

Δίκτυα Η/Υ

Φυσικό Επίπεδο – Σήματα & Κωδικοποίηση

Ενότητα Β'

Δρ. Ε. Μάγκος

Βασικές Έννοιες Σημάτων

- Τα ελαστικά σώματα υφίστανται παροδικές παραμορφώσεις όταν ασκείται επάνω τους μια δύναμη.
- Οι δυνάμεις που αναπτύσσονται μεταξύ των μορίων του σώματος και τείνουν να το επαναφέρουν στην αρχική του κατάσταση ονομάζονται ελαστικές δυνάμεις.
- Λόγω της ανάπτυξης των ελαστικών δυνάμεων, κάθε διαταραχή ενός σημείου του ελαστικού σώματος μεταδίδεται σε όλο το σώμα. Η διαταραχή αυτή ονομάζεται κύμα.
 - Κατά τη μετάδοση ενός κύματος δεν έχουμε μεταφορά ύλης, αλλά ταλάντωση των σωματιδίων του ελαστικού μέσου γύρω από το σημείο ισορροπίας τους

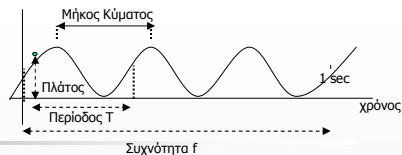


Βασικές Έννοιες Σημάτων

- Ακουστικά κύματα (παράδειγμα): η διέγερση της χορδής ενός βιολιού αναγκάζει τα μόρια του αέρα να εκτελούν ταλαντώσεις, οι οποίες με τη σειρά τους προκαλούν περιοδικές μεταβολές της πίεσης του αέρα, που ονομάζουμε ήχους.
- Ένα ηλεκτρικό κύκλωμα προκαλεί τη δημιουργία δύο κυμάτων, ενός ηλεκτρικού και ενός μαγνητικού. Τα κύματα είναι αλληλένδετα, και λέγονται ηλεκτρομαγνητικά κύματα.
- Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα ονομάζονται και σήματα.



Χαρακτηριστικά Σήματος



- Περίοδος T . Διάρκεια πλήρους ταλάντωσης (sec) $\rightarrow T = 1 / f$
- Μήκος λ . Η απόσταση στην οποία μεταδίδεται το σήμα σε χρόνο T (σε μέτρα).
- Συχνότητα f . Αριθμός πλήρων ταλαντώσεων (κύκλοι) ανά δευτερόλεπτο (σε Hertz - Hz). $\rightarrow f = 1 / T$
- Ταχύτητα μετάδοσης u . Η ταχύτητα με την οποία ο σήμα διαπερνά το μέσο μετάδοσης $\rightarrow u = \lambda \cdot f$
 - Στο κενό, τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα έχουν την ταχύτητα του φωτός ($3 \cdot 10^8$ m/s) ($u=c$)
- Πλάτος a . Η τιμή του σήματος μια χρονική στιγμή.
- (Φάση ϕ . Η «σχετική» (relative) θέση ενός σήματος)



Χαρακτηριστικά Σήματος (Αναλογικό Σήμα)

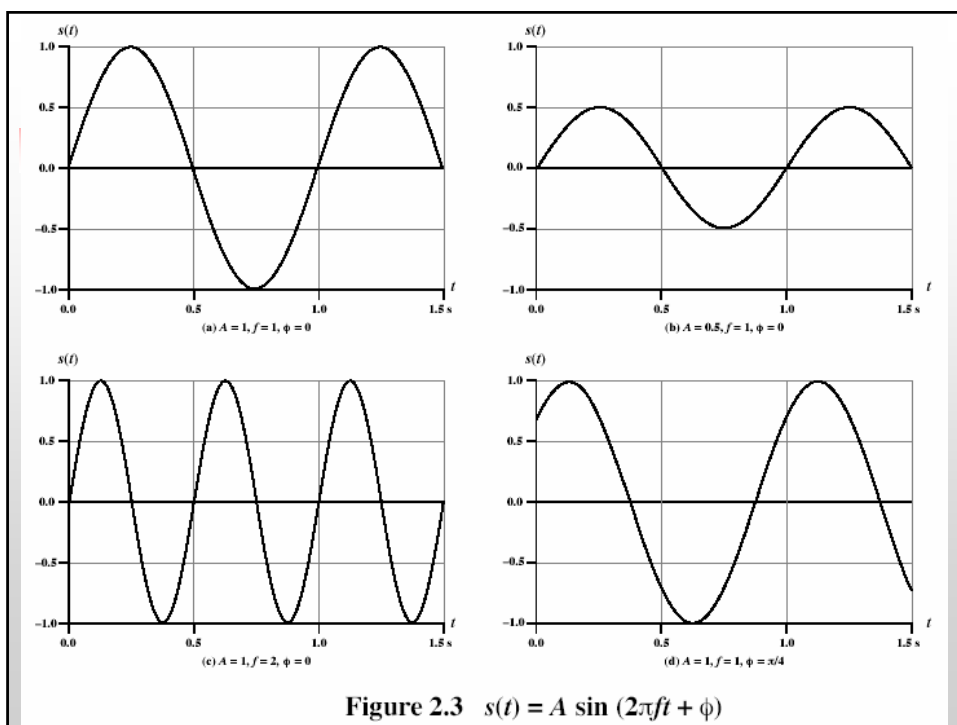
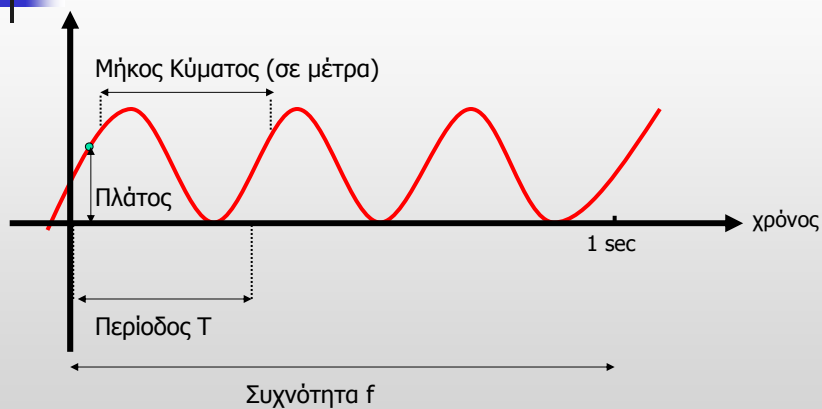
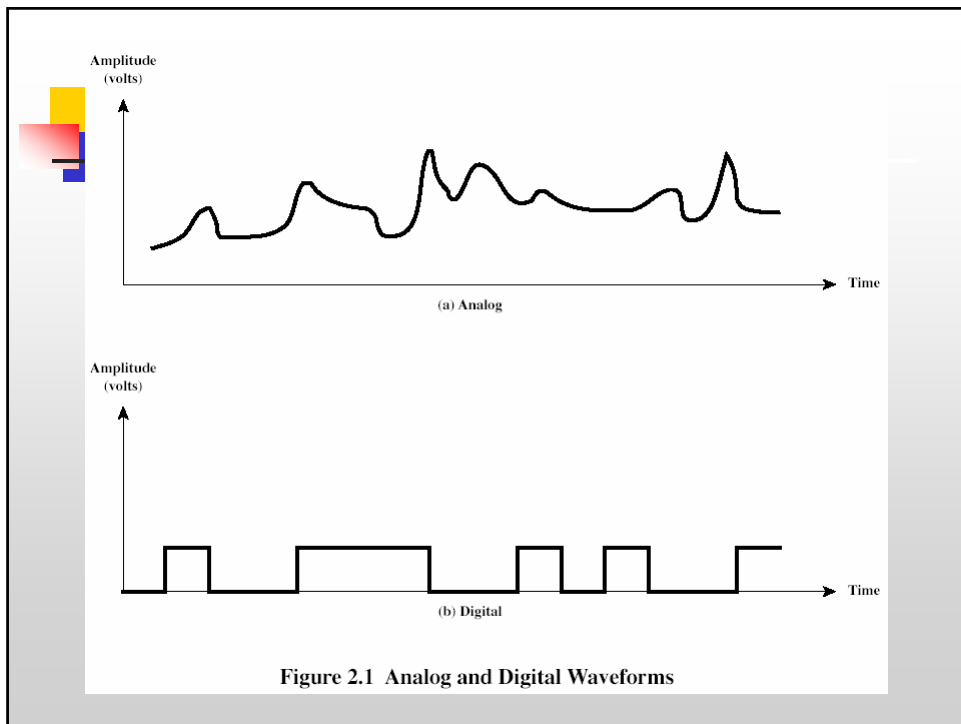


