



## ΜΕΣΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ

### ΣΤΟΧΟΙ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

Στο τέλος αυτού του κεφαλαίου  
θα είστε ικανοί:

- Να διακρίνετε τα μέσα μετάδοσης, που χρησιμοποιούνται στα σύγχρονα συστήματα επικοινωνιών.
- Να αναφέρετε τα βασικά χαρακτηριστικά κάθε μέσου.
- Να γνωρίζετε τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα κάθε μέσου.
- Να αντιλαμβάνεστε και να εξηγείτε τα προβλήματα, που εμφανίζονται στη φυσική μετάδοση.
- Να γνωρίζετε τις παραμέτρους, που πρέπει να λαμβάνετε υπόψη σας στην επιλογή του μέσου μετάδοσης.

## Εισαγωγή

Το μέσο μετάδοσης αποτελεί τη φυσική σύνδεση μεταξύ του αποστολέα και του παραλήπτη της πληροφορίας σε οποιοδήποτε σύστημα επικοινωνίας. Είναι ο δρόμος, από τον οποίο περνάει το σήμα, που στέλνει ο πομπός, μέχρι να το λάβει ο δέκτης. Στην βιβλιογραφία το συναντούμε πολλές φορές και ως γραμμή ή κανάλι μετάδοσης.

Ο καπνός, η φωτιά, οι συνθηματικές τυμπανοκρουσίες και η ανάκλαση ηλιακών ακτινών πάνω σε στιλπνές επιφάνειες είναι μερικά από τα μέσα μετάδοσης, που χρησιμοποιήθηκαν από τους αρχαίους λαούς για τη μεταβίβαση προσυμφωνημένων μηνυμάτων.

### ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΣΗΜΕΙΩΜΑ

*Ο Αισχύλος στην τραγωδία του «Αγαμέμνων» αναφέρει, ότι η άλωση της Τροίας έγινε γνωστή στις Μυκήνες με σειρά από φωτιές, που ανάφτηκαν διαδοχικά στις βουνοκορφές της Λήμνου, του Αγίου Όρους, της Εύβοιας και της Στερεάς Ελλάδας έως την Πελοπόννησο. Η μεταβίβαση μηνυμάτων με φωτιές είχε συστηματοποιηθεί για στρατιωτικούς, κυρίως, λόγους και οι φρυκτωρίες, όπως τις ονόμαζαν, αποτελούσαν το βασικό μέσο επικοινωνίας στις στρατιωτικές επιχειρήσεις, όπως για παράδειγμα στις εκστρατείες του Μ. Αλεξάνδρου.*

Τα μέσα μετάδοσης διακρίνονται σε **ενσύρματα** και **ασύρματα**. Τα ενσύρματα σχηματίζονται από μεταλλικούς αγωγούς, ενώ στα ασύρματα το μέσο μετάδοσης είναι ο ελεύθερος χώρος μεταξύ του πομπού και του δέκτη. Στα ενσύρματα μέσα μετάδοσης συμπεριλαμβάνονται τα **χάλκινα**, τα **ομοαξονικά καλώδια** και οι **οπτικές ίνες** και στα ασύρματα οι **επίγειες** και **δορυφορικές μικροκυματικές ζεύξεις**. Τα τελευταία χρόνια με την εξέλιξη της τεχνολογίας χρησιμοποιούνται για τη μετάδοση δεδομένων και τα συστήματα **κυψελωειδούς τηλεφωνίας**.

## 3.1 Μέσα Μετάδοσης

### 3.1.1 Ενσύρματα μέσα μετάδοσης

Τα ενσύρματα μέσα μετάδοσης χρησιμοποιήθηκαν σχεδόν αποκλειστικά στα τηλεπικοινωνιακά δίκτυα, μέχρι που έκαναν την εμφάνιση τους τα επίγεια και δορυφορικά μικροκυματικά συστήματα μετάδοσης.

Παλαιότερα, το δισύρματο καλώδιο ήταν το μοναδικό μέσο για τη μετάδοση πληροφορίας. Έτσι, οι πρώτες γραμμές μεταφοράς ήταν απλά χάλκινα σύρματα

χωρίς μόνωση, στηριγμένα σε μονωτήρες πορσελάνης πάνω σε ξύλινους στύλους. Με την αύξηση των γραμμών, ήταν απαραίτητη η συγκέντρωσή τους σε δέσμες, με συνέπεια τη δημιουργία των καλωδίων. Στα καλώδια οι γραμμές είναι κατάλληλα διαμορφωμένες (πλεγμένες μεταξύ τους), για να αποφεύγονται οι συνακροάσεις και προστατεύονται από εξωτερικές κακώσεις από ένα σκληρό, πλαστικό συνήθως, μανδύα. Ο μανδύας αυτός παρέχει και εξωτερική μόνωση. Τα καλώδια, όταν τοποθετούνται υπόγεια, προστατεύονται είτε μέσα σε σωλήνες, είτε σπλίζονται με χαλύβδινο περίβλημα. Στις αρτηρίες με πολύ μεγάλη κίνηση και στις υποβρύχιες ζεύξεις, παλαιότερα, χρησιμοποιήθηκαν σχεδόν αποκλειστικά ομοαξονικά καλώδια, ενώ τα τελευταία χρόνια αντικαταστάθηκαν από καλώδια οπτικών ινών.

### Χάλκινο Καλώδιο

Ο τεχνικός όρος του χάλκινου καλωδίου είναι συνεστραμμένο ζεύγος καλωδίων και αποτελείται είτε από συμπαγές χάλκινο σύρμα, είτε από νήματα χάλκινου σύρματος, τοποθετημένα σε πλαστικό περίβλημα σε διάφορους σχηματισμούς. Παλαιότερα, το πλέξιμο των ζευγών του χάλκινου σύρματος στο καλώδιο γίνονταν με τέτοιο τρόπο, ώστε να αναγνωρίζεται πιο καλώδιο ανήκει σε πιο ζεύγος και όχι για να αντιμετωπισθούν προβλήματα μετάδοσης. Παρόλα αυτά, για τη μετάδοση φωνής το χάλκινο καλώδιο ήταν αρκετά αξιόπιστο μέσο. Αποτέλεσμα αυτού είναι να υπάρχουν, σήμερα, χιλιάδες χιλιόμετρα χάλκινου καλωδίου στο τηλεφωνικό δίκτυο και να αποτελεί το πιο διαδεδομένο μέσο μετάδοσης.

Τα χάλκινα καλώδια, που έχουν εγκατασταθεί στο τηλεφωνικό δίκτυο, ήταν σχεδιασμένα, έτσι ώστε να λειτουργούν ως κατω-διαβατά φίλτρα. Να περνούν, δηλαδή, χωρίς εξασθένηση όλες οι συχνότητες φωνής, αλλά να εμποδίζεται η διέλευση συχνοτήτων έξω από τη ζώνη των φωνητικών. Αυτό όμως είχε καταστροφικά αποτελέσματα για τη μετάδοση δεδομένων, γιατί όπως θα εξηγήσουμε στη συνέχεια, η επίτευξη μεγάλων ταχυτήτων εξαρτάται από τη μετάδοση σε υψηλές συχνότητες.

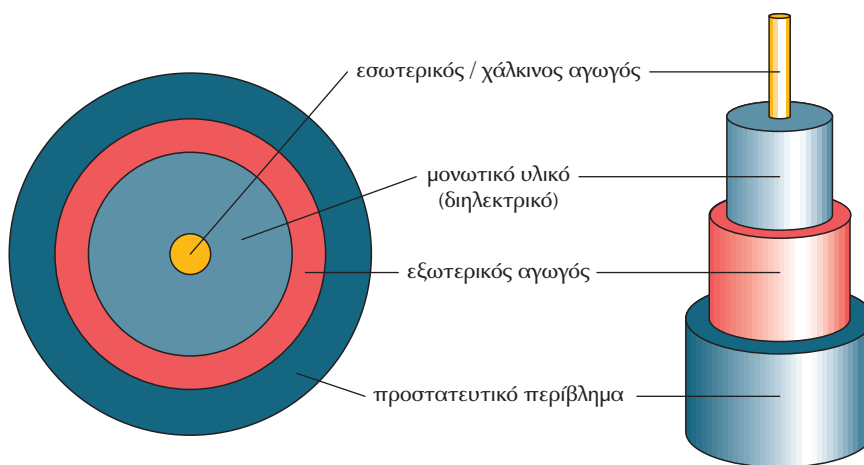


Σχήμα 3-1 Χάλκινα καλώδια

### Ομοαξονικό Καλώδιο

Το ομοαξονικό καλώδιο αποτελείται από δύο αγωγούς. Ο κεντρικός αγωγός περιβάλλεται από τον εξωτερικό, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3-2. Η ονομασία του

οφείλεται στο γεγονός, ότι οι δύο αγωγοί - κεντρικός και εξωτερικός - έχουν τον ίδιο άξονα. Γύρω από τον εξωτερικό αγωγό υπάρχει προστατευτικό και μονωτικό περίβλημα, ενώ ανάμεσα στον εσωτερικό αγωγό, που μεταφέρει το σήμα, και στον εξωτερικό υπάρχει διηλεκτρικό υλικό για την απομόνωσή τους. Λόγω της κατασκευής του ομοαξονικού καλωδίου, ο εσωτερικός αγωγός δέχεται πολύ μικρό ποσοστό θορύβου. Το ομοαξονικό καλώδιο προσφέρει υψηλό εύρος ζώνης (bandwidth, BW), με αποτέλεσμα να επιτυγχάνονται ταχύτητες μετάδοσης υψηλότερες από ότι στα χάλκινα καλώδια. Το γεγονός αυτό δικαιολογεί, την ευρεία χρησιμοποίησή του στην καλωδιακή τηλεόραση και στις υπεραστικές συνδέσεις του τηλεφωνικού δικτύου.



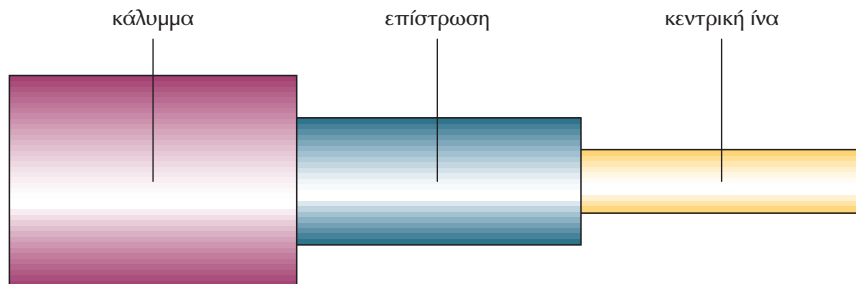
**Σχήμα 3-2** Ομοαξονικό καλώδιο

### **Καλώδια Οπτικών Ινών**

Η οπτική ίνα είναι το επόμενο μέσο μετάδοσης. Ενώ η μετάδοση σε χαλκό εκμεταλλεύεται συχνότητες στην περιοχή των MHz, η μετάδοση σε οπτικές ίνες αξιοποιεί συχνότητες ένα εκατομμύριο φορές μεγαλύτερες. Η περιοχή συχνοτήτων μετάδοσης αποτελεί την κύρια διαφορά μεταξύ ηλεκτρομαγνητικών και οπτικών κυμάτων και σε αυτήν οφείλεται η επίτευξη πολύ υψηλών ταχυτήτων μετάδοσης στις οπτικές ίνες. Έτσι, ταχύτητες της τάξης των 9.9 Gbps έχουν γίνει κοινός τόπος σήμερα, ενώ αξίζει να αναφερθεί σαν παράδειγμα, ότι με αυτή τη ταχύτητα η εγκυκλοπαίδεια Britannica μπορεί να μεταδοθεί σε λιγότερο από ένα δευτερόλεπτο.

Η αρχή λειτουργίας των οπτικών ινών βασίζεται στην ιδέα χρήσης της οπτικής ίνας, ως μέσο μετάδοσης και του φωτός ως φορέα μετάδοσης της πληροφορίας. Οι οπτικές ίνες κατασκευάζονται από γυαλί ή πλαστικό και έχουν την ιδιότητα να εγκλωβίζουν τη δέσμη φωτός (οπτικές ακτίνες) και να την οδηγούν στο

τέρμα της οπτικής ίνας. Οι ίνες αποτελούνται από τρεις ομόκεντρες κυλινδρικές οντότητες διηλεκτρικού υλικού: την κεντρική ίνα (πυρήνα), την επίστρωση και το κάλυμμα.

