



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα ΠΠ

Συστήματα Επικοινωνιών

Ενότητα 12: Ψηφιακή Διαμόρφωση – Μέρος Β'

Μιχαήλ Λογοθέτης

Πολυτεχνική Σχολή

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών
και Τεχνολογίας Υπολογιστών

Σκοποί ενότητας

- Περιγραφή της διαμόρφωσης παλμών κατά πλάτος
- Περιγραφή της διαμόρφωσης θέσης παλμού, με έμφαση στην δυαδική διαμόρφωση θέσης παλμού
- Περιγραφή της διαμόρφωσης ολίσθησης φάσης και των περιπτώσεων δυαδικής και τετραδικής διαμόρφωσης ολίσθησης φάσης
- Παρουσίαση των διαμορφωτών I/Q



Περιεχόμενα ενότητας

- ❑ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΠΑΛΜΩΝ ΚΑΤΑ ΠΛΑΤΟΣ
- ❑ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΘΕΣΗΣ ΠΑΛΜΟΥ
- ❑ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΦΑΣΗΣ
- ❑ ΔΙΑΜΟΡΦΩΤΕΣ I/Q



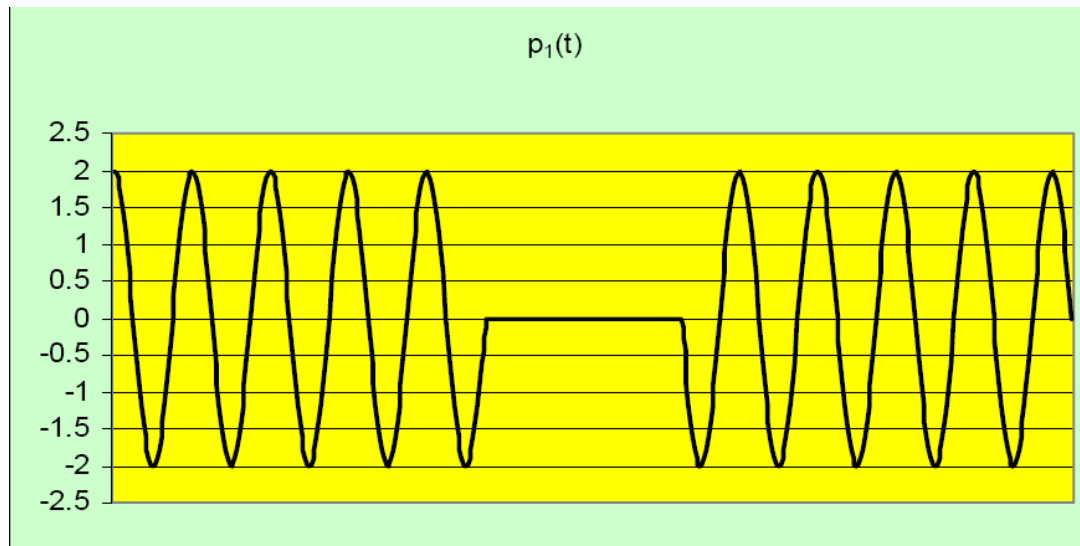
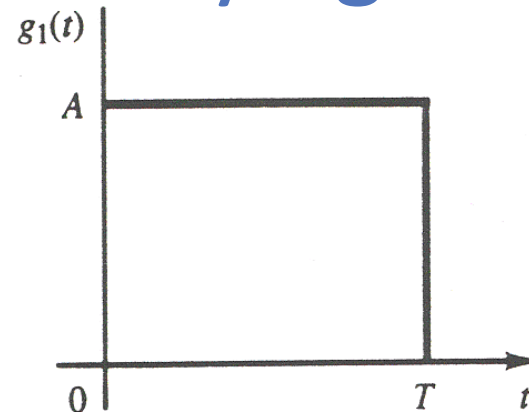
Περιεχόμενα ενότητας

- ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΠΑΛΜΩΝ ΚΑΤΑ ΠΛΑΤΟΣ
- ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΘΕΣΗΣ ΠΑΛΜΟΥ
- ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΦΑΣΗΣ
- ΔΙΑΜΟΡΦΩΤΕΣ I/Q



Διαμόρφωση παλμών κατά πλάτος Amplitude Shift Keying-ASK

Ορθογώνιος παλμός



On-Off Keying, OOK

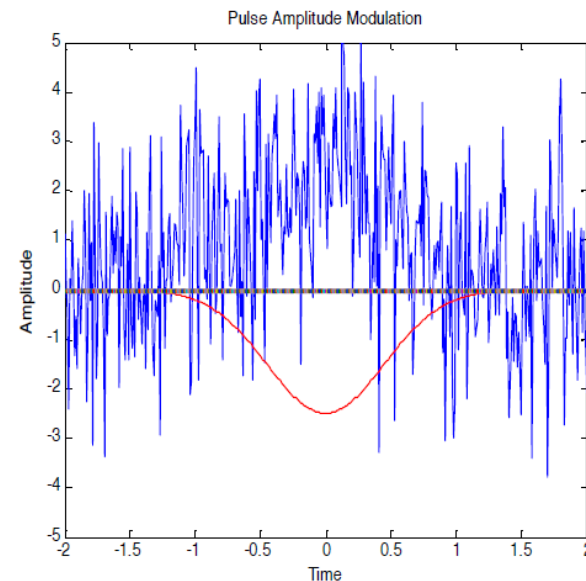
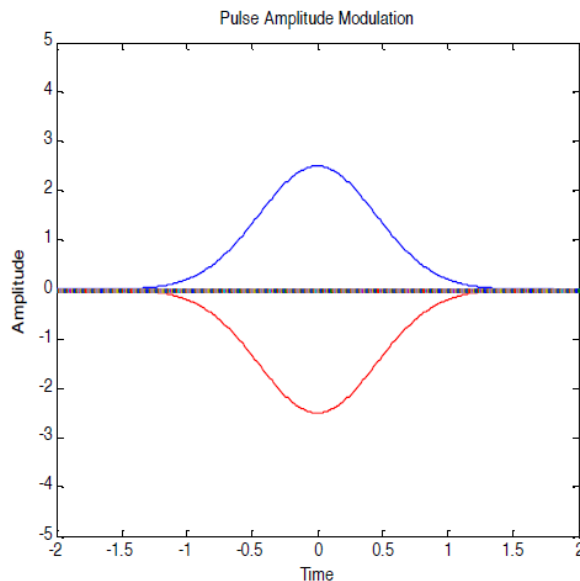


Δισδιάστατες Κυματομορφές (1/3)

- ✓ Με τη διαμόρφωση PAM εκπέμπονται σύμβολα που διαφέρουν μεταξύ τους ως προς ένα μόνο χαρακτηριστικό (έναν βαθμό ελευθερίας), το πλάτος κάποιων παλμών.

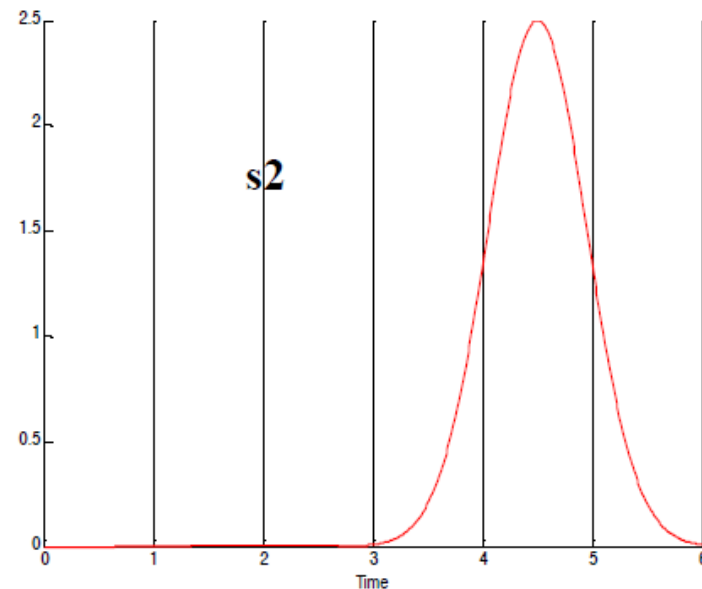
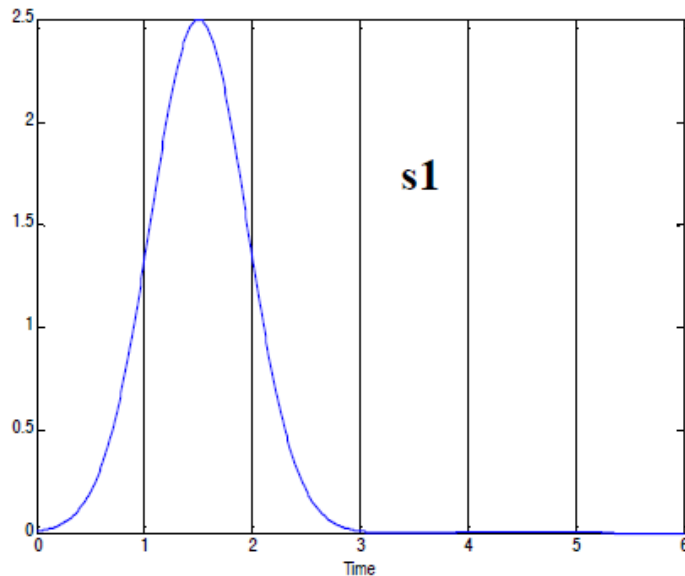
Για το λόγο αυτό και αποτελεί διαμόρφωση μιας διάστασης.

- ✓ Επομένως, η ανίχνευση ενός συμβόλου στο δέκτη θα βασίζεται αποκλειστικά στη σωστή ανίχνευση αυτού του μοναδικού χαρακτηριστικού (του πλάτους του σήματος).



Δισδιάστατες Κυματομορφές (2/3)

Η πιθανότητα σωστής ανίχνευσης ενός συμβόλου θα αυξάνονταν αν η ανίχνευση βασίζονταν σε περισσότερα από ένα χαρακτηριστικά (βαθμοί ελευθερίας).



