



Εισαγωγή στις Τηλεπικοινωνίες

Bits σε κυματομορφές
Ηλεκτρική αναπαράσταση δυαδικών δεδομένων
Φασματικές Ιδιότητες
Κωδικοποίηση Γραμμής

Δρ. Αθανάσιος Δ. Παναγόπουλος
Καθηγητής ΕΜΠ



Bits σε Κυματομορφές

- Η έξοδος ενός μετατροπέα A/D είναι μια σειρά από δυαδικά ψηφία, τα οποία είναι μια γενική έννοια, χωρίς φυσικό ορισμό.
- Χρησιμοποιούμε παλμούς προκειμένου να αναπαραστήσουμε το bit πληροφορίας.
- Για εκπομπή σε ένα φυσικό κανάλι, τα bits πρέπει να μετασχηματιστούν σε μια φυσική κυματομορφή (physical waveform).
- Ένας κωδικοποιητής γραμμής (line coder) ή διαμορφωτής βασικής ζώνης (baseband modulator) μετασχηματίζει μία σειρά από bits σε μία σειρά από παλμούς με κατάλληλα χαρακτηριστικά, για τη μεταφορά των δεδομένων μέσα στο κανάλι.



Μετάδοση Βασικής Ζώνης

Τα συστήματα βασικής ζώνης καθορίζονται με βάση δύο επιλογές:

- Τον τρόπο αντιστοίχισης των ψηφιακών δεδομένων σε κάποιο χαρακτηριστικό της κυματομορφής εκπομπής, και
- Την επιλογή του σχήματος των κυματομορφών εκπομπής.

**Η κωδικοποίηση γραμμής ταυτίζεται με τη
δυναμική ψηφιακή διαμόρφωση βασικής ζώνης.**



Κατηγορίες Κωδικοποιητών Γραμμής

- Πολική (Polar): Στέλνει θετικό παλμό ή αρνητικό παλμό.
- Μονοπολική (Unipolar) ή ON-OFF: Στέλνει παλμό ή 0.
- Διπολική (Bipolar): Στέλνει τρεις στάθμες πλάτους, μηδενική για το 0 και εναλλακτικά μία θετική και μία αρνητική για το 1.
- Πολυεπίπεδη δυαδική (Multilevel binary): κωδικοποιεί δυαδικά δεδομένα χρησιμοποιώντας τρία πλάτη εκπομπής αντί για δύο.



Κατηγορίες Κωδικοποιητών Γραμμής

Διπολικές

- Χωρίς επιστροφή στο μηδέν (Non Return-to-Zero/NRZ): Ο παλμός διαρκεί ολόκληρη την περίοδο του bit.
- Με επιστροφή στο μηδέν (Return-to-Zero/RZ): Ο παλμός διαρκεί τη μισή περίοδο του bit.
- Διαχωρισμένης Φάσης (Split-Phase), η δίδυμη δυαδική η οποία στέλνει ένα δι-φασικό (2-φ) παλμό: για bit 1 μετάβαση high \rightarrow low και για bit 0 μετάβαση low \rightarrow high.

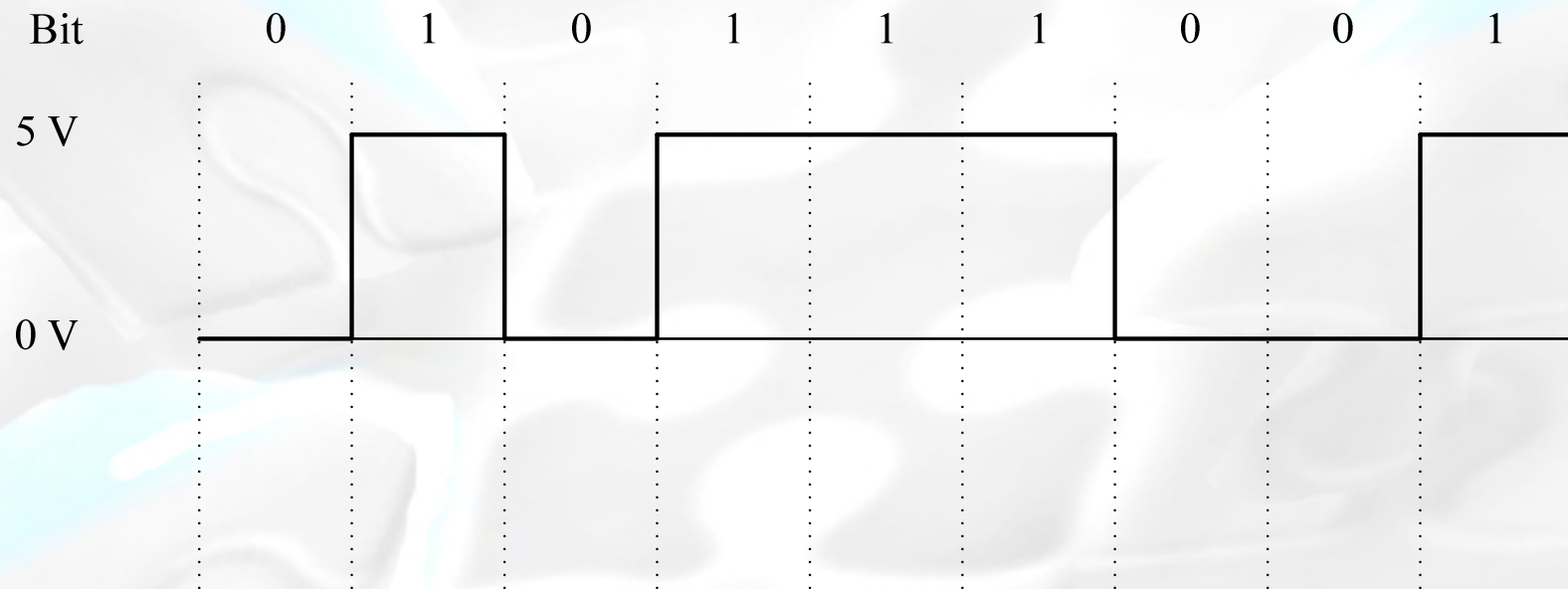
NRZ= αυτές που χρησιμοποιούν όλη τη διάρκεια του bit.

RZ=αυτές που διαρκούν ένα ποσοστό της διάρκειας του bit



Ηλεκτρική Αναπαράσταση Δυαδικών Δεδομένων

ON- OFF/NRZ



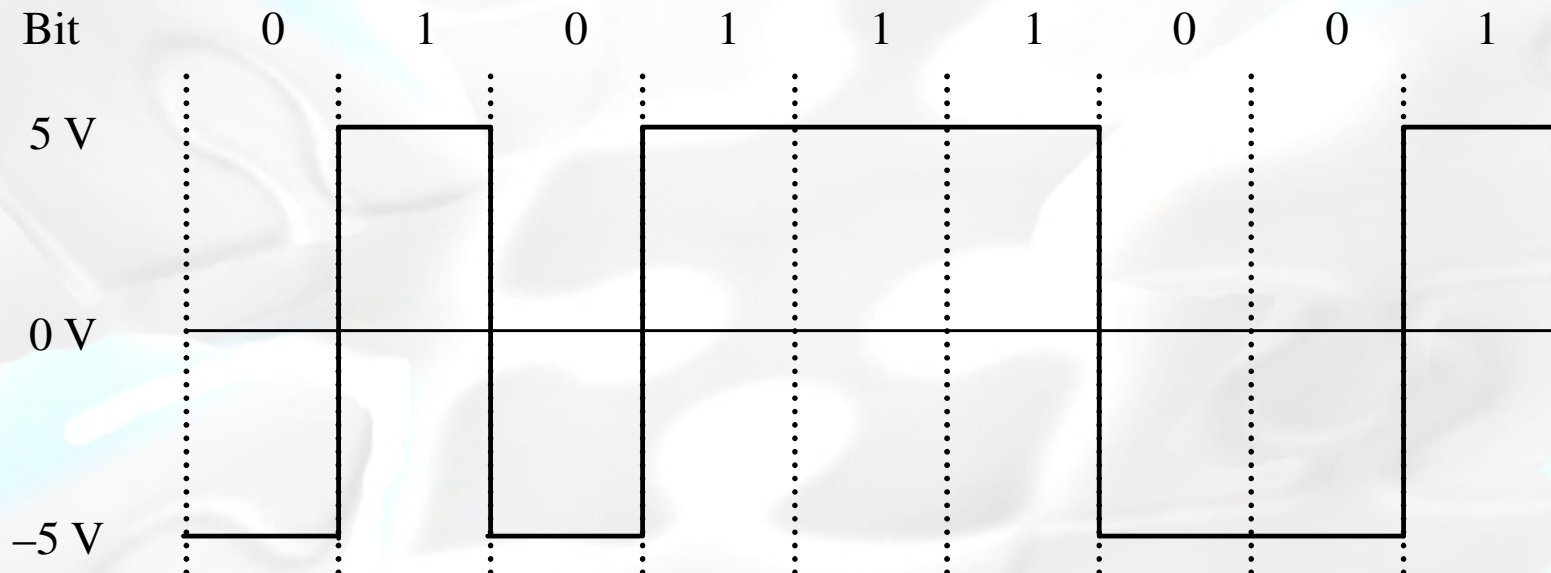
Το σύμβολο 1 παριστάνεται με την μετάδοση ενός σταθερού παλμού κατά τη διάρκεια του συμβόλου.

Το σύμβολο 0 παριστάνεται από τη διακοπή του παλμού.



Ηλεκτρική Αναπαράσταση Δυαδικών Δεδομένων

Polar NRZ



Τα σύμβολα 1 και 0 παριστάνονται από παλμούς ίσου θετικού και αρνητικού πλάτους. Αυτός ο τύπος σήματος είναι γνωστός ως πολικό σήμα (polar signal), ή σήμα μη επιστροφής στο μηδέν (Non Return to Zero - NRZ).

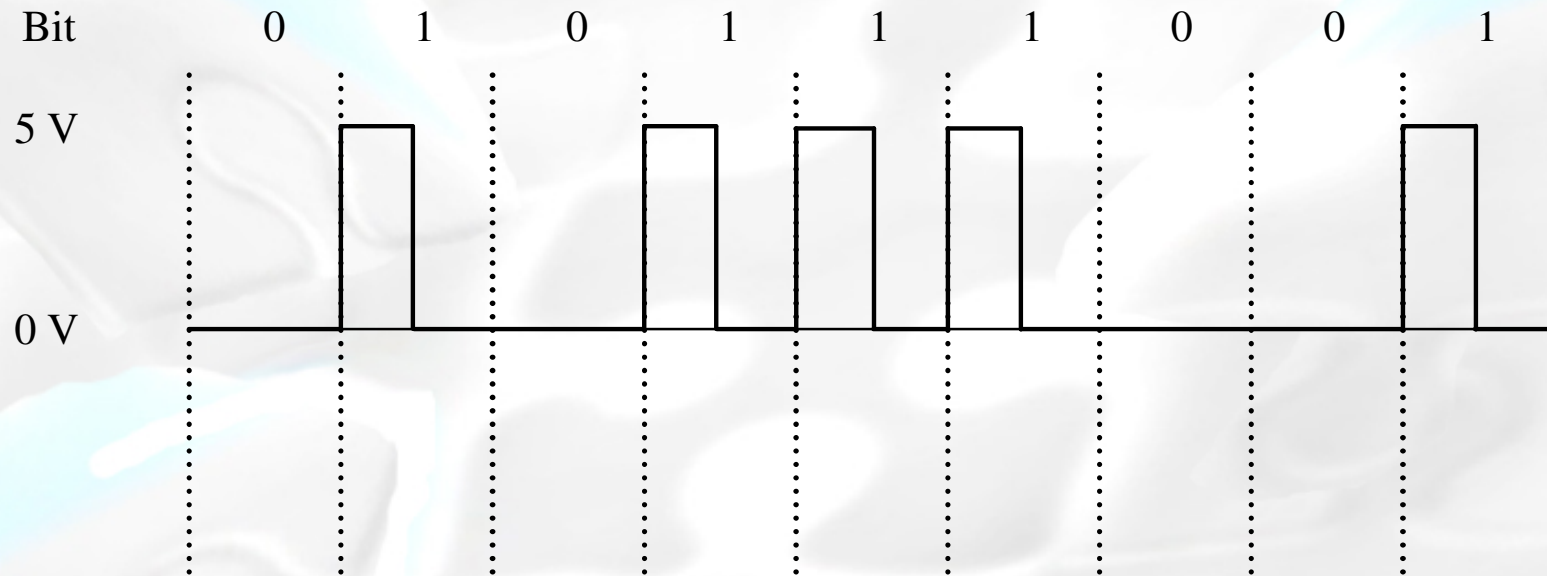
Το πλεονέκτημα αυτού του τύπου του σήματος σε σχέση με την On-Off (NRZ) είναι ότι έχει μηδενική DC συνιστώσα.

