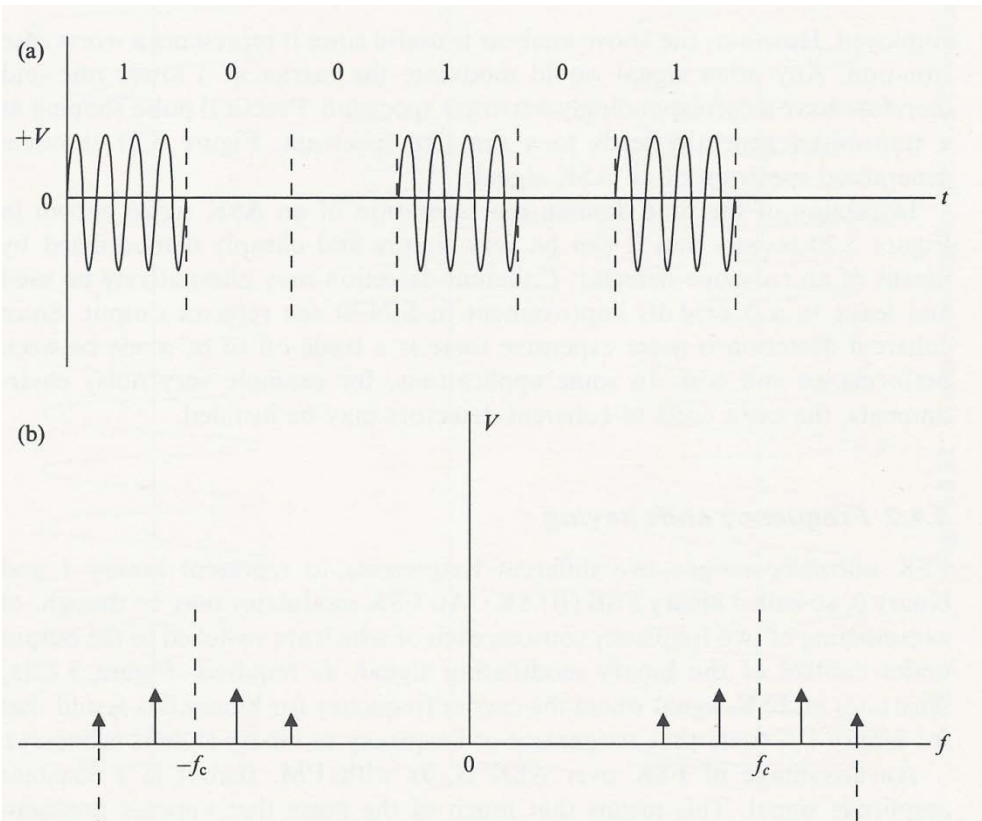


# Ψηφιακές Διαμορφώσεις

## Μετάδοση με Διαμορφωμένο Φορέα

- Μετάδοση βασικής ζώνης μέχρι 20 km (ομιλία, 300 – 3400 Hz, δεν μπορεί να μεταδοθεί)
- Χρησιμοποιούνται (συν)ημιτονικοί φορείς. Οι παράμετροι των φορέων (πλάτος, συχνότητα, φάση) διαμορφώνονται (are modulated/keyed) από το ψηφιακό (πληροφοριακό) σήμα, που θέλουμε να μεταδώσουμε.
- Επικρατεί ο όρος keyed, από την χειροκίνητη τηλεγραφία (keying in marks and spaces).
- Οι αναλογικές διαμορφώσεις AM, FM, PM, μετονομάζονται σε:  
Amplitude Shift Keying (**ASK**) ή On-Off keying (**OOK**)  
Frequency Shift Keying (**FSK**)  
Phase Shift Keying (**PSK**)
- Δημιουργούνται επιπρόσθετες διαμορφώσεις με συνδυασμό των ανωτέρω.  
Π.χ. Quaternary (ή Quadrature) Phase Shift Keying (**QPSK**).  
Ορθογώνια διαμόρφωση πλάτους (Quadrature Amplitude modulation - **QAM**)

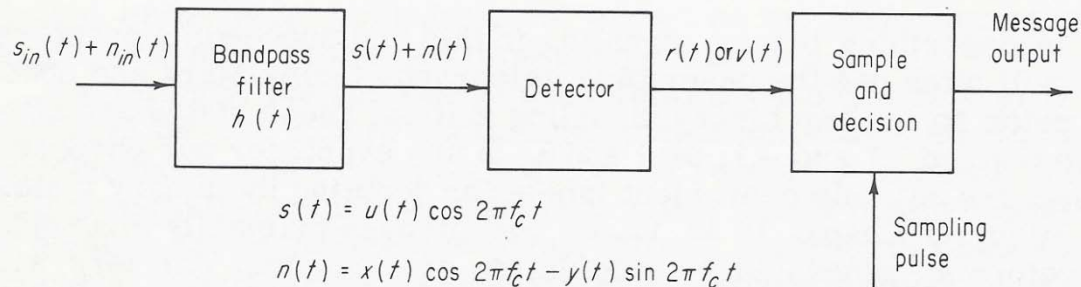
# Ψηφιακές Διαμορφώσεις ASK (OOK)



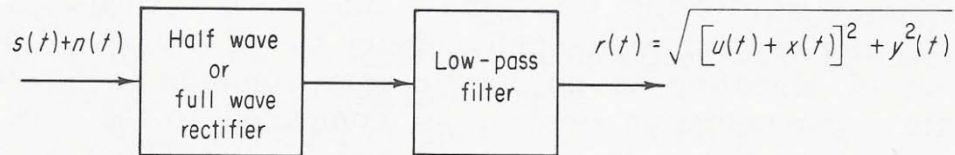
$u(t) \cos(2\pi f_c t + \phi)$  για το λογικό 1  
0 για το λογικό 0

Για μετάδοση στοιχείων με ρυθμό  $1/T$  ( $T$  η διάρκεια 1 bit), που απαιτείται ζώνη  $f_N$  τουλάχιστον  $1/(2T)$  για το σήμα βασικής ζώνης, για το ASK σήμα απαιτείται ζώνη  $2f_N$ .

