

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ



ΤΜΗΜΑ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

Κ 17 – Επικοινωνίες II Χειμερινό Εξάμηνο

Διάλεξη 14^η

Νικόλαος Χ. Σαγιάς
Επίκουρος Καθηγητής

Webpage: <http://eclass.uop.gr/courses/TST215>

e-mail: nsagias@uop.gr

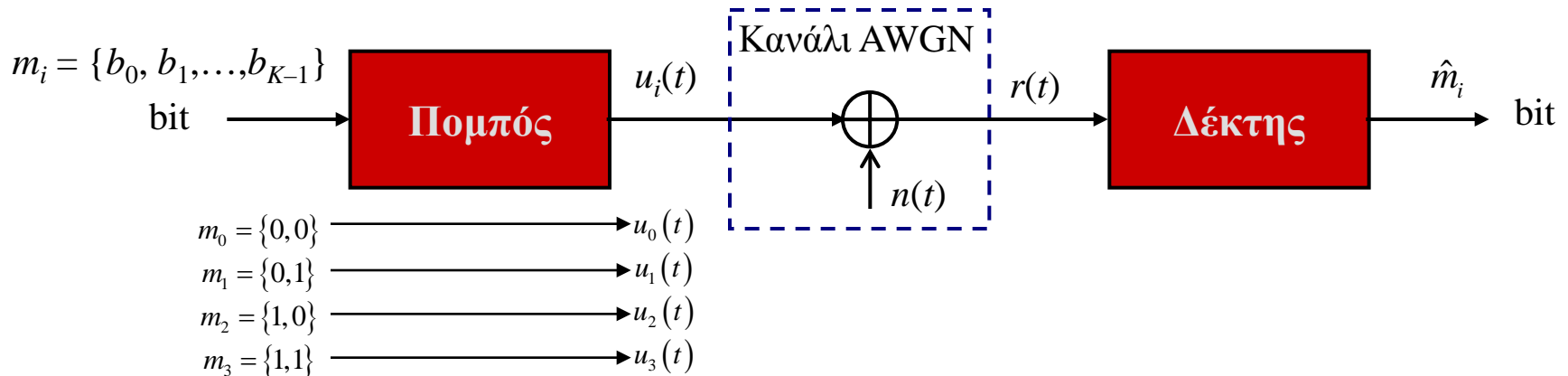
Περιεχόμενα Μαθήματος “Επικοινωνίες II”

- Εισαγωγή στα σήματα
- Δειγματοληψία
 - Ιδανική
 - Πρακτική
- Κβάντιση
 - Ομοιόμορφη
 - Ανομοιόμορφη
 - Διαφορική
- Κωδικοποίηση
- Παλμοκωδική διαμόρφωση
 - Διαφορική παλμοκωδική διαμόρφωση
 - Δέλτα διαμόρφωση
 - Προσαρμοστική δέλτα διαμόρφωση
 - Σίγμα-Δέλτα διαμόρφωση
- Σύγκριση συστημάτων
- Πολυπλεξία με διαίρεση χρόνου
- Διαμόρφωση βασικής ζώνης
 - Διαμόρφωση πλάτους παλμών (PAM)
 - Διαμόρφωση θέσης παλμών (PPM)
- Άλγεβρα σημάτων
- Δέκτες
 - Αποδιαμορφωτές
 - Ανιχνευτές
- Επιδόσεις συστημάτων PAM και PPM
- Σύγκριση συστημάτων
- Κανάλια περιορισμένου εύρους ζώνης
 - Διασυμβολική παρεμβολή
 - Διάγραμμα οφθαλμού
 - Σχεδίαση άριστων φίλτρων
 - Επιδόσεις συστήματος PAM
- Διαμόρφωση διέλευσης ζώνης
 - Σύμφωνο ASK, PSK, FSK
 - Ασύμφωνο PSK, FSK