Η μηδενική DC συνιστώσα είναι επιθυμητή σε κάποιες εφαρμογές.



Ηλεκτρική Αναπαράσταση Δυαδικών Δεδομένων

RZ (ON/OFF)



Για το σύμβολο 1 χρησιμοποιείται ένας ορθογώνιος παλμός διάρκειας μισού συμβόλου. Ενώ το σύμβολο 0 παριστάνεται με απουσία παλμού. Αυτός ο τύπος σήματος συμβολίζεται RZ-Return to Zero σήμα.

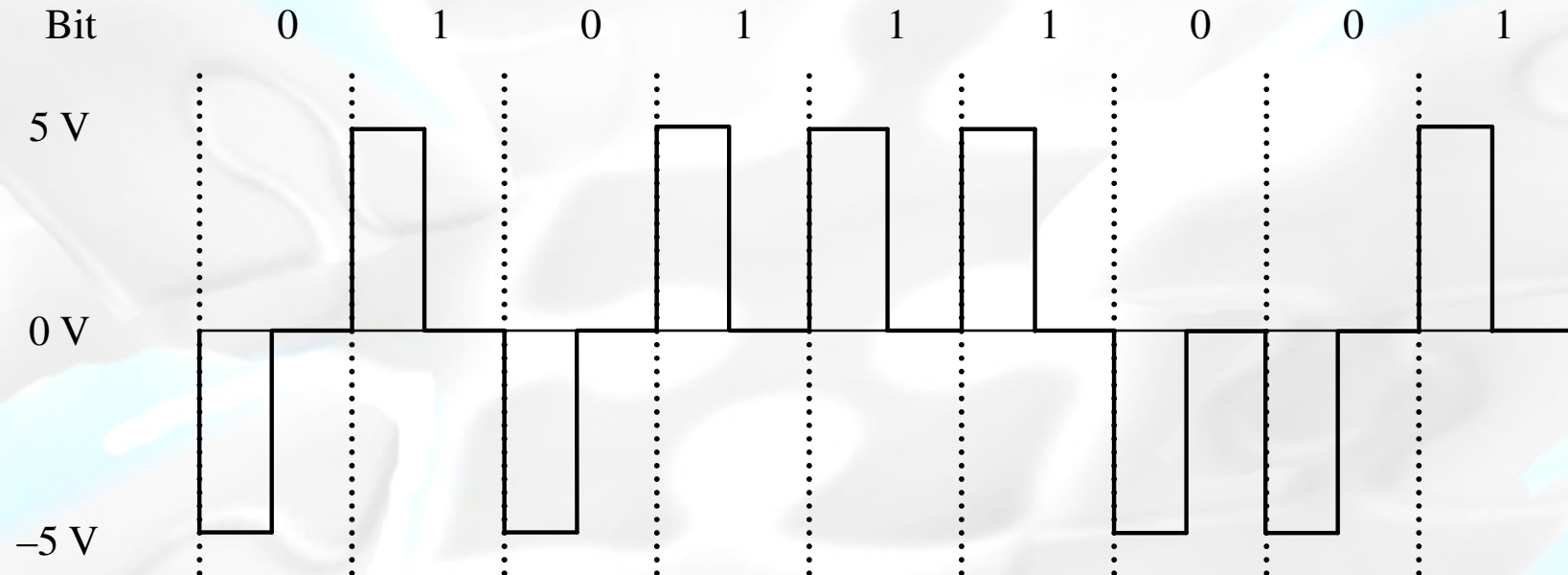
Το πλεονέκτημα αυτού του τύπου σε σχέση με τα προηγούμενα είναι μια μεγάλη ακολουθία από 1 επειδή οι μεταβάσεις γίνονται στο κέντρο του συμβόλου ο συγχρονισμός των ψηφίων είναι πιο εύκολος.

Μεγάλη ακολουθία από 0 είναι δύσκολο να συγχρονιστούν.



Ηλεκτρική Αναπαράσταση Δυαδικών Δεδομένων

RZ (POLAR)



Για το σύμβολο 1 χρησιμοποιείται ένας θετικός ορθογώνιος παλμός διάρκειας μισού συμβόλου.

Ενώ το σύμβολο 0 χρησιμοποιείται ένας αρνητικός ορθογώνιος παλμός διάρκειας μισού συμβόλου.

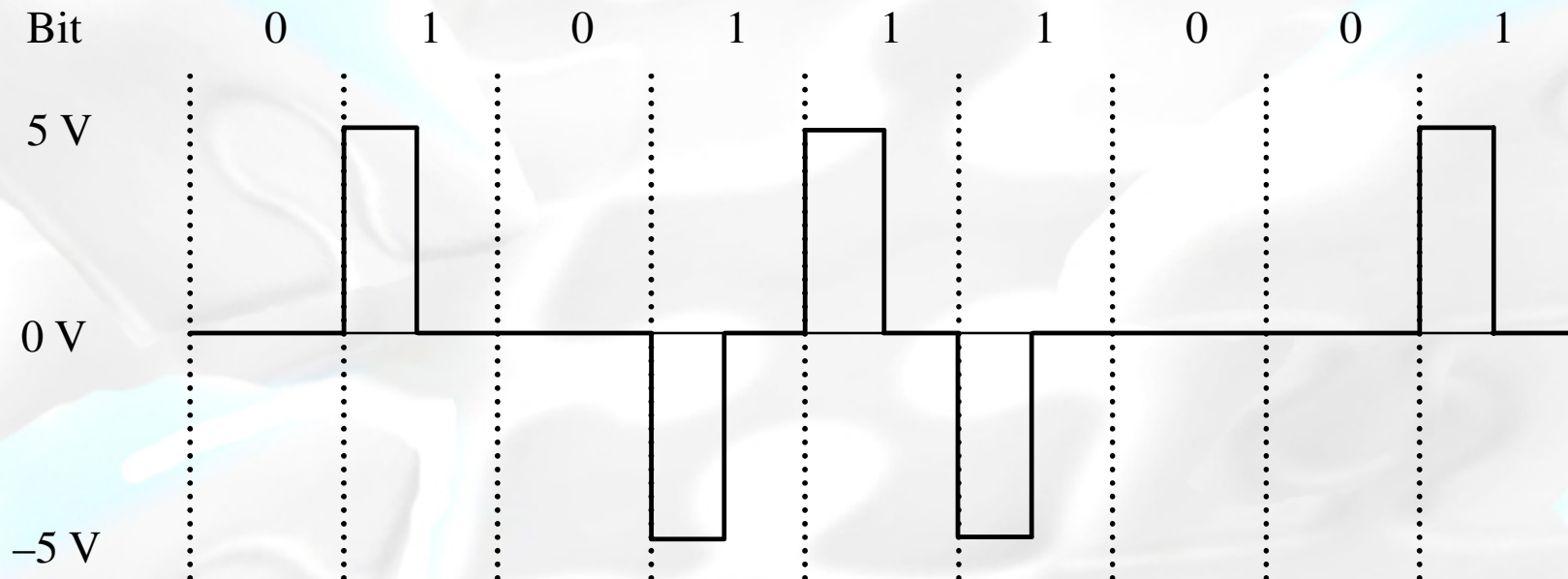
Αυτός ο τύπος σήματος συμβολίζεται RZ Polar Signal

Πλεονεκτήματα: Εύκολος συγχρονισμός και έχει και μηδενική DC



Ηλεκτρική Αναπαράσταση Δυαδικών Δεδομένων

BIPOLAR RZ



Θετικοί και αρνητικοί παλμοί ίσου πλάτους χρησιμοποιούνται **σε εναλλαγή** για το σύμβολο 1 και απουσία παλμού για το σύμβολο 0.

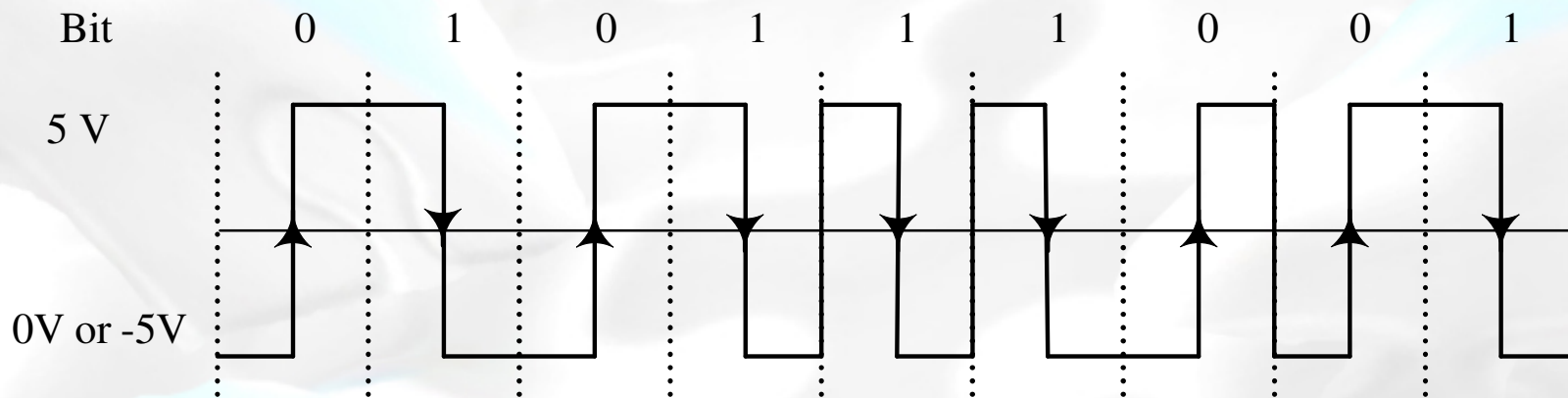
Αυτός ο τύπος σήματος ονομάζεται διπολικό σήμα επιστροφής στο 0 (Bipolar RZ).