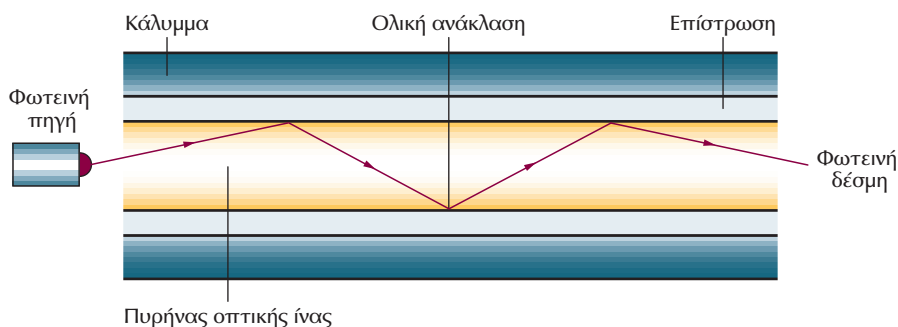


**Σχήμα 3-3** Καλώδιο Οπτικών Ινών

Η φωτεινή δέσμη, που μεταφέρει την πληροφορία, μεταδίδεται μέσω της κεντρικής ίνας και οδεύει με διαδοχικές ανακλάσεις στα τοιχώματα της. Επειδή η μετάδοση γίνεται με ολικές ανακλάσεις, η ενέργεια της φωτεινής δέσμης παραμένει εγκλωβισμένη στην οπτική ίνα.

Τα καλώδια οπτικών ινών, τα οποία, συνήθως περιέχουν δεσμίδες οπτικών ινών, χρησιμοποιούνται, κυρίως, από τους τηλεπικοινωνιακούς οργανισμούς για επίγειες και υποθαλάσσιες συνδέσεις μεγάλων αποστάσεων, αντικαθιστώντας τόσο τις γραμμές ομοαξονικών καλωδίων, όσο και τις επίγειες και δορυφορικές μικροκυματικές ζεύξεις. Τα τελευταία χρόνια έχουν ποντισθεί πολλά καλώδια οπτικών ινών, με χωρητικότητα, η οποία ξεπερνά τα 30.000 κυκλώματα φωνής, για τη διασύνδεση ηπείρων. Τέτοια παραδείγματα αποτελούν το καλώδιο BSFOCS, που εκτείνεται στην περιοχή της Μαύρης θάλασσας και συνδέει τη Βουλγαρία, Ουκρανία και Ρωσία, το καλωδιακό σύστημα SEA – ME – WE 3 (South East Asia – Middle East – West Europe), που ξεκινά από τη Δυτική Ευρώπη (Γερμανία, Μεγ. Βρετανία), περνά από τα στενά του Γιβραλτάρ στη Μεσόγειο (Ιταλία, Ελλάδα, Κύπρο) συνεχίζει από τα στενά του Σουέζ προς την Ασία (Ινδία, Σιγκαπούρη) και χωρίζεται σε δύο μέρη, με το ένα άκρο να καταλήγει στην Ιαπωνία και το άλλο στην Αυστραλία και το καλώδιο ADRIA-1, που συνδέει την Ελλάδα (Κέρκυρα), την Αλβανία (Durrës) και την Κροατία (Dubrovnik).

Οι οπτικές ίνες χρησιμοποιούνται, επίσης, από ιδιωτικές εταιρίες σε τοπικά δίκτυα, σε πανεπιστημιακά δίκτυα κορμού, σε δίκτυα ευρείας περιοχής, σε δίκτυα καλωδιακής τηλεόρασης, σε εφαρμογές με υψηλές απαιτήσεις σε ασφάλεια μετάδοσης, όπως οι στρατιωτικές και, τέλος, σε βιομηχανικές εφαρμογές, όπου υπάρχει υψηλός βιομηχανικός θόρυβος, στον οποίο οι οπτικές ίνες παρουσιάζουν ανοσία.



**Σχήμα 3-4** Λειτουργία οπτικής ίνας

### 3.1.2 Ασύρματα Μέσα Μετάδοσης

Οι ασύρματες ζεύξεις είναι ένας από τους σημαντικότερους τρόπους μετάδοσης, ο οποίος αναπτύχθηκε, αρχικά, για μετάδοση φωνής και τηλεοπτικών σημάτων, ενώ σήμερα χρησιμοποιείται και για την μετάδοση δεδομένων, ιδιαίτερα μέσω μικροκυματικών και δορυφορικών συνδέσεων.

Το βασικότερο πλεονέκτημα, που παρουσιάζουν τα ασύρματα μέσα μετάδοσης, είναι η έλλειψη εξάρτησής τους από τα υλικά μέσα, αφού δεν χρειάζεται η φυσική / υλική σύνδεση πομπού και δέκτη, επειδή ως μέσο μετάδοσης χρησιμοποιείται ο ελεύθερος χώρος. Πρέπει, όμως, να τονισθεί, ότι να μην η χρησιμοποίηση του ελεύθερου χώρου τους προσδίδει ένα σημαντικό πλεονέκτημα, είναι, όμως, και πηγή ορισμένων αρκετά σημαντικών αδυναμιών και μειονεκτημάτων. Μεταξύ αυτών συμπεριλαμβάνονται η μεγάλη ισχύς, που απαιτούν οι πομποί για τη μετάδοση, η ευαισθησία στο θόρυβο και ο χαμηλός βαθμός ασφάλειας, που παρέχεται, αφού ο οποιοσδήποτε μπορεί να λαμβάνει τα εκπεμπόμενα σήματα χρησιμοποιώντας απλά μία κεραία και ένα δέκτη.

Στα ασύρματα μέσα μετάδοσης, η εκπομπή του σήματος γίνεται σε δεδομένη συχνότητα ή σε σύνολο συχνοτήτων. Επειδή το φάσμα συχνοτήτων είναι περιορισμένο και, επομένως, οι συχνότητες αποτελούν σπάνιο εθνικό πόρο, για να γίνει εκπομπή σε κάποια συχνότητα, θα πρέπει πρώτα η συχνότητα να έχει ανατεθεί από τις αρμόδιες αρχές στον φορέα, που θα κάνει χρήση της. Η μετάδοση και η λήψη των μεταδιδόμενων σημάτων γίνεται από ειδικές κεραίες, οι οποίες συνδέονται με τον σταθμό λήψης και μετάδοσης. Στην περίπτωση, που το σήμα μεταδίδεται προς όλες τις κατευθύνσεις, τότε μπορεί να ληφθεί από οποιαδήποτε κεραία (παράδειγμα το ραδιόφωνο, η τηλεόραση και τα συστήματα κυψελωειδούς τηλεφωνίας).

Στα ασύρματα μέσα μετάδοσης ανήκουν οι επίγειες και δορυφορικές μικροκυματικές ζεύξεις και τα συστήματα κυψελωειδούς τηλεφωνίας.

### Επίγειες μικροκυματικές ζεύξεις

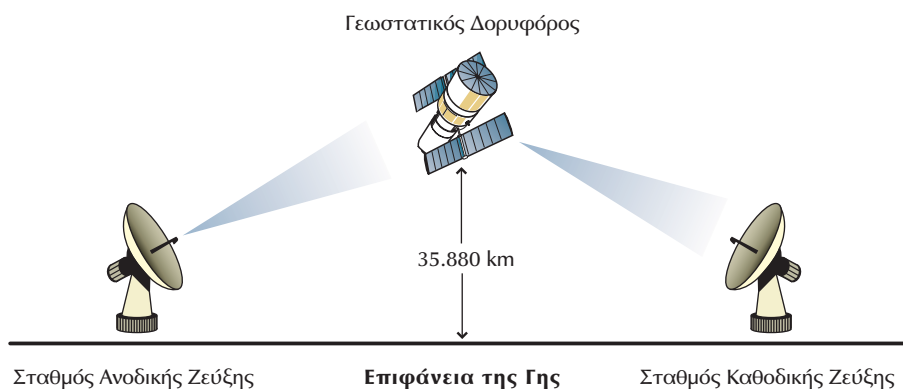
Οι επίγειες μικροκυματικές ζεύξεις στηρίζονται στην κατευθυντική μετάδοση μικροκυμάτων στην περιοχή πολύ υψηλών συχνοτήτων (GHz). Συγκεκριμένα, χρησιμοποιούν συχνότητες από 2 μέχρι 40 GHz, αν και τα περισσότερα συστήματα λειτουργούν στην περιοχή των 2 έως 18 GHz. Από πλευράς δεδομένων, οι ρυθμοί μετάδοσης ξεκινούν από μερικές δεκάδες Mbps (περιοχή 2 GHz) και μπορεί να φθάσουν τις μερικές εκατοντάδες Mbps (περιοχή 20 GHz).

Οι πομποί και οι δέκτες είναι παραβολικά πιάτα και χρησιμοποιούνται κυρίως από τηλεπικοινωνιακούς οργανισμούς και ιδιωτικά δίκτυα. Για να είναι δυνατή η μεταφορά δεδομένων, απαιτείται οπτική επαφή μεταξύ πομπού και δέκτη. Λόγω της απαιτούμενης οπτικής επαφής και της καμπυλότητας της γης απαιτούνται σταθμοί αναμετάδοσης κάθε 40-50 χιλιόμετρα περίπου.

Οι επίγειες μικροκυματικές ζεύξεις χρησιμοποιούνται, κυρίως, για μετάδοση τηλεοπτικού σήματος και φωνής, για μικρές από σημείο σε σημείο συνδέσεις, μεταξύ κτιρίων για κλειστό κύκλωμα τηλεόρασης ή για συνδέσεις δεδομένων μεταξύ τοπικών δικτύων.

### Δορυφορικές μικροκυματικές ζεύξεις

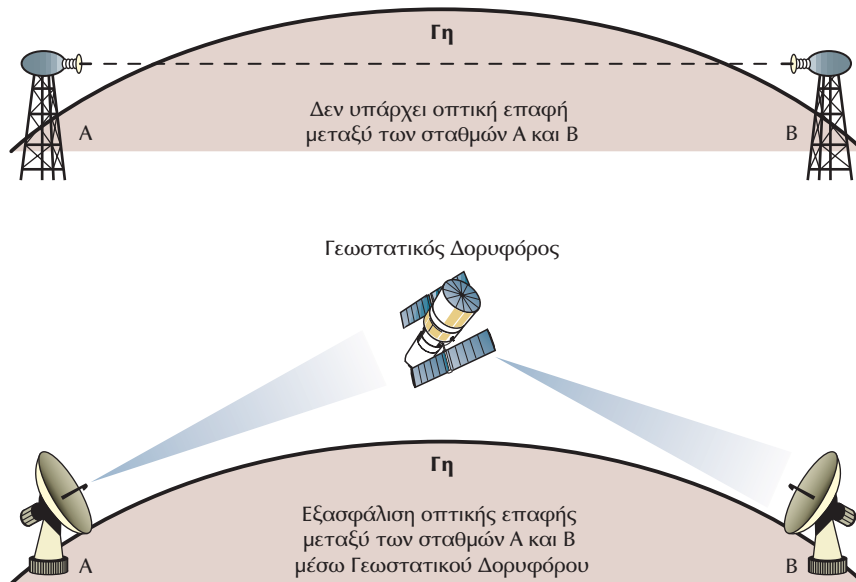
Οι δορυφορικές μικροκυματικές ζεύξεις χρησιμοποιούν διαστημικούς σταθμούς αναμετάδοσης (δορυφόρους), οι οποίοι μπορούν να αναμεταδίδουν σήμα σε πολύ μεγάλες αποστάσεις. Οι δορυφορικές ζεύξεις χωρίζονται σε δύο κατηγορίες, στις **ανοδικές (uplink)** και **καθοδικές (downlink)**. Οι ανοδικές ζεύξεις χρησιμοποιούνται για την αποστολή σημάτων από τους επίγειους σταθμούς στους δορυφόρους, ενώ οι δορυφόροι αναμεταδίδουν τα σήματα, που λαμβάνουν, στις καθοδικές ζεύξεις (Σχήμα 3-5). Η εκπομπή (broadcast) των καθοδικών ζεύξεων κάνει τα δορυφορικά συστήματα ελκυστικά για υπηρεσίες εκπομπής (broadcasting services), όπως η μετάδοση τηλεοπτικού σήματος.



