

**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΛΑΜΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ**

**ΘΕΩΡΙΑ ‘ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ’**

**Ο ΔΙΔΑΣΚΩΝ  
ΒΑΡΖΑΚΑΣ Π.**



**ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΕΑΕΚ**

**ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ  
ΣΥΓΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗ  
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ**



**ΠΑΙΔΕΙΑ ΜΠΡΟΣΤΑ**  
2<sup>ο</sup> Επιχειρησιακό Πρόγραμμα  
Εκπαίδευσης και Αρχικής  
Επαγγελματικής Κατάρτισης

Η εκτύπωση αυτή έγινε με δαπάνη του  
Έργου «Αναμόρφωση Προπτυχιακών Προγραμμάτων Σπουδών του ΤΕΙ Λαμίας»,  
Υποέργο 1 «Αναμόρφωση Προπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών Τμ. Ηλεκτρονικής»



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ  
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ ΕΠΕΑΕΚ



ΕΥΡΩΠΑΪΚΗ ΕΝΩΣΗ  
ΣΥΓΧΡΗΜΑΤΟΔΟΤΗΣΗ  
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ



**ΠΑΙΔΕΙΑ ΜΠΡΟΣΤΑ**  
2<sup>ο</sup> Επιχειρησιακό Πρόγραμμα  
Εκπαίδευσης και Αρχικής  
Επαγγελματικής Κατάρτισης

## ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ FOURIER

- μετασχηματισμός Fourier (Fourier Transform, FT)  $X(f)$

$$X(f) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \cdot e^{-j2\pi f t} dt$$

- αντίστροφος μετασχηματισμός Fourier  
(Inverse Fourier Transform, IFT)

$$x(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} X(f) \cdot e^{j2\pi f t} df$$

Μαθηματική  
έκφραση σήματος

Μετασχηματισμός  
Fourier  
σήματος

$$x(t) \longrightarrow X(f)$$

$$x_1(t) \longrightarrow X_1(f)$$

$$x_2(t) \longrightarrow X_2(f)$$

$$x(t) \cdot \cos(2\pi f_0 t) \longrightarrow \frac{1}{2} \cdot X(f - f_0) + \frac{1}{2} \cdot X(f + f_0)$$

(διαμόρφωση)

$$a_1 x_1(t) + a_2 x_2(t) \longrightarrow a_1 \cdot X_1(f) + a_2 \cdot X_2(f)$$

(γραμμικότητα)

$$x(at) \longrightarrow \frac{1}{|a|} \cdot X\left(\frac{f}{a}\right)$$

(κλιμάκωση)

$$x(t-t_0) \longrightarrow X(f) \cdot \exp(-j 2\pi f t_0)$$

(χρονική ολίσθηση)

$$\cos(2\pi f_c t) \longrightarrow \frac{1}{2} \delta(f - f_c) + \frac{1}{2} \delta(f + f_c)$$

$$A \cdot \delta(t - t_0) \longrightarrow A \cdot \exp(-j 2\pi f t_0)$$

$$\delta(t) \longrightarrow 1$$

(συνάρτηση δέλτα)

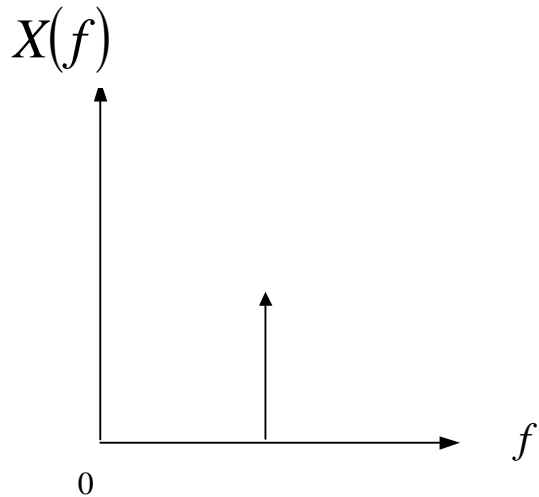
$$\begin{array}{ccc} x(-t) & \longrightarrow & X(-f) \\ \text{(αναστροφή χρόνου)} & & \end{array}$$

$$\begin{array}{ccc} u(t) & \longrightarrow & \frac{1}{j2\pi f} + \frac{1}{2} \delta(f) \\ \text{(συνάρτηση βήματος)} & & \end{array}$$

$$\begin{array}{ccc} A \cdot \exp(-j 2\pi f_0 t) & \longrightarrow & A \cdot \delta(f - f_0) \end{array}$$

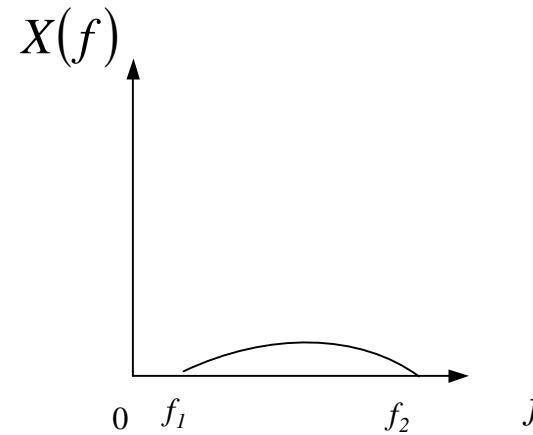
$$\begin{array}{ccc} \frac{d^n}{dt^n}(x(t)) & \longrightarrow & (j2\pi f)^n \cdot X(f) \\ \text{(παραγωγή σήματος)} & & \end{array}$$

# ΣΥΝΕΧΗ ΚΑΙ ΔΙΑΚΡΙΤΑ ΦΑΣΜΑΤΑ



διακριτό φάσμα σήματος

(discrete)