Μια χρήσιμη ιδιότητα αυτής της μεθόδου είναι ότι το φάσμα ισχύος του μεταδιδόμενου σήματος δεν έχει συνιστώσα DC και έχει σχετικά αμελητέες συνιστώσες χαμηλής συχνότητας στην περίπτωση όπου τα σύμβολα 1 και 0 εμφανίζονται με ίση πιθανότητα.



Ηλεκτρική Αναπαράσταση Δυαδικών Δεδομένων

BI-PHASE (MANCHESTER)



Το σύμβολο 1 παριστάνεται με ένα θετικό παλμό, ο οποίος ακολουθείται από έναν αρνητικό παλμό. Οι δύο παλμοί έχουν ίσο πλάτος και εύρος μισού συμβόλου.

Το σύμβολο 0 παριστάνεται με αντιστραμμένη πολικότητα.

Αυτός ο τύπος ονομάζεται Κώδικας Manchester, Bi-Phase, Χωρισμού φάσης (Split-Phase)

Πλεονεκτήματα: δεν υπάρχει συνιστώσα DC και έχει σχετικά αμελητέες συνιστώσες χαμηλής συχνότητας ανεξάρτητα από τη στατιστική του σήματος.



Κωδικοποιητής Γραμμής

- Η απεικόνιση των bits (που δημιουργεί μια πηγή πληροφορίας) σε παλμούς προς μετάδοση αποτελείται από τα εξής δύο στάδια:
 1. Απεικόνιση του bit b_n σε ένα πλάτος σήματος a_n σύμφωνα με κάποια μέθοδο κωδικοποίησης πλάτους,
 2. Απεικόνιση κάθε πλάτους με συγκεκριμένη κυματομορφή παλμού $p(t)$ για χρονική διάρκεια ενός συμβόλου, T_s .
- Το σήμα εξόδου από ένα κωδικοποιητή γραμμής δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$x(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n p(t - nT_s)$$

**T_s : η διάρκεια ενός συμβόλου ($T_s = T_b$ για δυαδικά, $T_s = kT_b$ για μιαδικά συστήματα),
 $p(t)$: η συνάρτηση του παλμού, και
 a_n : μεταβλητές που αντιπροσωπεύουν τα πλάτη εκπομπής.**



Κωδικοποιητής Γραμμής



- Η ακολουθία των bits $\{b_n\}$ αντιστοιχίζεται σε μία ακολουθία πλατών $\{a_n\}$, η οποία διαμορφώνει κατά πλάτος την παλμοσειρά $p(t-nT_s)$.
- Οι διαφορετικοί τρόποι κωδικοποίησης γραμμής έχουν επίδραση στο φάσμα του μεταδιδόμενου σήματος.

Γενικά, το φάσμα του σήματος που μεταδίδουμε σε ένα σύστημα διακριτού PAM εξαρτάται από:

- 1) την κυματομορφή παλμών σηματοδοσίας $p(t)$ και
- 2) τις στατιστικές ιδιότητες των ακολουθιών ψηφίων που μεταδίδουμε, δηλαδή τον τρόπο απεικόνισης μεταξύ των $\{b_n\}$ και $\{a_n\}$.



Φάσμα Κωδικοποιητών Γραμμής

Η φασματική πυκνότητα ισχύος ενός κωδικοποιητή γραμμής δίνεται από τη γενική σχέση:

$$S_x(f) = \frac{|P_p(f)|^2}{T_s} \left[\sum_{k=-\infty}^{\infty} \left[R(k) e^{-jk \cdot 2\pi \cdot f \cdot kT_s} \right] \right]$$

Όπου

- **$P_p(f)$** είναι ο μετασχηματισμός Fourier του **$p(t)$** ,
- **$R(k)$** είναι η συνάρτηση αυτοσυσχέτισης της τυχαίας διαδικασίας που δίνει τα πλάτη a_n .

Ο τελεστής $E[\cdot]$ σημαίνει στατιστική μέση τιμή.



Φασματική Πυκνότητα Ισχύος

Η συνάρτηση αυτοσυσχέτισης $R(k)$ μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$\begin{aligned} R(k) &= E\left[\alpha_n \alpha_{n+k}^*\right] \quad k = 0, 1, 2, \dots \\ &= \sum_{i=1}^M \left(\alpha_n \alpha_{n+k}^*\right)_i \cdot p_i \end{aligned}$$

- p_i είναι η πιθανότητα να έχουμε το ζεύγος $(\alpha_n \alpha_{n+k})_i$
- M είναι όλες οι δυνατές τιμές $(\alpha_n \alpha_{n+k})$.



Φασματική Πυκνότητα Ισχύος

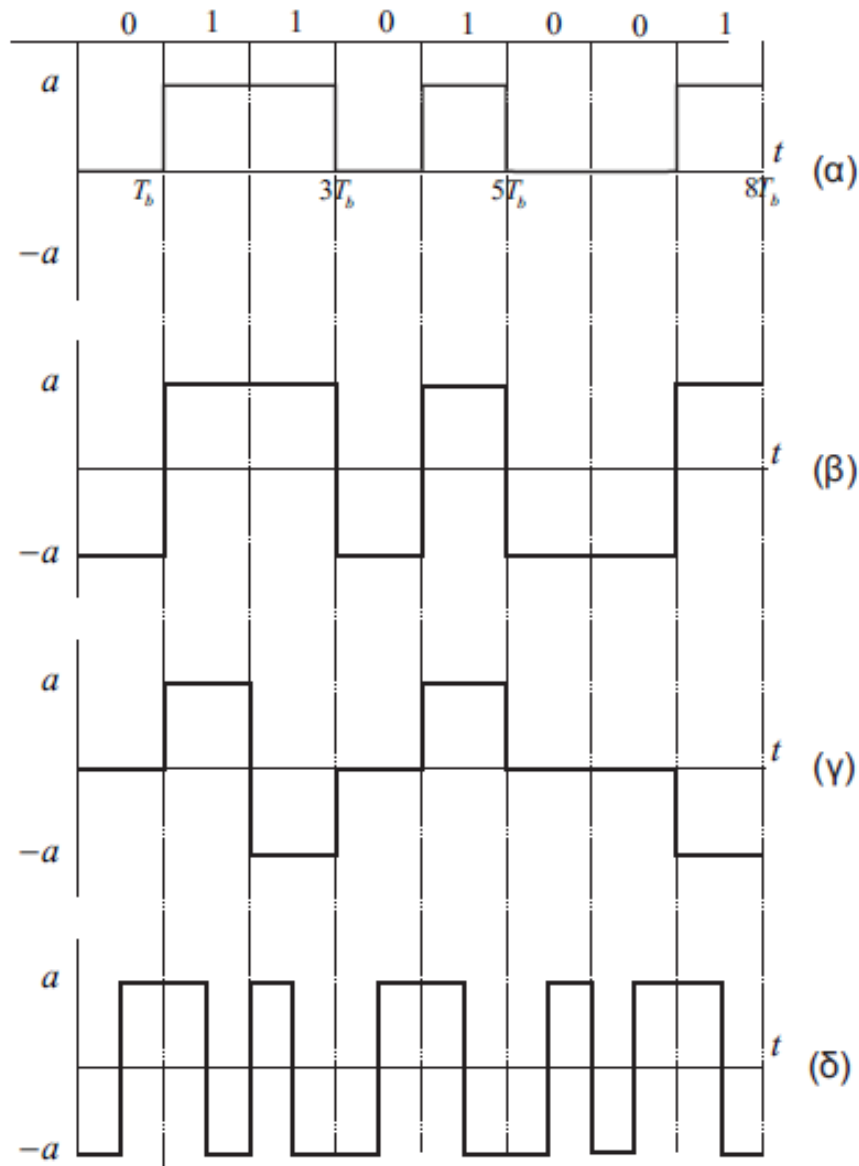
Αν $p(t) \rightarrow$ τετραγωνικός παλμός τότε:

$$|P_p(f)|^2 = T_s^2 \left(\frac{\sin(\pi f T_s)}{\pi f T_s} \right)^2$$

- Η συνάρτηση αυτοσυσχέτισης στον υπολογισμό του φάσματος εκφράζει επίδραση των στατιστικών χαρακτηριστικών της **ακολουθίας** $\{a_n\}$ στο φάσμα εκπομπής, η οποία προκύπτει με βάση την απεικόνιση $b_n \rightarrow a_n$.
- Το φάσμα εξαρτάται από το είδος κωδικοποίησης που επιλέγουμε.
- Θα δούμε PSD για τις περιπτώσεις της πολικής, μονοπολικής και διπολικής κωδικοποίησης με σχήμα παλμού NRZ.



Κυματομορφές Δυαδικών Δεδομένων



Κυματομορφές Δυαδικών Δεδομένων NRZ

ON-OFF

POLAR

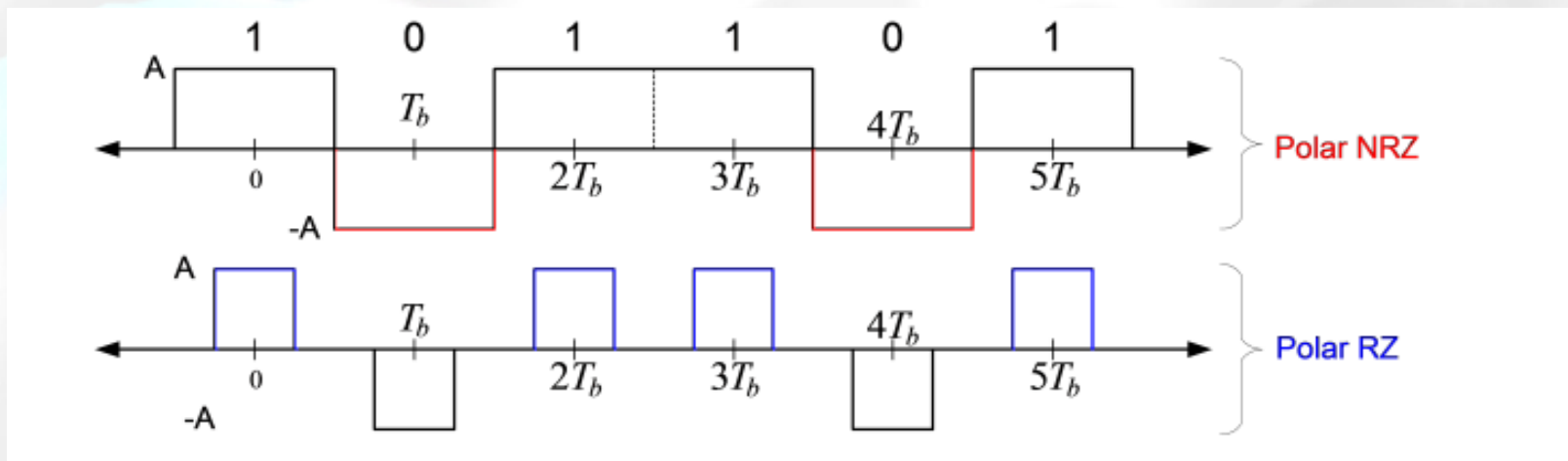
BIPOlar

MANCHESTER

Κυματομορφές Δυαδικών Δεδομένων

Πολικό NRZ/RZ: Οι δυαδικοί κωδικοποιητές γραμμής χρησιμοποιούν την εξής αντίθετη (antipodal) απεικόνιση:

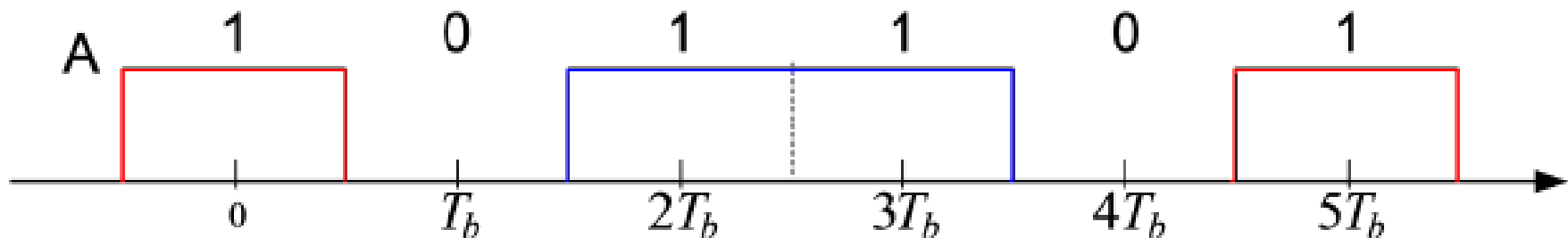
$$a_n = \begin{cases} +A, & \text{όταν } X_n = 1 \\ -A, & \text{όταν } X_n = 0 \end{cases}$$



Κυματομορφές Δυαδικών Δεδομένων

Μονοπολικό NRZ: Ορίζεται με την εξής μονοπολική απεικόνιση:

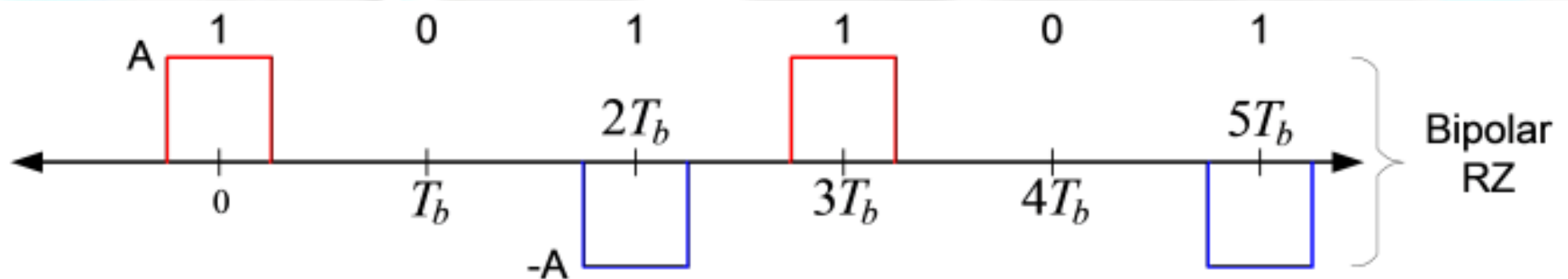
$$a_n = \begin{cases} +A, & \text{όταν } X_n = 1 \\ 0, & \text{όταν } X_n = 0 \end{cases}$$



Κυματομορφές Δυαδικών Δεδομένων

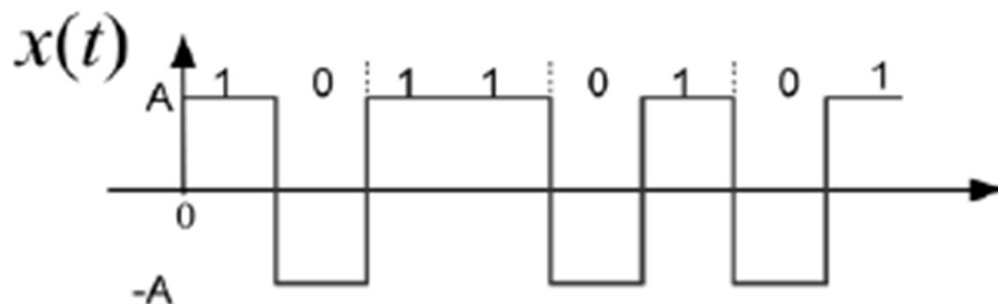
Διπολικό RZ/NRZ: Το bit 0 αντιστοιχεί σε στάθμη 0 και το bit 1 απεικονίζεται εναλλακτικά με πλάτη $+A$ και $-A$:

$$\alpha_n = \begin{cases} +A, & \text{όταν } X_n=1 \text{ και προηγούμενο πλάτος} \rightarrow -A \\ -A, & \text{όταν } X_n=1 \text{ και προηγούμενο πλάτος} \rightarrow +A \\ 0, & \text{όταν } X_n=0 \end{cases}$$



Άσκηση

Υπολογίστε τη PSD του σήματος εκπομπής $x(t)$ για κωδικοποιητή γραμμής πολικό NRZ, όπως φαίνεται στο σχήμα:



$k = 0$		$k \neq 0$	
$b_n b_n$	$a_n a_n$	$b_n b_{n+k}$	$a_n a_{n+k}$
00	$(-A)(-A)$	00	$(-A)(-A)$
11	AA	01	$(-A)A$
		10	$A(-A)$
		11	AA

Άσκηση

Η συνάρτηση αυτοσυσχέτισης για $k = 0$ υπολογίζεται ως εξής:

$$\begin{aligned} R(0) &= \sum_{i=1}^2 (a_n a_n)_i p_i \\ &= (a_n a_n)_1 p_1 + (a_n a_n)_2 p_2 \\ &= ((-A) \times (-A)) \cdot \frac{1}{2} + (A \times A) \cdot \frac{1}{2} \\ &= A^2 \end{aligned}$$

Για $k \neq 0$, έχουμε:

$$\begin{aligned} R(k): \quad G_x(f) &= \frac{|P_{tr}(f)|^2}{T_b} A^2 = A^2 T_b \left(\frac{\sin(\pi f T_b)}{\pi f T_b} \right)^2 \\ &= \left(\sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{k=-\infty}^{\infty} (a_n a_{n+k})_1 p_1 + \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{k=-\infty}^{\infty} (a_n a_{n+k})_2 p_2 + \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{k=-\infty}^{\infty} (a_n a_{n+k})_3 p_3 + \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{k=-\infty}^{\infty} (a_n a_{n+k})_4 p_4 \right) \\ &= ((-A) \times (-A)) \cdot \frac{1}{4} + ((-A) \times A) \cdot \frac{1}{4} + (A \times (-A)) \cdot \frac{1}{4} + (A \times A) \cdot \frac{1}{4} \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$R(k) = \begin{cases} A^2, & k = 0 \\ 0, & k \neq 0 \end{cases}$$

$$G_x(f) = \frac{|P_{tr}(f)|^2}{T_b} A^2 = A^2 T_b \left(\frac{\sin(\pi f T_b)}{\pi f T_b} \right)^2$$

Φασματική Πυκνότητα Ισχύος

- Unipolar – ON-OFF
NRZ

$$S_{\text{NRZ}}(f) = \frac{a^2 T_b}{4} \text{sinc}^2(f T_b) + \frac{a^2}{4} \delta(f)$$

RZ --- $T_b/2$

$$S_{\text{RZ}}(f) = \frac{a^2 T_b}{16} \text{sinc}^2\left(\frac{f T_b}{2}\right) \left[1 + \frac{1}{T_b} \sum_{m=-\infty}^{\infty} \delta\left(f - \frac{m}{T_b}\right) \right]$$



Φασματική Πυκνότητα Ισχύος

➤ Polar NRZ

$$S_{\text{NRZ}}(f) = a^2 T_b \text{sinc}^2(f T_b)$$

RZ --- $T_b/2$

$$S_{\text{RZ}}(f) = \frac{a^2 T_b}{4} \text{sinc}^2\left(\frac{f T_b}{2}\right)$$



Φασματική Πυκνότητα Ισχύος

► Bipolar NRZ

$$S_{\text{NRZ}}(f) = a^2 T_b \text{sinc}^2(f T_b) \sin^2(\pi f T_b)$$

RZ --- $T_b/2$

$$S_{\text{RZ}}(f) = \frac{a^2 T_b}{4} \text{sinc}^2\left(\frac{f T_b}{2}\right) \sin^2(\pi f T_b)$$



Φασματική Πυκνότητα Ισχύος

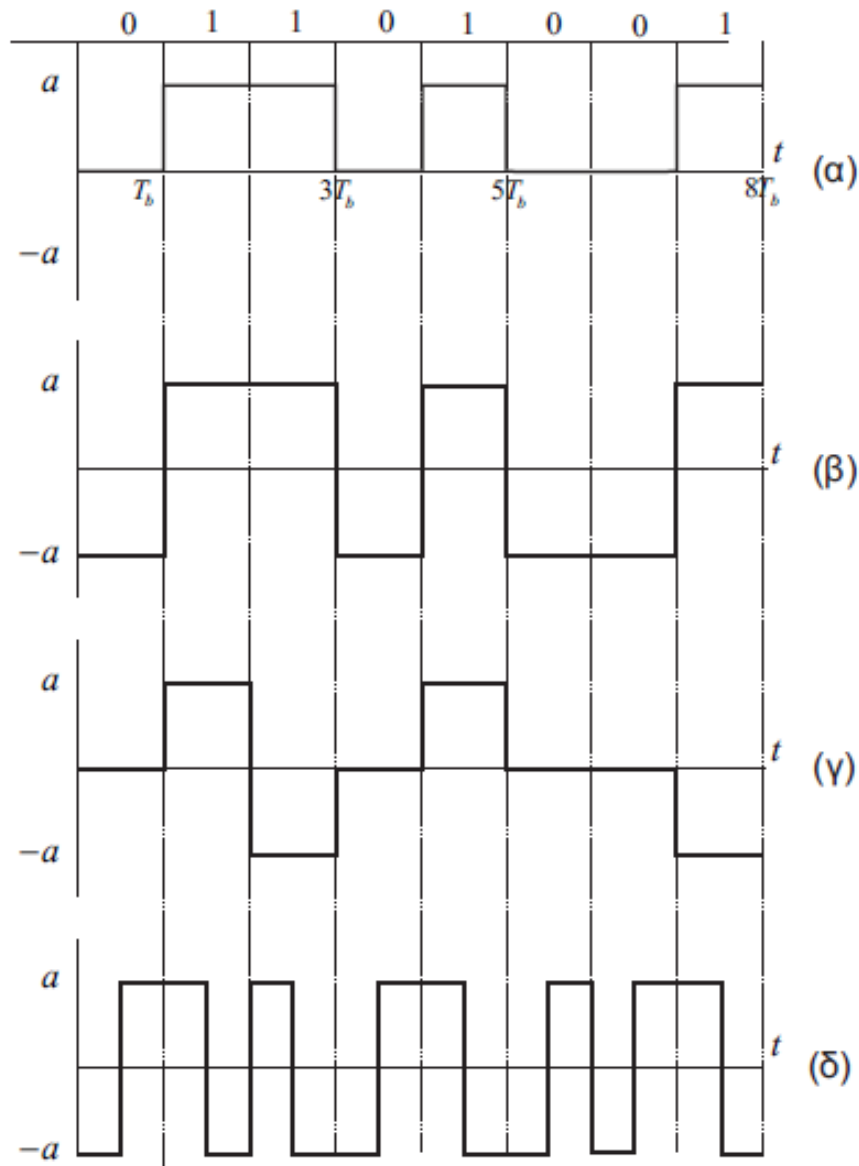
➤ Manchester

NRZ

$$S_{\text{NRZ}}(f) = a^2 T_b \text{sinc}^2\left(\frac{fT_b}{2}\right) \sin^2\left(\frac{\pi fT_b}{2}\right)$$



