

Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας  
Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής & Τηλεπικοινωνιών

---

# Εισαγωγή στις Τηλεπικοινωνίες

## Ενότητα 4: Εισαγωγή στα Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα

Αν. καθηγήτρια Μαλαματή Λούτα

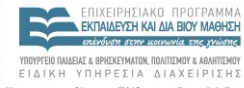
e-mail: [louta@uowm.gr](mailto:louta@uowm.gr)

Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

---



Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας



# Άδειες Χρήσης

---

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ψηφιακά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



# Περιεχόμενα ενότητας 1/2

---

- Κεφάλαιο 4 : Κωδικοποίηση – Διαμόρφωση Δεδομένων
  - Ψηφιακά Δεδομένα - Ψηφιακά Σήματα
    - Κώδικας Μη Επαναφοράς στο 0
    - Πολυεπίπεδη Δυαδική Κωδικοποίηση
    - *Manchester*, Διαφορική *Manchester*
    - κλπ
  - Ψηφιακά Δεδομένα - Αναλογικά Σήματα
    - Μετατόπιση Πλάτους (*ASK*)
    - Μετατόπιση Συχνότητας (*FSK*)
    - Μετατόπιση Φάσης (*PSK*)



# Περιεχόμενα ενότητας 2/2

---

- Κεφάλαιο 4 : Κωδικοποίηση – Διαμόρφωση Δεδομένων
  - Αναλογικά Δεδομένα - Ψηφιακά Σήματα
    - Παλμοκωδική Διαμόρφωση (*PCM*)
    - Διαφορική ή Προβλεπτική Κωδικοποίηση
      - Απλή Διαφορική Παλμοκωδική Διαμόρφωση (*DPCM*)
      - Διαμόρφωση Δέλτα (*DM*)
      - Προσαρμοστική Διαφορική Παλμοκωδική Διαμόρφωση (*ADPCM*)
  - Αναλογικά Δεδομένα - Αναλογικά Σήματα
    - Διαμόρφωση Πλάτους (*AM*)
    - Διαμόρφωση Γωνίας
      - Διαμόρφωση Συχνότητας (*FM*)
      - Διαμόρφωση Φάσης (*PM*)



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

- Αναλογικά και Ψηφιακά Δεδομένα & Αναπαράστασή τους με Αναλογικά ή Ψηφιακά Σήματα
  - Ψηφιακά Δεδομένα – Ψηφιακά Σήματα
    - Ψηφιακό Σήμα: Ακολουθία Παλμών Τάσης
    - Απλούστερη μορφή κωδικοποίησης ψηφιακών δεδομένων – διαφορετικά επίπεδα τάσης για κάθε ένα από τα δυαδικά ψηφία
    - Υπάρχουν διαφορετικοί τρόποι αναπαράστασης ψηφιακών δεδομένων σε ψηφιακά σήματα για βελτίωση της απόδοσης, αλλάζοντας το φάσμα του σήματος ή/και παρέχοντας ικανότητα συγχρονισμού
      - Κώδικας Μη Επαναφοράς στο 0 (NRZ)
      - Πολυεπίπεδη Δυαδική Κωδικοποίηση
      - *Manchester*
      - *Differential Manchester*
  - Ψηφιακά Δεδομένα – Αναλογικά Σήματα
    - Συσκευή *modem*
    - Το *modem* μετατρέπει μία σειρά δυαδικών παλμών τάσης σε ένα αναλογικό σήμα χρησιμοποιώντας ένα φέρον σήμα.
    - Το σήμα που δημιουργείται καταλαμβάνει ένα ορισμένο φάσμα κεντραρισμένο στη συχνότητα του φέροντος σήματος
    - Βασικές Τεχνικές:
      - Μετατόπιση Πλάτους (*Amplitude Shift Keying-ASK*)
      - Μετατόπιση Συχνότητας (*Frequency Shift Keying-FSK*)
      - Μετατόπιση Φάσης (*Phase Shift Keying-PSK*)



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

---

- Αναλογικά και Ψηφιακά Δεδομένα & Αναπαράστασή τους με Αναλογικά ή Ψηφιακά Σήματα
  - Αναλογικά Δεδομένα – Ψηφιακά Σήματα
    - Τα αναλογικά δεδομένα μπορούν να αναπαρασταθούν ως ψηφιακά σήματα
    - Διαδικασία της ψηφιοποίησης
      - Δειγματοληψία (*Sampling*)
      - Κβαντισμό (*Quantisation*)
      - Κωδικοποίηση (*Coding*)
    - Συσκευή : *Analog to Digital Converter- ADC*
    - Απλούστερη Τεχνική
      - Παλμοκωδική Διαμόρφωση (*Pulse Code Modulation – PCM*)
    - Άλλες Τεχνικές
      - Διαφορική ή Προβλεπτική Κωδικοποίηση
        - » Απλή Διαφορική Παλμοκωδική Διαμόρφωση (*DPCM*)
        - » Διαμόρφωση Δέλτα (*DM*)
        - » Προσαρμοστική Διαφορική Παλμοκωδική Διαμόρφωση (*ADPCM*)



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

---

- Αναλογικά και Ψηφιακά Δεδομένα & Αναπαράστασή τους με Αναλογικά ή Ψηφιακά Σήματα
  - Αναλογικά Δεδομένα – Αναλογικά Σήματα
    - Τα αναλογικά σήματα μπορούν να αναπαρασταθούν από άλλα αναλογικά σήματα τα οποία καταλαμβάνουν διαφορετικό τμήμα του φάσματος
    - Βασικές Τεχνικές
      - Διαμόρφωση Πλάτους (*Amplitude Modulation – AM*)
      - Διαμόρφωση Συχνότητας (*Frequency Modulation – FM*)
      - Διαμόρφωση Φάσης (*Phase Modulation – PM*)





# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

---

- Αναλογικά και Ψηφιακά Δεδομένα & Αναπαράστασή τους με Αναλογικά ή Ψηφιακά Σήματα
  - Αναλογική Μετάδοση
    - Το σήμα εισόδου (δεδομένα) μπορεί να είναι είτε ψηφιακό είτε αναλογικό
    - Ονομάζεται σήμα διαμορφώσεως ή σήμα βασικής ζώνης
    - Η αναλογική μετάδοση βασίζεται στην κωδικοποίηση του σήματος εισόδου πάνω σε ένα φέρον σήμα, του οποίου η συχνότητα επιλέγεται, έτσι ώστε να είναι συμβατή με το μέσο μετάδοσης που χρησιμοποιείται
    - Διαδικασία Διαμόρφωσης – χρησιμοποιεί ένα από τα τρία θεμελιώδη χαρακτηριστικά του σήματος (πλάτος, συχνότητα φάση)
    - Το αποτέλεσμα της διαμόρφωσης είναι ένα διαμορφωμένο σήμα, του οποίου το εύρος ζώνης είναι συνήθως κεντραρισμένο στη συχνότητα του φέροντος σήματος



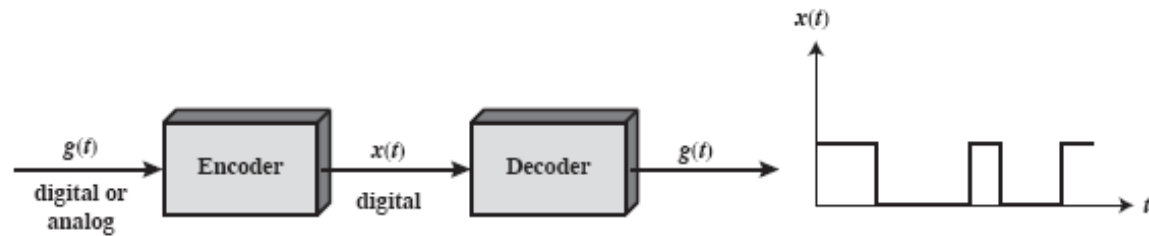
# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

---

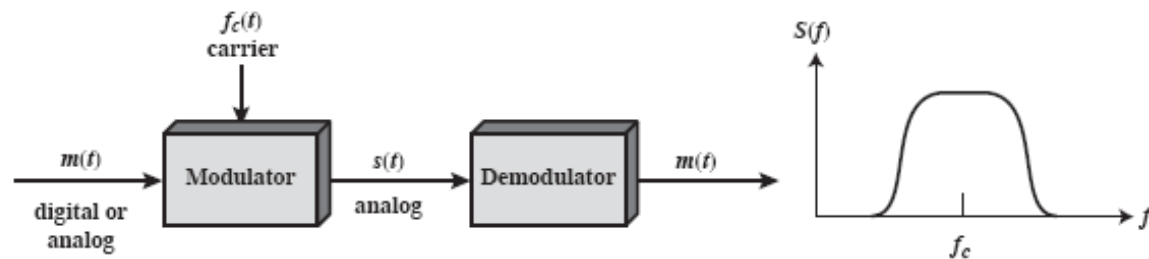
- Αναλογικά και Ψηφιακά Δεδομένα & Αναπαράστασή τους με Αναλογικά ή Ψηφιακά Σήματα
  - Ψηφιακή Μετάδοση
    - Το σήμα εισόδου (δεδομένα) μπορεί να είναι είτε ψηφιακό είτε αναλογικό
    - Ο εξοπλισμός για την κωδικοποίηση των ψηφιακών δεδομένων σε ψηφιακό σήμα είναι λιγότερο σύνθετος και λιγότερο ακριβός από τον εξοπλισμό για ψηφιακή σε αναλογική διαμόρφωση
    - Η μετατροπή των αναλογικών δεδομένων σε ψηφιακή μορφή επιτρέπει τη χρήση σύγχρονου ψηφιακού εξοπλισμού μετάδοσης



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων



(a) Encoding onto a digital signal



(b) Modulation onto an analog signal

Κωδικοποίηση – Διαμόρφωση Δεδομένων



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

- Ψηφιακά Δεδομένα – Ψηφιακά Σήματα
  - Ψηφιακή Μετάδοση
    - Χρονισμός του κάθε *bit*
      - Ο δέκτης πρέπει να γνωρίζει με ακρίβεια πότε αρχίζει ένα *bit* και πότε τελειώνει
    - Καθορισμός του επιπέδου τάσης & αντιστοίχσή του με τα *bit* δεδομένων που έχουν αποσταλεί
    - Παράγοντες που επηρεάζουν την ψηφιακή μετάδοση
      - Λόγος Σήματος προς Θόρυβο ( $S/N$  ή  $E_b/N_o$ )
      - Εύρος Ζώνης Σήματος & Διαύλου Επικοινωνίας
      - Ρυθμός Μετάδοσης Δεδομένων
    - Μπορούμε να πούμε τα ακόλουθα:
      - *Bit Error Rate (BER)* : η πιθανότητα ένα *bit* να είναι εσφαλμένο
      - Αύξηση στο ρυθμό δεδομένων συνεπάγεται αύξηση στα εσφαλμένα *bit*
      - Αύξηση στο λόγο σήματος προς θόρυβο συνεπάγεται μείωση στα εσφαλμένα *bit*
      - Αύξηση στο εύρος ζώνης επιτρέπει αύξηση στο ρυθμό δεδομένων



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

- Ψηφιακά Δεδομένα – Ψηφιακά Σήματα
  - Ψηφιακή Μετάδοση
    - Κωδικοποίηση
      - Αντιστοιχία *bit* δεδομένων σε επίπεδα τάσης (στοιχεία σημάτων)
    - Μπορούν να αναπτυχθούν διαφορετικές τεχνικές κωδικοποίησης
      - Φασματικά Χαρακτηριστικά
        - » Έλλειψη Συνιστωσών Υψηλής Συχνότητας (Απαιτείται λιγότερο εύρος ζώνης για μετάδοση)
        - » Έλλειψη συνεχούς συνιστώσας (Μειώνεται η παρεμβολή)
        - » Συγκέντρωση της μεταδιδόμενης ισχύος του σήματος στη μέση του εύρους ζώνης μετάδοσης (Μείωση της παραμόρφωσης του λαμβανόμενου σήματος)
      - Χρονισμός
        - » Ξεχωριστό κύκλωμα χρονισμού για το συγχρονισμό πομπού και δέκτη
        - » Μηχανισμός συγχρονισμού στο μεταδιδόμενο σήμα
      - Ανίχνευση Σφαλμάτων
        - » Ενσωματωμένος μηχανισμός ανίχνευσης σφαλμάτων στο μεταδιδόμενο σήμα επιτρέπει την ανίχνευση σφαλμάτων γρηγορότερα
      - Απόδοση σε περιβάλλοντα με παρεμβολές και θόρυβο
        - » Η καλή απόδοση σε θορυβώδη περιβάλλοντα είναι επιθυμητή
      - Κόστος & Πολυπλοκότητα
        - » Μερικοί κώδικες απαιτούν ρυθμό μετάδοσης στοιχείων σημάτων μεγαλύτερο από το ρυθμό μετάδοσης δεδομένων



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

- Ψηφιακά Δεδομένα – Ψηφιακά Σήματα
  - Μονοπολική Κωδικοποίηση (*Unipolar Coding*)
    - Στη μονοπολική κωδικοποίηση χρησιμοποιείται μόνο ένα επίπεδο τάσης (που αναπαριστά το ένα δυαδικό ψηφίο) και η απουσία τάσης (που αναπαριστά το άλλο δυαδικό ψηφίο)
  - Διπολική Κωδικοποίηση (*Bipolar Coding*)
    - Χρησιμοποιούνται δύο επίπεδα τάσης (ένα θετικό και ένα αρνητικό), καθώς και απουσία τάσης για την κωδικοποίηση του σήματος
  - Μη Επαναφορά στο Μηδέν (*Non Return to Zero-NRZ*)
    - Χρησιμοποιούνται δύο διαφορετικά επίπεδα τάσης για τα δύο δυαδικά ψηφία
    - *Non Return to Zero – Low (NRZ-L)*
      - Η μία λογική κατάσταση αντιπροσωπεύεται από ένα θετικό επίπεδο τάσης και η άλλη λογική κατάσταση από απουσία τάσης ή από ένα αρνητικό επίπεδο τάσης (*Non Return to Zero – Low*)
      - Το κάθε επίπεδο τάσης παριστάνει ένα *bit* (παραμένει σταθερό κατά τη διάρκεια ενός διαστήματος *bit*)
      - Ο ρυθμός μετάδοσης είναι ίσος με το αντίστροφο της χρονικής διάρκειας ενός *bit*
      - Για ρυθμό μετάδοσης  $R$ , η χρονική διάρκεια ενός *bit* είναι  $1/R$



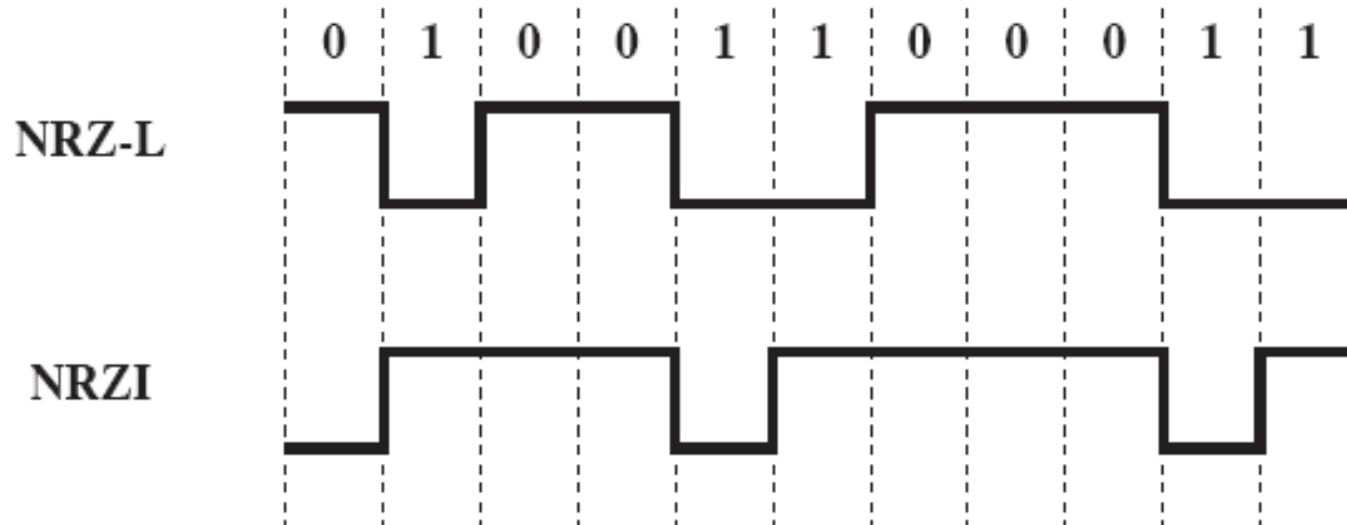
# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

- Ψηφιακά Δεδομένα – Ψηφιακά Σήματα
  - Μη Επαναφορά στο Μηδέν (*Non Return to Zero-NRZ*)
    - *Non Return to Zero Invert on ones – NRZI*
      - Κάθε παλμός τάσης αντιπροσωπεύει ένα *bit*.
      - Μία μετάβαση (είτε από υψηλό σε χαμηλό είτε από χαμηλό σε υψηλό) στην αρχή ενός χρόνου *bit* δηλώνει ένα δυαδικό 1 για αυτόν τον χρόνο *bit*. Μία μη μετάβαση δηλώνει ένα δυαδικό 0
      - Παράδειγμα Διαφορικής Κωδικοποίησης (*Differential Encoding*)
      - Η Διαφορική Κωδικοποίηση είναι μία τεχνική κωδικοποίησης στην οποία η πληροφορία προς μετάδοση αντιπροσωπεύεται από τις αλλαγές μεταξύ διαδοχικών στοιχείων σήματος, παρά από τα ίδια τα στοιχεία σήματος
        - » Εάν το τρέχον *bit* είναι ένα δυαδικό 0, τότε το τρέχον *bit* κωδικοποιείται με το ίδιο σήμα του προηγούμενου *bit*
        - » Εάν το τρέχον *bit* είναι ένα δυαδικό 1, τότε το τρέχον *bit* κωδικοποιείται με ένα διαφορετικό σήμα από το προηγούμενο *bit*
        - » Ωφέλη της Διαφορικής Κωδικοποίησης
        - » Είναι πιο αξιόπιστη στην ανίχνευση μίας μετάβασης επί παρουσία θορύβου από τη μέθοδο σύγκρισης με ένα επίπεδο αναφοράς
        - » Σε μία πολύπλοκη διάταξη μετάδοσης είναι εύκολο να χαθεί η αίσθηση της πολικότητας (το δυαδικό ψηφίο 1 ερμηνεύεται ως δυαδικό ψηφίο 0 και αντίστροφα)



