

Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα II

Διάλεξη 2: Εισαγωγή στην Έννοια της Διαμόρφωσης

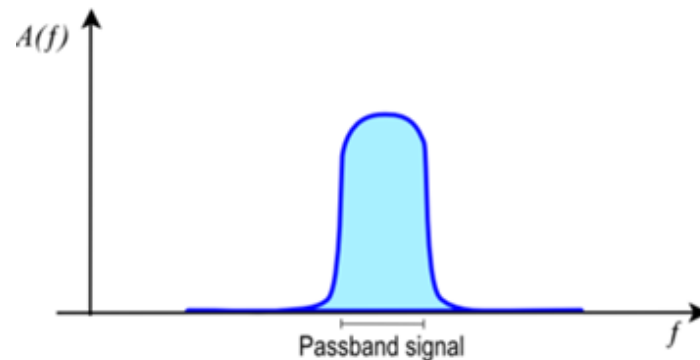
Δρ. Μιχάλης Παρασκευάς
Επίκουρος Καθηγητής

Ατζέντα

1. Η ανάγκη για διαμόρφωση
2. Είδη διαμόρφωσης
3. Διαμόρφωση με ημιτονοειδές φέρον
 - Αναλογική διαμόρφωση συνεχούς σήματος
 - Ψηφιακή διαμόρφωση συνεχούς σήματος
4. Διαμόρφωση με παλμικό φέρον
 - Αναλογική διαμόρφωση παλμών
 - Ψηφιακή διαμόρφωση παλμών
5. Σύγκριση αναλογικών – ψηφιακών διαμορφώσεων
6. Σύγκριση αποδιαμορφωτών
7. Κριτήρια επιδόσεων

Σηματοδοσία Διέλευσης Ζώνης

- Αν το κανάλι διαθέτει μία συγκεκριμένη ζώνη διέλευσης συχνοτήτων, τότε δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί η μετάδοση βασικής ζώνης, αλλά η σηματοδοσία διέλευσης ζώνης (bandpass signalling).
- Σήματα βασικής ζώνης των οποίων το φάσμα έχει μεταφερθεί σε μια συχνοτική περιοχή που είναι πιο κατάλληλη για μετάδοση μέσα από το συγκεκριμένο κανάλι μετάδοσης ονομάζονται **σήματα διέλευσης ζώνης** ([passband signals](#)).



- Το φάσμα των σημάτων αυτών είναι συγκεντρωμένο γύρω από μια συχνότητα που καλείται **φέρουσα συχνότητα** ([carrier frequency](#)).

Η Ανάγκη για Διαμόρφωση

Διαμόρφωση : Η συστηματική μεταβολή κάποιου χαρακτηριστικού της (υψίσυχνης) φέρουσας κυματομορφής (φέρον) , όπως π.χ. πλάτος, συχνότητα, φάση, σε συνάρτηση με το πληροφοριακό σήμα (μήνυμα / χαμηλόσυχο σήμα).

Λόγοι Διαμόρφωσης

- **Εύκολη ακτινοβολία :** Για την αποτελεσματική εκπομπή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στον ελεύθερο χώρο, οι διαστάσεις της κεραίας πρέπει να είναι **συγκρίσιμες** με το μήκος κύματος (λ) του σήματος.

$$\text{Ισχύει: } \lambda = c/f \text{ όπου } c = 3 \times 10^8 \text{ m/sec}$$

$$\text{Άρα, για } f = 300 \text{ Hz} \Rightarrow \lambda = 10^6 \text{ m}$$

$$\text{ενώ για } f = 300 \text{ MHz} \Rightarrow \lambda = 1 \text{ m}$$

- **Πολυπλεξία (multiplexing):** Για τη μεταφορά των φασμάτων πολλών σημάτων σε διαφορετικές φασματικές περιοχές και την **ταυτόχρονη** μετάδοσή τους μέσα από το ίδιο κανάλι.