Figure 2.3 $s(t) = A \sin(2\pi ft + \phi)$



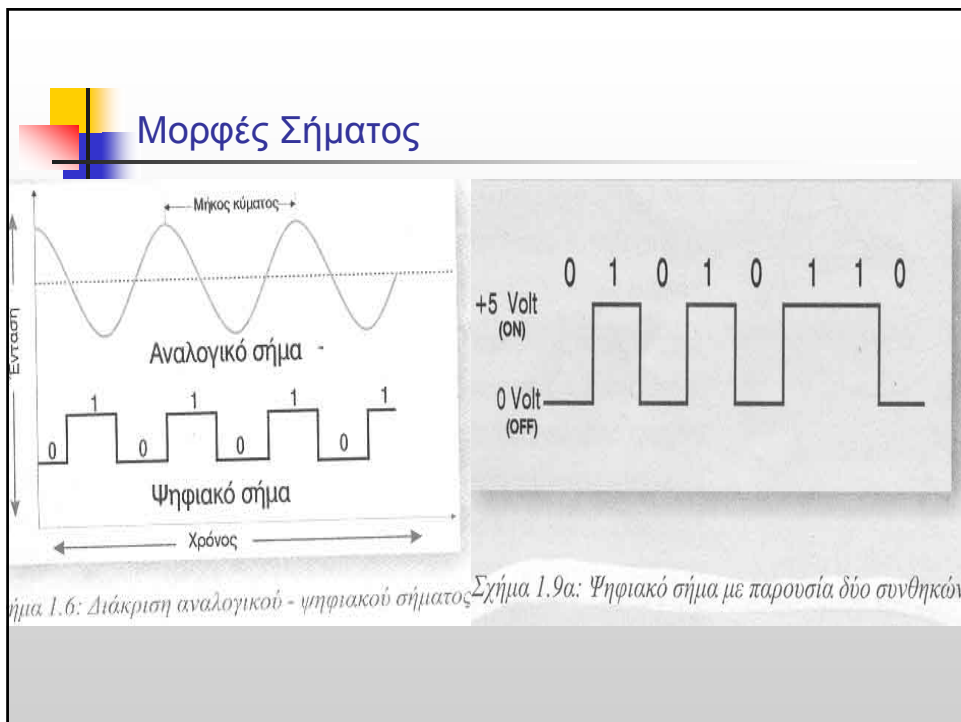
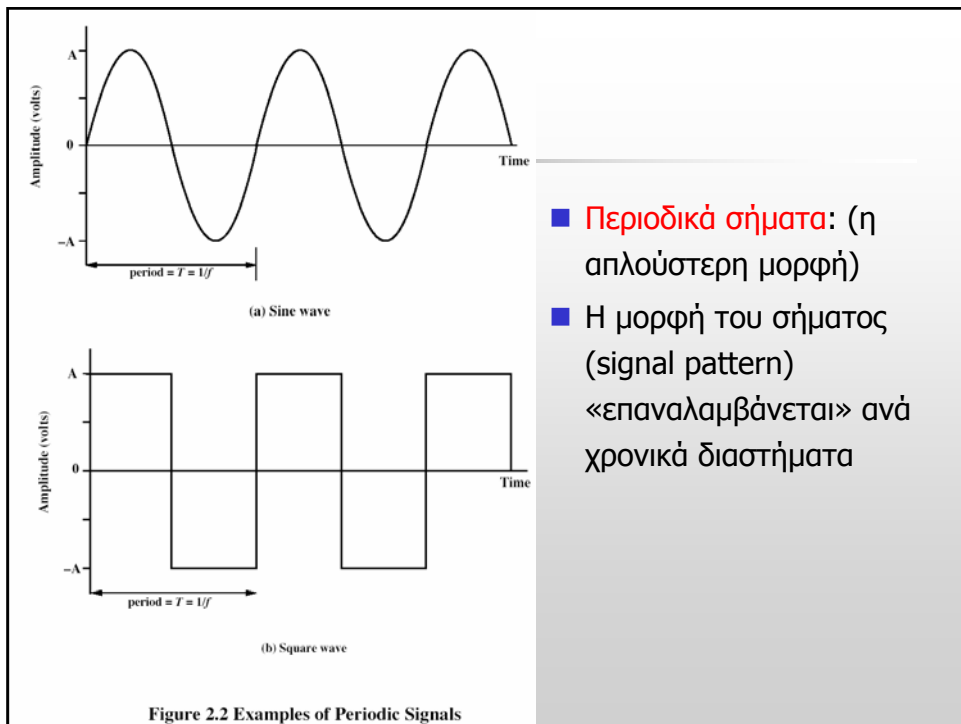
Μορφές Σήματος Αναλογικό - Ψηφιακό

■ Αναλογικά σήματα

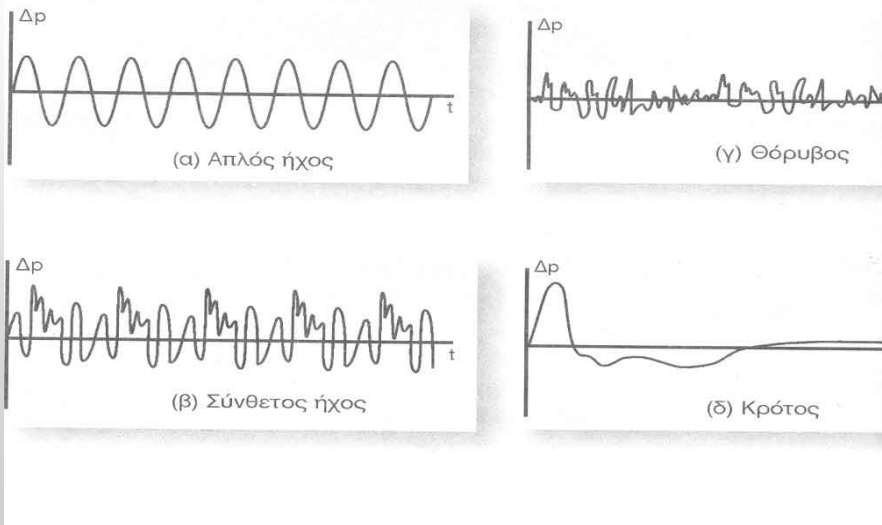
- Η τιμή (πλάτος) του σήματος μεταβάλλεται συνεχώς στο χρόνο.

■ Ψηφιακά σήματα

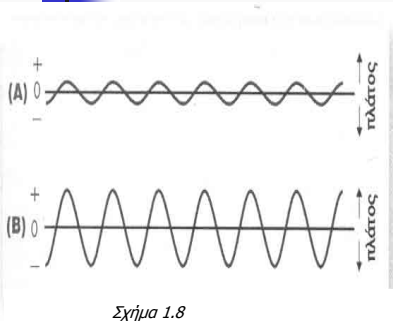
- Το πλάτος του σήματος έχει διακριτές τιμές στην πάροδο του χρόνου. Οι τιμές αυτές είναι αμετάβλητες για συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.
- Παράδειγμα: Δύο καταστάσεις
 - Η κατάσταση 1 (ON) (π.χ. Τάση των +5 Volt)
 - η κατάσταση 0 (OFF) (π.χ. Τάση των 0 Volt)



Αναλογικά Κύματα. Παράδειγμα: Ακουστικά Κύματα (1/2)

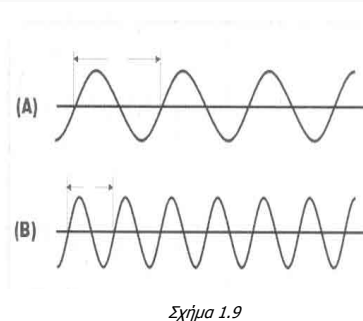


Αναλογικά Κύματα. Παράδειγμα: Ακουστικά Κύματα (2/2)



Σχήμα 1.8

Σχήμα 1.8. Πάτημα πλήκτρου στο πιάνο με: (Α) χαμηλή ένταση, (Β) υψηλή ένταση



Σχήμα 1.9

Σχήμα 1.9 Πάτημα με ίδια ένταση, αλλά: (Α) σε χαμηλή οκτάβα, (Β) υψηλή οκτάβα



Χαρακτηριστικά των Μέσων Μετάδοσης – Εύρος Ζώνης

- Κάθε πληροφορία, προκειμένου να μεταδοθεί από την πηγή στον προορισμό της, πρέπει να χρησιμοποιήσει ένα ελαστικό μέσο, το μέσο μετάδοσης.
- Κάθε πηγή εκπέμπει σε ορισμένες συχνότητες, οι οποίες καθορίζουν τη ζώνη εκπομπής ή φάσμα (spectrum): η μέγιστη και ελάχιστη συχνότητα που μπορεί να εκπέμψει).
 - Spectrum σήματος: Το εύρος των συχνοτήτων που περιέχει το σήμα
- Εύρος ζώνης (bandwidth): Το «μέγεθος» του spectrum
 - Εύρος ζώνης= Μέγιστη Συχνότητα – Ελάχιστη Συχνότητα
- Εύρος ζώνης και μέσο μετάδοσης
 - Κάθε μέσο μετάδοσης είναι κατάλληλο για συγκεκριμένα εύρη (ώστε το σήμα να μεταδίδεται ικανοποιητικά – χωρίς σημαντικά σφάλματα)



