

Ενότητα A

Επικοινωνία δεδομένων

Κεφάλαιο 1: Τηλεπικοινωνιακά συστήματα

Κεφάλαιο 2: Μετάδοση δεδομένων

Κεφάλαιο 3: Πολυπλεξία

Γλωσσάριο



Ενότητα Α: Επικοινωνία δεδομένων

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1: Τηλεπικοινωνιακά συστήματα

Μάθημα 1.1:	Στοιχεία θεωρίας σημάτων	10
1.1.1	Βασικές έννοιες σημάτων	10
1.1.2	Χαρακτηριστικά σήματος	13
1.1.3	Μορφές σήματος	15
1.1.3.1	Αναλογικά σήματα	15
1.1.3.2	Ψηφιακά σήματα	17
1.1.4*	Μαθηματική παράσταση του σήματος	18
Μάθημα 1.2:	Χαρακτηριστικά των μέσων μετάδοσης	21
1.2.1	Εισαγωγή	21
1.2.2	Ενσύρματα μέσα μετάδοσης	23
1.2.2.1	Συνεστραμμένα ζεύγη καλωδίων	23
1.2.2.2	Ομοαξονικό καλώδιο	25
1.2.2.3	Οπτικές ίνες	26
1.2.3	Ασύρματα μέσα μετάδοσης	27
1.2.3.1	Ραδιοκύματα	29
1.2.3.2	Μικροκύματα	31
1.2.3.3	Δορυφορική επικοινωνία	33
1.2.3.4	Υπέρυθρα - Λέιζερ	34
Μάθημα 1.3:	Σύγκριση των μέσων μετάδοσης	36
1.3.1	Σύγκριση των καλωδιακών μέσων	36
1.3.1.1	Σύγκριση ομοαξονικού καλωδίου και καλωδίου <i>UTP</i> ή <i>STP</i>	36
1.3.1.2	Σύγκριση οπτικής ίνας και καλωδίου <i>UTP</i> ή <i>STP</i>	37
1.3.2	Σύγκριση ενσύρματων και ασύρματων μέσων μετάδοσης	38
1.3.2.1	Σύγκριση δορυφορικών και επίγειων συνδέσεων	39



Μάθημα 1.4:	Εξασθένηση, παραμόρφωση, θόρυβος	42
1.4.1	Βλάβη σήματος	42
1.4.2	Είδη θορύβου	43
1.4.3	Μέτρηση εξασθένησης - ενίσχυσης σήματος και θορύβου	45
Μάθημα 1.5:	Διαμόρφωση σήματος	47
1.5.1	Εισαγωγή	47
1.5.2	Τεχνικές διαμόρφωσης σήματος	48
1.5.3	Πλεονεκτήματα διαμόρφωσης σήματος	49
Μάθημα 1.6:	Είδη διαμόρφωσης	51
1.6.1	Αναλογική μετάδοση και διαμόρφωση	51
1.6.2	Ψηφιακή μετάδοση και διαμόρφωση	54
1.6.3	Κωδικοποίηση	56
Μάθημα 1.7:	Μοντέλο επικοινωνίας	59
Ανακεφαλαίωση	62
Ερωτήσεις	64

Κεφάλαιο 2: Μετάδοση δεδομένων

Μάθημα 2.1:	Βασικές έννοιες	68
2.1.1	Εισαγωγή	68
2.1.2	Κωδικοποίηση δεδομένων	69
2.1.3	Περίοδος ενός δυαδικού ψηφίου	70
2.1.4	Ρυθμός μετάδοσης δεδομένων	70
2.1.5	Χωρητικότητα γραμμών επικοινωνίας	72
Μάθημα 2.2:	Χαρακτηριστικά μετάδοσης δεδομένων	77
2.2.1	Μορφές μετάδοσης δεδομένων	77
2.2.2	Τρόποι ψηφιακής μετάδοσης δεδομένων	78
2.2.2.1	Παράλληλη μετάδοση δεδομένων	78
2.2.2.2	Σειραϊκή μετάδοση δεδομένων	78
Μάθημα 2.3:	Ασυγχρόνιστη και συγχρονισμένη σειραϊκή μετάδοση	80
2.3.1	Εισαγωγή	80
2.3.2	Ασυγχρόνιστη μετάδοση	81
2.3.3	Συγχρονισμένη μετάδοση	83
2.3.4	Το κύκλωμα EIA-232D/V.24	86
2.3.5	Το κύκλωμα RS-499	88



Μάθημα 2.4:	Συγκριτική αξιολόγηση	89
2.4.1	Σύγκριση ψηφιακής και αναλογικής μετάδοσης	89
2.4.2	Σύγκριση παράλληλης και σειραϊκής μετάδοσης	90
2.4.3	Σύγκριση συγχρονισμένης και ασυγχρόνιστης σειραϊκής μετάδοσης	90
Μάθημα 2.5:	Κώδικες ανίχνευσης και διόρθωσης σφαλμάτων	92
2.5.1	Εισαγωγή	92
2.5.2	Κώδικες ανίχνευσης σφαλμάτων	95
2.5.2.1	Ανίχνευση σφαλμάτων με την τεχνική του δυαδικού ψηφίου ισοτιμίας	95
2.5.2.2	Ανίχνευση σφαλμάτων με τη δισδιάστατη τεχνική ελέγχου ισοτιμίας	97
2.5.2.3*	Μέθοδος κυκλικού πλεονασμού ελέγχου	98
2.5.3	Κώδικες διόρθωσης σφαλμάτων	100
2.5.3.1	Διόρθωση σφαλμάτων με επαναμετάδοση	100
2.5.3.2	Αυτόματη διόρθωση σφαλμάτων	103
Ανακεφαλαίωση	105
Ερωτήσεις	106

Κεφάλαιο 3: Πολυπλεξία

Μάθημα 3.1:	Πολυπλεξία επιμερισμού συχνότητας - χρόνου	110
3.1.1	Εισαγωγή	110
3.1.2	Τύποι γραμμών επικοινωνίας δεδομένων	111
3.1.3	Πολυπλεξία επιμερισμού συχνότητας	112
3.1.4	Πολυπλεξία επιμερισμού χρόνου	113
Μάθημα 3.2:	Συγκριτική αξιολόγηση τεχνικών πολυπλεξίας	119
Μάθημα 3.3:	Στατιστική πολυπλεξία	121
Ανακεφαλαίωση	124
Ερωτήσεις	125
Βιβλιογραφία	126
Διευθύνσεις Διαδικτύου (URLs)	126



Κεφάλαιο 1

Τηλεπικοινωνιακά συστήματα

- Μάθημα 1.1: Στοιχεία θεωρίας σημάτων
- Μάθημα 1.2: Χαρακτηριστικά των μέσων μετάδοσης
- Μάθημα 1.3: Σύγκριση των μέσων μετάδοσης
- Μάθημα 1.4: Εξασθένηση, παραμόρφωση, θόρυβος
- Μάθημα 1.5: Διαμόρφωση σήματος
- Μάθημα 1.6: Είδη διαμόρφωσης σήματος
- Μάθημα 1.7: Μοντέλο επικοινωνίας
- Ανακεφαλαίωση
- Ερωτήσεις



Κεφάλαιο 1: Τηλεπικοινωνιακά συστήματα

Σκοπός

Το Κεφάλαιο 1 στοχεύει να εισαγάγει το μαθητή στις βασικές έννοιες της θεωρίας των σημάτων. Επίσης στοχεύει να τον φέρει σε επαφή με τα μέσα ενσύρματης και ασύρματης μετάδοσης, ώστε να μπορεί να προβαίνει σε συγκρίσεις ως προς τα κύρια χαρακτηριστικά στοιχεία τους και τη χρησιμότητά τους. Πρόσθετες έννοιες που αφορούν τα κύρια χαρακτηριστικά του σήματος, όπως είναι η εξασθένηση, η παραμόρφωση, η διαμόρφωση και η καθυστέρηση, ενισχύουν το θεωρητικό υπόβαθρο του μαθητή και τον βοηθούν να αντιμετωπίζει καλύτερα τα διάφορα πρακτικά προβλήματα. Τέλος, ειδικότερες γνώσεις που αφορούν τη λειτουργία και τη χρήση των διαποδιαμορφωτών (*modems*), καθώς και τους κώδικες ανίχνευσης και διόρθωσης των σφαλμάτων παρέχουν το απαραίτητο πλαίσιο ολοκλήρωσης των γνώσεων που απαιτούνται, ώστε ο μαθητής να εισαχθεί ασφαλέστερα στον τρόπο λειτουργίας του μοντέλου επικοινωνιών.

Προσδοκώμενα αποτελέσματα

Με την ολοκλήρωση της μελέτης αυτού του κεφαλαίου ο μαθητής θα πρέπει:

- ✓ Να ξεχωρίζει το αναλογικό από το ψηφιακό σήμα.
- ✓ Να διακρίνει και να εξηγεί τις διαφορές των μέσων μετάδοσης.
- ✓ Να μπορεί να αναφέρει τα βασικά στοιχεία μετάδοσης της ψηφιοποιημένης πληροφορίας.
- ✓ Να αναγνωρίζει τις συσκευές και τις διατάξεις της ψηφιακής μετάδοσης.
- ✓ Να αναγνωρίζει τα δομικά στοιχεία ενός ψηφιακού συστήματος επικοινωνίας.
- ✓ Να αναγνωρίζει τα χαρακτηριστικά της διαμόρφωσης και της καθυστέρησης του σήματος, καθώς και τον τρόπο με τον οποίο επηρεάζουν τη μετάδοση.



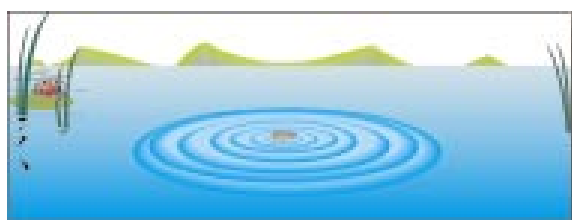
Προερωτήσεις

1. Γνωρίζεις από τι αποτελείται ένα μοντέλο επικοινωνίας;
2. Πώς μεταδίδονται τα αναλογικά και πώς τα ψηφιακά σήματα;
3. Τι είναι διαμόρφωση σήματος και γιατί χρησιμοποιείται;
4. Ποιοι είναι οι λόγοι που εξασθενούν και καθυστερούν τη μετάδοση ενός σήματος και πώς αντιμετωπίζονται;
5. Τι λέμε διαμόρφωση σήματος και για ποιο λόγο χρησιμοποιείται;
6. Πώς μπορούν να επικοινωνήσουν μεταξύ τους δύο σημεία στα οποία είναι αδύνατη η απευθείας καλωδιακή σύνδεση λόγω μεγάλης απόστασης ή λόγω γεωγραφικών δυσκολιών;

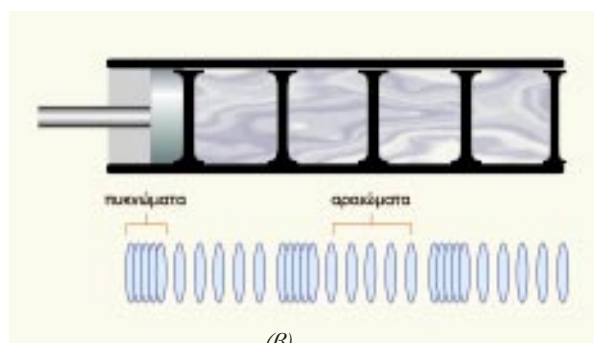


Μάθημα 1.1: Στοιχεία θεωρίας σημάτων

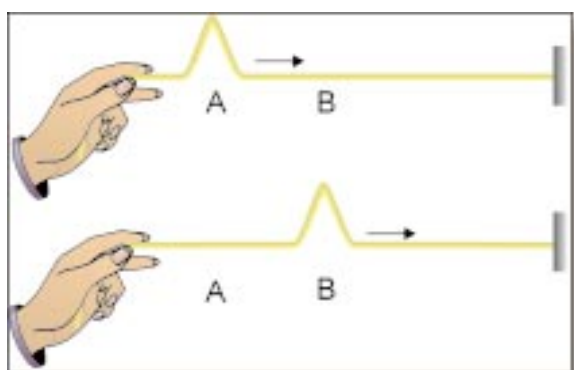
1.1.1 Βασικές έννοιες σημάτων



(α)



(β)



(γ)

Σχήμα 1.1: Πειράματα στα οποία φαίνεται η μετάδοση μιας διαταραχής.

Όπως είναι γνωστό από τη Φυσική, τα **ελαστικά σώματα** έχουν την ιδιότητα να υφίστανται παροδικές παραμορφώσεις, όταν ασκείται επάνω τους κάποια δύναμη. Αυτό σημαίνει ότι, αν η δύναμη η οποία ασκείται σε ένα ελαστικό σώμα και προκαλεί την παραμόρφωσή του πάψει να υφίσταται, τότε το σώμα επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση. Η ανάπτυξη δυνάμεων μεταξύ των δομικών στοιχείων ενός σώματος, δηλαδή των μορίων, των ατόμων και των ιόντων του, οι οποίες τείνουν να το επαναφέρουν στην αρχική του κατάσταση, ονομάζονται **ελαστικές δυνάμεις**. Λόγω της ανάπτυξης των δυνάμεων αυτών κάθε διαταραχή (κίνηση) ενός σημείου (σωματιδίου) του ελαστικού σώματος από τη θέση ισορροπίας του μεταδίδεται από σημείο σε σημείο σε όλο το σώμα.

Στο σχήμα 1.1 παρουσιάζονται ορισμένα φυσικά παραδείγματα της μετάδοσης μιας διαταραχής.

✓ Αν σε μια ήρεμη επιφάνεια νερού ρίξουμε μια πέτρα, παρατηρούμε ότι δημιουργείται μια διαταραχή η οποία μεταδίδεται με μορφή ομόκεντρων κύκλων, που έχουν κέντρο το σημείο όπου έπεσε η πέτρα. Η ελεύθερη επιφάνεια του νερού συμπεριφέρεται σαν ελαστική μεμβράνη (σχήμα 1.1α). Η μετάδοση αυτής της διαταραχής είναι ένα κύμα.

✓ Μέσα σε έναν κύλινδρο, στο ένα άκρο του οποίου υπάρχει έμβολο, έχουμε βάλει αέριο (σχήμα 1.1β). Αν μετακινήσουμε απότομα το έμβολο, δημιουργείται μέσα στον κύλινδρο μια περιοχή αυξημένης και μια περιοχή ελαττωμένης πυκνότητας (πίεσης), που μεταδίδεται στο αέριο με κάποια ταχύτητα. Η μετάδοση αυτής της διαταραχής είναι ένα κύμα.

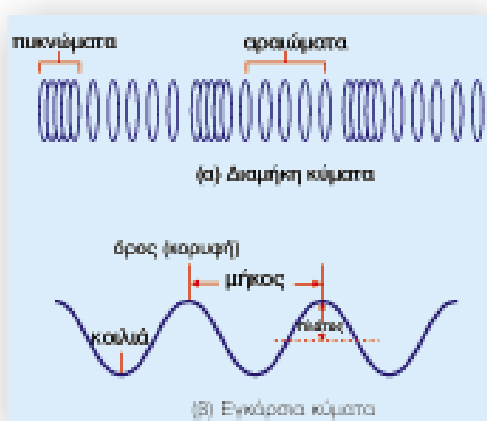
✓ Στερεώνουμε το ένα άκρο ενός χοντρού σχοινιού, ενώ το άλλο το κρατάμε με το χέρι μας. Αν κινήσουμε το άκρο αυτό απότομα προς τα επάνω, δημιουργείται μια διαταραχή που μεταδίδεται κατά μήκος του σχοινιού προς τα δεξιά, χωρίς να μεταβληθεί το σχήμα της. Στο σχήμα 1.1γ παρουσιάζονται δύο στιγμιότυπα από τα οποία προκύπτει ότι κατά τη μετάδοση της διαταραχής όλα τα σημεία του σχοινιού εκτελούν διαδοχικά την ίδια ακριβώς κίνηση. Η μόνη διαφορά είναι ότι η διαταραχή στο σημείο B θα δημιουργηθεί λίγο αργότερα από ό,τι στο σημείο A. Η μετάδοση αυτής της διαταραχής είναι ένα κύμα.



Γενικότερα, κάθε διαταραχή η οποία μεταδίδεται από σημείο σε σημείο μέσα σε κάποιο ελαστικό μέσο λέγεται **κύμα**. Χαρακτηριστικό είναι ότι κατά τη μετάδοση ενός κύματος δε γίνεται μεταφορά ύλης, αλλά τα υλικά σημεία του ελαστικού μέσου ταλαντώνονται γύρω από τη θέση ισορροπίας τους και οι ταλαντώσεις αυτές μεταδίδονται από το ένα σημείο στο άλλο. Σημειώνουμε ότι **ταλάντωση** ονομάζεται η περιοδική κίνηση που κάνει ένα σώμα γύρω από τη θέση ισορροπίας του. Έτσι η πτώση της πέτρας στο νερό προκαλεί ταλάντωση που δημιουργεί στην επιφάνεια του νερού ένα κύμα (σχήμα 1.1α). Η περιοδική κίνηση του εμβόλου αναγκάζει τα μόρια του αέρα μέσα στον κύλινδρο να εκτελούν ταλάντωση (σχήμα 1.1β). Τέλος, το άκρο Α τίθεται σε ταλάντωση προκειμένου να δημιουργηθεί ένα κύμα το οποίο μεταδίδεται στο σχοινί (σχήμα 1.1γ). Όπως παρατηρούμε, χαρακτηριστικό της ταλάντωσης είναι η **περιοδική κίνηση**, δηλαδή η κίνηση που επαναλαμβάνεται πανομοιότυπα μετά από κάποιο χρονικό διάστημα.

Με τον ίδιο τρόπο που μια διαταραχή η οποία προκαλείται σε μια ήρεμη επιφάνεια νερού μεταδίδεται από σημείο σε σημείο και προς όλες τις κατευθύνσεις με τη μορφή κύματος, έτσι και ένα παλλόμενο ηλεκτρικό δίπολο προκαλεί δύο εναλλασσόμενα πεδία, ένα ηλεκτρικό και ένα μαγνητικό, τα οποία μεταδίδονται από σημείο σε σημείο και προς όλες τις κατευθύνσεις με τη μορφή δύο κυμάτων, ενός ηλεκτρικού και ενός μαγνητικού αντίστοιχα. Τα κύματα αυτά μεταδίδονται με την ταχύτητα του φωτός, είναι αλληλένδετα, δηλαδή συνυπάρχουν ταυτόχρονα, και λέγονται **ηλεκτρομαγνητικά κύματα**.

Ανάλογα με την κατεύθυνση των ταλαντώσεων των υλικών σημείων του ελαστικού μέσου και σε συνδυασμό με την κατεύθυνση της κίνησης του ίδιου του κύματος, τα κύματα χωρίζονται σε δύο είδη. Έτσι, αν η ταλάντωση είναι παράλληλη προς την κατεύθυνση της κίνησής τους, τότε τα κύματα είναι γνωστά ως **διαμήκη**. Αντίθετα, αν η ταλάντωση είναι κάθετη προς την κίνησή τους, τότε τα κύματα λέγονται **εγκάρσια**.



Σχήμα 1.2: Είδη κυμάτων



Παλλόμενο ηλεκτρικό δίπολο έχει επικρατήσει να ονομάζεται ένα ανοικτό κύκλωμα Thompson υπό μορφή ευθύγραμμου σύρματος. Όπως είναι γνωστό από τη Φυσική, το ανοικτό κύκλωμα Thompson προκύπτει από το αντίστοιχο κλειστό (που στην απλούστερη περίπτωση αποτελείται από ένα πηνίο και έναν πυκνωτή), όταν αντικαταστήσουμε το πηνίο με έναν απλό αγωγό και απομακρύνουμε βαθμιαία τους σπλισμούς του πυκνωτή. Η ακραία αυτή περίπτωση του ανοικτού κυκλώματος είναι ένα ευθύ σύρμα. Αν συζεύξουμε το σύρμα με κατάλληλη διάταξη που παράγει ηλεκτρικές ταλαντώσεις, το ανοικτό κύκλωμα θα αρχίσει να πάλλεται όπως το κλειστό κύκλωμα Thompson.



Την ύπαρξη των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων υποστήριξε θεωρητικά πρώτος ο Maxwell, ενώ την πειραματική απόδειξη της ύπαρξής τους έδωσε ο Hertz.

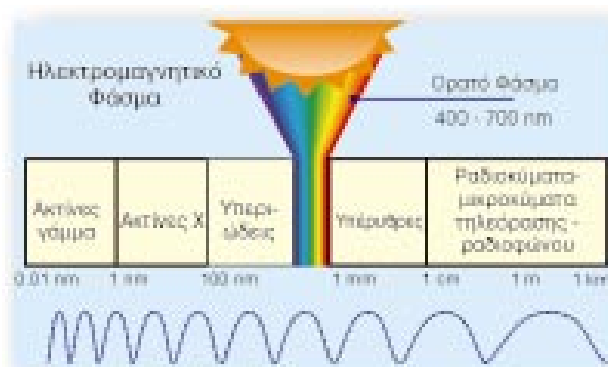


Η περιοδική κίνηση του εμβόλου ή η διέγερση της χορδής ενός βιολιού αναγκάζουν τα μόρια του αέρα στον περιβάλλοντα χώρο να εκτελούν ταλαντώσεις, οι οποίες με τη σειρά τους προκαλούν περιοδικές μεταβολές της πίεσης του αέρα (πυκνώσεις και αραιώσεις), που ονομάζουμε **ήχους**.

σια (σχήμα 1.2).

Τα διαμήκη κύματα είναι πάντοτε μηχανικά, γιατί είναι αποτέλεσμα διαδοχικών συμπίεσεων και αραιώσεων του μέσου. Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα διαμήκους κύματος αποτελούν τα ηχητικά κύματα, η αρχή των οποίων στηρίζεται στην κίνηση του εμβόλου (σχήμα 1.1β). Τα εγκάρσια κύματα μπορεί να είναι μηχανικά, όπως τα κύματα του σχήματος 1.1α και 1.1β, ή ηλεκτρομαγνητικά, όπως είναι τα ραδιοκύματα, τα μικροκύματα, οι υπέρυθρες ακτίνες, το ορατό φως και οι υπεριώδεις ακτίνες κτλ. Η μετάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων συνιστά μια μεγάλης σημασίας ερευνητική περιοχή, η οποία απασχολεί την επιστήμη των τηλεπικοινωνιών και ειδικότερα των ηλεκτρονικών υπολογιστών. Στο σχήμα 1.3 παρουσιάζονται τα διαφορετικά είδη κυμάτων του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

Κατά κανόνα ένα κύμα προϋποθέτει κάποια **πηγή** παραγωγής, δηλαδή μια εξωτερική αιτία, η οποία θα προκαλέσει σε ορισμένα υλικά σωματίδια του ελαστικού μέσου



Σχήμα 1.3: Το φάσμα των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων



Η μετατροπή ενός μηνύματος σε σήμα γίνεται στο σημείο εισόδου του με τη βοήθεια ενός **μετατροπέα** (*transducer*). Στο σημείο προορισμού του ένας άλλος μετατροπέας επαναφέρει την ηλεκτρική κυματομορφή στο αρχικό μήνυμα.

ταλάντωση. Είναι ευνόητο ότι τα σωματίδια αυτά θα βρίσκονται δίπλα στην πηγή. Για παράδειγμα, το ηλεκτρικό κύμα μπορεί να προκαλέσει ταλάντωση σε ορισμένα υλικά σωματίδια του καλωδίου με το οποίο είναι συνδεδεμένη η πηγή παραγωγής του. Η ταλάντωση αυτή μεταδίδεται από σωματίδιο σε σωματίδιο διαμέσου του καλωδίου. Στις τηλεπικοινωνίες όμως το κύμα που παράγεται από ένα σημείο δεν είναι πάντα ηλεκτρικό.

Μια σημαντική διαδικασία στη μετάδοση κάποιου κύματος είναι και η μετατροπή του σε ένα ηλεκτρικό μέγεθος που μεταβάλλεται χρονικά και λέγεται **σήμα μηνύματος** ή απλώς **σήμα**. Επομένως το σήμα είναι ένα ηλεκτρικό κύμα ή μια ηλεκτρική κυματομορφή. Για παράδειγμα, σε μια τηλεφωνική ομιλία τα μηνύματα, δηλαδή οι συνομιλίες, είναι ακουστικά κύματα, τα οποία μετατρέπονται μετά από κατάλληλη επεξεργασία (μικρόφωνο) σε ηλεκτρικά κύματα (σήματα) και, όπως θα δούμε στη συνέχεια, διακινούνται στο τηλεφωνικό δίκτυο με τη μορφή αναλογικών ή ψηφιακών σημάτων.

1.1.2 Χαρακτηριστικά σήματος

Τα χαρακτηριστικά ενός σήματος είναι τα ακόλουθα:

- ✓ **Περίοδος σήματος** (*period*): ονομάζεται η διάρκεια μιας πλήρους ταλάντωσης του υλικού σημείου στο ελαστικό μέσο, συμβολίζεται με T και μετρείται σε δευτερόλεπτα (sec). Σημειώνουμε ότι η περίοδος ενός σήματος είναι ίση με την περίοδο της πηγής του σήματος.
 - ✓ **Μήκος σήματος** (*length*): ονομάζεται η απόσταση στην οποία μεταδίδεται το σήμα σε χρόνο μιας περιόδου T (σχήμα 1.2) και συμβολίζεται με λ . Στα εγκάρσια σήματα το μήκος εκφράζει την απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών κορυφών ή κοιλιών, ενώ στα διαμήκη σήματα εκφράζει την απόσταση μεταξύ δύο πυκνωμάτων ή αραιωμάτων.
 - ✓ **Συχνότητα σήματος** (*frequency*): εκφράζει τον αριθμό των επαναλήψεων μιας πλήρους ταλάντωσης ενός οποιουδήποτε περιοδικού σήματος στη μονάδα του χρόνου (κάθε δευτερόλεπτο) και συμβολίζεται με ν ή f . Η μονάδα μέτρησης είναι ο κύκλος ανά δευτερόλεπτο που λέγεται και **Hertz (Hz)**. Στην πράξη χρησιμοποιούνται πολλαπλάσια του Hertz. Έτσι ένα KiloHertz (KHz) ισούται με ένα **χιλιόκυκλο**, δηλαδή χίλιους κύκλους ανά δευτερόλεπτο, ένα MegaHertz (MHz) ισούται με ένα **μεγάκυκλο**, δηλαδή ένα εκατομμύριο κύκλους ανά δευτερόλεπτο ή χίλια KHz, και ένα GigaHertz (GHz) ισούται με ένα **γιγάκυκλο**, δηλαδή ένα δισεκατομμύριο κύκλους ανά δευτερόλεπτο ή ένα εκατομμύριο χιλιόκυκλους ανά δευτερόλεπτο.
- Η συχνότητα του σήματος είναι ασφαλώς ίση με τη συχνότητα της πηγής του σήματος, ενώ από τον ορισμό προκύπτει ότι ένα σήμα με περίοδο T θα έχει συχνότητα $\nu = 1/T$.
- ✓ **Ταχύτητα μετάδοσης σήματος** (*velocity*): ονομάζεται η ταχύτητα με την οποία το σήμα διαπερνά το μέσο μετάδοσης και συμβολίζεται με u . Η ταχύτητα του σήματος δίνεται από το πηλίκο του μήκους του κύματος που μεταδίδεται προς την περίοδο T , δηλαδή: $u = \lambda / T$. Επομένως, αν υποθέσουμε ότι $T = 1/\nu$, τότε παίρνουμε:

$$u = \lambda / T = \lambda / (1/\nu) = \lambda \cdot \nu$$

οπότε καταλήγουμε στη θεμελιώδη εξίσωση των σημάτων:

$$u = \lambda \cdot \nu$$

Τα σήματα μπορούν να καθοριστούν είτε από τις συχνότητες είτε από τα μήκη των κυμάτων τους.

Μονάδες συχνότητας κύματος

$$1 \text{ Hz} = 1 \text{ cycle/sec}$$

$$1 \text{ KHz} = 1 \text{ kc/sec} = 10^3 \text{ Hz}$$

$$1 \text{ MHz} = 1 \text{ Mc/sec} = 10^6 \text{ Hz}$$

$$1 \text{ GHz} = 1 \text{ Gc/sec} = 10^9 \text{ Hz}$$

Μήκη κύματος

$$1 \text{ km} = 10^3 \text{ m}$$

$$1 \text{ dm} = 10^{-1} \text{ m}$$

$$1 \text{ cm} = 10^{-2} \text{ m}$$

$$1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m}$$

$$1 \text{ }\mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$$

$$1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$$

$$1 \text{ }\text{\AA} = 10^{-10} \text{ m} \text{ (}\text{\AA}\text{ngstr}\ddot{o}\text{m)}$$

Οι δονήσεις των σεισμών μπορεί να έχουν συχνότητα μικρότερη από 1 Hz.

Αντίθετα, ορισμένα ηλεκτρομαγνητικά σήματα, όπως είναι οι υπέρυθρες ακτίνες, το ορατό φως, οι υπεριώδεις ακτίνες κτλ., έχουν πολύ υψηλές συχνότητες, της τάξης των $10^3 - 10^9 \text{ GHz}$.