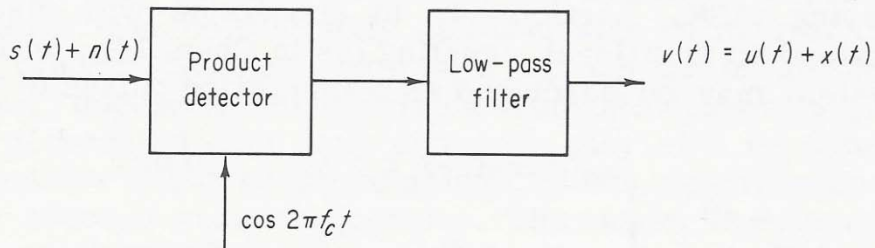
# ASK - OOK



(a) Elements of a simple receiver



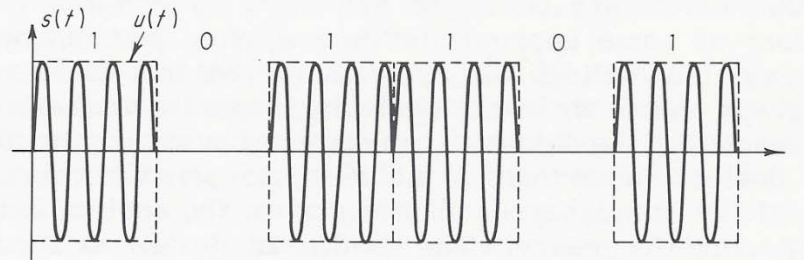
(b) Noncoherent (envelope) detector



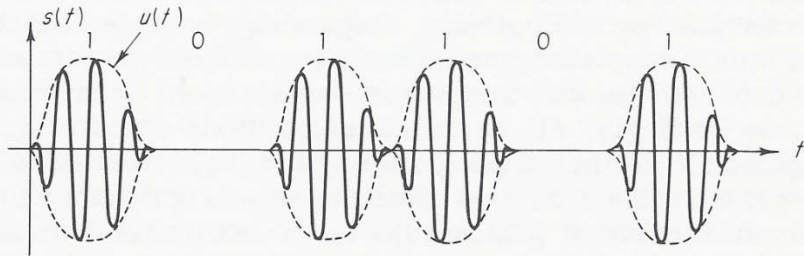
(c) Coherent (synchronous) detector

Fig. 10-1 Elements of a binary digital receiver.

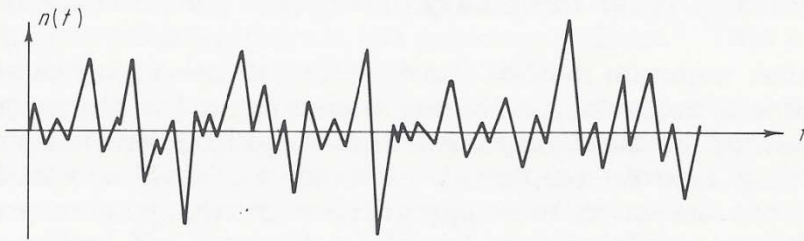
# ASK - OOK



(a) Rectangular pulses



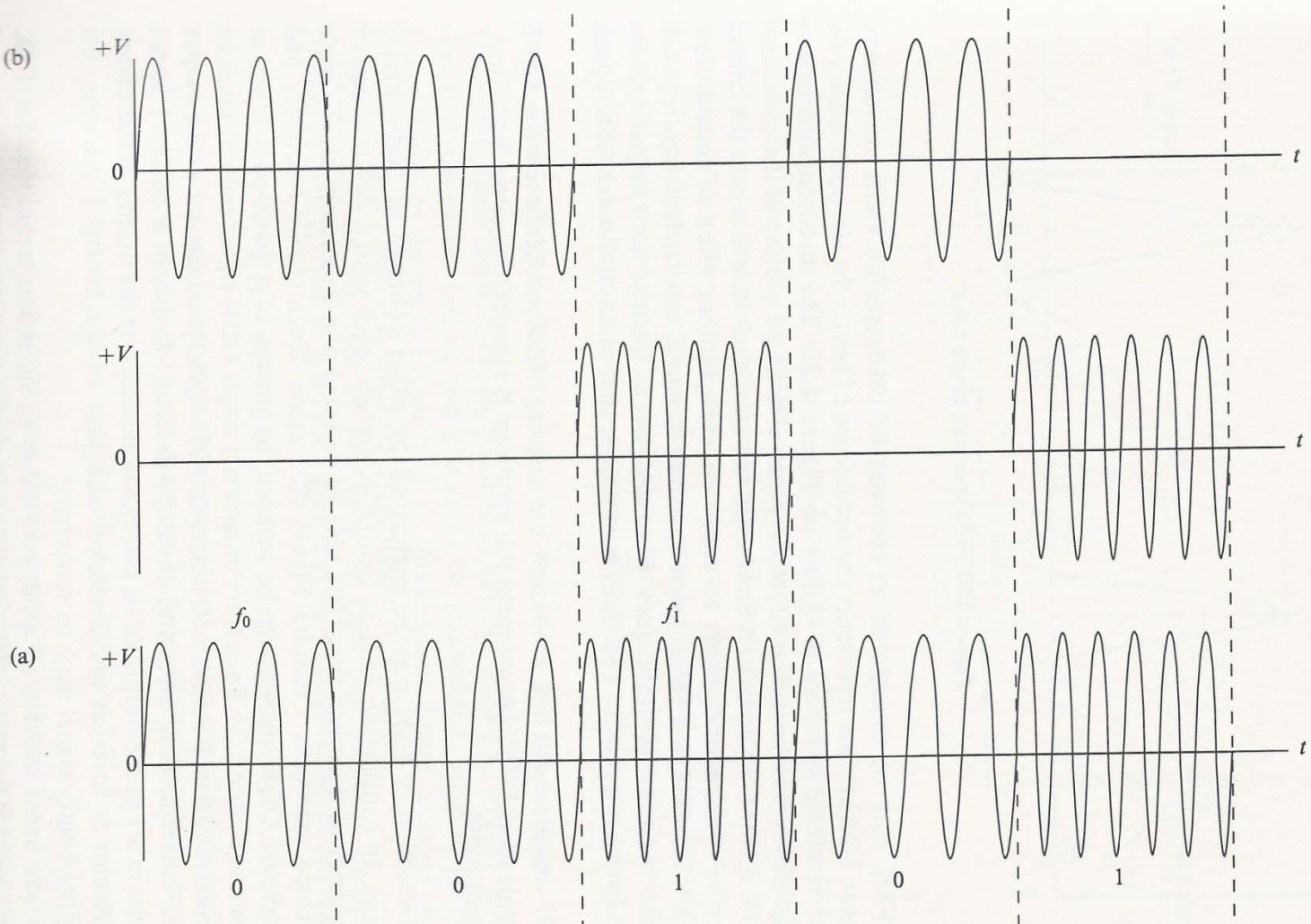
(b) Shaped pulses



(c) Bandpass noise

Fig. 10-2 Examples of OOK signals and bandpass noise.