Σχήμα 3-5 Γεωστατικός δορυφόρος

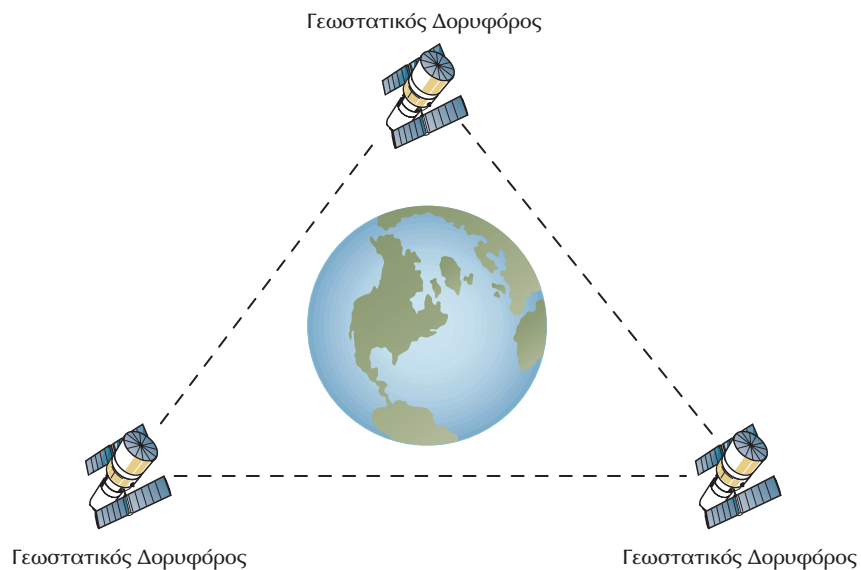
Οι δορυφορικές επικοινωνίες ξεκίνησαν το 1958, όταν οι ΗΠΑ εκτόξευσαν το πρώτο δορυφόρο, ενώ η πρώτη μορφή εμπορικής εκμετάλλευσης εμφανίζεται με τον δορυφόρο Early Bird, που ετέθη σε τροχιά στις 6 Απριλίου του 1965. Οι πρώτοι δορυφόροι, λόγω της μειωμένης ισχύος των πυραύλων, που τους εκτόξευαν, τίθονταν σε τροχιά σε ύψος όχι μεγαλύτερο των 10 χιλιομέτρων από τη γη. Αποτέλεσμα ήταν οι δορυφόροι να κινούνται με ταχύτητα περιστροφής μεγαλύτερη από τη ταχύτητα περιστροφής της γης, με συνέπεια να μην βρίσκονται συνεχώς πάνω από το ίδιο σημείο. Το γεγονός αυτό καθιστούσε τα πρώτα δορυφορικά συστήματα προβληματικά αφού οι γήινοι σταθμοί έπρεπε να περιστρέφονται συνεχώς, για να παρακολουθούν τους δορυφόρους.

Σε εξέλιξη των συστημάτων αυτών κατασκευάστηκαν οι **γεωστατικοί δορυφόροι**, που τίθενται σε τροχιά σε ύψος 35.880 Km και κινούνται με την ίδια γωνιακή ταχύτητα με την οποία περιστρέφεται η γη (11.040 χλμ/ώρα). Έτσι, φαίνονται από την γη σαν ακίνητοι, μένοντας σταθεροί πάνω από το ίδιο σημείο της γης. Με αυτό τον τρόπο, οι επίγειοι σταθμοί δεν χρειάζεται να περιστρέφονται, καθώς οι δορυφόροι βλέπουν μόνιμα στο ίδιο σημείο. Οι επίγειοι σταθμοί, που επικοινωνούν με τους δορυφόρους αυτούς, στέλνουν προς αυτούς και δέχονται από αυτούς τηλεπικοινωνιακά σήματα ξεπερνώντας το εμπόδιο της καμπυλότητας της γης, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3-6. Κάθε γεωστατικός δορυφόρος καλύπτει ορίζοντα 120°, έτσι που με τρεις τέτοιους δορυφόρους καλύπτεται όλη η γη, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3-7. Οι ζώνες μετάδοσης, που χρησιμοποιούνται, είναι στα 4 – 6 GHz, 12-14 GHz και 19-29 GHz.



**Σχήμα 3-6** Καμπυλότητα γης





**Σχήμα 3-7** Κάλυψη γεωστατικών δορυφόρων

### **Κυψελοειδής Τηλεφωνία**

Η κινητή ραδιοτηλεφωνία ήταν ο πρόδρομος της κυψελοειδούς τηλεφωνίας, αφού σε εξέλιξη των δικών της συστημάτων αναπτύχθηκαν τα συστήματα κυψελοειδούς τηλεφωνίας. Η κινητή ραδιοτηλεφωνία εξυπηρετεί την επικοινωνία μεταξύ κινούμενων και σταθερών σταθμών, καθώς επίσης και μεταξύ κινούμενων σταθμών σε μικρές και μεσαίες αποστάσεις. Χρησιμοποιείται, κυρίως, για την επικοινωνία, μέσα σε πόλεις, διαφόρων υπηρεσιών όπως Αστυνομία, Πυροσβεστική, Πρώτες βοήθειες και ταξί. Οι συχνότητες, που χρησιμοποιούνται, βρίσκονται στην περιοχή 30 έως 900 MHz. Η εμβέλεια των συχνοτήτων αυτών περιορίζεται πολύ εξαιτίας της οπτικής επαφής, που απαιτείται μεταξύ πομπού και δέκτη και η οποία εξαρτάται από το ύψος των κεραιών των δύο σταθμών (σταθερού και κινητού). Επειδή το ύψος της κεραίας του κινητού σταθμού είναι περιορισμένο, η κεραία του σταθερού σταθμού τοποθετείται σε υψηλό σημείο, ώστε να είναι δυνατή η απαιτούμενη οπτική επαφή.

Το πρώτο εμπορικά διαθέσιμο σύστημα κινητής ραδιοτηλεφωνίας τέθηκε σε εφαρμογή το 1946. Στο σύστημα αυτό, ένας ψηλός πύργος μετάδοσης ανορθώθηκε κοντά στο κέντρο μιας αστικής περιοχής. Κάθε όχημα μέσα στην περιοχή μπορούσε να δεσμεύσει ένα από τα διαθέσιμα κανάλια επικοινωνίας. Επειδή όμως ο αριθμός των διαθέσιμων καναλιών ήταν περιορισμένος και ο αριθμός των χρηστών συνεχώς μεγάλωνε, παρουσιάζονταν σημαντικά προβλήματα, με αποτέλεσμα να μην μπορούν να ικανοποιηθούν οι ανάγκες των συνδρομητών.

Η λύση σε αυτό το πρόβλημα ήταν το κυψελοειδές σύστημα κινητής ραδιοτηλεφωνίας. Σύμφωνα με το σύστημα αυτό, οι αστικές περιοχές διαιρούνται σε

εξάγωνα (κυψέλες), των οποίων η διάμετρος δεν υπερβαίνει τα μερικά χιλιόμετρα (1,5-13). Κάθε κυψέλη περιλαμβάνει πομπό χαμηλής ισχύος τοποθετημένο σε σταθερό σταθμό βάσης. Οι συχνότητες της κυψελοειδούς τηλεφωνίας βρίσκονται στην περιοχή των 900 και 1800 MHz και επιτρέπουν μεγάλο αριθμό από ταυτόχρονες συνδιαλέξεις ανά κυψέλη. Σε κάθε κυψέλη λειτουργεί σύνολο συχνοτήτων, που διαφέρει από τις συχνότητες των γειτονικών κυψελών. Οι κυψέλες εξυπηρετούνται συνήθως από δύο ομάδες τηλεφωνικών καναλιών, οι οποίες χορηγούνται για όλη την περιοχή. Τα κανάλια αυτά λαμβάνονται από τις εκχωρημένες ζώνες συχνοτήτων (περιοχές γύρω από τα 900 και 1800 MHz) και μοιράζονται στις διάφορες κυψέλες. Επειδή η ισχύς μετάδοσης σε συγκεκριμένη κυψέλη διατηρείται σε επίπεδο, τέτοιο ώστε να μπορεί να εξυπηρετείται μόνο η συγκεκριμένη κυψέλη, το ίδιο σύνολο συχνοτήτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε άλλες κυψέλες της ίδιας περιοχής. Έτσι, τα ίδια τηλεφωνικά κανάλια χρησιμοποιούνται σε περισσότερες από μια κυψέλες, με την προϋπόθεση όμως ότι απέχουν αρκετά μεταξύ τους, ώστε να αποφεύγονται προβλήματα παρεμβολών.

Στα συστήματα κυψελοειδούς τηλεφωνίας, ένας κεντρικός υπολογιστής παρακολουθεί τους συνδρομητές, καθώς αυτοί κινούνται μέσα και μεταξύ των κυψελών. Στην περίπτωση, που κατά τη διάρκεια μιας κλήσης ένας συνδρομητής περάσει από μια κυψέλη σε γειτονική, το τηλεφωνικό κέντρο τον μεταγάει αυτόματα σε ελεύθερο κανάλι της νέας κυψέλης. Η μεταγωγή αυτή σχεδόν δεν γίνεται αντιληπτή από το συνδρομητή. Καθώς ο αριθμός των συνδρομητών αυξάνει, δημιουργείται η ανάγκη επαναχρησιμοποίησης των ίδιων καναλιών για την εξυπηρέτησή τους. Η επαναχρησιμοποίηση, όμως, αυτών προϋποθέτει τη διαίρεση των κυψελών σε μικρότερες κυψέλες, έτσι ώστε να αποφεύγονται προβλήματα παρεμβολών. Σήμερα, το σύστημα κυψελοειδούς τηλεφωνίας χρησιμοποιείται όχι μόνο για μετάδοση φωνής αλλά και δεδομένων (με χαμηλούς ρυθμούς μετάδοσης, της τάξης των μερικών Kbps) ακόμη και πρόσβαση στο Διαδίκτυο.

### 3.2 Προβλήματα φυσικής μετάδοσης

Στόχος της μετάδοσης σε μία τηλεπικοινωνιακή ζεύξη είναι να ληφθεί στην έξοδο της τηλεπικοινωνιακής γραμμής η αρχική πληροφορία με τις λιγότερες δυνατές αλλοιώσεις.

Οι αλλοιώσεις, που παρουσιάζονται και, επομένως, η ποιότητα μετάδοσης σε μια τηλεπικοινωνιακή ζεύξη εξαρτώνται από τις παρασιτικές τάσεις, που εμφανίζονται κατά τη μετάδοση και από τις παραμορφώσεις, που παθαίνει το σήμα. Άρα, το βασικότερο πρόβλημα, για να εξασφαλισθεί καλής ποιότητας μετάδοση, είναι ο περιορισμός των **παρασιτικών τάσεων** και των **παραμορφώσεων**.

Οι κάθε είδους παρασιτικές τάσεις, που εμφανίζονται, αθροίζονται στατιστικά, με αποτέλεσμα να εμφανίζεται στην έξοδο της ζεύξης, εκτός από την ωφέλιμη ισχύ του σήματος, παρασιτική ισχύς, η οποία ονομάζεται **θόρυβος**. Οι αιτίες του θορύβου, που εμφανίζεται στις τηλεπικοινωνιακές ζεύξεις, μπορεί να είναι οι ηλεκτρικές

εκκενώσεις, που συμβαίνουν στην ατμόσφαιρα, οι επιδράσεις από γραμμές μεταφοράς ενέργειας και οι ανεπιθύμητες συζεύξεις μεταξύ κυκλωμάτων, οι οποίες συνιστούν ιδιαίτερο είδος θορύβου, που ονομάζεται **διαφωνία**. Ιδιαίτερη σημασία για την αξιοπιστία του συστήματος μετάδοσης έχει ο λόγος σήματος προς θόρυβο στην έξοδο της ζεύξης. Ενώ ο θόρυβος, όπως έχουμε ήδη αναφέρει, οφείλεται στις παρασιτικές τάσεις, που εμφανίζονται στη ζεύξη, η ωφέλιμη ισχύς του σήματος στην έξοδο της ζεύξης εξαρτάται από τις παραμορφώσεις, που υφίσταται το σήμα κατά τη μετάδοση του στο μέσο μετάδοσης. Σημαντικός παράγοντας εξασθένησης του σήματος είναι η **έλλειψη προσαρμογής στη γραμμή**, η οποία μπορεί να αποτελέσει και την αιτία δημιουργίας φαινομένων ηχούς. Η **ηχώ** μπορεί να θεωρηθεί είδος ενδογενούς θορύβου, που οφείλεται σε ατελή συμπεριφορά των διατάξεων μετάδοσης.

### Επισήμανση

Τα σημαντικότερα προβλήματα, που συναντώνται στα μέσα μετάδοσης και προκαλούν την αλλοίωση του μεταδιδόμενου σήματος, είναι τα εξής:

- Έλλειψη προσαρμογής στη γραμμή
- Παραμορφώσεις
- Θόρυβος
- Διαφωνία
- Ηχώ

### 3.2.1 Προσαρμογή σύνθετης αντίστασης της γραμμής

Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά των δισύρματων καλωδίων είναι η **σύνθετη αντίσταση** (ωμική, επαγωγική και χωρητική) ή **εμπέδηση**, όπως αλλιώς ονομάζεται.

Κάθε καλώδιο εμφανίζει **ωμική αντίσταση**, που ανάλογα με το μέγεθός της, έχει άμεση επίπτωση στην εξασθένηση του μεταδιδόμενου σήματος. Η εξασθένηση οφείλεται σε απώλεια μέρους της ισχύος του σήματος πάνω στη γραμμή υπό μορφή θερμότητας. Η ωμική αντίσταση ( $R$ ) εξαρτάται από το είδος του υλικού, το μήκος και τη διάμετρό του καλωδίου και αυξάνει, όταν αυξάνει το μήκος του καλωδίου, ενώ μειώνεται, όταν αυξάνεται η διάμετρός του.

