



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΠΑΤΡΩΝ  
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά  
μαθήματα ΠΠ

# Κινητά Δίκτυα Υπολογιστών

Ενότητα 3: Τεχνικές Ψηφιακής Διαμόρφωσης και  
Μετάδοσης

Καθ. Κώστας Μπερμπερίδης

Πολυτεχνική Σχολή

Τμήμα Μηχανικών Η/Υ & Πληροφορικής

# Σκοποί ενότητας

- Η εξοικείωση του φοιτητή με τις τεχνικές ψηφιακής διαμόρφωσης και μετάδοσης που χρησιμοποιούνται στις κινητές επικοινωνίες



# Περιεχόμενα ενότητας

Τεχνικές Διαμόρφωσης για Συστήματα Κινητής  
Επικοινωνίας

Μη-γραμμικές τεχνικές διαμόρφωσης  
με σταθερή περιβάλλουσα

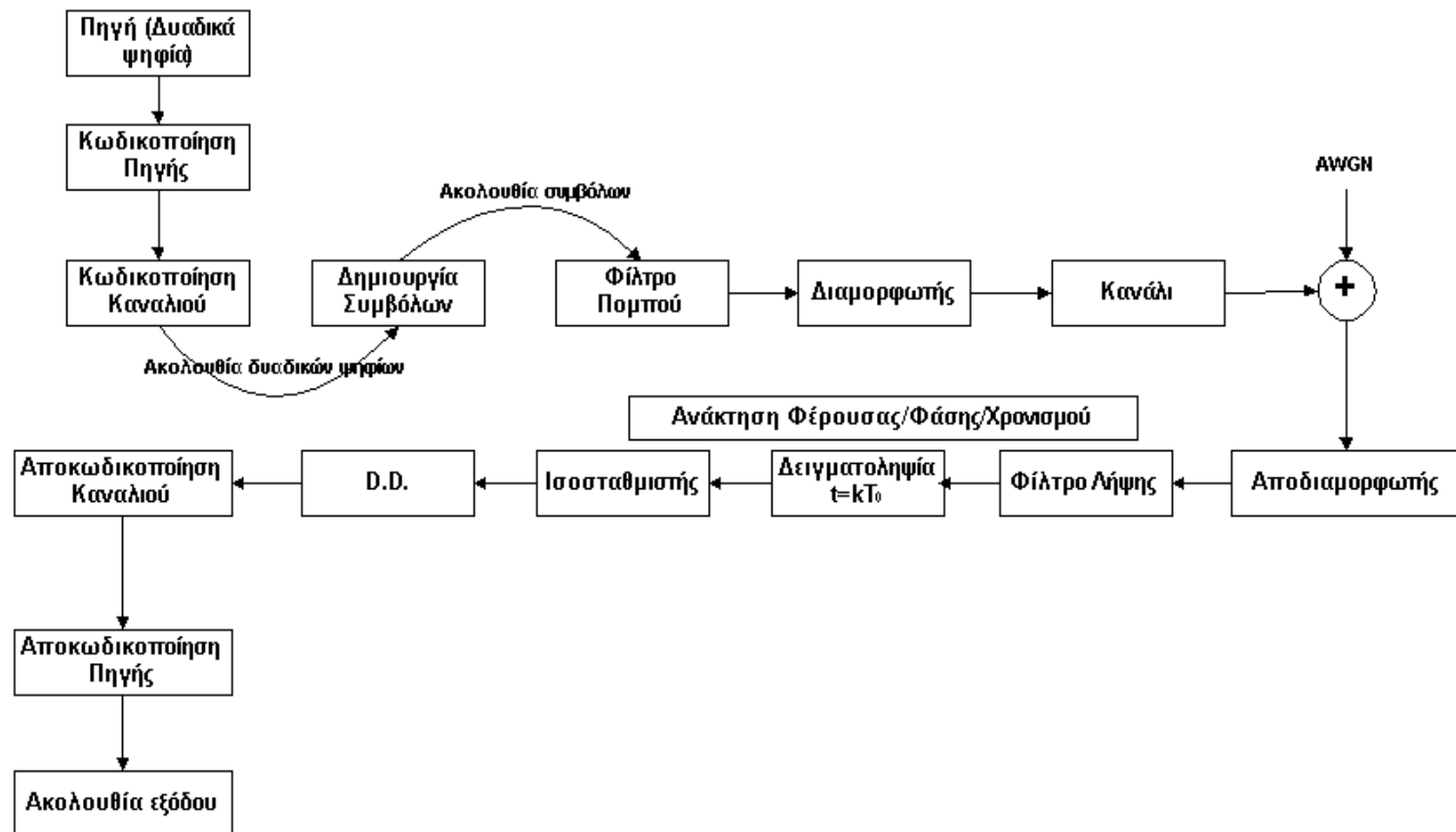
Τεχνική μετάδοσης (διαμόρφωσης) τύπου  
OFDM



# Τεχνικές Διαμόρφωσης για Συστήματα Κινητής Επικοινωνίας

# Τεχνικές Διαμόρφωσης για Συστήματα Κινητής Επικοινωνίας (1/12)

Γενικό Διάγραμμα ενός Ψηφιακού Τηλ/κού Συστήματος



# Τεχνικές Διαμόρφωσης για Συστήματα Κινητής Επικοινωνίας (2/12)

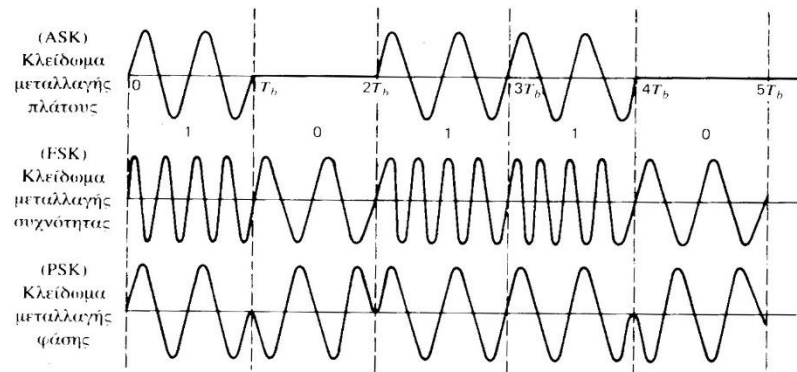
- **Διαμόρφωση:** Η διαδικασία του «μετασχηματισμού» της πληροφορίας μιας πηγής ώστε να είναι κατάλληλη για μετάδοση.
- Στη γενική περίπτωση περιλαμβάνει τη μετάδοση της πληροφορίας σε ζωνοπερατό δίαυλο (passband). Το σήμα βασικής ζώνης (baseband) είναι το «**διαμορφώνον**» σήμα ενώ το ζωνοπερατό σήμα που προκύπτει είναι το διαμορφωμένο.
- **Αποδιαμόρφωση:** Η διαδικασία εξαγωγής του σήματος βασικής ζώνης από το ζωνοπερατό σήμα.
- Η ανάπτυξη τεχνικών διαμόρφωσης για κινητά συστήματα είναι αντικείμενο εντατικής έρευνας ιδιαίτερα κατά την τελευταία εικοσαετία.

# Τεχνικές Διαμόρφωσης για Συστήματα Κινητής Επικοινωνίας (3/12)

- Στο περιβάλλον της κινητής επικοινωνίας πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κάποιες σημαντικές ιδιαιτερότητες, όπως:
  - Το φαινόμενο της πολυδιόδευσης και τα προβλήματα που προκαλεί (κυρίως λόγω επιλεκτικής ή/και γρήγορης απόσβεσης)
  - Το πρόβλημα των παρεμβολών από άλλους χρήστες
  - Μη-γραμμικές παραμορφώσεις
  - Πολυπλοκότητα / Κόστος Υλοποίησης
  - Η ανάγκη για την καλύτερη δυνατή εκμετάλλευση της ενέργειας (power efficiency)
  - Η επιτακτική ανάγκη για αποδοτική εκμετάλλευση του φάσματος (Spectral efficiency)
- Τα παραπάνω κριτήρια είναι αντικρουόμενα και δεν είναι εφικτό να ικανοποιούνται ταυτόχρονα
- Power efficiency: Ρυθμός μεταδιδόμενης πληροφορίας ανά Watt ισχύος (άλλοι δείκτες: CNR,  $E_s/N_0$ )
- Spectral efficiency: Ρυθμός μεταδιδόμενης πληροφορίας ανά Hz του χρησιμοποιούμενου εύρους ζώνης (bits/sec/Hz).