Για παράδειγμα, αν η ανίχνευση του συμβόλου βασίζονταν:

- i) Στο πλάτος του παλμού στην πρώτη ημιπερίοδο
- ii) Στο πλάτος του παλμού στη δεύτερη ημιπερίοδο

Δισδιάστατες Κυματομορφές (3/3)

Αν η ανίχνευση του συμβόλου βασίζονταν:

- i) Στο πλάτος ενός ημιτόνου
- ii) Στο πλάτος ενός συνημιτόνου

Σύμβολο $s_1 \rightarrow$ περιμένω να λάβω ένα ημίτονο με πλάτος A_1 και ένα συνημίτονο με πλάτος A_2

Σύμβολο $s_2 \rightarrow$ περιμένω να λάβω ένα ημίτονο με πλάτος B_1 και ένα συνημίτονο με πλάτος B_2

Άρα υπάρχουν δύο δυνατότητες ελέγχου για σωστή ανίχνευση.

Περιεχόμενα ενότητας

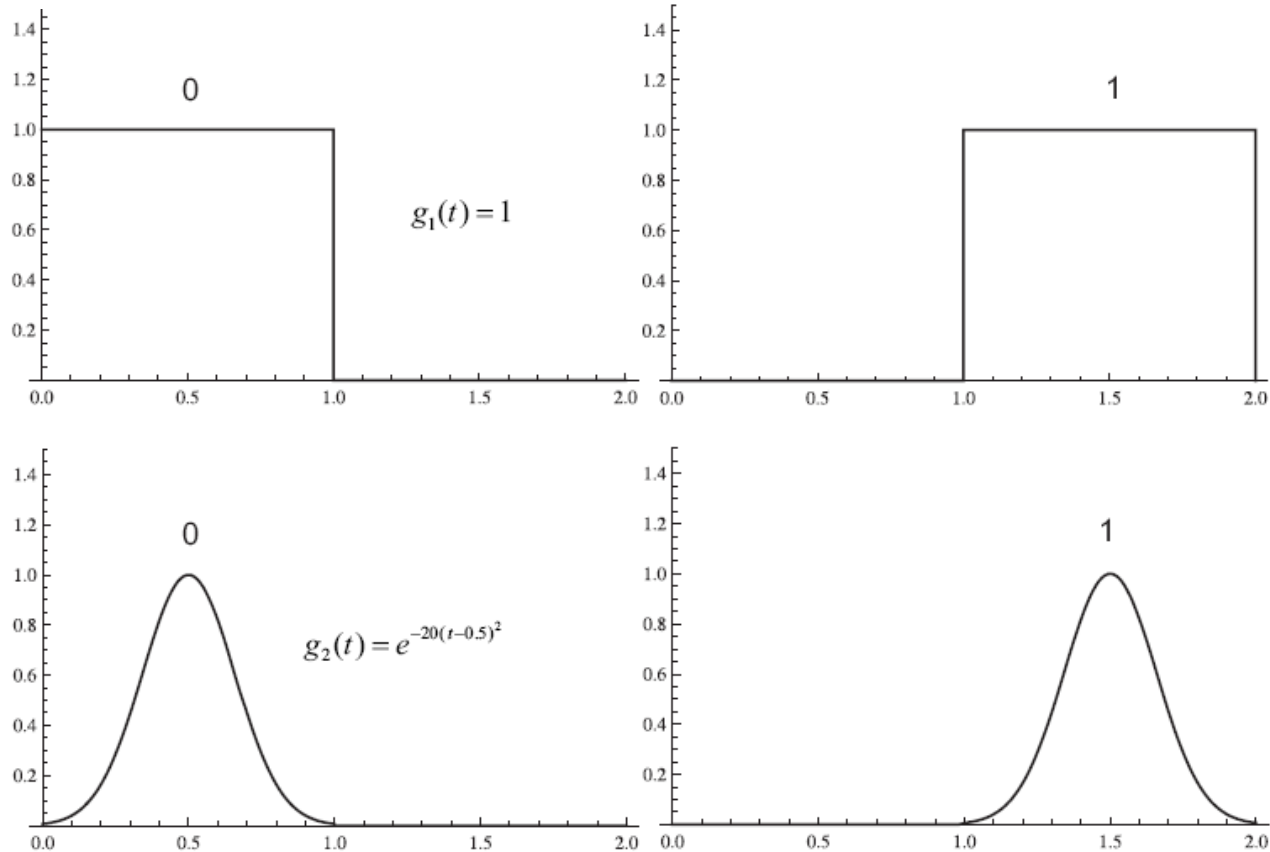
- ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΠΑΛΜΩΝ ΚΑΤΑ ΠΛΑΤΟΣ
- ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΘΕΣΗΣ ΠΑΛΜΟΥ
- ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΦΑΣΗΣ
- ΔΙΑΜΟΡΦΩΤΕΣ I/Q



Διαμόρφωση θέσης παλμού

Binary Pulse Position Modulation (BPPM)

$$s_1(t) = g(t) \text{ και } s_2(t) = g(t - \frac{T}{2}), t \in [0, T]$$



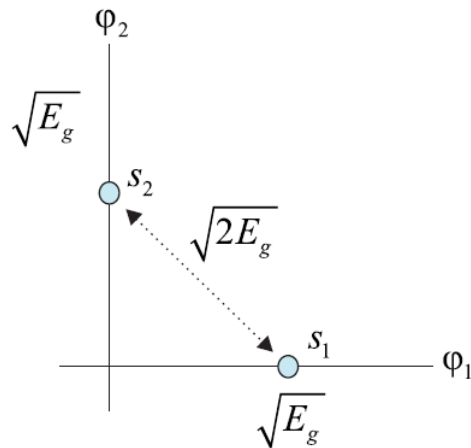
Binary Pulse Position Modulation (BPPM)

Αστερισμοί

$$\langle s_1, s_2 \rangle = \int_0^T s_1(t)s_2(t)dt = \int_0^{\frac{T}{2}} g(t)g(t - \frac{T}{2})dt + \int_{\frac{T}{2}}^T g(t)g(t - \frac{T}{2})dt = 0$$

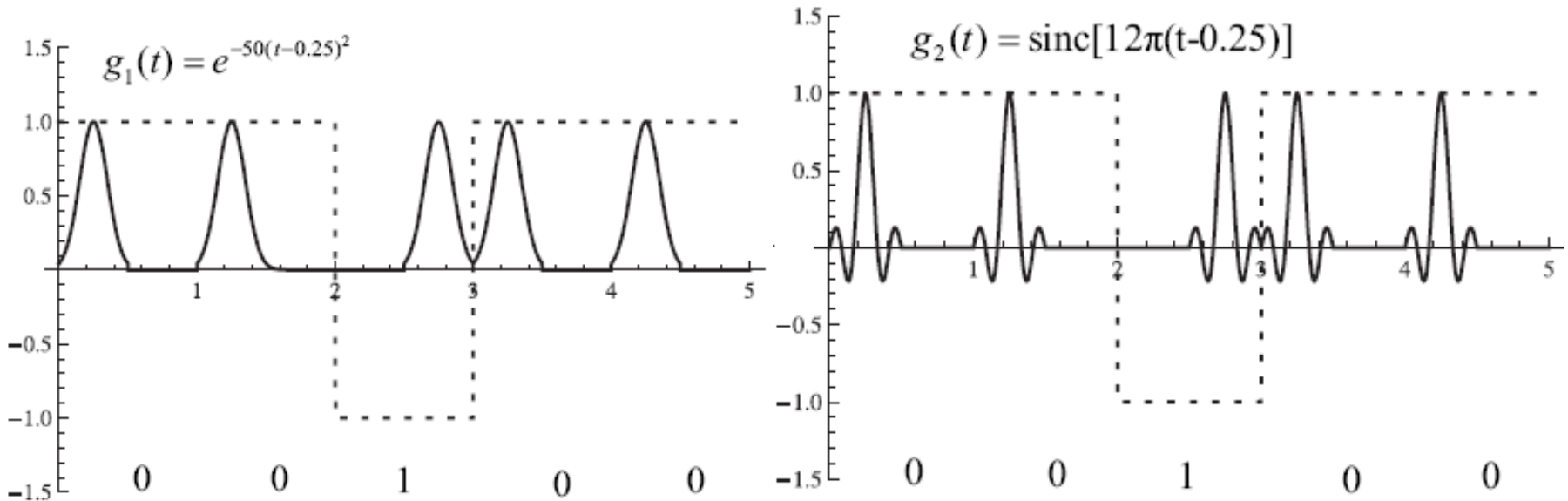
$$\mathcal{E}_g = \int_0^T |s_1(t)|^2 dt = \int_0^T |s_2(t)|^2 dt \quad \longrightarrow \quad \mathcal{E}_g = A^2 \frac{T}{2}$$

$$\phi_1(t) = \frac{s_1(t)}{\sqrt{\mathcal{E}_g}} \text{ και } \phi_2(t) = \frac{s_2(t)}{\sqrt{\mathcal{E}_g}} \quad \longrightarrow \quad \begin{aligned} s_1(t) &= \sqrt{\mathcal{E}_g} \times \phi_1(t) + 0 \times \phi_2(t) \\ s_2(t) &= 0 \times \phi_1(t) + \sqrt{\mathcal{E}_g} \times \phi_2(t) \end{aligned}$$



$$\mathbf{s}_1 = \{\sqrt{\mathcal{E}_g}, 0\}, \mathbf{s}_2 = \{0, \sqrt{\mathcal{E}_g}\}$$

Binary Pulse Position Modulation

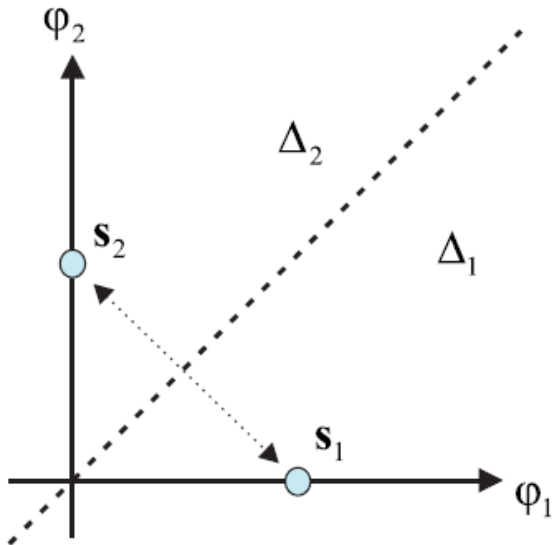


Binary Pulse Position Modulation (BPPM)