Εκτός από την ωμική αντίσταση, οι δισύρματες γραμμές παρουσιάζουν επίσης επαγωγική ( $R_L$ ) και χωρητική ( $R_C$ ) αντίσταση. Η **επαγωγική αντίσταση** ( $R_L$ ) εκφράζει, ουσιαστικά, την ιδιότητα του αγωγού να αντιδρά σε κάθε μεταβολή του μαγνητικού πεδίου γύρω από τον αγωγό. Είναι ανάλογη του μήκους της γραμμής, αλλά και της συχνότητας του σήματος που εισάγεται στη γραμμή. Το γεγονός, ότι η επαγωγική αντίσταση αυξάνεται με τη συχνότητα, έχει ως αποτέλεσμα σε υψηλές συχνότητες να παρατηρείται μεγάλη εξασθένηση, με συνέπεια η μετάδοση των δεδομένων στα δισύρματα καλώδια να γίνεται προβληματική στις υψηλές ταχύτητες.

Η **χωρητική αντίσταση** ( $R_c$ ) οφείλεται στη χωρητικότητα, που εμφανίζεται μεταξύ των αγωγών. Η γραμμή, δηλαδή, συμπεριφέρεται, όπως ένας πυκνωτής, όπου το ρόλο των αγωγίμων πλακών παίζουν οι δύο αγωγοί και του διηλεκτρικού το μεταξύ τους μονωτικό υλικό. Η χωρητική αντίσταση μειώνεται, όταν αυξάνεται η συχνότητα. Επειδή, όμως, εμφανίζεται παράλληλα στη γραμμή, στις υψηλότερες συχνότητες του σήματος δημιουργεί μεγαλύτερες αποσβέσεις. Η χωρητικότητα εξαρτάται επίσης από το μήκος και τη διάμετρο των αγωγών καθώς και από τον τύπο του μονωτικού υλικού, που τους χωρίζει.

Ο συνδυασμός της ωμικής, χωρητικής και επαγωγικής αντίστασης εκφράζει τη **σύνθετη αντίσταση** της γραμμής ( $Z$ ), η οποία δίνεται από τον τύπο:

$$Z^2 = R^2 + (R_l - R_c)^2$$

Όπως προκύπτει και από τον τύπο, η μικρότερη τιμή της  $Z$  εμφανίζεται, όταν η επαγωγική και χωρητική αντίσταση είναι ίσες. Ένα σημείο, το οποίο έχει ιδιαίτερη σημασία και πρέπει να τονισθεί ιδιαίτερα είναι, ότι, όταν αναφερόμαστε στην σύνθετη αντίσταση, πρέπει να αναφέρουμε και τη συχνότητα για την οποία μιλάμε. Όπως έχει ήδη ειπωθεί, η χωρητική και επαγωγική αντίσταση της γραμμής εξαρτάται από τη συχνότητα, συνεπώς, είναι επακόλουθο και η σύνθετη αντίσταση της γραμμής να εξαρτάται από τη συχνότητα.

#### **Θεώρημα Μέγιστης Μεταφοράς Ισχύος**

Στα συστήματα μετάδοσης, τόσο η έξοδος του πομπού όσο και η είσοδος του δέκτη χαρακτηρίζονται από μια σύνθετη αντίσταση. Για να έχουμε τη μέγιστη μεταφορά ισχύος, πρέπει η σύνθετη αντίσταση της εξόδου του πομπού να είναι ίση με τη σύνθετη αντίσταση της εισόδου του δέκτη. Κατά αναλογία, στην περίπτωση γραμμής μεταφοράς, για να έχουμε τη μέγιστη μεταφορά ισχύος στον δέκτη, θα πρέπει η σύνθετη αντίσταση της γραμμής να είναι ίση με τη σύνθετη αντίσταση του δέκτη. Όταν ισχύει αυτό, λέμε ότι έχουμε προσαρμογή σύνθετων αντιστάσεων.

Ας δούμε το παρακάτω παράδειγμα, για να κατανοήσουμε, σε τι χρειάζεται η προσαρμογή σύνθετων αντιστάσεων. Ας θεωρήσουμε το κύκλωμα του Σχήματος 3-8, που αποτελείται από ένα πομπό και ένα δέκτη. Αν η τάση ( $E$ ) στην πηγή του πομπού είναι 3 Volt και οι αντιστάσεις γραμμής ( $R_l$ ) και δέκτη ( $R$ ) είναι 300  $\Omega$ , τότε η τάση στον δέκτη είναι:

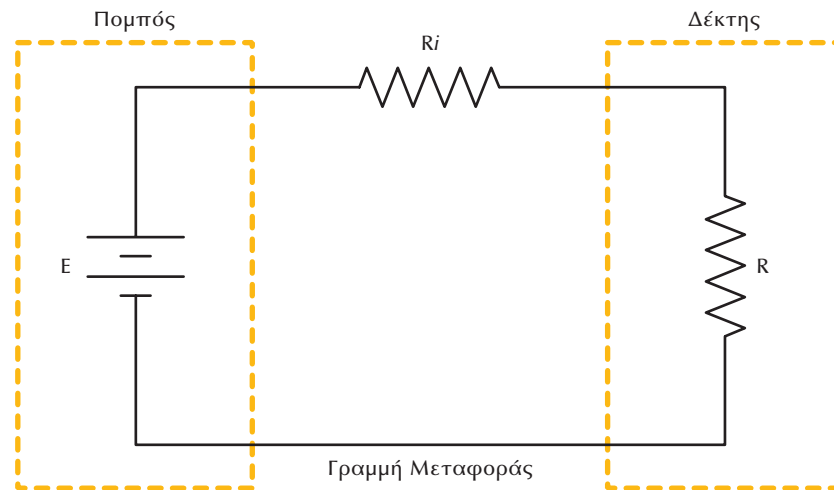
$$U_R = ER/(R+R_l) = 3 \times 300/600 = 1,5 \text{ V}$$

Και η ισχύς του σήματος στον δέκτη είναι  $P = U_R^2/R = 7,5 \text{ mW}$ .

Εάν, τώρα, η τερματική αντίσταση του δέκτη  $R$  γίνει 150  $\Omega$ , τότε η τάση και η ισχύς στον δέκτη θα είναι:

$$U_R = ER/(R + R_i) = 3 \times 150/450 = 1 \text{ V}$$

$$P = U_R^2/R = 6,6 \text{ mW}$$



**Σχήμα 3-8** Κύκλωμα αναφοράς

Αν αυξήσουμε τη θερματική αντίσταση του δέκτη στα 600 Ω, τότε η τάση και η ισχύς στο δέκτη γίνονται:

$$U_R = ER/(R + R_i) = 3 \times 600/900 = 2 \text{ V}$$

$$P = U_R^2/R = 6,6 \text{ mW}$$

Άρα, είτε αυξήσουμε είτε μειώσουμε τη θερματική αντίσταση του δέκτη μιας γραμμής, η ισχύς στο δέκτη είναι μικρότερη από τη τιμή που έχει, όταν η αντίσταση της γραμμής και η θερματική αντίσταση του δέκτη είναι ίσες.

Ας εξετάσουμε, όμως, ποιοτικά το φαινόμενο, ώστε να δούμε τι συμβαίνει. Στην περίπτωση που δεν έχουμε προσαρμογή αντιστάσεων, η ενέργεια, που φθάνει στο τέρμα της γραμμής, δεν απορροφάται όλη από το δέκτη. Έτσι, τμήμα της ενέργειας ανακλάται στο τέρμα της γραμμής, με αποτέλεσμα να δημιουργείται ανακλώμενο κύμα. Όταν το κύμα, που ανακλάστηκε στο τέρμα της γραμμής, φθάσει στην είσοδο, συναντά τη σύνθετη αντίσταση του πομπού. Εάν αυτή δεν είναι ίση με τη σύνθετη αντίσταση της γραμμής, δημιουργείται πάλι ένα νέο ανακλώμενο κύμα και το φαινόμενο επαναλαμβάνεται. Επομένως, για να έχουμε τη μέγιστη μεταφορά ισχύος, θα πρέπει η σύνθετη αντίσταση της γραμμής να είναι ίση με τη σύνθετη αντίσταση τερματισμού (δέκτη). Η προσαρμογή είναι η κατάσταση, που επιδιώκεται πάντα σε μια γραμμή.

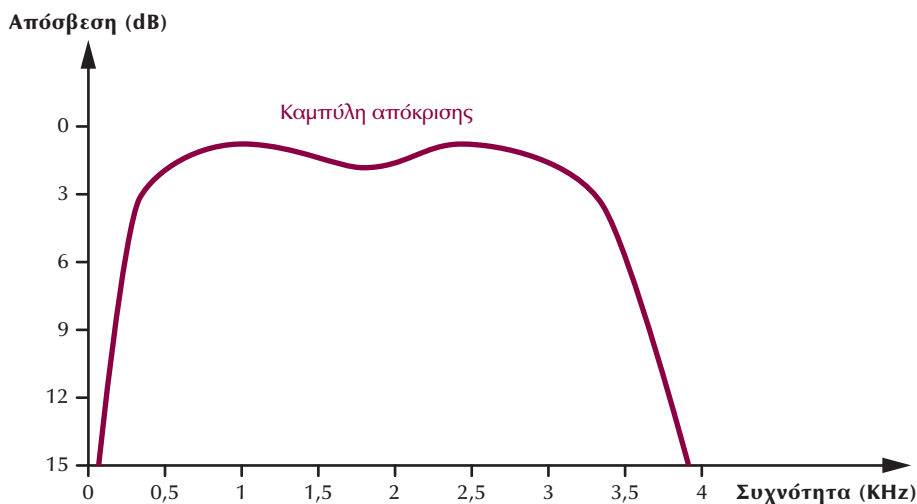
### Επισημάνση

Όταν η γραμμή κλείνει σε σύνθετη αντίσταση ίση με τη σύνθετη αντίσταση της γραμμής και η εσωτερική αντίσταση της γεννήτριας, που τροφοδοτεί τη γραμμή, έχει την ίδια τιμή, λέμε, ότι έχουμε προσαρμογή στη γραμμή. Στην περίπτωση αυτή, μεταφέρεται η μέγιστη δυνατή ισχύς από τη γεννήτρια στην είσοδο της γραμμής και από τη γραμμή στο φορτίο.

### 3.2.2 Παραμορφώσεις

Παραμορφώσεις συμβαίνουν σε όλα τα μέσα μετάδοσης. Στα αναλογικά σήματα μεταφράζονται σε τυχαίες εξασθενήσεις, που μειώνουν την ποιότητα του σήματος, ενώ στα ψηφιακά σε λανθασμένα bits (bit errors), τα οποία μπορούν να ανιχνευθούν ή και να διορθωθούν.

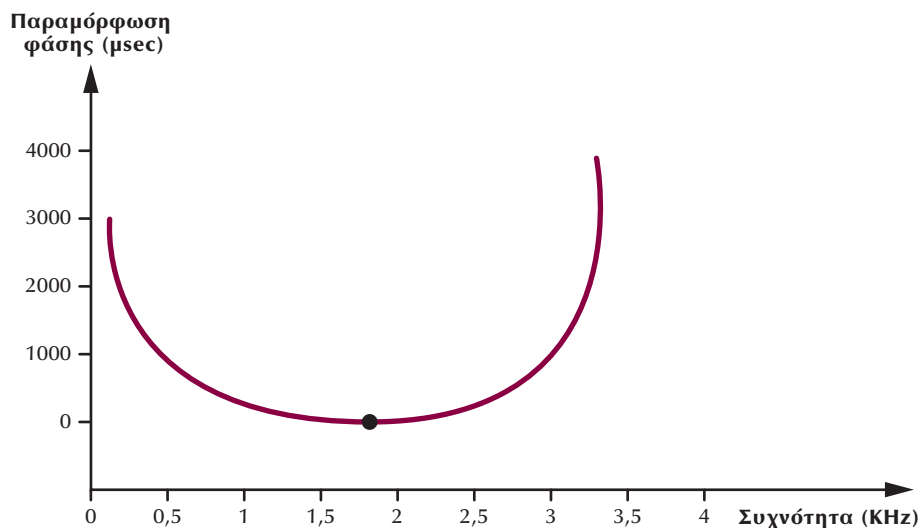
Τα σήματα μετάδοσης, που εισάγουμε στο μέσο μετάδοσης, αποτελούνται από πολλές συχνότητες. Κατά τη μετάδοση του σήματος στο φυσικό μέσο παρατηρούμε, ότι κάθε ξεχωριστή συχνότητα του σήματος υφίσταται διαφορετική εξασθένηση από τις άλλες. Στο Σχήμα 3-9 φαίνεται μία τυπική καμπύλη εξασθένησης τηλεφωνικής γραμμής (σε dB ανά χιλιόμετρο) σε σχέση με τη συχνότητα. Σε γραμμές, που παρουσιάζουν ανομοιόμορφη απόσβεση στις διάφορες συχνότητες, το σήμα λαμβάνεται στο δέκτη παραμορφωμένο. Η παραμόρφωση αυτή ονομάζεται **παραμόρφωση πλάτους (amplitude distortion)**. Στις τηλεφωνικές γραμμές η μεγαλύτερη εξασθένηση, παρουσιάζεται, συνήθως στις δύο ακραίες περιοχές συχνοτήτων. Η παραμόρφωση, η οποία παρουσιάζεται στις διάφορες συχνότητες, είναι αυτή, που καθορίζει και το εύρος ζώνης του μέσου.