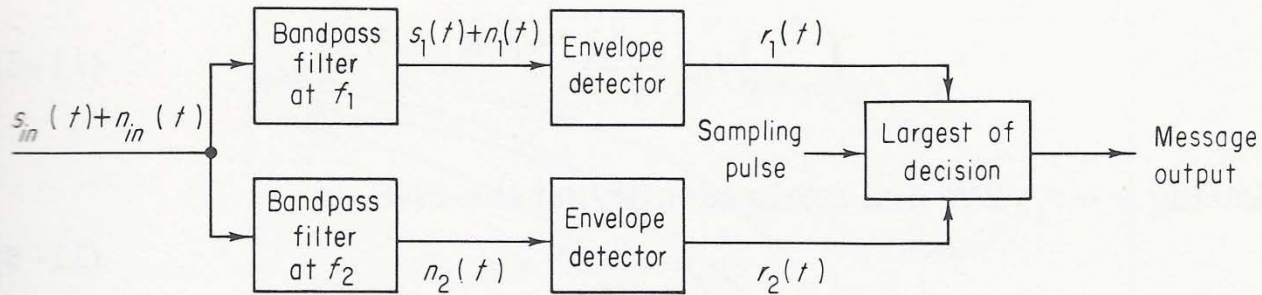
# FSK



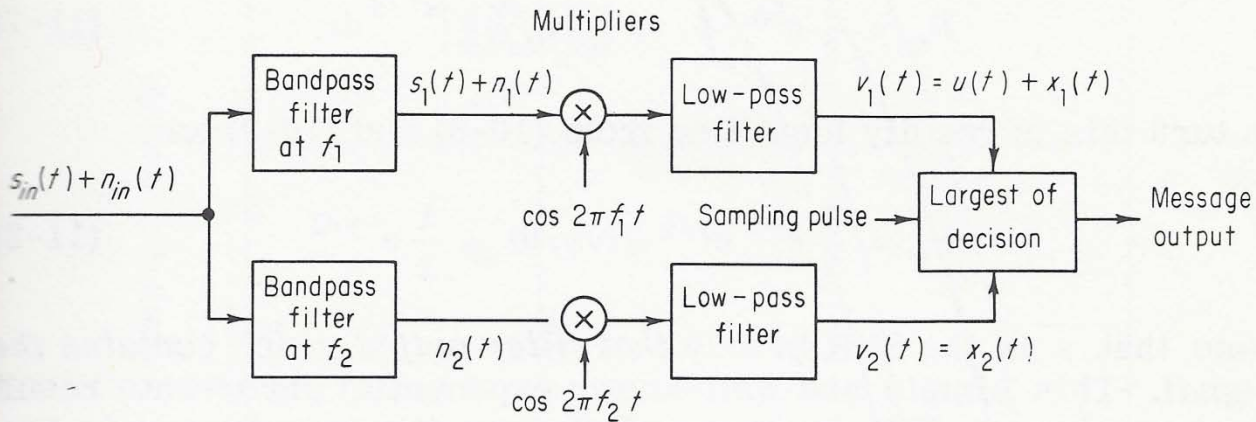
$A \sin 2\pi f_1 t$  for 1  
 $A \sin 2\pi f_2 t$  for 0