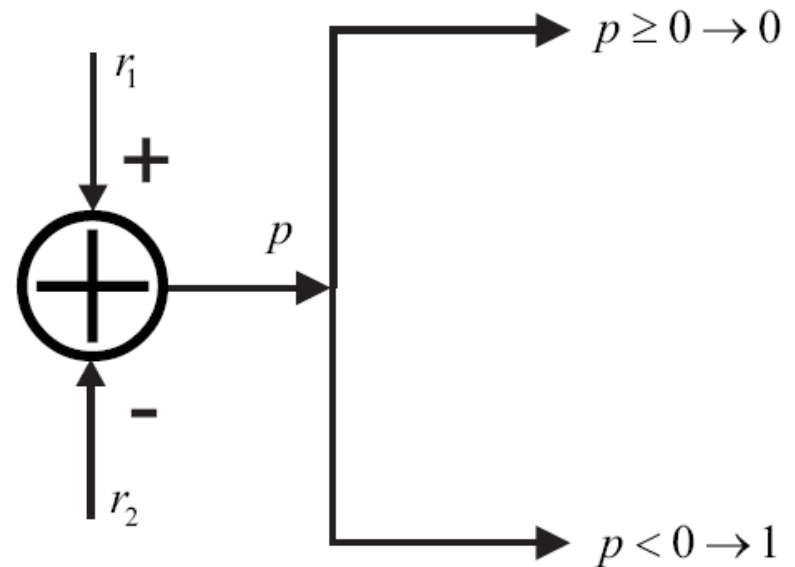
Αποδιαμόρφωση-Ανίχνευση

$$\mathbf{r} = \mathbf{s}_i + \mathbf{n}$$

$$\mathbf{s}_i = \{s_{i1}, s_{i2}\}, \quad \mathbf{n} = \{n_1, n_2\}$$

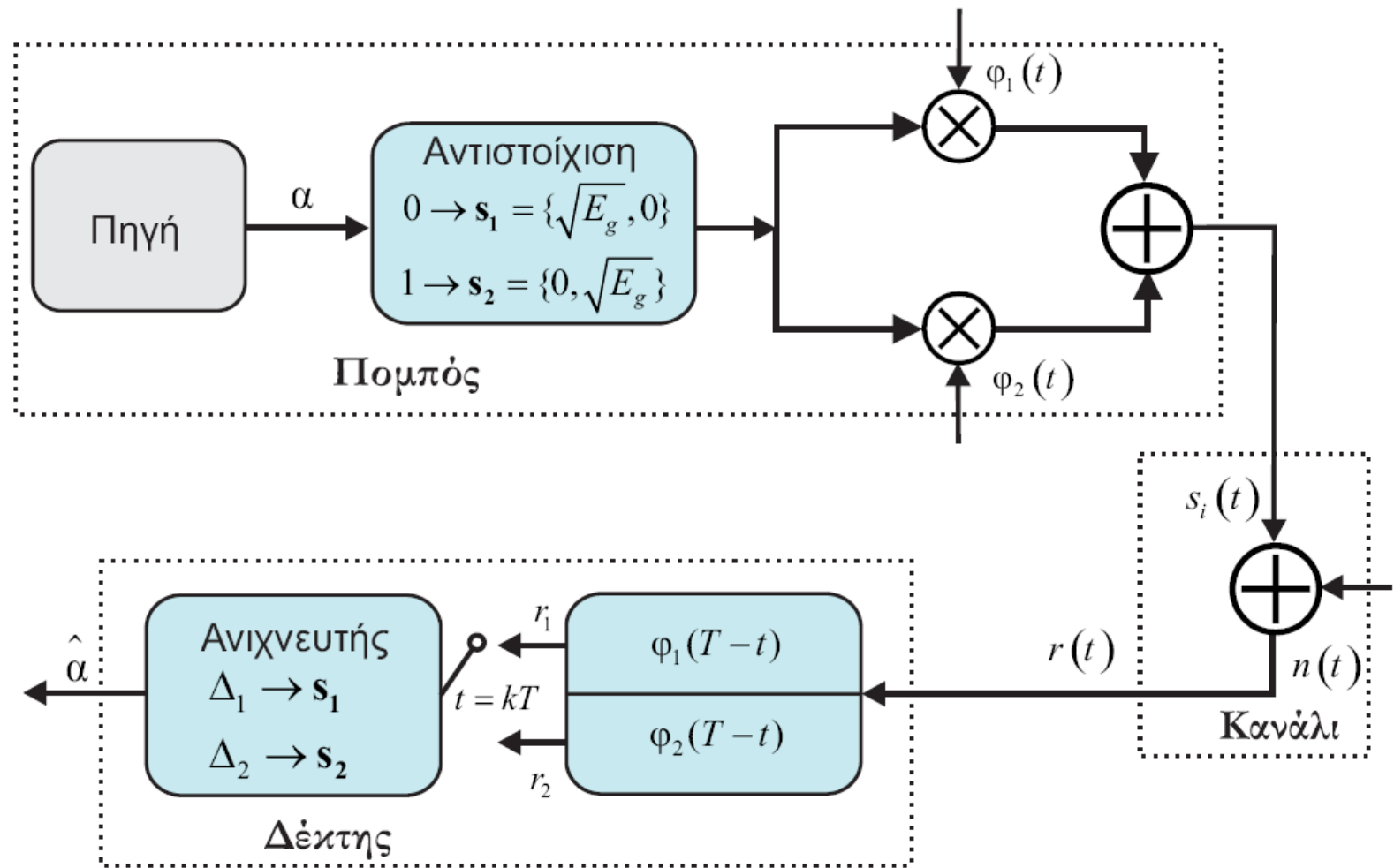


$$\Delta_1 : \{r_1 \geq r_2\}, \quad \Delta_2 : \{r_1 < r_2\}$$



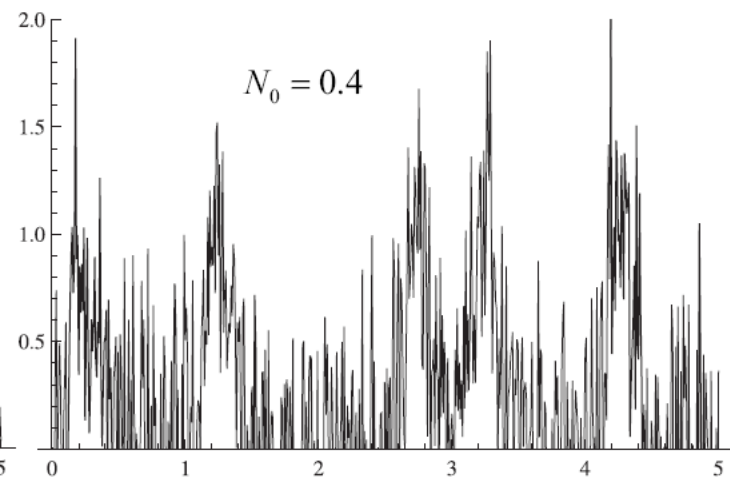
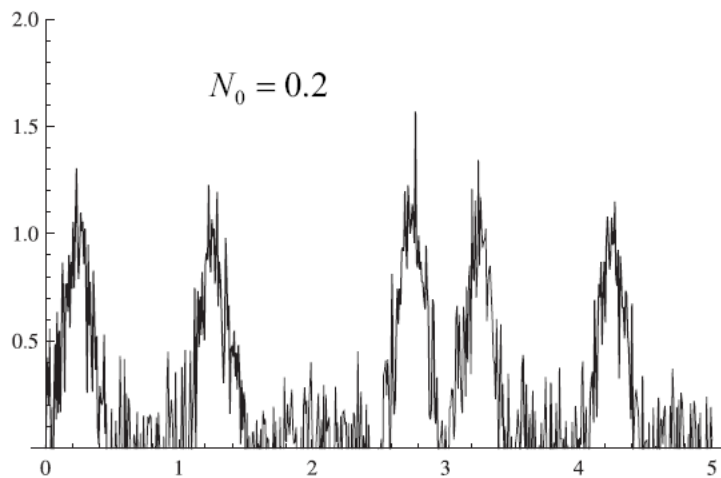
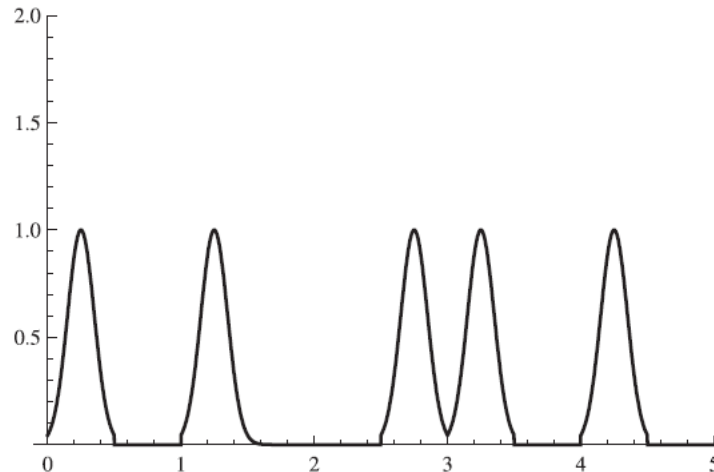
Binary Pulse Position Modulation (BPPM)

Πομπός-Δέκτης



Binary Pulse Position Modulation (BPPM)

Πιθανότητα Σφάλματος (1/3)



Binary Pulse Position Modulation (BPPM)

