

# ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ

C. E. Shannon-W. Weaver:

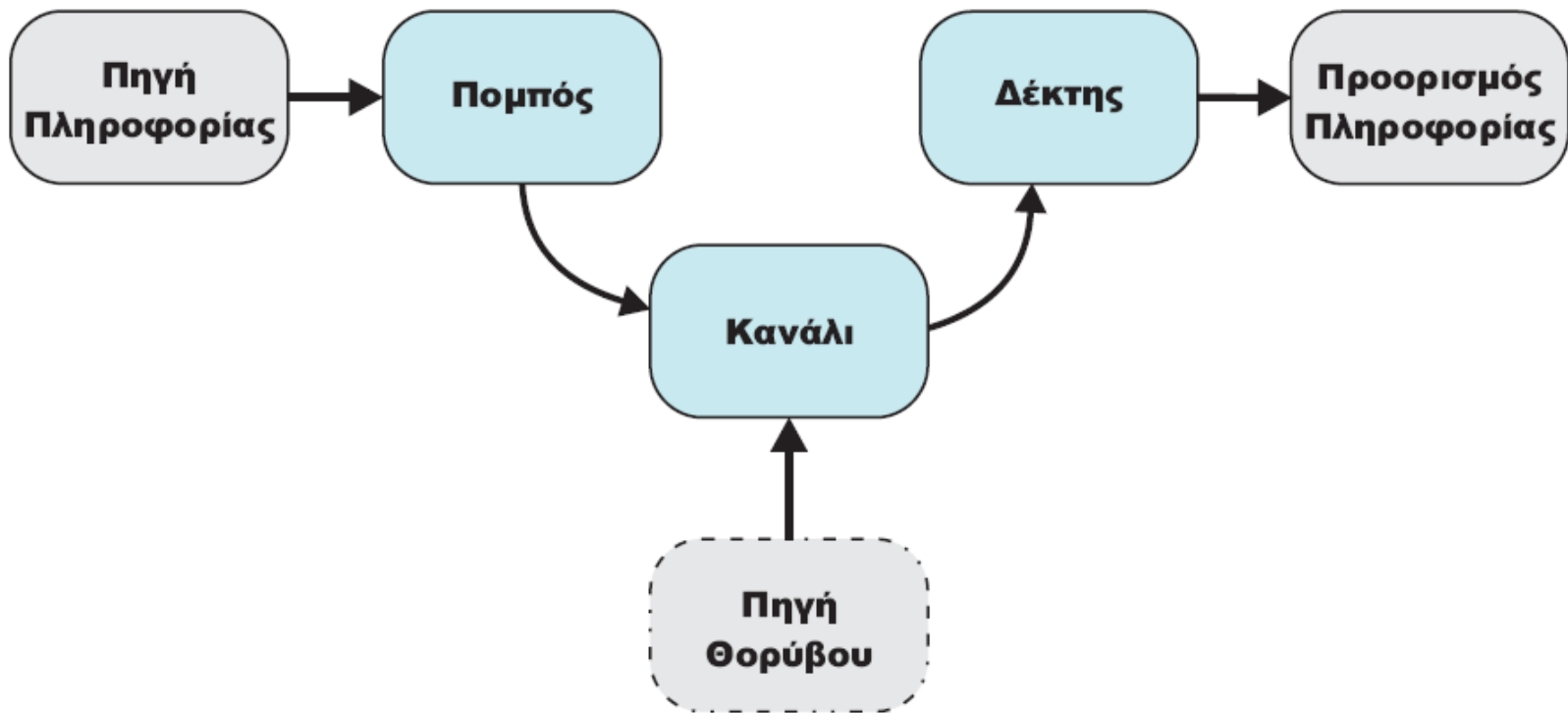
*«Επικοινωνία είναι το σύνολο των διαδικασιών που εμπλέκονται στη μεταφορά της πληροφορίας από τον αποστολέα στον παραλήπτη...».*

Το επικοινωνιακό μοντέλο C.E. Shannon-W. Weaver, το οποίο συχνά ονομάζεται η “μητέρα όλων των μοντέλων”, εισάγει τις έννοιες:

- Της πηγής πληροφορίας (information source),
- Του μηνύματος (message),
- Του πομπού (transmitter),
- Του δέκτη (receiver),
- Του καναλιού (channel),
- Της κωδικοποίησης (coding),
- Της πιθανότητας σφάλματος (probability of error),
- Της χωρητικότητας καναλιού (channel capacity),
- Της εντροπίας (entropy), κ.λ.π.

Το μοντέλο αυτό έγινε ευρέως αποδεκτό και από διάφορες άλλες επιστήμες εκτός από τις τηλεπικοινωνίες, όπως η παιδαγωγική, η ψυχολογία, η κοινωνιολογία, κ.λ.π.

# Το επικοινωνιακό μοντέλο C.E. Shannon-W. Weaver



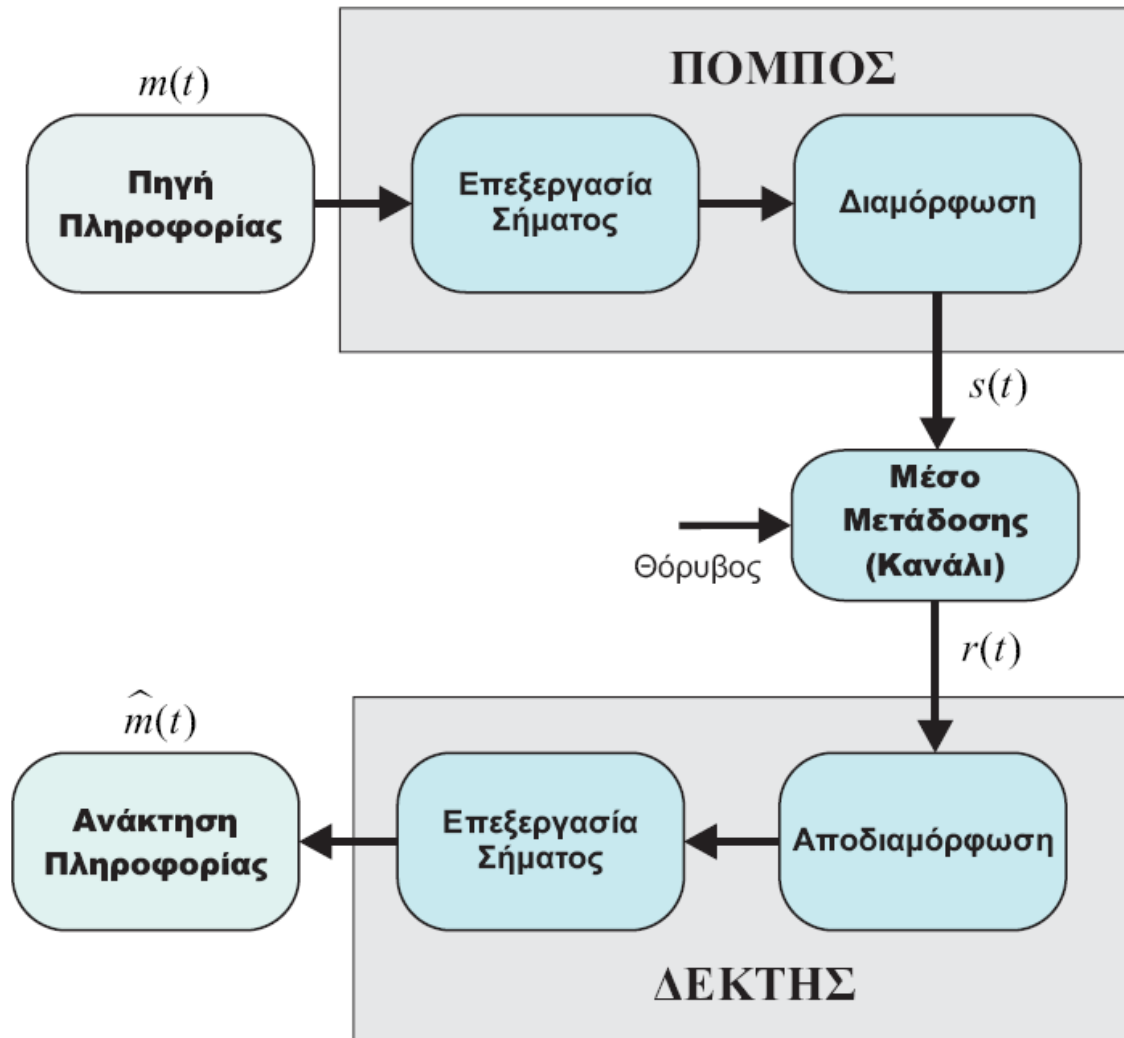
# Το επικοινωνιακό μοντέλο κατά τον Umberto Eco

**Umberto Eco:** Ορίζει την έννοια της επικοινωνίας διακρίνοντας την “Σημειολογία της Επικοινωνίας (Semiotics of Communication)” από την “Σημειολογία του Νοήματος (Semiotics of significance)” ως δύο μη-αμοιβαία αποκλειόμενες έννοιες.

Κατά τον Eco: “Στην περίπτωση της επικοινωνίας μεταξύ δύο συσκευών – μηχανών αυτό που πραγματοποιείται είναι η μεταφορά της πληροφορίας αλλά όχι η σημασιολογική ή νοηματική πλευρά αυτής. Όταν όμως ο παραλήπτης είναι νοητική ύπαρξη, ανεξάρτητα αν ο αποστολέας είναι συσκευή – μηχανή ή νοητική ύπαρξη και δεδομένου ότι το σήμα δεν είναι απλά ένας ερεθισμός αλλά μια σύνθετη νοηματική έκφραση, τότε λαμβάνει χώρα η σημειολογία του νοήματος...”

*Είναι φανερό ότι κατά τον Eco η έννοια της επικοινωνίας εξαρτάται και από την ιδιότητα του παραλήπτη (μηχανή ή νοητική ύπαρξη), κάτι που δεν συμβαίνει με τους Shannon-Weaver οι οποίοι ορίζουν τη διαδικασία της επικοινωνίας σαφέστατα από την πλευρά του μηχανικού.*

# Τηλεπικοινωνιακό σύστημα: Βασική δομή

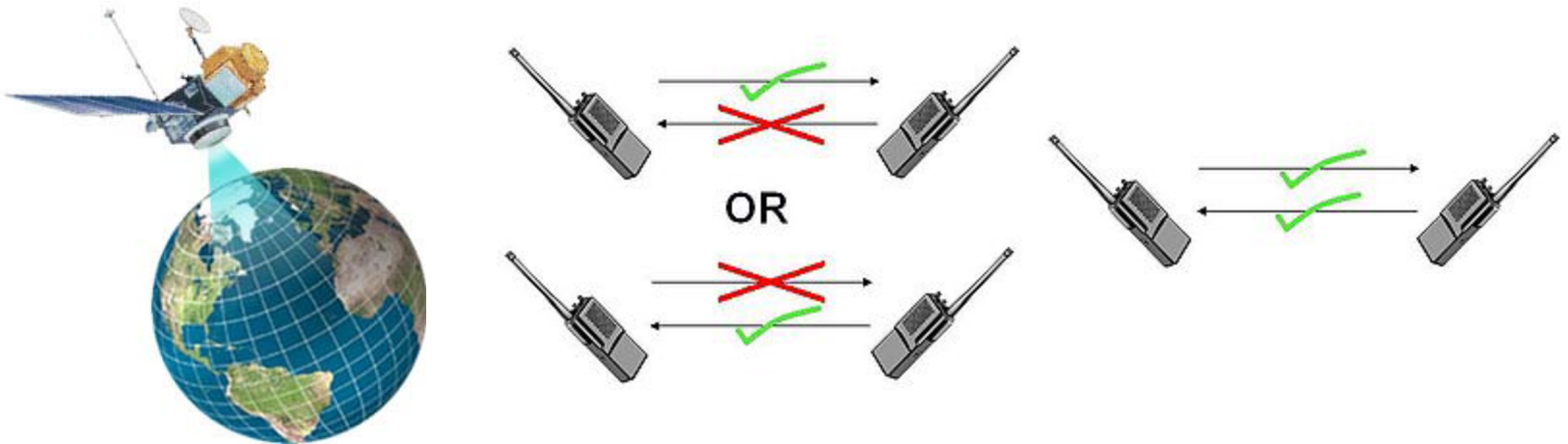


# Είδη επικοινωνίας

**Μονόδρομες-Simplex.** Η πληροφορία μεταδίδεται μόνο προς μια κατεύθυνση. Παραδείγματα μονόδρομης επικοινωνίας είναι το ραδιόφωνο και η τηλεόραση, τα οποία συνήθως ονομάζονται και συστήματα *ευρείας εκπομπής (broadcasting)*.

**Ημιαμφίδρομες-Half-duplex.** Η επικοινωνία πραγματοποιείται και προς τις δύο κατευθύνσεις αλλά χωρίς να είναι ταυτόχρονη. Μια μόνο τηλεπικοινωνιακή ζεύξη χρησιμοποιείται εναλλάξ για αποστολή και λήψη πληροφοριών με χαρακτηριστικό παράδειγμα τα συστήματα *Citizens Band radio (CB)*.

**Αμφίδρομες-Full-duplex.** Η πληροφορία μεταδίδεται ταυτόχρονα και προς τις δύο κατευθύνσεις, όπως για παράδειγμα στο τηλεφωνικό δίκτυο, στα συστήματα κινητής τηλεφωνίας, κ.λ.π.



# Φάσμα Συχνοτήτων

Αριθμός Ζώνης	Όνομα Ζώνης	Συμβολισμός	Περιοχή Συχνοτήτων
4	VLF		3-30 kHz
5	LF		30-300 kHz
6	MF		300-3000 kHz
7	HF		3-30 MHz
8	VHF		30-300 MHz
9	UHF		300-3000 MHz
		L	1-2 GHz
		S	2-4 GHz
10	SHF		3-30 GHz
		C	4-8 GHz
		X	8-12 GHz
		Ku	12-18 GHz
		K	18-27 GHz
11	EHF		30-300 GHz
		Ka	27-40 GHz
		Μιλμετρικά	40-300 GHz

# Φάσμα Συχνοτήτων

Ονομασία Ζώνης	Συνομογραφία	Όρια Συχνοτήτων	Τρόπος Διάδοσης	Απόσταση	Εφαρμογές
Extremely Low Frequencies	<i>ELF</i>	1 Hz έως 10 KHz	Στατικά Ηλεκτρομαγνητικά Πεδία		Γραμμές Μεταφοράς Ηλεκτρικής Ενέργειας,
Very Low Frequencies	<i>VLF</i>	10 KHz έως 30 KHz	Επιφανειακό κύμα, Κύματα Γη-Ιονόσφαιρα, D στρώμα (σχεδόν τέλεια ανάκλαση)	Παγκόσμια (trans-world)	Ραδιοπλοήγηση, Ραδιοφωνία AM
Low Frequencies	<i>LF</i>	30 KHz έως 300 KHz	Κύμα εδάφους, Ανάκλαση στο D στρώμα (μερική απορρόφηση)	1000 Km	Ραδιοπλοήγηση, Ραδιοφωνία AM
Median Frequencies	<i>MF</i>	300 KHz έως 3 MHz	Κύμα εδάφους κατά την διάρκεια της ημέρας, Ανάκλαση στο E στρώμα την νύκτα, Απορρόφηση στο D στρώμα	100 Km (ημέρα) 1000 Km (νύκτα)	Ραδιοφωνία AM
High Frequencies	<i>HF</i>	3 MHz έως 30 MHz	Κύμα εδάφους - Διάδοση μέχρι λίγο μετά τα όρια του οριζοντος . Ανάκλαση στο F στρώμα	Μέχρι 100 Km κατευθείαν, 1000 Km μέσω της Ιονόσφαιρας	Ραδιοφωνία AM
Very High Frequencies	<i>VHF</i>	30 MHz έως 300 MHz	Κατευθείαν Κύμα - Οπτική Επαφή. Ιονοσφαιρική ανάκλαση	Μέχρι 50 Km κατευθείαν, 1000 Km με Ιονοσφαιρική σκέδαση	Ραδιοφωνία FM, Τηλεόραση, Ραδιοπλοήγηση, Κινητή Τηλεφωνία (1 <sup>η</sup> Γενιά)

# Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα

---

- Τα τηλεπικοινωνιακά συστήματα έχουν στόχο την **μετάδοση πληροφορίας** από ένα σημείο σε ένα άλλο.
- Για την αποθήκευση και μετάδοση της πληροφορίας χρησιμοποιούν **μεταβαλλόμενα ρεύματα και τάσεις (μεταβαλλόμενα ηλεκτρομαγνητικά πεδία)**.
- Χρησιμοποιούνται διάφορα μέσα για τη μετάδοση των σημάτων, όπως
  - ✓ χάλκινα καλώδια (συστρεφόμενου ζεύγους, ομοαξονικά καλώδια...)
  - ✓ κυματοδηγοί
  - ✓ οπτικές ίνες
  - ✓ ασύρματα
- Τα σήματα προσαρμόζονται στο μέσο μετάδοσης μέσω της **διαμόρφωσης (modulation)** και της **κωδικοποίησης (coding)**.
- Οι τεχνικές διαμόρφωσης και κωδικοποίησης επιλέγονται με βάση
  - ✓ το μέσο μετάδοσης
  - ✓ Την πηγή πληροφορίας (στατιστική, τον ρυθμό μετάδοσης (rate) – ποιότητα επικοινωνίας (Quality of Service-QoS))