Figure 5.22 Frequency shift keying: (a) signal; (b) equivalent OOK signals

# FSK

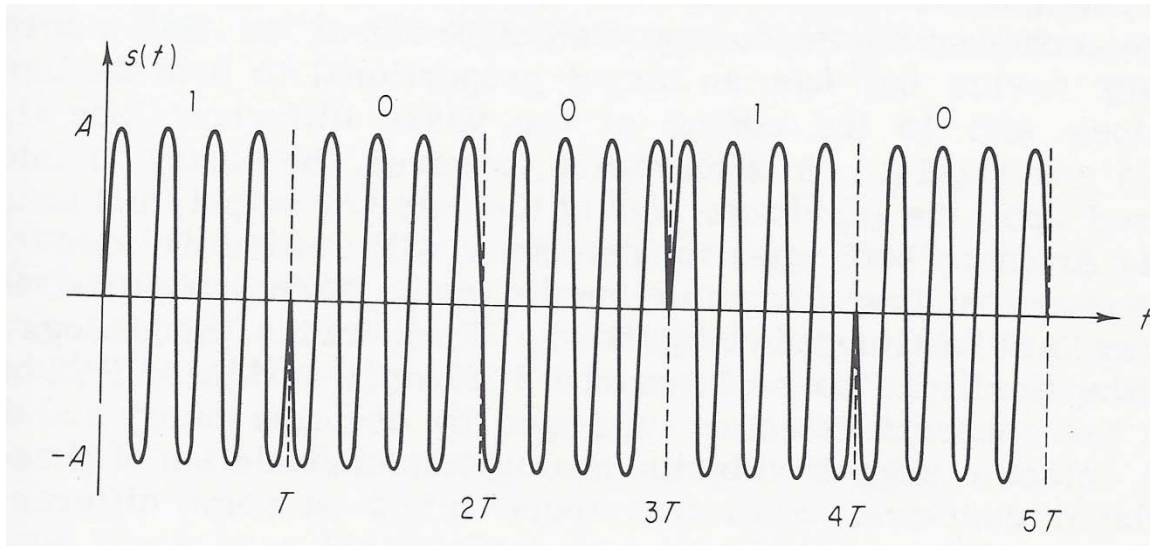


(a) Noncoherent detection tone  $f_1$  signaled



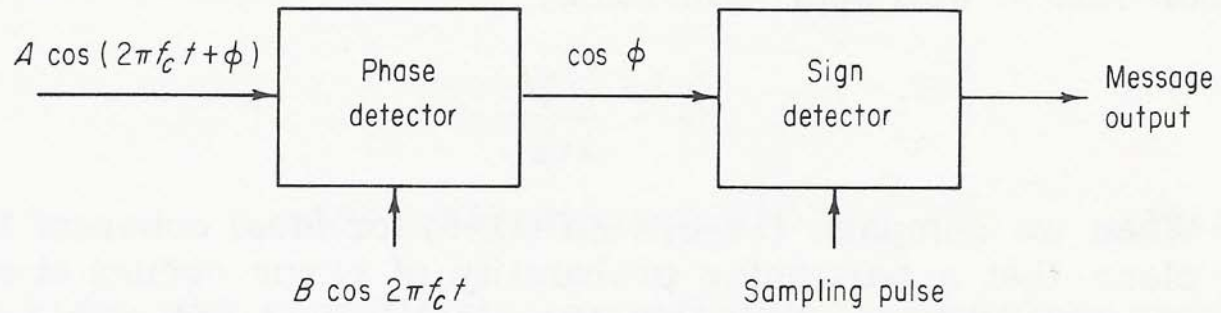
(b) Coherent detection, tone  $f_1$  signaled

# PSK

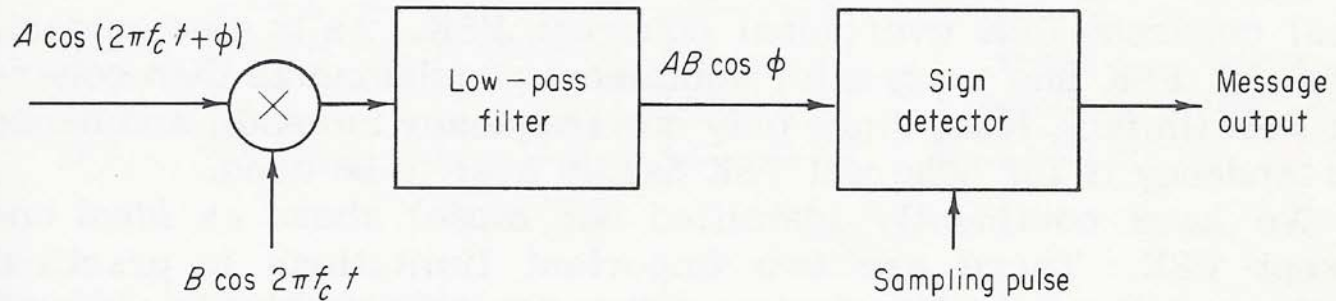


$$\begin{aligned} & A \sin(2\pi ft) && \text{for } 1 \\ & A \sin(2\pi ft + \pi/2) && \text{for } 0 \end{aligned}$$

# PSK



(a) Phase detection



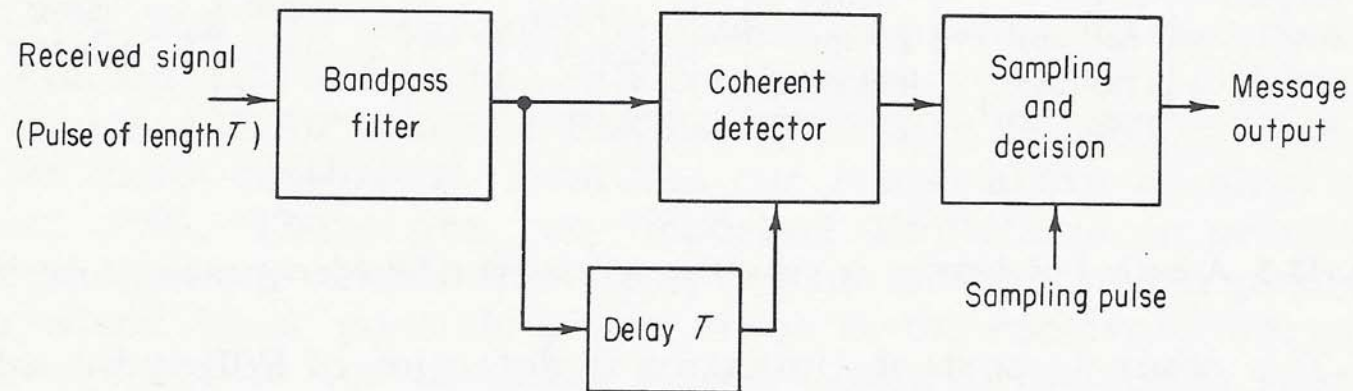
(b) Coherent detection



# DPSK

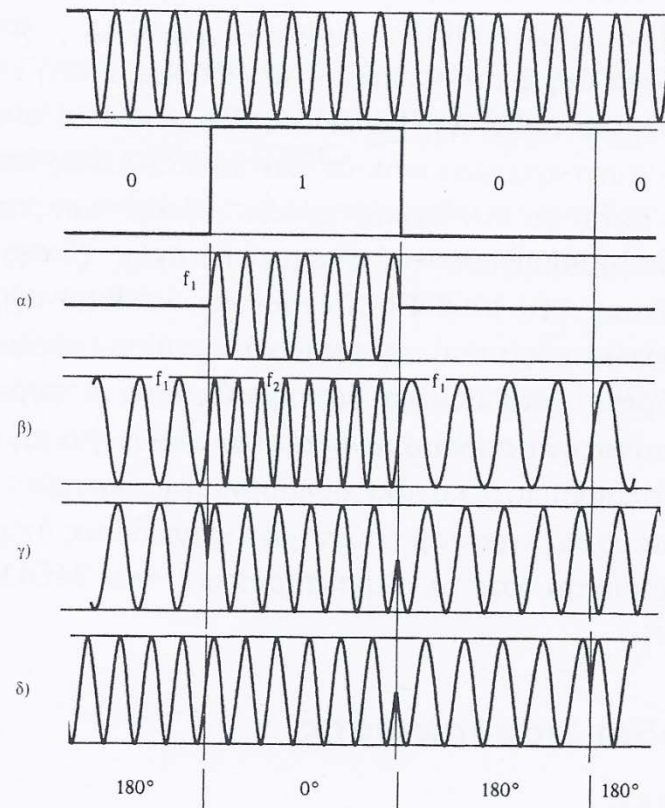
Information message            1 1 0 1 0 1 1 0 0 1  
Differentially encoded message 1 1 1 0 0 1 1 1 0 1 1  
(First bit arbitrary)  
Corresponding phase shift    0 0 0  $\pi$   $\pi$  0 0 0  $\pi$  0 0

(a) Differential encoding



(b) Detection of DPSK

# Συγκρητικά (από βιβλίο καθ. Γ. Κοκκινάκη)



Σχήμα 10-1: Μέθοδοι διαμόρφωσης φορέα με παλμούς. Διαμόρφωση πλάτους (α), συχνότητας (β), φάσης PSK(γ), διαφορική διαμόρφωση φάσης DPSK (δ).

