



Πανεπιστήμιο Αιγαίου

Τηλεπικοινωνίες

Ενότητα 7 : Παλμοκωδική Διαμόρφωση

Δημοσθένης Βουγιούκας (dnougiou@aegean.gr)

Αναπληρωτής Καθηγητής

Τμήμα Μηχανικών Πληροφοριακών & Επικοινωνιακών Συστημάτων



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



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 Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αιγαίου**» 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.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



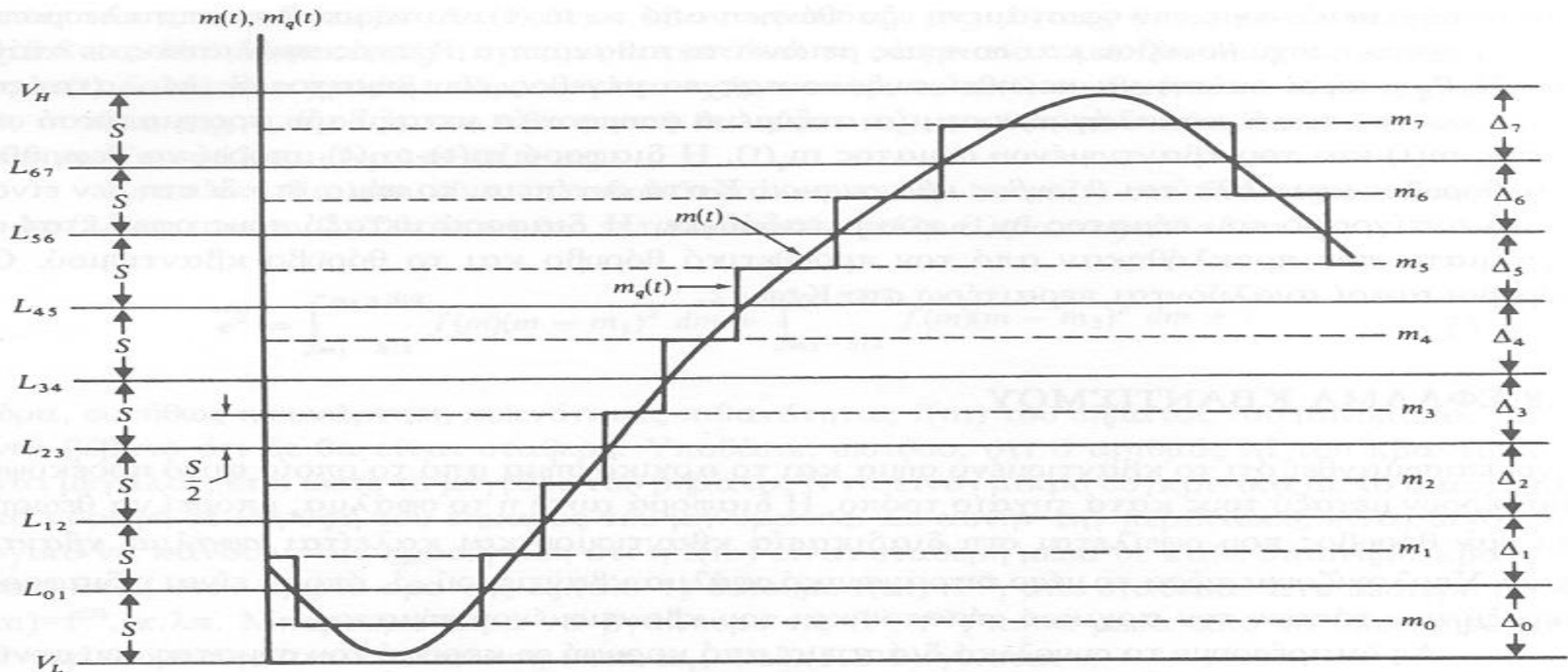
Κβαντισμός Σημάτων

- Κάθε δειγματοληπτημένη τιμή από το πλάτος του αναλογικού σήματος αντιστοιχίζεται σε ένα ορισμένο επίπεδο πλάτους.
- Για έναν δεδομένο αριθμό bits n , υπάρχουν $M = 2^n$ επίπεδα πλάτους (στάθμες κβάντισης).
- Χρησιμοποιείται η ψηφιακή λέξη που αντιπροσωπεύει το κοντινότερο πλάτος στην πραγματική δειγματοληπτημένη τιμή.
- Εάν τα βήματα του κβαντιστή (quantizer) είναι ίσα, το κβαντισμένο σήμα λέγεται ότι είναι ομοιόμορφο.
- Δεδομένου ότι η λειτουργία της κβάντισης προσεγγίζει το πραγματικό αναλογικό σήμα με ένα πεπερασμένο αριθμό επιπέδων, θα εισαχθεί ο θόρυβος κβάντισης.

Κβαντισμός Σημάτων

5

- Το πλάτος $V_H - V_L$ διαιρείται σε M ίσα διαστήματα (στάθμες κβάντισης) μεγέθους S που καλείται μέγεθος βήματος. [$S = (V_H - V_L) / M$]
- Στο κέντρο των διαστημάτων τοποθετούνται οι στάθμες κβαντισμού m_0, m_1, \dots, m_7
- Κάθε χρονική στιγμή το σφάλμα κβαντισμού $e = m(t) - m_q(t)$ έχει μέτρο μικρότερο ή ίσο του $S/2$.

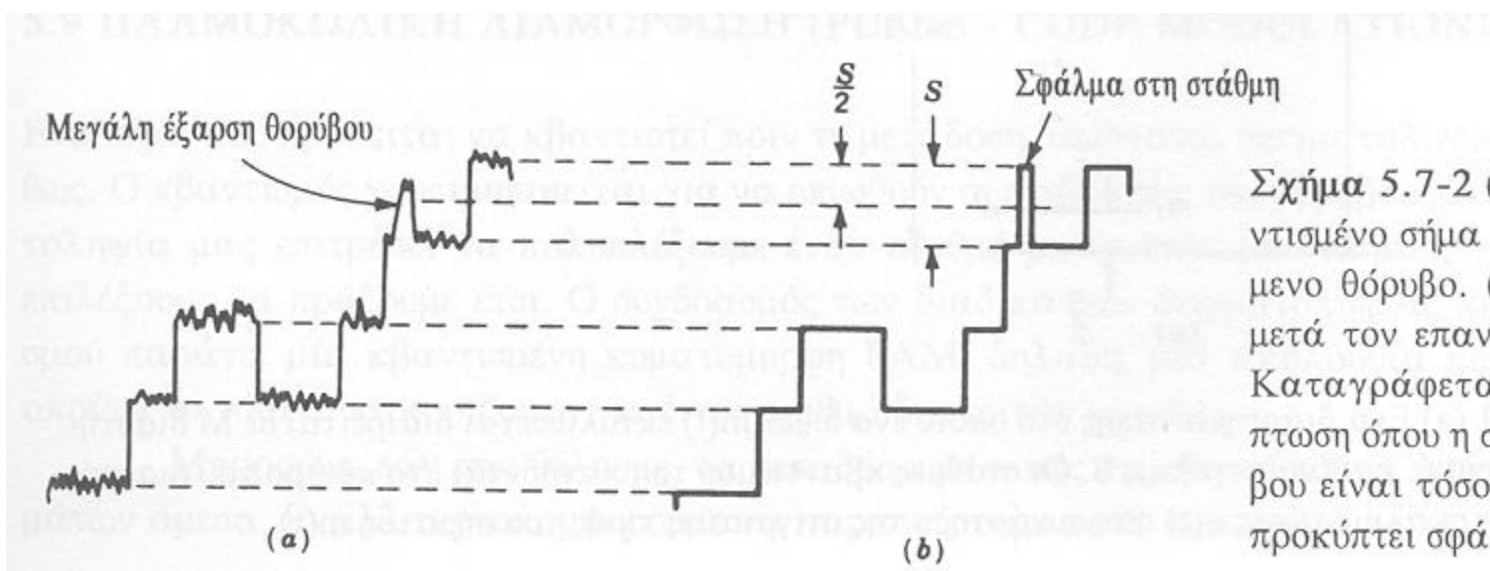


Σχήμα 5.7-1 Η λειτουργία του κβαντισμού.

