

Τμήμα  
Μηχανικών  
Πληροφορικής τ.ε.

Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα  
Δυτικής Ελλάδας

# Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα Ι

## Διάλεξη 4: Κανάλια Επικοινωνιών – Η έννοια της Διαμόρφωσης

Δρ. Μιχάλης Παρασκευάς  
Επίκουρος Καθηγητής

# Ατζέντα

## 1. Κανάλια Επικοινωνίας

- Είδη καναλιών επικοινωνίας
- Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα
- Επιπτώσεις στα σήματα από τα κανάλια επικοινωνίας

## 2. Η έννοια της Διαμόρφωσης

- Είδη διαμόρφωσης
- Διαμόρφωση με ημιτονοειδές φέρον
- Διαμόρφωση με παλμικό φέρον
- Σύγκριση αναλογικών – ψηφιακών διαμορφώσεων
- Σύγκριση αποδιαμορφωτών - Κριτήρια επιδόσεων

## 3. Εισαγωγή στις Αναλογικές Διαμορφώσεις

- Διαμόρφωση Πλάτους (AM)
- Διαμόρφωση Συχνότητας (FM)
- Διαμόρφωση Φάσης (PM)

# Κανάλια Επικοινωνίας

- Είδη καναλιών επικοινωνίας
- Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα
- Επιπτώσεις στα σήματα από τα κανάλια επικοινωνίας

# Κανάλια Επικοινωνίας

1. Είδη καναλιών επικοινωνίας
2. Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα
3. Επιπτώσεις στα σήματα από τα κανάλια επικοινωνίας

# Είδη Καναλιών Επικοινωνίας (1/4)

## Κανάλια καθοδηγούμενης μετάδοσης

- Συνεστραμμένα ζεύγη συρμάτων (τηλεφωνία, xDSL)
- Ομοαξονικά καλώδια (CATV)
- Οπτικές ίνες ( $2 \times 10^{13}$  Hz)

## Κανάλια ελεύθερης μετάδοσης

- Κανάλια ραδιομετάδοσης (radio, TV, WLAN)
- Κανάλια κινητών επικοινωνιών (GSM, UMTS)
- Δορυφορικά κανάλια

## Γραμμικά – μη γραμμικά

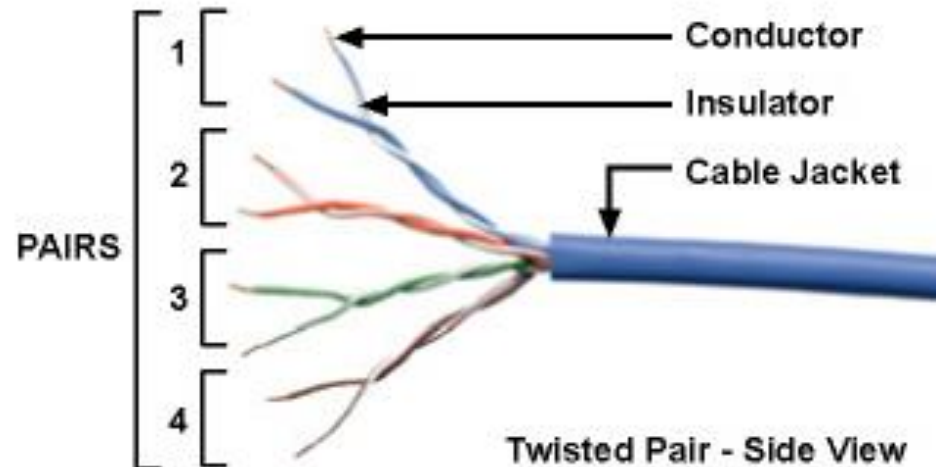
## Χρονικά αμετάβλητα – χρονικά μεταβαλλόμενα

## Με περιορισμό ισχύος – με περιορισμό φάσματος



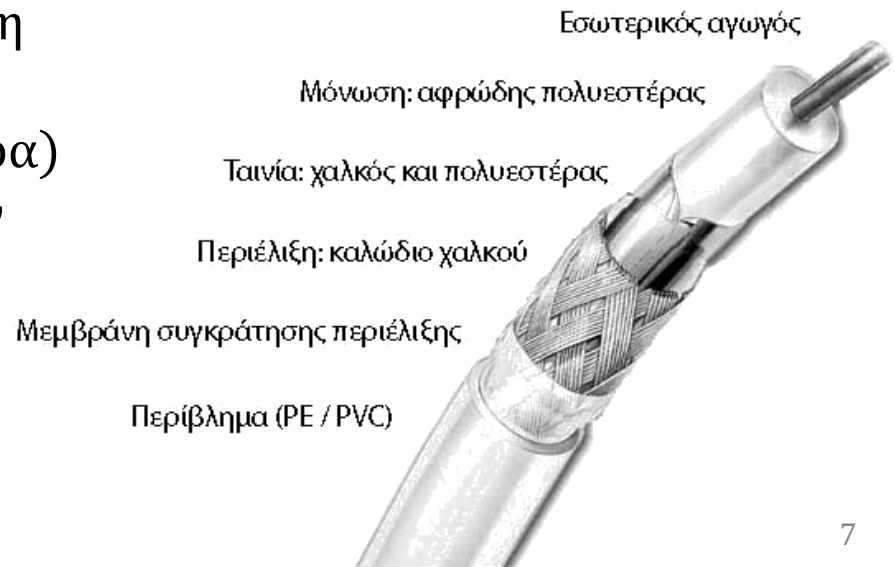
# Τηλεφωνικό Κανάλι

- Ευρέως διαδεδομένο
- Κανάλι περιορισμένου εύρους ζώνης (300 Hz – 3100 Hz)
- Έχει μεγάλη απόσβεση στις υψηλότερες συχνότητες
- Ευάλωτο σε ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές και συνακροάσεις
- Υλοποίηση με συνεστραμμένο ζεύγος καλωδίων ( $Z_0 = 90 - 110 \text{ Ohms}$ )
- Η τεχνολογία xDSL χρησιμοποιεί αυτά τα καλώδια
- Συνδέσεις point-to-point



# Ομοαξονικό καλώδιο

- Έχει πολύ μεγαλύτερο εύρος ζώνης συχνοτήτων (μέχρι και 1 GHz).
- Αρκετά ανθεκτικό στις ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές.
- Υλοποίηση με έναν εσωτερικό και έναν κυλινδρικό εξωτερικό αγωγό που χωρίζονται με διηλεκτρικό υλικό ( $Z_0 = 50$  ή  $75$  Ohms).
- Υποστηρίζει συνδέσεις point-to-point άλλα και point-to-multipoint (MA).
- Χρησιμοποιείται στην καλωδιακή τηλεόραση (CATV) για τη μετάδοση τηλεοπτικών και ραδιοφωνικών προγραμμάτων, καθώς (παλαιότερα) και σε τοπικά δίκτυα υπολογιστών (LAN).



# Οπτική ίνα

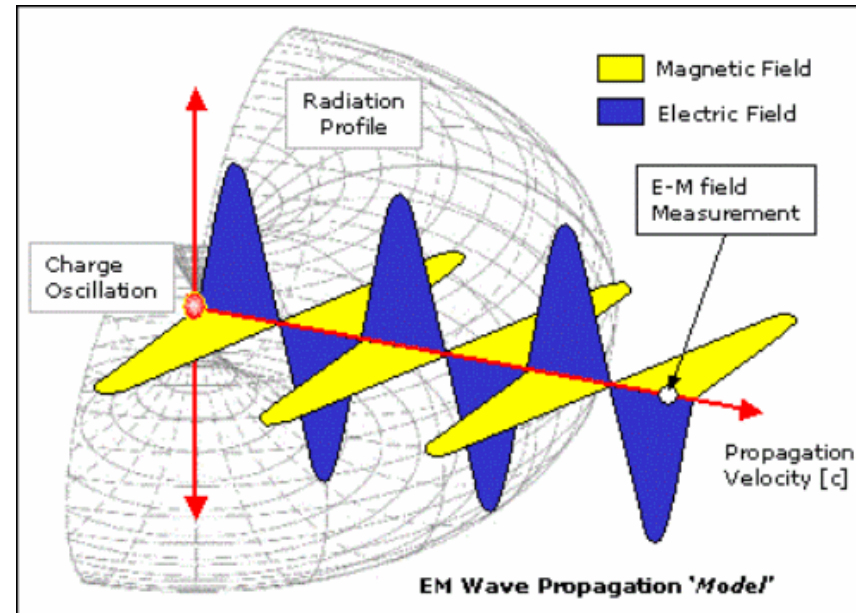
- Αποτελείται από ένα υάλινο κεντρικό πυρήνα περιβαλλόμενο από επένδυση με διαφορετική διηλεκτρική σταθερά και ένα προστατευτικό εξωτερικό στρώμα.
- Τεράστιο εύρος ζώνης συχνοτήτων (μέχρι  $2 \times 10^{13}$  Hz).
- Μικρή απόσβεση  $\Rightarrow$  επικοινωνίες μεγάλων αποστάσεων.
- Αναισθησία στις ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές.
- Μικρό μέγεθος και βάρος, ανθεκτικότητα, ευελιξία.
- Ανεξάντλητη πρώτη ύλη (άμμος).