# QPSK (από βιβλίο καθ. Γ. Κοκκινάκη)

Στην διαμόρφωση φάσης, π.χ., για ομάδες των δύο bits, ο φορέας παίρνει τέσσερις ξεχωριστές τιμές φάσης:

$$\omega_0 t + \varphi_i$$

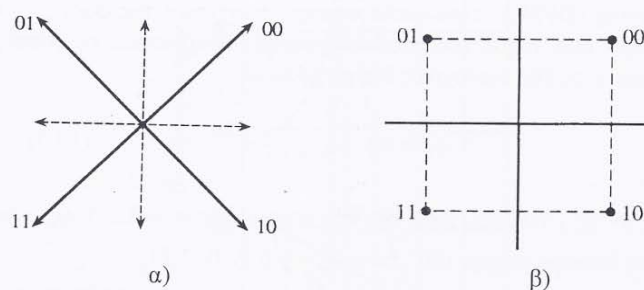
όπου 
$$\varphi_i = -\frac{\pi}{2}, 0, \frac{\pi}{2}, \pi \quad (10.4)$$

ή 
$$\varphi_i = 45^\circ, 135^\circ, 225^\circ, 315^\circ$$

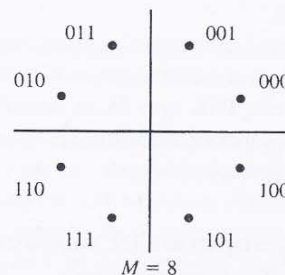
Η φάση του φορέα μεταβάλλεται σε βήματα  $\frac{\pi}{2}$  και η μέθοδος αυτή ονομάζεται QPSK (Quaternary PSK).

Με διανυσματική αναπαράσταση του φορέα προκύπτει για  $\varphi_i = 45^\circ, 135^\circ, 225^\circ, 315^\circ$ , το διάγραμμα του σχ. 10.5 (α). Σε κάθε φάση αντιστοιχούν δύο bits. Χρησιμοποιώντας τον κώδικα Gray, γειτονικές φάσεις διαφέρουν μόνο κοντά 1 bit. Έτσι αν αντί της σωστής φάσης ληφθεί μια γειτονική φάση, το σφάλμα περιορίζεται σε ένα μόνο bit.

Ο φορέας παριστάνεται επίσης με 4 σημεία που αντιστοιχούν στις κορυφές των διανυσμάτων [σχ. 10.5(β)]. Το διάγραμμα αυτό ονομάζεται αστερισμός  $M = 4$  σημείων.

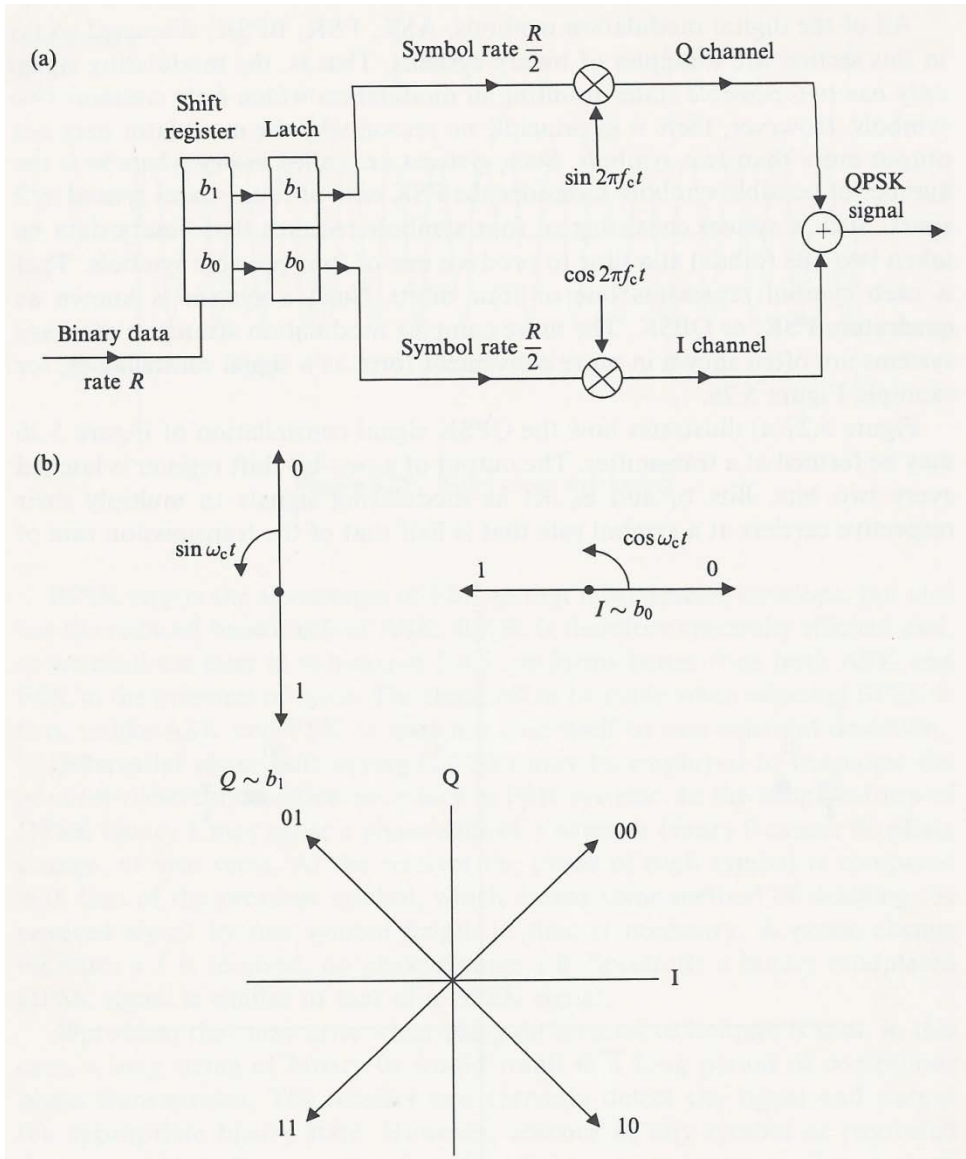


Σχήμα 10.5: Διανυσματικό διάγραμμα (α) και αστερισμός (β) συστήματος QPSK



Σχήμα 10.6: Αστερισμός συστήματος 8PSK

# QPSK



## M-ary System

Data transmission rate: **D**  
 Symbol Rate: **R (baud rate)**  
 Number of symbols: **m**

