

## **2 ΦΥΣΙΚΟ ΕΠΙΠΕΔΟ**

### **2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Το φυσικό επίπεδο ασχολείται με την μετατροπή των ψηφιακών δεδομένων (εικόνα, βίντεο, ήχος, ...) σε κατάλληλα ηλεκτρομαγνητικά σήματα (ή κύματα) και την μετάδοση των σημάτων αυτών διαμέσου μιας σύνδεσης. Για παράδειγμα, το φυσικό επίπεδο θα μπορούσε να αντιστοιχίσει στο ψηφίο '1' μια τάση +V και στο '0' μια τάση -V, ώστε να είναι διακριτές οι δύο καταστάσεις, και στη συνέχεια να στείλει την ακολουθία των ψηφίων ως μια ακολουθία ηλεκτρικών σημάτων με τάσεις: {-V, +V}. Ο παραλήπτης μεταφράζει τα ηλεκτρικά σήματα στα αντίστοιχα ψηφία.

Τα ηλεκτρομαγνητικά σήματα υπόκεινται σε παραμορφώσεις και αλλοιώσεις με αποτέλεσμα ο παραλήπτης να τα μεταφράζει με λανθασμένο τρόπο. Οι αλλοιώσεις αυτές οφείλονται: I. Στο μέσο μετάδοσης, II. Στην ταχύτητα μετάδοσης και, III. Στην απόσταση μεταξύ αποστολέα και παραλήπτη. Η ανάγκη για αποφυγή των αλλοιώσεων έχει οδηγήσει σε διάφορα πρότυπα όσο αφορά τις ηλεκτρικές διεπαφές και τα μέσα μετάδοσης ανάμεσα στις διάφορες συσκευές. Τα πρότυπα διαμορφώνουν το CCITT (International Telegraph and Telephone Consultative Committee) και η EIA (Electrical Industries Association)

### **2.2 ΣΗΜΑΤΑ**

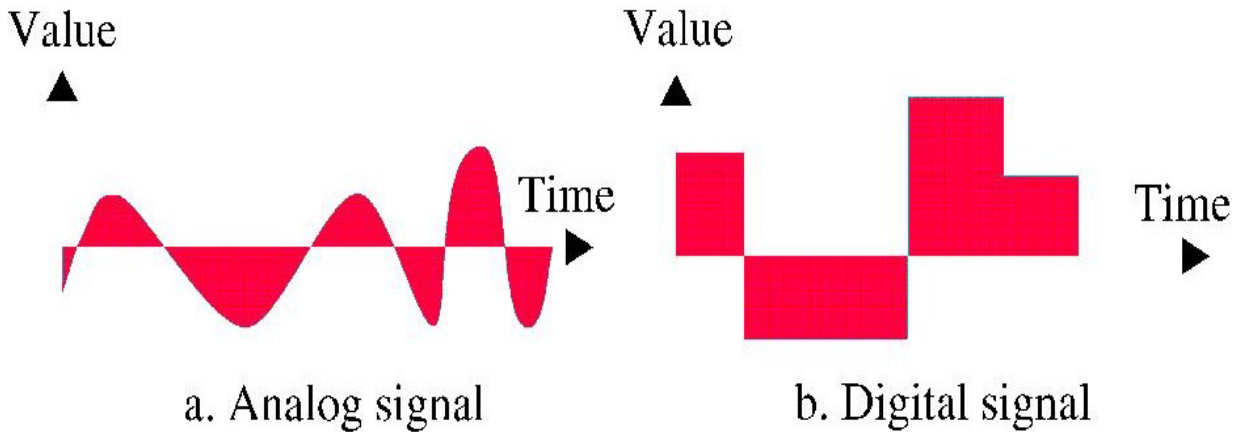
#### **2.2.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΟΠΟΙΗΣΗ ΣΗΜΑΤΩΝ**

Τα ηλεκτρομαγνητικά σήματα χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες:

- Αναλογικά Σήματα (Analog Signals): Οι τιμές που παίρνουν είναι συνεχείς, ανήκουν δηλαδή σε όλο το σύνολο των πραγματικών αριθμών.
- Ψηφιακά Σήματα (Digital Signals): Παίρνουν διακριτές τιμές που στην απλούστερη περίπτωση είναι οι τιμές του συνόλου {0, 1}. Δηλαδή εκφράζουν τις δύο καταστάσεις της πληροφορίας.

Τα αναλογικά και τα ψηφιακά σήματα παριστάνονται γραφικά, σε συνάρτηση με το χρόνο, σε ένα σύστημα ορθογωνίων αξόνων. Στον κάθετο άξονα παριστάνονται οι τιμές και ο οριζόντιος άξονας περιγράφει το χρόνο. Η μετάβαση από την μια τιμή στην άλλη είναι συνεχής για τα αναλογικά, ενώ στα ψηφιακά σήματα θεωρείται ακαριαία.

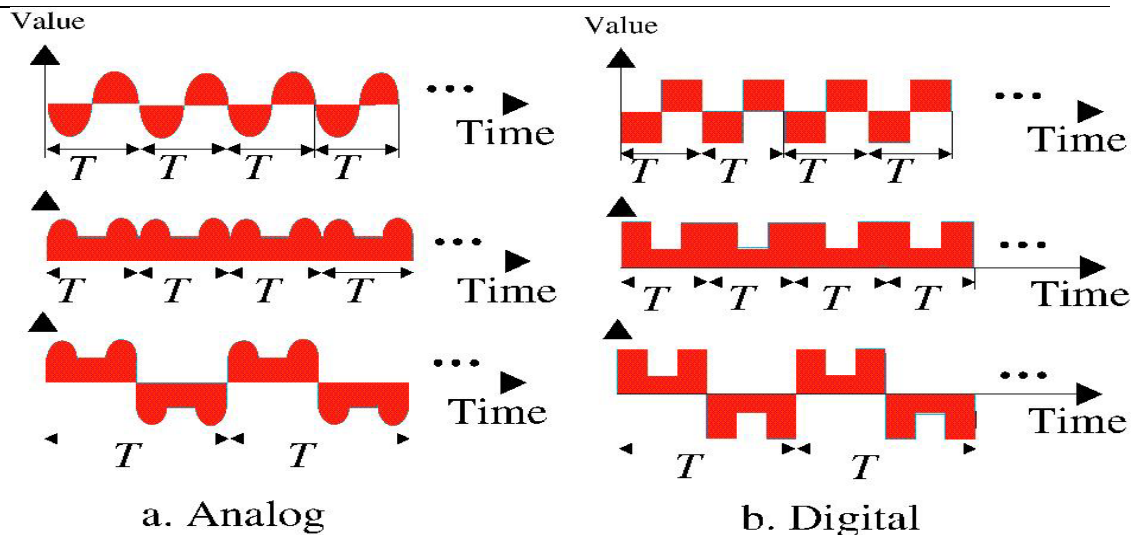
---



Εικόνα 2.1: Αναλογικά & Ψηφιακά Σήματα

Όλα τα σήματα μπορεί να είναι είτε περιοδικά είτε απεριοδικά (ή μη-περιοδικά):

- Περιοδικά Σήματα (Periodic Signals): Σήματα που επαναλαμβάνουν τη μορφή τους στο σταθερό χρονικό διάστημα μιας περιόδου  $T$ . Στην κάθε επανάληψη του σήματος συμπληρώνεται ένας κύκλος (cycle).
- Απεριοδικά ή Μη-περιοδικά Σήματα (Aperiodic ή NonPeriodic Signals): Δεν επαναλαμβάνουν τη μορφή τους, αλλά μπορούν να αποσυντεθούν σε έναν απεριόριστο αριθμό περιοδικών σημάτων (Μετασχηματισμός Fourier).



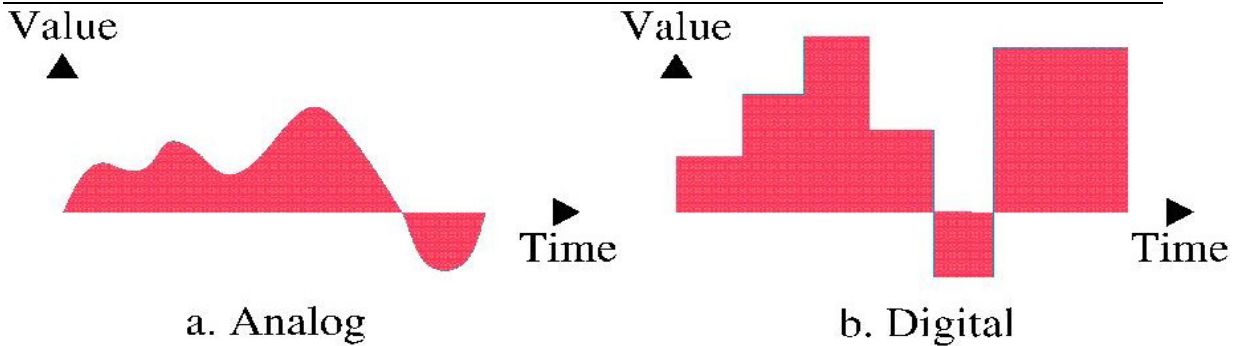
Εικόνα 2.2: Διάφοροι τύποι περιοδικών αναλογικών και ψηφιακών σημάτων

Τα αναλογικά σήματα χαρακτηρίζονται από τρεις μεταβλητές:

- Πλάτος (Amplitude): Περιγράφει την τιμή του σήματος την κάθε χρονική στιγμή. Μετριέται σε Volts ή Amperes ή Watts.
- Συχνότητα/Περίοδος (Frequency/Period): Η συχνότητα εκφράζει τον αριθμό των περιόδων ή των ολοκληρωμένων κύκλων του σήματος σε χρόνο 1 sec. Μετριέται σε

Hz και σε όλα τα παράγωγά του. Η περίοδος εκφράζει το χρονικό διάστημα στο οποίο ολοκληρώνεται ένας κύκλος. Μετριέται σε sec και σε όλες τις υποδιαιρέσεις του. Ανάμεσα σε συχνότητα ( $f$ ) και περίοδο ( $T$ ) ισχύει η σχέση:  $f = 1/T$  ή  $T = 1/f$ .

- **Φάση (Phase):** Εκφράζει τη μετατόπιση του σήματος ως προς τον χρόνο. Μετριέται σε μοίρες (degrees) ή ακτίνια (rad). Ως γνωστόν, ισχύει:  $360^\circ = 2\pi$  rad.



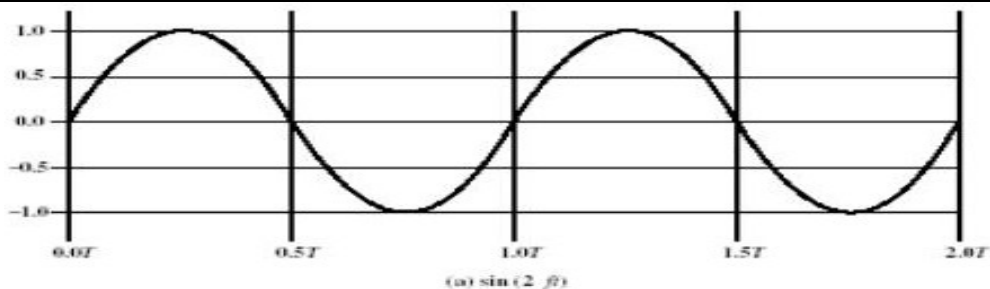
**Εικόνα 2.3:** Απεριοδικό αναλογικό και ψηφιακό σήμα

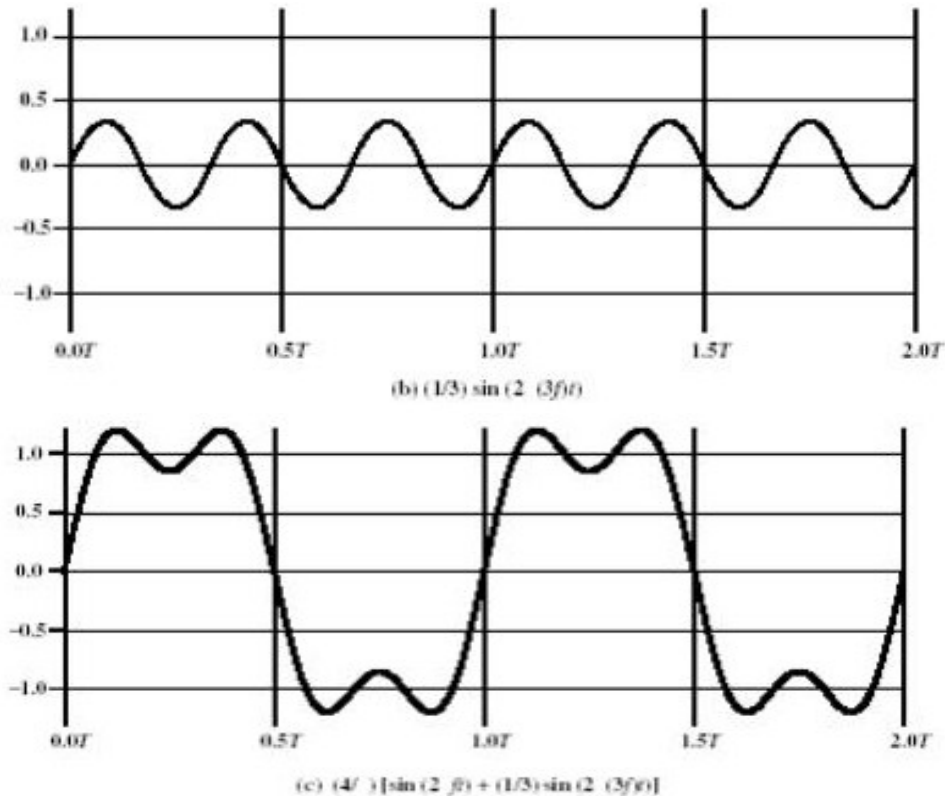
Τα αναλογικά σήματα μπορεί να είναι είτε απλά, δηλαδή ημιτονικά σήματα, είτε σύνθετα τα οποία μπορούν να αποσυντεθούν, με βάση το μετασχηματισμό Fourier, σε ένα σύνολο ημιτονικών σημάτων, με ένα φάσμα συχνοτήτων (spectrum) συγκεκριμένου εύρους (bandwidth).

Ένα χαρακτηριστικό των σημάτων είναι ο **μετασχηματισμός Fourier**. Στην πιο απλή περίπτωση μπορούμε να πούμε ότι ένα σήμα  $f(t)$  μπορεί να αναλυθεί σε ένα άθροισμα ημιτόνων και συνημιτόνων, με συντελεστές οι οποίοι υπολογίζονται μοναδικά από το  $f(t)$  και συχνότητες πολλαπλάσιες μιας βασικής συχνότητας  $f_0$ . Δηλαδή,

$$f(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \text{Sin}(2\pi n f_0 t) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \text{Cos}(2\pi n f_0 t).$$

Επειδή δε μπορούμε να έχουμε άπειρες συχνότητες όταν ένα σήμα περνάει από ένα σύστημα μετάδοσης, ‘κόβονται’ οι υψηλές συχνότητες με αποτέλεσμα να αλλοιώνεται το σήμα. Όσο περισσότερες είναι οι συχνότητες τόσο περισσότερο προσεγγίζεται το αρχικό σήμα. Ακόμη, και λίγες συχνότητες είναι αρκετές για αποφασίσουμε τα ‘υψηλά’ και τα ‘χαμηλά’ ενός σήματος.





**Εικόνα 2.4: Παράδειγμα ανάλυσης Fourier**

Τα ψηφιακά σήματα χαρακτηρίζονται από 2 μεταβλητές:

- **Διάστημα (Διάρκεια) των bit (bit Interval):** Το χρονικό διάστημα για την αποστολή του ενός bit. Μετριέται σε sec και στις υποδιαιρέσεις του (msec, nanosec,...).
- **Ρυθμός των bits (bit Rate):** Ο αριθμός των bit στέλνονται σε χρόνο 1 sec. Μετριέται σε bps (bits per second) και στα παράγωγά του (Kbps, Mbps,...).

Τα ψηφιακά σήματα μπορούν να μετατραπούν (αποσυντεθούν) σε ένα σύνολο αναλογικών σημάτων, με πεπερασμένο φάσμα συχνοτήτων συγκεκριμένου εύρους. Το φάσμα αυτό λέγεται σημαντικό φάσμα συχνοτήτων (Significant Spectrum). Το modem είναι μια συσκευή που πετυχαίνει τη μετατροπή αυτή.

**Σημείωση:** Ένα φάσμα συχνοτήτων περιγράφεται από ένα διάγραμμα συχνοτήτων. Το εύρος του φάσματος υπολογίζεται από τη διαφορά της ελάχιστης από τη μέγιστη συχνότητα του φάσματος.

## 2.2.2 ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ – ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗ ΣΗΜΑΤΩΝ

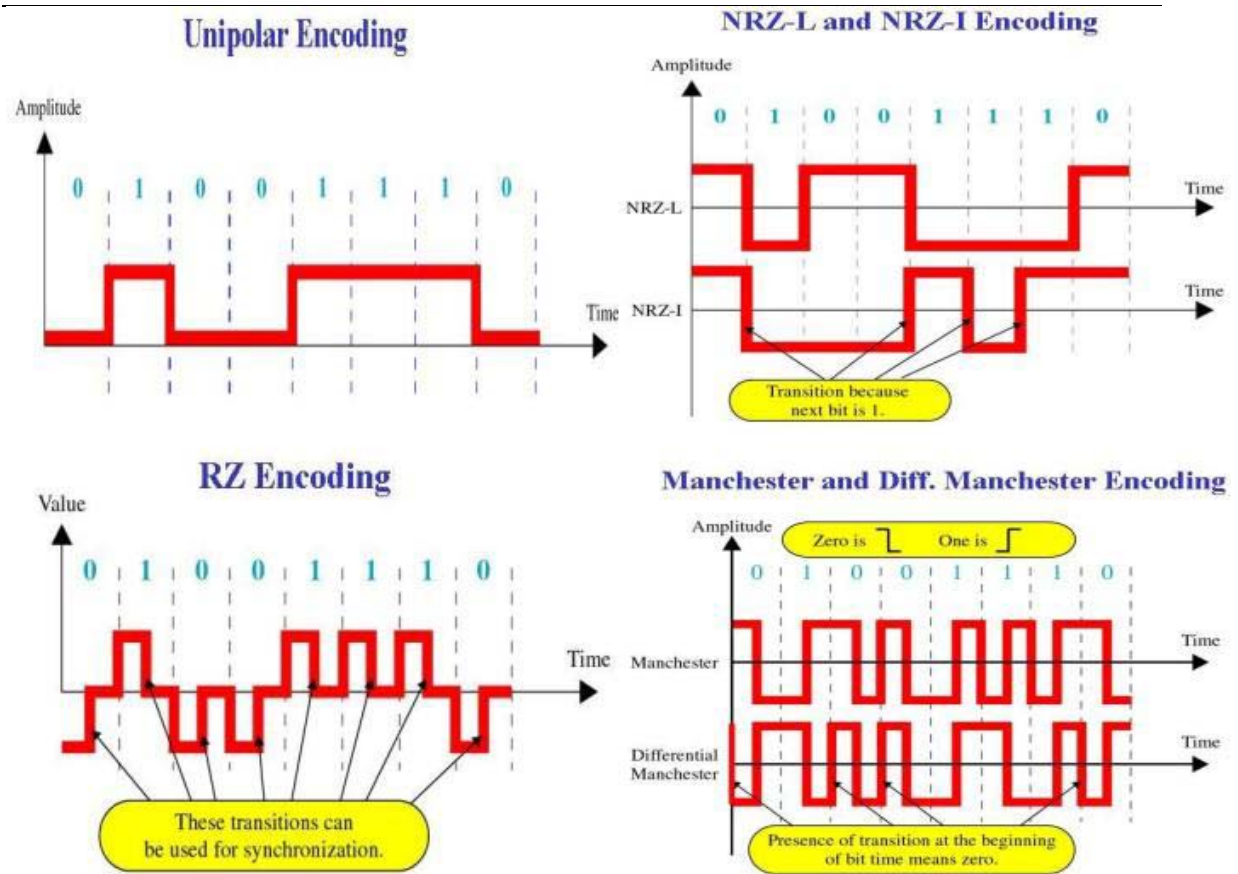
Η μετάδοση πληροφορίας μπορεί να γίνει είτε με μετατροπή του σήματος σε ψηφιακό με μεταφορά σε υψηλές συχνότητες (διαμόρφωση ευρείας ζώνης), είτε με μετατροπή χωρίς να χρησιμοποιείται κάποια υψηλή συχνότητα (διαμόρφωση βασικής ζώνης).