# Τεχνικές Διαμόρφωσης για Συστήματα Κινητής Επικοινωνίας (4/12)

- Πλεονεκτήματα ψηφιακής διαμόρφωσης και μετάδοσης:
  - Ανθεκτικότητα στο θόρυβο και στις ατέλειες του καναλιού
  - Ευελιξία σε πολυπλεξία διαφόρων μορφών πληροφορίας
  - Ενσωμάτωση διαδικασιών ελέγχου σφαλμάτων, ισοστάθμισης, κωδικοποίησης πηγής
  - Ευελιξία σε ότι αφορά την υλοποίηση σε H/W και S/W.
- Βασικές τεχνικές:
  - ASK (Amplitude Shift Keying)
  - FSK (Frequency Shift Keying), CPFSS
  - PSK (Phase Shift Keying), QPSK, OQPSK, QAM



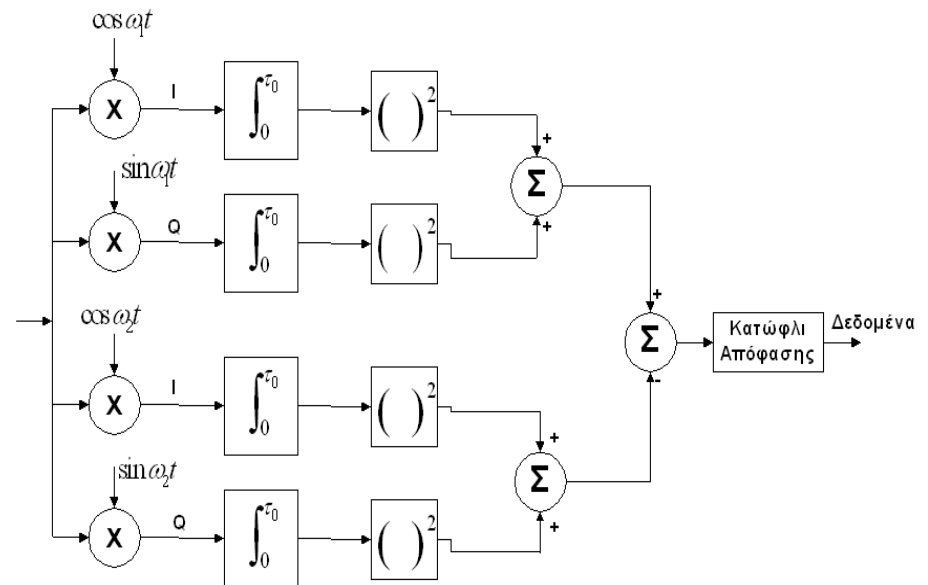


# Τεχνικές Διαμόρφωσης για Συστήματα Κινητής Επικοινωνίας (5/12)

- Σύμφωνες ή ομόδυνες (coherent) : Τέλειος συγχρονισμός πομπού και δέκτη.
- Ασύμφωνες ή ετερόδυνες (incoherent) : Τα σύμφωνα σχήματα πρέπει να τροποποιηθούν ώστε να γίνεται ανίχνευση (detection) ακόμη και όταν δεν υπάρχει συγχρονισμός.
- PSK → DPSK (διαφορική κωδικοποίηση πριν την διαμόρφωση PSK)
- Incoherent FSK (βλ. σχήμα)

$$\cos(2\pi f_i t - \varphi) =$$

$$\cos(\varphi) \cos(2\pi f_i t) + \sin(\varphi) \sin(2\pi f_i t)$$

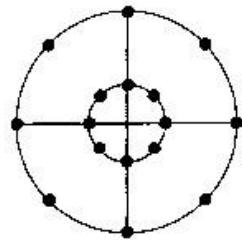


# Τεχνικές Διαμόρφωσης για Συστήματα Κινητής Επικοινωνίας (6/12)

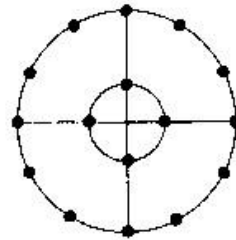
- Αποδοτικές τεχνικές με μεγάλο spectral efficiency (αλλά κακές επιδόσεις όταν υπάρχουν μη-γραμμικές παραμορφώσεις)
- Quadrature Amplitude Modulation (QAM – M)

$$s(t) = Am g_T(t) \cos(2\pi f_c t + \theta_n)$$

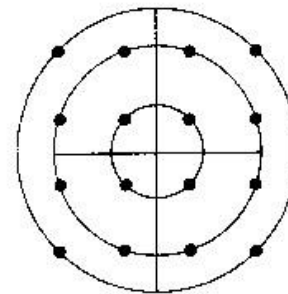
$$s(t) = A_{mc} g_T(t) \cos(2\pi f_c t) + A_{ms} g_T(t) \sin(2\pi f_c t), m = 1, 2 \dots M$$



(a) 16 APK (8,8) constellation



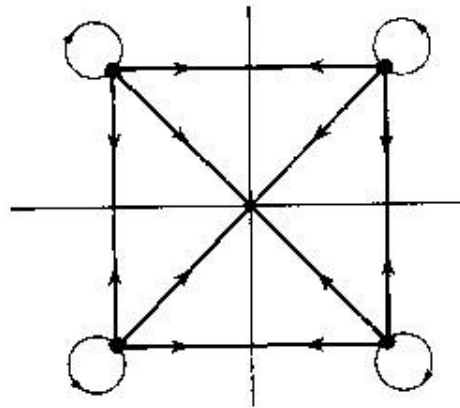
(b) 16 APK (4,12) constellation



(c) 16 APK (4,8,4) constellation (or 16 QAM)

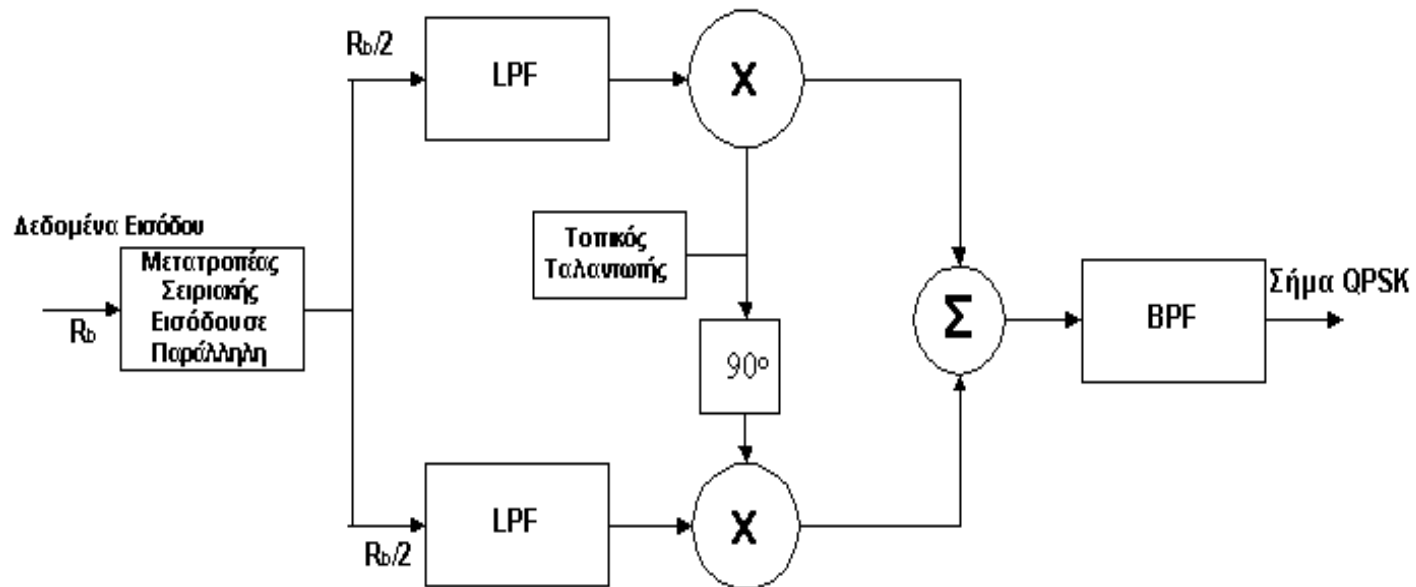
# Τεχνικές Διαμόρφωσης για Συστήματα Κινητής Επικοινωνίας (7/12)

- Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)
- Είναι ειδική περίπτωση QAM με  $M=4$ .



