήσει στις επικοινωνίες. Το γιατί είναι εύκολο να το δούμε με το επόμενο παράδειγμα.

Έστω, δύο τηλεφωνικές συσκευές σε χρήση, οι οποίες είναι συνδεδεμένες μεταξύ τους με ενσύρματες γραμμές, ραδιοζεύξεις ή άλλα μέσα, τα οποία ονομάστηκαν κανάλι επικοινωνίας. Στα αναλογικά συστήματα το μήνυμα παριστάνεται με

Δεν είναι πάντοτε δυνατόν να διαδοθεί οποιοδήποτε σήμα από οποιοδήποτε μέσο. Για να είναι αυτό δυνατό πρέπει το μέσο μετάδοσης να είναι προσαρμοσμένο, όχι μόνο στο είδος, αλλά και στα χαρακτηριστικά χρόνου του σήματος, δηλαδή στις ταχύτητες μεταβολών του.

Μέσα από ένα τηλεφωνικό καλώδιο π.χ. μπορεί να διαδοθεί το ηλεκτρικό σήμα ενός μικροφώνου, δηλαδή μεταβολές τάσεως μικρής ταχύτητας που έχουν ακουστικές συχνότητες, ενώ δεν μπορεί να διαδοθεί το σήμα μιας κάμερας τηλεόρασης που δίνει και αυτή ηλεκτρικό σήμα πολλαπλάσιας όμως ταχύτητας.

Επομένως για να γίνει μια τηλεπικοινωνιακή μετάδοση, πρέπει το σήμα να αλλάξει χαρακτηριστικά (είδος, πλάτος, συχνότητα κ.λπ.), κάθε φορά που πρέπει να μεταδοθεί από διαφορετικό μέσο μέχρι να φθάσει στον τελικό προορισμό του.

Δύο είναι οι **κύριοι λόγοι** που μας ωθούν στη χρήση της ψηφιακής μετάδοσης:

(α) Η μικρή ευαισθησία των ψηφιακών σημάτων στο θόρυβο. Τα αναλογικά σήματα επηρεάζονται από κάθε θόρυβο που μεταβάλλει το πλάτος, τη συχνότητα ή τη φάση τους. Αντίθετα, στα ψηφιακά συστήματα οι παραπάνω παράμετροι δεν είναι απαραίτητο να αξιολογηθούν στη λήψη με τόσο ακρίβεια, διότι κατά τη λήψη εκτιμάται απλώς το εάν υπερβαίνουν ή όχι μια συγκεκριμένη στάθμη κατωφλίου (συνήθως στη μέση μεταξύ της στάθμης 0 και της στάθμης 1).

(β) Η μεγαλύτερη δυνατότητα και ευκολία επεξεργασίας των ψηφιακών σημάτων με τη σημερινή τεχνολογία. Οι δυνατότητες αυτές αφορούν στην ευκολία αποθήκευσης ενός ψηφιακού σήματος, στην ευκολία προσαρμογής στο ρυθμό μετάδοσης από συσκευή σε συσκευή και στην ευκολία πολυπλεξίας (που θα δούμε παρακάτω).

μια κυματομορφή, της οποίας η τιμή (λ.χ. το πλάτος) μεταβάλλεται συνεχώς με το χρόνο. Σε ένα τηλεφωνικό κανάλι η τιμή του σχετίζεται (ή είναι ανάλογη) με την ακουστική πίεση στο μικρόφωνο. Οι περισσότερες κυματομορφές έχουν πολλές συνιστώσες συχνότητας, τις οποίες το κανάλι δε μεταδίδει ομοιόμορφα, με αποτέλεσμα το σήμα να παραμορφώνεται. Η παραμόρφωση αυτή ονομάζεται *παραμόρφωση συχνότητας* και μπορεί μέχρι κάποιο βαθμό, περιορισμένο όμως, να διορθωθεί.

Ένα άλλο πρόβλημα είναι ότι σε κάθε κανάλι, το αναλογικό σήμα εξασθενεί καθώς ταξιδεύει. Επιπλέον, συμπαρασύρει ανεπιθύμητα σήματα (*θόρυβος*), ο οποίος γεννιέται μέσα στο κανάλι ή εισέρχεται σε αυτό από εξωτερικές πηγές θορύβου. Όσο η απόσταση που διανύει το σήμα μεγαλώνει, τόσο μεγαλώνει και ο θόρυβος που το συνοδεύει. Έτσι, όσο περισσότερο απέχουν οι τηλεφωνικές συσκευές, τόσο περισσότερο εξασθενεί το σήμα και ενισχύεται ο θόρυβος. Συνήθως χρησιμοποιούνται ενισχυτές για να αυξηθεί η ισχύς του σήματος ανά διαστήματα κατά μήκος της διαδρομής του σήματος, αλλά δυστυχώς ενισχύουν και τον θόρυβο. Δεν υπάρχει τρόπος ώστε ένα αναλογικό κανάλι να εκμηδενίσει το θόρυβο, από τη στιγμή που αυτός έχει προστεθεί στο σήμα.

Η σπουδαιότητα των ψηφιακών επικοινωνιών είναι ότι 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.

Η νέα ιδέα που προβάλλει είναι ότι όλα τα είδη σημάτων μπορούν να σταλούν σαν ακολουθίες ψηφίων. Τα σύγχρονα ηλεκτρονικά επιτρέπουν στα συνεχώς μεταβαλλόμενα αναλογικά σήματα να εκφραστούν σαν ακολουθίες αριθμών ή ισοδύναμα σαν ψηφιακά σήματα. Τα ψηφιακά αυτά σήματα μπορούν να μεταδοθούν αποφεύγοντας την υποβάθμιση που υφίστανται τα αναλογικά σήματα. Ένα επιπλέον πλεονέκτημα είναι ότι η ψηφιακή μετάδοση είναι φθηνότερη, διότι είναι εύκολο να κατασκευαστούν διατάξεις μαζί σε μεγάλη κλίμακα οι οποίες πρέπει μόνο να αποφασίζουν για δύο καταστάσεις, ενώ από την άλλη είναι πολύ δύσκολο να κατασκευαστεί ακόμα και ένας μικρός αριθμός διατάξεων ακριβείας που θα χειρίζονται σήματα με μεγάλο εύρος τιμών. Στο δέκτη το ψηφιακό σήμα μπορεί εύκολα να μετατραπεί σε αναλογική μορφή.

Η εξέλιξη των τηλεπικοινωνιών οδηγεί λοιπόν στη μετατροπή όλων των συστημάτων σε ψηφιακά. Βέβαια, η ψηφιακή μετάδοση απαιτεί κανάλια επικοινωνίας μεγαλύτερου εύρους ζώνης σε σχέση με ένα αναλογικό σήμα. Επίσης, επιβαρύνονται ο πομπός και ο δέκτης από βαθμίδες μετατροπής από αναλογικό σε ψηφιακό και από ψηφιακό σε αναλογικό, αντίστοιχα. Τα μειονεκτήματα όμως αυτά, με την πρόοδο της τεχνολογίας, έχουν αντιμετωπιστεί ικανοποιητικά.

5.7 ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ - ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΠΑΛΜΩΝ

Για να μετατραπεί ένα αναλογικό σήμα σε ψηφιακό, θα πρέπει να μετατραπεί σε σήμα διακριτό ως προς το χρόνο. Αυτό πραγματοποιείται με τη διαδικασία της δειγματοληψίας. **Δειγματοληψία (sampling) ονομάζεται η διαδικασία, κατά την οποία από ένα αναλογικό σήμα λαμβάνεται ένας πεπερασμένος αριθμός τιμών του (δείγματα).**

Παράδειγμα: Η απαραίτητη συχνότητα δειγματοληψίας σήματος φωνής με υψηλότερη συχνότητα 4 kHz είναι τα 8 kHz, ενώ σήματος video με μέγιστη συχνότητα 4,6 MHz είναι τα 9,2 MHz.

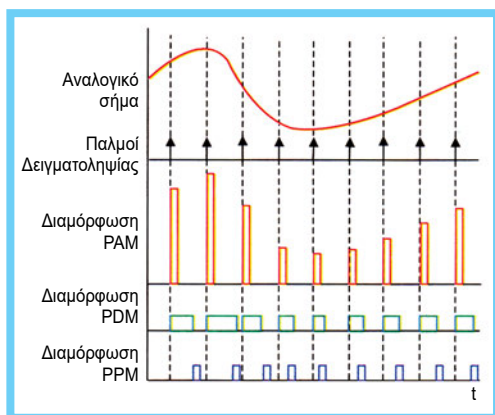
Θεώρημα δειγματοληψίας (Nyquist): Ας υποθέσουμε ότι έχουμε ένα αναλογικό σήμα πληροφορίας $S(t)$ περιορισμένης ζώνης συχνοτήτων και ότι f_{max} είναι η μεγαλύτερη συχνότητα που περιέχει. Αν πάρουμε δείγματα του πλάτους του σήματος σε κανονικά χρονικά διαστήματα με ρυθμό δειγματοληψίας μεγαλύτερο από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

Κατά συνέπεια, οποιοδήποτε αναλογικό σήμα μπορεί να μετατραπεί σε ψηφιακό. Μπορούμε να ξαναδημιουργήσουμε το αρχικό σήμα, αν επεξεργασθούμε κατάλληλα τα δείγματα αυτά. Έτσι έχουμε τη δυνατότητα, αντί να μεταδίδουμε ολόκληρο το σήμα $S(t)$ από ένα κανάλι επικοινωνίας, να μεταδώσουμε μόνο τα δείγματα που προέκυψαν από τη δειγματοληψία του και να ανασυνθέσουμε το σήμα $S(t)$ στην πλευρά του δέκτη.

Στο Σχ. 5.7.1 φαίνεται η διαδικασία δειγματοληψίας ενός αναλογικού σήματος

από τους στενούς παλμούς του σήματος δειγματοληψίας. Η κυματομορφή που προκύπτει αποτελείται από παλμούς, το πλάτος των οποίων είναι ανάλογο του πλάτους του αναλογικού σήματος τη στιγμή δειγματοληψίας. Αυτή είναι η λεγόμενη Διαμόρφωση Πλάτους Παλμών (PAM).

Υπάρχουν και άλλοι τύποι **διαμόρφωσης 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 κ.λπ.** Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες διαμόρφωσης παλμών που φαίνονται στο Σχ. 5.7.1.



Σχήμα 5.7.1 Παλμικές διαμορφώσεις.

Διαμόρφωση Πλάτους Παλμών (Pulse Amplitude Modulation).

Είναι η διαδικασία δειγματοληψίας που μόλις προαναφέρθηκε. Το ύψος των σταθερής χρονικής διάρκειας και θέσης παλμών είναι ανάλογο με το πλάτος του αναλογικού σήματος.

Διαμόρφωση Διάρκειας Παλμών (Pulse Duration Modulation).

Η διάρκεια των μεταδιδόμενων παλμών είναι ανάλογη με το πλάτος του αναλογικού σήματος διαμόρφωσης τη στιγμή της δειγματοληψίας.

Διαμόρφωση Θέσης Παλμών (Pulse Position Modulation). Η θέση των σταθερής διάρκειας παλμών στον άξονα του χρόνου μεταβάλλεται συναρτήσει του πλάτους του αναλογικού σήματος.

5.8 ΨΗΦΙΑΚΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΑΝΑΛΟΓΙΚΩΝ ΣΗΜΑΤΩΝ

Η δειγματοληψία ή η διαμόρφωση πλάτους παλμών είναι το απαραίτητο ενδιάμεσο βήμα για τη μετατροπή ενός αναλογικού σήματος σε ψηφιακό. Θα πρέπει κάθε δείγμα του σήματος PAM να μετατραπεί σε μια ακολουθία από bit, δηλ. να κωδικοποιηθεί. Η σημαντικότερη μέθοδος κωδικοποίησης είναι η **Παλμοκωδική Διαμόρφωση PCM (Pulse Code Modulation)**.

5.8.1 Παλμοκωδική διαμόρφωση

Η Παλμοκωδική διαμόρφωση PCM χρησιμοποιείται για τη μετάδοση σημάτων, που είναι διακριτά όχι μόνο στο χρόνο αλλά και στις τιμές τους. Η ουσία των συστημάτων αυτών βασίζεται στην ικανότητα κωδικοποίησης διακριτών (πρακτικά πεπερασμένου αριθμού) τιμών, πράγμα που φυσικά δεν μπορεί να γίνει, όταν το σήμα είναι

συνεχών τιμών. Πολλά σήματα είναι αναλογικά, παίρνουν δηλαδή άπειρες τιμές σε κάποιο συνεχές πεδίο, έστω και αν έχουν υποστεί δειγματοληψία στο χρόνο. Τέτοια σήματα πρέπει πρώτα να υποστούν κβάντιση, πράξη που περιορίζει τις τιμές τους σε κάποιο πεπερασμένο αριθμό. Η κβάντιση λοιπόν είναι η πρώτη βασική ενέργεια για τα συστήματα αυτά.

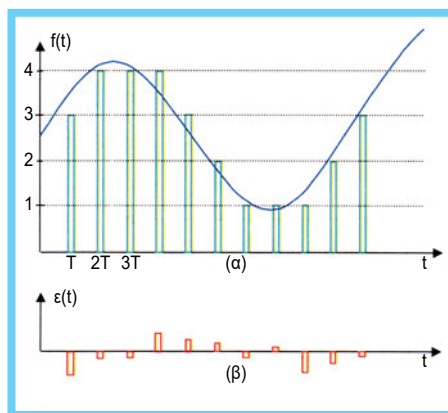
Κβάντιση

Σε προηγούμενη παράγραφο είδαμε ότι ένα αναλογικό σήμα μπορεί να παρασταθεί ικανοποιητικά από τις δειγματοληπτημένες τιμές του. Σήματα μηνυμάτων, όπως οι κυματομορφές ομιλίας ή οι κυματομορφές εικόνες παρουσιάζουν συνεχή μεταβολή πλάτους και επομένως και τα δείγματά τους θα είναι επίσης συνεχή κατά πλάτος (δηλαδή το πλάτος του κάθε δείγματος μπορεί να έχει οποιαδήποτε τιμή). Όταν αυτά τα δείγματα συνεχούς πλάτους μεταδίδονται μέσα από ένα ενθόρυβο κανάλι, ο δέκτης δεν μπορεί να διακρίνει την ακριβή ακολουθία των εκπεμπόμενων τιμών. Η επίδραση του θορύβου του συστήματος μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με την αναπαράσταση των δειγμάτων με ένα πεπερασμένο πλήθος από προκαθορισμένες στάθμες (τιμές) και τη μετάδοση των σταθμών με χρήση ενός συστήματος διακριτής διαμόρφωσης, όπως το PAM. Αν τώρα οι στάθμες απέχουν πολύ μεταξύ τους, συγκριτικά με τη διαταραχή του θορύβου, θα είναι απλό για το δέκτη να αποφανθεί για τη συγκεκριμένη τιμή που εκπέμφθηκε. Έτσι, μπορεί να εξαιρεθεί πρακτικά η επίδραση του θορύβου.

Η αναπαράσταση των αναλογικών δειγματοληπτημένων τιμών με ένα πεπερασμένο σύνολο σταθμών ονομάζεται **κβάντιση**. Και ενώ η δειγματοληψία μετατρέπει ένα συνεχές χρονικά σήμα σε σήμα διακριτού χρόνου, η κβάντιση μετατρέπει ένα δείγμα συνεχούς πλάτους σε δείγμα διακριτού πλάτους. Έτσι, οι λειτουργίες δειγματοληψίας και κβάντισης μετατρέπουν την έξοδο μιας αναλογικής πηγής πληροφορίας σε μια ακολουθία από στάθμες ή σύμβολα, δηλαδή η αναλογική πηγή μετατρέπεται σε διακριτή (ψηφιακή) πηγή.

Στο Σχ. 5.8.1 δίνεται ένα παράδειγμα

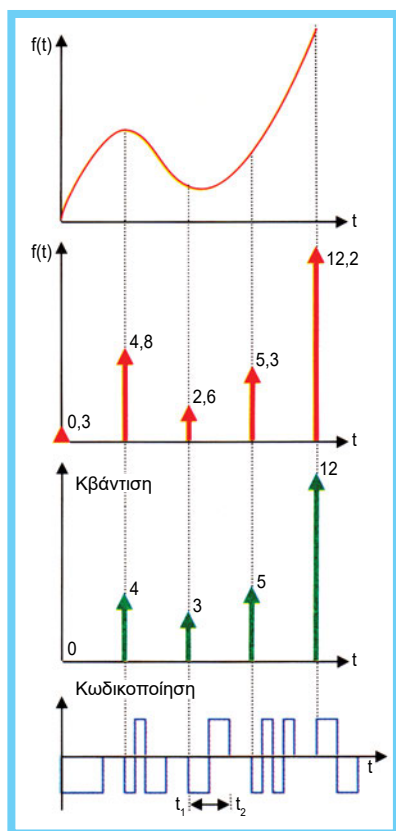
Παράδειγμα: Το τηλεφωνικό κανάλι έχει εύρος ζώνης 4 kHz. Για να μετατρέψουμε λοιπόν το αναλογικό σήμα ομιλίας σε ψηφιακό θα πρέπει να κάνουμε δειγματοληψία σε ρυθμό τουλάχιστον 8000 δειγμάτων/sec σύμφωνα με το θεώρημα του Shannon. Το σύστημα PCM της τηλεφωνίας χρησιμοποιεί 8-bit για κάθε στάθμη του αναλογικού σήματος. Επιτρέπει δηλαδή συνολικά $2^8=256$ στάθμες κβάντισης. Ο συνολικός ρυθμός πληροφορίας του ψηφιακού σήματος PCM που προκύπτει από το αναλογικό σήμα ομιλίας θα είναι: 8000 δείγματα/sec 8 bits/δείγμα = 64 kbit/sec, που είναι ο ρυθμός πληροφορίας των ψηφιακών συστημάτων του ΟΤΕ.



Σχήμα 5.8.1 (α) Διαδικασία της κβάντισης, (β) Το σφάλμα της κβάντισης.

μα λειτουργίας κβαντιστή. Το αναλογικό σήμα $f(t)$ υφίσταται δειγματοληψία τις χρονικές στιγμές $T, 2T, 3T, \dots$ και οι τιμές του είναι περιορισμένες στις τιμές 0, 1, 2, 3, 4. Δηλαδή, όταν η τιμή του $f(t)$ βρίσκεται στο διάστημα $[0 - 0,5]$, τότε η τιμή του θεωρείται ότι είναι 0, όταν πέφτει στο διάστημα $[0,5 - 1,5]$, τότε η τιμή του θεωρείται ότι είναι 1, όταν πέφτει στο διάστημα $[1,5 - 2,5]$, θεωρείται 2 κ.ο.κ. Οι τιμές 0, 1, 2, 3, 4 ονομάζονται **τιμές ή στάθμες κβάντισης** και η απόσταση μεταξύ δυο διαδοχικών τιμών ονομάζεται **βήμα κβάντισης ή διακριτότητα**. Στην περίπτωση του Σχ. 5.8.1, το βήμα είναι «μονάδα» και είναι σταθερό, γι' αυτό η κβάντιση αυτή ονομάζεται **ομοιόμορφη**. Επίσης, έχουν σχεδιαστεί και οι διαφορές μεταξύ των πραγματικών τιμών του $f(t)$ στα σημεία δειγματοληψίας και των τιμών που προσδιορίζει η κβάντιση. Οι διαφορές αυτές αποτελούν το **λάθος** ή το **σφάλμα κβάντισης** και ονομάζεται **θόρυβος κβάντισης**. Φυσικά το λάθος αυτό **δε διορθώνεται** ποτέ, δηλαδή η κβάντιση δεν είναι πράξη **αντίστροφη**. Πρέπει επομένως να δεχτούμε

από την αρχή ότι θα έχουμε ένα συγκεκριμένο (συνήθως μικρό) βαθμό παραμόρφωσης τον οποίο θα τον θεωρήσουμε ανεκτό για την ποιότητα της επικοινωνίας που επιθυμούμε να έχουμε. Η παραμόρφωση αυτή θα υπεισέρχεται στη διαδικασία ψηφιακοποίησης. Η ανταμοιβή γι' αυτήν την ελεγχόμενη μικρή παραμόρφωση είναι ότι επιτυγχάνουμε ένα συγκριτικά φθηνότερο και αποτελεσματικό τρόπο για να αφαιρέσουμε το μεγαλύτερο μέρος (στην ιδανική περίπτωση όλη) της παραμόρφωσης και του θορύβου που εισάγει το κανάλι μετάδοσης της πληροφορίας. Οι ηλεκτρονικές διατάξεις, που εκτελούν την πράξη της κβάντισης ονομάζονται **κβαντιστές**.



Σχήμα 5.8.2 Διαδικασία κβάντισης και κωδικοποίησης. Οι αρνητικοί παλμοί παριστάνουν «0» και οι θετικοί «1».

Κωδικοποίηση

Στο σημείο αυτό θα γίνει μια εισαγωγή στο σημαντικό θέμα της κωδικοποίησης, ώστε να γίνουν αντιληπτά τα πλεονεκτήματά της. Αφού δειγματοληπτηθεί και κβαντιστεί η έξοδος μιας αναλογικής πηγής πληροφορίας, η ακολουθία των σταθμών εξόδου μπορεί να παρασταθεί με έναν κωδικό αριθμό και να μεταδίδουμε τον κωδικό αριθμό αντί για την ίδια τη στάθμη. Το σύστημα αυτό μετάδοσης, στο

οπείο οι δειγματοληπτημένες και κβαντισμένες τιμές ενός αναλογικού σήματος μεταδίδονται μέσω μιας ακολουθίας κωδικών λέξεων, ονομάζεται **Παλμοκωδική Διαμόρφωση** (Pulse Code Modulation, PCM).

Τα κυρία χαρακτηριστικά της PCM φαίνονται στο Σχ. 5.8.2. Έστω ότι οι τιμές δειγματοληψίας ενός αναλογικού σήματος $f(t)$

περνάνε από έναν κβαντιστή και ότι το αποτέλεσμα είναι μόνο 16 πιθανές τιμές (από το 0 μέχρι το 15). Οι τιμές αυτές μπορούν να κωδικοποιηθούν με το λεγόμενο αριθμητικό κώδικα βάσης **δύο** (δυναδικός κώδικας). Αυτός ο κώδικας βασίζεται στο γεγονός ότι οι δεκαδικοί αριθμοί N (0, 1, 2, ..., 15) μπορούν να γραφούν στη μορφή

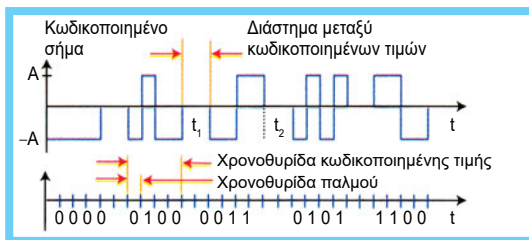
$$N = k_3 2^3 + k_2 2^2 + k_1 2^1 + k_0 2^0 \quad (5.8.1)$$

όπου οι συντελεστές k_i ($i = 0, 1, 2, 3$) μπορούν να είναι είτε 0 είτε 1. Ουσιαστικά δηλαδή μετατρέπουμε τις κβαντισμένες τιμές στο δυαδικό τους ισοδύναμο. Για παράδειγμα, ο δεκαδικός αριθμός $10 = 1 \cdot 2^3 + 0 \cdot 2^2 + 1 \cdot 2^1 + 0 \cdot 2^0$.

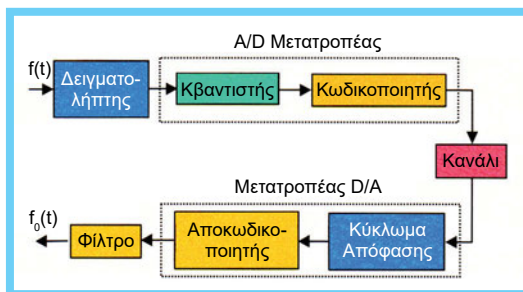
Έτσι, οι προς μετάδοση τιμές του $f(t)$ (0, 4, 3, 5, 12) κωδικοποιούνται, όπως φαίνεται στο Σχ. 5.8.2. Για να είναι πιο κατανοητή η διαδικασία, τα «0» παριστάνονται με παλμούς αρνητικού πλάτους, ενώ τα «1» με παλμούς θετικού πλάτους. Στο Σχ. 5.8.3 φαίνεται η δυαδική αναπαράσταση των κωδικοποιημένων τιμών με παλμούς και επισημαίνονται τα τμήματα του χρόνου που αντιστοιχούν στους παλμούς και τις κωδικοποιημένες τιμές. Το διάστημα χρόνου των κωδικοποιημένων τιμών (χρονοθυρίδα κωδικοποιημένης τιμής) είναι ίσο με τέσσερις παλμούς (δηλ. από t_1 έως t_2). Τα διαστήματα χρόνου μεταξύ των κωδικοποιημένων τιμών αντιστοιχούν, στο συγκεκριμένο παράδειγμα, σε χρονικό διάστημα ίσο με δύο παλμούς.

5.8.2 Το Σύστημα PCM

Στο σύστημα PCM, το σήμα πληροφορίας πρώτα **δειγματοληπτείται**, ύστερα υφίσταται **κβάντιση** και τέλος



Σχήμα 5.8.3 Δυαδική αναπαράσταση των κωδικοποιημένων τιμών με παλμούς και τα τμήματα του χρόνου που αντιστοιχούν στους παλμούς και τις κωδικοποιημένες τιμές.



Σχήμα 5.8.4 Μπλοκ διάγραμμα ενός πομπού και ενός δέκτη PCM.

Τα **πλεονεκτήματα** του PCM ως προς τα συστήματα **αναλογικής διαμόρφωσης** είναι τα εξής:

1) Στις επικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων, τα σήματα PCM μπορούν να αναγεννηθούν εντελώς σε κάθε επαναλήπτη, αρκεί η απόσταση μεταξύ των επαναληπτών να είναι τόσο, ώστε ο θόρυβος να παραμένει μικρότερος από το μισό του βήματος κβάντισης.

2) Στους χαμηλούς λόγους σήματος-προς-θόρυβο εισόδου, ο λόγος σήματος-προς-θόρυβο του συστήματος PCM είναι καλύτερος από αυτόν των αναλογικών συστημάτων.

3) Τα κυκλώματα διαμόρφωσης και αποδιαμόρφωσης στα συστήματα PCM είναι όλα ψηφιακά και επομένως προσφέρουν μεγάλη αξιοπιστία και σταθερότητα.

4) Οι τεχνικές κωδικοποίησης και αποκωδικοποίησης στα συστήματα PCM περιορίζουν τις επιπτώσεις του θορύβου και των παρεμβολών.

5) Η εναποθήκευση των σημάτων PCM είναι εύκολη με τη βοήθεια ψηφιακών μνημών. Επίσης, τα σήματα PCM μπορούν να πολυπλεχθούν εύκολα (βλ. για πολυπλεξία σημάτων παρακάτω).

6) Με τα συστήματα PCM οι τεχνικές κωδικοποίησης πηγής και καναλιού (βλ. παρακάτω) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον περιορισμό των επιπτώσεων του θορύβου και των παρεμβολών.

7) Στα συστήματα PCM είναι εύκολη η ανταλλαγή εύρους ζώνης με ισχύ.

κωδικοποιείται. Ο κβαντιστής και ο κωδικοποιητής αποτελούν τον **Αναλογικό-Ψηφιακό Μετατροπέα** (Analog to Digital Converter, A/D), όπως φαίνεται στο Σχ. 5.8.4. Στο δέκτη, αρχικά το σήμα περνά από ένα κύκλωμα το οποίο αποφασίζει αν το λαμβανόμενο σύμβολο είναι «0» ή «1». Το κύκλωμα αυτό απόφασης είναι ουσιαστικά ένας ανιχνευτής που εξετάζει αν η τιμή του παλμού που λαμβάνεται είναι πάνω ή κάτω από μια συγκεκριμένη στάθμη η οποία ονομάζεται *στάθμη κατωφλιού*.

Στη συνέχεια, περνά από τον αποκωδικοποιητή ο οποίος μετατρέπει την ακολουθία «0» και «1» στις στάθμες κβάντισης, που αντιστοιχούν στα δείγματα του αρχικού αναλογικού σήματος. Η έξοδος του αποκωδικοποιητή είναι δηλαδή ένα σήμα PAM. Τέλος, το σήμα PAM περνάει από ένα *χαμηλοδιαβατό* ή *βαθυπερατό φίλτρο* (δηλ. μία διάταξη επιλογής συχνοτήτων, η οποία επιτρέπει τη διέλευση των χαμηλών συχνοτήτων και αποκόπτει τις συχνότητες από μία συγκεκριμένη και πάνω), ώστε να αποκοπούν όλες οι φασματικές συνιστώσες που βρίσκονται εκτός της βασικής ζώνης συχνοτήτων του αρχικού αναλογικού σήματος $f(t)$. Το τελικό σήμα εξόδου $f_0(t)$ είναι πανομοιότυπο με το αρχικό σήμα $f(t)$

εκτός βέβαια από το σφάλμα κβάντισης και τα ενδεχόμενα σφάλματα του συστήματος απόφασης λόγω θορύβου στο κανάλι επικοινωνίας. Ο συνδυασμός του συστήματος απόφασης και του αποκωδικοποιητή ονομάζεται **Ψηφιακός-Αναλογικός Μετατροπέας** (Digital to Analog Converter, D/A), διότι είναι αυτός που μετατρέπει το ψηφιακό σήμα σε αναλογικό.

5.9 ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ

Η κωδικοποίηση είναι μία από τις σημαντικότερες διαδικασίες, προκειμένου αναλογικά σήματα να μετατραπούν σε ψηφιακά, αλλά και τα διάφορα ψηφιακά σήματα να μετατρέπονται στη κατάλληλη μορφή, ώστε να είναι δυνατή η μετά-

δοσή τους μέσα από τα διάφορα φυσικά μέσα μετάδοσης. Έτσι διακρίνουμε δύο βασικά είδη κωδικοποίησης και συγκεκριμένα την κωδικοποίηση πηγής και την κωδικοποίηση καναλιού.

5.9.1 Κωδικοποίηση πηγής

Δεδομένου ότι τα ψηφιακά σήματα αποτελούνται από δυαδικά ψηφία (bits), γίνεται απαραίτητη η εύρεση ενός τρόπου περιγραφής των διαφόρων αναλογικών σημάτων, προκειμένου αυτά να μπορούν να αναπαρασταθούν με ψηφιακό τρόπο και έτσι να μπορούν να τα διαχειριστούν οι Η/Υ. Οι τελευταίοι ως γνωστόν αναγνωρίζουν μόνο ψηφιακά σήματα.

Έτσι, ονομάζεται **κωδικοποίηση πηγής** η διαδικασία κατά την οποία σε κάθε σύμβολο, γράμμα ή αριθμό αντιστοιχίζεται κατά μοναδικό τρόπο μία συγκεκριμένη δυαδική λέξη.

Η κωδικοποίηση πηγής επιτυγχάνεται ουσιαστικά με τη χρήση πινάκων αντιστοιχίας των διαφόρων χαρακτήρων (γραμμάτων, αριθμών κ.τλ.) με σειρές από bit.

Ο καθένας από αυτούς τους πίνακες περιγράφει ουσιαστικά και ένα από τους χρησιμοποιούμενους σήμερα **κώδικες** στις διάφορες εφαρμογές, όπου απαιτείται η μετατροπή αναλογικών σημάτων σε ψηφιακά, όπως για παράδειγμα οι Η/Υ.

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

$$2^{\mu-1} < N \leq 2^\mu \quad (5.9.1)$$

Φυσικά, όσα λιγότερα bits χρησιμοποιεί ένας κώδικας, τόσο καλύτερα θα είναι ως προς την ταχύτητα μετάδοσης συμβόλων, μια και για τον ίδιο ρυθμό μετάδοσης δεδομένων θα μπορεί να μεταφέρει περισσότερα σύμβολα.

Από τα πιο γνωστά παραδείγματα κωδίκων που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι ο **κώδικας ASCII** (American Standard Code for Information Interchange).

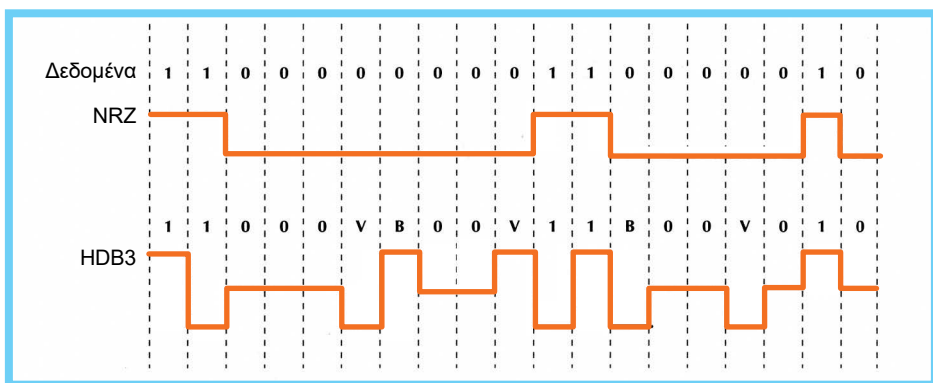
5.9.2 Κωδικοποίηση καναλιού

Ο πιο απλός τρόπος για να παρουσιάσει κανείς δυαδική πληροφορία είναι να

χρησιμοποιήσει μία συγκεκριμένη τάση (π.χ. 5 Volts) 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 (όπως Η/Υ) ή άλλα συστήματα. Η μορφή αυτή όμως κωδικοποίησης παρουσιάζει προβλήματα, όταν χρησιμοποιείται για τη μετάδοση της πληροφορίας ειδικά όταν η απόσταση μετάδοσης ξεπερνάει τις μερικές δεκάδες μέτρα.

Το κενό αυτό καλύπτεται από ένα μεγάλο αριθμό κωδίκων καναλιού όπως λέγονται προκειμένου να διαχωρίζονται από τους κώδικες πηγής. Ονομάζουμε **κώδικα καναλιού** κάθε μέθοδο κωδικοποίησης της ψηφιακής πληροφορίας που διευκολύνει τη μετάδοσή της μέσα από αναλογικά και ψηφιακά μέσα μετάδοσης. Οι κώδικες καναλιού αναφέρονται στη βιβλιογραφία και ως **κώδικες γραμμής** (line code). Οι λόγοι που κάνουν απαραίτητη την ύπαρξη των κωδίκων καναλιού ή γραμμής είναι συνοπτικά οι παρακάτω:

- Πολλές φορές είναι απαραίτητο να αφαιρείται από το αποστέλλόμενο 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 για τη διάρκειά της. Αυτό επιτυγχάνεται συνήθως με την προσθήκη κάποιων ψηφίων στην αρχή και το τέλος της σειράς των δεδομένων που αποστέλλονται. Η διαδικασία αυτή οδηγεί, όπως λέγεται, στο **συγχρονισμό** του δέκτη με τον πομπό.
- Η ανάγκη βέλτιστης χρήσης του εύρους ζώνης του συγκεκριμένου καναλιού επικοινωνίας.



Σχήμα 5.9.1 Απλή δυαδική κωδικοποίηση δεδομένων (NRZ) και κωδικοποίηση καναλιού (HDB3). Στη δεύτερη φαίνεται καθαρά η χρήση των παλμών V και B. Οι τελευταίοι χρησιμοποιούνται για την κωδικοποίηση τετράδων συνεχόμενων «0» για λόγους βελτίωσης του συντονισμού. Παρατηρήστε ότι, ενώ ο παλμός B ακολουθεί τη λογική των εναλλασσόμενων θετικών και αρνητικών παλμών για την απεικόνιση των διαδοχικών ψηφίων «1», ο παλμός V δημιουργεί μία παραβίαση στον κανόνα αυτό. Η παραβίαση αυτή είναι ανιχνεύσιμη από το δέκτη και χρησιμοποιείται για την αποκωδικοποίηση της λαμβανόμενης παλμοσειράς.

- Η ανάγκη ύπαρξης κάποιου τρόπου εντοπισμού και πιθανώς διόρθωσης λαθών (error detection and correction) που παρουσιάζονται κατά τη μετάδοση της πληροφορίας μέσα από το κανάλι επικοινωνίας.
- Η ανάγκη μείωσης της παραμόρφωσης που εισάγει το κανάλι σε ένα σήμα που περιέχει πολλές συχνότητες και
- Η μείωση της πιθανότητας παρουσίας του φαινομένου της διαφωνίας (crosstalk).

Τόσο η παραμόρφωση όσο και η διαφωνία σχετίζονται με το εύρος ζώνης συχνοτήτων του μεταδιδόμενου σήματος. Πιο συγκεκριμένα τέτοια φαινόμενα μπορούν να παρουσιαστούν, όταν το εύρος ζώνης του μεταδιδόμενου σήματος είναι μεγάλο σε σχέση με το διαθέσιμο εύρος ζώνης του καναλιού μετάδοσης. Έτσι γίνεται απαραίτητη η χρήση μεθόδων που περιορίζουν το χρησιμοποιούμενο φάσμα συχνοτήτων από το κάθε μεταδιδόμενο σήμα. Τη λειτουργία αυτή εκτελούν ακριβώς οι κώδικες γραμμής.

Χαρακτηριστική περίπτωση κώδικα γραμμής είναι ο κώδικας **HDB3 (High Density Bipolar 3 zeros)**. Ο κώδικας αυτός χαρακτηρίζεται ως διπολικός με την έννοια ότι σε αντίθεση με τον κλασικό μονοπολικό δυαδικό κώδικα (που χρησιμοποιεί μόνο μία θετική τάση για την απεικόνιση του 1 και τα 0 Volt για την απεικόνιση του 0) χρησιμοποιεί δύο συμμετρικές αντιθέτου προσήμου τάσεις, προκειμένου να απεικονίσει το ψηφίο 1. Η βασική του αρχή στηρίζεται στη μετάδοση εναλλασσόμενων θετικών και αρνητικών παλμών για την απεικόνιση του 1, ενώ η απουσία παλμού συμβολίζει την παρουσία του 0. Με τον τρόπο αυτό το συνολικό σήμα που μεταδίδεται έχει κατά μέσο όρο μηδενική συνιστώσα συνεχούς τάσης (DC τάσης).

Ταυτόχρονα, ο κώδικας HDB3 βελτιώνει το συγχρονισμό μεταξύ πομπού και δέκτη αντιμετωπίζοντας ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα της μετάδοσης. Πιο συγκεκριμένα, η λήψη από το δέκτη πολλών συνεχόμενων ψηφίων 0 (που σημαίνει έλλειψη παλμών) μπορεί να προκαλέσει τον αποσυγχρονισμό του και άρα και τη λανθασμένη ανάγνωση των αποσπελλόμενων δεδομένων. Για να αποφευχθεί αυτό, ο HDB3 επιτρέπει την αποστολή το πολύ μέχρι τριών συνεχόμενων ψηφίων 0. Στην περίπτωση που εμφανιστεί μία ακολουθία από τέσσερα συνεχόμενα bits 0 (0000), τότε αυτή αντικαθίσταται στον πομπό από μία ακολουθία της μορφής 000V ή της μορφής 000V. Σε αυτές τις ακολουθίες το B συμβολίζει παλμούς που ακολουθούν τη λογική των εναλλασσόμενων θετικών και αρνητικών παλμών που συμβολίζουν τα ψηφία 1. Δηλαδή, αν ο τελευταίος παλμός που εμφανίστηκε πριν το B ήταν για παράδειγμα θετικός, τότε το B θα είναι ένας αρνητικός παλμός. Αντίθετα το V αναπαριστά παλμούς που δεν ακολουθούν την αρχή αυτή. Έτσι η παρουσία ενός παλμού V δημιουργεί μία «παραβίαση» στην ορθή διαδοχή παλμών ενός σήματος HDB3. Η επιλογή μεταξύ των ακολουθιών 000V ή 000V γίνεται με τέτοιο τρόπο, ώστε το συνολικό σήμα να έχει κατά μέσο όρο μηδενική συνεχή συνιστώσα. Ο δέκτης με τη σειρά του χρησιμοποιεί τις παραβιάσεις που προκαλεί η παρουσία των παλμών V, ώστε να εντοπίζει τις ακολουθίες αυτές και να τις αντικαθιστά με την αρχική ακολουθία 0000, ώστε να μην υπάρχει τελικά παραμόρφωση των δεδομένων. Με τον τρόπο αυτό ο δέκτης δεν κινδυνεύει να χάσει το συγχρονισμό του με τον πομπό.

Στο σχήμα 5.9.1 φαίνεται ένα σήμα κωδικοποιημένο σύμφωνα με τον κώδικα HDB3. Στο σχήμα αυτό φαίνεται επίσης ο τρόπος χρήσης των παλμών B και V.

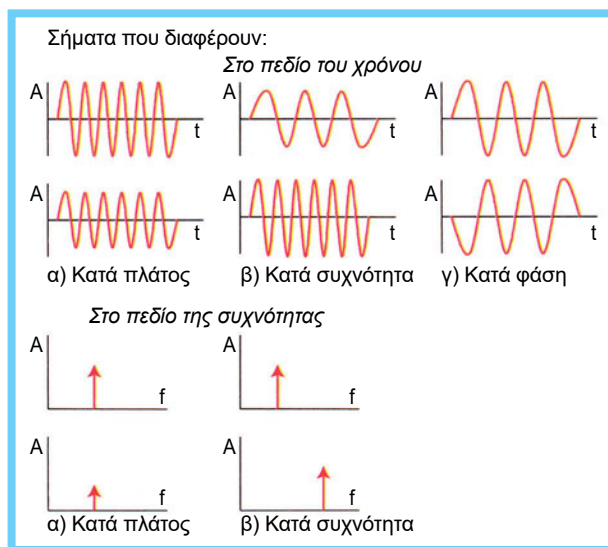
5.10 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΛΟΓΙΚΗΣ ΚΑΙ ΨΗΦΙΑΚΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ

Στις προηγούμενες παραγράφους εισήχθη η έννοια της διαμόρφωσης και το-νίστηκε η σημασία της στα τηλεπικοινωνιακά συστήματα. Στην παράγραφο αυτή θα εξεταστούν οι βασικότερες μέθοδοι διαμόρφωσης.

Όπως ήδη έχει αναφερθεί τα τηλεπικοινωνιακά σήματα χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες, τα αναλογικά, όπως η φωνή, και τα ψηφιακά, όπως τα δεδομένα των Η/Υ. Τα κανάλια μετάδοσης, που εξετάστηκαν στο κεφάλαιο τρία, συνήθως δεν επιτρέπουν, λόγω των φυσικών τους χαρακτηριστικών, την αυτούσια μετάδοση των σημάτων πληροφορίας που διακινούνται μέσα σε ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα. Το αποτέλεσμα είναι να απαιτείται κάποια επεξεργασία των σημάτων αυτών, προκειμένου να γίνουν κατάλληλα για διέλευση από το αντίστοιχο κανάλι μετάδοσης. Η επεξεργασία αυτή ονομάζεται, όπως ήδη αναφέρθηκε, **διαμόρφωση**. Στη συνέχεια θα εξεταστούν οι βασικές τεχνικές διαμόρφωσης τόσο σε αναλογικά όσο και σε ψηφιακά σήματα.

5.10.1 Βασικές Τεχνικές Αναλογικής Μετάδοσης Αναλογικών Σημάτων

Η μετάδοση αναλογικών σημάτων αποτελεί την παλαιότερη από τις τεχνικές



Σχήμα 5.10.1 Ημιτονικά σήματα με διαφοροποιήσεις στο πλάτος, στη συχνότητα και στη φάση τους. Τα σήματα εμφανίζονται τόσο στο πεδίο του χρόνου όσο και στο πεδίο της συχνότητας.

που χρησιμοποιούνται σήμερα. Σε αυτή ένα ημιτονικό αναλογικό σήμα λειτουργεί ως φορέας του σήματος πληροφορίας. Το σήμα αυτό ονομάζεται **φέρων (carrier)** και έχει συχνότητα πολύ μεγαλύτερη από το σήμα πληροφορίας. Η συχνότητα του φέροντος είναι τέτοια, ώστε να εξασφαλίζει τις ιδανικές συνθήκες διέλευσης του σήματος από το συγκεκριμένο φυσικό μέσο το οποίο χρησιμοποιείται κάθε φορά ως κανάλι επικοινωνίας.

Ένα αναλογικό σήμα

χαρακτηρίζεται από τρία βασικά μεγέθη:

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

Στο σχήμα 5.10.1 φαίνονται ημιτονικά σήματα φορείς που διαφέρουν (α) κατά πλάτος, (β) κατά συχνότητα και (γ) κατά φάση τόσο στο πεδίο του χρόνου, όσο και στο πεδίο της συχνότητας. Ένα σήμα λέμε ότι παρουσιάζεται στο πεδίο του χρόνου, όταν εξετάζονται οι μεταβολές του συναρτήσει του χρόνου. Στο πεδίο της συχνότητας αντίστοιχα εξετάζονται οι συχνότητες από τις οποίες αποτελείται ένα σήμα. Το σύνολο των συχνοτήτων αυτών αποτελούν το **φασματικό περιεχόμενο** του σήματος. Οι συχνότητες που αποτελούν ένα σήμα μπορούν να βρεθούν με τη χρήση ενός οργάνου που ονομάζεται **φασματικός αναλυτής**.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να οριστεί η έννοια του σήματος βασικής ζώνης. Με βάση τα παραπάνω τα διάφορα αναλογικά σήματα διαχωρίζονται μεταξύ τους από τη συχνότητα, το πλάτος και τη φάση τους. Συνήθως όμως τα σήματα πληροφορίας περιέχουν περισσότερες από μία συχνότητες. Το σύνολο των συχνοτήτων που περιέχονται σε ένα σήμα αποτελούν το **εύρος ζώνης** του σήματος ή αλλιώς το **φασματικό του περιεχόμενο**. Αν πρόκειται για σήματα πληροφορίας, όπως για παράδειγμα η φωνή, τότε το σύνολο αυτό των συχνοτήτων αναφέρεται ως **σήμα βασικής ζώνης** (baseband).