### 2.2.2.1 Διαμόρφωση πληροφορίας στη βασική ζώνη

Η διαμόρφωση πληροφορίας χρησιμοποιείται για τη μεταφορά των δεδομένων στο εσωτερικό του υπολογιστή, αλλά και για την μεταφορά διαμέσου κάποιου δικτύου. Υπάρχουν τρεις κύριες τεχνικές: η μονοπολική (unipolar) κωδικοποίηση, η πολική (polar) κωδικοποίηση και η διπολική (bipolar) κωδικοποίηση.

1. Μονοπολική Κωδικοποίηση (Unipolar Encoding): Η μια εκ των δύο ψηφιακών καταστάσεων (συνήθως η '1') παριστάνεται από κάποια τάση (πολικότητα), ενώ στην άλλη αντιστοιχεί τάση 0 volts. Υπάρχουν δύο σημαντικά προβλήματα:  
1<sup>ο</sup> πρόβλημα: Η μη ύπαρξη τάσης σηματοδοτεί το ψηφίο '0'.  
2<sup>ο</sup> πρόβλημα: Έλλειψη συγχρονισμού, δηλαδή σε μεγάλες ακολουθίες από όμοια bits, ο παραλήπτης δε μπορεί να διακρίνει την έναρξη και τον τερματισμό του κάθε bit, εξαιτίας της ίδιας πολικότητας.
2. Πολική Κωδικοποίηση (Polar Encoding): Χρησιμοποιεί δύο επίπεδα τάσης (θετικό και αρνητικό) για την αναπαράσταση του '1' και του '0', με αποτέλεσμα να εξαλείφεται μερικώς ή εντελώς το 1<sup>ο</sup> πρόβλημα. Η κωδικοποίηση αυτή εμφανίζεται σε τρεις παραλλαγές:
  - NRZ (NonReturn to Zero): Η πολικότητα του σήματος είναι πάντοτε είτε θετική είτε αρνητική. Υπάρχουν δύο επιμέρους τύποι της μετάδοσης NRZ:  
1<sup>ος</sup> τύπος (NRZ-L): Η πολικότητα εξαρτάται από το είδος του bit, οπότε υπάρχουν και στην περίπτωση αυτή προβλήματα συγχρονισμού.  
2<sup>ος</sup> τύπος (NRZ-I): Η αντιστροφή πολικότητας (από θετική σε αρνητική και αντιστρόφως) αντιπροσωπεύει το bit '1', ενώ στο '0' δεν πραγματοποιείται καμία μεταβολή. Είναι κατανοητό ότι και στην περίπτωση αυτή, μια μεγάλη ακολουθία από '0' μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα συγχρονισμού.
  - RZ (Return to Zero): Χρησιμοποιούνται τρεις τάσεις σήματος: μια αρνητική, μια θετική και η μηδενική. Το bit '1' κωδικοποιείται σε μια μετάβαση από θετική τάση σε μηδενική, ενώ το '0' αντιπροσωπεύεται από μια μετάβαση από αρνητική σε μηδενική τάση. Οι μεταβάσεις πραγματοποιούνται εντός του διαστήματος του κάθε bit. Η τεχνική αυτή επιλύει το πρόβλημα έλλειψης συγχρονισμού, αλλά καταλαμβάνεται μεγαλύτερο εύρος ζώνης.
  - Διφασική Κωδικοποίηση (Biphase): Αποτελεί την καλύτερη λύση ενάντια στην έλλειψη συγχρονισμού. Υπάρχουν 2 παραλλαγές: Η κωδικοποίηση Manchester και η διαφορική κωδικοποίηση Manchester:  
Manchester Encoding: Το '1' αντιπροσωπεύεται από μία μετάβαση από αρνητική προς θετική τάση, ενώ το '0' από μια μετάβαση από θετική προς αρνητική τάση. Οι μεταβάσεις πραγματοποιούνται εντός του διαστήματος του κάθε bit.

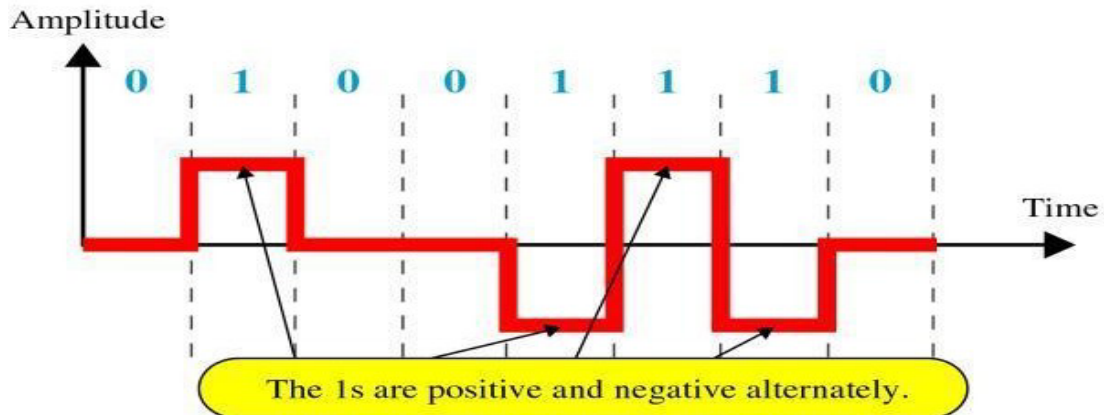
Differential Manchester Encoding: Η αλλαγή πολικότητας στη διάρκεια του κάθε bit χρησιμοποιείται για συγχρονισμό, ενώ η αναπαράσταση του κάθε bit πραγματοποιείται από την αντιστροφή ('0') ή τη μη αντιστροφή ('1') του σήματος στην αρχή του κάθε bit.



Εικόνα 2.5: Κωδικοποίηση της ακολουθίας των bits '01001110' με χρήση μονοπολικής και πολικής κωδικοποίησης (τεχνικές: NRZ\_L, NRZ\_I, RZ; Manchester και Differential Manchester)

3. Διπολική Κωδικοποίηση (Bipolar Encoding): Το bit '0' παριστάνεται από μηδενική τάση, ενώ το '1' από θετική ή αρνητική τάση, εναλλάξ. Υπάρχουν τρεις τύποι διπολικής κωδικοποίησης:
  - AMI (Alternate Mark Inversion): Πρόκειται για την απλούστερη μορφή διπολικής κωδικοποίησης, όπως περιγράφηκε παραπάνω. Παρουσιάζει αδυναμίες συγχρονισμού για μεγάλες ακολουθίες από '0'.

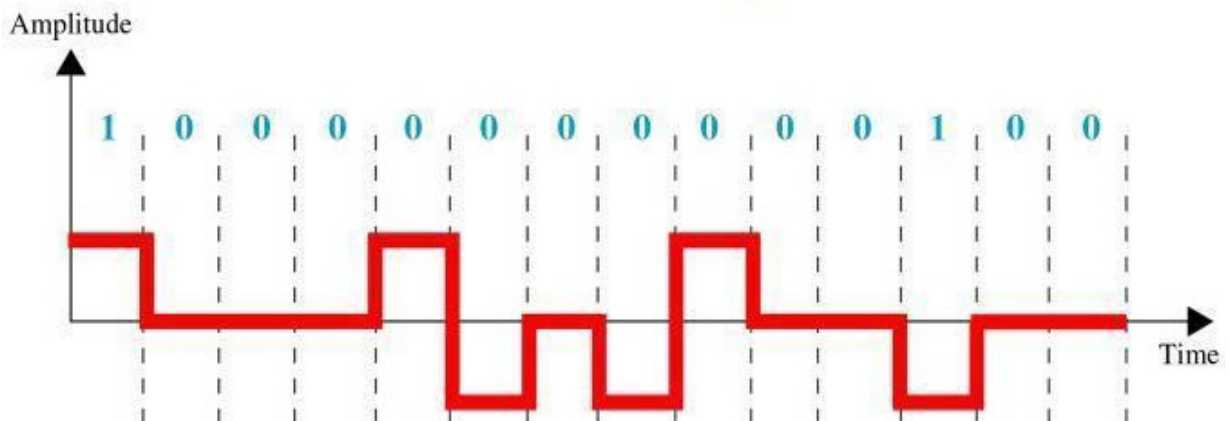
## Bipolar AMI Encoding



Εικόνα 2.6: Διπολική Κωδικοποίηση AMI της ακολουθίας των bits '01001110'

- B8ZS (Bipolar 8-Zero Substitution): Αποτελεί την Αμερικάνικη λύση στο πρόβλημα έλλειψης συγχρονισμού για μεγάλες ακολουθίες από '0'. Σε μια ακολουθία από οκτώ '0', αλλάζουν οι πολικότητες με βάση την πολικότητα του προηγούμενου '1', ως εξής: Αν η ακολουθία είναι της μορφής: +00000000 τότε αλλάζει σε: +000+0-+. Αν η ακολουθία είναι της μορφής: -00000000 τότε αλλάζει σε -000-+0+.

## B8ZS Encoding

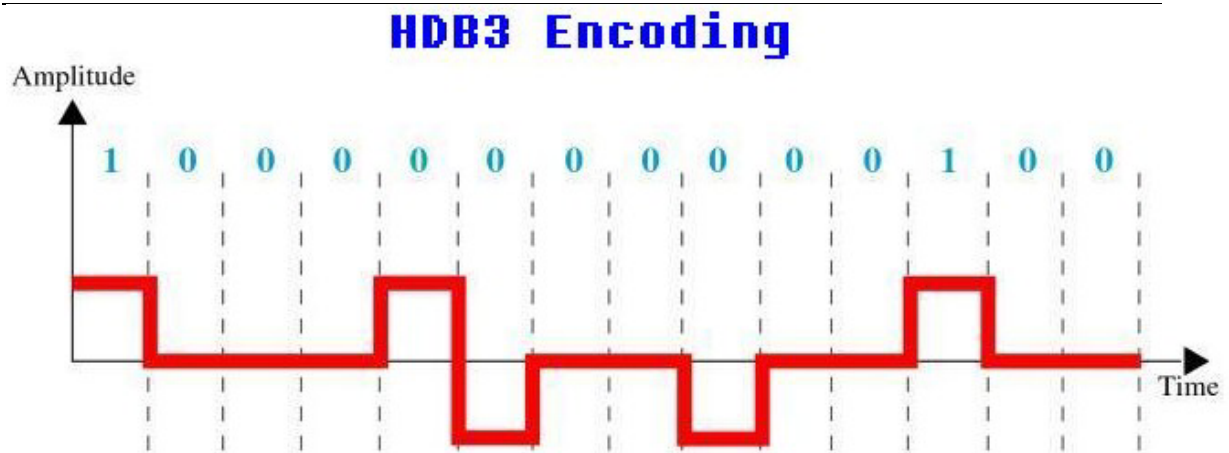


Εικόνα 2.7: Διπολική Κωδικοποίηση B8ZS της ακολουθίας των bits '1000000000100'

- HDB3 (High-Density Bipolar 3): Αποτελεί την Ευρωπαϊκή και Ιαπωνική λύση στο πρόβλημα έλλειψης συγχρονισμού για μεγάλες ακολουθίες από '0'. Σε μια ακολουθία από τέσσερα '0', αλλάζουν οι πολικότητες με βάση την πολικότητα του προηγούμενου '1' και τον αριθμό των '1' μετά την τελευταία αντικατάσταση, ως εξής: Αν ο αριθμός των '1' είναι περιττός τότε πραγματοποιούνται οι αλλαγές: Από +0000 σε +000+ και από -0000 σε -000-.



Αν ο αριθμός των '1' είναι άρτιος πραγματοποιούνται οι αλλαγές: Από +0000 σε +−00− και από −0000 σε −+00+.



Εικόνα 2.8: Διπολική Κωδικοποίηση HDB3 της ακολουθίας των bits '1000000000100'

---

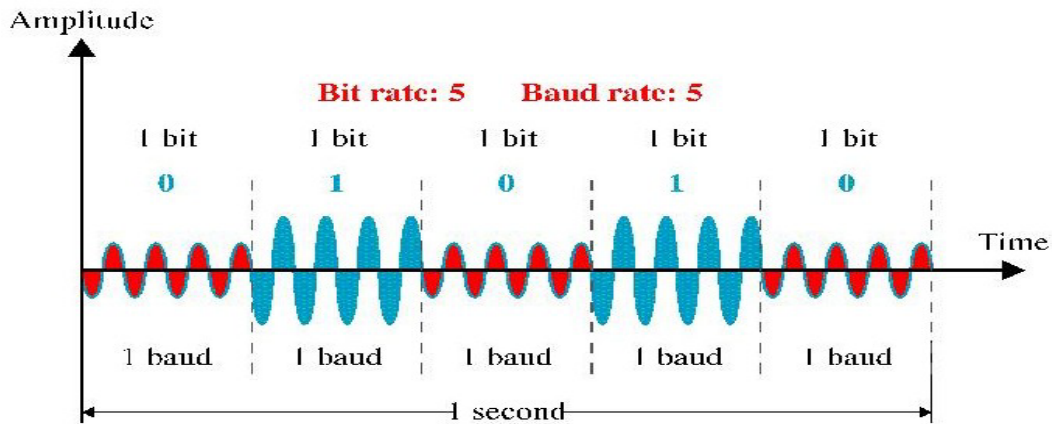
#### 2.2.2.2 Διαμόρφωση ψηφιακού σήματος στην ευρεία ζώνη

Πρόκειται για τη διαδικασία που πραγματοποιείται από ένα modem, κατά τη μετάδοση πληροφοριών μεταξύ δύο υπολογιστών διαμέσου συνήθως ενός τηλεφωνικού δικτύου (PSTN). Υπάρχουν 4 γνωστοί μηχανισμοί που πραγματοποιούν τη μετατροπή ψηφιακού σήματος σε αναλογικό:

1. ASK (Amplitude Shift Keying): Οι μεταβολές ανάμεσα στα bits '0' και '1' αναπαριστώνται από αντίστοιχες μεταβολές στο πλάτος του φέροντος σήματος, ενώ η φάση και η συχνότητα παραμένουν σταθερές. Τόσο στο '0' όσο και στο '1' αντιστοιχεί συγκεκριμένο, σταθερό πλάτος. Αυτού του είδους η μετάδοση είναι ευάλωτη σε φαινόμενα θορύβου.
-



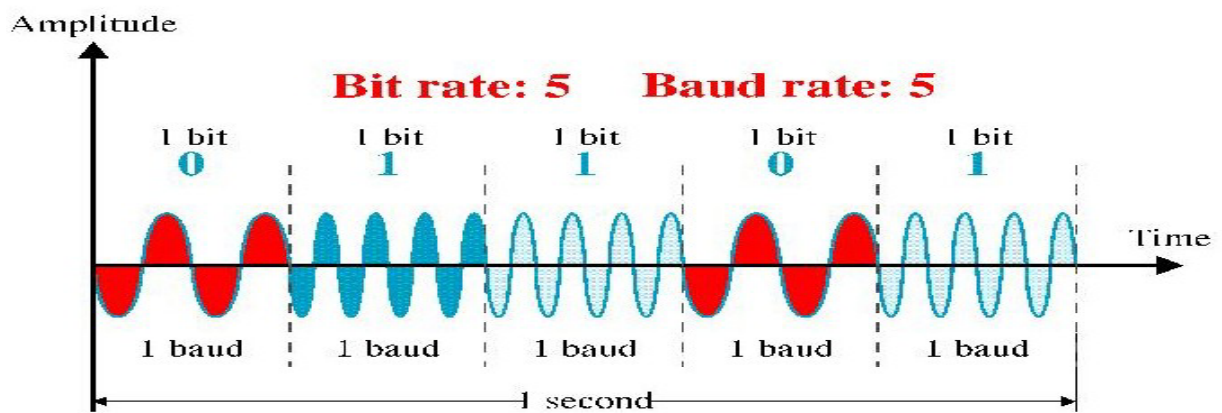
## ASK



Εικόνα 2.9: Μετατροπή ψηφιακού σήματος σε αναλογικό, με τη μέθοδο ASK

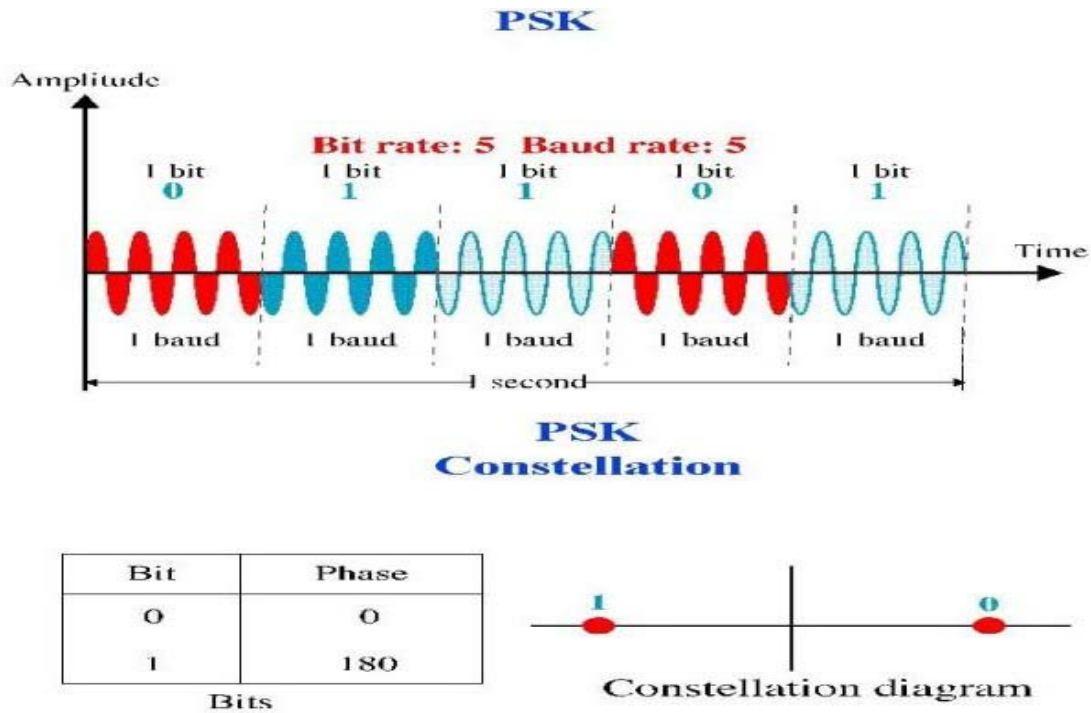
2. FSK (Frequency Shift Keying): Το '0' και το '1' αναπαριστώνται από δύο διαφορετικές συχνότητες του φέροντος σήματος. Η φάση και το πλάτος διατηρούνται σταθερά.

## FSK



Εικόνα 2.10: Μετατροπή ψηφιακού σήματος σε αναλογικό, με τη μέθοδο FSK

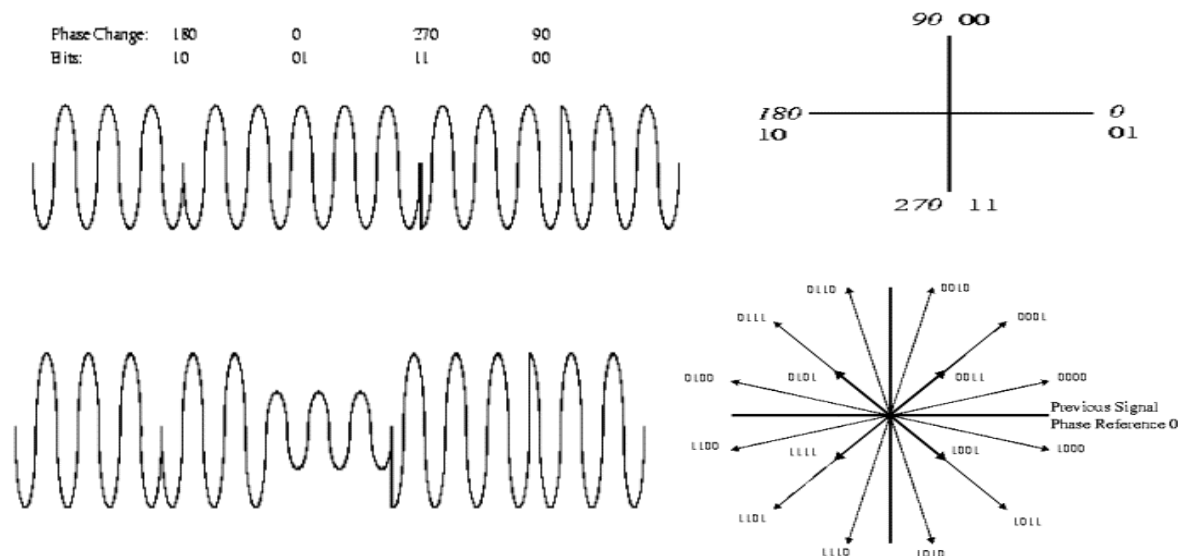
3. PSK (Phase Shift Keying): Διακυμάνσεις στη φάση του φέροντος σήματος αναπαριστούν τις μεταβολές ανάμεσα στο '0' και στο '1', ενώ η συχνότητα και το πλάτος παραμένουν σταθερά. Δίδεται η δυνατότητα στο κάθε baud να μεταφέρει περισσότερα του ενός bit.