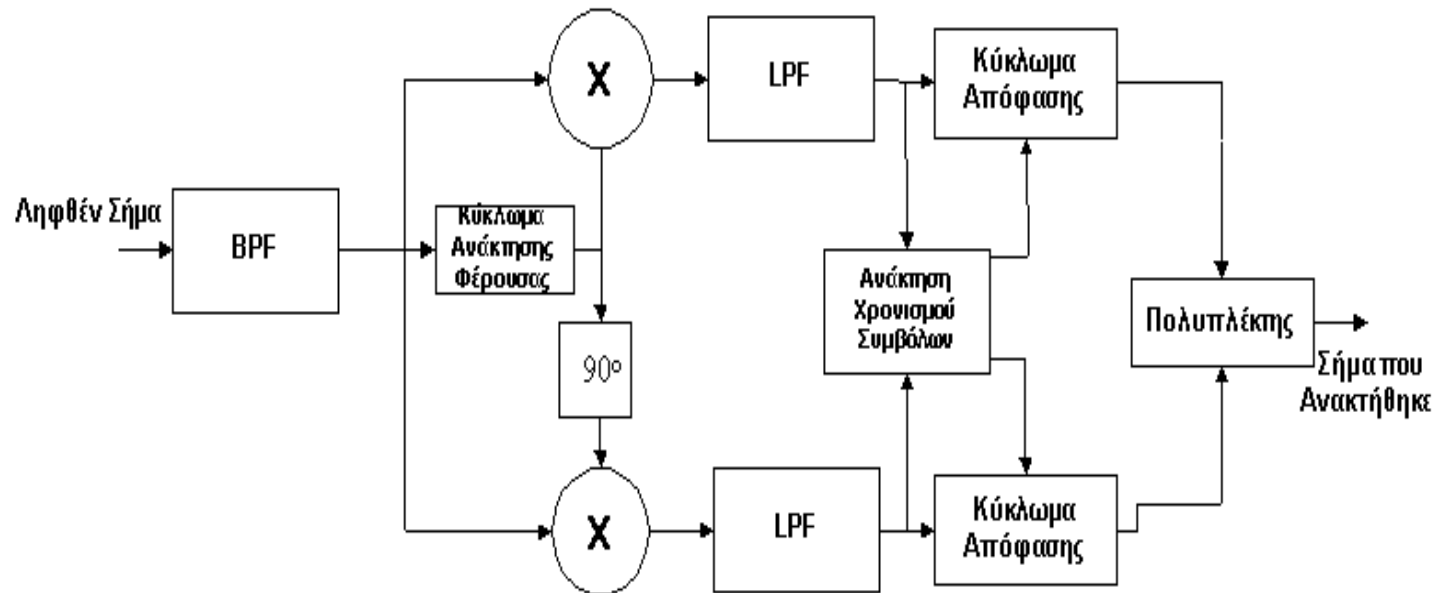
# Τεχνικές Διαμόρφωσης για Συστήματα Κινητής Επικοινωνίας (8/12)

Διάγραμμα βαθμίδων του πομπού ενός συστήματος QPSK



# Τεχνικές Διαμόρφωσης για Συστήματα Κινητής Επικοινωνίας (9/12)

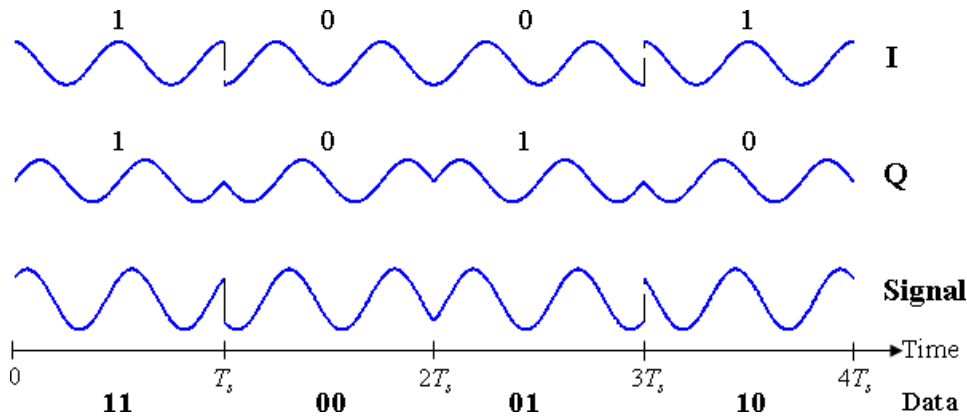
Διάγραμμα βαθμίδων του δέκτη ενός συστήματος QPSK



# Τεχνικές Διαμόρφωσης για Συστήματα Κινητής Επικοινωνίας (10/12)

- Βελτιωμένη παραλλαγή: Offset QPSK (OQPSK)
- Το πλάτος του QPSK είναι σταθερό όταν ο παλμός βασικής ζώνης είναι ορθογώνιος και οι συνθήκες ιδανικές (οπότε οι μεταβάσεις φάσης συμβαίνουν στιγμιαία). Αυτή η ιδιότητα όμως παύει να ισχύει όταν υπάρχει pulse shaping (δηλαδή πολύ συχνά!)
- Στο σύστημα OQPSK οι άρτιες και περιττές δυαδικές ακολουθίες (δηλ. οι συνιστώσες I και Q) είναι μετατοπισμένες η μια σχετικά με την άλλη κατά  $T_b$  (και όχι χρονικά ευθυγραμμισμένες όπως στο QPSK). Με τον τρόπο αυτό συμβαίνουν αλλαγές φάσης κάθε  $T_b$  (και όχι κάθε  $2T_b$ ) αλλά η μέγιστη δυνατή αλλαγή περιορίζεται σε  $90^\circ$  (και όχι στις  $180^\circ$ ).

# Τεχνικές Διαμόρφωσης για Συστήματα Κινητής Επικοινωνίας (11/12)

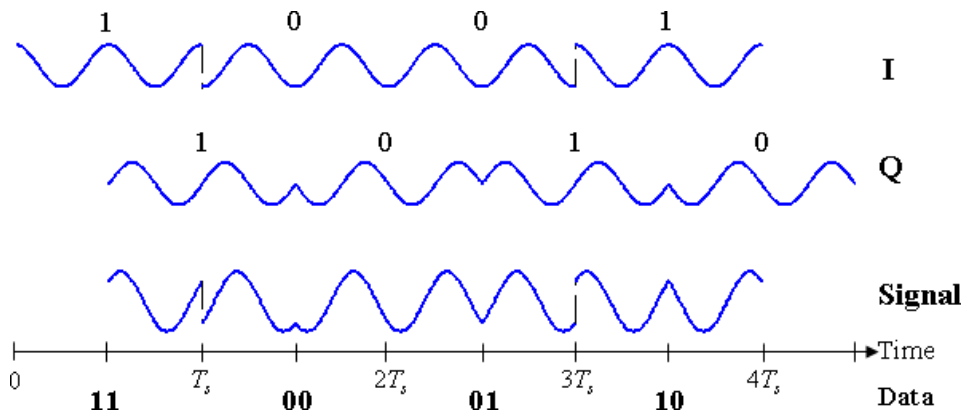


Διαδική ακολουθία προς μετάδοση:

1 1 0 0 0 1 1 0

## QPSK

- Η ανάθεση των bits στις δύο συνιστώσες (Περιττά στην I και άρτια στην Q) και το αποστελλόμενο σήμα