Η ταχύτητα μετάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στο κενό είναι ίση με την ταχύτητα μετάδοσης του φωτός στο κενό, δηλαδή είναι:

$$v = 3 \times 10^8 \text{ m/sec.}$$

Παράδειγμα Ι

Τα ηλεκτρομαγνητικά σήματα με εξαιρετικά υψηλές συχνότητες, όπως είναι το ορατό φως, οι υπεριώδεις ακτίνες, καθώς και οι ακτίνες Χ και γάμμα, συνήθως περιγράφονται σε σχέση με τα μήκη των κυμάτων τους, τα οποία μετριοούνται σε μικροχιλιοστά (μm), σε μικρά (μ), σε νανόμετρα (nm) ή σε **Ångström (Å)**. Επομένως ένα ηλεκτρομαγνητικό σήμα μήκους κύματος 1 nm θα έχει συχνότητα περίπου $\nu = v / \lambda = 3 \times 10^8 \times 10^9 = 3 \times 10^8 \text{ GHz}$, αφού v ισούται με την ταχύτητα μετάδοσης του φωτός ($c = 3 \times 10^8 \text{ m/sec}$) και λ με 10^{-9} m .

- ✓ **Πλάτος σήματος (amplitude)**: εκφράζει τη στιγμιαία τιμή του σήματος σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή (σχήμα 1.4) και συμβολίζεται με a . Στην περίπτωση ενός ηλεκτρομαγνητικού σήματος το πλάτος είναι η μέγιστη δύναμη του ηλεκτρικού ή του μαγνητικού πεδίου.

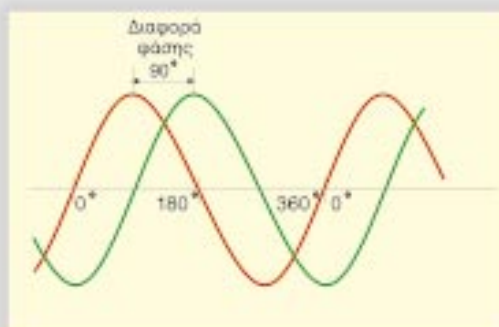


Σχήμα 1.4: Χαρακτηριστικά σήματος



Η γωνία ή το τόξο ω μετριοείται συνήθως σε μοίρες ή σε ακτίνια. Η **μοίρα** ορίζεται ως το $1/360$ της όλης περιφέρειας ($1^\circ = 60' = 3600''$). Το **ακτίνιο (radian)** ορίζεται ως το τόξο που έχει μήκος ίσο με την ακτίνα της περιφέρειας. Επειδή η περιφέρεια έχει μέτρο 360° ή 2π ακτίνια ($\pi = 3,14159...$), μία γωνία ή τόξο φ ακτίνων θα ισούται με $(\varphi \cdot 180/\pi)^\circ$ μοίρες και, αντίστροφα, μία γωνία ή τόξο μ° μοιρών θα έχει μέτρο $\mu \cdot \pi/180^\circ$ ακτίνια.

- ✓ **Φάση σήματος (phase)**: εκφράζει τη διαφορά φ ενός σήματος, όταν αυτό συγκρίνεται με κάποιο άλλο σήμα που χρησιμοποιούμε ως σήμα αναφοράς και του οποίου ο κύκλος ξεκινά τη χρονική στιγμή $t=0$. Επομένως, είναι φυσικό η διαφορά αυτή να δείχνει ότι το ένα σήμα προπορεύεται ή υστερεί του άλλου. Στο σχήμα 1.5 φαίνονται δύο σήματα που έχουν διαφορά φάσης $\pi/2$ ή, ισοδύναμα, 90° .

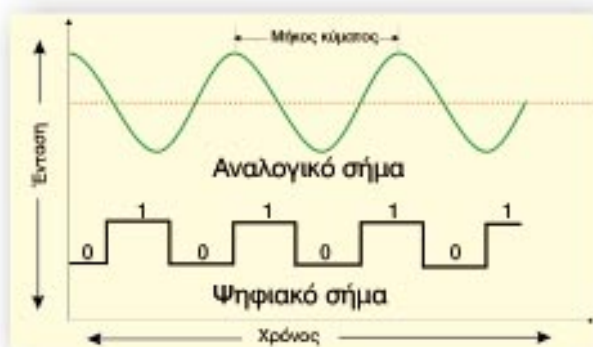


Σχήμα 1.5: Σήματα με διαφορά φάσης $\pi/2$ ή 90°

1.1.3 Μορφές σήματος

Όπως είναι γνωστό, για να επικοινωνήσεις κανείς με κάποιον άλλο, πρέπει να στείλει ένα μήνυμα. Το μήνυμα πρέπει να μεταφερθεί, με τη βοήθεια του μέσου μετάδοσης, από τον πομπό στο δέκτη (Μάθημα 1.7) και να επιβεβαιωθεί η λήψη του. Αυτή η επιβεβαίωση είναι ένα πολύ σημαντικό μέρος της διαδικασίας της μετάδοσης.

Υπάρχουν δύο βασικοί τρόποι σύμφωνα με τους οποίους μπορεί να μεταδοθεί μια πληροφορία. Συγκεκριμένα, όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.6, τα μηνύματα μπορούν να μεταδοθούν είτε ως αναλογικά είτε ως ψηφιακά σήματα. Είναι πολύ σημαντικό να γνωρίζεις κανείς τις δύο αυτές μεθόδους μετάδοσης, επειδή, με τον έναν ή τον άλλο τρόπο, εμπεριέχονται σε όλα τα επικοινωνιακά συστήματα.



Σχήμα 1.6: Διάκριση αναλογικού - ψηφιακού σήματος

1.1.3.1 Αναλογικά σήματα

Αναλογικά είναι τα σήματα τα οποία μεταβάλλονται συνεχώς μέσα στο χρόνο και έχουν τη μορφή **ημιτονοειδούς καμπύλης**. Η κίνηση ενός **αρμονικού αναλογικού σήματος**, που είναι η απλούστερη κίνηση ενός αναλογικού σήματος, μπορεί να παρασταθεί γραφικά, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.4. Στο σχήμα αυτό απεικονίζεται μια σειρά από συνεχόμενα στιγμιότυπα ενός ημιτονοειδούς κύματος που μεταβάλλεται αρμονικά στη διάρκεια του χρόνου.

Τα ημιτονοειδή κύματα παριστάνουν τις αυξομειώσεις της τάσης του ηλεκτρικού σήματος ή τις αλλαγές της έντασης του ακουστικού σήματος. Ειδικότερα, το ακουστικό σήμα, που είναι ένα αναλογικό σήμα, εκφράζει έναν καθαρό και απλό ήχο ή, όπως λέμε, τη νότα. Για παράδειγμα η ομιλία μας είναι ένα σύνθετο σήμα, που αποτελείται από το συνδυασμό πολλών ημιτονοειδών κυμάτων. Εκτός από τα ακουστικά σήματα υπάρχουν και τα ηλεκτρομαγνητικά σήματα, όπως είναι τα οπτικά, τα ραδιοφωνικά, τα τηλεοπτικά κτλ.

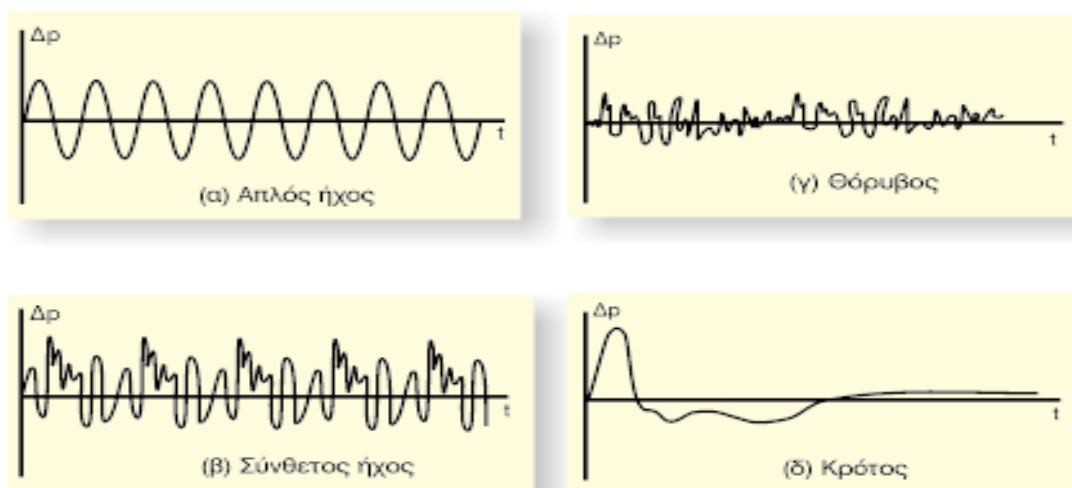


Παράδειγμα II

Τα ακουστικά σήματα είναι αναλογικά σήματα στα οποία:



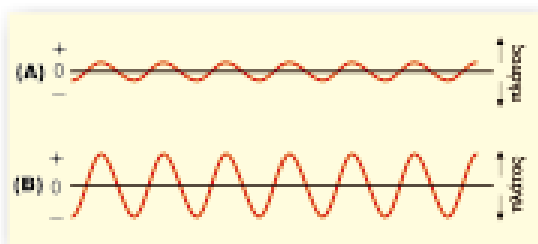
Στον **απλό ήχο** (σχήμα 1.7α) η πίεση του αέρα p μεταβάλλεται σύμφωνα με την ημιτονοειδή καμπύλη ως προς το χρόνο t , ενώ στο **σύνθετο ήχο** (σχήμα 1.7β) η πίεση μεταβάλλεται μεν περιοδικά, όχι όμως σύμφωνα με την ημιτονοειδή καμπύλη. Στο **θόρυβο** (σχήμα 1.7γ) η πίεση μεταβάλλεται μη περιοδικά, ενώ ο **κρότος** (σχήμα 1.7δ) προκαλείται από απότομη μεταβολή της πίεσης.



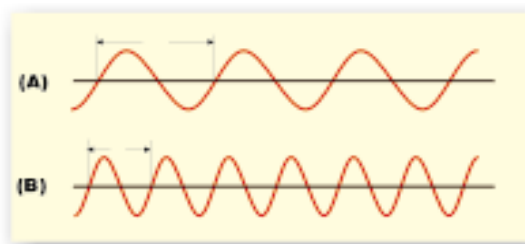
Σχήμα 1.7: Απλός ήχος (α), σύνθετος ήχος (β), θόρυβος (γ), κρότος (δ)

- ✓ Η αύξηση της έντασης του ήχου αντιστοιχεί σε αύξηση του ύψους του σήματος, δηλαδή του πλάτους του κύματος που το παριστάνει. Η διαφορά φαίνεται στο σχήμα 1.8α, που παριστάνει τα διαφορετικά πλάτη (ύψη) των δύο σημάτων που προκαλούνται από το πάτημα του ίδιου πλήκτρου της μεσαίας σκάλας του πιάνου, με μόνη διαφορά την ένταση με την οποία κάποιος πατά το πλήκτρο. Επειδή πατιέται το ίδιο πλήκτρο του πιάνου, θα ακουστεί ο ίδιος τόνος, με τη διαφορά ότι ο ένας θα είναι δυνατότερος από τον άλλο.
- ✓ Η συχνότητα είναι συνάρτηση του αριθμού των φορών που το ημιτονοειδές κύμα επαναλαμβάνεται ανά δευτερόλεπτο. Στο σχήμα 1.8α το ημιτονοειδές σήμα της χαμηλής έντασης του πλήκτρου της μεσαίας κλίμακας του πιάνου που πατήθηκε προκαλεί ήχο 277 περίπου κύκλων το δευτερόλεπτο (Hz). Αυτό σημαίνει ότι το ημιτονοειδές κύμα επαναλαμβάνεται 277 φορές το δευτερόλεπτο. Όμως, αν το ίδιο πλήκτρο του πιάνου πατηθεί με την ίδια ένταση αλλά μια οκτάβα (σκάλα) χαμηλότερα, τότε η συχνότητα του ήχου που προκαλείται θα είναι 138 κύκλοι το δευτερόλεπτο. Στο σχήμα 1.8β συγκρίνονται τα δύο σήματα, τα οποία έχουν το ίδιο πλάτος (ύψος), αλλά το άνοιγμά τους διαφέρει, αφού οι χαμηλές συχνότητες έχουν πάντοτε μεγαλύτερο άνοιγμα από τις υψηλές.
- ✓ Η φάση μετρά τη σχετική χρονική θέση του σήματος μέσα σε μια περίοδο. Επομένως η μετατόπιση φάσης (*phase shift*) περιγράφει το σημείο στο οποίο αρχίζει ο κύκλος της ημιτονοειδούς καμπύλης (βλ. παράγραφο 1.1.4). Στο σχήμα 1.8γ παρουσιάζονται τέσσερα σήματα, εκ των οποίων το καθένα αρχίζει σε

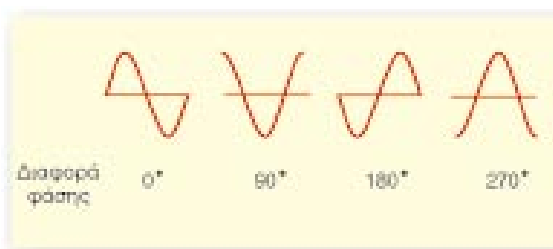
διαφορετική φάση από τα προηγούμενά του και τα οποία διαδοχικά έχουν διαφορά φάσης $\pi/2$ ακτίνια ή, ισοδύναμα, 90° .



Σχήμα 1.8α: Πλάτος αναλογικών σημάτων



Σχήμα 1.8β: Συχνότητες αναλογικών σημάτων

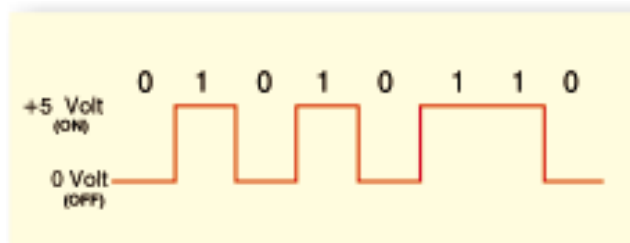


Σχήμα 1.8γ: Φάσεις αναλογικών σημάτων

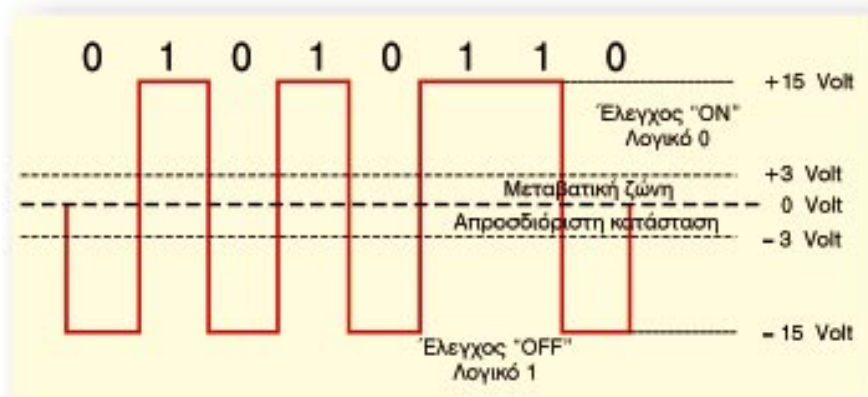
1.1.3.2 Ψηφιακά σήματα

Τα **ψηφιακά σήματα** παίρνουν διακριτές τιμές μέσα στο χρόνο, δηλαδή έχουν ένα διακριτό αριθμό δυνατών καταστάσεων. Για παράδειγμα, το δυαδικό σήμα είναι ένα ψηφιακό σήμα, το οποίο έχει δύο καταστάσεις που αντιπροσωπεύουν μόνο δύο συνθήκες, την *1* (κατάσταση *on*) ή την *0* (κατάσταση *off*), και συνήθως αντιστοιχούν στις ηλεκτρικές τάσεις των $+5$ Volt και 0 Volt (σχήμα 1.9α). Έτσι η τάση των $+5$ Volt συνεχούς ρεύματος μπορεί να αντιπροσωπεύει έναν παλμό, ενώ η τάση των 0 Volt την απουσία παλμού. Στα ψηφιακά σήματα οι παλμοί έχουν συνήθως το ίδιο ύψος ή πλάτος, καθώς και το ίδιο άνοιγμα ή συχνότητα.

Μια άλλη μορφή των ψηφιακών σημάτων φαίνεται στο σχήμα 1.9β. Σ' αυτή την περίπτωση ισχύουν τρεις συνθήκες: η παρουσία της θετικής τάσης των $+15$ Volt παριστάνει την κατάσταση *on* ή τη λογική συνθήκη *0*, η παρουσία της αρνητικής τάσης των -15 Volt παριστάνει την κατάσταση *off* ή τη λογική συνθήκη *1*, ενώ η απουσία τάσης παριστάνει τη μη ορισμένη κατάσταση. Αυτή η μορφή των ψηφιακών σημάτων χρησιμοποιείται με πολλούς διαφορετικούς τρόπους σε μονάδες επικοινωνιακού εξοπλισμού.



Σχήμα 1.9α: Ψηφιακό σήμα με παρουσία δύο συνθηκών



Σχήμα 1.9β: Ψηφιακό σήμα με παρουσία τριών συνθηκών



Το φασματικό εύρος μιας γραμμής μετάδοσης είναι το διάστημα των συχνοτήτων μέσα στο οποίο μεταδίδεται ικανοποιητικά το σήμα.

Όπως θα δούμε στη συνέχεια, η έννοια της μετατόπισης της φάσης, που καθορίζει το σημείο από το οποίο αρχίζει ο κύκλος της ημιτονοειδούς καμπύλης, είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στην κατανόηση των ψηφιακών σημάτων. Συνήθως η μετατόπιση φάσης παριστάνεται με ένα διπλό δυαδικό ψηφίο. Για παράδειγμα, στο σχήμα 1.8γ, όπου παρουσιάζονται τέσσερις διαφορετικοί κύκλοι που αρχίζουν σε τέσσερις χωριστές φάσεις των 0° , 90° , 180° και 270° ο καθένας, η μετατόπιση των φάσεων παριστάνονται με 00, 01, 10 και 11 αντί-

στοιχα. Σημειώνουμε ότι η μετατόπιση της φάσης χρησιμοποιείται ευρύτατα στη μετάδοση της ψηφιακής πληροφορίας.

Χαρακτηριστικό των ψηφιακών σημάτων είναι το μεγάλο φασματικό εύρος τους, με αποτέλεσμα να μεταδίδονται δύσκολα μέσα από το τηλεφωνικό δίκτυο. Ιδιαίτερη περίπτωση αποτελούν τα ηλεκτρομαγνητικά σήματα των ορατών συχνοτήτων (οπτικά σήματα) που διακινούνται με οπτικές ίνες.

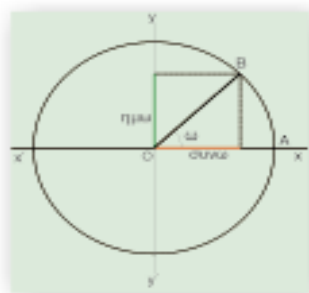
1.1.4* Μαθηματική παράσταση του σήματος

Η μαθηματική έκφραση του αρμονικού σήματος είναι μια συνεχής συνάρτηση δύο μεταβλητών, του χρόνου t και του μέγιστου πλάτους A , ονομάζεται ημιτονοειδής¹ και παριστάνεται από την εξίσωση:

$$a = A \eta \mu(2\pi \nu t + \varphi)$$

¹ Όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.10, για κάθε γωνία ή τόξο ω , που είναι ένας πραγματικός αριθμός, ορίζεται η συνάρτηση ημίτονο (αντίστοιχα συνημίτονο), που συμβολίζεται με $\eta \mu$ (αντίστοιχα $\sigma \upsilon \nu \eta \mu$), σύμφωνα με την οποία η γωνία ή το τόξο ω αντιστοιχούν σε μία μόνο τιμή, τον πραγματικό αριθμό $\eta \mu \omega$ (αντίστοιχα $\sigma \upsilon \nu \eta \mu \omega$), ο οποίος ισούται με την προβολή της διανυσματικής ακτίνας της γωνίας ή του τόξου επί τον άξονα x (αντίστοιχα y). Επομένως οι δυνατές τιμές των $\eta \mu \omega$ και $\sigma \upsilon \nu \eta \mu \omega$ θα κυμαίνονται στο διάστημα $[-1, 1]$.

Υπάρχουν άπειρες γωνίες που έχουν την ίδια αρχική και τελική πλευρά, ή τόξα που έχουν την ίδια αρχή και τέλος. Για παράδειγμα, αν μ° σε μοίρες ή φ σε ακτίνια είναι το μέτρο του τόξου αρχής A και τέλους B , τότε υπάρχουν άπειρα τριγωνομετρικά τόξα που έχουν την ίδια αρχή A και τέλος B , αλλά με διαφορετικά μέτρα που δίνονται από τις σχέσεις: $\omega = \mu^\circ + 360k$ (σε μοίρες) και $\omega = \varphi + 2k\pi$ (σε ακτίνια), όπου k ακέραιος. Και επειδή ως μέτρο γωνίας ορίζεται το μέτρο του αντίστοιχου τόξου της, όταν η γωνία γίνει επίκεντρη, οι παραπάνω σχέσεις δίνουν και το μέτρο όλων των αντίστοιχων γωνιών. Τέλος, επειδή η συνάρτηση ημίτονο είναι περιοδική με περίοδο 2π , δηλαδή $\eta \mu(2\pi + x) = \eta \mu(2\pi - x) = \eta \mu x$, η γραφική της παράσταση θα είναι όπως φαίνεται στο σχήμα 1.4.



Σχήμα 1.10: Ο τριγωνομετρικός κύκλος



όπου:

a : η στιγμιαία τιμή πλάτους του σήματος (τάση ή ρεύμα),

A : η μέγιστη τιμή που παίρνει το πλάτος του σήματος,

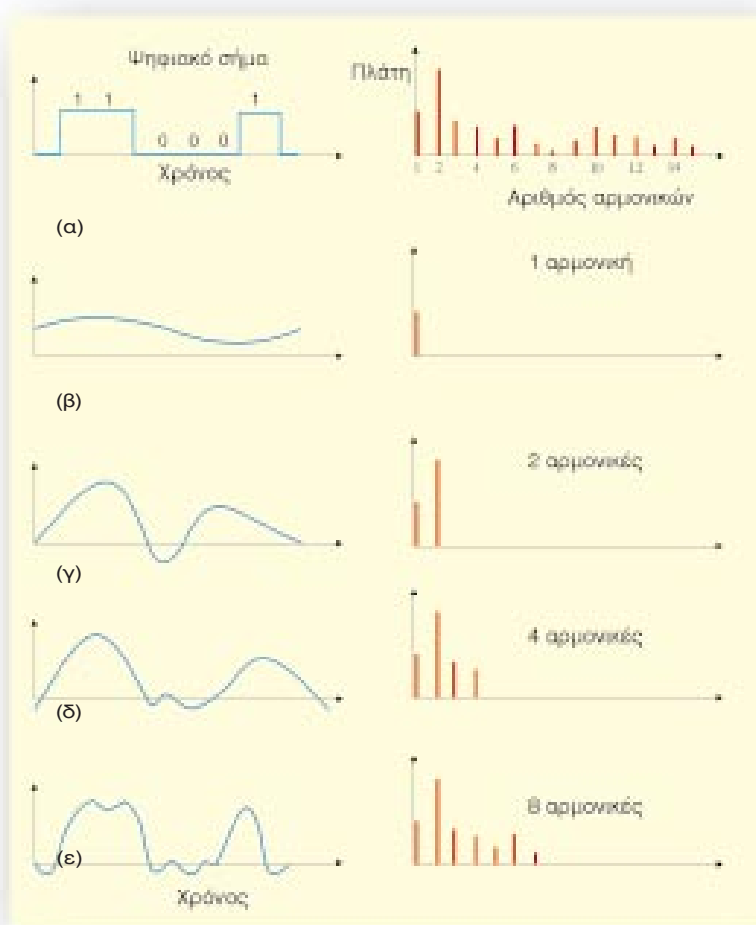
ν : η συχνότητα του σήματος (Hertz),

ϕ : η φάση του σήματος σε ακτίνια και

π : (2π ακτίνια = 360° = 1 περίοδος, $\pi=3,14\dots$).

Η κίνηση που περιγράφεται από την παραπάνω εξίσωση είναι η απλούστερη των περιοδικών κινήσεων και λέγεται **αρμονική ταλάντωση** (σχήμα 1.6). Επειδή η κίνηση αυτή γίνεται σε ευθεία γραμμή, λέγεται και **γραμμική αρμονική ταλάντωση**. Χωρίς να μπορούμε σε ιδιαίτερες μαθηματικές λεπτομέρειες, αν αναλύσουμε μια περιοδική ταλάντωση², θα πάρουμε μια σειρά **αρμονικών ταλαντώσεων**, των οποίων οι συχνότητες είναι ακέραια πολλαπλάσια μιας ορισμένης (αρχικής) συχνότητας. Η ταλάντωση της μικρότερης συχνότητας ν λέγεται **θεμελιώδης** ή **πρώτη αρμονική** και έχει το μεγαλύτερο πλάτος, άρα και το μεγαλύτερο μέρος της ισχύος του σήματος. Η αρμονική που έχει συχνότητα 2ν λέγεται **δεύτερη αρμονική** και έχει μικρότερο πλάτος και συνεπώς μικρότερη ισχύ. Η αρμονική που έχει συχνότητα 3ν λέγεται **τρίτη αρμονική** κ.ο.κ.

Είναι σημαντικό να κατανοήσει κάποιος τη λειτουργία των αρμονικών στην παράσταση των ψηφιακών σημάτων. Για παράδειγμα, το ψηφιακό σήμα του σχήματος 1.11α αποτελείται, θεωρητικά, από έναν άπειρο αριθμό αρμονικών, τα πλάτη των οποίων μειώνονται συνεχώς, μέχρι να μηδενιστούν. Αν επιχειρηθεί να παραχθεί το σήμα αυτό κρατώντας ορισμένες μόνο από τις αρμονικές του, τότε θα πάρουμε διαφορετικά, κάθε φορά, αποτελέσματα. Κρατώντας μόνο μία αρμονική (τη θεμελιώδη), που έχει και τη μεγαλύτερη ισχύ, παίρνουμε τη γραφική παράσταση του σχή-



Σχήμα 1.11 : Παράσταση ψηφιακού σήματος με διαδοχικές προσεγγίσεις αρμονικών

² Υπονοείται η κατά Fourier μαθηματική ανάλυση του σήματος.



Για να μπορέσουμε να προσεγγίσουμε ικανοποιητικά ένα ψηφιακό σήμα, απαιτούνται τουλάχιστον οκτώ αρμονικές.

ματος 1.11β, η οποία δεν έχει κανένα κοινό σημείο με τη γραφική παράσταση του αρχικού ψηφιακού σήματος. Κρατώντας δύο αρμονικές (τη θεμελιώδη και τη δεύτερη), παίρνουμε τη γραφική παράσταση του σχήματος 1.11γ, η οποία πάλι δεν έχει πολλά κοινά σημεία με τη γραφική παράσταση του αρχικού ψηφιακού σήματος. Κρατώντας τέσσερις αρμονικές, διαπιστώνουμε ότι η γραφική παράσταση του σχήματος 1.11δ αρχίζει να προσεγγίζει τη γραφική παράσταση του αρχικού ψηφιακού σήματος. Τέλος, όταν χρησιμοποιηθούν οκτώ αρμονικές, η γραφική παράσταση σχεδόν συμπίπτει με αυτήν του αρχικού ψηφιακού σήματος (σχήμα 1.11ε).

Το φαινόμενο αυτό, που (όπως θα δούμε και στο Μάθημα 1.4) λέγεται **παραμόρφωση** του σήματος, δείχνει ότι, για να δημιουργήσουμε ένα ψηφιακό σήμα που να πλησιάζει στο πραγματικό χρησιμοποιώντας ορισμένες μόνο από τις αρμονικές από τις οποίες αποτελείται, πρέπει να κρατηθούν τουλάχιστον οκτώ αρμονικές. Διαφορετικά, θα έχουμε φτωχά αποτελέσματα.

Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Ελαστικά σώματα, ελαστικές δυνάμεις, κύμα, ταλάντωση, περιοδική κίνηση, ηλεκτρομαγνητικά κύματα, διαμήκη κύματα, εγκάρσια κύματα, σήμα, χαρακτηριστικά σήματος, περίοδος σήματος, μήκος σήματος, συχνότητα σήματος, ταχύτητα διάδοσης σήματος, πλάτος σήματος, φάση σήματος, αναλογικά σήματα, ημιτονοειδής καμπύλη, αρμονικό αναλογικό σήμα, ψηφιακά σήματα, αρμονική ταλάντωση, παραμόρφωση.





Μάθημα 1.2: Χαρακτηριστικά των μέσων μετάδοσης

1.2.1 Εισαγωγή

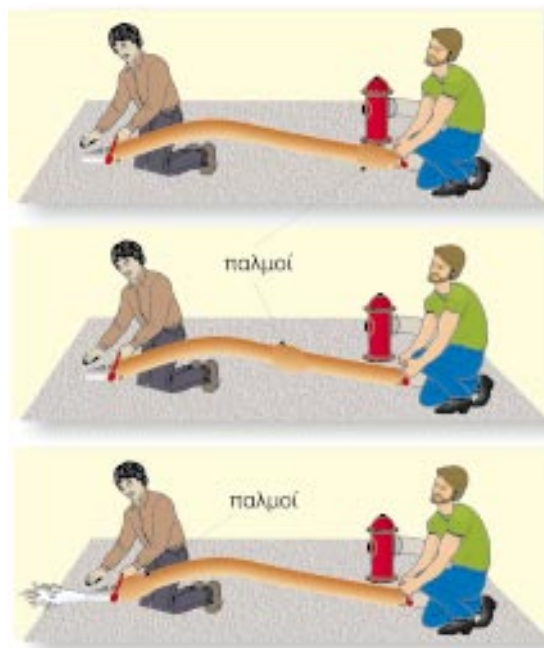
Κάθε πληροφορία, προκειμένου να μεταδοθεί από την πηγή στον προορισμό της, πρέπει να χρησιμοποιήσει κάποιο ελαστικό μέσο, που λέγεται και **μέσο μετάδοσης**. Το μέσο μετάδοσης παρέχει ένα φυσικό δρόμο ή, αλλιώς, ένα κανάλι επικοινωνίας διαμέσου του οποίου θα σταλούν τα σήματα. Στο παράδειγμα που ακολουθεί δίνεται με έναν πιο κατανοητό τρόπο η έννοια του μέσου μετάδοσης χρησιμοποιώντας ένα φυσικό ανάλογο.