$$D = R * n$$

**n** = number of bits/symbol  
 $m = 2^n \rightarrow n = \log_2 m$

Δηλαδή  $D = R * \log_2 m$

# QPSK

Possible signal phases  $\theta_m = (m-1) \frac{2\pi}{M}$ ,  $m = 1, 2, \dots, M$

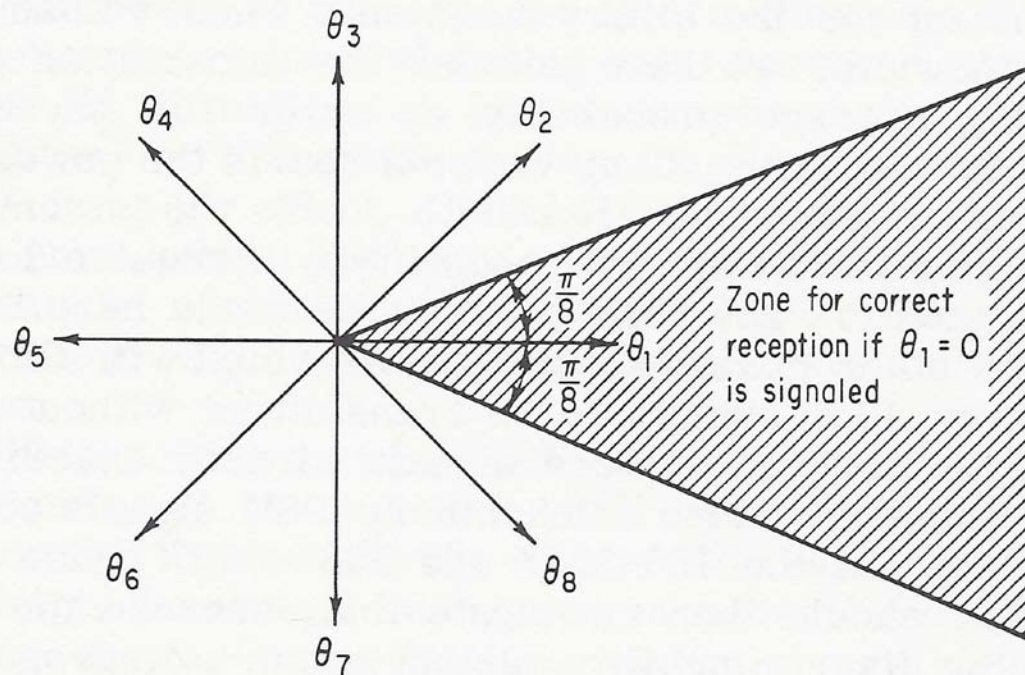


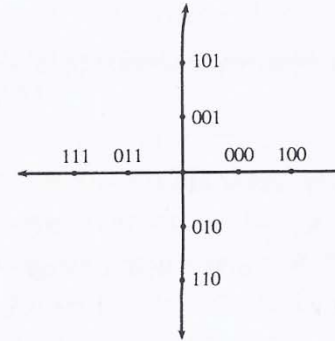
Fig. 14-2 M-phase signaling (illustrated for  $M = 8$ ).

# QAM

(από βιβλίο  
καθ. Γ.  
Κοκκινάκη)

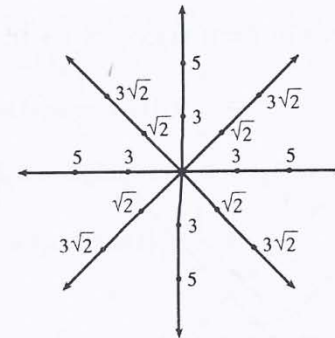
Από το συνδυασμό Μ-αδικής διαμόρφωσης πλάτους και Μ-αδικής διαμόρφωσης φάσης προκύπτουν Μ-αδικά συστήματα πολλών τιμών. Το σχ. 10.7(α) δείχνει το διανυσματικό διάγραμμα συστήματος QAM (Quadrature Amplitude Modulation – Τετραγωνική διαμόρφωση πλάτους) 8 τιμών που προκύπτει από το συνδυασμό δύο σταθμών πλάτους και τεσσάρων διαφορετικών φάσεων. Ένα πιο πολύπλοκο σύστημα με 16 συνδυασμούς πλάτους και φάσης δείχνει το σχ. 10.7 (β).

Σχετικό πλάτος	Φάση (μοίρες)
1	0
1	90
1	270
1	180
2	0
2	90
2	270
2	180



(α)

Σχετικό πλάτος	Φάση (μοίρες)
3	0, 90, 180, 270
5	0, 90, 180, 270
$\sqrt{2}$	45, 135, 225, 315
$3\sqrt{2}$	45, 135, 225, 315

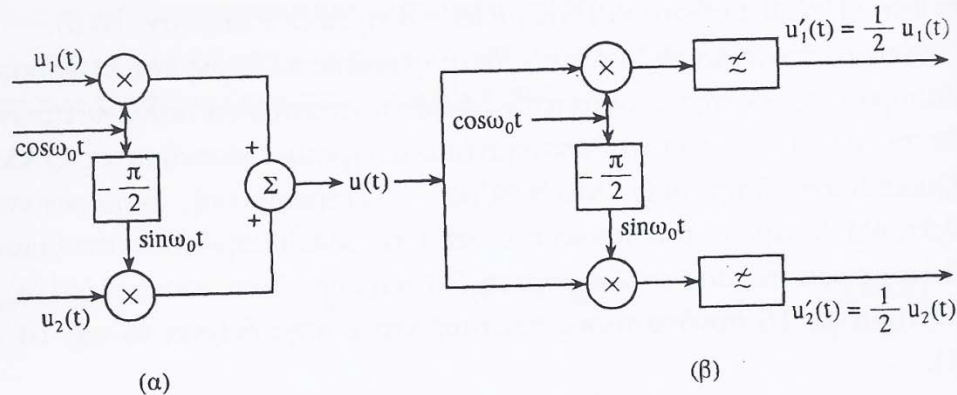


(β)

Σχήμα 10.7: Συστήματα μιαδικής διαμόρφωσης με συνδυασμό διαμόρφωσης πλάτους και φάσης. Σύστημα 8 QAM (α) και 16 QAM (β).