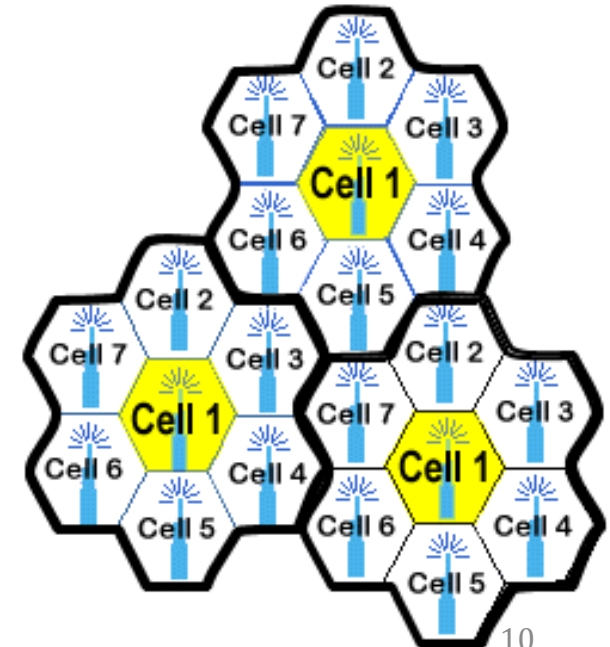
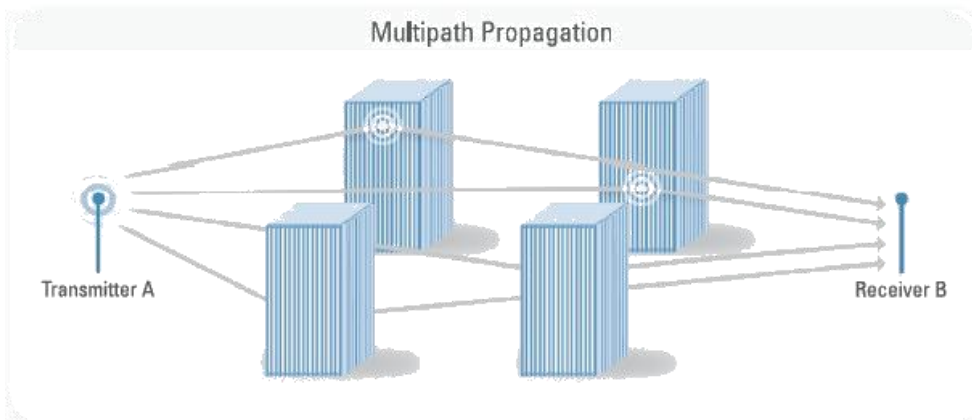
# Ασύρματο κανάλι εκπομπής

- Εύρος ζώνης συχνοτήτων ανάλογο του σήματος και της διαμόρφωσης:
  - 20 KHz AM (Διαμόρφωση πλάτους)
  - 100 ή 200 KHz FM (Διαμόρφωση συχνότητας)
  - 4 – 6 MHz TV
- Υπερετερόδυναμοι δέκτες για αποδιαμόρφωση.
- Κεραίες σε υψηλά σημεία, ισχυροί πομποί, φθηνοί και απλοί δέκτες.
- Επικοινωνία μεγάλων αποστάσεων (ανάκλαση, περίθλαση).



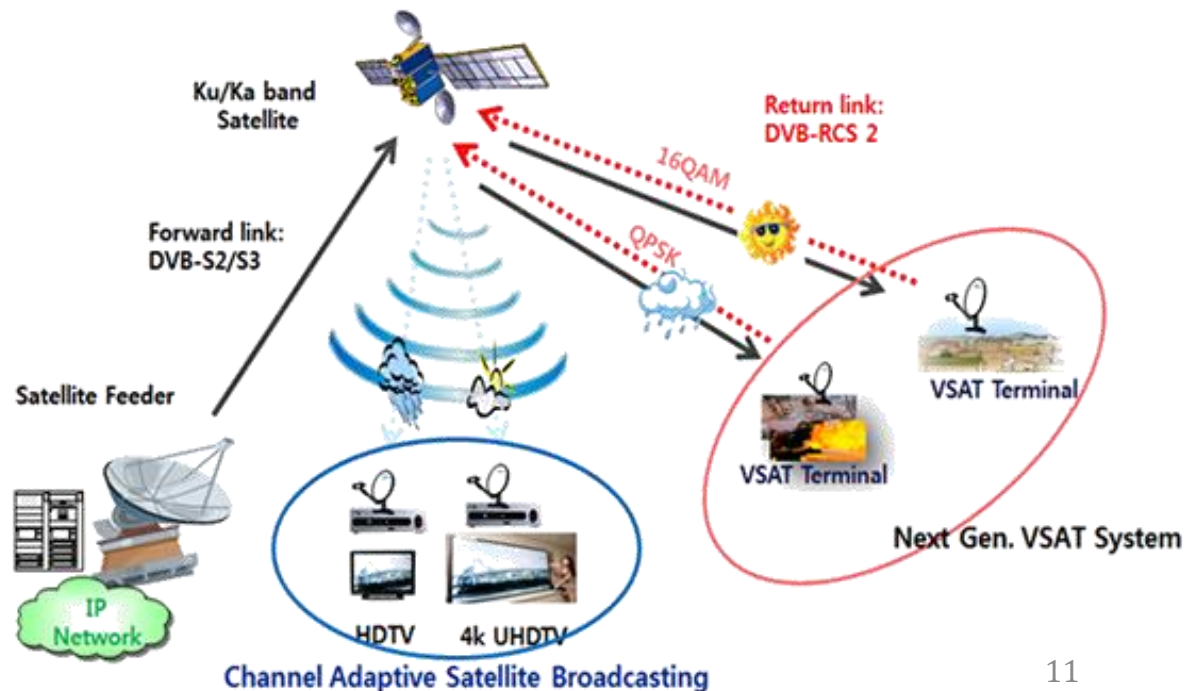
# Κανάλια κινητών επικοινωνιών

- Κυψελωτές Επικοινωνίες – [Cellular Communications](#)
- Επίγεια κανάλια ασύρματης επικοινωνίας με κινητούς πομπούς και δέκτες.
- Δεν είναι πάντοτε δυνατή η οπτική επαφή πομπού και δέκτη.
- Η [σκέδαση](#) των Η/Μ κυμάτων προκαλεί [πολυδιάδρομη μετάδοση](#).
- Το κανάλι θεωρείται γραμμικό χρονικά μεταβαλλόμενο.



# Δορυφορικά κανάλια

- Δορυφορικές Επικοινωνίες – [Satellite Communications](#)
- Κάλυψη πολύ μεγάλων περιοχών της Γης (σε [γεωστατική τροχιά](#) – 36.000 Km).
- Μεγάλο εύρος φάσματος και υψηλή αξιοπιστία.
- Συνδέσεις point-to-point, point-to-multipoint και broadcasting.
- Υλοποίηση δικτύων [VSAT](#) (very small aperture terminals).
- Κινούμενοι ή σταθεροί πομποί και δέκτες.
- Συνήθης συχνότητα λειτουργίας τα 4/6 GHz με τυπικό εύρος φάσματος 500MHz διαμοιρασμένο σε 12 [transponders](#) (36 MHz). Κάθε transponder μπορεί να υποστηρίξει 1200 κανάλια φωνής ή 50 Mbps data.



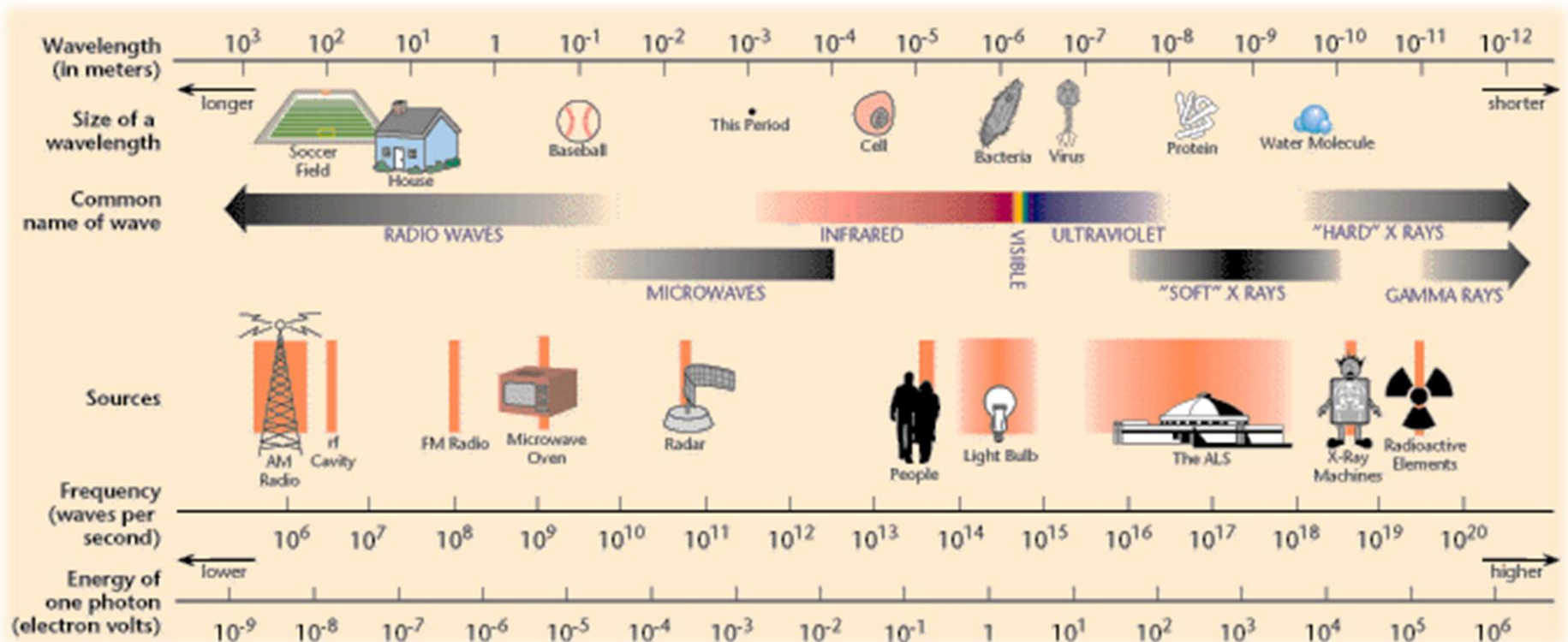
# Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα (1/2)

Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα ονομάζεται το εύρος της περιοχής συχνοτήτων που καλύπτουν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα.

Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα εκτείνεται θεωρητικά από σχεδόν μηδενικές συχνότητες έως το άπειρο και χωρίζεται στις επιμέρους ζώνες:

- 1) Ραδιοκύματα
- 2) Μικροκύματα
- 3) Υπέρυθρη Ακτινοβολία
- 4) Ορατή Ακτινοβολία (φως)
- 5) Υπεριώδης Ακτινοβολία
- 6) Ακτίνες X
- 7) Ακτίνες  $\gamma$

# Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα (2/2)



# Επιπτώσεις στα Σήματα από τα Κανάλια Επικοινωνίας (1/2)

## 1. Παραμορφώσεις ([Distortions](#))

- Μεταβολές φάσης με τη συχνότητα – Προκαλούν διαφορική καθυστέρηση ομάδας
- Μεταβολές απολαβής με τη συχνότητα – Προκαλούνται από το φιλτράρισμα που πραγματοποιεί το κανάλι
- Μεταβολές απολαβής με τον χρόνο
- Μετατοπίσεις συχνότητας λόγω σφαλμάτων τοπικού ταλαντωτή

## 2. Παρεμβολές ([Interferences](#))

- Δημιουργούνται όταν το κανάλι «μολύνεται» από εξωτερικά σήματα, π.χ. από ηλεκτρικές γραμμές ισχύος, μηχανήματα, άλλους χρήστες, κλπ.

## 3. Θόρυβος ([Noise](#))

- Απρόβλεπτα ηλεκτρικά σήματα από φυσικές πηγές
- Τεράστιο το πλήθος των πηγών θορύβου
- Προσθετικός Λευκός Γκαουσιανός Θόρυβος ([Additive White Gaussian Noise, AWGN](#))



# Επιπτώσεις στα Σήματα από τα Κανάλια Επικοινωνίας (2/2)

## Ενσύρματα ή ασύρματα κανάλια

- Τα ενσύρματα γενικά επηρεάζονται «λιγότερο» από τα πιο πάνω προβλήματα
- Τα οπτικά μέσα (fiber optic) έχουν σίγουρα την καλύτερη απόδοση
- Τα ασύρματα μέσα έχουν τα δικά τους πλεονεκτήματα:
  - Δεν χρειάζονται «φυσική» σύνδεση
  - Πιο εύκολη εγκατάσταση
  - Υποστηρίζουν κινητικότητα των χρηστών

# Η έννοια της Διαμόρφωσης

- Είδη διαμόρφωσης
- Διαμόρφωση με ημιτονοειδές φέρον
- Διαμόρφωση με παλμικό φέρον
- Σύγκριση αναλογικών – ψηφιακών διαμορφώσεων
- Σύγκριση αποδιαμορφωτών - Κριτήρια επιδόσεων

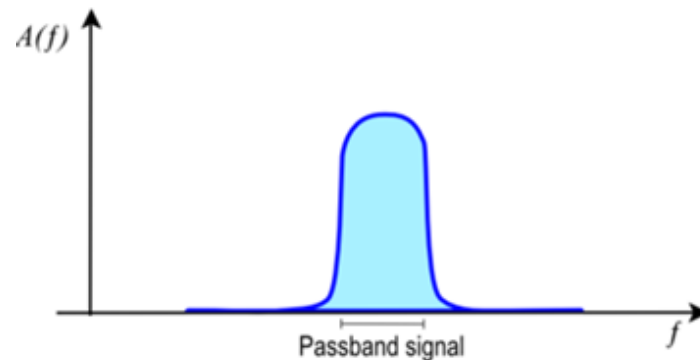


# Η έννοια της Διαμόρφωσης

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 (1/3)

**Διαμόρφωση** : Η συστηματική μεταβολή κάποιου χαρακτηριστικού της (υψίσυχνης) φέρουσας κυματομορφής (φέρων) , 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 ( $\lambda$ ) του σήματος.

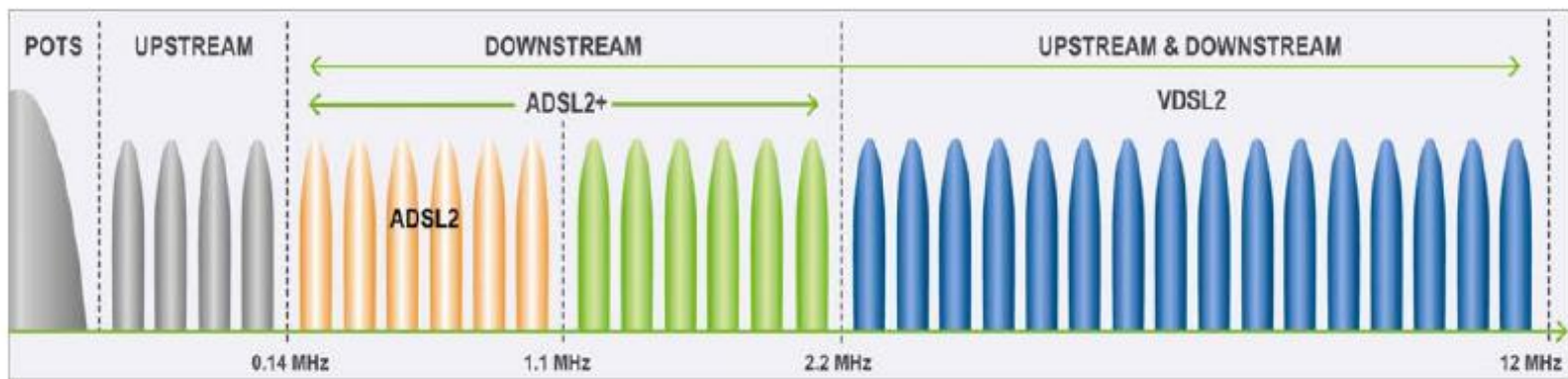
$$\text{Ισχύει: } \lambda = c/f \text{ όπου } c = 3 \times 10^8 \text{ m/sec}$$

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

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

# Η Ανάγκη για Διαμόρφωση (2/3)

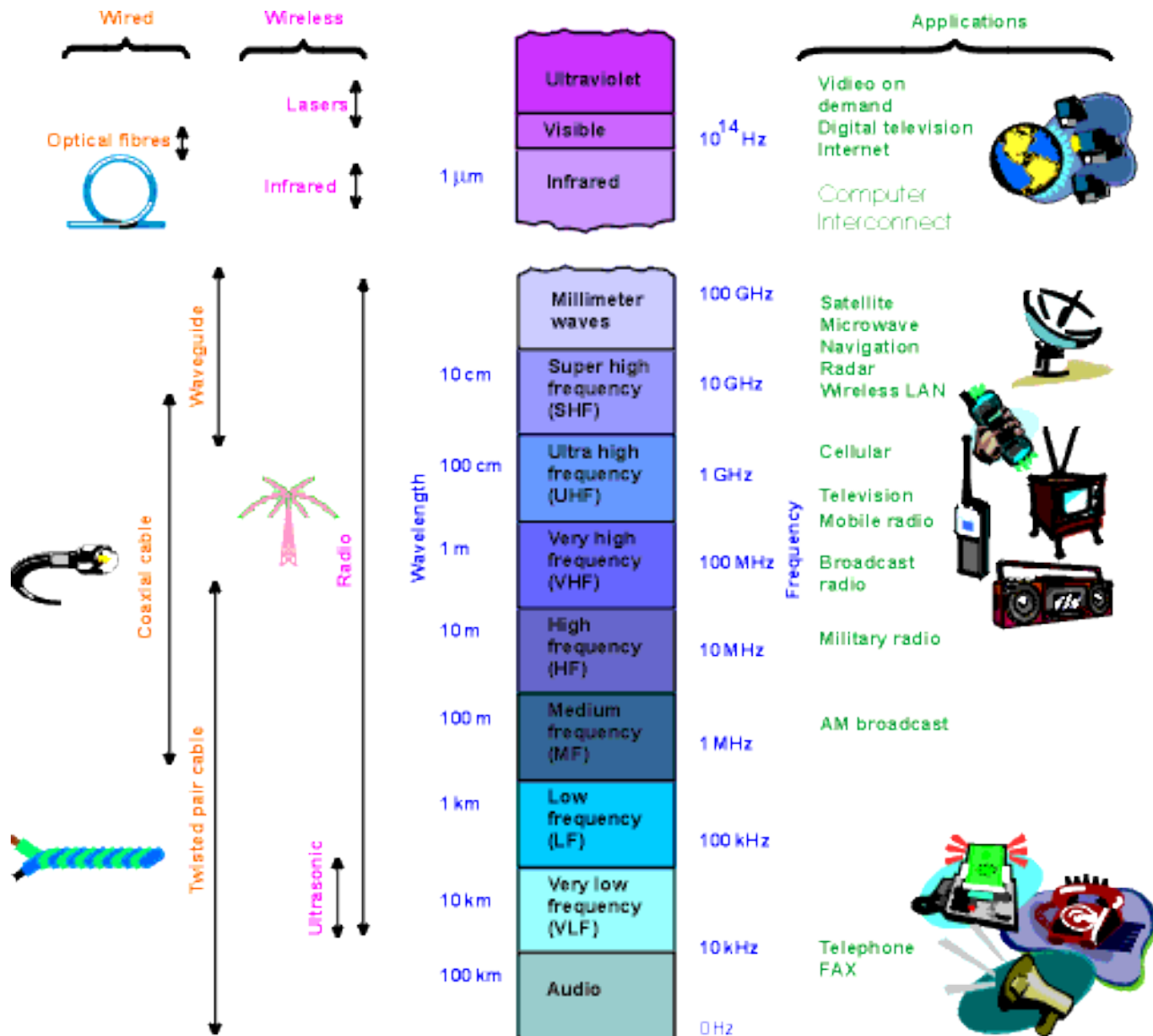
- Πολυπλεξία ([multiplexing](#)): Για τη μεταφορά των φασμάτων πολλών σημάτων σε διαφορετικές φασματικές περιοχές και την ταυτόχρονη μετάδοσή τους μέσα από το ίδιο κανάλι.