συνεχές φάσμα σήματος

(από τη συχνότητα  $f_1$  έως και τη συχνότητα  $f_2$ )

(continuous)

## **ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΠΛΑΤΟΥΣ**

**(ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ AM)  
(Amplitude Modulation)**

- **περιπτώσεις εκπομπής με διαμόρφωση πλάτους**
  - διαμόρφωση διπλής πλευρικής ζώνης (AM-DSB)
  - διαμόρφωση διπλής πλευρικής ζώνης με συμπιεσμένο το φέρον (AM-DSB-SC)
  - διαμόρφωση μονής πλευρικής ζώνης (USB ή LSB)
  - διαμόρφωση μερικώς κατεσταλμένης πλευρικής ζώνης (VSB)



## ΤΥΠΟΙ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΠΛΑΤΟΥΣ (AM)

- A3E: εκπομπή και των πλευρικών ζωνών συχνοτήτων και πλήρους του φέροντος δηλαδή χωρίς περιορισμό της ισχύος του φέροντος (χρησιμοποιείται στη ραδιοφωνία των μεσαίων και των βραχέων κυμάτων)
- R3E: εκπομπή της μίας πλευρικής ζώνης συχνοτήτων με υποβαθμισμένο (συμπιεσμένο το φέρον)(χρησιμοποιείται στη συχνότητα εκπομπής εκτάκτου ανάγκης των πλοίων)
- H3E: εκπομπή της μίας πλευρικής ζώνης συχνοτήτων με ολόκληρο το φέρον (εκπομπή της συνολικής ισχύος του φέροντος)
- J3E: εκπομπή της μίας πλευρικής ζώνης συχνοτήτων με υποβαθμισμένο το φέρον πλήρως (αποκοπή της ισχύος του φέροντος πλήρως)
- B8E: εκπομπή δύο ανεξάρτητων πλευρικών ζωνών συχνοτήτων με υποβαθμισμένο το φέρον (περιορισμός της ισχύος του φέροντος)
- C3F: εκπομπή της μίας πλευρικής ζώνης συχνοτήτων, πλήρους του φέροντος (πλήρης αποκοπή) και ενός μέρους της άλλης πλευρικής ζώνης συχνοτήτων (χρησιμοποιείται για την εκπομπή των τηλεοπτικών σημάτων)

## ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ VSB

αντί να εκπέμπουμε όλη τη μία πλευρική ζώνη συχνοτήτων ενός σήματος AM-SSB (AM-USB ή AM-LSB) εκπέμπουμε μόνο ένα τμήμα αυτής



- μικρότερο απαιτούμενο εύρος ζώνης συχνοτήτων σε σχέση με το σήμα AM-DSB ή το σήμα AM-USB(LSB)
  - ικανοποιητικότερη απόδοση της ισχύος που διατίθεται δηλαδή καλύτερη απόδοση ισχύος
    - μείωση της πολυπλοκότητας των χρησιμοποιούμενων κυκλωμάτων
- καλύτερη απόκριση στην περιοχή των χαμηλών συχνοτήτων από ότι το AM-SSB

**ΠΟΛΥΠΛΕΞΙΑ ΔΙΑΙΡΕΣΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΩΝ**  
**(Frequency Division Multiple Access)**  
**(FDMA)**

τεχνικές πολυπλεξίας (multiplexing techniques)



αποδοτική εκμετάλλευση των πόρων ενός  
τηλεπικοινωνιακού καναλιού ή διατάξεων ενός  
τηλεπικοινωνιακού κέντρου