Σχήμα 3-9 Εξασθένηση σε σχέση με τη συχνότητα

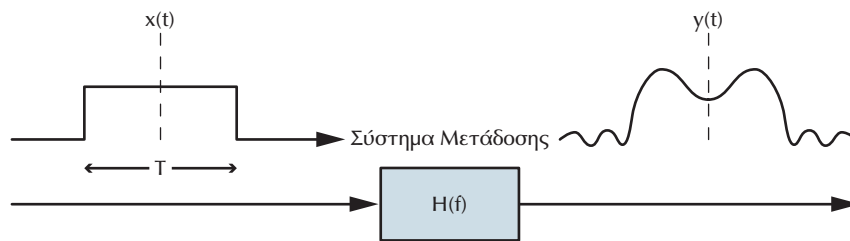
Για τη μεταφορά του σήματος από τη μία άκρη του τηλεπικοινωνιακού μέσου στην άλλη απαιτείται κάποιος χρόνος μετάδοσης. Η μεταβίβαση του σήματος δεν γίνεται ακαριαία. Στην περίπτωση, που η καθυστέρηση αυτή είναι διαφορετική για τις διάφορες συχνότητες του σήματος, παρατηρείται παραμόρφωση του σήματος στην έξοδο του τηλεπικοινωνιακού μέσου, που οφείλεται στο γεγονός, ότι κάθε συχνότητα χρειάζεται διαφορετικό χρόνο, για να φθάσει από την είσοδο της γραμμής στο τέρμα (άλλες συχνότητες φθάνουν νωρίτερα και άλλες αργότερα). Η παραμόρφωση αυτή ονομάζεται **παραμόρφωση φάσης (group delay)**.

Στο Σχήμα 3-10 δίνεται η διαφορετική συμπεριφορά της γραμμής στην καθυστέρηση μετάδοσης της κάθε συχνότητας. Σα βάση μέτρησης χρησιμοποιείται, συνήθως, ο χρόνος άφιξης της συχνότητας των 1800 Hz. Στον κατακόρυφο άξονα εκφράζεται η διαφορά του χρόνου άφιξης των διαφόρων συχνοτήτων σε  $\mu\text{sec}$  σε σχέση με αυτόν των 1800 Hz.



**Σχήμα 3-10** Συμπεριφορά γραμμής στην καθυστέρηση μετάδοσης της κάθε συχνότητας

Όπως έχουμε αναφέρει στο 2ο Κεφάλαιο, τα προς μετάδοση δεδομένα παριστάνονται από μία σειρά από ορθογωνικούς παλμούς σε διαφορετικούς συνδυασμούς. Καθώς αυτοί οι παλμοί περνούν από το σύστημα μετάδοσης, υφίστανται παραμορφώσεις πλάτους και φάσης, με αποτέλεσμα στην έξοδο του συστήματος μετάδοσης να παίρνουμε ένα παραμορφωμένο παλμό μη ορθογωνικό και με μεγαλύτερη διάρκεια από τον αρχικό (Σχήμα 3-11).



**Σχήμα 3-11** Παραμόρφωση ορθογωνικού παλμού κατά τη μετάδοσή του σε κανάλι επικοινωνίας

### 3.2.3 Θόρυβος

Θόρυβος χαρακτηρίζεται γενικά οποιοδήποτε σήμα σε ένα τηλεπικοινωνιακό κανάλι εκτός από το σήμα, που μεταφέρει την πληροφορία.

Οι κυριότερες πηγές θορύβου είναι:

- Ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές, που δημιουργούνται από γραμμές τροφοδοσίας συσκευών, όπως κινητήρες, ψυγεία, λυχνίες φθορισμού.
- Παρεμβολές ραδιοσυχνοτήτων, που προέρχονται από έντονα ηλεκτρομαγνητικά πεδία κεραιών εκπομπής, π.χ. ραδιοφωνίας και τηλεόρασης.
- Ενδογενής θόρυβος, που προέρχεται από ατελή συμπεριφορά των διατάξεων μετάδοσης.

Το θόρυβο μπορούμε να τον κατατάξουμε σε πολλές κατηγορίες, οι σπουδαιότερες των οποίων είναι:

- Θερμικός θόρυβος, οφείλεται στη θερμική κίνηση των ηλεκτρονίων. Είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας και υπάρχει σε όλες τις συσκευές και μέσα μετάδοσης. Αναφέρεται επίσης και ως λευκός θόρυβος, γιατί είναι ομοιόμορφα κατανεμημένος στο φάσμα συχνοτήτων.
- Θόρυβος ενδοδιαμόρφωσης είναι ο θόρυβος, που παράγεται, όταν σήματα διαφορετικών συχνοτήτων μοιράζονται το ίδιο φυσικό μέσο μετάδοσης.
- Θόρυβος συνακρόασης, οφείλεται σε μη επιθυμητή σύζευξη μεταξύ σημάτων, που ακολουθούν διαφορετικούς διαύλους (διαφωνία).
- Κρουστικός θόρυβος είναι ο ασυνεχής, μη προβλέψιμος θόρυβος, που τυπικά χαρακτηρίζεται από μικρή διάρκεια και υψηλές τιμές. Πηγές κρουστικού θορύβου είναι οι αστραπές και οι ηλεκτρικές μηχανές (βιομηχανικά παράσιτα).
- Θόρυβος κβαντοποίησης, που προέρχεται από τη μετατροπή αναλογικού σήματος σε ψηφιακό και το αντίστροφο.

Τα διάφορα παρασιτικά σήματα προσθέτονται στατιστικά, και αποτελούν τον ολικό θόρυβο του σήματος.

Η απόλυτη στάθμη του θορύβου μετράται σε dBm, όπως και η στάθμη του χρήσιμου σήματος. Στην πράξη, αυτό που έχει σημασία είναι η στάθμη του θορύβου σε σχέση με τη στάθμη του χρήσιμου σήματος. Η παράμετρος αυτή ονο-



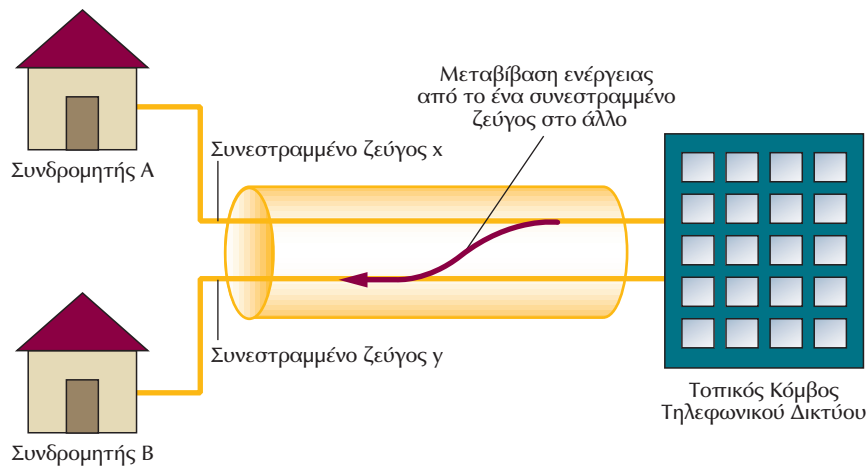
μάζεται «λόγος σήματος προς θόρυβο» και μετράται σε dB. Σε συνήθεις τηλεφωνικές γραμμές, λόγος σήματος προς θόρυβο μικρότερος από 20 dB θεωρείται κακός για μετάδοση δεδομένων, ενώ πάνω από 30 dB ικανοποιητικός.

### 3.2.4 Διαφωνία

Η διαφωνία αποτελεί ιδιαίτερο είδος θορύβου. Είναι η ανεπιθύμητη μεταβίβαση ενέργειας από ένα κανάλι σε άλλο, λόγω ηλεκτρικών, μαγνητικών ή γαλβανικών συζεύξεων μεταξύ των καναλιών. Το κανάλι, το οποίο μεταβιβάζει την ενέργεια, ονομάζεται παρενοχλόν κανάλι, ενώ το κανάλι, στο οποίο μεταβιβάζεται η ενέργεια, παρενοχλούμενο. Αποτέλεσμα της διαφωνίας είναι η μείωση της ποιότητας μετάδοσης τόσο στο παρενοχλόν όσο και στο παρενοχλούμενο κανάλι.

Μεταξύ δύο κυκλωμάτων υπάρχει ηλεκτρική ή μαγνητική σύζευξη, όταν το ηλεκτρικό ή μαγνητικό πεδίο του ενός κυκλώματος επιδρά στο άλλο κύκλωμα. Γαλβανική σύζευξη υπάρχει, όταν ρεύματα του ενός κυκλώματος ρέουν σε κανονική λειτουργία μέσω του άλλου κυκλώματος. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι κυκλώματα, που χρησιμοποιούν τη γη σαν αγωγό επιστροφής των ρευμάτων, κυκλώματα, δηλαδή, που έχουν κοινό αγωγό επιστροφής.

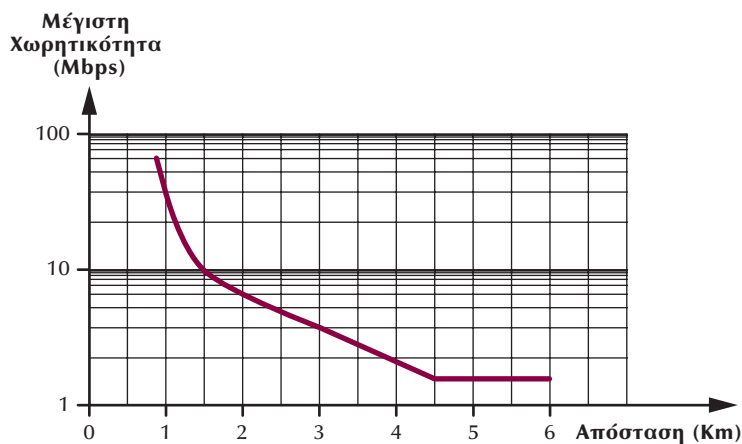
Για να κατανοήσουμε καλύτερα την έννοια της διαφωνίας, ας δούμε το παρακάτω παράδειγμα. Ας θεωρήσουμε δύο συνδρομητές A και B του τηλεφωνικού δικτύου, οι οποίοι συνδέονται στον τοπικό κόμβο του τηλεφωνικού δικτύου με τα γειτονικά ζεύγη καλωδίων x και y αντίστοιχα (Σχήμα 3-12). Τα συνεστραμμένα ζεύγη x και y ανήκουν στο ίδιο καλώδιο. Κατά τη μετάδοση του σήματος στο συνεστραμμένο ζεύγος x από τον συνδρομητή A, τμήμα της ενέργειας συλλαμβάνεται από το συνεστραμμένο ζεύγος y του συνδρομητή B. Αυτό το τμήμα της ενέργειας αντιστοιχεί στη διαφωνία μεταξύ των γειτονικών συνεστραμμένων ζευγών x και y.



Σχήμα 3-12 Διαφωνία

Η διαφωνία διακρίνεται σε καταληπτή και μη καταληπτή. Στην καταληπτή διαφωνία η συνδιάλεξη, που διεξάγεται στην παρενοχλούσα γραμμή, είναι ολικά ή μερικά ευδιάκριτη στην παρενοχλούμενη γραμμή, ενώ στην μη καταληπτή διαφωνία ακούγονται μόνο ασυνάρτητοι φθόγγοι και παρασιτικοί ήχοι.

Για να κατανοήσουμε καλύτερα την επίδραση της διαφωνίας στις τηλεφωνικές γραμμές, ας εξετάσουμε την παρακάτω περίπτωση. Ας θεωρήσουμε καλώδιο, το οποίο αποτελείται από 50 ζεύγη δισύρματων γραμμών και ας υποθέσουμε, ότι τα 49 ζεύγη γραμμών επιδρούν ταυτόχρονα στο ζεύγος αναφοράς. Στο Σχήμα 3-13 δίνεται η χωρητικότητα, του ζεύγους αναφοράς σε σχέση με το μέγιστο μήκος της γραμμής, σε περιβάλλον διαφωνίας. Έτσι, από το διάγραμμα του σχήματος μπορεί να διακρίνει κάποιος, ότι καθώς το μήκος της γραμμής αυξάνει από ένα 1 σε τρία 3 χιλιόμετρα, σε περιβάλλον διαφωνίας, η μέγιστη χωρητικότητα της γραμμής μειώνεται από 30 σε 3 Mbps.