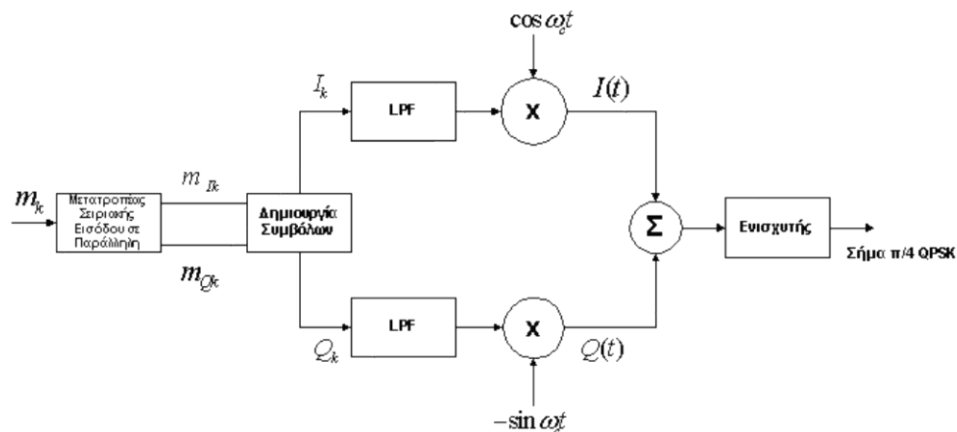
## OQPSK

- Η ανάθεση των bits στις δύο συνιστώσες (Περιττά στην I και άρτια στην shifted Q) και το αποστελλόμενο σήμα

# Τεχνικές Διαμόρφωσης για Συστήματα Κινητής Επικοινωνίας (12/12)

- Μια ακόμη παραλλαγή του QPSK:  $(\pi/4)$ -QPSK
- Είναι μια λύση που βρίσκεται ανάμεσα στο QPSK και στο OQPSK
- Η μέγιστη δυνατή αλλαγή φάσης είναι  $135^\circ$ . Έτσι διατηρεί την επιθυμητή ιδιότητα σταθερής περιβάλλουσας καλύτερα από το QPSK αλλά όχι τόσο καλά όσο το OQPSK.
- Έχει σίγουρα αλλαγή φάσης κάθε  $T_s$  πράγμα που οδηγεί σε καλύτερη ανάκτηση χρονισμού και σε δυνατότητα σχεδιασμού ετερόδυνου δέκτη.
- Έχει επίσης καλύτερη συμπεριφορά από το OQPSK σε συνθήκες πολυδιάθρυσης.

Ο πομπός ενός  $(\pi/4)$ -QPSK συστήματος





Μη-γραμμικές τεχνικές  
διαμόρφωσης  
με σταθερή περιβάλλουσα

# Μη-γραμμικές τεχνικές διαμόρφωσης με σταθερή περιβάλλουσα (1/7)

- Στις τεχνικές αυτές η ιδιότητα σταθερής περιβάλλουσας διατηρείται ανεξάρτητα από τις μεταβολές του διαμορφώνοντος σήματος.
- Τέτοιου είδους διαμορφώσεις είναι (μεταξύ άλλων) οι τύπου FM και FSK.
- Πλεονεκτήματα:
  - Εύκολη μετατροπή για ασύμφωνη ανίχνευση
  - Ευκολία υλοποίησης (σε ορισμένες περιπτώσεις χωρίς καν τη χρήση υποσυστήματος carrier recovery)
  - Ανοσία σε μη-γραμμικότητες λόγω σταθερής περιβάλλουσας
- Μειονεκτήματα:
  - Περισσότερη απαιτούμενη ισχύς για το ίδιο BER (στη δυαδική περίπτωση)
  - Για μεγάλα M έχουμε spectral inefficiency (όσο μεγαλώνει το M τόσο εκτείνεται το απαιτούμενο εύρος ζώνης)
  - Δύσκολη υλοποίηση ζωνοπερατών ισοσταθμιστών (επειδή το σήμα FSK είναι μη-γραμμική συνάρτηση του σήματος βασικής ζώνης)
  - Δύσκολη ανάλυση (φάσμα, BER κλπ)

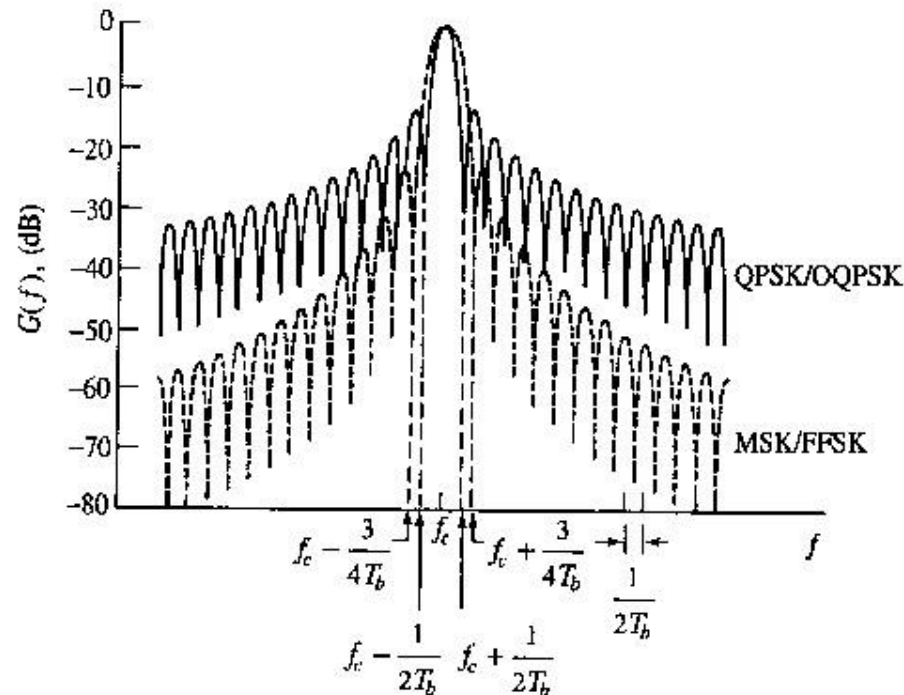
# Μη-γραμμικές τεχνικές διαμόρφωσης με σταθερή περιβάλλουσα (2/7)

- Το M-FSK πρέπει να σχεδιαστεί έτσι ώστε να διασφαλίζονται η συνέχεια φάσης και η ορθογωνιότητα των συναρτήσεων βάσης
- Η ελάχιστη απόσταση που απαιτείται μεταξύ δύο διαδοχικών συχνοτήτων ώστε να έχουμε ορθογωνιότητα είναι  $\min(\Delta f) = 1/2T_s$
- Όμως η ελάχιστη απόσταση ώστε να έχουμε συνέχεια φάσης είναι  $\min(\Delta f) = 1/T_s$
- Καλύτερη εκμετάλλευση του εύρους ζώνης επιτυγχάνεται με τις τεχνικές τύπου CPFSK (continuous phase frequency shift keying)
- Μια ειδική (αλλά σημαντική) περίπτωση CPFSK είναι η MSK (minimum shift keying). Μπορεί να θεωρηθεί ως τροποποιημένη μορφή OQPSK. Η τροποποίηση έγκειται στο ότι οι I και Q συνιστώσες πριν πολλαπλασιαστούν με τις αντίστοιχες φέρουσες διαμορφώνονται με παλμό ημιτονικής μορφής (sinusoidal pulse shaping)

$$f(t) = a_n \sin\left(\frac{2\pi t}{4T_b}\right) \cos 2\pi f_c t + b_n \cos\left(\frac{2\pi t}{4T_b}\right) \sin 2\pi f_c t$$