# Παράμετροι στα τηλεπικοινωνιακά συστήματα

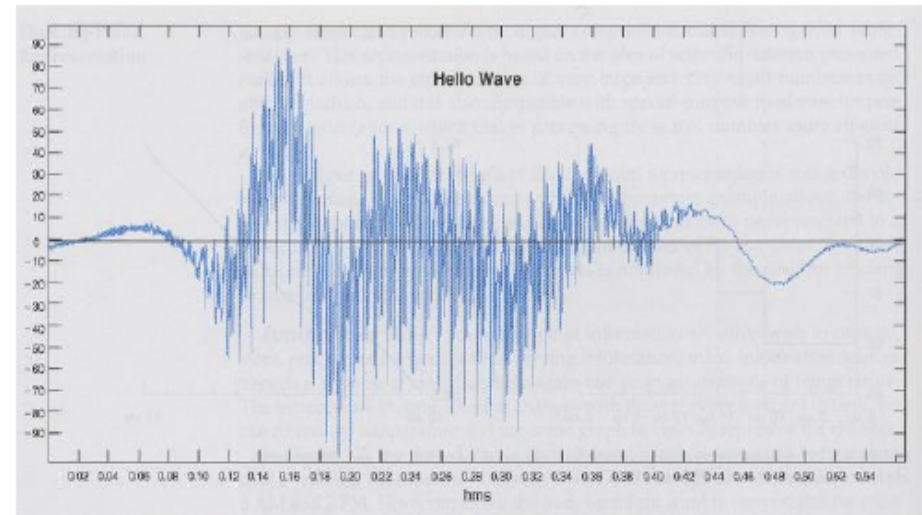
---

- ✓ Χρόνος μετάδοσης του μηνύματος (1 msec, 1 sec). Π.χ. η φωνή μέσω κινητής τηλεφωνίας μεταδίδεται σε msec. Μέσω δορυφόρου ο χρόνος μετάδοσης αυξάνεται σημαντικά
- ✓ Ποσότητα μεταδιδόμενης πληροφορίας (1 λέξη, ένα κείμενο, μια φωτογραφία κλπ.)
- ✓ Ρυθμός μετάδοσης της πληροφορίας (ποσότητα πληροφορίας στη μονάδα του χρόνου). π.χ. Με τα σήματα Morse μεταδίδουμε 10 λέξεις ανά sec. Με Ethernet μερικές εκατοντάδες Mb/sec
- ✓ Ποιότητα επικοινωνίας (Quality-of-Service, QoS)
- ✓ Δυνατότητα διόρθωσης λαθών
- ✓ Κατανάλωση ενέργειας

# Πηγές πληροφορίας

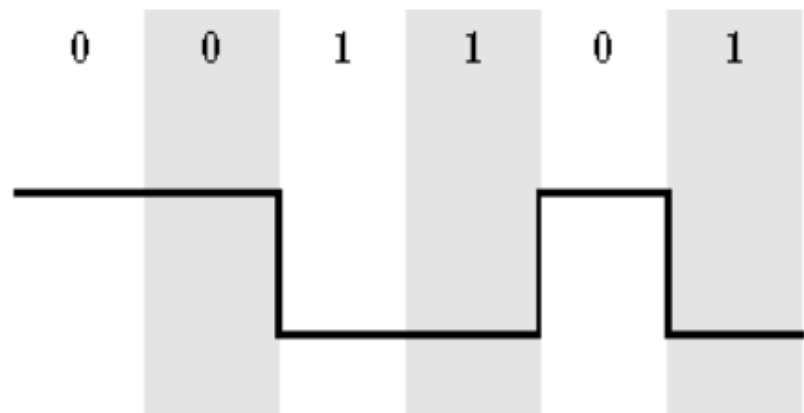
## • Αναλογικές πηγές πληροφορίας:

- ✓ Το σήμα ενός μικροφώνου
- ✓ Το σήμα μιας αναλογικής τηλεοπτικής κάμερας.



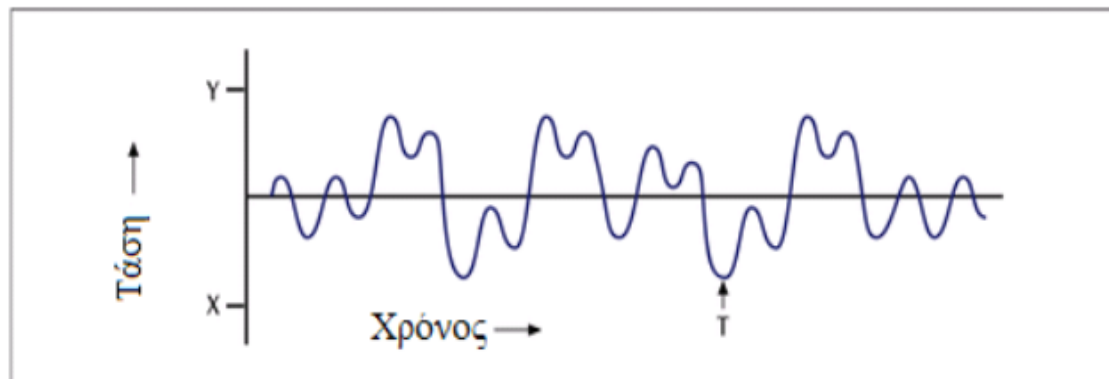
## • Ψηφιακές πηγές πληροφορίας:

- ✓ Υπολογιστές
- ✓ Ψηφιακή λήψη

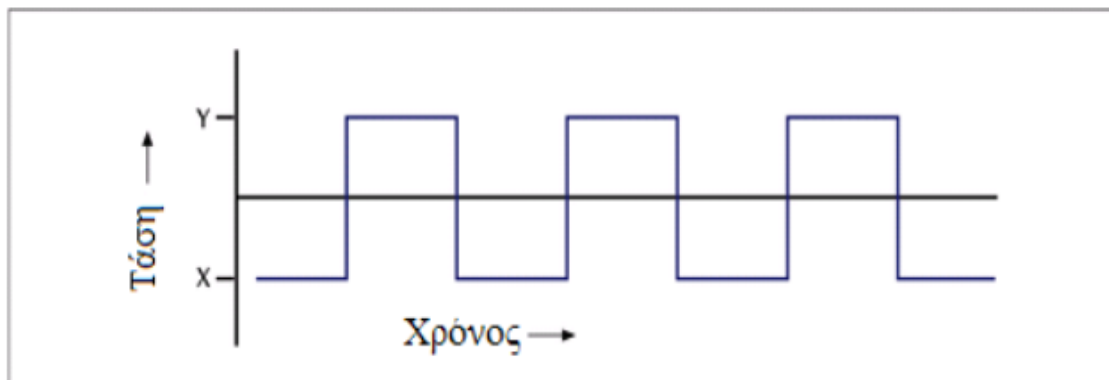


# Αναλογικά σήματα-Ψηφιακά σήματα

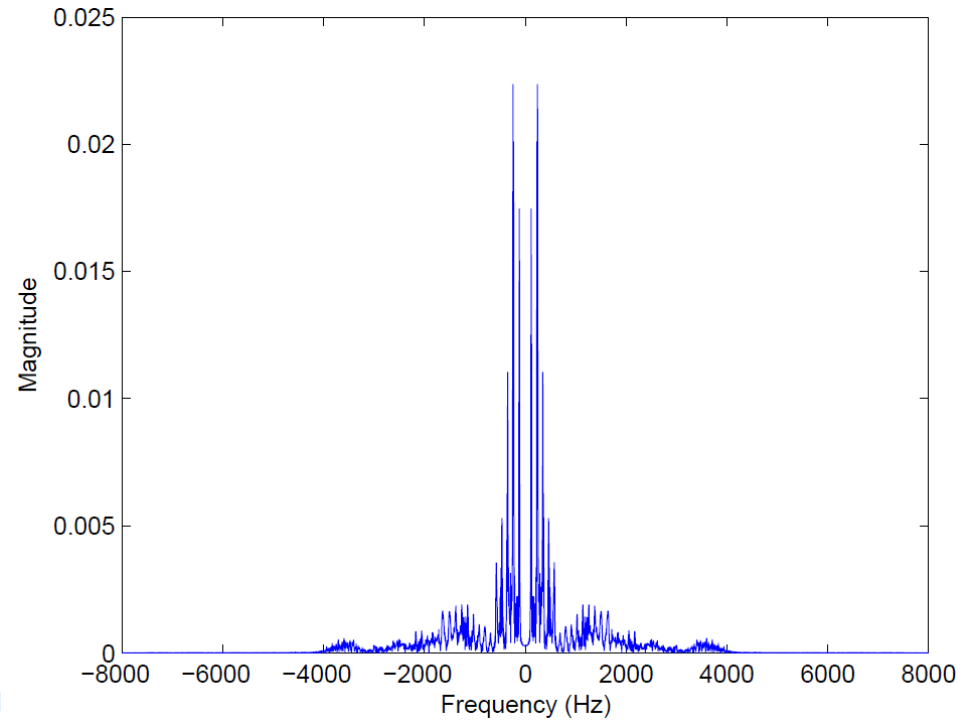
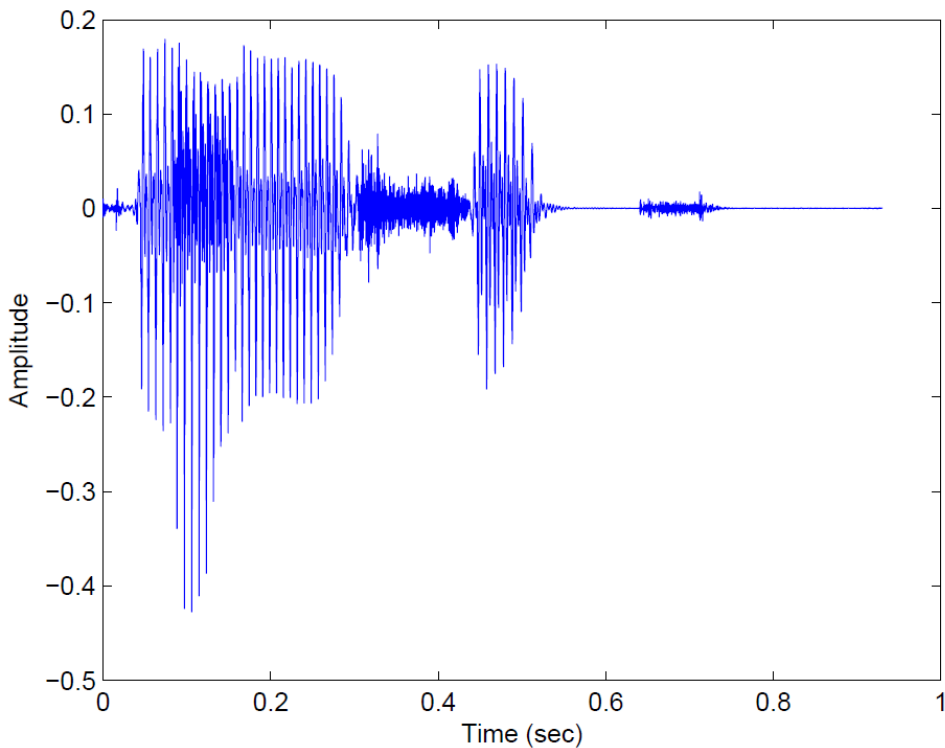
Το αναλογικό σήμα είναι μια συνεχής κυματομορφή, όπως π.χ. η μουσική και το video.



Το ψηφιακό σήμα αντιπροσωπεύει μια διακριτή κυματομορφή, όπως π.χ. Τα 0 και 1 των Η/Υ.

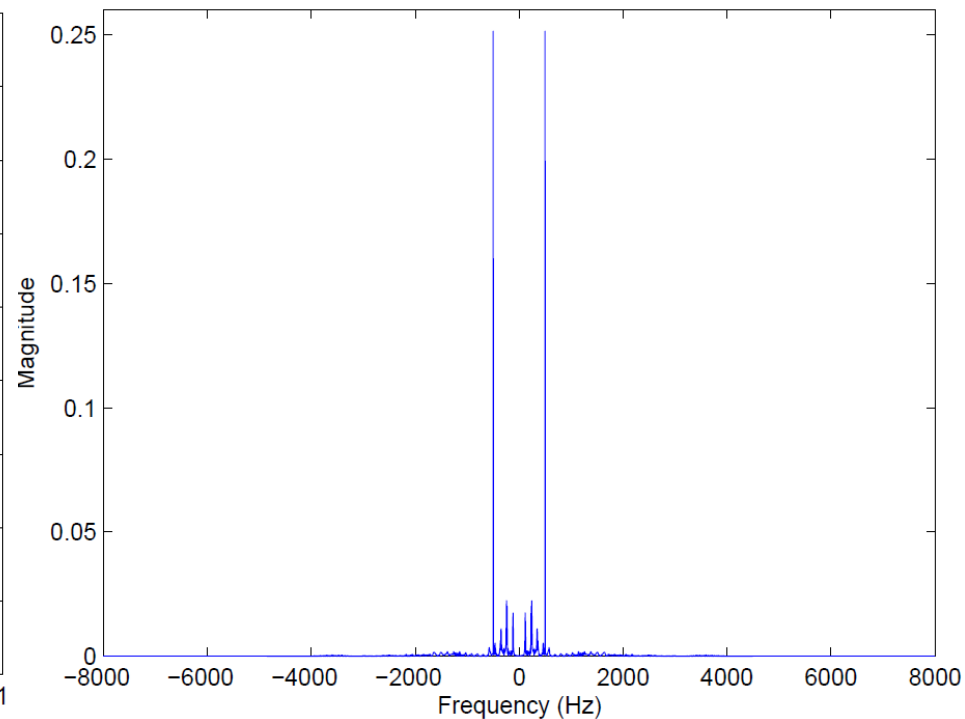
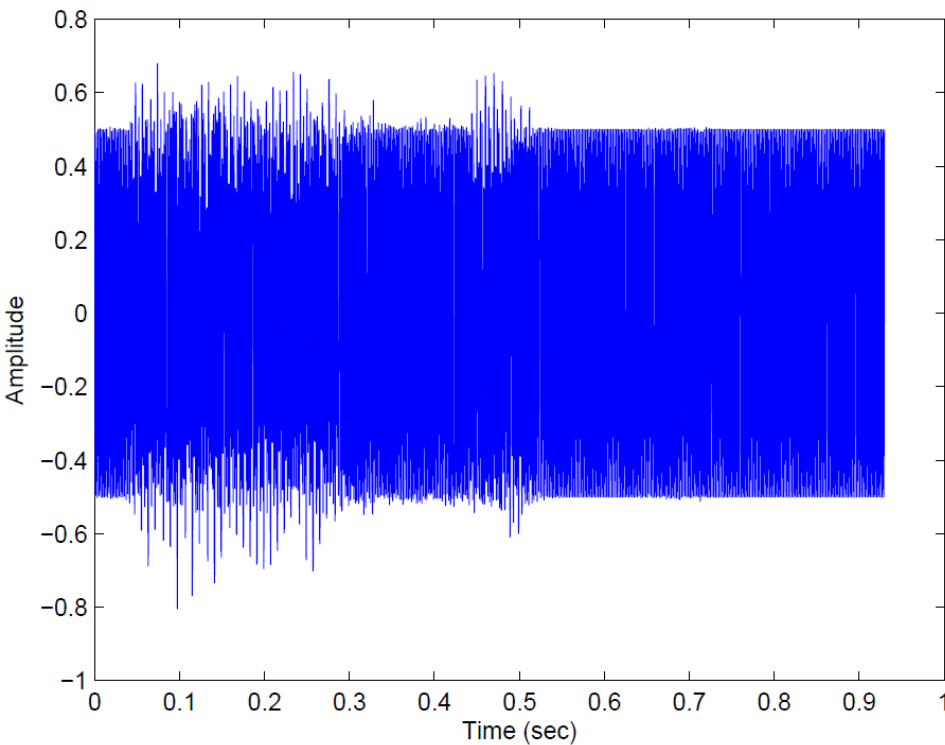


# ΣΗΜΑ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΚΑΙ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ ΤΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ 1