- Υπέρβαση περιορισμών από τις διατάξεις : Μεταφέροντας το φάσμα του σήματος σε φασματική περιοχή που προσφέρει ευνοϊκότερες συνθήκες σχεδίασης των διατάξεων.
- Περιορισμό θορύβου και παρεμβολών: Μπορούμε να επιτύχουμε περιορισμό του θορύβου μετάδοσης ανταλλάσσοντας ευρύτερο φάσμα.

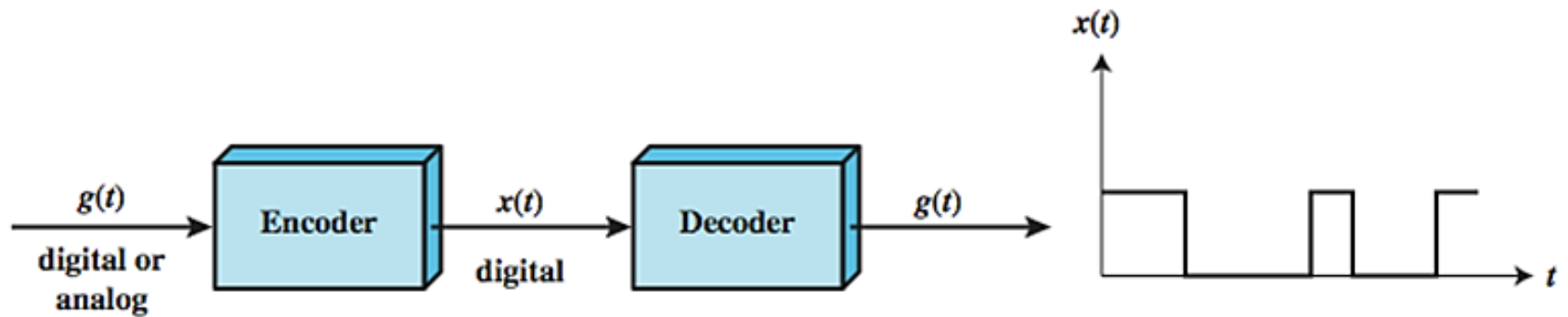


# Εκχώρηση Συχνότητας

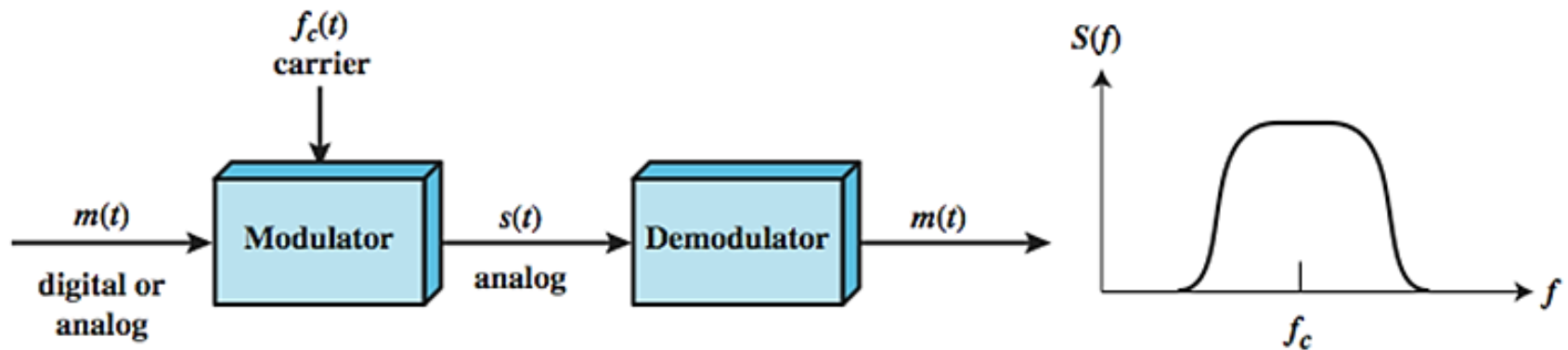


# Τεχνικές Διαμόρφωσης και Κωδικοποίησης

# Τεχνικές Διαμόρφωσης (Κωδικοποίησης)



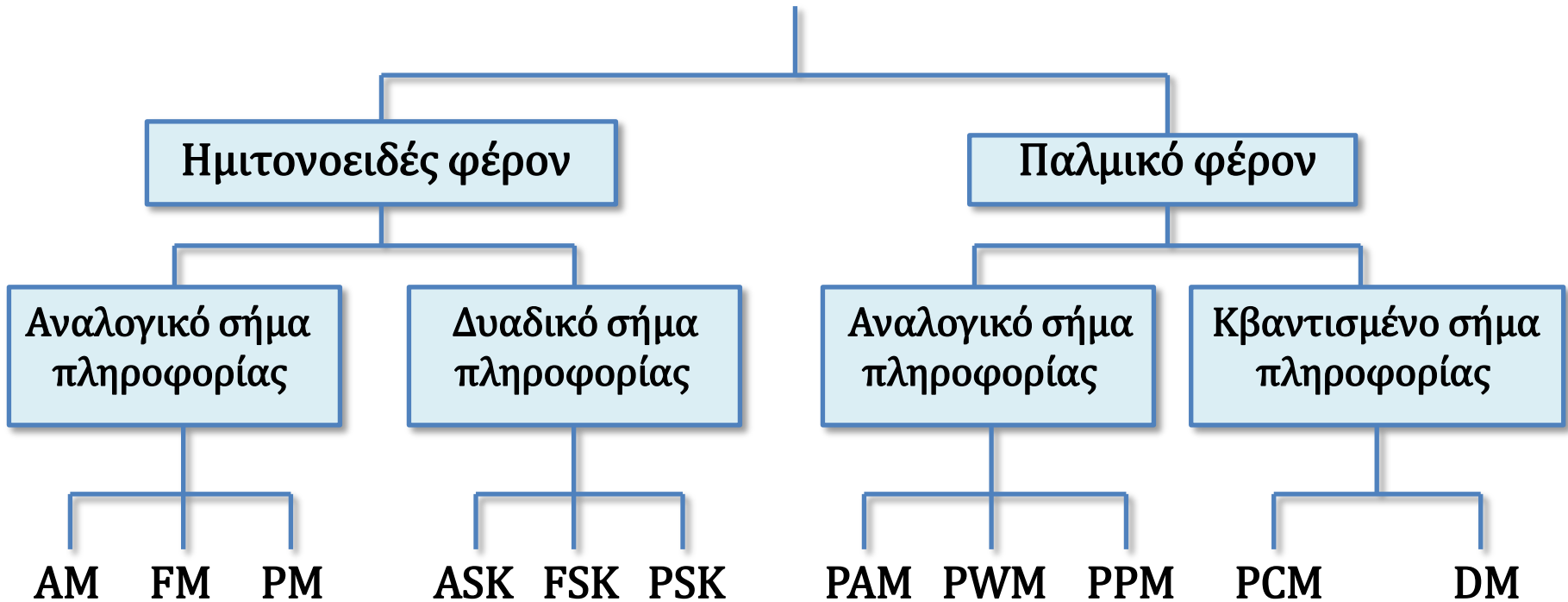
(α) Κωδικοποίηση σε ψηφιακό σήμα



(β) Διαμόρφωση σε αναλογικό σήμα



# Είδη Διαμόρφωσης



**A** = Amplitude,  
**K** = Keying  
**W** = Width,  
**D** = Delta

**F** = Frequency,  
**P** = Pulse, Position

**P** = Phase,

**M** = Modulation

# 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

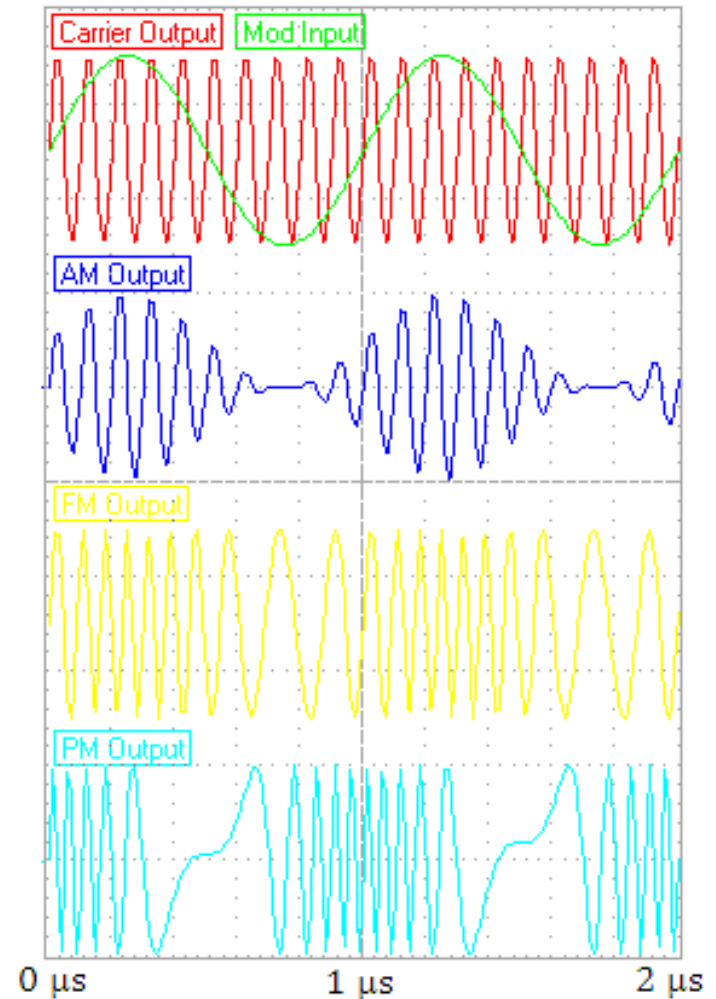