Πιθανότητα Σφάλματος (2/3)

$$s_1 \rightarrow 0 \text{ και } s_2 \rightarrow 1 \quad s_1 = \{\sqrt{\mathcal{E}_g}, 0\}$$

$$\mathbf{r} = \{r_1, r_2\} = \{\sqrt{\mathcal{E}_g} + n_1, n_2\}$$

$$\begin{aligned} \Pr(\hat{s} \neq s_1 | s_1) &= \Pr(r_2 > r_1 | s_1) = \Pr(n_2 > \sqrt{\mathcal{E}_g} + n_1) \quad \sigma^2 = N_0/2 + N_0/2 = N_0 \\ &= \Pr(n_2 - n_1 > \sqrt{\mathcal{E}_g}) = Q\left(\sqrt{\frac{\mathcal{E}_g}{N_0}}\right). \end{aligned}$$

$$s_2 = \{\sqrt{0}, \mathcal{E}_g\}$$

$$\Pr(\hat{s} \neq s_2 | s_2) = Q\left(\sqrt{\frac{\mathcal{E}_g}{N_0}}\right)$$

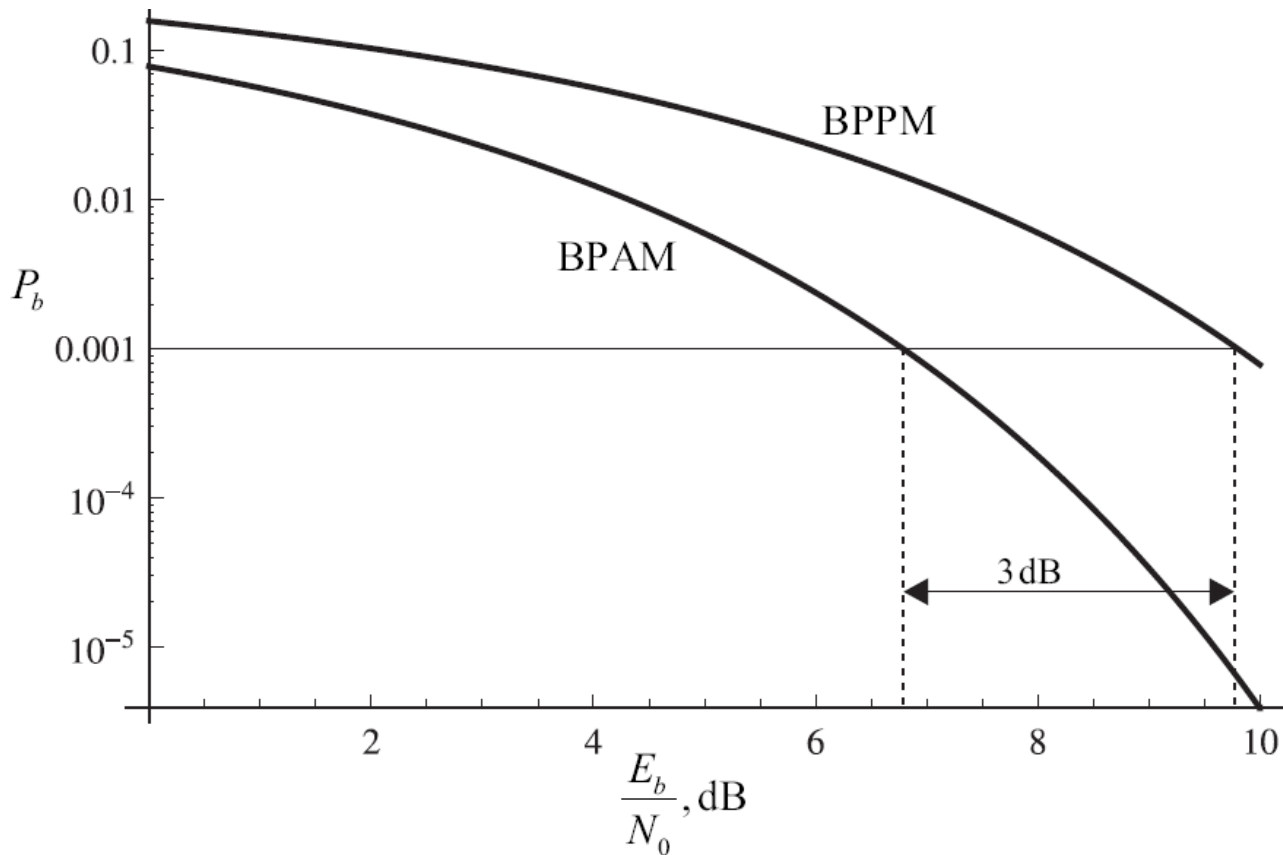
$$\mathcal{E}_g = \mathcal{E}_b \quad \rightarrow \quad P_{b(BPPM)} = \frac{1}{2}Q\left(\sqrt{\frac{\mathcal{E}_g}{N_0}}\right) + \frac{1}{2}Q\left(\sqrt{\frac{\mathcal{E}_g}{N_0}}\right) = Q\left(\sqrt{\frac{\mathcal{E}_b}{N_0}}\right)$$



Binary Pulse Position Modulation (BPPM)

Πιθανότητα Σφάλματος (3/3)

$$P_{b(BPPM)} = Q\left(\sqrt{\frac{\mathcal{E}_b}{N_0}}\right), \quad P_{b(BPAM)} = Q\left(\sqrt{\frac{2\mathcal{E}_b}{N_0}}\right)$$



Pulse Position Modulation - Εφαρμογές

- Ασύρματος έλεγχος μοντέλων-παιχνιδιών αεροπλάνων, πλοίων και αυτοκινήτων. Η χρησιμοποίηση PPM σε αυτού του είδους τις εφαρμογές οφείλεται στην εύκολη ανίχνευση των συμβόλων στο δέκτη, κάτι που έχει σαν συνέπεια τη χρήση δεκτών πολύ μικρού μεγέθους και χαμηλής πολυπλοκότητας.
- Ανάγνωση έξυπνων καρτών από απόσταση, σύμφωνα με το πρότυπο ISO 15693. Το σύστημα λειτουργεί σε συχνότητα 13.56 MHz και μπορεί να αναγνωρίσει κάρτες από απόσταση 1-1.5 μ.
- Σε συστήματα ασύρματης επικοινωνίας υπερ-ευρείας ζώνης (ultra wide band) (IEEE P802.15 TG3a)
- Σε συστήματα ασύρματων οπτικών δικτύων εσωτερικών χώρων, με υπέρυθρη ακτινοβολία (IEEE 802.11 Wireless Access Method and Physical Layer Specification)
- Σε συστήματα οπτικής επικοινωνίας μεταξύ δορυφόρων (Optical Inter-orbit Communication Engineering Test Satellite- OICETS)
- Σε επικοινωνίες διαστημικών αποστολών (deep-space communications)



Περιεχόμενα ενότητας

- ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΠΑΛΜΩΝ ΚΑΤΑ ΠΛΑΤΟΣ
- ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΘΕΣΗΣ ΠΑΛΜΟΥ
- ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΦΑΣΗΣ
- ΔΙΑΜΟΡΦΩΤΕΣ I/Q



Διαμόρφωση ολίσθησης φάσης (Phase Shift Keying-PSK)

Το PSK είναι αποκλειστικά ζωνοπερατή διαμόρφωση, αφού η πληροφορία μεταφέρεται στ φάση ημιτονοειδών κυματομορφών, της ίδιας συχνότητας και πλάτους (ενέργειας).

$$s_i(t) = \begin{cases} \sqrt{\frac{2\mathcal{E}_s}{T}} \cos(2\pi f_c t + \theta_i), & t \in [0, T] \\ 0, & \text{αλλού} \end{cases}, i = 1, \dots, M \quad \theta_i = 2\pi \frac{i-1}{M}$$

Σταθερή περιβάλλουσα
(Constant Envelope)



$$V(t) = \sqrt{\frac{2\mathcal{E}_s}{T}}$$

Ίση Ενέργεια συμβόλων



$$\int_0^T s_i^2(t) dt = \int_0^T \left(\sqrt{\frac{2\mathcal{E}_s}{T}} \right)^2 \cos^2(2\pi f_c t + \theta_i) dt$$

$$= \frac{1}{2} \left[\int_0^T \left(\sqrt{\frac{2\mathcal{E}_s}{T}} \right)^2 dt + \int_0^T \left(\sqrt{\frac{2\mathcal{E}_s}{T}} \right)^2 \cos(4\pi f_c t + \theta_i) dt \right]$$

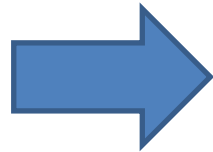
$$= \frac{1}{2} \left[\int_0^T \left(\sqrt{\frac{2\mathcal{E}_s}{T}} \right)^2 dt \right] = \mathcal{E}_s,$$



Binary Phase Shift keying (BPSK)

BPSK

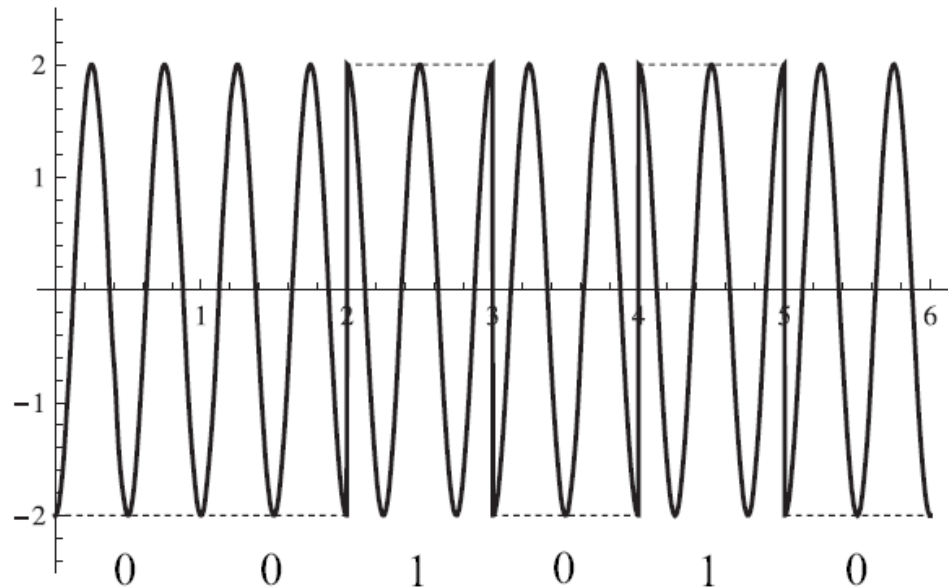
$\theta_1 = 0$ και $\theta_2 = \pi$



$$s_1(t) = \sqrt{\frac{2\mathcal{E}_s}{T}} \cos 2\pi f_c t,$$

$$s_2(t) = \sqrt{\frac{2\mathcal{E}_s}{T}} \cos(2\pi f_c t + \pi) = -s_1(t)$$

$\mathbf{a} = \{001010\}$



Quaternary Phase Shift Keying (QPSK)



$$\theta_1 = 0, \theta_2 = \frac{\pi}{2}, \theta_3 = \pi, \theta_4 = \frac{3\pi}{2}$$