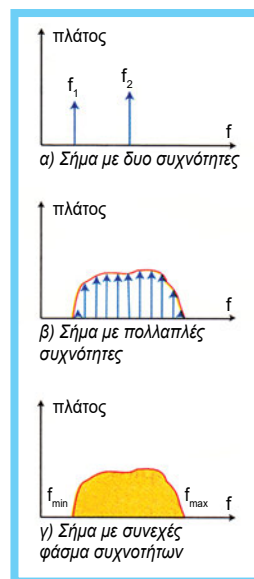
Στη συνήθη περίπτωση που το εύρος ζώνης του σήματος βασικής ζώνης περιέχει τόσο μεγάλο αριθμό συχνοτήτων που δεν είναι πρακτικά δυνατόν να διαχωριστούν μεταξύ τους, τότε λέμε ότι το φασματικό περιεχόμενο του σήματος είναι συνεχές. Στην περίπτωση αυτή το σήμα βασικής ζώνης συμβολίζεται με ένα εμβάδον που καλύπτει την περιοχή από την ελάχιστη έως τη μέγιστη συχνότητα του σήματος πληροφορίας. Τα παραπάνω φαίνονται παραστατικά στο σχήμα 5.10.2.

Ένα ημιτονικό σήμα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως φέρον περιγράφεται συναρτήσει των παραπάνω μεγεθών ως εξής:

$$C(t) = A \cdot \sin(\omega \cdot t + \varphi) \quad (5.10.1)$$

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



Σχήμα 5.10.2 Ένα σήμα πληροφορίας μπορεί να περιέχει δυο (α) ή περισσότερες συχνότητες (β). Όταν αυτές οι συχνότητες γίνουν πάρα πολλές τότε η περιοχή από την ελάχιστη ως τη μέγιστη συχνότητα του σήματος φαίνεται συνεχής (γ). Το σήμα παρουσιάζει συνεχές φάσμα.

από τα τρία βασικά του μεγέθη, πλάτος, συχνότητα ή φάση. Η μεταβολή αυτή γίνεται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να είναι ενδεικτική της πληροφορίας που θα μεταφέρει το φέρον σήμα. Στη συνέχεια θα εξεταστούν οι δύο βασικές μέθοδοι αναλογικής διαμόρφωσης που είναι η διαμόρφωση κατά πλάτος και η διαμόρφωση κατά συχνότητα.

Διαμόρφωση κατά Πλάτος (Amplitude Modulation-AM)

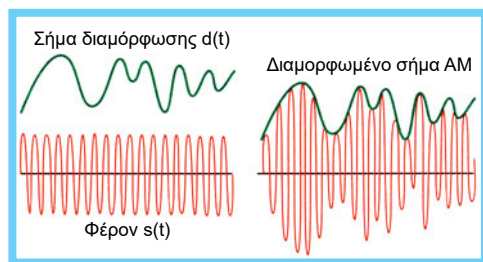
Όταν το σήμα πληροφορίας μεταβάλλει/διαμορφώνει το πλάτος του φέροντος σήματος, πρόκειται για **διαμόρφωση πλάτους (amplitude modulation) ή AM**, όπως είναι ευρύτερα γνωστή.

Αν θεωρήσουμε ως φέρον σήμα το σήμα της εξίσωσης 5.10.1 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 5.10.3, 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.

Ένα σημαντικό μέγεθος στη διαμόρφωση AM είναι ο **συντελεστής διαμόρφωσης μ** που ορίζεται ως ο λόγος:

$$\mu = \frac{(A_{\max} - A_{\min})}{(A_{\max} + A_{\min})} \quad (5.10.2)$$



Σχήμα 5.10.3 Διαμόρφωση σημάτων κατά πλάτος (AM)

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

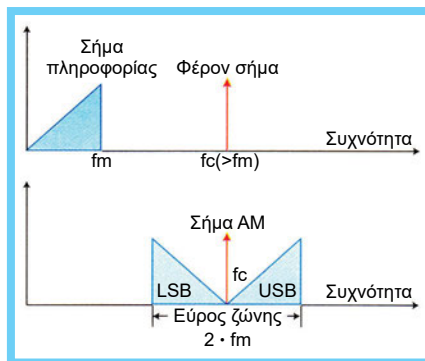
Στο σχήμα 5.10.3 παρουσιάζεται το διαμορφωμένο κατά πλάτος σήμα στο πεδίο του χρόνου. Στο πεδίο της

συχνότητας το AM σήμα αποτελείται από την κεντρική συχνότητα του φέροντος και τις συχνότητες του σήματος πληροφορίας μετατοπισμένες σε δύο πλευρικές περιοχές συχνοτήτων γύρω από την κεντρική συχνότητα 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 5.10.4. Στο παράδειγμα αυτό έχει θεωρηθεί ότι το σήμα βασικής ζώνης (ή το φασματικό περιεχόμενο του σήματος πληροφορίας) έχει τριγωνική μορφή για λόγους ευκολίας παράστασης του AM σήματος.

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

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

(5.10.3)



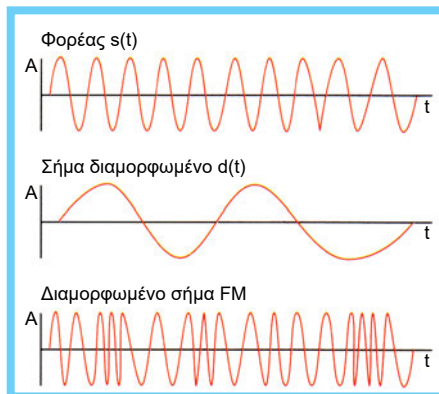
Σχήμα 5.10.4 Φασματικό περιεχόμενο ενός AM σήματος.

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 5.10.1). 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 5.10.5 δίνεται ένα παράδειγμα FM διαμόρφωσης. Όπως φαίνεται από το σχήμα αυτό, η στιγμιαία



Σχήμα 5.10.5 Διαμόρφωση σημάτων κατά συχνότητα (FM).

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.

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

$$\beta = \frac{\Delta f_s}{f_m} \quad (5.10.4)$$

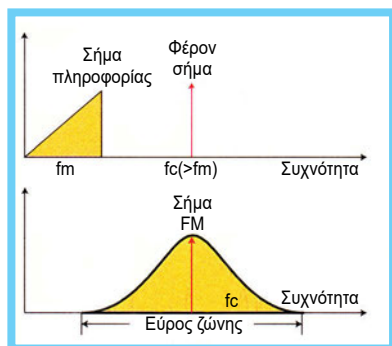
όπου Δf_s είναι η **απόκλιση συχνότητας (frequency deviation)** του σήματος FM. Η τελευταία ορίζεται ως η μέγιστη μεταβολή συχνότητας του φέροντος λόγω της διαμόρφωσης. Επιπλέον f_m είναι η μέγιστη συχνότητα του σήματος πληροφορίας $d(t)$.

Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι η μέγιστη επιτρεπτή απόκλιση συχνότητας έχει καθοριστεί για τη μεν ραδιοφωνία FM στα 75 kHz, για τη δε τηλεόραση (σήματα FM που μεταφέρουν τον τηλεοπτικό ήχο) στα 50 kHz.

Ο υπολογισμός του εύρους ζώνης συχνοτήτων ενός FM σήματος απαιτεί μια ιδιαίτερα σύνθετη μαθηματική διαδικασία που ξεφεύγει από τα πλαίσια αυτού του βιβλίου. 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 5.10.6.

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:

$$BW = 2 \cdot (\Delta f_s + f_m) \quad (5.10.5)$$



Σχήμα 5.10.6 Εύρος ζώνης ενός FM σήματος.

Τέλος, σημειώνεται ότι η διαμόρφωση συχνότητας αναπτύχθηκε από τον Έντουαρτ Άρμστρονγκ (Edward Armstrong) τη δεκαετία 1930-1940. Παρουσιάζει καλύτερη συμπεριφορά στο θόρυβο και μεγαλύτερη πιστότητα στη μετάδοση από την AM διαμόρφωση και για τους λόγους αυτούς χρη-

σιμοποιείται για εκπομπές ποιότητας στη ραδιοφωνία FM και για τη μετάδοση ήχου στην τηλεόραση. Το μειονέκτημα του μεγάλου εύρους ζώνης που έχει ένα σήμα FM (βλέπε σχέσεις 5.10.3 και 5.10.5), 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).

5.10.2 Βασικές Τεχνικές Αναλογικής Μετάδοσης Ψηφιακών Σημάτων

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

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

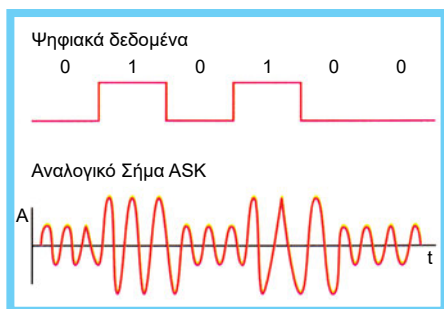
Οι τεχνικές αυτές στηρίζονται στις αρχές των διαμορφώσεων AM και FM που εξετάστηκαν στην προηγούμενη παράγραφο.

Πριν περάσουμε στην αναλυτική περιγραφή των βασικότερων μεθόδων ψηφιακής διαμόρφωσης, θα πρέπει να οριστεί ένα σημαντικό μέγεθος και συγκεκριμένα η ταχύτητα διαμόρφωσης.

Ονομάζουμε **ταχύτητα διαμόρφωσης** (baud rate) ενός αναλογικού σήματος - φέροντος από ένα ψηφιακό σήμα πληροφορίας το ρυθμό μεταβολής του αναλογικού σήματος μετά τη διαμόρφωση. Με άλλα λόγια όπως ακριβώς η ταχύτητα μετάδοσης (bit rate) ορίζει το ρυθμό μετάδοσης των δεδομένων, έτσι και η ταχύτητα διαμόρφωσης συμβολίζει τον αριθμό μεταβολών (διαμορφώσεων) του αναλογικού σήματος ανά δευτερόλεπτο. Η ταχύτητα διαμόρφωσης μετράται σε baud.

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 πληροφορίας. Μόνο που στην περίπτωση των ψηφιακών σημάτων, λόγω του ότι ουσιαστικά περιέχουν παλμούς, το ASK σήμα θα έχει τη μορφή του σχήματος 5.10.7. Η δουλειά του δέκτη στην



Σχήμα 5.10.7 Διαμόρφωση ψηφιακών σημάτων κατά πλάτος (ASK).

χίσει να περιορίζεται πλέον σήμερα και να αντικαθίσταται από πλέον σύγχρονες μεθόδους διαμόρφωσης.

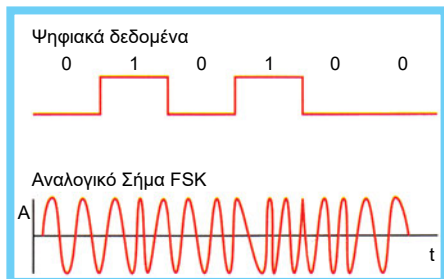
περίπτωση των ψηφιακών σημάτων είναι πιο απλή, μιας και το μόνο που κάνει είναι να παρατηρεί χονδρικά το πλάτος του λαμβανόμενου ASK σήματος και να κρίνει αν λαμβάνει τη συγκεκριμένη στιγμή «0» ή «1».

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 αρ-

Ψηφιακή Διαμόρφωση Συχνότητας (Frequency Shift Keying-FSK)

Όπως και στην περίπτωση της FM διαμόρφωσης, έτσι και στην ψηφιακή διαμόρφωση συχνότητας ή FSK, η συχνότητα του ημιτονικού φέροντος σήματος μεταβάλλεται με διακριτό τρόπο ανάλογα με την τιμή του ψηφιακού σήματος πληροφορίας. Στην απλούστερη περίπτωση αυτό σημαίνει μία τιμή συχνότητας για τη δυαδική τιμή «1» και μία άλλη τιμή συχνότητας για τη δυαδική τιμή «0». Χαρακτηριστικό παράδειγμα ψηφιακής διαμόρφωσης συχνότητας δίνεται στο σχήμα 5.10.8.

Ένα σημαντικό στοιχείο που θα πρέπει να αναφερθεί εδώ είναι ότι τόσο στην περίπτωση της διαμόρφωσης FSK όσο και στην περίπτωση της διαμόρφωσης ASK η ταχύτητα διαμόρφωσης (baud rate) ταυτίζεται με την ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων (bit rate). Το γεγονός αυτό σημαίνει ότι σε κάθε μεταβολή είτε του



Σχήμα 5.10.8 Διαμόρφωση ψηφιακών σημάτων κατά συχνότητα (FSK).

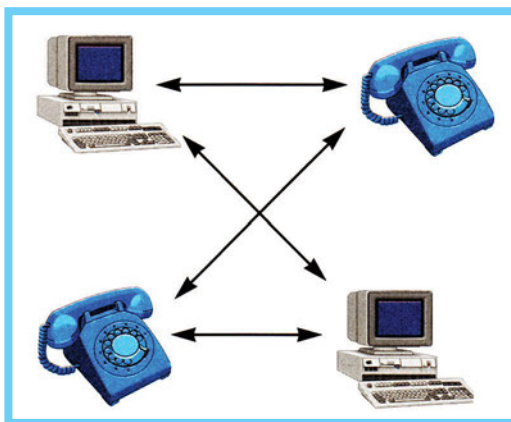
πλάτους (ASK σήμα), είτε της συχνότητας (FSK σήμα) του φέροντος σήματος μπορεί να μεταφερθεί μόνο ένα bit (δυαδικό ψηφίο) πληροφορίας.

Σε πιο προηγμένα σχήματα ψηφιακής διαμόρφωσης η ταχύτητα διαμόρφωσης είναι μικρότερη από την ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων, πράγμα που κατά αναλογία σημαίνει δυνατότητα μεταφοράς παραπάνω από ένα bit πληροφορίας σε κάθε μεταβολή του φέροντος σήματος.

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

5.11 ΠΟΛΥΠΛΕΞΙΑ

Όπως ήδη έχει αναφερθεί, όταν ένας χρήστης ή ένας συνδρομητής Α θέλει να επικοινωνήσει με κάποιον άλλο χρήστη Β, αρκεί να συνδεθούν τα τερματικά τους με ένα φυσικό μέσο μετάδοσης που θα χρησιμεύσει ως κανάλι επικοινωνίας. Τι γίνεται όμως στην περίπτωση που και ένας άλλος χρήστης θέλει να επικοινωνήσει με τον Β; Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει να ενώσουμε και πάλι το νέο χρήστη με τον Β μέσω ενός άλλου καναλιού. Όπως γίνε-



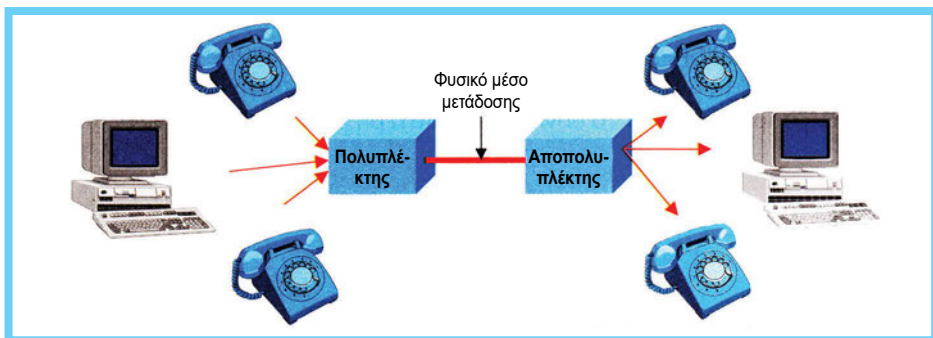
Σχήμα 5.11.1 Όλοι οι απαραίτητοι δρόμοι για να συνδεθούν δύο συνδρομητές σε μία θέση Α με δύο άλλους σε μία θέση Β.

ται κατανοητό, καθώς αυξάνουν οι χρήστες σε ένα τηλεπικοινωνιακό δίκτυο, καθώς και οι τηλεπικοινωνιακές συσκευές που απαιτείται να συνδέονται σε αυτό, τόσο αυξάνουν και οι απαιτήσεις σε τηλεπικοινωνιακούς πόρους (καλώδια, τηλεπικοινωνιακούς κόμβους κ.τλ.). Οι απαιτούμενες ζεύξεις για τη σύνδεση τεσσάρων χρηστών δίνονται στο σχήμα 5.11.1. Φυσικά, είναι λογικό ότι η λύση αυτή δεν είναι ιδανική τόσο λόγω του κόστους της όσο και λόγω της πολυπλοκότητάς της (αμέτρητα καλώδια και συσκευές). Να σημειωθεί ότι με τον όρο χρήστη εννοείται τόσο ο χρήστης μίας τηλεφωνικής συσκευής όσο και ενός Η/Υ. Επιπλέον, με τον όρο τερματικές συσκευές θα εννοούνται από εδώ και πέρα τόσο οι τηλεφωνικές συσκευές όσο και οι Η/Υ.

Το πρόβλημα της απαίτησης ξεχωριστών καναλιών επικοινωνίας για κάθε ζεύξη λύθηκε με τη μέθοδο της πολυπλεξίας.

Πολυπλεξία (multiplexing) ονομάζεται η τεχνική εκείνη που συνθέτει δεδομένα από διαφορετικούς χρήστες, προκειμένου να περάσουν όλα από το ίδιο φυσικό κανάλι μετάδοσης.

Η πολυπλεξία εφαρμόζεται συνήθως σε κάποιο τηλεπικοινωνιακό κόμβο με τον οποίο είναι συνδεδεμένοι πολλοί χρήστες, προκειμένου να διανυθεί η απόσταση μέχρι κάποιο άλλο κόμβο (συνήθως σε μεγάλη απόσταση) μέσα από ένα



Σχήμα 5.11.2 Πολυπλεξία διαφορετικών ζεύξεων σε κοινό μέσο διάδοσης.

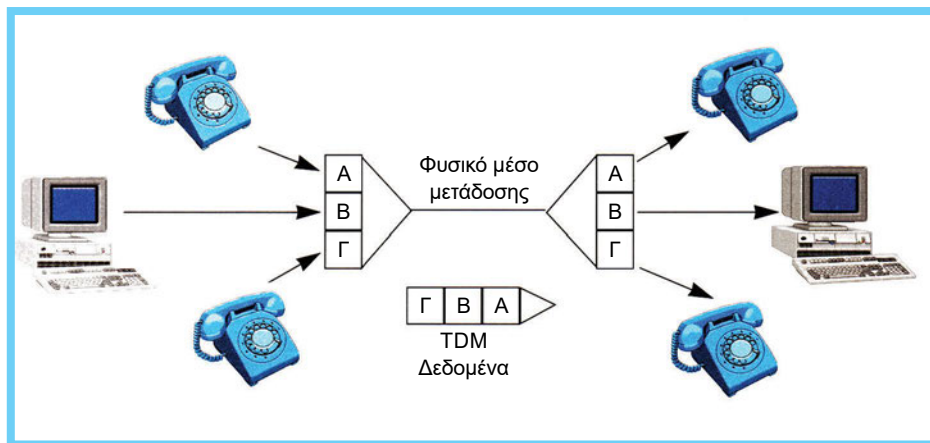
φυσικό μέσο διάδοσης. Στην άλλη άκρη της σύνδεσης εφαρμόζεται αποπολυπλεξία και τα δεδομένα διαχωρίζονται, προκειμένου να κατευθυνθούν προς τον παραλήπτη τους. Στο σχήμα 5.11.2 φαίνεται αυτή η διαδικασία σχηματικά. Φυσικά με τη χρήση της πολυπλεξίας δε σημαίνει ότι καταργούνται εντελώς τα καλώδια σε ένα δίκτυο. Άλλωστε για τη διασύνδεση μεταξύ των κόμβων στους οποίους εφαρμόζεται πολυπλεξία απαιτείται φυσικά η χρήση καλωδίου.

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

Στη συνέχεια θα εξεταστούν οι δύο κύριες μέθοδοι πολυπλεξίας που χρησιμοποιούνται κατά κόρον σήμερα είτε στη βασική τους μορφή είτε σε βελτιωμένη μορφή.

5.11.1 Πολυπλεξία Χρόνου (Time division multiplexing - TDM)

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



Σχήμα 5.11.3 Πολυπλεξία με Διαίρεση Χρόνου (TDM).

Ένα σημαντικό στοιχείο που θα πρέπει να σημειωθεί εδώ είναι πως η πολυπλεξία χρόνου είναι δυνατή, μόνο όταν η ταχύτητα μετάδοσης του καναλιού επικοινωνίας είναι ίση ή μεγαλύτερη από το άθροισμα των ταχυτήτων μετάδοσης όλων των σημάτων πληροφορίας.

Στα συστήματα πολυπλεξίας TDM ο χρόνος χωρίζεται σε χρονικά τμήματα (**timeslots**) διάρκειας ενός ψηφίου (bit). Φυσικά σε κάθε χρήστη αφιερώνονται περισσότερα από ένα τέτοια χρονικά τμήματα. Ο χρήστης έχει στη διάθεσή του το χρονικό αυτό τμήμα (διάστημα), άσχετα αν έχει ή όχι δεδομένα να μεταδώσει. Η σειρά με την οποία εκπέμπουν τα διάφορα τερματικά (ή αλλιώς η ακολουθία των timeslots) δεν αλλάζει. Το χαρακτηριστικό αυτό αποτελεί και το μεγαλύτερο μειονέκτημα της TDM πολυπλεξίας. Πράγματι, το γεγονός ότι κάποιο χρονικό διάστημα εκμετάλλευσης της γραμμής αφιερώνεται σε ένα χρήστη, ανεξάρτητα αν αυτός έχει να μεταδώσει κάτι ή όχι, οδηγεί σε κακή εκμετάλλευση της γραμμής μετάδοσης. Το μειονέκτημα αυτό γίνεται μεγαλύτερο, αν ο φόρτος εργασίας των διαφόρων τερματικών είναι μικρός ή σημαντικά ανισομερής.

Τα βασικότερα πλεονεκτήματα της χρήσης χρονικών πολυπλεκτών (TDM) είναι τα ακόλουθα:

- Δυνατότητα πολυπλεξίας δεδομένων που έρχονται από διαφορετικά τερματικά με διαφορετικούς κανόνες κωδικοποίησης και παρουσίασης (πρωτόκολλα). Ένα τέτοιο σύστημα λέγεται ότι παρουσιάζει **διαφάνεια** (transparent system) στις διαφορετικές πληροφορίες και στον τρόπο παρουσίασής τους.
- Ελάχιστη καθυστέρηση στη μετάδοση δεδομένων, μια και ο χρόνος που απαιτείται για τη συλλογή των πληροφοριών από κάθε χρήστη και για το σχηματισμό του κάθε πλαισίου είναι ασήμαντος. Το γεγονός αυτό κάνει ιδιαίτερα χρήσιμους τους πολυπλέκτες TDM σε εφαρμογές ευαίσθητες σε καθυστερήσεις.

- Απλότητα στην υλοποίηση και στην κατασκευή με αποτέλεσμα μικρό κόστος.

5.11.2 Πολυπλεξία Συχνότητας (Frequency division multiplexing - FDM)

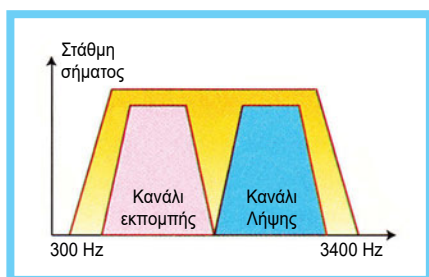
Ο δεύτερος τρόπος για να επιτευχθεί η πολυπλεξία διαφορετικών σημάτων πληροφορίας, προκειμένου αυτά να μεταδοθούν μέσα από ένα κοινό κανάλι, είναι να γίνει αυτό στο πεδίο της συχνότητας. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται **Πολυπλεξία Συχνότητας (Frequency Division Multiplexing - FDM)** και στηρίζεται στη χρήση φερόντων σημάτων με διαφορετικές συχνότητες.

Μάλιστα οι συχνότητες αυτές θα πρέπει να διαφέρουν τόσο, ώστε, λαμβανομένου υπόψη και του εύρους ζώνης του κάθε διαμορφωμένου σήματος, να μην παρουσιάζεται υπερκάλυψη συχνοτήτων γειτονικών σημάτων. Με άλλα λόγια με βάση την τεχνική FDM, για τον κάθε χρήστη, αφιερώνεται ένα διαφορετικό τμήμα του διαθέσιμου φάσματος συχνοτήτων, μέσα στο οποίο θα πρέπει να μεταφερθούν τα δικά του σήματα. Μάλιστα η περιοχή αυτή θα πρέπει να διαχωριστεί σε δύο νέα τμήματα ένα από τα οποία θα καταλαμβάνουν τα σήματα που στέλνει ο χρήστης και ένα τα σήματα που λαμβάνει. Η διαδικασία αυτή φαίνεται στο σχήμα 5.11.4.

Το βασικό μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι η μη βέλτιστη εκμετάλλευση του διαθέσιμου φάσματος του καναλιού μετάδοσης. Πράγματι, μεταξύ των περιοχών συχνοτήτων που καταλαμβάνει ο κάθε χρήστης θα πρέπει να υπάρχει ικανοποιητικός διαχωρισμός (αχρησιμοποίητες συχνότητες), ώστε να αποφεύγεται η πιθανότητα παρεμβολών μεταξύ διαδοχικών σημάτων.

Ο ίδιος διαχωρισμός απαιτείται και μεταξύ των καναλιών μετάδοσης και λήψης που αντιστοιχούν στον κάθε χρήστη, για να αποφεύγονται φαινόμενα αυτοπαρεμβολών. Έτσι, ο κάθε χρήστης δεν εκμεταλλεύεται ουσιαστικά ούτε καν το μισό από το φάσμα συχνοτήτων που του αναλογεί. Το αποτέλεσμα είναι να γίνεται σπατάλη ενός από τους πιο πολύτιμους τηλεπικοινωνιακούς πόρους, των διαθέσιμων για μετάδοση συχνοτήτων.

Το παραπάνω μειονέκτημα οδηγεί σε χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης και σε κάποια ευαισθησία στο θόρυβο. Για τους λόγους αυτούς και ο υψηλότερος ρυθμός μετάδοσης που προδιαγράφεται από τους Διεθνείς Οργανισμούς για συστήματα πολυπλεξίας FDM είναι τα 2.400 bps.



Σχήμα 5.11.4 Διαχωρισμός καναλιών λήψης και εκπομπής στην πολυπλεξία συχνότητας (FDM).

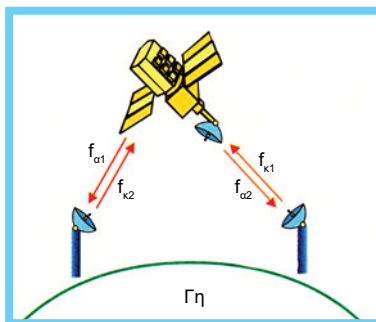
5.12 ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ

Στην περίπτωση τηλεπικοινωνιακών δικτύων όπου υπάρχουν τηλεπικοινωνιακά μέσα μεγάλου κόστους και μεγάλης δυσκολίας στην εγκατάστασή τους και την επέκτασή τους (για παράδειγμα οι αναμεταδότες σε δορυφόρους), προκύπτει το πρόβλημα της βέλτιστης χρήσης τους από πλευράς εξυπηρέτησης όσο το δυνατόν περισσότερων χρηστών καθώς και το πρόβλημα της πρόσβασης των χρηστών σε αυτά τα μέσα. Τέτοιου είδους δίκτυα είναι τα δορυφορικά δίκτυα επικοινωνιών, όπου βέβαια ένας δορυφόρος δεν είναι δυνατόν να αφιερώνεται στην εξυπηρέτηση μίας μόνο ζεύξης. Το πρόβλημα της **πολλαπλής πρόσβασης (multiple access)** είναι ένα από τα σημαντικότερα στις δορυφορικές επικοινωνίες.

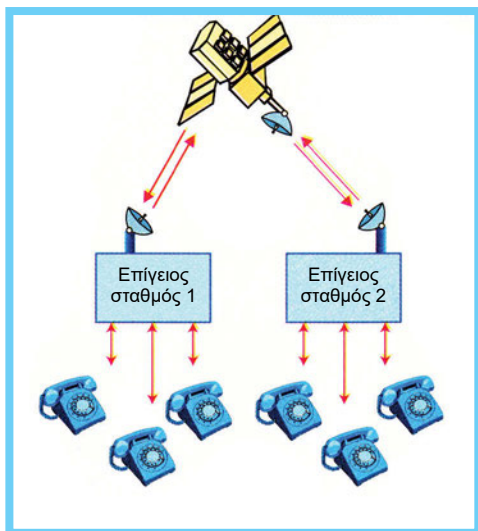
Για να γίνει πιο κατανοητό το πρόβλημα, ας δούμε λίγο τον τρόπο λειτουργίας ενός δορυφορικού αναμεταδότη στην απλή περίπτωση της μίας τηλεπικοινωνιακής ζεύξης.

Στο σχήμα 5.12.1 φαίνεται μία τέτοια ζεύξη. Επειδή η λήψη από το δέκτη του δορυφορικού αναμεταδότη και η εκπομπή από τον πομπό του είναι συνεχής, είναι απαραίτητο να γίνεται μετατροπή της συχνότητας της ανερχόμενης ζεύξης σε μία άλλη συχνότητα, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί για την κατερχόμενη ζεύξη. Αν οι δύο αυτές συχνότητες ήταν ίδιες, τότε θα είχαμε φαινόμενα αυτοπαρεμβολής της εξόδου του αναμεταδότη στην είσοδό του. Άρα για κάθε ζεύξη δύο σταθμών εδάφους απαιτούνται δύο συχνότητες και, το σημαντικότερο από όλα, ένα αφιερωμένο σε αυτή αναμεταδότη. Αυτό συμβαίνει, γιατί ο κάθε αναμεταδότης είναι κατασκευασμένος να λειτουργεί σε συγκεκριμένη συχνότητα. Άρα το πόσες ζεύξεις θα είναι ταυτόχρονα διαθέσιμες εξαρτάται από το πόσους αναμεταδότες μεταφέρει ο εκάστοτε δορυφόρος. Η αρχή αυτή πράγματι ίσχυε για τα πρώτα δορυφορικά συστήματα. Ο πρώτος εμπορικός δορυφόρος INTELSAT 1 χρησιμοποίησε την αρχή αυτή μεταφέροντας δύο αναμεταδότες. Είναι φανερό πως η μέθοδος αυτή γίνεται αντισυμβατική, όταν ο αριθμός των ταυτόχρονων ζεύξεων και άρα αναμεταδοτών αυξάνει σημαντικά.

Στην περίπτωση αυτή η αποδεκτή μέθοδος είναι να χρησιμοποιηθεί ένας απλός αναμεταδότης ευρείας ζώνης (που να λειτουργεί σε ένα ολόκληρο φάσμα συχνοτήτων) σε συνδυασμό με ειδικές τεχνικές που θα επιτρέπουν σε διαφορετικούς χρήστες την πρό-



Σχήμα 5.12.1 Απλή πρόσβαση σε δορυφόρο με δύο αναμεταδότες. Στο παραπάνω σχήμα ο πρώτος αναμεταδότης λειτουργεί στις συχνότητες f_{a1}/f_{k1} και ο δεύτερος στις συχνότητες f_{a2}/f_{k2} (ανερχόμενη/κατερχόμενη ζεύξη). Στην περίπτωση αυτή δεν εφαρμόζεται καμία ιδιαίτερη τεχνική πρόσβασης στο δορυφόρο και ο κάθε αναμεταδότης αφιερώνεται σε μια ζεύξη κάθε φορά.



Σχήμα 5.12.2. Πολλαπλή πρόσβαση σε δορυφόρο. Περισσότεροι από ένας χρήστες έχουν ταυτόχρονα πρόσβαση στο δορυφορικό αναμεταδότη ο οποίος είναι πλέον σε θέση να εξυπηρετήσει περισσότερες από μία ζεύξεις ταυτόχρονα.

σβαση στο δορυφορικό σύστημα. Οι τεχνικές αυτές ονομάζονται **τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης** και θα εξεταστούν στη συνέχεια. Στο σχήμα 5.12.2 φαίνεται το σχηματικό διάγραμμα ενός δορυφορικού συστήματος πολλαπλής πρόσβασης. Δύο είδη προβλημάτων παρουσιάζονται σε ένα τέτοιο σύστημα σε σχέση με την πολλαπλή πρόσβαση χρηστών:

- Η πολλαπλή πρόσβαση στον επίγειο σταθμό από τους χρήστες και
- Η πολλαπλή πρόσβαση στο δορυφόρο από όλους τους επίγειους σταθμούς.

Το πρώτο πρόβλημα αντιμετωπίζεται με τις γνωστές τεχνικές πολυπλεξίας που εξετάστηκαν στην προηγούμενη παράγραφο. Το δεύτερο όμως πρόβλημα είναι ειδικό στις δορυφορικές επικοινωνίες και αντι-

μετωπίζεται με τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης. Ονομάζουμε **τεχνική πολλαπλής πρόσβασης (multiple access technique)** ένα είδος πολυπλεξίας των φερόντων σημάτων στο δορυφορικό κανάλι επικοινωνίας. Τρεις είναι οι βασικές τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης που χρησιμοποιούνται σήμερα:

- Πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης συχνότητας (FDMA)
- Πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης χρόνου (TDMA)
- Πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης κώδικα (CDMA)

Στη συνέχεια θα εξεταστούν περιληπτικά οι τρεις αυτές τεχνικές πολλαπλής πρόσβασης.

5.12.1 Πολλαπλή Πρόσβαση Διαίρεσης Συχνότητας (Frequency Division Multiple Access-FDMA)

Η πολλαπλή πρόσβαση διαίρεσης συχνότητας (FDMA) στηρίζεται στις αρχές της Πολυπλεξίας Συχνότητας (βλέπε παράγραφο 5.11.2). Κάθε επίγειος σταθμός εκπέμπει σε μία προκαθορισμένη περιοχή συχνοτήτων (άνω ζεύξη) μέσα στο συνολικό διαθέσιμο εύρος ζώνης του δορυφορικού καναλιού επικοινωνίας. Ο δορυφορικός αναμεταδότης μετατρέπει την κάθε συχνότητα άνω ζεύξης στην αντίστοιχη συχνότητα κάτω ζεύξης και ο κάθε επίγειος σταθμός λαμβάνει μόνο

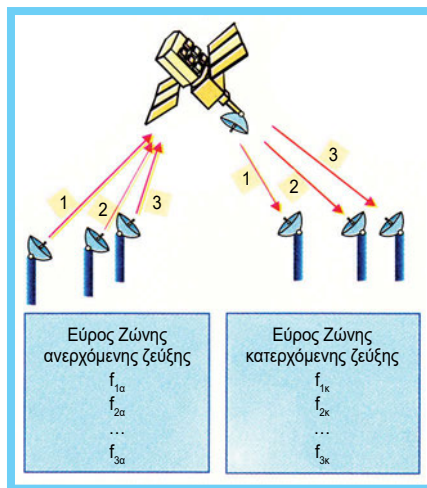
τα σήματα που τον αφορούν στις συγκεκριμένες συχνότητες που γνωρίζει από πριν. Στο σχήμα 5.12.3 δίνεται το σχηματικό διάγραμμα ενός συστήματος FDMA.

Ένα πρόβλημα που παρουσιάζεται στα συστήματα FDMA είναι ο τρόπος εκχώρησης των διαθέσιμων καναλιών (περιοχών συχνοτήτων) στους χρήστες - επίγειους σταθμούς.

Η εκχώρηση αυτή μπορεί να είναι είτε στατική είτε δυναμική. Ονομάζεται **στατική** εκχώρηση εκείνο το είδος διάθεσης τηλεπικοινωνιακών καναλιών, στο οποίο το κάθε κανάλι χρησιμοποιείται μόνιμα από κάποιον συγκεκριμένο χρήστη. Η στατική εκχώρηση χρησιμοποιείται συνήθως σε τηλεπικοινωνιακά συστήματα υψηλής ζήτησης, σε συστήματα δηλαδή όπου όλοι οι χρήστες παρουσιάζουν υψηλή τηλεπικοινωνιακή δραστηριότητα.

Αντίθετα, σε συστήματα περιορισμένης ζήτησης προτιμάται η δυναμική εκχώρηση. Ως **δυναμική** εκχώρηση ορίζεται αντίστοιχα το είδος εκείνο διάθεσης τηλεπικοινωνιακών καναλιών, στο οποίο το κάθε κανάλι εκχωρείται σε κάποιο χρήστη μόνο κατά τη διάρκεια της επικοινωνιακής ζεύξης στην οποία μετέχει. Αν και τα συστήματα δυναμικής εκχώρησης μπορούν να εξυπηρετούν περισσότερους χρήστες και να κάνουν καλύτερη χρήση του διαθέσιμου εύρους ζώνης του δορυφορικού συστήματος, απαιτούν πιο σύνθετα κυκλώματα στους επίγειους σταθμούς, οι οποίοι πλέον θα πρέπει να έχουν τη δυνατότητα να λειτουργούν σε όλα τα διαθέσιμα κανάλια και όχι απλώς σε ένα προκαθορισμένο κανάλι επικοινωνίας.

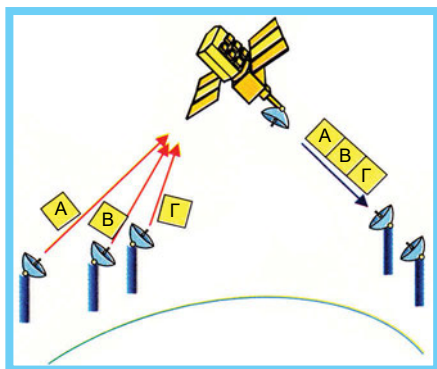
Όπως και στην περίπτωση της πολυπλεξίας συχνότητας, έτσι και στα συστήματα FDMA ένα σημαντικό μειονέκτημα είναι η αναγκαιότητα ύπαρξης επαρκούς διαχωρισμού στο πεδίο της συχνότητας των υπάρχοντων καναλιών επικοινωνίας, ώστε να μην υπάρχουν παρεμβολές από το ένα κανάλι στο άλλο (φαινόμενο διαφωνίας). Το γεγονός αυτό οδηγεί στη μη βέλτιστη χρήση του διαθέσιμου φάσματος συχνοτήτων ενός δορυφορικού συστήματος.



Σχήμα 5.12.3 Πολλαπλή πρόσβαση με διαίρεση Συχνότητας (FDMA).

5.12.2 Πολλαπλή Πρόσβαση με Διαίρεση Χρόνου (Time Division Multiple Access-TDMA)

Στα συστήματα πολλαπλής πρόσβασης διαίρεσης χρόνου (TDMA) σε κάθε επίγειο σταθμό εκχωρείται ένα προκαθορισμένο χρονικό διάστημα, κατά το



Σχήμα 5.12.4 Πολλαπλή Πρόσβαση Διάρθρωση Χρόνου (TDMA).

Πολλαπλή Πρόσβαση Διάρθρωση Κώδικα (Code Division Multiple Access-CDMA)

Πρόκειται για την πιο σύγχρονη και πολλά υποσχόμενη τεχνική πολλαπλής πρόσβασης που διορθώνει όλα τα μειονεκτήματα των προηγούμενων δύο μεθόδων.

Σύμφωνα με την τεχνική αυτή όλοι οι επίγειοι σταθμοί λειτουργούν ταυτόχρονα στην ίδια περιοχή συχνότητας και επιπλέον καταλαμβάνουν συνεχώς χρονικά όλο το διαθέσιμο εύρος ζώνης συχνοτήτων του δορυφορικού αναμεταδότη. Άρα, δεν απαιτείται ούτε χρονικός ούτε φασματικός διαχωρισμός των σημάτων που αποστέλλουν οι διάφοροι σταθμοί προς το δορυφόρο. Αντίθετα, σε ένα **σύστημα πολλαπλής πρόσβασης διάιρσης κώδικα (CDMA)** ο διαχωρισμός των διαφόρων φερόντων σημάτων γίνεται με την κατάλληλη κωδικοποίησή τους πριν από την αποστολή τους.

Είναι φανερά τα πλεονεκτήματα της μεθόδου αυτής σε σχέση με τις δύο προηγούμενες. Ένα σύστημα CDMA εκμεταλλεύεται καλύτερα το διαθέσιμο φάσμα, ενώ δεν απαιτεί και χρονικό συντονισμό των χρηστών του. Επιπλέον, τα σήματα CDMA παρουσιάζουν αυξημένη αντοχή στις παρεμβολές και δεν είναι εύκολα ανιχνεύσιμα.

οποίο ο σταθμός συνδέεται με το δορυφόρο και άρα μπορεί να εκπέμψει τα σήματά του.

Άρα τα συστήματα TDMA ακολουθούν τη βασική αρχή της πολυπλεξίας χρόνου. Το σχηματικό διάγραμμα ενός δορυφορικού συστήματος TDMA δίνεται στο σχήμα 5.12.4.

Στη διάρκεια του κάθε χρονικού παραθύρου ο επίγειος σταθμός στον οποίο έχει εκχωρηθεί κάνει αποκλειστική χρήση του δορυφορικού αναμεταδότη, ο οποίος και επανεκπέμπει τα σήματά του προς τον επίγειο προορισμό τους. Άρα, το κάθε φέρον σήμα χρησιμοποιεί ουσιαστικά την ίδια συχνότητα εκπομπής. Δεδομένου όμως ότι την κάθε χρονική στιγμή εκπέμπεται μόνο ένα φέρον σήμα, δεν υπάρχουν προβλήματα παρεμβολών μεταξύ των σημάτων των επίγειων σταθμών.

Για τον παραπάνω λόγο, σε ένα σύστημα TDMA βασική απαίτηση είναι όλοι οι επίγειοι σταθμοί να είναι απόλυτα συγχρονισμένοι μεταξύ τους, ώστε να μην υπάρχει πιθανότητα εκπομπής κάποιου άλλου σήματος την ώρα που ένα φέρον βρίσκεται στο κανάλι επικοινωνίας. Και εδώ, όπως και στην κλασική πολυπλεξία χρόνου, στον κάθε επίγειο σταθμό εκχωρείται ένα χρονικό παράθυρο (time slot) στο οποίο εκπέμπει, ενώ το σύνολο των χρονικών αυτών παραθύρων σχηματίζει ένα TDMA πλαίσιο (frame). Το κάθε πλαίσιο έχει περίοδο της τάξης των μερικών msec (για παράδειγμα 2 msec για τον δορυφόρο INTELSAT V).

Τα βασικότερα πλεονεκτήματα των συστημάτων TDMA έναντι των FDMA είναι τα ακόλουθα:

- Όλος ο τηλεπικοινωνιακός εξοπλισμός λειτουργεί στην ίδια συχνότητα, με αποτέλεσμα ευκολία στην κατασκευή και απλότητα στις διαδικασίες.
- Δεδομένου ότι κάθε χρονική στιγμή μόνο ένα φέρον σήμα βρίσκεται στο κανάλι επικοινωνίας αποφεύγονται φαινόμενα παρεμβολών και διαφωνίας.
- Είναι δυνατή η χρήση ψηφιακών τεχνικών κωδικοποίησης και αποθήκευσης με όλα τα πλεονεκτήματα που αυτό προσφέρει.

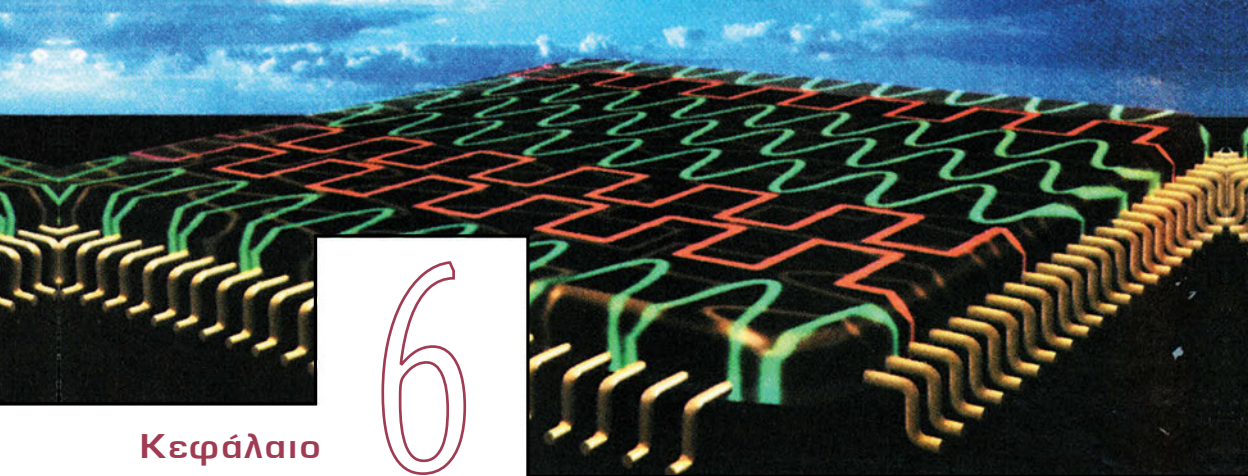
Το βασικό μειονέκτημα των συστημάτων TDMA είναι οι αυξημένες απαιτήσεις για συγχρονισμό και η αυξημένη πολυπλοκότητα των αντίστοιχων κυκλωμάτων στους επίγειους σταθμούς. Η ανάπτυξη όμως των ψηφιακών κυκλωμάτων τείνει να μειώσει την πολυπλοκότητα αυτή.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ 5ΟΥ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

1. Στην αγγλική γλώσσα, η πιθανότητα εμφάνισης του γράμματος Ε είναι 0,105 και του διαστήματος είναι 0,2. Ποια η ποσότητα πληροφορίας καθενός από αυτά τα δύο σύμβολα;
2. Ποιες οι βασικές δομικές μονάδες ενός τηλεπικοινωνιακού συστήματος; Να τις περιγράψετε. Τι είναι θόρυβος και τι χωρητικότητα καναλιού ενός τηλεπικοινωνιακού συστήματος;
3. Υπολογίστε τη χωρητικότητα καναλιού ενός συστήματος με εύρος ζώνης 100 kHz και λόγο SNR=9.
4. Ποιοι οι λόγοι μετατροπής των αναλογικών σημάτων σε ψηφιακά; Να περιγράψετε τις μεθόδους διαμόρφωσης παλμών.
5. Να περιγράψετε τα βήματα της παλμοκωδικής διαμόρφωσης.
6. Να εξηγήσετε την αναγκαιότητα της κβάντισης και της κωδικοποίησης.
7. Ένας κώδικας των 5 bits πόσες στάθμες αναλογικού σήματος σας επιτρέπει να κωδικοποιήσετε;
8. Ένα ψηφιακό μαγνητόφωνο δειγματοληπτεί το αριστερό και δεξιό σήμα ομιλίας 40.000 φορές το δευτερόλεπτο. Σε κάθε δείγμα επιβάλλεται κβάντιση 16 bits. Πόσες σελίδες κειμένου μπορούν να αποθηκευθούν σε μία ψηφιακή κασέτα διάρκειας δύο ωρών, όταν κάθε σελίδα ανέρχεται σε 2 kbytes;
9. Τι ονομάζουμε κωδικοποίηση και ποια βασικά είδη κωδικοποίησης διακρίνουμε; Ποια η διαφοροποίηση μεταξύ τους;
10. Ποιες είναι οι βασικές αρχές που θα πρέπει να ικανοποιεί κάποιος κώδικας πηγής; Αναφέρατε δύο πολύ γνωστούς κώδικες πηγής.
11. Για ποιους λόγους είναι απαραίτητη η κωδικοποίηση καναλιού; Αναφέρατε έναν κώδικα καναλιού και εξηγήστε τη χρήση του.
12. Τι είναι διαμόρφωση και πού χρησιμοποιείται; Τι ονομάζουμε φέρον σήμα και τι σήμα πληροφορίας; Αναφέρατε τα βασικά είδη διαμόρφωσης

αναλογικών και ψηφιακών σημάτων.