**Εικόνα 2.11:** Μετατροπή ψηφιακού σήματος σε αναλογικό, με τη μέθοδο PSK

**Σημείωση:** Ο όρος *baud* αναφέρεται στο στοιχειώδες τμήμα του συνεχούς σήματος, που μπορεί να μεταδοθεί.

4. **QAM (Quadrature Amplitude Modulation):** Είναι συνδυασμός των ASK και PSK. Παρέχει ακόμη μεγαλύτερη αναλογία bit/baud συγκριτικά με την διαδικασία PSK. Η διαδικασία QAM παρέχει τα ίδια πλεονεκτήματα με τις ASK και PSK, και χρησιμοποιεί το ίδιο εύρος ζώνης.



**Εικόνα 2.12: Μετατροπή ψηφιακού σήματος σε αναλογικό, με τη μέθοδο QAM (4-QAM & 16-QAM αντίστοιχα)**

### 2.2.2.3 Διαμόρφωση αναλογικού σήματος σε ψηφιακό σήμα

Η διαδικασία μετατροπής του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό είναι γνωστή με τον όρο παλμοκωδική διαμόρφωση (PCM – Pulse Code Modulation). Η PCM περιλαμβάνει 4 στάδια:

- Διαμόρφωση εύρους παλμού (PAM – Pulse Amplitude Modulation): Πρόκειται για το στάδιο της δειγματοληψίας του αναλογικού σήματος. Ο ρυθμός της δειγματοληψίας προσδιορίζεται από το θεώρημα του Nyquist. Σύμφωνα με αυτό, ο ρυθμός δειγματοληψίας πρέπει να είναι τουλάχιστον διπλάσιος της μέγιστης συχνότητας που παρατηρείται στο αναλογικό σήμα.
- Κβάντωση (Quantization): Σε αυτό το στάδιο γίνεται η απόδοση διακριτών τιμών στα δείγματα που προήλθαν από το στάδιο PAM.
- Ψηφιακή Κωδικοποίηση (Digital Encoding): Εδώ οι διακριτές τιμές κωδικοποιούνται στο δυαδικό σύστημα. Ο αριθμός των bits για το κάθε δείγμα εξαρτάται από το επίπεδο ακρίβειας που απαιτήθηκε στο δεύτερο στάδιο.
- Μετατροπή της Ψηφιακή Πληροφορίας σε Ψηφιακό Σήμα (Digital-to-digital Encoding): Πρόκειται για τη διαδικασία που περιγράφηκε στην προηγούμενη παράγραφο. Ο ρυθμός των bits του ψηφιακού σήματος δίνεται από τον τύπο:

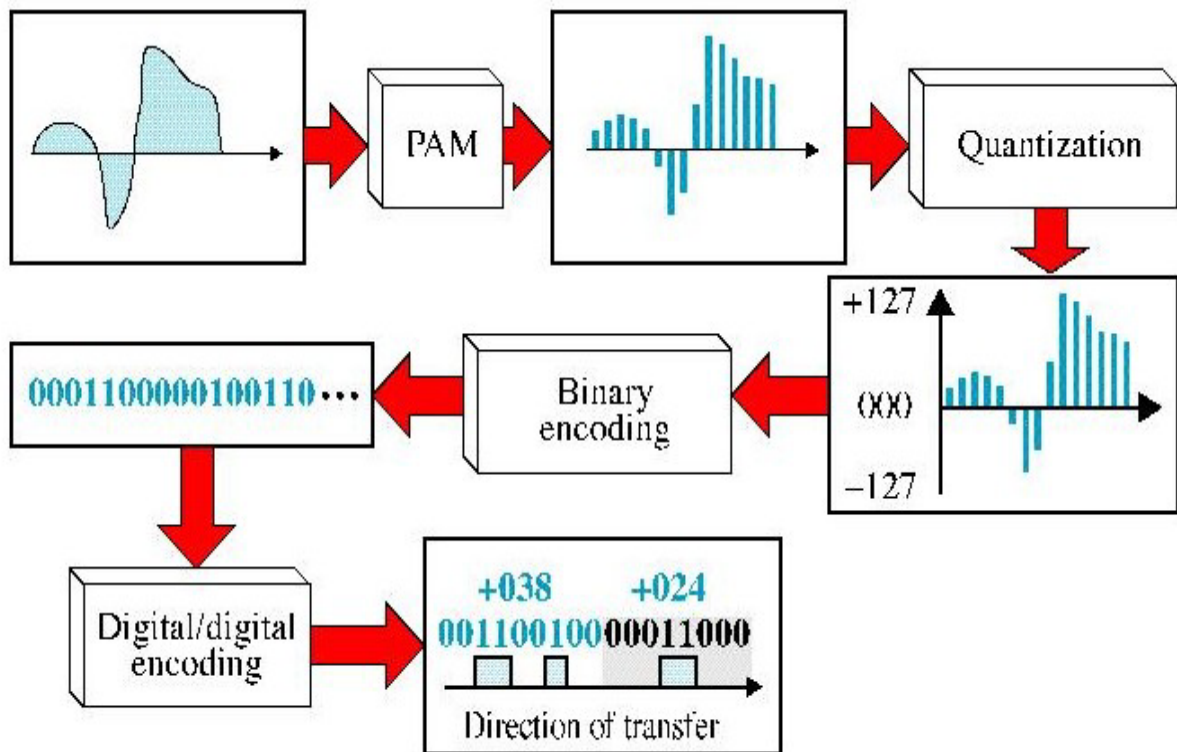
$$\text{Ρυθμός bit} = \text{Ρυθμός δειγματοληψίας} \times \text{Αριθμός bit ανά δείγμα.}$$

Εκτός από την Παλμοκωδική Διαμόρφωση, η ανάγκη για όσο το δυνατόν λιγότερα bit κατά την ψηφιοποίηση έχει οδηγήσει σε διάφορες έξυπνες τεχνικές δειγματοληψίας. Τέτοιες είναι η Διαφορική Παλμοκωδική Διαμόρφωση (Differential PCM), η Διαμόρφωση Δέλτα (Delta Modulation) και η Προγνωστική Κωδικοποίηση (Predictive Encoding) που αποτελεί βελτίωση του διαφορικού PCM.

Στο τηλεφωνικό σύστημα όπου χρησιμοποιούμε εύρος ζώνης γύρω στα 3 με 4 KHz, η δειγματοληψία γίνεται με ρυθμό 8000 δείγματα το δευτερόλεπτο και η κβάντωση απαιτεί 8 bit/επίπεδο. Ο τελικός ρυθμός μετάδοσης είναι 64 kbps.

Με πιο προηγμένες τεχνικές μπορούμε να επιτύχουμε μετάδοση με ρυθμούς της τάξης των 8 kbps και ποιότητα ισοδύναμη με αυτήν του τηλεφωνικού δικτύου.

## From Analog to PCM

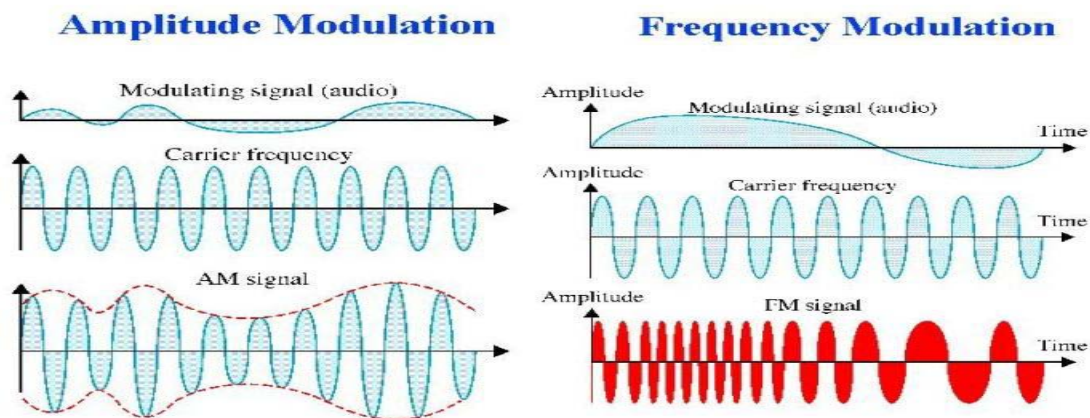


Εικόνα 2.13: Στάδια Παλμοκωδικής Διαμόρφωσης (PCM)

### 2.2.2.4 Διαμόρφωση αναλογικού σήματος (πληροφορίας) σε αναλογικό σήμα

Η διαδικασία αυτή είναι γνωστή στα ραδιοφωνικά δίκτυα. Υπάρχουν τρεις τύποι μετατροπής:

1. AM (Amplitude Modulation): Το φέρον σήμα μεταβάλλει το πλάτος του σύμφωνα με τις μεταβολές του πλάτους του αρχικού σήματος, ενώ διατηρεί τη φάση και τη συχνότητά του σταθερές.
2. FM (Frequency Modulation): Το φέρον σήμα μεταβάλλει τη συχνότητά του σύμφωνα με τις μεταβολές του πλάτους του αρχικού σήματος, ενώ διατηρεί τη φάση και το πλάτος του σταθερά.
3. PM (Phase Modulation): Το φέρον σήμα μεταβάλλει την φάση του σύμφωνα με τις μεταβολές του πλάτους του αρχικού σήματος, ενώ διατηρεί το πλάτος και τη συχνότητά του σταθερά.

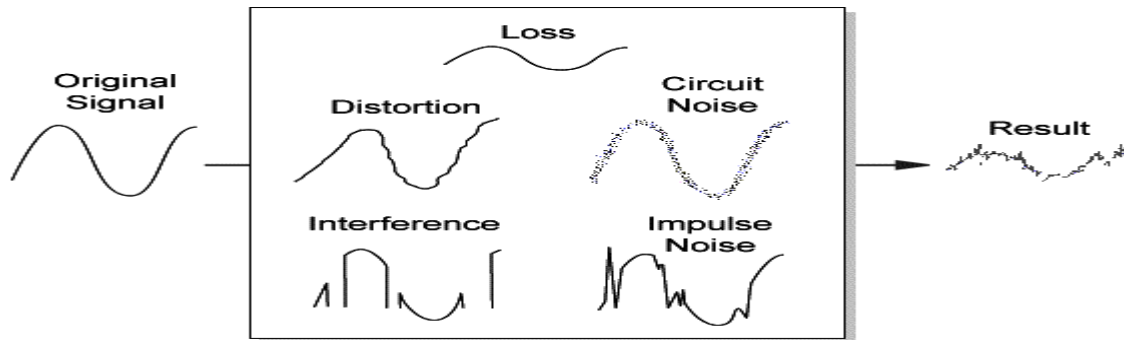


Εικόνα 2.14: Παράδειγμα Διαμόρφωσης Πλάτους (AM) & Διαμόρφωσης Συχνότητας (FM)

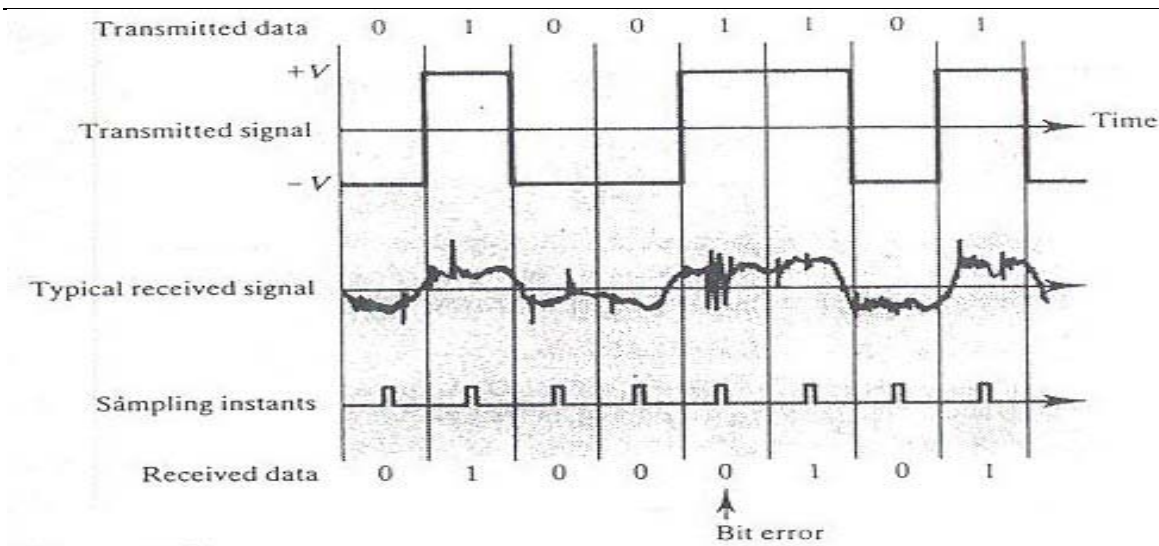
### 2.2.3 ΑΛΛΟΙΩΣΕΙΣ ΣΗΜΑΤΩΝ

Τόσο τα αναλογικά όσο και τα ψηφιακά σήματα υπόκεινται σε τρία είδη αλλοιώσεων. Αυτά είναι η εξασθένηση, η παραμόρφωση και ο θόρυβος. Τα τρία αυτά φαινόμενα συνυπάρχουν και παράγουν ένα συνδυασμένο αποτέλεσμα. Η ανάλυση των αλλοιώσεων αυτών πραγματοποιείται στις παρακάτω παραγράφους και γίνεται για την κάθε μια χωριστά.

Για την επίλυση του προβλήματος αυτού, χρησιμοποιούνται ενισχυτές (amplifiers) για την περίπτωση των αναλογικών σημάτων και επαναλήπτες (repeaters) για τα ψηφιακά σήματα, κατά μήκος του μέσου διάδοσης (γραμμής). Και οι δύο συσκευές αποτελούνται από δύο τμήματα: το πρώτο ενισχύει το πλάτος του σήματος εξαλείφοντας την εξασθένηση, ενώ το δεύτερο (Equalizer – Εξισωτής) αντιμετωπίζει την παραμόρφωση. Λόγω των δύο μόνο καταστάσεων των ψηφιακών σημάτων, ένας επαναλήπτης, αφού εξαλείψει την εξασθένηση και την παραμόρφωση, μπορεί να προβλέψει με ασήμαντο ποσοστό σφαλμάτων ( $1/10^{12}$ ) το αρχικό σήμα του πομπού, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνει απομάκρυνση του θορύβου. Κάτι τέτοιο είναι αδύνατο στην περίπτωση του ενισχυτή και των αναλογικών σημάτων.



Εικόνα 2.15: Αλλοιώσεις αναλογικού σήματος



Εικόνα 2.16: Παράδειγμα αλλοίωσης ψηφιακού σήματος

**Σημείωση:** Εξαιτίας της ομοιότητας των δύο συσκευών, πολλές φορές στη βιβλιογραφία ο αναλογικός ενισχυτής αναφέρεται και ως αναλογικός επαναλήπτης.

### 2.2.3.1 Εξασθένηση (Attenuation)

Η εξασθένηση του σήματος είναι η μείωση του πλάτους του κατά μήκος του μέσου μετάδοσης. Ανάλογα με τον τύπο του μέσου μετάδοσης, υπάρχει ένα οριακό σημείο του πέρα από το οποίο θεωρείται ότι ο παραλήπτης του σήματος δεν μπορεί να ανιχνεύσει και να ερμηνεύσει αξιόπιστα το λαμβανόμενο σήμα. Στα οριακά αυτά σημεία του μέσου μετάδοσης τοποθετούνται οι ενισχυτές ή οι επαναλήπτες.

Η διαδικασία αντιμετώπισης της εξασθένησης λέγεται ενίσχυση (amplification ή gain). Μονάδα μέτρησης της εξασθένησης και της ενίσχυσης είναι το decibel (dB). Η εξασθένηση και η ενίσχυση κατά μήκος μιας γραμμής δίνονται από τους παρακάτω τύπους:

$$\text{Attenuation} = 10 \log_{10} \frac{P_1}{P_2} \text{ dB}, \quad \text{Amplification} = 10 \log_{10} \frac{P_2}{P_1} \text{ dB},$$

όπου  $P_1$  είναι η ισχύς (σε watts) του μεταδιδόμενου σήματος και  $P_2$  είναι η ισχύς (σε watts) του λαμβανόμενου σήματος. Σε ένα κανάλι πολλαπλών τμημάτων, η ολική εξασθένηση ή ενίσχυση του μεταδιδόμενου σήματος προκύπτει από το αλγεβρικό άθροισμα των εξασθενήσεων και των ενισχύσεων στα επιμέρους τμήματα.

### 2.2.3.2 Παραμόρφωση (Distortion)

Το φαινόμενο της παραμόρφωσης εμφανίζεται στα σύνθετα σήματα και οφείλεται στις διαφορετικές ταχύτητες διάδοσης των επιμέρους ημιτονικών σημάτων που τα αποτελούν. Η ταχύτητα διάδοσης εξαρτάται από τη συχνότητα. Επομένως τα σήματα με διαφορετικές συχνότητες φθάνουν στον προορισμό με διαφορετικές καθυστερήσεις. Αυτό οδηγεί στην παραμόρφωση του αρχικού σύνθετου σήματος.

### 2.2.3.3 Θόρυβος (Noise)

Ο θόρυβος προκαλείται από διάφορες αιτίες, αλλά κυρίως οφείλεται στα χαρακτηριστικά του μέσου μετάδοσης. Για κάθε μέσο μετάδοσης δίνεται από τον κατασκευαστή ο σηματοθορυβικός λόγος S/N ή SNR (Signal-to-Noise Ratio), ο οποίος δίνεται από τη σχέση:  $SNR = 10 \log_{10} \left( \frac{S}{N} \right)$ , όπου S είναι η ισχύς του σήματος και N είναι η ισχύς του θορύβου. Ο λόγος SNR μετριέται σε decibel. Οι κυριότερες αιτίες θορύβου είναι οι ακόλουθες:

- Οι τυχαίες κινήσεις των ηλεκτρονίων στα ενσύρματα μέσα μετάδοσης (Thermal Noise).
- Οι επιδράσεις πάνω στο μέσο μετάδοσης από διάφορες εφαρμογές, όπως είναι οι γεννήτριες (Induced Noise).
- Οι ηλεκτρομαγνητικές αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στις διάφορες ενσύρματες γραμμές (Crosstalk).
- Οι στιγμιαίες επιδράσεις διαφόρων εξωτερικών παραγόντων, όπως είναι οι αστραπές ή άλλες πηγές υψηλής ενέργειας (Impulse Noise).

### Θεώρημα Nyquist:

Όταν οποιοδήποτε σήμα περάσει μέσα από ένα φίλτρο χαμηλής διέλευσης εύρους ζώνης  $H$ , το φιλτραρισμένο σήμα μπορεί να ανακατασκευαστεί πλήρως παίρνοντας (ακριβώς) μόνο  $2H$  δείγματα ανά δευτερόλεπτο. Η δειγματοληψία της γραμμής πιο γρήγορα από  $2H$  είναι μάταιη επειδή οι συνιστώσες υψηλής συχνότητας που θα επανακτούσαμε σε μια τέτοια δειγματοληψία έχουν ήδη αποκοπεί από το φίλτρο.

Εάν το σήμα αποτελείται από  $V$  διακεκριμένα επίπεδα, τότε ισχύει η ακόλουθη σχέση:

$$\text{Μέγιστος Ρυθμός Μετάδοσης Δεδομένων} = 2H \log_2 V \text{ (bit/sec).}$$



Ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων αντιπροσωπεύει την χωρητικότητα (Capacity - C) που του συστήματος ή της γραμμής μετάδοσης. Επομένως,  $C = 2B \log_2 V$  (bit/sec).

