



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΠΑΤΡΩΝ  
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά  
μαθήματα ΠΠ

# Συστήματα Επικοινωνιών

Ενότητα 9: Παλμοκωδική Διαμόρφωση (PCM)

Μιχαήλ Λογοθέτης

Πολυτεχνική Σχολή

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών  
και Τεχνολογίας Υπολογιστών

# Σκοποί ενότητας

- Περιγραφή της μεθόδου παλμοκωδικής διαμόρφωσης
- Παρουσίαση της μεθόδου διαφορικής παλμοκωδικής διαμόρφωσης και σύγκριση με την παλμοκωδική διαμόρφωση
- Παρουσίαση της διαμόρφωσης δέλτα
- Περιγραφή των διαδικασιών κωδικοποίησης και αντιστοίχισης bits σε κυματομορφές



# Περιεχόμενα ενότητας

- ❑ ΕΙΣΑΓΩΓΗ
- ❑ ΔΙΑΦΟΡΙΚΗ ΠΑΛΜΟΚΩΔΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ
- ❑ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΔΕΛΤΑ
- ❑ ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ
- ❑ ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΑ BITS ΣΕ ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΕΣ



# Περιεχόμενα ενότητας

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΔΙΑΦΟΡΙΚΗ ΠΑΛΜΟΚΩΔΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ

ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΔΕΛΤΑ

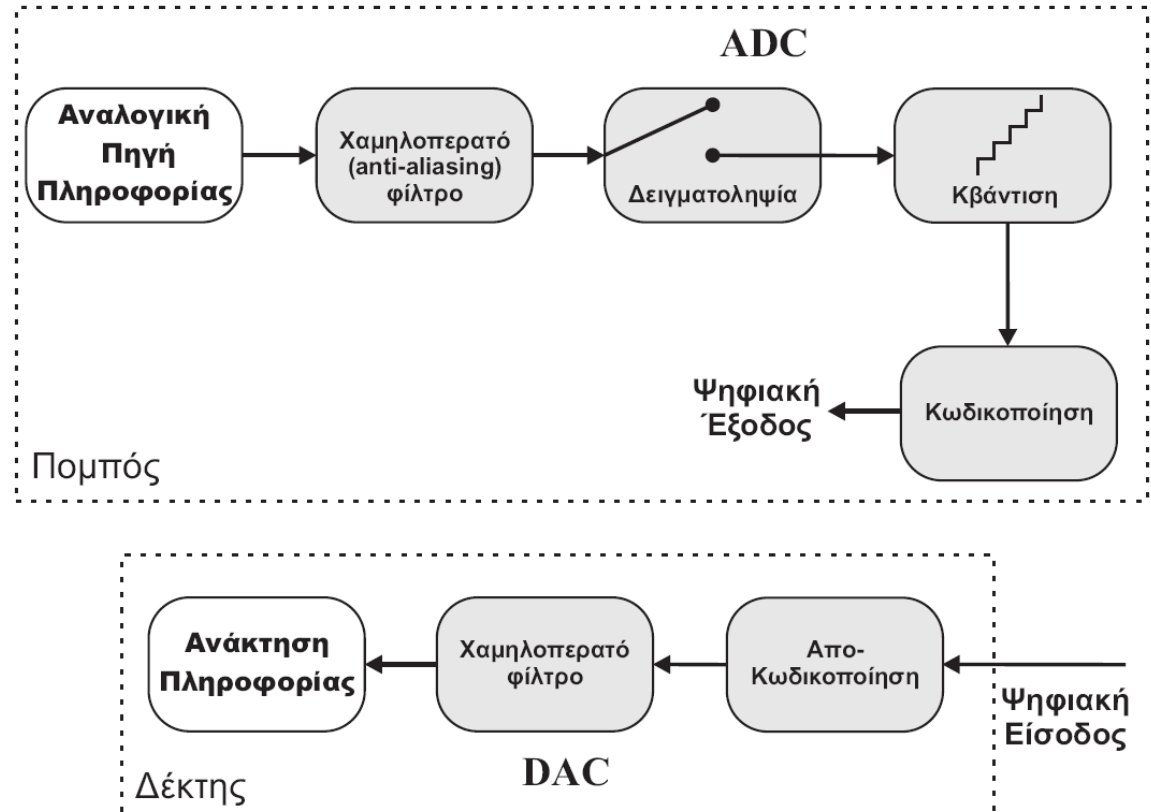
ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ

ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΑ BITS ΣΕ ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΕΣ



# Παλμοκωδική Διαμόρφωση (Pulse Code Modulation-PCM)

- Ψηφιακή τηλεφωνία
- Μουσικά πληκτρολόγια
- Ήχος στους υπολογιστές
- Ψηφιακό video
- Compact Disc
- Blu-ray



# Περιεχόμενα ενότητας

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΔΙΑΦΟΡΙΚΗ ΠΑΛΜΟΚΩΔΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ

ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΔΕΛΤΑ

ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ

ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΑ BITS ΣΕ ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΕΣ



# Διαφορική Παλμοκωδική Διαμόρφωση (Differential Pulse Code Modulation-DPCM)

- Παραλλαγή του PCM
- Περιλαμβάνει δειγματοληψία, κβάντιση και κωδικοποίηση
- Η βασική διαφορά είναι ότι δεν κβαντίζεται η τιμή του δείγματος

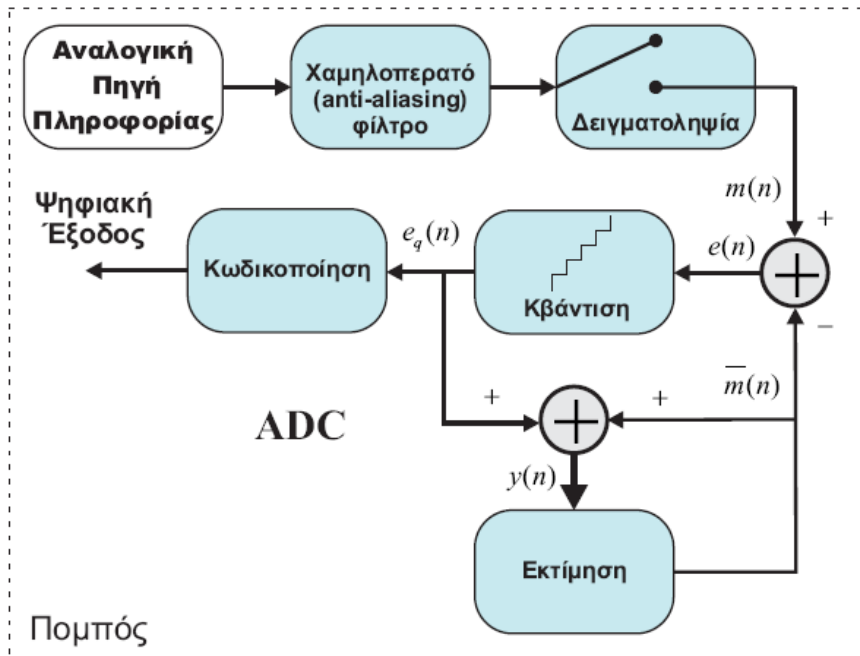
αλλά η διαφορά αυτής με μια εκτιμώμενη τιμή