Κβαντισμός Σημάτων

6

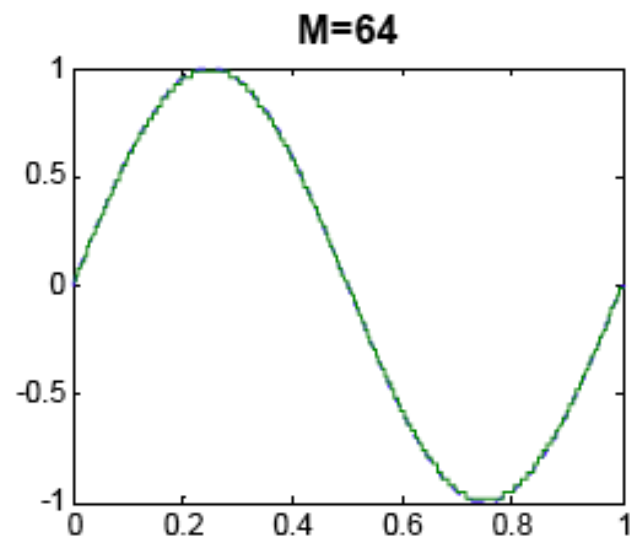
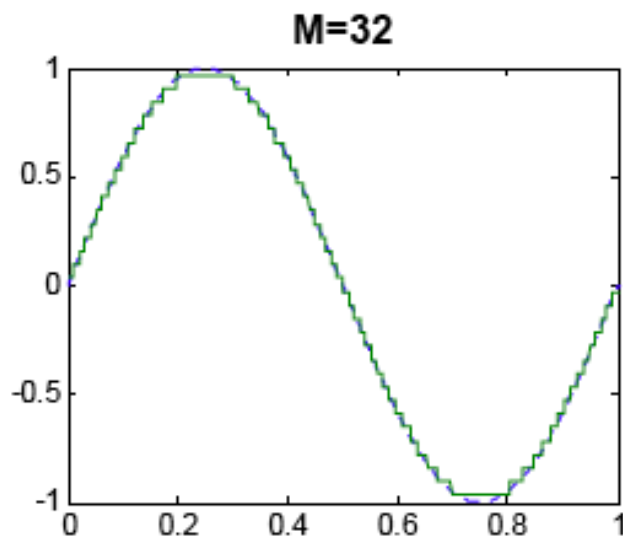
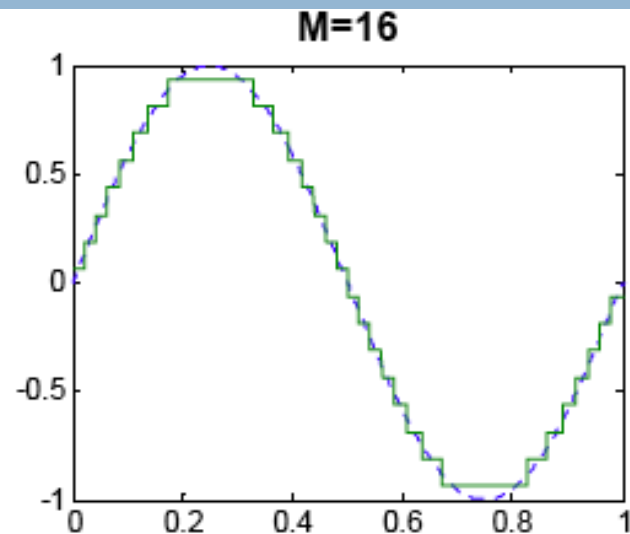
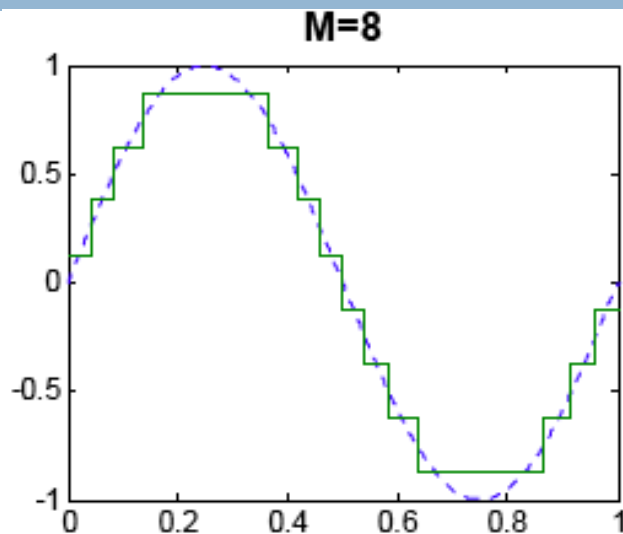
- Οι επιτρεπτές στάθμες στην έξοδο του κβαντιστή τονίζονται με τις διακεκομμένες γραμμές που διαχωρίζονται από την ποσότητα S .
- Η έξοδος του κβαντιστή είναι η στάθμη στην οποία είναι πιο κοντά η είσοδος.
- Καθόσον ο θόρυβος έχει στιγμιαίο πλάτος μικρότερο από $S/2$ δε θα εμφανίζεται θόρυβος στην έξοδο.



Σχήμα 5.7-2 (a) Ένα κβαντισμένο σήμα με προστιθέμενο θόρυβο. (b) Το σήμα μετά τον επανακβαντισμό. Καταγράφεται μία περίπτωση όπου η στάθμη θορύβου είναι τόσο μεγάλη που προκύπτει σφάλμα.

Κβαντισμός Σημάτων

7



Σφάλμα Κβαντισμού

8

- $f(m)$: συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του σήματος του μηνύματος $m(t)$
- $f(m)dm$: η πιθανότητα να βρίσκεται το $m(t)$ στο διάστημα τάσης από $m-dm/2$ έως $m+dm/2$

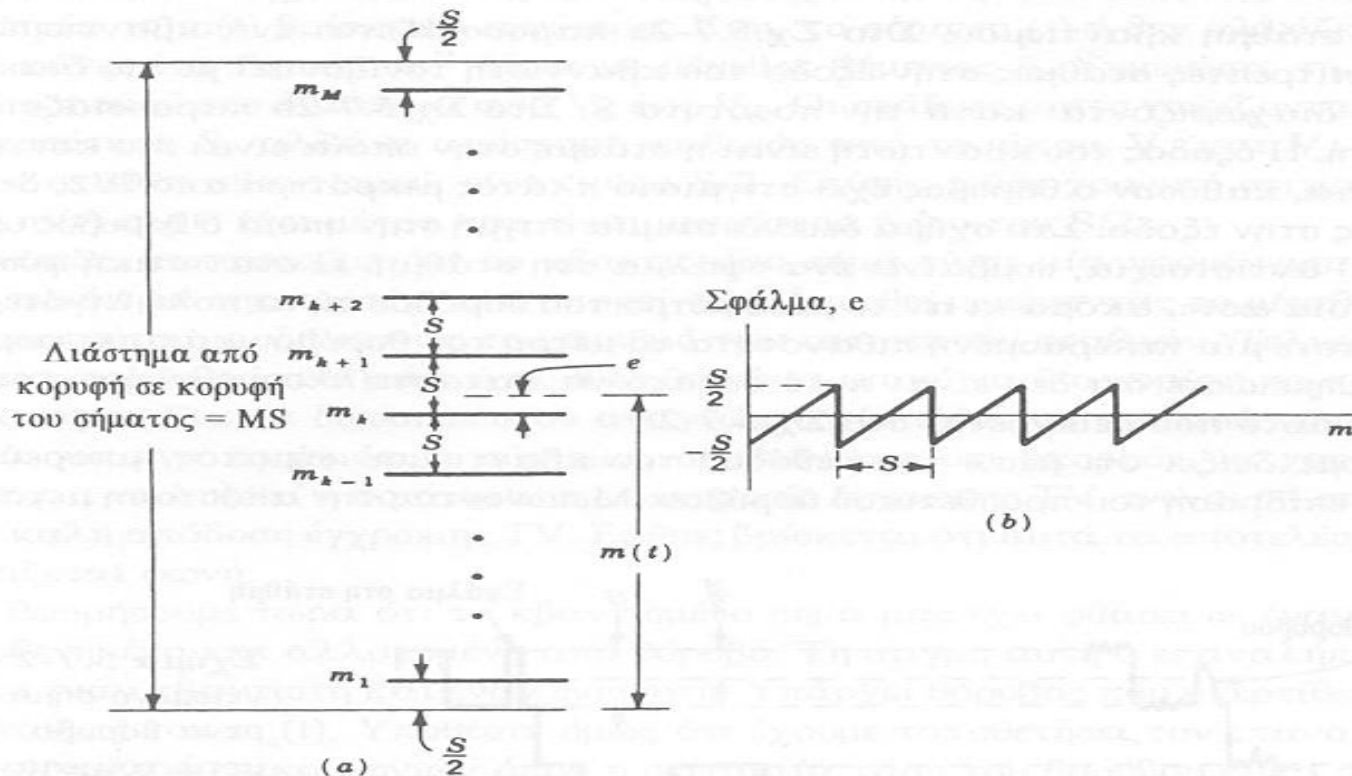
$$\bar{e}^2 = \int_{m_1-S/2}^{m_1+S/2} f(m)(m-m_1)^2 dm + \int_{m_2-S/2}^{m_2+S/2} f(m)(m-m_2)^2 dm + \dots$$

Θεωρούμε σταθερή την $f(m)$ στο διάστημα S $f(m) = f^{(1)}$, $f(m) = f^{(2)}$ θέτω $\chi \equiv m - m_k$

$$\text{ΟΠΟΤΕ: } \bar{e}^2 = (f^{(1)} + f^{(2)} + \dots) \int_{-S/2}^{S/2} x^2 dx = (f^{(1)} + f^{(2)} + \dots) \frac{S^3}{12} = (f^{(1)}S + f^{(2)}S + \dots) \frac{S^2}{12}$$

$$\text{Ισχύει } (f^{(1)}S + f^{(2)}S + \dots) = 1 \quad \text{και τελικά} \quad \bar{e}^2 = \frac{S^2}{12}$$

Σφάλμα Κβαντισμού



Σχήμα 5.8-1 (a) Ένα διάστημα τάσης στο οποίο ένα σήμα $m(t)$ εκτυλίσσεται διαιρείται σε M διαστήματα κβαντισμού, καθένα μεγέθους S . Οι στάθμες κβαντισμού τοποθετούνται στο κέντρο του διαστήματος. (b) Το σφάλμα τάσης $e(t)$ σαν συνάρτηση της στιγμιαίας τιμής του σήματος $m(t)$.