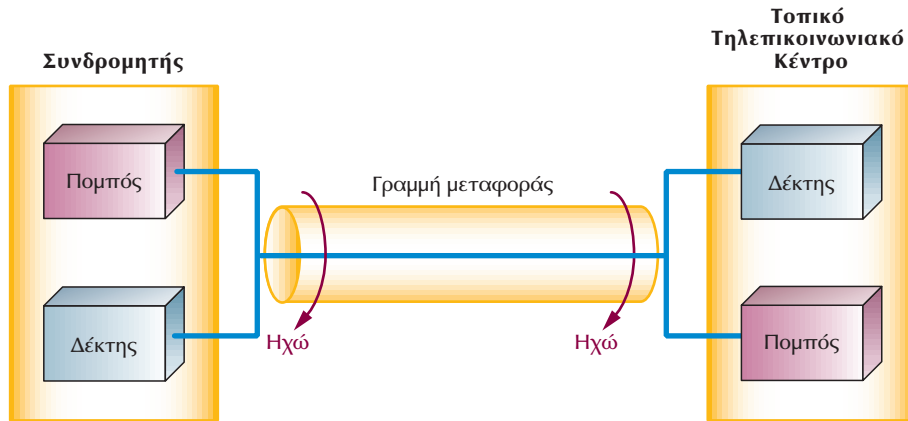
**Σχήμα 3-13** Χωρητικότητα συναρτήσεως του μέγιστου μήκους μετάδοσης, σε συνθήκες διαφωνίας μεταξύ των γραμμών μεταφοράς

### 3.2.5 Ηχώ

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

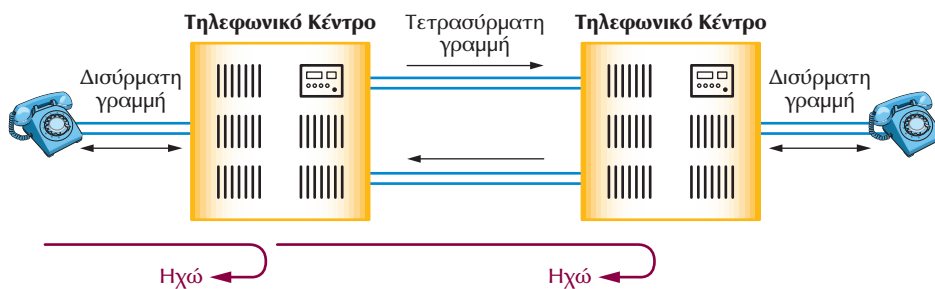
Ας εξετάσουμε την περίπτωση του Σχήματος 3-14, όπου συνδρομητής συνδέεται μέσω απλής δισύρματης τηλεφωνικής γραμμής στο τοπικό τηλεφωνικό κέντρο. Ο πομπός και ο δέκτης του συνδρομητή συνδέονται στη συνδρομητική γραμμή μέσω διακλάδωσης, η οποία επιτρέπει να περνούν σήματα και προς τις δύο κατευθύνσεις ταυτόχρονα. Ανάλογη διακλάδωση υπάρχει και προς την πλευρά του τηλεφωνικού κέντρου. Η ανάκλαση του μεταδιδόμενου σήματος, είτε στη

διακλάδωση του συνδρομητή είτε στη διακλάδωση του τηλεφωνικού κέντρου, έχει ως αποτέλεσμα την επιστροφή τμήματος του σήματος πίσω στον εκπομπό. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται ηχώ.



**Σχήμα 3-14** Ηχώ

Η ηχώ γίνεται αντιληπτή, όταν μεσολαβεί ορισμένη χρονική καθυστέρηση μεταξύ του αρχικού και του ανακλώμενου σήματος. Για αυτό το λόγο, εξαρτάται από το μήκος της γραμμής και γίνεται τόσο περισσότερο ενοχλητική όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος της. Συνήθως δημιουργείται, όταν έχουμε αλλαγές στη σύνθετη αντίσταση μιας γραμμής, όπως στις περιπτώσεις κακής προσαρμογής μεταξύ γραμμών. Περίπτωση κακής προσαρμογής, που δημιουργεί ηχώ, είναι η σύνδεση δύο γραμμών διαφορετικής σύνθετης αντίστασης, για παράδειγμα ενός ομοαξονικού και ενός συνεστραμμένου καλωδίου ή μιας δισύρματης με μία τετρασύρματη γραμμή (Σχήμα 3-15).



**Σχήμα 3-15** Δημιουργία ηχούς

### 3.3 Επιλογή μέσου μετάδοσης

Ο τελικός στόχος σε κάθε τηλεπικοινωνιακή ζεύξη είναι η μετάδοση της πληροφορίας από το ένα σημείο στο άλλο με τις **λιγότερες δυνατές αλλοιώσεις** και το **χαμηλότερο κόστος**. Αυτά αποτελούν και το βασικό παράγοντα επιλογής του μέσου μετάδοσης. Από τη μία πλευρά έχουμε τη μείωση του κόστους και από την άλλη την εξασφάλιση ελάχιστης ποιότητας, η οποία θα είναι αρκετή, προκειμένου να διασφαλίσει τα χαρακτηριστικά μετάδοσης, που απαιτούνται από την εφαρμογή μας. Το κόστος μετάδοσης εξαρτάται κυρίως από το είδος του μέσου μετάδοσης, αλλά και από την πολλαπλή εκμετάλλευσή του, δηλαδή από τη χρησιμοποίησή του για τη μετάδοση ταυτόχρονα μεγάλου αριθμού συνδρομητικών ζεύξεων. Η πολλαπλή εκμετάλλευση του μέσου μετάδοσης δεν εξαρτάται μόνο από τα βασικά χαρακτηριστικά μετάδοσης του μέσου, αλλά και από την εφαρμογή μεθόδων πολυπλεξίας στη συχνότητα, στο χρόνο ή στο μήκος κύματος.

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

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

**Εύρος ζώνης συχνοτήτων:** Κάθε μέσο μετάδοσης επιτρέπει τη μετάδοση σε ορισμένη περιοχή συχνοτήτων, την περιοχή μετάδοσής του. Για τη μετάδοση της πληροφορίας χορηγείται ορισμένη ζώνη μέσα σε αυτή την περιοχή. Από την ζώνη συχνοτήτων, που χρησιμοποιείται για τη μετάδοση, εξαρτάται και ο ρυθμός μετάδοσης (ταχύτητες) και, επομένως, ο όγκος της πληροφορίας, που μπορεί να μεταφέρεται.

**Το μέγιστο μήκος του μέσου μετάδοσης:** Προσδιορίζει τη μέγιστη απόσταση, στην οποία μπορεί να μεταφερθεί η πληροφορία, χωρίς να γίνει χρήση αναμεταδοτών ή άλλων ενεργών στοιχείων που ενισχύουν το σήμα. Η μέγιστη απόσταση μεταφοράς της πληροφορίας εξαρτάται από τις απώλειες, που εισάγει το μέσο στα μεταδιδόμενα σήματα επικοινωνίας (πληροφορία). Θα πρέπει οι απώλειες να είναι τέτοιες, ώστε να επιτρέπεται η ορθή ανάκτηση ή αποκατάσταση του σήματος στην πλευρά του δέκτη, έτσι ώστε να μην υπάρχει αλλοίωση της μεταφερόμενης πληροφορίας.

**Ευαισθησία στο θόρυβο:** Προσδιορίζει την ευαισθησία, την οποία παρουσιάζει το μέσο σε θορύβους (οποιοδήποτε σήμα πλην του μεταδιδόμενου), που παρενοχλούν το προς μετάδοση σήμα.

**Ευκολία χρήσης:** Η ευκολία με την οποία επιτυγχάνεται η εγκατάσταση του μέσου, οι διάφορες διασυνδέσεις, οι έλεγχοι και η συντήρησή του.

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

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφέρουμε, ότι από τα παραπάνω χαρακτηριστικά των μέσων μετάδοσης το εύρος ζώνης, η ευαισθησία στο θόρυβο και το μέγιστο μήκος δεν είναι ανεξάρτητα το ένα από το άλλο, αλλά υπάρχει ισχυρή αλληλεξάρτηση μεταξύ τους. Για να γίνει αυτό περισσότερο κατανοητό, ας εξετάσουμε την περίπτωση του χάλκινου καλωδίου. Για να επιτευχθούν υψηλοί ρυθμοί μετάδοσης, θα πρέπει η μετάδοση να γίνει στην περιοχή υψηλών συχνοτήτων. Στο χάλκινο καλώδιο, όμως, οι υψηλές συχνότητες παρουσιάζουν μεγαλύτερη ευαισθησία και εξασθενίζουν πολύ πιο γρήγορα από ό,τι οι χαμηλές συχνότητες. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μειώνεται το μέγιστο μήκος του μέσου μετάδοσης και να απαιτείται η χρήση αναμεταδοτών σε μικρότερες αποστάσεις.

Συνήθως, για την επιλογή του μέσου μετάδοσης πρωτεύοντα ρόλο παίζει η ποσότητα πληροφορίας, που μπορεί να μεταδοθεί, δηλαδή ο απαιτούμενος ρυθμός μετάδοσης. Ο ρυθμός αυτός, όπως έχει ήδη αναφερθεί, εξαρτάται από τις συχνότητες διέλευσης του μέσου. Επομένως, η γνώση της περιοχής συχνοτήτων, στην οποία είναι δυνατή η μετάδοση σε καθένα από τα παραπάνω μέσα, δίνει πολύτιμες πληροφορίες και δικαιολογεί τις διαφορές, που παρουσιάζονται στις επιτευχθείσες ταχύτητες μετάδοσης. Αξίζει να αναφέρουμε ως παράδειγμα, ότι ο σημαντικότερος λόγος για τον οποίο τα καλώδια οπτικών ινών έχουν πολύ μεγαλύτερη χωρητικότητα από τα άλλα μέσα, είναι ότι χρησιμοποιούν ως μέσο μετάδοσης το φως, η συχνότητα του οποίου βρίσκεται στην περιοχή των TeraHertz ( $10^{12}$  Hertz). Αυτό σημαίνει, ότι η οπτική ίνα μπορεί να μεταφέρει τρισεκατομμύρια bit ανά δευτερόλεπτο.

Προκειμένου να γίνει επιλογή του μέσου μετάδοσης, που θα χρησιμοποιήσουμε, πρέπει να εξετασθούν εκτός από τη τοπολογία του συστήματος που θα υλοποιήσουμε, τα τεχνικά χαρακτηριστικά καθώς και το κόστος (εγκατάστασης και λειτουργίας) των κατάλληλων μέσων. Με αυτό το τρόπο, γνωρίζοντας τις απαιτήσεις του συστήματος μας μπορούμε να επιλέξουμε τη καλύτερη λύση.

Στη συνέχεια, θα παρουσιάσουμε τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των μέσων μετάδοσης εξετάζοντας την συμπεριφορά τους με βάση τα γενικά χαρακτηριστικά, που παρουσιάστηκαν παραπάνω.

### 3.3.1 Χάλκινο καλώδιο

Τα χάλκινα καλώδια έχουν εύρος ζώνης μερικών εκατοντάδων ΚHz και μέγεθος, που εξαρτάται από τη διάμετρο των συρμάτων. Όσο μεγαλύτερη είναι η διάμετρος, τόσο αυξάνει και το εύρος ζώνης. Χρησιμοποιούνται, κυρίως, για συνδέσεις κοντινών αποστάσεων. Η σχετικά μεγάλη ευαισθησία του σε περιβάλλον θορύβου, αντιμετωπίζεται από τις τεχνικές εγκαταστάσεις των καλωδίων αυτών. Η χωρητικότητα του χάλκινου καλωδίου εξαρτάται από τη διάμετρο του καλωδίου, το μήκος του κυκλώματος και την απόσταση μεταξύ των αναμεταδοτών. Στο χάλκινο καλώδιο υπάρχουν σημαντικοί περιορισμοί όσον αφορά το μήκος της γραμμής και αυτό επειδή, όταν αυξάνεται το μήκος της γραμμής, αυξάνει η εξασθένηση του σήματος.

Το χάλκινο καλώδιο είναι ο απλούστερος κατασκευαστικά τύπος μέσου μετάδοσης και χρησιμοποιείται ευρέως, διότι είναι φθηνό και εύκολο στη χρήση και εγκατάσταση. Επίσης αποτελεί ώριμη τεχνολογία, ευρέως γνωστή και διαδεδομένη.

#### **Πλεονεκτήματα**

1. Εύκολο στη χρήση και εγκατάσταση
2. Μειωμένο Κόστος
3. Ευρέως διαδεδομένο

#### **Μειονεκτήματα:**

1. Ευαισθησία στο θόρυβο
2. Μικρότερη χωρητικότητα από το αμοαξονικό καλώδιο

### 3.3.2 Ομοαξονικό καλώδιο

Το ομοαξονικό καλώδιο έχει μεγάλη διάμετρο, με αποτέλεσμα να γίνεται δύσκολο στην εγκατάστασή του και να παρουσιάζει σχετική μηχανική δυσκαμψία. Επίσης, λόγω της μορφολογίας του, είναι δύσκολη η επίτευξη συνδέσεων, με αποτέλεσμα να επιδέχεται μόνο ειδικούς τύπους συνδέσμων. Το γεγονός, ότι η διάμετρος του είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του χάλκινου καλωδίου, από τη μία πλευρά αυξάνει τη χωρητικότητα του και τη μέγιστη απόσταση μετάδοσης, από την άλλη, όμως, αυξάνει και το κόστος του. Η χωρητικότητα του εξαρτάται, εκτός από τη διάμετρό του, και από το μήκος του κυκλώματος και την απόσταση των αναμεταδοτών. Όσον αφορά τη μέγιστη απόσταση της γραμμής, δεν παρουσιάζονται τόσοι περιορισμοί όσοι στο χάλκινο καλώδιο, όμως η χρήση αναμεταδοτών και άλλων ενεργών στοιχείων είναι απαραίτητη για τη μετάδοση υψηλών συχνοτήτων σε μεγάλες αποστάσεις. Επίσης, παρουσιάζει μεγαλύτερη ασφάλεια στην επικοινωνία από ό,τι το χάλκινο καλώδιο.