Κυματομορφές Δυαδικών Δεδομένων



Κυματομορφές Δυαδικών Δεδομένων NRZ

ON-OFF

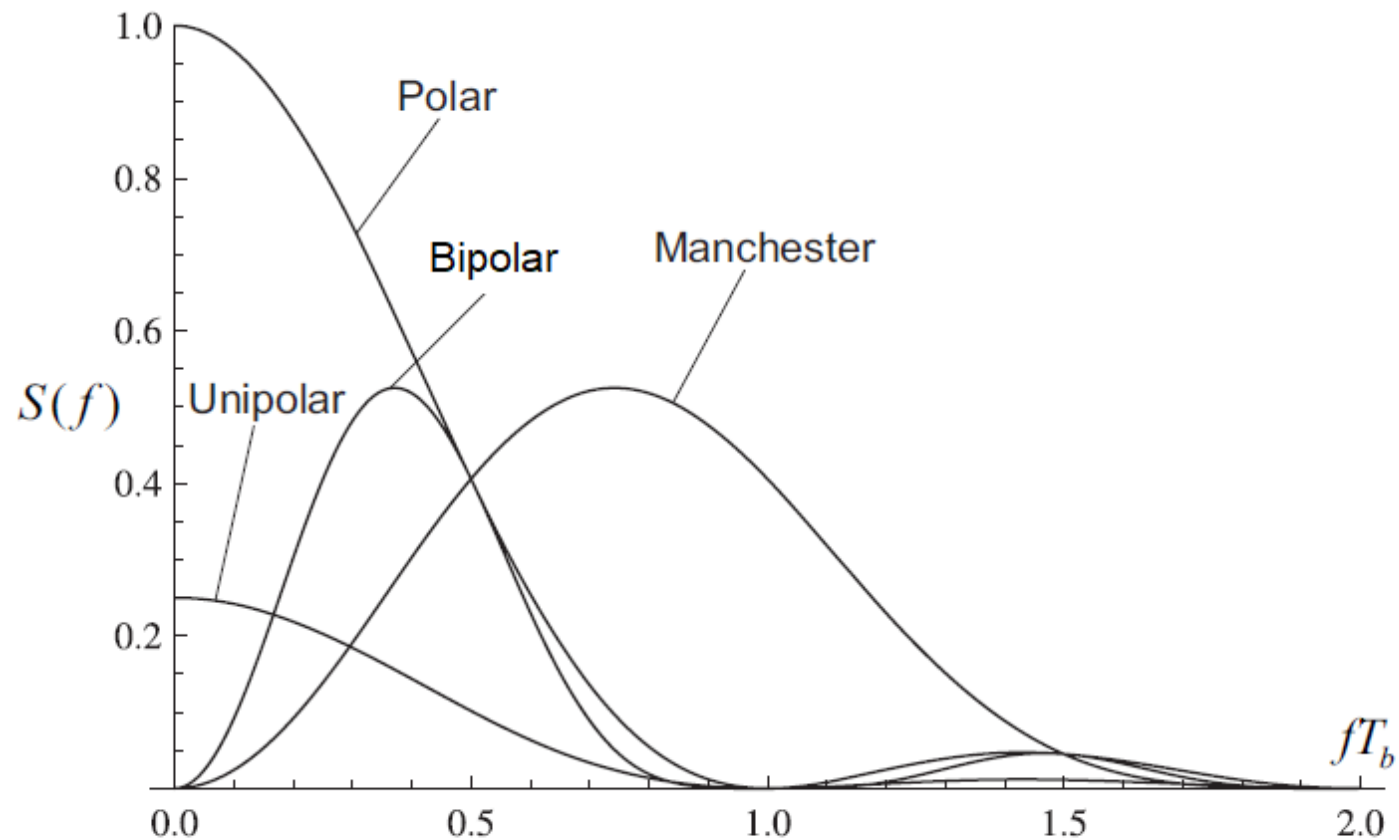
POLAR

BIPOlar

MANCHESTER



Φάσμα Κωδικοποιητών Γραμμής

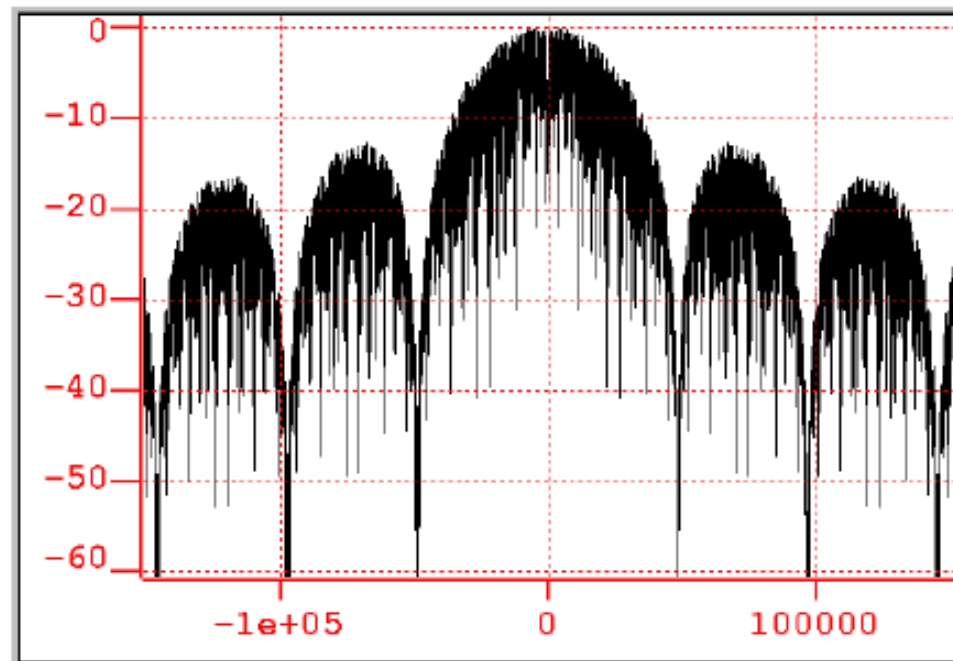


Φασματική Πυκνότητα Ισχύος τεχνικών κωδικοποίησης γραμμής NRZ, $a = 1$

Όσο μικρότερη είναι η διάρκεια συμβόλου T_b , τόσο μεγαλύτερη θα είναι η συχνότητα f στην οποία θα εμφανίζεται το πρώτο μηδενικό της PSD του σήματος εκπομπής, δηλαδή τόσο μεγαλύτερο φάσμα εκπομπής θα έχουμε.

Τηλεπικοινωνιακά Ψηφιακά Φίλτρα

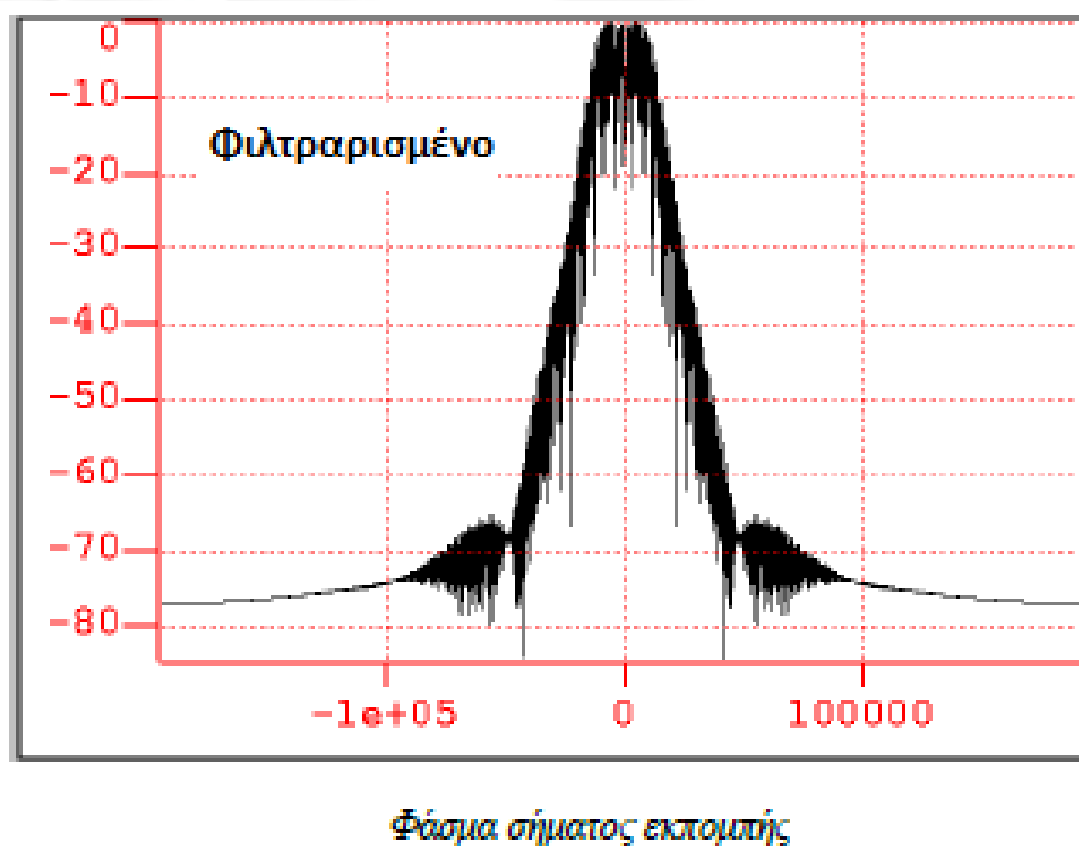
- Το σχήμα του παλμού που επιλέγεται στη μορφοποίηση των δεδομένων εκπομπής έχει επίδραση στο εκπεμπόμενο φάσμα του σήματος.
- Γενικά, τα ψηφιακά δεδομένα (σύμβολα) εκπομπής a_n εκπέμπονται με χρονική διάρκεια T_s ανά σύμβολο.
- Στα πραγματικά συστήματα τηλεπικοινωνιών δεν χρησιμοποιούνται τετραγωνικοί παλμοί σηματοδότησης, διότι το φασματικό τους περιεχόμενο επεκτείνεται πολύ περισσότερο από τη θεμελιώδη συχνότητα $1/T_s$, με πλευρικούς λοβούς (sidelobes) που μειώνονται με το ρυθμό της συνάρτησης sinc.



Φάσμα σήματος εκπομπής με μορφοποίηση με τετραγωνικό παλμό.

Τηλεπικοινωνιακά Ψηφιακά Φίλτρα

- Για τον παραπάνω λόγο αυτό απαιτείται φιλτράρισμα των συμβόλων εκπομπής, ώστε το εκπεμπόμενο φάσμα να είναι φασματικά περιορισμένο (band-limited).