13. Τι ονομάζουμε συντελεστή διαμόρφωσης και τι άνω και κάτω πλευρική ζώνη; Ποιο είναι το εύρος ζώνης ενός AM σήματος; Υπολογίστε το εύρος ζώνης ενός AM σήματος, όταν το σήμα πληροφορίας είχε συχνότητα 8 kHz. Σχεδιάστε το φασματικό περιεχόμενο του σήματος αυτού.
14. Τι ονομάζουμε δείκτη διαμόρφωσης στην FM διαμόρφωση; Πώς υπολογίζεται πρακτικά το εύρος ζώνης ενός FM σήματος;
15. Ποιο είναι το μειονέκτημα των FM σημάτων; Υπολογίστε το εύρος ζώνης ενός FM σήματος όταν το σήμα πληροφορίας έχει συχνότητα 8 kHz. Σχεδιάστε το φασματικό περιεχόμενο του σήματος αυτού.
16. Έστω ένα σήμα πληροφορίας συχνότητας 4 kHz. Το σήμα διαμορφώνεται αρχικά κατά πλάτος και το ίδιο σήμα διαμορφώνεται στη συνέχεια κατά συχνότητα. Υπολογίστε όλα τα βασικά μεγέθη τόσο του προκύπτοντος AM σήματος όσο και του αντίστοιχου FM σήματος. Ποια τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των δύο μεθόδων διαμόρφωσης;
17. Τι ονομάζουμε ταχύτητα διαμόρφωσης; Πώς ορίζεται το εύρος ζώνης στην FSK διαμόρφωση;
18. Τι ονομάζουμε πολυπλεξία και ποια η αναγκαιότητα χρήσης της; Αναφέρατε τα δύο βασικά είδη πολυπλεξίας και τα χαρακτηριστικά τους.
19. Τι είναι η πολλαπλή πρόσβαση και ποιες οι βασικές μέθοδοι πολλαπλής πρόσβασης που χρησιμοποιούνται σήμερα;



Κεφάλαιο

6

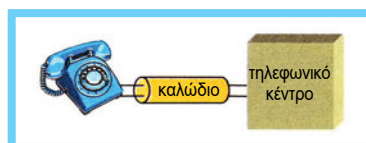
Τερματικές διατάξεις

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζονται οι τερματικές συσκευές και αναφέρονται μόνο τα χαρακτηριστικά που έχουν σχέση με τις επικοινωνίες.

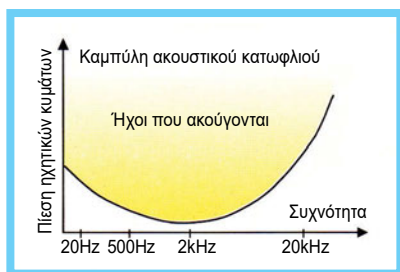
6.1 ΤΟ ΤΗΛΕΦΩΝΟ

Η τηλεφωνική συσκευή (παρακάτω θα αναφέρεται απλά σαν τηλέφωνο) επιτρέπει τη μεταβίβαση της ομιλίας ανάμεσα σε δύο ή περισσότερους ανθρώπους (συνδρομητές) σε μεγάλη απόσταση με τη χρησιμοποίηση του κατάλληλου τηλεφωνικού δικτύου. Για να πραγματοποιηθεί αυτή η επικοινωνία μεταξύ των συνδρομητών, πρέπει το τηλέφωνο να συνδεθεί με το τηλεφωνικό κέντρο μέσω ενός δισύρματου καλωδίου. Το ζεύγος των δύο αυτών αγωγών μεταφέρει τα ηλεκτρικά σήματα ομιλίας από και προς το κέντρο. Ταυτόχρονα τροφοδοτεί την τηλεφωνική συσκευή με την απαραίτητη ηλεκτρική ενέργεια.

Ο σκοπός της τηλεφωνικής συσκευής δεν είναι η πιστή αναπαραγωγή της φωνής, αλλά η επιτυχής και καταληπτή μετάδοση της ομιλίας. Για να γίνει καταληπτή η ομιλία ενός ανθρώπου, έχει παρατηρηθεί ότι αρκεί μια περιοχή συχνοτήτων που αρχίζει από τα 300 Hz και τελειώνει στα 3400 Hz. Η περιοχή αυτή βρίσκεται στο μέσον περίπου του κατωφλίου ακουστότητας και γύρω από τη μέγιστη ευαισθησία που είναι περίπου 2 kHz. Η παραπάνω περιοχή συχνοτήτων ονομάζεται και *δίαυλος* ή *κανάλι ομιλίας* και έχει εύρος 3100 Hz (3400 Hz-300 Hz). Το σήμα



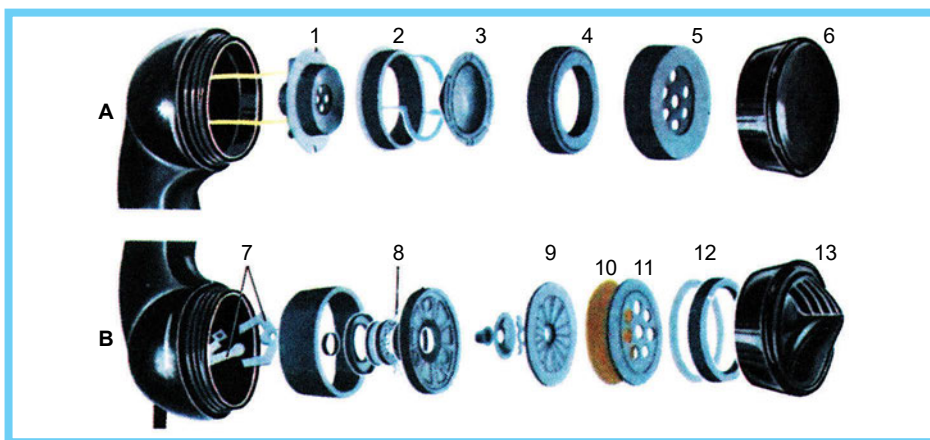
Σχήμα. 6.1.1 Το τηλέφωνο συνδέεται με το κέντρο με καλώδιο που περιέχει δύο αγωγούς.



Σχήμα 6.1.2 Στο διάγραμμα κατωφλίου ακουστότητας η γραμμοσκιασμένη περιοχή δείχνει τους ήχους που αντιλαμβάνεται το ανθρώπινο αυτί. Η κλίμακα στις συχνότητες δεν είναι γραμμική. Το ανθρώπινο αυτί μπορεί να ακούσει ήχους με συχνότητες από 20 Hz μέχρι 20.000 Hz (ή 20kHz). Η παραπάνω περιοχή συχνοτήτων (ή φάσμα) ονομάζεται ακουστικό φάσμα.

ομιλίας δειγματοληπτείται με ρυθμό 8000 δείγματα ανά δευτερόλεπτο και κάθε δείγμα έχει ανάλυση 8 bit. Έτσι προκύπτει ένα ψηφιακό σήμα με ρυθμό $8 \cdot 8000 \text{ bit/s} = 64 \text{ kbit/s}$. Ο παραπάνω ρυθμός χρησιμοποιείται σα μονάδα μέτρησης της χωρητικότητας ενός μέσου μετάδοσης. Για παράδειγμα ένα καλώδιο με χωρητικότητα 32 καναλιών σημαίνει $32 \cdot 64 \text{ kbit/s} = 2,048 \text{ Mbit/s}$.

Για λόγους οικονομικούς και τεχνικούς το κάθε καλώδιο που ξεκινά από το τηλεφωνικό κέντρο δεν περιέχει μόνο ένα κανάλι ομιλίας (συνήθως ζεύγος αγωγών) για ένα μόνο συνδρομητή, αλλά περιέχει ένα μεγάλο αριθμό ζευγών και φτάνει σε μια περιοχή, όπου εκεί διακλαδίζεται σε κάθε συνδρομητή.



Σχήμα 6.1.3 Τα εξαρτήματα του μικροτηλέφωνου.

A. Ακουστικό 1: ακουστική κάψα (τελική μορφή) στη συνέχεια τα μέρη από τα οποία αποτελείται 2: πηνίο ηλεκτρομαγνήτη, 3: μεταλλική μεμβράνη, 4: μαγνήτης, 5: κάλυμμα, 6: πλαστικό κάλυμμα. Όταν από το πηνίο περνά μεταβαλλόμενο ρεύμα, τότε γίνεται ηλεκτρομαγνήτης και προκαλεί άλλοτε ασθενέστερη και άλλοτε ισχυρότερη έλξη στη μεμβράνη. Η μεμβράνη με τη σειρά της αρχίζει να πάλλεται στο ρυθμό του ρεύματος. Καθώς πάλλεται, αναγκάζει τον αέρα που είναι μπροστά της να πάλλεται και αυτός και έτσι να ακούγεται ξανά ο αρχικός ήχος.

B. Μικρόφωνο, 7: ηλεκτρικές επαφές, 8: (κόκκοι) άνθρακα, 9: διαχωριστικό διάφραγμα, 10: μεμβράνη, 11: προστατευτικό πλέγμα, 12: δακτυλίδι συγκράτησης, 13: πλαστικό κάλυμμα. Το μικρόφωνο άνθρακα βασίζεται στην ιδιότητα του άνθρακα να μεταβάλλει την ηλεκτρική αντίστασή του, όταν μεταβάλλεται η πίεση που ασκείται στη μάζα του. Η ωμική αντίσταση του μικροφώνου λόγω των ατελών επαφών των ψηγμάτων είναι περίπου 200 Ω. Η μεταβλητή πίεση στη μάζα των ψηγμάτων άνθρακα, εξαιτίας της ομιλίας, μεταβάλλει ανάλογα την αντίστασή τους από 100 Ω έως 300 Ω, με αποτέλεσμα το ηλεκτρικό ρεύμα το οποίο περνά από το μικρόφωνο να μεταβάλλεται και αυτό συνεχώς, ανάλογα με τα ηχητικά κύματα.

Τα καλώδια αυτά που ξεκινούν από το κέντρο και καταλήγουν στους συνδρομητές αποτελούν το συνδρομητικό δίκτυο. Το τμήμα του δικτύου από το συνδρομητικό κέντρο μέχρι και τη συσκευή του χρήστη ονομάζεται και *συνδρομητικός βρόχος* (Subscriber Loop).

Το τηλέφωνο αποτελείται από την κύρια συσκευή και το μικροτηλέφωνο. Η κύρια συσκευή περιέχει το ηλεκτρικό και ηλεκτρονικό μέρος, ενώ το μικροτηλέφωνο περιέχει το μικρόφωνο και το ακουστικό. Το μικρόφωνο μετατρέπει τα ηχητικά κύματα της ομιλίας σε ανάλογες μεταβολές του ηλεκτρικού ρεύματος. Το ακουστικό κάνει την αντίθετη μετατροπή. Μετατρέπει τις μεταβολές του ρεύματος σε ηχητικά κύματα.

Στις σύγχρονες τηλεφωνικές συσκευές το μικρόφωνο είναι συνήθως πυκνωτικό με μικρότερες διαστάσεις, μικρότερο βάρος και χαμηλότερο κόστος.

6.1.1 Επιλογή

Οι τρόποι επιλογής μιας τηλεφωνικής συσκευής είναι οι εξής:

- ο δίσκος του δεκαδικού κώδικα και
- ο κώδικας των διπλών συχνοτήτων ή τόνων.

Με τη βοήθεια του δίσκου ή του πληκτρολογίου σχηματίζεται ο αριθμός του συνδρομητή που πρόκειται να κληθεί. Ο δίσκος επιλογής υπάρχει στις παλαιότερες συσκευές και περιέχει ένα διακόπτη που ανοίγει και κλείνει τις επαφές του τόσες φορές όσες αντιστοιχούν στο ψηφίο που έχει επιλεγεί. Με αυτό τον τρόπο μετατρέπεται κάθε ψηφίο σε μια παλμοσειρά.

Στο σχήμα 6.1.4 φαίνεται μια παλμοσειρά που αντιστοιχεί στο «53». Αυτοί οι παλμοί καθοδηγούν το τηλεφωνικό κέντρο να πραγματοποιήσει τη σύνδεση. Στην επιλογή με πληκτρολόγιο αντί για παλμοσειρές το τηλέφωνο εκπέμπει κατάλληλους ήχους (τόνους ή συχνότητες).

Η τηλεφωνική συσκευή με πληκτρολόγιο περιλαμβάνει δύο ταλαντωτές, οι οποίοι με κατάλληλη συνδεσμολογία δημιουργούν 8 διαφορετικές ακουστικές συχνότητες στην κεντρική περιοχή του φάσματος ομιλίας.

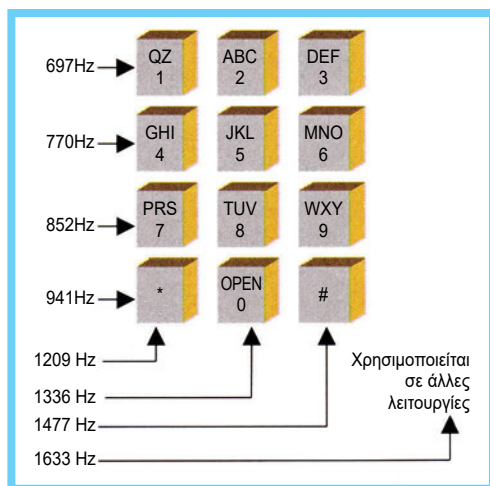
Οι ταλαντωτές χωρίζονται σε δύο ομάδες, Α και Β. Η πρώτη ομάδα χαρακτηρίζει τις σειρές του πληκτρολογίου και η δεύτερη τις στήλες. Κάθε ψηφίο καθορίζεται από τις δύο συχνότητες της γραμμής και της στήλης.

Πιέζοντας ένα πλήκτρο επιλέγονται αυτόματα οι ταλαντωτές ή τα κυκλώματα που αντιστοιχούν στις δύο συχνότητες του πλήκτρου. Η έξοδος αυτών των κυκλωμάτων (ταλαντωτών) οδηγείται στη συνδρομητική γραμμή και στο ακουστικό για επιβεβαίωση.

Από τη συνδρομητική γραμμή (ζεύγος



Σχήμα. 6.14 Παλμοσειρά που αντιστοιχεί στο «53».



Σχήμα. 6.15 Οι συνδυασμοί συχνοτήτων για τη μετάδοση των ψηφίων σε συσκευές με πληκτρολόγιο. Το πλήκτρο «6» π.χ. αντιστοιχεί στις συχνότητες 770 Hz και 1477 Hz.

Στην περίπτωση που ένα τηλεφωνικό κέντρο είναι νέας τεχνολογίας (ψηφιακό), υπάρχει δυνατότητα επικοινωνίας συνδρομητή - κέντρου με ψηφιακή μορφή σε όλη τη διαδρομή. Αν όλα τα κέντρα του δικτύου είναι ψηφιακά, συνεργάζονται μεταξύ τους και έχουν πολλές δυνατότητες. Για το λόγο αυτό τα παλαιότερα αναλογικά κέντρα αναβαθμίζονται σταδιακά σε ψηφιακά.

Η τηλεφωνική συσκευή που συνδέεται στο άκρο μιας ψηφιακής παροχής (π.χ. γραμμή ISDN) είναι πιο σύνθετη από αυτή που περιγράφηκε παραπάνω. Περιέχει τα κατάλληλα κυκλώματα που δέχονται και στέλνουν ψηφιακό σήμα. Περιέχει επίσης και τους απαραίτητους μετατροπείς α) ψηφιακό σε αναλογικό και β) αναλογικό σε ψηφιακό. Η συσκευή αυτή λέγεται ψηφιακό τηλέφωνο (digital telephone) και έχει δυνατότητα να συνδέεται με υπολογιστή και με ιδιωτικά κέντρα (PBX).

αγωγών) οι δύο συχνότητες φτάνουν στο τηλεφωνικό κέντρο. Εκεί αναγνωρίζεται το κάθε επιλεγμένο ψηφίο και, μόλις ολοκληρωθεί ο αριθμός κλήσης, τα κατάλληλα κυκλώματα θα ξεκινήσουν την αποκατάσταση της αιτούμενης σύνδεσης.

Με τη μέθοδο μετάδοσης διπλών ακουστικών συχνοτήτων (τόνων) επιτυγχάνεται πιο γρήγορη μεταβίβαση του αριθμού κλήσης από το συνδρομητή στο κέντρο, σε σχέση με τη χρήση παλμοσειρών.

Η χρήση δύο συχνοτήτων αυξάνει την αξιοπιστία και την ασφάλεια της σωστής επιλογής. Λόγω των δύο συχνοτήτων ή τόνων είναι γνωστή ως Dual Tone Multi Frequency (DTMF).

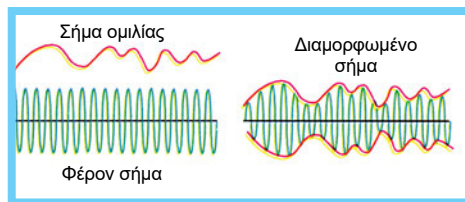
Οι συσκευές με πληκτρολόγιο έχουν συνήθως τη δυνατότητα να ρυθμιστούν, ώστε να κάνουν την επιλογή ψηφίων είτε με τόνους, είτε με παλμοσειρές και έτσι να μπορούν να συνεργάζονται με κέντρα παλαιότερης τεχνολογίας. Η λειτουργία τους αντίστοιχα λέγεται τονική ή παλμική (**T**one / **P**ulse).

Λόγω της μεγάλης ανάγκης για μετάδοση κειμένου και εικόνας, υπάρχουν και άλλες συσκευές οι οποίες χρησιμοποιούν το τηλεφωνικό συνδρομητικό δίκτυο. Μερικές από αυτές είναι:

- α)** η γνωστή τηλεμοιοτυπική συσκευή (τελεφάξ - telefax),
- β)** το εικονοτηλέφωνο (videophone, videotex),
- γ)** το τερματικό τέλεξ και
- δ)** ο διαποδιαμορφωτής (modem).

6.2 ΡΑΔΙΟΦΩΝΟ

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα από την κεραία εκπομπής του ραδιοφωνικού πομπού. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα, που χρησιμοποιούνται για την εκπομπή εικόνας, ήχου, φωνής ή δεδομένων, συνηθίζεται να ονομάζονται **ραδιοκύματα** (radio waves). Αυτά τα κύματα μεταδίδονται σε μεγάλες αποστάσεις. Η κεραία του ραδιοφώνου τα λαμβάνει και παράγει ένα ασθενές ηλεκτρικό ρεύμα, όμοιο με αυτό που δημιούργησε τα κύματα στον πομπό. Τα κυκλώματα που ακολουθούν την κεραία μέχρι και το μεγάφωνο ονομάζονται ραδιόφωνο.



Σχήμα 6.2.1 Διαβίβαση ηλεκτρικού ρεύματος τηλεφωνικής ομιλίας πάνω σε ρεύμα υψηλής συχνότητας (φέρον σήμα).

Το ραδιόφωνο επομένως είναι μια τερματική συσκευή ενός δικτύου ευρυεκπομπής, η οποία λαμβάνει ηλεκτρομαγνητικά κύματα σε συγκεκριμένες περιοχές συχνοτήτων (ζώνες) του φάσματος.

Ονομάζεται και **ραδιοφωνικός δέκτης** ή απλά δέκτης και η λειτουργία του είναι:

- α)** να επιλέγει και να διαχωρίζει ένα επιθυμητό ραδιοφωνικό σήμα από τα πολλά που λαμβάνονται από την κεραία του και
- β)** να διαχωρίζει και να αναδεικνύει το ακουστικό σήμα χαμηλής συχνότητας, από το υψηλής συχνότητας (φέρον σήμα).

Η ανάκτηση του ακουστικού σήματος ονομάζεται **αποδιαμόρφωση** ή **φύραση** και είναι μια διαδικασία ακριβώς αντίστροφη από τη διαμόρφωση που γίνεται στο ραδιοφωνικό πομπό.

Ο τρόπος με τον οποίο διαχωρίζεται η πληροφορία του ακουστικού ή διαμορφούντος σήματος από το φέρον κύμα εξαρτάται από το είδος της διαμόρφωσης που χρησιμοποιήθηκε στον πομπό. Η αποδιαμόρφωση ενός σήματος διαμορφωμένου κατά πλάτος είναι πιο απλή σε σχέση με την αποδιαμόρφωση ενός σήματος διαμορφωμένου κατά συχνότητα.

Στην περιγραφή της λειτουργίας του ραδιοφώνου, χρησιμοποιούνται μερικά κυκλώματα τα οποία παρακάτω αναφέρονται ως **βαθμίδες**.

Οι πρώτοι ραδιοφωνικοί δέκτες με λυχνίες είχαν ως κυριότερα ελαττώματα:

- α)** μικρή ευαισθησία, διότι δεν ήταν ικανοί να λαμβάνουν ραδιοφωνικά σήματα μικρής έντασης και
- β)** μικρή επιλογική ικανότητα, διότι δεν ήταν δυνατός ο διαχωρισμός δύο ραδιοφωνικών σημάτων, των οποίων οι συχνότητες ήταν γειτονικές.

6.2.1 Στερεοφωνική εκπομπή

Μέχρι το 1961 οι ραδιοφωνικές εκπομπές είχαν μονοφωνικό χαρακτήρα. Η στερεοφωνική F.M. εκπομπή είναι ένα σύστημα διαμόρφωσης το οποίο επιτρέπει την αποστολή επιπλέον πληροφορίας στο δέκτη. Ο τελευταίος μπορεί έτσι να αναπαραγάγει το αρχικό στερεοφωνικό σήμα. Κατά τη στερεοφωνική εκπομπή αποστέλλεται το άθροισμα των σημάτων ($L + R$), που συλλέγονται από δυο πηγές, την αριστερή (**L**eft) και τη δεξιά (**R**ight) όπως επίσης και η διαφορά τους ($L - R$). Ο μονοφωνικός δέκτης λαμβάνει μόνο το άθροισμα ($L + R$), ενώ ο στερεοφωνικός λαμβάνει και τα δυο, άθροισμα και διαφορά και μετά από κατάλληλη επεξεργασία εξάγει το αρχικό στερεοφωνικό σήμα στην αρχική του μορφή. Με τη μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται αναπαραγωγή ήχου υψηλής πιστότητας.

6.2.2 Ψηφιακοί δέκτες

Η κλασική σχεδίαση του ραδιοφώνου με τις αναλογικές βαθμίδες συντονισμού, ρυθμιζόμενου τοπικού ταλαντωτή¹, μίκτη² και αποδιαμορφωτή χρησιμοποιείται στις τηλεπικοινωνίες για περισσότερο από 50 χρόνια. Τα τελευταία χρόνια εμφανίστηκαν στην αγορά οι ψηφιακοί δέκτες.

Ο ψηφιακός δέκτης περιέχει τις ίδιες αρχικές βαθμίδες με τον αναλογικό, δηλαδή περιέχει τον συντονιζόμενο ενισχυτή³, τον τοπικό ταλαντωτή, το μίκτη και τον ενισχυτή ενδιάμεσης συχνότητας.

Στη συνέχεια το επιλεγόμενο σήμα εισέρχεται σε έναν μετατροπέα αναλογο-ψηφιακό (ADC) και μετατρέπεται σε ψηφιακό, δηλαδή σε μια σειρά από bit. Από αυτό το σημείο και μετά διαφοροποιείται ο ψηφιακός δέκτης, διότι στη συνέχεια όλη η επεξεργασία του σήματος (αποδιαμόρφωση, αποκωδικοποίηση) γίνεται ψηφιακά από ειδικά προγραμματιζόμενα ολοκληρωμένα κυκλώματα, τα DSP (Digital Signal Processing).

Αν ο μετατροπέας τοποθετηθεί αμέσως μετά τον μίκτη παραλείποντας τον ενισχυτή ενδιάμεσης, ο ψηφιακός δέκτης κάνοντας δειγματοληψία σε όλη την IF μπορεί να λαβαίνει ταυτόχρονα δύο σήματα (ραδιοφωνικούς ή τηλεοπτικούς σταθμούς).

Η μεγάλη ανάπτυξη της τεχνολογίας των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων έχει ως αποτέλεσμα να μειώνεται συνεχώς το κόστος των DSP και να αυξάνουν οι επιδόσεις τους. Ο ψηφιακός δέκτης μπορεί εκτός από ψηφιακά σήματα να

1. Τοπικός ταλαντωτής είναι η βαθμίδα που παράγει ένα εναλλασσόμενο σήμα με ρυθμιζόμενη συχνότητα.

2. Μίκτης είναι η βαθμίδα που έχει συνήθως δύο εισόδους και εμφανίζει στην έξοδό της ένα σήμα με συχνότητα ίση με τη διαφορά των σημάτων εισόδου.

3. Ενισχυτής που ενισχύει μόνο μια στενή ζώνη συχνοτήτων.

λάβει και αναλογικά, δηλαδή αυτά που είναι διαμορφωμένα κατά πλάτος ή συχνότητα.

6.3 ΤΗΛΕΟΡΑΣΗ

Η τηλεόραση μπορεί να δείχνει εικόνες προερχόμενες από μεγάλη απόσταση. Το τηλεοπτικό σήμα μεταβιβάζεται από τον τηλεοπτικό πομπό στον τηλεοπτικό δέκτη μέσω κάποιου φυσικού μέσου. Το φυσικό μέσο μετάδοσης μπορεί να είναι **ενσύρματο** (καλώδια) ή **ασύρματο** (ηλεκτρομαγνητικά κύματα στον αέρα). Για να δημιουργηθεί το τηλεοπτικό σήμα στον πομπό, πρέπει η εικόνα να μετατραπεί σε ηλεκτρική τάση. Το φυσικό φαινόμενο που επιτρέπει τη μετατροπή της εικόνας σε τάση είναι το *φωτοηλεκτρικό φαινόμενο*.

Μια εφαρμογή του φωτοηλεκτρικού φαινομένου είναι το *φωτοκύτταρο*, το οποίο μεταβάλλει το ρεύμα που το διαρρέει ανάλογα με την ένταση της προσπίπτουσας φωτεινής ακτινοβολίας.

Ένας τρόπος, για να σχηματιστεί μια ασπρόμαυρη (μονόχρωμη) εικόνα, είναι να αναλυθεί πρώτα σε μικρές περιοχές. Αυτό είναι δυνατό, αν σκεπαστεί η εικόνα με ένα λεπτό πλέγμα το οποίο αποτελείται από πολύ μικρά τετραγωνίδια, έτσι ώστε στο εσωτερικό κάθε τετραγωνιδίου η φωτεινή ένταση να είναι σταθερή. Η ανάλυση της φωτεινής έντασης κάθε τετραγωνιδίου γίνεται με διαδοχική και καθορισμένη εξερεύνηση όλων των περιοχών (τετραγωνιδίων) από τις οποίες αποτελείται η εικόνα.

Για να γίνει η αναπαραγωγή της εικόνας πάνω σε μια οθόνη, αρκεί να χωριστεί η οθόνη στις ίδιες περιοχές (τετραγωνίδια) και να φωτιστεί κάθε περιοχή με την αντίστοιχη φωτεινή ένταση.

Οι περιορισμοί που υπάρχουν είναι οι εξής: α) οι περιοχές πρέπει να είναι αρκετά μικρές, ώστε να μη διακρίνονται σε κάποια απόσταση για να έχει η εικόνα μεγάλη *σαφήνεια*. β) Ο αριθμός των περιοχών δεν μπορεί να είναι οσοδήποτε μεγάλος, διότι το ηλεκτρικό σήμα που θα προκύπτει από μια μεγάλη ανάλυση δε θα μπορεί να μεταδοθεί.

Για τη μετάδοση μιας εικόνας απαιτείται η μετάδοση της φωτεινότητας κάθε περιοχής μία προς μία.

Αν οι ξεχωριστές εικόνες ενός αντικειμένου που κινείται προβάλλονται διαδοχικά αρκετά γρήγορα η μία μετά την άλλη, τότε λόγω του *μεισθήματος* δημιουργείται στον παρατηρητή η εντύπωση της κίνησης, όπως ακριβώς συμβαίνει στον κινηματογράφο.

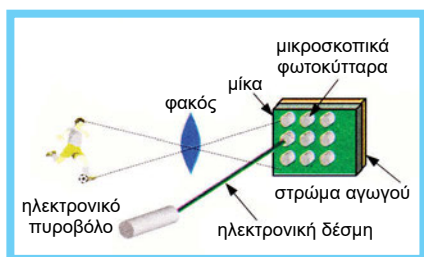
Για να βοηθηθεί ακριβώς το μάτι, οι οθόνες της τηλεόρασης κατασκευάζονται κατά τέτοιο τρόπο, ώστε τα τετραγωνίδια μιας εικόνας να μην εξαφανίζονται αμέσως μετά το σχηματισμό τους, αλλά να παραμένουν στην οθόνη για ένα μικρό χρονικό διάστημα.

6.3.1 Παραγωγή τηλεοπτικού σήματος

Η τηλεοπτική διαδικασία μπορεί να ξεχωριστεί σε τρεις φάσεις: την παραγωγή, τη μετάδοση και τη λήψη (αναπαραγωγή). Για να σχηματιστεί το σήμα εικόνας, πρέπει η φωτεινή ένταση κάθε σημείου της εικόνας και κάθε χρονική στιγμή να μετατραπεί στην ανάλογη τάση. Η τάση αυτή είναι μεταβαλλόμενη και ονομάζεται διεθνώς σήμα βίντεο (video). Το σήμα βίντεο ενισχύεται και μεταδίδεται εναέρια ή ενσύρματα στους συνδρομητές. Ο τηλεοπτικός δέκτης του συνδρομητή χρησιμοποιεί το σήμα αυτό, για να αναπαράγει τις εικόνες στην οθόνη.

Η λήψη κινούμενων εικόνων και η μετατροπή τους σε τάση γίνεται με ειδικές μηχανές (μηχανές λήψης - εικονολήπτες - κάμερες). Η βασική διάταξη που χρησιμοποιείται στους εικονολήπτες είναι η *εικονοληπτική λυχνία*. Με την ανάπτυξη της τεχνολογίας ο *εικονολήπτης στερεάς κατάστασης* χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό κυρίως στις φορητές μηχανές λήψης, λόγω μικρής κατανάλωσης, μικρού βάρους και κυρίως λόγω μικρού όγκου. Οι μηχανές λήψης υψηλής ποιότητας χρησιμοποιούν ως εικονοληπτική λυχνία τη *vidicon* ή την *image - orthicon*. Πιο διαδομένη είναι η *vidicon*, αν και για επαγγελματικές χρήσεις σε μεγάλα στούντιο προτιμάται η *image - orthicon*, η οποία έχει καλύτερες επιδόσεις. Υπάρχει και η λυχνία *plumbicon* με πολύ μικρές διαστάσεις. Όλες αυτές οι λυχνίες προέρχονται κατασκευαστικά από την εξέλιξη του εικονοσκοπίου του *Ζβαρύκιν*, το οποίο περιγράφεται πιο κάτω:

Το εικονοσκόπιο αυτό είναι ένας σωλήνας με κενό αέρα, μέσα στον οποίο έχουν τοποθετηθεί μία πλάκα από ένα λεπτό φύλλο μίκας (πολύ καλός μονωτής) και ένα ηλεκτρονικό πυροβόλο. Πάνω στην πλάκα σχηματίζεται η εικόνα, με ένα σύστημα φακών. Η πλάκα αυτή, στην πλευρά στην οποία σχηματίζεται η εικόνα, είναι επικαλυμμένη με ένα μεγάλο αριθμό (της τάξης των 100 εκατομμυρίων) μικροσκοπικών κόκκων από αργυρούχο καίσιο. Οι μικροσκοπικοί αυτοί κόκκοι σχηματίζουν ένα μωσαϊκό και έχουν διάμετρο περίπου ένα χιλιοστό του χιλιοστού-μετρου (1 μικρό=1μ). Επειδή είναι ηλεκτρικά μονωμένοι μεταξύ τους, χρησι-



Σχήμα 6.3.1 Αρχή λειτουργίας της εικονοληπτικής λυχνίας.

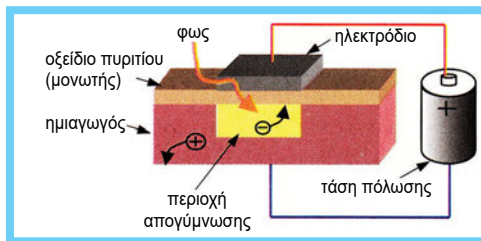
ποιούνται σαν φωτοκύτταρα. Όταν πέφτει πάνω τους το φως, εκπέμπουν ηλεκτρόνια και φορτίζονται θετικά με φορτίο ανάλογο με το φως που δέχεται το καθένα. Η πίσω πλευρά της μίκας είναι καλυμμένη με ένα ηλεκτρικά αγωγίμο λεπτό στρώμα, το οποίο αποτελεί την έξοδο του σήματος βίντεο. Το στρώμα αυτό συνδέεται με μια εξωτερική επαφή, τοποθετημένη πάνω στο εικονοσκόπιο, για να οδηγήσει το σήμα έξω από τη λυχνία.

Τα μικροσκοπικά φωτοκύτταρα συμπεριφέρονται και σαν πυκνωτές. Μια λεπτή δέσμη ηλεκτρονίων, η οποία παράγεται από το ηλεκτρονικό πυροβόλο που βρίσκεται και αυτό μέσα στην ίδια λυχνία, εξερευνά (σαρώνει) διαδοχικά ολόκληρη την επιφάνεια, από την πλευρά όπου βρίσκονται τα φωτοκύτταρα, γραμμή προς γραμμή. Όταν εξερευνηθεί ολόκληρη η εικόνα, ξαναρχίζει τη σάρωση πάλι από την πρώτη γραμμή. Καθένας από τους μικροσκοπικούς αυτούς πυκνωτές εκφορτίζεται, ο ένας μετά τον άλλο, από την ηλεκτρονική δέσμη. Σε κάθε εκφόρτιση αντιστοιχεί ένα ρεύμα, ανάλογο με τα αρχικά φορτία των μικρών πυκνωτών και επομένως προς τη φωτεινή ένταση των σημείων από τα οποία αποτελείται η εικόνα. Το ρεύμα αυτό, αφού ενισχυθεί κατάλληλα, μεταβιβάζεται στη συσκευή λήψης.

Ο εικονολήπτης στερεάς κατάστασης, που χρησιμοποιείται τελευταία σε πολλούς τομείς, είναι το CCD (**C**harge **C**oupled **D**evice, διάταξη σύζευξης φορτίου), το οποίο αποτελείται από μικροσκοπικούς πυκνωτές κατασκευασμένους πάνω σε ένα κομμάτι ημιαγωγού (πυρίτιο, Si). Η βασική αρχή λειτουργίας είναι η μετατροπή της φωτεινής έντασης κάθε μικροσκοπικής περιοχής στο ανάλογο φορτίο. Το φορτίο αυτό αποθηκεύεται στον αντίστοιχο πυκνωτή.

Ο σχηματισμός του σήματος της εικόνας γίνεται με την ανάγνωση του φορτίου του κάθε πυκνωτή. Στο CCD η ανάγνωση γίνεται από την άκρη κάθε γραμμής. Το φορτίο του κάθε πυκνωτή μεταβιβάζεται διαδοχικά στο διπλανό του, με τη βοήθεια κατάλληλων κυκλωμάτων. Οι μικροσκοπικοί πυκνωτές ονομάζονται **pixel** από το «στοιχείο εικόνας» - **picture element**.

Το ηλεκτρονικό πυροβόλο παράγει μια δέσμη ηλεκτρονίων με διάμετρο μικρότερη από ένα δέκατο του χιλιοστού (0.1mm). Όλα τα ηλεκτρόνια της δέσμης έχουν την ίδια ταχύτητα (ίδιο μέτρο και διεύθυνση). Η διάμετρος της δέσμης πρέπει να είναι πολύ μικρή έτσι ώστε, όταν στοχεύει σε ένα μικροσκοπικό πυκνωτή, να καλύπτει μόνο αυτόν και όχι μέρος των γειτονικών.



Σχήμα 6.3.2 Ο μικροσκοπικός πυκνωτής που φορτίζεται ανάλογα με το φως που προσπίπτει πάνω του. Ένα CCD μπορεί να έχει στην επιφάνειά του εκατομμύρια τέτοιους πυκνωτές.

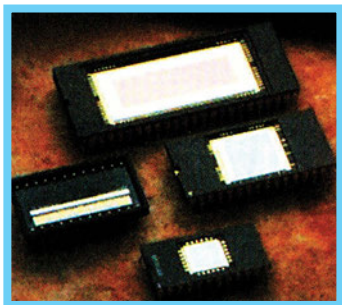
6.3.2 Τηλεοπτικός δέκτης

Ο τηλεοπτικός δέκτης, για να επιλέξει και να ενισχύσει ένα από τα τηλεοπτικά σήματα που λαμβάνει η κεραία, περιέχει τα κατάλληλα κυκλώματα. Τα κυκλώματα αυτά είναι αντίστοιχα με τις πρώτες βαθμίδες του ραδιοφωνικού δέκτη. Το τηλεο-

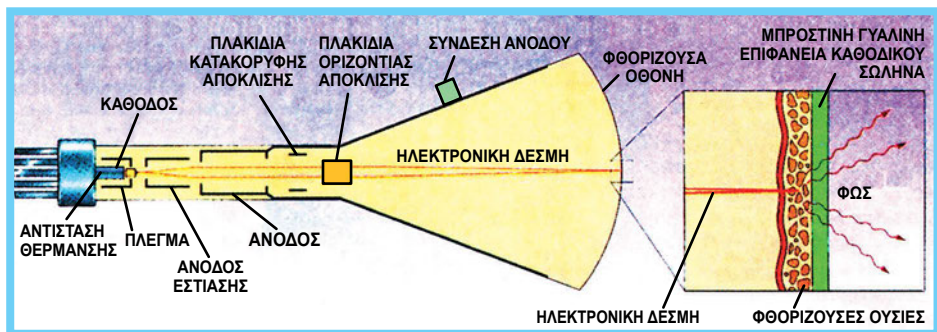
πτικό σήμα στη συνέχεια οδηγείται στο τμήμα απεικόνισης το οποίο αναπαράγει την εικόνα. Το τμήμα απεικόνισης περιλαμβάνει την πιο σημαντική διάταξη του τηλεοπτικού δέκτη, η οποία συνήθως είναι *καθοδικός σωλήνας* ή *οθόνη υγρών κρυστάλλων* (LCD) ή οθόνη πλάσματος.

Στον καθοδικό σωλήνα (λυχνία καθοδικών ακτίνων - CRT - **Cathode Ray Tube**) μια θερμαινόμενη κάθοδος εκπέμπει ηλεκτρόνια. Τα ηλεκτρόνια επιταχύνονται από την άνοδο, σχηματίζουν δέσμη και εστιάζονται στη μπροστινή γυάλινη επιφάνεια του καθοδικού σωλήνα. Η δέσμη περνά στη συνέχεια ανάμεσα σε δύο ζεύγη πλακιδίων (Σχ.6.3.4). Το ένα ζεύγος κατακόρυφων πλακιδίων αποκλίνει τη δέσμη δεξιά - αριστερά, ενώ το οριζόντιο ζεύγος πλακιδίων αποκλίνει τη δέσμη πάνω - κάτω. Η δέσμη τέλος καταλήγει στο εμπρός μέρος της λυχνίας, όπου στο εσωτερικό υπάρχει λεπτή επίστρωση με φθορίζουσες ουσίες. Οι ουσίες αυτές εκπέμπουν φως, όταν βομβαρδίζονται από τα ηλεκτρόνια της δέσμης.

Αν η ηλεκτρονική δέσμη έχει μεγάλη ένταση και στοχεύει σε κάποιο σημείο της οθόνης, το σημείο αυτό θα είναι πολύ φωτεινό. Αν η ένταση είναι πολύ μικρή, το σημείο θα είναι σκοτεινό. Η ένταση της δέσμης εξαρτάται από το τηλεοπτικό σήμα του πομπού. Στον καθοδικό σωλήνα του δέκτη, η ηλεκτρονική δέσμη σαρώνει την οθόνη σημείο προς σημείο και γραμμή προς γραμμή. Η δέσμη πρέπει να στοχεύει στα ίδια σημεία ταυτόχρονα με τη δέσμη του πομπού που σαρώνει την εικόνα. Δηλαδή, να αρχίζουν να σαρώνουν την πρώτη γραμμή κατά την ίδια ακριβώς χρονική στιγμή και να φτάνουν στο τέλος της τελευταίας γραμμής πάντοτε ταυτόχρονα. Αυτή η ταυτόχρονη κίνηση ονομάζεται *συγχρονισμός*.



Σχήμα 6.3.3 Μερικά CCD με αριθμό pixel πάνω: 1024X256, μέση 1X1024 και 512X512, κάτω 256X256.



Σχήμα 6.3.4 Ο μονόχρωμος καθοδικός σωλήνας. Στα δεξιά λεπτομέρεια της φθορίζουσας επιφάνειας.

Για να επιτευχθεί ο συγχρονισμός, ο πομπός εκπέμπει μαζί με το τηλεοπτικό σήμα και άλλα σήματα. Τα σήματα αυτά (σήματα συγχρονισμού) ο τηλεοπτικός δέκτης τα χρησιμοποιεί για να συγχρονίσει τα κυκλώματα που κινούν τη δέσμη οριζόντια και κατακόρυφα στον καθοδικό σωλήνα. Μαζί με το τηλεοπτικό σήμα ο πομπός εκπέμπει και το σήμα ήχου.

6.3.3 Χαρακτηριστικά της εικόνας

Τα χαρακτηριστικά της εικόνας είναι:

α) η ποιότητα, η οποία εξαρτάται από τον αριθμό των γραμμών ανάλυσης της εικόνας. Όσο πιο μεγάλος είναι ο αριθμός αυτός, τόσο καλύτερη είναι η αναπαραγόμενη εικόνα.

β) η αντίθεση (κοντράστ) και η λαμπρότητα και

γ) η γραμμικότητα

Ο αριθμός των γραμμών έχει σχέση μόνο με την κατακόρυφη ανάλυση της εικόνας. Οι διάφορες χώρες έχουν υιοθετήσει διαφορετικό αριθμό κατακόρυφης ανάλυσης. Στην αγγλική τηλεόραση είναι 405 γραμμές, στη Γαλλία χρησιμοποιούνται δύο συστήματα ανάλυσης: ένα με 455 γραμμές και ένα, υψηλής ανάλυσης, με 819 γραμμές, ενώ στην Αμερική είναι 525. Στις περισσότερες χώρες της Ευρώπης, όπως και στην Ελλάδα, χρησιμοποιείται το σύστημα των 625 γραμμών.

Η οριζόντια ανάλυση της εικόνας εξαρτάται από πάρα πολλούς

Μετάδοση τηλεοπτικού σήματος

Στη χώρα μας το τηλεοπτικό σήμα μεταδίδεται στους συνδρομητές ασύρματα από τη ζώνη των **λίαν υψηλών συχνοτήτων** (UHF και ένα τμήμα των VHF). Το σήμα βίντεο είναι διαμορφωμένο κατά πλάτος ενώ το σήμα ήχου κατά συχνότητα. Τα δύο αυτά σήματα αποτελούν τον τηλεοπτικό δίαυλο ή κανάλι. Κάθε τηλεοπτικός σταθμός χρησιμοποιεί ξεχωριστές φέρουσες συχνότητες. Το εύρος του κάθε καναλιού είναι περίπου 7 MHz. Οι συχνότητες που έχουν παραχωρηθεί για τηλεοπτική μετάδοση στα UHF ξεκινούν από τα 469.5 MHz και φτάνουν έως τα 853.5 MHz, είναι δηλαδή 853.5MHz-469.5MHz=384MHz και περιλαμβάνει 48 τηλεοπτικά κανάλια. Στο τμήμα αυτό του φάσματος θα μπορούσαν να «τοποθετηθούν» περισσότερα από 48 κανάλια (384MHz/7MHz). Ο λόγος για τον οποίο δεν τοποθετούνται είναι οι περιορισμοί στο τμήμα επιλογής του δέκτη. Για να αποφεύγονται οι παρεμβολές μεταξύ γειτονικών καναλιών, ένα μέρος του πολύτιμου ηλεκτρομαγνητικού φάσματος μένει αναξιοποίητο.

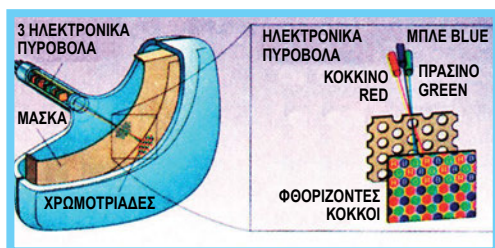
Η μετάδοση στην περιοχή των UHF απαιτεί οι κεραίες πομπού και δέκτη να έχουν οπτική επαφή. Όταν αυτό είναι αδύνατο λόγω γεωγραφικής θέσης, χρησιμοποιούνται σε ενδιάμεσα σημεία σταθμοί αναμετάδοσης.



Σχήμα 6.3.5 Τα μέρη του σύγχρονου καθοδικού σωλήνα. Η εκτροπή της ηλεκτρονικής δέσμης γίνεται με μαγνητικό πεδίο από τα πηνία απόκλισης που βρίσκονται εξωτερικά αμέσως μετά το ηλεκτρονικό πυροβόλο.