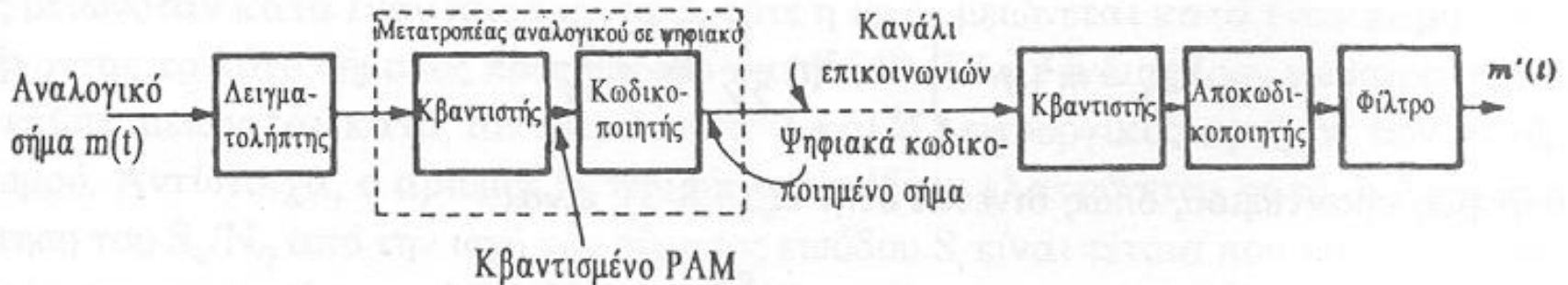
Παλμοκωδική Διαμόρφωση

- Στην **παλμοκωδική διαμόρφωση** (PCM) χρησιμοποιείται μία διακριτού χρόνου και διακριτού πλάτους παράσταση για το σήμα.
- Λαμβάνονται δείγματα του σήματος πληροφορίας και το πλάτος του κάθε δείγματος στρογγυλεύεται στην πιο κοντινή τιμή από ένα σύνολο επιτρεπτών τιμών, έτσι ώστε ο χρόνος όσο και το πλάτος να είναι σε διακριτή μορφή.
- Αυτό επιτρέπει τη μετάδοση πληροφορίας μέσω κωδικοποιημένων ηλεκτρικών σημάτων, ξεχωρίζοντας τη PCM από τις άλλες μεθόδους διαμόρφωσης.

Παλμοκωδική Διαμόρφωση

11

- Στο σύστημα αυτό, το σήμα πληροφορίας πρώτα δειγματοληπτείται, ύστερα υφίσταται κβάντιση και τέλος κωδικοποιείται.
- Ο κβαντιστής και ο κωδικοποιητής αποτελούν τον Αναλογικό-Ψηφιακό Μετατροπέα.
- Στην περίπτωση, που το σύστημα δεν έχει τον κωδικοποιητή, τότε είναι σύστημα Διαμόρφωσης Πλάτους Παλμών με κβάντιση.
- Ο κωδικοποιητής είναι το κουτί που του δίνει το όνομα της παλμοκωδικής διαμόρφωσης.



Σχήμα 5.11-1 Ένα σύστημα επικοινωνιών PCM.

Παλμοκωδική Διαμόρφωση

12

- Ο κβαντισμός χρησιμοποιείται για να μειωθούν οι επιδράσεις του θορύβου και η δειγματοληψία μάς επιτρέπει να πολυπλέξουμε έναν αριθμό μηνυμάτων με διαίρεση χρόνου.
- Ο συνδυασμός τους παράγει μία κβαντισμένη κυματομορφή PAM.
- Μπορούμε να αναπαραστήσουμε κάθε κβαντισμένη στάθμη με έναν κωδικό αριθμό και να μεταδώσουμε τον κωδικό αριθμό αντί της ίδιας τιμής του δείγματος.
- Συνήθως ο κωδικός αριθμός μετατρέπεται πριν τη μετάδοση στην παράστασή του στο δυαδικό σύστημα με βάση το 2.
- Τα ψηφία της δυαδικής παράστασης των κωδικού αριθμού μεταδίδονται ως παλμοί και το σύστημα καλείται (δυαδική) **Παλμοκωδική Διαμόρφωση**.
- Ένας αυθαίρετος αριθμός N παριστάνεται από την ακολουθία $\dots k_2 k_1 k_0$, στην οποία τα k καθορίζονται από

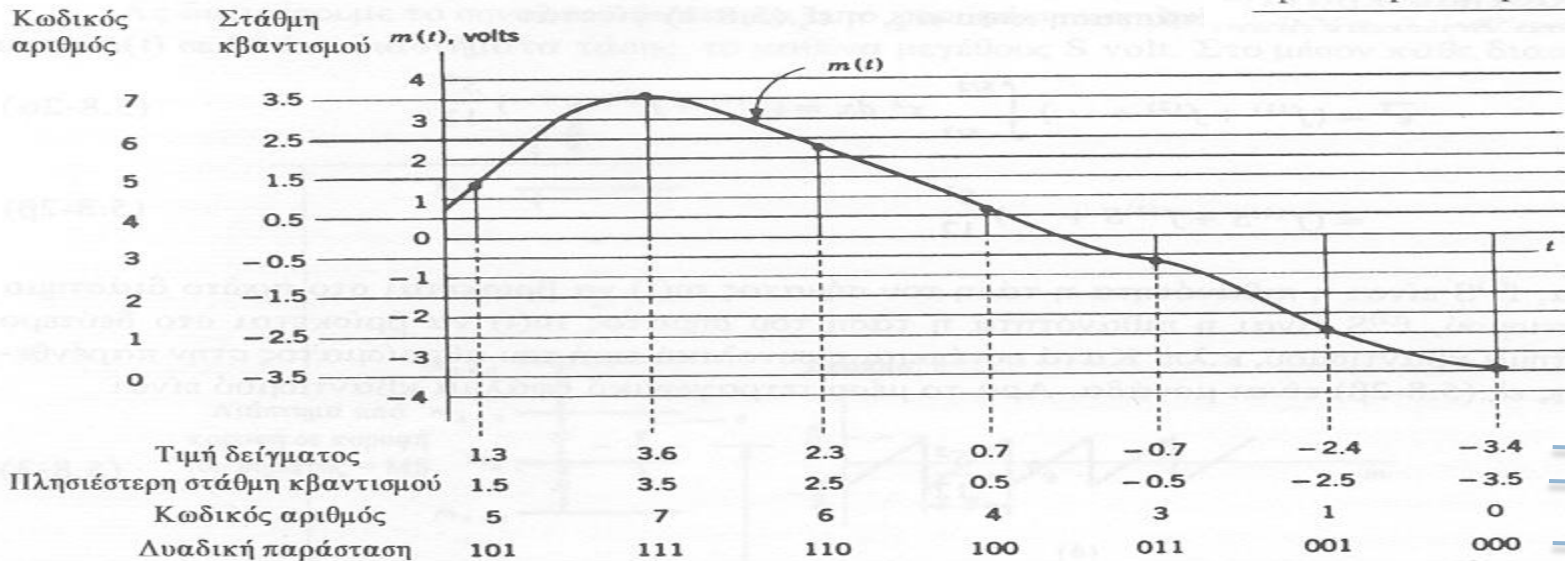
$$N = \dots + k_2 2^2 + k_1 2^1 + k_0 2^0 \quad \longrightarrow \quad M = 2^n \quad \text{στάθμες κβάντισης}$$

$$\downarrow$$
$$n = \log_2 M$$

Παλμοκωδική Διαμόρφωση

Πίνακας 5.9-1 Ισοδύναμοι αριθμοί σε δεκαδική και δυαδική παράσταση.

Δυαδικό				Δεκαδικό
k_3	k_2	k_1	k_0	
0	0	0	0	0
0	0	0	1	1
0	0	1	0	2
0	0	1	1	3
0	1	0	0	4
0	1	0	1	5
0	1	1	0	6
0	1	1	1	7
1	0	0	0	8
1	0	0	1	9
1	0	1	0	10
1	0	1	1	11
1	1	0	0	12
1	1	0	1	13
1	1	1	0	14
1	1	1	1	15



Αναλ. Μετάδ.

Κβαντ. Μετάδ.

PCM. Μετάδ.

Σχήμα 5.9-1 Ένα σήμα μηνύματος υφίσταται δειγματοληψία σε τακτά διαστήματα. Σημειώνονται οι στάθμες κβαντισμού. Για κάθε δείγμα δίνεται η κβαντισμένη του τιμή και σημειώνεται η δυαδική του παράσταση.

Κωδικοποίηση Γραμμής

14

- Μορφές κωδικοποίησης:
 - **Μονοπολική NRZ (UniNRZ)**, όπου το 1 παριστάνεται με παλμό θετικού πλάτους και το 0 με απουσία παλμού. Είναι επίσης γνωστή ως σήμα on-off. Χρησιμοποιείται στις οπτικές ίνες.
 - **Η μονοπολική RZ (UniRZ)** που διαφέρει από την UniNRZ στον παλμό που αντιπροσωπεύει το 1 ο οποίος έχει μόνο τη μισή διάρκεια.
 - Στη **διπολική RZ (BiRZ)** η διαφορά από την UniRZ είναι η εναλλαγή της πολικότητας του παλμού όταν το προς μετάδοση bit είναι 1. Είναι γνωστή και ως AMI-RZ και χρησιμοποιείται στο ψηφιακό σύστημα T1 και στο ISDN, λόγω της εξουδετέρωσης της συνεχούς (dc) συνιστώσας.
 - Ένα είδος πολικής σηματοδότησης είναι και ο κώδικας γραμμής **Manchester**, όπου το 0 και 1 αντιπροσωπεύονται από παλμούς φάσεων +- για 1 και -+ για το 0. Έτσι, εξαλείφεται η συνεχής συνιστώσα και διευκολύνεται ο συγχρονισμός.