#### Εφαρμογή Θεωρήματος Nyquist:

Μια γραμμή PSTN χρησιμοποιεί κωδικοποίηση σήματος τύπου AM - PSK, 8 επιπέδων. Αν το εύρος ζώνης είναι 3100 Hz, ποία είναι η μέγιστη χωρητικότητα;

Η μέγιστη χωρητικότητα θα είναι:  $C = 2B \log_2 V = 2 \cdot 3100 \log_2 8 = 18600 \text{ bps}$ .

#### Θεώρημα Shannon - Hartley:

Ο μέγιστος ρυθμός μετάδοσης δεδομένων ενός καναλιού με θόρυβο, του οποίου το εύρος ζώνης είναι B Hz και ο σηματοθορυβικός λόγος είναι S/N, δίνεται από τη σχέση:

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

όπου: R: αυτό που μπορούμε να στείλουμε στο κανάλι, C: χωρητικότητα καναλιού (bps), B: Εύρος Ζώνης (Hz), S: σήμα (Signal), N: Θόρυβος (Noise).

#### Εφαρμογή Θεωρήματος Shannon - Hartley:

Υποτίθεται μια γραμμή PSTN στην οποία το εύρος ζώνης είναι 3000Hz και ο λόγος σήματος προς θόρυβος είναι S/N = 20 dB. Ζητείται η χωρητικότητα της γραμμής.

Ο θόρυβος θα πρέπει να μετατραπεί σε καθαρό αριθμό από dB. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται ο ακόλουθος τύπος:  $S/N \text{ (dB)} = 10 \log_{10}(S/N) = 10 \log_{10}(S/N)$ . Από την εξίσωση προκύπτει τελικά:  $S/N = 100$ .

Επομένως, από τον τύπο  $C = B \log_2 \left( \frac{S}{N} + 1 \right)$  προκύπτει ότι η χωρητικότητα είναι:  $3000 \cdot \log_2(100 + 1) = 19963 \text{ bps}$ .

## 2.3 ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

### 2.3.1 ΜΕΣΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ

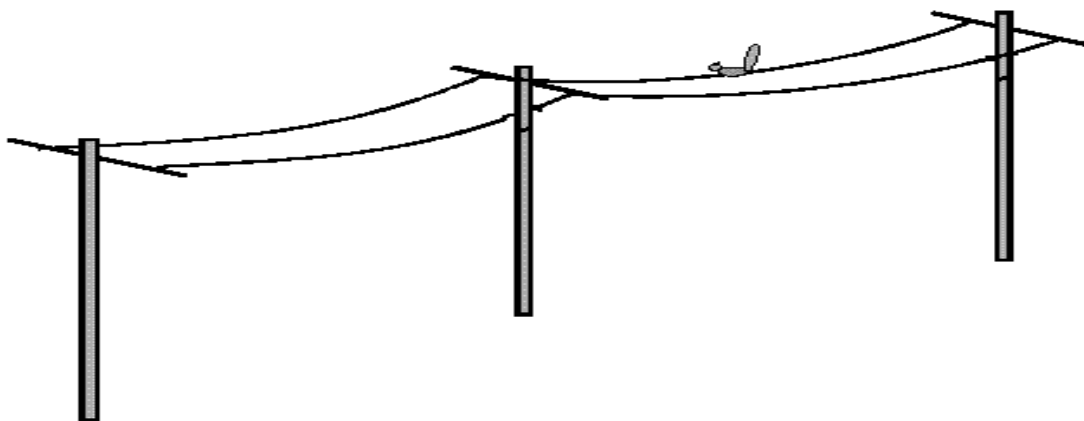
#### 2.3.1.1 Μαγνητικά μέσα

Η μετάδοση δεδομένων με μαγνητικά μέσα αφορά την εγγραφή τους σε μαγνητικές ταινίες ή δισκέτες και τη φυσική μεταφορά αυτών στην μηχανή λήψης των δεδομένων, η οποία τα διαβάζει στη συνέχεια. Παρόλο που αυτή η μέθοδος είναι η πιο απλή περίπτωση μετάδοσης δεδομένων, μπορεί να αποδειχθεί περισσότερο αποδοτική για περιπτώσεις

μεταφοράς όπου απαιτείται υψηλό εύρος ζώνης ή υπάρχει υψηλό κόστος ανά μεταδιδόμενο bit.

### 2.3.1.2 Δισύρματες ανοιχτές γραμμές

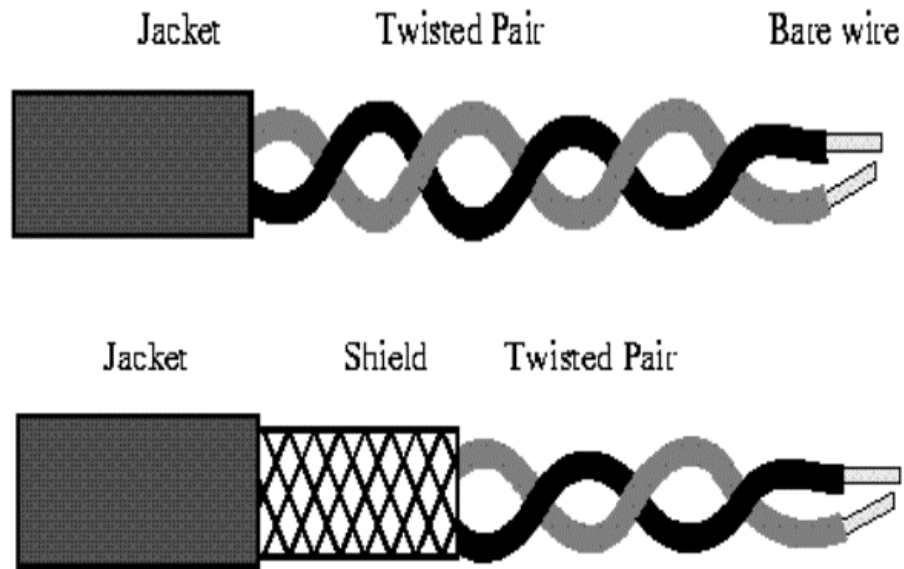
Μετά από τα μαγνητικά μέσα, που αναφέρθηκαν προηγουμένως, οι δισύρματες ανοιχτές γραμμές (two-wire open lines) είναι τα πιο απλά μέσα μετάδοσης. Αυτός ο τύπος γραμμής δύσκολα μπορεί να συνδέσει συσκευές που απέχουν άνω των 50 m, ενώ οι ρυθμοί μετάδοσης των δεδομένων δεν ξεπερνούν το φράγμα των 19,2 Kbps. Αυτό οφείλεται στα έντονα φαινόμενα θορύβου που παρουσιάζονται μεταξύ των γραμμών, εξαιτίας των ηλεκτρομαγνητικών αλληλεπιδράσεων ανάμεσα στα καλώδια. Οι δισύρματες ανοιχτές γραμμές μπορούν να συνδέουν απευθείας δύο τερματικά ή ένα τερματικό με ένα modem.



Εικόνα 2.17: Δισύρματες Ανοιχτές Γραμμές (Two-Wire Open Lines)

### 2.3.1.3 Συνεστραμμένα ζεύγη

Τα συνεστραμμένα ζεύγη (Twisted Pairs) καλωδίων βρίσκουν ευρεία εφαρμογή στα τηλεφωνικά συστήματα και δίκτυα. Για αποστάσεις μικρότερες των 100 m, οι ταχύτητες αποστολής δεδομένων μπορούν να φθάσουν το μέγεθος του 1 Mbps, ενώ οι ταχύτητες πέφτουν όσο οι αποστάσεις μεγαλώνουν πέρα από το όριο αυτό. Υπάρχουν, όμως, και καλώδια όπως τα γνωστά UTP Cat-5 (Unshielded Twisted Pairs – Καλώδια χωρίς Περίβλημα), τα οποία μπορούν να επιτύχουν ακόμα μεγαλύτερες ταχύτητες, με χρήση πολύπλοκων οδηγιών και κυκλωμάτων. Ακόμα χρησιμοποιούνται και καλώδια, που λέγονται STP (Shielded Twisted Pairs), τα οποία μειώνουν ακόμη περισσότερο τις επιδράσεις των σημάτων παρεμβολής.



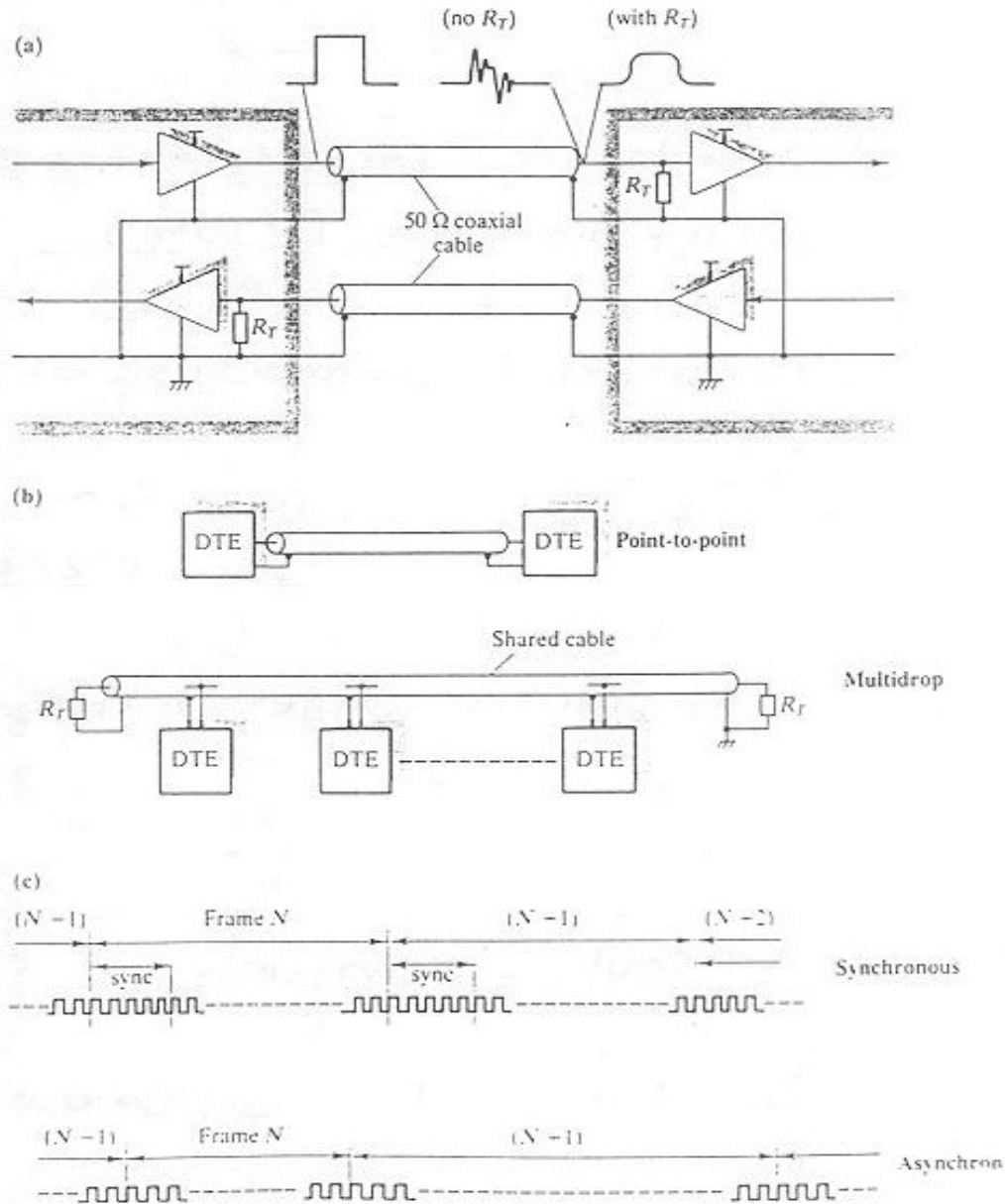
Εικόνα 2.18: Συνεστραμμένα Ζεύγη (Twisted Pairs) χωρίς περίβλημα (Unshielded) & με περίβλημα (Shielded)

---

#### 2.3.1.4 Ομοαξονικά καλώδια

Τα ομοαξονικά καλώδια (Coaxial Cable) μπορούν να πετύχουν ταχύτητες μετάδοσης της τάξης των 10 Mbps και άνω για εκατοντάδες μέτρα. Επιπλέον, λειτουργούν σε ένα μεγάλο εύρος ζώνης της τάξεως των 350 MHz και άνω (σε ορισμένα συστήματα καλωδιακής τηλεόρασης παρατηρείται εύρος ζώνης 500 MHz). Λόγω της κατασκευής τους (4 στρώματα: Χάλκινος πυρήνας, μονωτικό υλικό, εξωτερικός αγωγός – πλέγμα, πλαστικό κάλυμμα προστασίας) παρουσιάζουν μεγάλη ασφάλεια έναντι του θορύβου σε συνδυασμό με το μεγάλο εύρος ζώνης.

---

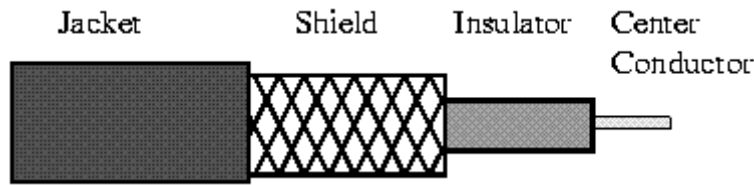


**Εικόνα 2.19: α.) Σήματα ομοαξονικών Καλωδίων. β) Μέθοδοι σύνδεσης. γ) Μέθοδοι πολύπλεξης διαίρεσης χρόνου σε ομοαξονικά καλώδια**

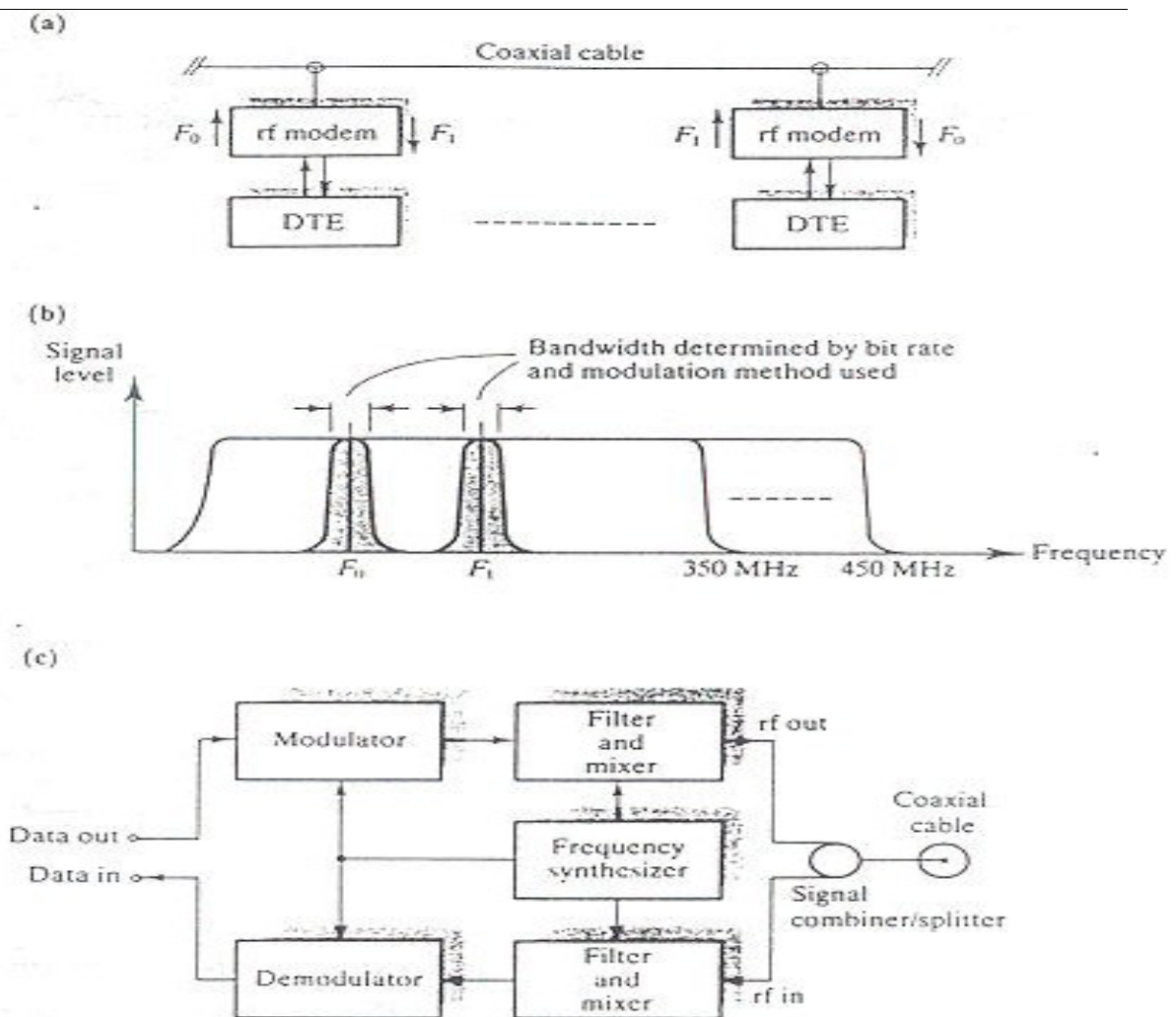
Υπάρχουν δύο τύποι ομοαξονικών καλωδίων: τα βασικής ζώνης (Baseband) και τα ευρείας ζώνης (Broadband). Τα πρώτα χρησιμοποιούνται για ψηφιακή μετάδοση με ρυθμούς της τάξης των 10 Mbps. Τα δεύτερα πραγματοποιούν αναλογική μετάδοση, οπότε ένα ψηφιακό σήμα πρέπει να μετατραπεί πρώτα σε αναλογικό. Τα ευρείας ζώνης αναπτύσσουν ρυθμούς 100 Mbps – 150 Mbps, ενώ προσφέρουν κανάλια με μικρότερο εύρος ζώνης των οποίων ο ρυθμός μετάδοσης είναι της τάξεως των 2 Mbps – 3 Mbps.

Η δυνατότητα διαχωρισμού σε πολλαπλά κανάλια μετάδοσης υψηλού ρυθμού κάνει τα ομοαξονικά καλώδια εύχρηστα σε περιπτώσεις εφαρμογών multipoint (‘ένα -

πολλαπλά) όπου το κάθε κανάλι διαμοιράζεται ανάμεσα σε πολλά συστήματα μετάδοσης (π.χ. καλωδιακή τηλεόραση). Όμως χρησιμοποιούνται και σε περιπτώσεις point-to-point ('σημείο - σε - σημείο'), για μετάδοση μεταξύ δύο συστημάτων.