Εγγραφή τηλεοπτικών εικόνων

Η εγγραφή των εικόνων μπορεί να γίνει σε κινηματογραφικό φιλμ ή σε μαγνητική ταινία (μαγνητοσκόπηση) ή σε οπτικό αποθηκευτικό μέσο όπως τα CD και τα DVD (στην πρώτη περίπτωση κάθε μία εικόνα αποτυπώνεται σε ένα καρέ ενός μεγάλου μήκους κινηματογραφικού φιλμ). Το δεύτερο σύστημα χρησιμοποιεί δύο ή τέσσερις μαγνητικές κεφαλές για την εγγραφή της εικόνας πάνω σε μαγνητική ταινία, όμοια με την ταινία του κασετοφώνου. Επιπλέον, υπάρχει ξεχωριστή μαγνητική κεφαλή για τον ήχο που συνοδεύει τις εικόνες.



Σχήμα 6.3.6 Ο έγχρωμος καθοδικός σωλήνας. Για την έγχρωμη λήψη απαιτούνται τρεις όμοιοι εικονολήπτες, μπροστά στους οποίους έχει τοποθετηθεί από ένα έγχρωμο φίλτρο. Ο κάθε εικονολήπτης είναι ευαίσθητος μόνο σε ένα βασικό χρώμα. Τα τρία σήματα μεταβιβάζονται στον έγχρωμο δέκτη ο οποίος έχει τρία ηλεκτρονικά πυροβόλα, ένα για κάθε βασικό χρώμα. Ο έγχρωμος καθοδικός σωλήνας έχει στο εσωτερικό του μια μάσκα με μικροσκοπικές οπές (ή σχισμές) για να βοηθά τις ηλεκτρονικές δέσμες να στοχεύουν σωστά. Στο εσωτερικό της επιφάνειας του καθοδικού σωλήνα, κάθε σημείο έχει τρεις ξεχωριστούς φθορίζοντες κόκκους οι οποίοι αποτελούν τη χρωμοτριάδα. Η δέσμη που δέχεται το μπλε τηλεοπτικό σήμα στοχεύει μόνο στους μπλε φθορίζοντες κόκκους, το ίδιο ισχύει και για τα άλλα δύο χρώματα.

παράγοντες: α) από τον τύπο της μηχανής λήψης, β) από τον τρόπο μετάδοσης, γ) από την ποιότητα της συσκευής λήψης, δ) από την εγκατάσταση της κεραίας του δέκτη, ε) από το λόγο σήματος προς θόρυβο, στ) από την παρουσία θορύβου και ζ) από τη ρύθμιση της συσκευής.

6.3.4 Έγχρωμη τηλεόραση

Όπως στην τυπογραφία χρησιμοποιούνται κάποια βασικά χρώματα με τα οποία αναπαράγονται όλα τα υπόλοιπα, έτσι και στην τηλεόραση χρησιμοποιώντας τα τρία βασικά χρώματα, το κόκκινο, το πράσινο και το μπλε (RGB, **R**ed, **G**reen, **B**lue) μπορεί να σχηματιστεί έγχρωμη εικόνα.

Στην έγχρωμη τηλεόραση τρία είναι τα συστήματα που έχουν επικρατήσει: Το πρώτο που εμφανίστηκε το NTSC (*National Television System Committee*) στην Αμερική και Ιαπωνία, το SECAM (*Sequentiel a memoire*) στη Γαλλία και το PAL (*Phase Alternative Line*) στην υπόλοιπη Ευρώπη.

6.3.5 Συνδρομητική τηλεόραση

Συνδρομητική τηλεόραση ονομάζεται η υπηρεσία παροχής ραδιοτηλεοπτικών προγραμμάτων στους θεατές εκείνους, οι οποίοι έχουν πληρώσει συνδρομή για το σκοπό αυτό. Αυτός που παρέχει την υπηρεσία αυτή συνήθως λέγεται *παροχέας*, ενώ ο θεατής που πληρώνει λέγεται *συνδρομητής*. Η μετάδοση μπορεί να είναι ασύρματη ή *καλωδιακή*. Το τηλεοπτικό σήμα είναι συνήθως κωδικοποιημένο κατάλληλα, έτσι ώστε να μην μπορεί να ληφθεί χωρίς τον αναγκαίο εξοπλισμό λήψης (ονομάζεται και εξοπλι-

σμός αποκωδικοποίησης). Ένα σημαντικότατο στοιχείο στη συνδρομητική τηλεόραση είναι η δυνατότητα απευθείας επικοινωνίας μεταξύ του θεατή και του παροχέα. Δίνει τη δυνατότητα στο θεατή-καταναλωτή να πληρώνει για συγκεκριμένο πρόγραμμα της αρεσκείας του και σ' αυτόν που παρέχει το πρόγραμμα να χρεώνει ανάλογα με τη ζήτηση που υπάρχει. Η παραπάνω δυνατότητα συνήθως συναντάται στα καλωδιακά συνδρομητικά δίκτυα. Τη δυνατότητα αυτή της αμφίδρομης επικοινωνίας μεταξύ συνδρομητή και παροχέα την χρησιμοποιούν τελευταία και για άλλες υπηρεσίες, όπως το *internet*.

ΨΗΦΙΑΚΗ ΤΗΛΕΟΡΑΣΗ

Η ψηφιακή τηλεόραση έχει ξεκινήσει από τον Σεπτέμβριο του 1998. Ο πρώτος σταθμός που εξέπεμψε ψηφιακό τηλεοπτικό σήμα ήταν το BBC στα κανάλια UHF 22, 25, 28, 29. Το ψηφιακό τηλεοπτικό σήμα είναι συμπίεσμένο από τον πομπό και απαιτεί ειδικό δέκτη-αποκωδικοποιητή για τη λήψη του. Με τη χρήση της ψηφιακής τηλεόρασης η ποιότητα της εικόνας είναι καλύτερη, ο ήχος γίνεται τετρακάναλος υψηλής πιστότητας και παράλληλα υποστηρίζει νέες υπηρεσίες που ήταν άγνωστες στους τηλεθεατές.

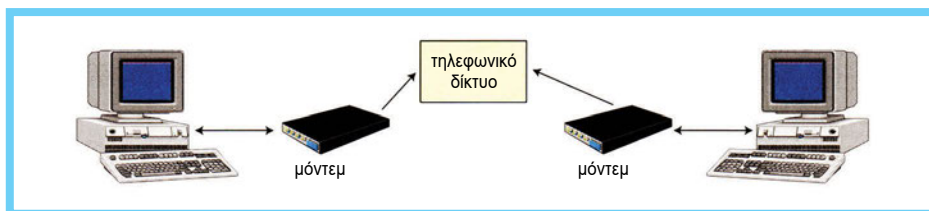
Στο μέλλον προβλέπεται οι υπηρεσίες αυτές να είναι αλληλεπιδραστικές και να χρησιμοποιούν το διαδίκτυο.

6.4 ΔΙΑΠΟΔΙΑΜΟΡΦΩΤΗΣ - MODEM

Η λέξη μόντεμ -modem- προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων **MO**dulator **DE**Modulator (διαμορφωτής - αποδιαμορφωτής). Τα μόντεμ (διαποδιαμορφωτές) είναι οι συσκευές που μετατρέπουν τα ψηφιακά σήματα των υπολογιστών σε ηλεκτρικά σήματα ακουστικών συχνοτήτων κατάλληλης έντασης, ώστε να μπορούν να μεταδοθούν από ειδικά καλώδια ή από το τηλεφωνικό δίκτυο, όπως φαίνεται στο σχ. 6.4.1. Επίσης φροντίζουν και για την αντίστροφη μετατροπή, δηλαδή των αναλογικών ηλεκτρικών σημάτων σε ψηφιακά, ώστε τελικά να επιτρέπουν την επικοινωνία μεταξύ δύο υπολογιστών μέσω του τηλεφωνικού δικτύου. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι κατάταξης των μόντεμ.

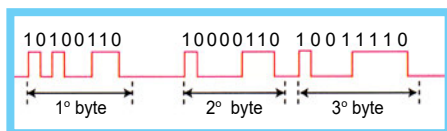
Ανάλογα με την περιοχή συχνοτήτων που χρησιμοποιούν διακρίνονται σε:

- μόντεμ ακουστικών συχνοτήτων (Voiceband).



Σχήμα 6.4.1 Τα μόντεμ ακουστικών συχνοτήτων μπορούν να συνδέσουν δύο υπολογιστές χρησιμοποιώντας το τηλεφωνικό δίκτυο.

Οι υπολογιστές χρησιμοποιώντας το μόντεμ μπορούν να μεταφέρουν διάφορα αρχεία ή δεδομένα (data) σε ψηφιακή μορφή. Τα αρχεία έχουν συγκεκριμένο πλήθος χαρακτήρων (bytes). Κάθε χαρακτήρας περιέχει 8 bit. Ο υπολογιστής μεταφέρει σειριακά τα δεδομένα στο μόντεμ. Το μόντεμ προσθέτει επιπλέον χαρακτήρες ελέγχου στα δεδομένα και τα μεταδίδει στο άλλο άκρο της τηλεφωνικής γραμμής. Η ταχύτητα του μόντεμ μετριέται σε bit ανά δευτερόλεπτο (bit per sec, bit/s). Κάθε μόντεμ ακουστικών συχνοτήτων έχει δύο τουλάχιστον συνδετήρες. Έναν για τη σύνδεση με τον υπολογιστή (σειριακή RS232) και έναν για τη σύνδεση με το τηλεφωνικό δίκτυο (RJ11).



Σχήμα 6.4.2 Χαρακτήρες (bytes) οι οποίοι μεταδίδονται ασύγχρονα. Τα χρονικά διαστήματα ανάμεσά τους είναι διαφορετικά.

εκκίνησης (start bit), για να ειδοποιηθεί ο δέκτης. Μετά το τέλος του χαρακτήρα, στέλνεται επίσης ένα ειδικό ψηφίο (stop bit) για να δηλωθεί το πέρας της αποστολής του χαρακτήρα. Η χρήση της ασύγχρονης μετάδοσης εφαρμόζεται α) σε συνδέσεις υπολογιστή με μόντεμ και β) στη σειριακή σύνδεση υπολογιστή με εκτυπωτές ή σχεδιογράφους.

Στη *σύγχρονη μετάδοση* οι χαρακτήρες (bytes) αποστέλλονται κατά ομάδες σε σταθερά χρονικά διαστήματα. Επειδή οι χρονικές διάρκειες σε αυτό το είδος μετάδοσης είναι σταθερές, είναι περιττή η χρήση ειδικών χαρακτήρων (start bit, stop bit).

- μόντεμ βασικής ζώνης (Baseband).
 - μόντεμ ευρείας ζώνης (Broadband).
- Ανάλογα με τον τύπο της τηλεφωνικής γραμμής που χρησιμοποιούν διακρίνονται σε:
- Αφιερωμένης (dedicated) γραμμής.
 - Επιλεγόμενης (dial-up) γραμμής.

Μερικές επιμέρους κατηγορίες είναι τα μόντεμ σύγχρονης και ασύγχρονης μετάδοσης, καθώς και μονόδρομης ή αμφίδρομης επικοινωνίας.

Στην *ασύγχρονη μετάδοση*, ο χρόνος μετάδοσης του κάθε χαρακτήρα μπορεί να διαφέρει, γιατί μεταβάλλεται (σχ. 6.4.2) η διάρκεια ανάμεσα στους χαρακτήρες που εκπέμπονται. Πρέπει με κάποιον τρόπο να ειδοποιηθεί το μόντεμ που λαμβάνει, τότε αρχίζουν τα bit του χαρακτήρα και τότε τελειώνουν. Για το σκοπό αυτό πριν από κάθε χαρακτήρα (byte) μεταδίδεται ένα ειδικό ψηφίο

6.4.1 Αμφίδρομη - Μονόδρομη επικοινωνία

Ανάλογα με την κατεύθυνση τα μόντεμ χωρίζονται στις εξής κατηγορίες:

- *Μονόδρομη* επικοινωνία (Simplex). Στην μονόδρομη επικοινωνία η μετάδοση γίνεται μόνο προς μια κατεύθυνση. Για παράδειγμα, η αποστολή δεδομένων από το πληκτρολόγιο προς τον υπολογιστή ή από το ραδιοφωνικό πομπό στο δέκτη.
- *Αμφίδρομη* επικοινωνία (Full Duplex). Στην επικοινωνία αυτή έχουμε αμφίδρομη και ταυτόχρονη μετάδοση. Για παράδειγμα η κλασική περίπτωση μιας τηλεφωνικής συνομιλίας.

- **Ημίδιπλη** επικοινωνία (Half Duplex). Στην επικοινωνία αυτή έχουμε αμφίδρομη αλλά όχι ταυτόχρονη (και κατά τις δυο διευθύνσεις) μετάδοση. Όταν η επικοινωνία προς τη μια κατεύθυνση σταματάει, ξεκινά η επικοινωνία προς την άλλη κατεύθυνση.

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

Από τις συστάσεις του οργανισμού ITU-T αυτή που σε παγκόσμιο επίπεδο χρησιμοποιείται σήμερα για την τυποποίηση των μόντεμ ακουστικών συχνοτήτων είναι η σειρά «V». Στη συνέχεια θα περιγράψουμε τα μόντεμ ακουστικών συχνοτήτων και τις συστάσεις της ITU-T, τα μόντεμ βασικής ζώνης και τα μόντεμ του επιλεγόμενου τηλεφωνικού δικτύου.

6.4.2 Μόντεμ ακουστικής ζώνης (Voiceband)

Η γνωστότερη κατηγορία είναι τα μόντεμ της ακουστικής ζώνης συχνοτήτων (voiceband), που στη συνέχεια θα αναφέρουμε με λεπτομέρεια. Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό τους είναι ότι το φάσμα συχνοτήτων που χρησιμοποιούν για επικοινωνία περιορίζεται στο κανάλι ομιλίας, δηλαδή μέσα στη στενή περιοχή των ακουστικών συχνοτήτων από 300 έως 3400 Hz, που προσφέρεται από το τηλεφωνικό δίκτυο. Επειδή οι περιοχές συχνοτήτων κοντά στα άκρα των 300 και 3400 Hz συνήθως παρουσιάζουν έντονες παραμορφώσεις και ισχυρή εξασθένηση, το εύρος συχνοτήτων που χρησιμοποιείται στην πράξη είναι λίγο μικρότερο.

Διακρίνουμε δύο μεγάλες κατηγορίες στις τυποποιήσεις των μόντεμ ακουστικής ζώνης:

- αυτά που προορίζονται για το κοινό δισύρματο επιλεγόμενο τηλεφωνικό δίκτυο, και
- αυτά που συνδέονται με αφιερωμένες μόνιμες τηλεφωνικές γραμμές.

Τυποποίηση (bit/s)	ταχύτητα
V.21	300
V.22	1200
V.22bis	2400
V.23	1200
V.26	2400
V.26bis	2400
V.26ter	2400
V.27	4800
V.27bis	4800
V.27ter	4800
V.29	9600
V.32	9600
V.32bis	14400
V.33	14400
V.34	33600

Πίνακας 6.1

Οι τυποποιήσεις και οι ταχύτητες μετάδοσης των μόντεμ.

Για να επικοινωνήσουν δύο μόντεμ μεταξύ τους γίνεται η εξής διαδικασία. Το μόντεμ που καλεί σχηματίζει τον αριθμό. Το μόντεμ στο άλλο άκρο της γραμμής απαντά αυτόματα στην κλήση, απομονώνει την τηλεφωνική γραμμή και εκπέμπει έναν χαρακτηριστικό απαντητικό τόνο 2100Hz διάρκειας τριών sec. Όταν το μόντεμ που κάλεσε λάβει τον απαντητικό τόνο, απομονώνει και αυτό τη γραμμή και αρχίζει η διαδικασία ανίχνευσης ταχύτητας κ.λπ.

Μόντεμ επιλεγόμενης γραμμής (dial-up)

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα μόντεμ **επιλογής** (λέγονται και **dial - up**). Η σύνδεση στο επιλεγόμενο τηλεφωνικό δίκτυο γίνεται με σχηματισμό του αριθμού επιλογής αυτόματα από το μόντεμ. Τα μόντεμ αυτά είναι τα πιο διαδεδομένα, διότι είναι κατάλληλα για περιβάλλον γραφείου αλλά και για οικιακή χρήση. Η τηλεφωνική συσκευή μπορεί να συνδεθεί πάνω σε αυτό το μόντεμ και να μοιράζονται την ίδια τηλεφωνική γραμμή. Μέσα στο μόντεμ υπάρχει ένας διακόπτης μεταγωγής, ο οποίος το συνδέει με την τηλεφωνική γραμμή, μόνο όταν υπάρχει επικοινωνία. Όταν το μόντεμ δεν χρησιμοποιείται, ο μεταγωγός αυτός το αποσυνδέει από την γραμμή.

Τα μόντεμ επιλεγόμενης γραμμής μπορούν αυτόματα να σχηματίσουν τον αριθμό κλήσης. Τα πλεονεκτήματά τους είναι ότι χρησιμοποιώντας την υπάρχουσα τηλεφωνική υποδομή μπορεί κανείς να μεταφέρει αρχεία ή δεδομένα από κάποιον υπολογιστή σε οποιοδήποτε σημείο του κόσμου.

Επίσης για μεταφορά μικρών αρχείων ή για μετάδοση μικρών μηνυμάτων προσφέρουν την οικονομικότερη λύση. Γι' αυτό το λόγο χρησιμοποιούνται στη σύνδεση υπολογιστών με το Διαδίκτυο (Internet). Τα μειονεκτήματά τους είναι η περιορισμένη ταχύτητα επικοινωνίας (2.4 έως 56kbit/s), η μη σταθερή ταχύτητα μετάδοσης και η απρόβλεπτη διακοπή της σύνδεσης, όταν υπάρχει πολύς θόρυβος στη γραμμή.

Στην προσπάθεια να αυξηθεί η ταχύτητα μετάδοσης μέσω μόντεμ από τους παροχείς υπηρεσιών προς τους χρήστες του Internet, δημιουργήθηκε μια οικογένεια συσκευών που επιτρέπει τη μεταφορά δεδομένων με ταχύτητα 56 kbit/s μέσω του κοινού επιλεγόμενου τηλεφωνικού δικτύου.

Τα μόντεμ αυτά έχουν σχεδιαστεί για συνδέσεις, στις οποίες η επικοινωνία να είναι ψηφιακή στη μία κατεύθυνση. Η ταχύτητα επικοινωνίας στα μόντεμ αυτά είναι ασύμμετρη, δηλαδή στην κατεύθυνση παροχέα - χρήστη είναι 56kbit/s, ενώ στην αντίθετη κατεύθυνση είναι 33.6kbit/s (V.34). Στην πλευρά του χρήστη η σύν-

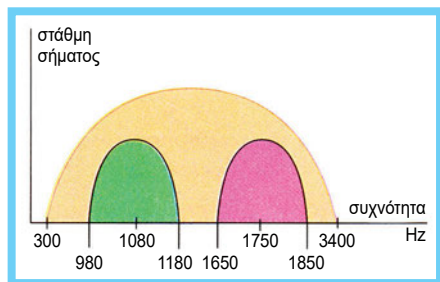
ΕΤΟΣ BIT/S	ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ	ΡΥΘΜΟΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ	ΕΥΡΟΣ ΖΩΝΗΣ (Hz)	ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ
1968	V.26	2400	1200	4-PSK
1972	V.27	4800	1600	8-PSK
1976	V.29	9600	2400	16-QAM
1984	V.32	9600	2400	2D TCM
1994	V.34	28800	3400	4D TCM
1998	V.90	56000	3400	QAM/TCM
IEEE Communication Magazine, April 1999, pp 104				

Πίνακας 6.2 Σταθμοί εξέλιξης μόντεμ ακουστικών συχνοτήτων.

δεση είναι αναλογική, ενώ, αντίθετα, στην πλευρά του παροχέα Internet, δεν υπάρχει ίδιο μόντεμ αλλά ένας επικοινωνιακός ελεγκτής¹. Τα μόντεμ αυτά μπορούν να λειτουργήσουν μεταξύ τους, αλλά στην περίπτωση αυτή η ταχύτητά τους θα είναι 33,6kbit/s.

Μόντεμ αφιερωμένης γραμμής

Τα μόντεμ αφιερωμένης γραμμής δε χρειάζεται να έχουν τη δυνατότητα κλήσης και απάντησης. Η αφιερωμένη γραμμή είναι ένα καλώδιο που συνδέει συνεχώς τα δύο μόντεμ, χωρίς να περνά μέσα από το επιλογικό δίκτυο. Με αυτό τον τρόπο είναι απαλλαγμένη από τους θορύβους των αστικών κέντρων. Η αφιερωμένη γραμμή είναι επομένως πιο «καθαρή» και τα δεδομένα μεταδίδονται, χωρίς να εμφανίζονται λάθη στη λήψη. Τα λάθη (ή **σφάλματα**) στην πράξη είναι περισσότερα, όταν χρησιμοποιούνται επιλεγόμενες γραμμές.



Σχήμα 6.4.3 Ο διαχωρισμός του καναλιού ομιλίας σε δύο τμήματα (κανάλια). Το αριστερό χρησιμοποιείται από το μόντεμ που κάλεσε.

1. Ειδική συσκευή RAS, Remote Access Server.

Αμφίδρομη επικοινωνία

Η κύρια τεχνική δυσκολία που αντιμετωπίζουν αυτά τα μόντεμ (dial up) είναι η αμφίδρομη επικοινωνία στο δυσύρματο κανάλι, καθώς πρέπει με κάποιο τρόπο να διαχωριστεί το κανάλι εκπομπής από το κανάλι λήψης. Για να μεταφερθούν δεδομένα με ταυτόχρονη εκπομπή και λήψη (full duplex) από δυσύρματες γραμμές, δηλαδή από το ίδιο κανάλι, χρησιμοποιούνται δύο τρόποι:

- η μέθοδος πολυπλεξίας συχνότητας FDM,
- η τεχνική απόρριψης ανακλάσεων (ECT-Echo Cancellation Technique)

Στον πρώτο τρόπο (διαχωρισμός καναλιών με πολυπλεξία συχνότητας, FDM-Frequency Division Multiplexing) το φάσμα συχνοτήτων της γραμμής χωρίζεται σε δύο περιοχές (κανάλια), μια για την εκπομπή και μια για τη λήψη (σχήμα 6.4.3).

Ο διαχωρισμός των καναλιών στο δέκτη γίνεται με ηλεκτρονικά φίλτρα. Το μειονέκτημα της μεθόδου αυτής είναι ότι κάθε κανάλι καταλαμβάνει λιγότερο από το μισό του συνολικού φάσματος συχνοτήτων της γραμμής, μια και πρέπει να υπάρχει ένα κενό τμήμα μεταξύ των δύο καναλιών. Αυτός ο περιορισμός του διαθέσιμου φάσματος περιορίζει το ρυθμό μετάδοσης, γι' αυτό και δε χρησιμοποιείται πλέον.

Στο δεύτερο τρόπο αμφίδρομης επικοινωνίας ο διαχωρισμός των καναλιών γίνεται με απόρριψη των ανακλάσεων. Με αυτό τον τρόπο χρησιμοποιείται ολόκληρο το φάσμα και στις δύο κατευθύνσεις. Για το διαχωρισμό των καναλιών εκπομπής και λήψης χρησιμοποιείται η τεχνική απαλοιφής ηχούς (ECT-Echo Cancellation Technique). Η αρχή λειτουργίας της τεχνικής αυτής είναι η εξής: τα δύο μόντεμ, το τοπικό και το απομακρυσμένο εκπέμπουν ταυτόχρονα πάνω στην ίδια τηλεφωνική γραμμή χρησιμοποιώντας όλο το φάσμα. Το κάθε μόντεμ αφαιρεί από το συνολικό σήμα που λαμβάνει από τη γραμμή το μέρος εκείνου του σήματος που οφείλεται στη δική του εκπομπή. Το σήμα το οποίο απομένει είναι αυτό που εκπέμπεται από το απέναντι μόντεμ. Αυτή η διαδικασία είναι πολύπλοκη και μόνο με μεθόδους ψηφιακής επεξεργασίας του σήματος (DSP) μπορεί να πραγματοποιηθεί. Αυτός είναι ο λόγος που η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται τα τελευταία χρόνια, όπου η ταχύτητα λειτουργίας και το κόστος αυτών των DSP επέτρεψαν την εμπορική εκμετάλλευσή της.

Διόρθωση σφαλμάτων

Λόγω του θορύβου που υπάρχει σε ένα κανάλι μετάδοσης πολλοί χαρακτήρες ενδέχεται να ληφθούν λανθασμένα. Το λάθος συνήθως εμφανίζεται μόνο σε ένα από τα bit του χαρακτήρα. Το πιο σημαντικό είναι να ανιχνεύσει το μόντεμ που λαμβάνει ότι υπάρχει κάποιο λάθος στα δεδομένα. Αν ξέρει και τη θέση που βρίσκεται το λάθος, μπορεί να το διορθώσει. Το μόνο που χρειάζεται είναι να αλλάξει το περιεχόμενο στη θέση του λανθασμένου bit. Για να μπορεί το μόντεμ να ανιχνεύει τα σφάλματα, τα δεδομένα πριν μεταδοθούν χωρίζονται σε πακέτα και τροποποιούνται. Αυτή η διαδικασία λέγεται κωδικοποίηση ανίχνευσης σφαλμάτων. Το μόντεμ που λαμβάνει τα κωδικοποιημένα πακέτα μπορεί με κατάλληλα κυκλώματα να ανιχνεύσει τα λάθη. Αν σε κάποιο πακέτο ανιχνεύσει έστω και ένα σφάλμα, το απορρίπτει και ζητά από το άλλο μόντεμ να μεταδώσει ξανά το πακέτο με το σφάλμα. Για τη διόρθωση των σφαλμάτων υπάρχουν διαφορετικοί τρόποι κωδικοποίησης που προσθέτουν επιπλέον πληροφορία στα δεδομένα.

Υπάρχουν διαφορών ειδών σφάλματα στη μετάδοση ψηφιακών σημάτων. Παράδειγμα ένα σφάλμα που συμβαίνει στη μετάδοση δεδομένων εικόνας σε ψηφιακή μορφή. Το σφάλμα αυτό δε χρειάζεται να διορθωθεί, διότι μέσα στα δισεκατομμύρια δεδομένα που χρειάζονται για κάθε λεπτό κινούμενης εικόνας είναι αδύνατον για το ανθρώπινο μάτι να ανιχνεύσει ένα λανθασμένο pixel.

Υπάρχουν όμως και κρίσιμες περιπτώσεις που δεν επιτρέπεται να μεταφερθεί ούτε ένα λανθασμένο bit. Για παράδειγμα, οι ηλεκτρονικές συναλλαγές στις τράπεζες, τις πιστωτικές κάρτες κ.λπ. Και σε αυτές τις περιπτώσεις συμβαίνουν λάθη στη μετάδοση, αλλά ανιχνεύονται και διορθώνονται.

6.4.3 Μόντεμ βασικής ζώνης

Είναι γνωστά και ως baseband μόντεμ ή μόντεμ μικρών αποστάσεων (short distance, short range ή short haul modems). Χρησιμοποιούν αφιερωμένες, δισύρματες ή τετρασύρματες γραμμές παραπλήσιες με τα τηλεφωνικά καλώδια. Οι ρυθμοί μετάδοσης που επιτυγχάνουν τα μόντεμ βασικής ζώνης είναι από 1200 bit/s έως και 2000 kbit/s (=2Mbit/s).

Στη σύνδεση δύο τέτοιων μόντεμ δεν πρέπει να παρεμβάλλονται στο ενδιάμεσο κυκλώματα, φίλτρα, ενισχυτές του ΟΤΕ ή συστήματα πολυπλεξίας. Επομένως δεν περιορίζονται στις συχνότητες του τηλεφωνικού καναλιού (300Hz-3400Hz), αλλά χρησιμοποιούν το φάσμα συχνοτήτων από 0 έως περίπου 100 kHz (βασική ζώνη).

Η απόσταση που μπορούν να καλύψουν εξαρτάται από δύο παραμέτρους:

- το ρυθμό μετάδοσης και
- τη διάμετρο των αγωγών του καλωδίου.

Έτσι για χαμηλή ταχύτητα μετάδοσης η απόσταση που μπορούν να καλύψουν φτάνει τα 40km. Αν απαιτείται μεγάλη ταχύτητα, η απόσταση που μπορούν να καλύψουν είναι μό-

λις 3 έως 4 km. Τα μόντεμ βασικής ζώνης σε συνδυασμό με την αφιερωμένη γραμμή αποτελούν ασφαλή και αξιόπιστη μετάδοση δεδομένων και προτιμούνται από δημόσιους φορείς, από τράπεζες, από μεγάλες επιχειρήσεις κ.λπ. Σε αυτή την κατηγορία μόντεμ η διαμόρφωση που χρησιμοποιεί κάθε κατασκευαστής είναι διαφορετική, διότι δεν υπάρχει ακόμη πλήρως αποδεκτή διεθνής τυποποίηση (εκτός από τα HDSL τα οποία θα αναφερθούν στο κεφάλαιο 9). Πρέπει λοιπόν να τοποθετούνται δύο ίδια μόντεμ βασικής ζώνης στις άκρες μιας γραμμής για να υπάρχει σύνδεση.

6.5 ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΕΣ

Οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές μπορούν να συνδεθούν με κάποιο μεγάλο κεντρικό υπολογιστή (server), για να χρησιμοποιήσουν τις υπηρεσίες του. Μερικές τέτοιες υπηρεσίες είναι το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο, η μεταφορά αρχείων, το ηλεκτρονικό εμπόριο κ.λπ. Τότε ο ηλεκτρονικός υπολογιστής παίζει το ρόλο του *τερματικού*, δηλαδή παρεμβάλλεται ανάμεσα στο χρήστη και στον κεντρικό υπολογιστή. Συνήθως ο ηλεκτρονικός υπολογιστής που χρησιμοποιείται σαν τερματικό είναι μακριά από τον κεντρικό υπολογιστή. Δύο είναι οι κύριες λειτουργίες του τερματικού:

- Η μεταφορά πληροφορίας από το μεγάλο κεντρικό υπολογιστή προς το χρήστη μέσω της οθόνης ή των ηχείων ή των αποθηκευτικών μέσων και
- η μεταφορά πληροφορίας από το χρήστη προς τον μεγάλο κεντρικό υπολογιστή μέσω του πληκτρολογίου ή του μικροφώνου ή της ψηφιακής κάμερας ή των αποθηκευτικών μέσων.

Υπάρχουν γενικά δύο είδη τερματικών:

- τα έξυπνα (*intelligent terminals*) και
- τα απλά (*dummy terminals*).

Τα έξυπνα τερματικά ανάλογα με τον κατασκευαστή λειτουργούν με ένα συγκεκριμένο πρωτόκολλο επικοινωνίας και διαθέτουν κεντρική μονάδα επεξεργασίας και περιφερειακά.

Από την άλλη πλευρά τα απλά ή ασύγχρονα τερματικά είναι γενικού σκοπού και μπορούν να συνδεθούν με όλους τους Η/Υ με ασύγχρονες γραμμές επικοινωνίας. Η μετάδοση των δεδομένων γίνεται χαρακτήρα - χαρακτήρα σε ασύγχρονη μορφή. Για κάθε πλήκτρο δηλαδή που πιάζει ο χρήστης στο τερματικό μεταδίδεται και ένας χαρακτήρας στον υπολογιστή.

Παρόμοια, με το που φθάνει ένας χαρακτήρας μέσω της σειριακής γραμμής

Συμπίεση δεδομένων

Η συμπίεση δεδομένων έχει πολλά πλεονεκτήματα για τους χρήστες υπολογιστών. Ένα αρχείο μεγέθους 100000 bytes (χαρακτήρες) για να μεταδοθεί χωρίς συμπίεση, με ταχύτητα 9600 bit/s με την βοήθεια μόντεμ, θα χρειαστεί χρόνο:

$$t = \frac{100000 \text{ bytes} \cdot 8 \frac{\text{bit}}{\text{byte}}}{9600 \frac{\text{bit}}{\text{s}}} = 83\text{s}$$

Αν το αρχείο συμπιεστεί 4 φορές ο χρόνος μετάδοσης θα γίνει $83/4=21$ δευτερόλεπτα.

Η εξάπλωση των προσωπικών υπολογιστών (PC) οδήγησε στη χρήση τους σαν τερματικών με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού εξομοίωσης τερματικού. Η χρήση όμως των PC ως τερματικών δεν ενδείκνυται στις περιπτώσεις αποκλειστικής απασχόλησης σε επαγγελματικές εφαρμογές (π.χ. τερματικά σε ταμεία τραπεζών) λόγω της πολυπλοκότητας των PC, της ευαισθησίας και του κινδύνου δημιουργίας προβλημάτων λόγω επεμβάσεων του χειριστή (ιοί, διαγραφές αρχείων, επεμβάσεις σε αρχεία συστήματος).

Για το λόγο αυτό αναπτύσσεται σταδιακά μια παραλλαγή των PC, τα οποία λειτουργούν μόνο δικτυακά (δικτυακός υπολογιστής **Network Computer** - NC) και δε διαθέτουν κινητά μέρη όπως δισκέτες, δίσκους, CD. Τα δεδομένα που διαβάζουν ή αποθηκεύουν καθώς και το λογισμικό μεταφέρονται μέσω δικτύου σε κάποιο κεντρικό υπολογιστή (server).

επικοινωνίας εμφανίζεται στην οθόνη του τερματικού.

Η κωδικοποίηση των χαρακτήρων για τα απλά τερματικά ακολουθεί τον κώδικα ASCII και η σειριακή θύρα επικοινωνίας με τον υπολογιστή ακολουθεί την τυποποίηση RS-232, με ρυθμούς μετάδοσης που προγραμματίζονται από 50 μέχρι και 110 kbit/s.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ 6ΟΥ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

1. Τι ονομάζεται διάυλος ή κανάλι ομιλίας;
2. Ποιο είναι το συνδρομητικό τμήμα του τηλεφωνικού δικτύου;
3. Ποιοι είναι οι τρόποι επιλογής της τηλεφωνικής συσκευής;
4. Ποιες είναι οι βαθμίδες του απλού ραδιοφωνικού δέκτη;
5. Πώς γίνεται η μετάδοση στερεοφωνικής εκπομπής στη ραδιοφωνία;
6. Πώς πραγματοποιείται η μετάδοση του τηλεοπτικού σήματος;
7. Με ποιον τρόπο αποκλίνει η δέσμη ηλεκτρονίων μέσα στον καθοδικό σωλήνα;
8. Ποια συστήματα έγχρωμης τηλεόρασης έχουν επικρατήσει;
9. Ποιες διαφορές υπάρχουν ανάμεσα στη συνδρομητική και στη δορυφορική τηλεόραση;
10. Ποιες διαφορές παρατηρούνται στη σύγχρονη και ασύγχρονη μετάδοση δεδομένων μέσω μόντεμ;
11. Ποια είναι τα σημαντικά πλεονεκτήματα του μόντεμ αφιερωμένης γραμμής;
12. Ποια είναι τα πλεονεκτήματα των μόντεμ επιλεγόμενης γραμμής;
13. Ποιες είναι οι δύο τεχνικές που χρησιμοποιούν τα μόντεμ επιλεγόμενης γραμμής για να έχουν αμφίδρομη επικοινωνία;
14. Ποιες είναι οι κύριες λειτουργίες ενός τερματικού ηλεκτρονικού υπολογιστή;



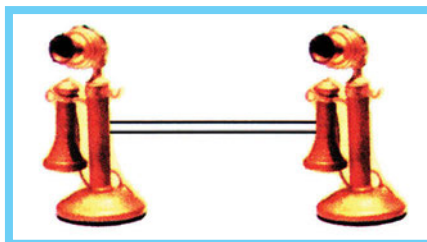
Κεφάλαιο

Μεταγωγή Δρομολόγηση στα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα

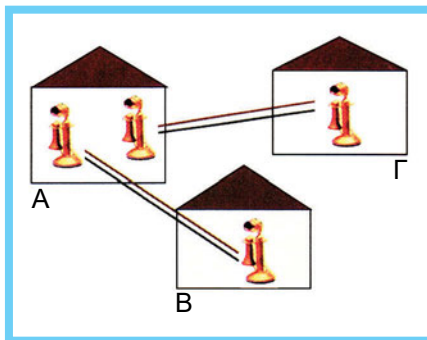
7.1 ΤΑ ΠΡΩΤΑ ΚΕΝΤΡΑ ΜΕΤΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ Η ΑΝΑΓΚΗ ΤΩΝ ΤΗΛΕΦΩΝΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ

Όταν άρχισε να χρησιμοποιείται η τηλεφωνική συσκευή (1880-1890), για κάθε σύνδεση έπρεπε να υπάρχουν δύο ίδιες συσκευές και μία γραμμή. Η μόνιμη γραμμή επέτρεπε μόνο στα δύο τηλέφωνα στα άκρα της να συνομιλούν. Στην περίπτωση που κάποιος ήθελε να επικοινωνεί με δύο διαφορετικά μέρη, όπως φαίνεται στο σχήμα 7.1.2, έπρεπε να έχει δύο τηλέφωνα και δυο εγκατεστημένες τηλεφωνικές γραμμές. Πάλι όμως ο Β δεν μπορεί άμεσα να επικοινωνήσει με τον Γ, παρόλο που υπάρχουν συσκευές στα σπίτια τους. Για να μπορούν όλοι να επικοινωνούν μεταξύ τους, χρειάζεται ένα επιπλέον ζευγάρι τηλεφωνικών συσκευών καθώς και μια γραμμή σύνδεσης από τον Β στον Γ.

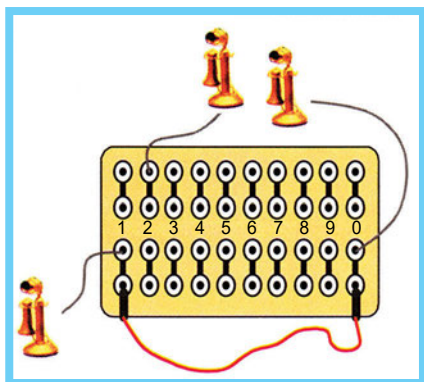
Όσο ο αριθμός των χρηστών μεγάλωνε, τόσο μεγάλωνε και ο αριθμός των συσκευών και των γραμμών. Η αύξηση ήταν τέτοια, ώστε σε λίγο χρονικό διάστημα το



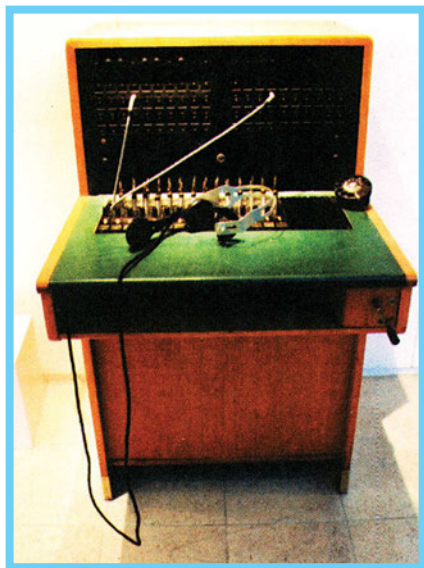
Σχήμα 7.1.1 Άμεση σύνδεση δύο συνομιλητών.



Σχήμα 7.1.2 Για να επικοινωνεί ο Α με τα δύο σπίτια Β και Γ χρειάζονται συνολικά 4 συσκευές και δύο ζεύγη καλωδίων για τη σύνδεση.



Σχήμα 7.13 Η σύνδεση δύο συνδρομητών στο μεταλλάκτη του χειροκίνητου κέντρου. Η σύνδεση του Α και του Β γίνεται με το κόκκινο συνδετικό καλώδιο.



Σχήμα 7.14 Χειροκίνητο κέντρο χωρητικότητας 40 συνδρομητών. Τηλεπικοινωνιακό Μουσείο ΟΤΕ.

πρόβλημα της πληθώρας ήταν άλυτο. Για παράδειγμα, στην περίπτωση που 100 σπίτια ήθελαν να επικοινωνούν μεταξύ τους έπρεπε το καθένα να είχε 99 τηλέφωνα. Δηλαδή συνολικά θα χρειαζόνταν 9900 τηλεφωνικές συσκευές και πολλές γραμμές σύνδεσης!

Τότε προέκυψε η ανάγκη του τηλεφωνικού δικτύου. Τα δίκτυα από εκείνη την εποχή μέχρι σήμερα πέρασαν από πολλά στάδια. Αρχικά δημιουργήθηκαν τα πρώτα τηλεφωνικά κέντρα, στα οποία ο κάθε συνδρομητής συνδεόταν ακτινωτά με μια αφιερωμένη γραμμή και μια συσκευή. Ο χειρισμός του κέντρου γινόταν από τις τηλεφωνήτριες, οι οποίες πραγματοποιούσαν τις τηλεφωνικές συνδέσεις μπροστά σε έναν πίνακα. Ο πίνακας αυτός ονομαζόταν *μεταλλάκτης* και είχε κατάλληλες θέσεις, όπου συνδέονταν τα ειδικά βύσματα σύνδεσης. Κάθε συνδρομητής αντιστοιχούσε σε συγκεκριμένη θέση στο μεταλλάκτη.

Αν ένας συνδρομητής ήθελε να επικοινωνήσει με κάποιον δεύτερο, έπρεπε πρώτα με μια χειροκίνητη γεννήτρια (μανιατό) να στείλει ένα σήμα στο χειριστή του «κέντρου». Για να μπορεί ο χειριστής να εντοπίσει ποιος συνδρομητής τον κάλεσε, το σήμα της κλήσης δεν ακουγόταν σαν κουδουνισμός αλλά μετατρεπόταν σε οπτικό. Σε κάθε κλήση μετακινιόταν πάνω στο μεταλλάκτη ένα χρωματιστό καπάκι, στη θέση του συνδρομητή που κάλεσε.

Στη συνέχεια ο χειριστής συνδεόταν με τον πρώτο συνδρομητή, ο οποίος του εξηγούσε με ποιον συνδρομητή ήθελε να επικοινωνήσει. Ο χειριστής πρώτα έλεγχε αν η γραμμή του δεύτερου συνδρομητή ήταν ελεύθερη. Στην περίπτωση που αυτή ήταν ελεύθερη συνδεόταν μαζί του και με τη χειροκίνητη γεννήτρια του έστελνε ένα σήμα κουδουνισμού. Όταν ο δεύτερος συνδρομητής απαντούσε, ο χειριστής συνέδεε τον πρώτο συνδρομητή, τον *καλούντα*, με το δεύτερο, τον *καλούμενο*. Ο χειριστής έπρεπε να αποσυνδέσει τους συν-

δρομητές μόλις τελείωνε η συνδιάλεξη, ώστε να ελευθερώσει τις γραμμές τους. Στην περίπτωση που παρέμενε η σύνδεση και μετά το πέρας της συνδιάλεξης, ήταν αδύνατο και για τους δύο συνδρομητές να επικοινωνήσουν με το κέντρο. Κάθε σήμα κουδουνισμού του ενός περνούσε από τη σύνδεση στο κέντρο και κατέληγε στον άλλο συνδρομητή και όχι στο χειριστή.

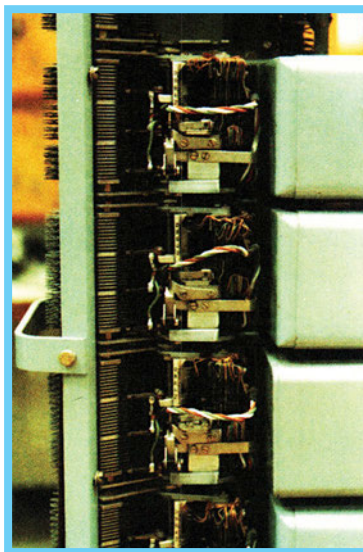
Τα χειροκίνητα κέντρα μαζί με τις συνδρομητικές γραμμές ήταν τα πρώτα δίκτυα για επικοινωνία φωνής. Καθώς οι ανάγκες για συνδιαλέξεις μεγάλωναν και οι συνδρομητές απαιτούσαν γρήγορη σύνδεση και απόρρητη επικοινωνία, τα χειροκίνητα κέντρα αντικαταστάθηκαν από τα αυτόματα, όπου ο χειριστής αντικαθίσταται από αυτόματα συστήματα που επιτρέπουν την απευθείας κλήση του ενός συνδρομητή από τον άλλο.

7.2 ΤΗΛΕΦΩΝΙΚΑ ΚΕΝΤΡΑ-ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

7.2.1 Αυτόματα τηλεφωνικά κέντρα

Τα αυτόματα κέντρα εξελίχτηκαν ως εξής:

1. Αρχικά ήταν *ηλεκτρομηχανικά*. Οι συνδέσεις γίνονταν μηχανικά με τη βοήθεια ειδικών ηλεκτρομαγνητών που λέγονται ρωστήρες ή ρελέ. Οι ηλεκτρομαγνήτες αυτοί καθοδηγούσαν διάφορους μηχανισμούς οι οποίοι πραγματοποιούσαν τις συνδέσεις (Σχήμα 7.1.5).
2. Αργότερα, οι μηχανικές συνδέσεις αντικαταστάθηκαν με ηλεκτρονικές και τα κέντρα ονομάστηκαν *ηλεκτρονικά κέντρα*. Οι συνδέσεις των συνδρομητών εξακολουθούσαν να γίνονται με ξεχωριστές γραμμές. Κάθε σύνδεση απασχολούσε πλήρως μια γραμμή (ή ένα κύκλωμα στο κέντρο) για όσο χρόνο διαρκούσε η ομιλία. Τα κέντρα αυτά είχαν τις ίδιες δυνατότητες με τα ηλεκτρομηχανικά, αλλά λόγω της χρησιμοποίησης ημιαγωγών αντί πολύπλοκων ηλεκτρομηχανικών μηχανισμών ήταν πιο αξιόπιστα, ήταν 100 φορές πιο γρήγορα, πιο φτηνά και δεν χρειάζονταν συντήρηση. Επίσης, κατελάμβαναν μικρότερο όγκο, πράγμα ιδιαίτερα σημαντικό στα μεγάλα αστικά κέντρα.
3. Τελικά, τα σημερινά σύγχρονα κέντρα είναι *ψηφιακά*, όπου η ομιλία πρώτα μετατρέπεται σε ψηφιακό σήμα με αναλογοψηφιακό μετατροπέα (ADC) και στη συνέχεια η σύνδεση των συνδρομητών γίνεται με πολύπλεξη στο πεδίο



Σχήμα 7.1.5 Οι μηχανισμοί ενός ηλεκτρομηχανικού κέντρου.