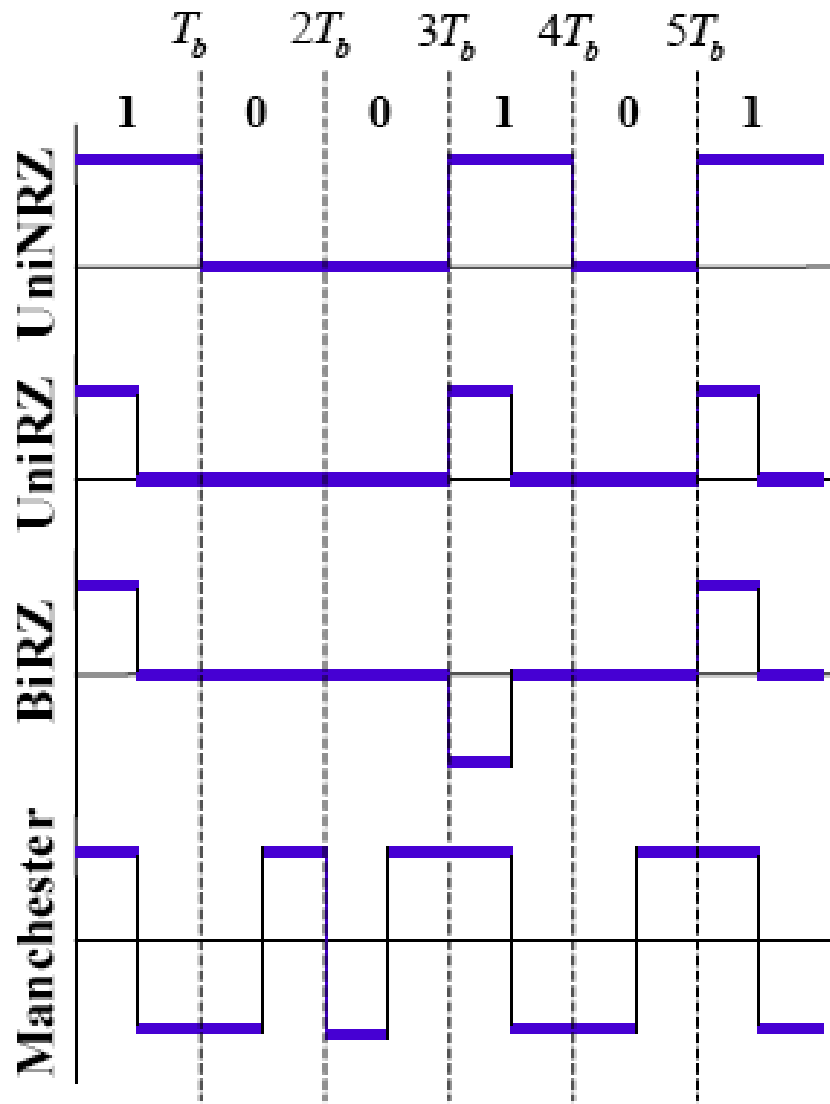
Κωδικοποίηση Γραμμής

15

- Η ονοματολογία των κωδικών γραμμής (line codes) περιλαμβάνει τους όρους:
 - ▣ Πολικός (polar): Παράγεται ένας παλμός ή ο αρνητικός του.
 - ▣ Μονοπολικός (unipolar): Παράγεται ένας παλμός ή μηδενική στάθμη
 - ▣ Διπολικός (bipolar): Στο 1 η πολικότητα του παλμού εναλλάσσεται
 - ▣ NRZ (No Return to Zero): Οι παλμοί είναι πλήρεις
 - ▣ RZ (Return to Zero): η στάθμη επιστρέφει στο μηδέν στη μέση της περιόδου

Κωδικοποίηση Γραμμής

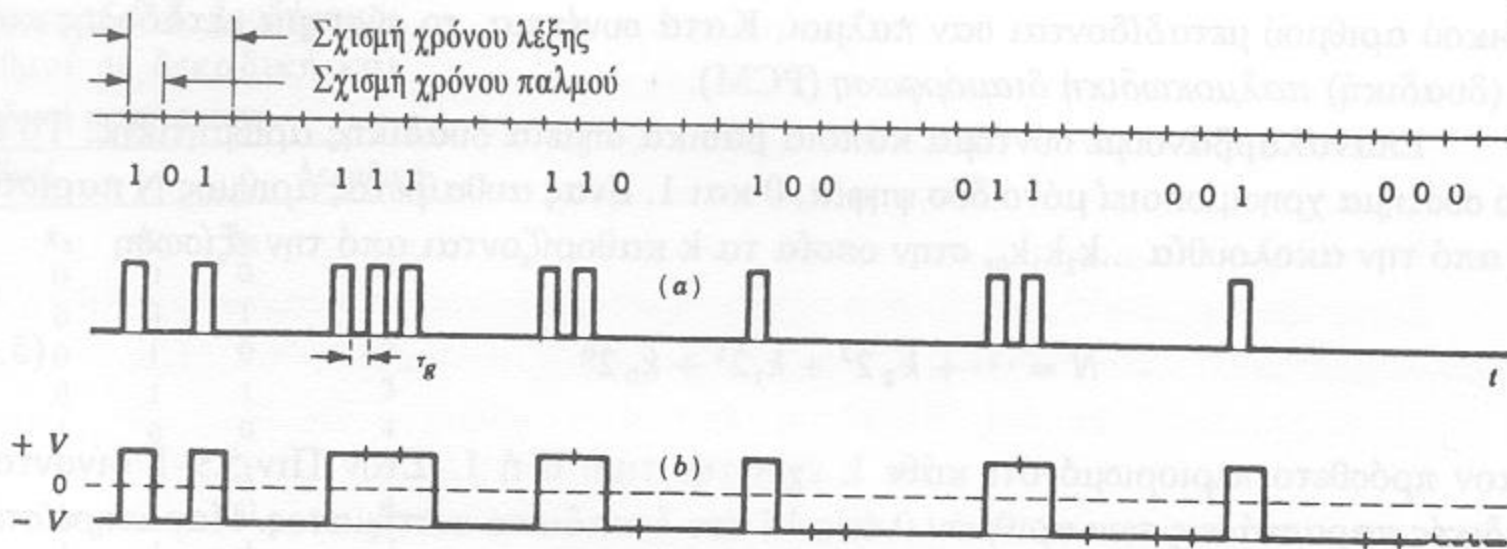
16



Ηλεκτρικές Αναπαραστάσεις Δυαδικών Ψηφίων

17

- Κάθε τριψήφιος δυαδικός αριθμός που προσδιορίζει μια τιμή κβαντισμένου δείγματος καλείται λέξη (word).
- Το διάστημα μεταξύ των λέξεων επιτρέπει την πολύπλεξη άλλων μηνυμάτων.
- Μεγαλύτερο εύρος παλμού σημαίνει αύξηση της ενέργειας του παλμού και κατ' επέκταση ευκολότερη αναγνώριση έναντι του υπόβαθρου θορύβου



Σχήμα 5.10-1 α) Παράσταση με παλμούς των δυαδικών αριθμών που χρησιμοποιούνται για να κωδικοποιήσουν τα δείγματα του Σχήματος 5.9-1. (b) Παράσταση με στάθμες τάσης αντί παλμών.

Συμπίεση – Αποκατάσταση (Compadding)

18

- Για αποτελεσματική λειτουργία του μετατροπέα A/D, πρέπει το σήμα $m(t)$ να παλινδρομεί μεταξύ των ορίων V_L και V_H
- Η λειτουργία του συστήματος θα είναι μειονεκτική αν το σήμα κάνει διαδρομές πέρα από τα προγραμματισμένα όρια ή αν δεν χρησιμοποιούνται όλες οι στάθμες της κβάντισης.
- Θεωρούμε σήμα δίχως dc συνιστώσα ($V_H = -V_L = V$) και με ομοιόμορφη πυκνότητα πιθανότητας ίση με $1/2V$.
- Η κανονικοποιημένη μέση ισχύς του σήματος στην είσοδο είναι :

$$S_i = \overline{m^2(t)} = \int_{-V}^{+V} m^2(t) \frac{1}{2V} dm = \frac{V^2}{3}$$

Επίσης ισχύει: $N_Q = \frac{S^2}{12}$

Αν ο αριθμός των σταθμών κβαντισμού είναι M , τότε $MS = 2V$ ή $V = \frac{MS}{2}$

Από τις προηγούμενες σχέσεις προκύπτει $\frac{S_i}{N_Q} = M^2$ ή $\frac{S_o}{N_Q} = M^2$