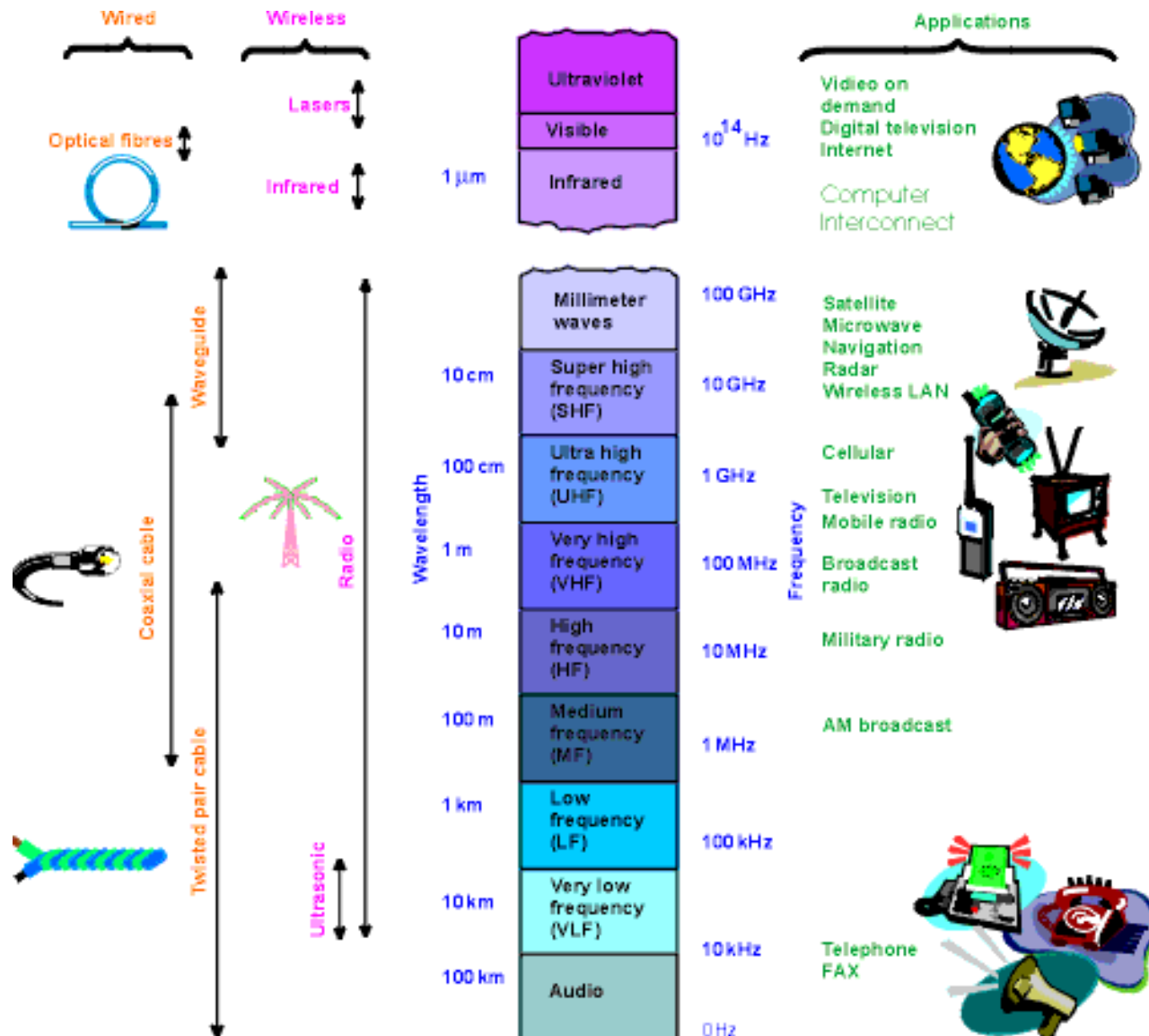
Η Ανάγκη για Διαμόρφωση

- Υπέρβαση περιορισμών από τις διατάξεις : Μεταφέροντας το φάσμα του σήματος σε φασματική περιοχή που προσφέρει ευνοϊκότερες συνθήκες σχεδίασης των διατάξεων.
- Εκχώρηση συχνότητας ([frequency allocation](#)): Για την ραδιοφωνική ή τηλεοπτική εκπομπή σε συγκεκριμένη φασματική περιοχή ανά σταθμό ή ανά τύπο επικοινωνίας, σύμφωνα με τις κρατικές ή διεθνείς ρυθμίσεις.
- Περιορισμό θορύβου και παρεμβολών : Μπορούμε να επιτύχουμε περιορισμό του θορύβου μετάδοσης ανταλλάσσοντας ευρύτερο φάσμα.