Τηλεπικοινωνιακά Ψηφιακά Φίλτρα

- Το φιλτράρισμα π.χ. με βαθυπερατό φίλτρο οδηγεί στο φαινόμενο της διασυμβολικής παρεμβολής (**InterSymbol Interference/ISI**), διότι ο τελικός παλμός κάθε συμβόλου δεν περιορίζεται πλέον χρονικά σε T_s sec (αφού το φάσμα του δεν θα δίνεται πλέον από τη συνάρτηση sinc), αλλά έχει μη μηδενικές τιμές για μεγαλύτερη χρονική διάρκεια.
- Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να προκαλεί **παρεμβολή στα γειτονικά σύμβολα**.
- Ιδιαίτερα αρνητική επίδραση κατά την ανίχνευση έχει η συνεισφορά των γειτονικών συμβόλων τη χρονική στιγμή της δειγματοληψίας ενός συμβόλου.
- Επομένως, το φαινόμενο ISI παρατηρείται στις χρονικές στιγμές δειγματοληψίας (**sampling instants**), επειδή ο παλμός απλώνεται εκτός του καθορισμένου **χρονοδιαστήματος του συμβόλου** εκπομπής, με αποτέλεσμα να παρεμβάλλεται με τους γειτονικούς παλμούς τη χρονική στιγμή της δειγματοληψίας/ανίχνευσης του συμβόλου.



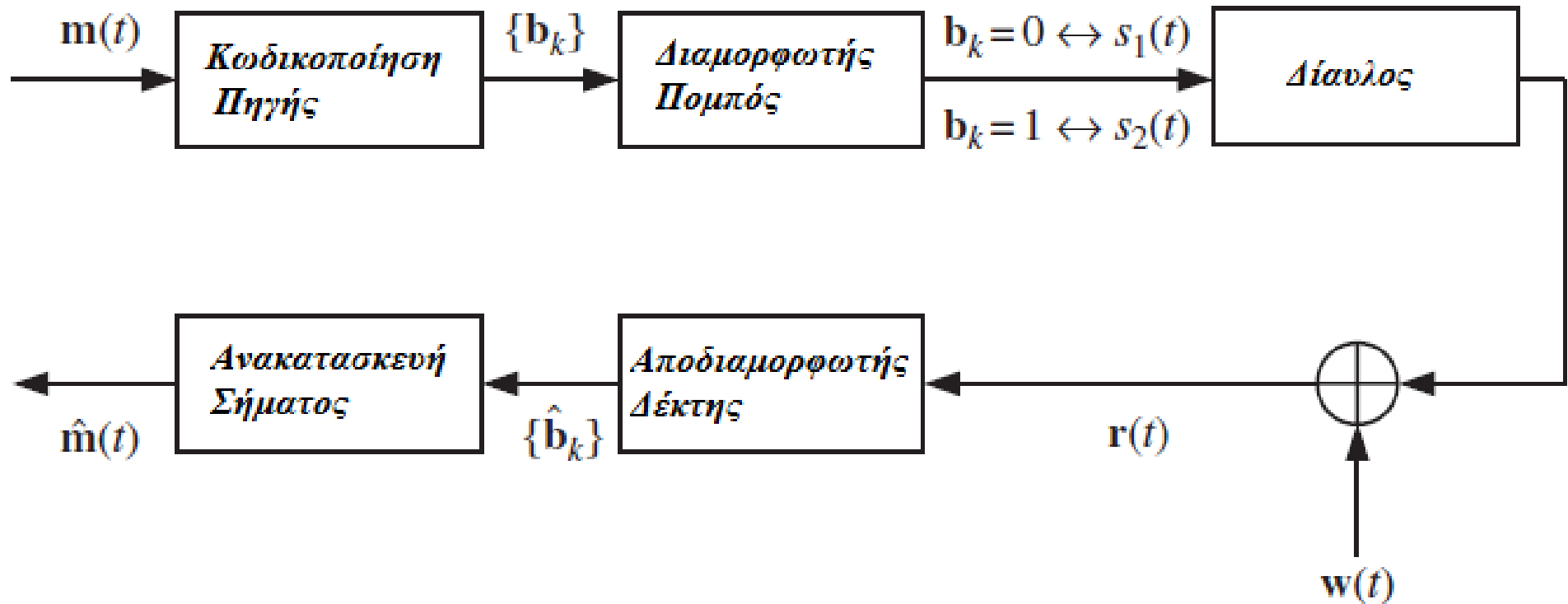
Τηλεπικοινωνιακά Ψηφιακά Φίλτρα

- Ο Nyquist υποστήριξε το 1940 ότι, με προσεκτική επεξεργασία των χαρακτηριστικών του φιλτραρίσματος στον πομπό (T_x) και στο δέκτη (R_x), μπορούμε να ελέγξουμε το φαινόμενο ISI.
- Χρησιμοποιούνται ως φίλτρα **υψωμένου συνημιτόνου (Raised Cosine/RC)**
- Με την εισαγωγή του φίλτρου έχουμε μηδενική-ISI τις χρονικές στιγμές της δειγματοληψίας συμβόλων (ακέραια πολλαπλάσια του T_s).
- Επομένως, τα φίλτρα RC μειώνουν τους πλαϊνούς φασματικούς λοβούς (spectral side lobes) του εκπεμπόμενου σήματος, ενώ εισάγουν ελεγχόμενη ISI.
- Η παρεμβολή ελέγχεται, υπό την έννοια ότι υπάρχει μόνο σε χρονικές στιγμές διαφορετικές από τις στιγμές ανίχνευσης των συμβόλων.
- Επομένως, επιτρέπεται οι παλμοί να αλληλοπαρεμβάλλονται, αρκεί τα πλάτη των γειτονικών συμβόλων να είναι μηδέν τη στιγμή της ανίχνευσης κάποιου συμβόλου.

$$H_{RC}(f) = \begin{cases} 1, & 0 \leq |f| \leq \frac{(1-a)}{2T_s} \\ \cos^2 \left[\frac{T_s}{4a} \left\{ 2\pi|f| - \frac{\pi(1-a)}{T_s} \right\} \right], & \frac{(1-a)}{2T_s} \leq |f| \leq \frac{(1+a)}{2T_s} \\ 0, & |f| \geq \frac{(1+a)}{2T_s} \end{cases}$$



Ψηφιακή Διαμόρφωση



Η διάρκεια του bit του b_k είναι T_b sec.

Ρυθμός Bits: $R_b = 1/T_b$

Μεταλλαγή Μετατόπισης Πλάτους- Amplitude Shift Keying (ASK)

Το πλάτος του φέροντος αλλάζει σε σχέση με τη πληροφορία και το υπόλοιπο παραμένει σταθερό.

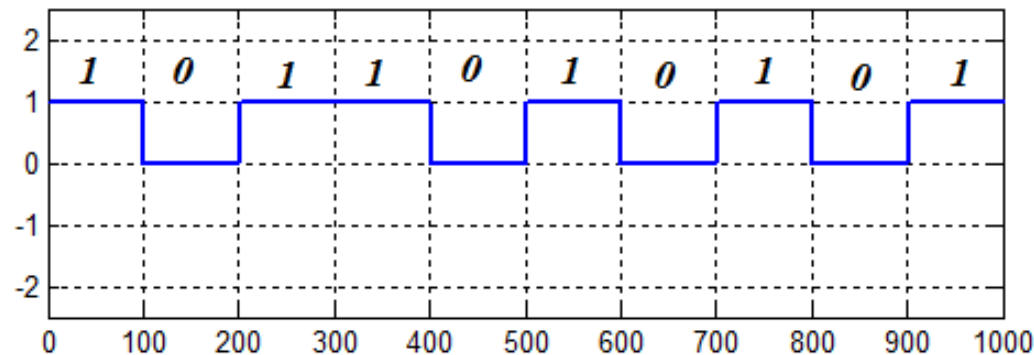
$$ASK(t) = m(t)A_c \sin(2\pi f_c t) = \begin{cases} A_c \sin(2\pi f_c t) & m(nT_b) = 1 \\ 0 & m(nT_b) = 0 \end{cases}$$

ON-OFF Keying είναι μια ειδική περίπτωση του ASK.

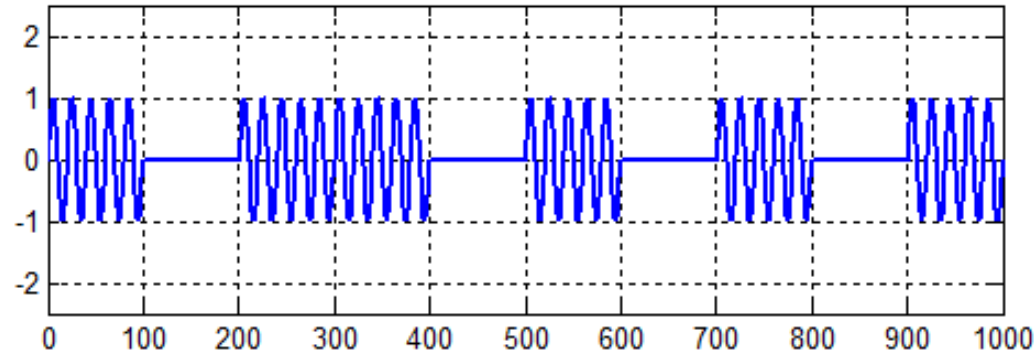
Για τη μετάδοση του 1 θεωρούμε ένα συγκεκριμένο Πλάτος.

Για το μηδέν αλλάζουμε το πλάτος και κρατάμε σταθερή τη συχνότητα.

Δυναμικό Σήμα



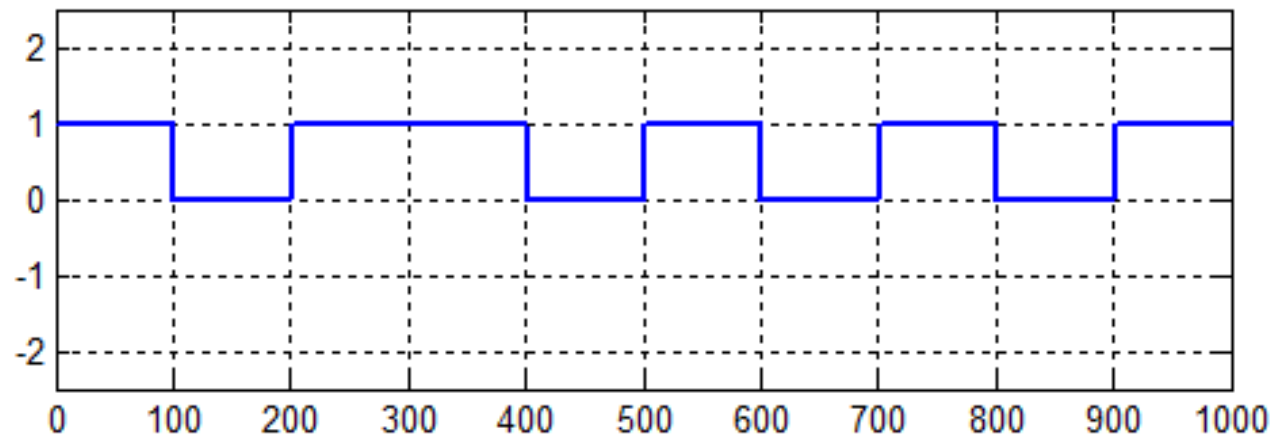
Διαμόρφωση ASK



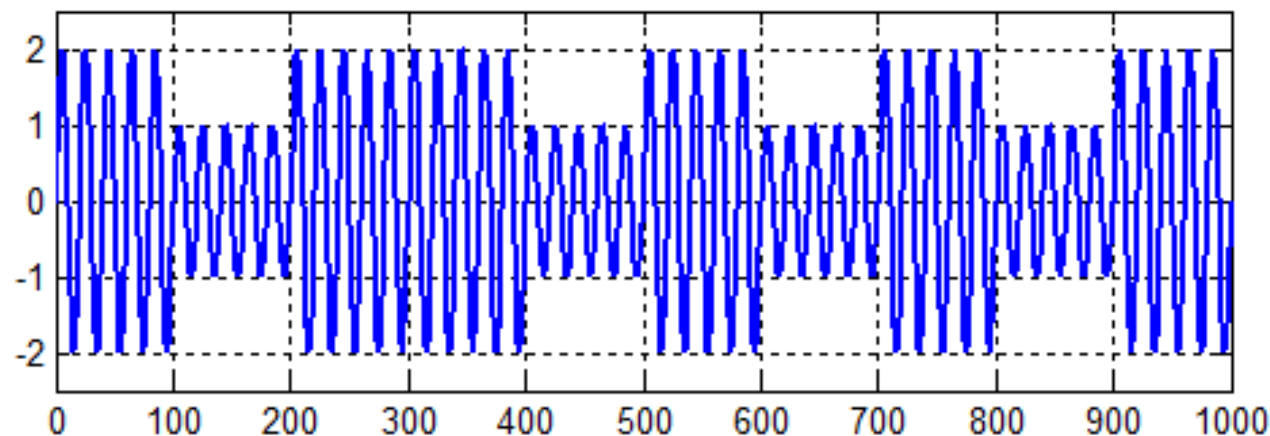
Ακολουθία Πληροφορίας Βασικής Ζώνης: 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1