$$A(t) = A_c [1 + m(t)]$$

## 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)

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

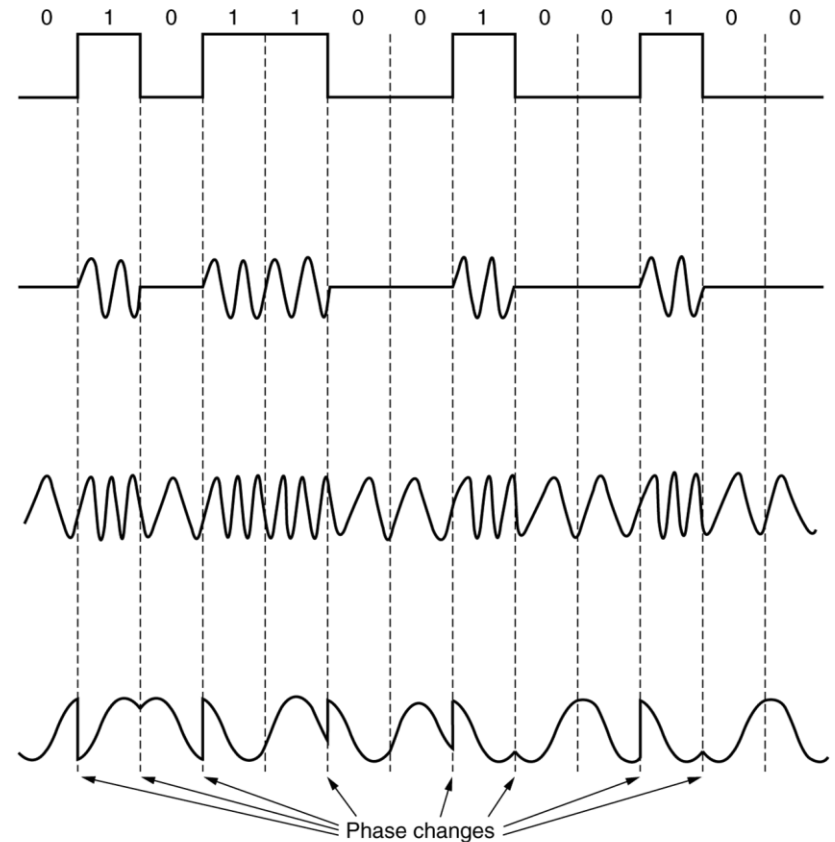


# A. Διαμόρφωση με Ημιτονοειδές Φέρον

## A2. Ψηφιακή διαμόρφωση συνεχούς κύματος ή ψηφιακή διαμόρφωση φέροντος

Σήμα πληροφορίας  $m(t)$  ακολουθία παλμών  
Ημιτονοειδές φέρον  $x(t) = A_c \cos \omega_c t$

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



# A2. Ψηφιακή Διαμόρφωση

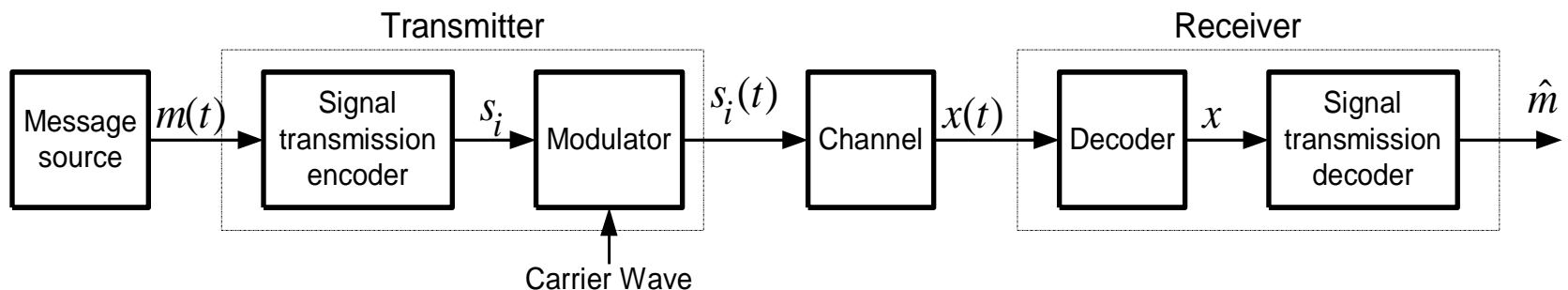
Χρησιμοποιείται για την μετάδοση ενός πληροφοριακού σήματος  $m(t)$  ακολουθίας παλμών (ψηφιακό) μέσα από ένα δοσμένο κανάλι επικοινωνίας.

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**.