του χρόνου. Δηλαδή μπορούν να μοιράζονται ταυτόχρονα ένα κανάλι περισσότεροι του ενός συνδρομητές.

Τα αυτόματα ψηφιακά κέντρα εξελίχθηκαν και αυτά, για να αντιμετωπίσουν την αυξανόμενη ζήτηση σε τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες. Η ζήτηση αφορά και σε παροχή νέων γραμμών αλλά και σε ποιότητα και ταχύτητα. Τα ψηφιακά κέντρα μπορούν να καλύψουν όλους τους συνδρομητές μιας πόλης. Μπορεί δηλαδή ένας συνδρομητής να επικοινωνεί με οποιονδήποτε άλλο και σε οποιανδήποτε στιγμή, κάνοντας την τηλεφωνία μια *καθολική* υπηρεσία.

Για την αποκατάσταση μιας τηλεφωνικής σύνδεσης σε ένα κέντρο χρειάζεται «συνεννόηση» του καλούντος συνδρομητή με το τηλεφωνικό κέντρο. Στο χειρόκινητο σύστημα η συνεννόηση αυτή γινόταν προφορικά ανάμεσα στον καλούντα και στο χειριστή. Αρχικά έπρεπε ο συνδρομητής που καλεί να αναγγείλει στο χειριστή τον αριθμό του καλούμενου συνδρομητή και περίμενε να πάρει από αυτόν σχετικές πληροφορίες, π.χ. ότι ο καλούμενος δεν απαντά ή ότι ομιλεί με κάποιον άλλο συνδρομητή. Ο χειριστής επίσης αποκαθιστούσε τη σύνδεση και παρακολουθούσε τη διεξαγωγή της συνδιαλέξεως.

Στο αυτόματο όμως κέντρο η σύνδεση πραγματοποιείται από μηχανές, που δεν καταλαβαίνουν την ανθρώπινη γλώσσα. Έτσι η ανταλλαγή πληροφοριών γίνεται με δύο διαφορετικούς τρόπους.

- Ο συνδρομητής στέλνει τις εντολές του στο κέντρο με τη μορφή ηλεκτρικών παλμών ή σε συνδυασμούς τόνων και
- το κέντρο απαντά με διάφορα ακουστικά σήματα ή ηχοσήματα, όπως λέγονται, που το καθένα έχει μια ξεχωριστή σημασία.

Και στις δύο περιπτώσεις οι πληροφορίες αλλάζουν μορφή, δηλαδή κωδικοποιούνται. Οι πιο σημαντικές λεπτομέρειες αυτών των ηχοσημάτων θα παρουσιαστούν παρακάτω στην παράγραφο της σηματοδότησης του δικτύου.

7.2.2 Το τηλεπικοινωνιακό δίκτυο

Μια μεγάλη πόλη δεν μπορεί να εξυπηρετηθεί με ένα μόνο τηλεφωνικό κέντρο για πολλούς λόγους:

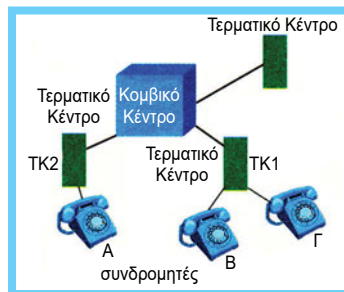
- Το κόστος της εγκατάστασης συνδρομητικών γραμμών που θα ξεκινούσαν από ένα τηλεφωνικό κέντρο και θα κατέληγαν στην κάθε οικία θα ήταν πολύ μεγάλο.
- Σε περίπτωση ατυχήματος ή φυσικής καταστροφής θα νεκρώνονταν όλες οι τηλεφωνικές γραμμές της πόλης.
- Θα ήταν πολύ δύσκολη οποιαδήποτε τροποποίηση ή επέκταση σε ένα τόσο μεγάλο αριθμό γραμμών και συστημάτων συγκεντρωμένων σε ένα σημείο.

Για το λόγο αυτό γίνεται ένας σχεδιασμός για τον αριθμό των κέντρων που θα εγκατασταθούν σε μία πόλη καθώς και για την επιλογή της κατάλληλης θέσης, έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η καλή ποιότητα¹ επικοινωνίας με το ελάχιστο δυνατό κόστος. Τα κέντρα μιας πόλης ονομάζονται *αστικά* ή *τοπικά τερματικά κέντρα* και συνδέονται μεταξύ τους σχηματίζοντας το *αστικό δίκτυο* (το τελευταίο ονομάζεται και *συνδρομητικό δίκτυο* ή *συνδρομητικός βρόχος*). Ένα τερματικό κέντρο είναι κατά κανόνα αστικό κέντρο μιας πόλης ή ενός χωριού και εξυπηρετεί συνήθως 10.000 συνδρομητές. Σε μια πόλη με περισσότερους συνδρομητές χρειάζονται αντίστοιχα περισσότερα τοπικά κέντρα.

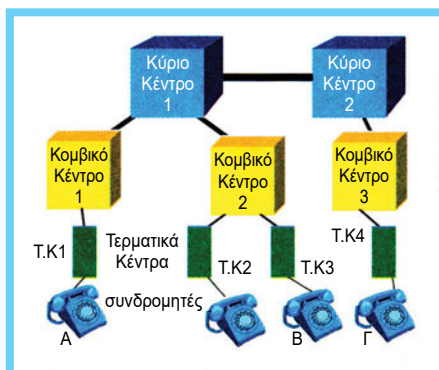
Η σύνδεση των αστικών κέντρων δε γίνεται με τυχαίο τρόπο. Υπάρχει ένα ειδικό κέντρο στο οποίο συνδέονται όλα τα αστικά κέντρα μιας πόλης ή μιας περιοχής, το οποίο ονομάζεται *κομβικό κέντρο* (για συντομία θα αναφέρεται Κομβ.Κ). Είναι εγκατεστημένο συνήθως στον ίδιο χώρο ή στο ίδιο κτίριο με το αστικό κέντρο της σπουδαιότερης πόλης της περιοχής.

Για να μπορούν οι κάτοικοι μιας πόλης να επικοινωνούν με μια απομακρυσμένη πόλη σε άλλο νομό, υπάρχει ένα ξεχωριστό δίκτυο το υπεραστικό. Το *υπεραστικό δίκτυο* συνδέει μεταξύ τους όλα τα κομβικά κέντρα τα οποία συγκεντρώνουν την αστική κίνηση.

Η σύνδεση των κομβικών κέντρων γίνεται μέσω των *Κύριων Κέντρων*, όπως φαίνεται στο σχήμα 7.2.2. Τα Κύρια Κέντρα αποτελούν μέρος του «κορμού» του εθνικού υπεραστικού δικτύου και είναι συνολικά 43. Συνήθως βρίσκονται στην πρωτεύουσα του κάθε νομού.

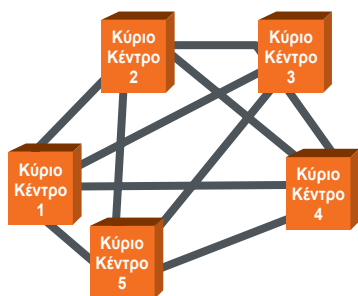


Σχήμα 7.2.1 Ο συνδρομητής Β επικοινωνεί με τον Γ χρησιμοποιώντας το τερματικό κέντρο TK1. Οι συνδρομητές Α και Β για να επικοινωνήσουν χρησιμοποιούν τα TK1, TK2 και το κομβικό κέντρο. Και στις δύο περιπτώσεις η σύνδεση λέγεται αστική.

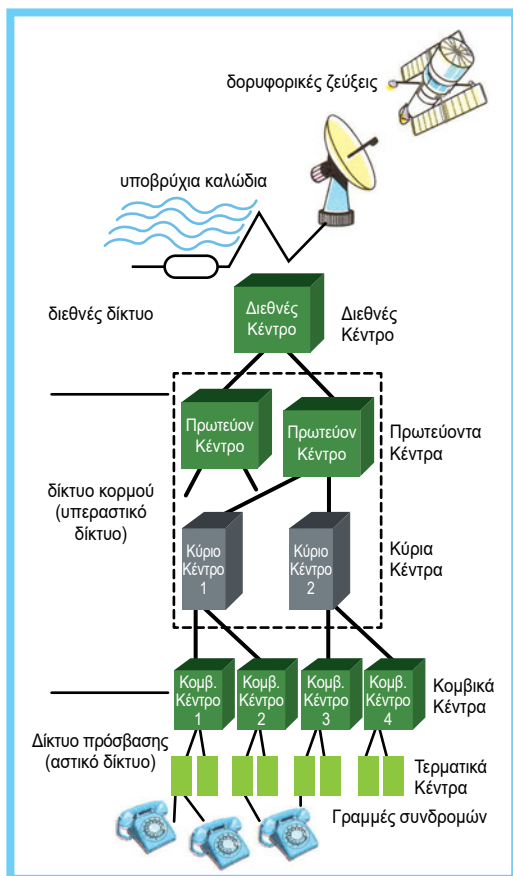


Σχήμα 7.2.2 Το υπεραστικό δίκτυο συνδέει τα κομβικά κέντρα μεταξύ τους. Τα κύρια κέντρα βρίσκονται ένα επίπεδο παραπάνω στην ιεραρχία του δικτύου και ελέγχουν την υπεραστική κίνηση. Στο κατώτερο επίπεδο βρίσκονται τα τερματικά κέντρα.

¹ Η ποιότητα της τηλεφωνικής γραμμής καθορίζεται από τον διεθνή οργανισμό CCITT (Διεθνής Συμβουλευτική Τηλεφωνική και Τηλεγραφική Επιτροπή). Σήμερα ο οργανισμός ονομάζεται ITU (International Communication Union).



Σχήμα 7.2.3 Η πλήρης διασύνδεση (ή πολυγωνική σύνδεση ή σύνδεση βρόχου - mesh) παρουσιάζει το πλεονέκτημα ότι δύο κέντρα συνδέονται απευθείας κι έτσι η σύνδεση αποκαθίσταται ταχύτατα. Μειονεκτήματα της συνδέσεως αυτής είναι: α) ο μεγάλος αριθμός γραμμών και β) η κακή εκμετάλλευσή τους, δεδομένου ότι από κάθε γραμμή περνά μόνο η αμοιβαία κίνηση δύο κέντρων.



Σχήμα 7.2.4 Η σύνδεση αστέρα χρησιμοποιεί λίγες γραμμές (μικρό κόστος κατασκευής δικτύου), αλλά κάποιες από αυτές υπερφορτώνονται καθώς μεταφέρουν μεγάλο μέρος της κίνησης. Στο σημερινό δίκτυο της χώρας τα Πρωτεύοντα κέντρα και τα Κύρια ενοποιούνται και ονομάζονται πλέον Κύρια Κέντρα. Αυτό επιβάλλεται και από την αστική χρέωση κλήσεων εντός νομού.

Τα Κύρια Κέντρα σε συνδυασμό με τα κομβικά αποτελούν το **υπεραστικό δίκτυο** και λέγονται **διαβιβαστικά κέντρα**, διότι δεν συνδέονται με συνδρομητές αλλά διεκπεραιώνουν την κίνηση στο δίκτυο.

Η παραπάνω δομή του τηλεπικοινωνιακού δικτύου (σχ. 7.2.2) λέγεται **ιεραρχική**. Σε μια τέτοια δομή η κίνηση σε δύο κέντρα του ίδιου επιπέδου πραγματοποιείται από το αμέσως επόμενο στην ιεραρχία κέντρο, π.χ. οι επικοινωνίες ανάμεσα στο Κομβ. Κέντρο 1 και στο Κομβ. Κέντρο 2 πραγματοποιούνται από το Κύριο Κέντρο 1. **Μια τέτοια ιεραρχική δομή δικτύου προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα στη διαχείριση της κίνησης, στον εντοπισμό και την επίλυση προβλημάτων, στην επέκταση του δικτύου, στην αναβάθμιση των κυκλωμάτων, αλλά και στον τρόπο που δίνονται οι αριθμοί κλήσης σε κάθε συνδρομητή.**

Η σύνδεση των Κύριων Κέντρων μεταξύ τους μπορεί να γίνει κατά δύο τρόπους:

α) Με πλήρη διασύνδεση (πολυγωνική ή σύνδεση βρόχου-mesh), όπου το καθένα κέντρο συνδέεται κατ' ευθείαν με όλα τα άλλα κέντρα (σχήμα 7.2.3) και

β) Ακτινωτά (λέγεται και αστεροειδής σύνδεση, σχήμα 7.2.4).

Η κάθε μια σύνδεση έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της. Στην πράξη, κατά τη διαμόρφωση ενός υπεραστικού δικτύου συνδυάζονται και οι δύο τρόποι για να επιτευχθεί το καλύτερο αποτέλεσμα. Στις χαμηλότερες βαθμίδες του δικτύου, όπως τα κομβικά κέντρα, η σύνδεση είναι κυρίως ακτινωτή, ενώ στην υψηλότερη βαθμίδα χρησιμοποιείται και η πλήρης διασύνδεση (βρόχου).

Το υπεραστικό δίκτυο της Ελλάδας είναι παράδειγμα ενός τέτοιου μικτού δικτύου, το οποίο περιλαμβάνει τα επτά Πρωτεύοντα Κέντρα της χώρας. Τα κέντρα αυτά αποτελούν τμήμα του υπεραστικού δικτύου και ανήκουν στην ανώτατη βαθμίδα της ιεραρχικής δομής. Κάθε Πρωτεύον Κέντρο εξυπηρετεί τα Κύρια Κέντρα μιας μεγάλης περιοχής και συνήθως συστεγάζεται με το μεγαλύτερο Κύριο Κέντρο της περιοχής αυτής. Όλα τα Πρωτεύοντα Κέντρα συνδέονται με το Διεθνές Κέντρο (σχ.7.2.4).

7.3 ΣΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗ ΣΥΝΔΡΟΜΗΤΗ - ΑΡΙΘΜΟΔΟΤΗΣΗ

Η σηματοδότηση

Το αυτόματο κέντρο επικοινωνεί με τον συνδρομητή και ανάλογα με τις εντολές που δέχεται από αυτόν εκτελεί κάποιες λειτουργίες για να αποκαταστήσει μια σύνδεση. Η επικοινωνία αυτή ονομάζεται σήμανση ή σηματοδότηση. Για παράδειγμα, το σήμα κουδουνισμού, οι παλμοί επιλογής ανήκουν στην τηλεφωνική σηματοδότηση. Η σηματοδότηση διακρίνεται σε δύο κατηγορίες: α) σε

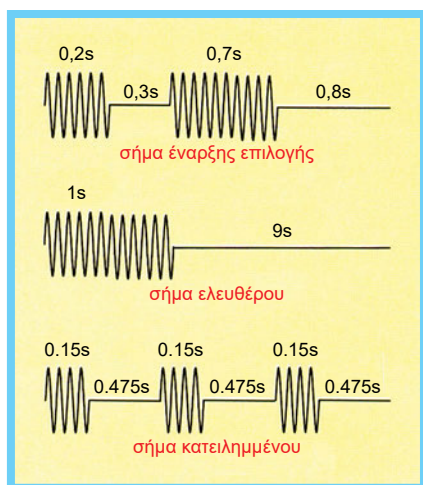
Τα ιδιωτικά τηλεφωνικά κέντρα, τα οποία είναι γνωστά και ως «δευτερεύουσες» ή **PBX** (Private automatic Branch Exchange), χρησιμοποιούνται σε κτίρια, εταιρίες και οργανισμούς και εξυπηρετούν την εσωτερική τηλεφωνία αλλά και τη διασύνδεση με το δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο. Σε αυτά τα κέντρα υπάρχουν και άλλα ηχοσήματα για τη διεκπεραίωση συνδέσεων μεταξύ εσωτερικών και εξωτερικών γραμμών.

αυτή ανάμεσα στο συνδρομητή και το κέντρο και β) σε αυτή μεταξύ των κέντρων. Τα σήματα σηματοδότησης διακρίνονται επίσης σε αυτά που γίνονται αντιληπτά και σε αυτά που δε γίνονται αντιληπτά από το χρήστη. Τα αντιληπτά από το χρήστη ονομάζονται ηχοσήματα και παράγονται στα κέντρα από μια γεννήτρια συχνότητας 450Hz.

Τηλεφωνική σηματοδότηση ονομάζεται το σύνολο εκείνο των σημάτων που ανταλλάσσονται μεταξύ τηλεφωνικών κέντρων ή μεταξύ τηλεφωνικών κέντρων και συσκευών για να επιτύχουν, να υποστηρίξουν και τέλος να διακόπτουν μια τηλεφωνική σύνδεση. Τον πρώτο καιρό της τηλεφωνίας που οι κλήσεις επιτυγχάνονταν μέσω τηλεφωνήτριας η σηματοδότηση γινόταν χειροκίνητα. Με την εξέλιξη της τεχνολογίας η

σηματοδότηση έχει γίνει ιδιαίτερα πολύπλοκη και εξυπηρετεί σύνθετες λειτουργίες, όπως κλήσεις με ανάστροφη¹ χρέωση, προώθηση της κλήσης σε άλλη συσκευή κ.λπ.

7.3.1 Σηματοδότηση συνδρομητή



Σχήμα 7.3.1 Οι διάρκειες των (ηχο)σημάτων.

κό βρόχο. Η τάση στα άκρα των δυο αγωγών μειώνεται από τα 48V σε περίπου 10V ανάλογα με την απόσταση από το κέντρο.

Το ρεύμα που διαρρέει το συνδρομητικό βρόχο ενημερώνει το κέντρο ότι ο συνδρομητής έχει σηκώσει το ακουστικό (μικροτηλέφωνο) του και επιθυμεί να πραγματοποιήσει μια συνδιάλεξη. Το κέντρο προετοιμάζεται να τον εξυπηρετήσει. Όταν είναι έτοιμο, στέλνει σαν επιβεβαίωση στον καλούντα ένα ειδικό ηχώσημα, το οποίο ονομάζεται *ηχώσημα έναρξης επιλογής* (το «α» του κώδικα Μορς και είναι το σήμα που ακούγεται, όταν σηκώνουμε το ακουστικό).

Στη συνέχεια ο καλών σχηματίζοντας τον αριθμό στέλνει τους παλμούς ή τόνους επιλογής. Το συνδρομητικό κέντρο αναγνωρίζει την επιλογή και ξεκινά τη σύνδεση. Κάθε σύνδεση περιλαμβάνει ορισμένα κυκλώματα, που ενώνονται μεταξύ τους. Για να χρησιμοποιηθεί ένα κύκλωμα σε μια σύνδεση, πρέπει τη στιγμή που πραγματοποιείται η σύνδεση αυτό να είναι ελεύθερο. Η εύρεση ενός ελεύθερου κυκλώματος γίνεται από το ίδιο συνδρομητικό κέντρο ή από άλλα κέντρα. Το πρώτο ελεύθερο κύκλωμα που βρίσκεται καταλαμβάνεται (δεσμεύεται) για να εμποδίζονται άλλες συνδέσεις να καταλάβουν το ίδιο κύκλωμα.

Η μετάδοση των σημάνσεων ανάμεσα σε κέντρο και συνδρομητή εξαρτάται από την κατάσταση της τηλεφωνικής συσκευής. Υπάρχουν οι εξής δύο καταστάσεις:

α) Η κατάσταση ηρεμίας, όπου το ακουστικό είναι πάνω στη συσκευή (**on-hook**). Η συσκευή εμφανίζεται ως ανοιχτό κύκλωμα και υπάρχει τάση 48V σε όλο το μήκος της γραμμής χωρίς να διέρχεται ρεύμα.

β) Η κατάσταση, όπου απομακρύνεται το ακουστικό από τη θέση του (**off-hook**). Η συσκευή συνδέεται σε σειρά με τους αγωγούς της γραμμής και έτσι δημιουργείται ένα ρεύμα της τάξης των 30mA, το οποίο διατρέχει το συνδρομητι-

1. Χρέωση στον καλούμενο και όχι στον καλούντα συνδρομητή.

Αν όλα τα διαθέσιμα κυκλώματα είναι ήδη κατειλημμένα από άλλες συνδιαλέξεις, η σύνδεση δεν μπορεί να προχωρήσει και ο συνδρομητής λαμβάνει το *ηχόσημα κατειλημμένου* (το «ε» του αλφαβήτου Μορς και λέγεται ότι το τηλέφωνο που καλέσαμε «βουίζει»). Το ίδιο σήμα στέλνεται από το κέντρο στον καλούντα, όταν η σύνδεση φθάσει στον καλούμενο συνδρομητή, αλλά αυτός μιλά με κάποιον άλλο συνδρομητή, είναι δηλαδή κατειλημμένος.

Αν ο καλούμενος είναι ελεύθερος, ο συνδρομητής που καλεί παίρνει το *σήμα ελεύθερου* (το «τ» του αλφαβήτου Μορς και λέγεται ότι το τηλέφωνο «χτυπά»). Με τον ίδιο ρυθμό στέλνεται στον καλούμενο το **κλητήριο ρεύμα** (σήμα κουδουνισμού), το οποίο είναι μια εναλλασσόμενη τάση μεγάλου πλάτους (90 V RMS) και συχνότητας 25 Hz και κάνει να ηχεί το κουδούνι της συσκευής του.

Όταν ο τελευταίος σηκώσει το ακουστικό, κλείνει ο συνδρομητικός του βρόχος, το κέντρο διακόπτει το σήμα κουδουνισμού, γεγονός που χαρακτηρίζει την **έναρξη της συνδιαλέξεως**. Αποκαθίσταται η τηλεφωνική επικοινωνία και αρχίζει η χρέωση της συνδιαλέξεως.

Το τέλος της συνδιαλέξεως και της χρέωσης χαρακτηρίζεται με την απόθεση του μικροτηλεφώνου του καλούντος συνδρομητή, πράγμα που διακόπτει το συνδρομητικό του βρόχο. Όταν κλείσει ο καλών, η συνδιάλεξη θα περατωθεί και η χρέωση σταματά. Επίσης, το όλο σύστημα (ζευκτικό δίκτυο, κυκλώματα κέντρων κ.λπ.) απελευθερώνεται.

Όταν μια κλήση προορίζεται για μακρινό συνδρομητή, αυτή πρέπει να διαβιβαστεί μέσω ενός ή περισσοτέρων κέντρων. Τα απαραίτητα σήματα για την έναρξη της συνδιάλεξης, όπως το σήμα κατειλημμένου ή ελεύθερου, πρέπει να διέλθουν από όλα τα ενδιάμεσα αυτά κέντρα. Υπάρχουν μέσα στα κέντρα ειδικά κυκλώματα ή κανάλια, τα οποία αναλαμβάνουν τη μεταφορά αυτών των σημάτων. Η σηματοδότηση μεταξύ των κέντρων είναι πιο σύνθετη από τη σηματοδότηση κέντρου-συνδρομητή και θα παρουσιαστεί μετά την αριθμοδότηση.

7.3.2 Αριθμοδότηση

Η αριθμοδότηση των συνδρομητών και των κέντρων γίνεται με βάση τις συστάσεις του C.C.I.T.T. Σύμφωνα με την ιεραρχική δομή του δικτύου της χώρας τα κέντρα χωρίζονται σε πέντε επίπεδα:

1. Διεθνή,
2. Πρωτεύοντα,
3. Κύρια,
4. Κομβικά και
5. Τερματικά Κέντρα

Τα Πρωτεύοντα Κέντρα με τους αντίστοιχους χαρακτηριστικούς αριθμούς κλήσεων φαίνονται στον πίνακα 7.1.

Πρωτεύον Κέντρο	Αριθμός Κλήσης
Αθηνών	(2)
Θεσ/νίκης	3
Λαρίσης	4
Καβάλας	5
Πατρών	6
Τριπόλεως	7
Ηρακλείου	8

Πίνακας 7.1 Χαρακτηριστικοί αριθμοί κλήσης των πρωτεύοντων κέντρων.

Κύριο Κέντρο	Αριθμός Κλήσης
Καβάλας	51
Δράμας	52
Κομοτηνής	53
Ξάνθης	54
Αλεξ/πολης	55

Πίνακας 7.2 Αριθμοί κλήσης κύριων κέντρων οι οποίοι ανήκουν στο πρωτεύον κέντρο Καβάλας.

Στο Κύριο Κέντρο Δράμας με χαρακτηριστικό αριθμό **52** υπάγονται:

- α) το Κομβικό Κέντρο Δράμας με αριθμό **521**,
- β) το Κομβ. Κέντρο Προσοτσάνης με αριθμό **522**,
- γ) το Κομβ. Κέντρο Νευροκοπίου με αριθμό **523** και
- δ) το Κομβ. Κέντρο Παρανεστίου με αριθμό **524**

Το παραπάνω παράδειγμα φαίνεται στο σχήμα 7.3.2.

Τα Κομβικά Κέντρα της χώρας τα οποία είναι περίπου 250 υποδιαιρούνται σε Τερματικά Κέντρα. Όλα τα Τερματικά Κέντρα τα οποία ανήκουν σε κάποιο Κομβικό Κέντρο έχουν τον ίδιο χαρακτηριστικό αριθμό κλήσης. Το πλήθος των Τερματικών Κέντρων είναι περίπου 2.000 και τα όριά τους κατά διαστήματα μεταβάλλονται. Τα όρια καθορίζονται κάθε φορά από σχετικές μελέτες, οι οποίες βασίζονται σε διάφορα κριτήρια, όπως γεωγραφικά, διοικητικά, τηλεφωνικού ενδιαφέροντος, οικονομικοτεχνικά, δυνατότητας δρομολόγησης της κίνησης κ.λπ.

Η περιοχή κάθε Πρωτεύοντος Κέντρου υποδιαιρείται σε μικρότερα τμήματα, στα Κύρια Κέντρα, τα οποία είναι 43 και έχουν εγκατασταθεί κατά προτίμηση στις έδρες των αντίστοιχων νομών. Κάθε Κύριο Κέντρο έχει χαρακτηριστικό αριθμό κλήσεως διψήφιο αριθμό, όπου το πρώτο ψηφίο είναι του Πρωτεύοντος Κέντρου στο οποίο ανήκει και το δεύτερο ψηφίο είναι χαρακτηριστικό του Κύριου Κέντρου.

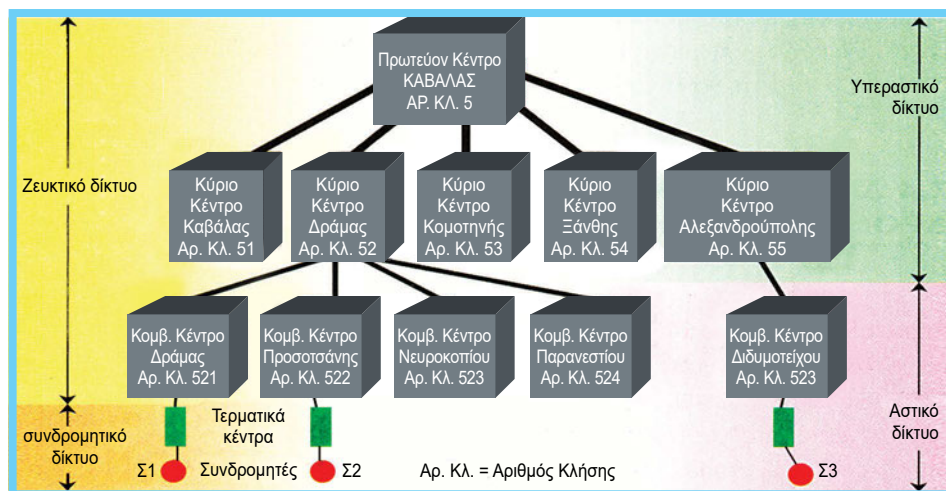
Για παράδειγμα, στο Πρωτεύον Κέντρο Καβάλας υπάγονται τα πέντε Κύρια Κέντρα που φαίνονται στον πίνακα 7.2.

Όμοια, κάθε Κύριο Κέντρο υποδιαιρείται σε Κομβικά Κέντρα (Κομβ.Κ.), τα οποία χαρακτηρίζονται στο εθνικό σύστημα αριθμοδότησης με τρία ψηφία, από τα οποία τα δύο πρώτα συμπίπτουν με αυτά του Κύριου κέντρου στο οποίο ανήκουν και το τρίτο ψηφίο χαρακτηρίζει το ίδιο το Κομβ.Κ.

Για να επιλεγεί κάποιο από τα Κομβικά Κέντρα του δικτύου, πρέπει να τοποθετηθεί το «0» σαν πρώτο ψηφίο. Με το μηδέν σαν πρώτο ψηφίο μιας κλήσης αναγνωρίζει το κέντρο ότι πρόκειται να πραγματοποιηθεί υπεραστική κλήση.

Η σειρά των ψηφίων με την οποία πρέπει να γίνει η επιλογή ενός συνδρομητή, στο υπεραστικό δίκτυο, είναι η εξής:

Πρώτα το «0», στη συνέχεια το χαρακτηριστικό αριθμό του Πρωτεύοντος Κέντρου, έπειτα το χαρακτηριστικό αριθμό του Κύριου Κέντρου, κατόπιν το χαρακτηριστικό αριθμό του Κομβικού Κέντρου και τέλος τον αριθμό του συνδρομητή. Τοποθετημένα τα ψηφία με την παραπάνω σειρά αποτελούν τον *εθνικό αριθμό κλήσης του συνδρομητή*. Σχηματίζοντας τα ψηφία με αυτή τη



Σχήμα 7.3.2 Η αριθμοδότηση του δικτύου εμπεριέχει την ιεραρχική δομή.

Στα Πρωτεύοντα Κέντρα δίνεται ένα ψηφίο και είναι στο πρώτο επίπεδο, στα Κύρια Κέντρα δίνονται δύο ψηφία και είναι στο δεύτερο επίπεδο κ.ο.κ.

σειρά, ο παραπάνω συνδρομητής μπορεί να κληθεί από οποιοδήποτε σημείο της χώρας.

Για παράδειγμα όταν ένα Κομβικό Κέντρο έχει αριθμό κλήσεως το 1, το Κύριο Κέντρο στο οποίο ανήκει έχει το 2, το Πρωτεύον Κέντρο στο οποίο ανήκει το Κύριο Κέντρο έχει χαρακτηριστικό αριθμό το 4 και ο συνδρομητής έχει αριθμό κλήσεως το 9876, ο εθνικός αριθμός του συνδρομητή αυτού είναι ο 04219876.

Για την οργάνωση της αρίθμησης των υπεραστικών κέντρων ισχύουν οι εξής παρατηρήσεις:

α) Το «1» ως πρώτο ψηφίο παρέχει τη δυνατότητα σύνδεσης με το πληροφοριακό κέντρο (π.χ. 141, 151, 131, 132 κ.λπ.) ή για παροχή διαφόρων πληροφοριών ή υπηρεσιών.

β) Το πλήθος των ψηφίων επιλογής για κάθε συνδρομητή μιας χώρας πρέπει να είναι πάντα το 9 (9 ψηφία μαζί με το «0»). Για κάθε συνδρομητή του διεθνούς δικτύου, το σύνολο των ψηφίων επιλογής μαζί με το «00» πρέπει να είναι το πολύ 13. Η παραπάνω αρχή πρέπει να τηρείται σύμφωνα με τις συστάσεις των διεθνών οργανισμών και αφορά το πλήθος των ψηφίων επιλογής για κάθε συνδρομητή μιας χώρας.

γ) Στα μεγάλα αστικά κέντρα, όπου βρίσκεται εγκατεστημένο κάποιο Πρωτεύον Κέντρο, καθιερώθηκε το ψηφίο «1» μετά τον αριθμό κλήσης του Πρωτεύοντος Κέντρου. Έτσι με το 041 γίνεται επιλογή του Κομβικού Κέντρου Λάρισας, με το 061 επιλογή του Κομβ. Κέντρου Πατρών, με το 031 της Θεσσαλονίκης κ.λπ. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται διαβίβαση λιγότερων ψηφίων στους αριθμούς κλήσης των μεγάλων αστικών κέντρων και αυξάνεται η ταχύτητα επιλογής. Ειδικά στην

περιοχή της Αθήνας η επιλογή καθορίσθηκε στο «01» αντί του «021» που έπρεπε να είναι κανονικά.

7.4 ΔΙΚΤΥΑ ΜΕΤΑΓΩΓΗΣ – ΜΕΤΑΓΩΓΗ ΠΑΚΕΤΩΝ – ΔΡΟΜΟΛΟΓΗΣΗ

Στη σηματοδότηση μεταξύ των κέντρων χρησιμοποιείται ιδιαίτερο δίκτυο σηματοδότησης (ανεξάρτητο από τα κανάλια ομιλίας). Το δίκτυο αυτό αποτελείται από πολλά ανεξάρτητα κέντρα σηματοδότησης (*Κέντρα Σηματοδότησης*, **S.T.P.-Signaling Transfer Points**) συνδεδεμένα μεταξύ τους. Τα S.T.P. ουσιαστικά είναι μεγάλοι υπολογιστές, οι οποίοι μεταβιβάζουν μεταξύ τους και μεταξύ των τηλεφωνικών κέντρων μεγάλο πλήθος δεδομένων. Τα κέντρα σηματοδότησης έχουν ως συνδρομητές τα τηλεφωνικά κέντρα, τα οποία ονομάζονται για τα S.T.P. «σημεία σηματοδότησης». Τα σημεία σηματοδότησης (τηλεφωνικά κέντρα) διαβιβάζουν τα σήματά τους στο κέντρο σηματοδότησης όπου υπάγονται.

Το δίκτυο σηματοδότησης χρησιμοποιεί την τεχνική *μεταγωγής πακέτων*. Στη μεταγωγή πακέτων το σήμα κωδικοποιείται και κομματιάζεται σε πακέτα ορισμένου μήκους (bits). Όλα τα πακέτα τότε είναι όμοια μεταξύ τους και κάθε ένα διαθέτει μία επικεφαλίδα με τη διεύθυνση προορισμού. Στην περίπτωση *μεταγωγής κυκλώματος* στα συνήθη κέντρα, κατά τη διάρκεια της επικοινωνίας, διατίθεται συνήθως ένα κανάλι (φυσικό 3kHz ή κανάλι PCM 64kbit/s) αποκλειστικά στη σύνδεση. Αντίθετα, στην περίπτωση μεταγωγής πακέτων, τα πακέτα ακολουθούν διάφορους δρόμους για να φτάσουν στον προορισμό τους (στη διεύθυνσή τους). Όταν φτάσουν στον προορισμό όλα τα πακέτα, πρώτα τοποθετούνται στη σειρά και μετά συναρμολογούνται για να συνθέσουν το αρχικό σήμα.

Τα δίκτυα μεταγωγής τα οποία χρησιμοποιούνται στις τηλεπικοινωνίες περιλαμβάνουν τα δίκτυα μεταγωγής και μετάδοσης και τα δίκτυα σηματοδότησης.

7.4.1 Δίκτυα μεταγωγής (Switching)

Τα δίκτυα μεταγωγής αποτελούνται από κόμβους συνδεδεμένους μεταξύ τους. Οι κόμβοι εξετάζουν τον προορισμό των δεδομένων και βρίσκουν το συντομότερο διαθέσιμο «δρόμο» για το δέκτη. Τα δεδομένα (ομιλία ή σήματα), τα οποία εισέρχονται στο δίκτυο από κάποιο συνδρομητή ή κάποιο τερματικό, δρομολογούνται από κόμβο σε κόμβο μέχρι τον προκαθορισμένο προορισμό. Μερικοί κόμβοι συνδέονται μόνο με άλλους κόμβους και δεν έχουν συνδρομητές. Αυτοί παίζουν το ρόλο του διαβιβαστή της πληροφορίας. Για λόγους αξιοπιστίας οι συνδέσεις των κόμβων είναι αρκετές, ώστε να υπάρχει και δεύτερος εναλλακτικός δρόμος μεταξύ των συνδρομητών. Υπάρχουν τρεις βασικές μέ-

θοδοι αποκατάστασης σύνδεσης δύο συνδρομητών ή τερματικών σταθμών στα δίκτυα μεταγωγής:

- Μεταγωγή κυκλώματος (Circuit switching)
- Μεταγωγή μηνυμάτων (Message switching)
- Μεταγωγή πακέτων (Packet switching).

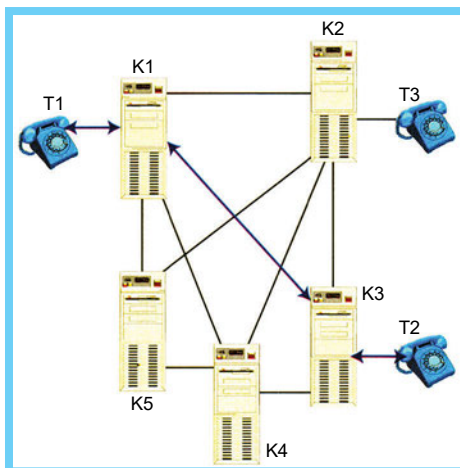
7.4.2 Μεταγωγή κυκλώματος (Circuit switching)

Η μεταγωγή κυκλώματος είναι τεχνική κατά την οποία αφιερώνεται μια φυσική ζεύξη μεταξύ των συνδρομητών για όλη τη διάρκεια της επικοινωνίας τους. Η σύνδεση είναι τμηματική και αποτελείται από τμήματα γραμμών που συνδέουν τους διάφορους κόμβους του δικτύου. Με τη μεταγωγή κυκλώματος κάθε γραμμή που καταλαμβάνεται για μια σύνδεση απασχολείται πλήρως και αποκλειστικά με την επικοινωνία των δύο συνδρομητών (όπως στο κλασικό τηλεφωνικό δίκτυο).

Το σχήμα 7.4.1 παριστάνει ένα τέτοιο δίκτυο με 5 κόμβους (K1, K2, ..., K5) και κάποια τερματικά ή συνδρομητές (T1, T2, T3).

Έστω ότι το τερματικό σημείο T1 θέλει να επικοινωνήσει με το T2. Το T1 στέλνει στο K1 μία αίτηση για σύνδεση με το T2. Ο κόμβος K1 (ο οποίος είναι ειδικός υπολογιστής) ξεκινά την αναζήτηση για την επιλογή δρόμου (ποιος είναι διαθέσιμος, με λιγότερη κίνηση κ.λπ.), επιλέγει τον κόμβο K3 μεταφέροντάς του την απαίτηση για σύνδεση με το T2. Ο K3 αποκαθιστά το κύκλωμα με το T2, εφόσον φυσικά το T2 είναι διαθέσιμο. Από αυτή τη στιγμή το T1 μπορεί να επικοινωνεί με το T2 σαν να υπήρχε μεταξύ τους μία αφιερωμένη γραμμή. Στο τέλος της επικοινωνίας η σύνδεση τερματίζεται, αφού ειδοποιηθούν ταυτόχρονα και οι κόμβοι K1, K3, ώστε να διακόψουν την κατάληψη των καναλιών που τους συνδέουν.

Η χρήση της μεταγωγής κυκλώματος παρουσιάζει δύο βασικά μειονεκτήματα. Το πρώτο είναι ότι την ώρα της αποστολής πρέπει να είναι διαθέσιμα και τα δύο άκρα (συνδρομητές ή τερματικά). Το δεύτερο είναι ότι για την αποκατάσταση της επικοινωνίας, αλλά και κατά τη διάρκειά της, οι γραμμές είναι κατειλημμένες από τους τερματικούς σταθμούς ή τους συνδρομητές είτε αυτοί επικοινωνούν είτε όχι. Υπάρχουν δηλαδή κενά διαστήματα χρόνου. Με τη χρήση όμως



Σχήμα 7.4.1 Μεταγωγή κυκλώματος. Ο συνδρομητής T1 έχει ένα κύκλωμα σύνδεσης με τον T2 μέσω των κόμβων K1 και K3.

Μερικά από τα πλεονεκτήματα της μεταγωγής μηνυμάτων είναι:

- Την ώρα που ο αποστολέας στέλνει το μήνυμα, ο αποδέκτης μπορεί να μην είναι συνδεδεμένος. Το δίκτυο μπορεί να αποθηκεύσει το μήνυμα και να το στείλει αργότερα.

- Η εκμετάλλευση των φυσικών συνδέσεων (γραμμών) είναι πολύ καλύτερη, αφού ένα κανάλι μπορεί να διεκπεραιώσει μηνύματα πολλών χρηστών.

- Υπάρχει η δυνατότητα πολλαπλής αποστολής του ίδιου μηνύματος σε πολλούς χρήστες.

- Ο έλεγχος σφαλμάτων μπορεί να γίνει από το δίκτυο.

Οι δύο τερματικοί σταθμοί έχουν τη δυνατότητα να ανταλλάσσουν μηνύματα γραμμένα σε διαφορετικό κώδικα και με διαφορετική ταχύτητα.

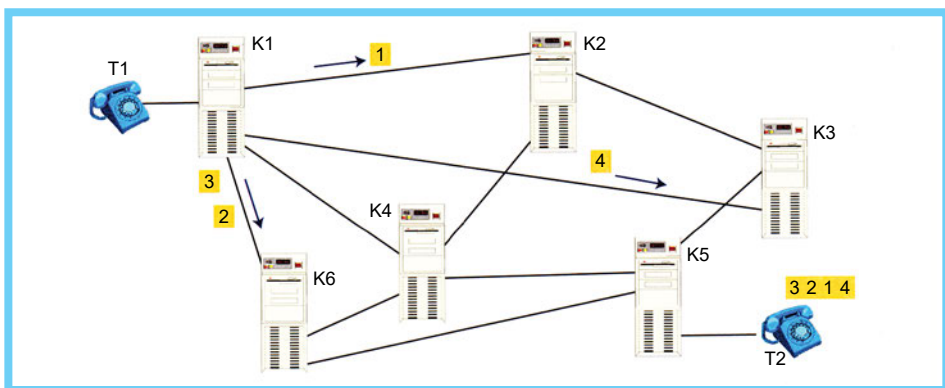
της μεταγωγής κυκλώματος οι συνδρομητές μπορούν να χρησιμοποιήσουν όλο το διαθέσιμο εύρος ζώνης της γραμμής έχοντας ως συνέπεια καλύτερη ποιότητα υπηρεσιών.

7.4.3 Μεταγωγή μηνυμάτων (Message switching)

Στη μεταγωγή αυτή ο αποστολέας οργανώνει την πληροφορία σε μήνυμα που το δίνει στο δίκτυο για διεκπεραίωση. Το δίκτυο προωθεί το μήνυμα από κόμβο σε κόμβο, μέχρι τον τελικό παραλήπτη. Το δίκτυο εκ-

μεταλλεύεται τις φυσικές συνδέσεις (ζευκτικά κανάλια) μεταξύ των κόμβων για την αποστολή μηνυμάτων όλων των συνδρομητών. Σε κάθε μήνυμα είναι σημειωμένη στην αρχή η διεύθυνση του παραλήπτη, ούτως ώστε ο κάθε κόμβος να το προωθεί στον πλησιέστερο, όταν βρει διαθέσιμο φυσικό κανάλι.

Στους κόμβους ενός δικτύου μεταγωγής μηνυμάτων υπάρχουν ειδικοί υπολογιστές με μεγάλη μνήμη, προκειμένου: α) να αποθηκεύουν



Σχήμα 7.4.2 Ο συνδρομητής T1 στέλνει μια πληροφορία η οποία τεμαχίζεται σε 4 πακέτα. Στέλνει τα πακέτα 1, 2, 3, 4, με τη σειρά στον K1 ο οποίος για κάθε πακέτο επιλέγει τον πιο σύντομο δρόμο αποστολής. Έστω ότι το πακέτο 1 πηγαίνει από τον K1 στον K2, κατόπιν στον K3 και από εκεί στον K5 για να καταλήξει στο T2. Για το πακέτο 2 ο K1 αποφασίζει ότι, επειδή οι άλλοι δρόμοι για τον K5 είναι αρκετά φορτωμένοι και ο δρόμος για το K6 έχει λιγότερα πακέτα σε αναμονή, πρέπει να το στείλει στον K6. Από εκεί το πακέτο προωθείται μέσω του K5 στο T2. Το πακέτο 3 ακολουθεί τον ίδιο δρόμο με το 2 και το πακέτο 4 τον δρόμο K1 - K3 - K5 - T2.

τα μηνύματα, β) να εξετάζουν τον προορισμό των μηνυμάτων και γ) να τα προωθούν σε επόμενο κόμβο ή στους παραλήπτες. Στους κόμβους αυτούς τα μηνύματα -όσο μικρό μέγεθος και να έχουν- καθυστερούν. Η καθυστέρηση οφείλεται στο ότι το μήνυμα πρέπει να παραληφθεί, να αποθηκευτεί και μετά να βρεθεί ο συντομότερος διαθέσιμος δρόμος για την περαιτέρω αποστολή του.

Ένα βασικό μειονέκτημα της τεχνικής αυτής είναι ότι δεν είναι κατάλληλη για μετάδοση εικόνας και ομιλίας, επειδή οι καθυστερήσεις που υπεισέρχονται από τους κόμβους είναι μεγάλες και αγνώστου διάρκειας.

7.4.4 Μεταγωγή πακέτων (Packet switching)

Στη μεταγωγή πακέτων το κάθε μήνυμα, πριν μεταφερθεί μέσω του δικτύου, τεμαχίζεται σε πακέτα. Το μήκος των πακέτων είναι μικρό, συνήθως 128 ή 256 χαρακτήρες. Όπως και στην περίπτωση της μεταγωγής κυκλωμάτων και μηνυμάτων, οι κόμβοι είναι μεγάλοι υπολογιστές για την προώθηση των πακέτων στο σωστό προορισμό.

Οι κόμβοι ελέγχουν την κίνηση των πακέτων και εκμεταλλεύονται το δίκτυο με τον καλύτερο δυνατό τρόπο. **Η μεταγωγή πακέτων συνδυάζει τα πλεονεκτήματα της μεταγωγής μηνυμάτων και της μεταγωγής κυκλωμάτων.**

Τα πακέτα ενός μηνύματος μπορούν να φτάσουν στον παραλήπτη χρησιμοποιώντας το καθένα το δικό του συντομότερο δρόμο. Στο παράδειγμα του σχήματος 7.4.2 το T1 θέλει να στείλει στο T2 ένα μήνυμα, το οποίο τεμαχίζεται σε 4 πακέτα. Τα πακέτα, ενώ έχουν τον ίδιο προορισμό, δεν ακολουθούν όλα τον ίδιο δρόμο και μπορεί να φθάσουν με διαφορετική σειρά απ' αυτή που ξεκίνησαν. Το T2 θα πρέπει να τα τοποθετήσει εκ νέου στην ορθή σειρά.