# Μη-γραμμικές τεχνικές διαμόρφωσης με σταθερή περιβάλλουσα (4/7)

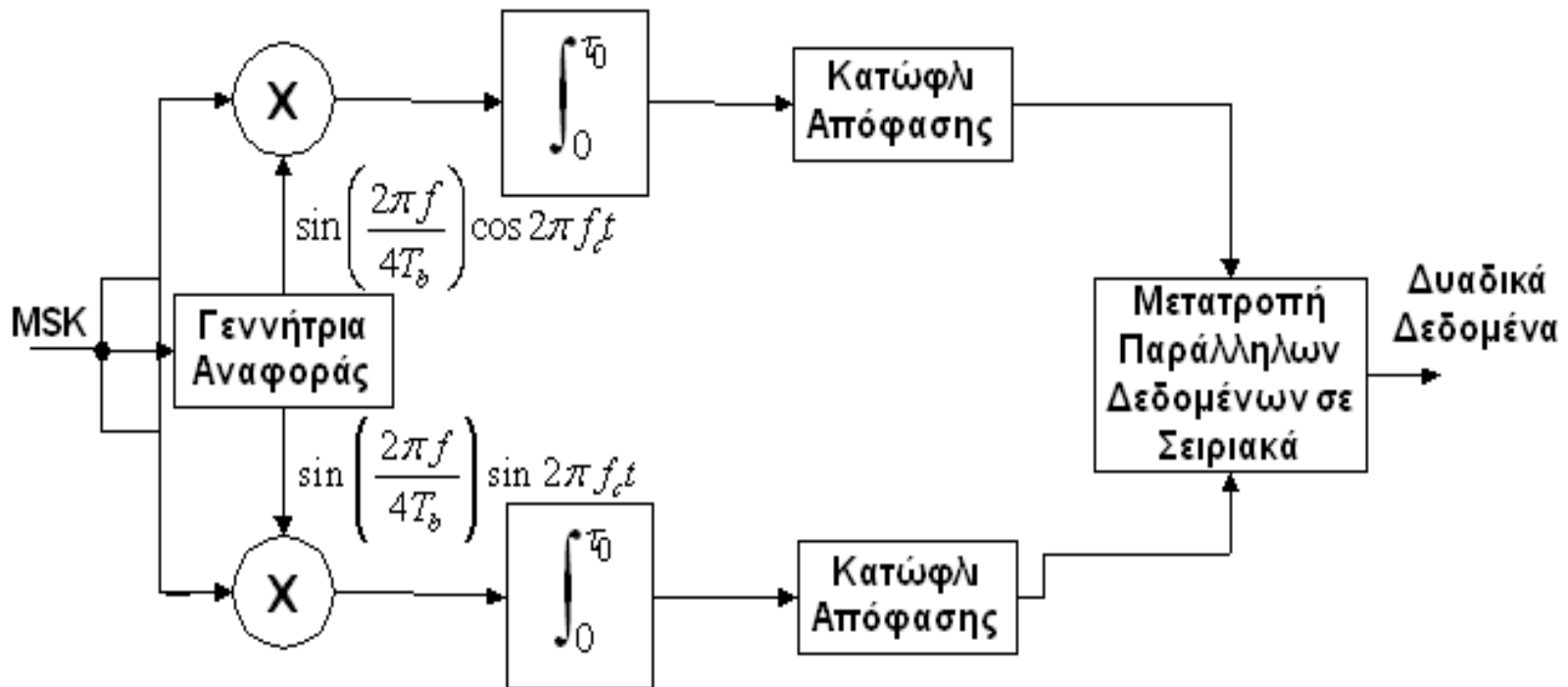
Σύγκριση των φασμάτων διαφόρων συστημάτων διαμόρφωσης



\* FFSK (Fast FSK): Παραλλαγή του MSK με διαφορετική προκωδικοποίηση

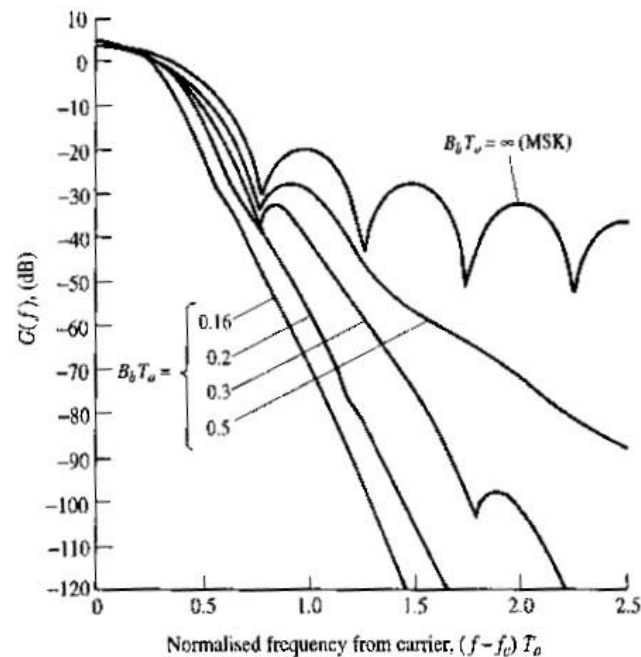
# Μη-γραμμικές τεχνικές διαμόρφωσης με σταθερή περιβάλλουσα (5/7)

Διάγραμμα βαθμίδων του αποδιαμορφωτή ενός συστήματος τύπου MSK



# Μη-γραμμικές τεχνικές διαμόρφωσης με σταθερή περιβάλλουσα (7/7)

## Σύγκριση φασμάτων MSK και GMSK



# Άλλες Σύγχρονες Τεχνικές Διαμόρφωσης

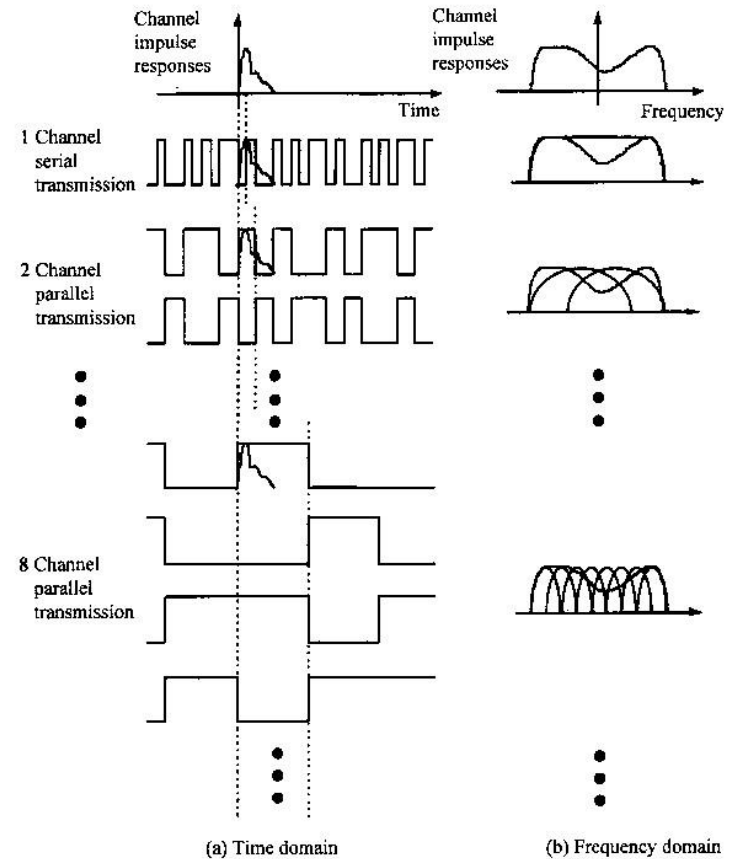
- Adaptive Modulation and Coding (Link adaptation)
  - Το είδος της διαμόρφωσης μεταβάλλεται ανάλογα με τις συνθήκες του καναλιού (π.χ. QPSK, QAM-16)
  - Η μεταβολή προϋποθέτει γνώση της κατάστασης του καναλιού (Channel State Information - CSI)
  - Συνήθως η μεταβολή στη διαμόρφωση συνοδεύεται και με αλλαγή του κώδικα καναλιού (π.χ. στο QAM-16 απαιτείται ισχυρότερος κώδικας)
  - Η τεχνική AMC έχει υιοθετηθεί από διάφορα πρότυπα (IEEE 802.11 (Wi-Fi), IEEE 802.16 (Wi-Max), 3G-LTE).
- Hierarchical Modulation (ή layered modulation)
  - Η διαμόρφωση γίνεται σε επίπεδα (π.χ. 1ο επίπεδο QPSK, 2ο  $\square$  QAM-64)
  - Ένας χρήστης με κακό κανάλι περιορίζεται στην αποδιαμόρφωση του πρώτου επιπέδου (π.χ., βλ. πρότυπο DVB-T)