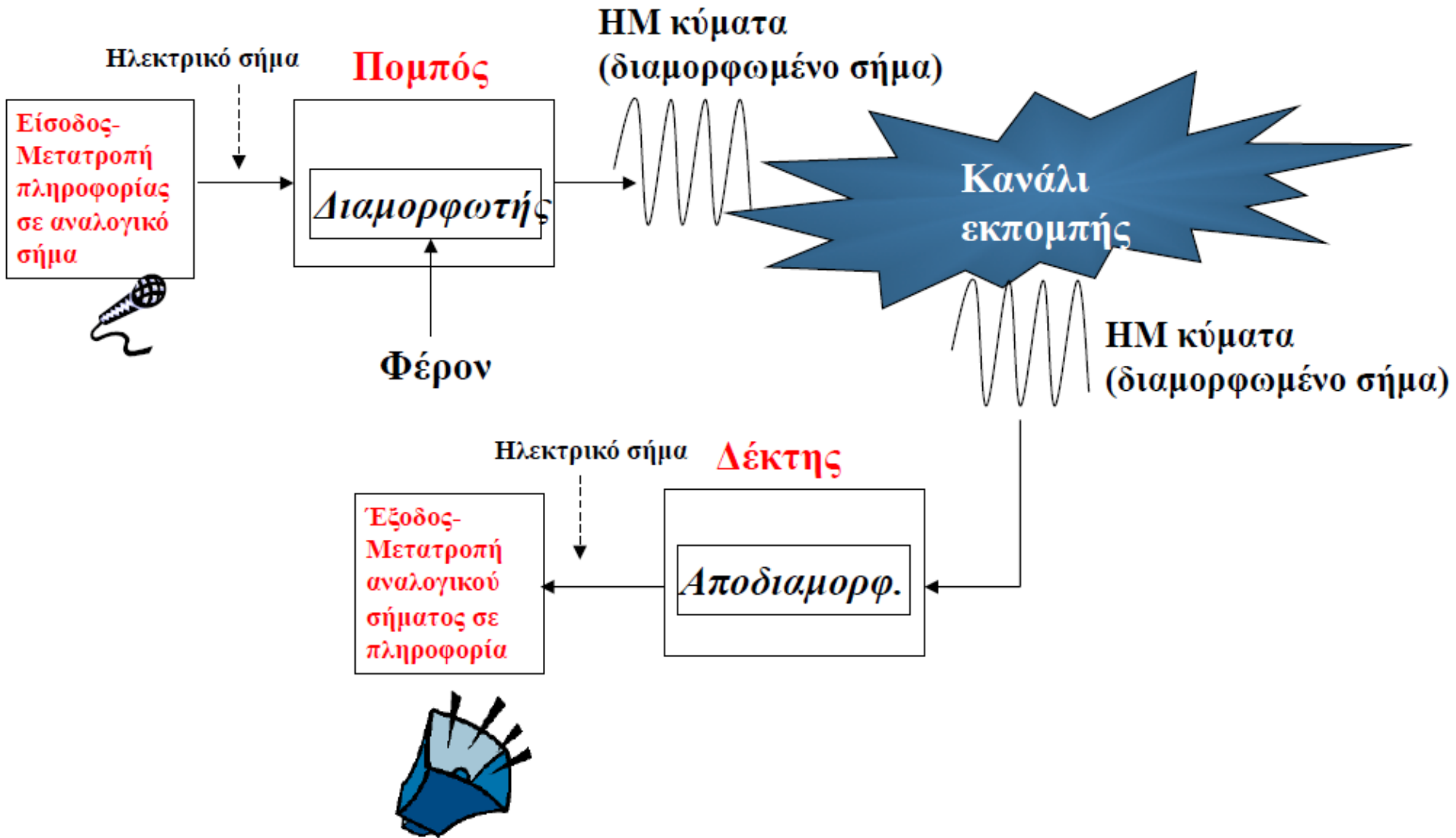
Σήμα ομιλίας

# ΣΗΜΑ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ ΤΟΥ ΧΡΟΝΟΥ ΚΑΙ ΣΤΟ ΠΕΔΙΟ ΤΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ 2

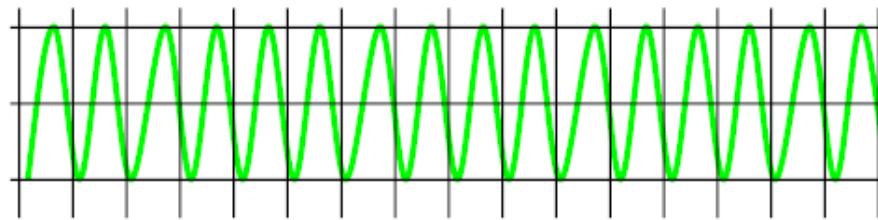


Σήμα ομιλίας + συνημίτονο 500 Hz

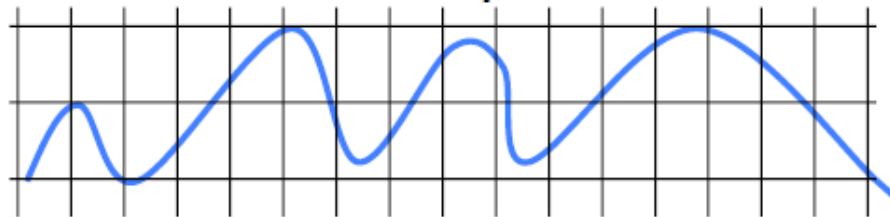
# Βασικό αναλογικό σύστημα επικοινωνίας



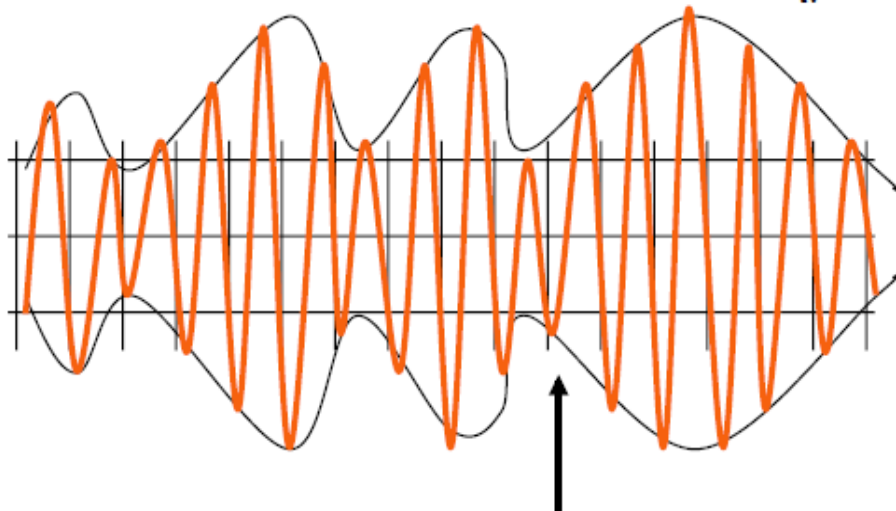
# Αναλογικές Διαμορφώσεις AM- FM



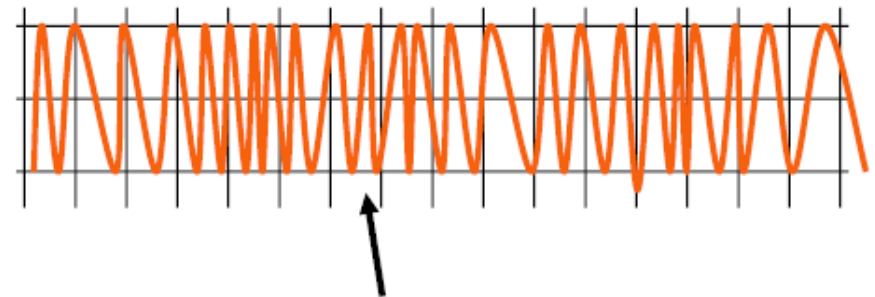
Φέρον



Σήμα Βασικής ζώνης



Σταθερή Συχν. Μεταβαλλ. Πλάτος, AM



Σταθερό πλάτος. Μεταβαλλ. Συχνότητα, FM

# Διαμόρφωση

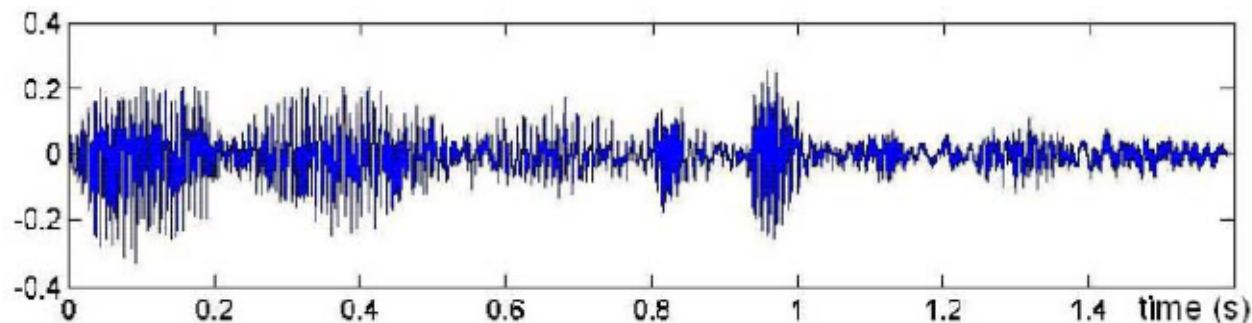
---

- **Γιατί είναι απαραίτητη η διαμόρφωση;** Για να γίνει εφικτή η μετάδοση του σήματος στο μέσο διάδοσης.
  - ✓ Ενσύρματη μετάδοση
    - ❖ Προσαρμογή στο μέσο διάδοσης.
  - ✓ Ασύρματη μετάδοση
    - ❖ Γίνεται εφικτή η μετάδοση ΗΜ κυμάτων με κεραίες μικρών διαστάσεων. Ένα ΗΜ κύμα απαιτεί κεραία με μήκος συγκρίσιμου του μήκους κύματος του εκπεμπόμενου/λαμβανόμενου σήματος.
    - ❖ Επομένως η μετάδοση ΗΜ κυμάτων με χαμηλή συχνότητα θα απαιτούσε τεράστιες κεραίες.



# Σήματα: Βασικής ζώνης και Ζωνοπερατό

- Σήμα βασικής ζώνης (*baseband*) είναι το σήμα με μη-μηδενικό φασματικό περιεχόμενο στην περιοχή γύρω από την συχνότητα  $f = 0$  και σχεδόν μηδενικό περιεχόμενο στην υπόλοιπη περιοχή του φάσματος.



- Ζωνοπερατό (*bandpass*) είναι το σήμα με μη-μηδενικό φασματικό περιεχόμενο συγκεντρωμένο γύρω από μία κεντρική συχνότητα  $f = \pm f_c$  (με  $f_c \gg 0$ ) και με σχεδόν μηδενικό περιεχόμενο στην υπόλοιπη περιοχή του φάσματος.

$$X(f) = 0, |f - f_c| \geq 2W.$$



$$x(t) = Am(t) \cos 2\pi f_c t$$

# Διαμόρφωση

**Διαμόρφωση**, είναι η διαδικασία αντιστοίχισης της πληροφορίας που μεταφέρει το σήμα βασικής ζώνης  $m(t)$  σε ένα χαρακτηριστικό ενός ζωνοπερατού σήματος, κατάλληλου για μετάδοση στο κανάλι

•Ανθρώπινη ομιλία (εύρος συχνοτήτων 20 Hz με 5 KHz).  
•Δεν υπάρχουν κεραίες για συχνότητες αυτής της τάξης (μήκος κύματος της τάξης των 100 Km)

✓ Χαμηλή πολυπλοκότητα διατάξεων εκπομπή-λήψης Η/Μ ακτινοβολίας

✓ Πολυπλεξία

Κινητή τηλεφωνία

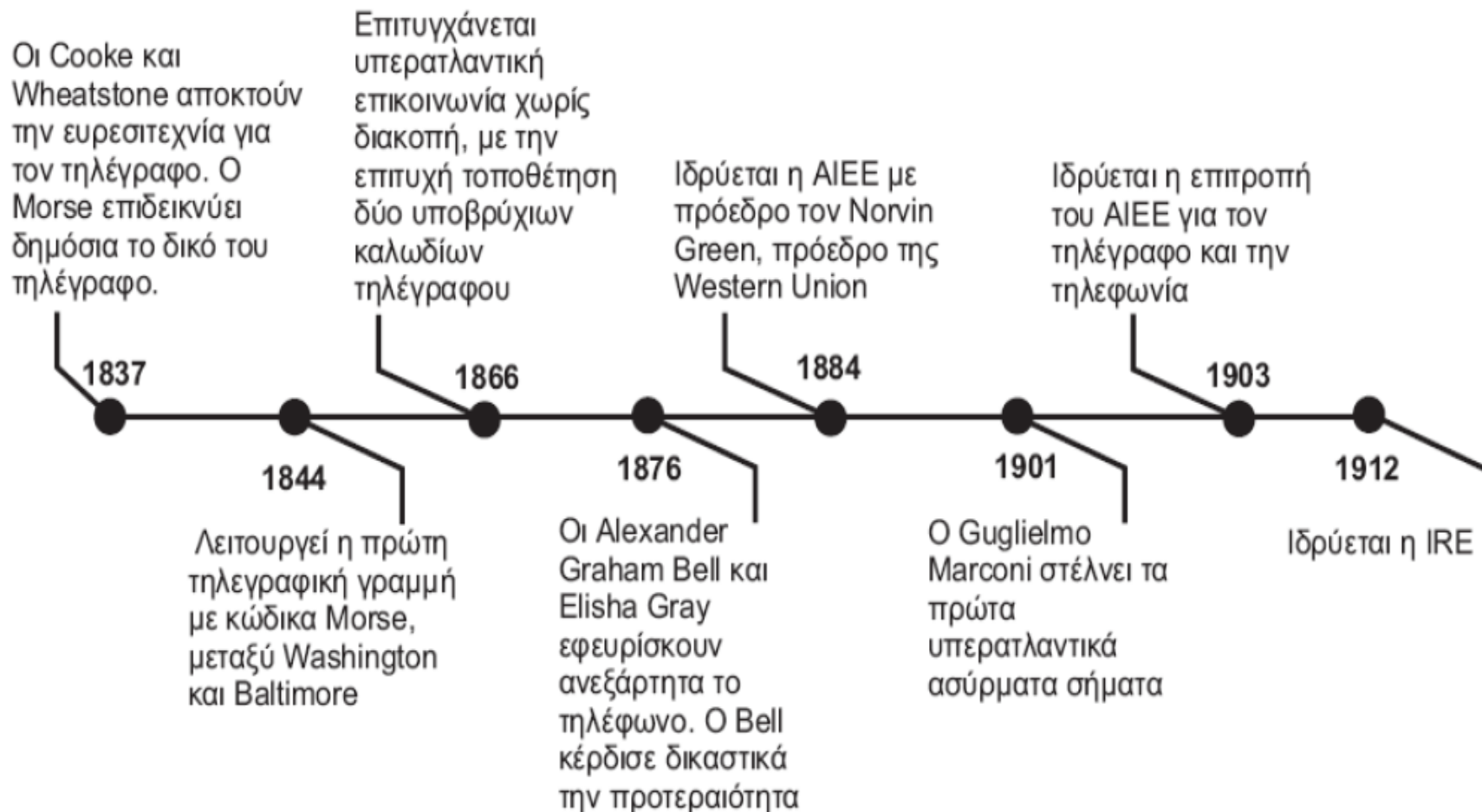
✓ Αντιμετώπιση των περιορισμών που επιβάλλει το κανάλι