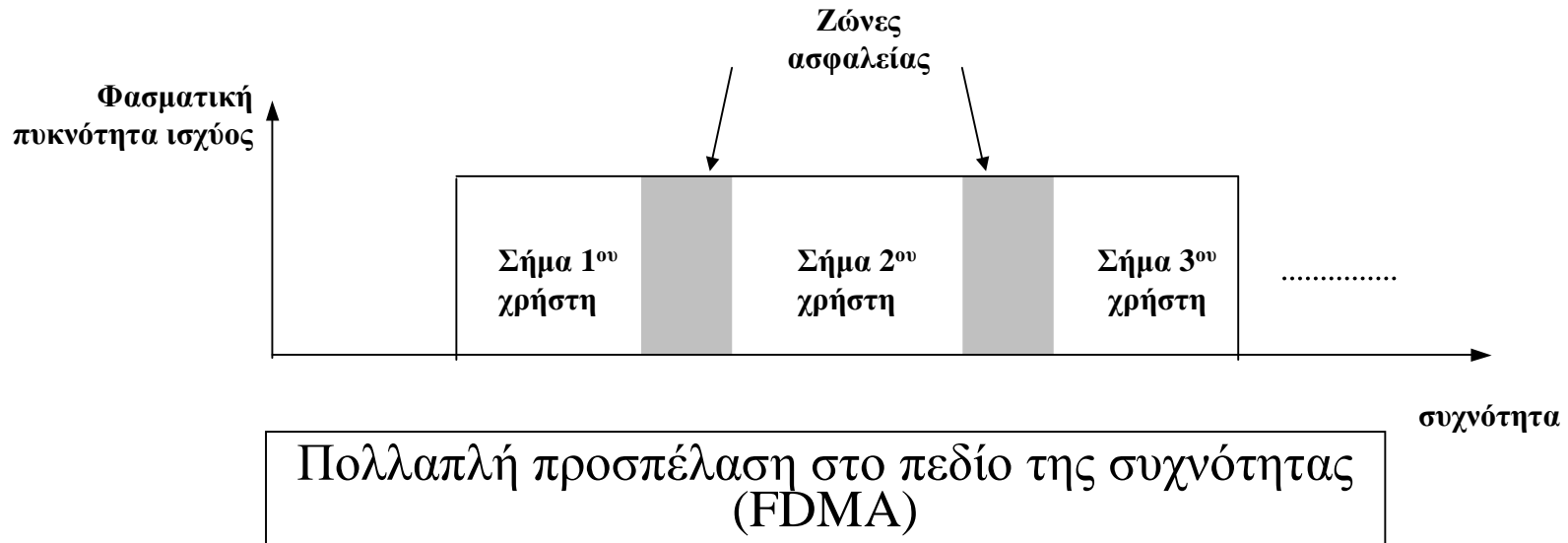
**FDMA**



διαφορετικά σήματα πληροφορίας συνδυάζονται κατάλληλα  
ώστε να είναι δυνατή η ταυτόχρονη εκπομπής τους από ένα  
και μόνο κοινό κανάλι



διαχωρισμός των διαφορετικών σημάτων γίνεται στο πεδίο  
της συχνότητας



συνολικό εύρος ζώνης συχνοτήτων  $B_{FDMA}$

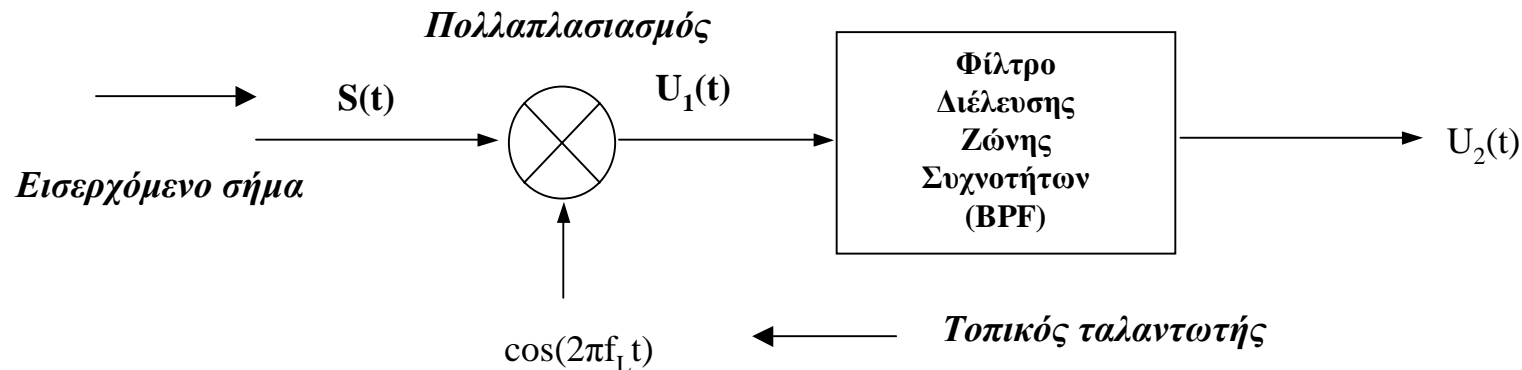
$$B_{FDMA} = n \cdot (B_s + B_g)$$

- $n$ : πλήθος των πολυπλεγμένων καναλιών
- $B_s$ : εύρος ζώνης συχνοτήτων καθενός σήματος
- $B_g$ : εύρος ζώνης συχνοτήτων της ζώνης ασφαλείας

# ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ (ΜΙΞΗ)

Μετατόπιση του φάσματος ενός διαμορφωμένου σήματος σε νέα περιοχή συχνοτήτων

- εφαρμόζεται στους υπερετερόδυνους δέκτες AM και FM
- πολλαπλασιασμό του σήματος που θέλουμε να μετατοπίσουμε φασματικά, με μία συχνότητα **τοπικά παραγόμενη**, κατάλληλης τιμής



Διαδικασία μίξης

## ΜΕΓΕΘΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ AM ΚΑΙ FM ΠΡΑΚΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

• συστήματα AM που χρησιμοποιούνται στην πράξη για εκπομπή ραδιοφωνικού σήματος



- Συχνότητα φέροντος: 540 KHz-1600 KHz
- Φασματική απόσταση μεταξύ των φερουσών συχνοτήτων (φασματική απόσταση μεταξύ των ραδιοφωνικών σταθμών AM): 10KHz
- Ενδιάμεση συχνότητα: 455 KHz
- Εύρος ζώνης συχνοτήτων ενισχυτή ενδιάμεσης συχνότητας: 6-10 KHz
- Εύρος ζώνης συχνοτήτων ενισχυτή ακουστικών συχνοτήτων: 3-5KHz

- συστήματα FM που χρησιμοποιούνται στην πράξη για εκπομπή ραδιοφωνικού σήματος



- Συχνότητα φέροντος: 88.1 KHz-107.9 KHz
- Μέγιστη επιτρεπόμενη συχνότητα σήματος μηνύματος (σήμα διαμόρφωσης) (σήμα φωνής, μουσικής κα.): 15 KHz
- Δείκτης διαμόρφωσης:  $\beta=5$
- Συνολικό εύρος ζώνης μέγιστης απόκλισης συχνότητας:  $(2\Delta f)=150$  KHz
- Μέγιστη απόκλιση συχνότητας:  $\Delta f=75$  KHz
- Φασματική απόσταση μεταξύ των φερουσών συχνοτήτων (φασματική απόσταση μεταξύ των ραδιοφωνικών σταθμών FM): 200 KHz
- Ενδιάμεση συχνότητα: 10.7 MHz
- Μέγιστο εύρος ζώνης συχνοτήτων που απασχολεί ένας ραδιοφωνικός σταθμός FM κατά την εκπομπή: 180 KHz
- Εύρος ζώνης συχνοτήτων του ενισχυτή ενδιάμεσης συχνότητας: 200-250 KHz
- Εύρος ζώνης συχνοτήτων του ενισχυτή ακουστικών συχνοτήτων: 15 KHz

## ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΝΑΛΟΓΙΚΩΝ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ AM ΚΑΙ FM

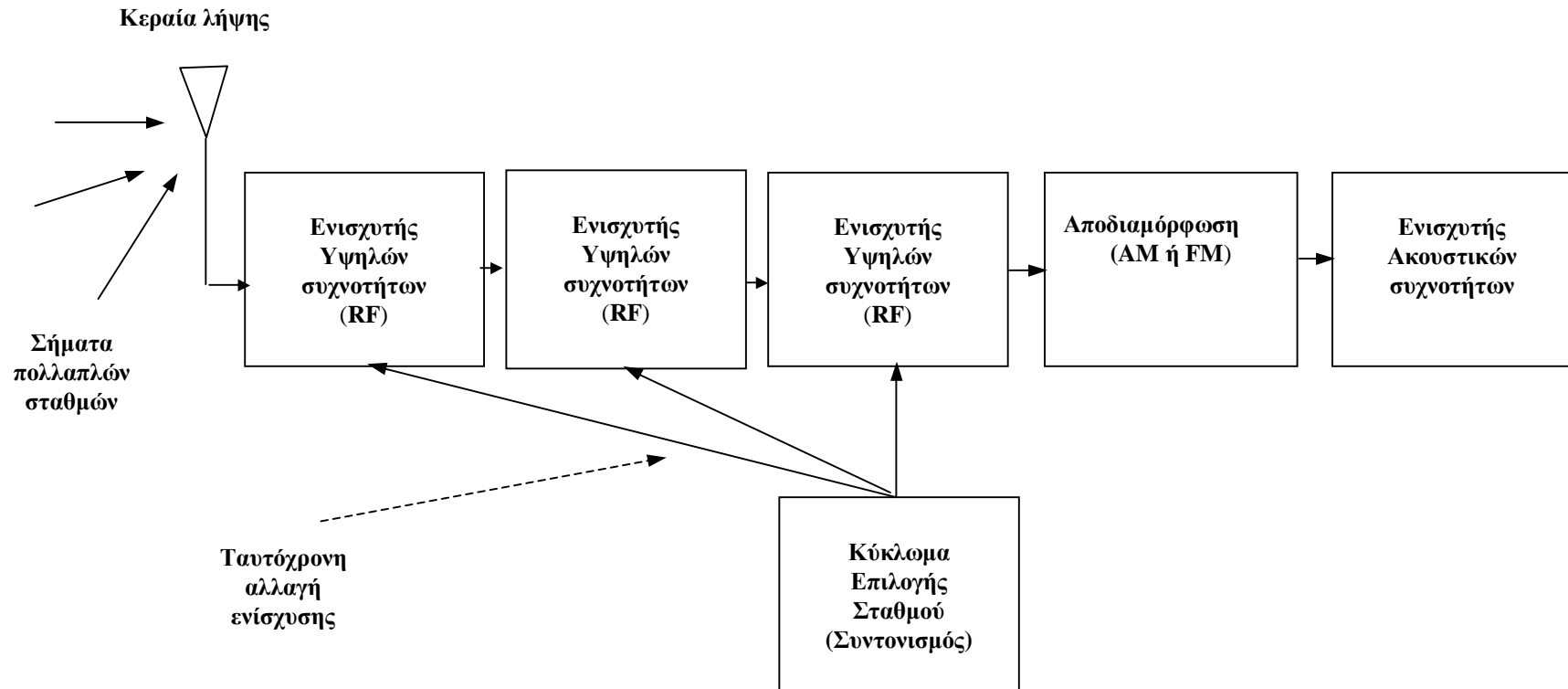
- η διαμόρφωση FM οι ενισχυτές που χρησιμοποιούνται δεν είναι απαραίτητο να παρουσιάζουν γραμμική λειτουργία
- η διαμόρφωση FM σε αντίθεση με τη διαμόρφωση AM είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στα φαινόμενα παραμόρφωσης φάσης
- η διαμόρφωση AM παρουσιάζει ισχύ θορύβου κατά προσέγγιση 18.7dB μεγαλύτερη από τη διαμόρφωση FM
- η διαμόρφωση FM παρουσιάζει γενικά μεγαλύτερο εύρος ζώνης συχνοτήτων σε σχέση με ένα σύστημα διαμόρφωσης AM
- ένας δέκτης FM περιλαμβάνει επιπλέον το κύκλωμα του *περιοριστή* και το κύκλωμα του *αυτομάτου ελεγχου της συχνότητας*  
(Automatic Frequency Control, AFC)



## ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΝΑΛΟΓΙΚΩΝ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΠΟΛΥΠΛΟΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Είδος διαμόρφωσης	Πολυπλοκότητα εξοπλισμού	Εφαρμογές διαμόρφωσης
<b>AM</b>	(Μικρή) Απλή αποδιαμόρφωση με φωρατή περιβάλλουσα	Ραδιοφωνική εκπομπή AM
<b>AM-DSB-SC</b>	(Μέση) Σύμφωνη αποδιαμόρφωση με ενσωμάτωση φέρον-πλότου μαζί με το σήμα	Πολυπλεξία σημάτων με μικρό εύρος ζώνης συχνοτήτων
<b>SSB</b>	(Μεγάλη) Σύμφωνη αποδιαμόρφωση, πολυπλοκότητα διαμορφωτών	Επικοινωνία φωνής σημείο προς σημείο  (point to point) π.χ. CB
<b>VSB</b>	(Μεγάλη) Σύμφωνη αποδιαμόρφωση	Μετάδοση ψηφιακών δεδομένων και σημάτων μεγάλου εύρους ζώνης συχνοτήτων
<b>VSB με ενσωματωμένο φέρον</b>	(Μέση) Φωρατής περιβάλλουσας	Μετάδοση τηλεοπτικού σήματος δεδομένων και σημάτων μεγάλου εύρους ζώνης συχνοτήτων
<b>FM</b>	(Μέση) Πολύπλοκη διαμόρφωση-Αποδιαμόρφωση με PLL ή με χρήση διευκρινιστή	Ραδιοφωνική εκπομπή FM και μικροκυματικές επικοινωνίες αναμετάδοσης
<b>PM</b>	Πολυπλοκότητα όμοια με τη διαμόρφωση FM	Μετάδοση δεδομένων (data) και μετάδοση σημάτων φωνής με πολυπλεξία

# ΟΜΟΔΥΝΟΙ-ΥΠΕΡΕΤΕΡΟΔΥΝΟΙ ΔΕΚΤΕΣ

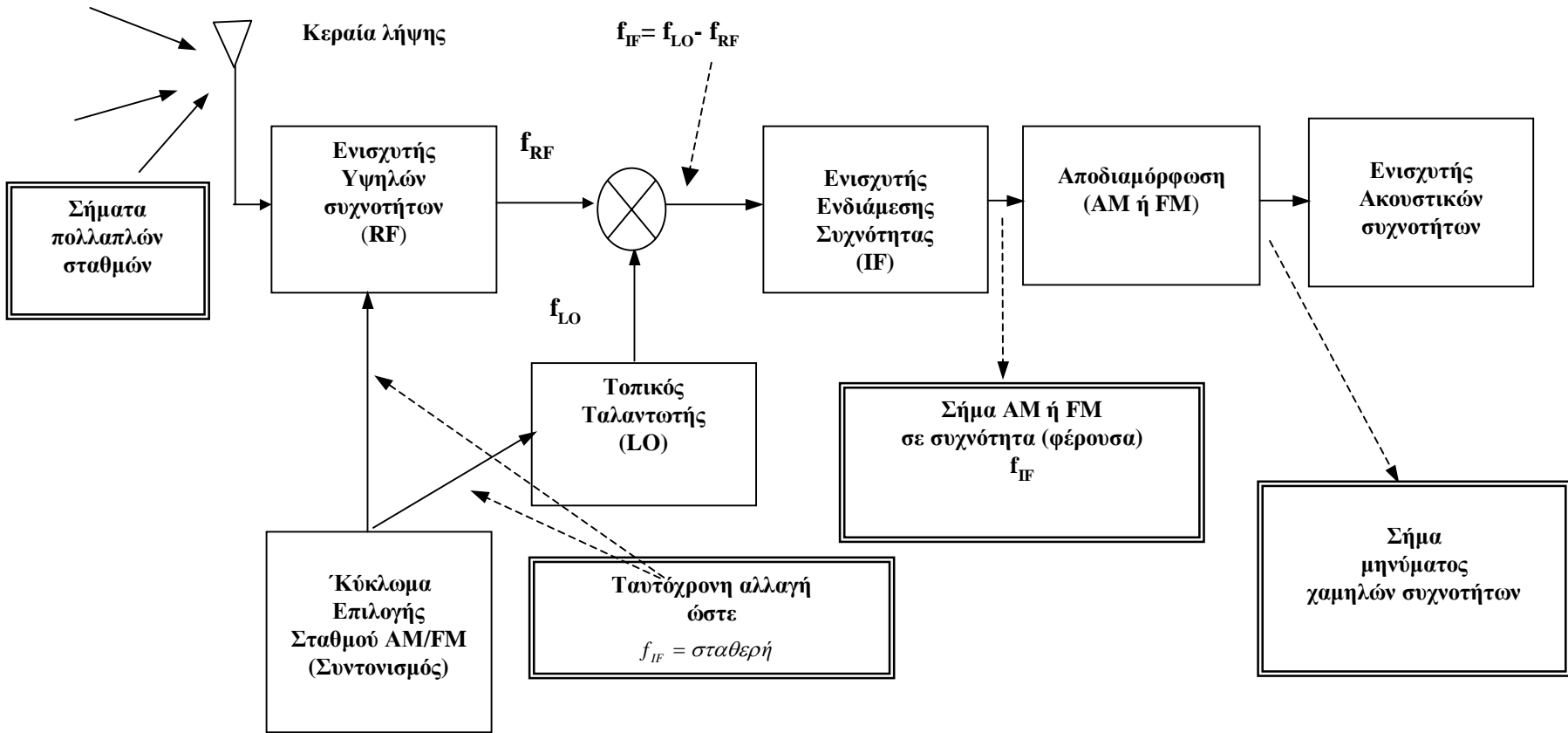


## Δομή ομόδυνου ραδιοφωνικού δέκτη AM ή FM

# χρησιμοποίηση υπερετερόδυνου δέκτη



## Αποφυγή διαδοχικής ενίσχυσης στις υψηλές συχνότητες



## Δομή υπερετερόδυνου ραδιοφωνικού δέκτη AM ή FM

## Διαδικασίες ομόδυνου δέκτη AM ή FM

- **επιλογή** επιθυμητού σταθμού με **συντονισμό** (tuning) στην αντίστοιχη φέρουσα συχνότητα και απόρριψη των υπολοίπων σημάτων υψηλών συχνοτήτων τα οποία λαμβάνονται από την κεραία λήψης του σταθμού
- **ενίσχυση** (amplification) του σήματος υψηλών συχνοτήτων
- **αποδιαμόρφωση ή φώραση** (demodulation) του σήματος AM ή FM
- **ενίσχυση του σήματος πληροφορίας** (μηνύματος) στην περιοχή των ακουστικών συχνοτήτων
- **οδήγηση του τελικού σήματος** χαμηλών συχνοτήτων στην έξοδο (ηχείο κ.α)