Παράδειγμα III

Το σχήμα 1.12 δείχνει ένα άτομο που στέλνει νερό σε κάποιο άλλο με τη βοήθεια ενός πυροσβεστικού σωλήνα, εκμεταλλευόμενο τα δύο έμβολα που έχει ο σωλήνας σε κάθε άκρο του. Το άτομο πιέζει και αφήνει διαδοχικά το πρώτο έμβολο που κρατάει στα χέρια του, παράγει δηλαδή παλμούς. Οι παλμοί αυτοί μεταδίδονται μέσω του σωλήνα και φτάνουν στο δεύτερο έμβολο του άλλου άκρου, δηλαδή στο άλλο άτομο. Αν ο σωλήνας ήταν τελείως άκαμπος, το νερό τελείως ασυμπίεστο και η κίνησή του χωρίς τριβή, τότε η κίνηση του δεύτερου εμβόλου θα ακολουθούσε με ακρίβεια την κίνηση του πρώτου εμβόλου. Ωστόσο ο σωλήνας είναι ελαστικός, το νερό περιέχει φυσαλίδες, άρα είναι ως ένα βαθμό συμπίεστο, και η κίνηση του νερού προκαλεί τριβή, με αποτέλεσμα να μην μπορεί το έμβολο να μεταδίδει παλμούς με απεριόριστη ταχύτητα.

Για να επανέλθουμε στην περίπτωση μας ο πυροσβεστικός σωλήνας παριστάνει τη γραμμή επικοινωνίας (π.χ. καλώδιο) και το νερό τα σήματα. Οι γραμμές επικοινωνίας έχουν ιδιότητες (χαρακτηριστικά) που είναι ανάλογες με αυτές του σωλήνα.

Από το παραπάνω παράδειγμα προκύπτει ότι κάθε πηγή εκπέμπει σε ορισμένες συχνότητες, οι οποίες καθορίζουν τη **ζώνη εκπομπής** της. Οι συχνότητες αυτές ορίζονται από τη διαφορά ανάμεσα στη μέγιστη και στην ελάχιστη συχνότητα που μπορεί η πηγή να εκπέμψει. Ως εκ τούτου κάθε μέσο μετάδοσης αναλογικών σημάτων είναι σχεδιασμένο για ένα συγκεκριμένο εύρος συχνοτήτων το οποίο καθορίζει και το **εύρος ζώνης** (*bandwidth*) του. Συνεπώς το εύρος ζώνης εκφράζει πάντα τη διαφορά



Σχήμα 1.12: Μηχανικό ανάλογο του μέσου μετάδοσης



ανάμεσα στη μέγιστη και στην ελάχιστη συχνότητα που μπορεί να εξασφαλίσει το μέσο μετάδοσης. Δηλαδή, εάν μία γραμμή είναι σχεδιασμένη για συχνότητες μεταξύ των 80.300 και 83.400 Hz, αυτή θα έχει εύρος ζώνης 3.100 Hz.

Παράδειγμα IV

Τα τηλεφωνικά καλώδια έχουν σχεδιαστεί έτσι, ώστε να έχουν εύρος ζώνης περίπου 3.000 Hz, δηλαδή συχνότητα από 300 έως 3.400 Hz. Αυτό συμβαίνει, γιατί το μεγαλύτερο ποσοστό της ενέργειας της ανθρώπινης φωνής βρίσκεται συγκεντρωμένο μεταξύ αυτών των συχνοτήτων. Αυτό το εύρος ζώνης επιτρέπει την ταυτόχρονη μετάδοση, μέσω ενός φυσικού καναλιού, μεγάλου αριθμού συνδιαλέξεων, ενώ συγχρόνως εξασφαλίζει στον ομιλητή τη δυνατότητα να κατανοεί τα λεγόμενα και να αναγνωρίζει τη φωνή του συνομιλητή του. Όμως, στην πραγματικότητα, το εύρος ζώνης του τηλεφωνικού καναλιού είναι κάτι παραπάνω από 3 KHz.

Από το παραπάνω παράδειγμα προκύπτει ότι είναι αναγκαίο το εύρος ζώνης να επιμερίζεται σε ζώνες συχνοτήτων μικρότερου εύρους, που ονομάζονται **λογικά κανάλια**. Αυτά τα κανάλια υποδιαιρούνται σε κάποιες επιπλέον συχνότητες, ώστε να εξασφαλίζεται ένας ικανοποιητικός μεταξύ τους διαχωρισμός με την όσο το δυνατόν μικρότερη επικάλυψη.

Το εύρος ζώνης ενός αναλογικού μέσου μετάδοσης αναφέρεται στο εύρος συχνοτήτων στο οποίο αυτό μεταδίδει και δεν έχει καμιά σχέση με τις πραγματικές συχνότητες που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση. Για παράδειγμα, το ραδιόφωνο στα FM έχει δυνατότητα αναπαραγωγής ήχων που βρίσκονται μέσα στο εύρος των 30 έως 18.000 Hz περίπου. Στην πραγματικότητα όμως τα FM κύματα δε μεταδίδονται σ' αυτές τις συχνότητες αλλά στη συχνότητα της περιοχής των 100 MHz. Μια ανάλογη κατάσταση ισχύει και για τα μέσα υψηλών συχνοτήτων που χρησιμοποιούνται στη μετάδοση τηλεφωνικών σημάτων. Τα χαρακτηριστικά αυτών των μέσων θα τα εξετάσουμε στα αμέσως επόμενα μαθήματα.

Ωστόσο οι περισσότερες από τις γραμμές που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση μηνυμάτων δεν είναι κατάλληλες για ψηφιακή μετάδοση. Το πιο διαδεδομένο κανάλι επικοινωνίας δεδομένων είναι το κοινό τηλεφωνικό κύκλωμα, το οποίο όμως έχει ως κύριο σκοπό τη μετάδοση της ανθρώπινης φωνής, που είναι αναλογικό σήμα, και όχι τα υπολογιστικά δεδομένα, που είναι ψηφιακό σήμα. Το φως, ο ήχος, τα ραδιοφωνικά κύματα και όλα τα αναλογικά σήματα που περνούν από τα καλωδιακά μέσα μετάδοσης περιγράφονται βάσει των συχνοτήτων. Σ' αυτά τα μέσα μετάδοσης το πλάτος του σήματος σε ένα συγκεκριμένο σημείο ταλαντώνεται γρήγορα.

Στην ψηφιακή μετάδοση η **χωρητικότητα** (*capacity*) ενός αναλογικού μέσου εκφράζει το μέγιστο ρυθμό με τον οποίο μπορούμε να στείλουμε ή να πάρουμε χωρίς **σφάλμα** κάποια πληροφορία από αυτό και έχει στενή σχέση με το εύρος ζώνης του. Γενικά, όσο μεγαλύτερο είναι το εύρος ζώνης του μέσου μετάδοσης, τόσο μεγαλύτερος είναι και ο ρυθμός μετάδοσης των δυαδικών ψηφίων. Στα συστήματα επικοινωνίας δεδομένων η χωρητικότητα μετριέται σε **δυαδικά ψηφία ανά δευτερόλεπτο** (*bps: bits per seconds*) ή σε πολλαπλάσιά τους. Έχοντας υπόψη τα παραπάνω, τα μέσα μετάδοσης διακρίνονται

Αν το εύρος ζώνης ενός φυσικού καναλιού επιμεριστεί σε ζώνες συχνοτήτων μικρότερου εύρους, οι ζώνες αυτές ονομάζονται **λογικά κανάλια**.



Σφάλμα ονομάζεται οποιαδήποτε φυσική ή τεχνική αιτία που έχει ως αποτέλεσμα ο δέκτης να μην μπορεί να αναπαραγάγει την αρχική πληροφορία που στέλνει η πηγή.

σε τρεις γενικές κατηγορίες:

- ✓ Μέσα μετάδοσης **στενής ζώνης** (*narrowband*), που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση ψηφιακών σημάτων με ρυθμούς από 45 έως 600 bps. Τα μέσα αυτά δεν έχουν επαρκή χωρητικότητα, για να μεταδώσουν τηλεφωνικές συνδιαλέξεις. Τέτοιες γραμμές συναντώνται συνήθως σε τηλεγραφικά κυκλώματα.
- ✓ Μέσα μετάδοσης **βασικής ζώνης** (*baseband*), που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση ψηφιακών σημάτων με ρυθμούς από 1.200 έως 33.600 bps. Τυπικά χρησιμοποιούνται στην τηλεφωνία για τη μετάδοση σημάτων φωνής.
- ✓ Μέσα μετάδοσης **ευρείας ζώνης** (*broadband*), που χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση ψηφιακών σημάτων με ρυθμούς από 48.000 bps έως 1,5 Mbps. Η χωρητικότητά τους επιτρέπει να χρησιμοποιηθεί όλο το εύρος τους, μπορεί όμως και να υποδιαιρεθούν σε λογικά κανάλια μικρότερης χωρητικότητας, προκειμένου να χρησιμοποιηθούν σε τηλεφωνικές συνδιαλέξεις ή στη μετάδοση σημάτων χαμηλότερων ρυθμών μετάδοσης.

Όπως είναι γνωστό, η επικοινωνία μπορεί να είναι ενσύρματη ή ασύρματη. Στην πρώτη μορφή το μέσο μετάδοσης είναι το καλώδιο, ενώ στη δεύτερη η γήινη ατμόσφαιρα. Στη συνέχεια, λόγω της σπουδαιότητας των μέσων μετάδοσης στην επικοινωνία, θα μελετηθούν διεξοδικότερα και ανά κατηγορία τα μέσα μετάδοσης και θα καταδειχθεί η πρακτική τους αξία.

Στο χώρο των υπολογιστών χρησιμοποιούνται οι ακόλουθοι πολλαπλασιαστικοί παράγοντες:

T	Tera	$2^{40} \approx 10^{12}$
G	Giga	$2^{30} \approx 10^9$
M	Mega	$2^{20} \approx 10^6$
K	Kilo	$2^{10} \approx 10^3$
m	milli	10^{-3}
μ	micro	10^{-6}
n	nano	10^{-9}
p	pico	10^{-12}

1 Kbps $\approx 10^3$ bps

1 Mbps $\approx 10^6$ bps

1 Gbps $\approx 10^9$ bps

1 Tera $\approx 10^{12}$ bps

1.2.2 Ενσύρματα μέσα μετάδοσης

Τα ενσύρματα μέσα μετάδοσης διακρίνονται στα συνεστραμμένα ζεύγη καλωδίων, στα ομοαξονικά καλώδια και στις οπτικές ίνες. Τα μέσα αυτά περιγράφονται στη συνέχεια.

1.2.2.1 Συνεστραμμένα ζεύγη καλωδίων

Το παλαιότερο και πιο συνηθισμένο μέσο μετάδοσης είναι το **συνεστραμμένο ζεύγος καλωδίων** (*TP: Twisted Pair*). Αποτελείται από σύρματα με πυρήνα χαλκού, πάχους ενός περίπου χιλιοστού, τα οποία περιβάλλονται από μονωτικό υλικό. Αν δύο σύρματα συστραφούν το ένα γύρω από το άλλο, ώστε να πάρουν ελικοειδές σχήμα, δημιουργούν κύκλωμα το οποίο μπορεί να μεταφέρει δεδομένα. Ένα καλώδιο αποτελείται από ένα ή περισσότερα τέτοια ζεύγη, τα οποία περιβάλλονται από μονωτικό υλικό, και υπάρχει σε δύο μορφές: το **αθωράκιστο καλώδιο συνεστραμμένου ζεύγους** (*UTP: Unshielded Twisted Pair*), συνηθισμένο στα τηλεφωνικά δίκτυα, και το **θωρακισμένο καλώδιο συνεστραμμένου ζεύγους** (*STP: Shielded Twisted Pair*), που παρέχει προστασία από θόρυβο ή παρεμβολές. Το *UTP* καθορίζεται από την τυποποίηση *EIA/TIA-568* (και τη νεότερη *568A*) και χωρίζεται σε κατηγορίες από 1 έως 5, ανάλογα με το πόσο σφιχτό είναι το πλέξιμο των καλωδίων (σχήμα 1.13). Το σφιχτό πλέξιμο επιτρέπει γρηγορότερους ρυθμούς μετάδοσης και μείωση των παρεμβολών και των ηλεκτρικών αλληλεπιδράσεων ανάμεσα σε κοντινά όμοια ζεύγη.

Με τον όρο **τυποποίηση** εννοείται η διατύπωση κανόνων λειτουργίας και διασύνδεσης που είναι αποδεκτοί από όλους τους χρήστες και τους κατασκευαστές, με σκοπό την επικοινωνία μεταξύ διαφορετικών υπολογιστικών συστημάτων.

Δύο παράλληλα καλώδια συνθέτουν μια απλή κεραία. Όμως αυτό δε συμβαίνει σε ένα συνεστραμμένο ζεύγος καλωδίων.



Σε περιορισμένες αποστάσεις (λίγα χιλιόμετρα) η χωρητικότητα των καλωδίων συνεστραμμένων ζευγών μπορεί να φτάσει σε αρκετά υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης (έως 100 Mbps). Η προσπάθεια υποστήριξης ρυθμών μετάδοσης που φτάνουν το 1 Gbps έχει οδηγήσει στην κατασκευή *UTP* καλωδίων κατηγορίας 6 και 7.



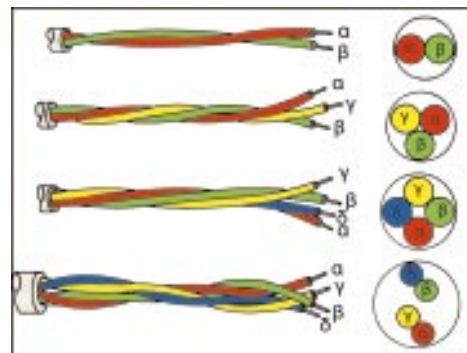
Ένα Ωm είναι η ηλεκτρική αντίσταση του αγωγού μεταξύ δύο σημείων στα οποία εφαρμόζεται διαφορά δυναμικού 1 Volt και παράγει στον αγωγό ρεύμα ισχύος ενός Ampere.



Ένα χαρακτηριστικό του σήματος είναι η εξασθένηση που υφίσταται, όταν διανύει μεγάλες αποστάσεις. Γενικά, ένα σήμα μπορεί να ενισχυθεί με τη βοήθεια ειδικών διατάξεων δικτυακού εξοπλισμού, τους ενισχυτές ή αναμεταδότες.

Οι κατηγορίες καλωδίων που ορίζει η τυποποίηση *EIA/TIA-568* και αφορούν τους υπολογιστές είναι οι ακόλουθες:

- ✓ **Κατηγορία 1 (category 1).** Πρόκειται για το παραδοσιακό αθωράκιστο τηλεφωνικό καλώδιο συνεστραμμένου ζεύγους συρμάτων (*UTP*), που είναι κατάλληλο μόνο για φωνή αλλά όχι για δεδομένα.
- ✓ **Κατηγορία 2 (category 2).** Πρόκειται για καλώδιο *UTP* που έχει θεωρηθεί αξιόπιστο για μεταδόσεις έως 4 Mbps. Το καλώδιο αυτό έχει τέσσερα συνεστραμμένα ζεύγη συρμάτων και είναι αρκετά φθηνό.
- ✓ **Κατηγορία 3 (category 3).** Πρόκειται για καλώδιο *UTP* που υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης έως 10 Mbps και χρησιμοποιείται κυρίως σε τοπικά δίκτυα υπολογιστών. Το καλώδιο αυτό έχει τέσσερα ζεύγη συρμάτων και δέκα στροφές ανά μέτρο.
- ✓ **Κατηγορία 4 (category 4).** Πρόκειται για καλώδιο *UTP*, που είναι πιστοποιημένο για ρυθμούς μετάδοσης 16 Mbps και χρησιμοποιείται κυρίως σε ορισμένα τοπικά δίκτυα υπολογιστών. Το καλώδιο αυτό έχει τέσσερα συνεστραμμένα ζεύγη συρμάτων.
- ✓ **Κατηγορία 5 (category 5).** Πρόκειται για καλώδιο *UTP*, που υποστηρίζει ρυθμούς μετάδοσης έως 100 Mbps. Αποτελείται από τέσσερα συνεστραμμένα ζεύγη συρμάτων, αντίστασης 100 Ωm . Υποστηρίζει τις νεότερες τεχνολογίες δικτύων υψηλών επιδόσεων και δικτύων ευρείας περιοχής. Το καλώδιο αυτό έχει υψηλή χωρητικότητα και παρουσιάζει χαμηλή επικάλυψη (όταν συμβεί το ένα σήμα να πέσει επάνω στο άλλο).



Σχήμα 1.13: Δείγματα καλωδίων συνεστραμμένων ζευγών διαφορετικών πλέξεων

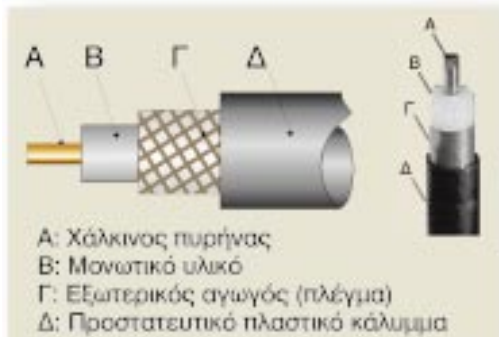
Η πιο συνηθισμένη εφαρμογή του συνεστραμμένου ζεύγους καλωδίων είναι το τηλεφωνικό σύστημα. Σχεδόν όλα τα τηλέφωνα συνδέονται με τα τηλεφωνικά κέντρα διαμέσου καλωδίων *UTP*. Τα καλώδια αυτά μπορούν να υποστηρίξουν ρυθμούς μετάδοσης της τάξης αρκετών Mbps με σχετικά χαμηλό κόστος και να διατρέξουν αρκετά χιλιόμετρα, χωρίς να χρειαστεί να ενισχυθεί το σήμα που εξασθενεί.

Σήμερα αρκετά κτίρια κατασκευάζονται με καλωδίωση *UTP* κατηγορίας 5 που μπορεί να υποστηρίξει ρυθμούς μετάδοσης έως 100 Mbps. Λόγω της ικανοποιητικής απόδοσης και του χαμηλού κόστους τους τα συνεστραμμένα ζεύγη καλωδίων χρησιμοποιούνται ευρύτατα και πιθανόν να συνεχίσουν να χρησιμοποιούνται για πολλά χρόνια ακόμα.

1.2.2.2 Ομοαξονικό καλώδιο

Το ομοαξονικό καλώδιο έχει ρυθμούς μετάδοσης παρόμοιους με το καλώδιο συνεστραμμένου ζεύγους το οποίο χρησιμοποιείται στα τηλεφωνικά ή στα παραδοσιακά τοπικά δίκτυα. Ωστόσο το ομοαξονικό καλώδιο παρέχει καλύτερη θωράκιση από τα θωρακισμένα καλώδια συνεστραμμένων ζευγών (STP), με αποτέλεσμα να έχει δυνατότητα κάλυψης μεγαλύτερων αποστάσεων. Αξίζει να σημειωθεί ότι σήμερα οι νέες τυποποιήσεις συστημάτων δομημένης καλωδίωσης απαιτούν καλώδιο συνεστραμμένου ζεύγους ή οπτικής ίνας που προορίζεται για ψηφιακή μετάδοση, αφού τα μέσα αυτά μπορούν να μεταδίδουν σε ρυθμούς που κυμαίνονται από 100 Mbps έως 1 Gbps, δηλαδή 10 έως 100 φορές υψηλότερα από τους αντίστοιχους ρυθμούς μετάδοσης του ομοαξονικού καλωδίου. Τα ομοαξονικά καλώδια κυκλοφορούν στο εμπόριο σε δύο μορφές, οι οποίες παρά τις κατασκευαστικές τους ομοιότητες έχουν διαφορετικές εφαρμογές. Οι μορφές αυτές είναι οι ακόλουθες:

- ✓ Το **ομοαξονικό καλώδιο βασικής ζώνης** (*baseband coaxial cable*), που αποτελείται από ένα δύσκαμπτο χάλκινο σύρμα, τον πυρήνα, ο οποίος περιβάλλεται από ένα μονωτικό υλικό. Το μονωτικό υλικό περιβάλλεται, με τη σειρά του, από έναν εξωτερικό αγωγό (μεταλλικό μανδύα), που έχει συνήθως τη μορφή πλέγματος. Ο εξωτερικός αγωγός, τέλος, περιβάλλεται από ένα προστατευτικό πλαστικό κάλυμμα. Μια τομή ενός τέτοιου καλωδίου φαίνεται στο σχήμα 1.14. Είναι διαθέσιμο στο



Σχήμα 1.14: Το ομοαξονικό καλώδιο

εμπόριο σε δύο διαφορετικές παραλλαγές: το καλώδιο 5 mm, αντίστασης 50 Ohm, που χρησιμοποιείται για ψηφιακή μετάδοση, και το καλώδιο 10 mm, αντίστασης 75 Ohm, που χρησιμοποιείται για αναλογική μετάδοση.

Τα ομοαξονικά καλώδια 50 Ohm χρησιμοποιούνται στο παρελθόν ευρύτατα στα τοπικά δίκτυα, αφού για μικρές αποστάσεις μπορούν να έχουν αρκετά υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης. Επίσης χρησιμοποιούνταν και στο τηλεφωνικό σύστημα για την κάλυψη μεταδόσεων μεγάλων αποστάσεων, αφού διαθέτουν καλύτερη θωράκιση από τα συνεστραμμένα καλώδια.

- ✓ Το **ομοαξονικό καλώδιο ευρείας ζώνης** (*broadband coaxial cable*), που είναι το τυποποιημένο ομοαξονικό καλώδιο αναλογικής μετάδοσης της καλωδιακής τηλεόρασης. Υποστηρίζει συχνότητες ευρείας ζώνης που φθάνουν μέχρι τα 450 MHz καλύπτοντας αποστάσεις έως 100 km.

Το ομοαξονικό καλώδιο ευρείας ζώνης έχει τη δυνατότητα να χωριστεί σε πολλά κανάλια εύρους ζώνης 6 MHz συνήθως, από τα οποία άλλα χρησιμοποιούνται για τηλεοπτική μετάδοση, άλλα για μετάδοση δεδομένων και άλλα στην τηλεφωνία. Η ουσιαστική διαφορά τους από τα ομοαξονικά καλώδια βασικής ζώνης είναι ότι χρησιμοποιούνται για μεταδόσεις που καλύπτουν μεγάλες αποστάσεις και επομένως

Για ομοαξονικά καλώδια του ενός χιλιομέτρου είναι εφικτός ένας ρυθμός μετάδοσης δεδομένων της τάξης των 10 Mbps.

Η **δομημένη καλωδίωση** είναι το είδος της καλωδιακής εγκατάστασης που πρέπει να χρησιμοποιείται στις νέες οικοδομικές κατασκευές. Πρόκειται για εύκολα διαχειρίσιμη καλωδιακή εγκατάσταση, η οποία μπορεί να υποστηρίξει μελλοντική ανάπτυξη και επέκταση των δικτύων, ιδιαίτερα εντός των κτιριακών εγκαταστάσεων, παρέχοντας τις κατευθυντήριες γραμμές για όλες τις καλωδιώσεις επικοινωνιών.

Ο όρος **ευρεία ζώνη** προέρχεται από το χώρο της τηλεφωνίας και αναφέρεται σε μέσο μετάδοσης ευρύτερο των 4 KHz. Αντίθετα, στο χώρο των δικτύων Η/Υ ο όρος αυτός αναφέρεται σε εκπομπή καλωδιακού μέσου αναλογικής μετάδοσης.



απαιτούν ισχυρούς ενισχυτές. Όμως οι αναλογικοί ενισχυτές μπορούν να μεταδώσουν προς μία μόνο κατεύθυνση, με αποτέλεσμα να απαιτείται είτε διπλή καλωδίωση είτε χρησιμοποίηση δύο διαφορετικών συχνοτήτων ανά κατεύθυνση.

Τα ομοαξονικά καλώδια ευρείας ζώνης είναι, από τεχνική άποψη, κατώτερα των καλωδίων βασικής ζώνης, όμως είναι τόσο διαδεδομένη η χρήση τους, ώστε οι εταιρείες καλωδιακής τηλεόρασης αναμένεται ότι πολύ σύντομα θα είναι σε θέση να τα χρησιμοποιούν για την παροχή υπηρεσιών τηλεφώνου και για τη μετάδοση δεδομένων.

1.2.2.3 Οπτικές ίνες

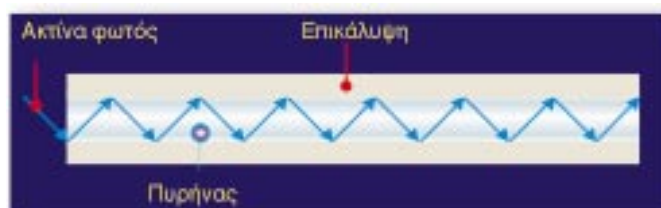


Οι οπτικο-ηλεκτρονικοί συζευκτές παίρνουν τα ηλεκτρικά σήματα που δημιουργούνται από τους υπολογιστές και τα χρησιμοποιούν άμεσα για τη δημιουργία παλμών φωτός, οι οποίοι αναπαριστούν την ίδια την πληροφορία.

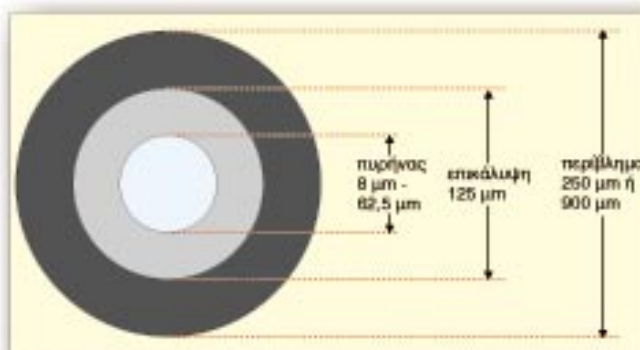
Με τις οπτικές ίνες η μεταφορά των πληροφοριών γίνεται με παλμούς φωτός και όχι με ηλεκτρικά σήματα (σχήμα 1.15). Ένα οπτικό σύστημα μετάδοσης συνίσταται από τρία στοιχεία, την πηγή, το μέσο μετάδοσης, που είναι η οπτική ίνα, και τους οπτικο-ηλεκτρονικούς συζευκτές. Στην απλούστερη των περιπτώσεων η πηγή προσαρμόζεται στο ένα άκρο της οπτικής ίνας και ο συζευκτής στο άλλο. Οι παλμοί του φωτός μεταδίδονται διαμέσου της οπτικής ίνας στο άλλο άκρο, όπου ο συζευκτής τους μετατρέπει σε ηλεκτρικά σήματα. Σημειώνουμε ότι κάθε παλμός φωτός αντιπροσωπεύει το δυαδικό ψηφίο 1, ενώ η απουσία παλμού το δυαδικό ψηφίο 0.

Στην περίπτωση μας όμως τα δεδομένα δημιουργούνται από υπολογιστές και επομένως τα ηλεκτρικά σήματα θα πρέπει να μετατραπούν σε παλμούς φωτός. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί και πάλι από το συζευκτή, ο οποίος τώρα παίρνει τα ηλεκτρικά σήματα που δημιουργούνται από τον υπολογιστή και τα χρησιμοποιεί άμεσα για τη δημιουργία παλμών φωτός, οι οποίοι αναπαριστούν την ίδια την πληροφορία. Φυσικά η αντίστροφη διαδικασία εκτελείται από έναν άλλο συζευκτή, ο οποίος βρίσκεται στο άλλο άκρο της οπτικής ίνας και μετατρέπει τους παλμούς φωτός στα αρχικά ηλεκτρικά σήματα που στάλθηκαν.

Το φως μεταδίδεται προς μία πάντα κατεύθυνση μέσα από τον **πυρήνα** της οπτικής ίνας, ο οποίος είναι ένα κυλινδρικό συνεχόμενο νήμα γυαλιού ή πλαστικού. Ο πυρήνας περιβάλλεται από μια μονωτική **επικάλυψη** και αυτή με τη σειρά της από



Σχήμα 1.15: Μετάδοση του φωτός μέσα σε μια οπτική ίνα

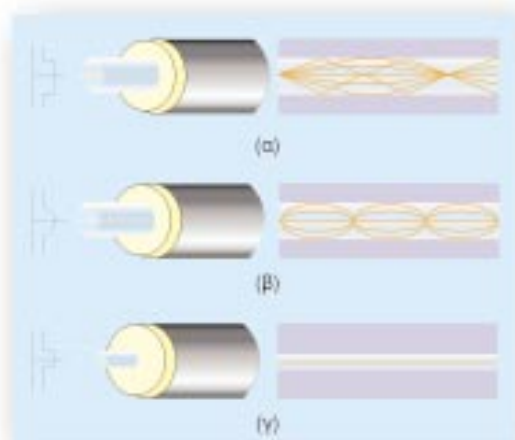


Σχήμα 1.16: Οπτική ίνα

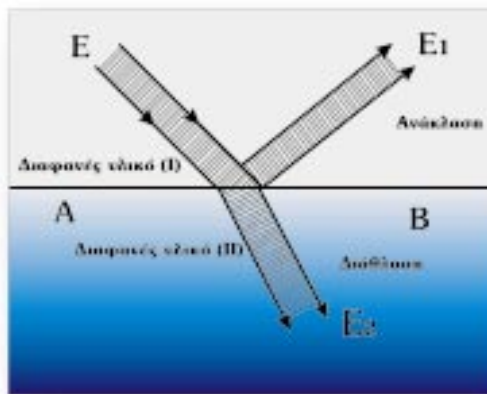


ένα ειδικό προστατευτικό **περίβλημα** (σχήμα 1.16). Ο πυρήνας και η μονωτική επικάλυψη είναι φτιαγμένοι από υλικά με διαφορετικό δείκτη διάθλασης, έτσι ώστε ο δείκτης ανάκλασης του φωτός στον πυρήνα να είναι λίγο μεγαλύτερος από αυτόν στην επικάλυψη. Αυτό προκαλεί τις συνεχόμενες ανακλάσεις του φωτός μέσα στον κυλινδρικό πυρήνα (σχήμα 1.17). Επειδή ο αγωγός από γυαλί είναι μονόπλευρης κατεύθυνσης και προκειμένου να εξασφαλιστεί η μετάδοση και από τα δύο άκρα, το οπτικό καλώδιο αποτελείται από περισσότερες από μία ανεξάρτητες οπτικές ίνες. Λόγω του ότι κάθε οπτική ίνα είναι πολύ λεπτή και ελαφριά, το οπτικό καλώδιο είναι πολύ λεπτότερο και ελαφρύτερο σε σχέση με τα καλώδια άλλων υλικών κατασκευής.