Μεταλλαγή Μετατόπισης Πλάτους- Amplitude Shift Keying (ASK)



Δυναμικό Σήμα

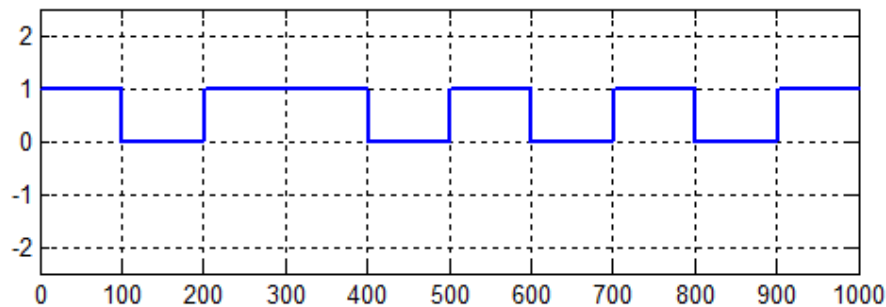


*Διαμόρφωση
ASK*

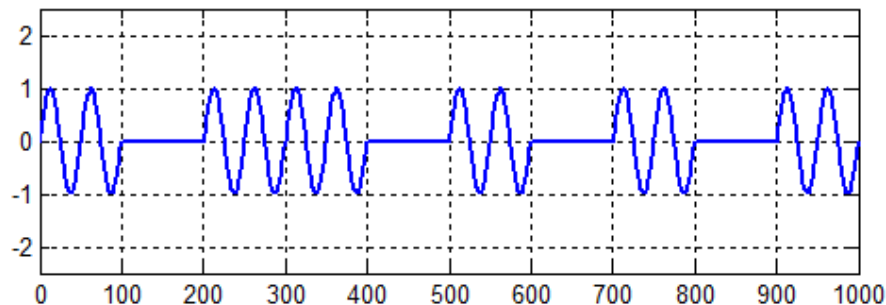
Ακολουθία Πληροφορίας Βασικής Ζώνης: 1 0 1 1 0 1 0 1

Μεταλλαγή Μετατόπισης Πλάτους- Amplitude Shift Keying (ASK)

Δυαδικό Σήμα

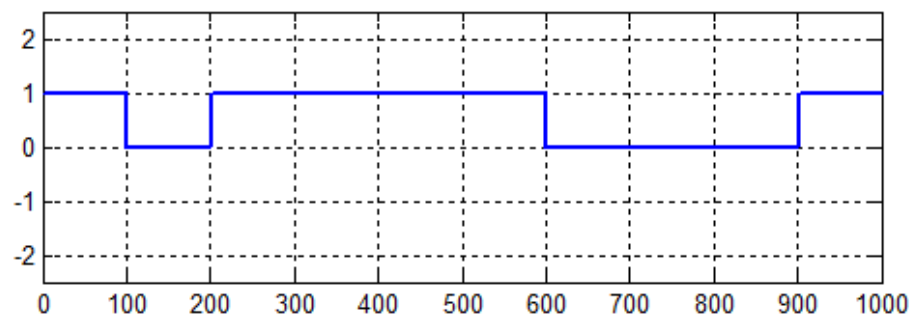


Διαμόρφωση ASK

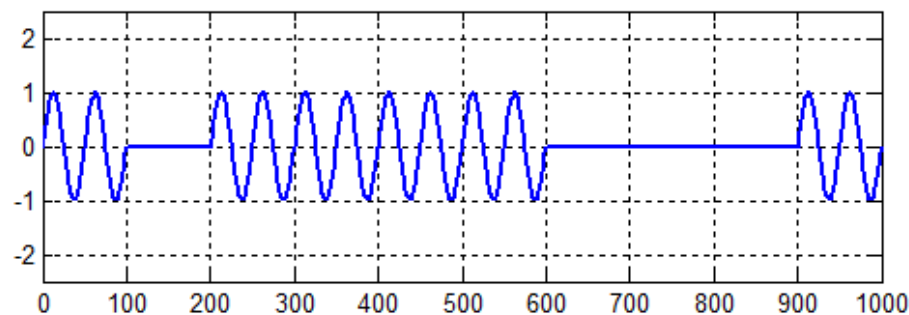


Ακολουθία Πληροφορίας Βασικής Ζώνης: 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1

Δυαδικό Σήμα



Διαμόρφωση ASK



Ακολουθία Πληροφορίας Βασικής Ζώνης: 1 0 1 1 1 1 0 0 0 1

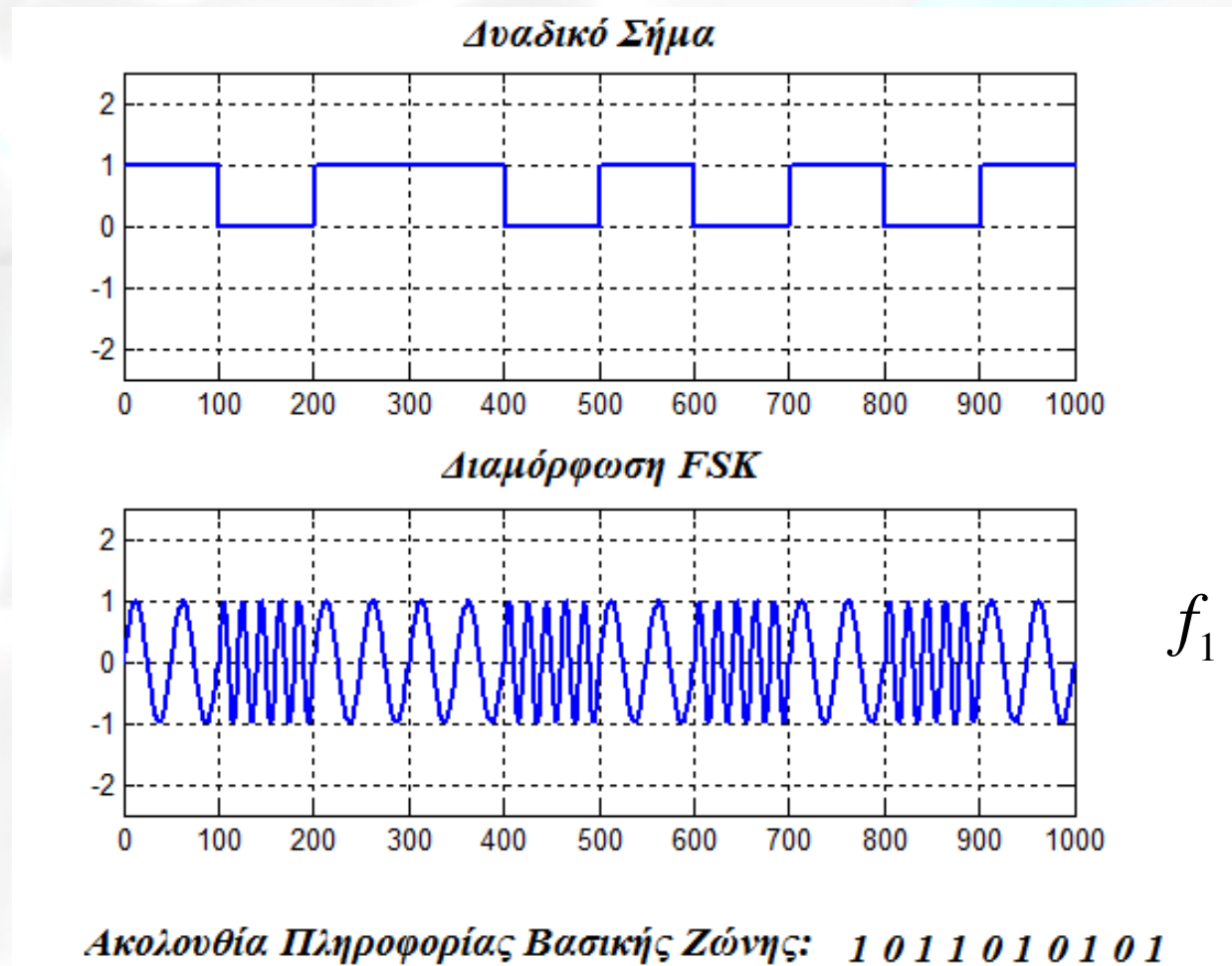
Μεταλλαγή Μετατόπισης Συχνότητας- Frequency Shift Keying (FSK)

Η συχνότητα αλλάζει σε σχέση με τη πληροφορία και το υπόλοιπο παραμένει σταθερό.

$$FSK(t) = \begin{cases} \sin(2\pi f_1 t) & \text{bit 1} \\ \sin(2\pi f_2 t) & \text{bit 0} \end{cases}$$

Για τη μετάδοση του 1
θεωρούμε μια συγκεκριμένη
συχνότητα.