Υπάρχει άλλη μια τεχνική αποστολής των πακέτων, στην οποία, πριν ξεκινήσει η αποστολή, αποκαθίσταται μία σταθερή νοητή σύνδεση μεταξύ των δύο συνδρομητών ή τερματικών σταθμών. Στη συνέχεια όλα τα πακέτα του μηνύματος θα περάσουν δια μέσου της ίδιας νοητής αυτής σύνδεσης. Η τεχνική αυτή ονομάζεται **μεταγωγή πακέτων νοητού κυκλώματος (virtual circuit).**

Τα πλεονεκτήματα της μεταγωγής πακέτων μέσω νοητού κυκλώματος είναι τα εξής:

- Έλεγχος ορθότητας της σειράς λήψης των πακέτων.
- Επιβεβαίωση του ότι όλα τα πακέτα παραλήφθηκαν σωστά.
- Μικρές μεταβολές του χρόνου μετάδοσης λόγω της σταθερής διαδρομής.
- Μικρότερα πακέτα καθώς δεν απαιτείται η πλήρης διεύθυνση του παραλήπτη σε κάθε πακέτο.
- Δυνατότητα αμφίδρομης μετάδοσης εικόνας και ήχου.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ 7ΟΥ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

1. Με ποια βήματα έγινε η μετάβαση από τα χειροκίνητα κέντρα στα ψηφιακά;
2. Για ποιους λόγους δεν πρέπει μια μεγάλη πόλη να εξυπηρετείται από ένα μόνο τηλεφωνικό κέντρο;
3. Τι ονομάζεται Κομβικό Κέντρο και τι Κύριο Κέντρο;
4. Τι ονομάζεται τηλεφωνική σηματοδότηση;
5. Πώς γίνεται η μετάδοση στερεοφωνικής εκπομπής στη ραδιοφωνία;
6. Σε ποια επίπεδα χωρίζονται τα κέντρα της χώρας σύμφωνα με την ιεραρχική δομή του δικτύου;
7. Έστω ότι ένα Κομβικό Κέντρο έχει αριθμό κλήσης 1, το Κύριο Κέντρο στο οποίο ανήκει έχει το 3, το Πρωτεύον Κέντρο στο οποίο ανήκει το Κύριο Κέντρο έχει χαρακτηριστικό αριθμό το 2 και ο συνδρομητής έχει αριθμό κλήσης το 3814. Ποιος είναι τότε ο εθνικός αριθμός κλήσης του παραπάνω συνδρομητή;
8. Ποιες είναι οι μέθοδοι αποκατάστασης σύνδεσης δύο συνδρομητών ή τερματικών σταθμών στα δίκτυα μεταγωγής;
9. Ποιες είναι οι διαφορές της τεχνικής μεταγωγής πακέτων νοητού κυκλώματος με την τεχνική της απλής μεταγωγής πακέτων, ποια είναι η καλύτερη και γιατί;

Προτεινόμενη εργασία

Επισκεφτείτε το Πρωτεύον και Κύριο Κέντρο της περιοχής σας, ενημερωθείτε από τους υπαλλήλους των κέντρων για τους αριθμούς κλήσης αυτών, τις δυνατότητες του δικτύου, τον τρόπο σηματοδότησης που χρησιμοποιούν, το πλήθος των συνδρομητών που εξυπηρετούν και άλλα. Γράψτε μια εργασία με τις πληροφορίες που πήρατε, σύμφωνα με τις γνώσεις που έχουν αναπτυχθεί στο παραπάνω κεφάλαιο.



Κεφάλαιο



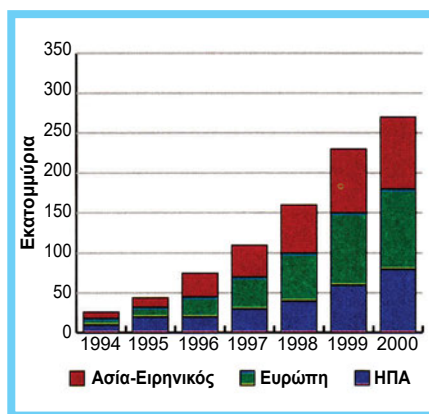
Ασύρματες επικοινωνίες και κινητικότητα

8.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ένας από τους σημαντικότερους στόχους σήμερα στο χώρο των τηλεπικοινωνιών είναι η επίτευξη της χωρίς γεωγραφικά και χρονικά όρια επικοινωνίας. Με άλλα λόγια η δυνατότητα επικοινωνίας με οποιονδήποτε, οποτεδήποτε και οπουδήποτε και αν βρίσκεται.

Η πρώτη προσπάθεια προς το στόχο αυτό έγινε με την εμφάνιση της **ασύρματης τηλεφωνίας (cordless telephony)**. Η έννοια της ασύρματης τηλεφωνίας, όπως δείχνει και η λέξη, συνδέεται με τη δυνατότητα του χρήστη να μπορεί να συνδεθεί με το υπάρχον τηλεφωνικό δίκτυο μέσω μίας ασύρματης συσκευής, δηλαδή μίας συσκευής που δε χρειάζεται καλώδιο για να στείλει ή να λαμβάνει τηλεφωνικά σήματα.

Οι πρώτες ασύρματες τηλεφωνικές συσκευές ευρείας κατανάλωσης πρωτοεμφανίστηκαν στην Ευρώπη στις αρχές της δεκαετίας του 1980 και έγιναν αμέσως εξαιρετικά δημοφιλείς. Στην πενταετία 1985-1990 αποτέλεσαν μία από τις ταχύτερα αναπτυσσόμενες αγορές οικιακού ηλεκτρονικού εξοπλισμού. Η ανάπτυξη της ψηφιακής τεχνολογίας επέτρεψε στα ασύρματα τηλέφωνα να εξελιχθούν ταχύτα-



Σχήμα 8.1.1 Η αγορά των κινητών τηλεφώνων παρουσιάζει πολύ μεγάλη ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια, ενώ, σύμφωνα με τις προβλέψεις της διεθνούς βιομηχανίας, η τάση αυτή πρόκειται να συνεχιστεί και στα επόμενα χρόνια.

τα σε προηγμένα επικοινωνιακά συστήματα με χρήση ψηφιακής διαμόρφωσης και ευρύτατες ικανότητες. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι τα ασύρματα τοπικά τηλεφωνικά κέντρα (wireless PBXs) και οι ασύρματοι τηλεφωνικοί θάλαμοι, όπου μπορεί κανείς να τηλεφωνήσει έχοντας μαζί του το ασύρματο τηλέφωνο του σπιτιού του.

Η επιτυχία αυτή και η διάδοση των ασύρματων τηλεφώνων έφερε και τα πρώτα προβλήματα με μεγαλύτερο εκείνο του κορεσμού των χρησιμοποιούμενων συχνοτήτων λόγω της ποικιλίας των υπαρχόντων συστημάτων και του μεγάλου αριθμού συσκευών που άρχισαν να λειτουργούν ταυτόχρονα στους ίδιους χώρους.

Η επόμενη μεγάλη εξέλιξη στο χώρο των ασύρματων επικοινωνιών ήρθε με τα συστήματα **κινητής τηλεφωνίας (mobile telephony)**. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονιστεί η πλήρης διαφοροποίηση των ασυρμάτων τηλεφώνων από τα κινητά. Πράγματι, τα πρώτα είναι συνηθισμένα τηλέφωνα, όπου όμως το ακουστικό και το μικρόφωνό τους δεν απαιτεί καλωδιακή σύνδεση με τη σταθερή βάση του τηλεφώνου. Για το λόγο αυτό και τα ασύρματα τηλέφωνα απαιτούν την ύπαρξη μίας σταθερής (καλωδιωμένης) βάσης, μέσω της οποίας συνδέονται με το τηλεφωνικό δίκτυο. Αντίθετα, τα κινητά τηλέφωνα είναι εντελώς αυτόνομες συσκευές με πρόσβαση σε ειδικό τηλεφωνικό δίκτυο και με εμβέλεια πολύ μεγαλύτερη από κάθε είδους ασύρματο τηλέφωνο. Και στην περίπτωση των κινητών τηλεφώνων η εξέλιξη της ψηφιακής τεχνολογίας και η εφαρμογή της ιδέας των **κυψελωτών (cellular)** δικτύων εκτίναξε στα ύψη την ανάπτυξη και διάδοση της κινητής τηλεφωνίας. Ήταν άλλωστε η πρώτη φορά που αντιμετωπιζόταν σε τέτοιο βαθμό το πρόβλημα της **κινητικότητας**, της δυνατότητας δηλαδή επικοινωνίας εν κινήσει και σε διαφορετικούς γεωγραφικούς χώρους. Η εξέλιξη και η εξαπλώση των συστημάτων κινητής επικοινωνίας είναι πράγματι εντυπωσιακή. Υπολογίζεται πως μέχρι το 2.000 οι συνδρομητές των συστημάτων αυτών θα φτάσουν τα 350 εκατομμύρια και ότι το 60% περίπου του ανθρώπινου πληθυσμού θα βρίσκεται μέσα στα όρια κάλυψης των συστημάτων αυτών. Αυτό όμως σε καμία περίπτωση δε σημαίνει ότι θα έχει λυθεί οριστικά το πρόβλημα της παγκόσμιας κάλυψης και της κινητικότητας στις επικοινωνίες. Πράγματι, σύμφωνα με τους ίδιους υπολογισμούς ακόμη και μετά το 2.000 η τηλεπικοινωνιακή κάλυψη των συστημάτων κινητής επικοινωνίας δε θα αντιστοιχεί παρά στο 20% της πραγματικής έκτασης του πλανήτη. Για το υπόλοιπο 80% (χώρες του τρίτου κόσμου, βουνά, ωκεανοί, έρημοι κτλ.) δεν υπάρχει καν προοπτική κάλυψης από κινητά δίκτυα επικοινωνιών, γιατί το κόστος των αναγκαίων εγκαταστάσεων είναι πολύ μεγάλο και η πιθανότητα απόσβεσής του πολύ μικρή.

Επιπλέον και τα συστήματα κινητής επικοινωνίας λειτουργούν με διάφορες ασύμβατες μεταξύ τους τεχνικές, με αποτέλεσμα πολλές φορές, όταν κάποιος αγοράζει ένα τηλέφωνο στην Αμερική, αυτό να μην δουλεύει στην Ευρώπη και αντιστρόφως.

Τα προβλήματα αυτά οδήγησαν τελικά στην ανάπτυξη των **δορυφορικών συστημάτων κινητών επικοινωνιών (satellite mobile communications)**, τα οποία παρέχουν και μια πραγματικά παγκόσμια τηλεπικοινωνιακή κάλυψη.

Στο κεφάλαιο αυτό θα εξεταστούν οι εξελίξεις στα συστήματα ασύρματης επικοινωνίας και θα περιγραφεί το πρότυπο **DECT**. Επίσης θα μελετηθούν οι κινητές επικοινωνίες και ειδικά τα κυψελωτά συστήματα που σήμερα παρουσιάζουν και το μεγαλύτερο ενδιαφέρον. Στη συνέχεια θα εξεταστούν οι εξελίξεις στις δορυφορικές επικοινωνίες και στα συστήματα δορυφορικών κινητών επικοινωνιών και τέλος θα γίνει αναφορά στα σύγχρονα συστήματα προσωπικών επικοινωνιών.

8.2 ΑΣΥΡΜΑΤΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

Αν και η έννοια ασύρματες επικοινωνίες περιλαμβάνει πληθώρα συστημάτων και μεθόδων, όπως για παράδειγμα οι μικροκυματικές ζεύξεις μεταξύ δύο σταθμών, οι ζεύξεις υψηλών συχνοτήτων (HF) και γενικά όλα τα είδη των δικτύων που χρησιμοποιούν τον αέρα ως μέσο μετάδοσης, στην παράγραφο αυτή θα περιοριστούμε στην ασύρματη επικοινωνία των συνδρομητών.

Τα ασύρματα τηλέφωνα εξελίχθηκαν πολύ γρήγορα από απλές οικιακές συσκευές σε συστήματα ασύρματης επικοινωνίας για την κάλυψη μικρών αποστάσεων, με δυνατότητα εκπομπής ιδιαίτερα χαμηλής ισχύος. Τα συστήματα αυτά σήμερα απολαμβάνουν υψηλό βαθμό αποδοχής και διάδοσης.

Όπως ήδη αναφέρθηκε το μεγαλύτερο πρόβλημα στην ασύρματη επικοινωνία είναι η έλλειψη επαρκών συχνοτήτων για την κάλυψη των όλο και αυξανόμενων αναγκών. Οι συχνότητες που αρχικά χρησιμοποιούσαν τα ασύρματα τηλέφωνα δεν επαρκούσαν, δεδομένου ότι πολλά από αυτά είναι μεγάλης εμβέλειας, ενώ πλήθος συσκευών που χρησιμοποιούσαν τις ίδιες συχνότητες λειτουργούσαν παράλληλα σε περιοχές με μεγάλη πυκνότητα πληθυσμού.

Η αρχική λύση που δόθηκε στο πρόβλημα ήταν ουσιαστικά η αυθαίρετη κατάληψη όλο και περισσότερων συχνοτήτων από τους κατασκευαστές των συσκευών. Στη συνέχεια υπήρξε κάποια προσπάθεια για να τεθούν όρια και περιορισμοί, όχι όμως συλλογικά αλλά ανεξάρτητα σε κάθε κράτος. Το αποτέλεσμα ήταν μία τεράστια ποικιλία συσκευών που δούλευαν σε μία απίστευτη ποικιλία συχνοτήτων. Έτσι είναι πολύ συνηθισμένο φαινόμενο συσκευές ασύρματης τηλεφωνίας να παρεμβάλλουν άλλα επικοινωνιακά δίκτυα (κρατικά, στρατιωτικά, πολιτικής αεροπορίας κτλ.), επειδή είχαν κατασκευαστεί για κάποια χώρα, όπου αυτές οι συχνότητες ήταν αφιερωμένες στην ασύρματη επικοινωνία.

Το πρόβλημα αυτό υπήρξε ιδιαίτερα έντονο και στην Ελλάδα όπου μέχρι το 1997 κανένας κανονισμός δεν προέβλεπε τη χρήση των ασύρματων τηλεφώνων. Μόλις το Σεπτέμβριο του 1997 το Εθνικό Συμβούλιο Ραδιοεπικοινωνιών αποφάσισε την

Χώρα	Συχνότητα (MHz)	
	Εκπομπή	Λήψη
Ελλάδα	914,885	960,93
ΗΠΑ	46,902	49,908
Ιαπωνία	254	380
Γαλλία	26	40
Ισπανία	31	40
Αυστραλία	34	40
Γερμανία, Αυστρία, Ελβετία	89	913
Αγγλία	1,7	47
Σκανδιν.	886	904
Τουρκία	885	904
Κορέα	46	49
Ταϊβάν	914	959

Πίνακας 8.1 Συχνότητες που χρησιμοποιούνται στην ασύρματη τηλεφωνία.

παραχώρηση συγκεκριμένων συχνοτήτων στην ασύρματη τηλεφωνία. Στον πίνακα 1 φαίνεται η πληθώρα των συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται ανά τον κόσμο στην ασύρματη τηλεφωνία.

Ιστορικά, τα πρώτα ασύρματα τηλέφωνα που παρουσιάστηκαν στηρίζονταν στην αναλογική τεχνολογία. Αναλογικά συστήματα χρησιμοποιούνται μέχρι και σήμερα, ενώ αναμένεται η χρήση τους να συνεχιστεί και στο μέλλον.

Η πρώτη προσπάθεια να μπει κάποια τάξη στο χάος των, αναλογικών τότε, συστημάτων επικοινωνίας έγινε από την ΕΟΚ το 1986 με τη θέσπιση κανονιστικού πλαισίου για τη λειτουργία των ασύρματων τηλεφώνων. Το πλαίσιο αυτό έλυνε όλα τα προβλήματα των αρχικών ασύρματων τηλεφώνων. Παρόλα αυτά, δε διαδόθηκε ευρύτατα και η πολυτυπία στα συστήματα ασύρματης επικοινωνίας παρέμεινε.

Από το 1989 άρχισε μία νέα προσπάθεια για τη δημιουργία ενός προτύπου και

ενός κανονισμού που πλέον θα στηριζόταν στην ψηφιακή τεχνολογία. Και πάλι η προσπάθεια αυτή δεν ολοκληρώθηκε και οδήγησε στην ανάπτυξη περισσότερων από ένα συστημάτων. Παρόλα αυτά, από την προσπάθεια αυτή προέκυψε στα πλαίσια της Ευρωπαϊκής Ένωσης το πρότυπο DECT, το οποίο παρά την πολυπλοκότητά του θεωρείται πολύ πιθανόν ότι θα επικρατήσει στο άμεσο μέλλον στην ασύρματη τηλεφωνία, χάρη στην εξέλιξη της ψηφιακής τεχνολογίας.

Τέλος, θα πρέπει να αναφερθεί η ύπαρξη ενός άλλου συστήματος πλήρως ψηφιακού με πολύ καλές επιδόσεις. Το σύστημα αυτό ονομάζεται TETRA (**TE**rrestrial **T**racked **RA**dio).

8.2.1 Σύστημα Ασύρματης Επικοινωνίας DECT

Στο πλαίσιο της προσπάθειας τυποποίησης της ασύρματης τηλεφωνίας, η Ευρωπαϊκή Ένωση ανέθεσε το 1991 στο **Ευρωπαϊκό Ινστιτούτο Τηλεπικοινωνιακών Προτύπων (European Telecommunications Standards Institute - ETSI)** να σχεδιάσει το πρότυπο για ένα σύστημα ψηφιακής ασύρματης τηλεπικοινωνίας, το οποίο ονομάστηκε **DECT (Digital European Cordless Telecommunications)**. Το ETSI προχώρησε γρήγορα στην ανά-

Πρότυπο	CT2/CT2 + (Cordless Telephone 2)	DECT	PHS (Personal Handy Phone) Ιαπωνία
Συχνότητες Λειτουργίας (MHz)	914/960 CT2 944/948 CT2 +	1880-1900	1895-1918
Είδος πολυπλεξίας	Φασματική και χρονική	Φασματική και χρονική	Φασματική και χρονική
Διαθέσιμα κανάλια	40	10 με 12 χρήστες ανά κανάλι	300 (4 χρήστες ανά κανάλι)
Εύρος ζώνης καναλιού	100 kHz	1728 kHz	300 kHz
Ρυθμός μετάδοσης	72 kbps	1152 kbps	384 kbps
Νέα συστήματα DECT βρίσκονται υπό εγκατάσταση εκτός Ευρώπης, όπως για παράδειγμα στην Κίνα (DECT China 1900-1920 MHz) και στην Αμερική (DECT South America 1910-1930 MHz)			

Πίνακας 8.2 Ψηφιακά συστήματα ασύρματης τηλεφωνίας.

πτυξη του προτύπου και μέσα στο 1994 παρουσίασε τα αποτελέσματα των ερευνών του. Παρά την υψηλή πολυπλοκότητα του DECT, η ανάπτυξη της τεχνολογίας έκανε εφικτή την υλοποίησή του με μικρό κόστος, με αποτέλεσμα να θεωρείται ότι θα κυριαρχήσει στην παγκόσμια αγορά και ότι θα βρίσκεται στη τεχνική πρωτοπορία τουλάχιστον για τα επόμενα 10 χρόνια. Στα σημαντικότερα πλεονεκτήματά του συγκαταλέγονται τα ακόλουθα:

- Εξαιρετική ποιότητα του ήχου που δε θυμίζει σε τίποτα τον ήχο αναλογικών συσκευών.
- Πλήρη προστασία από συνακροάσεις και υποκλοπές.
- Ταυτόχρονη χρήση πολλών φορητών συσκευών από μία βάση (οικιακό τηλεφωνικό κέντρο χωρίς επιπλέον κόστος).
- Δυνατότητα ενδοεπικοινωνίας μεταξύ των φορητών συσκευών που είναι συνδεδεμένες στην ίδια βάση χωρίς χρέωση.

Το DECT είναι ένα επικοινωνιακό πρότυπο για μετάδοση φωνής και δεδομένων σε σχετικά μικρές αποστάσεις. Προσφέρεται για χρήση κυρίως στις ακόλουθες εφαρμογές:

- Οικιακή χρήση (ασύρματα τηλέφωνα).
- Περιβάλλον γραφείου, όπου πολλές τηλεφωνικές συνδέσεις βρίσκονται σε περιορισμένους χώρους. Στις περιπτώσεις αυτές χρησιμοποιούνται τηλεφωνικά κέντρα τεχνολογίας DECT.
- Εφαρμογές τοπικών δικτύων, όπου αντικαθιστά τις καλωδιώσεις με ασύρματες ζεύξεις με αποτέλεσμα μεγάλες ταχύτητες και οικονομία.
- Δημόσια χρήση αλλά σε τοπικό και ανοικτό χώρο (π.χ. στο κέντρο μίας πόλης).

Κανάλι	Συχν. (MHz)
01	1881,792
02	1883,520
03	1885,248
04	1886,976
05	1888,704
06	1890,432
07	1892,160
08	1893,888
09	1895,616
10	1897,344

Πίνακας 8.3

Τα κανάλια του συστήματος DECT.

Ένα από τα σοβαρότερα προβλήματα στην ασύρματη επικοινωνία είναι αυτό της **Επιβεβαίωσης Ταυτότητας** του χρήστη (**Authentication**).

Πιο συγκεκριμένα, ο κάτοχος οποιοσδήποτε συσκευής που χρησιμοποιεί την ίδια λογική με ένα σύστημα ασύρματης επικοινωνίας θα μπορούσε, αν βρισκόταν μέσα στην περιοχή εμβέλειάς του, να κάνει τηλεφωνήματα χρεώνοντάς το.

Στο DECT το πρόβλημα αυτό λύνεται δίνοντας σε κάθε συσκευή μια δική της μοναδική παγκοσμίως ταυτότητα, την οποία το κάθε σύστημα έχει τη δυνατότητα να αναγνωρίζει.

Έτσι για παράδειγμα, μια κλεμμένη συσκευή δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε άλλα συστήματα, αν δεν δηλωθεί, και επιπλέον μόλις εξακριβωθεί η κλοπή της το σύστημα μπορεί να την αποκόψει.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα εφαρμογής ενός συστήματος DECT ήταν η εγκατάσταση ενός τέτοιου δικτύου από τον ΟΤΕ στο Ολυμπιακό Στάδιο της Αθήνας το καλοκαίρι του 1997 για την εξυπηρέτηση των Πανευρωπαϊκών αγώνων. Το σύστημα λειτούργησε άριστα και χρησιμοποιείται ήδη από τον ΟΤΕ ως πιλοτική εφαρμογή και για άλλες χρήσεις.

Σε αντίθεση με τα συστήματα κινητής τηλεφωνίας, το DECT σχεδιάστηκε για περιορισμένη εμβέλεια αλλά και για μεγάλη πυκνότητα δικτύου. Το DECT χρησιμοποιεί τη λογική ενός κυψελωτού συστήματος. Με άλλα λόγια χωρίζει τον περιβάλλοντα χώρο σε **κυψέλες**, τις οποίες χρησιμοποιεί και για το γεωγραφικό προσδιορισμό της θέσης της κάθε φορητής συσκευής, αλλά και για τη διαχείριση των μεταδιδόμενων σημάτων. Περισσότερα στοιχεία για τις κυψέλες θα δοθούν στην επόμενη παράγραφο. Στο DECT οι κυψέλες αυτές είναι τρισδιάστατες, μια και οι χρήστες βρίσκονται κυρίως σε σταθερές θέσεις μέσα σε ένα κτίριο και πιθανώς σε διαφορετικούς ορόφους. Η μέγιστη χωρητικότητά του σε παροχές είναι 10.000 χρήστες και περισσότερες από 1.000 ταυτόχρονες ενεργές συνδέσεις ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο και ανά όροφο.

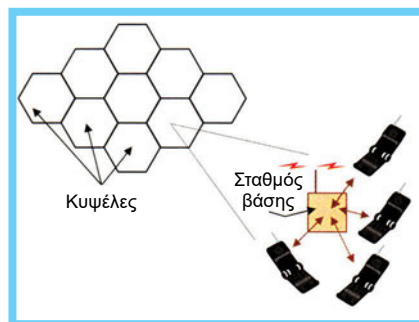
Το DECT στηρίζεται σε μία ιδιαίτερα προηγμένη τεχνική πολυπλεξίας που συνδυάζει τόσο την πολυπλεξία χρόνου όσο και την πολυπλεξία συχνότητας. Πιο συγκεκριμένα για την υλοποίηση του προτύπου DECT έχουν καθοριστεί 10 κανάλια στην περιοχή από 1880 έως 1900 MHz με εύρος ζώνης 1.728 kHz. Τα κανάλια αυτά δίνονται στον πίνακα 3. Ένα εντυπωσιακό στοιχείο του προτύπου DECT είναι πως η ασύρματη συσκευή ψάχνει συνεχώς για τον καλύτερο τρόπο επικοινωνίας με το σταθμό βάσης σε όποια κατάσταση και αν βρίσκεται. Όταν βρει ένα καλύτερο κανάλι επικοινωνίας (ισχυρότερο σήμα, χαμηλότερες παρεμβολές, λιγότερα σφάλματα μετάδοσης), μεταφέρει αυτόματα την επικοινωνία σε αυτό χωρίς ο χρήστης, ακόμη και αν συνομιλεί, να καταλαβαίνει τίποτα. Η ιδιαίτερα αυτή προηγμένη τεχνική επιλογής του βέλτιστου καναλιού επικοινωνίας ονομάζεται

Συνεχής Δυναμική Επιλογή Καναλιού (Continuous Dynamic Channel Selection - CDCS).

8.3 ΚΙΝΗΤΗ ΤΗΛΕΦΩΝΙΑ – ΚΥΨΕΛΩΤΑ ΔΙΚΤΥΑ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

Σε αντίθεση με την ασύρματη τηλεφωνία, η κινητή τηλεφωνία έρχεται να καλύψει την ανάγκη για επικοινωνία σε μεγάλες αποστάσεις διατηρώντας την ελευθερία κίνησης των χρηστών που προσφέρουν τα ασύρματα τερματικά.

Η ανάγκη κάλυψης μεγάλων περιοχών, που απαιτεί μεγάλη ισχύ εκπομπής και μεγάλο αριθμό συχνοτήτων, προκειμένου να είναι δυνατή η κάλυψη πολλών χρηστών ταυτόχρονα, οδήγησε στην εισαγωγή των κυψελωτών δικτύων.



Σχήμα 8.3.1 Κυψελωτό δίκτυο κινητής τηλεφωνίας.

Τα **κυψελωτά δίκτυα (cellular mobile network)** βασίζονται στη 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. Χαρακτηριστικό παράδειγμα κυψελωτού δικτύου δίνεται στο σχήμα 8.3.1.

Τα πρώτα συστήματα κυψελωτής κινητής τηλεφωνίας ήταν και αυτά αναλογικά (για παράδειγμα το σύστημα TACS). Στη συνέχεια όμως η ανάπτυξη της τεχνολογίας και τα αναμφισβήτητα πλεονεκτήματα της ψηφιακής τεχνολογίας οδήγησαν στην εμφάνιση των ψηφιακών συστημάτων κινητής τηλεφωνίας. Το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιου συστήματος με ευρεία χρήση σήμερα είναι το GSM.

8.3.1 Ψηφιακό Σύστημα Κινητής Τηλεφωνίας GSM

Το πρότυπο κινητής τηλεφωνίας **GSM (Global System for Mobile communications)** δημιουργήθηκε από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό για τα Ταχυδρομεία και τις Τηλεπικοινωνίες (Conference of European Postal and Telecommunications - CEPT).

Το πρότυπο GSM ακολουθεί την κυψελωτή λογική δικτύου. Κάθε κυψέλη διαθέτει ένα σταθερό σταθμό βάσης με κατάλληλη κεραία που καλύπτει όλη την

Βασικά Χαρακτηριστικά Συστημάτων Κινητής Τηλεφωνίας GSM

Μέγιστο μέγεθος κυψέλης (ακτίνα)	35χλμ
Εκπομπή κινητού	890-915 MHz
Εκπομπή σταθμού βάσης	935-960 MHz
Εύρος περιοχής εκπομπής	25 MHz
Εύρος ζώνης καναλιού	200 KHz
Διαχωρισμός εκπομπής λήψης	45 MHz
Πλήθος καναλιών ανά κυψέλη	125
Μέγιστο πλήθος χρονοθυρίδων ανά κυψέλη	992

Τα σημερινά δίκτυα GSM επιτρέπουν τη μετάδοση δεδομένων με ταχύτητες μέχρι και 9600 bps. Η εκπομπή από το σταθμό βάσης γίνεται στην περιοχή 935-960 MHz, ενώ η λήψη των σημάτων κινητών τηλεφώνων γίνεται στην περιοχή 890-915 MHz. Άρα το σύστημα έχει χωρητικότητα 125 καναλιών. Η μέγιστη ισχύς εκπομπής για τους σταθμούς βάσης είναι από 2,5 έως 320 Watt (περίπου 10 W για εμβέλεια 35 χιλιομέτρων). Αντίστοιχα για τα κινητά τηλέφωνα η ισχύς εκπομπής κυμαίνεται από 0,8 έως 20 W, ενώ στην πράξη τα κινητά εκπέμπουν συνήθως μέχρι 2 W λόγω της εγγύτητας της κεραίας τους στον ανθρώπινο εγκέφαλο.

έκτασή της. Ο σταθμός βάσης συνδέεται ασύρματα με τις κινητές συσκευές και ενσύρματα με το κέντρο μεταγωγής του συστήματος (**M**obile **T**elephone **S**witching **O**ffice - **M**T**S**O).

Το βασικό στοιχείο του GSM είναι η μετατροπή του σήματος φωνής σε ψηφιακό σήμα και η μετάδοσή του σε συχνότητες UHF (**U**ltra **H**igh **F**requencies) και συγκεκριμένα γύρω από τα 900 MHz, με κανάλια εύρους ζώνης 200 kHz. Ο κάθε συνδρομητής επιτρέπεται να κινείται τόσο μέσα στη ίδια κυψέλη όσο και μεταξύ διαφορετικών κυψελών, χωρίς να υπάρχει διακοπή της επικοινωνίας, ακόμη και όταν ο χρήστης κινείται με ταχύτητα 240 χιλιομέτρων την ώρα.

Το κανάλι επικοινωνίας που χρησιμοποιείται κάθε φορά από ένα κινητό ορίζεται από το σταθμό βάσης. Ο τελευταίος μπορεί να χειρίζεται ταυτόχρονα μεγάλο αριθμό καναλιών με χρήση τεχνικής FDMA (**F**requency **D**ivision

Multiple **A**ccess). Ο ακριβής αριθμός καθορίζεται κατά τη σχεδίαση του δικτύου ανάλογα με τις ανάγκες που έρχεται να καλύψει. Επιπλέον, σε κάθε κανάλι επικοινωνίας μπορούν να μιλούν ταυτόχρονα μέχρι οκτώ κινητά με χρήση της τεχνικής TDMA (**T**ime **D**ivision **M**ultiple **A**ccess). Έτσι το κινητό δεν εκπέμπει συνεχώς αλλά μία φορά κάθε 4,615 msec ή ισοδύναμα 217 φορές το δευτερόλεπτο. Τα πλεονεκτήματα του GSM σε σχέση με τα αναλογικά συστήματα κινητής τηλεφωνίας είναι:

- Καλύτερη εκμετάλλευση του φάσματος και άρα μεγαλύτερη χωρητικότητα καναλιών σε κάθε κυψέλη.
- Ψηφιακή τεχνολογία που κάνει μικρότερα, ελαφρύτερα και φτηνότερα τα κινητά τηλέφωνα.
- Σημαντικά καλύτερη ποιότητα φωνής.
- Συμβατότητα με όλα τα διεθνή πρότυπα και ενσύρματα δίκτυα.
- Ευρεία διεθνής αποδοχή και εξάπλωση, πράγμα που σημαίνει συμβατότητα σε πολλές διαφορετικές χώρες και χαμηλότερο κόστος κατασκευής και λειτουργίας.

Η χρήση δικτύων GSM ξεκίνησε από την Ευρώπη τον Ιούνιο του 1991 και έχει εξαπλωθεί σε όλο τον κόσμο. Στην Ελλάδα λειτουργούν ήδη δύο δίκτυα κινητής τηλεφωνίας GSM.

8.3.2 Ψηφιακό Σύστημα Κινητής Τηλεφωνίας DCS-1800

Και αυτό το σύστημα είναι κυψελωτό και μάλιστα προέρχεται ουσιαστικά από το GSM. Το ψηφιακό σύστημα κινητής τηλεφωνίας DCS - 1800 (Digital Communication System) σχεδιάστηκε από το ETSI (European Telecommunication Standards Institute) το 1991, ενώ οι προδιαγραφές του στηρίζονται σε αυτές του GSM. Έτσι οι λειτουργίες και η αρχιτεκτονική των δύο συστημάτων είναι παρόμοιες.

Οι σημαντικότερες διαφοροποιήσεις αφορούν τη συχνότητα λειτουργίας που για το DCS είναι η περιοχή των 1.800 MHz και η στάθμη εκπομπής που στο DCS είναι αρκετά χαμηλότερη.

Έτσι τα συστήματα DCS εκπέμπουν τα μεν κινητά στην περιοχή συχνοτήτων 1790-1865 MHz (συνολικά 75 MHz) και οι σταθμοί βάσης στην περιοχή 1885-1960 MHz. Λόγω του τριπλάσιου εύρους ζώνης, ο αριθμός των καναλιών επικοινωνίας τριπλασιάζεται σε σχέση με το GSM.

Ταυτόχρονα, και εδώ όπως ακριβώς και στο GSM γίνεται χρήση της τεχνικής TDMA σε κάθε κανάλι με αποτέλεσμα την εξυπηρέτηση οκτώ ζευξέων από το ίδιο κανάλι. Έτσι η συνολική χωρητικότητα ενός συστήματος DCS ανά κυψέλη είναι τριπλάσια από αυτή ενός συστήματος GSM.

Η χαμηλότερη ισχύς εκπομπής στο DCS σε συνδυασμό με την υψηλότερη απόσβεση που προκαλείται στα σήματά του λόγω της υψηλότερης συχνότητας εκπομπής έχει ως αποτέλεσμα μικρότερη εμβέλεια και άρα μικρότερο μέγεθος κυψέλης από ό,τι στο GSM. Έτσι η μέγιστη εμβέλεια ενός κινητού DCS είναι οκτώ χιλιόμετρα σε σχέση με τα 35 ενός κινητού GSM. Ταυτόχρονα όμως λόγω της υψηλότερης συχνότητας και των μικρότερων κυψελών το DCS παρουσιάζει καλύ-

Βασικά Χαρακτηριστικά Συστημάτων Κινητής Τηλεφωνίας DCS -1800

Μέγιστο μέγεθος κυψέλης (ακτίνα)	8χλμ
Εκπομπή κινητού	1790-1865 MHz
Εκπομπή σταθμού βάσης	1885-1960 MHz
Εύρος περιοχής εκπομπής	75 MHz
Εύρος ζώνης καναλιού	200 KHz
Διαχωρισμός εκπομπής λήψης	95 MHz
Πλήθος καναλιών ανά κυψέλη	375
Μέγιστο πλήθος χρονοθυρίδων ανά κυψέλη	2.992



Σχήμα 8.3.2. Ανάμεσα στις νέες εφαρμογές των κινητών τηλεφώνων είναι και η δυνατότητα σύνδεσης με το INTERNET.

τερη απόδοση και μικρότερα κενά στην κάλυψη που προσφέρει.

Τα χαρακτηριστικά των συστημάτων DCS τα κάνουν ιδανικά για πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές, εμπορικά κέντρα, αεροδρόμια κτλ.

Στη χώρα μας λειτουργεί ήδη ένα δίκτυο κινητής τηλεφωνίας DCS - 1800.

Οι δυνατότητες των κινητών τηλεφώνων αυξήθηκαν κατακόρυφα με την παρουσίαση του Πρωτοκόλλου Ασύρματων Εφαρμογών (ΠΑΕ) (Wireless Application Protocol WAP). Το τελευταίο επιτρέπει τη σύνδεση του κινητού με το Internet δίνοντας ανάμεσα στα άλλα και διάφορες δυνατότητες, όπως αγορές, ενημέρωση, e-mail, ήχο και εικόνα. Τα πρώτα κινητά τηλέφωνα με εγκατεστημένο το ΠΑΕ κυκλοφορούν ήδη στην αγορά.

8.3.3 Σύστημα Κινητής Τηλεφωνίας UMTS

Με την ολοκλήρωση της εξέλιξης των συστημάτων GSM DCS και DECT ξεκίνησαν και οι διαδικασίες στο ETSI (European Telecommunication Standards Institute) για τη σχεδίαση και ανάπτυξη της επόμενης γενιάς συστημάτων κινητής επικοινωνίας. Το νέο σύστημα που άρχισε να σχεδιάζεται στις αρχές της δεκαετίας του 1990 ονομάστηκε **Παγκόσμιο Σύστημα Κινητής Τηλεπικοινωνίας (Universal Telecommunications System - UMTS)** και συσχετίζεται άμεσα με την αντίστοιχη προσπάθεια που ξεκίνησε στο πλαίσιο της **Παγκόσμιας Ένωσης Τηλεπικοινωνιών (International Telecommunications Union - ITU)** υπό την ονομασία Μελλοντικό Δημόσιο Σύστημα Επίγειων Κινητών Επικοινωνιών (Future Public Land Mobile Telecommunications System - FPLMTS).

Το 1992 ανατέθηκαν δύο περιοχές συχνοτήτων για τα συστήματα αυτά και συγκεκριμένα οι συχνότητες 1.885-2.025 και 2.110 έως 2.200 MHz.



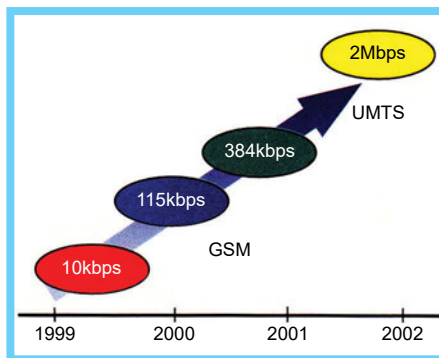
Σχήμα 8.3.3 Τα μελλοντικά κινητά τηλέφωνα θα προσφέρουν το σύνολο των γνωστών σήμερα υπηρεσιών μέσα από μία συσκευή.

Η βασική ιδέα που υπάρχει πίσω από το UMTS είναι να αναπτυχθεί ένα σύστημα κινητών επικοινωνιών που να προσφέρει το σύνολο των γνωστών μέχρι σήμερα τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών. Το σύστημα αυτό θα πρέπει να είναι κατάλληλο για κάθε είδους περιβάλλον και θα πρέπει να μπορεί να προσαρμοστεί στις απαιτήσεις κάθε παροχέα επικοινωνιακών υπηρεσιών (Telecom Provider). Τέλος, το σύστημα θα πρέπει να σχεδιαστεί με τέτοιο τρόπο, ώστε να είναι προσαρμόσιμο στις μελλοντικές απαιτήσεις και να είναι εύκολη η προσθήκη σε αυτό νέων υπηρεσιών.

Στόχος του UMTS είναι να προσφέρει ένα ευρύ φάσμα υπηρεσιών, αντίστοιχο με αυτό

ενός σύγχρονου σταθερού δικτύου, στην περιοχή συχνοτήτων των 2.000 MHz και με ταχύτητες μετάδοσης δεδομένων της τάξης των 2 Mbps. Τέλος το σύστημα θα πρέπει να είναι απόλυτα συμβατό με τα σταθερά δίκτυα και να έχει δυνατότητα πλήρους συνεργασίας με αυτά.

Ταυτόχρονα με την ανάπτυξη του UMTS συζητήσεις έχουν ξεκινήσει για τη σχεδίαση των προδιαγραφών για ένα **Κινητό Σύστημα Παροχής Υψη-ρεσιών Ευρείας Ζώνης (Mobile Broadband Systems - MBS)**. Ένα τέτοιο σύστημα θα έχει τη δυνατότητα ανάπτυξης ταχυτήτων μετάδοσης δεδομένων της τάξης των 155 Mbps χρησιμοποιώντας τις περιοχές συχνοτήτων 62-63 και 65-66 GHz.



Σχήμα 8.3.4 Οι ταχύτητες μετάδοσης αυξάνονται συνεχώς και προβλέπεται σύντομα να ξεπεράσουν το όριο του 1 Mbps.

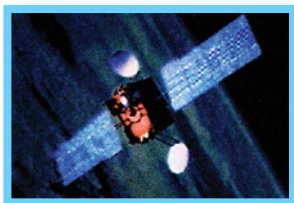
8.4 ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

Οι αρχικές εφαρμογές των δορυφόρων αφορούσαν ουσιαστικά τη χρήση τους ως συμπληρωματικών στοιχείων στα ήδη υπάρχοντα επίγεια δίκτυα και συγκεκριμένα ως απλών επαναληπτών, που ο ρόλος τους ήταν να συνδέουν μακρινά σημεία λαμβάνοντας και επανεκπέμποντας τα σήματα του ενός προς το άλλο.

Στη συνέχεια, στις δορυφορικές εφαρμογές κυριάρχησε η μετάδοση τηλεοπτικών προγραμμάτων σε παγκόσμιο επίπεδο, δίνοντας τη δυνατότητα στους χρήστες να παρακολουθούν τηλεοπτικά κανάλια που εξέπεμπαν σε πολύ μεγάλες από από τους αποστάσεις.

Την τελευταία δεκαετία και μετά από μία περίοδο αμφισβήτησης των δορυφόρων από τα τεράστια χωρητικότητα υποβρύχια καλώδια οπτικών ινών, ανέτειλε η εποχή των Δορυφορικών Κινητών Επικοινωνιών (Satellite Mobile Communications). Οι εξελίξεις στον τομέα αυτό υπήρξαν και συνεχίζουν να είναι ραγδαίες. Οι λόγοι γι' αυτό δεν είναι δύσκολο να γίνουν κατανοητοί. Όπως δείχνουν οι πιο πρόσφατες έρευνες διεθνών οργανισμών:

- ο μισός από τον πληθυσμό της Γης ζει περισσότερο από δύο ώρες μακριά από το κοντινότερο τηλέφωνο,
- τέσσερα δισεκατομμύρια άνθρωποι σε όλο τον κόσμο είναι χωρίς προσωπική τηλεφωνική συσκευή και
- πενήντα εκατομμύρια άνθρωποι σε όλο τον κόσμο βρίσκονται συνεχώς σε λίστες αναμονής για την απόκτηση τηλεφωνικής γραμμής, με μέσο όρο αναμονής 1,5 χρόνο.



Σχήμα 8.4.1 Σήμερα οι δορυφόροι χρησιμοποιούνται σε πληθώρα εφαρμογών μεταξύ των οποίων η απλή αναμετάδοση σημάτων, η μετάδοση τηλεοπτικών προγραμμάτων και τελευταία τα δίκτυα κινητής τηλεφωνίας.

Οι περισσότερες από αυτές τις ανάγκες δεν πρόκειται να καλυφθούν ποτέ, δεδομένου ότι το κόστος της απαιτούμενης υποδομής είναι απαγορευτικό. Αν σε αυτό προσθέσουμε την αδυναμία των σταθερών και των κλασικών κινητών δικτύων να καλύψουν το μεγαλύτερο μέρος της Γης (ωκεανοί, έρημοι, βουνά κτλ.), είναι φανερό γιατί το μέλλον των δορυφορικών κινητών επικοινωνιών είναι ευοίωνο.

Ιστορικά, το πρώτο πραγματικά παγκόσμιο δίκτυο κινητής τηλεφωνίας ονομαζόταν Marisat και αναπτύχθηκε το 1976, με τη χρησιμοποίηση **γεωστατικών** δορυφόρων (**GEO**). Οι τελευταίοι βρίσκονται σε τέτοιο ύψος και κινούνται με τέτοια ταχύτητα, ώστε να φαίνονται ακίνητοι από ένα σταθμό εδάφους. Το 1979 ιδρύθηκε ένας παγκόσμιος δορυφορικός οργανισμός, ο INMARSAT, που ανέλαβε και την εκμετάλλευση του Marisat. Στη συνέχεια ο INMARSAT προχώρησε στη δημιουργία νέων κινητών συστημάτων στηριζόμενος και πάλι σε **GEO** δορυφόρους. Από το σημείο αυτό και μετά ξεκίνησε μια πραγματική κούρσα που οδήγησε στην ανάπτυξη πραγματικών δορυφορικών κινητών συστημάτων, προσιτών στο μέσο χρήστη με τηλεφωνικές συσκευές που έχουν φτάσει πλέον στα επίπεδα μεγέθους των απλών κινητών τηλεφώνων (GSM κτλ.).

Σήμερα πλέον τα δορυφορικά συστήματα μπορούν να προσφέρουν πολλές υπηρεσίες, εκτός της κλασικής τηλεφωνίας, όπως:

- τηλεοπτικές υπηρεσίες στηριζόμενες στα νέα πρότυπα της ψηφιακής τηλεόρασης. Μεταξύ άλλων δυνατότητα παρακολούθησης πληρωμένων προγραμμάτων, ταινιών κτλ. (pay TV, Pay per view, Video on demand),
- ταχύτατη πρόσβαση στο INTERNET και εφαρμογές πολυμέσων,
- αμφίδρομες υπηρεσίες πολυμέσων, όπως η τηλεϊατρική, η τηλεεκπαίδευση και η τηλεεργασία.

Όλες αυτές οι εφαρμογές απαιτούν μεγάλες ταχύτητες μετάδοσης που σημαίνει μεγάλο εύρος ζώνης συχνοτήτων. Η ανάγκη αυτή οδήγησε στην κατασκευή δορυφορικών αναμεταδοτών και συστημάτων σε όλο και πιο υψηλές συχνότητες. Έτσι ξεκινώντας από την περιοχή των 4/6 GHz (C ζώνη συχνοτήτων) έχουμε φτάσει σήμερα στη ζώνη των 20/30 GHz (Ka ζώνη συχνοτήτων).