## Διαδικασίες σε υπερετερόδυνο δέκτη AM ή FM



- **λήψη πολλαπλών σημάτων** με διαμόρφωση AM ή FM στην κεραία λήψης (σήματα διαμορφωμένα στην περιοχή συχνοτήτων της φέρουσας  $f_c$ )
- **επιλογή του επιθυμητού σταθμού** (επιθυμητής εκπομπής δηλαδή επιθυμητού σήματος διαμορφωμένου στη συχνότητα  $f_c$ ) μέσω του κυκλώματος συντονισμού
- **Ενίσχυση με τη χρησιμοποίηση ενισχυτή υψηλών συχνοτήτων** (ενισχυτής ραδιοσυχνοτήτων, ενισχυτής RF)
- **Μετατόπιση γύρω από την ίδια υψηλή συχνότητα** η οποία ονομάζεται *ενδιάμεση συχνότητα* (*Intermediate Frequency, IF*) (διαδικασία μίξης)

**Τιμές ενδιάμεσης συχνότητας για διαμόρφωση AM, FM  
και για βραχέα κύματα**

<b>Είδος διαμόρφωσης</b>	<b>Τιμή Ενδιάμεσης Συχνότητας</b>
<b>AM</b>	$f_{IF} = 455 \text{ KHz}$
<b>FM</b>	$f_{IF} = 10.7 \text{ MHz}$
<b>ΒΡΑΧΕΑ ΚΥΜΑΤΑ</b>	$f_{IF} = 1600 \text{ KHz}$

## Επιπλέον Κυκλώματα δεκτών AM και FM

- δέκτης AM, περιλαμβάνει και **κύκλωμα αυτομάτου ελέγχου της έντασης** (τάσης) (*Automatic Volume Control, AVC*) το οποίο έχει ως σκοπό να ρυθμίσει τη στάθμη της τόνου εξόδου

- δέκτης FM περιλαμβάνει **κύκλωμα αυτομάτου ελέγχου της συχνότητας** (*Automatic Frequency Control, AFC*), το οποίο έχει ως σκοπό τη ρύθμιση της συχνότητας εξόδου του τοπικού ταλαντωτή του δέκτη

## ΣΥΜΦΩΝΗ ΦΩΡΑΣΗ

(Coherent Demodulation)

**Σύμφωνη φώραση (coherent detection):** διαδικασία στην οποία για να αποδιαμορφώσουμε το σήμα που λαμβάνουμε στο δέκτη, προχωράμε στη απευθείας μετατόπιση του φάσματος του σήματος από την περιοχή των υψηλών συχνοτήτων στην περιοχή των χαμηλών συχνοτήτων



- πολλαπλασιασμός στο δέκτη του λαμβανομένου σήματος (με φάσμα γύρω από τη συχνότητα ) με ένα τοπικά παραγόμενο σήμα φέροντος (σήμα φέροντος το οποίο παράγεται από ταλαντωτή στο δέκτη)



- *φίλτρο διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων* (Low Pass Filter, LPF) από την έξοδο του οποίου λαμβάνεται σήμα, ανάλογο του σήματος πληροφορίας



**Βασική προϋπόθεση σωστής  
λειτουργίας σύμφωνης φώρασης**



- **τοπικά** παραγόμενο φέρον να είναι της **ίδιας συχνότητας** και της **ίδιας φάσης** με το φέρον του σήματος



**συγχρονισμός (synchronization)** του δέκτη  
με το εκπεμπόμενο φέρον σήμα

**Λύση:** ενσωμάτωση με διάφορους τρόπους στο διαμορφωμένο σήμα αδιαμόρφωτο φέρον μικρής ισχύος, το οποίο ανιχνεύεται στο δέκτη μέσω κατάλληλου φίλτρου

## ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΔΕΚΤΩΝ

- **Σταθερότητα συντονισμού δέκτη** (stability): ικανότητα του δέκτη να διατηρεί την αρχική του ρύθμιση και το συντονισμό του σε ορισμένη συχνότητα (σε Hz ή σε KHz απόκλισης από την αρχική ρύθμιση)
- **Εναισθησία λήψης** (sensitivity): η ελάχιστη τιμή του σήματος ώστε το ωφέλιμο σήμα να αποδίδεται με καλή ποιότητα (με το λόγο σήμα προς θόρυβο (Signal-to-Noise Ratio)(S/N) σε dB)
- **Πιστότητα δέκτη** (fidelity): η ικανότητα ενός δέκτη να αποδίδει στην έξοδό του το αρχικά εκπεμπόμενο σήμα με όσο το δυνατόν λιγότερη παραμόρφωση
- **Επιλεκτικότητα λήψης** (selectivity): η ικανότητα του δέκτη αφού συντονιστεί να επιλέγει, ενισχύει και να αποδιαμορφώνει το επιθυμητό σήμα χωρίς να επηρεάζεται από γειτονικές σε συχνότητα εκπομπές. (σε Hz ή σε KHz: φασματική απόσταση ώστε να μην έχω “επικάλυψη” μεταξύ των γειτονικών εκπομπών)
- **Γραμμικότητα λειτουργίας δέκτη** (linearity): η ικανότητα του δέκτη να συμπεριφέρεται με τον ίδιο τρόπο για ασθενή και για ισχυρά σήματα στην είσοδό του
- **Έλλειψη παρασιτικών εκπομπών**: η ικανότητα όσο το δυνατόν, μη εκπομπής παρασιτικών σημάτων μικρής ισχύος από τα ίδια τα κυκλώματα του δέκτη (τοπικοί ταλαντωτές δέκτη)

**ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΣΤΑΘΜΕΣ ΛΗΨΗΣ  
ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ**

<b>Σύστημα διαμόρφωσης</b>	<b>Απαιτούμενη περιοχή τιμών τάσης στην κεραία λήψης</b>
AM	55 $\mu$ V-300mV
FM	100 $\mu$ V-100mV
VHF	1mV-50mV
UHF	1.5mV-50mV

## ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ FM ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ

- **περιοριστής πλάτους σήματος κατά την εκπομπή (limiter):** περιορισμός σε κατάλληλη τιμή του πλάτους του σήματος μηνύματος, ώστε να μην πραγματοποιηθεί μέγιστη απόκλιση συχνότητας πάνω από 75KHz
- **περιοριστής πλάτους στη λήψη (limiter):** οποιαδήποτε αλλαγή του στιγμιαίου πλάτους του λαμβανομένου σήματος FM δεν έχει κάποια επίπτωση στην αποδιαμόρφωση του σήματος FM



αποκόπτει τις μικρές αλλαγές πλάτους του λαμβανομένου σήματος FM που οφείλονται στην πρόσθεση του θορύβου του καναλιού

- **Φίλτρο προ-έμφασης-Φίλτρο από-έμφασης:** φίλτρο κατά την εκπομπή (φίλτρο προ-έμφασης) ενισχύουμε τις υψηλές συχνότητες του σήματος που θέλουμε να μεταδώσουμε, σε σχέση με τις χαμηλές συχνότητες του



Δέκτη:πρέπει να ακολουθήσουμε την αντίστροφη διαδικασία επαναφέροντας τις υψηλές συχνότητες στην αρχική τους ισχύ, κάτι που πραγματοποιείται με το φίλτρο από-έμφασης

(Υλοποίηση με παθητικά φίλτρα RC)

## ΛΟΓΟΣ ΣΗΜΑ ΠΡΟΣ ΘΟΡΥΒΟ ΣΤΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ FM

$$\left(\frac{S_0}{N_0}\right) = 6 \cdot \beta^2 \cdot (1 + \beta) \cdot \left(\frac{S_i}{N_i}\right)$$

$\beta$  : δείκτης διαμόρφωσης

$S_i$  : ισχύς του σήματος στην είσοδο του δέκτη

FM

$N_i$  : ισχύς θορύβου στην είσοδο του δέκτη

FM

$S_0$  : ισχύς του σήματος στην έξοδο του δέκτη FM

$N_0$  : ισχύς θορύβου στην έξοδο του δέκτη FM

• αύξηση του δείκτη διαμόρφωσης  $\beta$  οδηγεί σε αύξηση του

λόγου  $\left(\frac{S_0}{N_0}\right)$

• αύξηση του  $\beta$  οδηγεί σε άμεση αύξηση του απαιτούμενου εύρους ζώνης συχνοτήτων του σήματος FM



(φαινόμενα αντίστροφα μεταξύ τους)

## ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΟ ΤΥΠΟΛΟΓΙΟ

### Τριγωνομετρικές ταυτότητες

$$\sin^2 a + \cos^2 a = 1$$

$$\cos\alpha \cdot \cos\beta = \frac{1}{2} \cdot \{\cos(\alpha + \beta) + \cos(\alpha - \beta)\}$$

$$\sin\alpha \cdot \sin\beta = \frac{1}{2} \cdot \{\cos(\alpha - \beta) - \cos(\alpha + \beta)\}$$

$$\sin\alpha \cdot \cos\beta = \frac{1}{2} \cdot \{\sin(\alpha - \beta) + \sin(\alpha + \beta)\}$$

$$\cos^2 \theta = \frac{1 + \cos 2\theta}{2}$$

$$\sin^2 \theta = \frac{1 - \cos 2\theta}{2}$$

$$\cos \theta = \frac{e^{j\theta} + e^{-j\theta}}{2}$$

$$\sin \theta = \frac{e^{j\theta} - e^{-j\theta}}{2j}$$

$$\sin 2\theta = 2 \cos \theta \cdot \sin \theta$$

$$\cos 2\theta = \cos^2 \theta - \sin^2 \theta = 2\cos^2 \theta - 1 = 1 - 2\sin^2 \theta$$

$$\cos(\alpha + \beta) = \cos\alpha \cos\beta - \sin\alpha \sin\beta$$

$$\cos(\alpha - \beta) = \cos\alpha \cos\beta + \sin\alpha \sin\beta$$

$$\sin(\alpha + \beta) = \sin\alpha \cos\beta + \cos\alpha \sin\beta$$

$$\sin(\alpha - \beta) = \sin\alpha \cos\beta - \cos\alpha \sin\beta$$



**Ιδιότητες συναρτήσεων Bessel πρώτου  
είδους τάξης  $n$  με όρισμα  $\beta$**

$$e^{j\beta \sin \omega_m t} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n(\beta) \cdot e^{jn\omega_m t}$$