Ανάλυση Σήματος

- Στην πράξη, κάθε ηλεκτρομαγνητικό σήμα μπορεί να αναλυθεί σε (περισσότερα από ένα) περιοδικά αναλογικά σήματα διαφορετικής συχνότητας, πλάτους και φάσης

- **Ανάλυση Fourier**

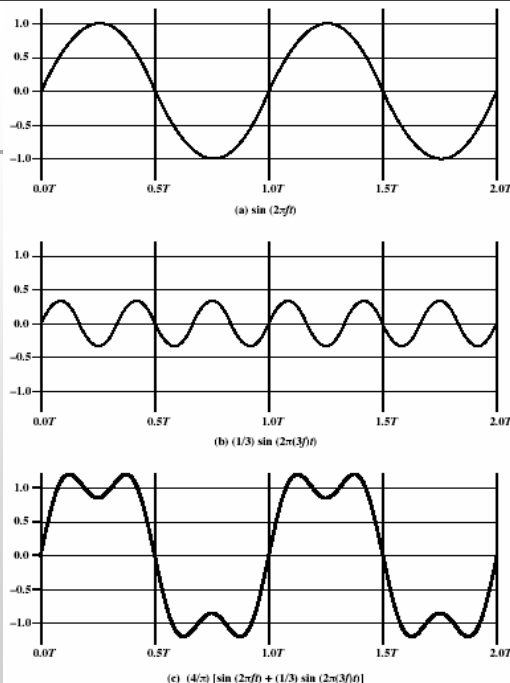


Figure 2.4 Addition of Frequency Components ($T = 1/f$)



Εύρος ζώνης

- Ψηφιακό σήμα: Ένα σήμα που αποτελείται από «άπειρα» αναλογικά περιοδικά σήματα
 - Αρμονικές σήματος
- Ωστόσο, ένας περιορισμένος αριθμός αρμονικών χρειάζεται ώστε ο παραλήπτης να ξεχωρίζει τα «0» από τα «1»
- Το μέσο μετάδοσης (αλλά και το κόστος της μετάδοσης) μας περιορίζει ως προς το εύρος ζώνης

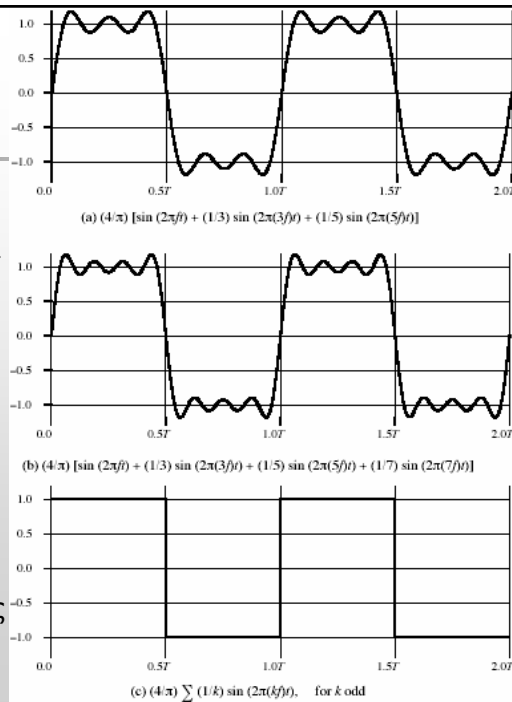


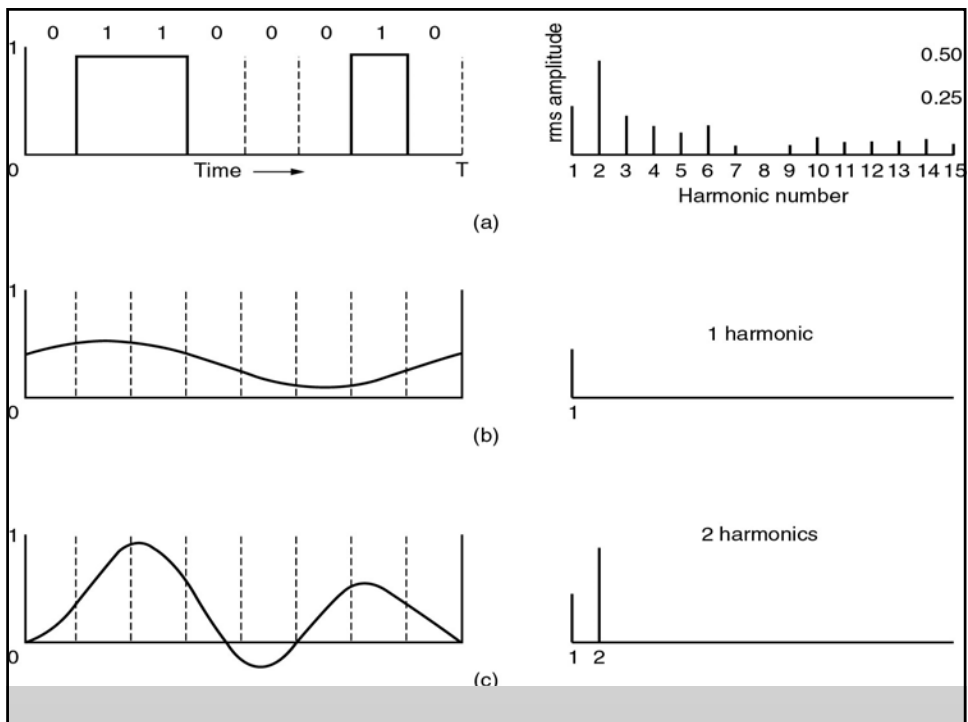
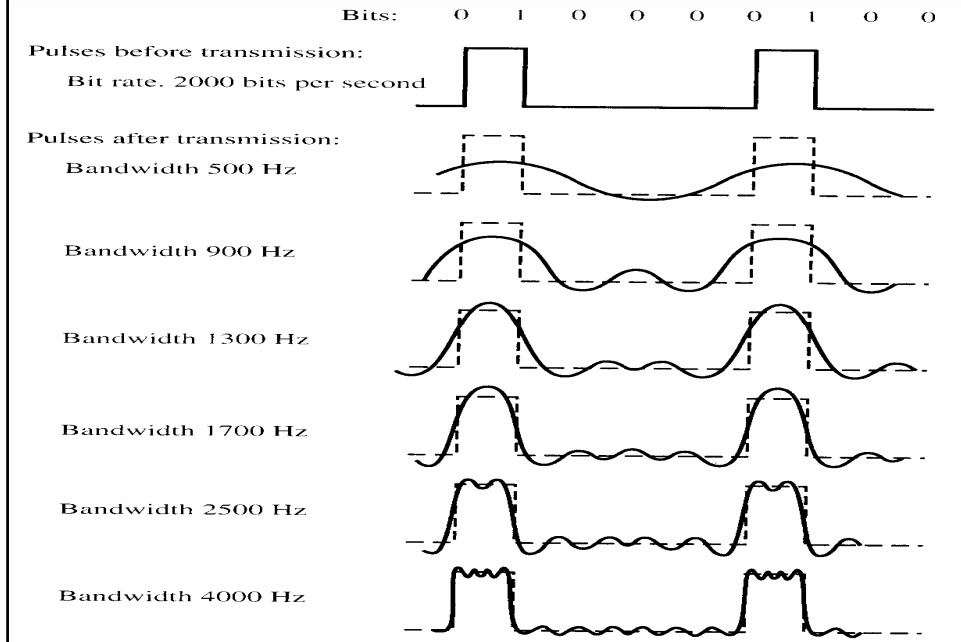
Figure 2.5 Frequency Components of Square Wave ($T = 1/f$)