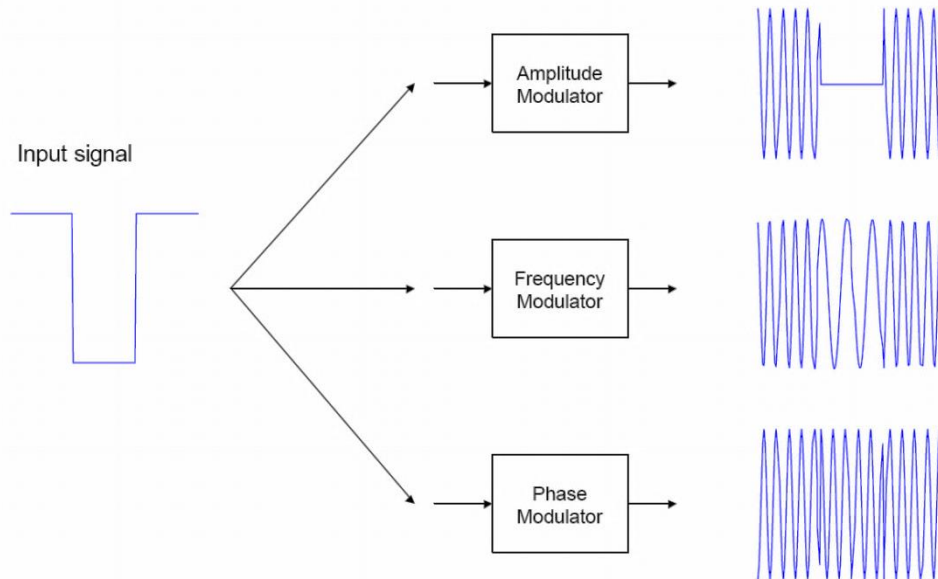
Σήμα πληροφορίας  
Ημιτονοειδές φέρον

$m(t)$  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**

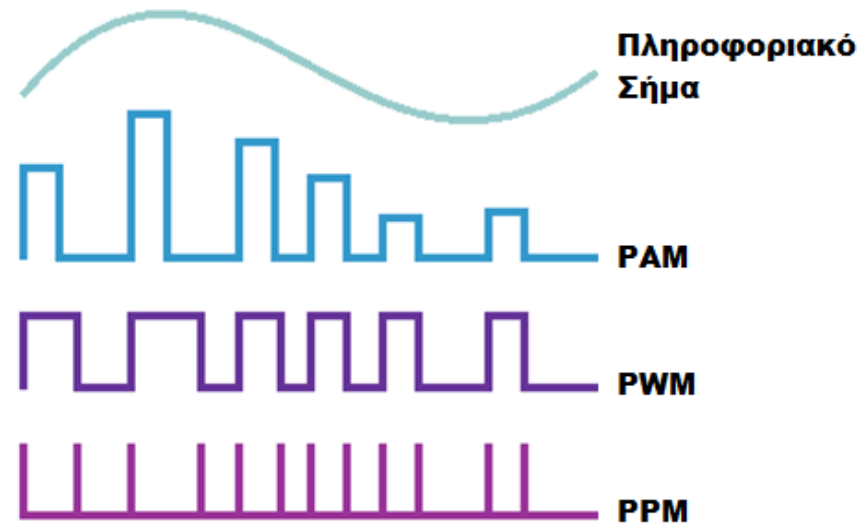
Ψηφιακή διαμόρφωση φάσης

- 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

## Β1. Αναλογική διαμόρφωση παλμών (Analog pulse modulation)

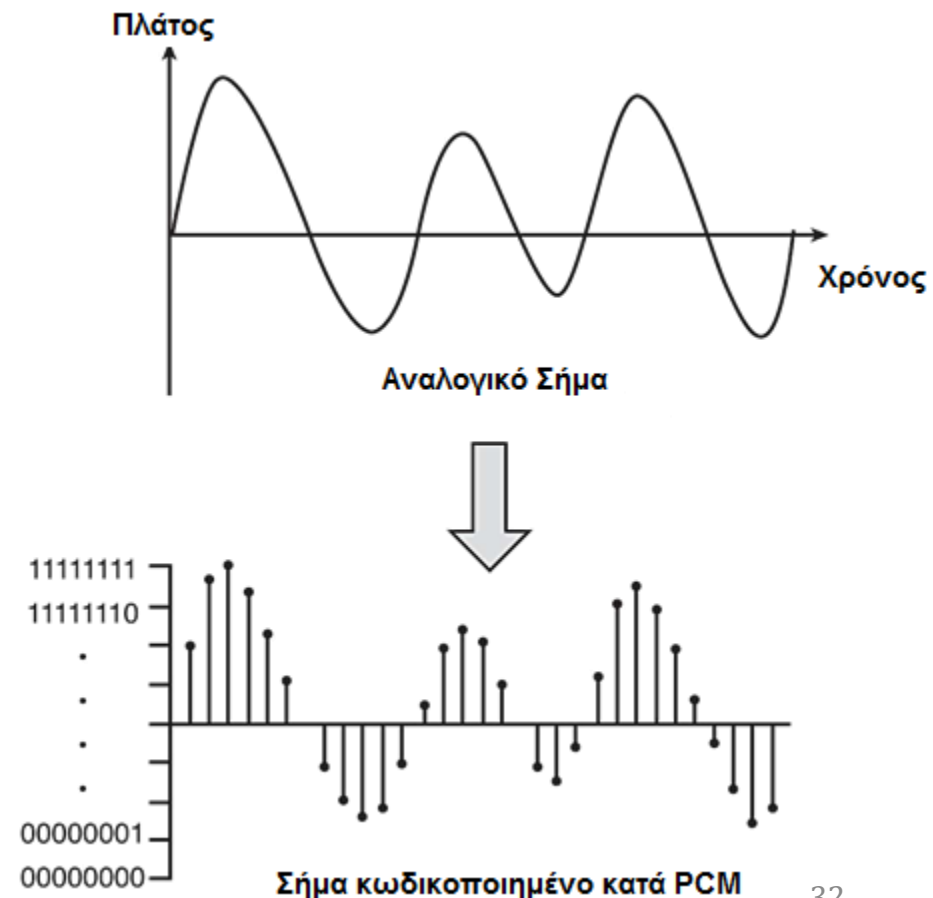
- Το φέρον είναι μία ακολουθία παλμών
- Διαμόρφωση ύψους παλμών  
(PAM – Pulse Amplitude Modulation)
- Διαμόρφωση διάρκειας παλμών  
(PWM – Pulse Width Modulation)
- Διαμόρφωση θέσης παλμών  
(PPM – Pulse Position Modulation)



# Β. Διαμόρφωση με Παλμικό Φέρον

## Β2. Ψηφιακή διαμόρφωση παλμών (Digital Pulse Modulation)

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

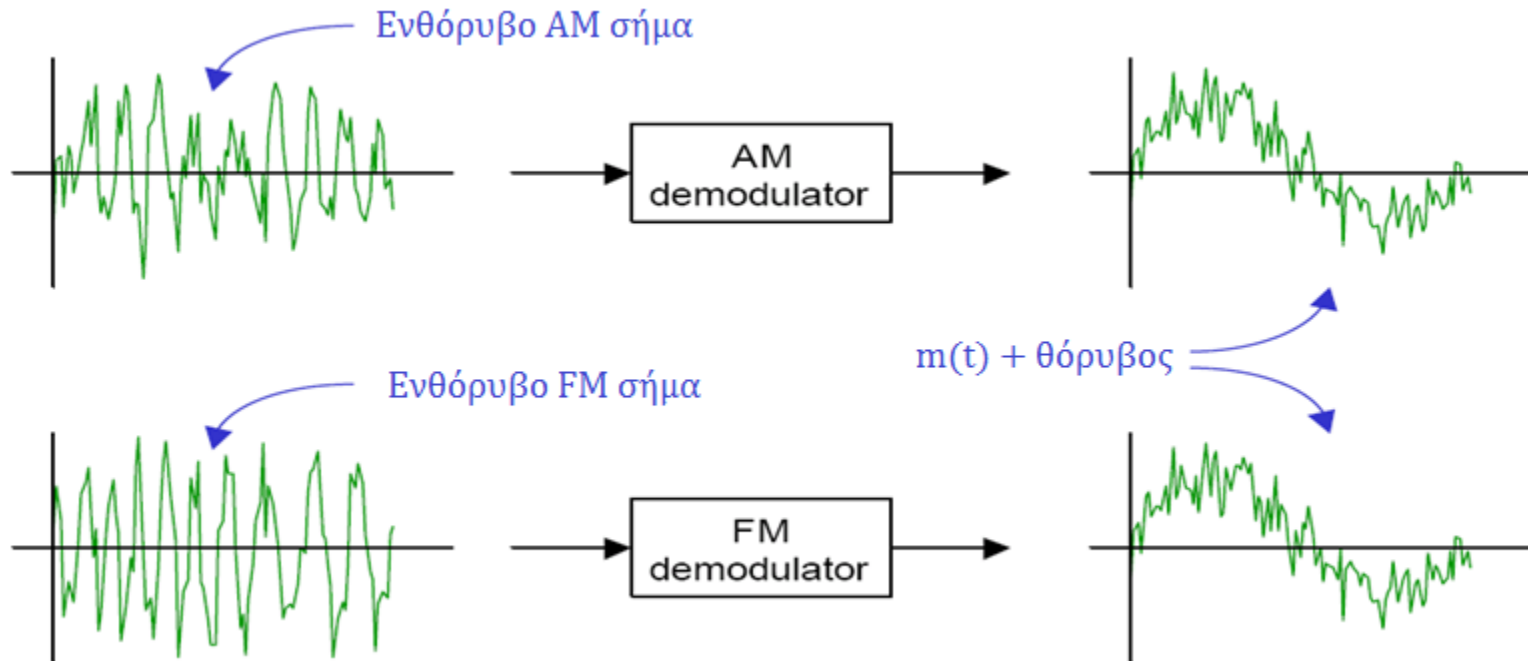




# Σύγκριση Αναλογικών Ψηφιακών Διαμορφώσεων

## Αναλογική διαμόρφωση

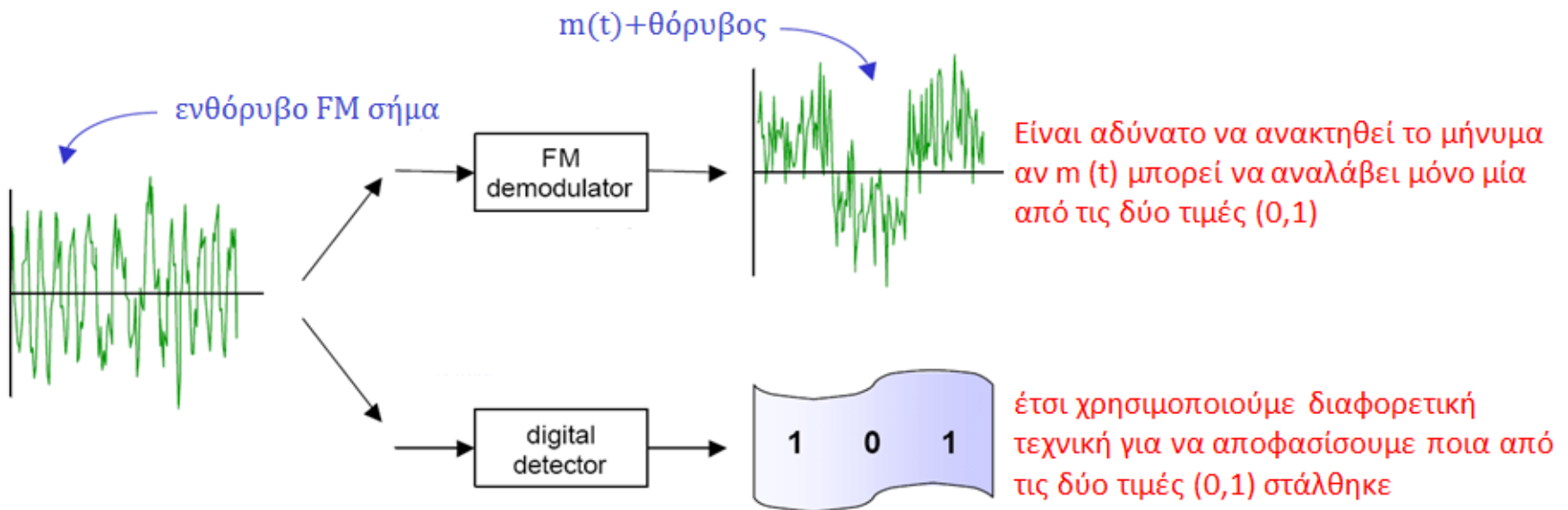
1. Το σήμα  $m(t)$  είναι αναλογικό
2. Ο αποδιαμορφωτής πρέπει να αναπαραγάγει το  $m(t)$  όσο καλύτερα μπορεί



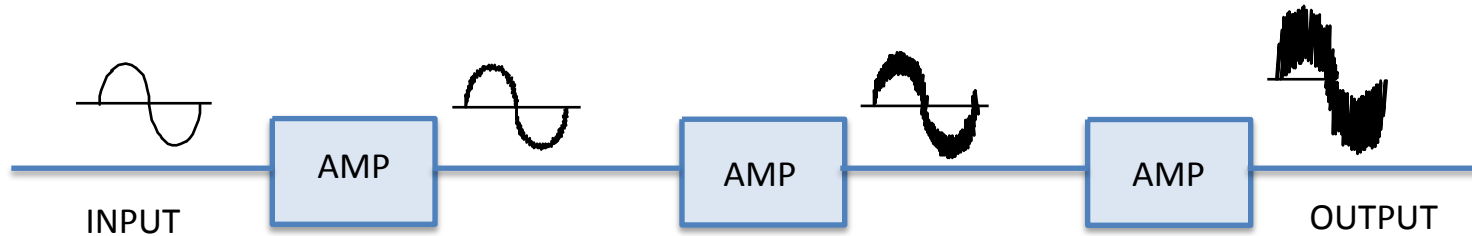
# Σύγκριση Αναλογικών Ψηφιακών Διαμορφώσεων