Διαμόρφωση με Φέρον

- Σε κανάλια μετάδοσης με φασματικά χαρακτηριστικά χαμηλοπερατού φίλτρου μεταδίδονται ψηφιακά διαμορφωμένα σήματα βασικής ζώνης
- Υπάρχουν κανάλια μετάδοσης με φασματικά χαρακτηριστικά φίλτρου διέλευσης ζώνης (*bandpass*), όπως π.χ.
 - Κανάλια ραδιοζεύξεων
 - Κανάλια δορυφορικών επικοινωνιών
 - Κανάλια κινητής τηλεφωνίας
- Τα ψηφιακά σήματα πρέπει να διαμορφωθούν από ένα φέρον (*carrier*), ώστε να είναι δυνατή η μετάδοση μέσα από κανάλι διέλευσης ζώνης
- Η χρήση του φέροντος ολισθαίνει το φασματικό περιεχόμενο του σήματος στη φασματική περιοχή όπου το κανάλι επιτρέπει τη μετάδοση

Διαμόρφωση με Φέρον



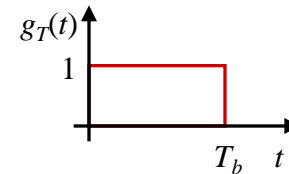
- Έστω M μηνύματα, m_i ($i = 0, 1, \dots, M-1$), το καθένα αποτελούμενο από $K = \log_2(M)$ bit
- Ο αριθμός M ονομάζεται τάξη της διαμόρφωσης (*modulation order*)
- Τα bit της πηγής είναι ισοπίθανα και συνεπώς τα m_i έχουν ίδια πιθανότητα εμφάνισης
- Ο πομπός απεικονίζει το κάθε μήνυμα σε ένα M -ιαδικό σύμβολο, $u_i(t)$
- Το κανάλι αλλοιώνει τα εκπεμπόμενα σύμβολα
- Ο δέκτης πρέπει να αναγνωρίσει ποιο ανάμεσα από τα M πιθανά σύμβολα εκπέμφθηκε

Διαμόρφωση ASK

- Στο δυαδικό PAM η πληροφορία “κρύβεται” στο πλάτος των συμβόλων
- Χρησιμοποιούνται παλμοί, $g_T(t)$, διάρκειας T_b :

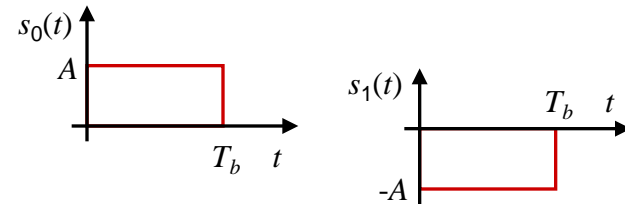
- Για το bit “1”, κυματομορφή:

$$s_0(t) = A g_T(t), \quad 0 \leq t < T_b$$

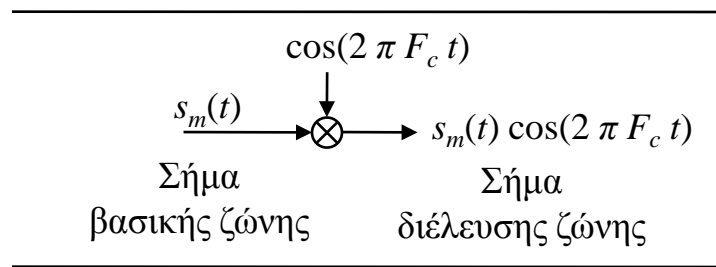


- Για το bit “0”, κυματομορφή:

$$s_1(t) = -A g_T(t), \quad 0 \leq t < T_b$$

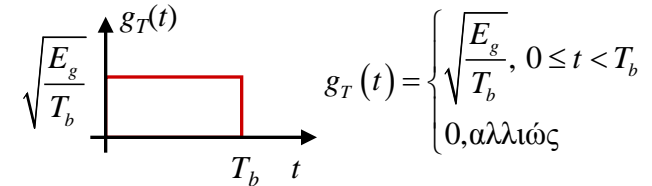


- Η ολίσθηση του φάσματος του σήματος PAM εύρους ζώνης B_w πραγματοποιείται με τον πολλαπλασιασμό του με ημιτονοειδές φέρον συχνότητας $F_c \gg B_w$