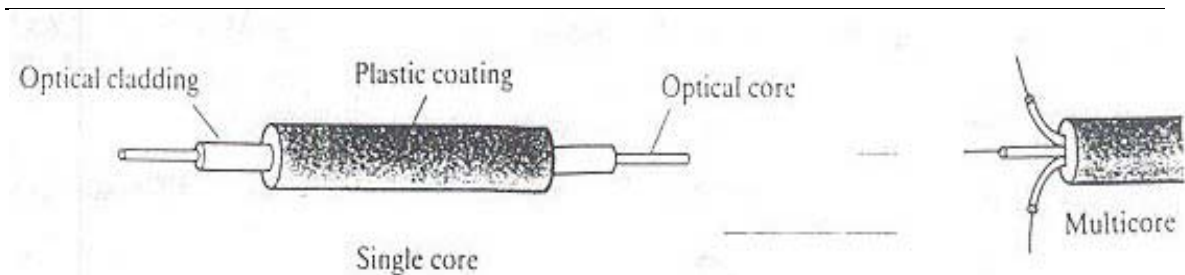
Εικόνα 2.20: Ομοαξονικό Καλώδιο (Coaxial Cable)



Εικόνα 2.21: α) Σχηματικές αναπαραστάσεις ομοαξονικών καλωδίων. β) Εύρος ζώνης. γ) Σχηματική αναπαράσταση του rf modem

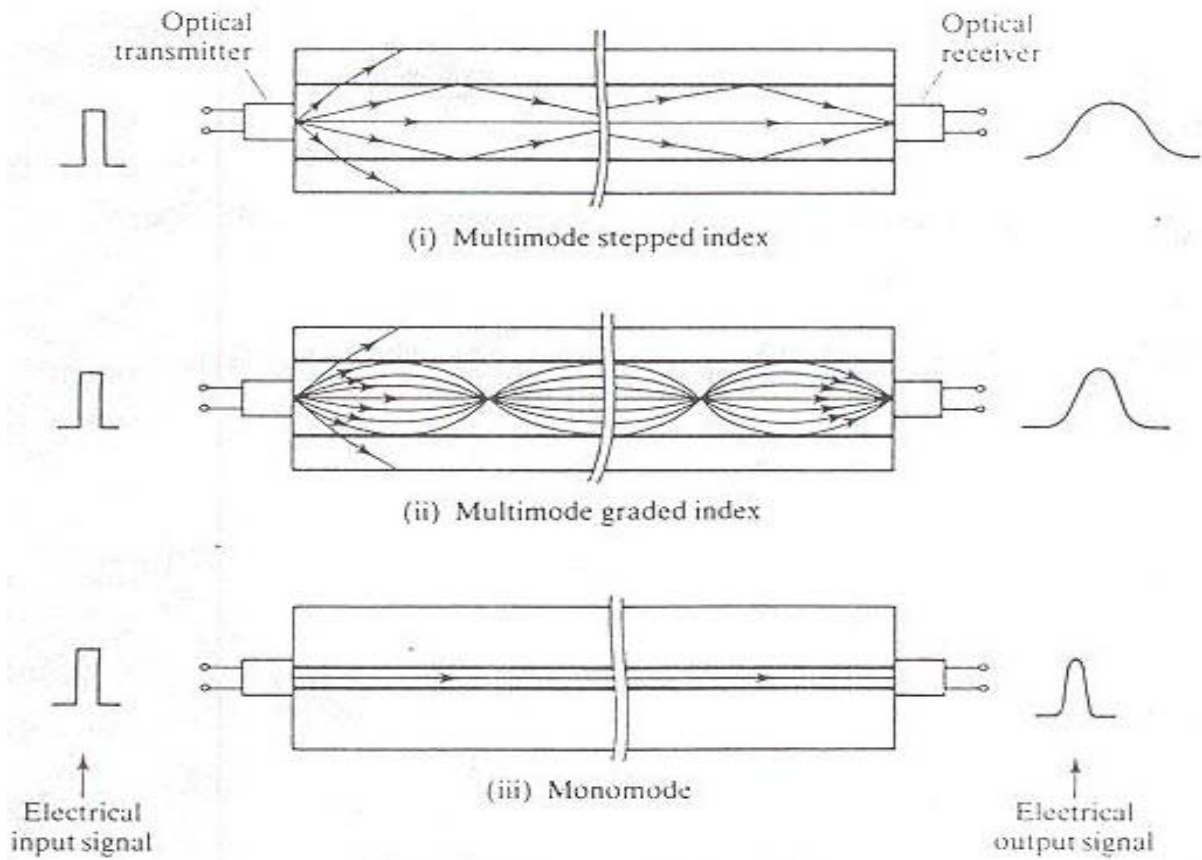
### 2.3.1.5 Οπτικές ίνες

Τα συστήματα οπτικών (Fiber Optic Systems) μεταδίδουν τις πληροφορίες με τη μορφή ακτίνων φωτός και όχι ως ηλεκτρικά σήματα όπως γίνεται με τα χάλκινα καλώδια. Το μεγαλύτερο εύρος ζώνης των οπτικών κυμάτων συμβάλλει στην επίτευξη ακόμα μεγαλύτερων ρυθμών. Οι οπτικές ίνες υπερτερούν και σε θέματα ασφάλειας, αφού καθιστούν αδύνατη κάθε προσπάθεια υποκλοπής πληροφοριών. Επίσης, συμβάλλουν στην επίλυση προβλημάτων αλλοίωσης του σήματος, όπως είναι ο θόρυβος.



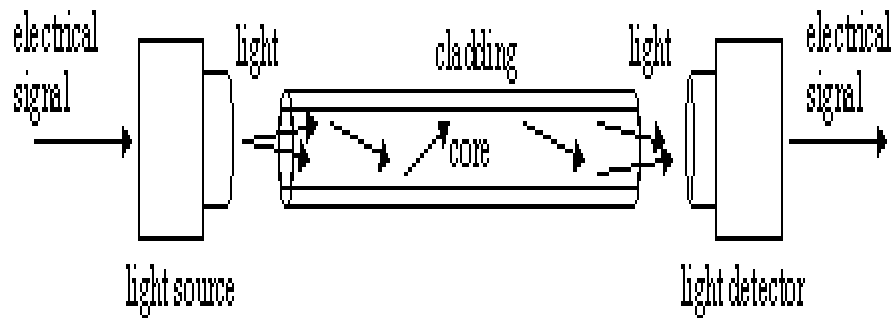
**Εικόνα 2.22: Οπτικές ίνες απλού και πολλαπλού πυρήνα αντίστοιχα**

Ένα σύστημα οπτικών ινών αποτελείται από τον πομπό, το μέσο μετάδοσης και τον δέκτη. Ο πομπός χρησιμοποιεί μια δίοδο φωτοεκπομπής (Light Emitting Diode - LED) ή μια δίοδο λέιζερ (Injection Laser Diode) για την μετατροπή ηλεκτρικών σημάτων σε ακτίνες φωτός. Ο δέκτης πραγματοποιεί την αντίστροφη μετατροπή, χρησιμοποιώντας μία φωτοδίοδο ή φωτο - τρανζίστορ. Το μέσο μετάδοσης αποτελείται από τρία τμήματα: το γυάλινο πυρήνα (core), ένα γυάλινο επικάλυμμα (cladding) και ένα εξωτερικό περίβλημα προστασίας (Jacket). Οι δείκτες διάθλασης των δύο εσωτερικών στρωμάτων συνδυάζονται έτσι ώστε οι ακτίνες φωτός που μεταφέρουν τις πληροφορίες να διαθλώνται στο εσωτερικό του πυρήνα, με βάση μια κρίσιμη γωνία διάθλασης.



**Εικόνα 2.23: Παράδειγμα λειτουργίας πολύτροπης και μονότροπης οπτικής ίνας**

Ανάλογα με τη διάμετρο της ίνας στον πυρήνα, οι οπτικές ίνες διακρίνονται σε πολύτροπες (Multimode Fiber) και μονότροπες (Single Mode Fiber). Στις πρώτες, η διάμετρος είναι μεγαλύτερη από 10  $\mu\text{m}$  με αποτέλεσμα διαφορετικές ακτίνες φωτός να ανακλώνται με διαφορετικές γωνίες. Στις δεύτερες, η διάμετρος πλησιάζει το μήκος κύματος του φωτός (3  $\mu\text{m}$ – 10  $\mu\text{m}$ ) με αποτέλεσμα το φως να μεταφέρεται σε ευθεία γραμμή εντός του πυρήνα. Έτσι, οι ταχύτητες που αναπτύσσονται είναι εξαιρετικά μεγάλες και μπορούν να φθάσουν το όριο κάποιων Gbps.





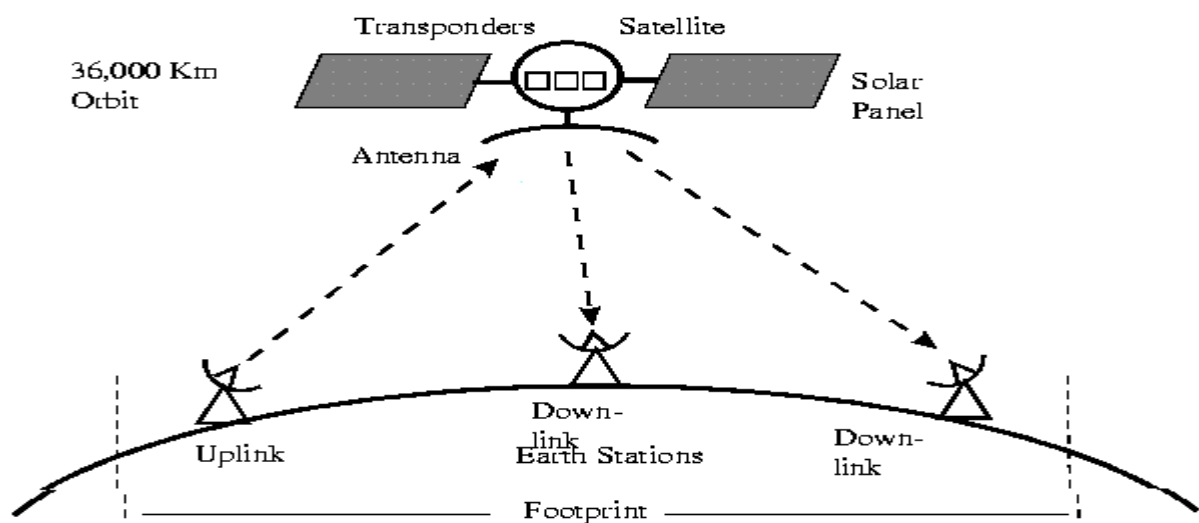
### 2.3.1.6 Δορυφορική Σύνδεση

Κατά την μετάδοση με δορυφορική σύνδεση, τα δεδομένα αποστέλλονται με μορφή (ραδιο)κυμάτων σε κάποιον τηλεπικοινωνιακό δορυφόρο, χωρίς να παρεμβάλλεται κάποιο φυσικό μέσο μετάδοσης. Οι τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι είναι γεωσταθεροί (ή σύγχρονοι), δηλαδή οι τροχιές τους είναι συγχρονισμένες με τη περιστροφή της γης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να δημιουργούνται σταθερά και ευθύγραμμα μονοπάτια επικοινωνίας ανάμεσα στους επίγειους σταθμούς. Τα σήματα μπορεί να είναι είτε κοινά (coarse) οπότε καλύπτουν ευρείες γεωγραφικές περιοχές, είτε εστιασμένα (focused) οπότε καλύπτουν περιορισμένες εκτάσεις κάποιων εκατοντάδων χιλιομέτρων, με αποτέλεσμα να απαιτούνται δέκτες μικρής διαμέτρου (VSAT – Very Small Aperture Terminals), όπως κεραίες (antennas) και πιάτα (dishes).

Οι συχνότητες των δορυφορικών σημάτων ανήκουν στις ζώνες που είναι γνωστές ως ζώνες των 4/6 GHz (3.7 GHz – 4.2 GHz & 5.925 GHz – 6.425 GHz). Λόγω υπερπληρότητας των ζωνών αυτών είναι διαθέσιμες για τις ανάγκες της τηλεπικοινωνίας και ζώνες υψηλότερων συχνοτήτων, των 12/14 GHz και των 20/30 GHz (οι τελευταίες σε μικρότερο βαθμό λόγω του μεγάλου όγκου εξοπλιστικών δαπανών που απαιτούνται).

Οι δορυφόροι χρησιμοποιούν έναν αριθμό αναμεταδοτών, καθένας εκ των οποίων ανιχνεύει συγκεκριμένο εύρος συχνοτήτων. Ο αναμεταδότης λαμβάνει το εισερχόμενο σήμα και το αποστέλλει στον δέκτη με διαφορετική συχνότητα (για να μην υπάρχουν παρεμβολές μεταξύ εισερχόμενου και εξερχόμενου σήματος), αφού πρώτα το ανανεώσει με την χρήση ενός επαναλήπτη.

Οι δορυφόροι πλεονεκτούν από τα άλλα μέσα μετάδοσης στο ότι οι καθυστερήσεις μετάδοσης είναι κατά πολύ μικρότερες για μεγάλα μηνύματα (άνω των 2.6 Kbits), ο ρυθμός εμφάνισης σφαλμάτων είναι μικρός και το συνολικό κόστος μετάδοσης είναι μικρό. Όμως, μειονεκτούν στο γεγονός ότι τα φαινόμενα υποκλοπής είναι αναπόφευκτα.

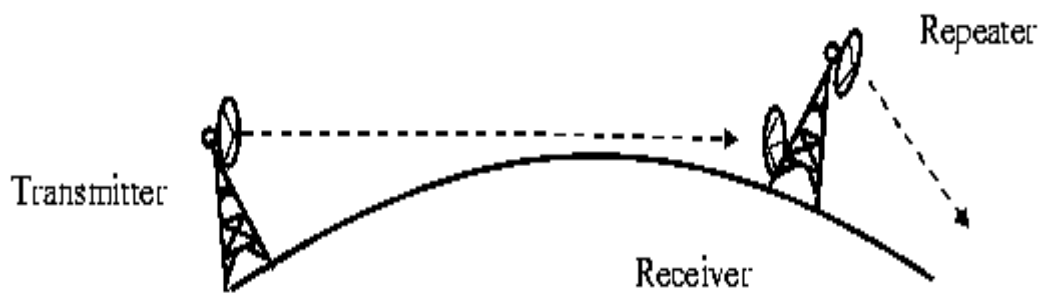


Εικόνα 2.25: Δορυφορική Σύνδεση

### 2.3.1.7 Μικροκύματα

Τα μικροκύματα, τα οποία καλύπτουν την περιοχή από 2 GHz έως 40 GHz του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, χρησιμοποιούνται για την επίτευξη τηλεπικοινωνιών σε περιοχές όπου το κόστος εγκατάστασης των φυσικών μέσων μετάδοσης είναι ασύμφορο ή ακόμα η εγκατάστασή τους είναι πρακτικά αδύνατη. Τέτοιες περιοχές είναι ερημικές περιοχές, βάλτοι, ποταμοί κ.α. Τα μικροκύματα παράγονται από μεγάλες κεραιές (antennas), το ύψος των οποίων επηρεάζει την απόσταση μετάδοσης. Το μειονέκτημα αυτού του τρόπου μετάδοσης είναι ότι είναι ευάλωτος στα κακά καιρικά φαινόμενα. Αυτή η μέθοδος επικοινωνίας είναι αποδοτική για αποστάσεις άνω των 50 km.

---



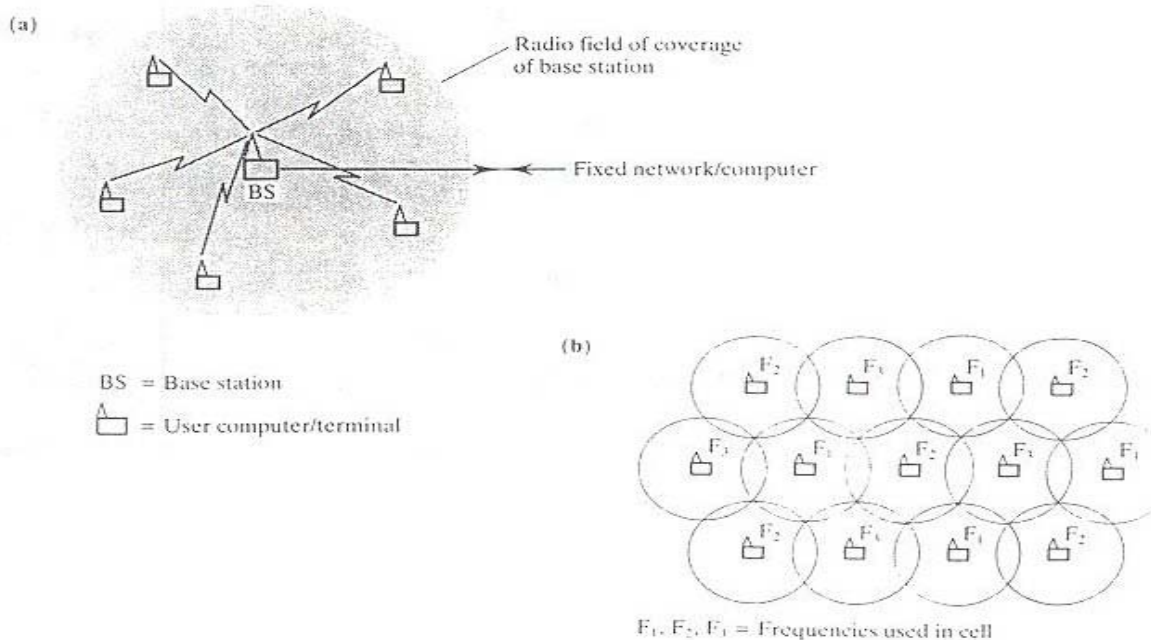
Εικόνα 2.26: Μετάδοση Μικροκυμάτων με χρήση κεραιών για αποστάσεις άνω των 50 km

---

### 2.3.1.8 Ραδιοκύματα

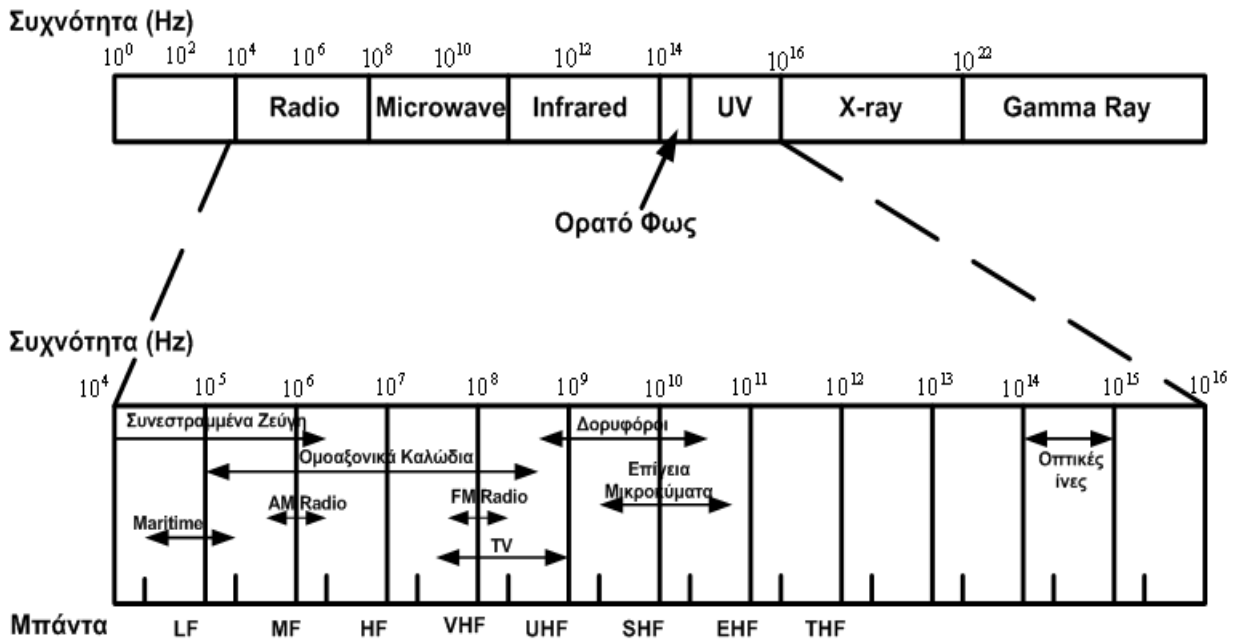
Χαμηλής συχνότητας ραδιοκύματα χρησιμοποιούνται σε κινητά τηλέφωνα, σε τοπικά ασύρματα δίκτυα εντός των ορίων μιας πόλης ή πανεπιστημιούπολης.

---



**Εικόνα 2.27:** Μετάδοση ραδιοσημάτων εδάφους: α) Λειτουργία απλού κελιού (cell). β) Οργάνωση σε πολλά κελιά

**Σημείωση:** Τα ραδιοκύματα καλύπτουν την ευρύτερη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος από 3 KHz έως 300 GHz. Επομένως, τα μικροκύματα αποτελούν ένα είδος ραδιοκυμάτων. Ανάλογα με το μέγεθος της συχνότητάς τους, τα ραδιοκύματα χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες (VLF, LF, MF, HF, VHF, UHF, SHF, EHF).



Εικόνα 2.28: Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

### 2.3.2 ΠΑΡΑΛΛΗΛΗ & ΣΕΙΡΙΑΚΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗ

Η παράλληλη μετάδοση επιτρέπει την ταυτόχρονη αποστολή πολλών bit. Δηλαδή, τα 8 bit του ενός byte να μπορούν να μεταφερθούν ταυτόχρονα από τον πομπό στον δέκτη. Κάτι τέτοιο απαιτεί την ύπαρξη 8 διαφορετικών καλωδίων ανάμεσα στον πομπό και τον δέκτη, και επομένως το κόστος είναι αυξημένο. Το πλεονέκτημα της παράλληλης μετάδοσης είναι ο αυξημένος ρυθμός αποστολής των δεδομένων.