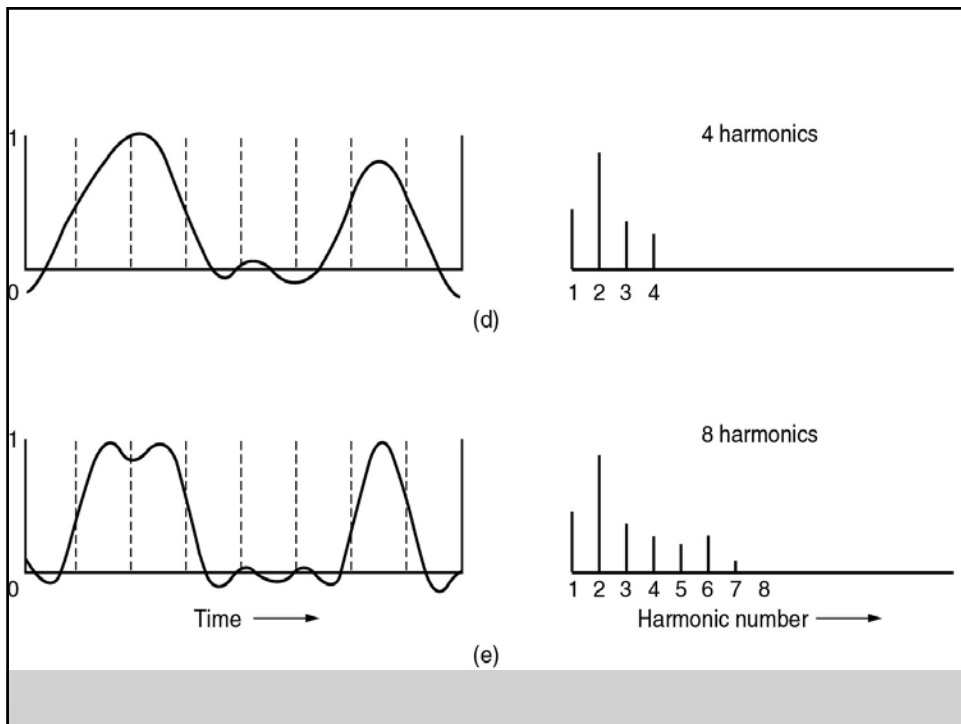


Χαρακτηριστικά των Μέσων Μετάδοσης – Εύρος Ζώνης

- Παράδειγμα 1: Κατά τη μετάδοση φωνής (και δεδομένων) στο σύστημα PSTN, τα τηλεφωνικά καλώδια χαλκού υποστηρίζουν συχνότητες από 300 ως 3.300 Hz, Εύρος ζώνης = 3 KHz.
- Εύρος ζώνης και Ρυθμός Μετάδοσης
 - Το Εύρος Ζώνης σχετίζεται άμεσα με την «ποσότητα» πληροφορίας που μπορεί να μεταφέρει ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα που διατρέχει το μέσο.
 - **Μεγαλύτερο Εύρος ζώνης = Μεγαλύτερος ρυθμός μετάδοσης**

Απώλεια πληροφορίας ανάλογα με το εύρος ζώνης





Χαρακτηριστικά των Μέσων Μετάδοσης – Εύρος Ζώνης (Bandwidth)

- Παράδειγμα: Στο ράδιο η μετάδοση στα FM γίνεται στο spectrum των 88-108 MHz. Το εύρος ζώνης είναι $108-88=20$ MHz.
- Στις ψηλές συχνότητες, είναι δυνατή η κωδικοποίηση 8 bit ανά Hertz. Θεωρητικά δηλαδή, για εύρος ζώνης 30THz θα μπορούσαμε να έχουμε ρυθμό μετάδοσης 240Tbps.
 - *Υψηλότερες μπάντες:* Περισσότερη ενέργεια, μικρότερη κάλυψη.
 - *Χαμηλότερες μπάντες:* Μεγαλύτερη κάλυψη, λιγότερη ενέργεια
- Σε πολλά μέσα μετάδοσης υπάρχει η δυνατότητα το εύρος ζώνης να επιμεριστεί σε ζώνες συχνοτήτων μικρότερου εύρους, που ονομάζονται λογικά κανάλια. Η τεχνική λέγεται πολυπλεξία.
 - Έχετε ακούσει τον όρο «Ευρυζωνική (Broadband) Σύνδεση»;

Χαρακτηριστικά των Μέσων Μετάδοσης –Χωρητικότητα (Capacity)

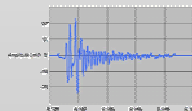
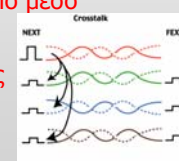
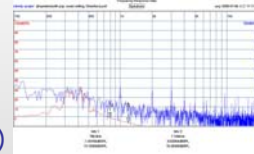
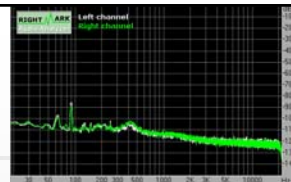


- Η χωρητικότητα (channel capacity) εκφράζει το μέγιστο ρυθμό με τον οποίο μπορούμε να στείλουμε ή να λάβουμε δεδομένα (χωρίς σφάλματα).
- Σχετιζόμενοι όροι:
 - Ρυθμός μετάδοσης (data rate) σε bps
 - Εύρος ζώνης (bandwidth)
 - Φυσικές ιδιότητες του μέσου μετάδοσης
 - Παρεμβολές με (από) άλλα συστήματα μετάδοσης
 - Ρυθμός Σφαλμάτων(error rate)
 - Θόρυβος (noise), εξασθένηση (attenuation)
- Στόχος: Επίτευξη μέγιστου ρυθμού μετάδοσης με χαμηλό (ύπαρξη άνω ορίου) ρυθμού σφαλμάτων

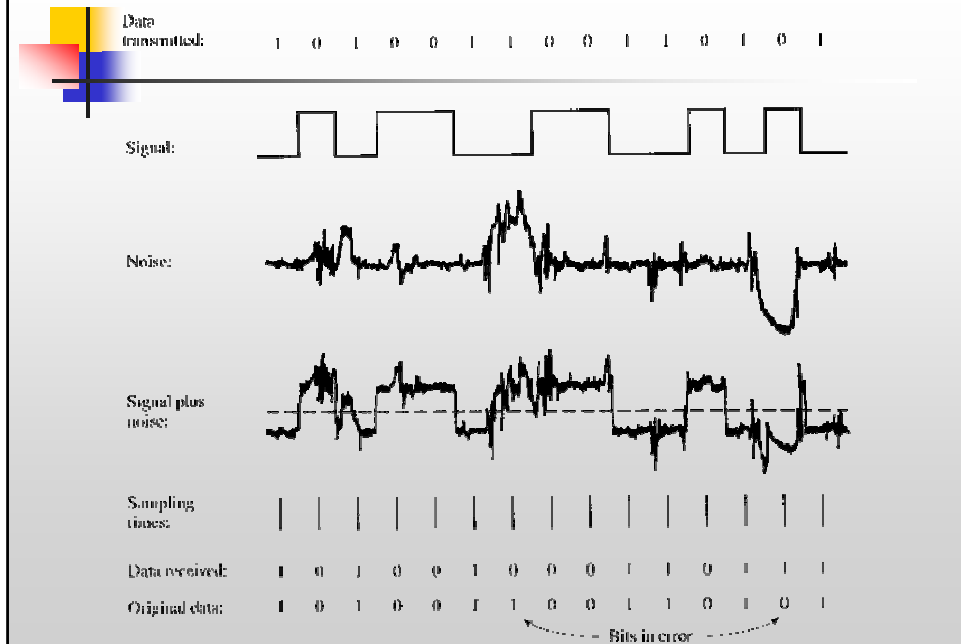
Ο ρυθμός σφάλματος δυαδικού ψηφίου (BER: Bit Error Rate) εκφράζει την πιθανότητα μετάδοσης εσφαλμένων δυαδικών ψηφίων, αφού υπολογίζει το ποσοστό των δυαδικών ψηφίων που στάλθηκαν αλλά παραλήφθηκαν εσφαλμένα. Για παράδειγμα, με ρυθμό σφάλματος δυαδικού ψηφίου $1,5 \times 10^{-9}$ έχει συμφωνηθεί να εννοούμε την παρουσία 1,5 λανθασμένων δυαδικών ψηφίων (κατά μέσο όρο) σε ένα σύνολο 10^9 αποστελλόμενων δυαδικών ψηφίων. Φυσικά ο ρυθμός αυτός ποικίλλει ανάλογα με τον τύπο της πληροφορίας που αποστέλλεται.

Θόρυβος (Noise)

- Άνεπιθύμητη ενέργεια που προέρχεται από πηγές εκτός πομπού
- Αφορά όλα τα συστήματα επικοινωνίας (Ασύρματα-Ενσύρματα)
- Εσωτερικός Θόρυβος
 - Θερμικός θόρυβος (thermal noise, white noise)
 - Κίνηση ηλεκτρονίων
 - Θόρυβος Ενδοδιαμόρφωσης (inter-modulation noise)
 - Συνύπαρξη σημάτων διαφορετικών συχνοτήτων στο ίδιο μέσο
 - Συνακρόαση (crosstalk)
 - Παρεμβολές μεταξύ μεταδόσεων κοντινών μεταξύ τους
 - Παλμικός θόρυβος (impulse)
 - Αστάθειες ηλεκτρικού ρεύματος
- Εξωτερικοί Θόρυβοι
 - Βιομηχανικά και Ατμοσφαιρικά παράσιτα



Effect of Noise on a Digital Signal



Χωρητικότητα κατά Nyquist και κατά Shannon

- Χωρητικότητα κατά **Nyquist** (δε λαμβάνει υπ'όψιν τον θόρυβο)

- Για ψηφιακό σήμα (two voltage levels – δύο επίπεδα σήματος)
 - $C = 2B$ ($B =$ εύρος ζώνης)
- Για ψηφιακό σήμα (multilevel signaling – περισσότερα από 2 επίπεδα)
 - $C = 2B \log_2 M$ ($M =$ επίπεδα σήματος)