# Τεχνική μετάδοσης (διαμόρφωσης) τύπου OFDM



# Τεχνική μετάδοσης (διαμόρφωσης) τύπου OFDM (1/10)

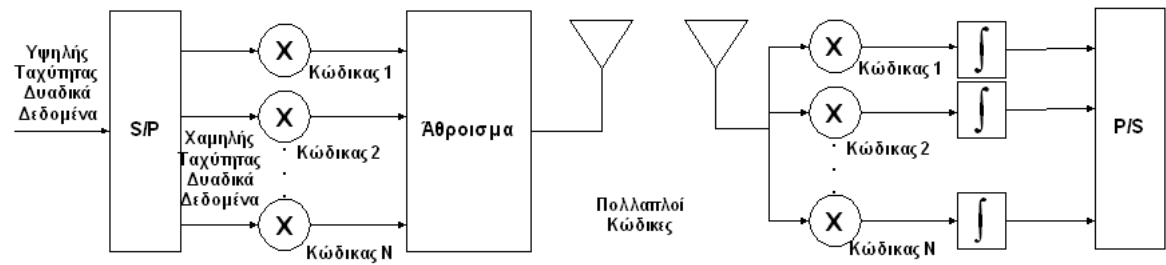
- OFDM: Orthogonal Frequency Division Multiplexing
- Η τεχνική OFDM μπορεί να θεωρηθεί ως σχήμα διαμόρφωσης στο οποίο η πληροφορία μεταδίδεται (παράλληλα) πάνω σε  $N$  ορθογώνιες φέρουσες που έχουν απόσταση  $1/T_s$ , όπου  $T_s$  είναι η διάρκεια ενός συμβόλου OFDM.
- Μέσω της παράλληλης μετάδοσης επιτυγχάνουμε σημαντική μείωση έως και εξουδετέρωση της διασυμβολικής παρεμβολής (ISI) που προκαλείται από τη χρονική διασπορά του καναλιού και τα πολυδρομικά φαινόμενα



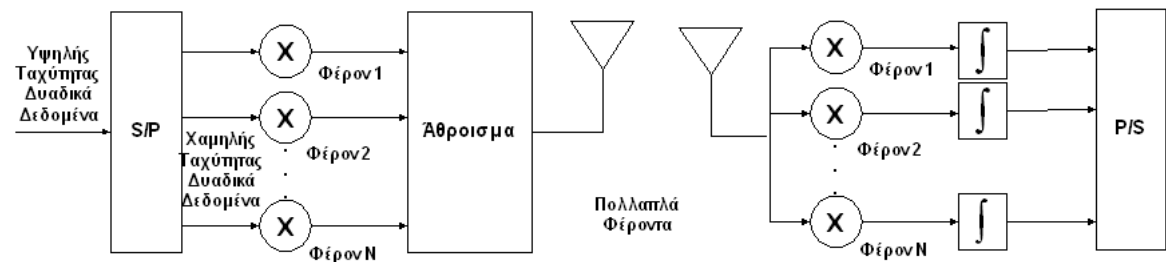
# Τεχνική μετάδοσης (διαμόρφωσης) τύπου OFDM (2/10)

Δύο βασικές κατηγορίες συστημάτων παράλληλης μετάδοσης:

Multicode  
Transmission



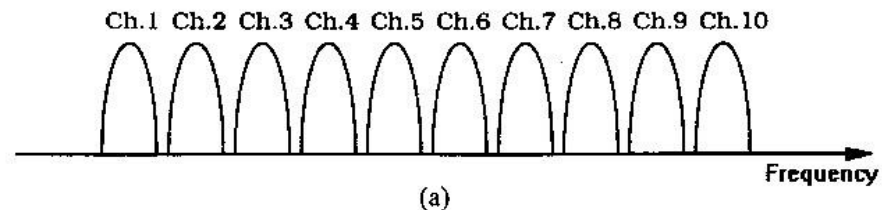
Multicarrier  
Transmission



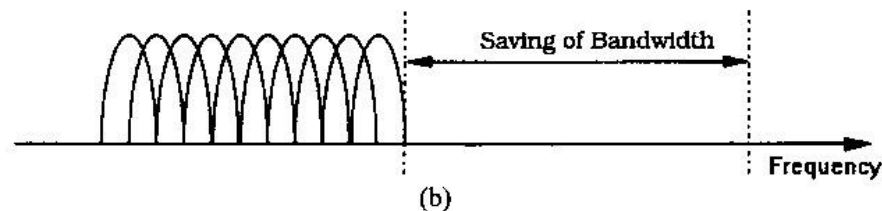
# Τεχνική μετάδοσης (διαμόρφωσης) τύπου OFDM (3/10)

- Στο σύστημα OFDM τα φάσματα των υπο-φερουσών επικαλύπτονται χωρίς όμως αυτό να προκαλεί το φαινόμενο inter-carrier interference. Για να επιτευχθεί αυτό πρέπει οι υπο-φέρουσες να είναι μαθηματικά ορθογώνιες.

FDM



OFDM

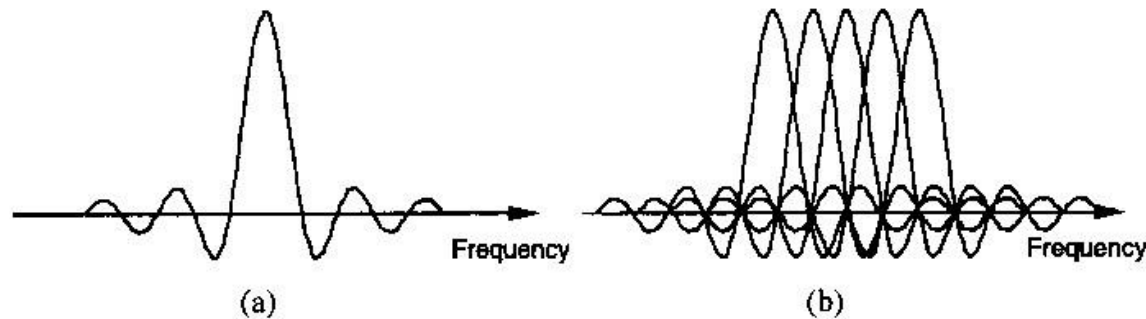


Συνθήκη  
Ορθογωνιότητας:

$$\int_a^b \psi_p(t) \psi_q^*(t) dt = \begin{cases} K & \text{for } p = q \\ 0 & \text{for } p \neq q \end{cases}$$

# Τεχνική μετάδοσης (διαμόρφωσης) τύπου OFDM (4/10)

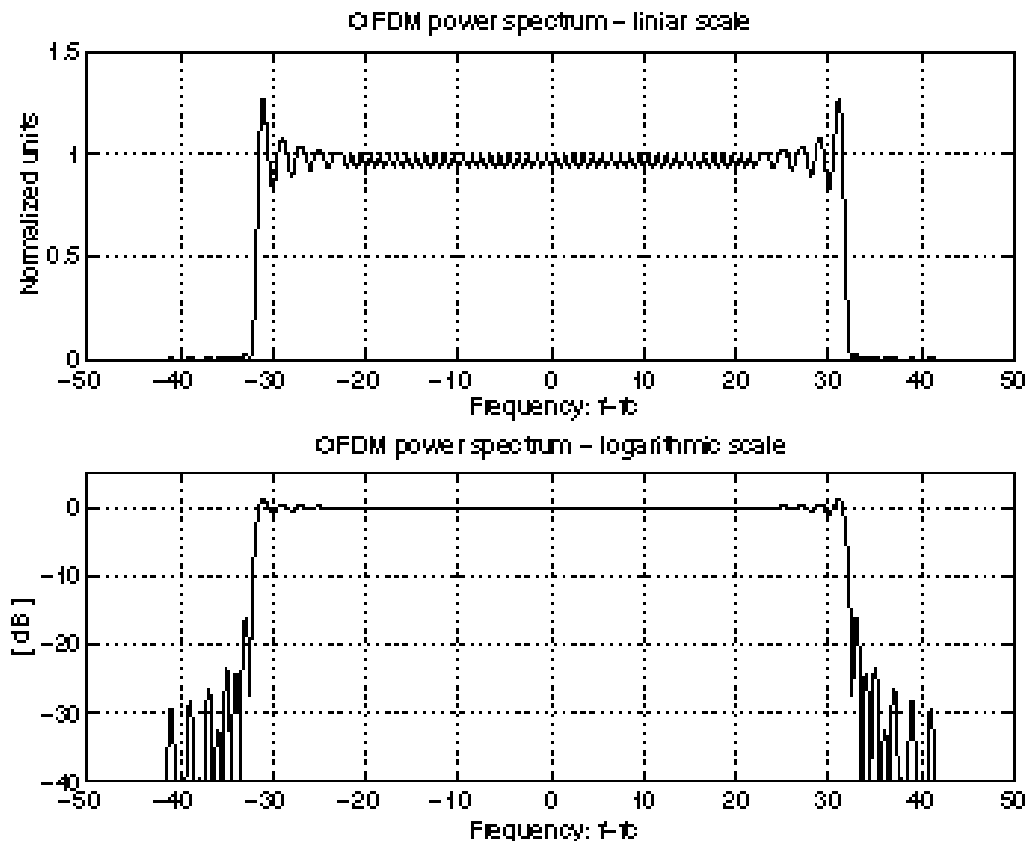
- Στο Σχήμα (α) βλέπουμε το φάσμα ενός OFDM sub-channel ενώ στο Σχήμα (β) το φάσμα του συνολικού σήματος OFDM.