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

---



Τεχνικές Κωδικοποίησης NRZ





# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

- Ψηφιακά Δεδομένα – Ψηφιακά Σήματα
  - Μη Επαναφορά στο Μηδέν (*Non Return to Zero-NRZ*)
    - Πλεονεκτήματα
      - Οι κώδικες *NRZ* είναι οι ευκολότεροι από πλευράς υλοποίησης
      - Κάνουν αποδοτική χρήση του εύρους ζώνης
    - Μειονεκτήματα
      - Παρουσία *DC* συνιστώσας
      - Έλλειψη ικανότητας συγχρονισμού
        - » Μία μακρά σειρά από *1* ή *0* για *NRZ-L* έχει ως αποτέλεσμα ένα σταθερό επίπεδο τάσης για μία μακρά χρονική περίοδο
        - » Μία μακρά σειρά από *0* για *NRZ-I* έχει ως αποτέλεσμα ένα σταθερό επίπεδο τάσης για μία μακρά χρονική περίοδο
        - » Σε αυτές τις περιπτώσεις μία αλλαγή στα κυκλώματα χρονισμού πομπού και δέκτη έχει ως αποτέλεσμα την απώλεια συγχρονισμού
    - Λόγω των μειονεκτημάτων τους, οι κώδικες αυτοί δεν είναι ελκυστικοί για μετάδοση σημάτων



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

- Ψηφιακά Δεδομένα – Ψηφιακά Σήματα
  - Πολυεπίπεδο Δυαδικό (*Multilevel Binary*)
    - Διευθετεί μερικές από τις ανεπάρκειες των τεχνικών κωδικοποίησης NRZ
    - Χρησιμοποιούν περισσότερα από δύο επίπεδα τάσης
    - Τεχνικές
      - Διπολική Τεχνική AMI (*Bipolar Encoding – Alternate Mark Inversion*)
        - » Στην περίπτωση του διπολικού-AMI ένα δυαδικό 0 αντιπροσωπεύεται από απουσία τάσης στο δίαυλο επικοινωνίας και ένα δυαδικό 1 αντιπροσωπεύεται από ένα θετικό ή αρνητικό παλμό.
        - » Οι παλμοί που αντιπροσωπεύουν το δυαδικό 1 εναλλάσσουν πολικότητα
        - » Ικανότητα συγχρονισμού του δέκτη στις μεταβάσεις που υπάρχουν στα δυαδικά ψηφία 1
        - » Πρόβλημα συγχρονισμού υπάρχει σε περίπτωση που εμφανισθεί μία μακρά σειρά από δυαδικά 0
        - » Δεν υπάρχει DC συνιστώσα, αφού οι παλμοί που αντιπροσωπεύουν το δυαδικό 1 εναλλάσσουν πολικότητα
        - » Το εύρος ζώνης του προκύπτοντος σήματος είναι μικρότερο από το εύρος ζώνης του NRZ
        - » Η ιδιότητα εναλλαγής παλμών παρέχει μία απλή μέθοδο ανίχνευσης σφαλμάτων – οποιοδήποτε απομονωμένο σφάλμα είτε προσθέτει παλμό είτε αφαιρεί παλμό μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια της εναλλαγής της πολικότητας, οπότε γίνεται αντιληπτό
      - *Pseudoternary*

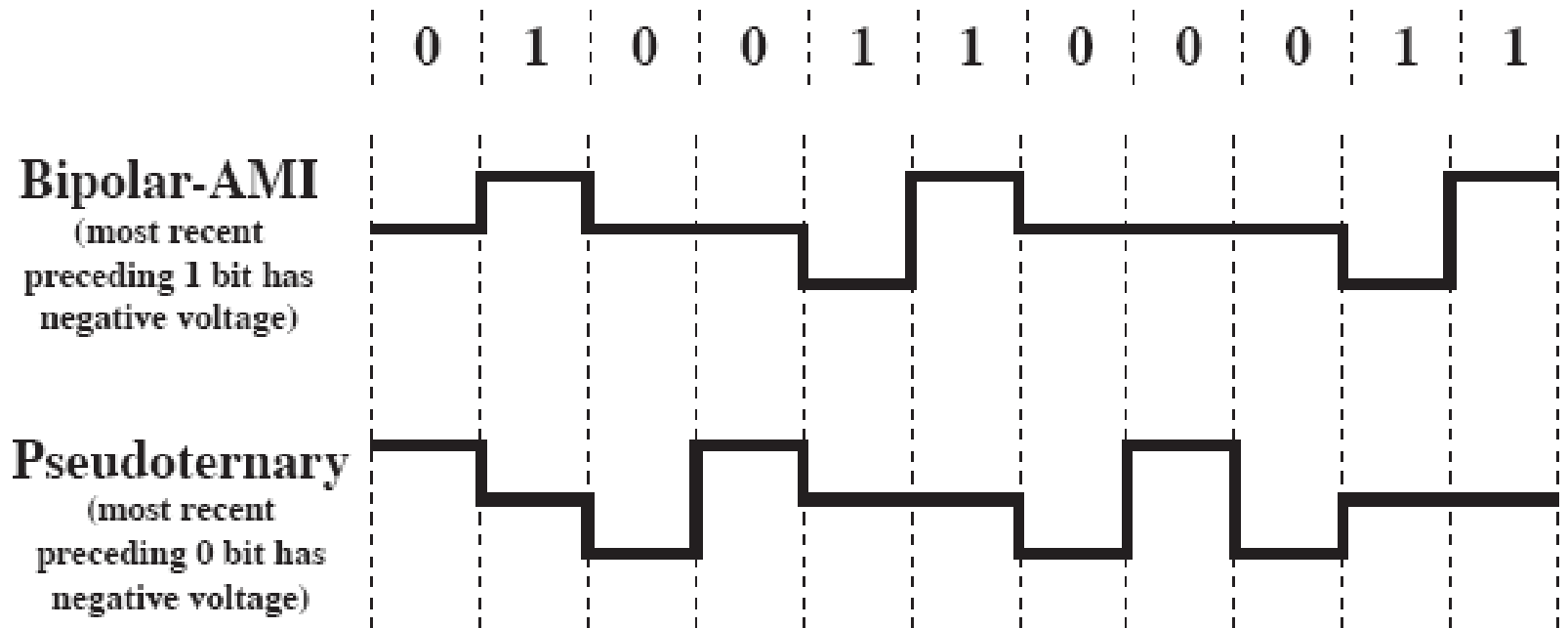


# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

- Ψηφιακά Δεδομένα – Ψηφιακά Σήματα
  - Πολυεπίπεδο Δυαδικό (*Multilevel Binary*)
    - *Pseudoternary*
      - Το δυαδικό 1 αντιπροσωπεύεται από απουσία σήματος στη γραμμή, ενώ το δυαδικό 0 από εναλλασσόμενους θετικούς και αρνητικούς παλμούς
      - Δεν υπάρχει συγκριτικό πλεονέκτημα ανάμεσα στις τεχνικές *Pseudoternary* και Διπολικό *AMI*
    - Και στις δύο τεχνικές υπάρχει πρόβλημα συγχρονισμού
      - Μακρά σειρά από 0 στην περίπτωση της Διπολικής – *AMI*
      - Μακρά σειρά από 1 στην περίπτωση της *Pseudoternary*
    - Η Πολυεπίπεδη Δυαδική Κωδικοποίηση δεν είναι τόσο αποδοτική τεχνική κωδικοποίησης
      - Με την Πολυεπίπεδη Δυαδική Κωδικοποίηση, έχουμε τρία στοιχεία σήματος (θετική τάση, απουσία τάσης και αρνητική τάση).
      - Κάθε στοιχείο σήματος αντιπροσωπεύει ένα *bit*. Παρόλα αυτά θα μπορούσε να αντιπροσωπεύει  $\log_2 3 = 1.58 \text{ bit}$ .
      - Ο δέκτης θα πρέπει να διακρίνει μεταξύ τριών επιπέδων (+A, 0, -A). Λόγω αυτού του γεγονότος απαιτείται περίπου 3 dB περισσότερη ισχύς σήματος για να επιτύχουμε το ίδιο *BER* με τις τεχνικές *NRZ*, όπου ο δέκτης έπρεπε να διακρίνει μεταξύ δύο επιπέδων τάσης
      - Για δεδομένο σηματοθορυβικό λόγο, ο *BER* είναι μεγαλύτερος για τις τεχνικές της Πολυεπίπεδης Δυαδικής Κωδικοποίησης από τις τεχνικές *NRZ*



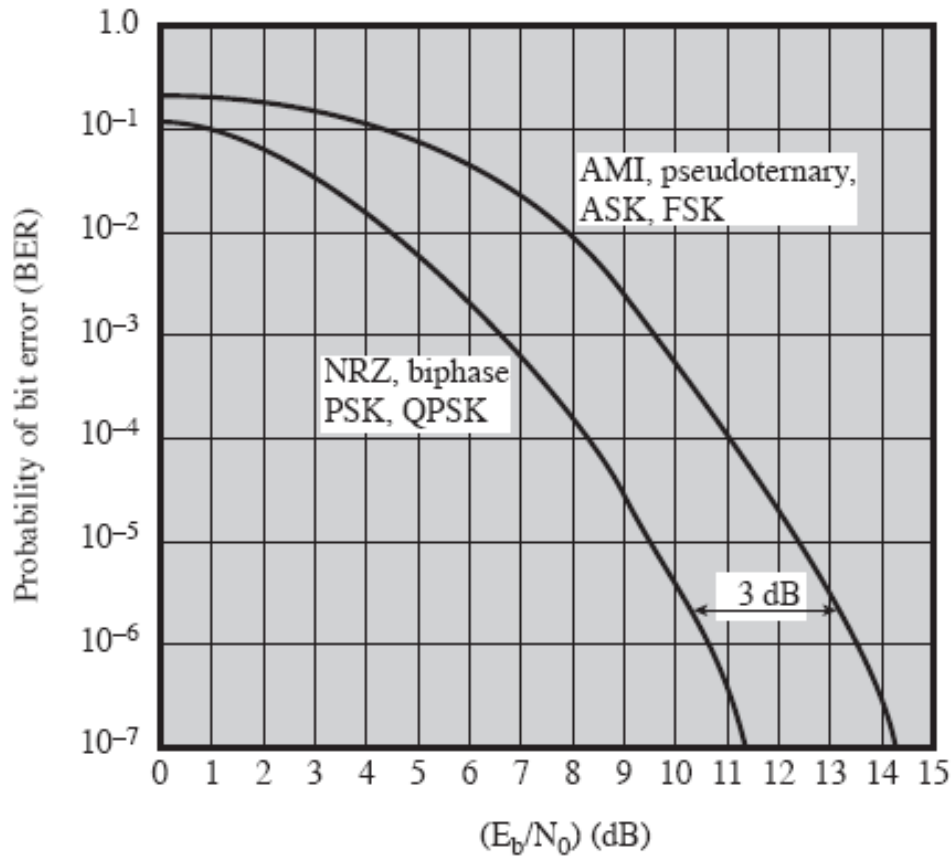
# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων



Τεχνικές Πολυεπίπεδης Δυαδικής Κωδικοποίησης



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων



BER για τις  
διαφορετικές τεχνικές  
κωδικοποίησης



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

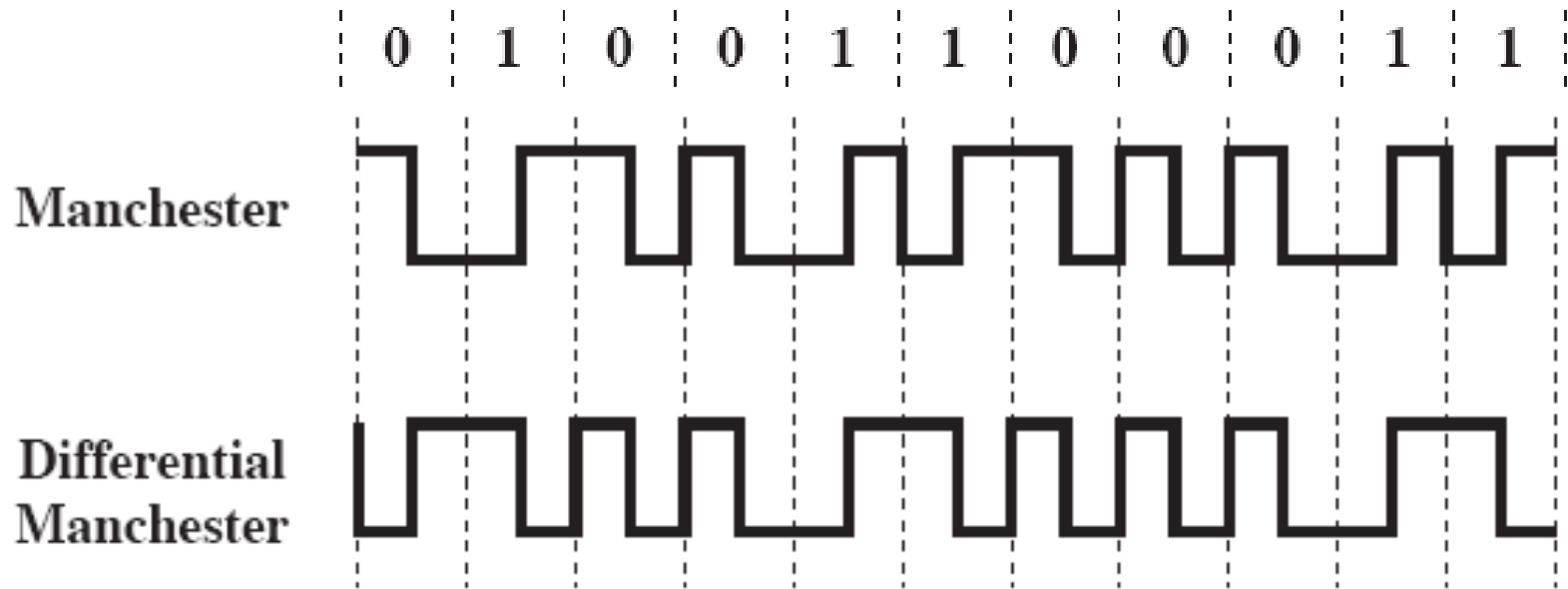
---

- Ψηφιακά Δεδομένα – Ψηφιακά Σήματα
  - Διφασικές Τεχνικές (*Biphase Encoding Techniques*)
    - *Manchester*
      - Υπάρχει μία μετάβαση στη μέση της διάρκειας του *bit*
      - Η μετάβαση αυτή, εκτός από την κωδικοποίηση δεδομένων, χρησιμεύει και ως μηχανισμός χρονισμού
      - Μία μετάβαση από χαμηλό σε υψηλό αντιπροσωπεύει ένα δυαδικό *1* και μία μετάβαση από υψηλό σε χαμηλό αντιπροσωπεύει ένα δυαδικό *0*
    - *Differential Manchester*
      - Η μετάβαση στη μέση της περιόδου του *bit* χρησιμοποιείται μόνο για λόγους χρονισμού
      - Η κωδικοποίηση του *0* αντιπροσωπεύεται από την παρουσία μίας μετάβασης στην αρχή μίας περιόδου *bit*, ενώ το δυαδικό *1* αντιπροσωπεύεται από την απουσία μίας μετάβασης στην αρχή μίας περιόδου *bit*



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

---

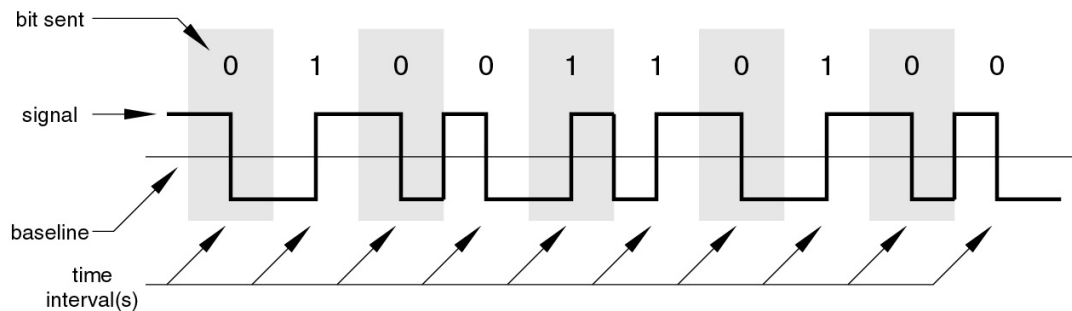


**Διφασικές Τεχνικές Κωδικοποίησης**

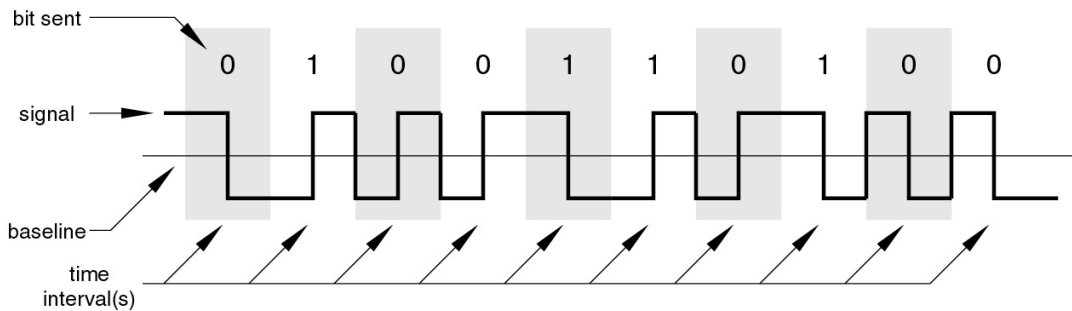


# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

## Manchester Encoding



## Differential Manchester Encoding



## Διφασικές Τεχνικές Κωδικοποίησης



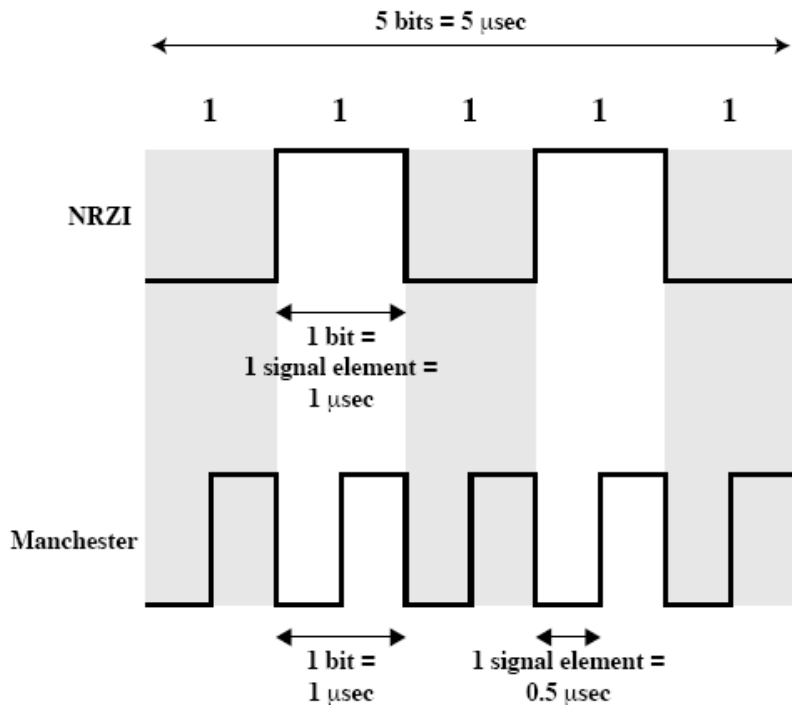


# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

- Ψηφιακά Δεδομένα – Ψηφιακά Σήματα
  - Διφασικές Τεχνικές (*Biphase Encoding Techniques*)
    - Όλες οι διφασικές τεχνικές απαιτούν μία τουλάχιστον μετάβαση ανά χρόνο *bit* και μπορούν να έχουν το πολύ δύο μεταβάσεις
    - Υπάρχει διαχωρισμός στο ρυθμό μετάδοσης στοιχείων τάσης και στο ρυθμό μετάδοσης *bit*. Ο ρυθμός μετάδοσης στοιχείων τάσης αναφέρεται ως ρυθμός διαμόρφωσης και εκφράζεται σε *baud*
    - Ο μέγιστος ρυθμός διαμόρφωσης είναι διπλάσιος του ρυθμού του *NRZ*
    - Ως συνέπεια του διπλάσιου ρυθμού διαμόρφωσης απαιτείται μεγαλύτερο εύρος ζώνης
    - Ικανότητα Συγχρονισμού λόγω της προβλέψιμης μετάβασης στη διάρκεια κάθε χρόνου *bit*.
      - Οι διφασικές τεχνικές είναι γνωστές και ως τεχνικές αυτοσυγχρονισμού
    - Δεν υπάρχει συνεχής (*DC*) συνιστώσα
    - Ανίχνευση Σφαλμάτων
      - Η απουσία μίας αναμενόμενης μετάβασης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανίχνευση σφάλματος