#### **Πλεονεκτήματα**

1. Μεγαλύτερη χωρητικότητα από ό,τι τα χάλκινα καλώδια
2. Μικρότερη ευαισθησία στις παρεμβολές από ό,τι το χάλκινο καλώδιο
3. Μεγαλύτερη ασφάλεια από ό,τι τα χάλκινα καλώδια

#### **Μειονεκτήματα:**

1. Υψηλοί ρυθμοί εξασθένησης το καθιστούν ακριβό για μεγάλες αποστάσεις
2. Περισσότερο ογκώδες και πιο ακριβό από το χάλκινο καλώδιο
3. Μηχανική δυσκαμψία και δυσκολία συνδέσεων

### **3.3.3 Οπτική Ίνα**

Οι οπτικές ίνες φαίνεται να είναι σήμερα η καλύτερη λύση στα μέσα μετάδοσης και αυτό γιατί τα πλεονεκτήματα, που παρουσιάζουν, σε σχέση με τα άλλα μέσα είναι ιδιαίτερα σημαντικά.

Οι οπτικές ίνες διαθέτουν πολύ μεγάλο εύρος ζώνης συχνοτήτων, με αποτέλεσμα να επιτυγχάνονται υψηλές ταχύτητες μετάδοσης (της τάξης των Gbps). Συνήθεις ταχύτητες μετάδοσης είναι αυτές των 2 και 10 Gbps, ενώ έχουν επίσης αναπτυχθεί συστήματα των 20, 40 και 50 Gbps. Σε περίπτωση πολυπλεξίας με διαίρεση μήκους κύματος, οι ταχύτητες φθάνουν στα μερικά Tbps. Επίσης, δεν επηρεάζονται από ηλεκτρικά και μαγνητικά πεδία, με αποτέλεσμα να συνιστάται η χρήση τους σε βιομηχανικό περιβάλλον και σε χώρους με υψηλό θόρυβο. Η εξασθένηση των σημάτων είναι μικρότερη από ό,τι στα χάλκινα και ομοαξονικά καλώδια, με αποτέλεσμα οι αποστάσεις μεταξύ ενισχυτών ή άλλων ενεργών στοιχείων να κυμαίνονται από μερικά μέχρι και μερικές εκατοντάδες χιλιόμετρα, ανάλογα με τη τεχνική και το ρυθμό μετάδοσης. Η υποκλοπή ή η παρεμβολή πληροφορίας είναι πολύ δύσκολο να επιτευχθούν, με αποτέλεσμα οι οπτικές ίνες να συνιστούν πολύ ασφαλές μέσο μετάδοσης. Επίσης, το βάρος και ο όγκος τους είναι σημαντικά μικρότερος από τα αντίστοιχα μεγέθη των άλλων αγωγών. Αξίζει να αναφέρουμε, σαν παράδειγμα, ότι χάλκινο καλώδιο με 1000 ζεύγη και μήκος 500 μέτρων ζυγίζει περίπου 4000 κιλά, ενώ οπτική ίνα του ίδιου μήκους, που περιέχει τον ίδιο αριθμό καναλιών, ζυγίζει μόνο 45 κιλά. Επιπλέον, δεν είναι ευαίσθητη σε υγρό περιβάλλον, όπου τα χάλκινα καλώδια μπορεί να δημιουργήσουν βραχυκυκλώματα και διαφωνίες. Επειδή η οπτική ίνα δεν μεταφέρει ηλεκτρικό σήμα, προτιμάται σε περιοχές υψηλού κίνδυνου εκρήξεων από σπινθήρες (χώροι καυσίμων, εύφλεκτων αερίων κλπ.).

Συμπερασματικά, θα πρέπει να αναφέρουμε, ότι τα καλώδια οπτικών ινών παρουσιάζουν ίδιες μηχανικές ιδιότητες με τα ομοαξονικά, αλλά είναι ελαφρότερα σε βάρος, μικρότερα σε διάμετρο και οι αποστάσεις μεταξύ των επαναληπτών είναι μεγαλύτερες. Ένα από τα βασικότερα μειονεκτήματα, που παρουσιάζουν οι οπτικές ίνες, είναι η δυσκολία υλοποίησης συνδέσεων, επειδή απαιτείται

υψηλή προσαρμογή και ευθυγράμμιση της φωτεινής πηγής, για να μην υπάρχει διασπορά και να ελαχιστοποιηθούν οι απώλειες. Όμως, η πρόοδος της τεχνολογίας, που έχει σημειωθεί τα τελευταία χρόνια στην περιοχή των οπτικών ινών, αντιμετώπισε με επιτυχία την παραπάνω δυσκολία, με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η χρήση τους και για συνδέσεις σημείου προς πολλά σημεία. Παρόλα αυτά, η χρήση τους σε τέτοιες συνδέσεις δεν έχει ακόμη ευρέως εξαπλωθεί, ιδιαίτερα λόγω του αυξημένου κόστους, που παρουσιάζουν τέτοια συστήματα.

#### **Πλεονεκτήματα**

1. Μεγάλη χωρητικότητα της τάξης των Gbps
2. Με νέες τεχνικές πολυπλεξίας με διαίρεση μήκους κύματος (*Wave division Multiplexing*) επιτυγχάνονται ταχύτητες της τάξης των Tbps.
3. Μικρό μέγεθος και βάρος
4. Χαμηλή εξασθένηση
5. Απρόσβλητη σε περιβαντολλογικές παρεμβολές
6. Υψηλή ασφάλεια – δυσκολία στις υποκλοπές
7. Μεγάλες εγκαταστάσεις μειώνουν το κόστος

#### **Μειονεκτήματα:**

1. Δυσκολία στη σύνδεση, με συνέπεια την ανάγκη ύπαρξης επιδέξιων εγκαταστατών
2. Δυσκολία διασύνδεσης πολλών χρηστών πάνω σε ένα καλώδιο
3. Ακριβές για μικρές αποστάσεις

### **3.3.4 Επίγειες Μικροκυματικές Ζεύξεις**

Οι μικροκυματικές ζεύξεις παρουσιάζουν μεγάλη ευαισθησία στο περιβαντολλογικό θόρυβο και ιδιαίτερα στην κακοκαιρία. Αξίζει να αναφερθεί, ότι μία καταιγίδα είναι ικανή ακόμα και να διακόψει τη ζεύξη. Επίσης, επειδή απαιτείται η οπτική επαφή μεταξύ πομπού και δέκτη, για ζεύξεις μεγάλων αποστάσεων είναι αναπόφευκτη η χρήση αλληπάλληλων αναμεταδοτών.

Οι μικροκυματικές ζεύξεις προσφέρουν αξιόλογη χωρητικότητα μετάδοσης, που συνήθως ξεπερνά τα 6 Gbps, ενώ συνήθεις ρυθμοί μετάδοσης είναι αυτοί των 1,5 και 45 Mbps. Σχετικά με την ασφάλεια μετάδοσης, όπως και όλα τα άλλα ασύρματα μέσα, προσφέρουν χαμηλή ασφάλεια, με συνέπεια να είναι αναγκαία η κρυπτογράφηση της μεταδιδόμενης πληροφορίας. Το κόστος του εξοπλισμού τέτοιων συστημάτων είναι μεγάλο. Παρόλα αυτά συγκρινόμενες με τα ενσύρματα μέσα μετάδοσης, πολλές φορές αποδεικνύονται ελκυστικότερες αν αναλογιστούμε τα προβλήματα, που παρουσιάζονται στα ενσύρματα μέσα μετάδοσης και αφορούν δικαιώματα διέλευσης, άνοιγμα φρεατίων, τοποθέτηση καλωδίων και συνδέσεων. Άλλος παράγοντας, που μπορεί να συνηγορήσει υπέρ της χρή-



σης των ασύρματων ζεύξεων, είναι η μορφολογία του εδάφους των περιοχών, που θέλουμε να συνδέσουμε.

#### **Πλεονεκτήματα**

1. Δεν χρειάζεται καλωδίωση
2. Μεγάλη χωρητικότητα
3. Μετάδοση πολλαπλών καναλιών

#### **Μειονεκτήματα:**

1. Απαιτείται οπτική επαφή
2. Ακριβοί πύργοι και αναμεταδότες
3. Παρεμβολές από διερχόμενα αεροπλάνα και βροχή
4. Μικρή ασφάλεια, εύκολη υποκλοπή

### **3.3.5 Δορυφορικές Μικροκυματικές Ζεύξεις**

Οι δορυφορικές ζεύξεις διατηρούν και αυτές τα μειονεκτήματα των ασύρματων μέσων μετάδοσης, δηλαδή χαμηλή ασφάλεια, ευαισθησία σε παρεμβολές και αυξημένο κόστος εξοπλισμού. Παρόλα αυτά, λόγω των πλεονεκτημάτων που προσφέρουν, παραμένουν αρκετά ελκυστικές, ιδιαίτερα για υπηρεσίες εκπομπής (broadcasting).

#### **Πλεονεκτήματα**

1. Καλύπτουν μεγάλη γεωγραφική περιοχή
2. Προσφέρουν μεγάλη χωρητικότητα της τάξης των 45 Mbps, η οποία όμως συγκρινόμενη με τη χωρητικότητα των οπτικών ινών είναι μικρή.
3. Είναι ανεξάρτητες από την απόσταση των σημείων, που θέλουμε να διασυνδέσουμε
4. Είναι φθηνές για επικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων, αφού είναι ανεξάρτητες της απόστασης

#### **Μειονεκτήματα:**

1. Μεγάλο αρχικό κόστος
2. Ευαισθησία στο θόρυβο και παρεμβολές
3. Καθυστερήση μετάδοσης με αποτέλεσμα να δημιουργούνται σημαντικές καθυστερήσεις στις επικοινωνίες υπολογιστών.
4. Χαμηλή ασφάλεια

Στους παρακάτω πίνακες δίνονται συγκεντρωτικά τυπικά χαρακτηριστικά των μέσων μετάδοσης. Στον Πίνακα 3-1 συγκρίνουμε τα ενσύρματα μέσα μετάδοσης, ενώ στον Πίνακα 3-2 τα ασύρματα με τις οπτικές ίνες.

| Χαρακτηριστικά            | Χάλκινο καλώδιο   | Ομοαξονικό       | Οπτική ίνα           |
|---------------------------|-------------------|------------------|----------------------|
| Ρυθμός Μετάδοσης          | Χαμηλοί / Μέτριοι | Μέτριοι / Υψηλοί | Υψηλοί / Πολύ υψηλοί |
| Μήκος καλωδίου            | Μικρό / Μέτριο    | Μέτριο           | Μεγάλο               |
| Διαθεσιμότητα             | Πολύ Μεγάλη       | Μέτρια           | Μέτρια               |
| Πολυπλοκότητα διασύνδεσης | Χαμηλή            | Μέτρια           | Υψηλή                |
| Ασφάλεια                  | Μεσαία / Υψηλή    | Μεσαία / Υψηλή   | Υψηλή                |
| Κόστος                    | Χαμηλό            | Χαμηλό / Μέτριο  | Υψηλό                |

**Πίνακας 3-1** Χαρακτηριστικά Ενσύρματων μέσων μετάδοσης

| Χαρακτηριστικά                                   | Οπτική Ίνα   | Επίγειες ζεύξεις   | Δορυφορικές ζεύξεις                                |
|--|--|--|--|
| Ευαισθησία στις παρεμβολές                       | Απρόσβλητη   | Μεγάλη   | Μεγάλη   |
| Ασφάλεια   | Μεγάλη   | Χαμηλή<br>Απαιτείται κρυπτογράφηση της πληροφορίας       | Χαμηλή<br>Απαιτείται κρυπτογράφηση της πληροφορίας |
| Δυνατότητα διασύνδεσης σημείου προς πολλά σημεία | Τεχνικά δεν υπάρχει πρόβλημα, όμως το κόστος παραμένει υψηλό | Χρησιμοποιούνται, κυρίως, για συνδέσεις σημείο με σημείο | Υλοποιείται εύκολα                                 |
| Διασύνδεση με τους χρήστες                       | Απαιτείται συνδρομητικό δίκτυο                               | Με κεραιές, που εγκαθίστανται στους χρήστες              | Με κεραιές, που εγκαθίστανται στους χρήστες        |

**Πίνακας 3-2** Χαρακτηριστικά ασύρματων μέσων μετάδοσης και οπτικών ινών

## ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ

Το μέσο μετάδοσης αποτελεί τη φυσική σύνδεση μεταξύ του εκπομπού και του παραλήπτη της πληροφορίας σε οποιοδήποτε σύστημα επικοινωνίας. Τα μέσα μετάδοσης διακρίνονται σε ενσύρματα και ασύρματα. Στα ενσύρματα ανήκουν τα χάλκινα καλώδια, τα ομοαξονικά και οι οπτικές ίνες, ενώ στα ασύρματα οι επίγειες και δορυφορικές μικροκυματικές ζεύξεις και τα συστήματα κυψελοειδούς τηλεφωνίας.