Για κώδικα n bit: $\frac{S_i}{N_Q} = M^2 = (2^n)^2 = 2^{2n}$ ή $\left. \frac{S_o}{N_Q} \right|_{dB} = 10 \log \frac{S_o}{N_Q} = 10 \log(2^{2n}) = 6n$

Τηλεπικοινωνίες

Συμπίεση – Αποκατάσταση (Compadding)

19

- Στην επικοινωνία φωνής $n=8$ οπότε $S_0/N_Q=6 \times 8=48\text{dB}$. Αν υποδιπλασιαστεί το πλάτος του σήματος η ισχύς υποτετραπλασιάζεται και ο λόγος S_0/N_Q ελαττώνεται κατά 6dB.
- Επίσης υποδιπλασιάζεται και ο λειτουργικός αριθμός των σταθμών κβαντισμού οπότε και ο αριθμός n των bit του κώδικα ελαττώνεται κατά 1. Δηλαδή ο S_0/N_Q μειώνεται κατά 6dB ανά bit μείωσης του κώδικα
- Αποδεκτή μετάδοση φωνής απαιτείται ο λόγος S_0/N_Q να μην είναι μικρότερος από 30dB. Ο λόγος S_0/N_Q είναι περίπου ίσος με το λόγο S_i/N_Q και έχει μέγιστη τιμή 48dB που αντιστοιχεί στην μέγιστη τιμή του σήματος εισόδου, αφού ο N_Q εξαρτάται μόνο από το μέγεθος βήματος.
- Προκύπτει επομένως ότι το **δυναμικό εύρος του σήματος εισόδου** θα περιοριστεί στα $48-30=18\text{dB}$

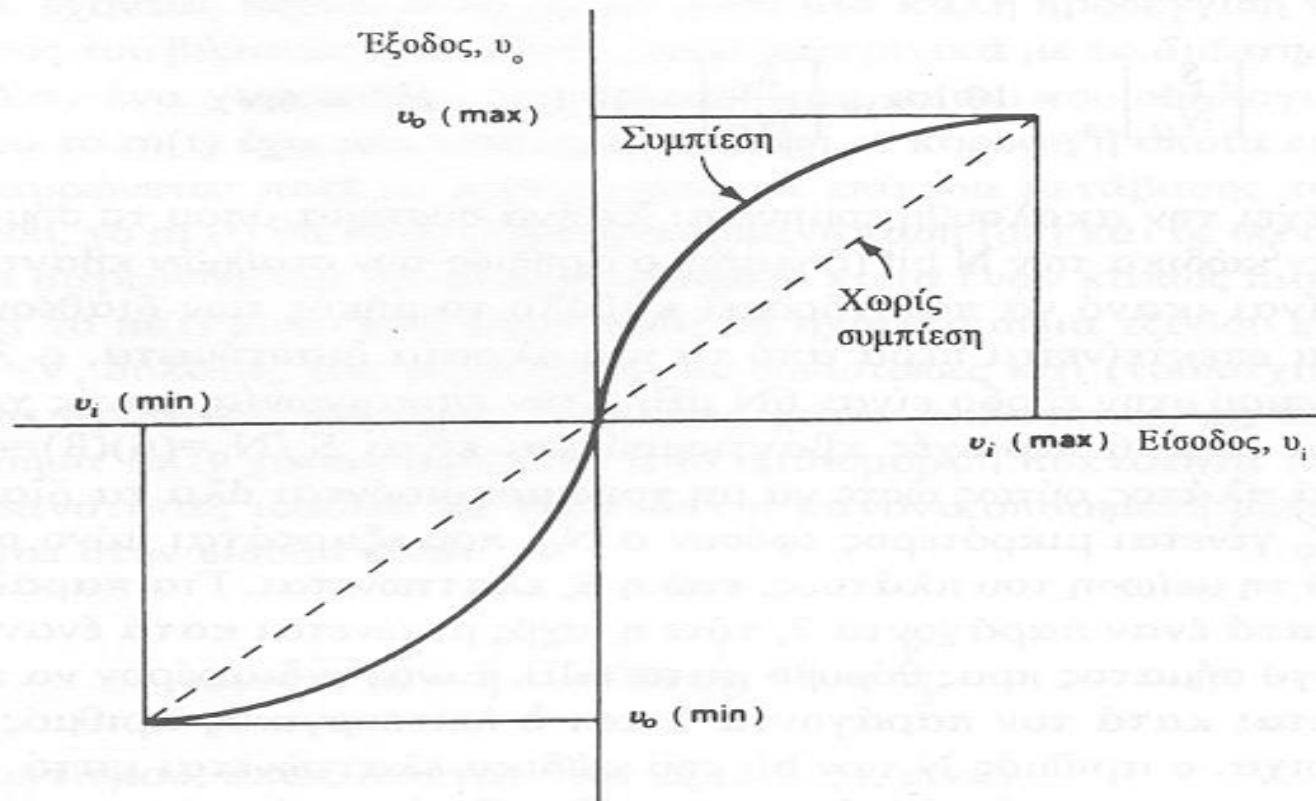
Συμπίεση – Αποκατάσταση (Compadding)

20

- Το δυναμικό εύρος μπορεί να βελτιωθεί με μια διαδικασία που λέγεται **compadding**. Το σήμα κορυφής θα κυμαίνεται σε όλες τις διαθέσιμες περιοχές κβαντισμού όπως και προηγούμενα, ενώ ένα σήμα μικρού πλάτους θα κυμαίνεται σε περισσότερες περιοχές κβαντισμού απ' ό,τι απουσία συμπίεσης.
- Η διαδικασία της συμπίεσης παραμορφώνει το σήμα. Η παραμόρφωση εξαλείφεται στο δέκτη από το **δικτύωμα αποκατάστασης** που έχει χαρακτηριστική εισόδου-εξόδου αντίστροφη από την χαρακτηριστική του συμπιεστή
- Στις ΗΠΑ, Καναδά και Ιαπωνία χρησιμοποιείται δικτύωμα συμπίεσης-αποκατάστασης **νόμου-μ** και στον υπόλοιπο κόσμο **νόμου-A**. Τα **μ** και **A** είναι παράμετροι που εμφανίζονται στις αντίστοιχες χαρακτηριστικές εξισώσεις.

Συμπίεση – Αποκατάσταση (Comprading)

21



Σχήμα 5.12-1 Χαρακτηριστική εισόδου-εξόδου που παρέχει συμπίεση.

Εύρος ζώνης PCM σημάτων

22

- Η διαμόρφωση PCM είναι μια μη γραμμική συνάρτηση του αναλογικού σήματος και το φάσμα του PCM σήματος δεν συσχετίζεται άμεσα με το φάσμα του αρχικού αναλογικού σήματος.
- Το εύρος ζώνης των δυαδικών κυματομορφών PCM εξαρτάται από το ρυθμό των bits (bit rate) και τη μορφή της κυματομορφής που χρησιμοποιείται για να αναπαραστήσει τα δεδομένα.

- Ο ρυθμός των bits είναι:

$$R = nf_s$$

όπου n είναι ο αριθμός των δυαδικών ψηφίων στην PCM λέξη ($M = 2^n$) και f_s είναι ο ρυθμός δειγματοληψίας.

- Για να μην υπάρχουν φαινόμενα αλλοίωσης ([aliasing](#)), σύμφωνα με το θεώρημα δειγματοληψίας πρέπει να ισχύει $f_s > 2B$, όπου B είναι το εύρος ζώνης του αρχικού αναλογικού σήματος.
- Για το εύρος ζώνης του δυαδικού PCM θα πρέπει να ισχύει:

$$B_{PCM} \geq R / 2 = (1 / 2)nf_s$$

Εύρος ζώνης PCM σημάτων

23

- Το προηγούμενο ελάχιστο εύρος ζώνης λαμβάνεται μόνο όταν χρησιμοποιείται παλμός τύπου $\sin(x)/x$ για την δημιουργία της PCM κυματομορφής.
- Συνήθως χρησιμοποιείται μια πιο ορθογώνια μορφή παλμού. Για τους ορθογώνιους παλμούς το πρώτο μηδενικό στο εύρος ζώνης είναι

$$B_{PCM} = R = nf_s \quad (\text{first null bandwidth}).$$

- Και στην περίπτωση αυτή το εύρος ζώνης του σήματος PCM είναι πολύ μεγαλύτερο από το εύρος ζώνης του αρχικού σήματος.
- Στην πραγματικότητα, το χαμηλότερο εύρος ζώνης PCM σήματος δίνεται από την σχέση