$$s_1(t) = \sqrt{\frac{2\mathcal{E}_s}{T}} \cos 2\pi f_c t$$

$$s_2(t) = \sqrt{\frac{2\mathcal{E}_s}{T}} \cos(2\pi f_c t + \frac{\pi}{2}) = -\sqrt{\frac{2\mathcal{E}_s}{T}} \sin 2\pi f_c t$$

$$s_3(t) = \sqrt{\frac{2\mathcal{E}_s}{T}} \cos(2\pi f_c t + \pi) = -\sqrt{\frac{2\mathcal{E}_s}{T}} \cos 2\pi f_c t = -s_1(t)$$

$$s_4(t) = \sqrt{\frac{2\mathcal{E}_s}{T}} \cos(2\pi f_c t + \frac{3\pi}{2}) = \sqrt{\frac{2\mathcal{E}_s}{T}} \sin 2\pi f_c t = -s_2(t).$$



$$\theta_1 = \frac{\pi}{4}, \theta_2 = \frac{3\pi}{4}, \theta_3 = \frac{5\pi}{4}, \theta_4 = \frac{7\pi}{4}$$

$$s_1(t) = \sqrt{\frac{2\mathcal{E}_s}{T}} \cos(2\pi f_c t + \frac{\pi}{4}), \quad s_2(t) = \sqrt{\frac{2\mathcal{E}_s}{T}} \cos(2\pi f_c t + \frac{3\pi}{4})$$

$$s_3(t) = \sqrt{\frac{2\mathcal{E}_s}{T}} \cos(2\pi f_c t + \frac{5\pi}{4}), \quad s_4(t) = \sqrt{\frac{2\mathcal{E}_s}{T}} \cos(2\pi f_c t + \frac{7\pi}{4})$$



Αστερισμός-Διαγράμματα I/Q

$$\begin{aligned}s_i(t) &= \sqrt{\frac{2\mathcal{E}_s}{T}} \cos(2\pi f_c t + \theta_i) \\ &= \sqrt{\frac{2\mathcal{E}_s}{T}} \cos \theta_i \cos 2\pi f_c t - \sqrt{\frac{2\mathcal{E}_s}{T}} \sin \theta_i \sin 2\pi f_c t\end{aligned}$$

$$\mathbf{s}_i = \{\sqrt{\mathcal{E}_s} \cos \theta_i, \sqrt{\mathcal{E}_s} \sin \theta_i\}$$

$$\phi_1(t) \rightarrow \mathbf{I}, \phi_2(t) \rightarrow \mathbf{Q}$$

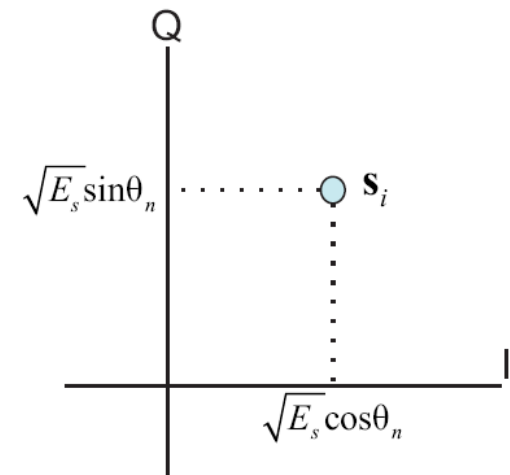
$$\phi_1(t) = \sqrt{\frac{2}{T}} \cos 2\pi f_c t, \phi_2(t) = -\sqrt{\frac{2}{T}} \sin 2\pi f_c t.$$



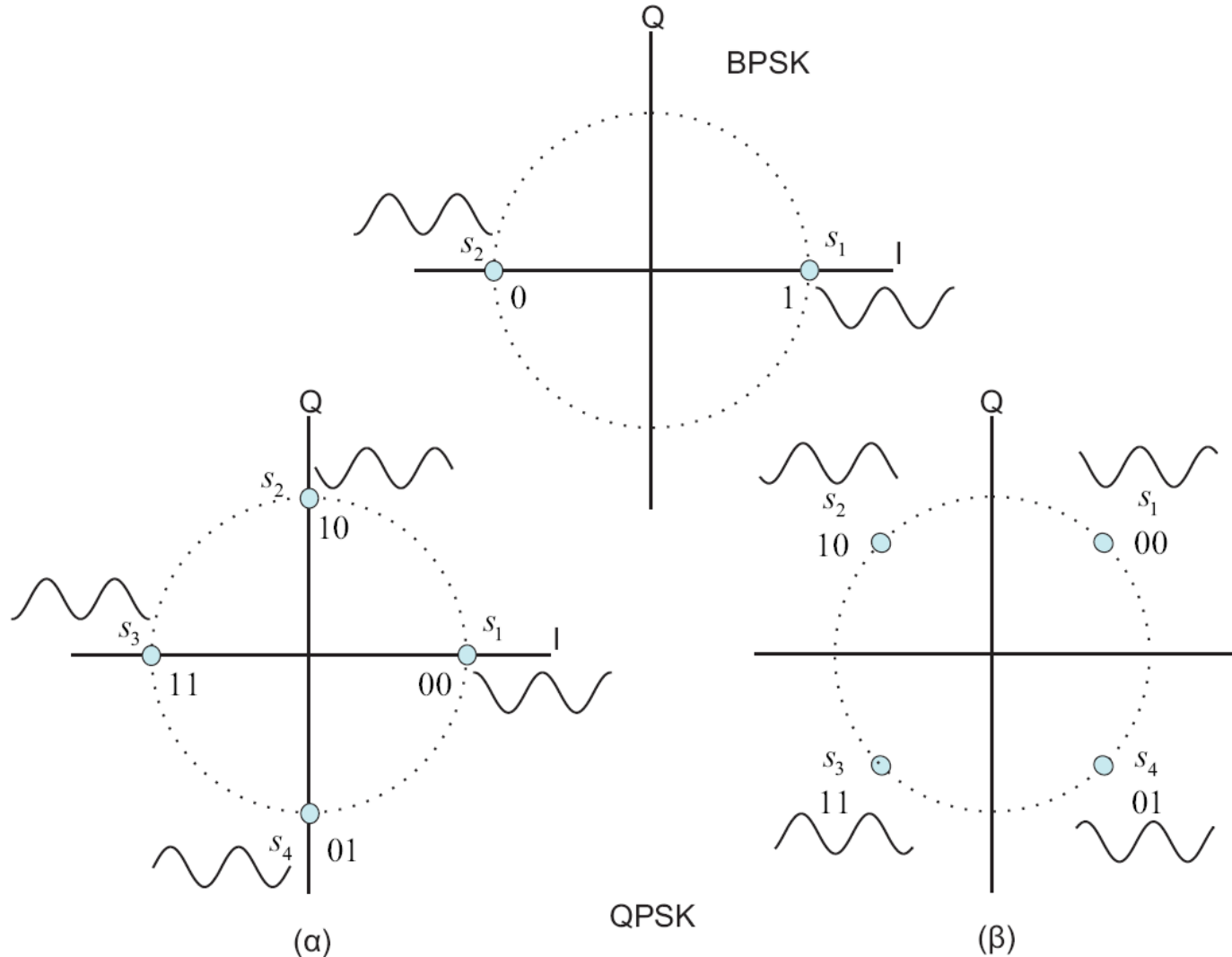
$$s_i(t) = \sqrt{\mathcal{E}_s} \cos \theta_i \times \phi_1(t) + \sqrt{\mathcal{E}_s} \sin \theta_i \times \phi_2(t).$$

$$d_{\mathbf{s}_i, \mathbf{s}_j} = \sqrt{\|\mathbf{s}_i - \mathbf{s}_j\|^2} = \sqrt{2\mathcal{E}_s \left(1 - \cos \frac{2\pi}{M}(i - j)\right)}.$$

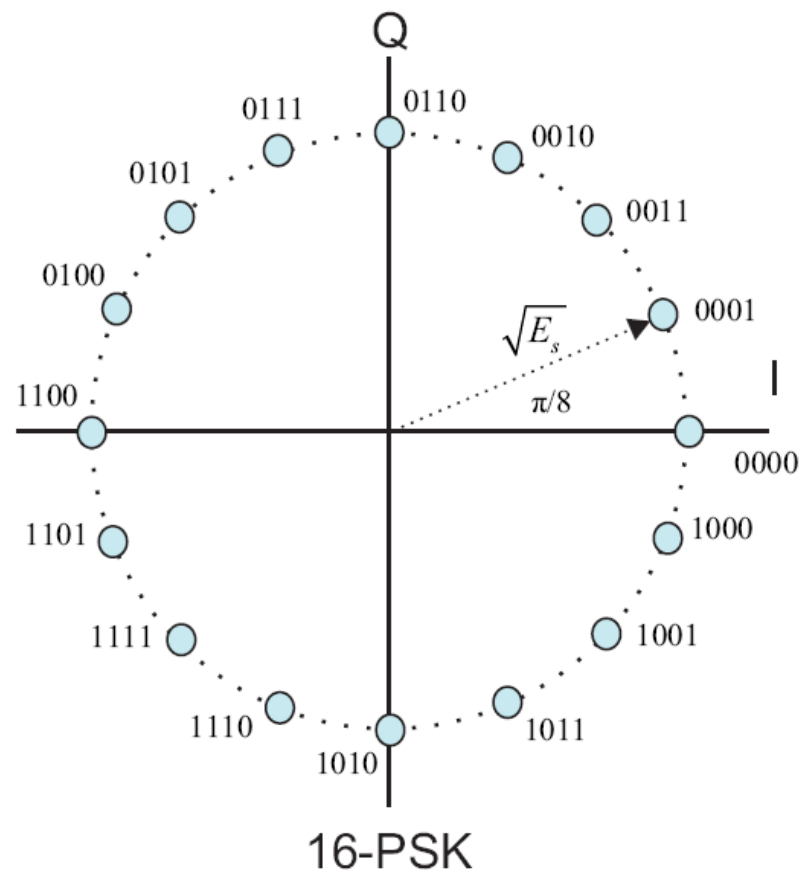
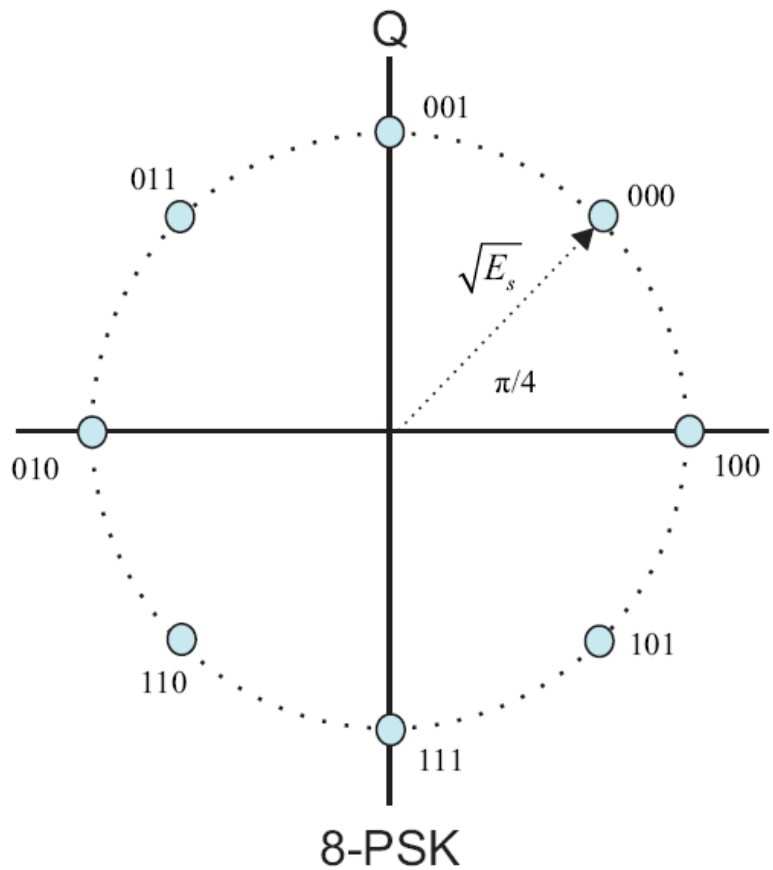
$$d_{min} = \sqrt{2\mathcal{E}_s \left(1 - \cos \frac{2\pi}{M}\right)} = 2\sqrt{\mathcal{E}_s} \sin \frac{\pi}{M}$$