Τα βασικότερα προβλήματα, που παρουσιάζονται, στα μέσα μετάδοσης είναι:

- Έλλειψη προσαρμογής στη γραμμή
- Παραμορφώσεις
- Διαφωνία
- Θόρυβος
- Ηχώ

Τα βασικά χαρακτηριστικά των μέσων μετάδοσης είναι το εύρος ζώνης συχνοτήτων, το μέγιστο μήκος, η ευαισθησία στο θόρυβο, η ευκολία χρήσης και η ασφάλεια. Για την επιλογή του μέσου μετάδοσης εξετάζουμε ποιο, με βάση τα τεχνικά χαρακτηριστικά του, είναι το καταλληλότερο για την τοπολογία του συστήματος, που θα υλοποιήσουμε. Στην επιλογή του μέσου μετάδοσης σημαντικό παράγοντα παίζει και το κόστος εγκατάστασης και λειτουργίας.

## Ερωτήσεις – Ασκήσεις

1. Σε ποιες κατηγορίες διακρίνουμε τα μέσα μετάδοσης;
2. Ποια είναι τα ενσύρματα μέσα μετάδοσης;
3. Ποια είναι τα ασύρματα μέσα μετάδοσης;
4. Ποια τα βασικότερα μειονεκτήματα και πλεονεκτήματα, που παρουσιάζουν τα ασύρματα μέσα;
5. Ποια είναι τα προβλήματα μετάδοσης;
6. Τι εννοούμε, όταν λέμε προσαρμογή στη γραμμή;
7. Δώστε τη φυσική ερμηνεία του φαινομένου προσαρμογής στη γραμμή;
8. Τι είναι ο θόρυβος και που οφείλεται;
9. Ποια είδη θορύβου γνωρίζετε;
10. Που οφείλονται και πόσα είδη παραμορφώσεων γνωρίζετε;
11. Τι είναι η διαφωνία και τι η ηχώ;

12. Σε ποιες κατηγορίες κατατάσσεται η διαφωνία ;
13. Ποια είναι τα βασικά χαρακτηριστικά των μέσων μετάδοσης;
14. Πως σχετίζεται ο ρυθμός μετάδοσης με την περιοχή συχνοτήτων, που γίνεται η εκπομπή;
15. Αναφέρετε τα βασικότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των:
  - Οπτικών ινών
  - Χάλκινων καλωδίων
  - Ομοαξονικών
  - Δορυφορικών μικροκυματικών ζεύξεων
  - Επίγειων μικροκυματικών ζεύξεων
16. Ποια ζώνη συχνοτήτων επιτρέπει να περνά το χάλκινο καλώδιο του τηλεφωνικού δικτύου;
  - α. Μικροκύματα
  - β. Ραδιοκύματα
  - γ. Φωνητικές συχνότητες
17. Ποιο είναι το μέσο μετάδοσης στις οπτικές ίνες;
  - α. Νήμα χάλκινου σύρματος
  - β. Οπτική ίνα από γυαλί ή πλαστικό
  - γ. Ηλεκτρικό ρεύμα
  - δ. Φως
18. Ποιος είναι ο φορέας μετάδοσης στις οπτικές ίνες;
  - α. Ηλεκτρικό ρεύμα
  - β. Ηλεκτρική τάση
  - γ. Οπτική ίνα από γυαλί ή πλαστικό
  - δ. Φως
19. Από τι αποτελούνται οι οπτικές ίνες;
  - α. Από δύο ομόκεντρους μεταλλικούς αγωγούς
  - β. Από δύο ομόκεντρες οπτικές ίνες
  - γ. Από την κεντρική ίνα, την επίστρωση και το κάλυμμα
20. Ποιο μέσο μετάδοσης χρησιμοποιείται ευρέως σε δι-ηπειρωτικές ζεύξεις;
  - α. Ομοαξονικό καλώδιο
  - β. Οπτική ίνα
  - γ. Χάλκινο καλώδιο
21. Ποια από τα παρακάτω χαρακτηρίζουν τα ασύρματα μέσα μετάδοσης;
  - α. Ευαισθησία στο θόρυβο
  - β. Χαμηλός βαθμός ασφάλειας
  - γ. Χαμηλές ταχύτητες μετάδοσης
  - δ. Προβλήματα συνδέσεων

22. Ποιες περιοχές συχνοτήτων χρησιμοποιούνται από τα συστήματα επίγειων μικροκυματικών ζεύξεων;  
α. 2-40 KHz  
β. 2-40 MHz  
γ. 2-40 GHz  
δ. 2-40 THz
23. Ποια από τα παρακάτω χαρακτηρίζουν τις επίγειες μικροκυματικές ζεύξεις;  
α. Είναι ανεξάρτητες της απόστασης  
β. Απαιτούν την οπτική επαφή πομπού και δέκτη  
γ. Απαιτούν τη χρήση αναμεταδοτών  
δ. Παρέχουν μεγάλη ασφάλεια
24. Ποια είναι η αναγκαία προϋπόθεση, ώστε οι δορυφόροι να βρίσκονται πάντα πάνω από το ίδιο σημείο της γης;  
α. Να περιστρέφονται με γωνιακή ταχύτητα μεγαλύτερη της γης  
β. Να περιστρέφονται με γωνιακή ταχύτητα μικρότερη της γης  
γ. Να περιστρέφονται με γωνιακή ταχύτητα ίση με αυτήν της γης
25. Από τι εξαρτάται η ωμική αντίσταση των αγωγών;  
α. Μήκος και διάμετρος αγωγού  
β. Συχνότητα σήματος  
γ. Διηλεκτρικό μεταξύ των αγωγών
26. Από τι εξαρτάται η χωρητική αντίσταση των αγωγών;  
α. Μήκος και διάμετρος αγωγού  
β. Συχνότητα σήματος  
γ. Διηλεκτρικό μεταξύ των αγωγών
27. Από τι εξαρτάται η επαγωγική αντίσταση των αγωγών;  
α. Μήκος και διάμετρος αγωγού  
β. Συχνότητα σήματος  
γ. Διηλεκτρικό μεταξύ των αγωγών
28. Ποιες από τις παρακάτω αντιστάσεις πρέπει να είναι ίσες, για να έχουμε προσαρμογή στην γραμμή;  
α. Αντίσταση γραμμής  
β. Τερματική αντίσταση γραμμής  
γ. Εσωτερική αντίσταση γεννήτριας τροφοδοσίας
29. Κατά την προσαρμογή στη γραμμή επιτυγχάνονται μέγιστη μεταφορά ισχύος από τη:  
α. Γεννήτρια στην είσοδο της γραμμής  
β. Τη γραμμή στο φορτίο  
γ. Από το φορτίο στη γραμμή

30. Στην προσαρμογή η ενέργεια, που φθάνει στο τέρμα της γραμμής:  
 α. Απορροφάται όλη από το δέκτη  
 β. Τμήμα της ανακλάται και επιστρέφει στην είσοδο της γραμμής
31. Οι παραμορφώσεις του μεταδιδόμενου σήματος συντελούν στην:  
 α. Αύξηση της αξιοπιστίας του μέσου μετάδοσης  
 β. Εξασθένηση του σήματος  
 γ. Αλλοίωση της πληροφορίας και εισαγωγή σφαλμάτων  
 δ. Ενίσχυση του σήματος
32. Κατά τη μετάδοση ενός σήματος όλες οι συχνότητες του σήματος υφίστανται:  
 α. Την ίδια καθυστέρηση  
 β. Διαφορετική καθυστέρηση  
 γ. Την ίδια εξασθένηση  
 δ. Διαφορετική εξασθένηση
33. Αντιστοιχίστε τα παρακάτω:
- |                         |   |  |
|-------------------------|---|--|
| Θερμικός θόρυβος        | • | Ατελή συμπεριφορά  |
| Θόρυβος ενδοδιαμόρφωσης | • | • διατάξεων μετάδοσης  |
| Θόρυβος συνακρόασης     | • | • Θερμική κίνηση ηλεκτρονίων   |
| Κρουστικός θόρυβος      | • | • Σήματα διαφορετικών<br>συχνοτήτων, που μεταφέρονται<br>στο ίδιο κανάλι     |
| Ενδογενής θόρυβος       | • | • Σύζευξη μεταξύ σημάτων,<br>που ακολουθούν διαφορετικούς<br>διαύλους        |
|                         |   | • Μη προβλέψιμος, ασυνεχής<br>θόρυβος με μικρή διάρκεια<br>και μεγάλες τιμές |
34. Αντιστοιχίστε τα παρακάτω:
- |  |   |                       |
|--|---|-----------------------|
| Ανεπιθύμητη μεταφορά ενέργειας<br>από ένα κανάλι σε ένα άλλο | • | • Παραμόρφωση πλάτους |
| Επιστροφή τμήματος του σήματος<br>στο δημιουργό του          | • | • Ηχώ                 |
| Διαφορετική εξασθένηση συχνοτήτων                            | • | • Παραμόρφωση φάσης   |
| Διαφορετική καθυστέρηση συχνοτήτων                           | • | • Διαφωνία            |
35. Η ηχώ γίνεται περισσότερο αντιληπτή όσο:  
 α. Αυξάνει το μήκος της γραμμής

- β. Μειώνεται το μήκος της γραμμής
- γ. Είναι ανεξάρτητη από το μήκος της γραμμής

36. Ποια από τα παρακάτω χαρακτηριστικά καθορίζουν τη ταχύτητα μετάδοσης του μέσου:

- α. Εύρος ζώνης
- β. Ασφάλεια
- γ. Ευαισθησία στο θόρυβο
- δ. Μέγιστο μήκος του μέσου μετάδοσης
- ε. Ευκολία στη χρήση

37. Ποιο είναι το ασφαλέστερο μέσο μετάδοσης:

- α. Οπτικές ίνες
- β. Επίγειες μικροκυματικές ζεύξεις
- γ. Ομοαξονικά καλώδια
- δ. Χάλκινο καλώδιο
- ε. Δορυφορικές μικροκυματικές ζεύξεις

38. Κατατάξτε τα μέσα μετάδοσης ανάλογα με τις ταχύτητες μετάδοσης:

- α. Οπτικές ίνες
- β. Χάλκινο καλώδιο
- γ. Δορυφορικές μικροκυματικές ζεύξεις

39. Ποια μέσα μετάδοσης παρουσιάζουν προβλήματα συνδέσεων:

- α. Οπτικές ίνες
- β. Επίγειες μικροκυματικές ζεύξεις
- γ. Ομοαξονικά καλώδια
- δ. Χάλκινο καλώδιο

40. Κατατάξτε τα ενσύρματα μέσα μετάδοσης ανάλογα με το βάρος τους:

- α. Οπτικές ίνες
- β. Ομοαξονικά καλώδια
- γ. Χάλκινο καλώδιο

41. Ποιο από τα μέσα μετάδοσης είναι καταλληλότερο για τη δημιουργία συνδρομητικού δικτύου (συνδέσεις σημείο προς πολλά σημεία):

- α. Οπτικές ίνες
- β. Ομοαξονικά καλώδια
- γ. Χάλκινο καλώδιο

## Βιβλιογραφία

1. Αλεξόπουλος Α. – Λαγογιάννης Γ., *Τηλεπικοινωνίες και Δίκτυα Υπολογιστών*, 4<sup>η</sup> έκδοση, 1997
2. Αποστολόπουλος Θ., *Δίκτυα Υπολογιστών*, Αθήνα 1994
3. Γεωργόπουλος Χ., *Οπτικές Ύφες: Θεωρία και εφαρμογές*, Ξάνθη 1989
4. Κοκκινάκης Γ., *Βασικές Γνώσεις Τηλεφωνίας Τηλεγραφίας*, Ίδρυμα Ευγενίδου, Αθήνα 1984
5. Κοκκινάκης Γ., *Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα*, Πάτρα 1988
6. Maurice Gagnaire, *An Overview of Broad-Band Access Technologies*, Proceedings of the IEEE, Vol.85, No. 12, Dec. 1997
7. Tanenbaum A., *Δίκτυα Υπολογιστών*, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 1992
8. The International Engineering Consortium, *Fiber - Optic Technology Tutorial*, <http://www.iec.org>