- Τα περισσότερα σήματα που συναντώνται στα τηλεπικοινωνιακά

συστήματα παρουσιάζουν μεγάλη συσχέτιση μεταξύ των δειγμάτων



# Διαφορική Παλμοκωδική Διαμόρφωση (Differential Pulse Code Modulation-DPCM)

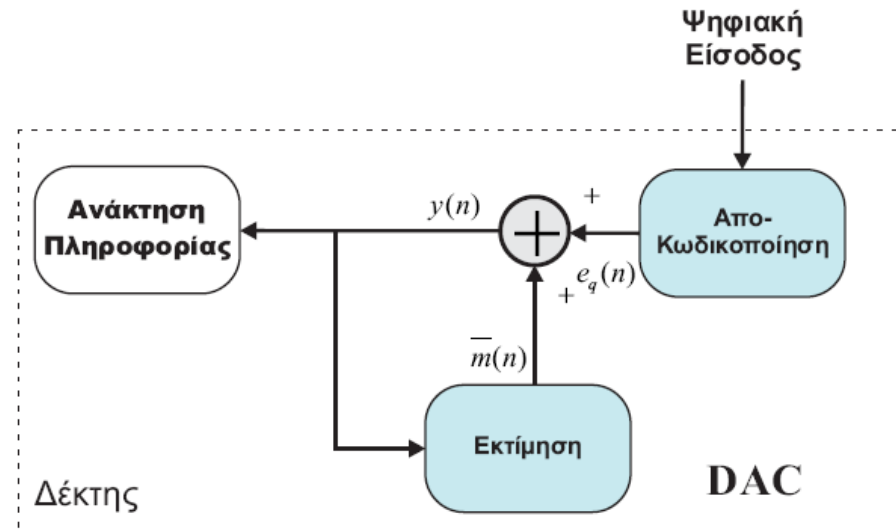


$$m(n) = e(n) + \hat{m}(n)$$

$$e(n) = \hat{m}(n) + e_q(n) = \hat{m}(n) + e(n) + q(n) = m(n) + q(n)$$

$$\hat{m}(n) \simeq m(n)$$

$$\hat{n}(n) = \sum_{i=1}^N a_i m(n - i)$$





# DPCM Πλεονεκτήματα σε σχέση με το PCM

1. Ο αριθμός των επιπέδων του κβαντιστή είναι μικρότερος. Για παράδειγμα, ένα PCM 8 επιπέδων μετατρέπεται σε DPCM 4 επιπέδων, οπότε αντί για 3 bits απαιτούνται 2 bits για κωδικοποίηση ενός δείγματος πληροφορίας. Αυτό έχει σαν συνέπεια τη μετάδοση της ίδιας πληροφορίας με εξοικονόμηση εύρους ζώνης.
2. Ο σχεδιασμός του συστήματος απλοποιείται, αφού δεν απαιτείται στο δέκτη φίλτρο μετατροπής του ψηφιακού σήματος σε αναλογικό, όπως συμβαίνει στη PCM.
3. Επειδή στο DPCM λαμβάνεται υπόψη και η φυσική (πέρα από τη στατιστική) σχέση διαδοχικών δειγμάτων, η ανάκτηση του αναλογικού σήματος είναι πιο αξιόπιστη σε σχέση με τη PCM.



# DPCM Μειονεκτήματα σε σχέση με το PCM

Το μειονέκτημα της DPCM είναι η μεγαλύτερη ευαισθησία του στο θόρυβο, από την αντίστοιχη PCM. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η ανάκτηση ενός δείγματος στο δέκτη εξαρτάται από τα προηγούμενα δείγματα, με αποτέλεσμα τη διάδοση λαθών που έχουν συμβεί προηγουμένως και τα επόμενα δείγματα.

Το DPCM χρησιμοποιείται σε πρότυπα όπως το *Joint Photographic Experts Group (JPEG)* για την ψηφιοποίηση εικόνας και σαν Adaptive DPCM για την συμπίεση ήχου.



# Περιεχόμενα ενότητας

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΔΙΑΦΟΡΙΚΗ ΠΑΛΜΟΚΩΔΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ

ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΔΕΛΤΑ

ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ

ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΑ BITS ΣΕ ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΕΣ

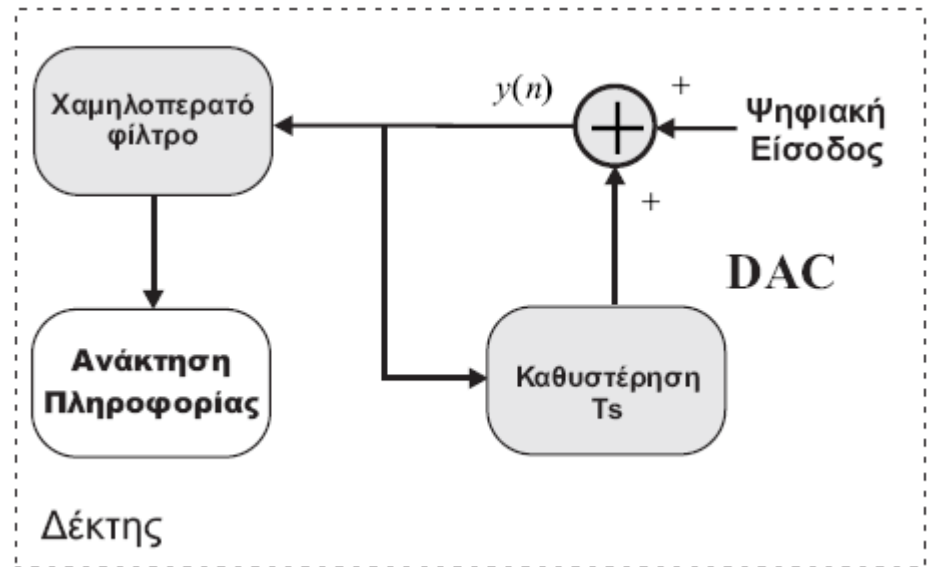
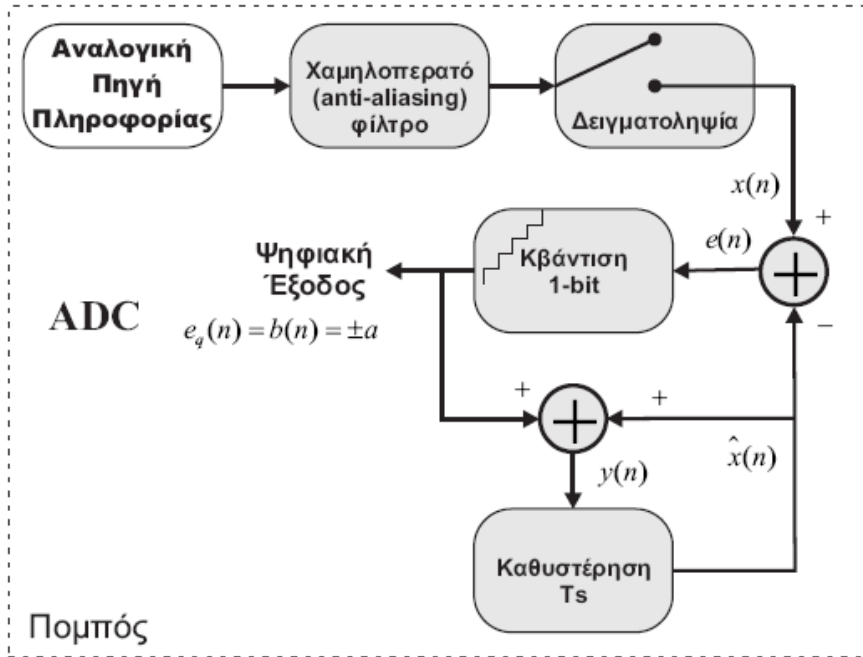


# Διαμόρφωση Δέλτα (Delta Modulation) (1/2)

Η διαμόρφωση Δέλτα (*Delta Modulation – DM*) μπορεί να θεωρηθεί σαν ειδική περίπτωση της DPCM, η οποία χρησιμοποιεί τον περισσότερο απλό κβαντιστή, τον επονομαζόμενο κβαντιστή δύο επιπέδων ή ενός *bit*.

Το αντίτιμο για τη χρήση του κβαντιστή χαμηλής πολυπλοκότητας είναι η απαίτηση για δειγματοληψία σε μεγάλους ρυθμούς, συνήθως μεγαλύτερους από τη διπλάσια συχνότητα Nyquist, με στόχο την αύξηση της συσχέτισης των γειτονικών δειγμάτων. Με τον τρόπο αυτό υπάρχει πολύ μικρή αλλαγή μεταξύ των δειγμάτων αυτών και μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά ένα DPCM σύστημα κβαντιστή δύο επιπέδων.

# Διαμόρφωση Δέλτα (Delta Modulation) (2/2)



# Περιεχόμενα ενότητας

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΔΙΑΦΟΡΙΚΗ ΠΑΛΜΟΚΩΔΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ

ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΔΕΛΤΑ

ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ

ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΑ BITS ΣΕ ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΕΣ



# Κωδικοποίηση (Encoding) (1/3)

Κωδικοποίηση (Encoding) είναι η μετατροπή των κβαντισμένων δειγμάτων σε κατάλληλη μορφή για τη μετάδοση από τον πομπό. Η κωδικοποίηση είναι μία διαδικασία που αντιστοιχεί ένα-προς-ένα τα κβαντισμένα δείγματα σε σύμβολα-κωδικολέξεις (codewords) ορισμένου μεγέθους.