Αστερισμοί MPSK (1/2)



Αστερισμοί MPSK (2/2)

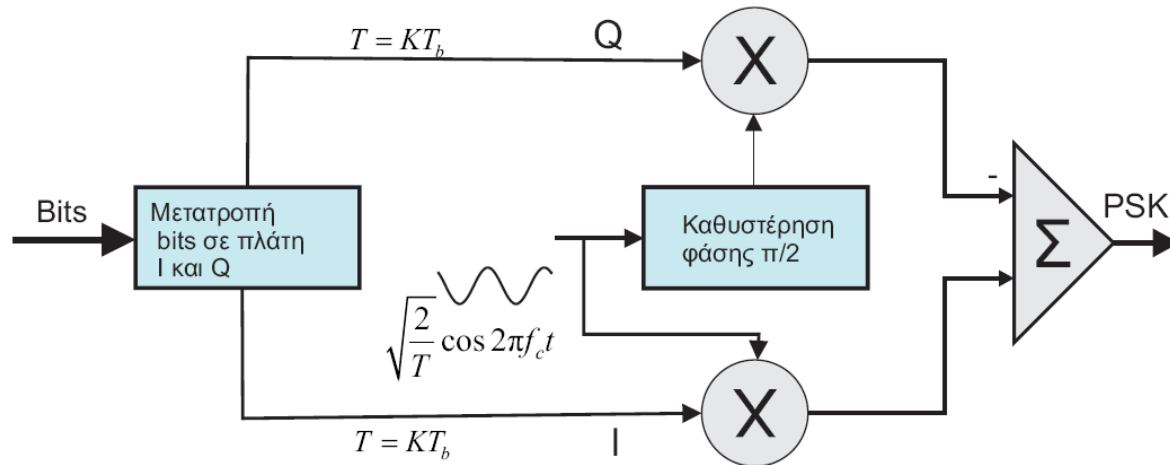


Περιεχόμενα ενότητας

- ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΠΑΛΜΩΝ ΚΑΤΑ ΠΛΑΤΟΣ
- ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΘΕΣΗΣ ΠΑΛΜΟΥ
- ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΟΛΙΣΘΗΣΗΣ ΦΑΣΗΣ
- ΔΙΑΜΟΡΦΩΤΕΣ I/Q



Διαμορφωτές I/Q (1/4)

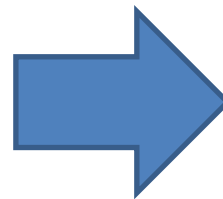
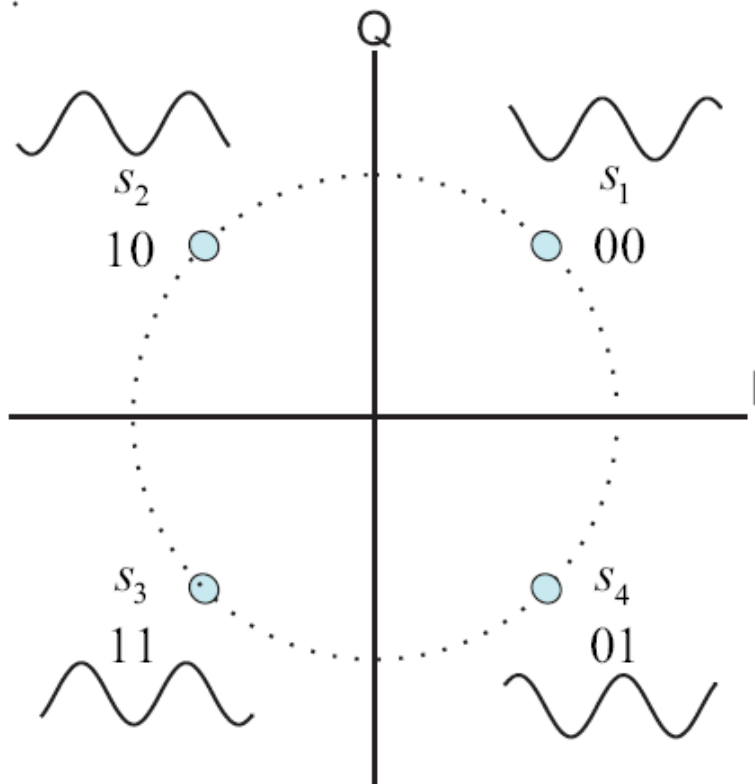


- Για όλα τα σημεία του αστερισμού καταγράφονται σε πίνακα οι συνιστώσες I και Q.
- Η ακολουθία των bits πληροφορίας χωρίζεται σε δύο ομάδες των K bits για κάθε μία από τις οποίες παράγονται οι συνιστώσες I και Q, με βάση τον προηγούμενο πίνακα.
- Τα δύο διαμορφωμένα κατά πλάτος σήματα προστίθενται μέσω ενός αθροιστή και ή έξοδος αυτού είναι το διαμορφωμένο σήμα.

Διαμορφωτές I/Q (2/4)

$\mathbf{a} = \{111001001111\}$

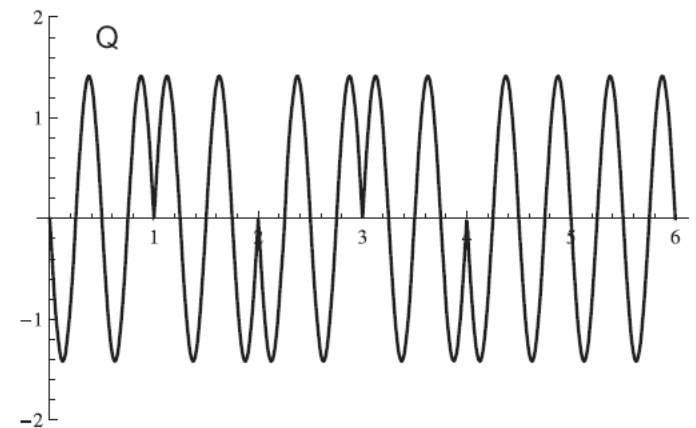
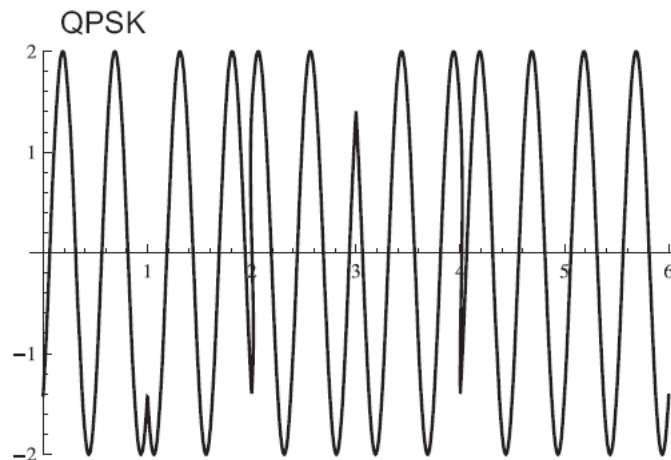
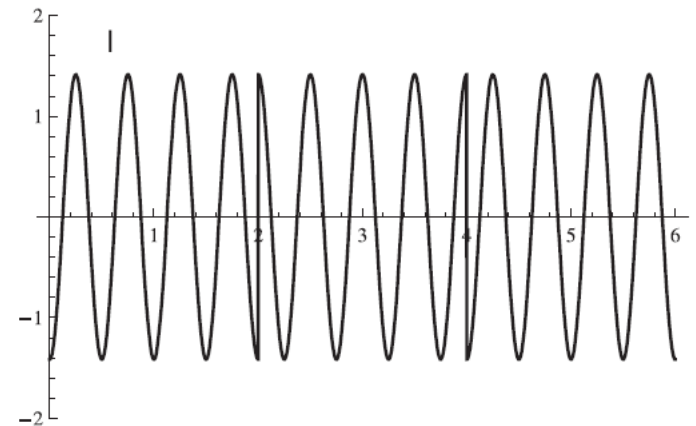
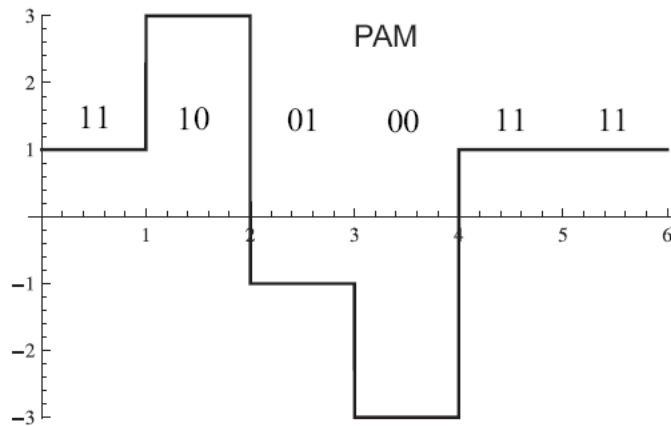
$$\mathbf{s}_i = \{\sqrt{\mathcal{E}_s} \cos \theta_i, \sqrt{\mathcal{E}_s} \sin \theta_i\}$$