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων



Ρυθμός Διαμόρφωσης και  
Ρυθμός Μετάδοσης  
Δεδομένων



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

---

- Ψηφιακά Δεδομένα – Ψηφιακά Σήματα
  - Διφασικές Τεχνικές (*Biphase Encoding Techniques*)
    - Οι διφασικές τεχνικές κωδικοποίησης είναι δημοφιλείς τεχνικές για τη μετάδοση δεδομένων
    - Οι τεχνικές *Manchester* και *Differential Manchester* χρησιμοποιούνται σε διαφορετικά πρότυπα τοπικών δικτύων
      - *Manchester*: IEEE 802.3 τοπικά δίκτυα αρτηρίας με ομοαξονικό καλώδιο ή καλώδιο συνεστραμμένου ζεύγους
      - *Differential Manchester*: IEEE 802.5 τοπικό δίκτυο δακτυλίου με STP
      - Έχουν επιτύχει σχετικά υψηλούς ρυθμούς δεδομένων (μέχρι 10 Mbps)
      - Δεν χρησιμοποιούνται ευρέως σε εφαρμογές μεγάλης απόστασης. Απαιτούν μεγάλο ρυθμό διαμόρφωσης σε σχέση με το ρυθμό δεδομένων



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

- Ψηφιακά Δεδομένα – Ψηφιακά Σήματα
  - Τεχνικές Περίπλεξης (*Scrambling Techniques*)
    - Οι ακολουθίες που θα οδηγούσαν σε ένα σταθερό επίπεδο τάσης στο δίαυλο επικοινωνίας αντικαθίστανται με ακολουθίες που θα δώσουν επαρκείς μεταβάσεις, ώστε να διατηρηθεί ο συγχρονισμός ανάμεσα στον πομπό και στο δέκτη
    - Ουσιαστικά παρεμβάλλονται κάποιες άλλες προκαθορισμένες ακολουθίες δυαδικών ψηφίων («ακολουθίες πλήρωσης»), οι οποίες αναγνωρίζονται και αντικαθίστανται στο δέκτη από τις αρχικές ακολουθίες δεδομένων
    - Η «ακολουθία πλήρωσης» έχει τον ίδιο αριθμό δυαδικών ψηφίων με την αρχική ακολουθία, οπότε δεν υπάρχει μεταβολή του ρυθμού δεδομένων
    - Χαρακτηριστικά των Τεχνικών Περίπλεξης
      - Δεν υπάρχει συνεχής συνιστώσα
      - Δεν υπάρχει μακρά ακολουθία δυαδικών ψηφίων που παράγουν σταθερό επίπεδο σήματος
      - Δεν υπάρχει μεταβολή στο ρυθμό δεδομένων
      - Υπάρχει ικανότητα ανίχνευσης σφαλμάτων
    - Είναι κατάλληλες για μετάδοση υψηλού ρυθμού δεδομένων



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

- Ψηφιακά Δεδομένα – Ψηφιακά Σήματα
  - Τεχνικές Περίπλεξης
    - Χρησιμοποιούνται δύο βασικές τεχνικές
      - Διπολική με αντικατάσταση 8 μηδενικών (*Bipolar with 8 Zeros Substitution –B8ZS*)
        - » Βασίζεται στην τεχνική Διπολική – *AMI*
        - » Μία μακρά ακολουθία από μηδενικά μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια συγχρονισμού
        - » Εάν μία οκτάδα μηδενικών εμφανισθεί και ο τελευταίος παλμός τάσης που προηγείται αυτής της οκτάδας ήταν θετικός, τότε τα οκτώ μηδενικά της οκτάδας κωδικοποιούνται ως *000+-0-+*
        - » Εάν μία οκτάδα μηδενικών εμφανισθεί και ο τελευταίος παλμός τάσης που προηγείται αυτής της οκτάδας ήταν αρνητικός, τότε τα οκτώ μηδενικά της οκτάδας κωδικοποιούνται ως *000-+0+-*



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

- Ψηφιακά Δεδομένα – Ψηφιακά Σήματα
  - Τεχνικές Περίπλεξης
    - Χρησιμοποιούνται δύο βασικές τεχνικές
      - Διπολική με αντικατάσταση 8 μηδενικών (*Bipolar with 8 Zeros Substitution –B8ZS*)
        - » Η τεχνική αυτή οδηγεί σε δύο παραβιάσεις της κωδικοποίησης βάσει της Διπολικής –*AMI*
        - » Δύο παραβιάσεις είναι εξαιρετικά απίθανο να προκληθούν από θόρυβο ή άλλη βλάβη μετάδοσης
      - Υψηλής Πυκνότητας Διπολικό 3 Μηδενικών (*High Density Bipolar 3 Zeros-HDB3*)
        - » Βασίζεται στην τεχνική Διπολική – *AMI*
        - » Μία σειρά τεσσάρων μηδενικών αντικαθίσταται με ακολουθίες που περιέχουν έναν ή δύο παλμούς
        - » Σε κάθε περίπτωση το τέταρτο μηδενικό αντικαθίσταται με μία παραβίαση κώδικα
        - » Διαδοχικές παραβιάσεις είναι εναλλασσόμενης πολικότητας έτσι ώστε να μην έχουμε εισαγωγή συνεχούς συνιστώσας

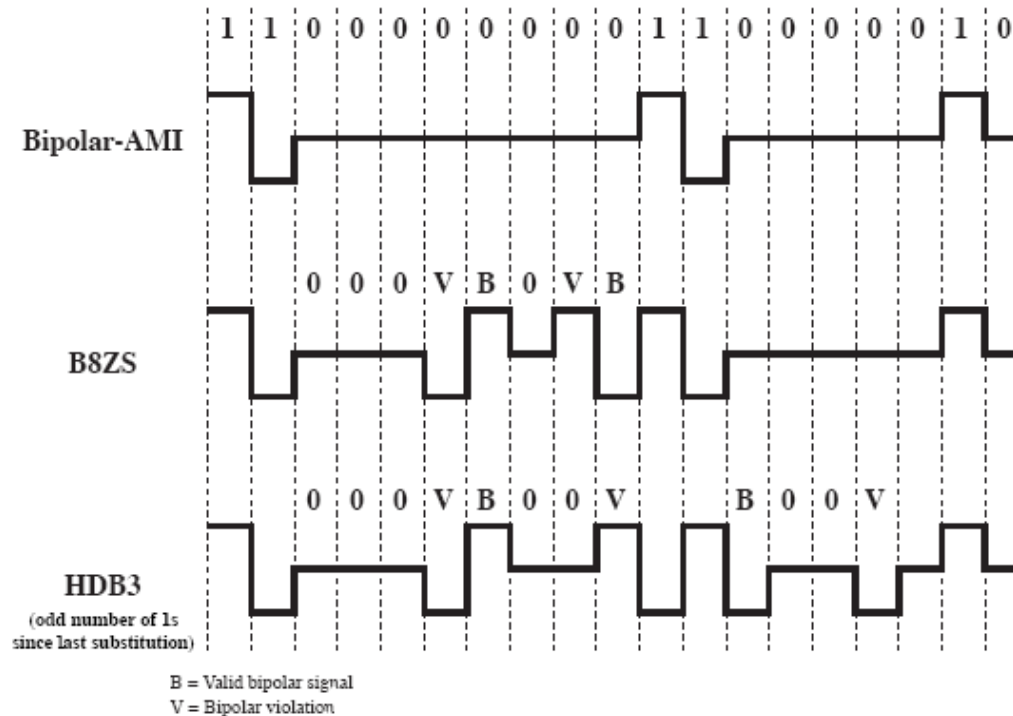


# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

- Ψηφιακά Δεδομένα – Ψηφιακά Σήματα
  - Τεχνικές Περίπλεξης
    - Χρησιμοποιούνται δύο βασικές τεχνικές
      - Υψηλής Πυκνότητας Διπολικό 3 Μηδενικών (*High Density Bipolar 3 Zeros-HDB3*)
        - » Εάν ο τελευταίος παλμός ήταν αρνητικός και ο αριθμός των παλμών από την τελευταία παραβίαση είναι περιττός τότε η ακολουθία των τεσσάρων 0 αντικαθίσταται από την 000-
        - » Εάν ο τελευταίος παλμός ήταν θετικός και ο αριθμός των παλμών από την τελευταία παραβίαση είναι περιττός τότε η ακολουθία των τεσσάρων 0 αντικαθίσταται από την 000+
        - » Εάν ο τελευταίος παλμός ήταν αρνητικός και ο αριθμός των παλμών από την τελευταία παραβίαση είναι άρτιος τότε η ακολουθία των τεσσάρων 0 αντικαθίσταται από την +00+
        - » Εάν ο τελευταίος παλμός ήταν θετικός και ο αριθμός των παλμών από την τελευταία παραβίαση είναι άρτιος τότε η ακολουθία των τεσσάρων 0 αντικαθίσταται από την -00-



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων



## Τεχνικές Περίπλεξης





# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

---

- Ψηφιακά Δεδομένα – Αναλογικά Σήματα
  - Μετάδοση Ψηφιακών Δεδομένων μέσω του Τηλεφωνικού Δικτύου
  - Τεχνικές Διαμόρφωσης Ψηφιακών Δεδομένων σε Αναλογικά Σήματα
    - Μεταλλαγή Μετατόπισης Πλάτους (*Amplitude Shift Keying – ASK*)
    - Μεταλλαγή Μετατόπισης Συχνότητας (*Frequency Shift Keying – FSK*)
    - Μεταλλαγή Μετατόπισης Φάσης (*Phase Shift Keying – PSK*)



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

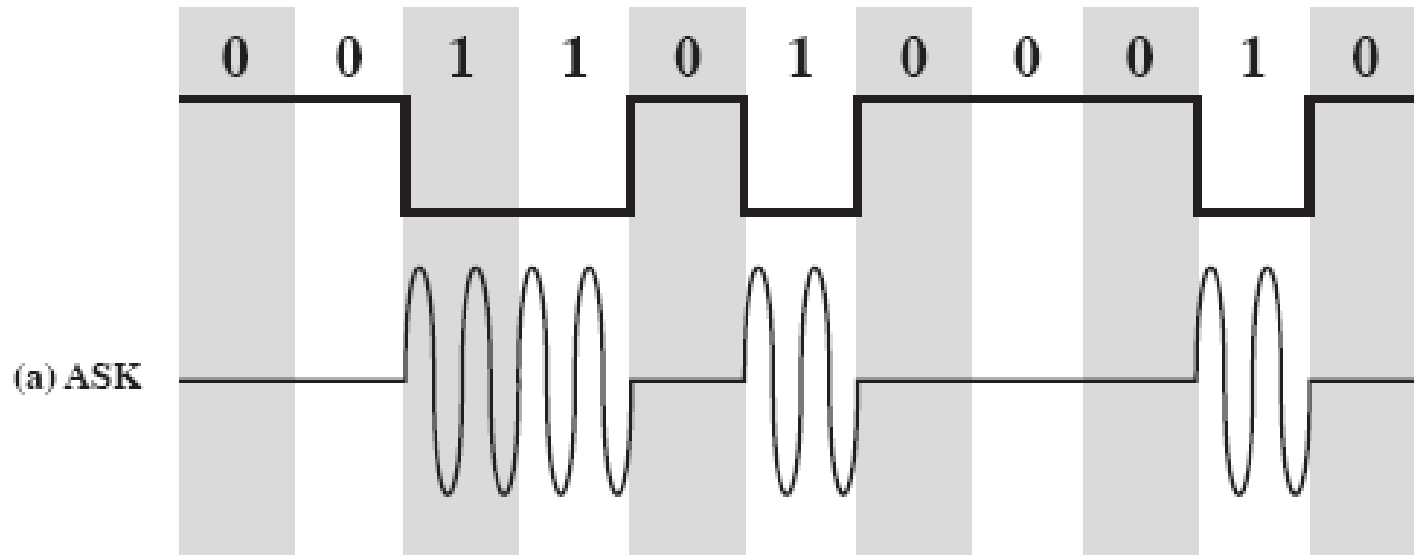
- Ψηφιακά Δεδομένα – Αναλογικά Σήματα
  - Μεταλλαγή Μετατόπισης Πλάτους (*Amplitude Shift Keying – ASK*)
    - Οι δύο δυαδικές τιμές αντιπροσωπεύονται από δύο διαφορετικά πλάτη της φέρουσας συχνότητας
    - Συνήθως το ένα πλάτος είναι μηδέν
    - Το σήμα είναι της μορφής:

$$s(t) = \begin{cases} A \cos(2\pi f_c t), & \text{δυαδικό 1} \\ 0, & \text{δυαδικό 0} \end{cases}$$

- Όπου  $A \cos(2\pi f_c t)$  είναι το φέρον σήμα
- Η ASK είναι ιδιαίτερα ευάλωτη σε ξαφνικές αλλαγές απολαβής και δεν είναι αποδοτική τεχνική διαμόρφωσης.
- Σε γραμμές τύπου φωνής χρησιμοποιείται συνήθως μέχρι τα  $1200 \text{ bps}$
- Χρησιμοποιείται για τη μετάδοση ψηφιακών δεδομένων πάνω από οπτική ίνα



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων



Τεχνική Διαμόρφωσης ASK



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

- Ψηφιακά Δεδομένα – Αναλογικά Σήματα
  - Μεταλλαγή Μετατόπισης Συχνότητας (*Frequency Shift Keying – FSK*)
    - Οι δύο δυαδικές τιμές αντιπροσωπεύονται από δύο διαφορετικές συχνότητες κοντά στη συχνότητα του φέροντος σήματος
    - Το σήμα είναι της μορφής:

$$s(t) = \begin{cases} A \cos(2\pi f_1 t), & \text{δυαδικό 1} \\ A \cos(2\pi f_2 t), & \text{δυαδικό 0} \end{cases}$$

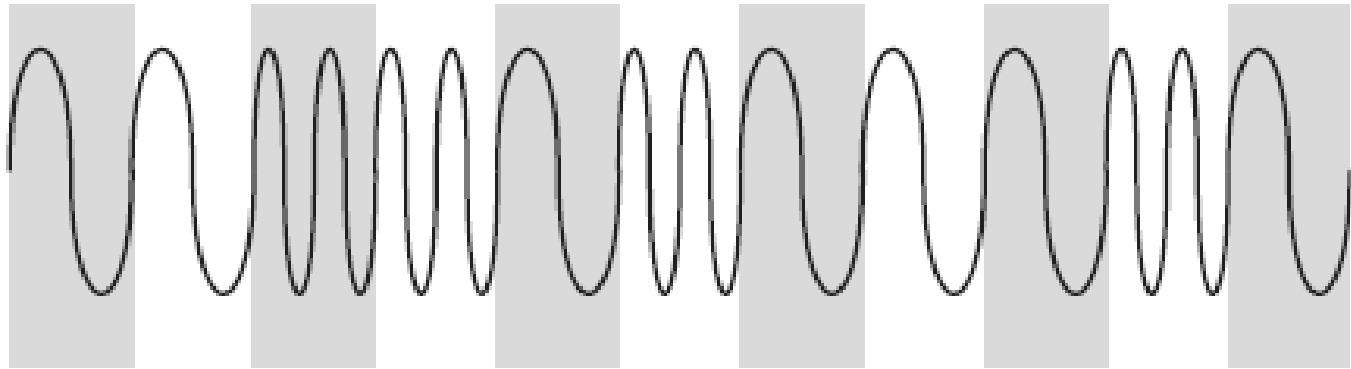
- Όπου  $f_1$  και  $f_2$  είναι αντισταθμισμένες από τη συχνότητα του φορέα  $f_c$  κατά την ίδια, αλλά αντίθετη ποσότητα
- Η *FSK* είναι λιγότερη ευάλωτη από την *ASK*
- Χρησιμοποιείται μέχρι τα *1200 bps* σε γραμμές τύπου φωνής
- Χρησιμοποιείται για υψηλής συχνότητας ραδιοφωνική μετάδοση (*3 -30 MHz*)