## Ψηφιακή διαμόρφωση

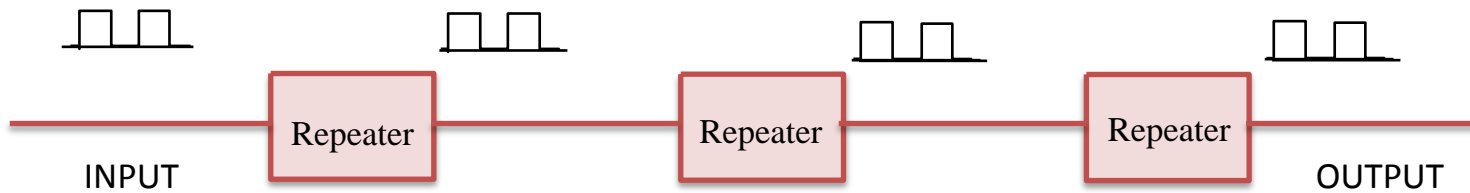
1. Το  $m(t)$  παίρνει μια τιμή από ένα πεπερασμένο σύνολο τιμών
2. Ο αποδιαμορφωτής πρέπει να αποφασίσει ποιά από τις πιθανές τιμές έχει μεταδοθεί. Δεν υπάρχει ανάγκη πιστής αναπαραγωγής του  $m(t)$



# Γιατί Ψηφιακά Συστήματα;



Αναλογικοί επαναλήπτες (ενισχυτές): Ο θόρυβος συσσωρεύεται

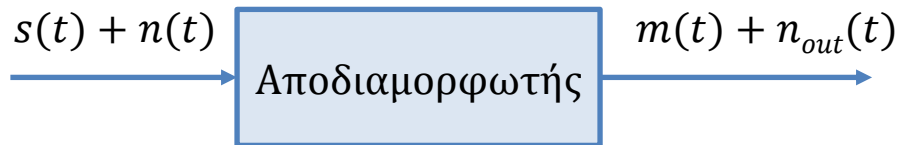


Ψηφιακοί επαναλήπτες: «Τέλεια» αναπαραγωγή του σήματος

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

Οι αποδιαμορφωτές για AM, FM και PM:

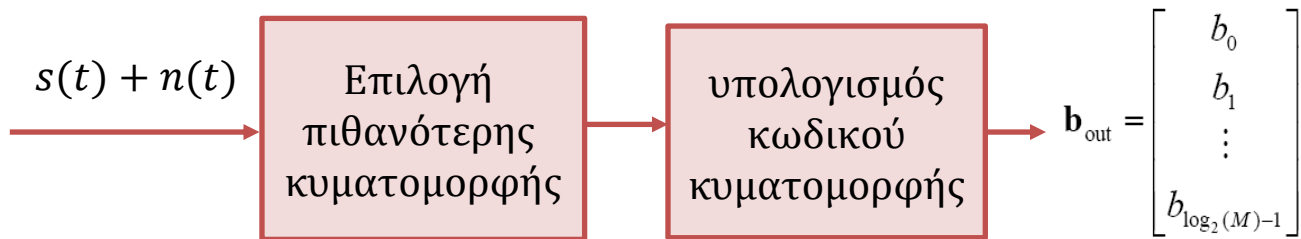
- Αναπαράγουν πιστά το  $m(t)$  απο το διαμορφωμένο φέρον
- Κριτήριο επιτυχίας : η σηματοθορυβική σχέση SNR



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

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 ( $R$  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
- Συμπύεση 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

# Αναλογική Διαμόρφωση - Εισαγωγή

- Μετατροπή σήματος από αναλογικό σε αναλογικό είναι μία αναπαράσταση της αναλογικής πληροφορίας από ένα αναλογικό σήμα.
- Γιατί να μετατρέψουμε (διαμορφώσουμε) ένα σήμα από μία αναλογική μορφή σε μια άλλη; (επίσης αναλογική)
- Η διαμόρφωση απαιτείται όταν το κανάλι επικοινωνίας είναι ζωνοδιαβατό.

# Εισαγωγή στις Αναλογικές Διαμορφώσεις

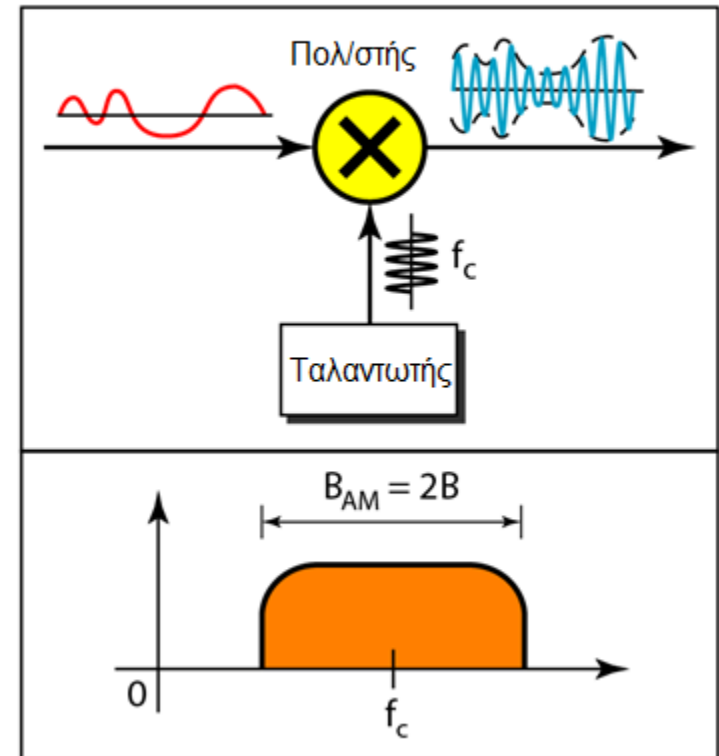
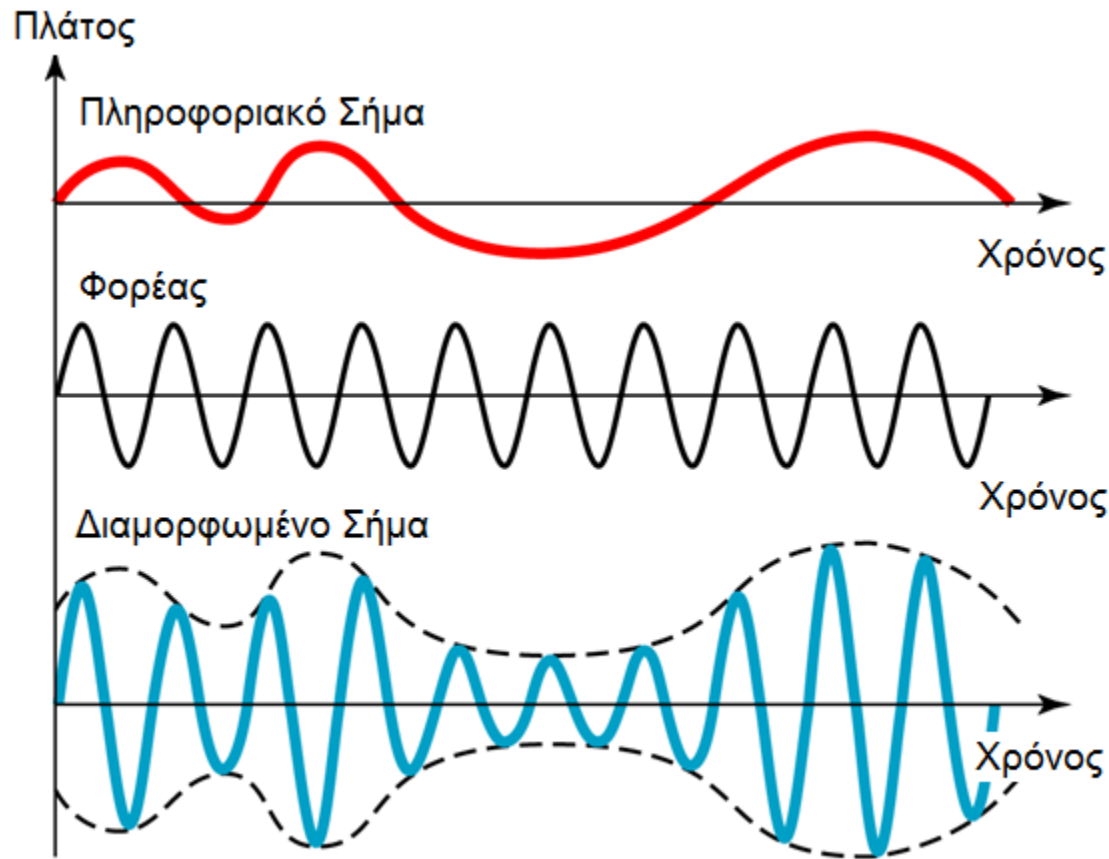
- Διαμόρφωση Πλάτους (AM)
- Διαμόρφωση Συχνότητας (FM)
- Διαμόρφωση Φάσης (PM)



# Διαμόρφωση Πλάτους (AM)

- Ένα σήμα φορέα (carrier) διαμορφώνεται (μόνο) κατά πλάτος σύμφωνα με το πληροφοριακό σήμα.
- Το πληροφοριακό σήμα είναι η περιβάλλουσα (envelope) του φορέα.
- Το απαιτούμενο εύρος ζώνης (bandwidth) είναι  $2B$ , όπου  $B$  είναι το bandwidth του πληροφοριακού σήματος ( $B_{AM}=2B$ ).
- Επειδή και στις δύο πλευρές του φορέα συχνότητας  $f_c$ , το φάσμα είναι ίδιο, μπορούμε να αγνοήσουμε το μισό έτσι ώστε να απαιτείται μικρότερο εύρος ζώνης για την εκπομπή του διαμορφωμένου σήματος.