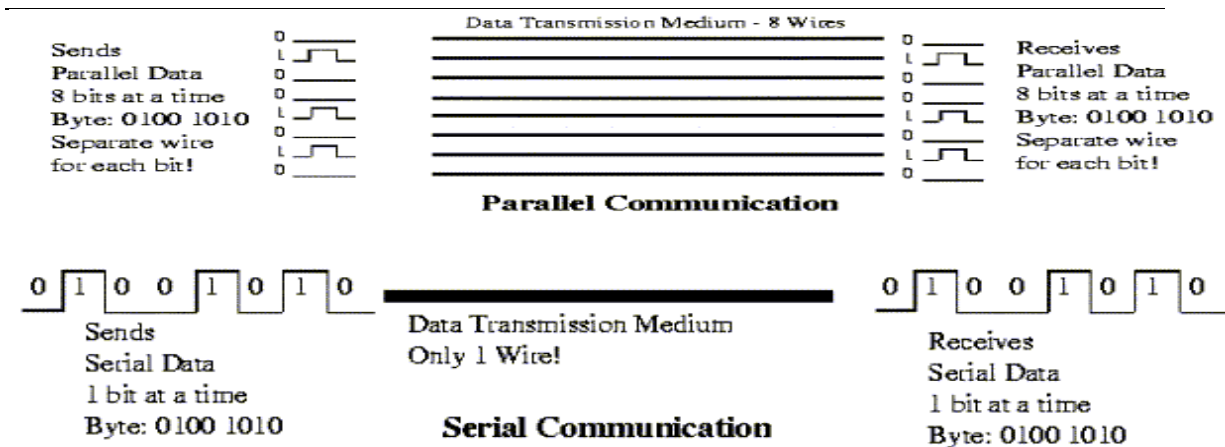
Στην σειριακή μετάδοση, υπάρχει ένα μόνο καλώδιο ανάμεσα στις δύο συσκευές, διαμέσου του οποίου γίνεται η μεταφορά των δεδομένων. Έτσι, το κόστος είναι πολύ μικρότερο από αυτό της παράλληλης μετάδοσης, αλλά ο ρυθμός αποστολής είναι μικρότερος στην περίπτωση αυτή. Υπάρχουν 2 κατηγορίες σειριακής μετάδοσης:

- **Ασύγχρονη Μετάδοση:** Τα δεδομένα οργανώνονται σε byte των 8 bit. Το κάθε byte αποστέλλεται χωριστά στον δέκτη. Δεν υπάρχει κάποιο σταθερό χρονικό διάστημα ανάμεσα στις αποστολές των byte. Στην αρχή του κάθε byte υπάρχει ένα ψηφίο αφετηρία – το ‘0’ – ώστε να γνωρίζει ο δέκτης ότι ακολουθεί το προς λήψη byte. Στο τέλος του byte ακολουθούν ένα ή περισσότερα ψηφία τερματισμού – ένας ή περισσότεροι ‘1’. Επιπλέον, για να ξεχωρίζουν τα bytes, υπάρχει ανάμεσά τους κάποιο κενό, μεταβλητής διάρκειας. Στην ουσία, υπάρχει συγχρονισμός του πομπού και του δέκτη σε επίπεδο byte.
- **Σύγχρονη Μετάδοση:** Υπάρχει συγχρονισμός σε επίπεδο πλαισίων (frames). Το κάθε πλαίσιο αποτελείται από πολλαπλά byte, τα οποία αποστέλλονται με τη σειρά και χωρίς να μεσολαβεί κάποιο κενό ανάμεσά τους. Ο δέκτης επιφορτίζεται με το έργο να ξεχωρίσει τα διάφορα byte. Επομένως, ο αποστολέας αποστέλλει μια ακολουθία από bit και ο δέκτης πρέπει να συγχρονιστεί με αυτή, για να υπάρχει ακρίβεια (accuracy) στα λαμβανόμενα δεδομένα.

Κάτι που επίσης αφορά την μετάδοση είναι ο τρόπος επικοινωνίας ανάμεσα στον πομπό και τον δέκτη. Υπάρχουν τρεις δυνατές περιπτώσεις:

- Μονόδρομη Επικοινωνία (Simplex): Υπάρχει ένα κανάλι επικοινωνίας, ο πομπός και ο δέκτης είναι διαφορετικές συσκευές και τα δεδομένα μεταφέρονται μόνο προς την μια κατεύθυνση.
- Αμφίδρομη, μη ταυτόχρονη (Half duplex): Υπάρχει δυνατότητα επικοινωνίας και προς τις δυο κατευθύνσεις του καναλιού. Ο πομπός και ο δέκτης εναλλάσσουν συνεχώς ρόλους, χωρίς να μπορούν να έχουν τον ίδιο ρόλο συγχρόνως. Έτσι, η μια συσκευή απαντά στις αιτήσεις της άλλης. Προφανώς οι δυο συσκευές πρέπει να μπορούν να εναλλάσσονται μεταξύ των καταστάσεων αποστολής και λήψης μετά από κάθε μετάδοση.
- Αμφίδρομη, ταυτόχρονη (Full duplex): Σε αυτήν την περίπτωση επιτυγχάνεται σύγχρονη μετάδοση δεδομένων και προς τις δύο κατευθύνσεις του καναλιού, οπότε πομπός και δέκτης στέλνουν και λαμβάνουν μηνύματα συγχρόνως.

**Σημείωση:** Με τα θέματα που αφορούν την μετάδοση των δεδομένων, τα οποία αναφέρθηκαν παραπάνω, ασχολείται το επίπεδο σύνδεσης δεδομένων (Data Link Layer).



**Εικόνα 2.29:** Αποστολή της ακολουθίας των bits '01001010' με παράλληλη και σειριακή επικοινωνία

### 2.3.3 ΠΟΛΥΠΛΕΞΗ (MULTIPLEXING)

**Ορισμός:** Πολύπλεξη (Multiplexing) είναι ένα σύνολο από τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την μετάδοση πολλαπλών σημάτων διαμέσου μιας απλής γραμμής μεταφοράς δεδομένων.

#### 2.3.3.1 Πολύπλεξη Διαίρεσης Συχνότητας (Frequency Division Multiplexing – FDM)

Σύμφωνα με την FDM, η γραμμή που ενώνει πολλαπλές συσκευές χωρίζεται σε διάφορα κανάλια (channels) συχνοτήτων. Ανάμεσα σε αυτά, υπάρχουν κάποιο εύρος ζώνης που δε χρησιμοποιείται ώστε να υπάρχει ασφάλεια και να μην υπάρχουν παρεμβολές ανάμεσα στα σήματα.

Ο πολυπλέκτης (Multiplexer) δέχεται τα αναλογικά σήματα προς αποστολή και πραγματοποιεί τα παρακάτω βήματα:

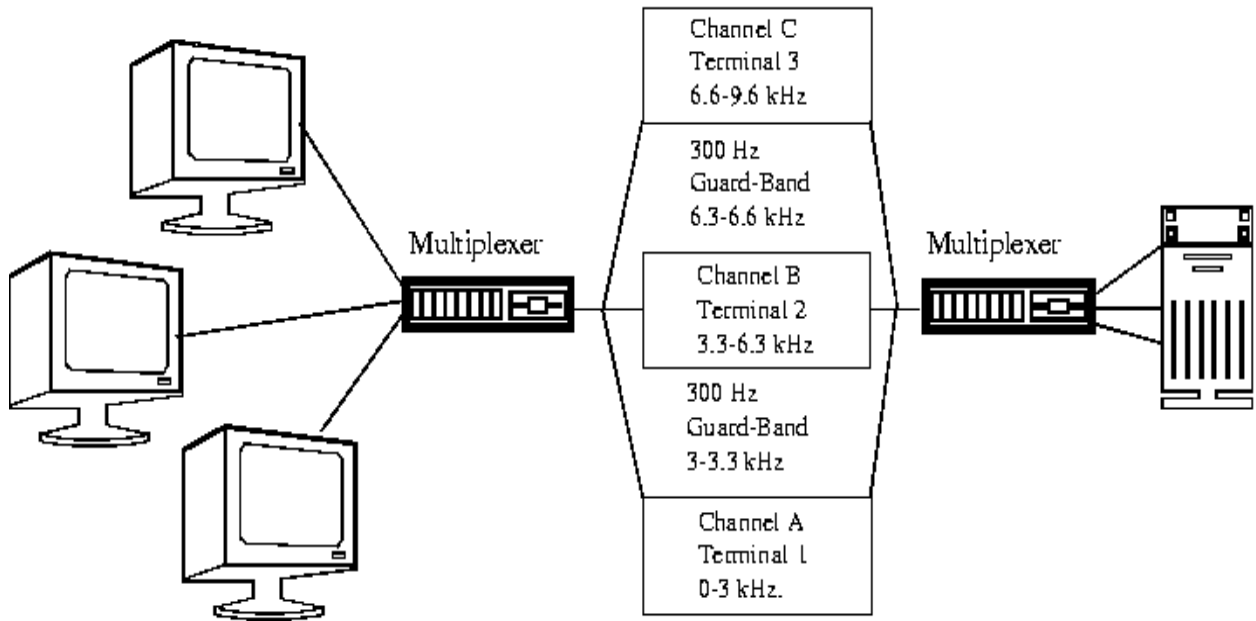
1. Μετασχηματίζει τα σήματα χρησιμοποιώντας τεχνικές όπως η AM και η FM. Για το κάθε αρχικό σήμα χρησιμοποιείται ένα φέρον σήμα με συχνότητα που ανήκει σε κάποιο κανάλι.
2. Ενώνει τα τελικά σήματα και παράγει στην έξοδό του ένα σύνθετο αναλογικό σήμα, το οποίο αποστέλλει στην γραμμή (link).

Ο αποπλέκτης (Demultiplexer) δέχεται το σύνθετο σήμα και ακολουθεί τα εξής βήματα:

1. Διασπά το σύνθετο σήμα στα συστατικά του με βάση τα κανάλια συχνοτήτων.
2. Παράγει τα αρχικά αναλογικά σήματα, ακολουθώντας μια διαδικασία αντίθετη της AM ή της FM.
3. Παραδίδει τα σήματα στους δέκτες.

Στον τομέα των οπτικών ινών, η FDM είναι γνωστή ως πολύπλεξη διαίρεσης κύματος (Wave Division Multiplexing - WDM). Σε αυτήν την περίπτωση, τόσο ο πολυπλέκτης όσο και ο αποπλέκτης είναι πρίσματα.

---



Εικόνα 2.30: Πολύπλεξη Διαίρεσης Συχνότητας (Frequency Division Multiplexing - FDM)

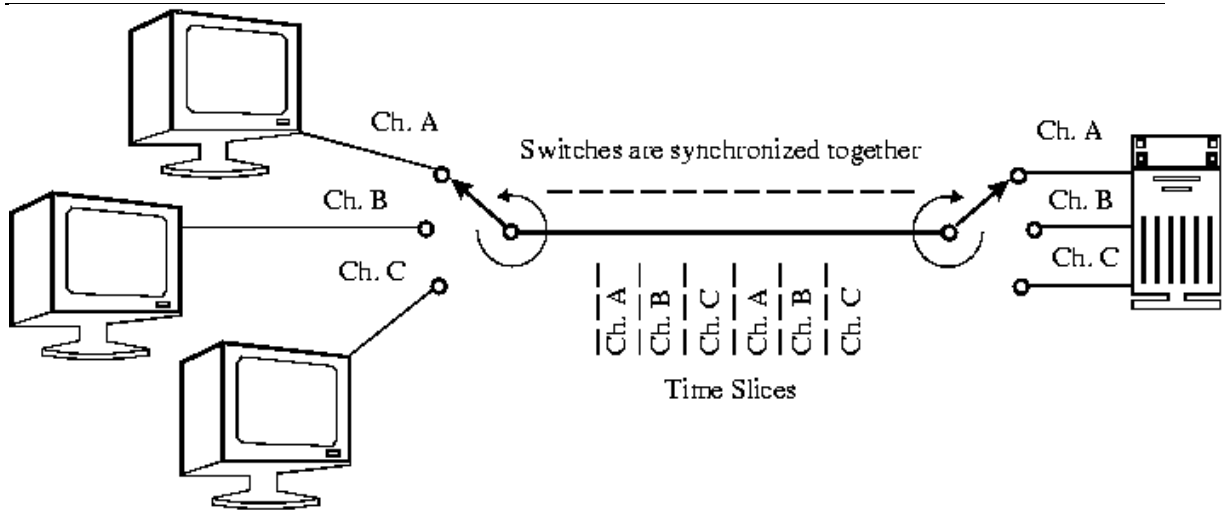
### 2.3.3.2 Πολύπλεξη Διαίρεσης Χρόνου (Time Division Multiplexing – TDM)

Σε αντίθεση με την FDM, στην TDM, η γραμμή επικοινωνίας διαιρείται σε συνάρτηση με το χρόνο. Αυτό σημαίνει ότι, ολόκληρο το εύρος ζώνης βρίσκεται στη διάθεση του κάθε πομπού για κάποιο χρονικό διάστημα (Slot Time). Η επιλογή των πομπών από τον πολυπλέκτη γίνεται εκ περιτροπής (round robin). Υπάρχουν 2 τύποι TDM: η σύγχρονη και η ασύγχρονη.

1. Σύγχρονη TDM: Ο κάθε χρήστης έχει πρόσβαση στη γραμμή επικοινωνίας σε ακριβώς προσδιορισμένα (συγχρονισμένα) χρονικά διαστήματα. Έτσι, ο πολυπλέκτης αφιερώνει ένα διάστημα (Slot Time) σε κάθε συσκευή που είναι συνδεδεμένη με αυτόν. Η σύγχρονη TDM παρουσιάζει το σημαντικό μειονέκτημα ότι αν κάποιος χρήστης δεν έχει να στείλει δεδομένα, το εύρος ζώνης μένει ανεκμετάλλευτο στα χρονικά διαστήματα που αφιερώνονται σε αυτόν. Το πλεονέκτημα της σύγχρονης TDM είναι ότι υπάρχει κάποια σειρά με αποτέλεσμα ο αποπλέκτης να μην χρειάζεται ειδική διευθυνσιοδότηση για την παράδοση των δεδομένων στους δέκτες.
2. Ασύγχρονη ή Στατιστική TDM: Σχεδιάστηκε για να αποφεύγει την άσκοπη χρήση του εύρους ζώνης. Ο κάθε χρήστης που θέλει να μεταδώσει ανιχνεύεται από τον πολυπλέκτη και έχει τυχαία πρόσβαση στη γραμμή. Στην διάρκεια του Slot Time είναι ο μοναδικός χρήστης που χρησιμοποιεί τη γραμμή. Το πλεονέκτημα της σύγχρονης TDM είναι η πλήρη απασχόληση της γραμμής και όλου του εύρους ζώνης που αυτή προσφέρει. Το μειονέκτημα είναι ότι, επειδή δεν υπάρχει η τάξη της σύγχρονης TDM μέσα στα παραγόμενα πλαίσια δεδομένων, πρέπει να υπάρχει μια διεύθυνση για τα δεδομένα στο κάθε Slot Time



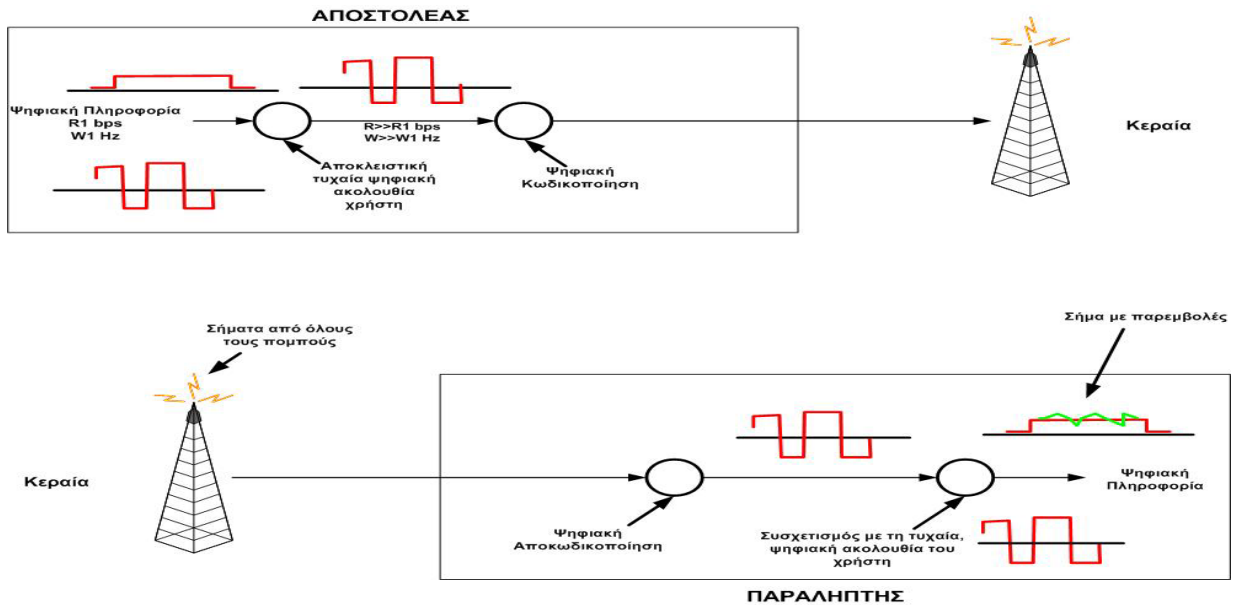
ώστε ο αποπλέκτης να γνωρίζει τον δέκτη. Το μειονέκτημα αυτό είναι πιο έντονο όσο το Slot Time γίνεται μικρότερο ή είναι μεταβλητού μήκους ανάλογα με τον ρυθμό μετάδοσης του αποστολέα.



Εικόνα 2.31: Πολύπλεξη Διαίρεσης Χρόνου (Time Division Multiplexing – TDM)

### 2.3.3.3 Πολύπλεξη Διαίρεσης Κώδικα

Η πολύπλεξη διαίρεσης κώδικα (Code Division Multiplexing - CDMA) παρέχει έναν ακόμη τρόπο χωρισμού της γραμμής επικοινωνίας σε κανάλια. Όπως ειπώθηκε προηγουμένως, στην πολύπλεξη διαίρεσης χρόνου και συχνότητας, οι μεταδόσεις από διαφορετικούς σταθμούς χωρίζονται ξεκάθαρα είτε με βάση το χρόνο είτε με βάση τη συχνότητα. Στην περίπτωση της πολύπλεξης διαίρεσης κώδικα οι μεταδόσεις από διαφορετικούς σταθμούς καταλαμβάνουν όλο το εύρος ζώνης την ίδια χρονική στιγμή. Οι μεταδόσεις χωρίζονται μεταξύ τους με βάση τους διαφορετικούς κώδικες που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή των σημάτων που μεταδίδονται από τους διαφορετικούς σταθμούς. Οι δέκτες χρησιμοποιούν αυτούς τους κώδικες για να ανακτήσουν το σήμα από τον επιθυμητό κάθε φορά σταθμό.



Εικόνα 2.32: Πολύπλεξη διαίρεσης κώδικα

Υποθέτουμε ότι η πληροφορία παράγεται με ρυθμό  $R_1$  bit/sec (Βλέπε εικόνα). Το κάθε bit του χρήστη μετατρέπεται σε  $G$  bit με πολλαπλασιασμό της τιμής του (δηλαδή είτε του  $-1$  είτε του  $+1$ ) με  $G$  τιμές (που πάλι είναι είτε  $-1$  είτε  $+1$ ). Ο πολλαπλασιασμός αυτός γίνεται σύμφωνα με μια ψευδοτυχαία, αποκλειστική για το χρήστη, ψηφιακή ακολουθία, η οποία έχει απονεμηθεί στον συγκεκριμένο σταθμό. Αυτή η ακολουθία παράγεται από εξειδικευμένο κώδικα και εμφανίζεται να είναι τυχαία, με τη μόνη διαφορά ότι επαναλαμβάνεται μετά από μια μακρά χρονική περίοδο. Ο **παράγοντας εξάπλωσης  $G$  (Spreading Factor  $G$ )** επιλέγεται έτσι ώστε το μεταδιδόμενο σήμα να καταλαμβάνει ολόκληρο το εύρος ζώνης του μέσου μετάδοσης. Επομένως, έχουμε μια κατάσταση στην οποία ο χρήστης μεταδίδει σε όλο το εύρος ζώνης όλο το χρόνο. Οι υπόλοιποι σταθμοί μεταδίδουν κατά τον ίδιο τρόπο στον ίδιο χρόνο, αλλά χρησιμοποιούν διαφορετικές τυχαίες, ψηφιακές ακολουθίες για να εξαπλώσουν την ψηφιακή πληροφορία τους.