- Βασικά Πλεονεκτήματα:
  - Καλύτερη αξιοποίηση του φάσματος
  - Διάχυση του προβλήματος της επιλεκτικής και γρήγορης απόσβεσης. Έτσι αποφεύγονται burst errors.
- Μειονεκτήματα:
  - Ευαίσθησία σε carrier frequency offset (λόγω jitter και Doppler )
  - Δεν διασφαλίζεται η σταθερή περιβάλλουσα και συνεπώς η τεχνική είναι ευαίσθητη σε μη γραμμικές παραμορφώσεις του διαύλου

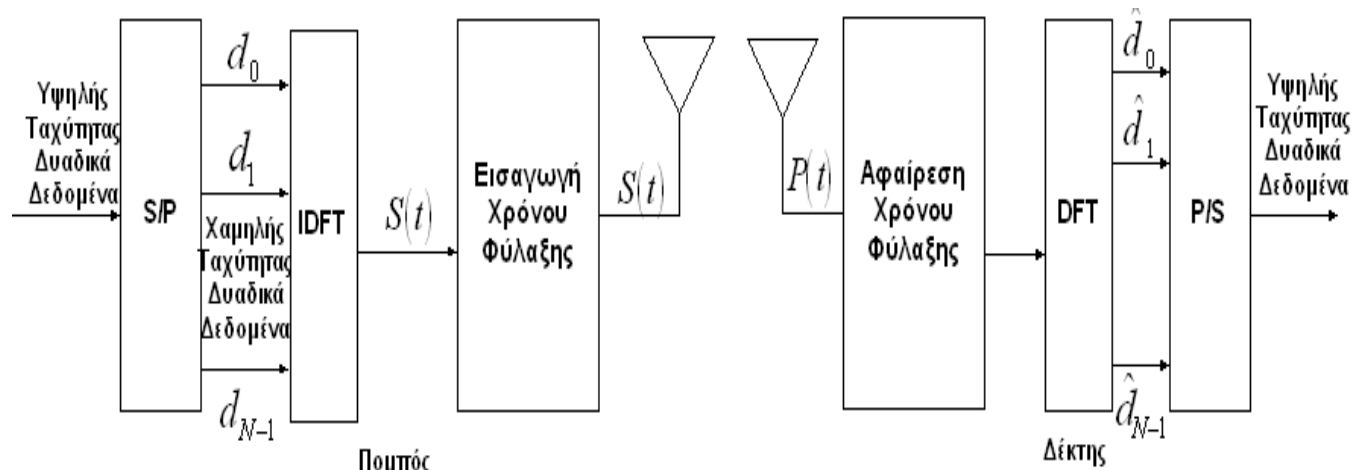
# Τεχνική μετάδοσης (διαμόρφωσης) τύπου OFDM (5/10)

Η μορφή του φάσματος ισχύος ενός τυπικού σήματος OFDM



# Τεχνική μετάδοσης (διαμόρφωσης) τύπου OFDM (6/10)

- Αποδοτική υλοποίηση του συστήματος OFDM με χρήση του IDFT. Οι συναρτήσεις βάσης του IDFT αντιστοιχούν στις ορθογώνιες υπο-φέρουσες



- Σήμα προς μετάδοση: 
$$s(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \sum_{i=0}^{N-1} d_i(k) \exp(j2\pi f_i(t - kT_s)) f(t - kT_s)$$
- Όπου  $f_i$  είναι η συχνότητα της  $i$ -οστής φέρουσας και  $f(t)$  είναι το pulse waveform.

$$f_i = f_o + (i/T_s) \qquad f(t) = \begin{cases} 1 & (0 \leq t \leq T_s) \\ 0 & (\text{otherwise}) \end{cases}$$

# Τεχνική μετάδοσης (διαμόρφωσης) τύπου OFDM (7/10)

$$x(n) = \sum_{k=0}^{K-1} X(k)e^{j\frac{2\pi}{K}k \cdot n}$$

$$x(0) = X(0)e^{j\frac{2\pi}{4}0 \cdot 0} + X(1)e^{j\frac{2\pi}{4}1 \cdot 0} + X(2)e^{j\frac{2\pi}{4}2 \cdot 0} + X(3)e^{j\frac{2\pi}{4}3 \cdot 0}$$

$$x(1) = X(0)e^{j\frac{2\pi}{4}0 \cdot 1} + X(1)e^{j\frac{2\pi}{4}1 \cdot 1} + X(2)e^{j\frac{2\pi}{4}2 \cdot 1} + X(3)e^{j\frac{2\pi}{4}3 \cdot 1}$$

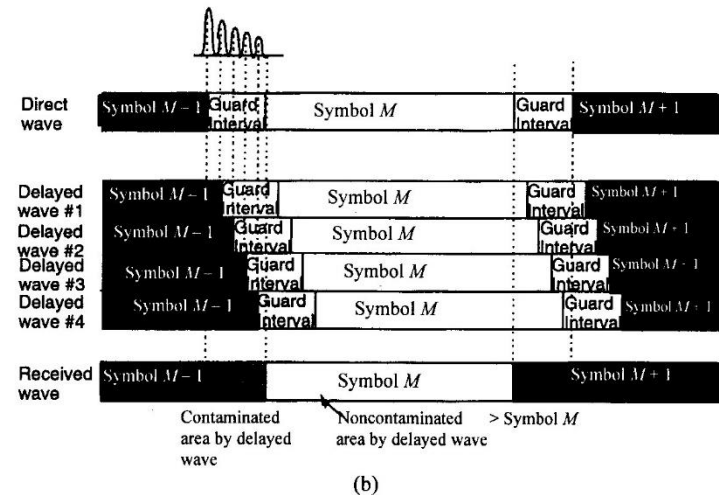
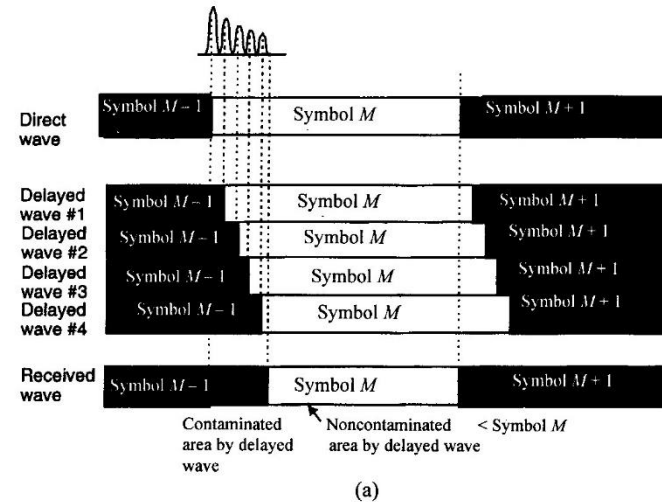
$$x(2) = X(0)e^{j\frac{2\pi}{4}0 \cdot 2} + X(1)e^{j\frac{2\pi}{4}1 \cdot 2} + X(2)e^{j\frac{2\pi}{4}2 \cdot 2} + X(3)e^{j\frac{2\pi}{4}3 \cdot 2}$$

$$x(3) = X(0)e^{j\frac{2\pi}{4}0 \cdot 3} + X(1)e^{j\frac{2\pi}{4}1 \cdot 3} + X(2)e^{j\frac{2\pi}{4}2 \cdot 3} + X(3)e^{j\frac{2\pi}{4}3 \cdot 3}$$