Οι τύποι καλωδίωσης της οπτικής ίνας ποικίλλουν ανάλογα με τα φυσικά τους χαρακτηριστικά και τη χωρητικότητα μετάδοσης. Όπως φαίνεται και στο σχήμα



Σχήμα 1.18: Τύποι οπτικών ινών που χρησιμοποιούνται στη μετάδοσης του φωτός: πολύτροπες (α, β), μονότροπες (γ).



Σχήμα 1.17: Φαινόμενο της διάθλασης - ανάκλασης του φωτός

1.18, ανάλογα με το δείκτη ανάκλασης και ορισμένα χαρακτηριστικά της οπτικής διάδοσης οι οπτικές ίνες διακρίνονται σε **μονότροπες** (*single-mode*) και **πολύτροπες** (*multi-mode*).

Επειδή το σύστημα οπτικής μετάδοσης δεν παρουσιάζει παρεμβολές από ηλεκτρικά ρεύματα, η οπτική ίνα έχει δυνατότητα υψηλών ρυθμών μετάδοσης σε πολύ μακρινές αποστάσεις, οι οποίοι σήμερα φθάνουν τα 2 Gbps. Έτσι με τη χρήση των οπτικών ινών ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων εκατονταπλασιάστηκε μέσα σε μια δεκαετία, ενώ η υπολογιστική ισχύς των υπολογιστών δεκαπλασιάστηκε στο ίδιο χρονικό διάστημα.

Διάθλαση (σχήμα 1.17) λέγεται το φαινόμενο της αλλαγής της κατεύθυνσης (E) του φωτός, όταν αυτό προερχόμενο από το διαφανές υλικό (I) διαπερνά το διαφανές υλικό (II) στο οποίο προσπίπτει με κατεύθυνση (E_1). Ο δείκτης διάθλασης εξαρτάται από την πυκνότητα του υλικού (II). Ειδικά στην περίπτωση της οπτικής ίνας το ποσοστό του φωτός που διαθλάται είναι μικρότερο του 10%.

Όταν το φως, διαπερνώντας το διαφανές υλικό (I) με κατεύθυνση (E), δεν μπορεί να διαπεράσει το διαφανές υλικό (II) στο οποίο προσπίπτει, επιστρέφει με διαφορετική κατεύθυνση (E_1) στο διαφανές υλικό (I). Το φαινόμενο αυτό λέγεται **ανάκλαση** (σχήμα 1.17). Ο δείκτης ανάκλασης εξαρτάται από την πυκνότητα του υλικού (I). Ειδικά στην περίπτωση της οπτικής ίνας το ποσοστό του φωτός που ανακλάται πλησιάζει το 100%.

1.2.3 Ασύρματα μέσα μετάδοσης

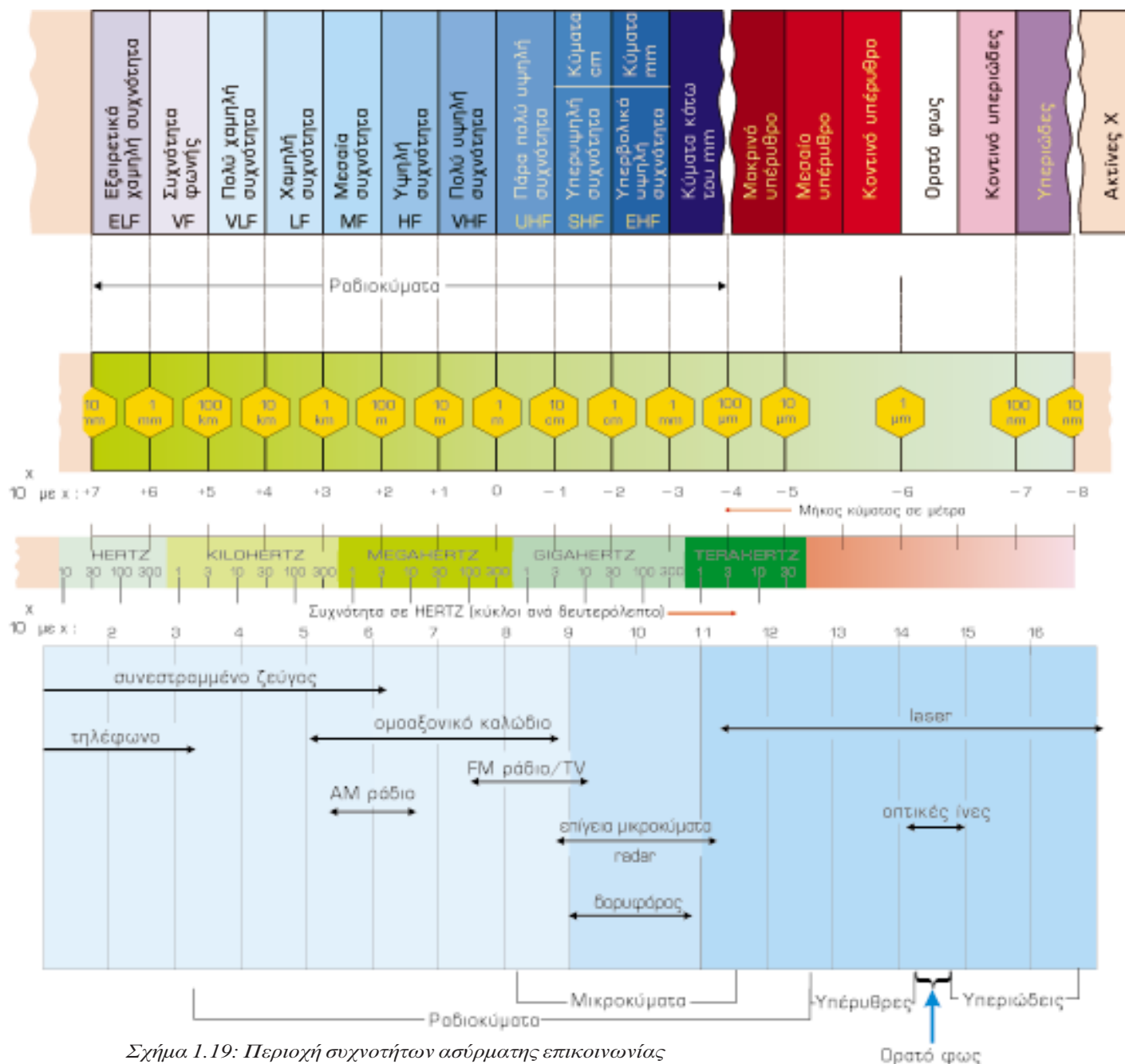
Οι ασύρματες μεταδόσεις δεν απαιτούν καλωδιακό μέσο για την επικοινωνία. Το μέσο μετάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων είναι η γήινη ατμόσφαιρα ή το διάστημα. Η περιοχή των συχνοτήτων που χρησιμοποιείται στα ασύρματα συστήματα κυμαίνεται

ΤΟΜΟΣ Ι, ΕΝΟΤΗΤΑ Α: ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ



από 10 KHz έως 40 GHz περίπου και με την εισαγωγή των λέιζερ φθάνει ως την περιοχή των οπτικών κυμάτων. Οι συχνότητες αυτές κατανέμονται όπως δείχνει το σχήμα 1.19.

Η ασύρματη επικοινωνία πραγματοποιείται είτε μεταξύ δύο σταθερών σημείων είτε μεταξύ δύο σημείων από τα οποία το ένα ή και τα δύο βρίσκονται σε κίνηση. Οι ασύρ-



Σχήμα 1.19: Περιοχή συχνοτήτων ασύρματης επικοινωνίας



ματες μεταδόσεις με οπτική επαφή στηρίζονται στις υπέρυθρες ακτίνες, στην τεχνολογία των λέιζερ, στα μικροκύματα, καθώς και σε ορισμένες περιοχές του ραδιοφωνικού φάσματος. Σημειώνεται ότι η ασύρματη επικοινωνία μεταξύ σταθερών σημείων, σε συνδυασμό με την ενσύρματη, καλύπτει ένα μεγάλο μέρος της τηλεφωνικής κίνησης των υπεραστικών δικτύων. Ειδικότερα, η επικοινωνία αυτή πραγματοποιείται με τις μικροκυματικές ζεύξεις οπτικής επαφής, με τροποσφαιρικές ζεύξεις πέρα από τον ορίζοντα, καθώς και με ραδιοφωνικές ή δορυφορικές ζεύξεις.



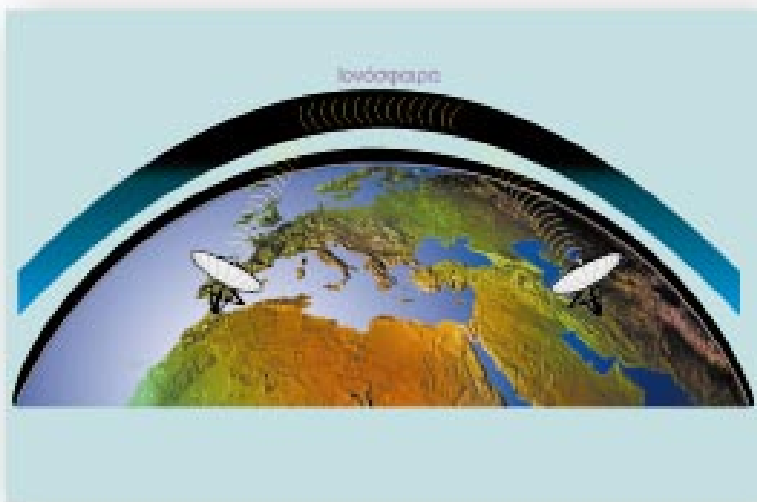
Σχήμα 1.20: Μετάδοση επιφανειακών κυμάτων

Όπως είναι γνωστό, η μετάδοση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων που εκπέμπονται από κάποιον πομπό δεν είναι πάντα ευθύγραμμη. Τα κύματα που ακολουθούν την καμπυλότητα της Γης και επομένως μεταδίδονται στην επιφάνειά της λέγονται **επιφανειακά κύματα** και είναι ιδιαίτερα χρήσιμα στη ραδιοφωνία (σχήμα 1.20). Παράδειγμα επιφανειακών

κυμάτων αποτελούν τα μακρά και μεσαία ραδιοκύματα. Όμως όσο το κύμα απομακρύνεται από τον πομπό, τόσο ελαττώνεται η έντασή του, με αποτέλεσμα σε μεγάλες αποστάσεις να έχει εξασθενήσει, να έχει χάσει δηλαδή ένα μεγάλο μέρος της έντασής του.

Εκτός από τα επιφανειακά κύματα υπάρχουν και τα **κύματα χώρου**, τα οποία ανακλώνται στην ιονόσφαιρα, που είναι ένα αγωγίμο στρώμα της ατμόσφαιρας (σχήμα 1.21). Τα κύματα χώρου, αφού ανακλαστούν στην ιονόσφαιρα, επιστρέφουν στο έδαφος έχοντας διανύσει μεγάλες αποστάσεις χωρίς η έντασή τους να έχει ελαττωθεί τόσο όσο στην περίπτωση των επιφανειακών κυμάτων. Όπως θα δούμε στη συνέχεια, στην κατηγορία των κυμάτων χώρου ανήκουν τα βραχέα κύματα της ραδιοφωνίας. Τα επιφανειακά κύματα των βραχέων κυμάτων απορροφώνται, ενώ τα κύματα χώρου υφίστανται διαδοχικές ανακλάσεις στην ιονόσφαιρα, χωρίς να εξέρχονται από την ατμόσφαιρα.

Η γήινη ατμόσφαιρα περιλαμβάνει τρία κύρια στρώματα, την τροπόσφαιρα, με ύψος περίπου 15 km από την επιφάνεια της Γης, τη στρατόσφαιρα, με εύρος που κυμαίνεται από 15 έως 70 km περίπου, καθώς και την ιονόσφαιρα, με εύρος από 70 έως 700 km περίπου. Από τα τρία στρώματα η ιονόσφαιρα έχει τη μεγαλύτερη σημασία για την ηλεκτρομαγνητική μετάδοση, αφού στην περιοχή των 80 έως 300 km αυτού του στρώματος ανακλάται, διαθλάται και απορροφάται ο κύριος όγκος των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.



Σχήμα 1.21: Μετάδοση κυμάτων χώρου

1.2.3.1 Ραδιοκύματα

Τις πιο γνωστές περιπτώσεις ασύρματων μέσων μετάδοσης αποτελούν οι **ραδιοσυχνότητες** (RF: Radio-Frequencies), οι οποίες έχουν ευρύτατη εφαρμογή, όπως είναι για παράδειγμα είναι η ασύρματη σταθερή ή κινητή τηλεφωνία, η παράκτια επικοινωνία



Όταν σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα τα ηλεκτρόνια ρέουν και προς τις δύο κατευθύνσεις, το παραγόμενο ρεύμα λέγεται **εναλλασσόμενο**.



Η κίνηση ενός σύρματος στο πεδίο ενός μαγνήτη προκαλεί τη δημιουργία εναλλασσόμενου ηλεκτρικού ρεύματος το οποίο διαρρέει το σύρμα και λέγεται ρεύμα **εξ επαγωγής**.



Τα **μακρά** ραδιοφωνικά κύματα μεταδίδονται σε μεγάλες αποστάσεις, ενώ τα **μεσαία** μεταδίδονται σε μικρότερες. Χρησιμοποιούνται κυρίως στη μετάδοση μικρής έως μεσαίας εμβέλειας ραδιοφωνικών προγραμμάτων.

Στα **βραχεία** κύματα η απορρόφηση των κυμάτων επιφάνειας είναι πολύ μεγάλη, με αποτέλεσμα αυτά να μεταδίδονται σε πολύ μεγάλες αποστάσεις. Χρησιμοποιούνται κυρίως στη μετάδοση διηπειρωτικών ραδιοφωνικών προγραμμάτων.

νία, η ραδιοεπικοινωνία, η ραδιοφωνία, η ασύρματη τηλεοπτική μετάδοση κτλ. Για τη μετάδοση των σημάτων αυτών χρησιμοποιείται μια κεραία της οποίας το κύκλωμα διαρρέει εναλλασσόμενο ρεύμα, απελευθερώνοντας με αυτό τον τρόπο ηλεκτρομαγνητικά κύματα στην ατμόσφαιρα. Στο άλλο άκρο ένα ασθενέστερο ηλεκτρικό ρεύμα, όπως αυτό που δημιουργήσε τα κύματα στον πομπό, παράγεται εξ επαγωγής στην κεραία λήψης, η οποία συλλέγει τα εκπεμπόμενα σήματα. Παρά το γεγονός ότι τα παραγόμενα ηλεκτρομαγνητικά κύματα χρησιμοποιούνται σε πολλά είδη εκπομπών, συνηθίζεται να ονομάζονται **ραδιοκύματα** (*radio waves*). Τα ραδιοκύματα έχουν χαμηλότερες συχνότητες από τα μικροκύματα, διανύουν εκατοντάδες χιλιόμετρα, αλλά είναι αρκετά ευαίσθητα στις παρεμβολές. Προσφέρουν υψηλό βαθμό ευελιξίας³, μέτριες ταχύτητες και συνδέσεις κυμαινόμενης ποιότητας.

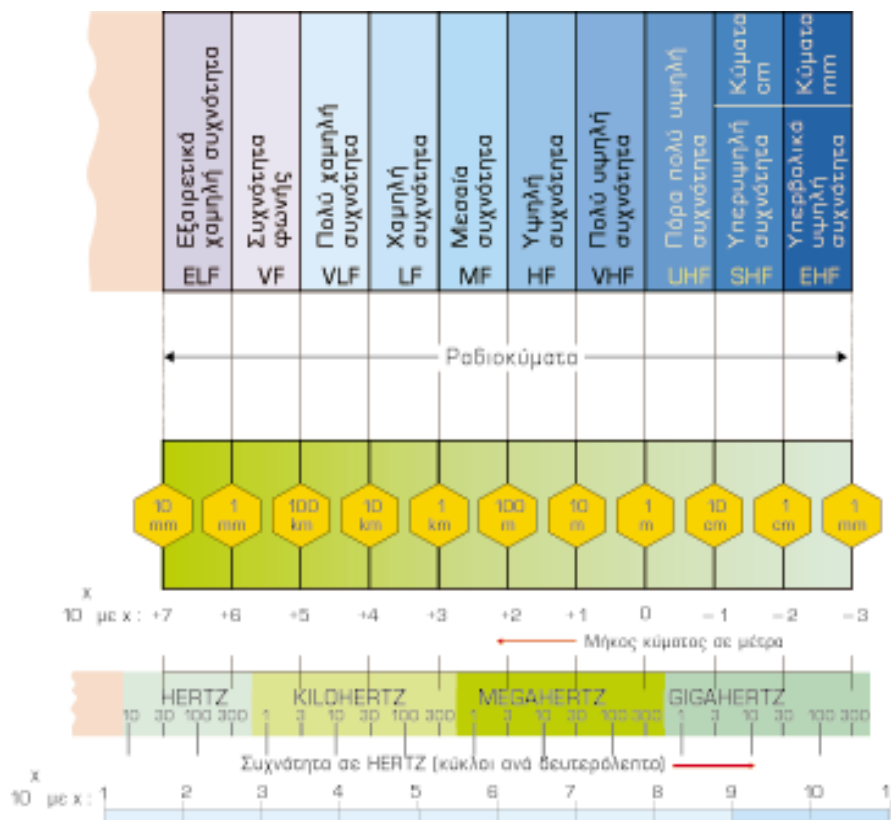
Ειδικότερα, τα ραδιοκύματα που χρησιμοποιούνται στην τηλεπικοινωνία εκπέμπονται από τις κεραίες (ηλεκτρικά δίπολα), όταν αυτές διεγείρονται κατάλληλα από τους πομπούς. Ανάλογα με το μήκος κύματός τους τα ραδιοκύματα υποδιαιρούνται στις παρακάτω κατηγορίες (ζώνες):

- ✓ **Υπερ-μακρά ή ζώνη πολύ χαμηλής συχνότητας (VLF: Very Low Frequency):**
λ από 10 έως 100 km, συχνότητα από 3 έως 30 KHz.
- ✓ **Μακρά ή ζώνη χαμηλής συχνότητας (LF: Low Frequency):**
λ από 1 έως 10 km, συχνότητα από 30 έως 300 KHz.
- ✓ **Μεσαία ή ζώνη μεσαίας συχνότητας (MF: Medium Frequency):**
λ από 100 m έως 1 km, συχνότητα από 300 KHz έως 3 MHz.
- ✓ **Βραχεία ή ζώνη υψηλής συχνότητας (HF: High Frequency):**
λ από 10 έως 100 m, συχνότητα από 3 έως 30 MHz.
- ✓ **Υπερ-βραχεία ή ζώνη πολύ υψηλής συχνότητας (VHF: Very High Frequency):**
λ από 1 έως 10 m, συχνότητα από 30 έως 300 MHz.

Ο κύριος όγκος των ραδιοσυχνοτήτων κυμαίνεται από 30 KHz έως 300 MHz. Όλες αυτές οι συχνότητες μπορούν να μεταφέρουν πληροφορίες, ενώ, για να διευκολυνθεί η κατανομή της χρήσης και ο έλεγχός τους, υποδιαιρούνται σε δέκα ζώνες (λογικά κανάλια), όπως φαίνεται και στο Σχήμα 1.22. Από τις συχνότητες αυτές η ζώνη των πολύ υψηλών συχνοτήτων (*VHF*) χρησιμοποιείται στην τηλεόραση.

Ορισμένες συχνότητες έχουν δεσμευτεί με κυβερνητικές αποφάσεις για συγκεκριμένες χρήσεις επικοινωνίας (ήχου, εικόνας κτλ.). Αυτό οφείλεται τόσο στο γεγονός ότι κάποιες επηρεάζονται περισσότερο από παράγοντες όπως ο καιρός και οι αλλαγές στην ιονόσφαιρα όσο και στον απαιτούμενο έλεγχο των ραδιοτηλεοπτικών εκπομπών.

³ Η επικοινωνία δεν απαιτεί ο πομπός και ο δέκτης να έχουν μεταξύ τους οπτική επαφή.



Σχήμα 1.22: Ζώνες ραδιοσυχνοτήτων

Στην Ελλάδα οι ραδιοσταθμοί AM καθορίστηκε να εκπέμπουν από 530 έως 1.620 KHz, ενώ οι ραδιοσταθμοί FM από 87,5 έως 108 MHz. Ανάλογα, τα τηλεοπτικά κανάλια 5-12 καθορίστηκε να εκπέμπουν από 174 έως 230 MHz, ενώ τα κανάλια 21-66 από 470 έως 838 MHz. Τέλος, η κινητή τηλεφωνία (Panafon, Telestet) καθορίστηκε να εκπέμπει από 890 έως 960 MHz, ενώ η Cosmote από 1.760 έως 1.880 MHz. Επομένως τόσο η τηλεοπτική μετάδοση όσο και η κινητή τηλεφωνία εκτείνονται στο φάσμα των μικροκυμάτων.

1.2.3.2 Μικροκύματα

Τα **μικροκύματα** είναι ηλεκτρομαγνητικά κύματα με μήκος που κυμαίνεται από 1 έως 30 cm, δηλαδή μεγαλύτερο του ορατού φωτός και μικρότερο των ραδιοκυμάτων. Επομένως οι μικροκυματικές ζεύξεις καλύπτουν την περιοχή φάσματος από 300 MHz έως 30 GHz, όμως το κύριο πεδίο εφαρμογής τους βρίσκεται στην περιοχή μεταξύ 2 και 8 GHz. Επίσης χρησιμοποιούνται και σε ζεύξεις στενού φάσματος, καλύπτοντας περιοχές κάτω από 2 GHz, ενώ στις επικοινωνίες που καλύπτουν την περιοχή πάνω από 10 GHz, καθώς και σε περιπτώσεις κακών καιρικών συνθηκών, όπως ισχυρή βροχή, ομίχλη, καπνός κτλ., η μετάδοσή τους καθίσταται προβληματική. Οι κύριες κατηγορίες (ζώνες) των μικροκυμάτων⁴ είναι οι ακόλουθες:

- ✓ **Δεκατομετρικά (UHF: Ultra High Frequency):**
λ από 1 dm έως 1 m, συχνότητα από 300 MHz έως 3 GHz.
- ✓ **Εκατοστομετρικά (SHF: Super High Frequency):**
λ από 1 cm έως 1 dm, συχνότητα από 3 έως 30 GHz.

⁴ Χρησιμοποιούνται και οι όροι: ζώνη πάρα πολύ υψηλής συχνότητας (UHF), ζώνη υπερ-υψηλής συχνότητας (SHF) και ζώνη υπερβολικά υψηλής συχνότητας (EHF).



Σχήμα 1.23: Μικροκυματική ζεύξη

✓ **Χιλιοστομετρικά (EHF: Extremely High Frequency):**

λ από 1 mm έως 1 cm, συχνότητα από 30 έως 300 GHz.

Ηλεκτρομαγνητικά κύματα μικρότερου μήκους των ραδιοκυμάτων, όπως τα υπερ-βραχέα και τα μικροκύματα, δεν ανακλώνται στην ιονόσφαιρα και επομένως μεταδίδονται αποκλειστικά σαν επιφανειακά κύματα. Επιπλέον μεταδίδονται ευθύγραμμα από το σταθμό εκπομπής προς το σταθμό λήψης (σχήμα 1.23), με αποτέλεσμα η μετάδοσή τους να έχει τα χαρακτηριστικά των κυμάτων φωτός παρά των ραδιοκυμάτων. Επομένως για την κάλυψη μεγάλων αποστάσεων απαιτούνται στις περισσότερες περιπτώσεις αναμεταδότες, ώστε να ενισχυθεί και να αναμεταδοθεί το σήμα. Προκειμένου να αποφευχθούν παρεμβολές, όπως είναι για παράδειγμα η καμπυλότητα της Γης, τα βουνά, τα ψηλά κτίρια κτλ., οι οποίες ενδεχομένως να παρεμποδίζουν την οπτική επαφή μεταξύ των κεραιών των δύο σταθμών, οι κεραιές τοποθετούνται σε ειδικούς πύργους που βρίσκονται σε ψηλά σημεία και σε απόσταση, ο ένας πύργος από τον άλλο, δεκάδες χιλιόμετρα μακριά (σχήμα 1.23). Όσο ψηλότερος είναι ο πύργος τόσο μεγαλύτερη είναι η δυνατότητα κάλυψης μεγάλων αποστάσεων. Για παράδειγμα, με πύργους ύψους 100 m η απόσταση μεταξύ των πύργων μπορεί να φτάσει μέχρι και τα 100 km.

Τα συστήματα των υπερ-βραχέων και των μικροκυματικών ζεύξεων χρησιμοποιούνται στην τηλεφωνική, στη ραδιοφωνική και στην τηλεοπτική επικοινωνία. Ανάλογα με τις διαβιβαστικές ικανότητές τους τα συστήματα μικροκυματικών ζεύξεων διακρίνονται σε συστήματα **στενής ζώνης** συχνοτήτων, τα οποία χρησιμοποιούνται στη ραδιοεπικοινωνία, και σε συστήματα **ευρείας ζώνης** συχνοτήτων, τα οποία χρησιμοποιούνται επιπλέον και στη μεταβίβαση τηλεοπτικών προγραμμάτων.

Οι μικροκυματικές ζεύξεις απαιτούν λιγότερο χρόνο εγκατάστασης, ενώ υπάρχει δυνατότητα επέκτασης του αρχικού σχεδιασμού, ανάλογα με τις ανάγκες. Λόγω των πλεονεκτημάτων τους οι ζεύξεις αυτές χρησιμοποιούνται μαζί με τις καλωδιακές –και ειδικότερα τις ομοαξονικές– στο υπεραστικό δίκτυο. Επίσης, πολλές φορές, οι μικρο-



Αναμεταδότες ονομάζουμε τις διατάξεις που δέχονται το εξασθενημένο ηλεκτρομαγνητικό κύμα, το ενισχύουν και το αναμεταδίδουν. Κάθε αναμεταδότης αποτελείται από ένα δέκτη, που δέχεται τα σήματα, έναν ενισχυτή και έναν πομπό, που επανεκπέμπει τα ενισχυμένα σήματα.

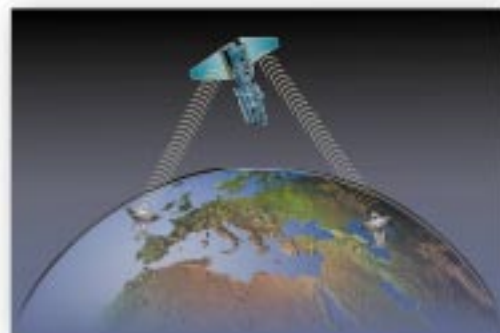
κυματικές ζεύξεις χρησιμοποιούνται, για λόγους ασφάλειας του δικτύου, παράλληλα με καλωδιακές ζεύξεις, ώστε σε περίπτωση βλάβης της μιας ζεύξης να εξασφαλίζεται η επικοινωνία με την άλλη.

1.2.3.3 Δορυφορική επικοινωνία

Με τη δορυφορική επικοινωνία δημιουργήθηκε ένας δίαυλος πολύ υψηλής χωρητικότητας στο διάστημα. Τα δορυφορικά συστήματα αποτελούνται από τους επικοινωνιακούς δορυφόρους και τους αντίστοιχους σταθμούς εδάφους. Ο επικοινωνιακός δορυφόρος πρέπει να βρίσκεται πάντοτε σε οπτική επαφή με το σταθμό εδάφους με τον οποίο επικοινωνεί. Για το λόγο αυτό ο δορυφόρος τοποθετείται σε **γεωστατική τροχιά**, δηλαδή στην τροχιά του Ισημερινού και σε απόσταση περίπου 36.000 km πάνω από τη Γη. Στην απόσταση αυτή η γωνιακή ταχύτητα του δορυφόρου συμπίπτει με τη γωνιακή ταχύτητα⁵ περιστροφής της Γης, με αποτέλεσμα ο δορυφόρος να φαίνεται από το σταθμό εδάφους ακίνητος, στην ίδια πάντα θέση του διαστήματος.