# Διαμόρφωση Πλάτους (AM)



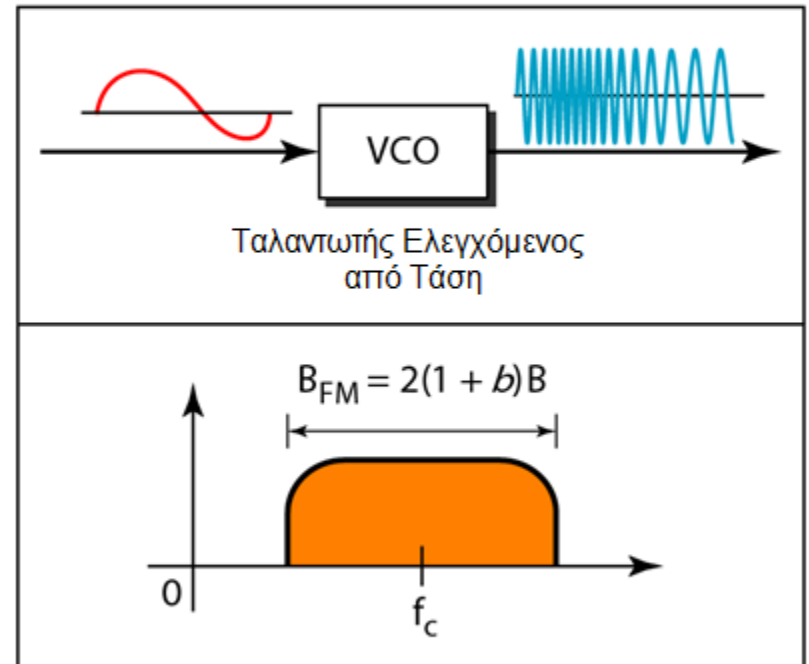
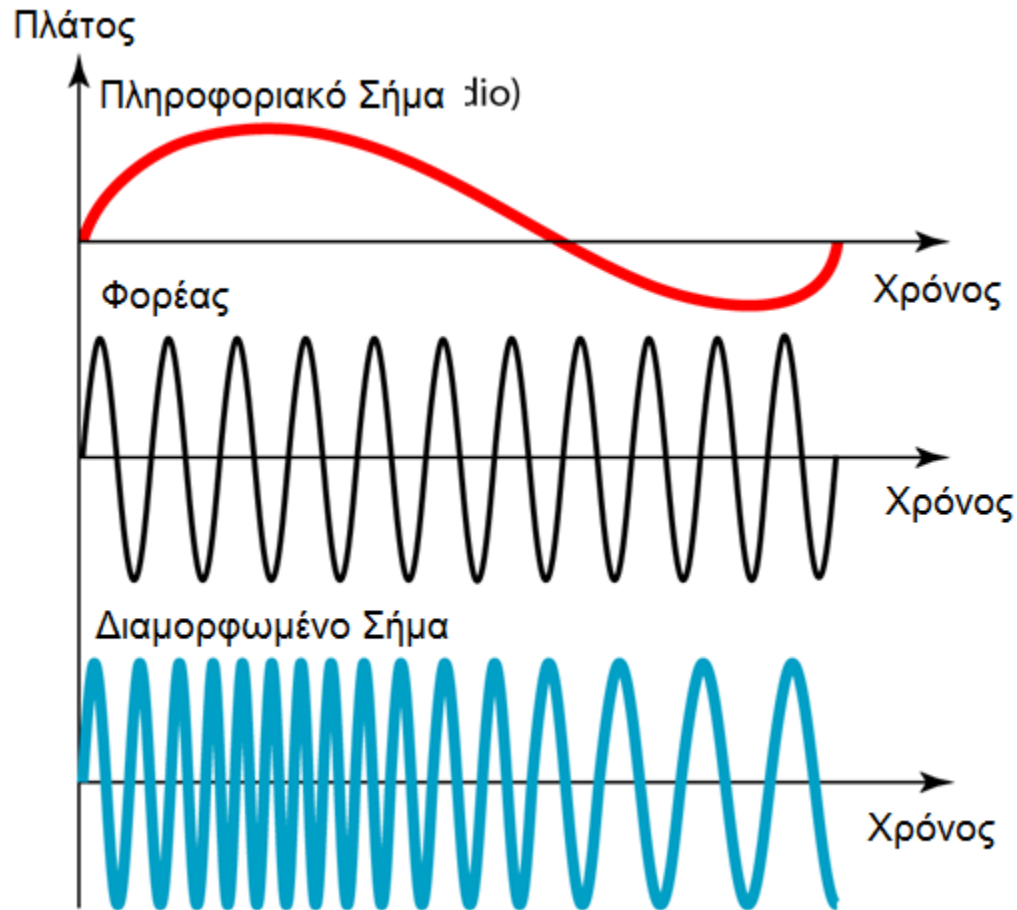
# Διαμόρφωση Συχνότητας (FM)

- Το πληροφοριακό σήμα αλλάζει τη **συχνότητα**  $f_c$  του φορέα.
- Το απαιτούμενο εύρος ζώνης (bandwidth) της FM είναι **υψηλό** (~δεκαπλάσιο του πληροφοριακού σήματος).
- Υπολογίζεται από τη σχέση:

$$B_{FM} = 2(1 + \beta)B$$

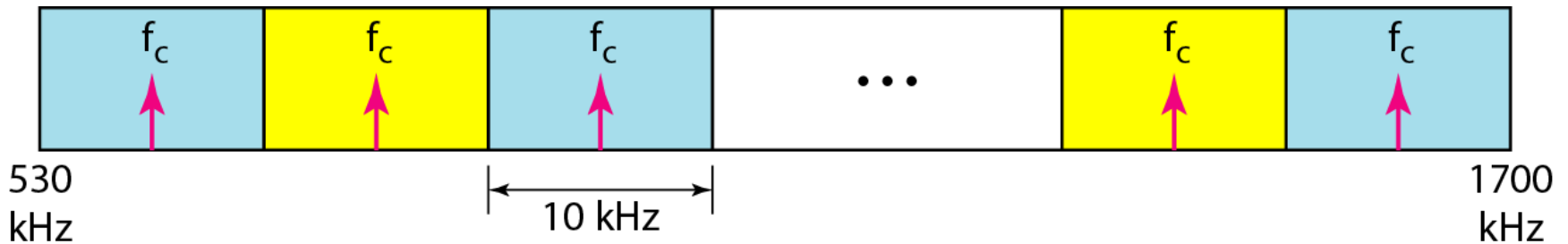
όπου **B** το εύρος ζώνης του πληροφοριακού σήματος και  **$\beta=4$**  (συνήθως).

# Διαμόρφωση Συχνότητας (FM)

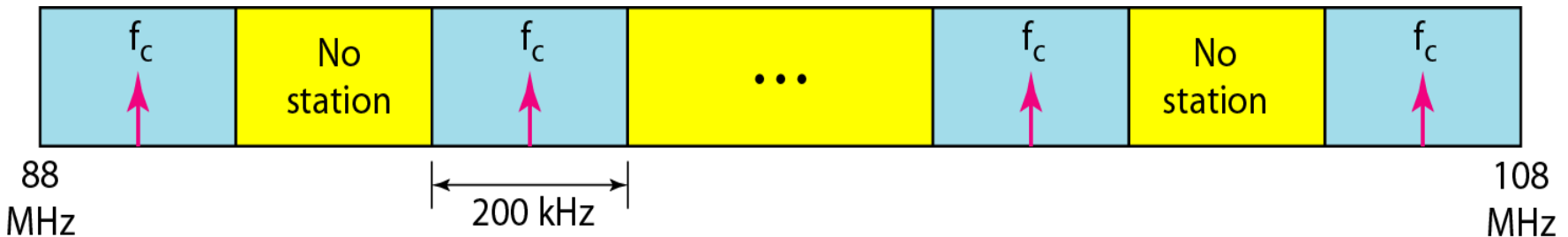


# Ανάθεση Καναλιών στις Αναλογικές Διαμορφώσεις

## Διαμόρφωση Πλάτους (AM)



## Διαμόρφωση Συχνότητας (FM)



# Διαμόρφωση Φάσης (PM)

- Το πληροφοριακό σήμα αλλάζει μόνο τη **φάση** του φορέα.
- Η αλλαγή φάσης εκδηλώνεται ως αλλαγή της στιγμιαίας συχνότητας και είναι αναλογική με την παράγωγο (ρυθμό μεταβολής) του πλάτους του πληροφοριακού σήματος.
- Το απαιτούμενο εύρος ζώνης (bandwidth) της PM είναι **υψηλό**.
- Εξαρτάται από το εύρος ζώνης και τη μέγιστη τιμή πλάτους του πληροφοριακού σήματος. Υπολογίζεται από τη σχέση:

$$B_{PM} = 2(1 + \beta)B$$

όπου **B** το εύρος ζώνης του πληροφοριακού σήματος και  **$\beta=2$**  (συνήθως).

# Διαμόρφωση Φάσης (PM)