- Οι έξοδοι του IDFT αποστέλλονται μία-προς-μία (P/S) και το σήμα που προκύπτει είναι ένα σύμβολο OFDM (το οποίο ουσιαστικά είναι η υπέρθεση των διαμορφωμένων (με τα QAM σύμβολα) υπο-φερουσών)
- Παρατηρούμε ότι κάθε αρχικό σύμβολο QAM μεταδίδεται μέσω μίας συγκεκριμένης υπο-φέρουσας (γινόμενο της αντίστοιχης συνάρτησης βάσης του IDFT με μία κοινή φέρουσα) για K-πλάσιο χρόνο

# Τεχνική μετάδοσης (διαμόρφωσης) τύπου OFDM (8/10)

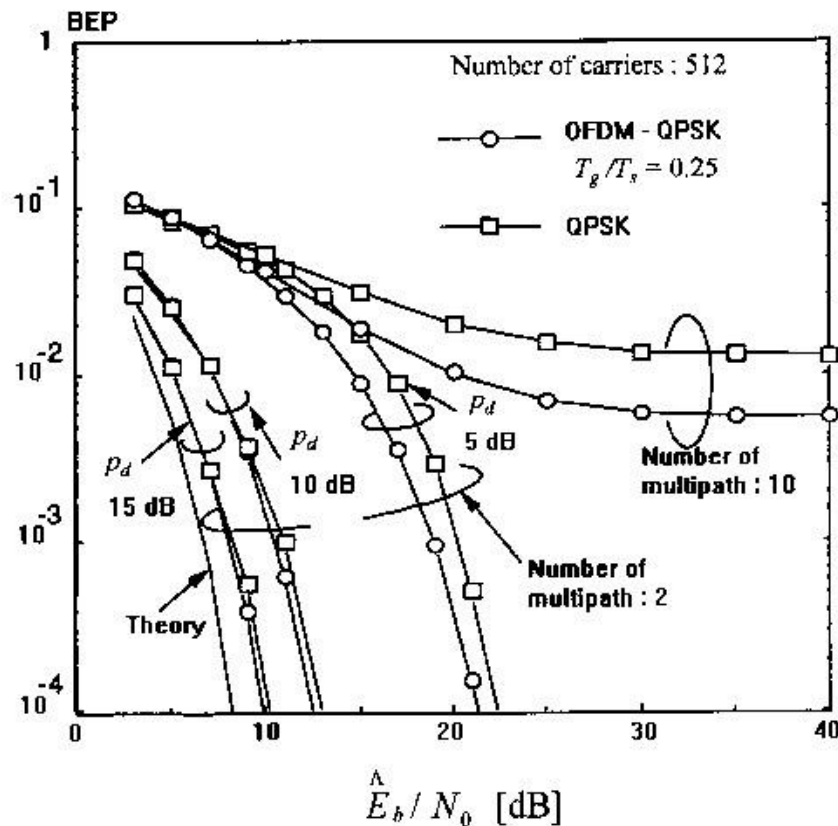
Η επίδραση της εισαγωγής  
του Guard Interval





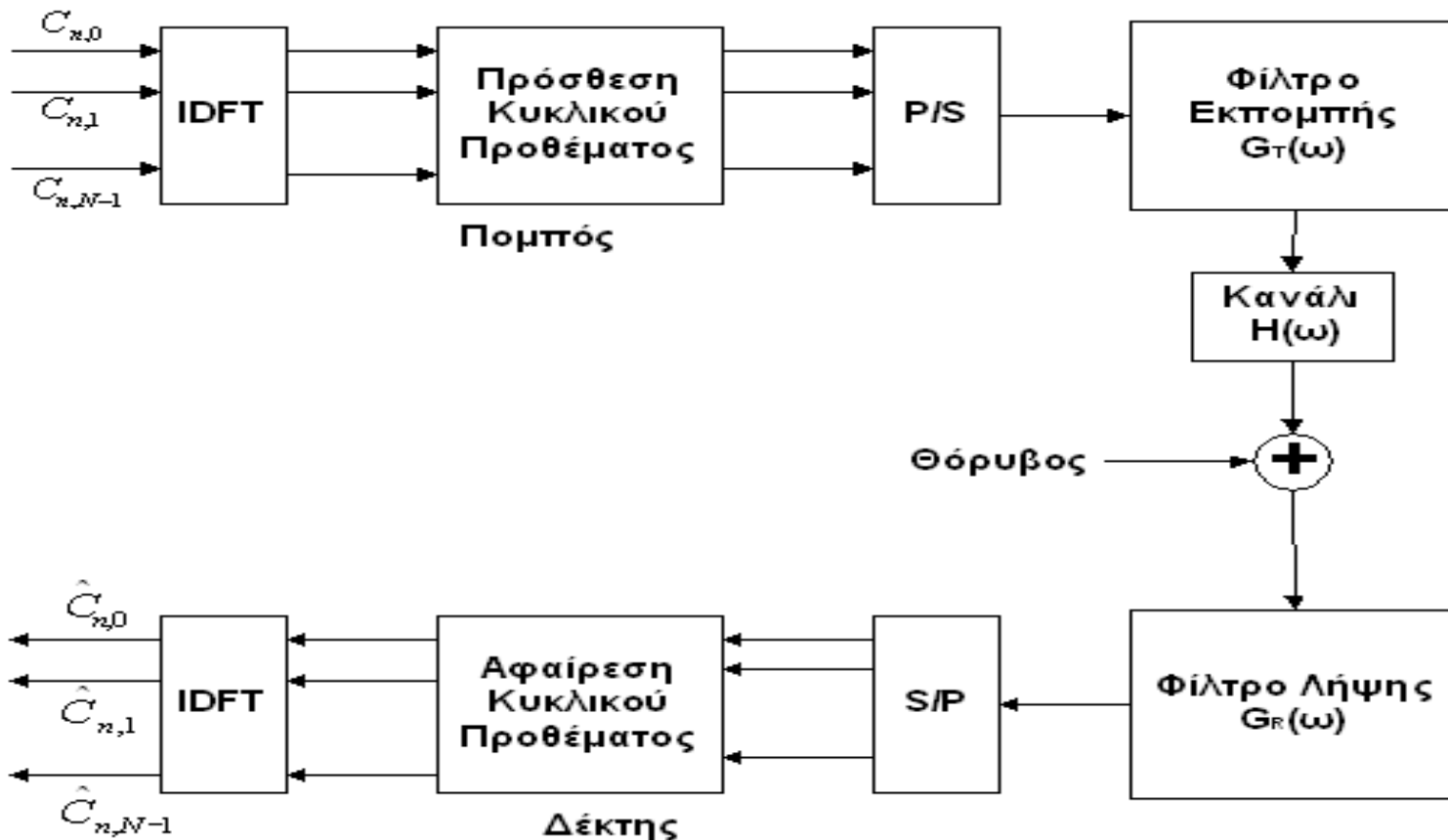
# Τεχνική μετάδοσης (διαμόρφωσης) τύπου OFDM (9/10)

Bit Error Probability Curves for OFDM and QPSK



# Τεχνική μετάδοσης (διαμόρφωσης) τύπου OFDM (10/10)

Διάγραμμα βαθμίδων του πλήρους συστήματος με χρήση του κυκλικού προθέματος (cyclic prefix).



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 1.00.



# Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών, Καθ. Κώστας Μπερμπερίδης 2014.

Κώστας Μπερμπερίδης. «Κινητά Δίκτυα Επικοινωνιών. Τεχνικές Ψηφιακής Διαμόρφωσης και Μετάδοσης».

Έκδοση: 1.0. Πάτρα 2014.

Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:

<https://eclass.upatras.gr/courses/CEID1109/>



# 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:

Οι εικόνες στις σελίδες: 12, 13, 16 έχουν δημιουργηθεί με βάση αντίστοιχες εικόνες του βιβλίου: “Wireless Communications: Principles and Practice”, T. S. Rappaport, Prentice Hall

Οι εικόνες στις σελίδες: 10, 11, 20, 21, 22, 23, 24 έχουν δημιουργηθεί με βάση αντίστοιχες εικόνες του βιβλίου: “Digital Communications”, I. A. Glover and P. M. Grant, Pearson 2010