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

---

(b) BFSK



Τεχνική Διαμόρφωσης *FSK*

# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

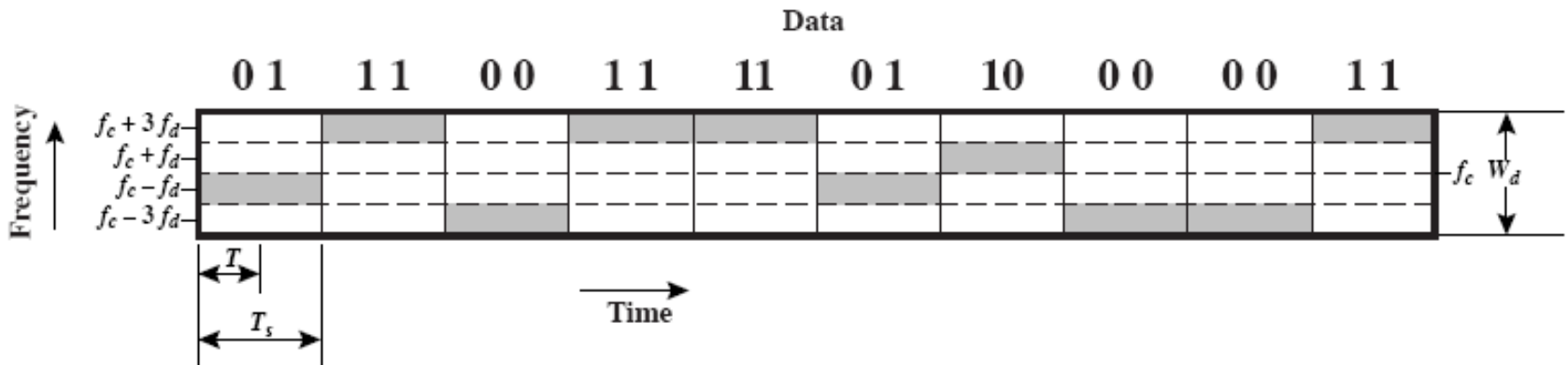
- Ψηφιακά Δεδομένα – Αναλογικά Σήματα
  - Μεταλλαγή Μετατόπισης Συχνότητας (*Frequency Shift Keying – FSK*)
    - *Multiple Frequency Shift Keying (MFSK)*
      - Χρήση περισσότερων των δύο συχνοτήτων για την αναπαράσταση περισσότερων του *1 bit*
      - Για παράδειγμα, χρήση 8 συχνοτήτων επιτρέπουν την κωδικοποίηση σε κάθε συχνότητα *3 bit*
      - Ισχύει η ακόλουθη σχέση:

$$s(t) = A \cos(2\pi f_i t)$$

- Όπου  $f_i = f_c + (2i - 1 - M)f_d$   $1 \leq i \leq M$
- $f_c$  είναι η συχνότητα φορέα
- $f_d$  είναι η συχνότητα διαφοράς
- $M$  είναι το πλήθος των διαφορετικών στοιχείων σήματος



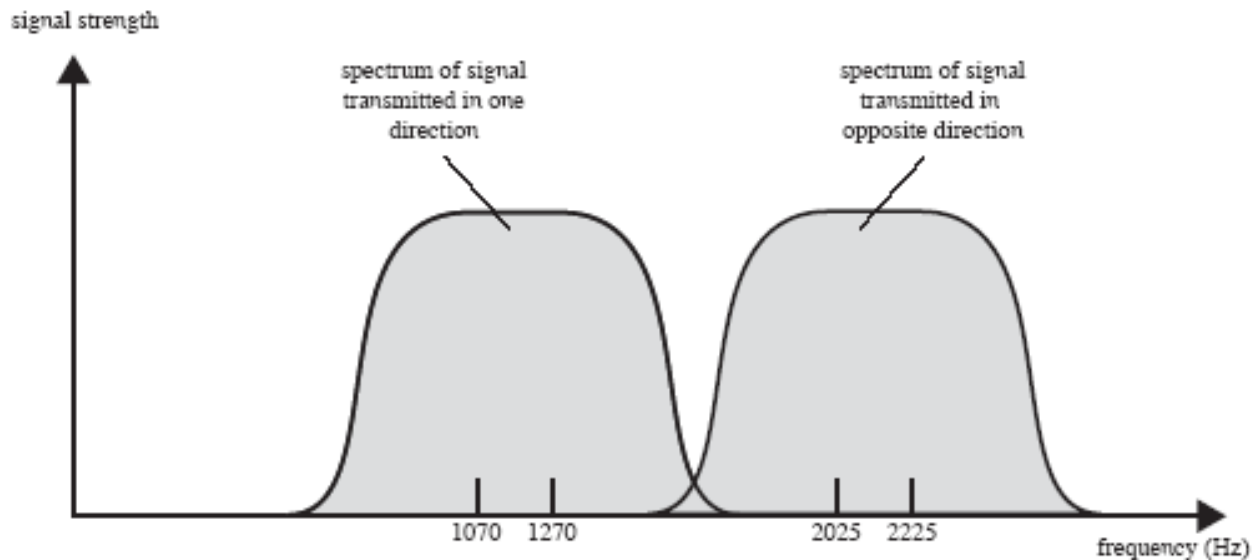
# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων



Τεχνική Διαμόρφωσης *MFSK* για  $M=4$



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων



Τεχνική Διαμόρφωσης *FSK* - Φασματική απεικόνιση των μεταδιδόμενων σημάτων σε μία αμφίδρομη μετάδοση πάνω από μία γραμμή τύπου φωνής.





# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

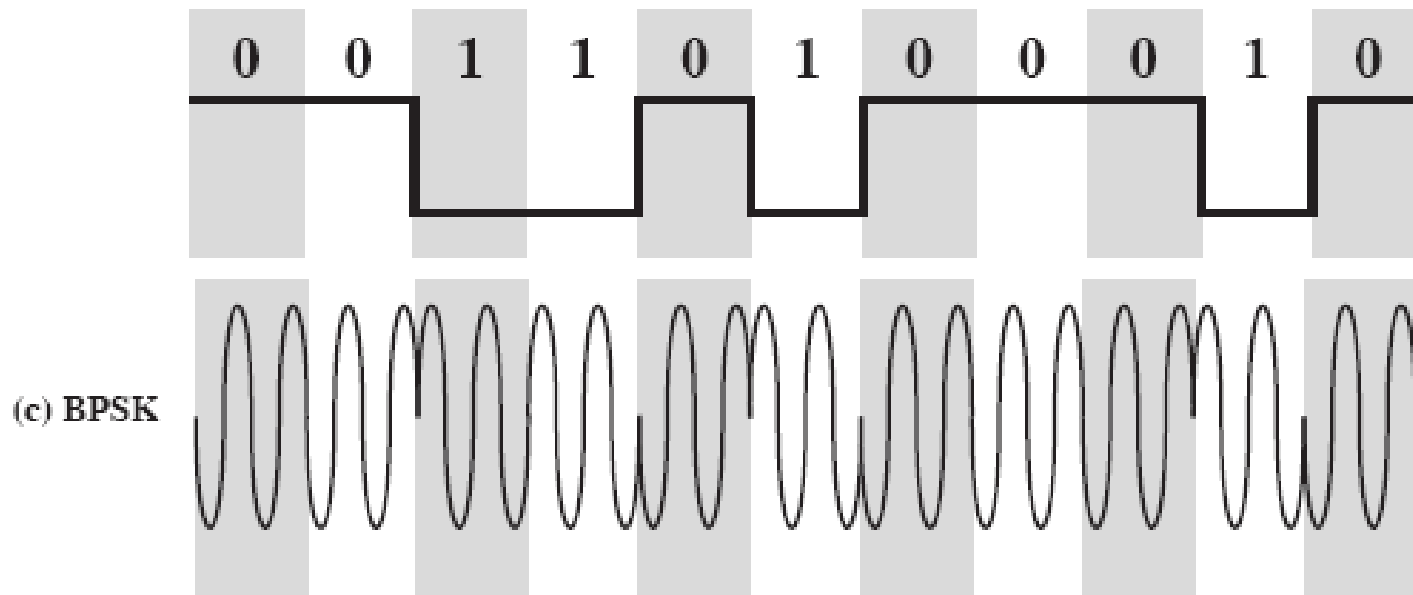
- Ψηφιακά Δεδομένα – Αναλογικά Σήματα
  - Μεταλλαγή Μετατόπισης Φάσης (*Phase Shift Keying – PSK*)
    - Η φάση του φέροντος σήματος μετατοπίζεται για να αντιπροσωπεύσει δεδομένα
    - Το διαμορφωμένο σήμα εκφράζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$s(t) = \begin{cases} A \cos(2\pi f_c t + \pi), & \text{δυναμικό } 0 \\ A \cos(2\pi f_c t), & \text{δυναμικό } 1 \end{cases}$$

- Διαφορική PSK: τεχνική στην οποία λαμβάνεται υπόψη το προηγούμενο *bit* που μεταδόθηκε για τη μετατόπιση φάσης και όχι κάποιο σήμα αναφοράς
- Το δυναμικό 0 αντιπροσωπεύεται με την αποστολή σημάτων της ίδιας φάσης με τα σήματα που είχαν αποσταλεί προηγουμένως
- Το δυναμικό 1 αντιπροσωπεύεται με την αποστολή σημάτων αντίθετης φάσης από τα προηγούμενα σήματα



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

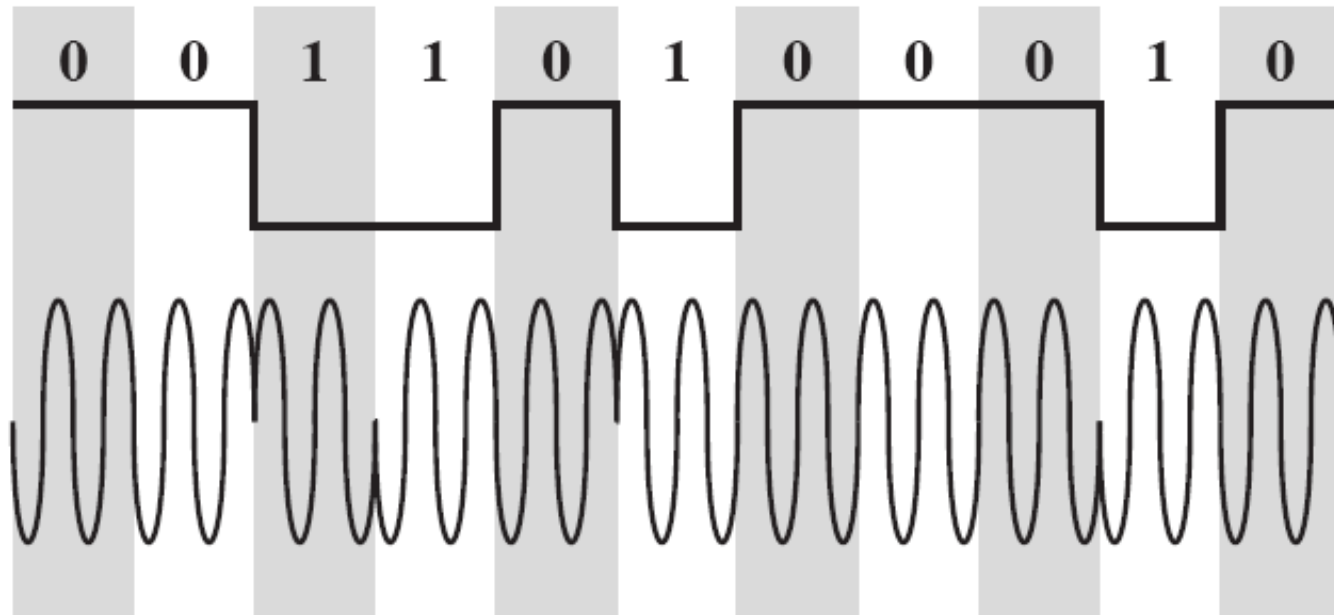


Τεχνική Διαμόρφωσης *PSK*



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

---



Τεχνική Διαμόρφωσης *DPSK*



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

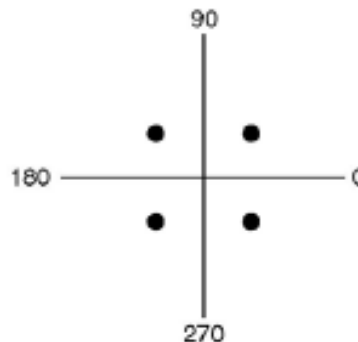
- Ψηφιακά Δεδομένα – Αναλογικά Σήματα
  - Μεταλλαγή Μετατόπισης Φάσης (*Phase Shift Keying – PSK*)
    - Αποδοτικότερη χρήση του εύρους ζώνης μπορούμε να έχουμε σε περίπτωση που κάθε στοιχείο του διαμορφωμένου σήματος αντιπροσωπεύει περισσότερα από ένα *bit*
    - Τεχνική Ορθογωνικής Μεταλλαγής Μετατόπισης Φάσης (*Quadrature Phase Shift Keying-QPSK*)
      - Χρησιμοποιεί μετατοπίσεις φάσης πολλαπλασίων του  $\pi/2$
      - Το διαμορφωμένο σήμα είναι της μορφής:

$$s(t) = \begin{cases} A \cos(2\pi f_c t + \pi / 4), & 11 \\ A \cos(2\pi f_c t + 3\pi / 4), & 01 \\ A \cos(2\pi f_c t + 5\pi / 4), & 00 \\ A \cos(2\pi f_c t + 7\pi / 4), & 10 \end{cases}$$

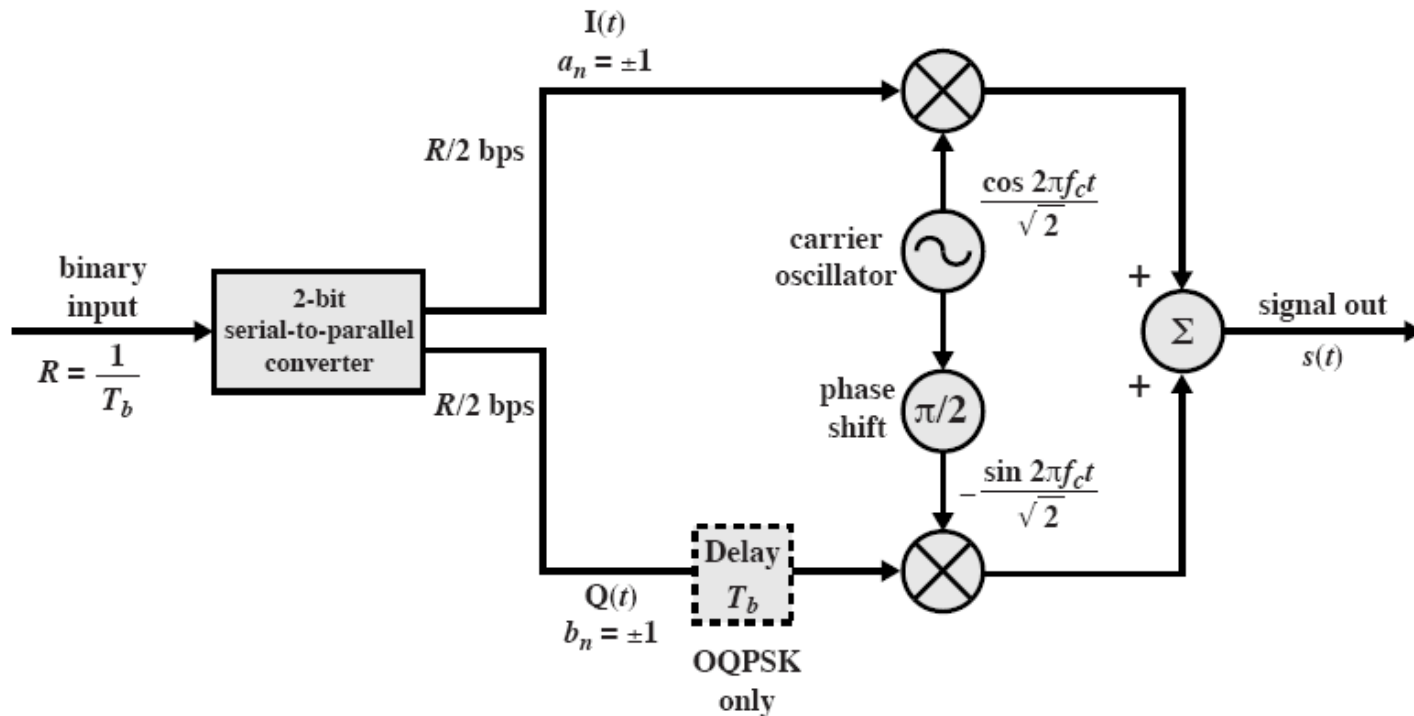


# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

- Ψηφιακά Δεδομένα – Αναλογικά Σήματα
  - Μεταλλαγή Μετατόπισης Φάσης (*Phase Shift Keying – PSK*)
    - Στην περίπτωση της *QPSK*, έχουμε τέσσερα επίπεδα τιμών φάσης για τα στοιχεία σήματος ( $45^\circ$ ,  $135^\circ$ ,  $225^\circ$ ,  $315^\circ$ ) και κάθε στοιχείο σήματος αντιπροσωπεύει δύο *bit* αντί για ένα
    - Διάγραμμα Αστερισμού (*Constellation Diagram*) της *QPSK*
      - Η φάση της κάθε κουκίδας υποδεικνύεται από τη γωνία που σχηματίζει μία ευθεία από την κουκίδα μέχρι την αρχή των αξόνων με τον άξονα των  $\chi$



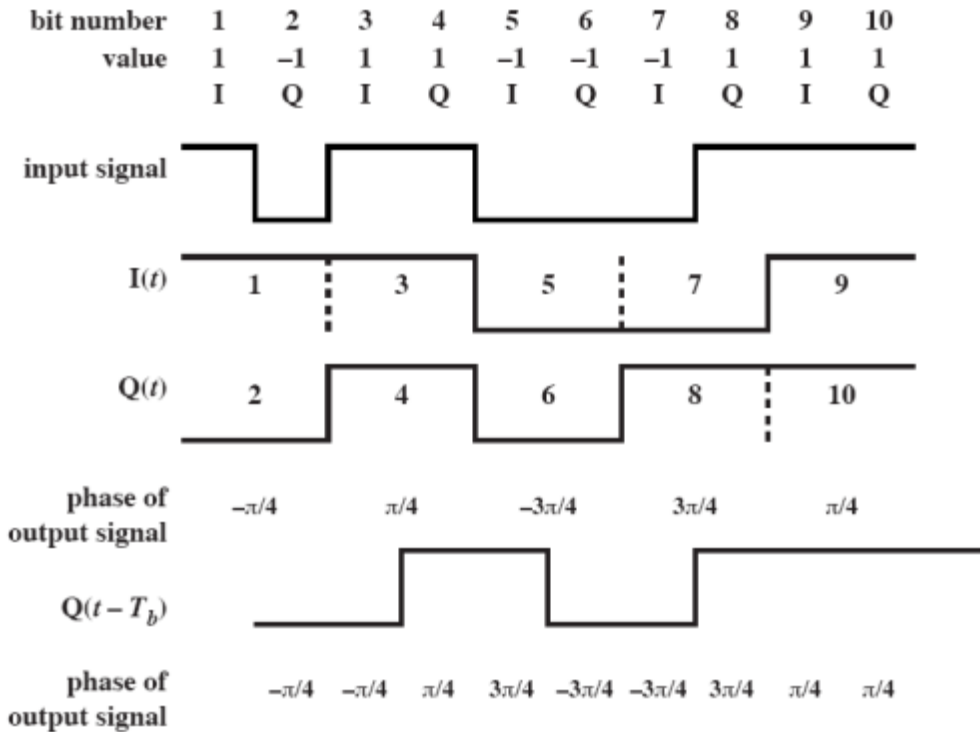
# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων



Τεχνική Διαμόρφωσης QPSK & OQPSK



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων



Τεχνικές Διαμόρφωσης  
QPSK & OQPSK



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

- Ψηφιακά Δεδομένα – Αναλογικά Σήματα
  - Μεταλλαγή Μετατόπισης Φάσης (*Phase Shift Keying – PSK*)
    - *OQPSK (Orthogonal QPSK)*
      - Εισάγεται καθυστέρηση χρόνου *1 bit* στη δεύτερη ροή δεδομένων
      - Στην *OQPSK* μπορούμε να έχουμε αλλαγή μόνο *1 bit* σε κάθε χρονική στιγμή. Επομένως, η αλλαγή φάσης του σήματος μπορεί να είναι το πολύ  $90^\circ$  ( $\pi/2$ ).
      - Στην *QPSK* μπορούμε να έχουμε αλλαγή και στα *2 bit* κάθε χρονική στιγμή. Η αλλαγή φάσης του σήματος μπορεί να είναι το πολύ  $180^\circ$  ( $\pi$ ).
      - Η *OQPSK* παρουσιάζει πλεονέκτημα σε σχέση με την *QPSK*, λόγω του ότι οι διαμορφωτές φάσης πολύ δύσκολα μπορούν να πραγματοποιήσουν μεγάλες αλλαγές φάσης σε πολύ μεγάλους ρυθμούς μετάδοσης
      - Επίσης, με μικρότερες αλλαγές φάσης είναι πιο εύκολο να ελεγχθεί το φαινόμενο της διασυμβολικής παρεμβολής





# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

- Ψηφιακά Δεδομένα – Αναλογικά Σήματα

- Μεταλλαγή Μετατόπισης Φάσης (*Phase Shift Keying – PSK*)

- Η μέθοδος *QPSK* μπορεί να επεκταθεί.
    - Είναι δυνατή η κωδικοποίηση 3 *bit* σε ένα στοιχείο σήματος χρησιμοποιώντας οκτώ διαφορετικές γωνίες φάσης. Για αυτό το λόγο υψηλότεροι ρυθμοί *bit* μπορούν να επιτευχθούν πάνω από γραμμές τύπου φωνής με τη χρήση πιο σύνθετων μεθόδων διαμόρφωσης.
    - Γενικά ισχύει η ακόλουθη σχέση:

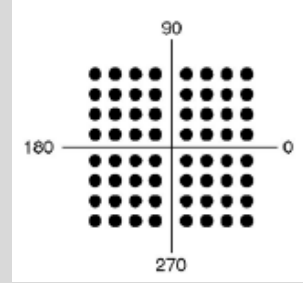
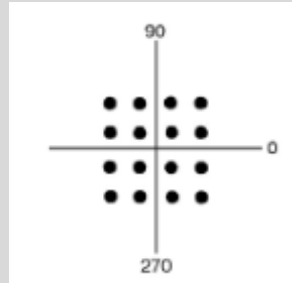
$$D = \frac{R}{b} = \frac{R}{\log_2 L}$$

- Όπου  $D$  είναι ο ρυθμός διαμόρφωσης σε *Baud*
      - $R$  είναι ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων σε *Bps*
      - $b$  είναι ο αριθμός των *bit* ανά στοιχείο σήματος
      - $L$  είναι ο αριθμός από διαφορετικά στοιχεία σήματος



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

- Ψηφιακά Δεδομένα – Αναλογικά Σήματα
  - Ορθογωνική Διαμόρφωση Πλάτους (*Quadrature Amplitude Modulation – QAM*)
    - Αποτελεί ένα συνδυασμό των τεχνικών *PSK* και *ASK*

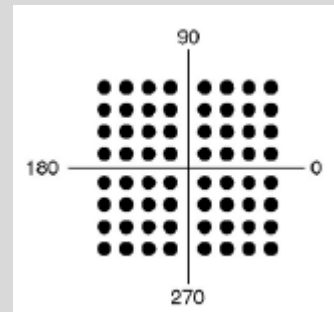
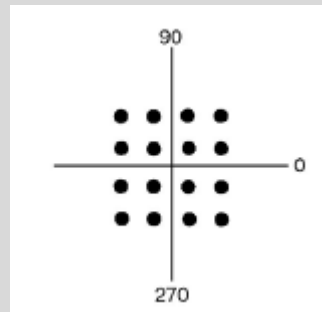


- Διαγράμματα αστερισμού για δύο διαφορετικά σχήματα διαμόρφωσης
- Στο πρώτο διάγραμμα χρησιμοποιούνται 12 διαφορετικές γωνίες φάσης εκ των οποίων οι τέσσερις έχουν δύο τιμές πλάτους. Επομένως, έχουμε τελικά 16 διαφορετικούς συνδυασμούς στοιχείων σήματος, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μετάδοση 4 bit ανά στοιχείο σήματος. Αυτή η τεχνική διαμόρφωσης ονομάζεται *QAM-16*.
- Σε ένα τυπικό *modem 9600 bps* χρησιμοποιούνται 16 διαφορετικοί συνδυασμοί πλάτους και φάσης.
- Ο ρυθμός διαμόρφωσης στην περίπτωση αυτή είναι το 1/4 του ρυθμού μετάδοσης (δηλαδή 2400 baud).



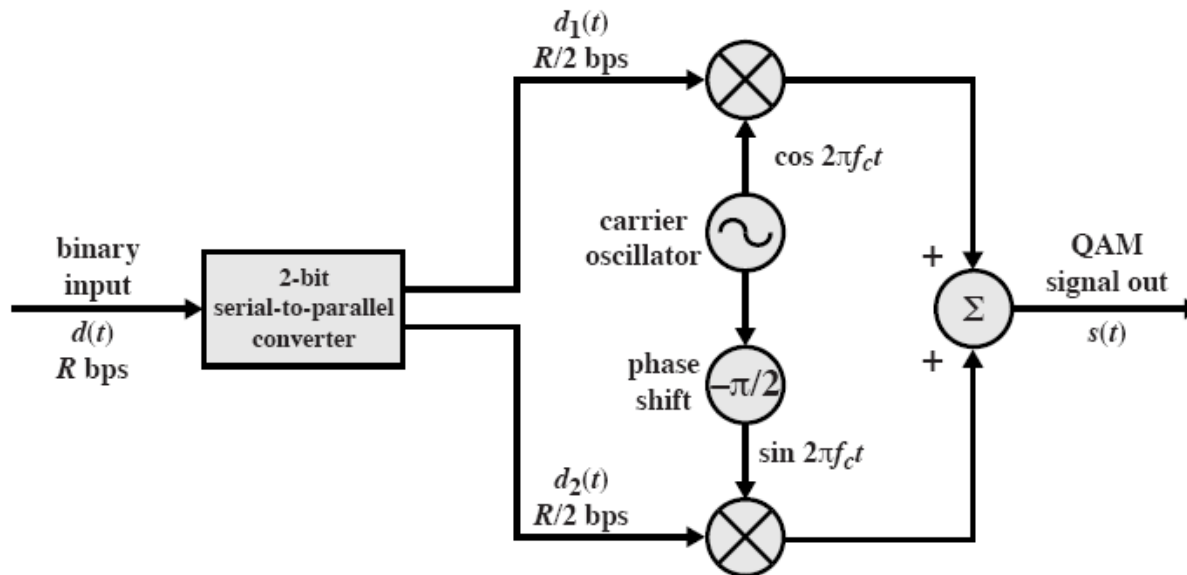
# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

- Ψηφιακά Δεδομένα – Αναλογικά Σήματα
  - Ορθογωνική Διαμόρφωση Πλάτους (*Quadrature Amplitude Modulation – QAM*)
    - Αποτελεί ένα συνδυασμό των τεχνικών *PSK* και *ASK*



- Διαγράμματα αστερισμού για δύο διαφορετικά σχήματα διαμόρφωσης
- Στο δεύτερο σχήμα απεικονίζεται το διάγραμμα αστερισμού της τεχνικής διαμόρφωσης *QAM-64*, το οποίο επιτρέπει 64 διαφορετικούς συνδυασμούς πλάτους και φάσης. Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι κάθε στοιχείο σήματος αντιπροσωπεύει 6 bit.

# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων



## Τεχνική Διαμόρφωσης QAM

# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

---

- Ψηφιακά Δεδομένα – Αναλογικά Σήματα
  - Ορθογωνική Διαμόρφωση Πλάτους (*Quadrature Amplitude Modulation – QAM*)
    - Όταν υπάρχουν πολλά σημεία στο διάγραμμα αστερισμού (χρησιμοποιούνται πολλοί συνδυασμοί πλάτους και φάσης), ακόμη και μία μικρή ποσότητα θορύβου κατά την ανίχνευση του πλάτους ή της φάσης μπορεί να οδηγήσει σε σφάλμα με αποτέλεσμα την απώλεια *bit*
    - Για να μειωθεί η πιθανότητα σφάλματος τα *modem* υψηλότερων ταχυτήτων εκτελούν και διόρθωση σφαλμάτων με την προσθήκη *bit* σε κάθε δείγμα. Σε αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιείται η τεχνική διαμόρφωσης *Trellis Coded Modulation (TCM)*.
    - Για παράδειγμα, το *modem V.32* χρησιμοποιεί 32 σημεία στον αστερισμό του για τη μετάδοση 4 *bit* δεδομένων και 1 *bit* ισοτιμίας ανά στοιχείο σήματος στα 2400 *baud*, πετυχαίνοντας ταχύτητα 9600 *bps* με διόρθωση σφαλμάτων.



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

- Ψηφιακά Δεδομένα – Αναλογικά Σήματα
  - Ορθογωνική Διαμόρφωση Πλάτους (*Quadrature Amplitude Modulation – QAM*)
    - Το *modem V.32 bis* λειτουργεί στα *14400 bps*. Η ταχύτητα αυτή επιτυγχάνεται με τη μετάδοση *6 bit* δεδομένων και *1 bit* ισοτιμίας ανά στοιχείο σήματος στα *2400 baud*. Το διάγραμμα αστερισμού του έχει *128* σημεία με χρήση του συστήματος *QAM-128*.
    - Τα *fax/modem* χρησιμοποιούν αυτή την ταχύτητα για την αποστολή χαρτογραφικών εικόνων.
    - Το *modem V.34*, λειτουργεί στα *28800 bps*, χρησιμοποιώντας *2400 baud* με *12 bit* δεδομένων ανά στοιχείο σήματος.
    - Το *modem V.34 bis* χρησιμοποιεί *14 bit* δεδομένων ανά στοιχείο σήματος και επιτυγχάνει ταχύτητα *33600 bps*.
    - Για να αυξηθεί περαιτέρω ο ρυθμός μετάδοσης δεδομένων, πολλά *modem* συμπιέζουν τα δεδομένα πριν από τη μετάδοσή τους, πετυχαίνοντας ένα ρυθμό μεγαλύτερο των *33600 bps*. Τα τυπικά *modem* σταματούν στα *33600 bps*, διότι το όριο του *Shannon* για το τηλεφωνικό σύστημα είναι γύρω στα *35 kbps*. Το όριο αυτό εξαρτάται από το μήκος των τοπικών βρόχων και την ποιότητα των γραμμών. Μεταξύ δύο οικιακών χρηστών που έχουν *Modem* και αναλογικές γραμμές το μέγιστο όριο είναι *33,6 Kbps*. (*38 dB* σηματοθορυβικός λόγος λόγω του θορύβου κβαντισμού – *3000 Hz* κανάλι).



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

- Ψηφιακά Δεδομένα – Αναλογικά Σήματα
  - Ορθογωνική Διαμόρφωση Πλάτους (*Quadrature Amplitude Modulation – QAM*)
    - Ο λόγος για τον οποίο χρησιμοποιούνται *modem* των *56 Kbps* έχει σχέση με το θεώρημα του *Nyquist*. Το τηλεφωνικό κανάλι έχει πλάτος *4000 Hz* περίπου (έχουν συμπεριληφθεί και οι ζώνες προστασίας). Κατά συνέπεια το μέγιστο πλήθος δειγμάτων που μπορούν να ληφθούν ανά δευτερόλεπτο είναι *8000*. Το πλήθος *bit / δείγμα* είναι *8*, παρόλα αυτά για τα δεδομένα διατίθενται *7 bit*. Επομένως, υποστηρίζονται *56000 bps* για τα δεδομένα των χρηστών.
    - Το *modem* αυτό είναι το *V.90*. Παρέχει ένα ανερχόμενο κανάλι (*uplink*) προς τον *ISP* με ταχύτητα *33,6 Kbps* και ένα κατερχόμενο κανάλι (*downlink*) προς το χρήστη με ταχύτητα *56 Kbps*.
    - Το *modem V.92* μπορούν να πετύχει ταχύτητα *48 Kbps* στο ανερχόμενο κανάλι. Επίσης, επιτρέπουν τη διακοπή σύνδεσης με το Διαδίκτυο, σε περίπτωση που η γραμμή έχει ενεργοποιημένη την υπηρεσία αναμονής κλησεων.



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

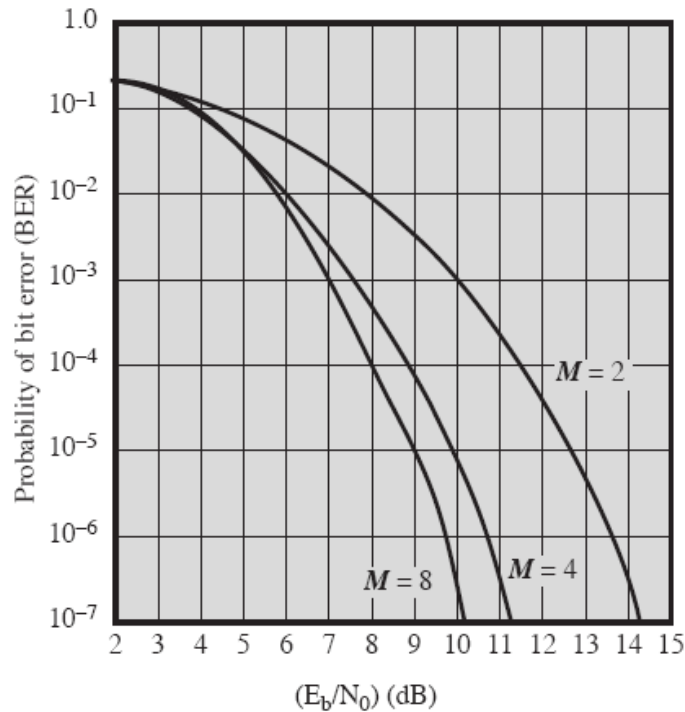
---

- Ψηφιακά Δεδομένα – Αναλογικά Σήματα
  - Απόδοση
    - Οι τεχνικές *DPSK* και *BPSK* απαιτούν για το ίδιο *BER* μικρότερο κατά  $3\text{ dB}$  σηματοθορυβικό λόγο από τις *ASK* και *FSK* τεχνικές
    - Όσον αφορά το εύρος ζώνης, οι τεχνικές *ASK* και *FSK* παρουσιάζουν το ίδιο εύρος ζώνης, θεωρώντας στην τεχνική *FSK* ότι η απόκλιση συχνότητας είναι μικρή
    - Καλύτερη απόδοση επιτυγχάνεται με τις τεχνικές *MPSK* και *MFSK*, ενώ η τεχνική *MPSK* υπερτερεί της τεχνικής *MFSK*

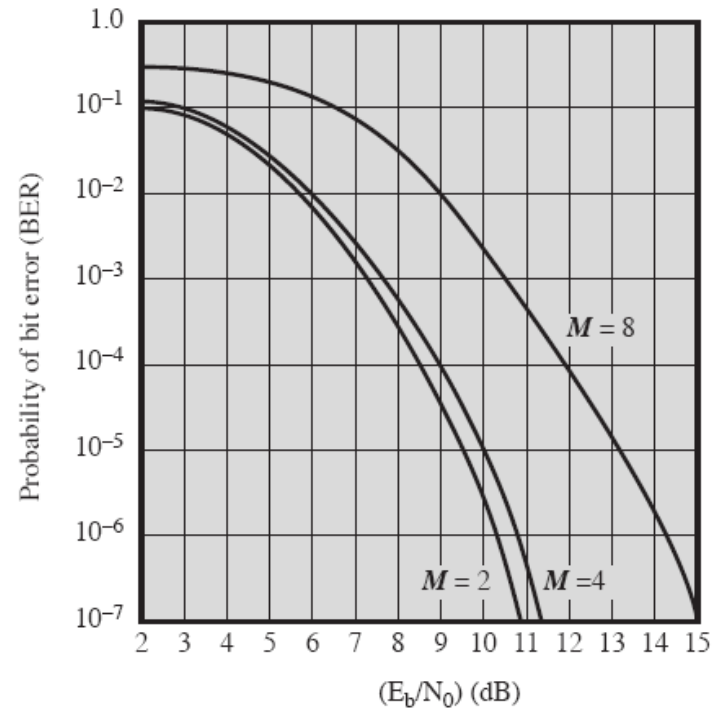




# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων



(a) Multilevel FSK (MFSK)

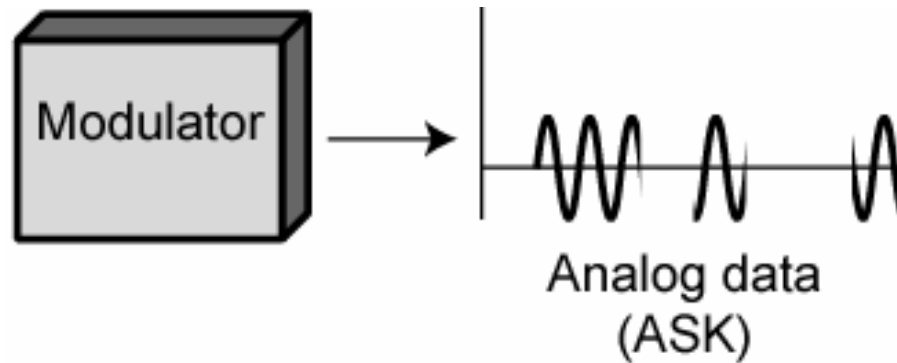
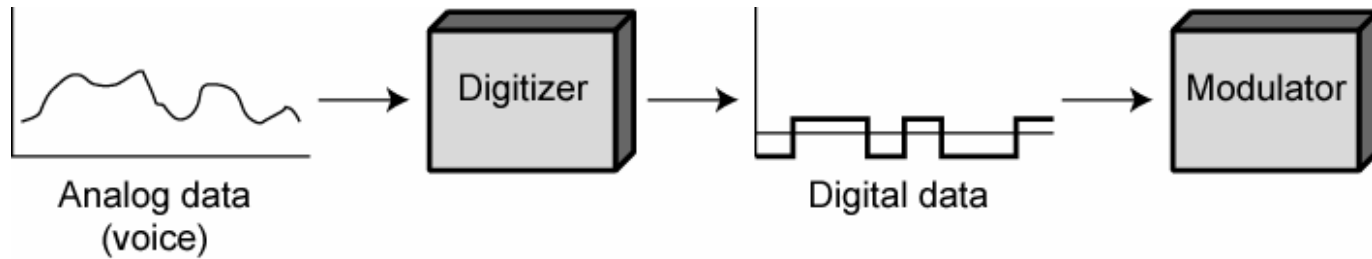