Ένας δορυφόρος επικοινωνιών (σχήμα 1.24) μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι ένας μικροκυματικός μεταλλάκτης και συγχρόνως ένας μεγάλος επαναλήπτης μικροκυμάτων που βρίσκεται στο διάστημα. Λαμβάνει με τις κεραίες του σήματα μικροκυμάτων, σε μια συγκεκριμένη ζώνη συχνοτήτων, από τους σταθμούς εκπομπής που βρίσκονται στη Γη, τα ενισχύει και τα αναμεταδίδει σε διαφορετική συχνότητα μέσω των αναμεταδοτών του στους αντίστοιχους σταθμούς λήψης. Κάθε αναμεταδότης χρησιμοποιεί διαφορετική συχνότητα για την αναμετάδοση, γιατί διαφορετικά το ισχυρό σήμα που αναμεταδίδει θα παρεμβαλλόταν στο αδύνατο σήμα που φτάνει στο δορυφόρο. Ο εξοπλισμός που βρίσκεται στο έδαφος και αποτελείται από ένα δέκτη, έναν πομπό και μία κεραία ονομάζεται **επίγειος σταθμός**.

Στη δορυφορική επικοινωνία η συσκευή η οποία λαμβάνει ένα σήμα, το ενισχύει, αλλάζει τη συχνότητά του και το αναμεταδίδει ονομάζεται **δορυφορικός αναμεταδότης** (*transponder*). Οι περισσότεροι δορυφόροι έχουν 12 - 20 αναμεταδότες. Το εύρος ζώνης που διαχειρίζεται κάθε αναμεταδότης διαφέρει από τον ένα δορυφόρο στον άλλο. Οι σύγχρονοι δορυφόροι έχουν αναμεταδότες εύρους ζώνης 36 - 50 MHz. Ο τρόπος χρησιμοποίησης αυτού του εύρους ζώνης εξαρτάται από το είδος του εξο-



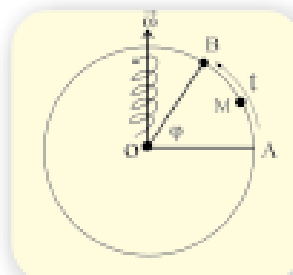
Σχήμα 1.24: Δορυφορική ζεύξη



Οι δίαυλοι T 1 είναι αμερικάνικης προτυποποίησης οι οποίοι χρησιμοποιούν ζεύγη συρμάτων με ψηφιακούς αναμεταδότες, που βρίσκονται σε απόσταση 1.850 m ο ένας από τον άλλο, και μπορούν να μεταφέρουν δεδομένα έως 1.544 Kbps. Μπορούν να διαχειριστούν ταυτόχρονα 24 κανάλια φωνής και γενικά να πετύχουν πολύ υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης δεδομένων. Λόγω των δυνατοτήτων τους χρησιμοποιήθηκαν στα δημόσια τηλεφωνικά δίκτυα, ενώ τώρα διατίθενται και σε μονωμένους συνδρομητές.

⁵ Ως γωνιακή ταχύτητα ($\vec{\omega}$) του σημείου Μ που κινείται με ομαλή κυκλική κίνηση και διαγράφει σε χρόνους t το τόξο \overline{AB} ορίζεται το διανυσματικό μέγεθος που έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- σημείο εφαρμογής το κέντρο O της περιφέρειας που διαγράφει το κινητό Μ,
- διεύθυνση κάθετη στο επίπεδο της περιφέρειας που διαγράφει το κινητό Μ,
- φορά εκείνη της δεξιόστροφης βίδας, όταν περιστρέφεται με τη φορά του κινητού Μ,
- μέτρο $|\vec{\omega}| = \frac{\phi}{t}$, όπου ϕ η γωνία που διαγράφει το κινητό Μ στο χρόνο t .





πλισμού που φέρει ο επίγειος σταθμός. Για παράδειγμα, στην ψηφιακή μετάδοση ένας τυπικός δορυφορικός αναμεταδότης εύρους ζώνης 50 MHz μπορεί να περιλαμβάνει:

- ✓ ένα δίαυλο έγχρωμης τηλεόρασης ή
- ✓ 1.200 διαύλους φωνής ή
- ✓ ένα δίαυλο των 50 Mbps ή
- ✓ 32 T1 διαύλους των 1.554 Kbps ή
- ✓ 800 διαύλους των 64 Kbps ή
- ✓ 1.200 διαύλους των 40 Kbps.



Το στοιχείο που δίνει ένα μεγάλο πλεονέκτημα στη χρήση της δορυφορικής επικοινωνίας είναι ότι το κόστος δέσμευσης ενός καναλιού είναι ανεξάρτητο από την απόσταση που διανύουν τα σήματα.

Λόγω της μεγάλης απόστασης που διανύουν τα σήματα (επίγειος σταθμός - δορυφόρος - επίγειος σταθμός) παρατηρείται μια καθυστέρηση στη μετάδοση των σημάτων (της τάξης των 500 msec) και προς τις δύο κατευθύνσεις, που επιδρά ενοχλητικά, ιδιαίτερα στην τηλεφωνική επικοινωνία. Το μειονέκτημα αυτό, που με την εξέλιξη της τεχνολογίας συνεχώς αμβλύνεται, εξισορροπείται με το μεγάλο πλεονέκτημα του κόστους δέσμευσης ενός καναλιού ανεξάρτητα από την απόσταση που διανύουν τα σήματα. Η σύνδεση μεταξύ συνδρομητών από διαφορετικές χώρες γίνεται μέσω των σταθμών εδάφους του διεθνούς υπεραστικού δικτύου κάθε χώρας, οι οποίοι με τη σειρά τους συνδέονται με το δορυφόρο. Οι δορυφόροι που λειτουργούν με βάση την παραπάνω πορεία σύνδεσης ονομάζονται **δορυφόροι έμμεσης εκπομπής**.

Οι δορυφορικές ζεύξεις εκτείνονται στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα μεταξύ 3 και 30 GHz, δηλαδή καταλαμβάνουν την περιοχή από το τέλος των δεκατομετρικών (*UHF*) έως την αρχή των εκατοστομετρικών (*SHF*) μικροκυμάτων. Όμως οι συνηθέστερα χρησιμοποιούμενες δορυφορικές συχνότητες βρίσκονται στη ζώνη των 4 - 6 GHz, δηλαδή εντός της περιοχής των εκατοστομετρικών (*SHF*) μικροκυμάτων. Συγκεκριμένα, για την **κατερχόμενη επικοινωνία**, δηλαδή από το δορυφόρο προς το σταθμό, χρησιμοποιούνται οι συχνότητες 3,7 - 4,2 GHz, ενώ για την **ανερχόμενη επικοινωνία**, δηλαδή από το σταθμό προς το δορυφόρο, χρησιμοποιούνται οι συχνότητες 5,925 - 6,425 GHz.

1.2.3.4 Υπέρυθρα - Λείζερ

Στη συνέχεια των μικροκυμάτων βρίσκονται τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα που παράγονται από άτομα και πυρήνες. Πρόκειται για τις **υπέρυθρες ακτίνες** (*infrared*), το **ορατό φως** (*visible light*) και τις **υπεριώδεις ακτίνες** (*ultraviolet*). Τόσο οι υπέρυθρες ακτίνες όσο και οι ακτίνες λείζερ έχουν ευρύτατη εφαρμογή στις περιπτώσεις που τα ενσύρματα μέσα — λόγω υψηλού κόστους ή αδυναμίας εγκατάστασης — είναι ανεπιθύμητα. Τέτοιες περιπτώσεις είναι, για παράδειγμα, τα δίκτυα περιορισμένης γεωγραφικής εμβέλειας, τα οποία περιλαμβάνουν τις σημείου προς σημείο συνδέσεις των κτιρίων ενός βιομηχανικού, εμπορικού ή εκπαιδευτικού συμπλέγματος κάποιας περιοχής ή ενός οικοδομικού τετραγώνου. Η ασύρματη επικοινωνία της τεχνολογίας αυτής είναι ιδιαίτερα χρήσιμη στην περίπτωση που η σύνδεση των



κτιρίων απαιτεί το σκάψιμο οδικών αρτηριών για την τοποθέτηση των καλωδίων. Η τοποθέτηση λέιζερ ή ενός πομπού και ενός δέκτη υπέρυθρων στη στέγη κάθε κτιρίου είναι σαφώς οικονομικότερη επιλογή, χωρίς δυσκολίες στην εγκατάσταση ή ιδιαίτερες νομικές διατυπώσεις.

Η επικοινωνία με λέιζερ ή υπέρυθρες ακτίνες είναι ψηφιακή και κατευθυνόμενη, με αποτέλεσμα τη σχεδόν ασφαλή και χωρίς παρεμβολές επικοινωνία της δέσμης. Το σύστημα προσφέρει υψηλή χωρητικότητα σε πολύ χαμηλό κόστος και είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικό, όταν ο καιρός είναι καλός. Απαιτείται όμως ιδιαίτερη προσοχή, αφού καιρικοί παράγοντες όπως η βροχή, η ομίχλη, το χιόνι ή η υψηλή θερμοκρασία είναι σε θέση να παρεμβληθούν προκαλώντας αλλαγή στην κατεύθυνση της δέσμης.



Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Μέσο μετάδοσης, ζώνη εκπομπής, εύρος ζώνης, χωρητικότητα, ενσύρματα μέσα μετάδοσης, μέσα μετάδοσης βασικής ζώνης, μέσα μετάδοσης ευρείας ζώνης, συνεστραμμένο ζεύγος καλωδίων, αθωράκιστο καλώδιο συνεστραμμένου ζεύγους, θωρακισμένο καλώδιο συνεστραμμένου ζεύγους, ομοαξονικό καλώδιο βασικής ζώνης, ομοαξονικό καλώδιο ευρείας ζώνης, οπτική ίνα, πυρήνας οπτικής ίνας, περίβλημα οπτικής ίνας, μονότροπες οπτικές ίνες, πολύτροπες οπτικές ίνες, ασύρματα μέσα μετάδοσης, επιφανειακά κύματα, κύματα χώρου, ραδιοκύματα, ραδιοσυχνότητες, μικροκύματα, συστήματα στενής ζώνης συχνοτήτων, συστήματα ευρείας ζώνης συχνοτήτων, δορυφορική επικοινωνία, γεωστατική τροχιά, επίγειος σταθμός, αναμεταδότης, δορυφόροι έμμεσης εκπομπής, κατερχόμενη - ανερχόμενη επικοινωνία, υπέρυθρες ακτίνες, ορατό φως, υπεριώδεις ακτίνες.



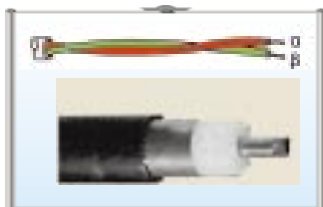


Μάθημα 1.3: Σύγκριση των μέσων μετάδοσης

1.3.1 Σύγκριση των καλωδιακών μέσων

Αν και το ανώτερο καλωδιακό μέσο θεωρείται ότι είναι η οπτική ίνα, υπάρχουν αρκετοί παράγοντες που πρέπει να εξεταστούν, ώστε να μπορεί κάποιος με βεβαιότητα να αποφασίσει για το καλωδιακό μέσο που θα πρέπει να χρησιμοποιήσει σε μια σύνδεση. Οι παράγοντες αυτοί σχετίζονται με την καταλληλότητα του καλωδιακού μέσου για το συγκεκριμένο περιβάλλον εγκατάστασης, με την τεχνολογία που εφαρμόζεται, με το κόστος του μέσου και των παρελκομένων, με το κόστος εγκατάστασης κτλ. Για παράδειγμα, είναι γνωστό ότι οι εφαρμογές πραγματικού χρόνου απαιτούν πολύ μεγάλο εύρος ζώνης. Επομένως κάθε οργανισμός, προκειμένου να λειτουργήσει ωφέλιμα και παραγωγικά, θα πρέπει να εκτιμήσει προσεκτικά τις άμεσες και τις μελλοντικές ανάγκες του και σε συνάρτηση με το επιτρεπόμενο κόστος σε πάγιες επενδύσεις να προχωρήσει σε επενδύσεις υποδομής, βελτιώνοντας τις δικτυακές υπηρεσίες του.

1.3.1.1 Σύγκριση ομοαξονικού καλωδίου και καλωδίου *UTP* ή *STP*



Το μεγάλο πλεονέκτημα των καλωδίων συνεστραμμένου ζεύγους συνίσταται στο γεγονός ότι αυτά μπορούν να μεταδώσουν με ρυθμούς 10 ή και 100 φορές μεγαλύτερους από τους ρυθμούς των ομοαξονικών καλωδίων. Πέρα από αυτό, η συντήρηση και η επισκευή τους δεν παρουσιάζει ιδιαίτερα προβλήματα, όπως η περίπτωση των ομοαξονικών καλωδίων. Όμως ενώ η εγκατάσταση του ομοαξονικού καλωδίου είναι συνήθως εύκολη και περισσότερο οικονομική, όλες οι τηλεφωνικές εταιρείες αντικαθιστούν σταδιακά τις συνδέσεις ομοαξονικού καλωδίου μεγάλων αποστάσεων με καλώδιο *UTP* ή με οπτική ίνα.

Το κύριο πλεονέκτημα του ομοαξονικού καλωδίου έναντι του καλωδίου συνεστραμμένου ζεύγους (*UTP*, *STP*) είναι ότι αποτελεί έναν καλό συνδυασμό υψηλού εύρους ζώνης και εξαιρετικής ανοχής στο θόρυβο. Επειδή το ομοαξονικό καλώδιο διαθέτει καλή θωράκιση στο θόρυβο, η οποία είναι ανάλογη με αυτήν του *STP*, είναι κατάλληλο και για μεταδόσεις σε μεγάλες αποστάσεις. Όμως το πόσο μεγάλο θα είναι το εύρος ζώνης του εξαρτάται από το μήκος του καλωδίου. Για παράδειγμα, καλώδια του 1 km μπορούν να δώσουν ρυθμούς μετάδοσης 10 Mbps.

1.3.1.2 Σύγκριση οπτικής ίνας και καλωδίου *UTP* ή *STP*

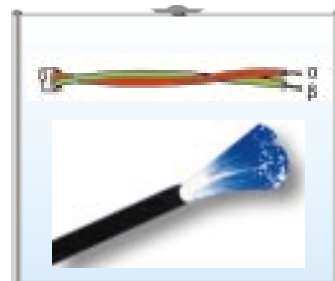
Οι οπτικές ίνες παρέχουν υπερβολικά μεγάλο εύρος ζώνης με μικρή απώλεια ισχύος, με αποτέλεσμα να μπορούν να καλύπτουν μεγάλες αποστάσεις ανάμεσα στους επαναλήπτες. Επίσης δεν επηρεάζονται από απότομες μεταβολές στην τάση του δικτύου, από ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές, από οξειδωτικές χημικές ουσίες, καθώς και από άλλα ατμοσφαιρικά ή βιομηχανικά παράσιτα, έτσι ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε επιβαρημένο βιομηχανικό περιβάλλον, που θεωρείται ακατάλληλο για *UTP* ή ακόμη και για *STP* καλώδια. Οι οπτικές ίνες είναι πολύ λεπτές και ελαφριές, στοιχεία που προσδίδουν ένα μεγάλο συγκριτικό πλεονέκτημα ως προς την ευελιξία προσαρμογής τους σε διαφορετικά περιβάλλοντα εγκατάστασης, ως προς την εξοικονόμηση χώρου και κόστους κτλ. Τέλος, δύσκολα γίνεται υποκλοπή, αφού, όπως θα εξηγηθεί στη συνέχεια, η διακλάδωσή τους είναι αρκετά δύσκολη εργασία και απαιτεί εξειδικευμένο εξοπλισμό και προσωπικό.

Η τεχνολογία των οπτικών ινών είναι περισσότερο πολύπλοκη από αυτήν των καλωδίων *UTP*, με αποτέλεσμα και η εγκατάστασή τους να είναι πιο απαιτητική. Ειδικότερα, η διασύνδεση (συγκόλληση) και διακλάδωση των οπτικών ινών είναι τεχνικά δύσκολη εργασία, ενώ ο εξοπλισμός διασύνδεσης που απαιτείται είναι ευπαθής και ακριβός. Το κόστος αυτό αυξάνεται ακόμη περισσότερο, αν ληφθεί υπόψη ότι η μετάδοση είναι πάντοτε προς μία μόνο κατεύθυνση. Σε πολλές περιπτώσεις έχει υπολογιστεί ότι είναι προτιμότερη η προμήθεια και εγκατάσταση ενός καλωδίου *UTP* κατηγορίας 5, του οποίου το κόστος είναι πολύ μικρό, από την καλωδίωση οπτικής ίνας, αρκεί να ικανοποιούνται οι απαιτούμενοι ρυθμοί μετάδοσης των εκάστοτε δικτυακών εφαρμογών.

Ο πίνακας 1.1 παρέχει, σε συνοπτική μορφή, μια συγκριτική αξιολόγηση των ενσύρματων μέσων μετάδοσης.

	Συνεστραμμένο ζεύγος		Ομοαξονικό καλώδιο	Οπτική ίνα	
Ρυθμός μετάδοσης	Ανάλογα με την κατηγορία, έως 100 Mbps		Ίδιος ή υψηλότερος από τα καλώδια συνεστραμμένων ζευγών	Από 100 Mbps έως μερικά Gbps	
Απόσταση	Δεκάδες μέτρα		Εκατοντάδες μέτρα	Πολλά χιλιόμετρα	
Ευσensθησία σε παρεμβολές	Μέτρια		Μέτρια	Χαμηλή	
Τεχνολογική κατάσταση	Ωριμη		Ωριμη	Αναπτυσσόμενη	
Ευκολία εγκατάστασης	Υψηλή		Μέτρια	Χαμηλή	
Ανάγκη αναμεταδοτών	Κάθε 3 - 4 km		Κάθε 3 - 4 km	Κάθε 40 - 60 km	
Επιλογή	Αθιωρόκαστο: λιγότερο αξιόπιστο σε μεγάλους ρυθμούς μετάδοσης	Θιωρακισμένο: λιγότερο ευαίσθητο σε παρεμβολές	50 Ohm, 5 mm: περισσότερο εύλεκτο (βασική ζώνη)	75 Ohm, 10 mm: μεγαλύτερο εύρος (ευρεία ζώνη)	Μονότροπη: υψηλότεροι ρυθμοί μετάδοσης Πολύτροπη: φθηνότερη και πιο εύλεκτη

Πίνακας 1.1: Σύγκριση καλωδιακών μέσων μετάδοσης



Το κόστος κατασκευής δύο πύργων, απαραίτητων για την υλοποίηση κάποιας ασύρματης σύνδεσης, είναι συχνά πολύ φθηνότερο από τη διάνοιξη ενός υπόγειου αγωγού μήκους 100 km, την τοποθέτηση των καλωδίων και την αποκατάσταση του περιβάλλοντος χώρου. Επίσης οι τεχνικές δυσκολίες που συναντώνται στη διάνοιξη αγωγών μεγάλου μήκους και στην αποκατάσταση του περιβάλλοντος χώρου δεν πρέπει να υποτιμώνται, ιδιαίτερα αν οι αγωγοί πρέπει να περάσουν μέσα από κατοικημένες περιοχές.



1.3.2 Σύγκριση ενσύρματων και ασύρματων μέσων μετάδοσης

Οι διαφορές μεταξύ των ενσύρματων και των ασύρματων μέσων μετάδοσης είναι αρκετές. Η καταλληλότητα κάποιου μέσου εξαρτάται κυρίως από τη φυσική θέση της σύνδεσης, τους επιζητούμενους ρυθμούς μετάδοσης, την ποιότητα της σύνδεσης, το αναμενόμενο κόστος κτλ. Επομένως η επιλογή του καταλληλότερου μέσου δεν είναι πάντα απλή, αλλά αποτελεί συνδυασμό πολλών παραγόντων. Οι κυριότερες διαφορές μπορούν να καταγραφούν ως ακολούθως:

- ✓ Μία από τις βασικές διαφορές των ενσύρματων από τις ασύρματες συνδέσεις συνίσταται στο υψηλότερο κόστος προμήθειας και εγκατάστασης του ενσύρματου μέσου. Είναι ενδιαφέρον να τονιστεί ότι η διαφορά του κόστους αυτού φαίνεται να αυξάνεται, όσο μεγαλώνει η απόσταση που συνδέει τους σταθμούς επικοινωνίας.
- ✓ Στις ενσύρματες συνδέσεις η χρήση των αναμεταδοτών κατά μήκος όλης της διαδρομής είναι, στην πλειονότητα των περιπτώσεων, αναπόφευκτη. Οι αναμεταδότες αυτοί πρέπει περιοδικά να συντηρούνται, γιατί τα καλωδιακά μέσα είναι ευαίσθητα σε φυσικές φθορές ή άλλης αιτιολογίας καταστροφές, όπως είναι για παράδειγμα το κόψιμο του καλωδίου από τρωκτικά, από γεωργικά ή κηπευτικά μηχανήματα κτλ. Αντίθετα, κανένα από αυτά τα προβλήματα δεν παρουσιάζεται στην περίπτωση των περισσότερων ασύρματων συνδέσεων.
- ✓ Τα ηλεκτρομαγνητικά σήματα μεταδίδονται με χαμηλότερους ρυθμούς στα χάλκινα καλώδια από ό,τι στον αέρα. Δε συμβαίνει όμως το ίδιο και με τις οπτικές ίνες, οι οποίες μεταδίδουν αυτά τα σήματα με υψηλότερους ρυθμούς.
- ✓ Τα κυριότερα μειονεκτήματα των ασύρματων συνδέσεων έχουν σχέση με τις γενικότερες αδυναμίες μετάδοσης των ηλεκτρομαγνητικών σημάτων, όταν αυτά μεταδίδονται στην ατμόσφαιρα. Για παράδειγμα, τα σήματα από μια απλή κεραία είναι δυνατόν να διαχωριστούν και να μεταδοθούν ακολουθώντας ελαφρώς διαφορετικά μονοπάτια σε σχέση με την κεραία λήψης. Όταν αυτά τα εκτός φάσης σήματα επανασυνδεθούν, μπορεί να παρεμβληθούν το ένα στο άλλο, μειώνοντας έτσι την ισχύ του σήματος.
- ✓ Συνήθως η ασύρματη μετάδοση επηρεάζεται από ατμοσφαιρικά φαινόμενα, όπως είναι οι καταιγίδες, η βροχή, τα σύννεφα, το χιόνι, η θερμοκρασία κτλ., φαινόμενα που σπάνια επηρεάζουν τα ενσύρματα μέσα μετάδοσης, είτε αυτά είναι οπτικές ίνες είτε απλώς θωρακισμένα χάλκινα καλώδια.
- ✓ Τα ασύρματα μέσα μετάδοσης επηρεάζονται από βιομηχανικούς θορύβους πολύ περισσότερο από τα ενσύρματα μέσα, ιδιαίτερα αν τα δεύτερα είναι οπτικές ίνες ή θωρακισμένα χάλκινα καλώδια.



Οι ενσύρματες συνδέσεις απαιτούν αναμεταδότες και έχουν μεγάλο κόστος εγκατάστασης. Αντίθετα, οι ασύρματες συνδέσεις δεν απαιτούν αναμεταδότες και έχουν μικρό κόστος εγκατάστασης.



Τα ηλεκτρομαγνητικά σήματα μεταδίδονται με χαμηλότερους ρυθμούς στα χάλκινα καλώδια από ό,τι στον αέρα. Ειδικότερα, η ασύρματη μετάδοση επηρεάζεται από ατμοσφαιρικά φαινόμενα και είναι πιο ευάλωτη σε θορύβους από ό,τι η ενσύρματη.



1.3.2.1 Σύγκριση δορυφορικών και επίγειων συνδέσεων

Οι δορυφορικές συνδέσεις έχουν αρκετές ιδιότητες οι οποίες είναι εντελώς διαφορετικές από τις ιδιότητες των επίγειων ενσύρματων ή ασύρματων συνδέσεων σημείου προς σημείο. Για το λόγο αυτό εξετάζονται χωριστά. Οι διαφορές αυτές μπορούν να ταξινομηθούν ως ακολούθως:

- ✓ Η τεράστια συνολικά απόσταση που πρέπει να διανύσουν τα σήματα προς και από ένα δορυφόρο, ακόμα και αν μεταδίδονται με την ταχύτητα του φωτός (300.000 km/sec), προκαλεί μια σημαντική καθυστέρηση. Ανάλογα με την απόσταση μεταξύ του χρήστη και του επίγειου σταθμού, όπως και ανάλογα με το ύψος του δορυφόρου επάνω από τον ορίζοντα, ο χρόνος μετάδοσης, από άκρο σε άκρο, είναι μεταξύ 250 και 300 msec. Για λόγους σύγκρισης, οι επίγειες μικροκυματικές ζεύξεις έχουν μια καθυστέρηση μετάδοσης ίση με 0,003 msec/km (3 msec/km) περίπου, ενώ στις ζεύξεις ομοαξονικών καλωδίων η καθυστέρηση είναι ίση με 0,005 msec/km (5 msec/km) περίπου.
- ✓ Στη δορυφορική επικοινωνία το κόστος της μετάδοσης ενός μηνύματος είναι ανεξάρτητο τόσο από την απόσταση όσο και από τον αριθμό των σταθμών λήψης του μηνύματος. Τα χαρακτηριστικά αυτά, τα οποία συνιστούν συγχρόνως και ουσιαστική διαφορά με τις επίγειες συνδέσεις, οφείλονται στην ικανότητα **εκπομπής (broadcasting)** των δορυφορικών συνδέσεων, δηλαδή στην ικανότητα των σταθμών βάσης που λειτουργούν στο εύρος της συχνότητας εκπομπής να συλλέγουν ό,τι μεταδίδεται σ' αυτή τη συχνότητα (σχήμα 1.22). Είναι φανερό ότι με τις δορυφορικές συνδέσεις δημιουργείται η ανάγκη προστασίας των ατομικών πληροφοριών, αφού υπάρχει πάντοτε η δυνατότητα της ελεύθερης πρόσβασης των χρηστών σε ένα πλήθος πληροφοριών που μεταδίδεται σε συγκεκριμένη συχνότητα. Για το λόγο αυτό έχουν αναπτυχθεί πολλές κρυπτογραφικές μέθοδοι, οι οποίες όμως δεν εξασφαλίζουν πάντα τους χρήστες.
- ✓ Ασφαλώς μία ακόμη αξιολογή διαφορά των δορυφορικών από τις επίγειες συνδέσεις είναι το εύρος ζώνης που διατίθεται. Ειδικότερα στο χώρο της ψηφιακής επικοινωνίας, οι υψηλότεροι ρυθμοί μετάδοσης που συναντώνται σήμερα σε μισθωμένες τηλεφωνικές γραμμές με κανονική χρήση φθάνουν τα 56 Kbps, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις, ιδιαίτερα όταν το προκαλούμενο υψηλό κόστος είναι αποδεκτό, χρησιμοποιούνται γραμμές T1 των 1,544 Mbps. Σε αντιδιαστολή, η δορυφορική επικοινωνία μέσω των σταθμών VSATs παρακάμπτει ολόκληρο το τηλεφωνικό σύστημα και μπορεί να προσφέρει πολύ υψηλότερους ρυθμούς μετάδοσης. Ο **σταθμός VSAT (Very Small Aperture Terminal)** χρησιμοποιεί, στην απλούστερη περίπτωση, μια μικρού κόστους κεραία στέγης για άμεση επικοινωνία με έναν ισχυρό επίγειο δορυφορικό σταθμό που βρίσκεται σε κοντινή απόσταση (σχήμα 1.25). Ασφαλώς, επειδή η κυκλοφορία των πληροφοριών μεταξύ των υπολογιστών έχει τη μορφή **καταιγισμού**, η δυνατότητα να αποκτηθεί ένα τεράστιο εύρος ζώνης για ένα μικρό χρονικό διάστημα είναι αρκετά ελκυστική. Για παράδειγμα, για την αποστολή μιας μαγνητικής ταινίας μέσω μιας τηλεφωνικής γραμ-



Η ικανότητα εκπομπής των δορυφορικών συνδέσεων συνηθίζεται να λέγεται και ικανότητα ευρείας ή ανοικτής εκπομπής.



Με τον όρο **καταιγισμό** εννοούμε ότι σε ελάχιστο χρονικό διάστημα έχουμε τεράστιο όγκο πληροφοριών.



Σχήμα 1.25: Επίγειοι δορυφορικοί σταθμοί VSATs, που χρησιμοποιούν δορυφορικό διανομέα για την επίτευξη της δορυφορικής επικοινωνίας.



Οι **VSATs** (*Very Small Aperture Terminals*) είναι χαμηλού κόστους τερματικοί σταθμοί εργασίας, που χρησιμοποιούν μικρές κεραίες (1m) χαμηλής ισχύος (1Watt). Παρέχουν συνδέσεις ανερχόμενης επικοινωνίας 19,2 Kbps και κατερχόμενης 5,12 Kbps περίπου. Σε περίπτωση που η ισχύς τους δεν επαρκεί για την άμεση επικοινωνία δύο VSATs, χρησιμοποιείται δορυφορικός διανομέας (σχήμα 1.25).

μής των 50 Kbps απαιτούνται 7 ώρες. Αντίθετα, για την αποστολή της ίδιας ταινίας μέσω ενός απλού δορυφορικού αναμεταδότη των 50 Mbps απαιτούνται 30 sec.