Στα παραπάνω πλαίσια έχει ξεκινήσει τα τελευταία χρόνια μια τεράστια προσπάθεια ανάπτυξης δικτύων δορυφόρων με σκοπό την παροχή υπηρεσιών κινητής τηλεφωνίας σε παγκόσμιο επίπεδο. Τα δίκτυα αυτά στηρίζονται κυρίως σε **δορυφόρους χαμηλής τροχιάς (Low Earth Orbit - LEO satellites)** και σε **δορυφόρους μεσαίας τροχιάς (Medium Earth Orbit - MEO satellites)**.

Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν μερικά από τα σημαντικότερα συστήματα κινητών δορυφορικών επικοινωνιών, που μόλις μπαίνουν ή πρόκειται να μπουν σε υπηρεσία στο άμεσο μέλλον.

8.4.1 Δορυφορικό Σύστημα Κινητής Επικοινωνίας Iridium

Το πρώτο πραγματικό σύστημα παγκόσμιας κινητής επικοινωνίας που εμφανίστηκε πρόσφατα ονομάζεται **Iridium** και στηρίζεται σε ένα αστερισμό από 66 LEO δορυφόρους. Η σχεδιάσή του άρχισε το 1990 και την 1 Νοεμβρίου του 1998 άρχισε η πλήρης εμπορική του εκμετάλλευση.

Το Iridium παρέχει τη δυνατότητα επικοινωνίας φωνής, αποστολής μηνυμάτων, δεδομένων και φαξ με τη χρήση μιας και μόνο συσκευής με ένα ενιαίο αριθμό από οποιοδήποτε μέρος του κόσμου.

Στο δίκτυο του Iridium εκτός από τους 66 δορυφόρους περιλαμβάνονται και 11 επίγειοι σταθμοί. Έτσι οι χρήστες επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω του δικτύου των επίγειων σταθμών (όπως και σε ένα κλασικό κυψελωτό σύστημα) και όταν αυτό δεν είναι δυνατόν μέσω κάποιων από τους 66 δορυφόρους του δικτύου.

Η χρήση LEO δορυφόρων (βρίσκονται σε τροχιά μόλις 780 χλμ. από τη γη) έχει σημαντικά πλεονεκτήματα. Η χαμηλή τροχιά έχει ως αποτέλεσμα την πολύ καθαρή λήψη του σήματος από τις κινητές συσκευές, ακόμη και αν οι δορυφόροι εκπέμπουν χαμηλής ισχύος σήματα. Ταυτόχρονα η μικρή τους απόσταση από τη γη κάνει δυνατή τη χρήση τους για τη δημιουργία ενός είδους μετακινούμενων τρισδιάστατων κυψελών.

Βέβαια, οι δορυφόροι χαμηλής τροχιάς παρουσιάζουν και σημαντικά μειονεκτήματα. Έτσι, για την κάλυψη ολόκληρης της γης απαιτείται μεγάλος αριθμός δορυφόρων σε σχέση με τους γεωστατικούς δορυφόρους. Ταυτόχρονα η μεγαλύτερη κατανάλωση καυσίμων (που απαιτείται για τη διόρθωση της τροχιάς τους λόγω της αυξημένης επίδρασης της βαρύτητας) και το μικρότερο γενικά μέγεθός τους έχει ως συνέπεια να παρουσιάζουν μικρή διάρκεια ζωής.

Το Iridium δεν παρέμεινε ενεργό για μεγάλο χρονικό διάστημα, μια και πρόσφατα η εταιρεία που ανέλαβε την εκμετάλλευσή του ανακοίνωσε την πτώχευσή της, προκαλώντας απογοήτευση στους οπαδούς των Δορυφορικών Κινητών Επικοινωνιών.

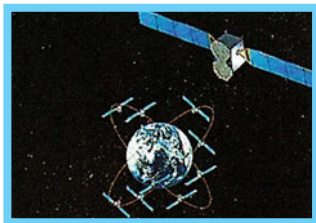


Σχήμα 8.4.2 Κινητό τηλέφωνο κατάλληλο για χρήση σε δορυφορικά δίκτυα κινητής τηλεφωνίας.

8.4.2 Δορυφορικό Σύστημα Κινητής Επικοινωνίας Globalstar



Σχήμα 8.4.3 Κεραία δορυφορικής λήψης του δικτύου Globalstar.



Σχήμα 8.4.4 Το δίκτυο δορυφόρων της ICO. Οι δορυφόροι θα συνδέονται με 12 επίγειους σταθμούς, κάθε ένας από τους οποίους θα έχει 5 κεραίες για τη συνεχή παρακολούθηση της πορείας τους.



Σχήμα 8.4.5 Κεραία δορυφορικής λήψης του δικτύου ICO. Οι συχνότητες που θα χρησιμοποιούνται στο δίκτυο ICO θα είναι για τη ζεύξη των επίγειων σταθμών με τους δορυφόρους τα 5 GHz για την ανερχόμενη ζεύξη και 7 GHz για την κατερχόμενη ζεύξη (ζώνη C). Επίσης, για την επικοινωνία των συνδρομητών με τους δορυφόρους θα χρησιμοποιούνται οι περιοχές 1980-2010 MHz για την κατερχόμενη και 2170-2200 MHz για την ανερχόμενη ζεύξη.

Το δορυφορικό δίκτυο **Globalstar** δημιουργήθηκε το 1991 από μία κοινοπραξία ιδιωτικών τηλεπικοινωνιακών εταιρειών, με σκοπό την παροχή χαμηλού κόστους και υψηλής ποιότητας τηλεφωνίας και άλλων ψηφιακών υπηρεσιών, σε περιοχές που δεν καλύπτονται από τα υπάρχοντα ενσύρματα και ασύρματα δίκτυα επικοινωνιών. Ανάμεσα σε αυτές περιλαμβάνεται η μεταφορά δεδομένων, η τηλεειδοποίηση, το φαξ και ο εντοπισμός θέσης.

Το Globalstar αναμένεται να αρχίσει την εμπορική του εκμετάλλευση από τα τέλη του 1999, λειτουργώντας συμπληρωματικά με τα επίγεια συστήματα κινητής τηλεφωνίας GSM και παρέχοντας κάλυψη εκεί που αυτά αδυνατούν (π.χ. ωκεανούς, έρημους κτλ.).

Και το Globalstar χρησιμοποιεί LEO δορυφόρους για τη δημιουργία του δικτύου του. Πιο συγκεκριμένα περιέχει 48 δορυφόρους (συν άλλους 8 εφεδρικούς), η εκτόξευση των οποίων ξεκίνησε στις αρχές του 1988. Η τροχιά των δορυφόρων αυτών είναι σε απόσταση 1.414 χλμ. από τη γη και η διάρκεια ζωής τους αναμένεται να είναι 7,5 χρόνια.

8.4.3 Δορυφορικό Σύστημα Κινητής Επικοινωνίας ICO

Η υλοποίηση του δικτύου αυτού ξεκίνησε το 1995 με την ίδρυση της ομώνυμης εταιρείας από τον Inmarsat και 46 από τους μεγαλύτερους τηλεπικοινωνιακούς οργανισμούς του κόσμου.

Σκοπός της εταιρείας αυτής είναι η ανάπτυξη και λειτουργία ενός παγκόσμιου δορυφορικού συστήματος κινητής τηλεφωνίας, για παροχή υπη-

ρεσιών τόσο τηλεφωνίας όσο και μετάδοσης δεδομένων και φαξ. Επιπλέον, θα υπάρχει δυνατότητα τηλεειδοποίησης και εντοπισμού γεωγραφικής θέσης.

Το δορυφορικό δίκτυο στην τελική του μορφή αναμένεται να αποτελείται από δέκα δορυφόρους (συν δύο εφεδρικούς) σε μέση τροχιά (ύψος περίπου 10.335 χιλιομέτρων).

Η επιλογή μέσης τροχιάς έχει το πλεονέκτημα της χρήσης λιγότερων δορυφόρων για την κάλυψη της γης και το μειονέκτημα της ανάγκης ύπαρξης πολύ πιο ευαίσθητων κυκλωμάτων στο δορυφόρο για τη λήψη των σημάτων που εκπέμπονται από τη γη. Η εκτόξευση των δορυφόρων άρχισε μέσα στο 1999 και το δίκτυο αναμένεται να τεθεί σε πλήρη λειτουργία μέσα στο 2000.

8.5 ΠΡΟΣΩΠΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Τα **Προσωπικά Συστήματα Επικοινωνιών (Universal Personal Telecommunications - UPT)** είναι μια τελείως νέα αντίληψη ενός τηλεπικοινωνιακού συστήματος που στηρίζεται στην ιδέα της αναγνώρισης ενός συνδρομητή από ένα προσωπικό αριθμό ανεξάρτητα από τη συσκευή την οποία μπορεί να χρησιμοποιεί. Ένας τέτοιος συνδρομητής θα μπορεί, κάνοντας χρήση του προσωπικού του αριθμού, να στέλνει και να λαμβάνει κλήσεις από οποιαδήποτε συσκευή και από οποιοδήποτε σημείο.

Μέχρι τώρα τόσο στα κλασικά δίκτυα όσο και στα κινητά (επίγεια ή δορυφορικά) ο συνδρομητής συνδεόταν με μία συγκεκριμένη συσκευή ή γραμμή που αντιστοιχούσε σε κάποιο αριθμό κλήσης.

Με τα συστήματα UPT η σύνδεση αυτή σταματάει και αντικαθίσταται με ένα προσωπικό αριθμό που χαρακτηρίζει το συγκεκριμένο συνδρομητή ανεξάρτητα συσκευής. Έτσι περνάμε πλέον από **την κινητικότητα της συσκευής στην κινητικότητα του συνδρομητή**.

Η χρέωση του συνδρομητή γίνεται με βάση αυτόν τον αριθμό και έτσι υπάρχει ένας κοινός λογαριασμός για κάθε συνδρομητή και για όλες τις τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες που χρησιμοποιεί, όπου και αν τις χρησιμοποιεί.

Φυσικά, ο αριθμός αυτός θα είναι κοινός σε όλα τα δίκτυα, σταθερά και κινητά, που θα είναι συμβατά με τη νέα αυτή υπηρεσία. Έτσι οι βασικές αρχές και ταυτόχρονα οι στόχοι των προσωπικών συστημάτων επικοινωνιών είναι:

- Η παροχή προσωπικής κινητικότητας και όχι απλώς κινητικότητας μίας συσκευής.
- Χρέωση με βάση τον προσωπικό αριθμό του κάθε συνδρομητή και όχι με βάση μια συγκεκριμένη συσκευή.
- Παροχή μιας τυπικής διαδικασίας πρόσβασης στα παγκόσμια δίκτυα ανεξαρτήτως του συγκεκριμένου τερματικού από το οποίο γίνεται η πρόσβαση.



Σχήμα 8.5.1 Στο άμεσο μέλλον ο κάθε χρήστης θα έχει πρόσβαση σε μία πληθώρα υπηρεσιών από ένα και μόνο τερματικό από οποιοδήποτε σημείο και αν βρίσκεται, ενώ κάνοντας χρήση του προσωπικού του αριθμού θα μπορεί να συνδεθεί με οποιοδήποτε δίκτυο επικοινωνιών θέλει.

- Παροχή της δυνατότητας εύκολης και ευέλικτης επιλογής των τηλεπικοινωνιακών υπηρεσιών που θέλει να χρησιμοποιεί ο κάθε συνδρομητής.

Ο τρόπος λειτουργίας των UPT θα είναι ως εξής:

Ο συνδρομητής θα λαμβάνει ένα UPT αριθμό από το σύστημα προσωπικών επικοινωνιών. Στη συνέχεια θα επιλέγει τις υπηρεσίες που θέλει να χρησιμοποιεί (για παράδειγμα τηλεφωνία, φaks, μετάδοση δεδομένων κτλ.).

Οι υπηρεσίες αυτές συσχετίζονται με το συγκεκριμένο UPT αριθμό και αποθηκεύονται σε ένα προσωπικό αρχείο του συστήματος που αφορά το συγκεκριμένο συνδρομητή.

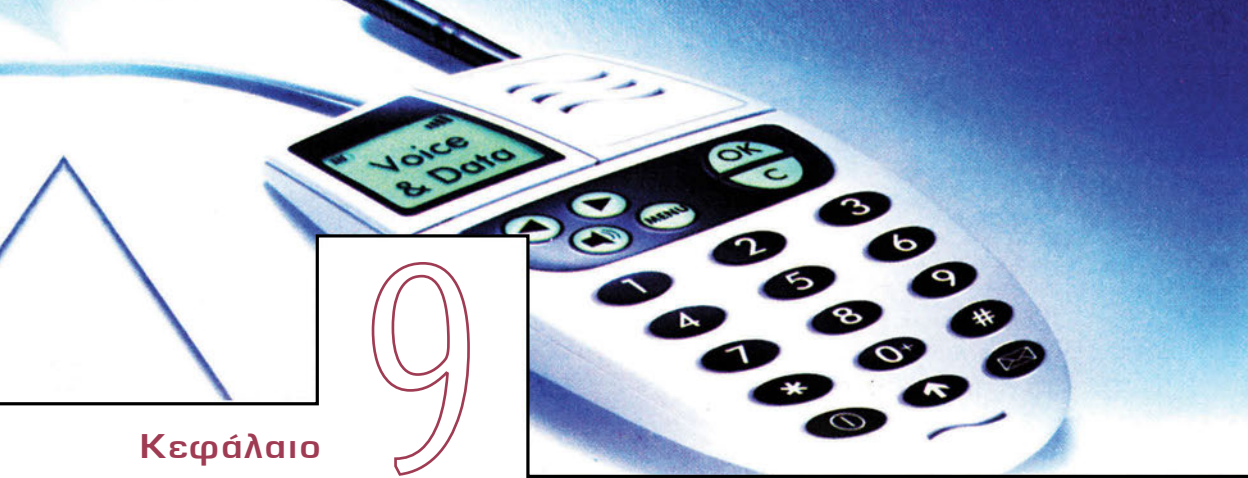
Επιπλέον, ο συνδρομητής επιλέγει τον τρόπο με τον οποίο θα έχει πρόσβαση στις υπηρεσίες που επιθυμεί και τέλος επιλέγει και τον τρόπο αναγνώρισής του από το σύστημα για λόγους ασφαλείας (authentication).

Ο προσωπικός αριθμός του κάθε συνδρομητή θα αναγράφεται πιθανότατα σε κάποια προσωπική τηλεφωνική κάρτα, όπου θα αναφέρεται και η πραγματική του διεύθυνση (και διεύθυνση αποστολής των λογαριασμών). Η κάρτα αυτή θα μπορεί να χρησιμοποιείται και για την εξασφάλιση πρόσβασης του συνδρομητή σε κάποιο τηλεπικοινωνιακό δίκτυο.

Όταν ο συνδρομητής θα βρίσκεται μακριά από το σπίτι του, θα μπορεί να καταχωρεί την προσωρινή του διεύθυνση μέσω οποιουδήποτε τερματικού με χρήση του προσωπικού του αριθμού και να κάνει ή να λαμβάνει κλήσεις μέσω του συγκεκριμένου τερματικού.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ 8ΟΥ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

1. Ποια είναι η έννοια της κινητικότητας στις επικοινωνίες;
2. Τι είναι η ασύρματη τηλεφωνία και τι η κινητή τηλεφωνία; Ποια είναι η βασική διαφορά μεταξύ τους;
3. Ποιο είναι το μεγαλύτερο πρόβλημα στην ασύρματη τηλεφωνία; Έχει αντιμετωπιστεί μέχρι σήμερα και πώς;
4. Τι είναι το DECT; Ποια είναι τα βασικά του χαρακτηριστικά;
5. Ποια είναι τα πλεονεκτήματα του προτύπου DECT; Ποιες είναι οι εφαρμογές του;
6. Τι είναι η Συνεχής Δυναμική Επιλογή Καναλιού και τι η Επαλήθευση Χρήστη;
7. Ποια είναι η έννοια του κυψελωτού δικτύου; Τι πλεονεκτήματα προσφέρει;
8. Ποια είναι τα βασικά χαρακτηριστικά του συστήματος GSM; Πώς λειτουργεί ένα σύστημα GSM;
9. Ποια είναι τα κυριότερα πλεονεκτήματα του GSM σε σχέση με τα αναλογικά συστήματα κινητής τηλεφωνίας;
10. Περιγράψτε το σύστημα κινητής τηλεφωνίας DCS 1800. Ποιες οι διαφορές του από το GSM; Σε ποιες περιπτώσεις πλεονεκτεί το GSM;
11. Ποια είναι η εξέλιξη στα ψηφιακά συστήματα κινητής τηλεφωνίας; Περιγράψτε τα βασικά χαρακτηριστικά του νέου συστήματος.
12. Ποιες είναι οι εφαρμογές των δορυφόρων; Κατά τη γνώμη σας ποια από αυτές θα κυριαρχήσει στα επόμενα χρόνια;
13. Γιατί η χρήση των δορυφόρων στις επικοινωνίες είναι απαραίτητη;
14. Ποιες είναι οι υπηρεσίες που μπορούν να προσφέρουν οι δορυφόροι σήμερα στον τομέα των επικοινωνιών;
15. Περιγράψτε συνοπτικά τα Δορυφορικά Συστήματα Κινητής Επικοινωνίας Iridium, Globalstar και ICO.
16. Τι είναι το Προσωπικό Σύστημα Επικοινωνιών; Ποια η διαφορά του με τα υπάρχοντα συστήματα; Τι είναι ο προσωπικός αριθμός κλήσης;
17. Ποιες είναι οι βασικές αρχές των Προσωπικών Συστημάτων Επικοινωνιών; Πώς θα λειτουργεί ένα τέτοιο σύστημα;



Κεφάλαιο

9

Υπηρεσίες

9.1 Η ΨΗΦΙΑΚΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΤΑ ΠΟΛΥΜΕΣΑ

Οι άνθρωποι χρησιμοποιούν διάφορα μέσα για να επικοινωνούν, όπως ομιλία, έντυπα και γραπτά κείμενα, φωτογραφίες και εικόνες. Οι υπηρεσίες επικοινωνιών ξεκίνησαν από τη μεταφορά των γραπτών μηνυμάτων (ταχυδρομεία) και πέρασαν αργότερα στην ενσύρματη μεταφορά προφορικών μηνυμάτων (τηλεφωνία). Με τη βοήθεια της τεχνολογίας δημιουργήθηκαν στη συνέχεια ακόμη δύο υπηρεσίες, η ραδιοφωνία και η τηλεόραση.

Οι δύο τελευταίες σε συνδυασμό με την τηλεφωνία αποτελούσαν για αρκετές δεκαετίες τις **κλασικές τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες**. Η τηλεφωνία, όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 6, έδωσε τη δυνατότητα στους υπολογιστές να μεταφέρουν δεδομένα μέσα από το συνδρομητικό δίκτυο.

Έτσι, εκτός από τα υπάρχοντα τοπικά δίκτυα, αναπτύχθηκαν τα πρώτα δίκτυα υπολογιστών σε παγκόσμιο επίπεδο. Το πιο γνωστό και το μεγαλύτερο παγκόσμιο δίκτυο είναι το ίντερνέτ (**internet - διαδίκτυο**). Το διαδίκτυο, αν και χρησιμοποιεί το υπάρχον τηλεπικοινωνιακό δίκτυο, προσφέρει πολύ περισσότερες υπηρεσίες.

Στους πρώτους υπολογιστές οι οποίοι ήταν συνδεδεμένοι στο διαδίκτυο (internet) η αναζήτηση πληροφορίας αφορούσε συνήθως μόνο κείμενα.

Η αναζήτηση αυτών των πληροφοριών ήταν τότε μια βαρετή και ιδιαίτερα χρονοβόρα διαδικασία, διότι απαιτούσε αρκετή πληκτρολόγηση και μεγάλη αναμονή.

Εκτός από το κείμενο που κωδικοποιείται άμεσα (κωδικοποίηση ASCII), άρχισε σταδιακά η εισαγωγή στον υπολογιστή και άλλων μορφών πληροφορίας, με τη χρησιμοποίηση της ψηφιακοποίησης, δηλαδή της μετατροπής της πληροφορίας σε ψηφιακή μορφή, κατάλληλη για τον υπολογιστή.

9.1.1 Η ψηφιακοποίηση

Στον κόσμο που μας περιβάλλει, οι πληροφορίες έχουν αναλογική μορφή. Οι ήχοι, τα χρώματα κ.λπ. δημιουργούνται από **συνεχή** σήματα μεταβλητής έντασης. Η μεταφορά, η αποθήκευση και η επεξεργασία στον υπολογιστή τέτοιων πληροφοριών αποτελούν διαδικασίες που απαιτούν κάποια κωδικοποίηση. Οι λόγοι οι οποίοι απαιτούν την κωδικοποίηση της πληροφορίας σε ψηφιακή μορφή (**ψηφιακοποίηση**) είναι οι εξής:

1. Η ψηφιακοποίηση μιας πληροφορίας καθιστά δυνατή την επεξεργασία της από τον υπολογιστή. Η πληροφορία μπορεί να προέρχεται από μία φωτογραφία, έναν ήχο, ένα βίντεο κ.λπ. ή να είναι ψηφιακή δημιουργία στον υπολογιστή. Μπορούμε, για παράδειγμα, να επεξεργαστούμε εικόνες που έχουν δημιουργηθεί από μια φωτογραφική μηχανή, αλλά και να δημιουργήσουμε δικές μας εικόνες απευθείας σε ψηφιακή μορφή.

2. Η ψηφιακοποίηση μιας πληροφορίας επιτρέπει την αποθήκευσή της σε σύγχρονα μέσα αποθήκευσης (σκληροί δίσκοι, οπτικοί δίσκοι κ.λπ.) και τη γρήγορη **ανάκτησή** της. Τα τελευταία χρόνια έχει πολλαπλασιαστεί η χωρητικότητα αποθήκευσης, με αποτέλεσμα τεράστιες ποσότητες πληροφορίας να τοποθετούνται σε πολύ μικρό χώρο.

Παράδειγμα 1ο Σε ένα σήμα ομιλίας γίνεται δειγματοληψία με ταχύτητα 11000 δείγματα/s. Το κάθε δείγμα έχει μέγεθος 8 bit. Τι μέγεθος θα έχει το αρχείο ομιλίας 5 δευτερολέπτων; Σε κάθε δευτερόλεπτο θα προκύπτουν $11000 \times 8 \text{ bit} = 88 \text{ kbit}$. Τα 5 s ομιλίας θα δημιουργήσουν ένα αρχείο μεγέθους:

$$\frac{5 \text{ s} \cdot 88 \frac{\text{kbit}}{\text{s}}}{8 \frac{\text{bit}}{\text{byte}}} = 55 \text{ kbyte}$$

Παράδειγμα 2ο Τι μέγεθος θα έχει το αρχείο στερεοφωνικής μουσικής διάρκειας 30 λεπτών; Με ταχύτητα δειγματοληψίας 44000 δείγματα/s, θα προκύπτει σε κάθε δευτερόλεπτο:

(ταχύτητ. δειγματολ.) $\times$ (αριθ. καν.) $\times$ (αριθ. bit/δείγμα) = $44000 \cdot 2 \cdot 16 = 1408 \text{ kbit}$. = 1.4Mbit.

Τα 30 λεπτά μουσικής ισοδυναμούν με:

$$\frac{30 \text{ min} \cdot 60 \frac{\text{s}}{\text{min}} \cdot 1408 \frac{\text{kbit}}{\text{s}}}{8 \frac{\text{bit}}{\text{byte}}} = 317 \text{ Mbyte}$$

3. Η αποθήκευση ψηφιακοποιημένης πληροφορίας καθιστά την ανάκτησή της ανεπηρέαστη από παράσιτα και τη διατηρεί αναλλοίωτη για πάρα πολύ χρόνο.

4. Η ψηφιακοποίηση μιας πληροφορίας παρέχει τη δυνατότητα της μετάδοσής της και της αναπαραγωγής της με την ίδια ακριβώς ποιότητα με το πρωτότυπο.

5. Η ψηφιακοποιημένη πληροφορία επιτρέπει τη μετάδοση μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων σε μακρινές αποστάσεις με πολύ υψηλές ταχύτητες. Η υποδομή των σημερινών τηλεπικοινωνιών προσφέρεται για ψηφιακή μετάδοση. Ο άνθρωπος δεν μπορεί να αντιληφθεί άμεσα τον ψηφιακό τρόπο διαχείρισης των πληροφοριών. Ένα σύνολο από δυαδικά ψηφία (bits) είναι τελείως ξένο για το ανθρώπινο πνεύμα και δεν αντιπροσωπεύει κανένα αντικείμενο του κόσμου που μας περιβάλλει. Γι' αυτό το λόγο, όλες οι ψηφιακές συσκευές αποδίδουν την τελική πληροφορία σε αναλογική μορφή.

9.1.2 Χαρακτηριστικά ψηφιακού κειμένου, ήχου, εικόνας και βίντεο

Το κείμενο και ο ήχος

Το κείμενο μπορεί να κωδικοποιηθεί με το γνωστό κώδικα ASCII. Κάθε σελίδα κειμένου ενός βιβλίου περιέχει κατά μέσο όρο 2000 χαρακτήρες. Μια κωδικοποιημένη σελίδα θα είναι $2000 \times 8 \text{bit} = 16000 \text{bit} = 16 \text{kbit}$.

Το σήμα ήχου μετατρέπεται σε ψηφιακή μορφή με την εξής διαδικασία: πρώτα γίνεται δειγματοληψία με την κατάλληλη ταχύτητα. Στη συνέχεια το κάθε δείγμα μετατρέπεται σε δυαδική τιμή με ανάλυση 8 bit ή 16 bit. Αν το σήμα του ήχου είναι στερεοφωνικό, γίνεται δειγματοληψία και στα δύο κανάλια, οπότε προκύπτουν τα διπλάσια δείγματα σε κάθε δευτερόλεπτο. Για δειγματοληψία στερεοφωνικού ήχου υψηλής πιστότητας χρησιμοποιείται ταχύτητα 44000 δείγματα το δευτερόλεπτο σε κάθε κανάλι (η ταχύτητα δειγματοληψίας είναι αρκετά μεγάλη για να περιλαμβάνονται και οι ήχοι με υψηλή συχνότητα). Το κάθε δείγμα αναλύεται με 16bit για μεγαλύτερη ακρίβεια.

Η εικόνα

Εδώ θα εξεταστούν οι ψηφιακοποιημένες εικόνες με τη χρήση σαρωτή ή με τη λήψη ψηφιακής φωτογραφικής μηχανής ή με τη σύλληψη από σήμα βίντεο. Οι εικόνες που δημιουργούνται στον υπολογιστή είναι εξαρχής σε ψηφιακή μορφή.

Τα χαρακτηριστικά της εικόνας, τα οποία καθορίζουν την ποιότητα και το μέγεθός της σε ψηφιακή μορφή είναι η ανάλυση και τα χρώματά της. Η ανάλυση μετριέται σε σημεία ανά ίντσα (dpi, **d**ots **p**er **i**nch). Το πλήθος των χρωμάτων καθορίζεται από τον αριθμό των bit που θα διατεθούν σε κάθε σημείο. Αν για κάθε σημείο χρησιμοποιηθούν 24bit, προκύπτουν $2^{24} = 16$ εκατομμύρια συνδυασμοί χρωμάτων. Με 8bit σε κάθε σημείο προκύπτουν 256 χρώματα. Στη μονόχρωμη φωτογραφία αρκούν 256 αποχρώσεις του γκρι, δηλαδή 8bit. Στην έγχρωμη φωτογραφία απαιτούνται 24bit (8bit σε κάθε βασικό χρώμα) ή 32bit.

*Ένα παράδειγμα υπολογισμού μεγέθους ψηφιακοποίησης **ασπρόμαυρης φωτογραφίας**. Ας υποθεθεί ότι οι διαστάσεις είναι 4X6 εκατοστά και ότι αναλύεται στα 100dpi με 256 αποχρώσεις του γκρι, (8bit).*

Τα 4 cm είναι $4/2.54 = 1.57$ ίντσες και με ανάλυση 100 σημεία ανά ίντσα (100dpi) δίνουν $1.57 \times 100 = 157$ σημεία. Όμοια τα 6cm είναι $6/2.54 = 2.36$ ίντσες ή 236 σημεία. Η επιφάνεια της φωτογραφίας θα είναι $157 \times 236 = 37052$ σημεία.

Πολλαπλασιάζοντας με 8bit για κάθε σημείο προκύπτει το μέγεθος του αρχείου της φωτογραφίας: 296kbit ή **37kbyte**.

*Ένα δεύτερο παράδειγμα υπολογισμού μεγέθους **έγχρωμης φωτογραφίας**, με σάρωση στα 300dpi και 16 εκατομμύρια χρώματα (24bit). Οι διαστάσεις είναι 18X24 εκατοστά. Θα υπολογισθεί το μέγεθος του αρχείου που προκύπτει.*

Τα 18 cm είναι $18/2.54 = 7.1$ ίντσες και με ανάλυση 300dpi δίνει $7.1 \times 300 = 2125$ σημεία. Τα 24 cm είναι 9.4 ίντσες και δίνουν 2834 σημεία. Η εικόνα έχει $2125 \times 2834 = 6022000$ σημεία. Με 24bit για κάθε ένα σημείο προκύπτει το μέγεθος του αρχείου $6022000 \times 24 \text{bit} = 144.5 \text{Mbit} = \mathbf{18.1 \text{Mbyte}}$.

Αν η ψηφιακοποιημένη εικόνα προορίζεται μόνο για παρουσίαση στην οθόνη, η ανάλυση γίνεται στα 75dpi. Αν η εικόνα πρόκειται να τυπωθεί, τότε χρειάζεται να σαρωθεί με ανάλυση τουλάχιστον 300dpi. Το μέγεθος της εικόνας σε ψηφιακή μορφή εξαρτάται από την ανάλυση, την επιφάνειά της και τον αριθμό χρωμάτων.

Από τα αρχεία που προκύπτουν μετά την ψηφιακοποίηση ήχων και εικόνων εξάγονται μερικά συμπεράσματα:

α) Αν η έγχρωμη εικόνα του παραδείγματος μεγέθους 18.1Mbyte βρίσκεται αποθηκευμένη σε απομακρυσμένο υπολογιστή και πρόκειται να μεταφερθεί μέσω του διαδικτύου, μπορεί να υπολογιστεί ο χρόνος που θα χρειαστεί για τη μεταφορά. Η ταχύτητα μεταφοράς μέσω μόντεμ σε ώρες που δεν υπάρχει συμφόρηση είναι περίπου 1.5kbyte/s. Ο απαιτούμενος χρόνος είναι $18100/1.5 = 12066$ s = 3 ώρες και 18 λεπτά.

β) Αν αντί για μόντεμ χρησιμοποιηθεί αφιερωμένη γραμμή με ταχύτητα 2 Mbyte/s, ο χρόνος μεταφοράς της ίδιας εικόνας θα ήταν μόνο $18.1/2=9$ δευτερόλεπτα!

γ) Πέντε δευτερόλεπτα ομιλίας καταλαμβάνουν στον υπολογιστή τρεις φορές μεγαλύτερο μέγεθος από μία σελίδα κειμένου. Μία έγχρωμη φωτογραφία 18X24cm σε ψηφιακή μορφή ισοδυναμεί με 1645 δευτερόλεπτα ομιλίας. Επομένως ισχύει και εδώ το «μία εικόνα αξίζει χίλιες λέξεις».

Κινούμενη εικόνα (βίντεο)

Στην ψηφιακή μορφή μιας κινούμενης εικόνας υπάρχει μια συνεχής και γρήγορη εναλλαγή εικόνων με το χρόνο. Μ' αυτό τον τρόπο δίνεται η αίσθηση της κίνησης.

Υπολογίζοντας το μέγεθος ενός αρχείου βίντεο με **υψηλή ανάλυση** 1280X720, με **υψηλή ευκρίνεια** 16 εκατομμύρια χρώματα (24bit/σημείο) και με ρυθμό ανανέωσης 60 πλαίσια ανά δευτερόλεπτο προκύπτουν για κάθε **ένα δευτερόλεπτο** 1200Mbytes δεδομένων. Ένας τέτοιος ρυθμός μετάδοσης απαιτεί ειδικό εξοπλισμό για αποθήκευση και για επεξεργασία. Για να μειωθεί ο όγκος των δεδομένων του βίντεο γίνεται κάποια επεξεργασία. Το αποτέλεσμα αυτής της επεξεργασίας είναι η μείωση του αριθμού των δεδομένων, χωρίς να είναι αντιληπτή η υποβάθμιση της ποιότητας της εικόνας. Η επεξεργασία αυτή ονομάζεται συμπίεση δεδομένων και βρίσκεται μεγάλη εφαρμογή στη μεταφορά, τη μετάδοση και την αποθήκευση δεδομένων.

Οι διαδοχικές εικόνες ονομάζονται πλαίσια (ή καρτέ). Το κάθε ένα πλαίσιο είναι μία ακίνητη φωτογραφία. Τα πλαίσια ανά δευτερόλεπτο εκφράζουν την ταχύτητα με την οποία εμφανίζονται στην οθόνη διακριτές ακίνητες εικόνες (πλαίσια), προκαλώντας την αίσθηση της κίνησης. Για ικανοποιητική αίσθηση της κίνησης, ο ρυθμός εναλλαγής των πλαισίων (frame rate) πρέπει να είναι τουλάχιστον 25 πλαίσια το δευτερόλεπτο (25 **fps frames per second**). Κάνοντας υπολογισμούς, για ένα και μόνο δευτερόλεπτο δράσης (κινούμενης εικόνας) με μέτρια ανάλυση 320X200 και 256 χρώματα για κάθε σημείο (8bit), φαίνεται ότι απαιτείται χώρος 1.6 Mbytes. Για ένα λεπτό κινηματογραφικής ταινίας με την παραπάνω ανάλυση (320 X 200 X 256) χρειάζονται

96Mbyte. Τα πράγματα δυσκολεύουν, όταν πρέπει αυτή η ψηφιακοποιημένη ταινία να μεταδοθεί μέσω ενός δικτύου, ώστε να τη δει κάποιος που βρίσκεται μακριά. Για να μην αλλοιωθεί η αίσθηση της κίνησης, θα πρέπει η μετάδοση να γίνεται με ρυθμό τουλάχιστον 25 πλαίσια το δευτερόλεπτο ή 12.8Mbits/sec. Τέτοια κανάλια επικοινωνίας έχουν προς το παρόν μεγάλο κόστος.

9.2 ΕΝΟΠΟΙΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΦΩΝΗΣ ΚΑΙ ΕΙΚΟΝΑΣ

9.2.1 Τα πολυμέσα

Με τις σημερινές δυνατότητες ο υπολογιστής μπορεί να συγκεντρώνει και να παρουσιάζει *πληροφορίες* όλων των μορφών, δηλαδή από όλα τα υπάρχοντα μέσα. Ο ήχος, οι εικόνες, το βίντεο, τα κείμενα και τα σχέδια θα ονομάζονται παρακάτω πληροφορίες. Αν διαθέτει τις κατάλληλες περιφερειακές μονάδες, ένας χρήστης με τη βοήθεια του υπολογιστή μπορεί:

- να δημιουργεί, να απεικονίζει, να αποθηκεύει και να επεξεργάζεται σχέδια, κείμενα και φωτογραφίες.
- να αναπαράγει, να καταγράφει από διάφορες πηγές και να επεξεργάζεται μουσική υψηλής πιστότητας (HIFI) μετατρέποντας τον ήχο σε ψηφιακή μορφή.
- να λαμβάνει, να επεξεργάζεται και να καταγράφει ραδιοφωνικές και τηλεοπτικές μεταδόσεις (βίντεο) μετατρέποντας την κινούμενη εικόνα σε ψηφιακή μορφή.

Όλες αυτές τις πληροφορίες καθώς και άλλες καθαρά ψηφιακές, ο υπολογιστής τις επεξεργάζεται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο. Οι πληροφορίες αυτές μπορεί να βρίσκονται στα αποθηκευτικά μέσα του χρήστη ή να υπάρχουν σε μεγάλους υπολογιστές, σε οποιοδήποτε μέρος του πλανήτη.

Τα πολυμέσα στις επικοινωνίες

Όταν η πληροφορία πρέπει να μεταδοθεί άμεσα σε μακρινή απόσταση μέσω του δικτύου, υπάρχουν μεγάλες **απαιτήσεις** και περιορισμοί, οι οποίοι πρέπει να πληρούνται από τον υπολογιστή του χρήστη, από το δίκτυο και από τα υπολογιστικά συστήματα (servers) των κόμβων του δικτύου.

Για παράδειγμα, σε μία τηλεφωνική συνομιλία πρέπει η φωνή του ενός ομιλητή να φτάνει **άμεσα** στον άλλο. Αν η καθυστέρηση υπερβεί τα 0.1 δευτερόλεπτα η επικοινωνία γίνεται προβληματική. Το δίκτυο επομένως, όταν εκτελεί τη μεταφορά των πακέτων δεδομένων, πρέπει να εξετάζει όχι μόνο τον προορισμό, αλλά και το **είδος** της πληροφορίας που μεταφέρεται και να δώσει την κατάλληλη προτεραιότητα.

Το αρχείο μιας εικόνας σε ψηφιακή μορφή που **μεταφέρεται** για παράδειγμα από τον υπολογιστή του μουσείου του Λούβρου στην οθόνη ενός άλλου υπολογιστή μπορεί να έχει μεγάλο μέγεθος αλλά ο χρόνος μεταφοράς δεν είναι κρίσιμος. Επομένως, στα πακέτα που χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά της θα δίνεται μικρή προτεραιότητα από το δίκτυο. Αντίθετα, τα πακέτα που μεταφέρουν δεδομένα τηλεφωνικής ομιλίας θα πρέπει να έχουν υψηλή προτεραιότητα, ώστε να διατηρείται η **μετάδοση** της τηλεφωνικής συνδιάλεξης χωρίς διακοπές και διαλείψεις.

Ένα ακόμη παράδειγμα αφορά τη μετάδοση πολύ ευαίσθητων δεδομένων, όπως τραπεζικές συναλλαγές και χρεώσεις πιστωτικών καρτών. Σε τέτοιου είδους πληροφορίες η κύρια απαίτηση είναι η **ασφάλεια** και η **απουσία λαθών**. Τα δίκτυα τα οποία μεταφέρουν τέτοια δεδομένα είναι κατά κανόνα ιδιωτικά (κλειστά). Αντίθετα, το διαδίκτυο είναι ανοικτό, πράγμα που σημαίνει ότι οι πληροφορίες οι οποίες περιέχονται σε έναν υπολογιστή του δικτύου είναι διαθέσιμες σε όλους.

Όλες οι παραπάνω πληροφορίες μπορούν να αναζητούνται και να συγκεντρώνονται στον υπολογιστή και **να παρουσιάζονται με ενιαίο τρόπο**. Αυτή η παρουσίαση (συνήθως στον υπολογιστή) της πληροφορίας με όλες τις δυνατές μορφές αποτελεί το **πολυμέσο**.

9.3 ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΣΤΕΝΗΣ ΚΑΙ ΕΥΡΕΙΑΣ ΖΩΝΗΣ

9.3.1 Υπηρεσίες στενής ζώνης

Υπηρεσία	Χωρητικότητα καναλιού (kbit/s)
Ομιλία (PCM)	64
Ομιλία συμπιεσμένη	4.8 - 32
Επικοινωνίες δεδομένων	1.2 - 128
Τηλεομοιοτυπία (Fax)	4.8 - 64
Videotex	9.6 - 64
Τηλεδιάσκεψη χαμηλής ποιότητας (βιντεοτηλέφωνο)	128
Ηλεκτρονικό εμπόριο	4.8 - 128

Πίνακας 9.1 Υπηρεσίες στενής ζώνης.

και μικρό αριθμό πλαισίων ανά δευτερόλεπτο. Χρησιμοποιεί επίσης και περιορισμένο αριθμό χρωμάτων για να επιτύχει χαμηλό ρυθμό μετάδοσης. Η ομιλία έχει εύρος ζώνης 4kHz όπως και στην κωδικοποίηση PCM. Στον πίνακα 9.1 φαίνονται οι υπηρεσίες αυτές μαζί με τον ρυθμό μετάδοσης (χωρητικότητα καναλιού).

Οι υπηρεσίες οι οποίες δεν έχουν μεγάλες απαιτήσεις από το κανάλι (π.χ. τηλεφωνική γραμμή) και δεν απαιτούν υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης ούτε ειδική σύνδεση με αφιερωμένη γραμμή ονομάζονται *υπηρεσίες στενής ζώνης*. Για φυσικό μέσο μετάδοσης χρησιμοποιούν το απλό δισύρματο καλώδιο. Η τηλεδιάσκεψη χαμηλής ποιότητας μεταφέρει ομιλία και κινούμενη εικόνα με πολύ μικρή ανάλυση

9.3.2 Υπηρεσίες ευρείας ζώνης

Οι νέες τάσεις που αρχίζουν να επικρατούν στον τομέα των τηλεπικοινωνιών επικεντρώνονται στις λεγόμενες οπτικοακουστικές υπηρεσίες (audio-visual services). Η πρώτη είναι η οπτική τηλεφωνία (video telephony) και η δεύτερη η οπτικοακουστική τηλεδιάσκεψη (video conference). Μετά από την επιτυχή μετάδοση ραδιοφωνικών εκπομπών στο διαδίκτυο έχει αρχίσει τα τελευταία χρόνια και η μετάδοση τηλεοπτικών προγραμμάτων. Η λήψη των ραδιοφωνικών εκπομπών λόγω και της συμπίεσης γίνεται με απλή τηλεφωνική σύνδεση.

Η λήψη τηλεοπτικών εκπομπών από το διαδίκτυο έχει μεγαλύτερες απαιτήσεις σε ταχύτητα. Επίσης το περιεχόμενο στο διαδίκτυο αποκτά ολοένα περισσότερα αρχεία με βίντεο και φωτογραφίες υψηλής ανάλυσης (πολυμέσα) που απαιτούν

σύνδεση υψηλού ρυθμού για να μεταβιβάζονται στους συνδρομητές. Οι επικοινωνίες με πολυμέσα μπορεί να γίνονται μεταξύ δύο συνδρομητών του δικτύου, αλλά και μεταξύ ενός συνδρομητή και μιας ομάδας συνδρομητών ή μεταξύ δύο ομάδων. Ο ρυθμός μετάδοσης στον κορμό του δικτύου, αν αυτό προσφέρει υπηρεσίες ευρείας ζώνης, μπορεί να φτάνει τις δεκάδες δισεκατομμύρια bit/s. Ο ρυθμός στους συνδρομητές

πρέπει να είναι τουλάχιστον 2-10 Mbit/s και χωρίς καθυστερήσεις για μετάδοση «ζωντανής» κινούμενης εικόνας. Στον πίνακα 9.2 φαίνονται οι υπηρεσίες ευρείας ζώνης με την απαιτούμενη ταχύτητα σύνδεσης (χωρητικότητα καναλιού).

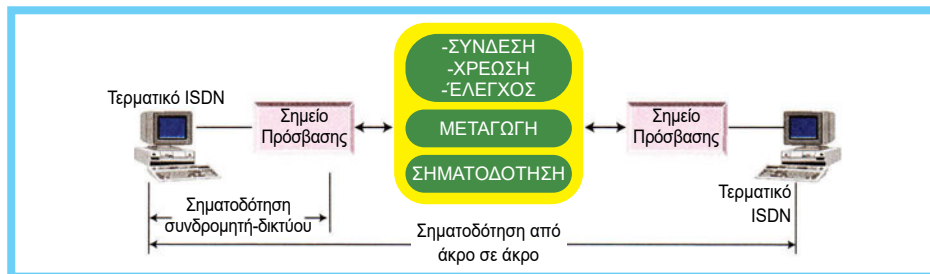
Υπηρεσία	Χωρητικότητα καναλιού (kbit/s)
Τηλεδιάσκεψη - βιντεοτηλέφωνο	0.128 - 40
Τηλεόραση	215
Τηλεόραση συμπιεσμένη	2 - 34
Τηλεφημερίδα με πολυμέσα	2
Τηλεεκδόσεις με πολυμέσα	2
Ταχυδρομείο κειμένου, εικόνας και ήχου	2
Videotex με κινούμενη εικόνα	2 - 34

Πίνακας 9.2 Υπηρεσίες ευρείας ζώνης.

9.4 ΨΗΦΙΑΚΟ ΔΙΚΤΥΟ ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ (ISDN)

Μέχρι πρόσφατα, η βασική διεθνής τηλεπικοινωνιακή υποδομή ήταν το τηλεφωνικό δίκτυο. Το δίκτυο αυτό έχει σχεδιασθεί για αναλογική μετάδοση φωνής και ήταν επομένως ανεπαρκές για τις νέες τηλεπικοινωνιακές ανάγκες που σχετίζονται με τη μετάδοση δεδομένων, εικόνας κ.λπ. Οι νέες αυτές απαιτήσεις επέβαλαν την ανάγκη για αντικατάσταση του παλαιού αναλογικού δικτύου με ένα πιο βελτιωμένο ψηφιακό σύστημα, το οποίο θα έχει ως κύριο στόχο την ολοκλήρωση των υπηρεσιών φωνής και δεδομένων διακινώντας την πληροφορία με έναν ενιαίο τρόπο μετάδοσης. Το σύστημα αυτό ονομάζεται *Ψηφιακό Δίκτυο Ολοκληρωμένων Υπηρεσιών* (ISDN: Integrated Services Digital Network).

Το ISDN πρόκειται ουσιαστικά για μια νέα σχεδίαση και χρησιμοποίηση του ήδη υπάρχοντος τηλεφωνικού συστήματος. Χρησιμοποιεί το ίδιο φυσικό μέσο διάδοσης,



Σχήμα 9.4.1 Η αρχιτεκτονική του δικτύου ISDN.

Ο ρυθμός 64 kbit/s επιλέχθηκε να είναι το βασικό κανάλι μεταγωγής κυκλώματος. Βέβαια, η τεχνολογική πρόοδος επέτρεψε στο μεταξύ να αρκούν 32 kbit/s ή ακόμα λιγότερο για εξίσου ικανοποιητική μετάδοση φωνής. Όμως το πρότυπο των 64 kbit/s παρέμεινε και είναι ένα απτό παράδειγμα των μειονεκτημάτων της προτυποποίησης, ότι, δηλαδή, μέχρι κάποιο μέγεθος να προτυποποιηθεί συχνά έχει ήδη ξεπεραστεί από την τεχνολογία. Επομένως, τα 64 kbit/s είναι πια πολλά για ένα κανάλι φωνής. Από την άλλη, τα 64 kbit/s είναι πολύ λίγα για μερικές εφαρμογές ψηφιακής μετάδοσης δεδομένων.