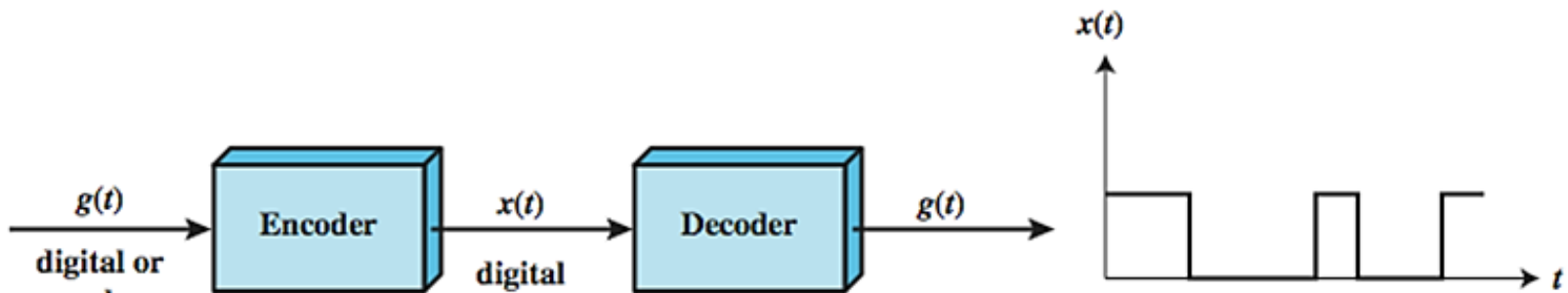
UNITED STATES FREQUENCY ALLOCATIONS THE RADIO SPECTRUM



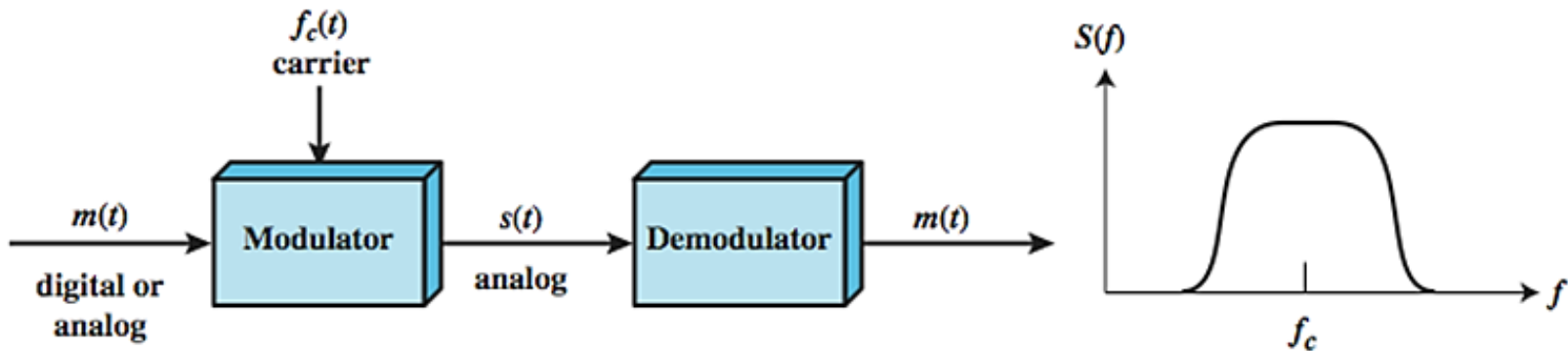
Εκχώρηση Συχνότητας



Τεχνικές Κωδικοποίησης και Διαμόρφωσης

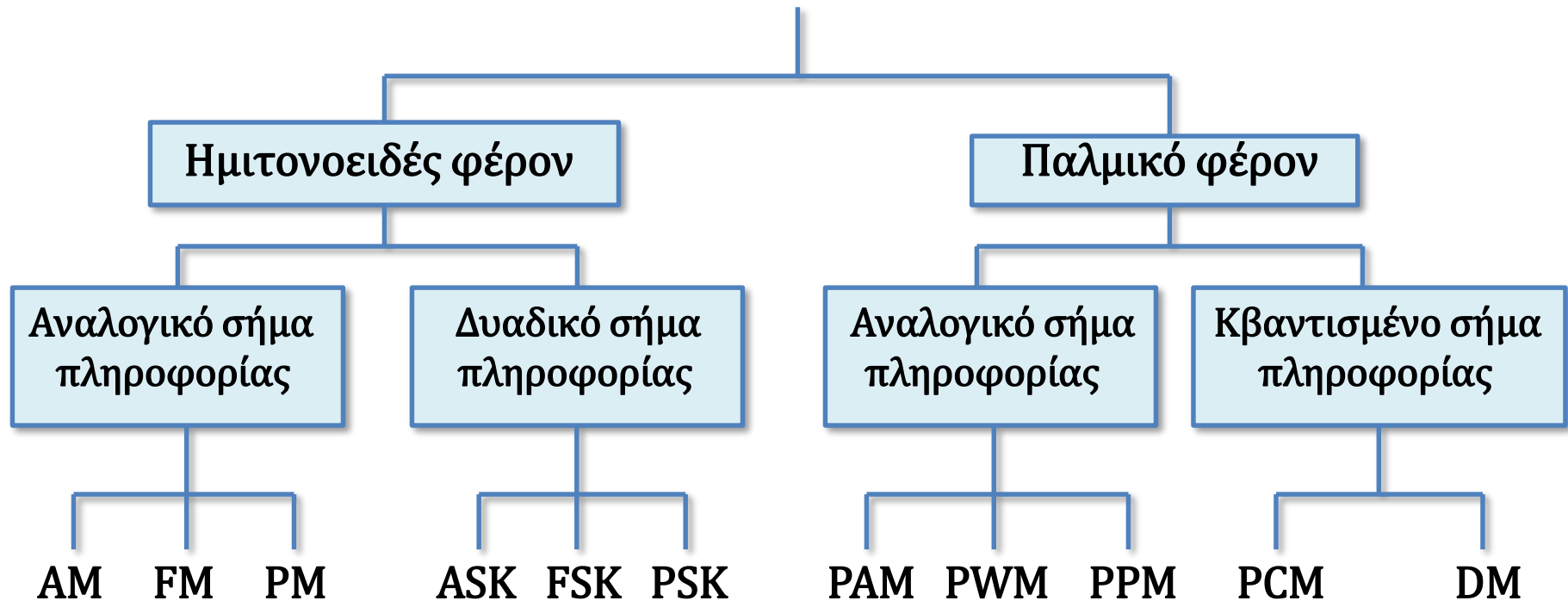


(α) Κωδικοποίηση σε ψηφιακό σήμα



(β) Διαμόρφωση σε αναλογικό σήμα

Είδη Διαμόρφωσης



A = Amplitude, F = Frequency, P = Phase, M = Modulation
K = Keying
W = Width, P = Pulse, Position
D = Delta

Α. Διαμόρφωση με Ημιτονοειδές Φέρον

Α1. Αναλογική διαμόρφωση συνεχούς κύματος

Σήμα πληροφορίας $m(t)$ συνεχούς χρόνου
Ημιτονοειδές φέρον $x(t) = A_c \cos \omega_c t$

Διαμορφωμένο σήμα $x_c(t) = A(t) \cos[\omega_c t + \varphi(t)]$ όπου $\omega_c = 2\pi f_c$

- Διαμόρφωση πλάτους ή γραμμική (AM)
αν $A(t)$ συνδέεται γραμμικά με $m(t)$
- Διαμόρφωση συχνότητας (FM)
αν $\varphi'(t)$ συνδέεται γραμμικά με $m(t)$
- Διαμόρφωση φάσης (PM)
αν $\varphi(t)$ συνδέεται γραμμικά με $m(t)$