- ✓ Το κύριο πλεονέκτημα της οπτικής ίνας συνίσταται στο ότι διαθέτει πολύ μεγάλο εύρος ζώνης, το οποίο υπερκαλύπτει το εύρος ζώνης όλων των δορυφορικών ζεύξεων που προσφέρονται από όλους τους δορυφόρους επικοινωνίας. Όμως αυτό το εύρος ζώνης δεν είναι διαθέσιμο στην πλειονότητα των μεμονωμένων χρηστών. Συγκεκριμένα, είναι πολύ περιορισμένος ο αριθμός εκείνων των χρηστών που διαθέτουν πρόσβαση σε γραμμές οπτικών ινών. Οι τηλεπικοινωνιακοί οργανισμοί, που αντικαθιστούν σήμερα σταδιακά τις χάλκινες συνδέσεις με οπτικές ίνες, τις χρησιμοποιούν στο τηλεφωνικό σύστημα για τη διαχείριση πολλών ταυτόχρονων κλήσεων μεγάλης απόστασης και όχι για να εφοδιάσουν μεμονωμένους χρήστες με υψηλό εύρος ζώνης.
- ✓ Σε αντιδιαστολή, οι δορυφορικές συνδέσεις προσφέρουν ένα ασύγκριτα πρακτικό αποτέλεσμα στους χρήστες, οι οποίοι με ένα μικρό σχετικά κόστος εγκατάστασης μπορούν να τοποθετήσουν μια κεραία στην οροφή του κτιρίου τους και να επιτύ-



χουν δορυφορική ζεύξη, παρακάμπτοντας με αυτό τον τρόπο πλήρως το τηλεφωνικό σύστημα. Η ιδέα αυτή — που είναι αρκετά ελκυστική για τις χώρες των οποίων το έδαφος δε διευκολύνει τέτοιου είδους εγκατάσταση και οι οποίες διαθέτουν ελάχιστη τηλεπικοινωνιακή υποδομή — ενισχύει διαρκώς τη δημοτικότητα των δορυφορικών επικοινωνιών. Είναι φυσικό ο ανταγωνισμός αυτός να αυξάνεται, ιδιαίτερα όσο προχωρεί η αντικατάσταση των χάλκινων καλωδιακών μέσων των ψηφιακών τηλεφωνικών συστημάτων με οπτικές ίνες. Ασφαλώς οι οπτικές ίνες έχουν ένα πολύ μεγάλο μερίδιο στην τηλεπικοινωνιακή αγορά των μέσων μετάδοσης, εκτός ίσως από τις περιπτώσεις εκείνες που απαιτούν εφαρμογές εκπομπής, όπως είναι για παράδειγμα η τηλεοπτική μετάδοση.

Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Ρυθμός μετάδοσης, απόσταση, τεχνολογική κατάσταση, ευαισθησία σε παρεμβολές, ευκολία εγκατάστασης, εκπομπή δορυφορικών συνδέσεων, καταίγισμός, χαμηλού κόστους τερματικοί σταθμοί εργασίας (VSATs).





Μάθημα 1.4: Εξασθένηση, παραμόρφωση, θόρυβος

1.4.1 Βλάβη σήματος

Όπως διαπιστώσαμε από τα προηγούμενα μαθήματα, τα μέσα μετάδοσης έχουν περιορισμένο εύρος ζώνης, με αποτέλεσμα να εμποδίζουν το σήμα να περάσει αναλλοίωτο. Αυτό είναι μια φυσική αιτία⁶ που έχει διπλό αποτέλεσμα: πρώτον το σήμα εξασθενεί, δηλαδή χάνει μέρος από την ισχύ του, και δεύτερον παραμορφώνεται η σύνθεσή του και αυτό που λαμβάνει τελικά ο αποδέκτης προσεγγίζει απλώς το αρχικό ψηφιακό σήμα.

Εκτός όμως από τη φυσική αυτή αιτία, στη διαδικασία μετάδοσης πληροφοριών (σημάτων) δημιουργούνται και κάποιες βλάβες. Γενικότερα, **βλάβη** ή **σφάλμα** (*impairment*) σήματος ονομάζουμε οποιαδήποτε φυσική ή τεχνητή αιτία η οποία έχει ως αποτέλεσμα να μην μπορεί ο αποδέκτης να αναπαραγάγει το αρχικό σήμα που εκπέμπει ο πομπός. Μερικά από αυτά τα σφάλματα που εξασθενούν και παραμορφώνουν το σήμα που μεταδίδεται είναι τα ακόλουθα:

- ✓ Η **εξασθένηση** (*attenuation*) της ισχύος του σήματος με την απόσταση, που οφείλεται στην ηλεκτρική αντίσταση του υλικού από το οποίο είναι κατασκευασμένο το μέσο μετάδοσης. Η εξασθένηση μετριέται σε **decibel** ανά χιλιόμετρο (db/km), ενώ το ποσό της ενέργειας που χάνεται εξαρτάται από τη συχνότητα. Εάν η εξασθένηση υπερβεί μια συγκεκριμένη τιμή, ο τελικός αποδέκτης δύσκολα μπορεί να αποκτήσει την πληροφορία από το σήμα που λαμβάνει.
- ✓ Η **παραμόρφωση πλάτους**, που οφείλεται στη διαφορετική εξασθένηση την οποία προκαλούν τα μέσα μετάδοσης στα διαφορετικά πλάτη ενός σήματος.



Ηλεκτρική αντίσταση ονομάζουμε την αντίσταση που παρουσιάζει ένα υλικό στη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος εξαιτίας της κατασκευής του.

⁶ Στην παράγραφο 1.1.4 είδαμε ότι ένα ψηφιακό σήμα παριστάνεται με μια τετραγωνική κυματομορφή και αποτελείται από ένα σύνολο διαφορετικών αρμονικών. Οι συχνότητες των αρμονικών αυτών είναι ακέραιο πολλαπλάσιο της αρχικής (θεμελιώδους) συχνότητας. Έτσι το πλάτος αυτών των αρμονικών ελαττώνεται, εφόσον μεγαλώνει η συχνότητα, με αποτέλεσμα στις πολύ υψηλές αρμονικές το πλάτος να είναι στην ουσία αμελητέο, σχεδόν μηδενικό. Αντίστροφα, αν πάρουμε όλες αυτές τις αρμονικές και τις τοποθετήσουμε τη μία επάνω στην άλλη, θα πάρουμε γραφικά το αρχικό ψηφιακό σήμα. Για να αναπαραχθεί όμως απόλυτα το ψηφιακό σήμα, απαιτείται, όπως είναι φανερό, ένα μέσο μετάδοσης με απεριόριστο εύρος ζώνης. Στην πραγματικότητα, όλα τα μέσα που χρησιμοποιούνται στη μετάδοση σημάτων έχουν περιορισμένο εύρος ζώνης, δηλαδή εμποδίζουν κάποιες από αυτές τις διαφορετικές αρμονικές του σήματος να διαπεράσουν το μέσο. Η φυσική αυτή αιτία προκαλεί την εξασθένηση του σήματος, δηλαδή το σήμα χάνει μέρος από την ισχύ του, αφού αποκόπτονται κάποιες αρμονικές. Ταυτόχρονα το σήμα παραμορφώνεται, αφού με τη σύνθεση των λίγων αρμονικών που λαμβάνει τελικά ο αποδέκτης προσεγγίζει απλώς το αρχικό ψηφιακό σήμα (όπως φαίνεται στο σχήμα 1.11). Είναι ωστόσο δυνατόν να προσεγγίσουμε την τετραγωνική κυματομορφή του σήματος παίρνοντας μόνο τις πρώτες αρμονικές (π.χ. τις οκτώ πρώτες), επειδή αυτές έχουν και το μεγαλύτερο πλάτος.



- ✓ Η **παραμόρφωση λόγω καθυστέρησης** (*delay distortion*), που οφείλεται στη διαφορετική ταχύτητα με την οποία μεταδίδονται μέσα στις γραμμές οι συχνότητες ενός σήματος εξαιτίας της ελαστικότητας και της πυκνότητας του συγκεκριμένου μέσου μετάδοσης που χρησιμοποιείται. Αυτά τα χαρακτηριστικά του μέσου μετάδοσης ευθύνονται για την αλλαγή της φάσης των σημείων του από την είσοδο στην έξοδο της γραμμής. Ειδικά στην ψηφιακή μετάδοση η παραμόρφωση αυτή παίζει καθοριστικό ρόλο.
- ✓ Ο **θόρυβος**, δηλαδή κάθε ανεπιθύμητη και συχνά απρόβλεπτη ηλεκτρική ή ηλεκτρομαγνητική ενέργεια, τεχνητής ή φυσικής προέλευσης, η οποία παρεμβάλλεται στο σήμα που μεταδίδεται, με αποτέλεσμα να αλλοιώνει την ποιότητά του και να προκαλεί την παραμόρφωσή του.



1.4.2 Είδη θορύβου

Ο θόρυβος παρουσιάζεται σε όλα τα συστήματα επικοινωνιών, ανεξάρτητα από το αν αυτά είναι ενσύρματα ή ασύρματα. Τα είδη του θορύβου διακρίνονται σε δύο κατηγορίες. Στην πρώτη ανήκει ο **εξωτερικός θόρυβος**, ο οποίος δημιουργείται από αιτίες που βρίσκονται εκτός του συστήματος επικοινωνίας, δηλαδή προκαλούνται από τον ανθρώπινο ή άλλο εξωγενή παράγοντα. Έχει σχέση με τα λεγόμενα **βιομηχανικά παράσιτα**, δηλαδή με τις διάφορες ηλεκτρομηχανικές συσκευές που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση από το σύστημα, με την ηλεκτρική τροφοδότηση των συσκευών κτλ. Στην ίδια κατηγορία ανήκουν και τα λεγόμενα **ατμοσφαιρικά παράσιτα**, όπως είναι για παράδειγμα οι ατμοσφαιρικές εκκενώσεις, δηλαδή οι ηλεκτρομαγνητικές διαταραχές που προέρχονται από την ατμόσφαιρα κατά τη διάρκεια καταιγίδων ή ακόμα και από το μεσοαστρικό διάστημα. Ο θόρυβος αυτός είναι αντιστρόφως ανάλογος προς τη συχνότητα και ανάλογος προς το μήκος κύματος. Για παράδειγμα, σε χαμηλές συχνότητες, της τάξης των 500 KHz, ο εξωτερικός θόρυβος που προέρχεται από τα ατμοσφαιρικά και βιομηχανικά παράσιτα είναι πολύ πιο έντονος από ό,τι σε υψηλές συχνότητες, της τάξης των 300 MHz.

Στη δεύτερη κατηγορία θορύβου ανήκει ο **εσωτερικός θόρυβος**, ο οποίος προκαλείται από το ίδιο το μέσο. Θόρυβοι αυτής της μορφής είναι ο **θερμικός θόρυβος** (*thermal noise*), που προκύπτει από συγκρούσεις των ηλεκτρονίων του μέσου μετάδοσης, ο **θόρυβος ενδοδιαμόρφωσης** (*inter-modulation noise*), που οφείλεται στη συνύπαρξη σημάτων διαφορετικών συχνοτήτων, όταν αυτά μοιράζονται το ίδιο μέσο μετάδοσης, καθώς και η **συνακρόαση** (*cross-talk*), που προκαλείται, όταν δύο ξένα μεταξύ τους σήματα συζευχθούν για κάποιον ανεξάρτητο λόγο.

Ο εσωτερικός θόρυβος που δημιουργείται από αυτές τις αιτίες δεν εξαρτάται άμεσα από τη συχνότητα. Για παράδειγμα, στις περιπτώσεις που ο εξωτερικός θόρυβος δεν είναι έντονος (υψηλές συχνότητες), ο εσωτερικός θόρυβος είναι εμφανής και παίζει σημαντικό ρόλο η εξάλειψη ή η μείωσή του. Αντίθετα, τις περιπτώσεις που ο εξωτερικός θόρυβος είναι έντονος (χαμηλές συχνότητες), ο εσωτερικός δεν είναι εμφανής, αφού καλύπτεται από τον εξωτερικό που είναι εντονότερος, με αποτέλεσμα να προέχει η εξάλειψη του εξωτερικού θορύβου παρά του εσωτερικού. Σημειώ-

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



Ανοχή είναι το όριο επάνω από το οποίο δεν επιτρέπεται να μεταβληθεί το εύρος ζώνης. Οποιαδήποτε υπέρβαση έχει συνέπειες στο ρυθμό μετάδοσης.



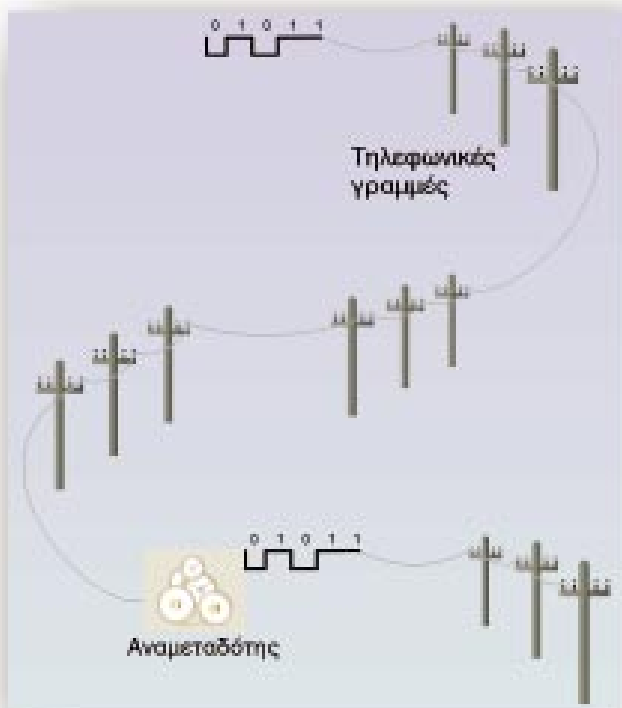
Ένας άλλος τρόπος με τον οποίο μπορούν να μειωθούν οι επιπτώσεις του θορύβου είναι η αύξηση της ισχύος του σήματος. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση ενισχυτών. Ο **ενισχυτής** είναι μια συσκευή που αποτελείται από τρανζίστορ ή άλλα στοιχεία, τα οποία μπορούν να ελέγχουν και να αυξάνουν το πλάτος ενός σήματος. Όμως το πλάτος του σήματος δεν αυξάνεται πέρα από ένα ορισμένο επίπεδο, γιατί μπορεί να αλλάξει η μορφή του (παράμορφωση).

νεται ότι η παραδοσιακή μέθοδος για την αντιμετώπιση του θορύβου είναι η μείωση του εύρους ζώνης του σήματος μέχρι κάποιο όριο **ανοχής**, πέρα από το οποίο η μείωση αυτή περιορίζει το ρυθμό μετάδοσης.

Μια σύγχρονη μέθοδος που ελαχιστοποιεί τις επιδράσεις του θορύβου είναι η **ψηφιακή επεξεργασία σήματος (DSP: Digital Signal Processing)**. Η DSP αφορά τεχνικές που χρησιμοποιούνται προκειμένου να βελτιώσουν την ακρίβεια και την αξιοπιστία των ψηφιακών σημάτων. Ένα κύκλωμα DSP έχει την ικανότητα να διακρίνει το θόρυβο ανάμεσα στα διάφορα ψηφιακά σήματα που εκπέμπονται και να τον απομακρύνει. Σε περίπτωση όμως που το σήμα είναι αναλογικό, τότε το μετατρέπει πρώτα σε ψηφιακό και, αφού το απαλλάξει από το θόρυβο, το επαναφέρει πάλι σε αναλογικό. Ασφαλώς μια άλλη προσέγγιση στο πρόβλημα του θορύβου αποτελεί η χρήση τεχνολογίας λιγότερο ευαίσθητης στο θόρυβο, όπως είναι η χρήση οπτικών ινών.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, κάθε μέσο μετάδοσης, ανεξάρτητα από τον τύπο του, προκαλεί με διάφορους τρόπους εξασθένηση του σήματος που μεταφέρει. Επιπλέον το σήμα παραμορφώνεται τόσο λόγω της εξασθένησης που υφίσταται από αιτίες που οφείλονται στις ατέλειες και στις ηλεκτρικές ιδιότητες που παρουσιάζει το μέσο μετάδοσης, όπως είναι η χωρητικότητα, η αντίσταση και η επαγωγή, όσο και λόγω της παρουσίας θορύβου και παρεμβολών. Μερικά από τα προβλήματα που δημιουργεί η εξασθένηση μπορούν να

εξαλειφθούν με τη χρήση αναμεταδοτών, οι οποίοι είναι συσκευές που ανιχνεύουν τα σήματα που στέλνονται και στη συνέχεια τα αναμεταδίδουν με την αρχική τους ένταση και οξύτητα (σχήμα 1.26). Ο αναμεταδότης προλαβαίνει τα σήματα, πριν αυτά αλλοιωθούν ανεπανόρθωτα από το θόρυβο ή τα απαλλάσσει απ' αυτόν αναπαράγοντάς τα από την αρχή. Αν οι αναμεταδότες βρίσκονται αρκετά κοντά ο ένας στον άλλο, μπορεί να επιτευχθεί η μετάδοση ενός πολύ υψηλού ρυθμού σημάτων σε αποστάσεις που θεωρητικά είναι απεριόριστες. Αν το μέσο μετάδοσης είναι χαλκινα καλώδια, οι αποστάσεις μεταξύ των αναμεταδοτών πρέπει να κυμαίνονται από 2 έως 4 km, ενώ, αν είναι οπτικές ίνες, από 40 έως 60 km.



Σχήμα 1.26: Οι αναμεταδότες ανιχνεύουν τα σήματα που στέλνονται και τα αναμεταδίδουν με την αρχική τους ένταση και οξύτητα.



Βέβαια οι επιπτώσεις του θορύβου δεν μπορούν να εξαλειφθούν τελείως. Ωστόσο ο πρωταρχικός στόχος της σχεδίασης ενός επικοινωνιακού συστήματος θα πρέπει να επικεντρώνεται στην όσο το δυνατόν μεγαλύτερη αποφυγή των επιπτώσεων του θορύβου, ώστε να μπορεί να γίνεται πιστή αναπαραγωγή του μηνύματος που εκπέμπεται.

1.4.3 Μέτρηση εξασθένησης - ενίσχυσης σήματος και θορύβου

Τόσο η εξασθένηση όσο και η ενίσχυση του σήματος μετριοούνται σε **decibel (db)**. Αν συμβολίσουμε με P_1 και P_2 τα επίπεδα ισχύος των σημάτων που αποστέλλονται και λαμβάνονται από τον πομπό και το δέκτη αντίστοιχα, τότε ορίζεται:

$$\text{εξασθένηση} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_1}{P_2} \right) \text{db}$$

$$\text{ενίσχυση} = 10 \log_{10} \left(\frac{P_2}{P_1} \right) \text{db}$$

Επειδή οι μονάδες των P_1 και P_2 είναι Watt, τα db είναι μεγέθη χωρίς διάσταση, που μετρούν απλώς το σχετικό μέγεθος των επιπέδων των δύο σημάτων.

Ανάλογα, ο θόρυβος υπολογίζεται από το λόγο της ισχύος του σήματος S προς την ισχύ του θορύβου N , δηλαδή από το S/N , που ονομάζεται **λόγος του σήματος προς θόρυβο (SNR: Signal-to-Noise-Ratio)** και είναι ένας σημαντικός παράγοντας που προσδιορίζει την επικοινωνία. Ο θόρυβος αποδίδεται σε db και ορίζεται από τον τύπο:

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

Για παράδειγμα, αν $\text{SNR} = 10 \text{ db}$, τότε θα έχουμε:

$$10 \log_{10} \left(\frac{P_2}{P_1} \right) \text{db}, \text{ οπότε } \log_{10} \left(\frac{S}{N} \right) = 1, \text{ και επομένως } \left(\frac{S}{N} \right) = 10^1 = 10.$$

Με τον ίδιο τρόπο, αν $\text{SNR} = 20 \text{ db}$, παίρνουμε $S/N = 100$, ενώ, αν είναι $\text{SNR} = 30 \text{ db}$, παίρνουμε $S/N = 1.000$ κ.ο.κ.

[Περισσότερα για τον παράγοντα αυτό και για τον τρόπο με τον οποίο επηρεάζει τη χωρητικότητα ενός μέσου μετάδοσης θα αναφερθούν στην επόμενη ενότητα.]

Παράδειγμα V

Μια γραμμή μετάδοσης μεταξύ δύο τερματικών διατάξεων αποτελείται από τρία



Ένα κανάλι με χρησιμοποιήσιμο εύρος ζώνης 3.000 Hz και SNR ίσο με 30 db (ή $S/N = 10^3$) αποτελεί τυπική περίπτωση μιας αναλογικής τηλεφωνικής σύνδεσης χωρητικότητας 30 Kbps. Στην πράξη όμως ο ρυθμός μετάδοσης στα κανάλια αυτά δεν υπερβαίνει τα 9.600 bps.



τμήματα. Στο πρώτο παρουσιάζεται εξασθένηση 16 db, στο δεύτερο ενίσχυση 20 db και στο τρίτο εξασθένηση 10 db. Υποθέτοντας ένα μέσο επίπεδο 400mW ($1 \text{ mW} = 10^{-3} \text{ Watt}$), το μέσο επίπεδο ισχύος της γραμμής θα είναι:

✓ Πρώτο τμήμα (εξασθένηση):

$$16 = 10 \log_{10} \left(\frac{400}{P_2} \right) \text{db}, \text{ οπότε } P_2 = 10,0475 \text{ mW}$$

✓ Δεύτερο τμήμα (ενίσχυση):

$$20 = 10 \log_{10} \left(\frac{P_2}{10,0475} \right) \text{db}, \text{ οπότε } P_2 = 1.004,75 \text{ mW}$$

✓ Τρίτο τμήμα (εξασθένηση):

$$10 = 10 \log_{10} \left(\frac{1.004,75}{P_2} \right) \text{db}, \text{ οπότε } P_2 = 100,475 \text{ mW}$$

Επομένως το μέσο επίπεδο ισχύος της εξόδου θα είναι 100,475 mW.

Με διαφορετικό τρόπο θα μπορούσε να ισχυριστεί κάποιος ότι η συνολική εξασθένηση που υφίσταται το σήμα, όταν διαπερνά και τα τρία τμήματα, θα είναι

$$\begin{aligned} 16 &= 10 \log_{10}(400 / P_2) \rightarrow \\ 1,6 &= \log_{10}(400 / P_2) = \log_{10} 400 - \log_{10} P_2 \rightarrow \\ \log_{10} P_2 &= \log_{10} 400 - 1,6 = \log_{10} 400 - 1,6 = 2,602059 - 1,6 = 1,002059 \rightarrow \\ \log_{10} P_2 &= 1,002059 \rightarrow \\ P_2 &= 10^{1,002059} = 10,0475 \end{aligned}$$

6 db (= 16 – 20 + 10). Επομένως:

✓ Για το σύνολο της γραμμής (εξασθένηση):

$$6 = 10 \log_{10} \left(\frac{400}{P_2} \right) \text{db}, \text{ οπότε } P_2 = 100,475 \text{ mW}$$



Λέξεις που πρέπει να θυμάται

Βλάβη σήματος, εξασθένηση σήματος, παραμόρφωση πλάτους, θόρυβος, παραμόρφωση λόγω καθυστέρησης, εξωτερικός θόρυβος, βιομηχανικά παράσιτα, ατμοσφαιρικά παράσιτα, εσωτερικός θόρυβος, θερμικός θόρυβος, θόρυβος ενδοδιαμόρφωσης, συνακρόαση, επεξεργασία ψηφιακού σήματος.

Μάθημα 1.5: Διαμόρφωση σήματος

1.5.1 Εισαγωγή

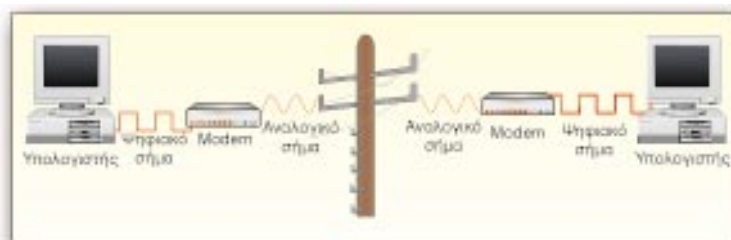
Από το προηγούμενο μάθημα φάνηκε ότι ένα μέσο μετάδοσης μπορεί να λειτουργεί περισσότερο αποδοτικά (χωρίς θόρυβο) σε υψηλές συχνότητες, όπως είναι για παράδειγμα οι συχνότητες της τάξης των 70 έως 150 MHz περίπου. Επομένως ήταν αναγκαίο να βρεθεί ένας τρόπος, ώστε τα σήματα υψηλών συχνοτήτων να μπορούν να μεταφέρουν και τις χαμηλότερες συχνότητες. Η τεχνική σύμφωνα με την οποία μεταφέρονται οι χαμηλές συχνότητες από τις υψηλές ονομάζεται **διαμόρφωση** (*modulation*), ενώ η διάταξη με την οποία επιτυγχάνεται αυτό ονομάζεται **διαμορφωτής** (*modulator*). Η διαμόρφωση πραγματοποιείται με τη βοήθεια ενός σήματος υψηλής συχνότητας, που ονομάζεται **φέρων σήμα** (λέγεται και **φορέας** ή **φέρουσα κυματομορφή** ή απλώς **φέρων**), το οποίο μεταβάλλεται κατάλληλα (δηλαδή διαμορφώνεται) από το σήμα με τις χαμηλές συχνότητες που πρόκειται να μεταδοθεί. Οι υψηλές συχνότητες του φορέα ονομάζονται **φέρουσες συχνότητες** ή **συχνότητες φέρωντος** (*carrier frequency*). Ο φορέας μπορεί να είναι είτε αναλογικό σήμα είτε μια σειρά παλμών.

Με τη διαμόρφωση επιτυγχάνεται η συστηματική μεταβολή κάποιου χαρακτηριστικού της φέρουσας κυματομορφής, όπως είναι για παράδειγμα το πλάτος, η συχνότητα ή η φάση της, ώστε το σήμα να μπορέσει να περάσει από το μέσο μετάδοσης. Μετά από αυτή τη διαδικασία ο αποστολέας στέλνει το διαμορφωμένο σήμα στον αποδέκτη, ο οποίος με τη σειρά του αποδιαμορφώνει το σήμα που λαμβάνει και εξαγάγει το σήμα χαμηλών συχνοτήτων που τον ενδιαφέρει. Επομένως **αποδιαμόρφωση** (*demodulation*) είναι ο μηχανισμός που επαναφέρει το διαμορφωμένο σήμα στην κανονική του μορφή και επιτυγχάνεται από ειδική συσκευή που λέγεται **αποδιαμορφωτής** (*demodulator*).

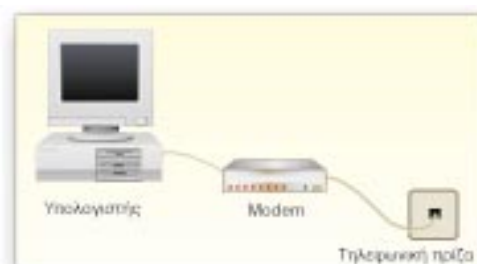
Η διαδικασία διαμόρφωσης και αποδιαμόρφωσης φαίνεται στο σχήμα 1.27. Σημειώνεται ότι συνήθως οι λειτουργίες των διαμορφωτών και των αποδιαμορφωτών ενοποιούνται σε μια διάταξη που ονομάζεται **διαποδιαμορφωτής** (*MODEM: Modulator - Demodulator*). Στα διάφορα συστήματα επικοινωνίας ο διαποδιαμορφωτής συνδέει τον υπολογιστή με το μέσο μετάδοσης, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.28. Σήμερα οι διαποδιαμορφωτές εκτελούν και διάφορες άλλες εργασίες, όπως είναι ο διαχωρισμός συχνοτήτων, ο έλεγχος της μορφής και της ισχύος του σήματος, ο συγχρονισμός του πομπού και του δέκτη κτλ.



Η λέξη *MODEM* προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων *MOdulator-DEModulator*, που σημαίνουν διαμορφωτής - αποδιαμορφωτής ή, πιο σύντομα, διαποδιαμορφωτής.



Σχήμα 1.27: Διαμόρφωση και αποδιαμόρφωση σήματος



Σχήμα 1.28: Διασύνδεση υπολογιστή με την τηλεφωνική γραμμή μέσω διαποδιαμορφωτή (*modem*) για επιλογική (*dial-up*) σύνδεση



Η διαμόρφωση είναι απαραίτητη, γιατί:

- ✓ Προσαρμόζει το σήμα στις απαιτήσεις και στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του μέσου μετάδοσης (π.χ. ομοαξονικό, UTP, οπτικές ίνες κτλ.).
- ✓ Περιορίζει το θόρυβο και τις παρεμβολές.
- ✓ Χρησιμοποιείται για την ταυτόχρονη μετάδοση πολλών σημάτων μέσα από το ίδιο μέσο μετάδοσης.
- ✓ Χρησιμοποιείται για να ξεπεραστούν μερικοί περιορισμοί στις επιδόσεις των συσκευών επεξεργασίας.

Παράδειγμα VI

Η τεχνική της διαμόρφωσης χρησιμοποιήθηκε αρχικά στη ραδιοφωνία για την εκπομπή ομιλίας και μουσικής μέσω ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων τα οποία μεταδίδονται ελεύθερα στο χώρο. Μια υψηλή συχνότητα που μπορεί να μεταδοθεί από μια κεραία χρησιμεύει ως φορέας. Οι χαμηλές συχνότητες, δηλαδή η ομιλία και η μουσική, που δεν μπορούν, για πολλούς λόγους, να μεταδοθούν στον ελεύθερο χώρο, διαμορφώνουν την υψηλή συχνότητα και μεταδίδονται μαζί της.



Παράδειγμα VII

Όπως είναι γνωστό, για τη μετάδοση της φωνής χρησιμοποιείται εύρος ζώνης 4.000 Hz (δηλαδή 3.100 Hz και κάποια ακόμη επιπλέον Hz που απαιτούνται για το διαχωρισμό των λογικών καναλιών), ενώ η συχνότητα του φέροντος πρέπει να είναι 30 KHz. Η διαδικασία της διαμόρφωσης πρέπει να αλλάξει τις αρχικές συχνότητες από 0 - 4.000 Hz σε 30.000 - 34.000 Hz, δηλαδή πρέπει να μεταφέρει το εύρος του σήματος σε υψηλότερες συχνότητες, έτσι ώστε αυτό να περιέλθει στο εύρος του καναλιού και επομένως να μπορεί να μεταδοθεί. Το εύρος ζώνης εξακολουθεί να είναι 4.000 Hz και μπορεί να μεταφέρει την ίδια ποσότητα πληροφοριών, είτε πρόκειται για φωνή είτε για δεδομένα.