✓ Διαμόρφωση για περιορισμό θορύβου και παρεμβολών

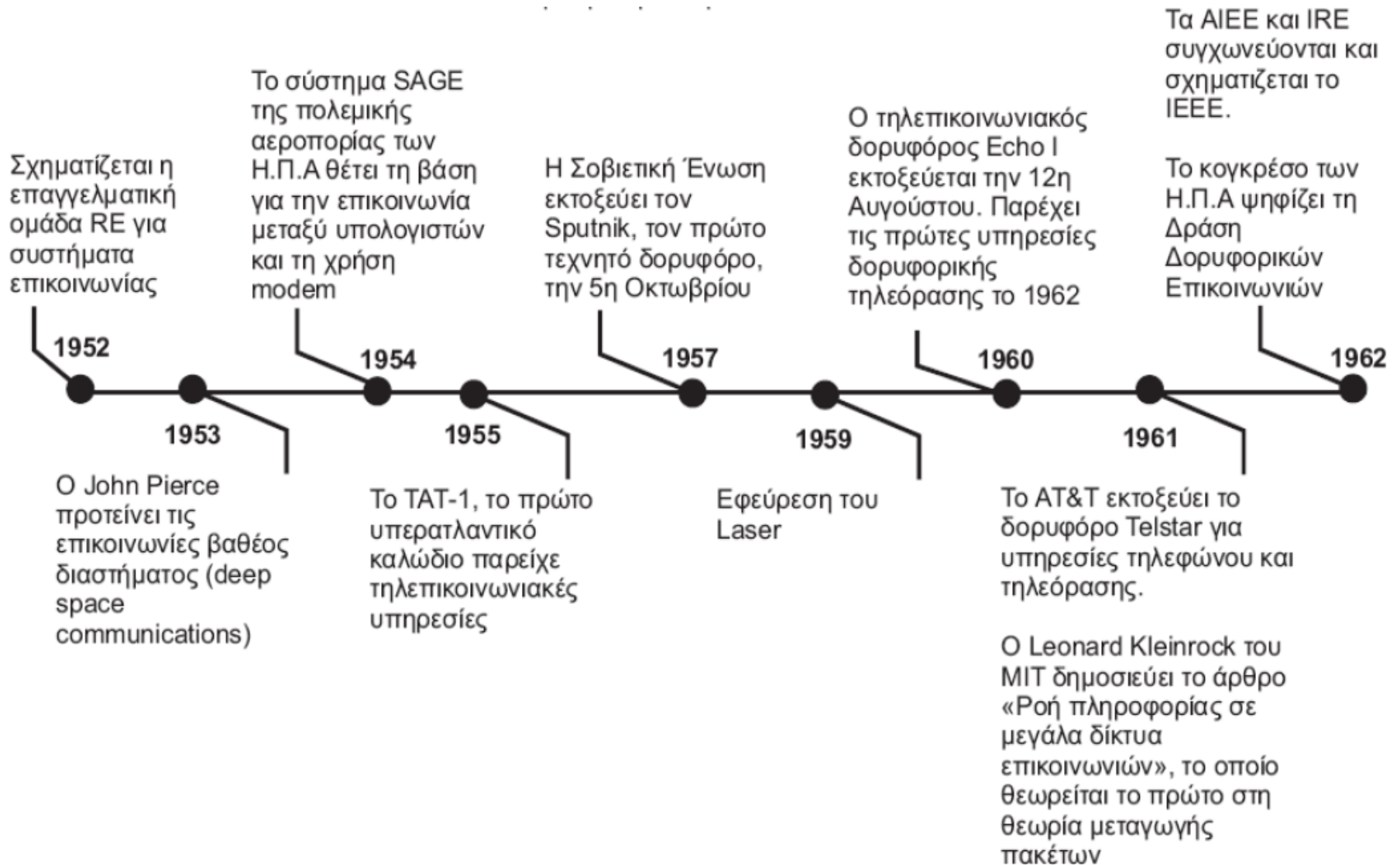
✓ Απονομή συχνοτήτων

Ραδιοφωνία-Τηλεόραση

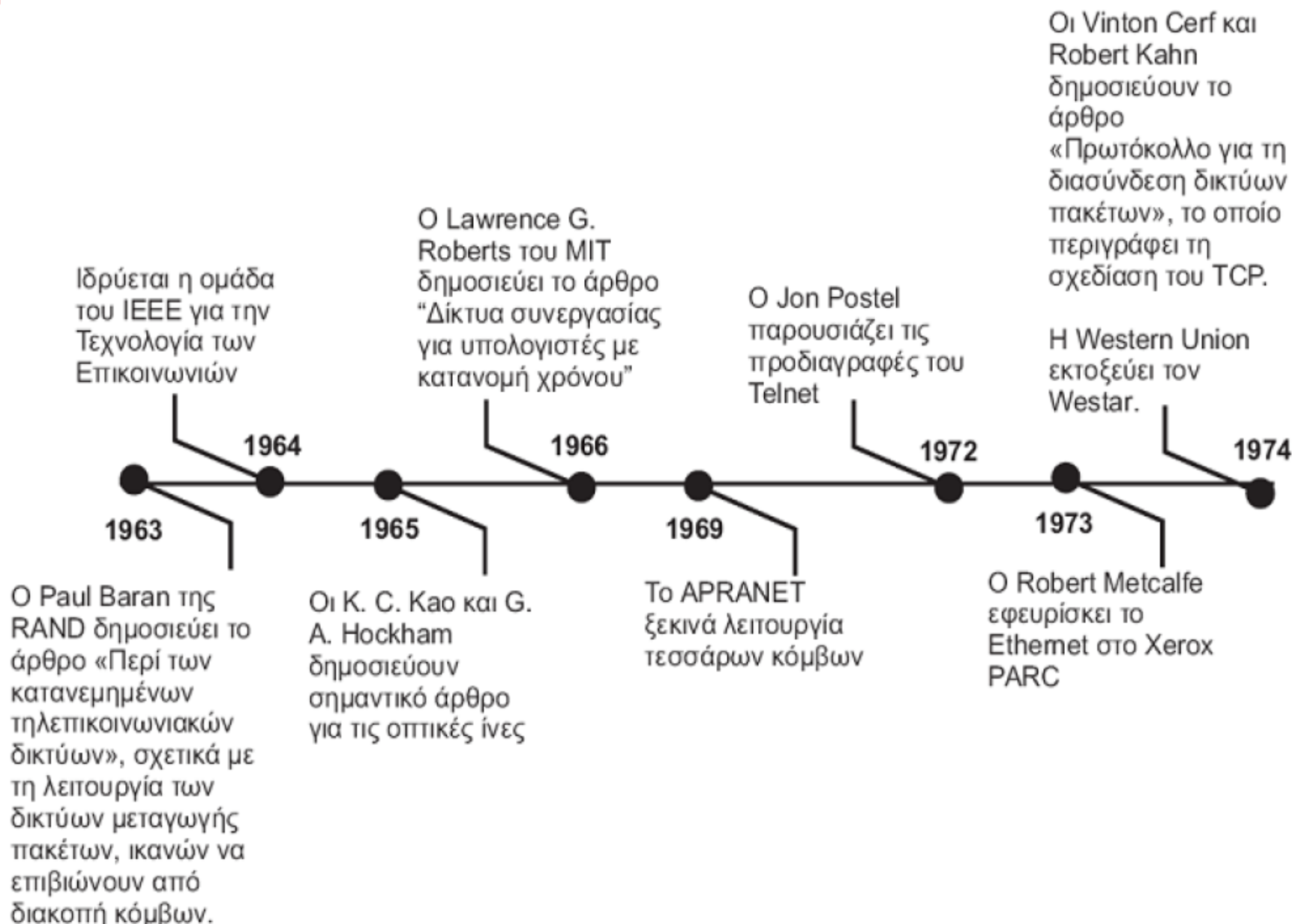
# Ιστορικό (μετά την εμφάνιση του ηλεκτρισμού)



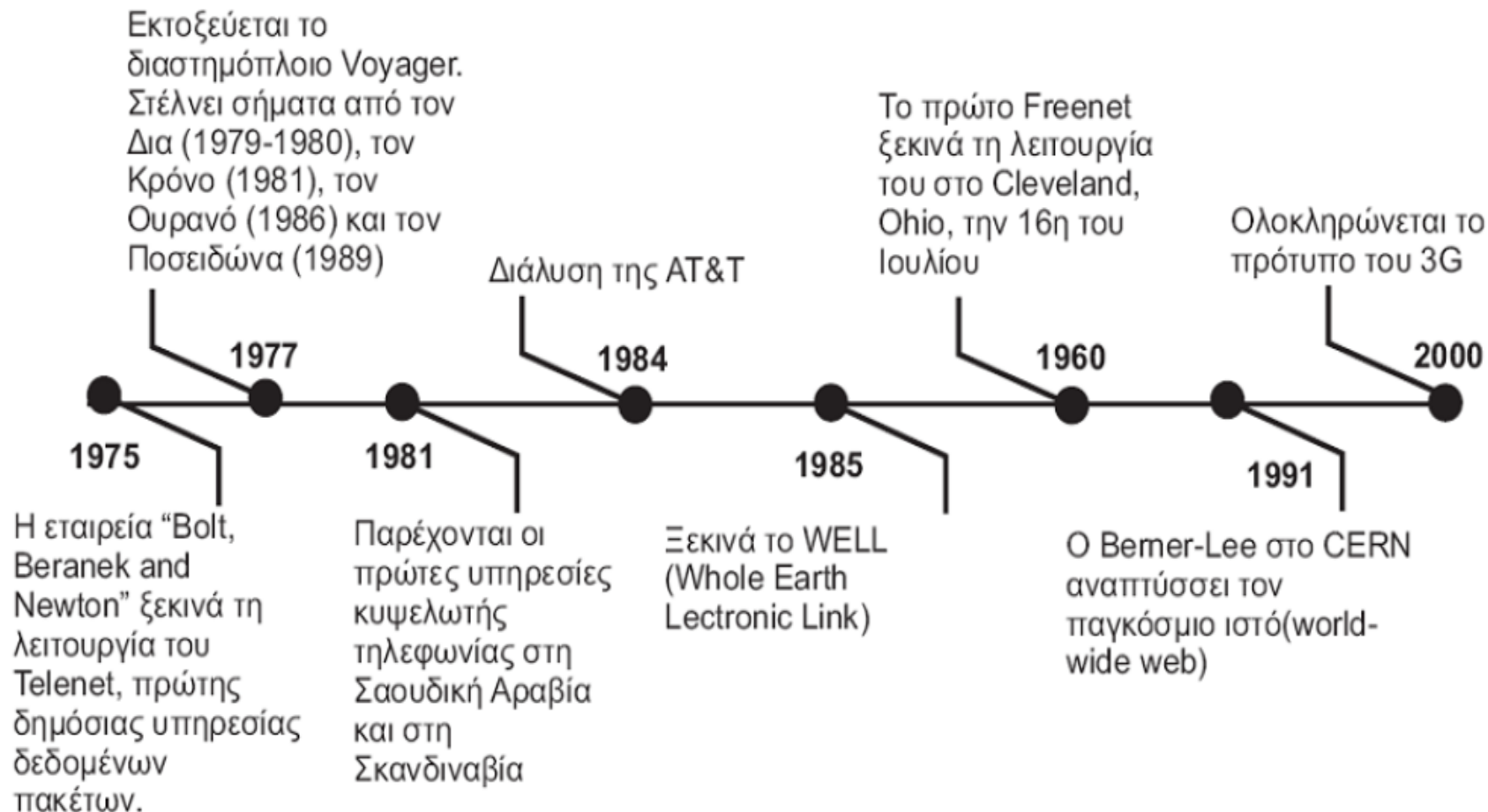
# Ιστορικό (μετά την εμφάνιση του ηλεκτρισμού)



# Ιστορικό (μετά την εμφάνιση του ηλεκτρισμού)



# Ιστορικό (μετά την εμφάνιση του ηλεκτρισμού)



# Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα: Ιστορικό Code Division Multiple Access (CDMA)

❖ Η Hedy Lamar (Hedwig Kiesler) και ο George Antheil ανέπτυξαν τον Αύγουστο του 1942 ένα σύστημα το οποίο το ονόμασαν Frequency Hopping.

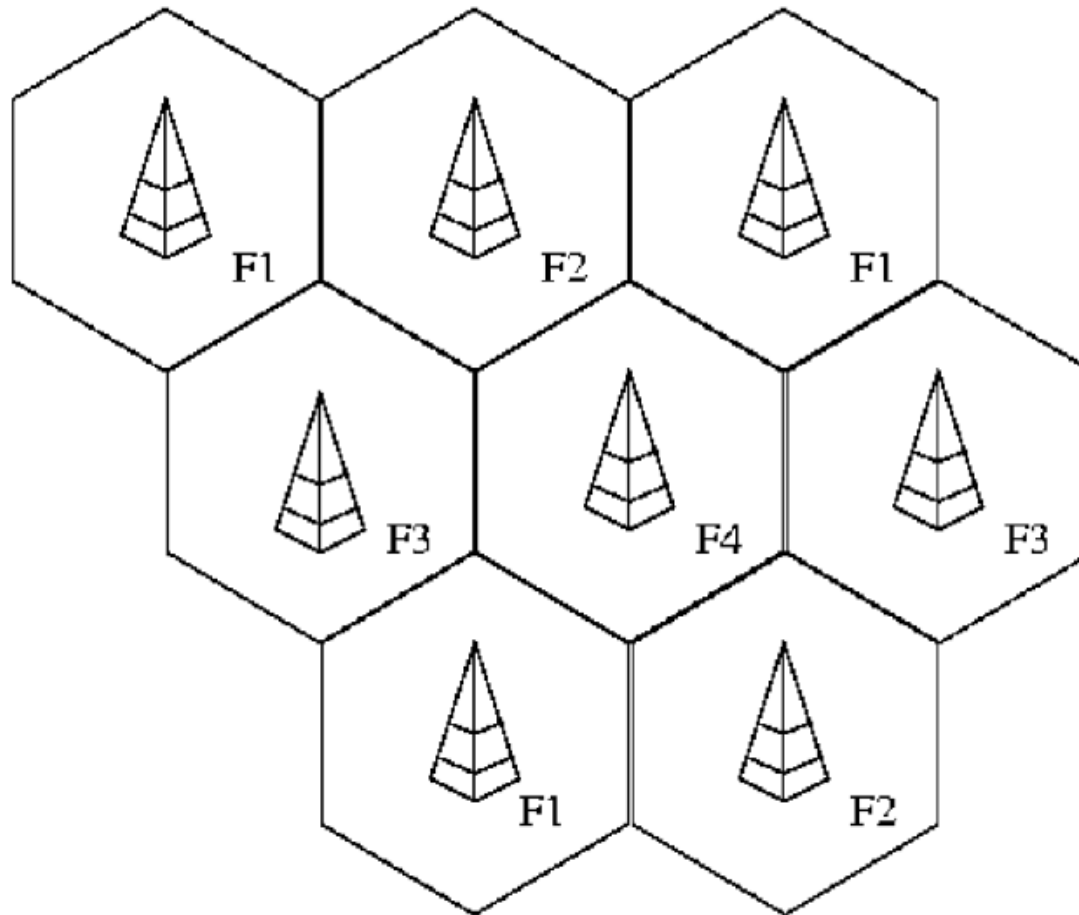
❖ Η ιδέα ήταν να κατασκευαστεί μία τηλεκατευθυνόμενη τορπίλη. Η δουλειά αυτή οδήγησε σε μία πατέντα με την ονομασία Secret Communication System. Όμως ο Αμερικάνικος στρατός δεν έδωσε ιδιαίτερη σημασία στην ιδέα αυτή, έως το 1963 (Κρίση με Κούβα).

❖ Η Lamar γεννήθηκε στην Αυστρία και δούλεψε σαν ηθοποιός στο Hollywood. Ο Antheil γεννήθηκε στο Παρίσι και είχε ένα piano bar.



# Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα: Ιστορικό

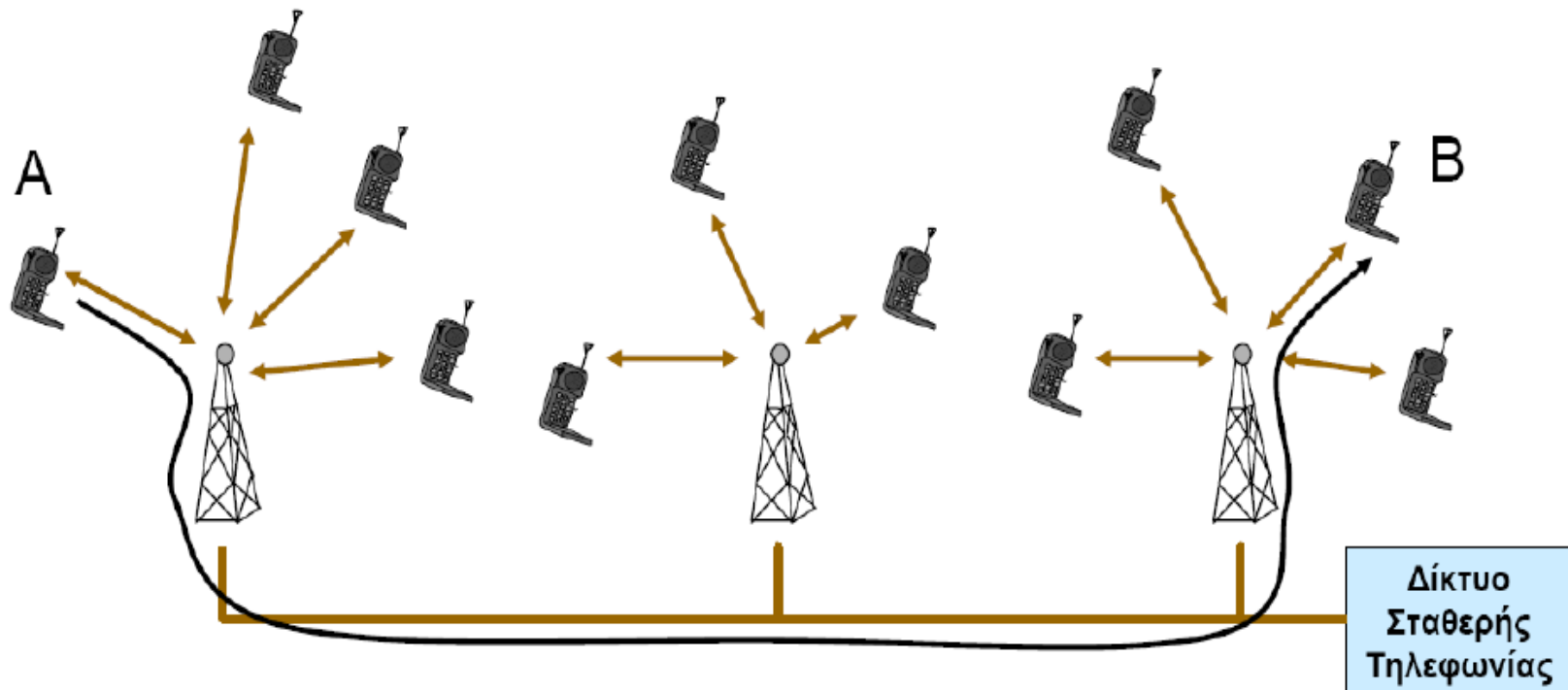
## Κυψελωτή Τοπολογία





# Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα: Ιστορικό

## Κυψελωτά Δίκτυα



- Οι χρήστες επικοινωνούν αποκλειστικά με τους σταθμούς βάσης
- Τα κινητά τηλέφωνα έχουν περιορισμένες αρμοδιότητες και δυνατότητες

## Ασύρματη Τηλεφωνία 1ης Γενιάς

- Κυψελωτή Τοπολογία
- Αναλογική διαμόρφωση FM
- Μερικά συστήματα:
  - NTT Cellular, Japan, 1979
  - Advanced Mobile Phone System (AMPS), USA, 1983
  - European Total Access Cellular System (ETACS), Ευρώπη, 1985