Βασικοί Τύποι Αναλογικής Διαμόρφωσης

Διαμόρφωση Πλάτους

$$x_c(t) = A(t) \cos(\omega_c t)$$

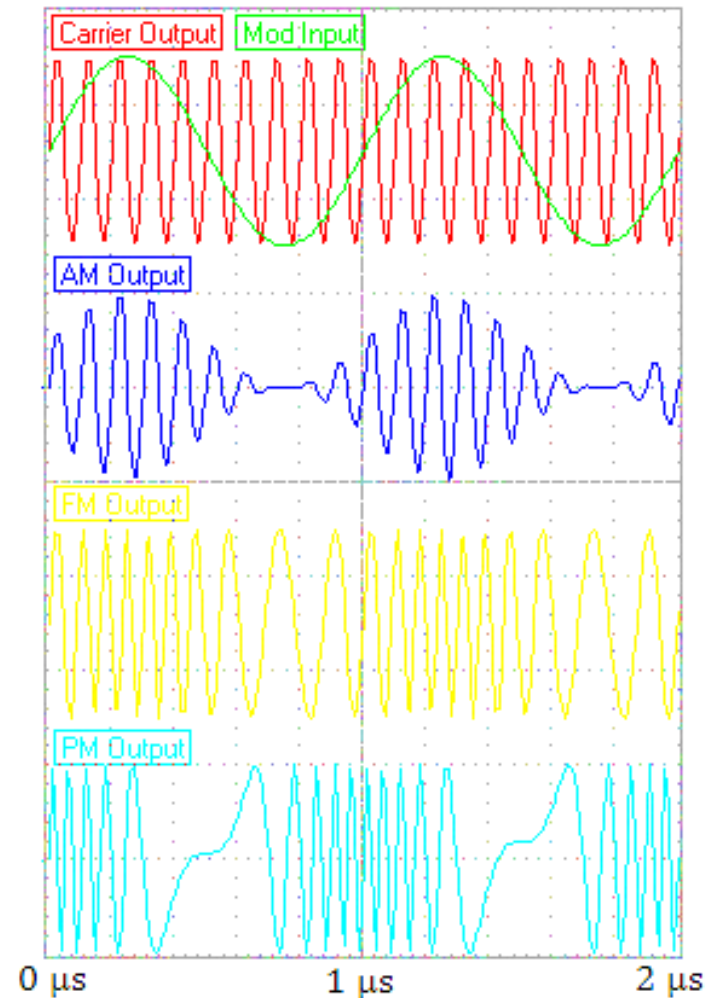
DSB	$A(t) = A_c m(t)$
AM	$A(t) = A_c [1 + m(t)]$

Διαμόρφωση συχνότητας (FM)

$$x_c(t) = A_c \cos \left(\omega_c t + k_f \int_{-\infty}^t m(\tau) d\tau \right)$$

Διαμόρφωση Φάσης (PM)

$$x_c(t) = A_c \cos \left(\omega_c t + k_p m(t) \right)$$



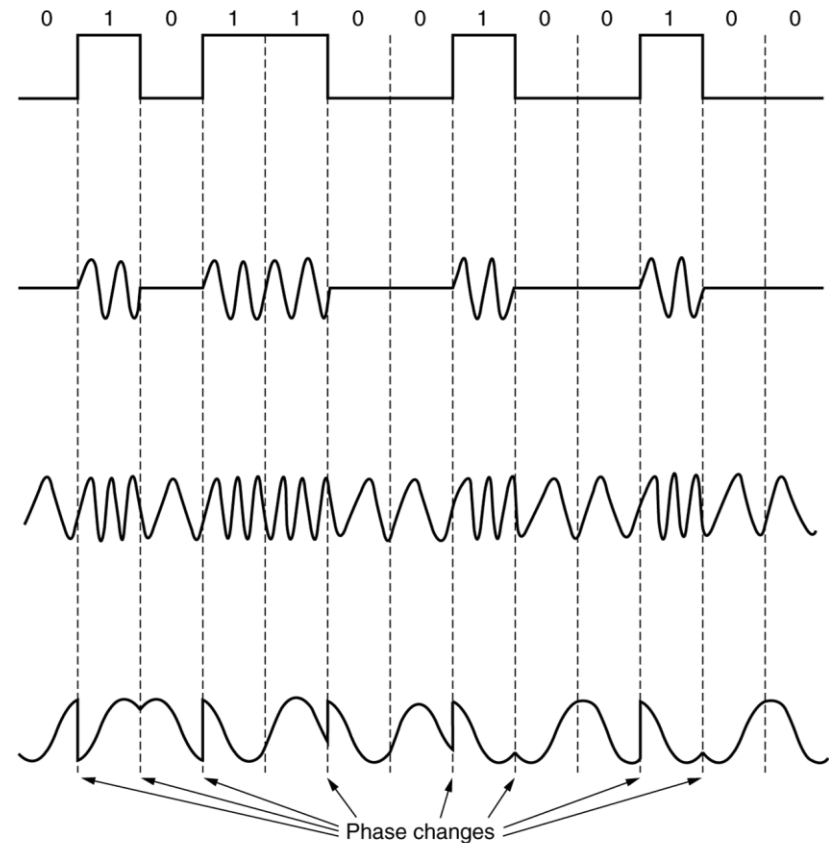
A. Διαμόρφωση με Ημιτονοειδές Φέρον

A2. Ψηφιακή διαμόρφωση συνεχούς κύματος ή ψηφιακή διαμόρφωση φέροντος

Σήμα πληροφορίας
Ημιτονοειδές φέρον

$m(t)$ ακολουθία παλμών
 $x(t) = A_c \cos \omega_c t$

- Ψηφιακή διαμόρφωση πλάτους
(Amplitude Shift Keying - ASK)
- Ψηφιακή διαμόρφωση συχνότητας
(Frequency Shift Keying - FSK)
- Ψηφιακή διαμόρφωση φάσης
(Phase Shift Keying - PSK)



A2. Ψηφιακή Διαμόρφωση

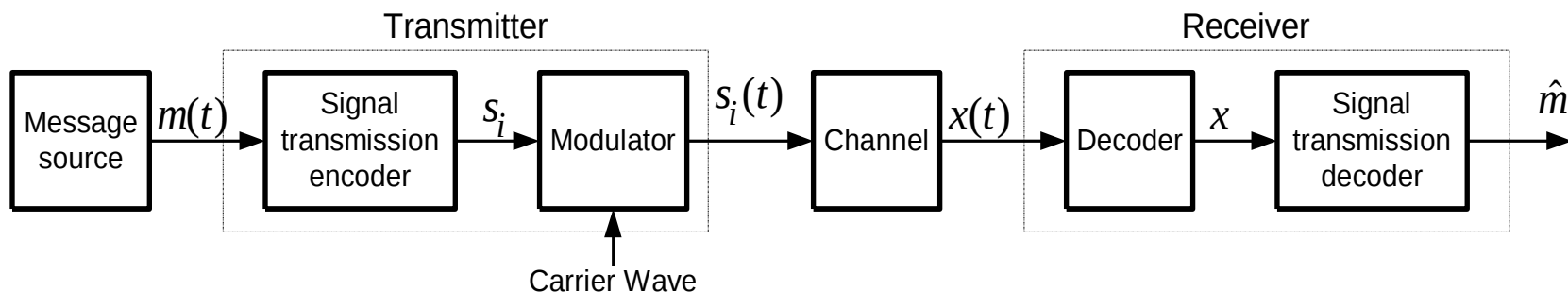
Χρησιμοποιείται για την μετάδοση ενός πληροφοριακού σήματος $m(t)$ ακολουθίας παλμών (ψηφιακό) μέσα από ένα δοσμένο κανάλι επικοινωνίας.

Μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε **μετάδοση βασικής ζώνης**, αλλά τα περισσότερα κανάλια έχουν **φτωχή απόκριση** στις χαμηλές συχνότητες.

Επομένως, **διαμορφώνουμε** κατάλληλα το ψηφιακό σήμα $m(t)$ ώστε να το μεταφέρουμε στην επιθυμητή ζώνη διέλευσης συχνοτήτων του καναλιού. Η ψηφιακή πληροφορία $m(t)$ μπορεί να μεταβάλλει το **πλάτος**, τη **φάση** ή τη **συχνότητα** του **φέροντος**.

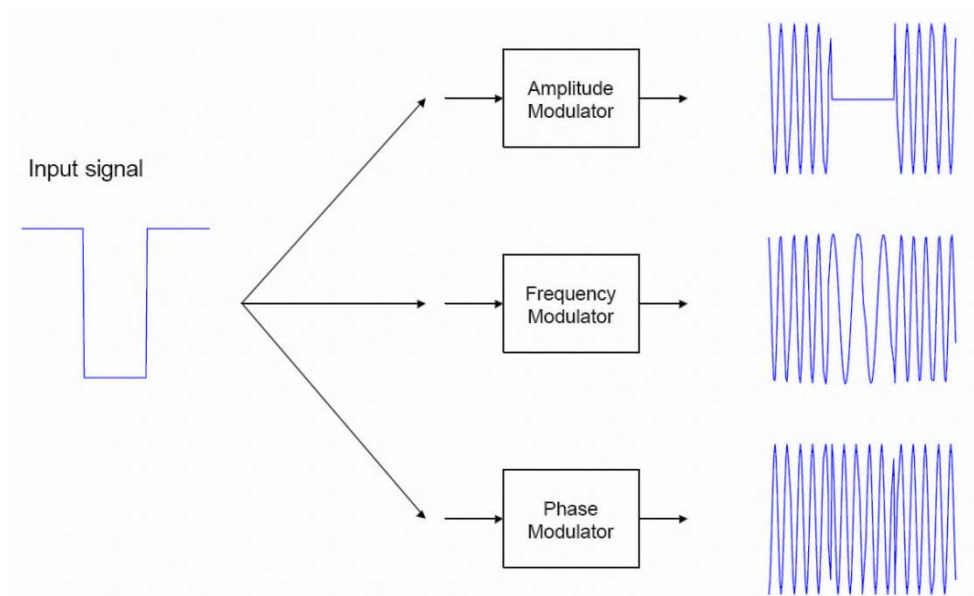
Σήμα πληροφορίας
Ημιτονοειδές φέρον

$m(t)$ ακολουθία παλμών
 $x(t) = A \cos \omega_c t$



Μέθοδοι Ψηφιακής Διαμόρφωσης

Στην ψηφιακή διαμόρφωση στέλνουμε bits με τη χρήση ενός υψίσυχνου φέροντος σήματος $x(t) = A \cos \omega_c t$. Κάθε bit διαρκεί T και ο ρυθμός μετάδοσης είναι $r = 1/T$.



ASK - Amplitude shift keying

Ψηφιακή διαμόρφωση πλάτους

FSK - Frequency shift keying

Ψηφιακή διαμόρφωση συχνότητας

PSK - Phase shift keying

Ψηφιακή διαμόρφωση φάσης

- Για Δυαδικά (Binary) σήματα ($M = 2$), έχουμε:
 - Binary Amplitude Shift Keying (BASK)
 - Binary Frequency Shift Keying (BFSK)
 - Binary Phase Shift Keying (BPSK)
- Για $M > 2$ έχουμε τις M-ιαδικές τεχνικές π.χ. M-ary Phase Shift Keying (MPSK)

Β. Διαμόρφωση με Παλμικό Φέρον

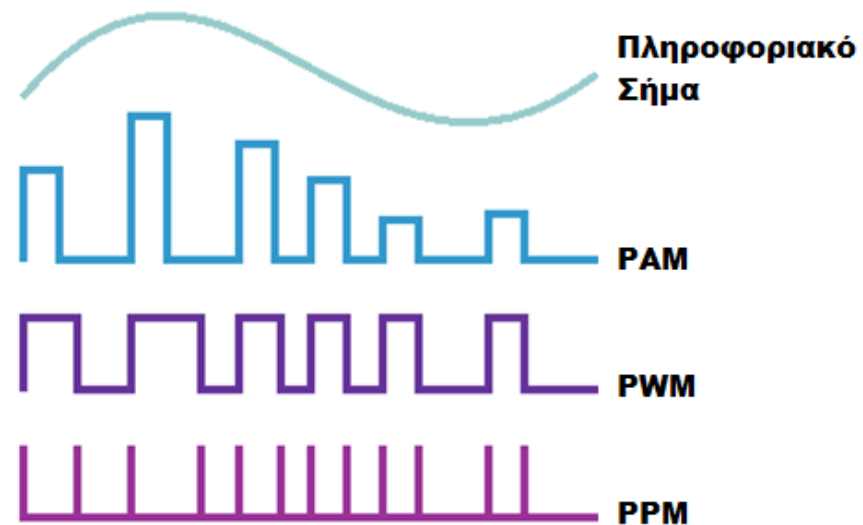
B1. Αναλογική διαμόρφωση παλμών (Analog pulse modulation)