(b) Multilevel PSK (MPSK)

BER για MFSK και MPSK



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων



## Ψηφιοποίηση Αναλογικών Δεδομένων



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

---

- Αναλογικά Δεδομένα – Ψηφιακά Σήματα
  - Τεχνικές Ψηφιοποίησης
    - Παλμοκωδική Διαμόρφωση (*Pulse Code Modulation-PCM*)
    - Διαφορική ή προβλεπτική κωδικοποίηση
      - Απλή διαφορική παλμοκωδική διαμόρφωση (*Differential Pulse Code Modulation*)
      - Δέλτα Διαμόρφωση (*Delta Modulation*)
      - Προσαρμοστική διαφορική παλμοκωδική διαμόρφωση (*Adaptive Differential Pulse Code Modulation*)

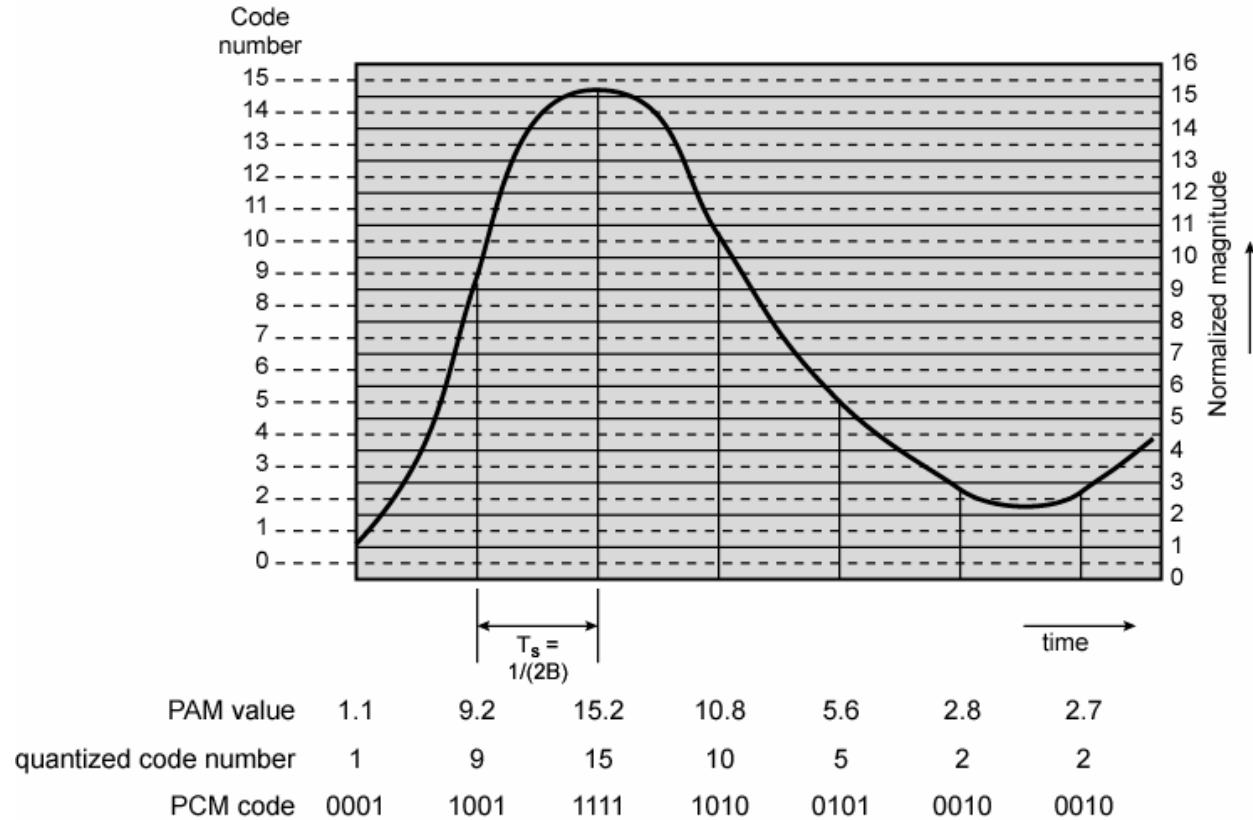


# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

- Αναλογικά Δεδομένα – Ψηφιακά Σήματα
  - Τεχνικές Ψηφιοποίησης
    - Παλμοκωδική Διαμόρφωση (*Pulse Code Modulation- PCM*)
      - Θεώρημα της Δειγματοληψίας του *Nyquist*
        - » Ένα ζωνοπεριορισμένο σήμα περιορισμένης ενέργειας που δεν έχει συνιστώσες συχνότητας μεγαλύτερες από  $W$  Hertz, περιγράφεται πλήρως καθορίζοντας τις τιμές του σήματος που απέχουν  $1/2W$  δευτερόλεπτα
        - » Ένα ζωνοπεριορισμένο σήμα πεπερασμένης ενέργειας, που δεν έχει συνιστώσες συχνότητας μεγαλύτερες από  $W$  Hertz, μπορεί να ανακτηθεί πλήρως από τη γνώση δειγμάτων που λαμβάνονται με ρυθμό  $2W$  ανά δευτερόλεπτο
      - Σήμα Φωνής
        - » Αν θεωρήσουμε ότι περιορίζεται το εύρος ζώνης του στα  $4000$  Hz, τότε βάσει του θεωρήματος της δειγματοληψίας, πρέπει να πάρουμε  $8000$  δείγματα το δευτερόλεπτο και επομένως απαιτείται ρυθμός δεδομένων  $64$  Kbps.



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

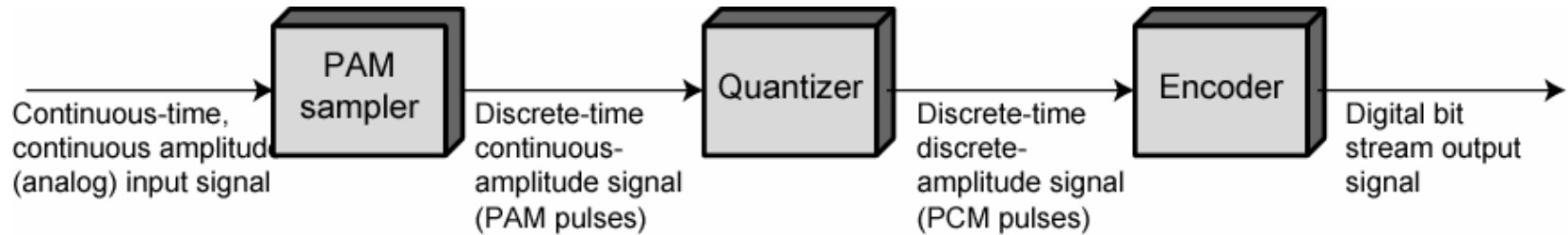


## Παλμοκωδική Διαμόρφωση PCM



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

---



Block Διάγραμμα Παλμοκωδικής Διαμόρφωσης *PCM*

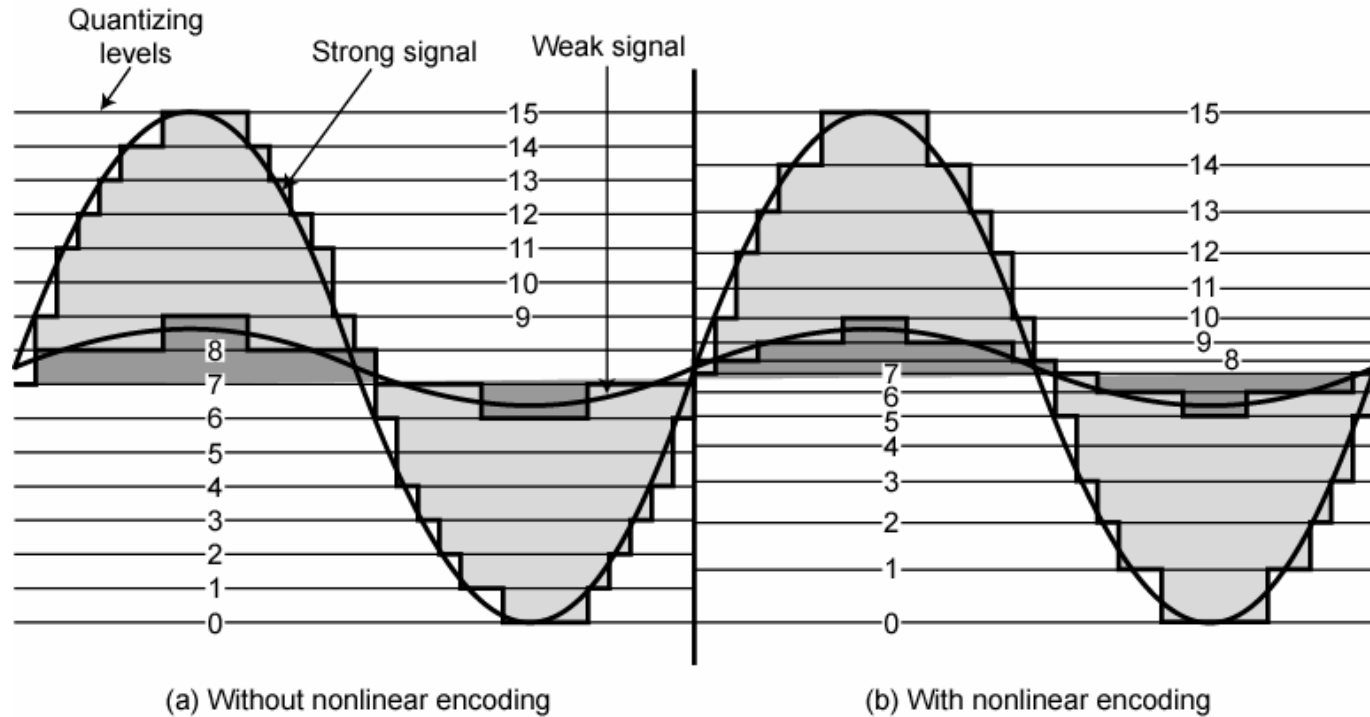
# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

---

- Αναλογικά Δεδομένα – Ψηφιακά Σήματα
  - Τεχνικές Ψηφιοποίησης
    - Παλμοκωδική Διαμόρφωση (*Pulse Code Modulation-PCM*)
      - Θόρυβος Κβαντισμού
      - Βελτίωση Κατάστασης με την Μη Γραμμική Κωδικοποίηση
        - » Χρήση ενός μεγαλύτερου αριθμού βημάτων κβαντισμού για σήματα χαμηλού πλάτους και έναν μικρότερο αριθμό βημάτων κβαντισμού για σήματα μεγαλύτερου πλάτους



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

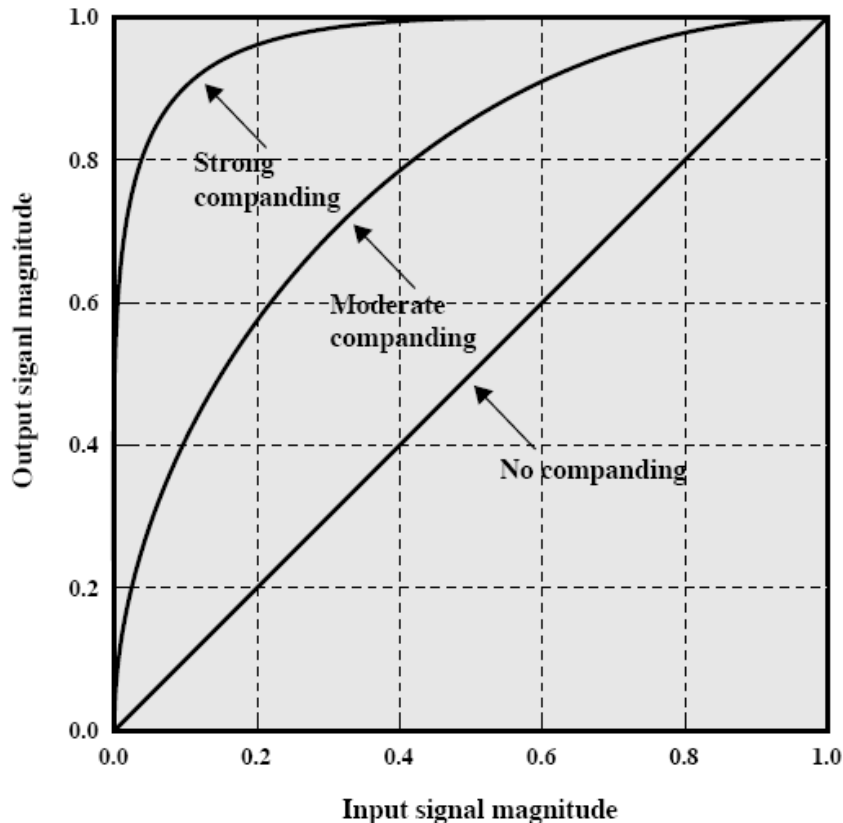


## Παλμοκωδική Διαμόρφωση PCM





# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων



Η τεχνική της συμπίεσης – αποσυμπίεσης του αναλογικού σήματος επιτυγχάνει το ίδιο αποτέλεσμα με τη μη γραμμική κωδικοποίηση.

Ουσιαστικά, ενισχύονται περισσότερο τα χαμηλότερα σήματα σε σχέση με τα υψηλότερα

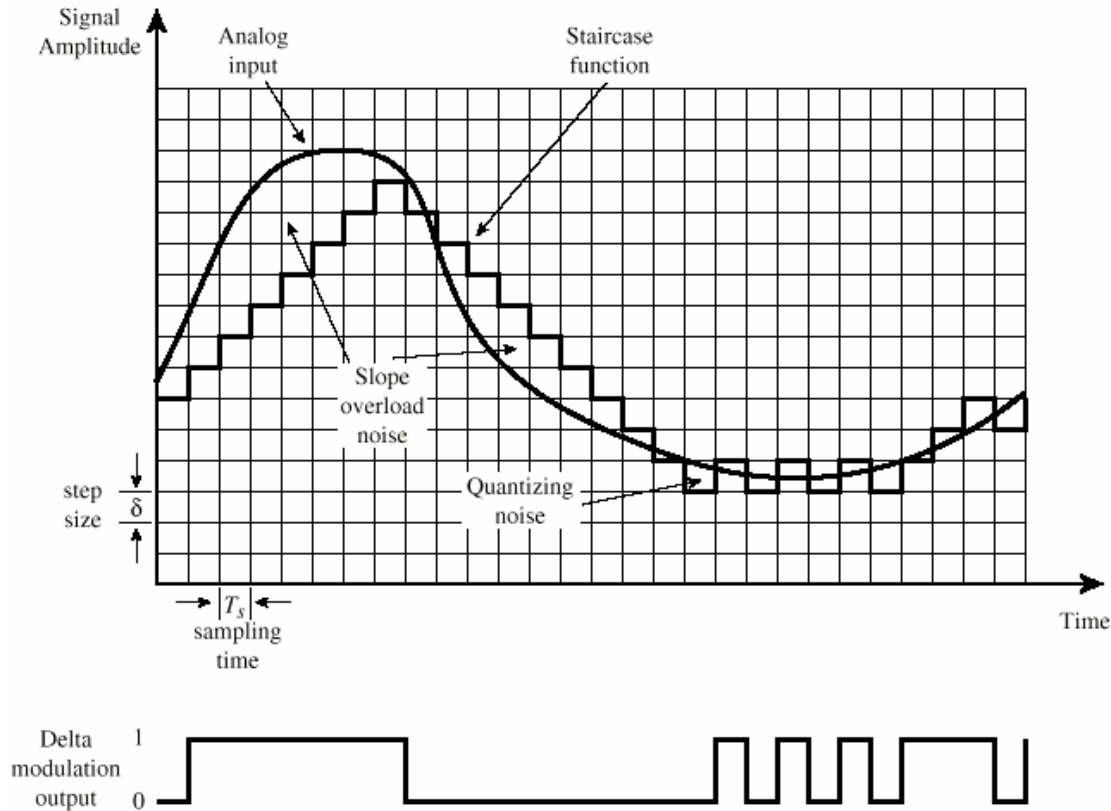


# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

- Αναλογικά Δεδομένα – Ψηφιακά Σήματα
  - Τεχνικές Ψηφιοποίησης
    - Διαφορική ή προβλεπτική κωδικοποίηση
      - Κωδικοποιείται μόνο η διαφορά ανάμεσα στην πραγματική τιμή και στην προβλεπόμενη τιμή
      - Απλή διαφορική παλμοκωδική διαμόρφωση (*DPCM*)
        - » Μηχανισμός Πρόβλεψης: Προβλεπόμενη τιμή είναι η τιμή του προηγούμενου δείγματος
        - » Κωδικοποίηση μεταβολής: *4 bit*
      - Δέλτα Διαμόρφωση (*DM*)
        - » Μηχανισμός Πρόβλεψης ίδιος με την *DPCM*
        - » Τρόπος κωδικοποίησης: χρησιμοποιείται *1* μόνο *bit*
        - » Οικονομία – Απώλεια Πληροφορίας
      - Προσαρμοστική διαφορική παλμοκωδική διαμόρφωση (*ADPCM*)
        - » Δυναμικός Μηχανισμός Πρόβλεψης που προσαρμόζεται ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του προς δειγματοληψία σήματος



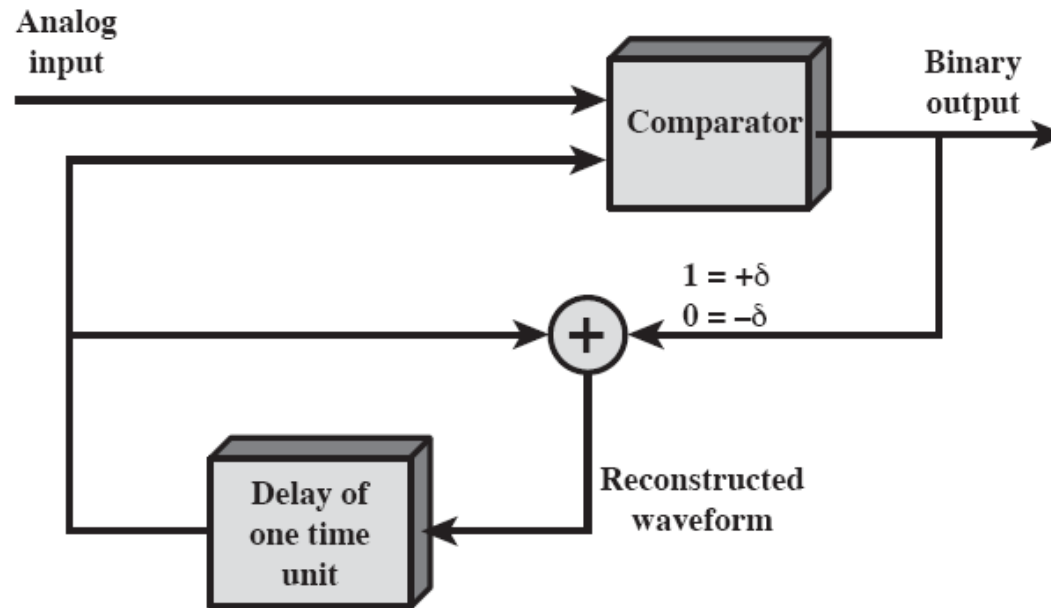
# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων



Παράδειγμα Διαμόρφωσης Δέλτα



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων



(a) Transmission

Διαμορφωτής Δέλτα



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

- Αναλογικά Δεδομένα – Ψηφιακά Σήματα
  - Τεχνικές Ψηφιοποίησης
    - Διαφορική ή προβλεπτική κωδικοποίηση
      - Δέλτα Διαμόρφωση
      - Μέγεθος Βήματος  $\delta$ 
        - » Όταν το σήμα αλλάζει αργά – θόρυβος κβαντίσεως. Αυξάνεται όσο αυξάνεται και το  $\delta$ .
        - » Όταν έχουμε γρήγορη αλλαγή στο σήμα και δεν μπορεί να το ακολουθήσει η κλιμακωτή συνάρτηση, εμφανίζεται ο θόρυβος υπερφορτώσεως. Αυτός ο θόρυβος αυξάνεται με τη μείωση του  $\delta$ .
        - » Ισοστάθμιση για τους δύο τύπους θορύβου.
      - Ρυθμός Δειγματοληψίας
    - *DM*
      - Απλότητα και οικονομία
    - *PCM*
      - Καλύτερα *SNR* χαρακτηριστικά



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

- Αναλογικά Δεδομένα – Αναλογικά Σήματα
  - Τα αναλογικά σήματα μπορούν να μεταδοθούν αναλογικά χωρίς μεταβολή των χαρακτηριστικών του, δηλαδή στο αρχικό φάσμα που καταλαμβάνουν (π.χ., τηλεφωνία). Στην περίπτωση αυτή η μετάδοση αναφέρεται ως μετάδοση βασικής ζώνης
  - Η διαμόρφωση αναλογικών δεδομένων σε αναλογικά σήματα χρησιμοποιείται για βελτίωση των χαρακτηριστικών μετάδοσης πληροφοριών από τον πομπό στο δέκτη:
    - Για πρακτικούς και οικονομικούς λόγους στην ασύρματη μετάδοση (η κεραία που απαιτείται έχει διάμετρο της τάξης του μήκους κύματος του εκπεμπόμενου σήματος)
    - Για χρήση τεχνικών πολυπλεξίας και συνεπώς για αποδοτική χρήση του περιορισμένου εύρους ζώνης των μέσων μετάδοσης
  - Στη διαδικασία της διαμόρφωσης έχουμε μεταβολή των χαρακτηριστικών του φέροντος σήματος συχνότητας  $f_c$  σύμφωνα με το σήμα πληροφορίας  $m(t)$ 
    - Πλάτος του φέροντος σήματος
    - Συχνότητα του φέροντος σήματος
    - Φάση του φέροντος σήματος



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

- Αναλογικά Δεδομένα – Αναλογικά Σήματα
  - Διαμόρφωση Πλάτους (*Amplitude Modulation – AM*)
    - Στη Διαμόρφωση Πλάτους έχουμε μεταβολή του πλάτους ενός ημιτονικού φέροντος σήματος σύμφωνα με το σήμα βασικής ζώνης (σήμα πληροφορίας)
    - Ουσιαστικά έχουμε γραμμική μεταβολή του πλάτους του φέροντος σήματος γύρω από μία μέση τιμή.
    - Η διαμορφωμένη κατά πλάτος κυματομορφή AM δίδεται από την ακόλουθη σχέση:

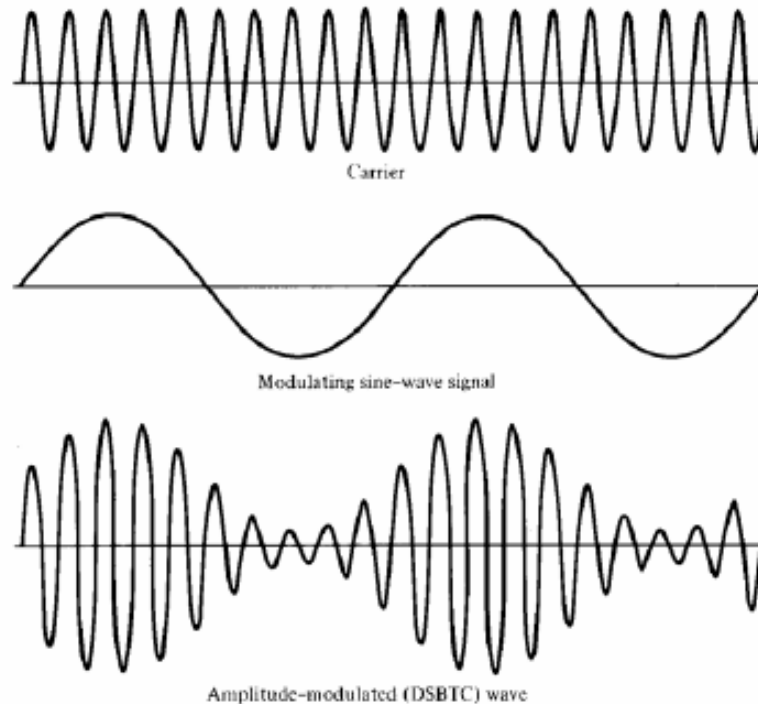
$$s(t) = A_c \cdot [1 + k_a m(t)] \cos(2\pi f_c t)$$

- Όπου  $K_a$  είναι σταθερά και καλείται ευαισθησία πλάτους του διαμορφωτή (*amplitude sensitivity*)



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

- Αναλογικά Δεδομένα – Αναλογικά Σήματα
  - Διαμόρφωση Πλάτους (*Amplitude Modulation – AM*)





# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

- Αναλογικά Δεδομένα – Αναλογικά Σήματα
  - Διαμόρφωση Πλάτους (*Amplitude Modulation – AM*)
    - Η περιβάλλουσα (*envelope*) του διαμορφωμένου σήματος  $s(t)$  έχει την ίδια μορφή όπως το σήμα βασικής ζώνης  $m(t)$  με την προϋπόθεση ότι ισχύουν τα ακόλουθα:
      - $|K_a m(t)| < 1$  για κάθε  $t$ 
        - » Η συνθήκη αυτή εξασφαλίζει ότι η συνάρτηση  $1 + K_a m(t)$  είναι θετική. Εάν η ευαισθησία πλάτους του διαμορφωτή είναι αρκετά μεγάλη έτσι ώστε η προηγούμενη σχέση δεν ισχύει, τότε η φέρουσα κυματομορφή γίνεται υπερδιαμορφωμένη (*over-modulated*) με αποτέλεσμα την αντιστροφή της φάσης του φέροντος κάθε φορά που η συνάρτηση  $1 + K_a m(t)$  αλλάζει πρόσημο. Τότε η διαμορφωμένη κυματομορφή εμφανίζει παραμόρφωση περιβάλλουσας (*envelope distortion*).
      - Η συχνότητα του φέροντος σήματος  $f_c$  είναι πολύ μεγαλύτερη από την υψηλότερη συχνότητα  $W$  του σήματος πληροφορίας  $m(t)$ , δηλαδή  $f_c \gg W$



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

- Αναλογικά Δεδομένα – Αναλογικά Σήματα
  - Διαμόρφωση Πλάτους (*Amplitude Modulation – AM*)
    - Δείκτης Διαμόρφωσης και Ποσοστό % Διαμόρφωσης
      - Η απόλυτη μέγιστη τιμή της  $K_a m(t)$  εκφρασμένη σε ποσοστό % αναφέρεται ως ποσοστό διαμόρφωσης (*percentage modulation*)
      - Ο δείκτης διαμόρφωσης πρέπει να είναι ένας αριθμός μεταξύ 0 και 1 έτσι ώστε να μην έχουμε παραμόρφωση περιβάλλουσας
      - Η ιδανική περίπτωση είναι όταν έχουμε διαμόρφωση 100%
    - Πλευρικές Ζώνες
      - Οποτεδήποτε διαμορφώνεται ένας φορέας από ένα σήμα πληροφορίας παράγονται νέα σήματα σε διαφορετικές συχνότητες. Οι νέες συχνότητες καλούνται πλευρικές συχνότητες ή πλευρικές ζώνες
      - Οι πλευρικές ζώνες βρίσκονται στο φάσμα συχνοτήτων ακριβώς πάνω και κάτω από τη συχνότητα του φορέα
      - Πιο συγκεκριμένα, οι πλευρικές ζώνες εμφανίζονται σε συχνότητες που είναι το άθροισμα και η διαφορά συχνοτήτων φορέα και πληροφορίας
      - Σε κάθε πλευρική ζώνη το εύρος ζώνης μετάδοσης είναι  $2W$ , όπου  $W$  είναι η υψηλότερη συχνότητα του σήματος πληροφορίας  $m(t)$



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

- Αναλογικά Δεδομένα – Αναλογικά Σήματα
  - Διαμόρφωση Πλάτους (*Amplitude Modulation – AM*)
    - Κατανομή Ισχύος
      - Η συνολική ισχύς μοιράζεται μεταξύ του φορέα και της άνω και κάτω πλευρικής
      - Η ισχύς στις πλευρικές ζώνες εξαρτάται από την τιμή του δείκτη διαμόρφωσης
      - Όσο πιο μεγάλο είναι το ποσοστό διαμόρφωσης, τόσο πιο μεγάλη είναι η ισχύς των πλευρικών ζωνών. Μέγιστη ισχύς εμφανίζεται στις πλευρικές ζώνες όταν ο φορέας είναι 100% διαμορφωμένος
      - Για ημιτονοειδές φορέα και ημιτονοειδές σήμα πληροφορίας, ισχύουν τα ακόλουθα:
        - » Ισχύς φέροντος:  $\frac{1}{2} A_c^2$
        - » Ισχύς άνω πλευρικής:  $\frac{1}{8} \mu^2 A_c^2$
        - » Ισχύς κάτω πλευρικής:  $\frac{1}{8} \mu^2 A_c^2$
        - » Ισχύς πλευρικής ζώνης :  $\frac{1}{4} \mu^2 A_c^2$
        - » Επομένως, θεωρώντας δείκτη διαμόρφωσης ίσο με 1, σε κάθε πλευρική η ισχύς είναι το 25% της ισχύος που διοχετεύεται στο φορέα
        - » Ο λόγος της συνολικής ισχύος της πλευρικής ζώνης προς τη συνολική ισχύ της διαμορφωμένης κυματομορφής είναι:  $\mu^2 / (2+\mu^2)$ . Για ποσοστό διαμόρφωσης 100% ( $\mu=1$ ), τότε η συνολική ισχύς στις πλευρικές ζώνες της προκύπτουσας διαμορφωμένης κυματομορφής είναι το 1/3 της συνολικής ισχύος



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

---

- Αναλογικά Δεδομένα – Αναλογικά Σήματα
  - Διαμόρφωση Πλάτους (*Amplitude Modulation – AM*)
    - Κατανομή Ισχύος
      - Για ημιτονοειδές φορέα και ημιτονοειδές σήμα πληροφορίας, ισχύουν τα ακόλουθα:
        - » Ο φορέας δεν μεταφέρει πληροφορία
        - » Όλη η εκπεμπόμενη πληροφορία περιέχεται στις πλευρικές ζώνες
        - » Σε χαμηλά ποσοστά διαμόρφωσης, η ισχύς στις πλευρικές ζώνες είναι πολύ μικρή.
        - » Πρακτικά είναι πολύ δύσκολο να έχουμε 100% διαμόρφωση, επειδή τα τυπικά σήματα πληροφορίας (φωνή και εικόνα) δεν έχουν σταθερά πλάτη



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

- Αναλογικά Δεδομένα – Αναλογικά Σήματα
  - Διαμόρφωση Πλάτους (*Amplitude Modulation – AM*)
    - *Double Side Band Transmitted Carrier (DSBTC)*
      - Διαμόρφωση Διπλής Πλευρικής Ζώνης με Εκπομπή Φέροντος
      - Παρά την ακαταλληλότητά της χρησιμοποιείται ευρέως λόγω της απλότητάς της
    - *Double Side Band Suppressed Carrier (DSBSC)*
      - Διαμόρφωση Διπλής Πλευρικής Ζώνης με Καταπιεσμένο Φέρον
      - Περιλαμβάνει συμπίεση του φορέα, καθώς ο φορέας δεν περιέχει καμία χρήσιμη πληροφορία και δεν υπάρχει λόγος να μεταδίδεται
      - Με τον τρόπο αυτό δεν ξοδεύεται ισχύς στο φορέα και η ισχύς που εξοικονομείται μπορεί να τοποθετηθεί στις πλευρικές ζώνες
    - *Single Side Band (SSB)*
      - Διαμόρφωση Μονής Πλευρικής Ζώνης
      - Η Διαμόρφωση Πλάτους Διπλής Πλευρικής Ζώνης με Εκπομπή Φέροντος και η Διαμόρφωση Πλάτους Διπλής Πλευρικής Ζώνης με Καταπιεσμένο Φέρον καταναλώνουν μεγάλο εύρος ζώνης, επειδή και οι δύο απαιτούν εύρος ζώνης μετάδοσης ίσο με το διπλάσιο εύρος ζώνης του σήματος πληροφορίας
      - Και στις δύο περιπτώσεις το μισό εύρος ζώνης καταλαμβάνεται από την άνω πλευρική ζώνη του διαμορφωμένου σήματος, ενώ το άλλο μισό καταλαμβάνεται από την κάτω πλευρική ζώνη. Η άνω και κάτω πλευρική ζώνη είναι συμμετρικές
      - Επομένως, όσον αφορά τη μετάδοση πληροφορίας, μόνο μία πλευρική είναι απαραίτητη



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

---

- Αναλογικά Δεδομένα – Αναλογικά Σήματα
  - Διαμόρφωση Πλάτους (*Amplitude Modulation – AM*)
    - *Vestigial Side Band (VSB)*
      - Διαμόρφωση Υπολειπόμενης Πλευρικής Ζώνης
      - Αποτελεί συμβιβασμό μεταξύ της διαμόρφωσης *SSB* και της *DSBSC*
      - Σε αυτό το σχήμα διαμόρφωσης περνάει σχεδόν ολόκληρη μία πλευρική ζώνη, ενώ διατηρείται μόνο ένα ίχνος ή ένα κατάλοιπο (*vestige*) της άλλης πλευρικής ζώνης
      - Συγκεκριμένα, το μεταδιδόμενο κατάλοιπο της ανεπιθύμητης πλευρικής ζώνης αντισταθμίζει την ποσότητα που αφαιρείται από την επιθυμητή πλευρική ζώνη
      - Το εύρος ζώνης της *VSB* είναι μεγαλύτερο από το εύρος ζώνης του σήματος πληροφορίας κατά το εύρος ζώνης της υπολειπόμενης πλευρικής ζώνης
      - Αυτό το σχήμα διαμόρφωσης χρησιμοποιείται όταν το σήμα βασικής ζώνης περιλαμβάνει συχνότητες αρκετά χαμηλές (π.χ., σήματα τηλεόρασης), το οποίο οδηγεί σε δυσκολία απομόνωσης μίας πλευρικής ζώνης



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

---

- Αναλογικά Δεδομένα – Αναλογικά Σήματα
  - Διαμόρφωση Γωνίας (*Angle Modulation*)
    - Η γωνία του φέροντος μεταβάλλεται σύμφωνα με το σήμα βασικής ζώνης
    - Το πλάτος του φέροντος σήματος παραμένει σταθερό
    - Η Διαμόρφωση Γωνίας μπορεί να εξασφαλίσει καλύτερη συμπεριφορά ως προς το θόρυβο και την παρεμβολή σε σύγκριση με τη Διαμόρφωση Πλάτους. Η βελτίωση αυτή επιτυγχάνεται με αύξηση του εύρους ζώνης μετάδοσης
    - Η Διαμόρφωση Γωνίας αποτελεί ένα πρακτικό μέσο ανταλλαγής εύρους ζώνης μετάδοσης για τη βελτίωση επίδοσης ως προς το θόρυβο.
    - Διακρίνεται στις ακόλουθες κατηγορίες:
      - Διαμόρφωση Συχνότητας (*Frequency Modulation*)
      - Διαμόρφωση Φάσης (*Phase Modulation*)



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

- Αναλογικά Δεδομένα – Αναλογικά Σήματα  
– Διαμόρφωση Γωνίας (*Angle Modulation*)

- Η γωνία του αδιαμόρφωτου φέροντος δίδεται από τη σχέση:

$$\vartheta_i(t) = 2\pi f_c t + \varphi_c$$

- Το διαμορφωμένο σήμα δίδεται από τη σχέση:  $s(t) = A_c \cos[\vartheta_i(t)]$   
Όπου η γωνία  $\vartheta_i(t)$  είναι συνάρτηση του σήματος πληροφορίας  $m(t)$
- Στη Διαμόρφωση Φάσης, η γωνία  $\vartheta_i(t)$  μεταβάλλεται γραμμικά με το σήμα βασικής ζώνης σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση:

$$\vartheta_i(t) = 2\pi f_c t + k_p m(t)$$

- Όπου  $k_p$  είναι η ευαισθησία φάσης του διαμορφωτή. Εκφράζεται σε *rad/Volt* (το σήμα πληροφορίας  $m(t)$  είναι κυματομορφή τάσης)
- Επομένως, το διαμορφωμένο σήμα *PM* δίδεται από την ακόλουθη σχέση:  
 $s(t) = A_c \cos[2\pi f_c t + k_p m(t)]$





# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

- Αναλογικά Δεδομένα – Αναλογικά Σήματα

- Διαμόρφωση Γωνίας (*Angle Modulation*)

- Στη Διαμόρφωση Συχνότητας, η στιγμιαία συχνότητα  $f_i(t)$  μεταβάλλεται γραμμικά με το σήμα βασικής ζώνης σύμφωνα με την ακόλουθη σχέση:

$$f_i(t) = f_c + k_f m(t)$$

- Όπου είναι η ευαισθησία συχνότητας του διαμορφωτή. Εκφράζεται σε *Hz/Volt* (το σήμα πληροφορίας  $m(t)$  είναι κυματομορφή τάσης)