## Ασύρματη Τηλεφωνία 2<sup>ης</sup> Γενιάς (2G)

- Ψηφιακή Μετάδοση
- GSM: Global System for Mobile Commun.
  - Πανευρωπαϊκό standard, Time Division Multiple Access (TDMA)
- IS-95
  - Αμερικανικό standard, βασισμένο σε τεχνολογία Code Division Multiple Access (CDMA) Qualcomm
- Pacific Digital Cellular (PDC)
  - Ιαπωνικό standard, TDMA
- IS-136
  - Αμερικανικό standard, TDMA

## Ασύρματη Τηλεφωνία Γενιάς 2.5G

- High Speed Circuit Switched Data (HSCSD) για το GSM.
  - Κάθε χρήστης λαμβάνει πολλαπλές οπές (slots)
- General Packet Radio Service (GPRS) για τα GSM, IS-136
  - Μεταγωγή Πακέτου όπως στο Internet!
- Enhanced Data rates for GSM Evolution (EDGE) για τα GSM, IS-136
  - Πολλαπλές οπές και προσαρμογή στο κανάλι
- IS-95B για το IS-95
  - Κάθε χρήστης λαμβάνει πολλαπλούς κώδικες

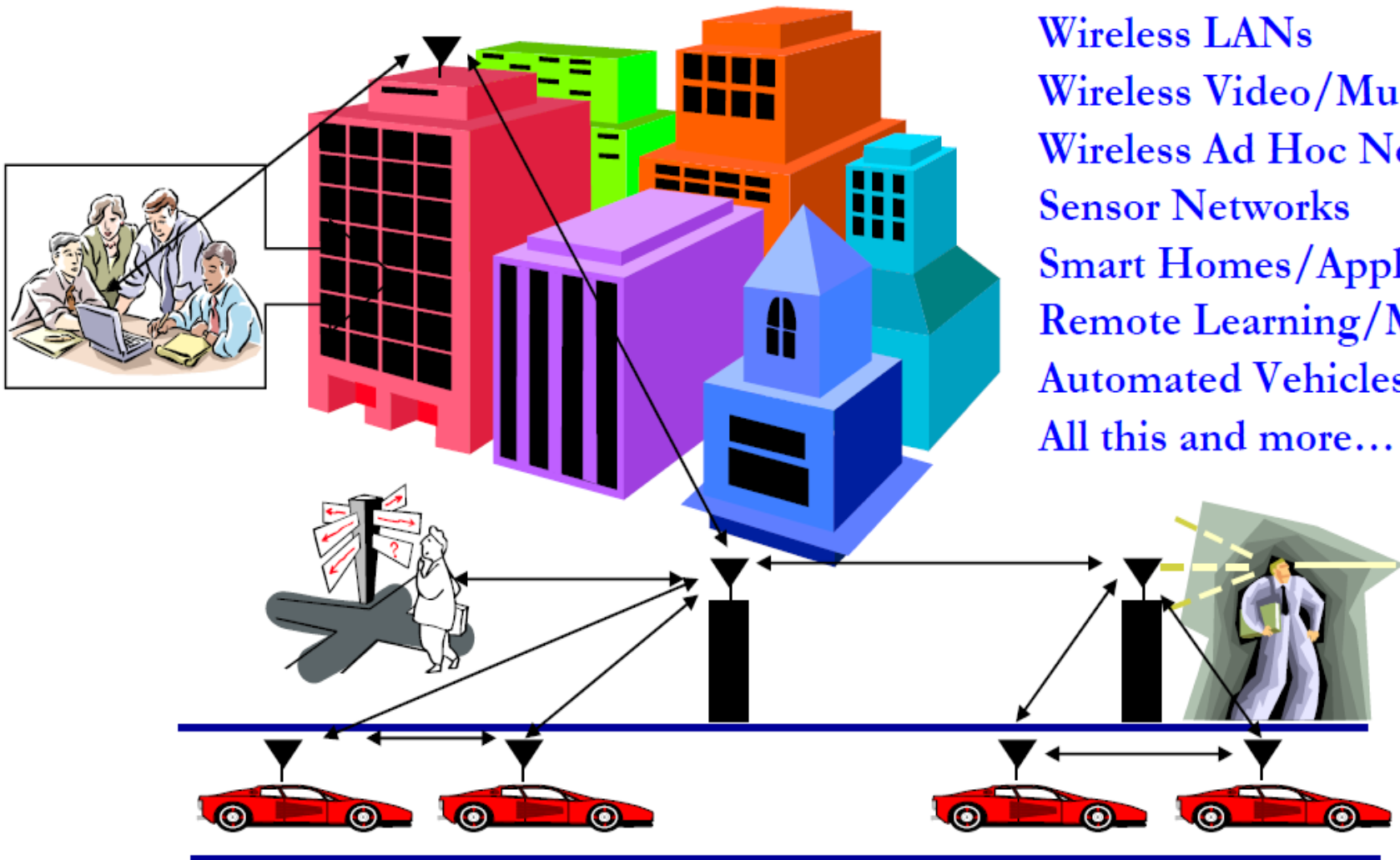
## Κυψελοειδής Τηλεφωνία Γενιάς 3G

- 3G W-CDMA (UMTS)
  - Μετεξέλιξη του GSM, αλλά βασισμένο σε Wideband CDMA και μεταγωγή πακέτου.  
Ευρωπαϊκό standard
- 3G cdma2000
  - Μετεξέλιξη του ISM-95, αμερικανικό standard
- 3G TD-SCDMA
  - Κινεζικό standard, βασισμένο στο GSM

# Μελλοντικά συστήματα ασύρματης επικοινωνίας

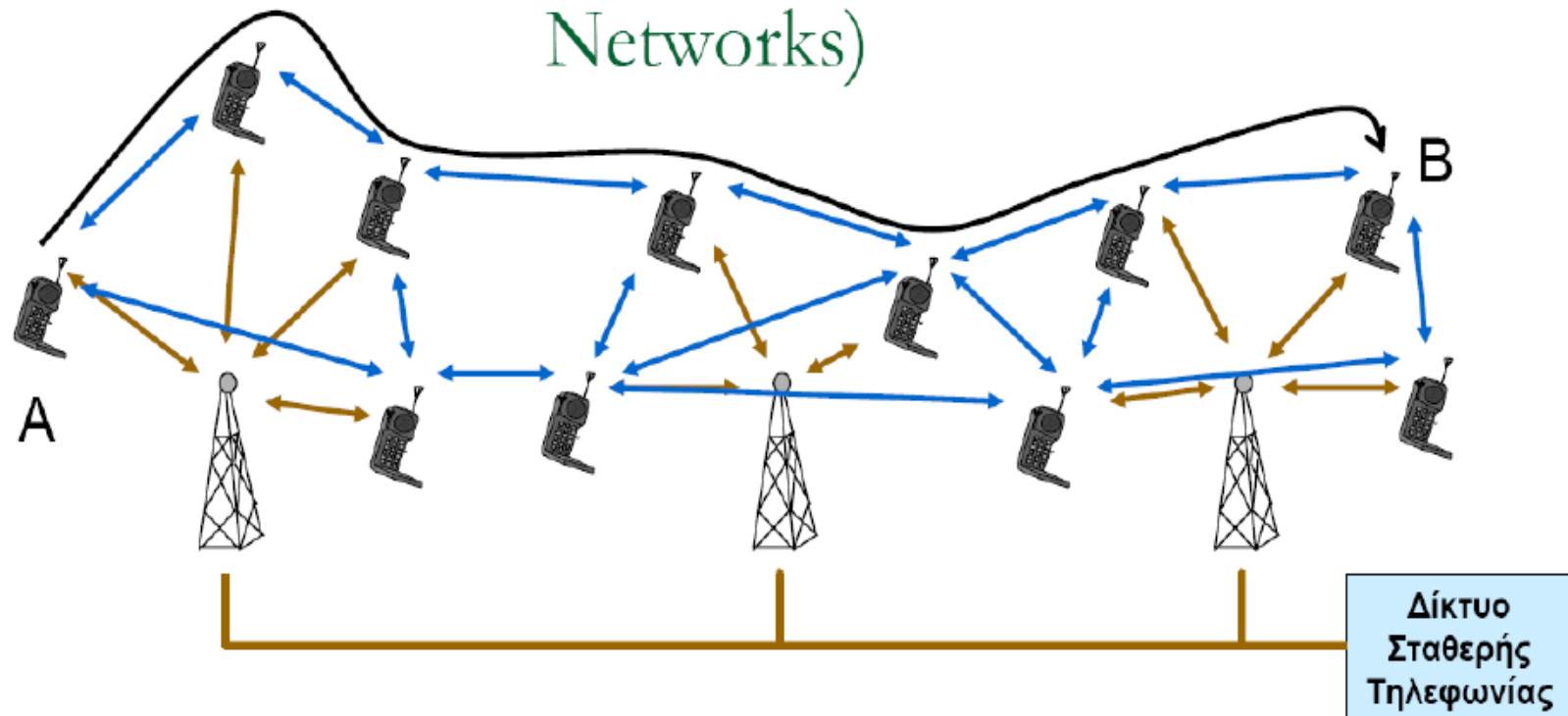
## *Συνεχής επικοινωνία ανθρώπων και συσκευών*

Nth Generation Cellular  
Wireless LANs  
Wireless Video/Music  
Wireless Ad Hoc Networks  
Sensor Networks  
Smart Homes/Appliances  
Remote Learning/Medicine  
Automated Vehicles/Robots  
All this and more...



# Υπάρχει μέλλον για τις τηλεπικοινωνίες;

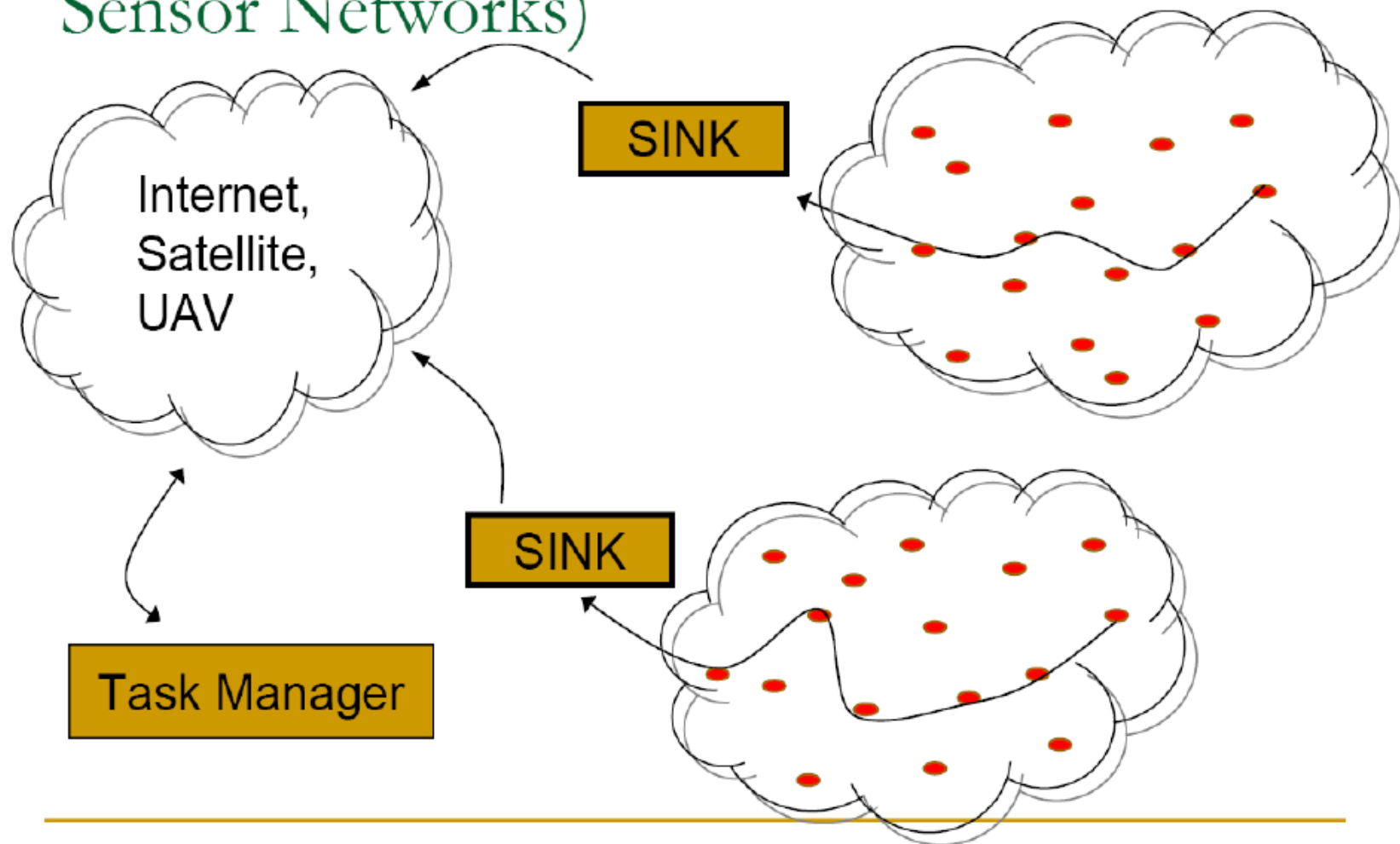
## Ασύρματα Αδόμητα Δίκτυα (Wireless Ad Hoc Networks)



- Οι χρήστες δημιουργούν ένα εξ ολοκλήρου ασύρματο δίκτυο.
- Οι χρήστες έχουν πλέον αυξημένες δυνατότητες και αρμοδιότητες.

# Υπάρχει μέλλον για τις τηλεπικοινωνίες;

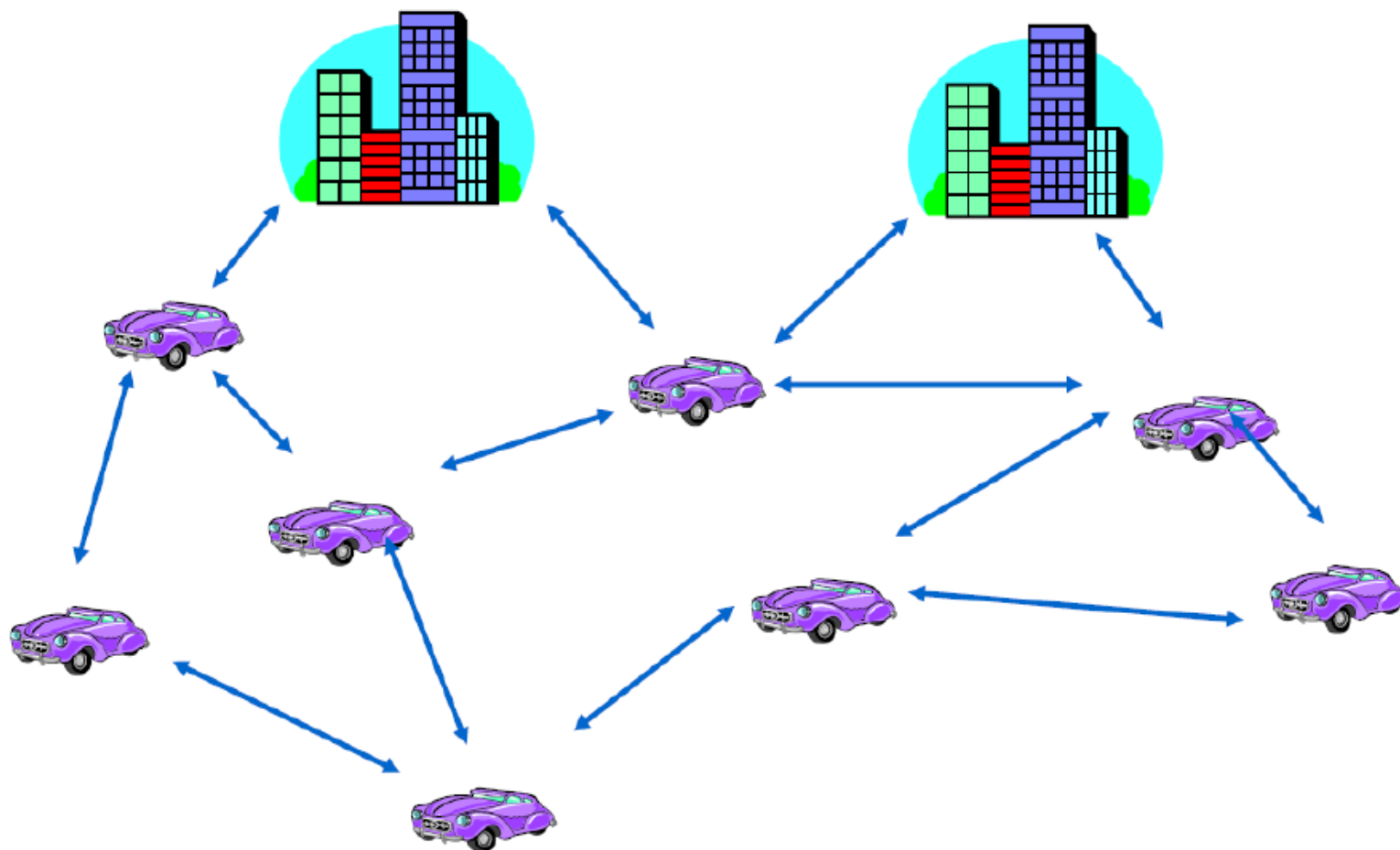
## Ασύρματα Δίκτυα Αισθητήρων (Wireless Sensor Networks)