– Το φέρον είναι μία ακολουθία παλμών

– Διαμόρφωση ύψους παλμών
(PAM – Pulse Amplitude Modulation)

– Διαμόρφωση διάρκειας παλμών
(PWM – Pulse Width Modulation)

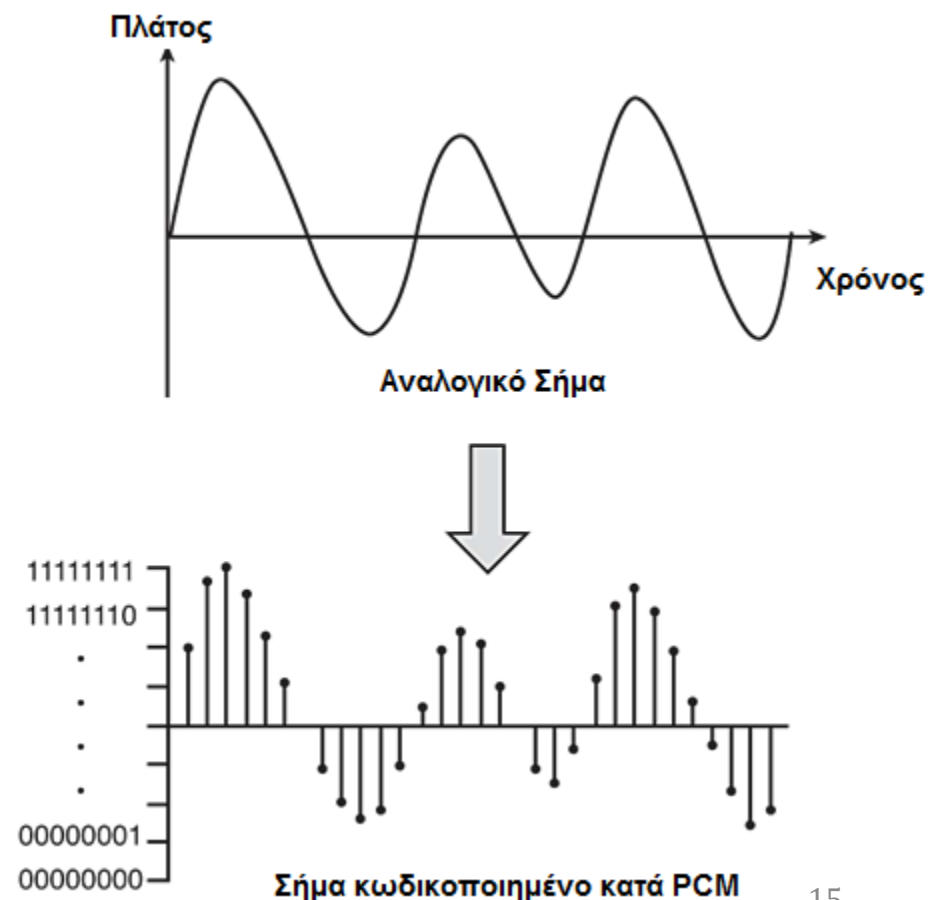
– Διαμόρφωση θέσης παλμών
(PPM – Pulse Position Modulation)



Β. Διαμόρφωση με Παλμικό Φέρον

Β2. Ψηφιακή διαμόρφωση παλμών (Digital Pulse Modulation)

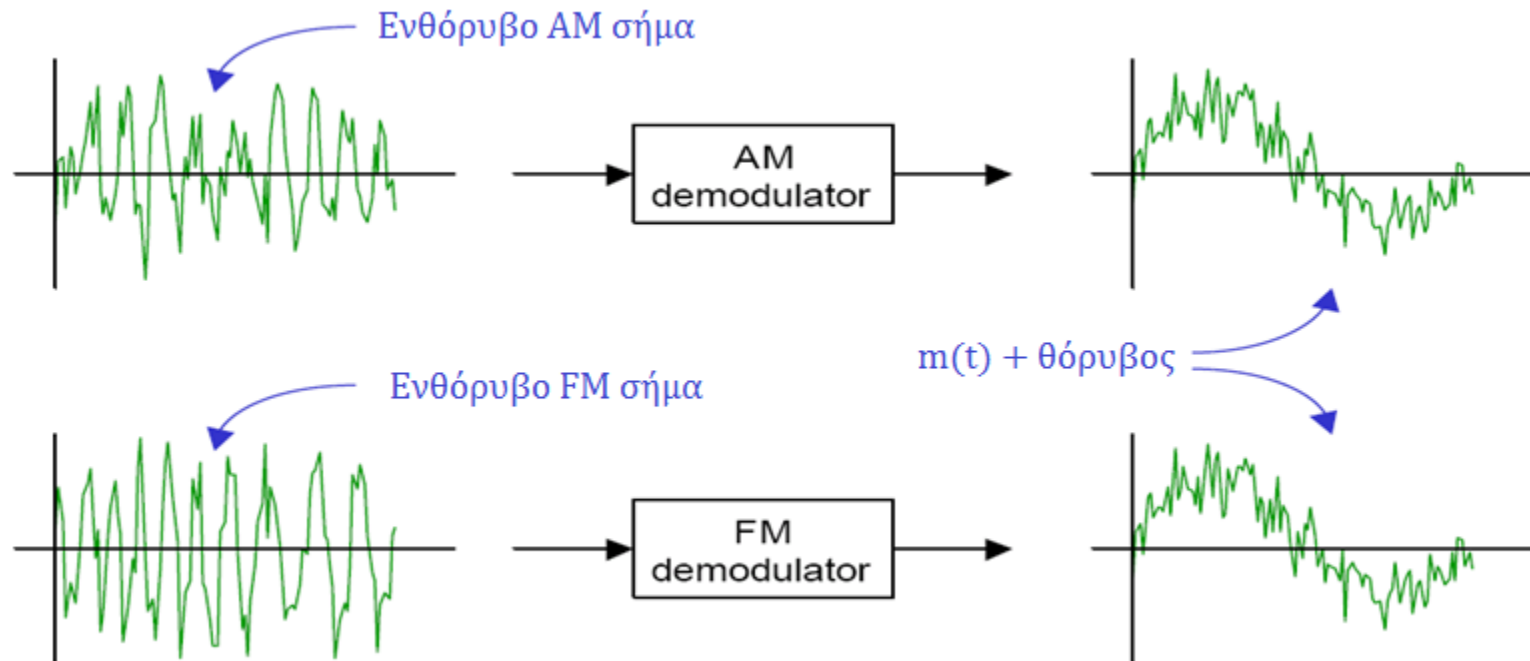
- Το σήμα πληροφορίας είναι μια ακολουθία **δυαδικών** παλμών
- **Παλμοκωδική Διαμόρφωση** (PCM – Pulse Code Modulation)
 - Α/D μετατροπή: Δειγματοληψία, κβαντισμός και κωδικοποίηση
 - Σφάλματα δειγματοληψίας και κβαντισμού