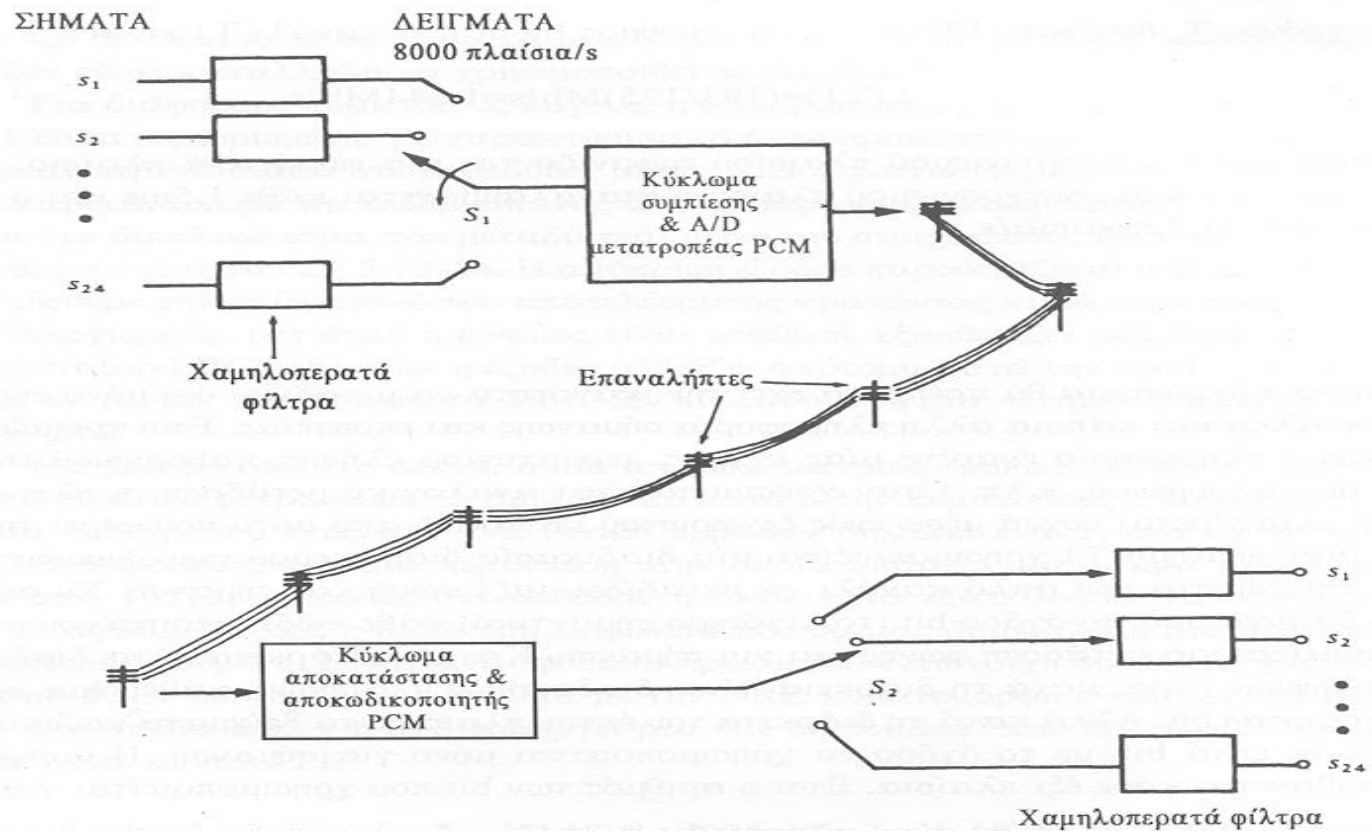
$$B_{PCM} \geq nB$$

όπου $f_s > 2B$ και B είναι το εύρος ζώνης του αντίστοιχου αναλογικού σήματος.

Πολύπλεξη Σημάτων PCM

24

- Πολυπλέκονται 24 σήματα ομιλίας περιορισμένα στα 3,3 kHz με ρυθμό δειγματοληψίας 8 kHz (πάνω από τον ρυθμό Nyquist των $2 \times 3,3 = 6,6$ kHz).
- Χρησιμοποιούνται ομοαξονικά καλώδια για την διαβίβαση των bit και κάθε 2 km περίπου υπάρχουν αναμεταδότες



Σχήμα 5.13-1 Ένα ψηφιακό σύστημα T1.

Πολύπλεξη Σημάτων PCM

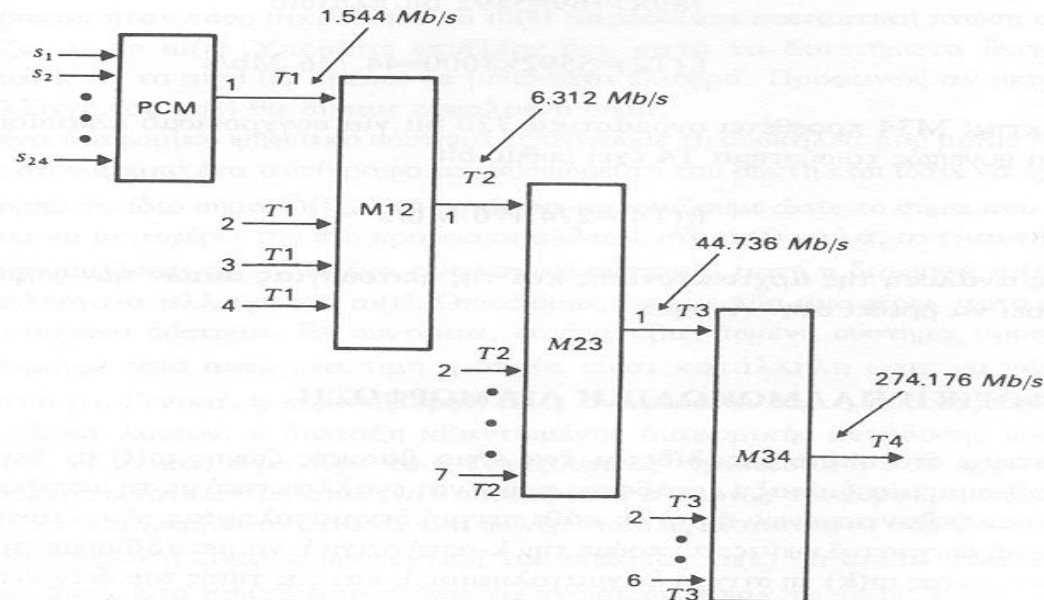
25

- Τα δείγματα κωδικοποιούνται σε λέξεις των 8 bit (που αντιστοιχούν σε $2^8=256$ στάθμες κβαντισμού) και κάθε πλαίσιο (περιλαμβάνει το ψηφιακό σήμα κατά την διάρκεια μιας πλήρους σάρωσης του μεταγωγού) έχει $24 \times 8 = 192$ bit
- Πριν από κάθε πλαίσιο τοποθετείται το bit αναγνώρισης πλαισίου F. Το πλαίσιο αποτελείται από 193 bit.
- Κάθε 12 πλαίσια μεταδίδεται η 12 bit κωδική λέξη 110111001000 που χρησιμοποιείται στο δέκτη για τη θεμελίωση του συγχρονισμού.
- Στα $125\mu\text{s}$ ($=1/8000$) που είναι η διάρκεια πλαισίου μεταδίδονται 193 bit και επομένως στο 1s θα μεταδίδονται $193/125 \times 10^6$ bit ή 1,544 Mbit/s (Ρυθμός T1)
- Το τηλεφωνικό σύστημα μεταδίδει και πληροφορίες για έναρξη και τερματισμό μιας κλήσης, καθορισμού της διεύθυνσης του καλουμένου κ.λ.π.
- Κάθε 6^ο πλαίσιο τα bit για τα δείγματα είναι 7 και το 8^ο bit χρησιμοποιείται για σήμανση.