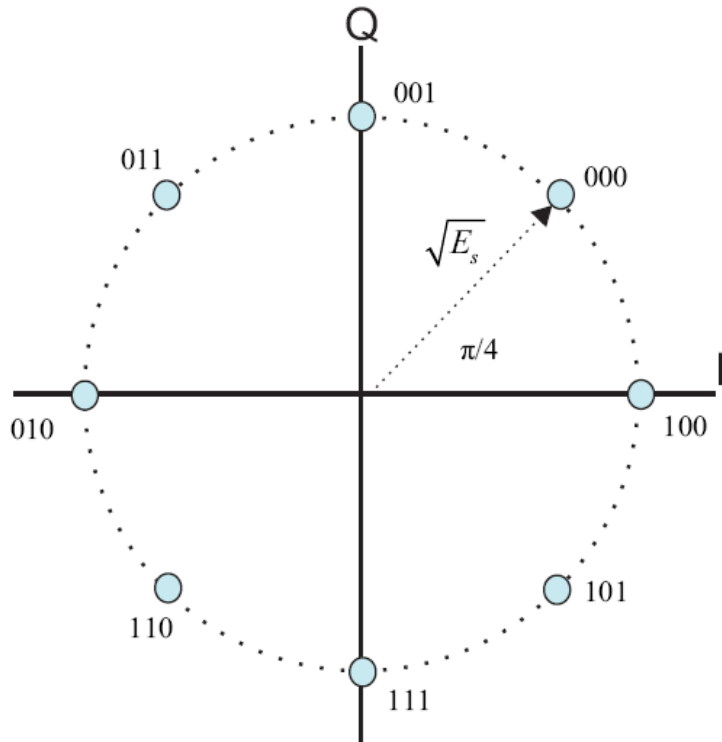
	I	Q
00	$\frac{\sqrt{2\mathcal{E}_s}}{2}$	$\frac{\sqrt{2\mathcal{E}_s}}{2}$
01	$\frac{\sqrt{2\mathcal{E}_s}}{2}$	$-\frac{\sqrt{2\mathcal{E}_s}}{2}$
11	$-\frac{\sqrt{2\mathcal{E}_s}}{2}$	$-\frac{\sqrt{2\mathcal{E}_s}}{2}$
10	$-\frac{\sqrt{2\mathcal{E}_s}}{2}$	$\frac{\sqrt{2\mathcal{E}_s}}{2}$

Διαμορφωτές I/Q (3/4)

$a = \{111001001111\}$



Διαμορφωτές I/Q (4/4)

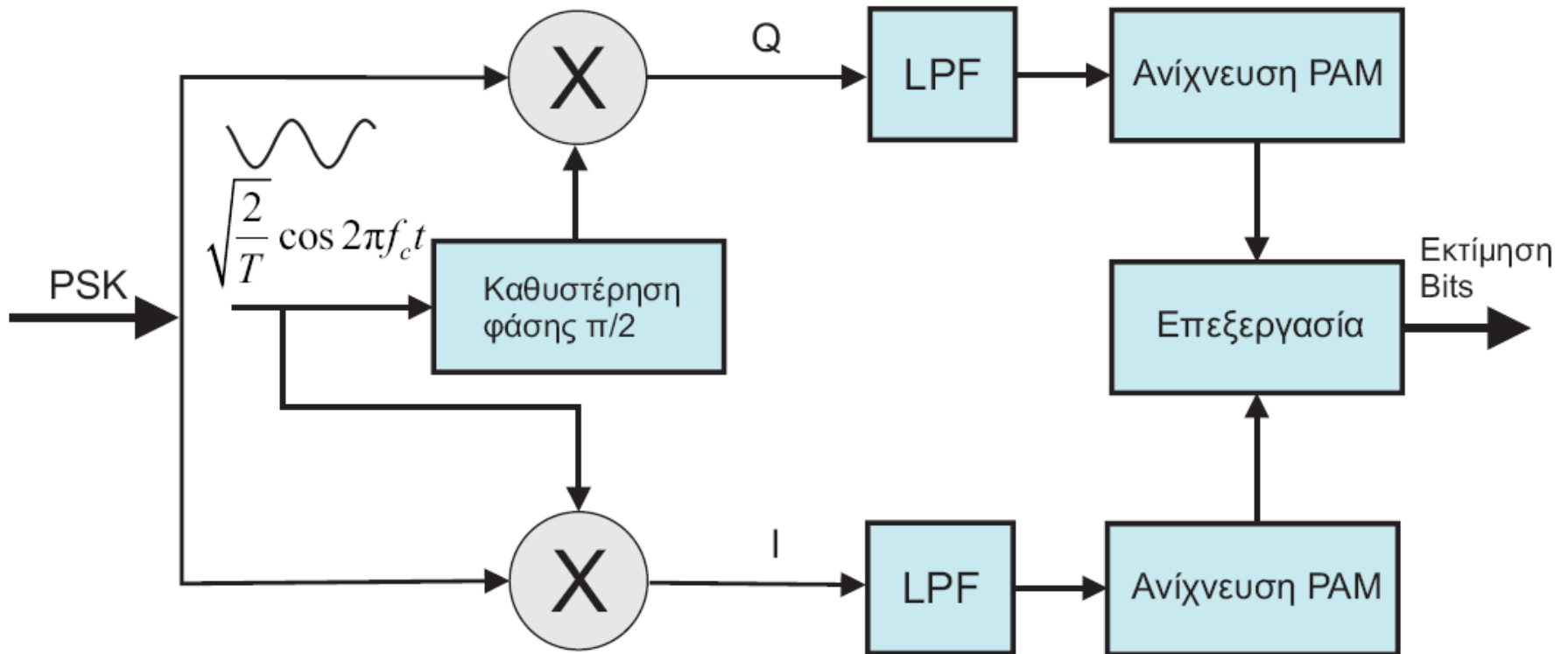


Συνιστώσες I και Q 8-PSK αστερισμού

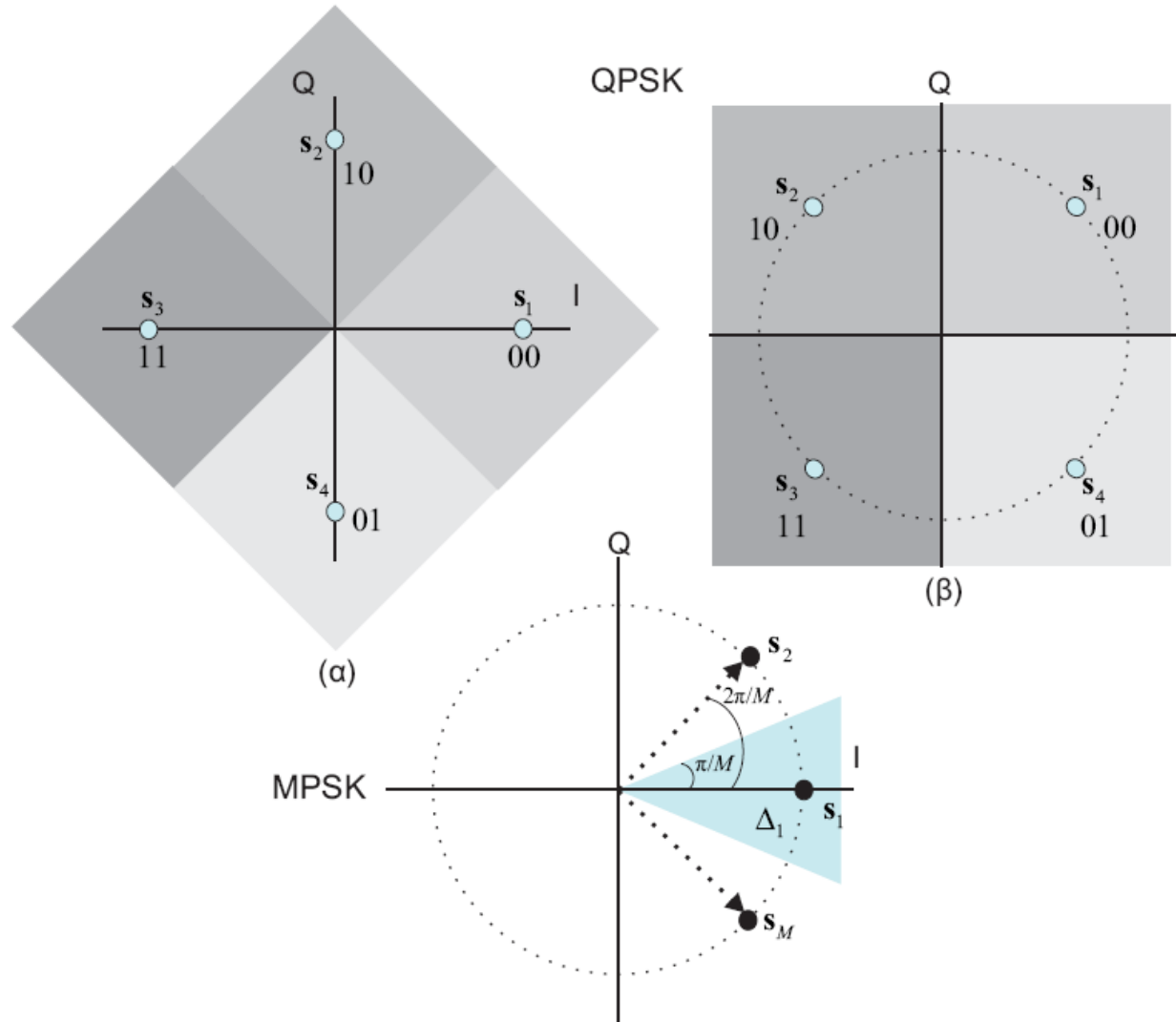
	000	001	011	010	110	111	101	100
I	$\frac{\sqrt{2E_s}}{2}$	0	$-\frac{\sqrt{2E_s}}{2}$	$-\sqrt{E_s}$	$-\frac{\sqrt{2E_s}}{2}$	0	$\frac{\sqrt{2E_s}}{2}$	$\sqrt{E_s}$
Q	$\frac{\sqrt{2E_s}}{2}$	$\sqrt{E_s}$	$\frac{\sqrt{2E_s}}{2}$	0	$-\frac{\sqrt{2E_s}}{2}$	$-\sqrt{E_s}$	$-\frac{\sqrt{2E_s}}{2}$	0