το δισύρματο καλώδιο και κατάλληλες διεπαφές (συνδετήρες - connectors) στα άκρα που συνδέουν το χρήστη με το δίκτυο. Το ISDN έχει προτυποποιηθεί από τη CCITT και χαρακτηρίζεται από τα ακόλουθα βασικά γνωρίσματα που ονομάζονται και **αρχές** του ISDN:

1. Υποστηρίζει εφαρμογές και υπηρεσίες μετάδοσης φωνής (τηλεφωνία) και μετάδοσης δεδομένων.
2. Βασίζεται στο ψηφιακό τηλεφωνικό κανάλι των 64 kbit/s. Ο ρυθμός αυτός επιλέχθηκε, διότι είναι το PCM πρότυπο για ψηφιακοποιημένη φωνή. Το ISDN είναι ουσιαστικά ένα δίκτυο μεταγωγής κυκλώματος. Όμως μπορεί να υποστηρίξει και κίνηση δεδομένων με τη μορφή μεταγωγής πακέτων.
3. Προσφέρει ευελιξία στο δίκτυο και παρέχει στο χρήστη υπηρεσίες που ξεπερνούν τα όρια μιας απλής σύνδεσης κυκλώματος φωνής.

9.4.1 Βασική και πρωτεύουσα κατηγορία πρόσβασης

Υπάρχουν δύο βασικά πρότυπα για τον ψηφιακό δίαυλο, ένα πρότυπο μικρού εύρους ζώνης για κοινή χρήση περιορισμένων απαιτήσεων (π.χ. συνδρομητής στο σπίτι) και ένα πρότυπο μεγάλου εύρους ζώνης για επαγγελματική χρήση (π.χ. τηλεπικοινωνιακό περιβάλλον μιας εταιρείας), το οποίο υποστηρίζει πολλά κανάλια πανομοιότυπα με το κανάλι που προορίζεται για τον κοινό χρήστη.

Οι δύο βασικοί τύποι πρόσβασης στο ISDN είναι η **βασική πρόσβαση** (BRA, **B**asic **R**ate **A**ccess) και η **πρόσβαση πρωτεύοντος ρυθμού** (PRA, **P**rietary **R**ate **A**ccess).

Η **βασική πρόσβαση** αποτελείται από δύο αμφίδρομα κανάλια των 64 kbit/s και ένα αμφίδρομο κανάλι σηματοδότησης 16 kbit/s. Ο συνολικός ρυθμός είναι $2 \times 64 + 16 = 144$ kbit/s, αλλά λόγω διευθέτησης σε πλαίσια συγχρονισμού και άλλων επιπλέον bits ο ρυθμός αυτός σε μια βασική ζεύξη μπορεί να φτάσει τα 192 kbit/s. Η βασική αυτή υπηρεσία στοχεύει στο να ικανοποιήσει τις ανάγκες των περισσότερων απομονωμένων συνδρομητών. Επιτρέπει την ταυτόχρονη μετάδοση φωνής και μερικών εφαρμογών δεδομένων, όπως μεταγωγή πακέτων, πληροφορία συναγερμού, FAX, teletex κ.ά.

Η **πρόσβαση πρωτεύοντος ρυθμού** απευθύνεται σε συνδρομητές με μεγαλύτερες απαιτήσεις σε χωρητικότητα δικτύου, όπως π.χ. εταιρείες που έχουν ψηφιακό ιδιωτικό κέντρο (PBX ή ISPBX) ή ένα LAN. Στην πρόσβαση πρωτεύοντος η δομή της μετάδοσης είναι 1984 kbit/s (31 κανάλια των 64 kbit/s).

Η γραμμή αυτή ονομάζεται «γραμμή 2 μεγαμπίτ» και χρησιμοποιείται συχνά στο εθνικό δίκτυο του διαδικτύου από πολλούς παροχείς.

9.4.2 Υπηρεσίες του ISDN

Το ISDN προσφέρει ένα ευρύ φάσμα υπηρεσιών, υποστηρίζοντας τις ήδη υπάρχουσες εφαρμογές μετάδοσης φωνής και δεδομένων αλλά και νέες εφαρμογές που συνεχώς αναπτύσσονται. Το ISDN, για να διαχειρίζεται τις διαφορετικές υπηρεσίες, πρέπει να έχει την ικανότητα να:

- **Μεταβιβάζει αποτελεσματικά συνεχή καθώς και καταιγιστική ροή δεδομένων.**
- **Εκχωρεί εύρος ζώνης κατόπιν αίτησης του χρήστη.**
- **Επιτρέπει γρήγορη αποκατάσταση και απόλυση της κλήσης.**
- **Διαχειρίζεται μία ευρεία περιοχή ρυθμών μετάδοσης και χρόνων διάρκειας κλήσεων.**
- **Εξασφαλίζει χαμηλό ρυθμό σφαλμάτων, μικρή καθυστέρηση μηνυμάτων απ' άκρου σ' άκρο και χαμηλούς ρυθμούς εσφαλμένης παράδοσης μηνυμάτων.**
- **Παρέχει αρκετά επίπεδα ασφαλείας των επικοινωνιών.**

Οι υπηρεσίες διακρίνονται γενικά σε δύο κατηγορίες: στις αλληλεπιδραστικές υπηρεσίες (interactive services) και στις υπηρεσίες διανομής (distribution services). Οι αλληλεπιδραστικές υπηρεσίες υποδιαιρούνται με τη σειρά τους σε υπηρεσίες συνομιλίας, μηνύματος και ανάκτησης πληροφοριών.

Είναι δυνατό στο συνδρομητή που έχει μεγάλες απαιτήσεις να χρησιμοποιήσει μεγαλύτερο αριθμό καναλιών των 64 kbit/s (από 2 ως 30). Ανάλογα με την τερματική συσκευή αυτά τα κανάλια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μία ποικιλία υπηρεσιών:

- Τηλεφωνία (Telephony)
- Τηλεκειμενογραφία (Teletex)
- Τηλεομοιοτυπία (Telefax, Facsimile)
- Τηλεεικονογραφία (Videotex)
- Τηλεδράση (Teleaction)
- Μετάδοση δεδομένων (Data transmission)
- Μετάδοση ακίνητης ή με αργή κίνηση εικόνας
- Εικονοτηλεφωνία

Αν και ορισμένες από αυτές τις υπηρεσίες παρέχονται και σήμερα, η παροχή τους από το ISDN προσφέρει αναβαθμισμένη ποιότητα για τους εξής δύο λόγους:

1. Όλες αυτές οι υπηρεσίες προσφέρονται από ένα και μόνο δίκτυο και
2. Το κανάλι προσφέρει εντελώς ψηφιακή μετάδοση και επεξεργασία και αυξημένο ρυθμό μετάδοσης των 64 kbit/s.

Παροχές υπηρεσιών Internet

Οι *παροχές υπηρεσιών internet* (ISP, Internet Service Providers) είναι εταιρείες οι οποίες έχουν ενοικιάσει τηλεπικοινωνιακές γραμμές από τηλεπικοινωνιακούς οργανισμούς. Κάθε μια από αυτές τις γραμμές ονομάζεται κορμός ή «ραχοκοκαλιά» (backbone) του δικτύου. Στην Ελλάδα μέχρι σήμερα οι παροχές μισθώνουν ψηφιακές τηλεπικοινωνιακές γραμμές από τον εθνικό τηλεπικοινωνιακό φορέα, τον ΟΤΕ. Οι γραμμές αυτές είναι συνήθως 2Mbps και άνω. Στην Ελλάδα υπάρχουν αρκετοί παροχείς υπηρεσιών ιντερνέτ.

Εκτός από τις τηλεφωνικές γραμμές, οι παροχείς διαθέτουν και κατάλληλο εξοπλισμό που αποτελείται από ειδικούς υπολογιστές, μόντεμ και άλλες συσκευές. Οι ειδικοί υπολογιστές ονομάζονται διακομιστές ή εξυπηρετητές (servers) και είναι διαφόρων κατηγοριών, όπως Web Servers, για πληροφορίες παγκόσμιου ιστού, Mail Servers, για την υποστήριξη ηλεκτρονικού ταχυδρομείου, FTP Servers, για τη μεταφορά αρχείων κ.λπ.

Οι παροχείς διαθέτουν συνήθως αρκετές τηλεφωνικές γραμμές όπου συνδέονται οι συνδρομητές - χρήστες. Για να γίνει κάποιος συνδρομητής, κάνει την εγγραφή του σε κάποιο παροχέα και παίρνει τον προσωπικό του κωδικό. Στους χρήστες υπάγονται και διάφορες δημόσιες υπηρεσίες, οργανισμοί, εταιρείες κ.λπ., που μπορούν να συνδέσουν στο Internet το δίκτυό τους. Ο χρήστης, ο οποίος έχει συνδεθεί στο διαδίκτυο, έχει πρόσβαση σε μια σειρά από παρεχόμενες υπηρεσίες, οι οποίες έχουν εμπλουτιστεί σε τέτοιο βαθμό που ξεπέρασαν τις αρχικές προβλέψεις των δημιουργών τους.

και της υπηρεσίας www, άρχισαν να συνδέονται μαζικά και οι μεμονωμένοι χρήστες. Καθιερώθηκε παγκοσμίως με το όνομα Internet. Σήμερα υπάρχουν εκατομμύρια χρήστες του διαδικτύου που αυξάνονται με ραγδαίους ρυθμούς.

Για να λειτουργήσει ένα δίκτυο, πρέπει να τεθούν σαφείς κανόνες επικοινωνίας που ονομάζονται πρωτοκόλλα. Τα **πρωτόκολλα επικοινωνίας** είναι αυτά που ελέγχουν και συντονίζουν όλα τα μεταφερόμενα δεδομένα. Το βασικό πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται στο διαδίκτυο είναι το **IP** (Internet Protocol).

9.5.1 Παγκόσμιος ιστός - Αναζήτηση πληροφοριών

Τα εκατομμύρια υπολογιστών, στο διαδίκτυο, περιέχουν πολλές και ιδιαίτερα χρήσιμες πληροφορίες, πολλές από τις οποίες δεν υπάρχουν παρά μόνο σε ψηφιακή μορφή. Η πρόσβαση στις πληροφορίες αυτές γίνεται με τη βοήθεια ειδικών προγραμμάτων.

9.5 ΥΠΗΡΕΣΙΕΣ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ (INTERNET)

Η σημερινή εποχή χαρακτηρίζεται από τη ραγδαία επέκταση των δικτύων σε ολόκληρο τον πλανήτη. Η συννεργασία ανάμεσα στον υπολογιστή και στο τηλέφωνο οδηγεί στη χρήση της τηλεματικής από όλο και μεγαλύτερα στρώματα του πληθυσμού σε όλες τις προηγμένες χώρες.

Το διαδίκτυο (Internet-**International Network**) αποτελεί σήμερα το πιο μεγάλο δίκτυο του πλανήτη, το οποίο συνδέει πάρα πολλά διαφορετικά δίκτυα υπολογιστών σε όλο τον κόσμο. Ξεκίνησε τη δεκαετία του 1960 από το Υπουργείο Εθνικής Άμυνας των ΗΠΑ. Αρχικό σκοπό είχε την αδιάλειπτη ψηφιακή επικοινωνία των κόμβων του σε περίπτωση πολέμου. Τη δεκαετία του 1980, εξαπλώθηκε στα πανεπιστήμια της Αμερικής και της Ευρώπης, όπου χρησιμοποιήθηκε κυρίως για μεταφορά ηλεκτρονικών μηνυμάτων και μεταφορά αρχείων. Σταδιακά συνδέθηκαν σε αυτό εκπαιδευτικά και ερευνητικά ιδρύματα, καθώς και διάφορες εταιρείες. Το 1990, με την εμφάνιση των πολυμέσων

Το σύνολο των πληροφοριών του διαδικτύου αποτελεί ένα **τεράστιο** όγκο δεδομένων ο οποίος συνεχώς διευρύνεται. Η διαχείριση των δεδομένων αυτών είναι αδύνατη και αναποτελεσματική χωρίς την ύπαρξη ειδικών εργαλείων. Για το λόγο αυτό, αναπτύχθηκαν εργαλεία-εφαρμογές, οι οποίες επιτρέπουν την έρευνα και τον εντοπισμό των επιθυμητών πληροφοριών στο διαδίκτυο.

Οι πληροφορίες στο διαδίκτυο αποτελούν Βάσεις Δεδομένων οι οποίες είναι οργανωμένες με μορφή υπερκειμένου. Το υπερκείμενο είναι ένα σύνολο από κείμενα συνδεδεμένα μεταξύ τους. Τα κείμενα αυτά δεν συνδέονται σειριακά και μπορεί να διαβαστούν με διάφορους τρόπους, έτσι ώστε να είναι αδύνατο να παρουσιαστούν με ένα κανονικό βιβλίο.

Οι εφαρμογές (ή εργαλεία) αναζήτησης παρέχουν στο χρήστη ένα περιβάλλον με τη μορφή υπερκειμένου (hypertext), όπως ο Παγκόσμιος ιστός (WWW, **W**orld **W**ide **W**eb), για τη διαχείριση του τεράστιου όγκου πληροφοριών. Κύριο μέλημα των εφαρμογών αυτών είναι ο χρήστης να χρησιμοποιεί όσο δυνατόν λιγότερα προγράμματα για να αξιοποιεί τις πηγές πληροφορίας.

Ο Παγκόσμιος ιστός ή απλά WWW αποτελεί την κυριότερη σήμερα υπηρεσία του διαδικτύου για αναζήτηση πληροφοριών. Η υπηρεσία αυτή παρέχει τη δυνατότητα:

- α)** αναζήτησης,
- β)** εντοπισμού,
- γ)** μεταφοράς των δεδομένων του διαδικτύου και
- δ)** περιήγησης, με ιδιαίτερα φιλικό τρόπο. Επιτρέπει την εμφάνιση των δεδομένων σε μορφή κειμένου, εικόνας, ήχου και βίντεο.

Η κατεξοχήν πρακτική χρήση του WWW είναι η «πλοήγηση» στις σελίδες του, οι οποίες περιέχουν συνδέσμους (ενεργά σημεία κειμένου, εικόνων ή γραφικών), επιτρέποντας το πέρασμα από τον ένα κόμβο στον άλλο (ή σε σελίδες του ίδιου κόμβου) με απλή επιλογή σε κάποιο σύνδεσμο.

9.5.2 Ηλεκτρονικό Ταχυδρομείο

Η πλέον γνωστή και ταυτόχρονα η πιο χρησιμοποιημένη υπηρεσία στο διαδίκτυο είναι αυτή του ηλεκτρονικού ταχυδρομείου (email). Η υπηρεσία αυτή συνιστά ίσως και την πιο σημαντική καινοτομία που καθιέρωσε το δίκτυο στη συνείδηση των χρηστών. Η γρήγορη και σίγουρη μετάδοση του μηνύματος (ή ακόμα και ενός ολόκληρου κειμένου πολλών σελίδων) αντικαθιστά κατά μεγάλο μέρος την τηλεφωνική και την ταχυδρομική επικοινωνία. Ο κάθε χρήστης, με την εγγραφή του στο Internet, αποκτά ένα όνομα σύνδεσης (User ID), που είναι η ταυτότητα του χρήστη στο δίκτυο, και έναν κωδικό πρόσβασης (password). Αυτά, αποκτά ηλεκτρονική διεύθυνση που προσδιορίζεται από το User ID και ένα «γραμματοκιβώτιο» στον εξυπηρετητή του παροχέα ο οποίος είναι υπεύθυνος για το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο (mail server).

Με το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο ο χρήστης μπορεί να στείλει κάποιο μήνυμα ή επιστολή σε μορφή κειμένου. Οι εφαρμογές που χρησιμοποιούνται για την υπη-

Κάθε υπολογιστής που είναι συνδεδεμένος στο Internet έχει μια μοναδική διεύθυνση πρωτοκόλλου Internet (IP Address). Έχει επίσης και ένα λογικό όνομα που αντιστοιχεί στη διεύθυνσή του. Τα ονόματα αποδίδονται με κάποια συγκεκριμένη λογική, η οποία σχετίζεται τόσο με τον τόπο όσο με το χώρο εφαρμογής. Παράδειγμα, ο υπολογιστής του Πανεπιστημίου Αθηνών έχει όνομα uoa (University Of Athens). Το όνομα του υπολογιστή χρησιμοποιείται και στο ηλεκτρονικό ταχυδρομείο.

Η ηλεκτρονική διεύθυνση ενός χρήστη αποτελείται από δύο συνθετικά τα οποία χωρίζονται με τον ειδικό χαρακτήρα @. Το πρώτο συνθετικό δηλώνει το όνομα του χρήστη και το δεύτερο το όνομα του υπολογιστή του παροχέα του. Αν η ταυτότητα (User ID) ενός χρήστη είναι το όνομα abc και είναι χρήστης του δικτύου του Πανεπιστημίου Αθηνών, η διεύθυνση του ηλεκτρονικού του ταχυδρομείου θα είναι abc@ua.gr.

ρεσία αυτή έχουν τη δυνατότητα, μαζί με το κείμενο της επιστολής, να περιέχουν ταυτόχρονα και συνημμένα αρχεία οποιασδήποτε μορφής (κειμένου, προγραμμάτων, γραφικών, εικόνων, ήχου κ.λπ.), με κάποιους περιορισμούς, συνήθως, στο μέγεθός τους.

Στα πλαίσια της ηλεκτρονικής αλληλογραφίας αναπτύχθηκε μαζικά και η χρήση των λεγόμενων ηλεκτρονικών καταλόγων (mailing lists). Η δημιουργία ομάδων κοινών ενδιαφερόντων από συνδρομητές-χρήστες επιτρέπει την ταυτόχρονη αποστολή του ίδιου μηνύματος σε όλα τα μέλη μιας ομάδας. Οι κατάλογοι αυτοί αποδεικνύονται ιδιαίτερα χρήσιμοι για ανταλλαγές μηνυμάτων μεταξύ επιστημόνων και ερευνητών.

9.5.3 Ηλεκτρονικό εμπόριο

Ολοένα και περισσότεροι καταναλωτές βρίσκουν ενδιαφέρουσα τη διαδικασία αναζήτησης και προμήθειας προϊόντων μέσω ενός ηλεκτρονικού δικτύου. Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του WWW είναι η δυνατότητα λεπτομερούς παρουσίασης του προϊόντος με τη χρήση πολυμέσων (ήχος, βίντεο, φωτογραφίες, δεδομένα). Ήδη από το 1998 οι έρευνες για τη χρήση του διαδικτύου έχουν δείξει ότι το 55% των ανθρώπων που χρησιμοποιούν το διαδίκτυο αναζητούν πληροφορίες και προδιαγραφές προϊόντων που τους ενδιαφέρουν. Οι λόγοι που ώθησαν τις επιχειρήσεις να αποκτήσουν εμπορική παρουσία στο διαδίκτυο είναι:

- Η άμεση ηλεκτρονική επικοινωνία με τους καταναλωτές παρακάμπτοντας όλους τους ενδιάμεσους εμπορικούς αντιπρόσωπους.
- Το ελάχιστο κόστος που απαιτείται για τη δημιουργία ηλεκτρονικής εμπορικής σελίδας.
- Η δυνατότητα να επισκέπτονται τη σελίδα του καταστήματος χρήστες-πελάτες από όλο τον πλανήτη οποιαδήποτε ώρα.
- Ηλεκτρονική πλήρη παρακολούθηση των αναζητήσεων των προτιμήσεων και των επιλογών του τελικού χρήστη καταναλωτή.

Σαν αποτέλεσμα οι επιχειρήσεις μπορούν να παράγουν ή να διαθέσουν τα προϊόντα που ανταποκρίνονται στα κριτήρια των καταναλωτών, αποφεύγοντας τις χρονοβόρες και ριψοκίνδυνες έρευνες αγοράς. Για τους χρήστες-καταναλωτές υπάρχουν πολλά οφέλη:

1. Εξοικονομούν χρόνο, διότι μπορούν να επισκεφτούν μέσα σε ελάχιστο χρόνο ένα μεγάλο αριθμό ηλεκτρονικών σελίδων από πολλά καταστήματα στο διαδίκτυο.

2. Απαλλάσσονται από τη δέσμευση του ωραρίου. Ειδικά ο σημερινός άνθρωπος με τους εντατικούς ρυθμούς εργασίας δεν έχει διαθέσιμο χρόνο να αφιερώσει για αγορές. Έτσι, η δυνατότητα αναζήτησης και αγοράς προϊόντων μέσω του διαδικτύου οποιαδήποτε ώρα του εικοσιτετράωρου είναι ανεκτίμητη.

3. Έχουν περισσότερες επιλογές. Η σημαντικότερη δυνατότητα είναι της σύγκρισης προϊόντων από διάφορους κατασκευαστές, ως προς την τιμή και ως προς τα χαρακτηριστικά. Μπορεί για παράδειγμα ένας χρήστης-καταναλωτής μέσα σε λίγα λεπτά της ώρας να αναζητήσει μία τηλεόραση με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και να επιλέξει έναν κατασκευαστή συγκρίνοντας τις τιμές.

4. Η δυνατότητα αγοράς αγαθών από το σπίτι έχει και κοινωνικές διαστάσεις. Ιδιαίτερα για ορισμένες ομάδες ανθρώπων, όπως:

α) τα άτομα με ειδικές ανάγκες, που αντιμετωπίζουν αντικειμενικές δυσκολίες και

β) οι κάτοικοι των ακριτικών και απομονωμένων περιοχών, το ηλεκτρονικό εμπόριο τους δίνει τη δυνατότητα να αισθάνονται ίσοι με τους υπόλοιπους πολίτες.

Το ηλεκτρονικό εμπόριο αναμένεται να εξαπλωθεί γρήγορα, αν εξασφαλιστεί η ακεραιότητα των εμπορικών συναλλαγών στο διαδίκτυο. Τα πιο βασικά πρόβλημα που πρέπει να λυθεί στις ηλεκτρονικές συναλλαγές μέσω του διαδικτύου δεν είναι η ταχύτητα διεκπεραίωσης αλλά η ασφάλεια του δικτύου. Η αλλοίωση ενός μικρού αριθμού δεδομένων κατά τη διάρκεια συναλλαγής στο διαδίκτυο μπορεί να έχει τεράστιες οικονομικές επιπτώσεις για το χρήστη.

9.5.4 Μεταφορά αρχείων

Με την υπηρεσία αυτή μπορούν να μεταφέρονται αρχεία από κάποιον υπολογιστή του δικτύου σε έναν άλλο μέσω του διαδικτύου.

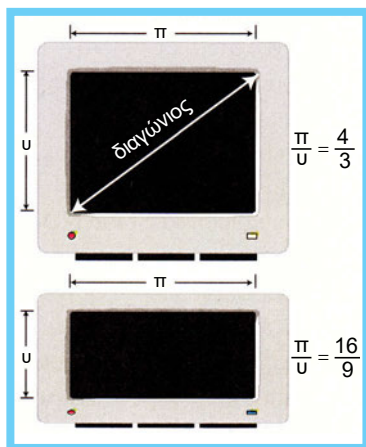
Το πρωτόκολλο που χρησιμοποιείται ονομάζεται πρωτόκολλο μεταφοράς αρχείων (FTP, **F**ile **T**ransfer **P**rotocol). Με την υπηρεσία αυτή ο κάθε χρήστης μπορεί να μεταφέρει εφαρμογές και πληροφορίες από όλο τον κόσμο.

MPEG (Motion Picture Experts Group)

Είναι η τυποποίηση της συμπίεσης έγχρωμης κινούμενης εικόνας (Video). Το 1993 τυποποιήθηκε το MPEG1 και το 1995 το MPEG2 ή MPEG-II (ISO/IEC 13818). Η πλήρης ψηφιακοποίηση μιας έγχρωμης τηλεοπτικής μετάδοσης χωρίς συμπίεση απαιτεί κανάλι με εξαιρετικά μεγάλο εύρος ζώνης συχνοτήτων (bandwidth).

Οι κωδικοποιητές που συμπιέζουν το τηλεοπτικό σήμα ανιχνεύουν την κίνηση και μεταδίδουν μόνο τις μεταβολές. Πετυχαίνουν με αυτό τον τρόπο μεγάλη συμπίεση. Η διαφορά του συμπιεσμένου από το πρωτότυπο τηλεοπτικό σήμα είναι συνήθως δύσκολο να παρατηρηθεί. Το MPEG1 σχεδιάστηκε για χαμηλές αναλύσεις και επιτρέπει συμπίεση εικόνας και ήχου μέχρι 1,5 Mbps με ικανοποιητική ανάλυση (360X288 pixels X 25 fps). Η ποιότητα δηλαδή περιορίζεται στο 1/4 του κανονικού τηλεοπτικού σήματος και είναι ισοδύναμη με την ποιότητα της βιντεοκασέτας VHS. Για μεγαλύτερη ανάλυση, το MPEG1 δεν αρκεί και χρησιμοποιείται η τυποποίηση MPEG2 η οποία καλύπτει σε ανάλυση και την τηλεόραση υψηλής ευκρίνειας (HDTV). Και οι δύο τυποποιήσεις χρησιμοποιούνται για αποθήκευση βίντεο σε οπτικά μέσα και σε εφαρμογές στον υπολογιστή.

9.6 ΣΥΓΚΛΙΣΗ ΤΗΛΕΟΡΑΣΗΣ, ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΚΑΙ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ



Σχήμα 9.6.1 (επάνω) Η οθόνη με λόγο πλευρών 4:3 και (κάτω) με λόγο πλευρών 16:9.



Σχήμα 9.6.2 Στη φωτογραφία φαίνεται η συσκευή STB τοποθετημένη πάνω στον τηλεοπτικό δέκτη. Η συσκευή STB μπορεί να χαρακτηριστεί «υβριδική», εφόσον περιέχει έναν υπολογιστή και ένα μόντεμ. Δίνει τη δυνατότητα «πλοήγησης» στο διαδίκτυο με ένα τηλεχειριστήριο. Μπορεί επίσης να συνδεθεί και με όλες τις οικιακές ηλεκτρονικές συσκευές εικόνας και ήχου. Για παράδειγμα μπορεί να κατευθύνει τη μουσική από το διαδίκτυο στο στερεοφωνικό συγκρότημα ή την εικόνα από τη βιντεοκάμερα σε άλλον συνδρομητή.

Μέσα στην πρώτη δεκαετία της ζωής του ο προσωπικός υπολογιστής κατάφερε να κερδίσει το επαγγελματικό περιβάλλον σε όλους τους τομείς. Τα τελευταία χρόνια άρχισε να εισέρχεται και στο οικιακό περιβάλλον, όπου χρησιμοποιείται για ψυχαγωγία, ενημέρωση, εκπαίδευση, σύνδεση στο διαδίκτυο αλλά και εργασία. Ο υπολογιστής πολυμέσων εύκολα μετατρέπεται σε τηλεφωνική συσκευή. Μπορεί μάλιστα να χρησιμοποιήσει το δίκτυο μετάδοσης δεδομένων για να μεταφέρει την ψηφιακοποιημένη φωνή σε οποιοδήποτε σημείο του πλανήτη.

Ο ηλεκτρονικός υπολογιστής διαθέτει δική του οθόνη με αναλογία πλευρών 4:3, με μεγάλη ανάλυση (τυπικά 1024X768 pixel) και με διαγώνια διάσταση συνήθως 15 έως 19 ίντσες. Από την άλλη πλευρά οι συμβατικοί τηλεοπτικοί δέκτες έχουν οθόνη με σχετικά μεγάλη διαγώνια διάσταση (συνήθως 19 έως 33 ίντσες) και μικρή ανάλυση σε σχέση με την οθόνη του υπολογιστή. Η οθόνη του υπολογιστή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τηλεοπτική λήψη, αρκεί ο υπολογιστής να διαθέτει το κατάλληλο υλικό και λογισμικό.

Η τηλεόραση με την κατάλληλη συσκευή μπορεί να προβάλλει τις ηλεκτρονικές σελίδες του διαδικτύου. Η συσκευή αυτή ονομάζεται **Set Top Box** (STB) και δίνει τη δυνατότητα σε όποιον δεν έχει ηλεκτρονικό υπολογιστή να έχει πρόσβαση στο διαδίκτυο, με απλό και ιδιαίτερα φιλικό τρόπο. Το STB χρησιμοποιεί την τηλεόραση για απεικόνιση και συνδέεται στην τηλεφωνική γραμμή από την οποία μεταφέρει τις πληροφορίες. Συσκευές οι οποίες στο παρελθόν είχαν έναν και μόνο ξεκάθαρο ρόλο, όπως το τηλέφωνο και η τηλεόραση, σήμερα αλληλεπικαλύπτονται. Εκτός από τη σύγκλιση

τηλεόρασης, τηλεφωνικής συσκευής και υπολογιστή έχουν εμφανιστεί και άλλες υβριδικές συσκευές οι οποίες έχουν πολλαπλές λειτουργίες όπως το UMTS (κεφάλαιο 8).

Η σύγκλιση των τερματικών συσκευών (ραδιοφωνο, τηλεόραση, τηλέφωνο και υπολογιστής) οφείλεται στη δυνατότητα μετατροπής κάθε μορφής πληροφορίας σε ψηφιακή μορφή.

Αυτή η σύγκλιση παρατηρείται επίσης στις υπηρεσίες και στα δίκτυα. Ένα δίκτυο καλωδιακής τηλεόρασης μπορεί να παρέχει στους συνδρομητές τηλεπικοινωνιακές υπηρεσίες. Οι καλωδιακές τηλεοπτικές εταιρίες, εκμεταλλευόμενες τα πλεονεκτήματα που τους προσφέρει η πρόσφατη νομοθεσία για την απελευθέρωση των τηλεπικοινωνιών, προσφέρουν στους συνδρομητές τους τηλεφωνία, τηλεόραση, ραδιοφωνία, πρόσβαση στο διαδίκτυο και άλλες υπηρεσίες μαζί.

Πολλές μάλιστα τηλεοπτικές καλωδιακές εταιρείες προσφέρουν χαμηλότερες τιμές για τις τηλεφωνικές συνδιαλέξεις από ό,τι ο τηλεπικοινωνιακός φορέας. Η σύγκλιση των υπολογιστών και των επικοινωνιών άρχισε με την ψηφιακοποίηση των τηλεπικοινωνιακών δικτύων κορμού (δηλαδή των συστημάτων μεταγωγής).

Η ψηφιακοποίηση στο δίκτυο των συνδρομητών (το δίκτυο πρόσβασης) θα προσφέρει: α) υψηλή ταχύτητα πρόσβασης στα δίκτυα δεδομένων, αλλά και β) υπηρεσίες μεγάλου εύρους ζώνης.



Σχήμα 9.6.3 Ο ηλεκτρονικός υπολογιστής με μια κάρτα επέκτασης μπορεί να λάβει τηλεοπτικά, συνδρομητικά, κωδικοποιημένα, δορυφορικά και καλωδιακά κανάλια, φυσικά με κατάλληλη κεραία και τις αντίστοιχες συνδρομές. Εκτός από την απλή λήψη, υπάρχουν επιπλέον δυνατότητες όπως προβολή πολλών καναλιών σε παράθυρα, σύνδεση με βιντεοκάμερα, αντιγραφή του βίντεο σε αποθηκευτικά μέσα (σκληρούς δίσκους, CD), άμεση συμπίεση βίντεο, σύλληψη εικόνας από το βίντεο ή τηλεοπτικό κανάλι κ.λπ. Οι δυνατότητες αυτές στο παρελθόν ήταν αδύνατον να πραγματοποιηθούν σε μια μόνο συσκευή.

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ 9ΟΥ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

1. Ποιοι είναι οι λόγοι που απαιτούν την ψηφιακοποίηση της πληροφορίας;
2. Αν σε ένα σήμα ομιλίας γίνεται δειγματοληψία με ταχύτητα 11000 δείγματα/sec, τι μέγεθος θα έχει το αρχείο ομιλίας 10sec, αν το κάθε δείγμα έχει μέγεθος 8bit;
3. Ποια είναι τα βασικά γνωρίσματα (αρχές) του ISDN;
4. Ποιοι τύπους καναλιών συνίστανται για τις υπηρεσίες που μπορεί να υποστηρίξει το ISDN;
5. Τι γνωρίζετε για τις υπηρεσίες που μπορεί να υποστηρίξει το ISDN;
6. Τι είναι το διαδίκτυο, πώς ξεκίνησε και ποια είναι η σημερινή του μορφή;
7. Ποιες υπηρεσίες μπορεί να υποστηρίξει το διαδίκτυο;
8. Τι επιτυγχάνεται με το πρωτόκολλο μεταφοράς αρχείων (FTP);
9. Πώς περιμένετε να εξελιχθεί το μέλλον στις τηλεπικοινωνίες μετά από τη σύγκλιση τηλεόρασης, τηλεπικοινωνιών και πληροφορικής;

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- A. Αλεξόπουλου**, Γ. Λαγογιάννη, «Τηλεπικοινωνίες και Δίκτυα Υπολογιστών», Εκδ. Παπασωτηρίου, 1997.
- Bahl, P. Bhartia**, «Microwave Solid State Circuit Design», J. Wiley & Sons, 1988.
- D. Bertsekas**, R. Gallager, «Data Networks», Prentice-Hall Inc., 1987.
- Γ. Βορβή**, «Επιπτώσεις των νέων συστημάτων σε εφαρμογές τηλεματικής», FORUM Επικοινωνιών, 25-26 Μαΐου 1998.
- Δ. Βότση**, Γ. Τζαβάρα, «Τεχνολογική υποδομή για την Κοινωνία της Πληροφορίας», FORUM Επικοινωνιών, 25-26 Μαΐου 1998.
- W. Baker**, «A history of the Marconi company», Routledge, 1970.
- Brad Brannon**, «Digital receiver design requires reevaluation of parameters», EDN, November 5, 1998, pg 97.
- Brad Brannon**, Δημήτριος Ευσταθίου and Tom Gratzek, «A look at software radios», ELECTRONIC DESIGN, December 1, 1998, pg 117.
- A. Brown**, «VLSI - Circuits and Systems in Silicon», McGraw-Hill Book Company (UK), 1991.
- Π. Γεωργιάδης**, Δ. Γκούσκου, Χ. Καλλιγά, Σ. Μπακογιάννη, Σ. Μπινόπουλου, Γ. Χάλαρη, Μελέτη ΕΠΥ, «Εκπόνηση Προσοντολογίου/Καθηκοντολογίου Επαγγελματιών στις Τεχνολογίες Πληροφορίας και Επικοινωνιών του Δημόσιου Τομέα», Σεπτ. 1996.
- Δ. Δενιόζος**, «Τηλε-εργασία και Κοινωνία των Πληροφοριών», Εθνικό Ινστιτούτο Εργασίας, FORUM Επικοινωνιών, 26 Μαΐου 1998.
- Π. Δρανδάκης**, «Μεγάλη ελληνική Εγκυκλοπαίδεια», Εκδ. Οργανισμός «Ο Φοίνιξ».
- Εγκυκλοπαίδεια «Δομή»**, Εκδ. «Δομή», Αθήνα 1972.
- P.H. Ladbrooke**, «MMIC Design: GaAs FETs and HEMTs», Artech House Inc., 1989.
- R.L. Geiger**, P.E. Allen, N.R. Strader, «VLSI Design Techniques for Analog and Digital Circuits», McGraw-Hill Inc., 1990.
- J. Gower**, «Optical Communication Systems», Prentice Hall, 1993.
- P.E. Green**, «Δίκτυα Οπτικών Ινών», Μετάφραση Κ. Καρούμπαλου, Εκδ. Παπασωτηρίου, 1994.
- D. Griffiths**, «Turning Internet into TV», Telecommunications, June 1999, pp. 37-339.
- Haber Schaim**, Dodge, Walter «ΦΥΣΙΚΗ», PSSC, 1985.
- T.V. Higgins**, «The smaller, cheaper, faster world of the laser diode», Laser Focus World, April 1995.
- T.V. Higgins**, «Optoelectronics: The next technological revolution», Laser Focus World, November 1995.
- J. Horrocks**, R. Scarr, «The Technology Guide to Telecommunications», Horrocks Tech., 1994.
- K. Καλουππίδη**, Θ. Σφηκόπουλου, Δ. Μαρτάκου, Δ. Βαρουτά, Β. Πάσχου, Π. Λύτρα, Α. Σερέπα, Ι. Πατεργιαννάκη, Γ. Αργυρόπουλου, Γ. Δαβιλά, Μ. Ευθυμέρου, Τ. Αικατερινίδη, Γ. Στεφανόπουλου, Γ. Κουτσιμπογιώργου, Γ. Μηνιαδάκη, Γ. Κοροβέση, Μ. Καρακώστα, «ΣΧΕΔΙΟ ΠΡΟΤΑΣΗΣ: Πολιτικές Ανάπτυξης των Τηλεπικοινωνιών στην Ελλάδα - Πολιτική Προώθησης και Διάδοσης για την Επικοινωνία και τη Δικτύωση της Ανθρώπινης Νοημοσύνης», FORUM Επικοινωνιών, 25-26 Μαΐου 1998.
- Π. Κανέλλης**, Π. Μακρυγιάννης, Α. Τσαξιρή, «Εκτίμηση αναγκών και προσδιορισμός νέων ειδικοτήτων στα πλαίσια της Κοινωνίας των Πληροφοριών», Ινστιτούτο Επικοινωνιών (INE) ΓΣΕΕ, Ιούλιος 1999.
- Π. Καργάδου**, «Λειτουργίες Δικτύων Δεδομένων», Αθήνα 1991.
- Κ. Καρούμπαλου**, «Θεωρία Πληροφορίας», Τμήμα Πληροφορικής, Παν/μιο Αθηνών.
- Κ. Καρούμπαλου**, Γ. Φιλοκύπρου, «Μαθήματα Ηλεκτρονικής», Αθήνα, 1983.
- Χ. Καψάλης**, Π. Κωττής «Δορυφορικές Τηλεπικοινωνίες», ΕΜΠ, 1989.
- G. Keiser**, «Optical Fiber Communications», McGraw-Hill Inc., 1991.
- Γ. Κокκινάκη**, «Βασικές γνώσεις Τηλεφωνίας-Τηλεγραφίας», Ίδρυμα Ευγενίδου, 1989.
- Γ. Κокκινάκη**, Γ. Δεμπόπου, «Τηλεπικοινωνίες», Ίδρυμα Ευγενίδου, 1985.
- Σ. Κουρή**, «Στοιχεία Θεωρίας Κεραιών και Διαδόσεως Ηλεκτρομαγνητικών Κυμάτων», Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 1985.
- E.J. Lerner**, «Fiber amplifiers expand network capacities», Laser Focus World, August 1997.
- Marco Lisi**, «Satellite communications systems in the 90s and for the next millenium», MICROWAVE ENGINEERING EUROPE, May 1999, pp 15-22.

- Χρ. Μεταξάκη-Κοσιονίδου**, Ν. Αλεξανδρή, Γ. Βασιλακόπουλου, Φ. Κακλαμάνη, Γ. Καραγιάννη, Μ. Καρατράσσογλου, Γ. Κουρουπétrογλου, Ντ. Μακρόπουλου, Γ. Παναγάκου, Π. Σπυράκη, Τ. Τασσόπουλου, Ι. Χάλαρη, Β. Χρυσικόπουλου, «Κοινωνία των Πληροφοριών», Κείμενο Εργασίας, ΙΣΤΑΜΕ - ΑΝΔΡΕΑΣ ΠΑΠΑΝΔΡΕΟΥ, Πανεπιστήμιο Μακεδονίας 16 Μαΐου 1997, Επιμελητήριο Ηρακλείου, 25 Ιουνίου 1997.
- Μουσείο Τηλεπικοινωνιών ΟΤΕ** - Μέλος του Ελληνικού Τμήματος της Διεθνούς Επιτροπής για τη Διατήρηση της Βιομηχανικής Κληρονομιάς - Ενημερωτικό φυλλάδιο, Ιαν. 1999.
- Χ. Παπακίτσου**, «Τηλεόραση», Ίδρυμα Ευγενίδου, 1990.
- Χ. Παπακίτσου**, «Ραδιοφωνία», Ίδρυμα Ευγενίδου, 1993.
- Γ. Παππάς**, Β. Περγιουδάκης «Το περιβάλλον του ηλεκτρονικού εμπορίου εκτείνεται για να συμπεριλάβει τον τελικό καταναλωτή», Amtech, January 1999, pp 170.
- Περιοδικό «Business Week»**, «The Future Networks: Convergence of Data, Video and Voice Services», 24 Μαΐου 1999.
- Γ. Πρωτοπαπαδάκη**, «Στοιχεία Ηλεκτρονικής Λυχνίες-Τρανζίστορ», Σ.Ν. Δοκίμων, 1988.
- R.F. Pierret**, «Semiconductor Device Fundamentals», Addison-Wesley Publishing Co., 1996.
- RF LABS**, Florida, «Coaxial Cable Assembly Products», MJ, 1999.
- Θωμάς Σφηκόπουλος**, «Το Περιβάλλον της Σύγκλισης», Αθήνα, Φεβρουάριος 1999, Παν/μιο Αθηνών, Τμήμα Πληροφορικής, Τομέας Επικοινωνιών και Επεξεργασίας σήματος.
- B. Schneier**, «Applied Cryptography», J. Wiley & Sons Inc., 1996.
- M. Schwarz**, «Information, Transmission, Modulation, and Noise», McGraw-Hill Inc., 1981.
- J. M. Senior**, «Optical Fiber Communications - Principles and Practice», Prentice-Hall Inc., 1992.
- K. S. Shanmugam**, «Ψηφιακά και Αναλογικά Συστήματα Επικοινωνίας», Μετάφραση Κ. Καρούμπαλου, Εκδ. Πνευματικού.
- Simon Haykin**, Ε.Δ. Συκάς, Μ.Ε. Θεολόγου, «Συστήματα Επικοινωνίας», Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 1995.
- J. Singh**, «Semiconductor Optoelectronics», McGraw-Hill Inc., 1995.
- W. Stallings**, «Local Networks», McMillan Publishing Co., New York, 1987.
- A.S. Tanenbaum**, «Computer Networks», Prentice-Hall Inc., 1989.
- H. Taub**, D.L. Schilling, «Principles of Communication Systems», McGraw-Hill Inc., 1971.
- Μ. Τζαβάρα**, «Ο Νόμος του Moore - Ιχνηλατώντας τα Όρια», Περιοδικό «Computer για Όλους», Ιούλιος-Αύγουστος 1998, σελ. 116-120.
- Ν.Κ. Ουζούνογλου**, «Τηλεπικοινωνίες Οπτικών Ινών», Εκδόσεις ΣΥΜΕΩΝ, 1990.
- Ν.Κ. Ουζούνογλου**, «Εισαγωγή στα Μικροκύματα», ΕΜΠ, 1986.
- Ι.Γ. Τίγκελη**, Δ.Ι. Φραντζεσκάκη, «Σημειώσεις του Μαθήματος Εισαγωγή στα Συστήματα Τηλεπικοινωνιών», Τμήμα Φυσικής, Παν/μιο Αθηνών, 1997.
- J. Walrand**, «Δίκτυα Επικοινωνιών», Μετάφραση Μ. Αναγνώστου, Εκδ. Παπασωτηρίου, 1997.
- N.H. Weste**, Κ. Eshraghian, Μετάφραση Κ. Πεκμεστζή, Δ. Σούντρη, Κ. Γκούτη, «Σχεδίαση Ολοκληρωμένων Κυκλωμάτων CMOS VLSI», Εκδ. Παπασωτηρίου, 1996.
- Μ.Η. Φαφαλιού**, «Στοιχεία Θεωρίας Πληροφοριών και Θορύβου», Σ.Ν. Δοκίμων, 1993.
- Ι.Γ. Φικιώρης**, «Εισαγωγή εις την θεωρίαν των κεραιών», ΕΜΠ, 1987.

Διευθύνσεις στο Διαδίκτυο:

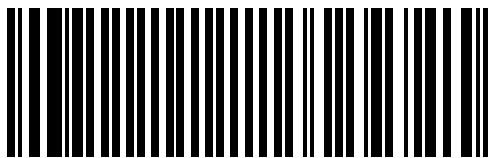
<http://www.cordis.lu/esprit/src/mm-finf.htm>.
<http://www.poldhu.com/archive/glacbay/bretonstations.html>.
http://fohnix.metronet.com/~nmcewen/photo_gallery.html.
<http://chss.montclair.edu/~pererat/mcpu.html>.
<http://learning.loc.gov/ammem/bellhtml/1890.html>.
<http://learning.loc.gov/ammem/bellhtml/belltelph.html>.
<http://www.cory26.k12.il.us/schools/hg/brixius/PAGE12.HTM>.
<http://www.txdirect.net/~imagine/image/-albumin/morse.htm>.
<http://www.pe.net/~jnes>.
<http://www.tomedison.org/shop.html>.
<http://www.rflabs.com>.

Βάσει του ν. 3966/2011 τα διδακτικά βιβλία του Δημοτικού, του Γυμνασίου, του Λυκείου, των ΕΠΑ.Λ. και των ΕΠΑ.Σ. τυπώνονται από το ΙΤΥΕ - ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ και διανέμονται δωρεάν στα Δημόσια Σχολεία. Τα βιβλία μπορεί να διατίθενται προς πώληση, όταν φέρουν στη δεξιά κάτω γωνία του εμπροσθόφυλλου ένδειξη «ΔΙΑΤΙΘΕΤΑΙ ΜΕ ΤΙΜΗ ΠΩΛΗΣΗΣ». Κάθε αντίτυπο που διατίθεται προς πώληση και δεν φέρει την παραπάνω ένδειξη θεωρείται κλεψίτυπο και ο παραβάτης διώκεται σύμφωνα με τις διατάξεις του άρθρου 7 του νόμου 1129 της 15/21 Μαρτίου 1946 (ΦΕΚ 1946,108, Α').

Απαγορεύεται η αναπαραγωγή οποιουδήποτε τμήματος αυτού του βιβλίου, που καλύπτεται από δικαιώματα (copyright), ή η χρήση του σε οποιαδήποτε μορφή, χωρίς τη γραπτή άδεια του Υπουργείου Παιδείας, Θρησκευμάτων και Αθλητισμού / ΙΤΥΕ - ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ.

Κωδικός βιβλίου: 0-24-0304

ISBN 978-960-06-3056-5



(01) 000000 0 24 0304 5