Υπάρχει μέλλον για τις τηλεπικοινωνίες;

## Vehicular Ad Hoc Networks (VANETs)



# Υπάρχει μέλλον για τις τηλεπικοινωνίες;

---

## Εφαρμογές

- Αυτόματη ανταλλαγή πληροφοριών σχετικών με ασφάλεια
  - Απότομο φρενάρισμα, ολισθηρό οδόστρωμα
- Μετάδοση πληροφοριών χρήσιμων στον οδηγό
  - Μποτιλιάρισμα μπροστά
  - Έργα στο οδόστρωμα μπροστά
  - Δελτία καιρού
  - software upgrades, κοκ.
- Πρόσβαση στο Internet (“Infotainment”)

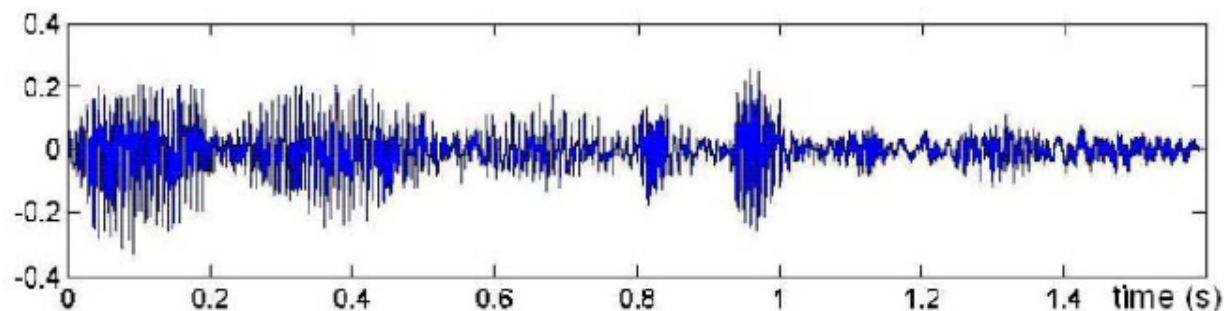
# Αναλογικές Επικοινωνίες

---

- ✓ Οι αναλογικές επικοινωνίες σχετίζονται με την εκπομπή, λήψη και πολυπλεξία αναλογικών σημάτων.
- ✓ **Διαμορφώσεις Πλάτους (Amplitude Modulation)**, στις οποίες το σήμα πληροφορίας βασικής ζώνης αντιστοιχείται στο πλάτος του διαμορφωμένου (modulated) σήματος.
  - Περιλαμβάνει τις τεχνικές: Διπλής Πλευρικής Ζώνης με Συνολικό Φέρον (Double Side Band-AM-Total Carrier, DSB-AM-TC), Διπλής Πλευρικής Ζώνης με Καταργημένο Φέρον (Double Side Band-AM-Suppressed Carrier, DSB-AM-SC), Μονής Πλευρικής Ζώνης (Single Side Band-AM, SSB-AM) και Μονής Πλευρικής Ζώνης με Κατάλοιπο (Vestigial Side Band-AM, VSB-AM).
- ✓ **Διαμορφώσεις Γωνίας (Angle Modulation)**, όπου η πληροφορία αντιστοιχείται στη γωνία του διαμορφωμένου σήματος, μέσω της μεταβολής της συχνότητας ή της φάσης του. Οι αντίστοιχες τεχνικές ονομάζονται Διαμόρφωση Συχνότητας (Frequency Modulation-FM) και Διαμόρφωση Φάσης (Phase Modulation-PM).

# Σήματα: Βασικής ζώνης και Ζωνοπερατό

- Σήμα βασικής ζώνης (*baseband*) είναι το σήμα με μη-μηδενικό φασματικό περιεχόμενο στην περιοχή γύρω από την συχνότητα  $f = 0$  και σχεδόν μηδενικό περιεχόμενο στην υπόλοιπη περιοχή του φάσματος.



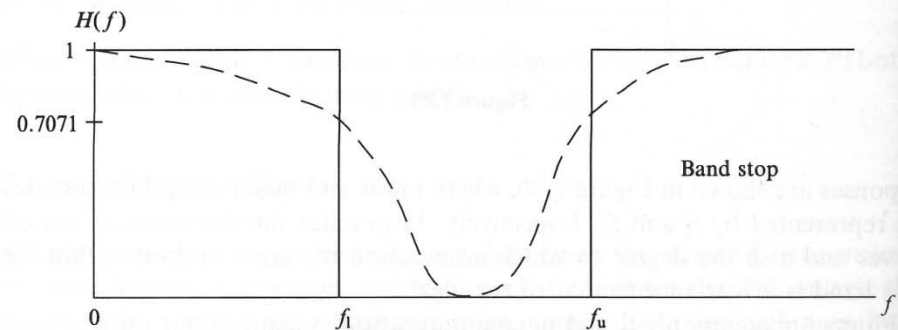
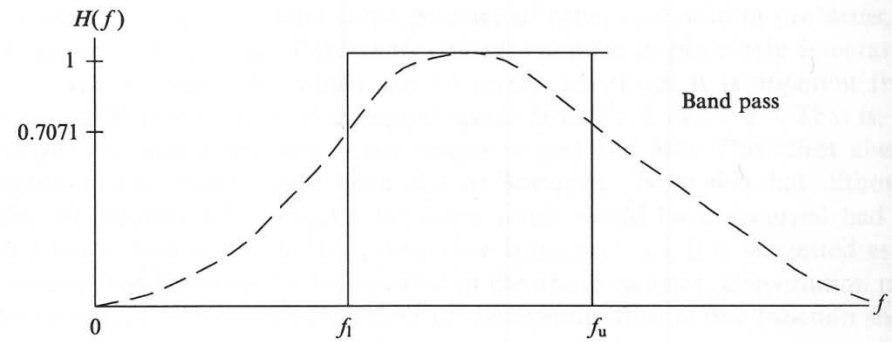
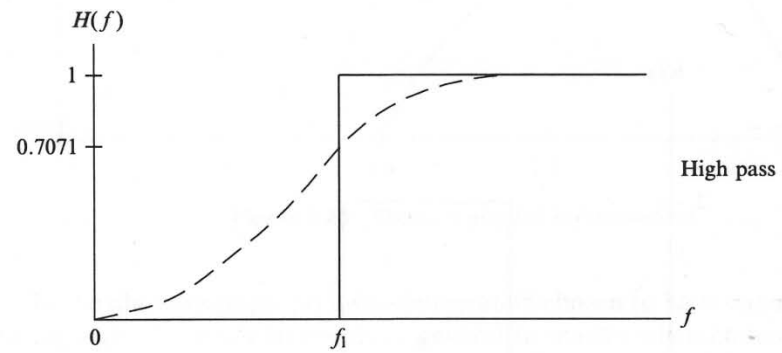
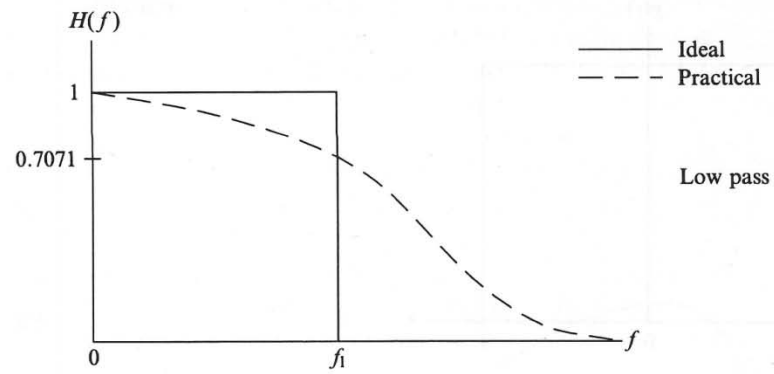
- Ζωνοπερατό (*bandpass*) είναι το σήμα με μη-μηδενικό φασματικό περιεχόμενο συγκεντρωμένο γύρω από μία κεντρική συχνότητα  $f = \pm f_c$  (με  $f_c \gg 0$ ) και με σχεδόν μηδενικό περιεχόμενο στην υπόλοιπη περιοχή του φάσματος.

$$X(f) = 0, |f - f_c| \geq 2W.$$

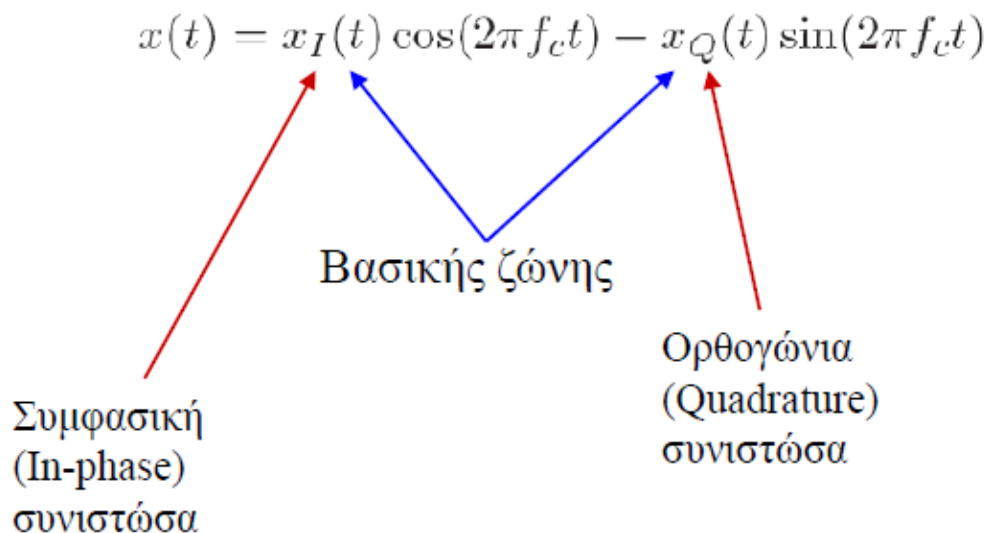


$$x(t) = Am(t) \cos 2\pi f_c t$$

# ΙΔΑΝΙΚΟ ΦΙΛΤΡΟ ΚΑΙ ΦΙΛΤΡΟ ΣΤΗΝ ΠΡΑΞΗ



# Ζωνοπερατά Σήματα



Περιβάλλουσα  $V(t) = \sqrt{x_I^2(t) + x_Q^2(t)}$

Φάση  $\theta(t) = \tan^{-1} \left[ \frac{x_Q(t)}{x_I(t)} \right]$

# Διπλής Πλευρικής Ζώνης με Καταργημένο Φέρον Double Side Band-AM-Suppressed Carrier, DSB-AM-SC

**AM**  $x(t) = [A_c + m(t)] \cos 2\pi f_c t$

**DSB-AM-SC**

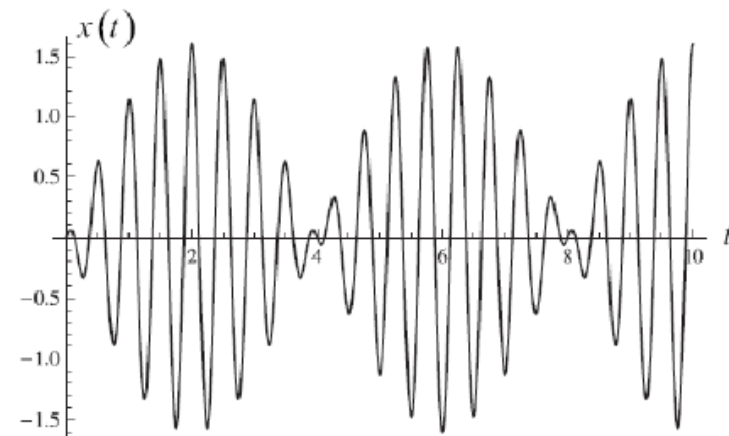
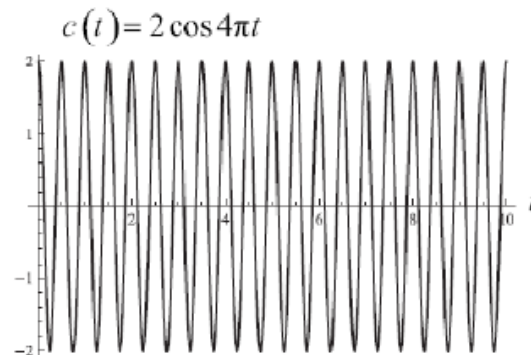
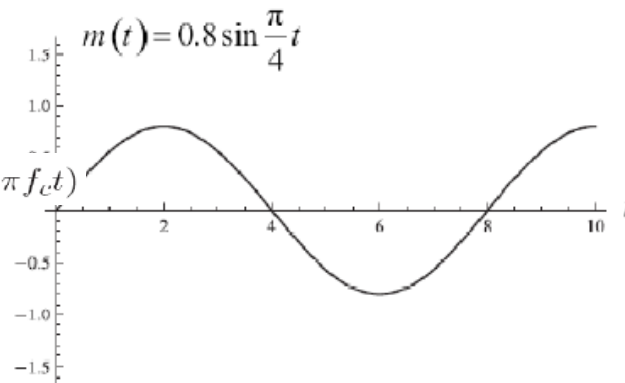
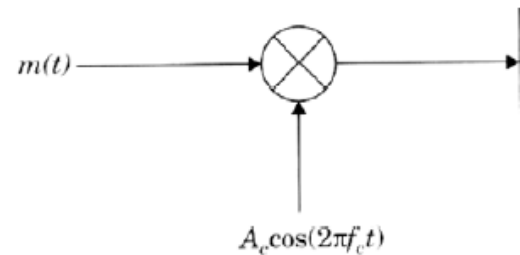
$$x(t) = A_c m(t) \cos 2\pi f_c t$$

□

$$x(t) = x_I(t) \cos(2\pi f_c t) - x_Q(t) \sin(2\pi f_c t)$$

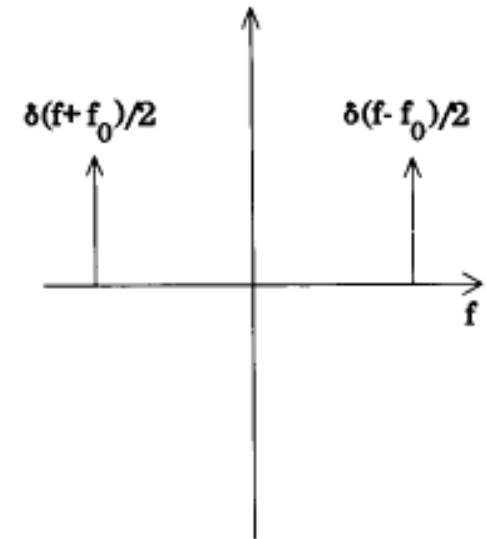
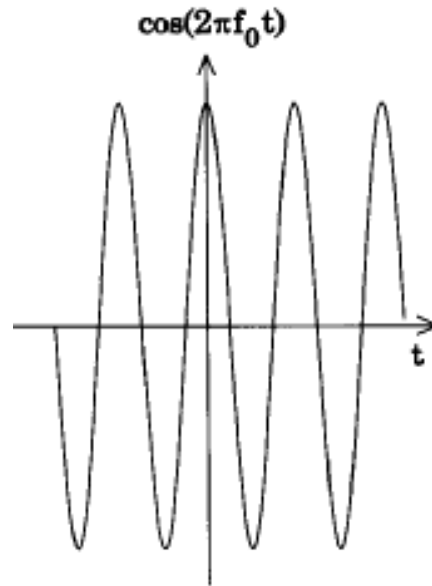
$$x_I(t) = A_c m(t) \text{ και } x_Q(t) = 0$$

$$V(t) = A_c m(t)$$

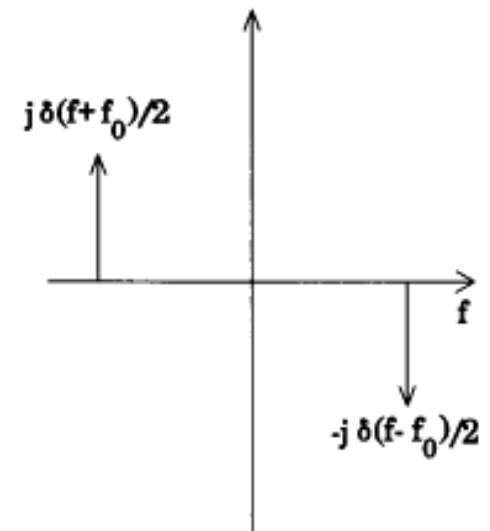
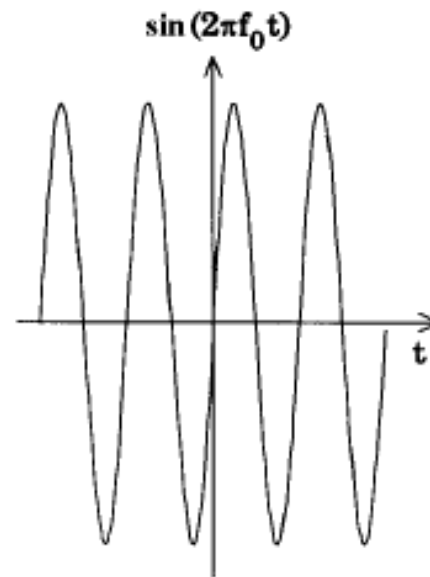


# ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ FOURIER ΣΥΝΗΜΙΤΟΝΟΥ - ΗΜΙΤΟΝΟΥ

$$\begin{aligned}
 X(f) &= \int_{-\infty}^{\infty} \cos(2\pi f_0 t) e^{-j2\pi f t} dt \\
 &= \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} [e^{-j2\pi(f-f_0)t} + e^{-j2\pi(f+f_0)t}] dt \\
 &= \frac{1}{2} [\delta(f-f_0) + \delta(f+f_0)]
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 X(f) &= \int_{-\infty}^{\infty} \sin(2\pi f_0 t) e^{-j2\pi f t} dt \\
 &= \frac{1}{2j} \int_{-\infty}^{\infty} [e^{-j2\pi(f-f_0)t} - e^{-j2\pi(f+f_0)t}] dt \\
 &= \frac{-j}{2} [\delta(f-f_0) - \delta(f+f_0)]
 \end{aligned}$$



(a)

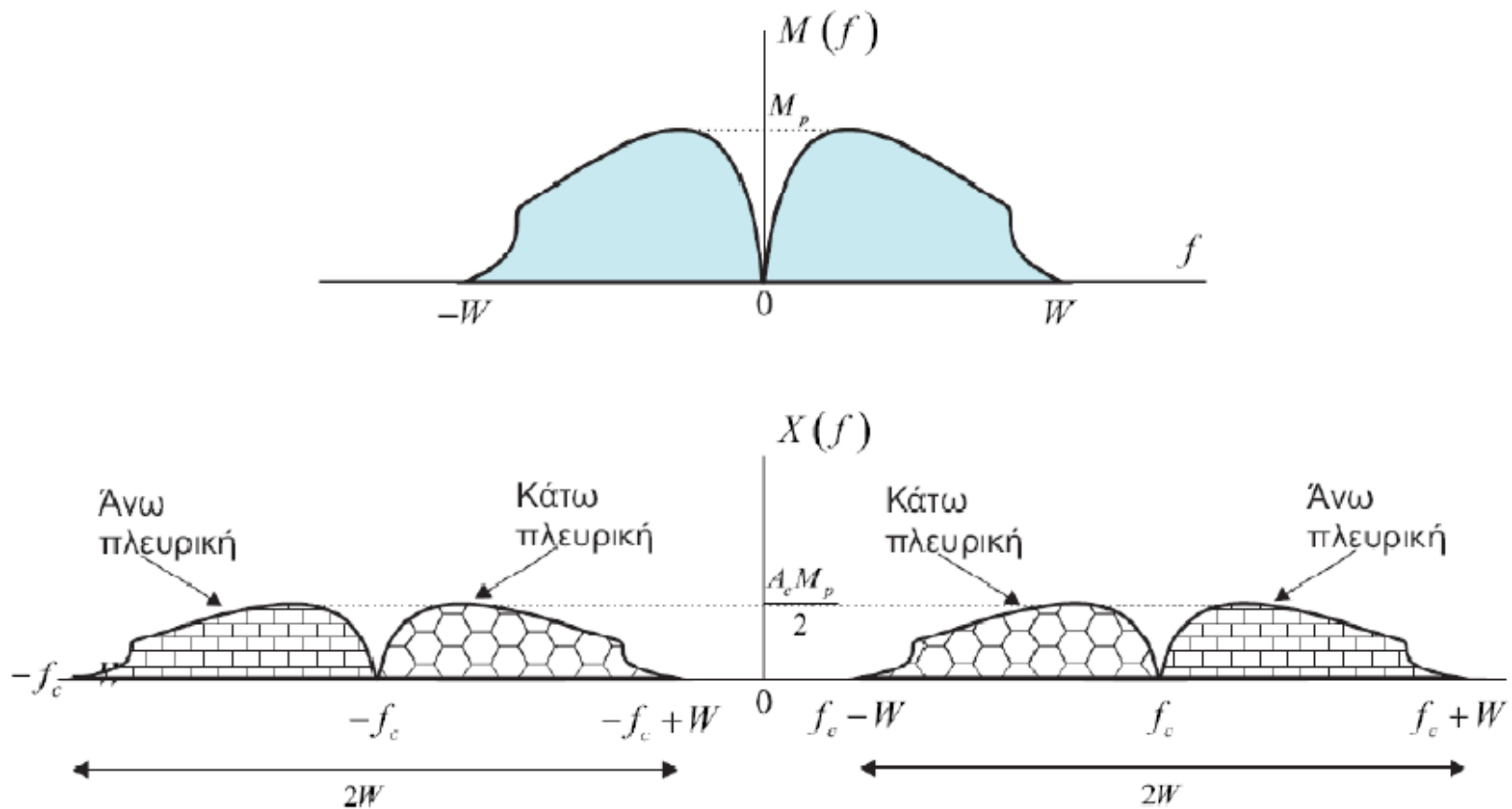
(b)



# Φασματικό περιεχόμενο και ισχύς, DSB-AM-SC

$$\begin{aligned} X(f) &= \mathcal{F}[x(t)] = \mathcal{F}[A_c m(t) \cos 2\pi f_c t] = \\ &= \frac{A_c}{2} [M(f + f_c) + M(f - f_c)]. \end{aligned}$$

$$P_{DSB-AM-SC} = \frac{1}{2} A_c^2 P_m$$



# Φασματικό περιεχόμενο και ισχύς, DSB-AM-SC

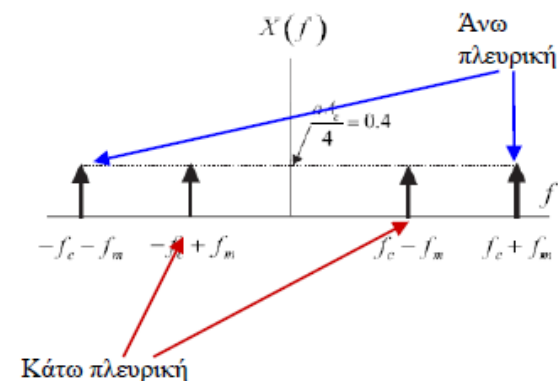
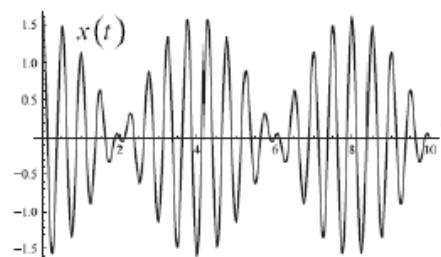
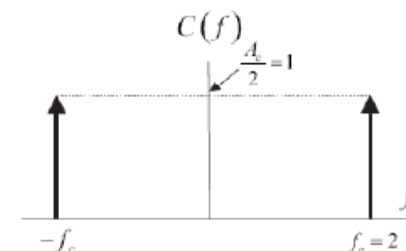
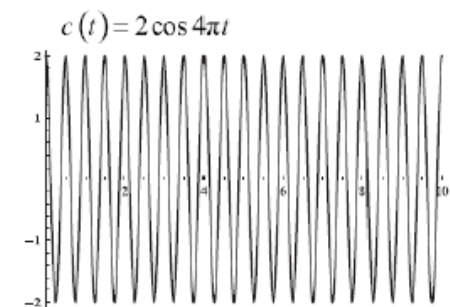
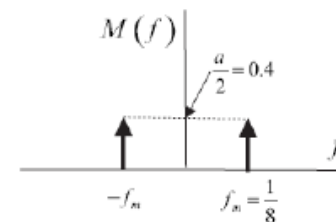
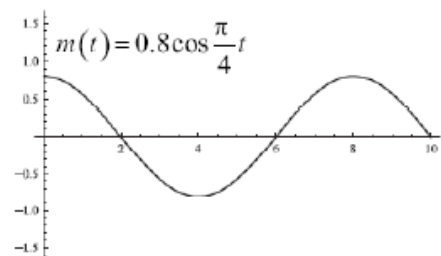
$$m(t) = a \cos 2\pi f_m t$$



$$\begin{aligned} x(t) &= A_c a \cos 2\pi f_m t \cos 2\pi f_c t \\ &= \frac{1}{2} A_c a [\cos 2\pi(f_c + f_m)t + \cos 2\pi(f_c - f_m)t] \end{aligned}$$

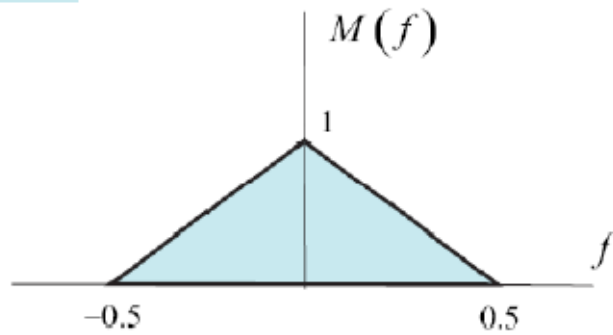


$$\mathcal{F}[x(t)] = \frac{1}{4} A_c a [\delta(f + f_c + f_m) + \delta(f - f_c - f_m) + \delta(f + f_c - f_m) + \delta(f - f_c + f_m)].$$

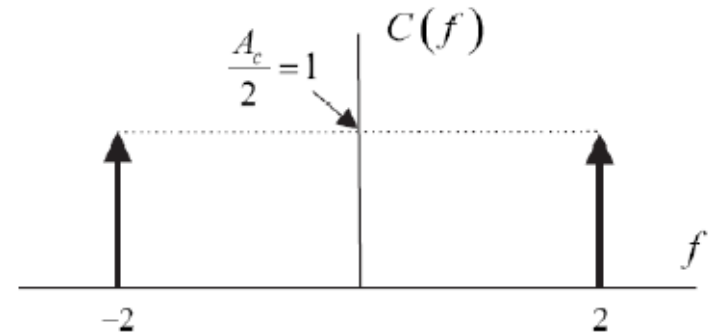


# Φασματικό περιεχόμενο και ισχύς, DSB-AM-SC

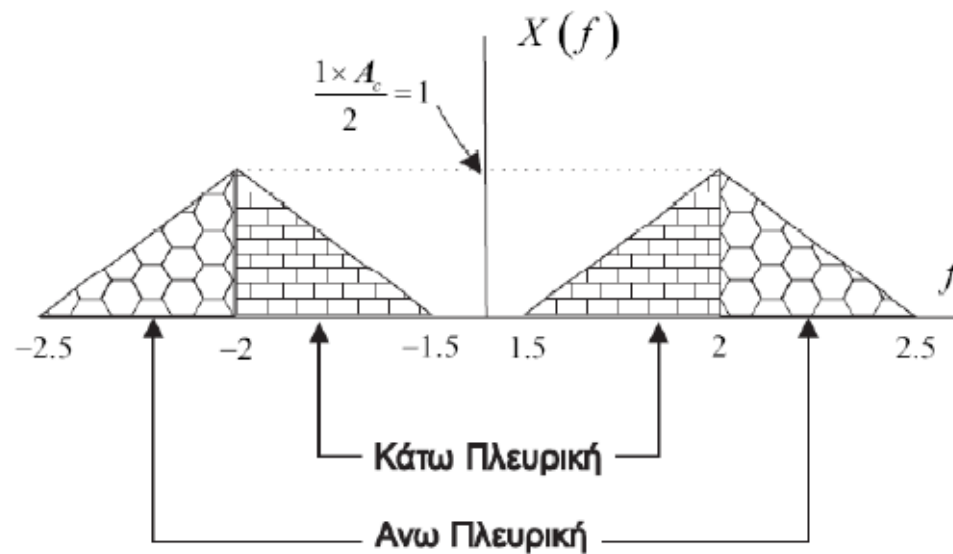
$$c(t) = 2 \cos 4\pi t.$$



(α)

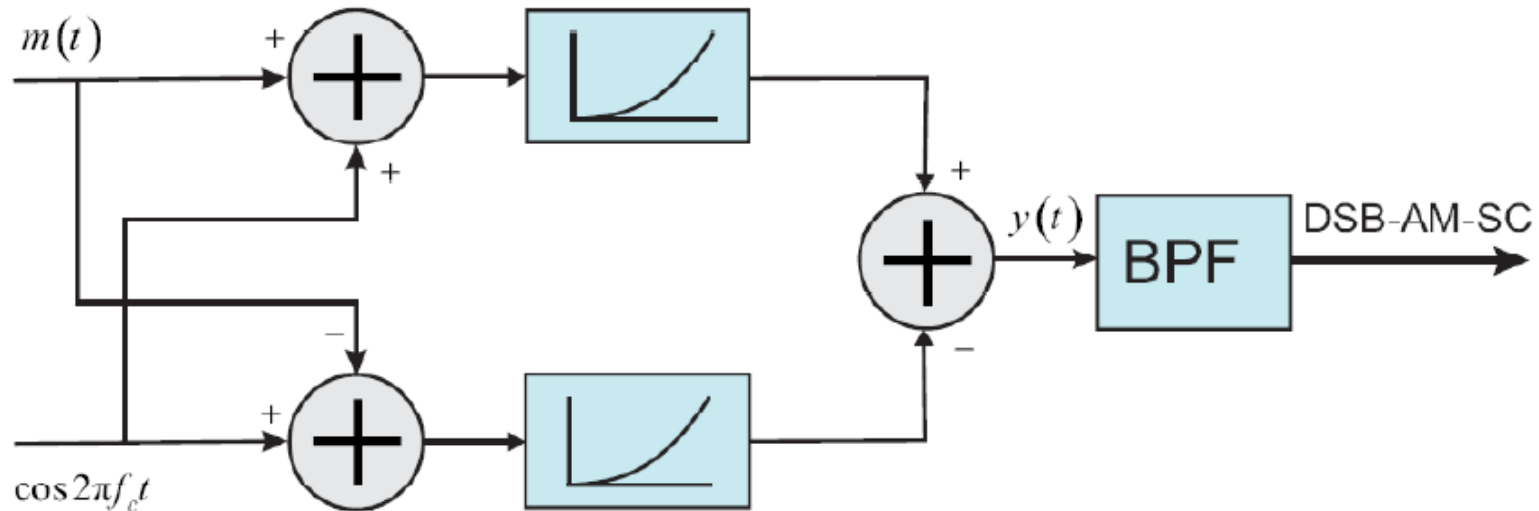


(β)



(γ)

# Διαμόρφωση DSB-AM-SC Ισοσταθμισμένος διαμορφωτής



$$V_{out} = d_1 V_{in} + d_2 V_{in}^2$$

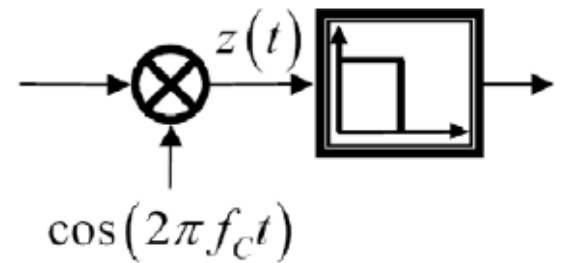
$$\begin{aligned} y(t) &= d_1 [m(t) + \cos 2\pi f_c t] + d_2 [m(t) + \cos 2\pi f_c t]^2 \\ &\quad - d_1 [-m(t) + \cos 2\pi f_c t] - d_2 [-m(t) + \cos 2\pi f_c t]^2 \\ &= 2d_1 m(t) + 4d_2 m(t) \cos 2\pi f_c t. \end{aligned}$$

Προκειμένου να λειτουργήσει σωστά πρέπει τα μη-γραμμικά στοιχεία να έχουν παρόμοια χαρακτηριστική

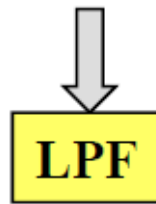
# Σύμφωνη αποδιαμόρφωση DSB-AM-SC

Απουσία  
θορύβου

$$r(t) = u(t)$$
$$= A_c m(t) \cos(2\pi f_c t + \phi_c)$$



$$r(t) \cos(2\pi f_c t + \phi) = A_c m(t) \cos(2\pi f_c t + \phi_c) \cos(2\pi f_c t + \phi)$$
$$= \frac{1}{2} A_c m(t) \cos(\phi_c - \phi) + \frac{1}{2} A_c m(t) \cos(4\pi f_c t + \phi + \phi_c)$$



$$y_l(t) = \frac{1}{2} A_c m(t) \cos(\phi_c - \phi)$$

## Διπλής πλευρικής ζώνης με συνολικό φέρον ή AM

---

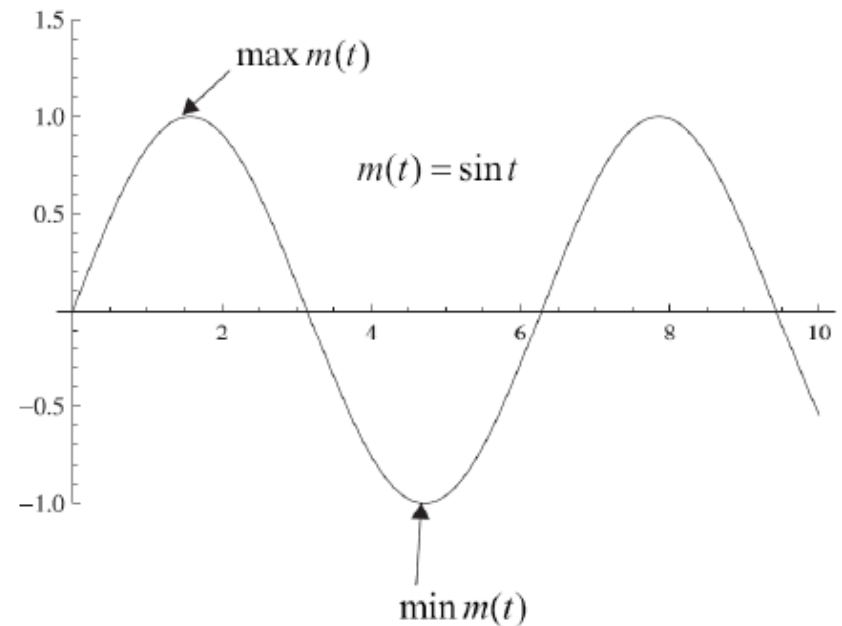
- ✓ Στη διαμόρφωση πλάτους διπλής πλευρικής ζώνης με συνολικό φέρον (Double Side Band-Amplitude Modulation-Total Carrier, DSB-AM-TC) ή συμβατικό (conventional) AM ή AM, το πλάτος του διαμορφωμένου σήματος μεταβάλλεται γραμμικά με το πλάτος του σήματος πληροφορίας.
- ✓ Η προσθήκη μιας ισχυρής συνιστώσας του φέροντος διευκολύνει την αποδιαμόρφωση.