Στον παραλήπτη, ο συσχετισμός του σήματος με τον πομπό είναι δυνατός, δεδομένου ότι οι συχνότητες στις οποίες εξαπλώνουν το σήμα τους οι πομποί δεν μπορούν να συσχετιστούν μεταξύ τους. Σε αντίθεση με την κωδικοποίηση QAM, στην περίπτωση του CDMA τα σήματα των πομπών δεν είναι δυνατό να ανακτηθούν χωρίς την παρεμβολή θορύβου. Μάλιστα, μπορεί να υπάρξουν χρονικά σημεία στα οποία ο συσχετισμός να οδηγήσει σε λανθασμένη τιμή. Επομένως, υπάρχει η ανάγκη για χρησιμοποίηση κώδικα διόρθωσης σφαλμάτων. Εντούτοις, χαμηλοί ρυθμοί σφαλμάτων μπορούν να επιτευχθούν όσο ο υπάρχων θόρυβος κρατείται κάτω από ένα συγκεκριμένο επίπεδο. Αυτή η κατάσταση υπονοεί ότι ο αριθμός των ενεργών πομπών θα πρέπει να κρατηθεί κάτω από μια οριακή τιμή.

Κάτι που έχει μεγάλη σημασία για την ομαλή λειτουργία του CDMA, είναι ότι όλα τα σήματα στον παραλήπτη θα πρέπει να της ίδιας ισχύος. Στην αντίθετη περίπτωση, μια πολύ ισχυρή μετάδοση από έναν πολύ κοντινό σταθμό θα μπορούσε να κυριαρχήσει έναντι του επιθυμητού σήματος ενός απομακρυσμένου σταθμού. Αυτό το πρόβλημα είναι γνωστό ως 'πρόβλημα κοντινής-μακρινής αποστάσεως (near-far problem)'. Για την

επίλυση του, το σύστημα CDMA χρησιμοποιεί ένα μηχανισμό ελέγχου ισχύος, ο οποίος ελέγχει δυναμικά την ισχύ που μεταδίδεται από τον κάθε σταθμό.

### 2.3.4 ΠΡΟΤΥΠΑ

Στα δίκτυα υπολογιστών, οι συσκευές που παράγουν ψηφιακά δεδομένα προς αποστολή ή παίρνουν το ρόλο δέκτη είναι γνωστές με τον γενικό όρο DTE (Data Terminal Equipment). Τα DTEs (π.χ. τερματικά, υπολογιστές, fax, εκτυπωτές...) δεν μπορούν να επικοινωνούν άμεσα μεταξύ τους. Για το λόγο αυτό, υπάρχουν συσκευές που τα φέρνουν σε επαφή με το δίκτυο που τις συνδέει. Οι συσκευές αυτές είναι γνωστές με τον όρο DCE (Data Circuit-Terminating Equipment). Τα modems ανήκουν στην κατηγορία των DCEs.

Τα γνωστότερα πρότυπα διασύνδεσης των DTEs με τα DCEs έχουν αναπτυχθεί από την EIA (Electronic Industries Association) και την ITU-T (International Telecommunication Union – Telecommunication Standards Committee). Τα σχετικά πρωτόκολλα πρέπει να καθορίζουν με ακρίβεια τη μηχανική, ηλεκτρική, λειτουργική σύνδεση. Αναφορικά αναφέρονται τα πιο γνωστά πρότυπα που είναι: EIA-232 (RS-232)/V.24, EIA-422 (RS-422)/V.11 και το X.21.

Επιπλέον, έχουν αναπτυχθεί και διάφορα πρότυπα modems από την Bell (103/113 Series, 202 Series, 212 Series,...) και την ITU-T (V.21, V.22, V.23, V.26,...).

#### 2.3.4.1 Το πρότυπο διασύνδεσης RS – 232/V.24

Το πρότυπο διασύνδεσης RS – 232/V.24 ορίζει τα μηχανικά, ηλεκτρικά και λειτουργικά χαρακτηριστικά ανάμεσα σε ένα DTE και ένα DCE. Το πρότυπο αυτό αναπτύχθηκε το 1962 και από τότε έχει ανασκευαστεί αρκετές φορές. Η πιο σύγχρονη έκδοσή του είναι το RS – 232-D.

Στο μηχανικό μέρος, το πρότυπο προσδιορίζει ότι το DTE και το DCE συνδέονται μεταξύ τους με χρήση ενός καλωδίου μήκους μέχρι 15 μέτρα. Τα σημεία σύνδεσης αποτελούνται από 25 ακίδες σύνδεσης. Αυτό σημαίνει ότι το πρότυπο μπορεί να διαχειριστεί μέχρι και 25 διαφορετικές αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στις 2 συσκευές. Οι ακίδες είναι οργανωμένες σε 2 σειρές. Η πάνω σειρά αποτελείται από 13 ακίδες και η κάτω από 12.

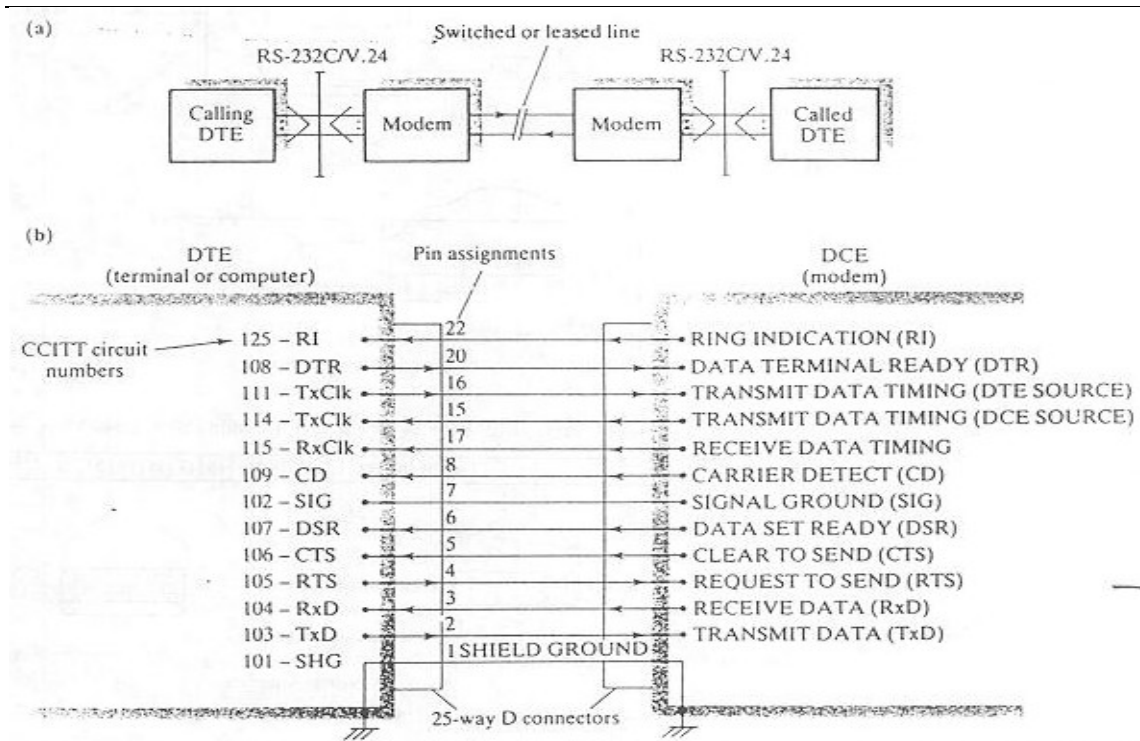
Όσον αφορά τα ηλεκτρικά χαρακτηριστικά που προσδιορίζει το πρότυπο, αυτά αφορούν τα εξής θέματα:

1. Αποστολή Δεδομένων: Σύμφωνα με το πρότυπο τας δεδομένα αποστέλλονται κωδικοποιημένα σε μορφή NRZ-L. Για να αναγνωριστούν τα σήματα που αποστέλλονται ως δεδομένα, θα πρέπει η τάση τους να ανήκει σε περιοχές από 3 – 15 Volt ή από -3 – -15 Volt.
2. Σήματα Ελέγχου και Συγχρονισμού: Οι 21 από τις 25 ακίδες χρησιμοποιούνται για τις διαδικασίες ελέγχου και συγχρονισμού. Όλες οι διαδικασίες θεωρούνται σε κατάσταση 'ON', αν η τάση του αντίστοιχου σήματος είναι άνω των 3 Volt, ενώ αν

είναι κάτω των  $-3$  Volt, η αντίστοιχη διαδικασία θεωρείται σε κατάσταση 'OFF'. Απουσία τάσης δηλώνει ότι κάτι δε λειτουργεί σωστά.

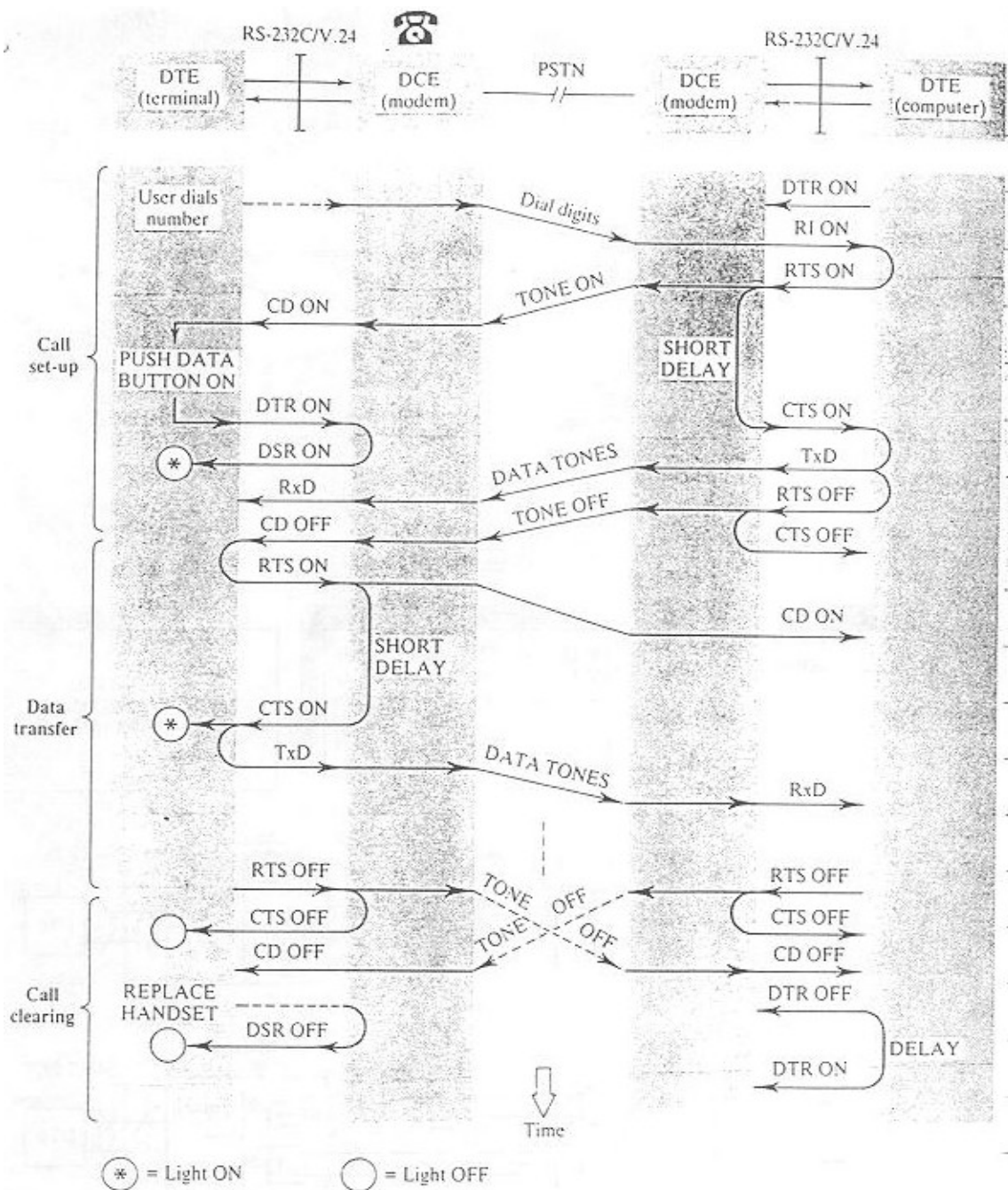
3. Ρυθμός bit: Το πρότυπο καθορίζει ότι ο ρυθμός των bit που αποστέλλονται φτάνει την μέγιστη τιμή των 20 kbps. Στην πραγματικότητα αυτός ο ρυθμός ξεπερνιέται.

Όσον αφορά το λειτουργικό μέρος του, το πρότυπο προσδιορίζει το είδος της λειτουργίας με την οποία σχετίζεται η κάθε ακίδα διασύνδεσης. Αυτή φαίνεται στην εικόνα 2.33.



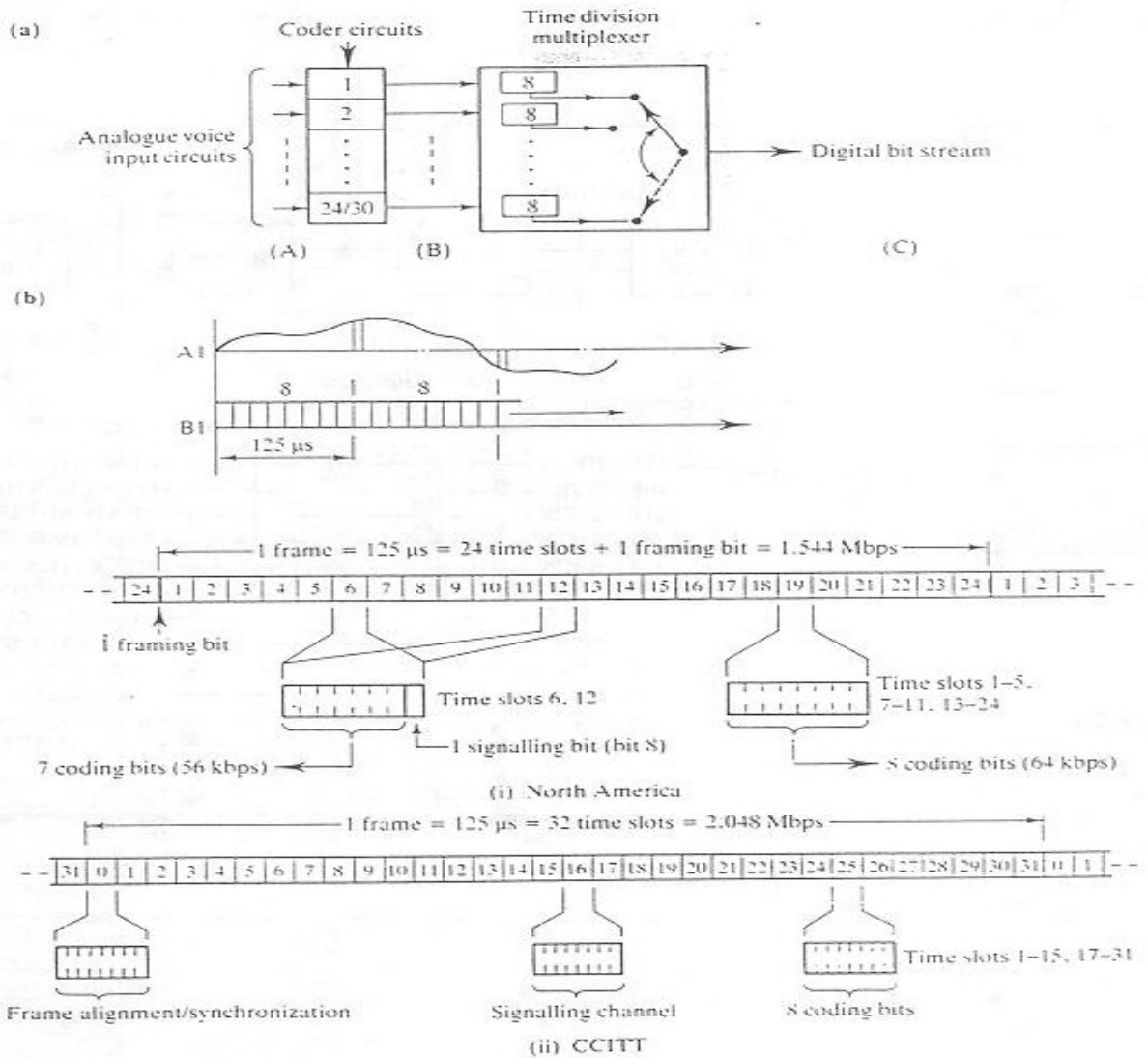
**Εικόνα 2.33: α) Λειτουργία της Διασύνδεσης RS - 232/V.24. β) Προσδιορισμός των σημάτων**

Στην εικόνα 2.34 απεικονίζεται παραστατικά η διαδικασία της κλήσης ανάμεσα σε 2 υπολογιστές που χρησιμοποιούν το πρότυπο RS - 232/V24.



**Εικόνα 2.34: Η διαδικασία της κλήσης με χρήση του προτύπου RS – 232/V.24**

Εκτός από το πρότυπο RS – 232/V.24, υπάρχουν και άλλα πρότυπα διασύνδεσης. Τα πιο γνωστά είναι το RS – 449 που χρησιμοποιεί 37 ακίδες διασύνδεσης και το πρότυπο X.21 το οποίο χρησιμοποιείται πάρα πολύ για διασύνδεσης σε τηλεφωνικά δίκτυα PSTN. Το X.21 παρέχει τη δυνατότητα για εγκατάσταση συνδέσεων.



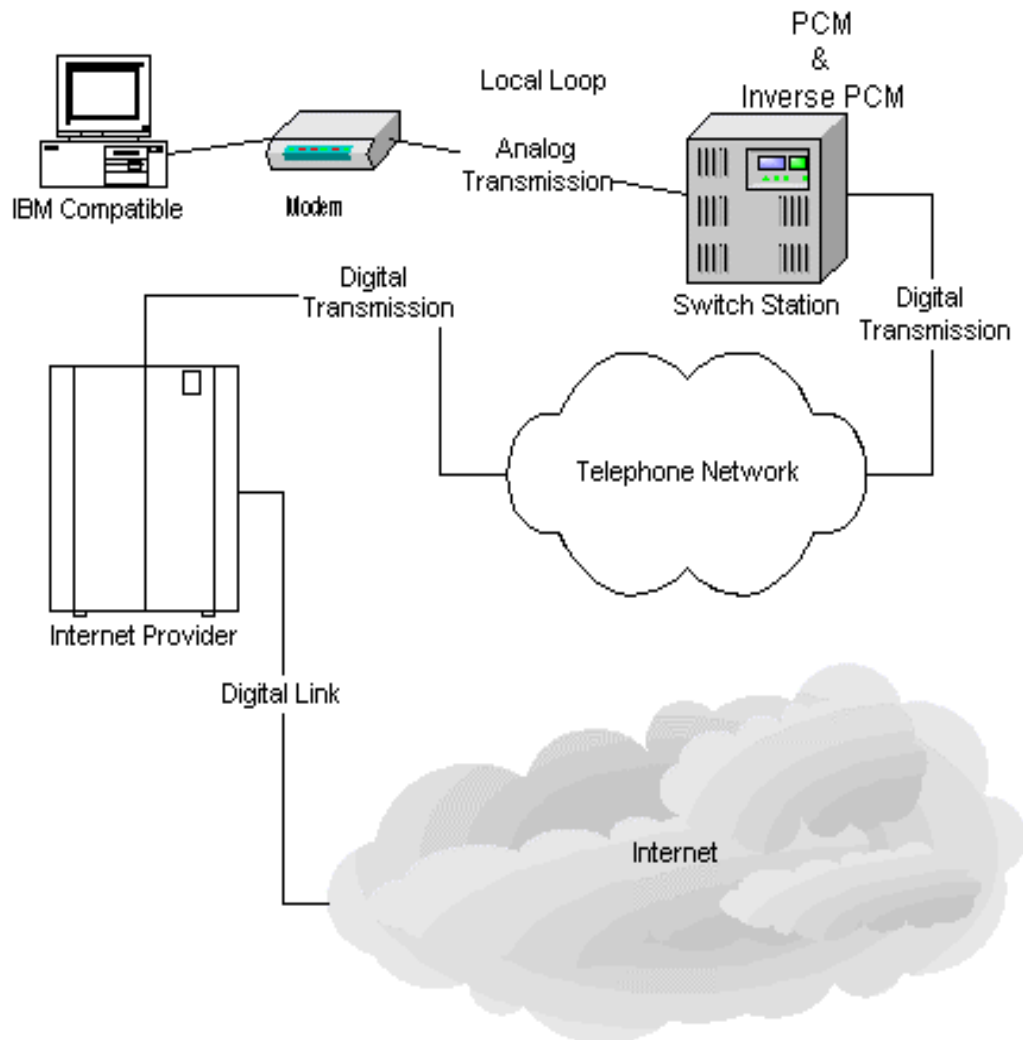
**Εικόνα 2.35: Ιεραρχία πολύπλεξης σε PSTN: α) Σχηματική αναπαράσταση της TDM. β) Δομή πλαισίων**

### 2.3.5 ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΣΕ ΤΗΛΕΦΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ (PSTN)

Όλες οι εταιρείες τηλεφωνίας έχουν μετατρέψει τον κορμό του δικτύου τους ώστε να παρέχει αποκλειστικά ψηφιακές υπηρεσίες. Οι συνδέσεις, όμως, των συνδρομητών με τους τοπικούς κόμβους (local loops) πρόσβασης στο δίκτυο κορμού λειτουργούν κυρίως με αναλογικό τρόπο. Έτσι, η κάθε συσκευή DTE (π.χ. PC) χρειάζεται ένα modem για την αποστολή δεδομένων, διαμέσου του τηλεφωνικού δικτύου (PSTN). Ο τοπικός κόμβος διαθέτει μια συσκευή παλμοκωδικής διαμόρφωσης για την ψηφιοποίηση των αναλογικών σημάτων του modem. Ο ρυθμός δειγματοληψίας κατά την διαδικασία PCM είναι 8000 δείγματα/second, δηλαδή τα δείγματα λαμβάνονται κάθε  $1/8000 = 125 \mu\text{sec}$ .