Διαμόρφωση ASK

Δυαδικά σύμβολα ASK (amplitude-shift keying):



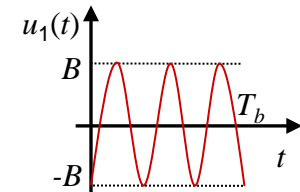
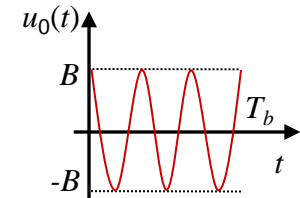
- Στο ASK η πληροφορία “κρύβεται” στο πλάτος των συμβόλων
- Χρησιμοποιούνται τετραγωνικοί παλμοί, $g_T(t)$, διάρκειας T_b
- Το ASK προκύπτει από το PAM βασικής ζώνης:

- Για το bit “1”, κυματομορφή:

$$u_0(t) = s_0(t) \cos(2\pi F_c t) = B \cos(2\pi F_c t), \quad 0 \leq t < T_b$$

- Για το bit “0”, κυματομορφή:

$$u_1(t) = -B \cos(2\pi F_c t), \quad 0 \leq t < T_b$$

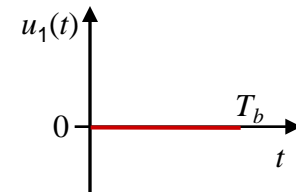
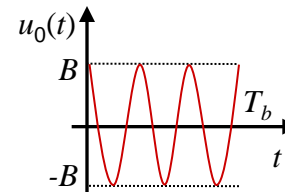


με $B = A \sqrt{E_g/T_b}$

- Παραλλαγή αποτελεί η διαμόρφωση ASK που προκύπτει από PAM τύπου on/off με δυαδικά σύμβολα:

$$u_0(t) = B \cos(2\pi F_c t), \quad 0 \leq t < T_b$$

$$u_1(t) = 0, \quad 0 \leq t < T_b$$

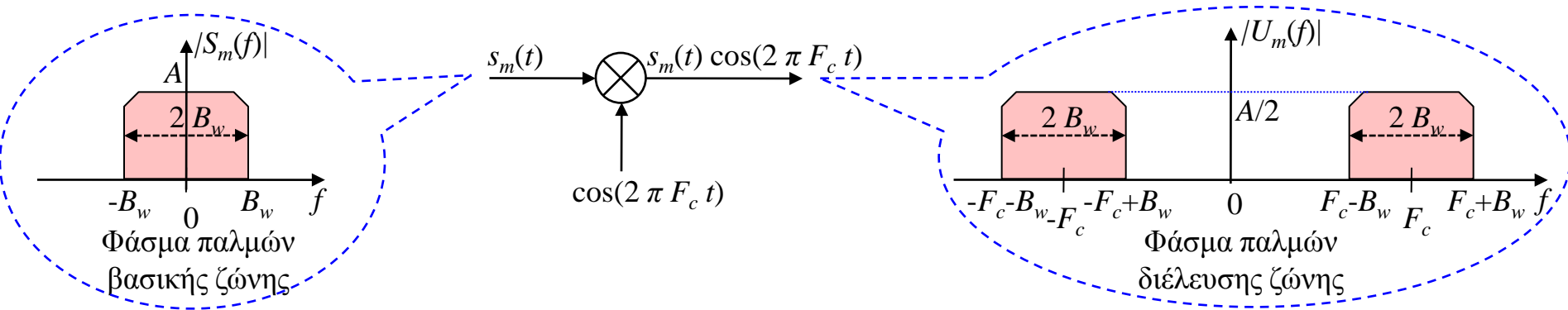


Διαμόρφωση ASK

Φάσματα σημάτων βασικής και διέλευσης ζώνης:

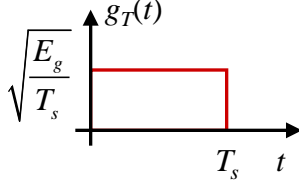
- Ο μετασχηματισμός Fourier του $S_m(f) = F\{s_m(t)\} = A G_T(f)$
- Ο μετασχηματισμός Fourier του $u_m(t)$ είναι

$$\begin{aligned}
 U_m(f) &= F\{u_m(t)\} = F\{s_m(t)\cos(2\pi F_c t)\} = F\left\{s_m(t)\frac{\exp(j2\pi F_c t) + \exp(-j2\pi F_c t)}{2}\right\} = \\
 &= \frac{A}{2}F\{g_T(t)\exp(j2\pi F_c t) + g_T(t)\exp(-j2\pi F_c t)\} = \\
 &= \frac{A}{2}[G_T(f - F_c) + G_T(f + F_c)]
 \end{aligned}$$



Διαμόρφωση ASK

- Για το M -ιαδικό ASK χρησιμοποιούνται τετραγωνικοί παλμοί, $g_T(t)$, διάρκειας T_s

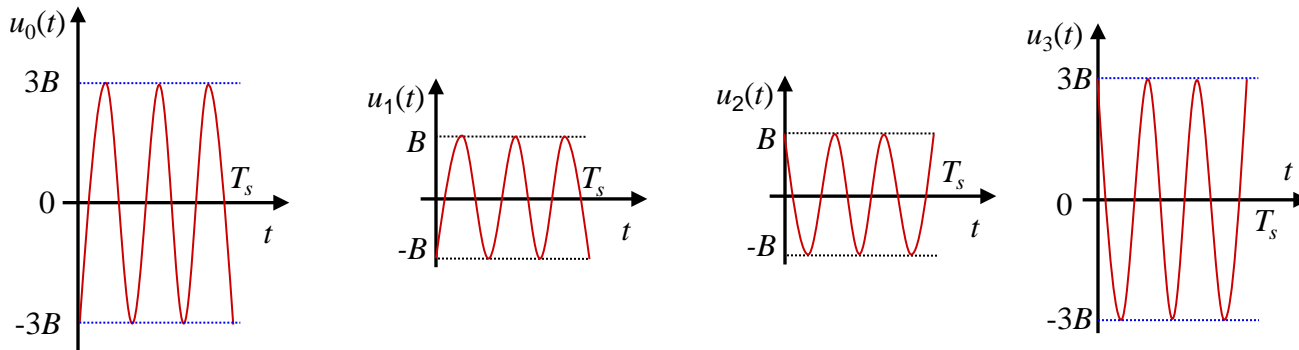


$$g_T(t) = \begin{cases} \sqrt{\frac{E_g}{T_s}}, & 0 \leq t < T_s \\ 0, & \text{αλλιώς} \end{cases}$$

- Τα M -ιαδικά σύμβολα ASK μπορούν να αναπαρασταθούν ως

$$u_m(t) = s_m(t) \cos(2\pi F_c t) = B_m \cos(2\pi F_c t), \quad 0 \leq t < T_s$$

$$\text{με } B_m = A_m \sqrt{E_g/T_s} \text{ και } A_m = A(2m + 1 - M), \quad m = 0, 1, \dots, M-1$$



Σύμβολα τετραδικού ASK ($M=4$) (με $E_g/T_s = 1$ και $B = A\sqrt{E_g/T_s}$)

Διαμόρφωση ASK

- Η ενέργεια ανά σύμβολο ASK είναι

$$\begin{aligned} E_m &= \int_0^{T_s} u_m^2(t) dt = \int_0^{T_s} s_m^2(t) \cos^2(2\pi F_c t) dt = \\ &= \int_0^{T_s} s_m^2(t) \frac{1 + \cos(4\pi F_c t)}{2} dt = \frac{A_m^2}{2} \int_0^{T_s} g_T^2(t) dt = \frac{A_m^2}{2} E_g \end{aligned}$$