Για το μηδέν αλλάζουμε
το συχνότητα και κρατάμε
το πλάτος σταθερό.



$$f_1 < f_2$$



Μεταλλαγή Μετατόπισης Φάσης - Phase Shift Keying (PSK)

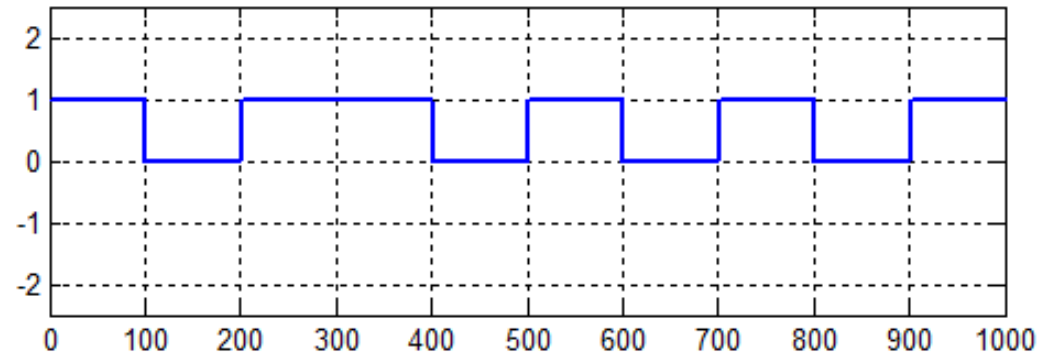
Η φάση αλλάζει σε σχέση με τη πληροφορία και το υπόλοιπο παραμένει σταθερό.

$$BPSK(t) = \begin{cases} \sin(2\pi f_c t) & \text{bit 1} \\ \sin(2\pi f_c t + \pi) & \text{bit 0} \end{cases}$$

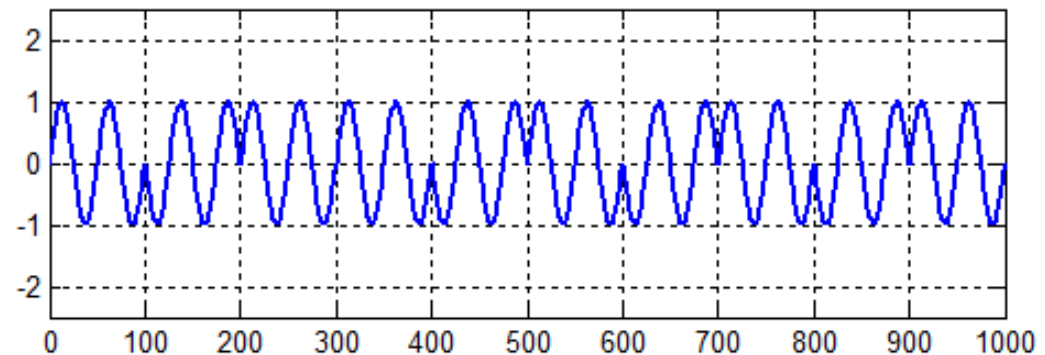
Για τη μετάδοση του 1 θεωρούμε μηδενική αρχική φάση.

Για το μηδέν ολισθαίνουμε τη φάση κατά 180 μοίρες.

Δυναμικό Σήμα



Διαμόρφωση BPSK

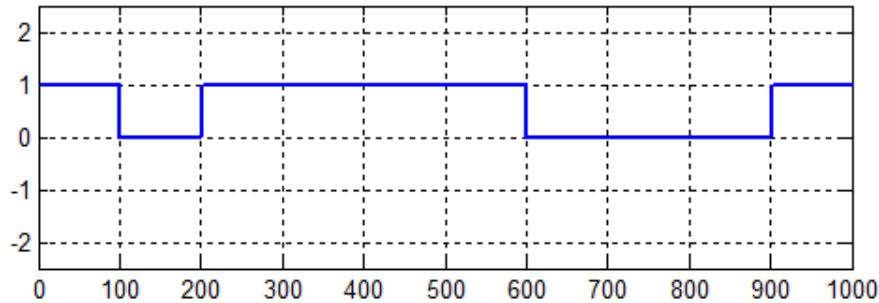


Ακολουθία Πληροφορίας Βασικής Ζώνης: 1 0 1 1 0 1 0 1 0 1

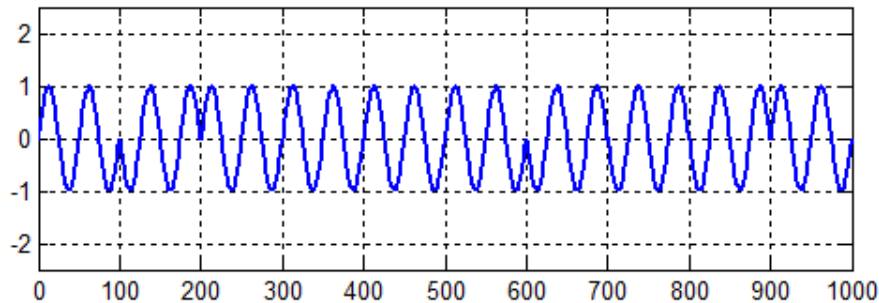


Μεταλλαγή Μετατόπισης Φάσης - Phase Shift Keying (PSK)

Αναδικό Σήμα

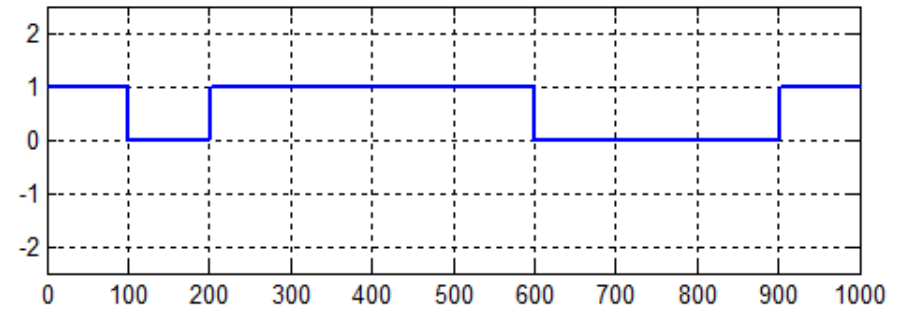


Διαμόρφωση BPSK

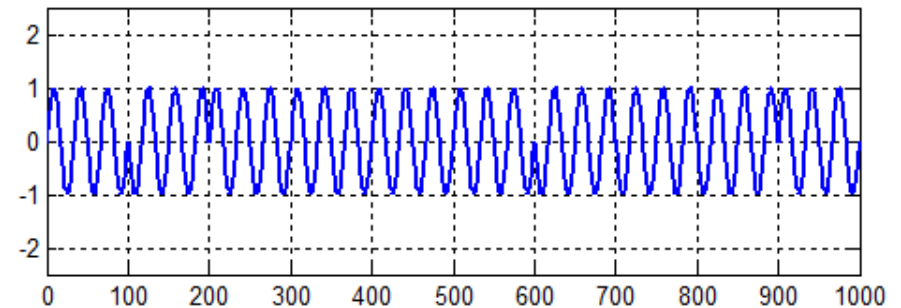


Ακολουθία Πληροφορίας Βασικής Ζώνης: 1 0 1 1 1 0 0 0 1

Αναδικό Σήμα



Διαμόρφωση BPSK



Ακολουθία Πληροφορίας Βασικής Ζώνης: 1 0 1 1 1 0 0 0 1



I- Q αναπαράσταση

I – in phase συνιστώσα

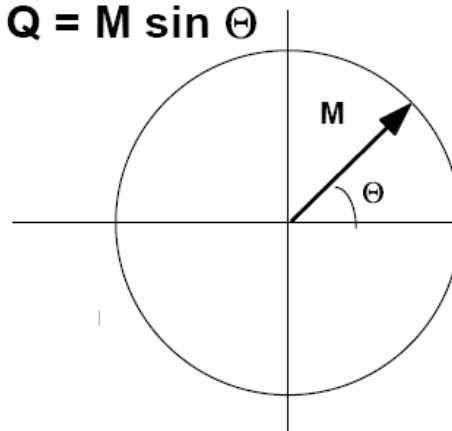
Q- quadrature συνιστώσα
(μετατοπισμένη κατά 90deg)

$$M = \sqrt{I^2 + Q^2} \text{ πλάτος σήματος / διάνυσματος}$$

$$\Theta = \tan^{-1}\left(\frac{I}{Q}\right) \text{ φάση σήματος}$$

Quadrature component

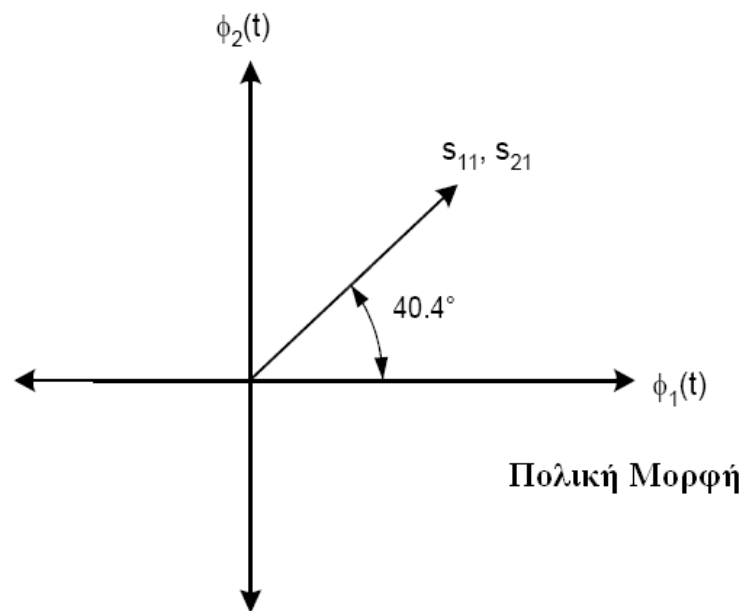
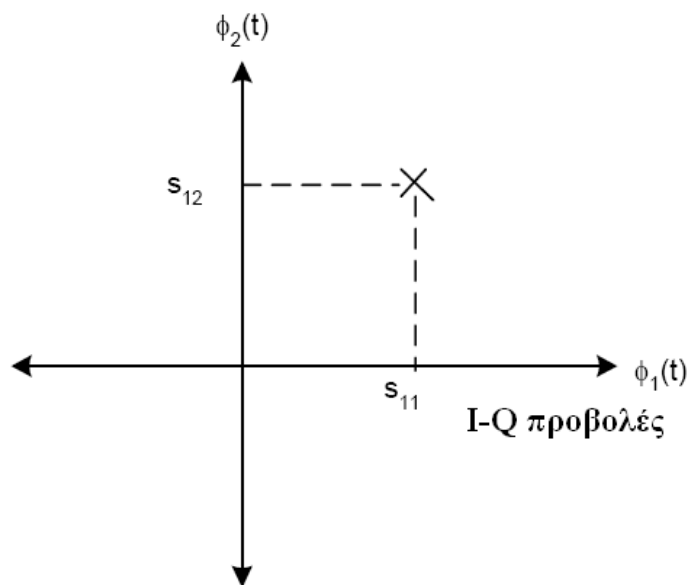
$$Q = M \sin \Theta$$



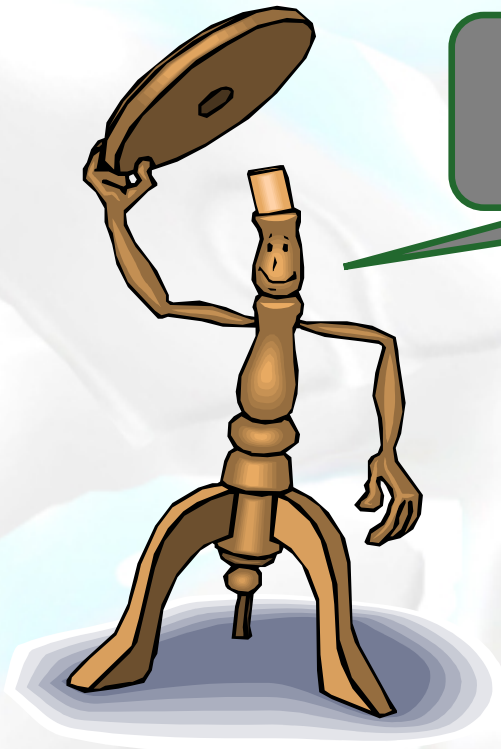
$M = \text{Πλάτος}$
 $\Theta = \text{Φάση}$

$$I = M \cos \Theta$$

In-phase component



Q&A



Ευχαριστώ για την
προσοχή σας !!!



E-mail: thpanag@ece.ntua.gr
Παλ. Κτίρια Ηλ/γων Γρ. 3.2.9
Τηλ.: 2107723842