Σύγκριση Αναλογικών Ψηφιακών Διαμορφώσεων

Αναλογική διαμόρφωση

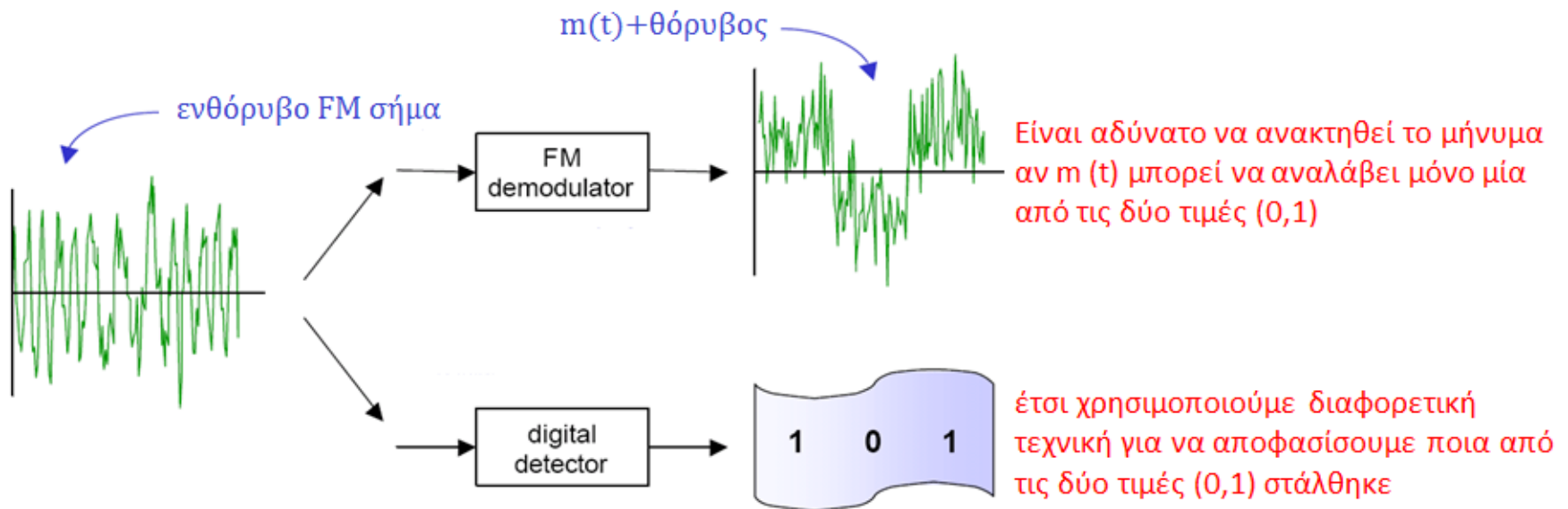
1. Το σήμα $m(t)$ είναι αναλογικό
2. Ο αποδιαμορφωτής πρέπει να αναπαραγάγει το $m(t)$ όσο καλύτερα μπορεί



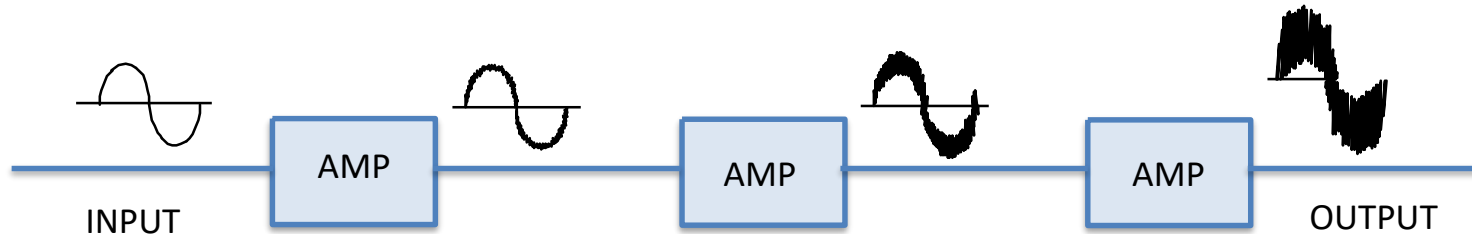
Σύγκριση Αναλογικών Ψηφιακών Διαμορφώσεων