Πολύπλεξη Σημάτων PCM

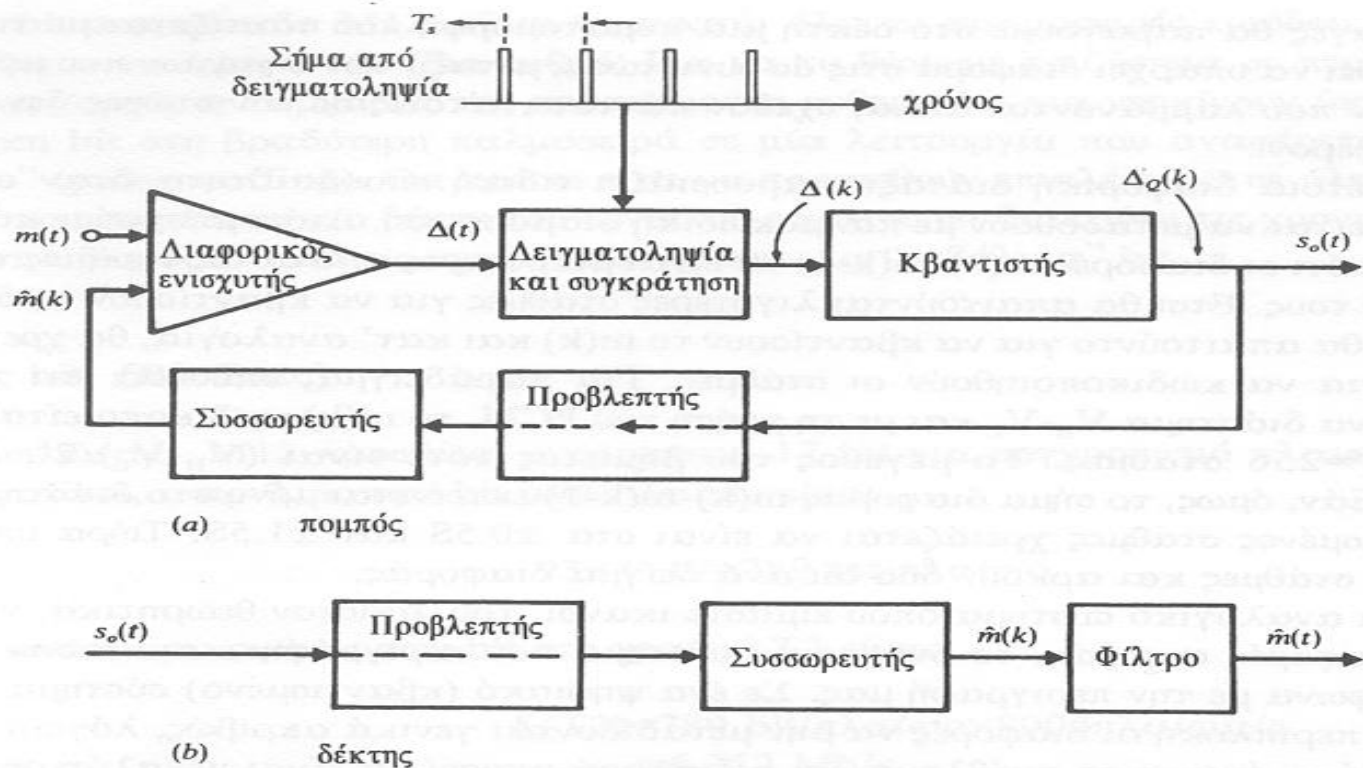
26

- Στην είσοδο του πολυπλέκτη M12 πρέπει οι 4 παλμοσειρές να παρουσιάζουν ίδιο ρυθμό bit.
- Αυτό εξασφαλίζεται με την διαδικασία της «εμβολής παλμών» (**pulse stuffing**) στην βραδύτερη παλμοσειρά.
- Ο πολυπλέκτης M12 προσθέτει 17 bit για συγχρονισμό πλαισίου και εμβολή παλμών, οπότε ανά πλαίσιο υπάρχουν $193 \times 4 + 17 = 789$ bit/πλαίσιο.
- Ο ρυθμός των bit στην γραμμή T2 είναι: $f_b(T2) = 789 \text{ bit/πλαίσιο} \times 8000 \text{ πλαίσια/s} = 6,312 \text{ Mb/s}$
- Ο πολυπλέκτης M23 προσθέτει 69 bit για συγχρονισμό πλαισίου και εμβολή παλμών, οπότε ανά πλαίσιο υπάρχουν $789 \times 7 + 69 = 5592$ bit/πλαίσιο.
- Ο ρυθμός των bit στην γραμμή T3 είναι:
 $f_b(T3) = 5592 \text{ bit/πλαίσιο} \times 8000 \text{ πλαίσια/s} = 44,736 \text{ Mb/s}$



Διαφορική παλμοκωδική διαμόρφωση (DPCM)

27



Σχήμα 5.14-1 Παράσταση της βασικής αρχής του διαφορικού PCM.

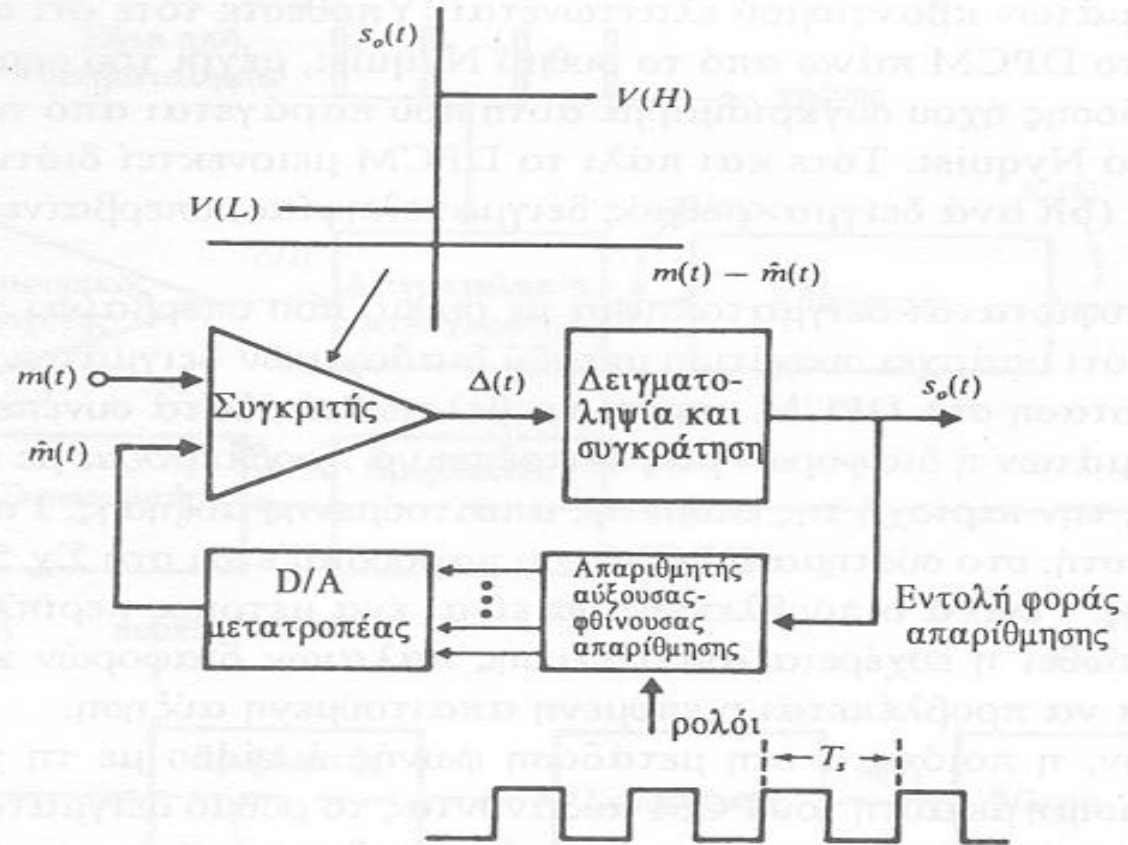
- Ο προβλεπτής αποθηκεύει παλαιές διαφορές, με κάποιο αλγόριθμο τις συγκρίνει με την τρέχουσα και προβλέπει με κάποια πιθανότητα να είναι η επόμενη απαιτούμενη αύξηση σε σωστή περιοχή

Διαμόρφωση Δέλτα

28

- Η διαμόρφωση Δέλτα (Delta Modulation - DM) είναι μία διάταξη διαφορικής (Differential) PCM (DPCM) και χρησιμοποιείται για να βελτιώσει
 - ▣ την απόδοση της PCM
 - ▣ την πολυπλοκότητα υλοποίησης της PCM
- Το σήμα προσεγγίζεται από μια συνάρτηση μορφής κλίμακας
 - ▣ η συνάρτηση κινείται πάνω ή κάτω κατά ένα επίπεδο κβάντισης σε κάθε διάστημα δειγματοληψίας
 - ▣ ουσιαστικά προσεγγίζεται η παράγωγος του σήματος δεδομένων
 - ▣ η ακρίβεια της μεθόδου εξαρτάται από:
 - το μέγεθος του επιπέδου κβάντισης
 - το διάστημα δειγματοληψίας

Διαμόρφωση Δέλτα



Σχήμα 5.15-1 Ένας διαμορφωτής δέλτα.