Φυσικό κανάλι είναι η ίδια η γραμμή επικοινωνίας. Λογικά κανάλια είναι οι ζώνες μικρότερης συχνότητας στις οποίες μπορεί να διαχωριστεί ένα φυσικό κανάλι.

1.5.2 Τεχνικές διαμόρφωσης σήματος

Υπάρχουν πολλές τεχνικές διαμόρφωσης σήματος. Οι κυριότερες είναι η **διαμόρφωση συνεχούς φέροντος κύματος** και η **διαμόρφωση παλμών** ή **παλμοκωδική διαμόρφωση** (PCM: *Pulse Code Modulation*). Στη διαμόρφωση συνεχούς φέροντος κύματος η κυματομορφή του φέροντος είναι συνεχής (αναλογική κυματομορφή⁷), με ένα από τα χαρακτηριστικά της να μεταβάλλεται αναλογικά με το σήμα του μηνύματος. Στη διαμόρφωση παλμών η φέρουσα κυματομορφή είναι η τετραγωνική (ψηφια-

⁷ Συνήθως πρόκειται για μια ημιτονοειδή κυματομορφή.



κή κυματομορφή), με ένα από τα χαρακτηριστικά της να μεταβάλλεται και πάλι αναλογικά με το σήμα του μηνύματος. Και στις δύο περιπτώσεις το χαρακτηριστικό του φέροντος, που μεταβάλλεται αναλογικά με το σήμα μηνύματος, μπορεί να διαμορφώνεται είτε με συνεχή είτε με διακριτό τρόπο. Η **διακριτή διαμόρφωση παλμών** (*discrete PCM*), που λέγεται και **ψηφιακή διαμόρφωση** (*digital modulation*), είναι μια μέθοδος η οποία προσφέρεται καλύτερα για μηνύματα που από τη φύση τους είναι διακριτά, όπως είναι για παράδειγμα η έξοδος κάποιου τηλετύπου.

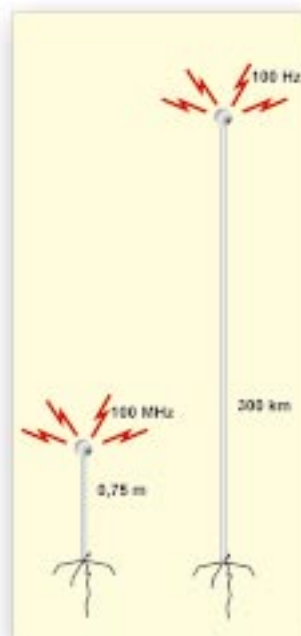
Ένα μήνυμα αποτελείται από μια σειρά συμβόλων κάποιου συγκεκριμένου αλφαβήτου. Κάθε σύμβολο διαβιβάζεται μέσω του μέσου μετάδοσης με μια συγκεκριμένη ηλεκτρική κυματομορφή που είναι γνωστή. Έτσι τα μηνύματα που παριστάνονται με μια σειρά από γνωστές κυματομορφές γίνονται αντιληπτά από το δέκτη, ο οποίος είναι σε θέση να αναγνωρίζει όλα τα σύμβολα που διαβιβάζονται κάθε χρονική στιγμή. Στην περίπτωση όμως της μετάδοσης αναλογικών (συνεχών) σημάτων ο αριθμός των δυνατών κυματομορφών είναι απεριόριστος και άγνωστος. Για παράδειγμα, στη ραδιοφωνική ή στην τηλεοπτική εκπομπή έχουμε άπειρο αριθμό δυνατών μηνυμάτων και οι αντίστοιχες κυματομορφές δεν είναι όλες γνωστές.

1.5.3 Πλεονεκτήματα διαμόρφωσης σήματος

Αν το μέσο μετάδοσης είναι από τη φύση του χαμηλών συχνοτήτων, τότε το σήμα μπορεί να διαβιβαστεί μέσα από αυτό χωρίς διαμόρφωση. Η επικοινωνία αυτής της μορφής αναφέρεται και ως επικοινωνία βασικής ζώνης (βλ. και Μάθημα 1.2). Όμως τα περισσότερα μέσα μετάδοσης έχουν και μία συγκεκριμένη υψηλή περιοχή συχνοτήτων, οπότε, για να μεταδοθεί το σήμα χαμηλών συχνοτήτων, είναι αναγκαία η διαμόρφωση, η οποία θα προσαρμόσει το εύρος ζώνης των χαμηλών συχνοτήτων του σήματος στη συγκεκριμένη υψηλή περιοχή του μέσου μετάδοσης. Η προσαρμογή αυτή έχει ως συνέπεια μερικά άλλα πλεονεκτήματα, τα οποία αξίζει να αναφερθούν:

✓ Διαμόρφωση για εύκολη μετάδοση

Αν το κανάλι επικοινωνίας είναι ο αέρας, χρειάζεται κεραία τόσο για την εκπομπή όσο και για τη λήψη του σήματος. Η αποτελεσματική εκπομπή των ηλεκτρομαγνητικών σημάτων απαιτεί κεραίες με διαστάσεις τέτοιες, όσο είναι και το μήκος κύματος του σήματος που μεταδίδεται. Επειδή ωστόσο πολλά σήματα, όπως τα ακουστικά, έχουν χαμηλές συχνότητες, της τάξης π.χ. των 100 Hz, για να μεταδοθούν, θα απαιτούσαν κεραίες μήκους πολλών χιλιομέτρων, π.χ. 300 km. Αν όμως χρησιμοποιηθεί η τεχνική της διαμόρφωσης προκειμένου να αποτυπωθεί το σήμα σε ένα φέρον υψηλής συχνότητας, π.χ. των 100 MHz, τότε η κεραία που θα χρειαζόταν δε θα ξεπερνούσε το ένα μέτρο ($\lambda/4 = 3\text{m}/4 = 0,75\text{ m}$).





Ο όρος **πολυπλεξία** αναφέρεται σε κάθε διαδικασία που επιτρέπει σε περισσότερα από ένα αυτοτελή σήματα να μεταδοθούν ταυτόχρονα μέσω ενός μοναδικού φυσικού διαύλου.



Το **φίλτρο** είναι ένα σύστημα που επεξεργάζεται κάποιο σήμα, με σκοπό την ανίχνευση και κατόπιν το διαχωρισμό ενός επιθυμητού σήματος από το ανεπιθύμητο σύνολο θορύβων ή άλλων σημάτων που συνθέτουν το αρχικό σήμα.



✓ Διαμόρφωση για πολυπλεξία

Όταν περισσότερα από ένα σήματα χρησιμοποιούν το ίδιο μέσο μετάδοσης, η διαμόρφωση μπορεί να χρησιμεύσει για να αλλάξει τις θέσεις εύρους ζώνης των διάφορων σημάτων, επιτρέποντας με αυτό τον τρόπο στο δέκτη να επιλέξει το επιθυμητό σήμα. Αυτό, για παράδειγμα, γίνεται στη στερεοφωνική ραδιοφωνία *FM*.

✓ Διαμόρφωση για την υπέρβαση των περιορισμών των συσκευών μετάδοσης σημάτων

Η ευκολία με την οποία μπορούν να κατασκευαστούν οι συσκευές επεξεργασίας σημάτων, όπως είναι τα φίλτρα και οι ενισχυτές, εξαρτάται από το εύρος του σήματος και τη συχνότητά του. Δηλαδή είναι ευκολότερο και οικονομικότερο να σχεδιαστούν και να κατασκευαστούν συσκευές που δέχονται σήματα με στενό εύρος ζώνης παρά το αντίθετο. Όπως είναι γνωστό, η διαμόρφωση μπορεί να αλλάξει τη συχνότητα του σήματος και να μετατρέψει ένα σήμα με μεγάλο εύρος σε ένα άλλο με στενό εύρος. Επομένως, στην περίπτωση που η συχνότητα της συσκευής με τη συχνότητα του σήματος δεν ταιριάζουν, διαμορφώνεται η συχνότητα του σήματος στη σταθερή συχνότητα της συσκευής.

✓ Διαμόρφωση για παραχώρηση συχνότητας

Η διαμόρφωση δίνει τη δυνατότητα στους διάφορους ραδιοφωνικούς ή τηλεοπτικούς σταθμούς να εκπέμπουν συγχρόνως σε διαφορετικές φέρουσες συχνότητες. Επίσης επιτρέπει στους δέκτες να συντονίζονται προκειμένου να επιλέξουν διαφορετικούς σταθμούς.

✓ Διαμόρφωση για περιορισμό θορύβου και παρεμβολών

Ο θόρυβος και οι παρεμβολές δεν μπορούν να εξαλειφθούν εντελώς. Είναι όμως δυνατόν να περιοριστούν οι επιπτώσεις τους χρησιμοποιώντας ορισμένους τύπους διαμόρφωσης, γεγονός που το παίρνουν πάντα υπόψη τους οι σχεδιαστές συστημάτων επικοινωνίας.

Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Διαμόρφωση, διαμορφωτής, φέρον σήμα, φέρουσες συχνότητες, αποδιαμόρφωση, διαποδιαμορφωτής (*modem*), παλμοκωδική διαμόρφωση, ψηφιακή διαμόρφωση, πολυπλεξία.

Μάθημα 1.6: Είδη διαμόρφωσης

1.6.1 Αναλογική μετάδοση και διαμόρφωση

Τα μέσα μετάδοσης που χρησιμοποιούνται στις τηλεπικοινωνίες είναι τέτοια, που δεν επιτρέπουν πάντα τη μετάδοση των σημάτων στην αρχική τους μορφή, δηλαδή χωρίς να έχουν υποστεί κάποιου είδους διαμόρφωση. Αυτό οφείλεται κυρίως:

- ✓ στις επαγωγικές επιδράσεις και στη χωρητικότητα που υπάρχει στις γραμμές επικοινωνίας,
- ✓ στο πρόβλημα του θορύβου και
- ✓ στην προσπάθεια για καλύτερη αξιοποίηση του μέσου μετάδοσης.

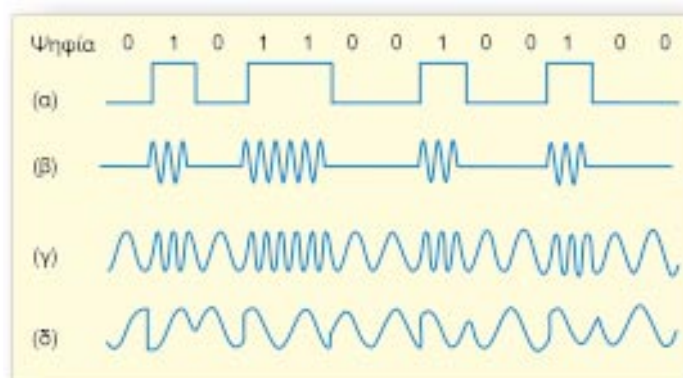
Σε όλα τα είδη διαμόρφωσης αυτό που γίνεται στην πραγματικότητα είναι η μετάδοση ενός αναλογικού σήματος (φορέα) επάνω στο οποίο προστίθεται το ψηφιακό σήμα, μεταβάλλοντας ένα ή περισσότερα από τα χαρακτηριστικά του (πλάτος, συχνότητα, φάση). Επομένως, όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.29, έχουμε τρεις μορφές διαμόρφωσης:

- ✓ **διαμόρφωση πλάτους** (*AM: Amplitude Modulation*) (σχήμα 1.29β),
- ✓ **διαμόρφωση συχνότητας** (*FM: Frequency Modulation*) (σχήμα 1.29γ) και
- ✓ **διαμόρφωση φάσης** (*PM: Pulse Modulation*) (σχήμα 1.29δ).

Κατά τη **διαμόρφωση πλάτους** (*AM: Amplitude Modulation*) το πλάτος του αναλογικού σήματος (φορέα) που μεταδίδεται από το διαποδιαμορφωτή μεταβάλλεται ανάλογα με την τιμή του ψηφιακού σήματος. Για παράδειγμα, στο δυαδικό σήμα 010110 του σχήματος 1.30α το φέρον μπορεί να αναπαραστήσει τα δύο ψηφία 1 και 0 εναλλάσσοντας το πλάτος του με δύο συγκεκριμένα επίπεδα (στάθμες). Έτσι στο σχήμα 1.30β το ψηφίο 1 αντιστοιχεί στη μεγαλύτερη στάθμη και το ψηφίο 0 στη μικρότερη, ενώ στο σχήμα 1.30γ το ψηφίο 1 αντιστοιχεί στη μεγαλύτερη στάθμη και το ψηφίο 0 στη μηδενική (μικρότερη). Φυσικά ο διαποδιαμορφωτής είναι σε θέση να καθορίσει τη διαφορά μεταξύ των δύο επιπέδων του πλάτους και επομένως να επαναφέρει το αρχικό σήμα.

Στα τηλεφωνικά δίκτυα το κύριο πρόβλημα που υφίσταται με τη διαμόρφωση πλάτους είναι η εξασθένηση. Στον τερματισμό του το σήμα φθάνει εξασθενημένο, με αποτέλεσμα ο διαποδιαμορφωτής να μην μπορεί να ξεχωρίσει αν το εισερχόμενο σήμα μικρού πλάτους (χαμηλής στάθμης) είναι πράγματι μικρό ή ήταν μεγάλο και

Επαγωγή είναι το φαινόμενο εκείνο κατά το οποίο το ηλεκτρικό φορτίο ενός κυκλώματος μεταφέρει αντίθετα φορτία σε ένα γειτονικό του κύκλωμα.



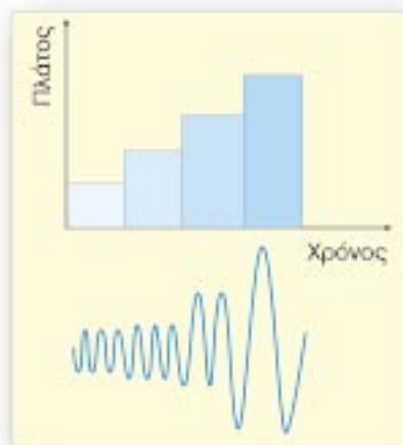
Σχήμα 1.29: Μορφές διαμόρφωσης του δυαδικού σήματος (α): ως προς το πλάτος (β), ως προς τη συχνότητα (γ) και ως προς τη φάση (δ)



Στάθμη ονομάζεται μια τιμή της ηλεκτρικής τάσης, π.χ. ± 5 Volt.

μειώθηκε. Επομένως ο διαποδιαμορφωτής του δέκτη ενδιαφέρεται κυρίως για τις σχετικές τιμές που έχουν τα πλάτη και όχι για τις ακριβείς τιμές τους.

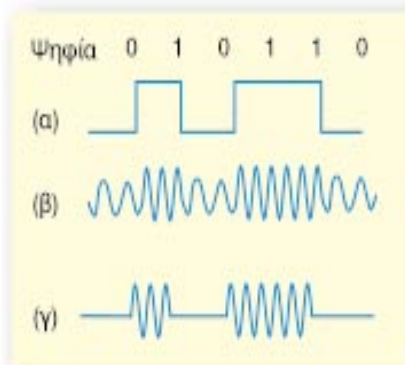
Στην περίπτωση του ψηφιακού σήματος οι ορθογώνιοι παλμοί, αφού μετατραπούν σε αναλογικό σήμα, διέρχονται από ένα φίλτρο που επιτρέπει να περάσουν όσες αρμονικές χωρούν στο πλάτος του μέσου μετάδοσης και απορρίπτει τις αρμονικές των υψηλότερων συχνοτήτων. Οι χαμηλές αρμονικές στη συνέχεια διαμορφώνουν κατά πλάτος το αναλογικό σήμα του φέροντος, το οποίο τελικά διαβιβάζεται στο μέσο. Όμως το πλάτος του σήματος μπορεί να πάρει περισσότερες τιμές, οπότε κάθε στάθμη θα αντιπροσωπεύεται με περισσότερα από ένα ψηφία. Για παράδειγμα, στο σχήμα 1.31 το πλάτος του φέροντος παίρνει τέσσερις τιμές, που αντιπροσωπεύουν τα τέσσερα ζεύγη ψηφίων 00, 01, 10, 11, διπλασιάζοντας μ' αυτό τον τρόπο το ρυθμό μετάδοσης.



Σχήμα 1.31: Διαμόρφωση πλάτους με περισσότερες τιμές

και 0.

Η διαμόρφωση συχνότητας δίνει πολύ καλύτερα αποτελέσματα από τη διαμόρφωση πλάτους, επειδή το πλάτος της συχνότητας του σήματος που εισέρχεται είναι πάντοτε μεγαλύτερο από κάποιο επίπεδο, πράγμα που επηρεάζει τη δυνατότητα του διαποδιαμορφωτή να αντιληφθεί αν το εισερχόμενο σήμα είναι πράγματι χαμηλής στάθμης ή όχι.



Σχήμα 1.30: Διαμόρφωση AM

Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται σε ειδικές μόνο περιπτώσεις, επειδή το σύστημα είναι ευαίσθητο σε θορύβους και επειδή η παραγωγή του φέροντος απαιτεί πολλές μεταβολές στο πλάτος του, με αποτέλεσμα να είναι δύσκολα υλοποιήσιμη.

Μία από τις πιο συνηθισμένες μορφές διαμόρφωσης είναι η **μετατόπιση συχνότητας** (FSK: Frequency Shift Keying). Η μέθοδος αυτή βασίζεται στη μετάθεση της συχνότητας του αναλογικού σήματος, αφού ληφθεί υπόψη και το εισερχόμενο ψηφιακό σήμα. Επομένως ένα εισερχόμενο 0 μετατοπίζεται σε κάποια χαμηλή συχνότητα, ενώ ένα εισερχόμενο 1 σε κάποια υψηλή συχνότητα (σχήμα 1.29 γ), ή αντίστροφα. Ο διαποδιαμορφωτής, αφού λάβει το σήμα, διαχωρίζει τις εισερχόμενες συχνότητες, ερμηνεύοντας με αυτό τον τρόπο τα ψηφία 1



Παράδειγμα VIII

Όπως είναι γνωστό, ο διαμοδιαμορφωτής είναι η συσκευή που μπορεί να διαμορφώσει και να αποδιαμορφώσει ένα σήμα. Για το λόγο αυτό η συσκευή τοποθετείται και στον αποστολέα και στον αποδέκτη του σήματος. Έστω ότι το κανάλι επικοινωνίας μπορεί να χωριστεί σε δύο λογικά κανάλια, εκ των οποίων το λογικό κανάλι 1 παρέχει συχνότητες στα 1.075 - 1.275 Hz προς την κατεύθυνση του αποδέκτη και το λογικό κανάλι 2 παρέχει συχνότητες στα 2.025 - 2.225 Hz προς την κατεύθυνση του αποστολέα. Τότε, επάνω στην ίδια γραμμή, την ίδια χρονική στιγμή, μπορεί να συνυπάρχουν τα ίδια ή διαφορετικά ψηφία 1 ή 0, μόνο που θα οδεύουν προς αντίθετες κατευθύνσεις.

Η επιλογή των παραπάνω συχνοτήτων έγινε, επειδή η περιοχή συχνοτήτων που χρησιμοποιείται στην τηλεφωνία είναι από 300 έως 3.400 Hz. Αυτό έχει ως συνέπεια, όπου χρησιμοποιούνται οι τηλεφωνικές γραμμές για επικοινωνία ηλεκτρονικών υπολογιστών, να ακολουθείται το ίδιο εύρος ζώνης συχνοτήτων που παρέχουν αυτές οι γραμμές (300 - 3.400 Hz). Έτσι με το χωρισμό του καναλιού επικοινωνίας σε δύο λογικά κανάλια είναι δυνατόν να παρασχεθεί ταυτόχρονη αμφίπλευρη μετάδοση (*full duplex*).

Κατά τη **μετατόπιση φάσης** (*PSK: Phase Shift Keying*) ή, διαφορετικά, **διαμόρφωση φάσης** μετατοπίζεται η φάση του αναλογικού σήματος (φορέα) ανάλογα με την τιμή του ψηφιακού σήματος που μεταδίδεται από το διαμοδιαμορφωτή. Η συχνότητα του σήματος δεν αλλάζει. Με την είσοδο των ψηφίων 0 και 1, μόνο η φάση του σήματος αλλάζει. Στην απλούστερη των περιπτώσεων το ψηφίο 1 μπορεί να επιφέρει μετατόπιση της φάσης του κατά 180° σε σχέση με την προηγούμενη φάση του αναλογικού (ημιτονοειδούς) σήματος, ενώ το ψηφίο 0 δεν επιφέρει καμιά αλλαγή φάσης. Επομένως η μέθοδος βασίζεται στη μεταβολή της φάσης του αναλογικού σήματος και λαμβάνει υπόψη της και το εισερχόμενο ψηφιακό σήμα.

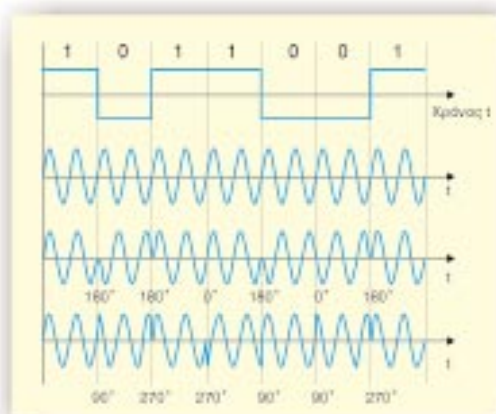
Υπάρχουν δύο τεχνικές διαμόρφωσης φάσης. Στην πρώτη, που λέγεται μέθοδος **σταθερής αναφοράς**⁸, ο αποδέκτης χρειάζεται κάποιο σήμα αναφοράς με το οποίο θα βρίσκεται σε σταθερή φάση, ώστε να μπορεί να ερμηνεύει ποια φάση παριστάνει το ψηφίο 0 και ποια το 1. Το μειονέκτημα της μεθόδου συνίσταται στη σύγκριση με το σήμα αναφοράς του δέκτη. Στη δεύτερη, που λέγεται **διαφορική διαμόρφωση φάσης** (*DPSK: Differential PSK*), δε χρειάζεται το σταθερό σήμα, γιατί δε συγκρίνονται οι ίδιες οι φάσεις του φέροντος αλλά η μεταξύ τους σχέση. Τα ψηφία κωδικοποιούνται σε σχέση με κάποια μεταβολή της φάσης του φέροντος. Για παράδειγμα, μια μετατόπιση της φάσης κατά 90° μπορεί να παριστάνει το ψηφίο 0 και μια μετατόπιση κατά 270° το ψηφίο 1. Με τον τρόπο αυτό μπορούμε να παραστήσουμε και συνδυασμούς ψηφίων με διάφορες μετατοπίσεις φάσης, αυξάνοντας έτσι το ρυθμό μετάδοσης. Μετατοπίσεις φάσεων συμβαίνουν σε κάθε μεταβολή από το ψηφίο 0 ή 1, ανεξάρτητα από τον τρόπο με τον οποίο αυτά μεταδίδονται. Στο σχήμα 1.32 μια μετατό-

Η περιοχή συχνοτήτων από 300 έως 3.400 Hz, που χρησιμοποιείται από την τηλεφωνία, θεωρείται η καταλληλότερη, από άποψη ευκρίνειας, για την ακοή του ανθρώπου.



Η μετάδοση αναλογικών σημάτων όσον αφορά την κατεύθυνσή της είναι τριών ειδών: η **μονόπλευρη** μετάδοση (*simplex*), όπου τα σήματα κινούνται μόνο προς μία κατεύθυνση (π.χ. οι εκπομπές της τηλεόρασης), η **ημίπλευρη** μετάδοση (*half duplex*), όπου τα σήματα κινούνται και προς τις δύο κατευθύνσεις, όχι όμως ταυτόχρονα (π.χ. ο κλασικός ασύρματος), και τέλος η **αμφίπλευρη** μετάδοση (*full duplex*), όπου τα σήματα κινούνται ταυτόχρονα και προς τις δύο κατευθύνσεις.

⁸Η μέθοδος, στην πλέον γνωστή μορφή της, χρησιμοποιεί δύο σταθερά σήματα ως φορείς, που αντιπροσωπεύουν τα ψηφία 0 και 1, με διαφορά φάσης 180° .



Σχήμα 1.32: Μέθοδος σταθερής αναφοράς και διαφορική διαμόρφωση φάσης

πιση φάσης 90° σε σχέση με το τρέχον σήμα υπονοεί ότι το επόμενο ψηφίο είναι 0, ενώ μια μετατόπιση 270° υπονοεί το ψηφίο 1.

Για την παράσταση περισσότερων ψηφίων σε κάθε μετατόπιση φάσης χρειαζόμαστε περισσότερες φάσεις και οπωσδήποτε περισσότερες γωνίες, που στην πράξη δύσκολα επιτυγχάνονται ή ανιχνεύονται. Σε υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης χρησιμοποιούνται συνδυασμοί διαμορφώσεων πλάτους και φάσης. Το είδος αυτό της διαμόρφωσης καλείται **ορθογωνική διαμόρφωση πλάτους** (QAM: *Quadrature Amplitude Modulation*) και χρησιμοποιείται σε εξελιγμένες διατάξεις μετατροπής.

1.6.2 Ψηφιακή μετάδοση και διαμόρφωση

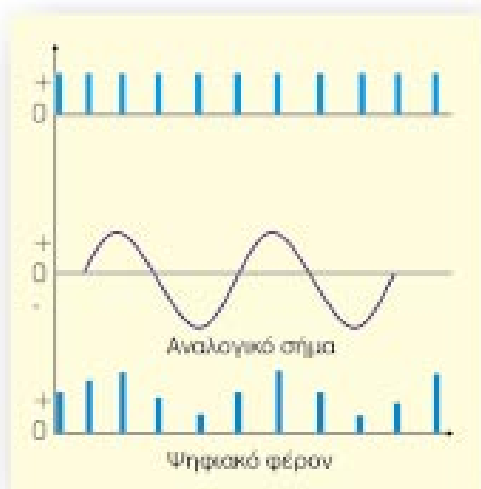
Οι μέθοδοι που περιγράψαμε στην παράγραφο 1.6.1 αφορούν την αναλογική μετάδοση των σημάτων, όπου ο φορέας είναι αναλογικό σήμα. Όμως τα τελευταία χρόνια, παράλληλα με τη ραγδαία εξέλιξη στη μικροηλεκτρονική, έχουν αναπτυχθεί σε μεγάλο βαθμό και οι τεχνικές που αφορούν την ψηφιακή μετάδοση των σημάτων. Είναι πλέον ορατό σε όλους τους χώρους εφαρμογών ότι επιτελείται σταδιακά, αλλά με διαρκώς αυξανόμενους ρυθμούς, η αντικατάσταση των αναλογικών μέσων μετάδοσης με ψηφιακά, τα οποία είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν για τη μετάδοση αναλογικών ή ψηφιακών σημάτων. Οι σημαντικότερες συνθήκες που ευνόησαν την εξέλιξη αυτή είναι:

- ✓ Η ανάγκη για υψηλούς ρυθμούς μετάδοσης.
- ✓ Οι μικρότερες παραμορφώσεις που υφίστανται τα ψηφιακά σήματα σε σχέση με τα αναλογικά.
- ✓ Η δυνατότητα ελέγχου και διόρθωσης των ψηφιακών σημάτων στους αναμεταδότες και στους αποδέκτες, πράγμα που δεν είναι δυνατόν να γίνει στα αναλογικά σήματα.
- ✓ Η ανάπτυξη νέων μέσων μετάδοσης σημάτων και οι τεχνολογικές βελτιώσεις άλλων, όπως είναι οι οπτικές ίνες, οι δορυφόροι κτλ.

Η διαμόρφωση στην ψηφιακή μετάδοση επιτυγχάνεται ως εξής: ένα αναλογικό σήμα διαμορφώνει ένα ψηφιακό φέρον, δηλαδή μια σειρά παλμών των οποίων μεταβάλλει το πλάτος, και κατόπιν το σήμα που προκύπτει αποστέλλεται για μετάδοση (σχήμα 1.33). Σε τακτά χρονικά διαστήματα παίρνονται δείγματα από το πλάτος του αναλογικού σήματος και με βάση αυτά καθορίζεται το πλάτος των αντίστοιχων παλμών του



Παράδειγμα μιας τέτοιας εξέλιξης αποτελεί το τηλεφωνικό σύστημα, το οποίο χρησιμοποιούσε μέχρι πρόσφατα αναλογικές τεχνικές μετάδοσης, που όμως σήμερα έχουν σε μεγάλο βαθμό αντικατασταθεί από την ψηφιακή μετάδοση.



Σχήμα 1.33: Παλμοκωδική διαμόρφωση

φέροντος. Σύμφωνα με το θεώρημα του Nyquist, η συχνότητα με την οποία παίρνονται τα δείγματα πρέπει να είναι τουλάχιστον διπλάσια από το εύρος ζώνης που καλύπτει το σήμα. Έτσι, για παράδειγμα, στο τηλεφωνικό σύστημα στο οποίο διατίθεται ένα εύρος ζώνης 4.000 Hz για την πιστή αναπαραγωγή της ομιλίας θα χρειαστούν $4.000 \times 2 = 8.000$ δείγματα παλμών το δευτερόλεπτο.