- Λαμβάνοντας υπόψη ότι μία πλήρης ταλάντωση εμφανίζεται όποτε η γωνία του σήματος αλλάζει κατά  $2\pi \text{ rad}$ , η μέση συχνότητα του διαμορφωμένου

σήματος δίδεται από τη σχέση:  $f_{\Delta t}(t) = \frac{\vartheta_i(t + \Delta t) - \vartheta_i(t)}{2\pi\Delta t}$ ,

ενώ η στιγμιαία συχνότητα του διαμορφωμένου σήματος μπορεί να ορισθεί από την ακόλουθη σχέση:

$$f_i(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\vartheta}{dt}$$



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

- Αναλογικά Δεδομένα – Αναλογικά Σήματα  
– Διαμόρφωση Γωνίας (*Angle Modulation*)

- Επομένως, η γωνία του διαμορφωμένου σήματος *FM* δίδεται από τη σχέση:

$$\vartheta_i(t) = 2\pi f_c t + 2\pi k_f \int_0^t m(\tau) d\tau$$

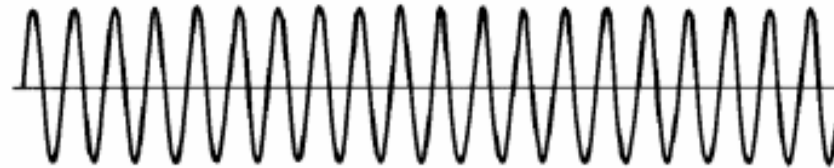
- Και η διαμορφωμένη κυματομορφή περιγράφεται από την ακόλουθη σχέση:

$$s(t) = A_c \cos\left[2\pi f_c t + 2\pi k_f \int_0^t m(\tau) d\tau\right]$$

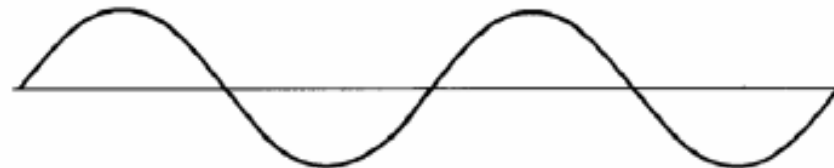


# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

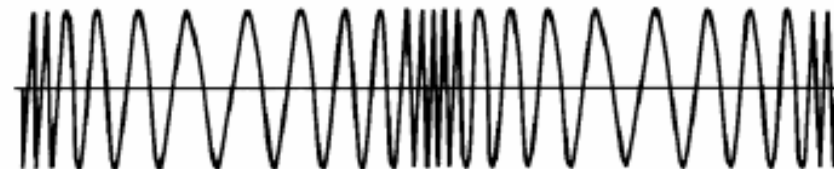
---



Carrier



Modulating sine-wave signal



Phase-modulated wave



Frequency-modulated wave

# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

- Αναλογικά Δεδομένα – Αναλογικά Σήματα
  - Διαμόρφωση Γωνίας (*Angle Modulation*)
    - Χαρακτηριστικά Διαμορφωμένων Κυματομορφών *FM-PM*
      - Οι μηδενισμοί (*zero - crossings*) μίας κυματομορφής *FM* ή *PM* δεν έχουν απόλυτη ακρίβεια στις αποστάσεις τους. Οι μηδενισμοί αναφέρονται στις χρονικές στιγμές όπου η τιμή της κυματομορφής αλλάζει από αρνητική σε θετική και αντίστροφα.
      - Η περιβάλλουσα μίας κυματομορφής *FM* ή *PM* είναι σταθερή (ίση με το πλάτος του φέροντος), ενώ η περιβάλλουσα *AM* εξαρτάται από το σήμα πληροφορίας
      - Υπάρχει στενή σχέση ανάμεσα στις κυματομορφές *FM* και *PM*. Μία κυματομορφή *FM* μπορεί να θεωρηθεί ως κυματομορφή *PM*, στην οποία το σήμα διαμόρφωσης είναι το ολοκλήρωμα του σήματος πληροφορίας  $m(t)$ . Αντίστροφα, μία κυματομορφή *PM* μπορεί να παραχθεί παραγωγίζοντας αρχικά το σήμα  $m(t)$  και στη συνέχεια χρησιμοποιώντας το αποτέλεσμα ως είσοδο σε ένα διαμορφωτή συχνότητας



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

- Αναλογικά Δεδομένα – Αναλογικά Σήματα
  - Διαμόρφωση Γωνίας (*Angle Modulation*)
    - Χαρακτηριστικά Διαμορφωμένων Κυματομορφών *FM-PM*
      - Στη Διαμόρφωση *FM*, καθώς το χαμηλόσυχο σήμα πληροφορίας αυξάνεται προς τα θετικά η συχνότητα του φορέα αυξάνεται (ή μειώνεται) ανάλογα. Η μεγαλύτερη (μικρότερη) συχνότητα συμβαίνει στο θετικό μέγιστο πλάτος του διαμορφώνοντος σήματος. Καθώς το πλάτος του διαμορφώνοντος σήματος ελαττώνεται, η συχνότητα του φορέα ελαττώνεται (αυξάνεται). Όταν το διαμορφώνον σήμα έχει 0 πλάτος, ο φορέας θα βρίσκεται στο σημείο της κεντρικής του συχνότητας. Η συχνότητα του φορέα θα συνεχίσει να ελαττώνεται (αυξάνεται), καθώς το διαμορφώνον σήμα πηγαίνει προς τις αρνητικές τιμές. Η ελάχιστη (μέγιστη) τιμή της συχνότητας λαμβάνεται όταν το διαμορφώνον σήμα πάρει τη μέγιστη αρνητική τιμή του. Η διαμορφωμένη κυματομορφή φαίνεται να «συμπιέζεται» και κατόπιν να «απλώνεται» από το διαμορφώνον σήμα
      - Το ποσό της απόκλισης συχνότητας είναι μία συνάρτηση του πλάτους του διαμορφώνοντος σήματος, ενώ η συχνότητα του διαμορφώνοντος σήματος προσδιορίζει το ρυθμό απόκλισης της συχνότητας



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

- Αναλογικά Δεδομένα – Αναλογικά Σήματα
  - Διαμόρφωση Γωνίας (*Angle Modulation*)
    - Χαρακτηριστικά Διαμορφωμένων Κυματομορφών *FM-PM*
      - Στη Διαμόρφωση *PM*, καθώς το χαμηλόσυχο σήμα πληροφορίας αυξάνεται προς τα θετικά, το ποσό της καθυστέρησης (προήγησης) φάσης αυξάνεται ανάλογα με το πλάτος του διαμορφωνόντος σήματος. Αυτό σημαίνει ότι η έξοδος του φορέα καθυστερεί (προηγείται). Το αποτέλεσμα στην έξοδο είναι το σήμα του φορέα να έχει μία απλωμένη (συμπιεσμένη) μορφή ή διαφορετικά να φαίνεται με ελαττωμένη (αυξημένη) τη συχνότητά του. Όταν το διαμορφώνον σήμα πηγαίνει προς τα αρνητικά, η ολίσθηση φάσης γίνεται προηγούμενη (ύστερη). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο φορέας να εμφανίζεται σαν να επιταχύνεται ή να συμπιέζεται (απλώνεται) ή με άλλα λόγια σαν να αυξήθηκε (ελαττώθηκε) η συχνότητά του
      - Η διαμόρφωση φάσης παράγει διαμόρφωση συχνότητας. Εφόσον το ποσό ολίσθησης φάσης μεταβάλλεται, το αποτέλεσμα είναι σαν να μεταβάλλεται η συχνότητα του φορέα. Η *FM* που παράγεται από την *PM* (μέσω διαμορφωτή φάσης) συχνά αναφέρεται ως έμμεση *FM*



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

- Αναλογικά Δεδομένα – Αναλογικά Σήματα
  - Διαμόρφωση Γωνίας (*Angle Modulation*)
    - Χαρακτηριστικά Διαμορφωμένων Κυματομορφών *FM-PM*
      - Στη Διαμόρφωση *PM*, η μέγιστη απόκλιση συχνότητας συμβαίνει κατά τη διάρκεια που το διαμορφώνον σήμα μεταβάλλεται με τον πιο γρήγορο ρυθμό του. Ο ρυθμός μεταβολής για ένα ημιτονικό διαμορφώνον σήμα είναι μεγαλύτερος όταν οι τιμές του διαμορφώνοντος σήματος αλλάζουν πρόσημο (δηλαδή στα σημεία μηδενισμών)
      - Στην *PM* η απόκλιση συχνότητας του φορέα είναι ανάλογη της διαμορφώνουσας συχνότητας και του διαμορφώνοντος πλάτους
    - Δείκτης Διαμόρφωσης Κυματομορφής *FM*
      - Δίδεται από την ακόλουθη σχέση:
$$\beta = \frac{\Delta f}{f_m}$$
        - Όπου  $\Delta f$  είναι η απόκλιση συχνότητας και  $f_m$  είναι η συχνότητα του διαμορφώνοντος σήματος



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

- Αναλογικά Δεδομένα – Αναλογικά Σήματα
  - Διαμόρφωση Γωνίας (*Angle Modulation*)
    - Πλευρικές Ζώνες & Απαιτούμενο Εύρος Ζώνης
      - Στην *FM* και *PM* διαμόρφωση παράγεται ένας θεωρητικά άπειρος αριθμός ζευγών άνω και κάτω πλευρικών
      - Στην πράξη βρίσκουμε ότι η κυματομορφή *FM* είναι ουσιαστικά περιορισμένη σε πεπερασμένο αριθμό σημαντικών πλευρικών συχνοτήτων σε σχέση με κάποιο καθορισμένο ποσοστό παραμόρφωσης
      - Το φάσμα ενός *FM/PM* σήματος είναι συνήθως ευρύτερο από ένα ισοδύναμο *AM* σήμα
      - Σε μία κυματομορφή *FM* που δημιουργείται από σήμα διαμόρφωσης απλού τόνου, οι πλευρικές συχνότητες που απέχουν από τη συχνότητα φέροντος  $f_c$  κατά ποσότητα μεγαλύτερη του  $\Delta f$  μειώνονται ταχύτητα προς το 0
      - Διαμόρφωση *FM* στενής ζώνης (*narrow-band FM*): ο δείκτης διαμόρφωσης  $\beta$  είναι μικρός σε σχέση με το  $1 \text{ rad}$ 
        - » Για μικρές τιμές του δείκτη διαμόρφωσης, το φάσμα της κυματομορφής είναι περιορισμένο στη συχνότητα του φέροντος και ένα ζευγάρι από πλευρικές συχνότητες στα  $f_c + f_m, f_c - f_m$
        - » Το εύρος ζώνης που απαιτείται για τη μετάδοση είναι  $2f_m$ , δηλαδή το ίδιο με αυτό που απαιτείται για τη μετάδοση κυματομορφής *AM*





# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

- Αναλογικά Δεδομένα – Αναλογικά Σήματα
  - Διαμόρφωση Γωνίας (*Angle Modulation*)
    - Πλευρικές Ζώνες & Απαιτούμενο Εύρος Ζώνης
      - Διαμόρφωση *FM* ευρείας ζώνης (*wide-band FM*): ο δείκτης διαμόρφωσης  $\beta$  είναι μεγάλος σε σχέση με το  $1 \text{ rad}$ 
        - » Το εύρος ζώνης για μεγάλες τιμές του δείκτη διαμόρφωσης συγκλίνει και είναι ελάχιστα μόνο μεγαλύτερο από τη συνολική μεταβολή της στιγμιαίας συχνότητας  $\Delta f$
      - Προσεγγιστικός κανόνας για το εύρος ζώνης μετάδοσης κυματομορφής *FM* που δημιουργείται από σήμα διαμόρφωσης απλού τόνου συχνότητας  $f_m$

Κανόνας *Carson*

$$B_T = 2 \Delta f + 2 f_m = 2 \Delta f (1 + 1/\beta)$$



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

---

- Αναλογικά Δεδομένα – Αναλογικά Σήματα
  - Σύγκριση *FM* και *AM* Διαμόρφωσης
    - Στην *AM* Διαμόρφωση είναι δυνατόν να έχουμε υπερδιαμόρφωση και παραμόρφωση περιβάλλουσας με την αύξηση του πλάτους του διαμορφώνοντος σήματος
    - Στην *FM* Διαμόρφωση αύξηση του πλάτους του διαμορφώνοντος σήματος συνεπάγεται αύξηση της απόκλισης συχνότητας με αποτέλεσμα την αύξηση του δείκτη διαμόρφωσης και κατά συνέπεια την παραγωγή περισσότερων σημαντικών πλευρικών συχνοτήτων και μεγαλύτερου εύρους ζώνης
      - Για πρακτικούς λόγους εξοικονόμησης φάσματος υπάρχει συνήθως κάποιο όριο στην ανώτερη απόκλιση συχνότητας και στην ανώτερη διαμορφώνουσα συχνότητα
      - Ο λόγος μέγιστης επιτρεπόμενης απόκλισης συχνότητας προς τη μέγιστη διαμορφώνουσα συχνότητα αναφέρεται ως λόγος απόκλισης



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

- Αναλογικά Δεδομένα – Αναλογικά Σήματα
  - Σύγκριση *FM* και *AM* Διαμόρφωσης
    - Το κύριο πλεονέκτημα της *FM* ως προς την *AM* είναι η ανώτερη συμπεριφορά της στο θόρυβο
      - Το *FM* σήμα έχει σταθερό πλάτος φορέα. Λόγω αυτού, οι δέκτες περιλαμβάνουν κυκλώματα περιορισμού του πλάτους του λαμβανόμενου σήματος («ψαλιδισμού» των διακυμάνσεων του πλάτους). Οι περιοριστές εξαλείφουν σε μεγάλο βαθμό το θόρυβο (ο οποίος είναι ουσιαστικά διακυμάνσεις πλάτους), ενώ δεν επηρεάζεται το πληροφοριακό περιεχόμενο του *FM* σήματος
      - Ο θόρυβος επηρεάζει ιδιαίτερα τις υψηλόσυχνες συνιστώσες στο σήμα. Ο θόρυβος είναι κυρίως οξείες ακίδες ενέργειας, και περιέχει ένα αξιοσημείωτο αριθμό αρμονικών και άλλων υψηλόσυχνων συνιστωσών. Αυτές οι υψηλόσυχνες συνιστώσες μπορεί μερικές φορές να έχουν μεγαλύτερο πλάτος από το υψηλόσυχνο περιεχόμενο του σήματος. Αυτή η παραμόρφωση μπορεί να κάνει το σήμα μη καταληπτό
      - Προέμφαση: τεχνική η οποία βοηθά στην αντιστάθμιση της παρεμβολής του υψηλόσυχνου θορύβου. Ουσιαστικά οι υψηλόσυχνες συχνότητες ενισχύονται περισσότερο από τις χαμηλόσυχνες συνιστώσες
    - Ένα άλλο πλεονέκτημα της *FM* σε σχέση με την *AM* είναι ότι τα σήματα παρεμβολής της ίδιας συχνότητας ουσιαστικά εξαλείφονται
      - Λόγω των περιοριστών στους δέκτες *FM* λαμβάνει χώρα το ακόλουθο φαινόμενο. Όταν δύο ή περισσότερα σήματα *FM* εμφανίζονται στην ίδια συχνότητα και το σήμα του ενός είναι πάνω από το διπλάσιο του πλάτους του άλλου, το ισχυρότερο σήμα θα «συλλάβει» το κανάλι και θα εξαλείψει εντελώς το ασθενέστερο σήμα. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται φαινόμενο σύλληψης στα *FM*
      - Όταν δύο *AM* σήματα καταλαμβάνουν την ίδια συχνότητα, θα ακούγονται και τα δύο σήματα γενικά και άσχετα από τις σχετικές τους ισχύεις. Όταν ένα σήμα είναι σημαντικά ισχυρότερο από το άλλο, φυσιολογικά το ισχυρότερο σήμα θα είναι καταληπτό, όμως αν και το ασθενέστερο σήμα δεν θα είναι καταληπτό, θα ακούγεται στο υπόβαθρο. Όταν οι ισχύεις των δύο σημάτων είναι περίπου ίδιες, θα παρεμβάλλουν μεταξύ τους με αποτέλεσμα να μην ακούγεται καθαρά κανένα από τα δύο



# Κωδικοποίηση - Διαμόρφωση Δεδομένων

---

- Αναλογικά Δεδομένα – Αναλογικά Σήματα
  - Σύγκριση *FM* και *AM* Διαμόρφωσης
    - Μειονέκτημα της *FM* είναι ότι το εύρος ζώνης που απαιτείται για τη μετάδοση *FM* σήματος είναι σημαντικά μεγαλύτερο από ένα *AM* σήμα που μεταφέρει την ίδια πληροφορία
      - Με μείωση του δείκτη διαμόρφωσης, ελαχιστοποιείται το απαιτούμενο εύρος ζώνης μετάδοσης, το οποίο τυπικά εξακολουθεί να είναι μεγαλύτερο από ένα *AM* σήμα. Επιπρόσθετα, μειώνοντας το δέκτη διαμόρφωσης μειώνεται επίσης η καλή συμπεριφορά στο θόρυβο
    - Μειονέκτημα της *FM* είναι ότι τα κυκλώματα που χρησιμοποιούνται για τη διαμόρφωση και αποδιαμόρφωση είναι πολύ πιο σύνθετα από εκείνα της *AM*



---

# Τέλος Ενότητας



# Σημείωμα Αναφοράς

---

- Copyright Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών, Λούτα Μαλαματή. «Εισαγωγή στις Τηλεπικοινωνίες». Έκδοση: 1.0. Κοζάνη 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:

<https://eclass.uowm.gr/courses/ICTE277/>



# Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».

[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.



# Διατήρηση Σημειωμάτων

---

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.





# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων

---

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

## Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες

1. William Stallings, "Επικοινωνίες Υπολογιστών και Δεδομένων", 8η εκδοση
2. Andrew Tanenbaum, "Δίκτυα Υπολογιστών"
3. Α. Αλεξόπουλος και Γ. Λαγογιάννης, "Τηλεπικοινωνίες και Δίκτυα Υπολογιστών"  
Στο μάθημα Δίκτυα Τηλεπικοινωνιών, επιπρόσθετα στη βιβλιογραφία έχουμε και το Ιάκωβος Βενιέρης, "Δίκτυα Ευρείας Ζώνης"
4. Τεχνολογίες αποκατάστασης εδαφών και υπογείων υδάτων από επικίνδυνους ρύπους, Ε. Γιδαράκος, Μ. Αιβαλιώτη, Εκδόσεις Ζυγός, Θεσσαλονίκη, 2005.
5. Περιβάλλον και βιομηχανική ανάπτυξη, τόμος Β, Καλδέλης Ιωάννης Κ., Κονδύλη Αιμιλία Μ., εκδόσεις Σταμούλη ΑΕ, 2006.