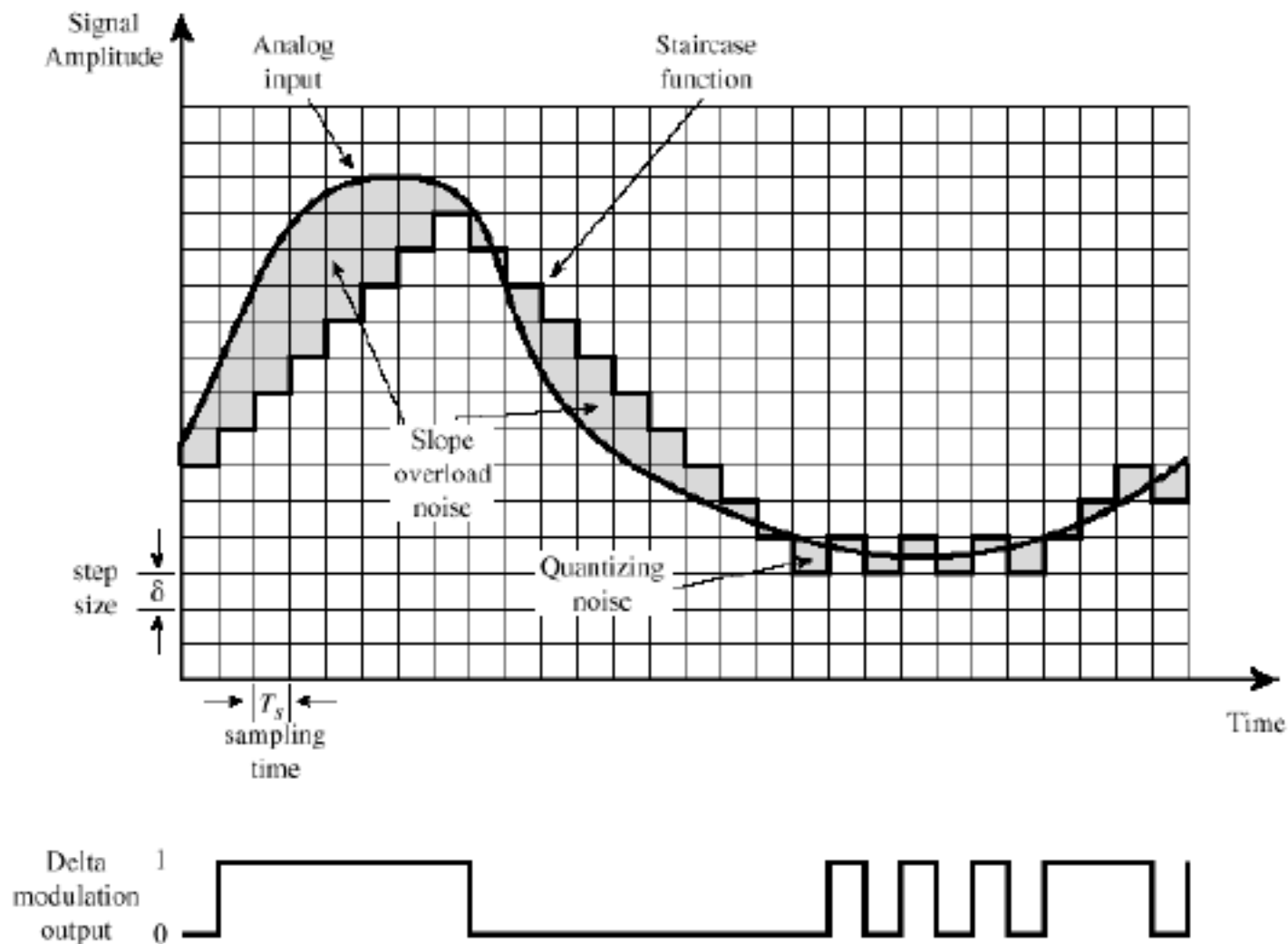
Διαμόρφωση Δέλτα

30

- Με την DM, ένα αναλογικό σήμα προσεγγίζεται με μία συνάρτηση σαν σκάλα που κινείται είτε πάνω ή κάτω κατά ένα επίπεδο κβάντισης σε κάθε διάστημα δειγματοληψίας T_s
- Το σημαντικό χαρακτηριστικό αυτής της συνάρτησης είναι ότι η συμπεριφορά της είναι δυαδική:
 - σε κάθε χρονικό διάστημα δειγματοληψίας, η συνάρτηση κινείται πάνω ή κάτω κατά μία σταθερή ποσότητα δ .
- Επομένως, το αποτέλεσμα της διαδικασίας της DM μπορεί να αναπαρασταθεί ως ένα δυαδικό ψηφίο για το κάθε δείγμα.
- Ουσιαστικά, παράγεται μία ροή από bit προσεγγίζοντας το παράγωγο ενός αναλογικού σήματος παρά το πλάτος του:
 - το 1 παράγεται αν η συνάρτηση σκάλα πηγαίνει προς τα πάνω κατά τη διάρκεια του επόμενου διαστήματος, ενώ το 0 παράγεται όταν πηγαίνει προς τα κάτω.

Διαμόρφωση Δέλτα

31



Χωρητικότητα Διαύλου

32

- Ο ρυθμός μετάδοσης εξαρτάται από το εύρος ζώνης του διαύλου, τον αριθμό των σταθμών του προς μετάδοση σήματος και το σηματοθορυβικό λόγο.
- Για M στάθμες του σήματος στη διαδικασία κβαντοποίησης, ο μέγιστος θεωρητικός ρυθμός μετάδοσης σε δίαυλο εύρος ζώνης W (Nyquist bit rate) είναι

$$R_b = 2W \log_2(M) \text{ bits/s}$$

- και επιτυγχάνεται με σηματοδοσία παλμών sinc

$$g(t) = \frac{\sin(2\pi Wt)}{2\pi Wt}$$

Χωρητικότητα Διαύλου

33

- Εάν το μέγιστο πλάτος σήματος είναι περιορισμένο A_{\max} (περιορισμός σταθερής ισχύος) και η διακριτική ικανότητα πλάτους είναι A_{δ} (λόγω της ύπαρξης θορύβου), συμπεραίνεται ότι υπάρχει ένας μέγιστος ρυθμός μετάδοσης.
- Αυτό το άνω όριο (**Shannon limit**) στο ρυθμό που μπορεί να μεταδοθεί η πληροφορία αποκαλείται χωρητικότητα του διαύλου.

$$C = W \log_2 (1 + SNR)$$

όπου S η μέση ισχύς σήματος, $N=WN_0$ η μέση ισχύς θορύβου, N_0 η φασματική πυκνότητα ισχύος του θορύβου, W το εύρος ζώνης μετάδοσης.

- Εάν ο ρυθμός πληροφορίας R είναι μικρότερος της C , τότε είναι θεωρητικά δυνατόν, με χρήση κατάλληλου κώδικα, να επιτευχθεί αξιόπιστη μετάδοση.
- Αντίθετα, εάν ο ρυθμός πληροφορίας R είναι μεγαλύτερος της C τότε είναι αδύνατον να επιτευχθεί αξιόπιστη μετάδοση.

Χωρητικότητα Διαύλου

34

Παράδειγμα 1

- Ένας τηλεπικοινωνιακός δίαυλος έχει εύρος ζώνης $W=1$ MHz και $SNR=63$.
 - ▣ Ποιος είναι ο ρυθμός μετάδοσης και πόσες στάθμες σήματος απαιτούνται;
- Το θεωρητικό μέγιστο είναι

$$C = W \log_2 (1 + SNR) = 10^6 \log_2 (64) = 6Mbps$$

- Στην πράξη επιτυγχάνεται ένας μικρότερος ρυθμός, έστω

$$R_b \cong 4Mbps = 2W \log_2 M \Rightarrow M = 4$$

Χωρητικότητα Διαύλου

35

Παράδειγμα 2: Μόντεμ 56k

- Το σήμα φωνής στο δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο έχει εύρος ζώνης 3,1 kHz (από 300Hz μέχρι 3.400 Hz).
- Ο σηματοθορυβικός λόγος SNR στον διπλαγωγό είναι περίπου 20 dB.

$$SNR_{dB} = 10 \log_{10} (S / N) \Rightarrow S / N = 10^{SNR_{dB}}$$

$$\log_2 (x) = \frac{\log_B (x)}{\log_B (2)}$$

$$C = 3.1 \log_2 (1 + 100) \square 21kbps$$

Χωρητικότητα Διαύλου

36

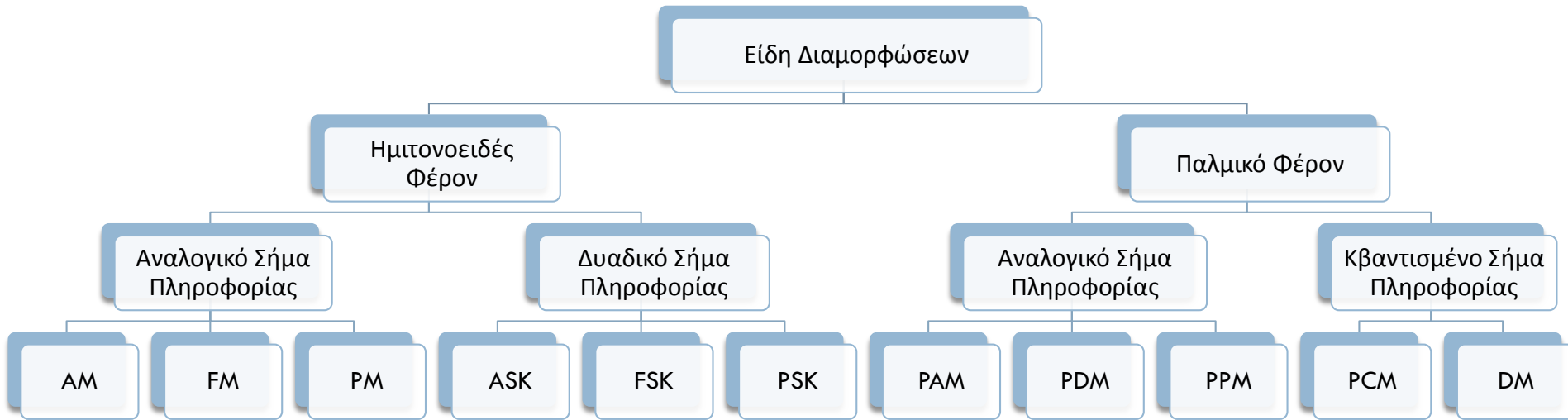
Παράδειγμα 2: Μόντεμ 56k

- Πώς τα καταφέρνει σε τέτοιο περιβάλλον;
 - ▣ Εκτιμά το SNR
 - ▣ Ανιχνεύει τα λάθη
 - ▣ Αυξάνει το ρυθμό μέχρι να εμφανισθούν λάθη
- Μεταπίπτει σε χαμηλότερο ρυθμό για να επιτευχθεί ασφαλής μετάδοση
 - ▣ Έχουν ορισθεί στάνταρ ρυθμοί και πρωτόκολλα για τη συνεννόηση
- Ποια σηματοθορυβική σχέση απαιτείται;

$$56 = 3.11 \log_2 (1 + SNR) \Rightarrow SNR \approx 54,4dB$$

Είδη Διαμορφώσεων

37



A=Amplitude, F=Frequency, P=Phase, M= Modulation
K=Keying

D=Duration, P=Pulse, Position

D=Delta

Τηλεπικοινωνίες
 $x(t) = A \cos(2\pi f t + \varphi)$

$$x(t) = \sum A_k p(t - t_k)$$