Ψηφιακή διαμόρφωση

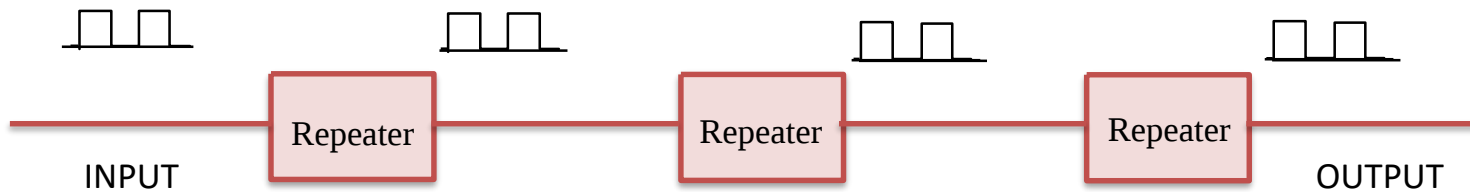
1. Το $m(t)$ παίρνει μια τιμή από ένα πεπερασμένο σύνολο τιμών
2. Ο αποδιαμορφωτής πρέπει να αποφασίσει ποιά από τις πιθανές τιμές έχει μεταδοθεί. Δεν υπάρχει ανάγκη πιστής αναπαραγωγής του $m(t)$



Γιατί Ψηφιακά Συστήματα;



Αναλογικοί επαναλήπτες (ενισχυτές): Ο θόρυβος συσσωρεύεται

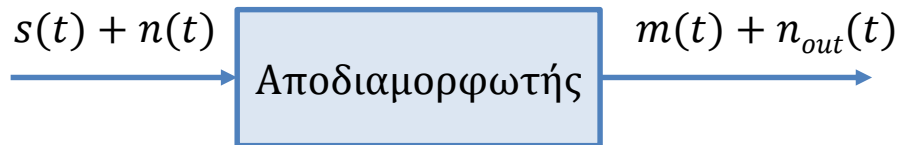


Ψηφιακοί επαναλήπτες: «Τέλεια» αναπαραγωγή του σήματος

Σύγκριση αποδιαμορφωτών {AM, FM, PM} και {ASK, FSK, PSK}

Οι αποδιαμορφωτές για AM, FM και PM:

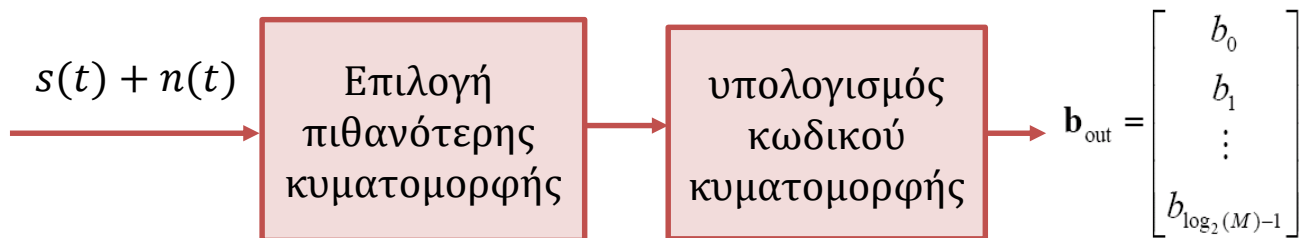
- Αναπαράγουν πιστά το $m(t)$ απο το διαμορφωμένο φέρον
- Κριτήριο επιτυχίας : η σηματοθορυβική σχέση SNR



$$SNR = \frac{E\{|m(t)|^2\}}{E\{|n_{out}(t)|^2\}}$$

Οι αποδιαμορφωτές για ASK, FSK και PSK:

- Αποφασίζουν για ποιά απο τις M δυνατές κυματομορφές έχει μεταδοθεί
- Έχουν σαν έξοδο τον κωδικό της κυματομορφής αυτής
- Κριτήριο επιτυχίας : η μικρή πιθανότητα σφάλματος



$$P(E) = \Pr\{\mathbf{b}_{out} \neq \mathbf{b}_{transmitted}\}$$

Κριτήρια Επιδόσεων

- Αναλογικά Συστήματα Επικοινωνίας
 - Κριτήριο είναι η **πιστότητα** της μετάδοσης.
 - Στόχος: λαμβανόμενο = εκπεμπόμενο σήμα.
- Ψηφιακά Συστήματα Επικοινωνίας
 - Κριτήρια είναι ο **ρυθμός μετάδοσης** ($R \text{ bits/s}$) και η **πιθανότητα σφάλματος** ενός bit ($P_b = p(b_r \neq bt)$).
 - Με ιδανικό κανάλι και χωρίς θόρυβο, δεν έχουμε σφάλματα.
 - Με ύπαρξη θορύβου στο κανάλι, η P_b εξαρτάται από τη ισχύ του σήματος, την ισχύ του θορύβου, τον ρυθμό μετάδοσης και τα χαρακτηριστικά του καναλιού (εύρος ζώνης συχνοτήτων, πλάτος, φάση).

Σύγκριση Αναλογικών και Ψηφιακών Συστημάτων Επικοινωνίας

Αναλογικά Συστήματα

- Απλούστερη δομή
- Δυσκολότερη σχεδίαση
- Ελάχιστες δυνατότητες υλοποίησης βέλτιστων διατάξεων
- Δυσκολότερη υλοποίηση και συντήρηση
 - Ανάγκη συνεχών ρυθμίσεων
 - Απαιτήσεις γραμμικότητας εξαρτημάτων
 - Εξάρτηση από τις θερμοκρασιακές μεταβολές των εξαρτημάτων
 - Εξάρτηση από τη γήρανση του υλικού
- Χρησιμοποιούνται για υλοποίηση συστημάτων πολύ υψηλών ταχυτήτων ή πολύ μικρής κατανάλωσης

Ψηφιακά Συστήματα

- Μεγαλύτερη αντοχή στο θόρυβο
- Συμπίεση δεδομένων
- Μείωση κόστους
- Βελτίωση Ασφάλειας
- Μικρότερη απαιτούμενη ισχύς
- Πολυπλοκότερη δομή
- Ευκολότερη σχεδίαση
- Δυνατότητα υλοποίησης βέλτιστων διατάξεων
- Καλύτερη προσαρμογή προς το κανάλι
- Ευελιξία κατασκευής
 - DSPs, μPs
 - FPGAs, ASICs
- Μικρότερο κόστος