- Ο ρυθμός μετάδοσης των συμβόλων ASK είναι

$$R_s = \frac{1}{T_s} = \frac{1}{K T_b} = \frac{R_b}{K}$$

με $K = \log_2(M)$ τον αριθμό των bit που μεταφέρει κάθε σύμβολο

- Ο ρυθμός μετάδοσης συμβόλων είναι K φορές μικρότερος από το ρυθμό μετάδοσης bit, R_b
- Επίσης

$$T_s = K T_b$$

δηλαδή η διάρκεια κάθε συμβόλου είναι K φορές μεγαλύτερη από τη διάρκεια ενός bit, T_b

Διαμόρφωση ASK

- Δεδομένου ότι το ASK προκύπτει από το PAM χρησιμοποιώντας ένα ημιτονοειδές φέρον, η γεωμετρική αναπαράσταση του PAM διατηρείται και στο ASK
- Συνεπώς η διάσταση του χώρου των σημάτων είναι $N = 1$, με ως μοναδικό μέλος της ορθοκανονικής βάσης την

$$\psi_0(t) = \sqrt{\frac{2}{T_s}} \cos(2\pi F_c t)$$

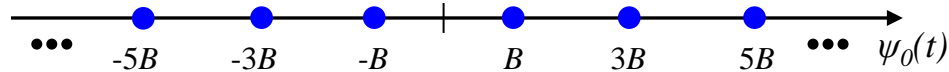
- Η κυματομορφή του M -ιαδικού ASK εκφράζεται ως προς τη βάση την $\psi_0(t)$

$$u_m(t) = s_m \psi_0(t)$$

με

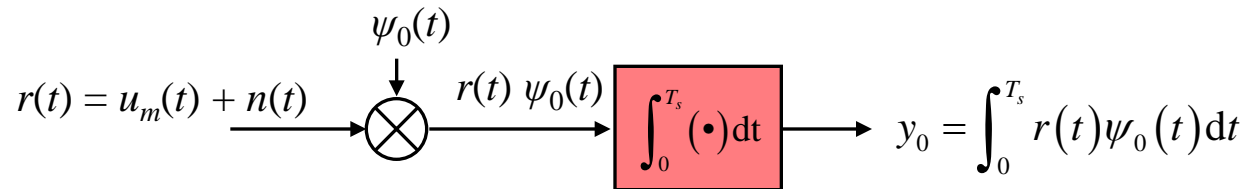
$$s_m = \sqrt{\frac{E_s}{2}} A_m = B_m$$

- Το διάγραμμα αστερισμού να είναι ίδιο με του M -ιαδικού PAM

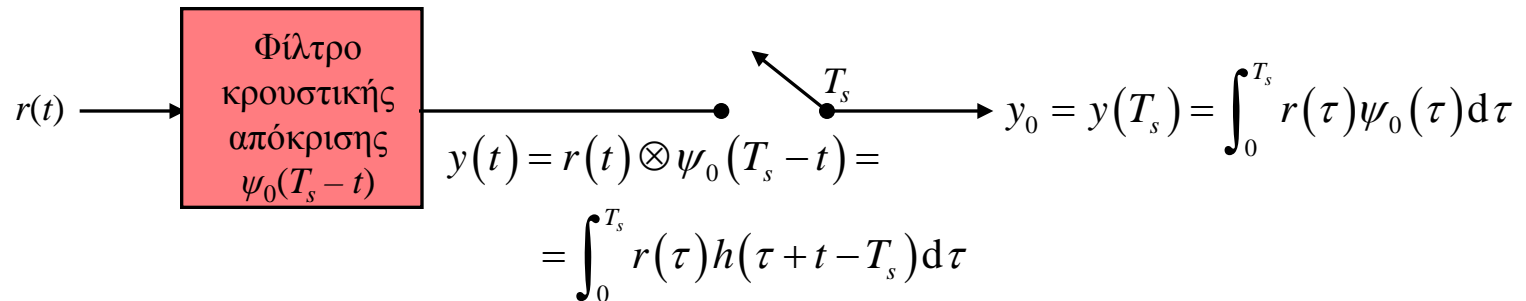


Διαμόρφωση ASK

- Δεδομένου ότι η διάσταση της ορθοκανονικής βάσης είναι $N = 1$ με συνάρτηση βάσης την $\psi_0(t)$, ο αποδιαμορφωτής θα αποτελείται μόνον από ένα συσχετιστή