$$J_{-n}(\beta) = (-1)^n \cdot J_n(\beta)$$

$$J_{n-1}(\beta) + J_{n+1}(\beta) = \frac{2n}{\beta} \cdot J_n(\beta)$$

$$\sum_{n=-\infty}^{\infty} J_n^2(\beta) = 1$$

## Αόριστα ολοκληρώματα

$$\int \cos(ax) dx = \frac{1}{a} \cdot \sin(ax)$$

$$\int \sin(ax) dx = -\frac{1}{a} \cdot \cos(ax)$$

$$\int e^{ax} dx = \frac{1}{a} \cdot e^{ax}$$

## Συναρτήσεις Bessel $J_n(\beta)$

$J_n / \beta$	<b>0.2</b>	<b>0.5</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>8</b>
<b>0</b>	0.990	0.938	0.765	0.224	-0.178	0.172
<b>1</b>	<b><u>0.100</u></b>	<b><u>0.242</u></b>	0.440	0.577	-0.328	0.235
<b>2</b>	0.005	0.031	<b><u>0.115</u></b>	0.353	0.047	-0.113
<b>3</b>			0.020	<b><u>0.129</u></b>	0.365	-0.291
<b>4</b>			0.002	0.034	0.391	-0.105
<b>5</b>				0.007	0.261	0.186
<b>6</b>					<b><u>0.131</u></b>	0.338
<b>7</b>					0.053	0.321
<b>8</b>					0.018	0.223
<b>9</b>						<b><u>0.126</u></b>
<b>10</b>						0.061

## Ενέργεια και Ισχύς Σημάτων

Καταναλισκόμενη ενέργεια του σήματος  $x(t)$  σε αντίσταση  $1 \Omega$ , στο διάστημα  $(-T/2, T/2)$

$$E_x = \int_{-T/2}^{T/2} |x(t)|^2 dt$$

Μέση ισχύς κατανάλωσης του σήματος  $x(t)$ , στο διάστημα  $(-T/2, T/2)$

$$S_x = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} |x(t)|^2 dt$$

## Ιδιότητες συνάρτησης Δέλτα

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \delta(t) dt = 1$$

$$\delta(t) = \begin{cases} 0, & t \neq 0 \\ \text{απροσδιοριστη}, & t = 0 \end{cases}$$

$$\delta(a t) = \frac{1}{|a|} \delta(t)$$

$$\delta(t) = \frac{d[u(t)]}{dt}$$

## Τάση θορύβου συστήματος

$$V_N = \sqrt{4kTR_{in}BW}$$

Όπου:  $k$ : σταθερά του Boltzmann ( $1.37 \cdot 10^{-23} \text{ J/}^\circ \text{ K}$ )

$T$  απόλυτη θερμοκρασία ( )

$R_{in}$  : αντίσταση εισόδου του συστήματος ( $\Omega$ )

$BW$  εύρος ζώνης της διάταξης (Hz)

## Φασματική Πυκνότητα Ισχύος του Λευκού Θορύβου

$$G_N = BW \frac{n}{2} \quad (\text{watt} / \text{Hz})$$

όπου  $BW$  το εύρος ζώνης του σήματος πληροφορίας (ισοδύναμο εύρος ζώνης θορύβου)

$\frac{n}{2}$  : το πλάτος του σήματος θορύβου

## **ΣΥΝΤΟΜΕΥΣΕΙΣ-ΑΓΓΛΙΚΟΙ ΟΡΟΙ**

FT: Fourier Transform

IFT: Inverse Fourier Transform

AM: Amplitude Modulation

FM: Frequency Modulation

PM: Phase Modulation

SSB: Single Side Band

DSB: Double Side Band

AM-DSB-LC: Amplitude Modulation Double Side Band Large Carrier

AM-DSB-SC: Amplitude Modulation Double Side Band Large Carrier

VSB: Vestigial Side Band

S: Signal

N: Noise

I: Interference

SNR: Signal-to-Noise Ratio

SIR: Signal-to-Interference Ratio

AWGN: Additive White Gaussian Noise



FDM: Frequency Division Multiplexing  
FDMA: Frequency Division Multiple Access  
ACI: Adjacent Channel Interference  
RF: Radio Frequency  
IF: Intermediate Frequency  
LO: Local Oscillator  
BPF: Band Pass Filter  
LPF: Low Pass Filter  
AVC: Automatic Voltage Control  
AFC: Automatic Frequency Control  
UHF: Ultra High Frequencies  
VHF: Very High Frequencies

## ΕΝΔΕΙΚΤΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. HSU H.P., *Αναλογικές και Ψηφιακές Επικοινωνίες*, Εκδόσεις Τζιόλα, 2002
2. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ Φ., ΚΑΨΑΛΗΣ Χ., ΚΩΤΤΗΣ Π., *Εισαγωγή στις Τηλεπικοινωνίες*, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 1995
3. PROAKIS J., SALEHI M., *Συστήματα Επικοινωνιών*, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Αθηνών, 2002
4. HAYKIN, S., *Συστήματα Επικοινωνιών*, Εκδόσεις Παπασωτηρίου, 1995
5. TAUB H., SCHILLING D.L., *Αρχές Τηλεπικοινωνιακών Συστημάτων*, Εκδόσεις Τζιόλα, 2005
6. ΚΥΡΙΑΚΗ Γ., ΤΟΥΣΟΥΝΗ Ν., *Ραδιοφωνία και Ηλεκτρακουστική*, Εκδόσεις ΙΩΝ, 1991
7. ΒΑΡΖΑΚΑΣ Π., Διδακτορική διατριβή: *Μέθοδος εκτίμησης φασματικής απόδοσης συστημάτων επικοινωνιών κινητών*, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Φυσικής, 1999
8. ΚΟΝΤΟΓΕΩΡΓΟΣ Α. *Τηλεπικοινωνίες Ι*, Τ.Ε.Ι. Λαμίας, Τμήμα Ηλεκτρονικής, 1990
9. ΚΩΤΤΗΣ Π., *Διαμόρφωση και Μετάδοση Σημάτων*, Εκδόσεις Τζιόλα, 2003