- Χωρητικότητα κατά **Shannon** (λαμβάνει υπ'όψιν τον θόρυβο)

$$C = B \log_2 (1 + SNR) \quad SNR_{dB} = 10 \log_{10} \frac{\text{signal power}}{\text{noise power}}$$

- Ο τύπος του Shannon θέτει ένα άνω όριο στους ρυθμούς μετάδοσης που μπορούν να επιτευχθούν σε ένα σύστημα επικοινωνίας

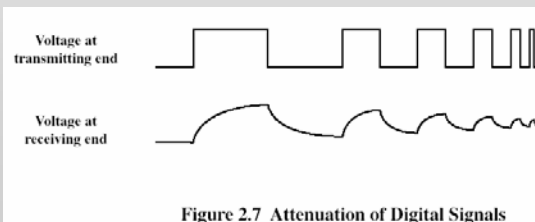
Αναλογικά και Ψηφιακά Σήματα

■ Αναλογικά Σήματα

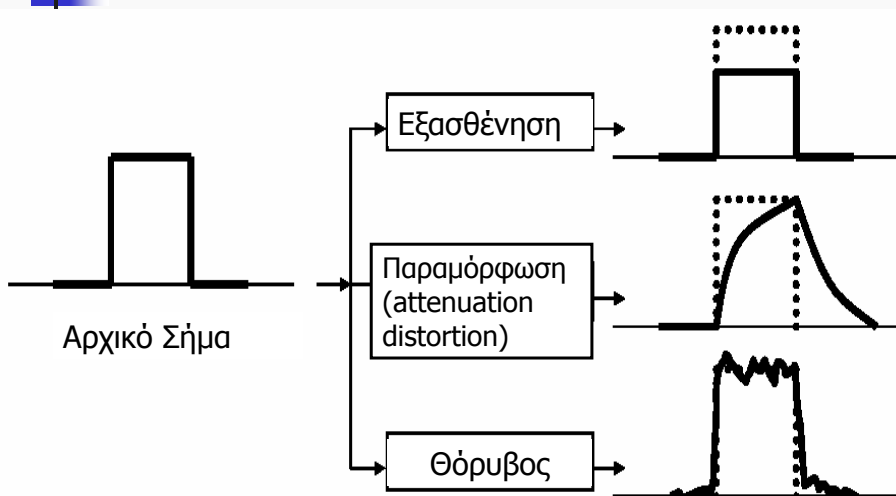
- Δεν έχουν υψηλές απαιτήσεις σε εύρος ζώνης
- Μικρή αντοχή σε θορύβους, μικρότερη εξασθένηση

■ Ψηφιακά Σήματα

- Υψηλές απαιτήσεις σε εύρος ζώνης
- Μεγαλύτερη αντοχή σε θορύβους, μεγαλύτερη εξασθένηση



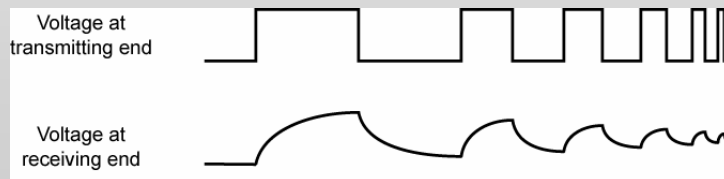
Εξασθένηση, Παραμόρφωση, Θόρυβος





Εξασθένηση (dB / m) - Attenuation

- Το πλάτος (amplitude) του σήματος μειώνεται με τη πάροδο του χρόνου
- Εξαρτάται από
 - το εύρος ζώνης,
 - το μέσο μετάδοσης (π.χ. ηλεκτρική αντίσταση του καλωδίου),
 - την ισχύ εκπομπής (power transmission – σε watt)
- Είναι περισσότερο εμφανής στις υψηλότερες συχνότητες
 - Περίπτωση: οι «αρμονικές» υψηλής συχνότητας εξασθενούν περισσότερο → παραμόρφωση λόγω εξασθένησης (Attenuation Distortion)
- Αντιμετώπιση: χρήση επαναληπτών (repeaters) ή ενισχυτών (amplifiers)



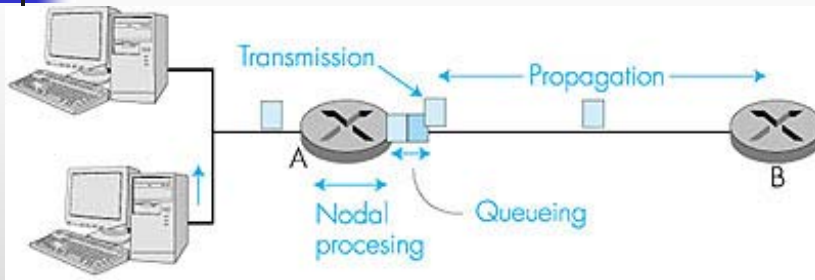
Χαρακτηριστικά των Μέσων Μετάδοσης – Χωρητικότητα (Capacity)

- Στα συστήματα επικοινωνίας δεδομένων, η ρυθμός μετάδοσης μετρείται σε δυαδικά ψηφία ανά δευτερόλεπτο (bps: bits per second)



<i>Tbps</i>	<i>Tera</i>	10^{12} bps
<i>Gbps</i>	<i>Giga</i>	10^9 bps
<i>Mbps</i>	<i>Mega</i>	10^6 bps
<i>Kbps</i>	<i>Kilo</i>	10^3 bps
	<i>Milli</i>	10^{-3} bps
	<i>Micro</i>	10^{-6} bps
	<i>Nano</i>	10^{-9} bps
	<i>Pico</i>	10^{-12} bps

Απόδοση Δικτύου ← (εξαρτάται) Καθυστέρηση Μετάδοσης & Ρυθμός Διέλευσης



■ Καθυστέρηση Μετάδοσης =

- Χρόνος μετάδοσης στο μέσο (transmission delay) +
- Χρόνος μετάδοσης στο δίκτυο (propagation delay)
- Χρόνος αναμονής στους κόμβους (queuing, processing, packetising)

http://media.pearsoncmg.com/aw/aw_kurose_network_2/applets/transmission/delay.html

Δεδομένα, Σήματα, Μετάδοση

■ Δεδομένα: ποσότητα πληροφορίας

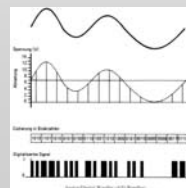
- Αναλογικά (συνεχή), Ψηφιακά (διακριτά)

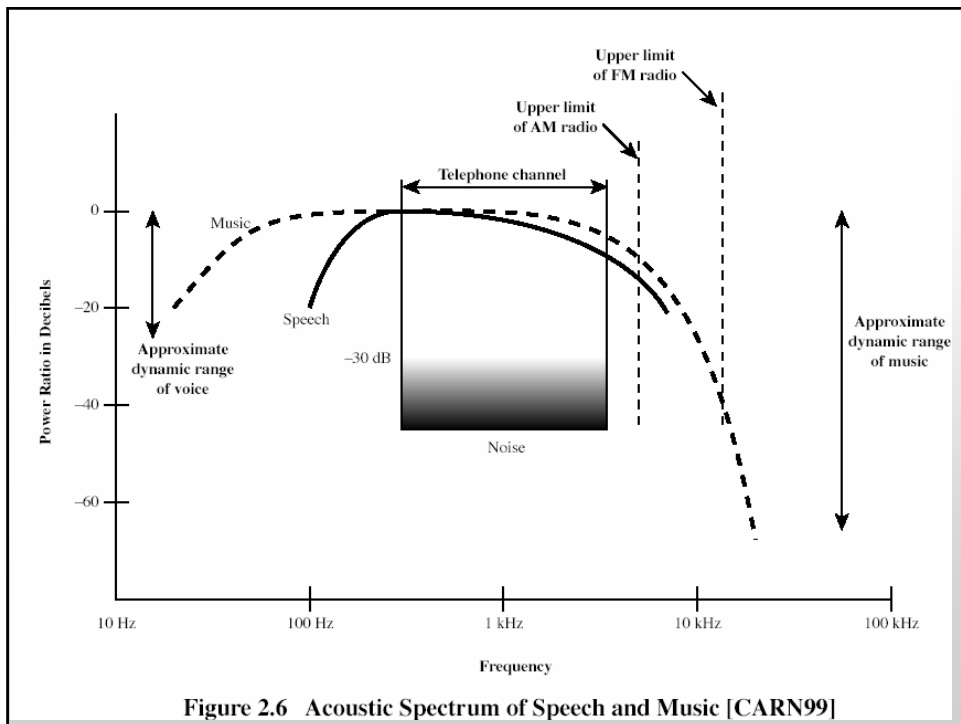
■ Σήματα: Ηλεκτρομαγνητική αναπαράσταση των δεδομένων

- Αναλογικά σήματα, Ψηφιακά σήματα

■ Μετάδοση: Η διάδοση και επεξεργασία του σήματος στο «εσωτερικό» δίκτυο που παρεμβάλλεται μεταξύ δύο κόμβων