- Ο αποδιαμορφωτής υλοποίησης με προσαρμοσμένο φίλτρο είναι όπως παρακάτω



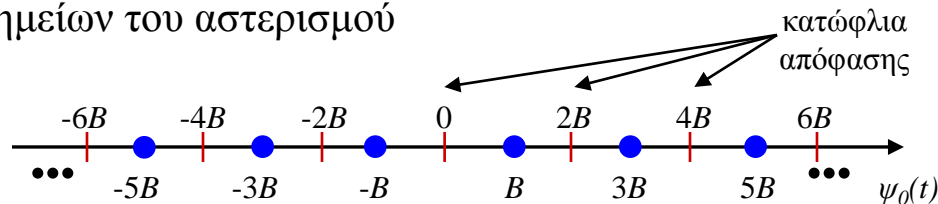
- Δηλαδή η έξοδος του προσαρμοσμένου φίλτρου είναι ίδια με του συσχετιστή

Διαμόρφωση ASK

- Το σήμα μετά τον συσχετιστή είναι

$$\begin{aligned}
 y_0 &= \int_0^{T_s} [u_m(t) + n(t)] \psi_0(t) dt = \int_0^{T_s} [s_m \psi_0(t) + n(t)] \psi_0(t) dt = s_m \int_0^{T_s} \psi_0^2(t) dt + \int_0^{T_s} \psi_0(t) n(t) dt = \\
 &= s_m \frac{2}{E_g} \int_0^{T_s} g_T^2(t) \cos^2(2\pi F_c t) dt + \underbrace{\sqrt{\frac{2}{E_g}} \int_0^{T_s} g_T(t) \cos(2\pi F_c t) n(t) dt}_{n'} = \\
 &= s_m \frac{\cancel{2}}{E_g} \int_0^{T_s} \left(\sqrt{\frac{E_g}{T_s}} \right)^2 \frac{\cos(4\pi F_c t) + 1}{\cancel{2}} dt + n' = \frac{s_m}{T_s} \left[\underbrace{\int_0^{T_s} \cos(4\pi F_c t) dt}_0 + \int_0^{T_s} 1 dt \right] + n' = s_m + n'
 \end{aligned}$$

- Άρα, το σήμα στην είσοδο του ανιχνευτή έχει παρόμοια μορφή με αυτό του PAM
- Στο M -ιαδικό ASK τα κατώφλια απόφασης του ανιχνευτή τοποθετούνται στο ενδιάμεσο μεταξύ των σημείων του αστερισμού



π.χ. αν η έξοδος του αποδιαμορφωτή είναι μεταξύ 0 και $2B$, ο ανιχνευτής αποφασίζει ότι το σύμβολο που εκπέμφθηκε ήταν αυτό με πλάτος $+B$

Διαμόρφωση ASK

- Αποδεικνύεται ότι το ASK και το PAM έχουν ακριβώς την ίδια πιθανότητα σφάλματος
- Διαδικό ASK: Η πιθανότητα σφάλματος bit δίδεται από τη σχέση

$$P_{be} = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right)$$

- M-ιαδικό ASK: Η πιθανότητα σφάλματος συμβόλου δίδεται από τη σχέση

$$P_{se} = 2\frac{M-1}{M}Q\left[\sqrt{6\frac{\log_2(M) E_b}{M^2-1 N_0}}\right]$$

Διαμόρφωση ASK