Η ανάγκη για παροχή ψηφιακών υπηρεσιών οδήγησε τις εταιρείες τηλεφωνίας στη δημιουργία ειδικών ψηφιακών γραμμών. Σε επίπεδο τοπικού βρόχου, ο ρυθμός είναι της τάξης των 64 Kbps. Οι πιο γνωστές γραμμές είναι οι T-1 (1,544 Mbps), στις οποίες μπορούν να πολυπλεκθούν 24 κανάλια φωνής (ή χρήστες) των 64 Kbps (βλέπε εικόνα 2.35). Αν οι 24 τοπικές γραμμές των συνδρομητών είναι αναλογικής μορφής, τότε μπορούν πολυπλεθύν σε μια T-1, αφού προηγηθεί παλμοκωδική διαμόρφωση όπου το κάθε δείγμα προσδιορίζεται από 8 bits.

Εκτός των T-1, υπάρχουν οι T-2 (6,132 Mbps ή 96 κανάλια φωνής), οι T-3 (44,736 Mbps ή 672 κανάλια φωνής) και οι T-4 (274,176 Mbps ή 4032 κανάλια φωνής). Στην Ευρώπη, υπάρχουν οι ψηφιακές γραμμές τύπου E (E-1, E-2, E-3 και E-4).



Εικόνα 2.36: Σύνδεση τερματικού σε δίκτυο PSTN, για υπηρεσίες Internet

**Σημείωση:** Σε περιπτώσεις Uploading, η ύπαρξη θορύβου κατά τη διαδικασία PCM περιορίζει το ρυθμό σε 33,6 Kbps. Στο Downloading γίνεται αντίστροφη



παλμοκωδική διαμόρφωση όπου δεν υπάρχει θόρυβος, οπότε ο ρυθμός είναι 56 Kbps.

### 2.3.6 ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΣΕ ΔΙΚΤΥΑ ISDN

Η τεχνολογία ISDN (Integrated Services Data Networks) δημιουργήθηκε για να παρέχει μια πλήρη ψηφιακή εξυπηρέτηση στους συνδρομητές των υπηρεσιών τηλεφωνίας, σε όλο τον κόσμο. Το σύνολο των υπηρεσιών που προσφέρονται είναι μεγάλο, και περιλαμβάνει: Τηλευπηρεσίες (π.χ. τηλεφωνία, telex, telefax,...), μεταφορά δεδομένων (εικόνας, ήχου και βίντεο) ανάμεσα στους χρήστες και χωρίς το δίκτυο να αλλοιώνει το περιεχόμενο, και συμπληρωματικές υπηρεσίες (π.χ. αναμονή κλήσης, χειρισμός μηνυμάτων,...).

Τα δίκτυα ISDN αποτελούν εξέλιξη των IDN (Integrated Digital Networks), τα οποία παρείχαν ψηφιακές υπηρεσίες χωρίς όμως την εξάλειψη των ήδη υπαρχόντων αναλογικών. Για το λόγο αυτό, τα ISDN είναι συμβατά με τις γνωστές γραμμές T-1, T-2,... (ή E-1, E-2,... στην Ευρώπη).

Για όσο το δυνατό μεγαλύτερη ελαστικότητα, οι ψηφιακές συνδέσεις ανάμεσα στο συνδρομητή και το κεντρικό γραφείο αποτελούνται από 3 ειδών κανάλια με μια ποικιλία ρυθμών μετάδοσης. Αυτά τα κανάλια είναι τα ακόλουθα:

1. B – Channels (Bearer Channels): Έχουν ρυθμό 64 Kbps και μεταδίδουν δεδομένα σε full-duplex μορφή. Ο αποδέκτης των δεδομένων είναι μόνο ένας, δηλαδή δεν υπάρχει απόπλεξη (demultiplex) σε περισσότερους χρήστες.
2. D – Channels (Data Channels): Μεταδίδουν με ρυθμό 16 Kbps ή 64 Kbps. Επιφορτίζονται με τη μεταφορά των σημάτων ελέγχου και όχι με τη μεταφορά δεδομένων (παρά το όνομά τους). Δηλαδή, εφαρμόζεται out-of-band Signaling σε αντίθεση με το in-band Signaling.
3. H – Channels (Hybrid Channels): Μεταδίδουν με ρυθμούς: H0: 384 Kbps, H11: 1536 Kbps, H12: 1920 Kbps.

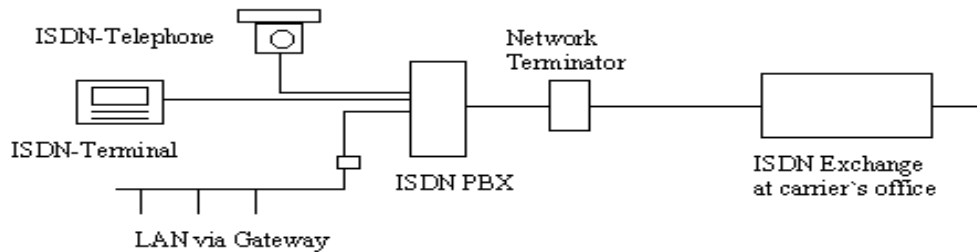
Τα κανάλια αυτά είναι οργανωμένα σε 2 τύπους διασύνδεσης:

1. Basic Route Interface (BRI): Χρησιμοποιείται στα απλά γραφεία και νοικοκυριά και έχει την ακόλουθη σύσταση:  $2B + D$  (16 Kbps) + 48 Kbps (Overhead) = 192 Kbps.
2. Primary Route Interface (PRI): Συναντάται με τη μορφή:  $23B + D$  (64 Kbps) + 8 Kbps (Overhead) = 1,544 Mbps. Είναι εμφανής η συμβατότητα με τις γραμμές T-1. Το PRI συναντάται και με τις μορφές:  $3H0 + D$ ,  $4H0 + D$ ,  $H12 + D$ . Στην Ευρώπη, για συμβατότητα με τις γραμμές E-1, το PRI έχει την ακόλουθη κύρια σύνθεση:  $30B + 2D = 2,048$  Mbps.

Το σύνολο του υλικού για την παροχή υπηρεσιών ISDN στον χρήστη χωρίζεται σε 4 λειτουργικές ομάδες:

1. Network Termination 1 (NT1): Πρόκειται για τις συσκευές που συνδέουν το εσωτερικό σύστημα του χρήστη με τον κεντρικό σταθμό ISDN και ελέγχουν τις σχετικές φυσικές και ηλεκτρικές διεπαφές.
2. Network termination 2 (NT2): Πρόκειται για συσκευές που εκτελούν λειτουργίες όχι μόνο φυσικού, αλλά και επιπέδου σύνδεσης δεδομένων και δικτύου. Συνδέονται με τις NT1 και είναι απαραίτητες όταν το εσωτερικό σύστημα περιλαμβάνει πολλούς χρήστες (π.χ. δίκτυο LAN).
3. Terminal Equipment 1 (TE1): Πρόκειται για τον ψηφιακό εξοπλισμό του συνδρομητή, ο οποίος είναι συμβατός με τα πρότυπα του ISDN (π.χ. ψηφιακά τηλέφωνα).
4. Terminal Equipment 2 (TE2): Κάθε συσκευή που δεν είναι συμβατή με τα πρότυπα του ISDN. Για να γίνουν συμβατές πρέπει να μεσολαβήσει κάποιος προσαρμογέας TA (Terminal Adapter).

Οι διασυνδέσεις (Interfaces) ανάμεσα στις παραπάνω συσκευές είναι γνωστές ως σημεία αναφοράς (Reference Points). Τα πιο γνωστά σημεία αναφοράς είναι τα: R (συνδέουν TE2 με TA), S (συνδέουν TE1 ή TA με NT1 ή NT2), T (συνδέουν NT2 με NT1), U (συνδέουν NT1 με ISDN Office).



**Εικόνα 2.37: Σύνδεση ISDN**

### 2.3.6.1 Μετάδοση Τηλεομοιοτυπίας (Fax)

Η **τηλεομοιοτυπία (Fax)** είναι μια υπηρεσία που μπορεί να χρησιμοποιηθεί πάνω σε δίκτυα ISDN. Επιτρέπει τη σάρωση και ηλεκτρονική ψηφιοποίηση μιας εικόνας. Τα bit που παράγονται μεταδίδονται στον προορισμό και επανασχεδιάζονται σε ένα κομμάτι χαρτί.

Η τηλεομοιοτυπία επιτρέπει την αποστολή συμβολαίων με χειρόγραφες υπογραφές, πινάκων, διαγραμμάτων, προσχεδίων, απεικονίσεων και άλλων γραφικών παραστάσεων σε απομακρυσμένους προορισμούς.

Εφαρμογή: Για την αποστολή ενός Fax χρησιμοποιείται μια ένα κανάλι B σε δίκτυο ISDN. Επιθυμούμε να στείλουμε μια εικόνα διαστάσεων 8x10 inch. Αν για την κάθε inch χρησιμοποιούνται 300 pixels και το κάθε pixel κωδικοποιείται από 4 bit πληροφορίας, πόσο θα διαρκέσει η μετάδοση της εν λόγω εικόνας; Τι συμπεράσματα βγάζετε;

Το κανάλι Β στο ISDN μεταδίδει πληροφορίες με ρυθμό 64 kbps. Το μέγεθος της πληροφορίας που πρέπει να αποσταλεί είναι:  $(300 \times 8) \times (300 \times 10) \times 4 = 2400 \times 3000 \times 4 = 28,8 \text{ Mbit}$ . Επομένως ο χρόνος μετάδοσης της εικόνας θα είναι:

$$T = 28,8 \text{ Mbit} / 64 \text{ Kbps} = 450 \text{ sec} \approx 6 \text{ min.}$$

Παρατηρείται ότι ο χρόνος που απαιτείται για την μετάδοση του Fax είναι υπερβολικά μεγάλος. Στην πραγματικότητα, οι χρόνοι μετάδοσης για ένα fax κυμαίνονται σε λογικά επίπεδα, δεδομένου ότι χρησιμοποιούνται τεχνικές συμπίεσης της πληροφορίας, ενώ χρησιμοποιούνται ψηφιακές γραμμές υψηλών ρυθμών μετάδοσης (π.χ. καλώδια T3 και T4).

### 2.3.7 Ψηφιακή Γραμμή Συνδρομητή (DSL: Digital Subscriber Line)

Η «επανάσταση των δικτύων ευρείας ζώνης» έχει αλλάξει τον τρόπο, με τον οποίο ο κόσμος χρησιμοποιεί το Διαδίκτυο (Internet). Δυστυχώς, η ευρείας ζώνης πρόσβαση στο Διαδίκτυο δεν είναι ακόμα διαθέσιμη σε πολλές χώρες.

Το DSL παρέχει πρόσβαση στο Διαδίκτυο, υψηλών ταχυτήτων, διαμέσου υπάρχοντων τηλεφωνικών γραμμών κατασκευασμένων από χαλκό. Δεν απαιτούνται ειδικά καλώδια, μόνο οι απλές παλιές τηλεφωνικές γραμμές.

Τα κυριότερα και πιο διαδεδομένα είδη του DSL (Digital Subscriber Line) είναι το Απλό DSL, το ADSL (Full Rate Asymmetrical DSL) και το HDSL (High Data Rate DSL).

Το DSL κάνει χρήση ενός πομποδέκτη (transceiver) στη πλευρά του πελάτη, το οποίο συνδέεται σε έναν πολυπλέκτη DSLAM (Digital Subscriber Line Access Multiplexer) που βρίσκεται στο κεντρικό γραφείο CO (Central Office) της τηλεφωνικής εταιρίας.

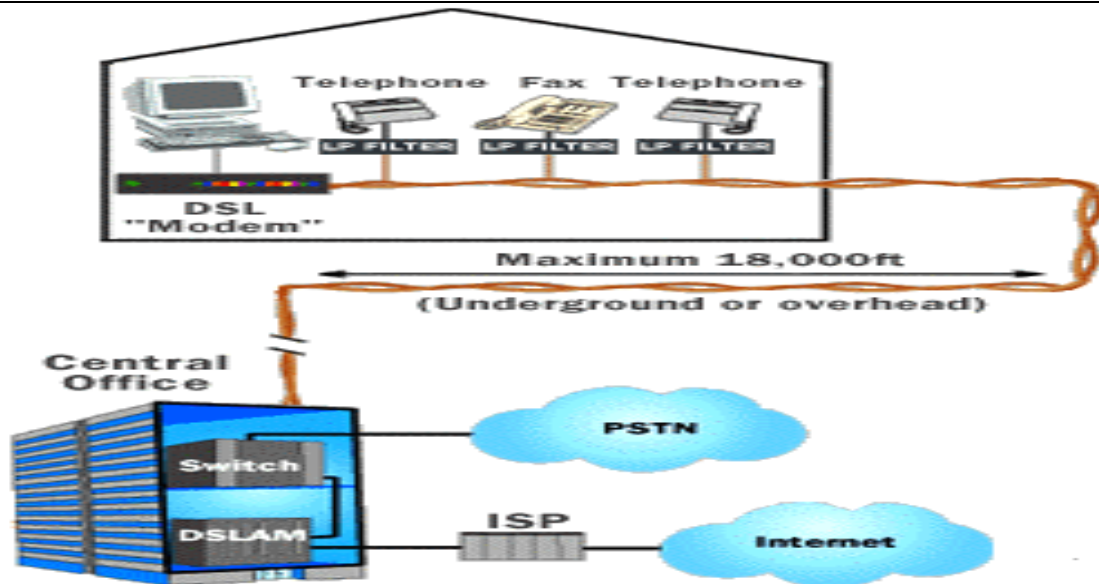
Οι πιο εξοικειωμένοι πελάτες-χρήστες ονομάζουν τον πομποδέκτη DSL και DSL modem. Οι ειδικοί στην τηλεφωνική εταιρία ή στον προμηθευτή υπηρεσιών Διαδικτύου το ονομάζουν ATU-R. Ανεξάρτητα από την ονομασία, η συσκευή αυτή είναι το σημείο όπου τα δεδομένα από τον υπολογιστή του χρήστη ή του δικτύου συνδέονται με την γραμμή DSL. Μπορεί να συνδεθεί στο υλικό του πελάτη με διάφορους τρόπους, από τους οποίους οι πιο διαδεδομένοι χρησιμοποιούν συνδέσεις USB ή 10 base-T Ethernet. Το DSLAM είναι το εφόδιο που πραγματικά επιτρέπει να συμβεί το DSL. Ένα DSLAM λαμβάνει τις συνδέσεις από όλους τους χρήστες και τις συναθροίζει σε μία μοναδική, υψηλής χωρητικότητας σύνδεση στο Διαδίκτυο. Τα DSLAM είναι σε γενικές γραμμές εύκαμπτα και ικανά να υποστηρίξουν πολλαπλούς τύπους του DSL σε ένα κεντρικό γραφείο και διάφορες εκδοχές πρωτοκόλλων και ρυθμίσεων στον ίδιο τύπο του DSL. Επιπλέον, μπορεί να παρέχει επιπρόσθετες λειτουργίες συμπεριλαμβανομένων της δρομολόγησης ή της εκχώρηση δυναμικών IP διευθύνσεων.

#### 2.3.7.1 Το Μέλλον του DSL

Το ADSL ανταγωνίζεται τις τεχνολογίες όπως πρόσβαση διαμέσου cable-modem και δορυφορική πρόσβαση Διαδικτύου για υψηλών ταχυτήτων συνδέσεις στο Διαδίκτυο.

Σύμφωνα με κάποιες στατιστικές, περίπου 330.000 νοικοκυριά στις Η.Π.Α. είχαν συνδεθεί στο Διαδίκτυο διαμέσου DSL το 1999, συγκρινόμενοι με τα 1.350.000 νοικοκυριά που συνδέθηκαν διαμέσου cable modems. Οι ίδιες στατιστικές λένε, ότι το 2003, ο αριθμός των νοικοκυριών που χρησιμοποιούν cable modems θα ανέβει στα 8.980.000, ενώ το DSL θα αναδειχτεί επικεφαλής με 9.300.000 νοικοκυριά.

Μέχρι στιγμής, το ADSL φτάνει τα 1.5 megabits ανά δευτερόλεπτο. Η σημερινή τεχνολογία μπορεί να παρέχει θεωρητικά ως 7 megabits ανά δευτερόλεπτο και η επιστήμη υπόσχεται ότι στο μέλλον θα υπάρξει ακόμη καλύτερη απόδοση με πρωτόκολλα όπως το G.Lite και το VDSL.



Εικόνα 2.38: Παράδειγμα δικτύου με DSL

### 2.3.7.2 Λίγα Στατιστικά Στοιχεία

Το ευρείας ζώνης DSL χρησιμοποιείται τώρα από 25.58 εκατομμύρια σπιτικά και μικρές επιχειρήσεις σε όλο τον κόσμο.

Η Asia Pacific συνεχίζει να οδηγεί την αγορά με 42% του συνόλου των συνδρομητών DSL. Στη νότια Κορέα το DSL λειτουργεί στο 26.14% όλων των τηλεφωνικών γραμμών. Ο υπόλοιπος κόσμος κινείται γρήγορα στην ίδια κατεύθυνση, προς το στόχο που έχει θέσει το DSL Forum να φτάσει μέχρι το 2005 τα 200 εκατομμύρια συνδρομητές.

Η βόρεια Αμερική μένει δεύτερη στην παγκόσμια κατάταξη με 26% του ποσοστού όλων των συνδρομητών DSL και η δυτική Ευρώπη Τρίτη με 25%. Ήδη το 2.97% των τηλεφωνικών γραμμών της δυτικής Ευρώπης παρέχουν υπηρεσίες DSL σε σχέση με τη το 3.08% της βόρειας Αμερικής. Η αύξηση τους έξι μήνες ως της 30 Ιουνίου 2002 στην β. Αμερική ήταν 19.2%. Η αύξηση ήταν πιο έντονη στο ίδιο διάστημα στην νότια και νοτιοανατολική Ασία [124%], Μέση Ανατολή και Αφρική [123%] και λατινική Αμερική [63.13%]. Καθεμία από αυτές όμως τις περιοχές είχε μία βάση ανάπτυξης λιγότερων από μισό εκατομμύριο γραμμές DSL σε χρήση ως το τέλος του 2001.