Η διαμόρφωση του ψηφιακού φέροντος επιτυγχάνεται μέσω ενός αναλογικού σήματος, το οποίο μπορεί επίσης να μεταβάλλει είτε τη διάρκεια των παλμών, οπότε έχουμε τη μέθοδο **διαμόρφωσης διάρκειας παλμών** (PDM: *Pulse Duration Modulation*), είτε τη θέση των παλμών, οπότε έχουμε τη μέθοδο **διαμόρφωσης**

θέσης παλμών (PPM: *Pulse Position Modulation*). Όμως η μέθοδος που κατακτά όλο και περισσότερο έδαφος είναι αυτή της **παλμοκωδικής διαμόρφωσης** (PCM: *Pulse Code Modulation*), σύμφωνα με την οποία τα αναλογικά σήματα μετατρέπονται σε σειρές ψηφίων κατά παρόμοιο τρόπο με τα δεδομένα των υπολογιστών. Η μέθοδος PCM προδιαγράφει τον τρόπο μετάδοσης των αναλογικών και των ψηφιακών σημάτων μέσω ψηφιακών συστημάτων. Η μετάδοσή τους γίνεται με πολύ μεγαλύτερους ρυθμούς ($> 10^6$ bps) από αυτούς των αναλογικών συστημάτων.

Από την πλευρά του αποστολέα, εάν τα σήματα είναι ψηφιακά, είναι ήδη έτοιμα για μετάδοση και δε χρειάζονται καμιά προσαρμογή. Αν όμως είναι αναλογικά, τότε πρέπει να ψηφιοποιηθούν. Η ψηφιοποίηση γίνεται ως ακολούθως:

- ✓ Λαμβάνονται δείγματα του σήματος με συχνότητα που πρέπει να είναι τουλάχιστον διπλάσια από το εύρος ζώνης που καλύπτει το σήμα.
- ✓ Κωδικοποιούνται τα δείγματα έτσι, ώστε να αντιστοιχούν σε ένα συγκεκριμένο χαρακτήρα.
- ✓ Τοποθετούνται στο μέσο μετάδοσης ένα - ένα όλα τα ψηφία που αποτελούν τους χαρακτήρες του δείγματος προκειμένου να σταλούν προς τον αποδέκτη.

Από την πλευρά του αποδέκτη, η αναγνώριση του ψηφιοποιημένου σήματος γίνεται ως ακολούθως:

- ✓ Συλλέγονται τα ψηφία που αποστέλλονται σύμφωνα με τη σειραϊκή μετάδοση (Μάθημα 2.2) και ομαδοποιούνται σε χαρακτήρες δειγμάτων.
- ✓ Αποκωδικοποιούνται τα δείγματα (*decoding*), δηλαδή αναγνωρίζονται από τους συγκεντρωμένους χαρακτήρες.
- ✓ Μετατρέπονται τα δείγματα του ψηφιακού σήματος σε σήμα αναλογικής μορφής (*digital/analog conversion*).



Το **PCM** ανοίγει νέους ορίζοντες στη μεταφορά ήχου, εικόνας και δεδομένων μέσω ενός ψηφιακού δικτύου ολοκληρωμένων υπηρεσιών (ISDN).



Κάθε χαρακτήρας (byte) απο-
τελείται από ένα συνδυασμό 8
ψηφίων 0 ή 1, που ονομάζο-
νται bits.



Κάθε πομπός και κάθε δέκτης
διαθέτουν ένα ρολόι που εκ-
πέμπει παλμούς σε κάποια συ-
γκεκριμένη συχνότητα, στην
οποία συντονίζεται κάθε εκ-
πεμπόμενο σήμα.



Στην Ευρώπη χρησιμοποιούνται
οι γραμμές E1 (αντιστοιχούν
στις γραμμές T1 που χρησι-
μοποιούνται στις Η.Π.Α.) οι
οποίες στηρίζονται στο πρω-
τόκολλο PCM 30 της CCITT.
Με βάση το πρωτόκολλο αυτό
μεταφέρονται ταυτόχρονα σή-
ματα 32 καναλιών με ρυθμό
 $32 \times 64 \text{ Kbps} = 2.048 \text{ Mbps}$.

Επομένως το πλάτος κωδικοποίησης προδιαγράφει την αξιοπιστία μεταξύ του σήματος που αποστέλλεται και του σήματος που λαμβάνεται. Αποτελεί σημαντικό παράγοντα, αφού η σωστή επιλογή του αποτελεί προϋπόθεση για την επίτευξη ανεκτού SNR, σύντομης διάρκειας και χαμηλού κόστους μετάδοσης.

Η μέθοδος που θα χρησιμοποιηθεί για την κωδικοποίηση της πληροφορίας εξαρτάται από ορισμένους παράγοντες, οι κυριότεροι από τους οποίους είναι οι ακόλουθοι:

- ✓ Το εύρος ζώνης που χρειάζεται ο πομπός για τη μετάδοση των δεδομένων.
- ✓ Η ευκολία με την οποία ο δέκτης διαχωρίζει το σήμα από τον παλμό του ρολογιού του πομπού.
- ✓ Η ευκολία με την οποία ο δέκτης μπορεί να αναγνωρίσει σφάλματα που δημιουργήθηκαν κατά τη μετάδοση της πληροφορίας.
- ✓ Η ευκολία κατασκευής του κωδικοποιητή / αποκωδικοποιητή.
- ✓ Η ανοχή στον ηλεκτρομαγνητικό θόρυβο που δημιουργούν οι διάφορες συσκευές, ο οποίος αποτελεί έναν από τους λόγους δημιουργίας σφαλμάτων κατά τη μετάδοση.

1.6.3 Κωδικοποίηση

Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες κωδικοποίησης σημάτων. Η πρώτη είναι η **μονοπολική**, στην οποία εκτός από τη μηδενική στάθμη χρησιμοποιείται και άλλη μία, όπως στο απλό ψηφιακό σήμα. Είναι η απλούστερη ως προς την εφαρμογή της κατηγορία κωδικοποίησης. Η δεύτερη κατηγορία είναι η **διπολική**, στην οποία υπάρχουν άλλες δύο στάθμες εκτός από τη μηδενική, συνήθως η μία μικρότερη και η άλλη μεγαλύτερη από τη μηδενική. Οι μέθοδοι κωδικοποίησης που υπάρχουν σήμερα είναι αρκετές, εδώ όμως θα αναφερθούν οι πιο γνωστές και ευρύτερα χρησιμοποιούμενες (σχήμα 1.34).

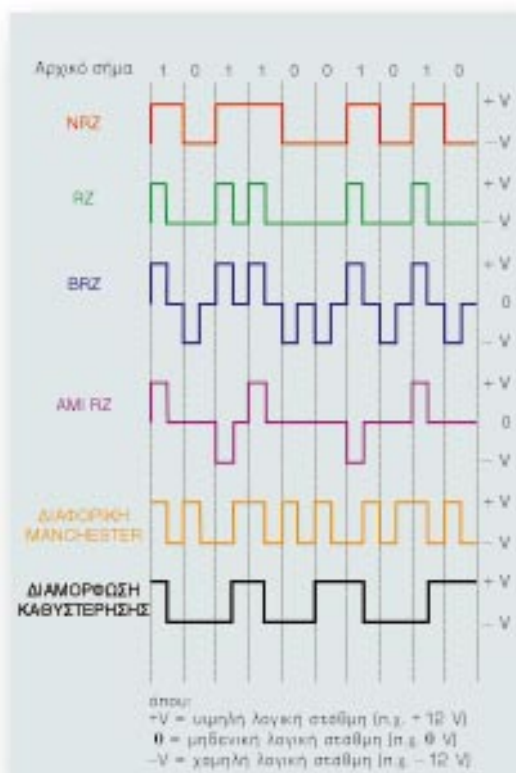
- ✓ Η μέθοδος **μη επαναφοράς στο μηδέν** (NRZ: *Non Return to Zero*) αποτελεί την κλασική μέθοδο μονοπολικής κωδικοποίησης, στην οποία το λογικό μηδέν παριστάνεται από τη μηδενική στάθμη και το λογικό ένα από την υψηλότερη στάθμη.
- ✓ Η μέθοδος της **διπολικής επαναφοράς στο μηδέν** (BRZ: *Bipolar Return to Zero*) είναι μία από τις διπολικές μεθόδους κωδικοποίησης σύμφωνα με την οποία το λογικό μηδέν (0) παριστάνεται από τη στάθμη που είναι χαμηλότερη της μηδενικής και συνήθως συμβολίζεται με -1 , ενώ το λογικό ένα (1) παριστάνεται από την υψηλότερη της μηδενικής στάθμη. Οι στάθμες αυτές διαρκούν μόνο για χρονικό διάστημα ίσο με το πρώτο μισό του χρόνου μετάδοσης του δυαδικού ψηφίου, ενώ

στη συνέχεια το κανάλι επανέρχεται στη μηδενική στάθμη.

- ✓ Με τη μέθοδο της **κωδικοποίησης Manchester** (*Manchester code*) ο χρόνος μετάδοσης κάθε δυαδικού ψηφίου διαιρείται σε δύο ίσα διαστήματα. Ένα δυαδικό ψηφίο με τιμή 1 αποστέλλεται έχοντας τη στάθμη υψηλή κατά τη διάρκεια του πρώτου διαστήματος και χαμηλή κατά τη διάρκεια του δεύτερου. Ένα δυαδικό ψηφίο με τιμή 0 αποστέλλεται ανάποδα, δηλαδή πρώτα η χαμηλή και μετά η υψηλή στάθμη. Αυτό το σχήμα εξασφαλίζει ότι ο χρόνος μετάδοσης κάθε δυαδικού ψηφίου έχει μια μεταβολή κατάστασης στο μέσο, δηλαδή εναλλαγή της τάσης (π.χ. από -5 V σε $+5\text{ V}$ ή και αντίστροφα), διευκολύνοντας τον αποδέκτη να συγχρονιστεί με τον αποστολέα. Ένα μειονέκτημα αυτής της κωδικοποίησης είναι ότι απαιτεί δύο φορές το εύρος ζώνης της άμεσης δυαδικής κωδικοποίησης, επειδή οι παλμοί έχουν το μισό πλάτος.

- ✓ Η **διαφορική κωδικοποίηση Manchester** (*Manchester differential code*) είναι μία μονοπολική μέθοδος, παραλλαγή της βασικής κωδικοποίησης Manchester. Με τη μέθοδο αυτή υπάρχει πάντα αλλαγή στάθμης στο μέσο κάθε δυαδικού ψηφίου. Εάν το δυαδικό ψηφίο που μεταδίδεται είναι το λογικό ένα (1), τότε η στάθμη δεν αλλάζει στην αρχή του συγκεκριμένου δυαδικού ψηφίου. Εάν είναι το λογικό μηδέν (0), τότε υπάρχει αλλαγή στάθμης, εκτός από το μέσο, και στην αρχή του συγκεκριμένου δυαδικού ψηφίου. Η διαφορική κωδικοποίηση *Manchester* απαιτεί πιο πολύπλοκο εξοπλισμό, αλλά προσφέρει καλύτερη ανοχή στο θόρυβο.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 1.34, άλλες μέθοδοι κωδικοποίησης είναι η **επαναφορά στο μηδέν** (*RZ: Return to Zero*), η μέθοδος **εναλλακτικού σημείου αντιστροφής** (*AMI-RZ: Alternate Mark Inversion-RZ*) και τέλος η μέθοδος της **διαμόρφωσης καθυστέρησης** (*delayed modulation*).



Σχήμα 1.34: Διάφορες μέθοδοι κωδικοποίησης



Οι διάφορες μέθοδοι κωδικοποίησης διακρίνονται μεταξύ τους ως ακολούθως:

- ✓ Όταν το ψηφίο 1 αντιστοιχεί σε υψηλή τάση και το ψηφίο 0 σε αποβολή ρεύματος, έχουμε τη μέθοδο NRZ.
- ✓ Όταν το ψηφίο 0 αντιστοιχεί σε χαμηλή τάση και το ψηφίο 1 σε υψηλή, δηλαδή έχουμε δύο τάσεις για τα ψηφία 0 και 1, τότε έχουμε τη διπολική μέθοδο.
- ✓ Όταν το ψηφίο 0 αντιστοιχεί με αλλαγή της τάσης, ενώ το ψηφίο 1 με την ίδια τάση με την αρχική, πριν δηλαδή από την εκπομπή, έχουμε τη μέθοδο της διαφορικής κωδικοποίησης Manchester.



Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Διαμόρφωση πλάτους, διαμόρφωση συχνότητας, διαμόρφωση φάσης, μετατόπιση συχνότητας, μετατόπιση φάσης, μέθοδος σταθερής αναφοράς, διαφορική διαμόρφωση φάσης, ορθογωνική διαμόρφωση πλάτους, διαμόρφωση διάρκειας παλμών, διαμόρφωση θέσης παλμών, μονοπολική κωδικοποίηση, διπολική κωδικοποίηση.

Μάθημα 1.7: Μοντέλο επικοινωνίας

Ως επικοινωνία νοείται η **μεταβίβαση πληροφοριών** από κάποιον αποστολέα σε κάποιον παραλήπτη μέσω ενός κοινού συστήματος συμβόλων. Επομένως η επικοινωνία σε ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα – σύμφωνα και μ' αυτά που έχουν παρουσιαστεί μέχρι τώρα – είναι συνυφασμένη με την ύπαρξη ορισμένων λειτουργικών τμημάτων, δηλαδή ενός **πομπού**, ενός **δέκτη** και ενός **μέσου μεταφοράς** της πληροφορίας. Εάν η απόσταση μεταξύ πομπού και δέκτη είναι μικρή, τότε το μέσο μεταφοράς της πληροφορίας είναι ο αέρας. Εάν η απόσταση είναι μεγάλη, τότε θα πρέπει να είναι κάποια τηλεφωνική γραμμή. Τα ανωτέρω συνιστούν ένα απλό μοντέλο επικοινωνίας (σχήμα 1.35).

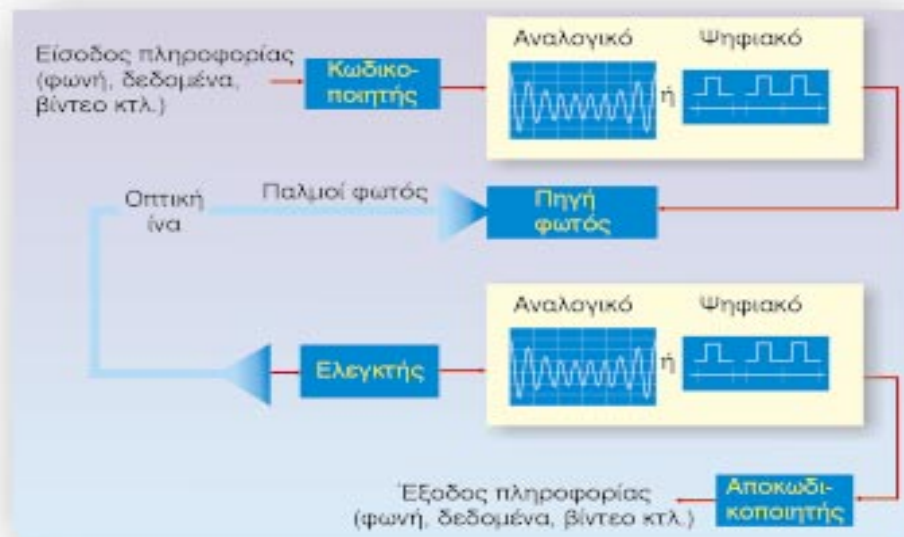
Στο σχήμα 1.36 παρουσιάζεται ένα σύνθετο μοντέλο επικοινωνίας, του οποίου φαίνονται όλα τα λειτουργικά τμήματα. Η πληροφορία που παράγεται και εκπέμπεται από κάποια πηγή εισάγεται, μέσω κάποιας ηλεκτρικής κυματομορφής, στον πομπό. Ο τελικός σκοπός του συστήματος επικοινωνίας είναι η μεταβίβαση μηνυμάτων ή ακολουθίας συμβόλων στο σημείο προορισμού, με όσο γίνεται μεγαλύτερο ρυθμό μεταβίβασης και υψηλότερη πιστότητα. Η πηγή της πληροφορίας και το σημείο προορισμού βρίσκονται σαφώς σε κάποια απόσταση μεταξύ τους και συνδέονται με μία γραμμή επικοινωνίας (κανάλι).

Στην αρχή η πληροφορία που πρόκειται να μεταδοθεί κωδικοποιείται με τη βοήθεια κάποιου κώδικα. Ο πομπός λαμβάνει την παραγόμενη σειρά δυαδικών ψηφίων και τη μετατρέπει σε διαμορφωμένο σήμα, κατάλληλο για μεταφορά από το μέσο μετάδοσης, προκειμένου να τη στείλει στον προορισμό της. Ο δέκτης θα πρέπει να παρακολουθεί το μέσο μετάδοσης, για να αναγνωρίσει την πληροφορία που μεταδίδεται. Όταν ο δέκτης λάβει το σήμα, το αποδιαμορφώνει και μεταφέρει στο σημείο εξόδου την πληροφορία, πάλι με τη μορφή ηλεκτρικής κυματομορφής, για περαιτέρω επεξεργασία. Ανάλογα με τον τρόπο διαχείρισης της μεταφερόμενης πληροφορίας, το είδος του μέσου μεταφοράς και τον τρόπο συντονισμού του δέκτη με τον πομπό, προκύπτουν οι διαφορετικές τεχνικές μετάδοσης.

Η γραμμή επικοινωνίας δέχεται ηλεκτρικά / ηλεκτρομαγνητικά σήματα. Η έξοδος του σήματος είναι συνήθως μια παραλλαγή της εισόδου του, λόγω της μη ιδανικής



Σχήμα 1.35: Απλό μοντέλο επικοινωνίας ανάμεσα σε δύο σημεία



Σχήμα 1.36: Σύνθετο μοντέλο επικοινωνίας ανάμεσα σε δύο σημεία

συμπεριφοράς του καναλιού. Επιπλέον η πληροφορία έχει υποστεί φθορά από απρόβλεπτα ηλεκτρικά σήματα (θόρυβο), που οφείλονται τόσο σε ανθρώπινες όσο και σε φυσικές αιτίες. Η παραμόρφωση και ο θόρυβος δημιουργούν σφάλματα στην πληροφορία που μεταβιβάζεται και έτσι περιορίζουν το ρυθμό με τον οποίο η πληροφορία θα μπορούσε να μεταδοθεί από την πηγή στον προορισμό της. Η κύρια λειτουργία του κωδικοποιητή, του διαμορφωτή, του αποδιαμορφωτή και τέλος του αποκωδικοποιητή είναι να αντιμετωπίσουν τις επιπτώσεις της υποβάθμισης του σήματος από το κανάλι και να μεγιστοποιήσουν το ρυθμό και την ακρίβεια της πληροφορίας που μεταδίδεται.

Με βάση τον τύπο της διαμόρφωσης που χρησιμοποιείται, καθώς και το είδος της πληροφορίας, μπορούμε να διακρίνουμε τα συστήματα επικοινωνίας στις ακόλουθες τρεις κατηγορίες:

- ✓ Αναλογικά συστήματα επικοινωνίας, σχεδιασμένα για τη μετάδοση αναλογικής πληροφορίας με χρήση αναλογικών μεθόδων διαμόρφωσης.
- ✓ Ψηφιακά συστήματα επικοινωνίας, σχεδιασμένα για τη μετάδοση ψηφιακής πληροφορίας με χρήση ψηφιακών μεθόδων διαμόρφωσης.
- ✓ Μεικτά (υβριδικά) συστήματα επικοινωνίας, που χρησιμοποιούν ψηφιακές μεθόδους διαμόρφωσης για τη μετάδοση διακριτών τιμών από αναλογικό σήμα μηνύματος.

Σημειώνεται ότι υπάρχουν και άλλοι τρόποι διάκρισης των συστημάτων επικοινωνίας σε κατηγορίες, που βασίζονται στη συχνότητα του φέροντος και στη φύση του καναλιού επικοινωνίας.



Σύμφωνα με τα παραπάνω στοιχεία, το καθένα από τα λειτουργικά τμήματα ενός συστήματος επικοινωνίας θα έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

- ✓ Οι **πηγές** πληροφορίας μπορούν να διακριθούν σε δύο κατηγορίες με βάση το είδος των σημάτων εξόδου τους: στις πηγές αναλογικής πληροφορίας και στις πηγές ψηφιακής (διακριτής) πληροφορίας. Οι πηγές αναλογικής πληροφορίας — όπως το μικρόφωνο, όταν διεγείρεται από ομιλία, ή η βιντεοκάμερα, όταν κάνει λήψη μιας σκηνής — δίνουν ένα ή περισσότερα σήματα που μεταβάλλονται συνεχώς μέσα στο χρόνο. Αντίθετα, η έξοδος των πηγών ψηφιακής πληροφορίας — όπως ένα τηλέτυπο ή το αποτέλεσμα μιας διεργασίας που βλέπουμε στην οθόνη ενός υπολογιστή — αποτελείται από μια σειρά διακριτών συμβόλων ή γραμμάτων.
- ✓ Το **μέσο μετάδοσης** πραγματοποιεί τη φυσική (ηλεκτρική) σύνδεση μεταξύ της πηγής και του προορισμού της πληροφορίας. Η γραμμή επικοινωνίας μπορεί να είναι ένα ζεύγος συρμάτων ή ένα τηλεφωνικό καλώδιο ή μια οπτική ίνα ή ακόμα ο ελεύθερος χώρος μέσα στον οποίο μεταδίδεται το σήμα που μεταφέρει την πληροφορία.
- ✓ Ο **δέκτης**, αφού πάρει το εξασθενημένο σήμα από το μέσο μετάδοσης, το επαναφέρει στην πραγματική του κατάσταση. Επιτελεί τη λειτουργία αυτή με τη διεργασία της αποδιαμόρφωσης, η οποία είναι η αντίστροφη της διαμόρφωσης που επιτελείται στον πομπό. Λόγω της παρουσίας θορύβου και άλλων παραμορφωτικών σημάτων, ο δέκτης δεν μπορεί να επαναφέρει τέλεια το σήμα του μηνύματος. Εκτός από την αποδιαμόρφωση, ο δέκτης κάνει συνήθως ενίσχυση και φιλτράρισμα του σήματος.

Λέξεις που πρέπει να θυμάμαι

Πηγή, πομπός, δέκτης, μέσο μεταφοράς ή μετάδοσης μοντέλο επικοινωνίας.





Ανακεφαλαίωση

Στο κεφάλαιο αυτό, που αποτελείται από επτά μαθήματα, δόθηκαν οι βασικές έννοιες των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων. Αναλυτικότερα:

- ✓ Στο πρώτο μάθημα έγινε μια ανασκόπηση της βασικής θεωρίας των σημάτων. Αρχικά ορίστηκαν όλα τα χαρακτηριστικά του σήματος, όπως είναι η περίοδος, το μήκος, το πλάτος, η συχνότητα, η ταχύτητα και η φάση του. Τα σήματα διακρίθηκαν σε δύο κατηγορίες: τα αναλογικά, που ορίζονται σε οποιοδήποτε χρονικό διάστημα και επομένως μεταβάλλονται συνεχώς στο χρόνο, και τα ψηφιακά, που ορίζονται σε ορισμένες μόνο, διακριτές χρονικές στιγμές.
- ✓ Στο δεύτερο μάθημα ορίστηκαν τα μέσα μετάδοσης, που αποτελούν το φυσικό δρόμο μέσω του οποίου μεταδίδονται τα σήματα, αναφέρθηκαν τα διαφορετικά μέσα μετάδοσης που χρησιμοποιούνται σήμερα και δόθηκαν τα σπουδαιότερα χαρακτηριστικά τους. Έγινε επίσης πλήρης περιγραφή των ενσύρματων και των ασύρματων μέσων μετάδοσης και αναφέρθηκαν οι διαφορές των χαρακτηριστικών τους. Ιδιαίτερη βαρύτητα δόθηκε στην οπτική ίνα και στις τεράστιες δυνατότητές της έναντι των άλλων ενσύρματων μέσων μετάδοσης.
- ✓ Στο τρίτο μάθημα η συγκριτική αξιολόγηση των μέσων μετάδοσης κατέδειξε, εκτός των άλλων, και τη χρηστικότητα των ασύρματων μέσων μετάδοσης, ιδιαίτερα μεταξύ σημείων που απέχουν πολύ ή παρουσιάζουν δυσκολίες στην εγκατάσταση των ενσύρματων μέσων (άνοιγμα φρεατίων - αγωγών στις πόλεις, δυσπρόσιτα εδάφη κτλ.).
- ✓ Στο τέταρτο μάθημα εξετάστηκαν οι αιτίες που προκαλούν τη βλάβη ενός σήματος, όπως είναι η εξασθένηση, η παραμόρφωση και ο θόρυβος. Έγινε σαφές ότι η εξασθένηση οφείλεται στη μεγάλη απόσταση μεταξύ των σημείων που επικοινωνούν, συνέπεια της οποίας είναι η παραμόρφωση του σήματος. Ένας άλλος παράγοντας στον οποίο οφείλεται η παραμόρφωση του σήματος είναι ο θόρυβος. Περιγράφηκαν τα κυριότερα είδη του θορύβου, όπως είναι οι εξωτερικοί θόρυβοι (βιομηχανικά και ατμοσφαιρικά παράσιτα) και οι εσωτερικοί θόρυβοι (θερμικός θόρυβος, θόρυβος ενδοδιαμόρφωσης και η συνακρόαση), και δόθηκαν πρακτικά παραδείγματα μέτρησης της εξασθένησης - ενίσχυσης του σήματος. Τέλος, περιγράφηκαν οι τρόποι αντιμετώπισης όλων αυτών των προβλημάτων, καθώς και οι διατάξεις με τις οποίες αντιμετωπίζονται (ενισχυτές, αναμεταδότες κτλ.).
- ✓ Στο πέμπτο μάθημα ορίστηκε η διαμόρφωση του σήματος. Έγινε σαφές ότι ένα μέσο μετάδοσης μπορεί να λειτουργεί περισσότερο αποδοτικά (χωρίς θόρυβο) σε υψηλές συχνότητες. Για το λόγο αυτό τα σήματα υψηλών συχνοτήτων μπορούν να διαμορφώνονται έτσι, ώστε να μεταφέρουν και χαμηλές συχνοότητες.
- ✓ Στο έκτο μάθημα περιγράφηκαν τα είδη διαμόρφωσης. Στην αναλογική μετάδοση σήματος εξετάστηκαν η διαμόρφωση πλάτους, συχνότητας και φάσης, ενώ στην ψηφιακή μετάδοση σήματος εξετάστηκε η παλμοκωδική διαμόρφω-



ση. Ακολούθως έγινε αναφορά στους κωδικοποιητές σήματος, καθώς και μια σύντομη περιγραφή των κυριότερων από αυτούς.

- ✓ Τέλος, στο έβδομο μάθημα περιγράφηκε ένα απλό μοντέλο επικοινωνίας ανάμεσα σε δύο σημεία, δόθηκαν τα επιμέρους τμήματά του και έγινε αναφορά στις λειτουργίες του καθενός απ' αυτά.



Ερωτήσεις

1. Τι είναι σήμα και ποια είναι τα χαρακτηριστικά του;
2. Ποιες είναι οι μορφές του σήματος; Μπορείς να δώσεις από ένα παράδειγμα;
3. Τι ονομάζεται μέσο μετάδοσης; Μπορείς να αναφέρεις μερικά διαφορετικά είδη μέσων μετάδοσης, καθώς και τους τομείς στους οποίους αυτά βρίσκουν εφαρμογή;
4. Πόσα είδη ενσύρματων μέσων μετάδοσης γνωρίζεις και ποιες οι διαφορές τους;
5. Να αναφέρεις τα χαρακτηριστικά των μέσων μετάδοσης.
6. Να περιγράψεις την οπτική ίνα και να τη συγκρίνεις με τα άλλα ενσύρματα μέσα μετάδοσης.
7. Τι γνωρίζεις για τα ραδιοκύματα;
8. Τι γνωρίζεις για τα μικροκύματα;
9. Τι γνωρίζεις για τη δορυφορική επικοινωνία;
10. Ποιες είναι οι κύριες διαφορές μεταξύ ενός αναλογικού και ενός ψηφιακού σήματος;
11. Τι είναι οι διαμοδιαμορφωτές (*modems*), ποια τα κύρια χαρακτηριστικά τους και πού χρησιμοποιούνται;
12. Σε τι μετριέται η χωρητικότητα ενός μέσου μετάδοσης;
13. Σε πόσες κατηγορίες διακρίνονται τα μέσα μετάδοσης και ποιες οι βασικές διαφορές τους;
14. Τι είναι ο θόρυβος και πόσα είδη θορύβου υπάρχουν;
15. Τι είναι η εξασθένηση σήματος και πώς αντιμετωπίζεται;
16. Τι προκαλεί ο θόρυβος στη μετάδοση ενός σήματος και με ποιον τρόπο περιορίζεται;
17. Τι είναι η διαμόρφωση σήματος και πώς πραγματοποιείται;
18. Ποια είναι τα πλεονεκτήματα της διαμόρφωσης ενός σήματος;
19. Πόσα είδη διαμόρφωσης αναλογικής μετάδοσης σήματος γνωρίζεις;
20. Τι γνωρίζεις για τη διαμόρφωση ψηφιακού σήματος;
21. Ποια είναι τα οφέλη της ψηφιοποίησης;
22. Ποια είναι τα στάδια της ψηφιοποίησης ενός αναλογικού σήματος;
23. Ποια στάδια ακολουθούνται για την αναγνώριση του ψηφιοποιημένου σήματος από την πλευρά του αποδέκτη;
24. Να αναφέρεις τις βασικές κατηγορίες κωδικοποίησης.
25. Να κάνεις μια σύντομη περιγραφή ενός μοντέλου επικοινωνίας.
26. Από ποια λειτουργικά τμήματα αποτελείται ένα απλό μοντέλο επικοινωνίας;
27. Να περιγράψεις τα λειτουργικά τμήματα ενός σύνθετου μοντέλου επικοινωνίας.