- Αναλογική Μετάδοση, Ψηφιακή Μετάδοση



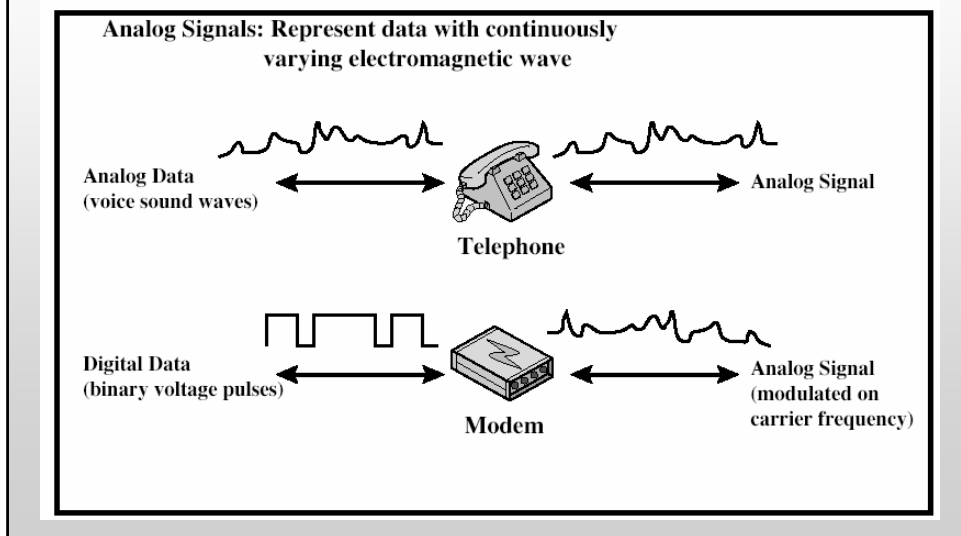


Κωδικοποίηση (Encoding) Δεδομένων

- Τα δεδομένα (πληροφορία) από μια πηγή, αναλογικά ή ψηφιακά, μπορούν να μεταφερθούν με ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα (σήμα).
- Το σήμα αυτό θα πρέπει να αναπαραστή σωστά τα δεδομένα ώστε αυτά να εξαχθούν σωστά από τον παραλήπτη.
- Η διαδικασία αναπαράστασης των δεδομένων με σήματα ονομάζεται **κωδικοποίηση**.
 - Μεταβάλλοντας τη **συχνότητα**, το **πλάτος** ή τη **φάση** ενός σήματος, μπορούμε να μεταφέρουμε πληροφορία.
 - Η πληροφορία μπορεί να κωδικοποιηθεί σε αναλογικά ή ψηφιακά σήματα (**αναλογική κωδικοποίηση** / **ψηφιακή κωδικοποίηση**)

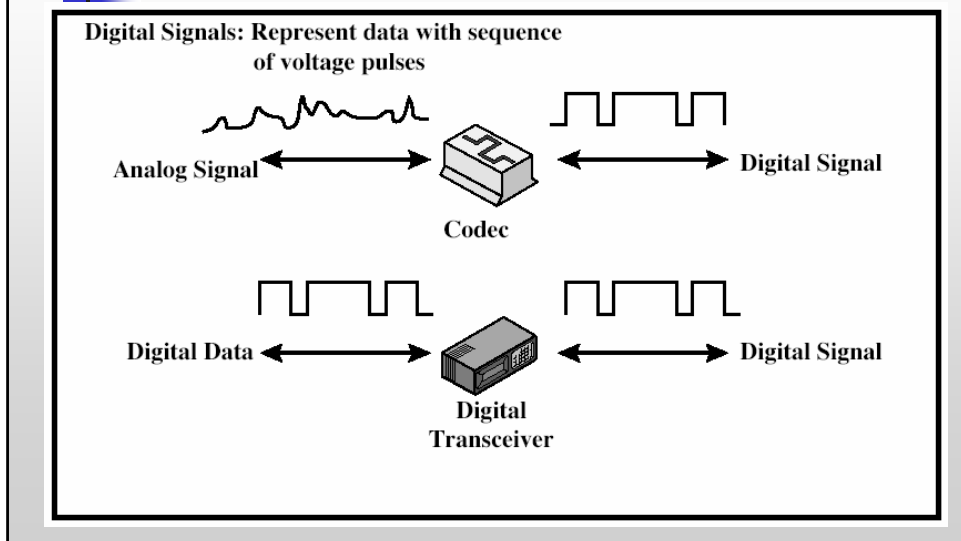
Αναλογική Κωδικοποίηση

Αναλογικό Σήμα: Μεταφέρει...
αναλογικά ή ψηφιακά δεδομένα



Ψηφιακή Κωδικοποίηση

Ψηφιακό Σήμα: Μεταφέρει...
αναλογικά ή ψηφιακά δεδομένα



(a) Data and Signals

	Analog Signal	Digital Signal
Analog Data	Two alternatives: (1) signal occupies the same spectrum as the analog data; (2) analog data are encoded to occupy a different portion of spectrum.	Analog data are encoded using a codec to produce a digital bit stream.
Digital Data	Digital data are encoded using a modem to produce analog signal.	Two alternatives: (1) signal consists of a two voltage levels to represent the two binary values; (2) digital data are encoded to produce a digital signal with desired properties.

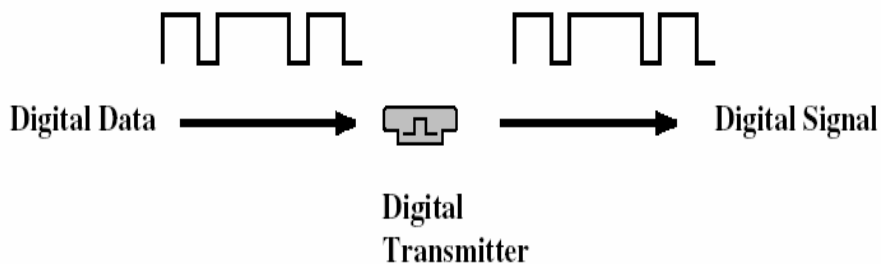
Δεδομένα και Σήματα

Κωδικοποίηση



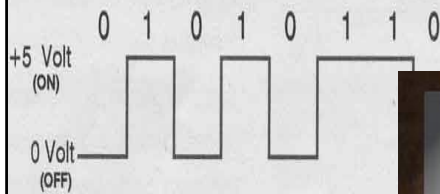
1) Ψηφιακά Δεδομένα ΣΕ Ψηφιακό Σήμα

- Τεχνικές: NRZ-L, NRZ-M, Κωδικοποίηση Manchester,...





Διαδικές Κωδικοποιήσεις - Παραδείγματα



Σχήμα 1.9α: Ψηφιακό σήμα με παρουσία δύο

<http://datacom14.tripod.com/WEEK1-3/Slide18.jpg>

NRZ-L and NRZ-M



- NRZ-L : "One" is represented by one level "Zero" is represented by another level lower the one but not zero.
- NRZ-M : "One" is represented by change in level "Zero" is represented by no change in level.

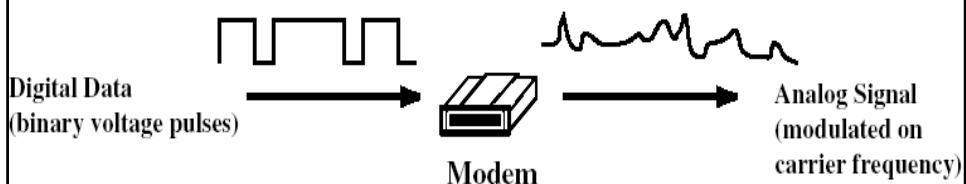
15

Κωδικοποίηση



2) Ψηφιακά Δεδομένα ΣΕ Αναλογικό Σήμα

- (π.χ. μετάδοση δεδομένων από PC μέσω γραμμής PSTN).
 - Διαμόρφωση Πλάτους (Amplitude Shift Keying - ASK),
 - Διαμόρφωση Συχνότητας (Frequency Shift Keying - FSK)
 - Διαμόρφωση Φάσης (Phase Shift Keying - PSK).



- ASK: Οι τιμές «0» και «1» αντιστοιχούν σε δύο διαφορετικά πλάτη του φέροντος σήματος
- FSK: Οι τιμές «0» και «1» αντιστοιχούν σε δύο διαφορετικές συχνότητες του φέροντος σήματος.
- PSK: Οι τιμές «0» και «1» περιγράφονται με την αλλαγή φάσης του φέροντος σήματος.