Αποδιαμόρφωση-Ανίχνευση



Περιοχές Απόφασης



Πιθανότητα σφάλματος (1/2)

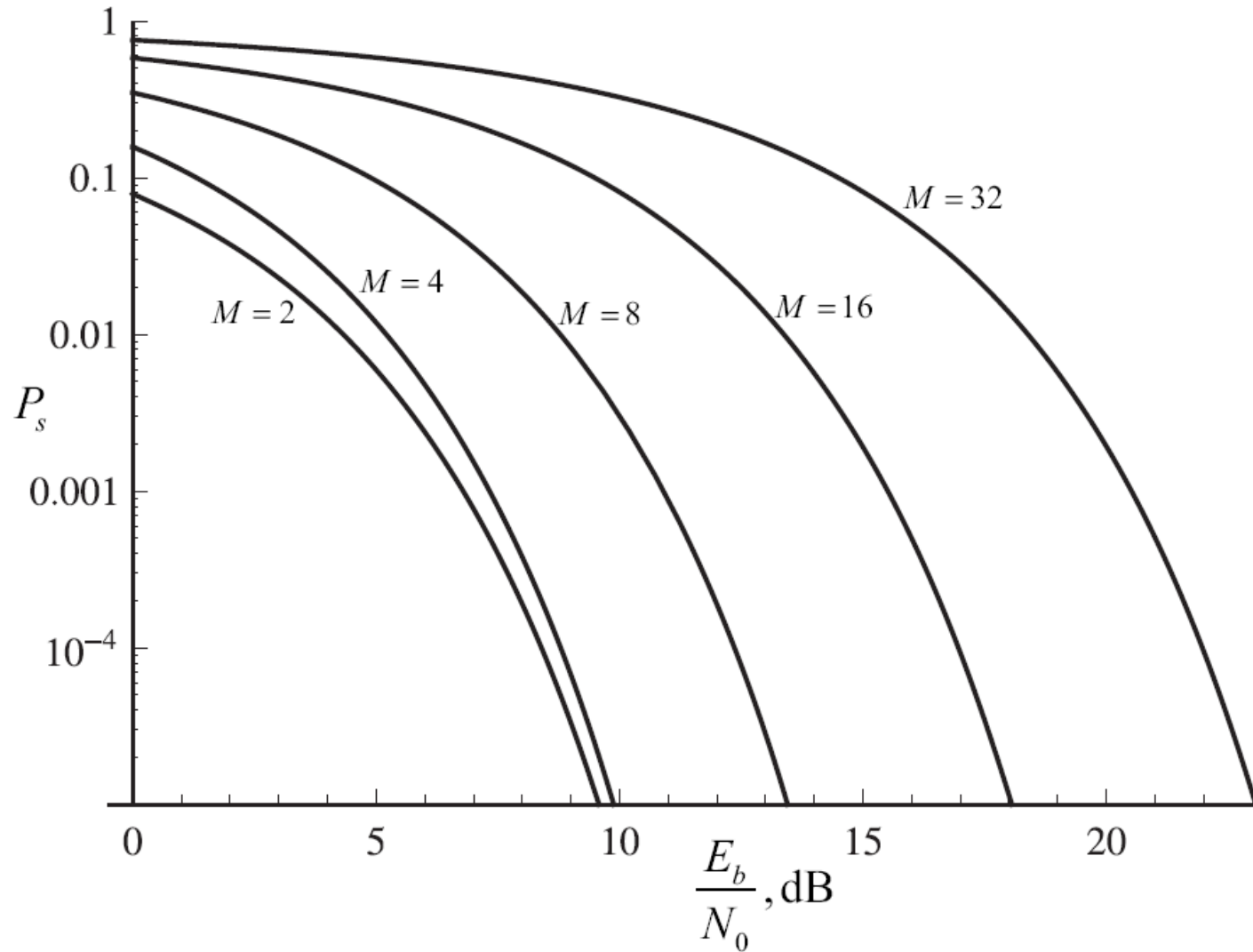
$$P_{b,BPSK} = P_{b,BPAM} = Q \left(\sqrt{\frac{2\mathcal{E}_b}{N_0}} \right)$$

$$\begin{aligned} P_{s,QPSK} &= 1 - (1 - P_{b,I})(1 - P_{b,Q}) \\ &= 1 - \left[1 - Q \left(\sqrt{\frac{2\mathcal{E}_b}{N_0}} \right) \right] \left[1 - Q \left(\sqrt{\frac{2\mathcal{E}_b}{N_0}} \right) \right] \\ &= 2Q \left(\sqrt{\frac{2\mathcal{E}_b}{N_0}} \right) - Q^2 \left(\sqrt{\frac{2\mathcal{E}_b}{N_0}} \right) \end{aligned}$$

$$P_{s,M-PSK} \approx 2Q \left(\sqrt{\frac{2\mathcal{E}_s}{N_0}} \sin \frac{\pi}{M} \right) \quad M > 4$$

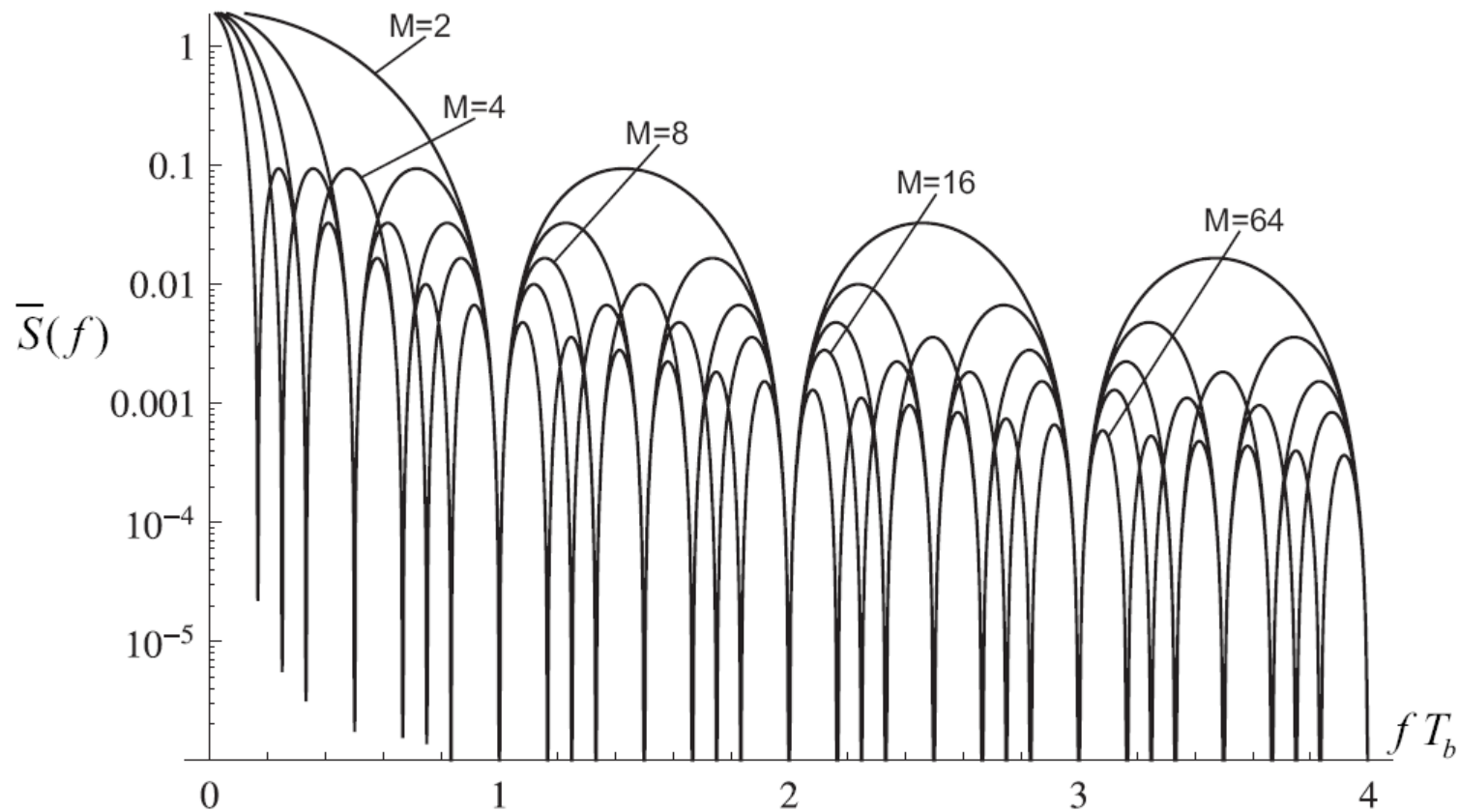


Πιθανότητα σφάλματος (2/2)



Φασματική Πυκνότητα Ισχύος

$$\bar{S}(f) = 2\mathcal{E}_s \text{sinc}^2 fT = 2\mathcal{E}_s \text{sinc}^2 fKT_b$$



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 12: Ψηφιακή Διαμόρφωση – Μέρος Β΄**». 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 5-7, 10-15, 17, 21, 23-25, 27, 32, και 34-35 προέρχονται από το σύγγραμμα του μαθήματος “Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα”, Εκδόσεις Τζιόλα, μετά από άδεια του συγγραφέα Καθ. Γ. Καραγιαννίδη.