Μ-αδικά συστήματα διαμόρφωσης χρησιμοποιούνται με αυξανόμενο ρυθμό σε σύγχρονα συστήματα μετάδοσης δεδομένων. Ένα QAM-MODEM π.χ. των 9600 bit/s με χρησιμοποίηση 16αδικής διαμόρφωσης όπως στο σχ. 10.7 (β), μεταδίδει τετράδες bits με ακρίβεια 2400 Baud.

# Ορθογώνια Πολύπλεξη - Αποπολύπλεξη



Σχήμα 10-8: Ορθογώνια πολύπλεξη (α) και αποπολύπλεξη (β).

Πομπός

$$u(t) = u_1(t) \cos\omega_0 t + u_2(t) \sin\omega_0 t \quad (10.5)$$

Δέκτης

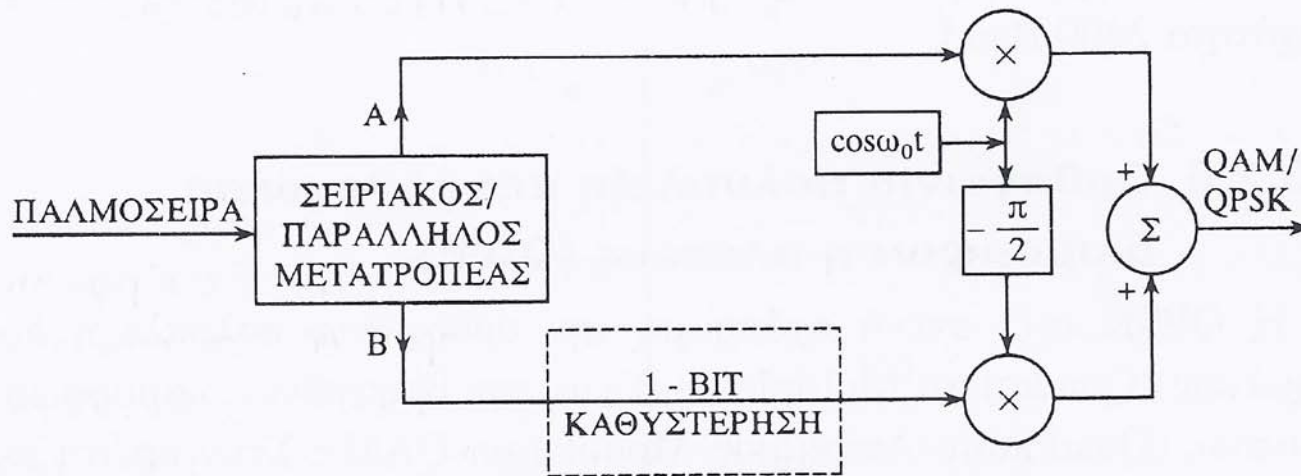
$$\begin{aligned} u(t)\cos\omega_0 t &= u_1(t)\cos^2\omega_0 t + u_2(t)\sin\omega_0 t\cos\omega_0 t \\ &= \frac{1}{2}u_1(t) + \frac{1}{2}u_1(t)\cos 2\omega_0 t + \frac{1}{2}u_2(t)\sin 2\omega_0 t \end{aligned} \quad (10.6)$$

$$\begin{aligned} u(t)\sin\omega_0 t &= u_1(t)\cos\omega_0 t\sin\omega_0 t + u_2(t)\sin^2\omega_0 t \\ &= \frac{1}{2}u_1(t)\sin 2\omega_0 t + \frac{1}{2}u_2(t) - \frac{1}{2}u_2(t)\cos 2\omega_0 t \end{aligned}$$

# Ορθογώνια Πολύπλεξη – Αποπολύπλεξη (από βιβλίο καθ. Γ. Κοκκινάκη)

Με τη βοήθεια των κατωδιαβατών φίλτρων αποκόπτονται οι ψηλές συχνότητες και παίρνονται τα σήματα Χ.Σ.

Χρησιμοποιώντας την ίδια τεχνική στη διάταξη του σχήματος 10-9 παίρνεται το σήμα QAM. Η δυαδική παλμοσειρά που φθάνει στο σειριακό/παράλληλο μετατροπέα με ρυθμό  $v_b=1/T_b$  bit/s, όπου  $T_b$  η διάρκεια ενός bit, μετατρέπεται σε δυο δυαδικές παλμοσειρές Α και Β με ρυθμούς  $v_s=1/2 T_b=1/T_s$  Baud, όπου  $T_s$  η διάρκεια ενός συμβόλου.



Σχήμα 10-9: Διαμορφωτής QAM/QPSK.



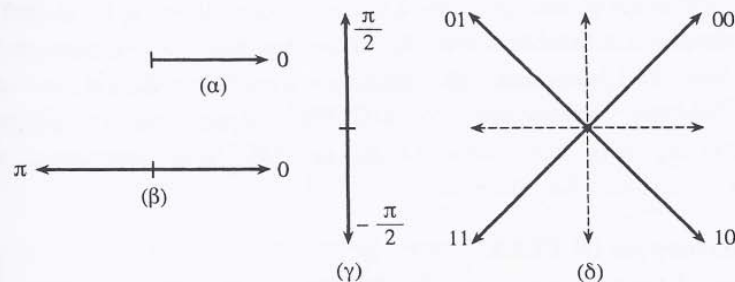
# Ορθογώνια Πολύπλεξη – Αποπολύπλεξη (QAM/QPSK) (από βιβλίο καθ. Γ. Κοκκινάκη)

(Σε μααδικά συστήματα γίνεται διάκριση μεταξύ του ρυθμού  $v_b$  που μετριέται σε bit/s και του ρυθμού  $v_s$  που μετριέται σε Baud και δίνει τον αριθμό των μεταδιδόμενων συμβόλων ανά sec. Στη διάρκεια ενός συμβόλου στα συστήματα αυτά μεταδίδονται περισσότερα από ένα bits. Στα δυαδικά συστήματα  $v_b = v_s$ ). Με κατωδιαβατά φίλτρα περιορίζεται η ζώνη των παλμοσειρών A και B και κατόπιν διαμορφώνονται οι δύο φορείς, που έχουν την ίδια συχνότητα  $\omega_0$  αλλά διαφορά φάσης  $90^\circ$ , με τις παλμοσειρές αυτές χρησιμοποιώντας DSB-SC. Τα σήματα που προκύπτουν προσθέτονται και δίνουν το σήμα QAM.