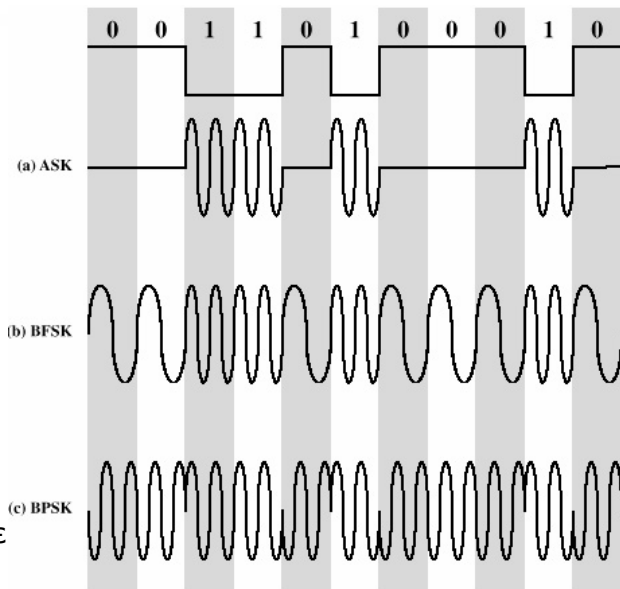
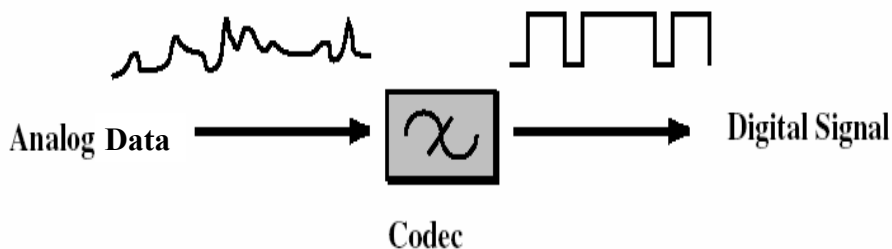


Figure 6.2 Modulation of Analog Signals for Digital Data

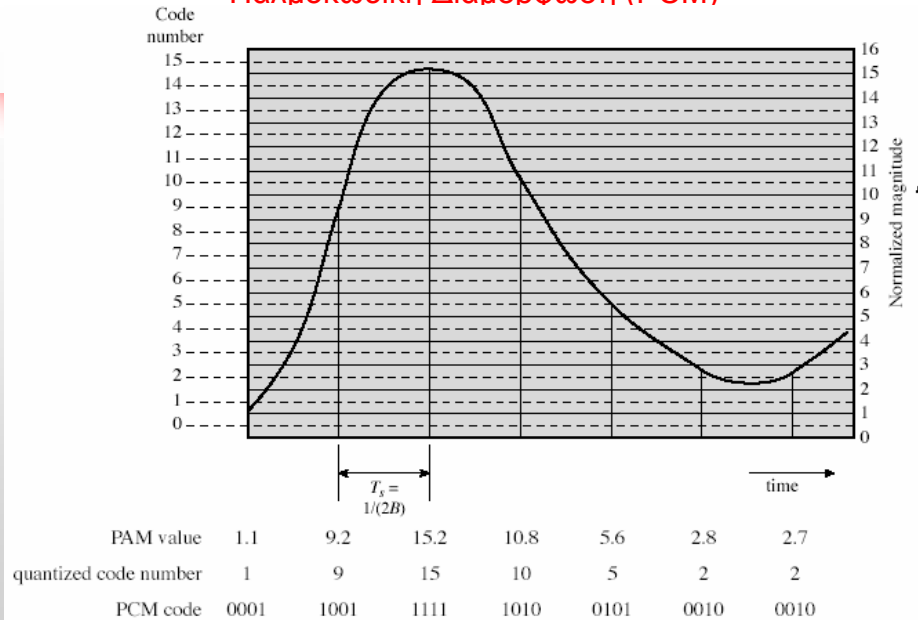
Κωδικοποίηση

3) Αναλογικά Δεδομένα ΣΕ Ψηφιακό Σήμα

- 1^ο Βήμα: Ψηφιοποίηση Δεδομένων (Digitization)
 - Τεχνικές:
 - Παλμοκωδική Διαμόρφωση (Pulse Code Modulation – PCM)
 - Διαμόρφωση Δέλτα (Delta Modulation - DM)
- 2^ο Βήμα: Κωδικοποίηση (1) (Ψηφιακά δεδομένα σε ψηφιακό σήμα)



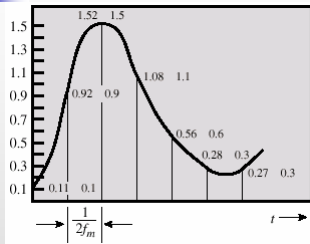
Παλμοκωδική Διαμορφωση (PCM)



1. Μετρήσεις (**sampling**–δειγματοληψία): ρυθμός διπλάσιος της μέγιστης συχνότητας
2. Αντιστοίχιση κάθε τιμής σε έναν **δυναμικό αριθμό** κατάλληλου μεγέθους (σε bit)



Pulse Code Modulation

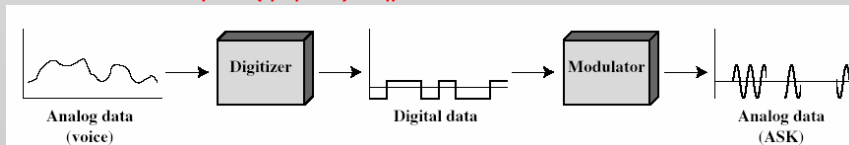


Digit	Binary Equivalent	PCM waveform
0	0000	
1	0001	
2	0010	
3	0011	
4	0100	
5	0101	
6	0110	
7	0111	
8	1000	
9	1001	
10	1010	
11	1011	
12	1100	
13	1101	
14	1110	
15	1111	



Τι μπορώ να κάνω με τα Αναλογικά Δεδομένα;

1. Μετατροπή Αναλογικών δεδομένων (συνεχείς τιμές) σε ψηφιακά δεδομένα (διακριτές τιμές)
 - Ψηφιοποίηση (Digitization)
2. Στη συνέχεια, επιλογή ενός εκ των:
 - a) Κωδικοποίηση και μεταφορά των ψηφιακών δεδομένων ως ψηφιακό σήμα
 - b) Κωδικοποίηση και μεταφορά των δεδομένων ως αναλογικό σήμα
 - a) Στα πλαίσια ενός συστήματος ψηφιακής μετάδοσης με αναλογικό (φέρων) σήμα

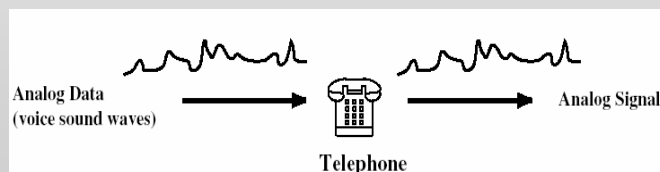


Κωδικοποίηση



4) Αναλογικά Δεδομένα ΣΕ Αναλογικό Σήμα

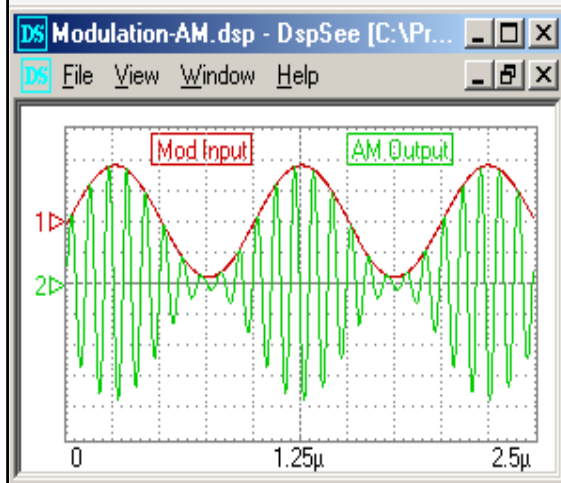
- Παραδείγματα:
 - Ραδιοτηλεοπτικές μεταδόσεις
 - Μεταφορά πολλών σημάτων στο μέσο μετάδοσης (πολυπλεξία)
- Τεχνικές
 - Διαμόρφωση Πλάτους (Amplitude Modulation - AM)
 - Διαμόρφωση Συχνότητας (Frequency Modulation - FM)
 - Διαμόρφωση Φάσης (Phase Modulation - PM)



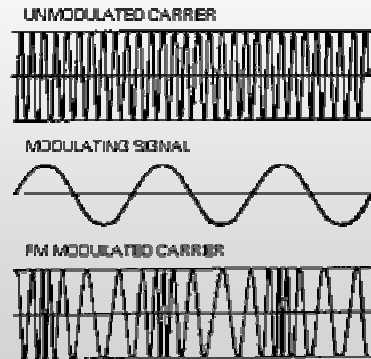


AM - FM

Amplitude Modulation



Frequency Modulation



Αναλογική και Ψηφιακή Μετάδοση

- **Αναλογική μετάδοση.** Μετάδοση του σήματος χωρίς να δίδεται σημασία στα «δεδομένα» που μεταφέρει.
 - Διαχειρίζεται Αναλογικά Σήματα
 - Χρήση Ενισχυτών (Amplifiers)
 - Μειονέκτημα: Ο ενισχυτής ενισχύει και το «θορύβο» του σήματος
- **Ψηφιακή Μετάδοση.** Ανάκτηση των ψηφιακών δεδομένων που μεταφέρει ένα Αναλογικό ή Ψηφιακό σήμα.
 - Χρήση Επαναληπτών (repeaters)
 1. **Είσοδος: Αναλογικό Σήμα** – Ο Επαναλήπτης ανακτά τα ψηφιακά δεδομένα, και δημιουργεί ένα καινούριο αναλογικό σήμα για μετάδοση
 2. **Είσοδος: Ψηφιακό Σήμα** – Ο Επαναλήπτης δημιουργεί ένα καινούριο ψηφιακό σήμα για μετάδοση