Η κωδικοποίηση των δειγμάτων υλοποιείται στην πράξη με δυαδικούς (οι κωδικές λέξεις περιλαμβάνουν δύο διακριτές τιμές 0 και 1) ή τετραδικούς (0, 1, 2, 3) κώδικες. Όμως στη μεγάλη πλειοψηφία των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων χρησιμοποιούνται οι πρώτοι.

Αν χρησιμοποιηθούν  $R$  bits ανά δείγμα, τότε ο μέγιστος αριθμός των δυνατών κωδικολέξεων είναι  $2^R$ , οπότε ο απαιτούμενος αριθμός επιπέδων κβάντισης πρέπει να είναι μικρότερος ή ίσος του  $2^R$ .



# Κωδικοποίηση (Encoding) (2/3)

$$N = b_R(2^{R-1}) + b_{R-1}(2^{R-2}) + \dots + b_2(2^1) + b_1(2^0)$$

## Φυσικός δυαδικός κώδικας (NBC)

**Folded Binary Code-FBC:** Το πρώτο από τα αριστερά bit καθορίζει το πρόσημο και τα υπόλοιπα χρησιμοποιούνται για να κωδικοποιήσουν το πλάτος. Ο κώδικας αυτός είναι ανώτερος του φυσικού, όσον αφορά την ανίχνευση σφαλμάτων, ιδιαίτερα όταν κωδικοποιείται φωνή.

Επίπεδο	Natural Binary Code				Folded Binary Code				Inverted Folded Binary Code				Gray Code			
	$b_4$	$b_3$	$b_2$	$b_1$									$g_4$	$g_3$	$g_2$	$g_1$
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0
14	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1
13	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1
12	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0
11	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0
10	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1
9	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1
8	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
7	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0
6	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1
5	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1
4	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0
3	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0
2	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1
1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0





# Κωδικοποίηση (Encoding) (3/3)

$$N = b_R(2^{R-1}) + b_{R-1}(2^{R-2}) + \dots + b_2(2^1) + b_1(2^0)$$

**Inverted Folded Binary Code-IFBC:** Ο κώδικας αυτός προκύπτει από τον FBC με αντιστροφή των bits πλάτους (το 1 αλλάζει σε 0 και το 0 σε 1). Έχει το πλεονέκτημα της μεγάλης συγκέντρωσης σε 1 για σήματα μικρού πλάτους, κατάσταση που εμφανίζεται σε μεγάλη πιθανότητα σε περίπτωση κωδικοποίησης φωνής.

**Gray Code-GC:** Με τον φυσικό κώδικα μπορούν να αλλάζουν περισσότερα από ένα bits σε κωδικολέξεις ακόμα και αν αυτές αντιστοιχούν σε γειτονικά επίπεδα. Για παράδειγμα κατά τη μετάβαση από το επίπεδο 7 στο 8, αλλάζουν όλα τα bits.

## Φυσικός δυαδικός κώδικας (NBC)

Επίπεδο	Natural Binary Code				Folded Binary Code				Inverted Folded Binary Code				Gray Code			
	$b_4$	$b_3$	$b_2$	$b_1$									$g_4$	$g_3$	$g_2$	$g_1$
15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0
14	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1
13	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	0	1	1
12	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	1	1	0	1	0
11	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0
10	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1
9	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	0	1
8	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0
7	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0
6	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1
5	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1
4	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0
3	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0
2	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1
1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1
0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0

# Περιεχόμενα ενότητας

- ΕΙΣΑΓΩΓΗ
- ΔΙΑΦΟΡΙΚΗ ΠΑΛΜΟΚΩΔΙΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ
- ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΔΕΛΤΑ
- ΚΩΔΙΚΟΠΟΙΗΣΗ
- ΑΝΤΙΣΤΟΙΧΙΑ BITS ΣΕ ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΕΣ**