Λαμβάνοντας υπόψη τα διανυσματικά διαγράμματα του αδιαμόρφωτου φορέα [σχ. 10-10 (α)] και των διαμορφωμένων φορέων με την παλμοσειρά A [σχ. 10-10 (β)] και την παλμοσειρά B [σχ. 10-10 (γ)], προκύπτει από την άθροιση των διανυσμάτων το διάγραμμα του [σχ. 10-10 (δ)] για την διαμόρφωση QAM.

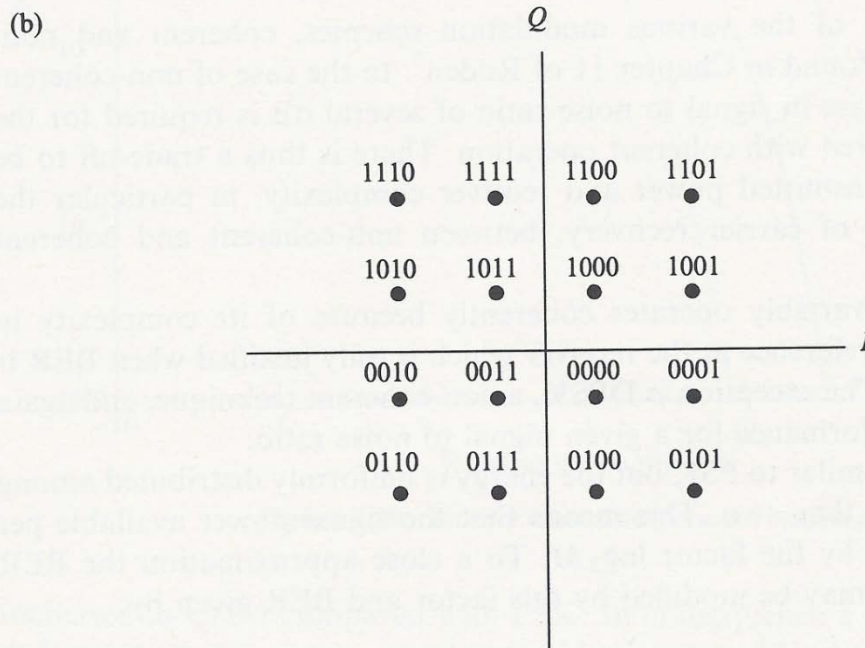
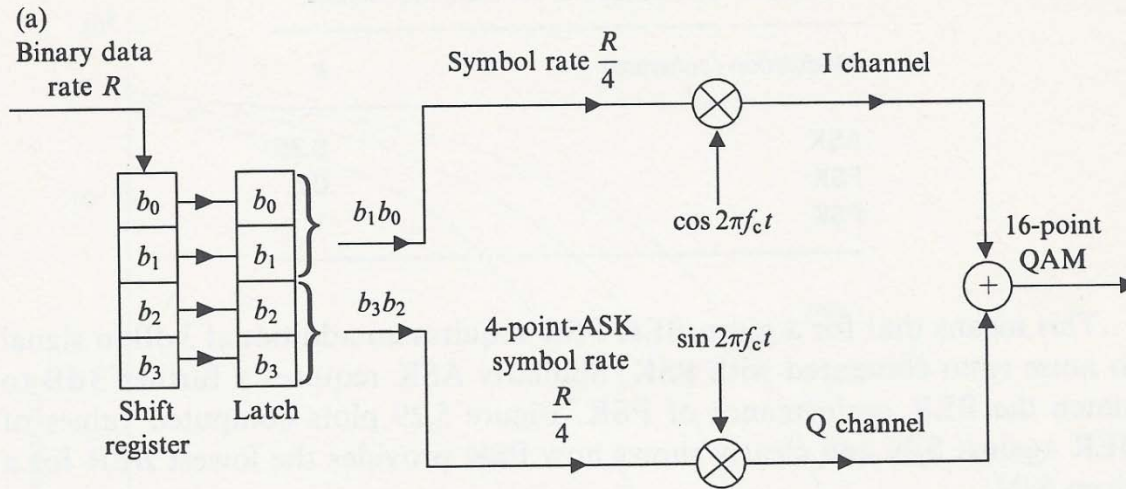
Αν οι παλμοσειρές A και B έχουν το ίδιο πλάτος, το ίδιο διανυσματικό διάγραμμα προκύπτει και για την QPSK όπως φαίνεται στο σχ. 10.5 (α), δηλ. οι δυο διαμορφώσεις συμπίπτουν. Με χρησιμοποίηση του κώδικα Gray γειτονικές φάσεις διαφέρουν μόνο κατά 1 bit.

Εφαρμόζοντας καθυστέρηση 1 bit στην παλμοσειρά B, όπως φαίνεται στο σχ. 10-9, διαχωρίζονται οι μεταβολές φάσης στους δυο διαμορφωτές κατά  $T_b = T_s/2$  sec. Με τον τρόπο αυτό μειώνονται οι διακυμάνσεις της περιβάλλουσας του σήματος QPSK. Η μέθοδος αυτή ονομάζεται OQPSK (Offset-keyed QPSK).



**Σχήμα 10-10:** Διανυσματικό διάγραμμα φορέα αδιαμόρφωτου (α), διαμορφωμένου κατά DSB-SC με την παλμοσειρά A (β), διαμορφωμένου κατά DSB-SC με την παλμοσειρά B (γ), διαμορφωμένου με τις παλμοσειρές A και B και κώδικα Gray (δ).

# 16 QAM



# QPSK – 16 QAM (ξανά !!!)