Πολυπλεξία (Multiplexing)

- Συχνά, η χωρητικότητα του καναλιού είναι μεγαλύτερη από τη χωρητικότητα που απαιτείται για τη μετάδοση ενός σήματος
 - Μετάδοση δεδομένων (data) ή φωνής (voice)
- Πολυπλεξία – Πολλές μεταδόσεις «ταυτόχρονα»
 - Καλύτερη αξιοποίηση του μέσου μετάδοσης
 - Οι πλέον «διάσημες» τεχνικές: **FDM, TDM, CDM, WDM**

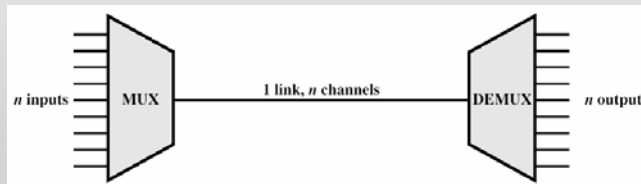


Figure 2.11 Multiplexing

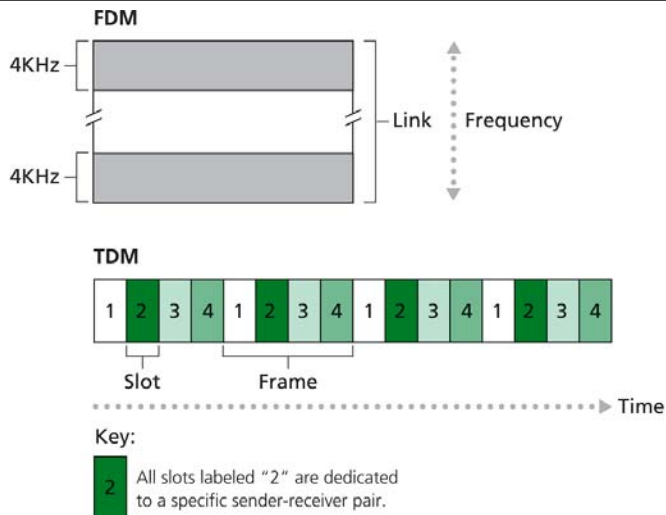


Figure 1.6 ♦ With FDM, each circuit continuously gets a fraction of the bandwidth. With TDM, each circuit gets all of the bandwidth periodically during brief intervals of time (that is, during slots).



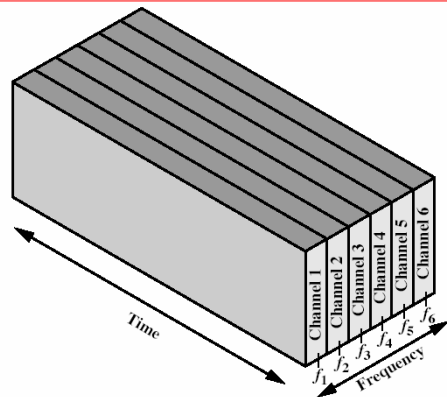
Πολυπλεξία Διαίρεσης Συχνότητας (Frequency Division Multiplexing - FDM)

Χρησιμοποιείται όταν

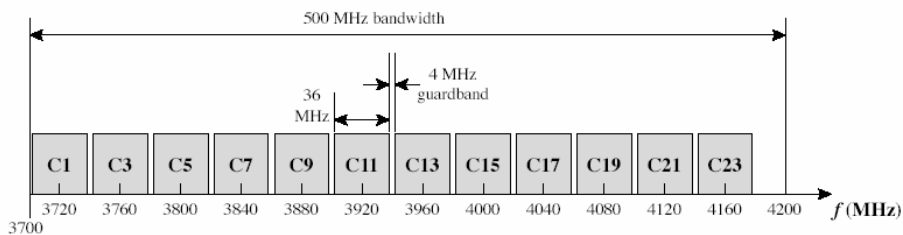
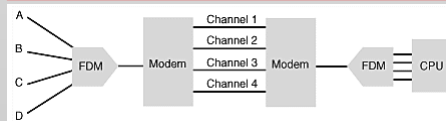
- Το εύρος ζώνης του μέσου μετάδοσης «υπερβαίνει» το εύρος που απαιτεί ένα (αναλογικό) σήμα.

Λειτουργεί ως εξής:

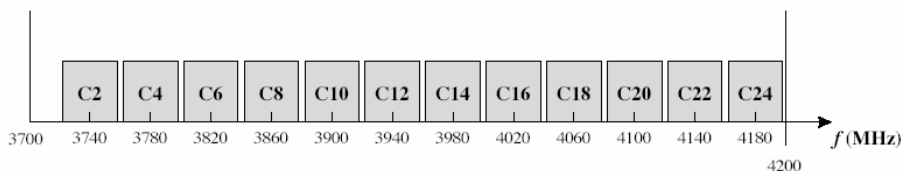
- Το διαθέσιμο φάσμα μοιράζεται σε κανάλια συχνοτήτων (channels)
- Μεταξύ των καναλιών υπάρχουν συχνότητες (ζώνες προστασίας -Guard Bands) που δε χρησιμοποιούνται
 - Μείωση θορύβου ενδοδιαμόρφωσης
- Πολλά σήματα μεταφέρονται ταυτόχρονα
 - Κάθε σήμα διαμορφώνεται στη συχνότητα του καναλιού που του εκχωρείται



(a) Frequency division multiplexing



(a) Horizontal Polarization



(b) Vertical Polarization

Figure 9.10 Typical Satellite Transponder Frequency Plan for the Downlink Channels
(for the uplink plan, add 2225 MHz to the numbers given above)



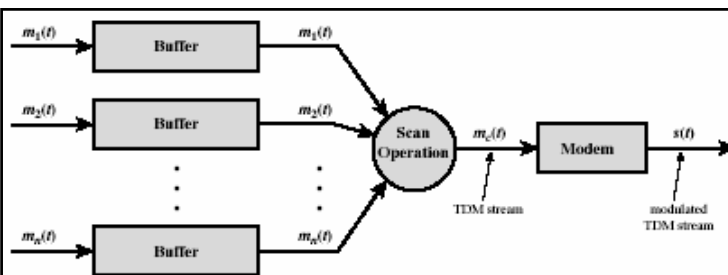
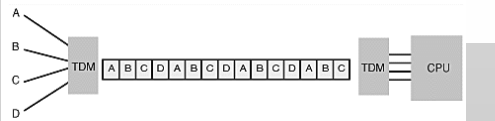
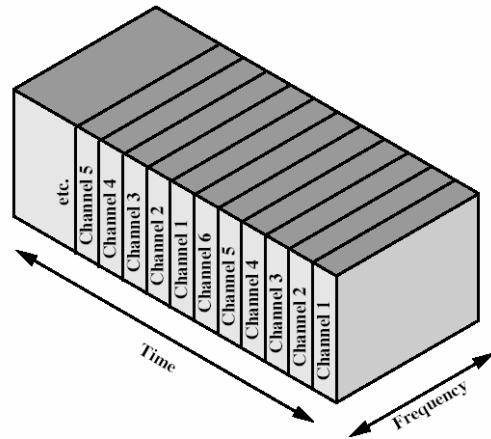
Πολυπλεξία Διαίρεσης Χρόνου (Time Division Multiplexing - TDM)

Χρησιμοποιείται όταν:

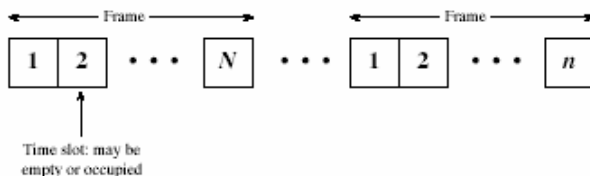
- Ο ρυθμός μετάδοσης του μέσου «υπερβαίνει» το ρυθμό που απαιτείται από ένα (ψηφιακό) σήμα.

Λειτουργεί ως εξής:

- Ο χρόνος μετάδοσης μοιράζεται σε χρονοθυρίδες (time slots)
 - Κάθε θυρίδα εκχωρείται σε μια μετάδοση
 - Κανάλι (channel): Η «ακολουθία» των χρονοθυρίδων που αντιστοιχούν σε έναν κόμβο
- Οι κόμβοι χρησιμοποιούν το μέσο μετάδοσης «με τη σειρά» (εκ περιτροπής)



(a) Transmitter



(b) TDM Frames