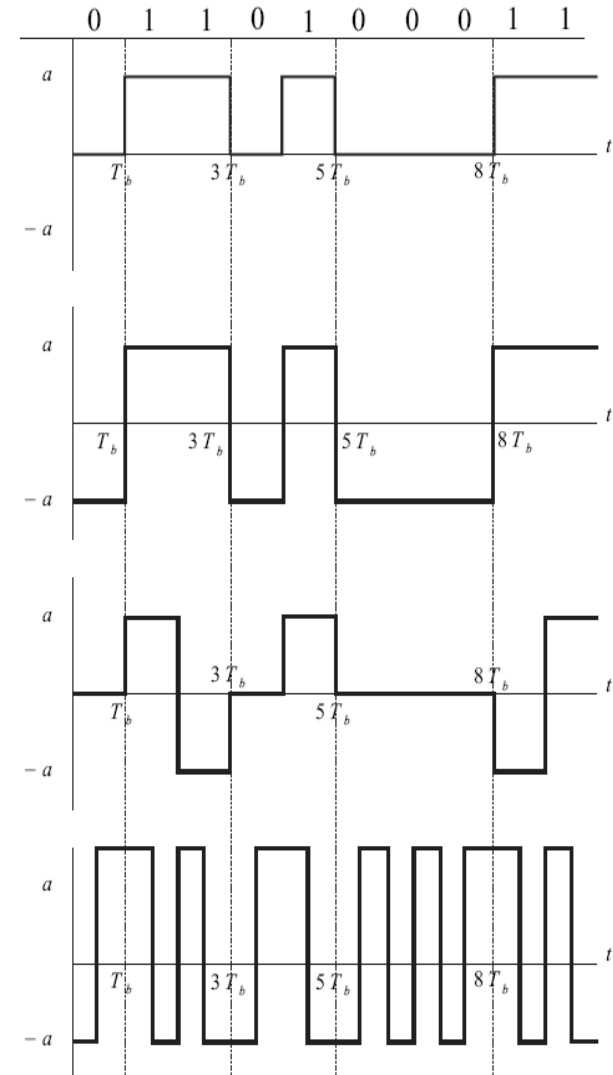
# Αντιστοιχία bits σε κυματομορφές

• **Unipolar ή On-off:** Το 1 αντιστοιχεί σε ένα παλμό, ενώ το 0 σε παύση εκπομπής. Η τεχνική αυτή δημιουργεί DC συνιστώσα (πολλές φορές ανεπιθύμητη).

• **Polar:** ένας θετικός παλμός για το 1 και ένας αρνητικός για το 0. Δεν υπάρχει DC συνιστώσα με την προϋπόθεση των ισοπίθανων 0 και 1 στην είσοδο.

• **Bipolar ή Alternate Mark Inversion-AMI:** χρησιμοποιούνται εναλλάξ θετικοί και αρνητικοί παλμοί για το 1 (με την αλλαγή να πραγματοποιείται σε κάθε εμφάνιση του 1), ενώ δεν υπάρχει παλμός για το 0. Με τον τρόπο αυτό υπάρχουν τρία επίπεδα +1, -1, 0.

• **Manchester:** θετικός παλμός για το 1 στο μισό της περιόδου του συμβόλου και με ένα αρνητικό παλμό για το υπόλοιπο μισό. Για το 0 οι δύο παλμοί μεταδίδονται σε αντίστροφη σειρά.



Τέλος Ενότητας

# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Πατρών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την 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.



Σημειώματα

# Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση **1.0**.



# Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών, **Μιχαήλ Λογοθέτης 2015**. «**Συστήματα Επικοινωνιών – Ενότητα 9: Παλμοκωδική Διαμόρφωση (PCM)**». Έκδοση: **1.0**. Πάτρα **2015**. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <https://eclass.upatras.gr/courses/EE789/> .





# 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:

Τα σχήματα στις διαφάνειες 5, 8, 13, 16-17, και 19 προέρχονται από το σύγγραμμα του μαθήματος “Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα”, Εκδόσεις Τζιόλα, μετά από άδεια του συγγραφέα Καθ. Γ. Καραγιαννίδη.