$$x(t) = [A_c + m(t)] \cos 2\pi f_c t$$

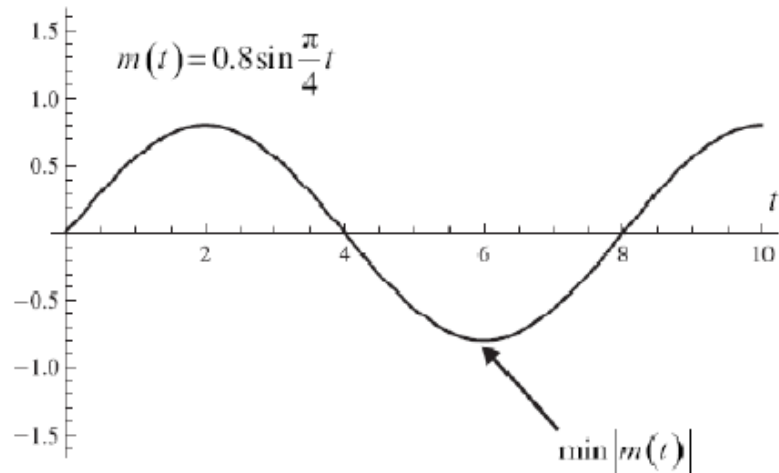
# ΑΜ-Δείκτης διαμόρφωσης

Δείκτης διαμόρφωσης  $\Rightarrow \mu = \frac{|\min m(t)|}{A_c}$

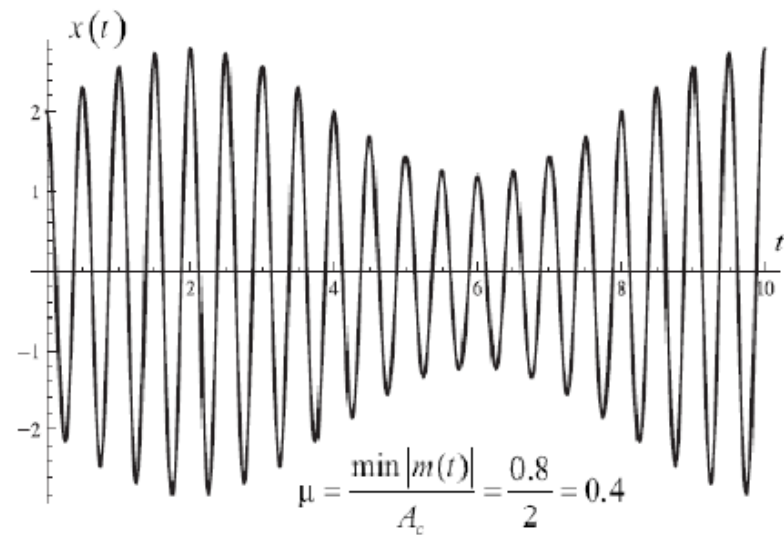
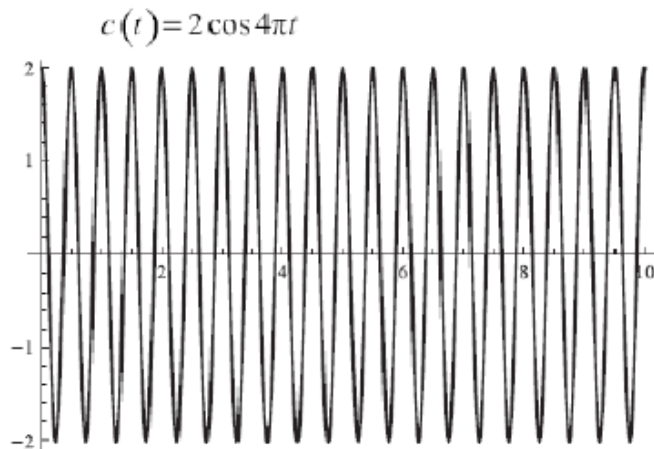
$\mu > 1 \Rightarrow$  Υπερδιαμόρφωση  
(overmodulation)



# ΑΜ: Παράδειγμα



$$x(t) = [A_c + m(t)] \cos 2\pi f_c t = \left[2 + 0.8 \sin \frac{\pi t}{4}\right] \cos 4\pi t$$





# ΑΜ: Ημιτονοειδές σήμα πληροφορίας

Αν το σήμα πληροφορίας είναι ημιτονοειδές της μορφής

$$m(t) = a \cos 2\pi f_m t, \quad (4.13)$$

να βρεθεί η αναλυτική έκφραση για το διαμορφωμένο κατά ΑΜ σήμα στο πεδίο του χρόνου.

$$\begin{aligned} x(t) &= [A_c + a \cos 2\pi f_m t] \cos 2\pi f_c t && \cos a \cos b = \frac{1}{2}[\cos(a-b) + \cos(a+b)] \\ &= A_c [1 + \mu \cos 2\pi f_m t] \cos 2\pi f_c t \\ &= A_c \left[ \cos 2\pi f_c t + \frac{\mu}{2} \cos [2\pi (f_c - f_m) t] + \frac{\mu}{2} \cos [2\pi (f_c + f_m) t] \right] \end{aligned}$$

$$\mu = \frac{|\min m(t)|}{A_c} = \frac{a}{A_c}$$

# ΑΜ με μεταβολή του πλάτους του φέροντος

$$m(t) = a \sin \frac{\pi}{4} t$$

$$f_c = 2 \text{ Hz}$$

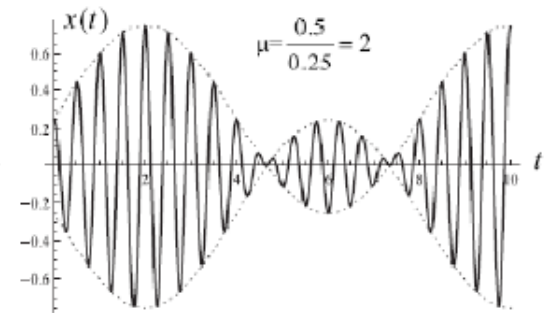
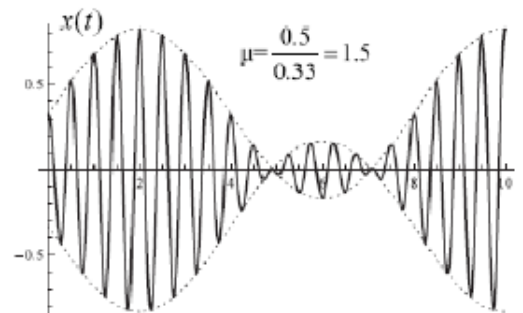
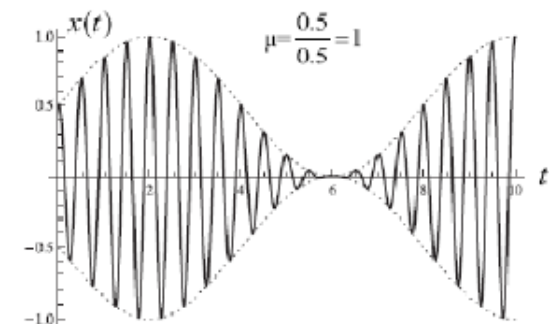
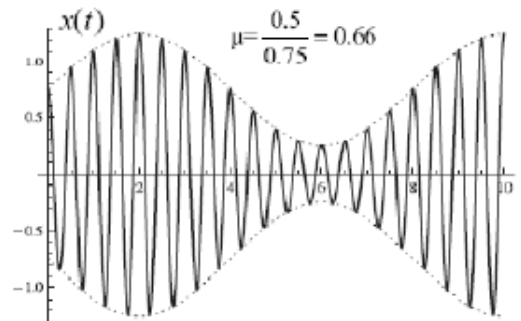
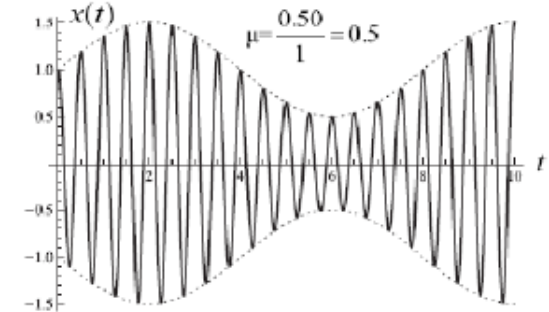
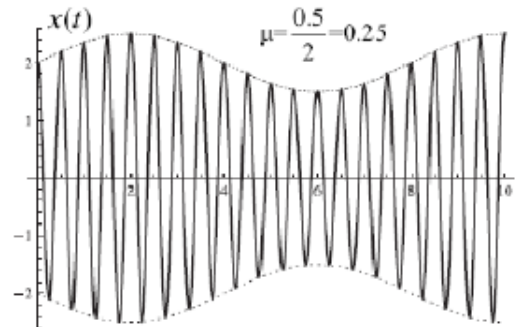
$$a = 0.5$$

$$A_c \Rightarrow \{2, 1, 0.75, 0.5, 0.33, 0.25\}$$

$$x(t) = \left[ A_c + \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{4} t \right] \cos 4\pi t$$

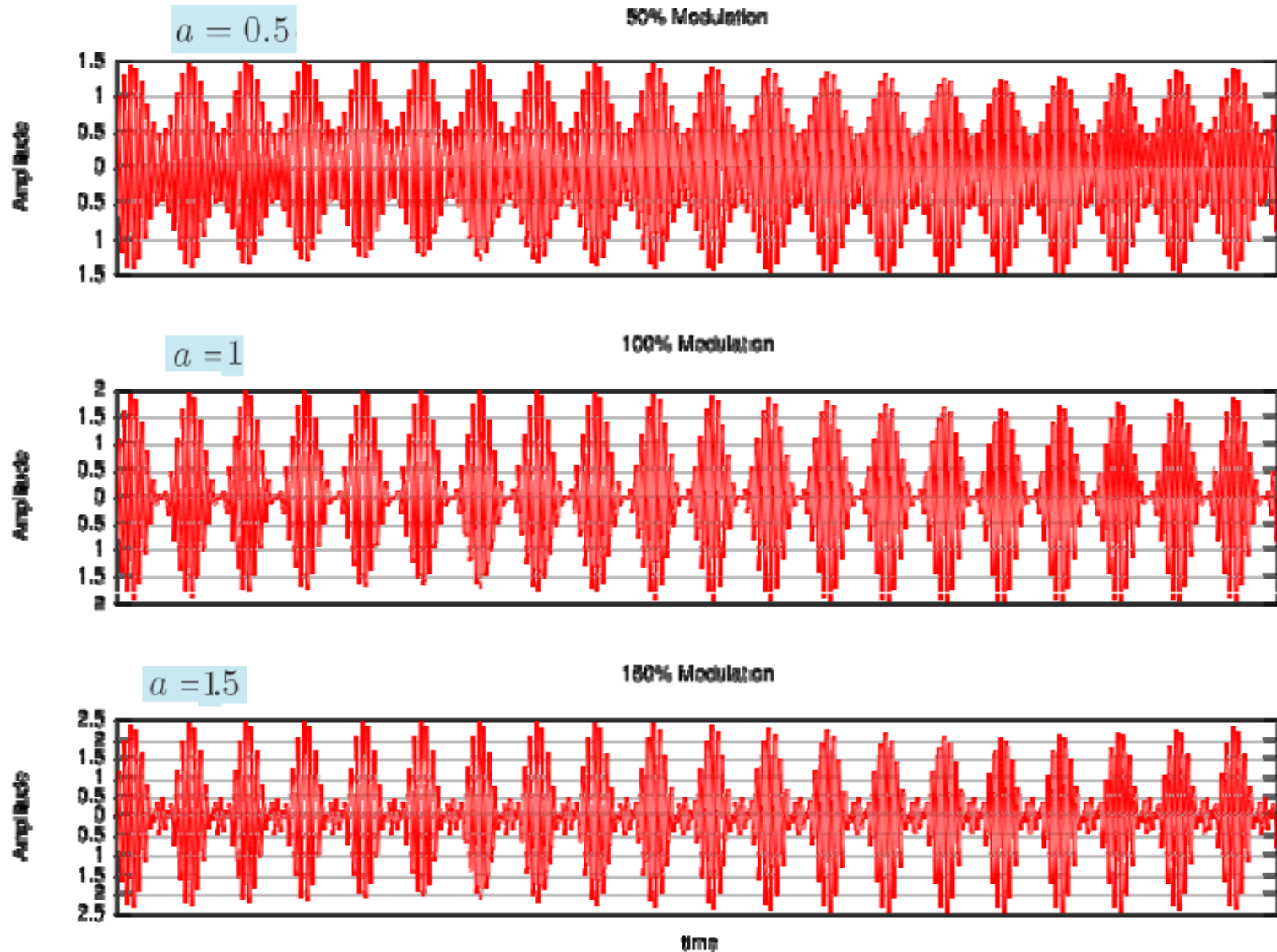
$$= A_c \left[ 1 + \mu \sin \frac{\pi}{4} t \right] \cos 4\pi t$$

$$\mu = \frac{1}{2A_c}$$

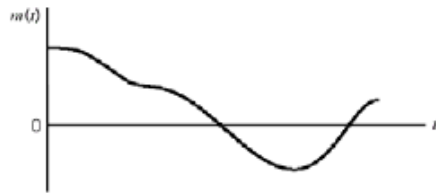


# Διπλής πλευρικής ζώνης με συνολικό φέρον ή AM

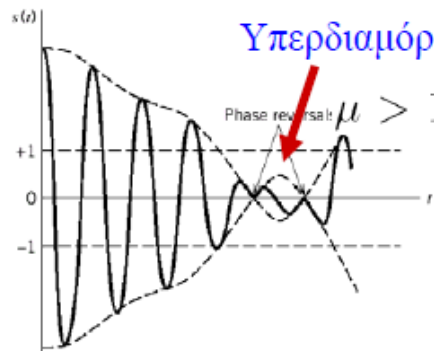
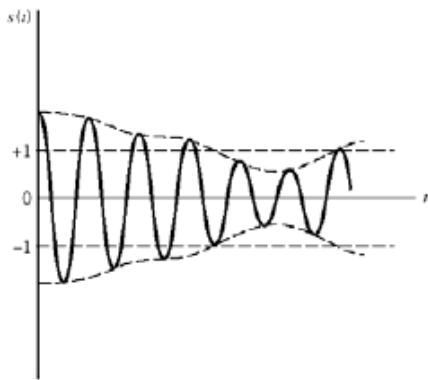
$$A_c = 1$$



# Διπλής πλευρικής ζώνης με συνολικό φέρων ή AM

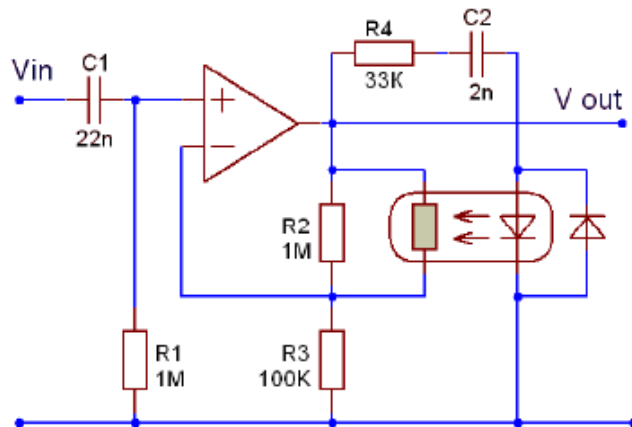


(a)



Υπερδιαμόρφωση

Phase reversal:  $\mu > 1$



✓ Πρακτικά συστήματα AM εκπομπής χρησιμοποιούν ένα είδος κυκλώματος περιοριστή προκειμένου να αποφευχθεί η υπερδιαμόρφωση

✓ Τέτοια κυκλώματα ονομάζονται VOGAD or voice-operated gain-adjusting device και είναι ένας τύπος Automatic Gain Control: Η έξοδος εφαρμόζεται στην είσοδο, ώστε να διατηρηθεί το πλάτος εξόδου στα επιθυμητά επίπεδα



# ΑΜ: Φασματικό περιεχόμενο

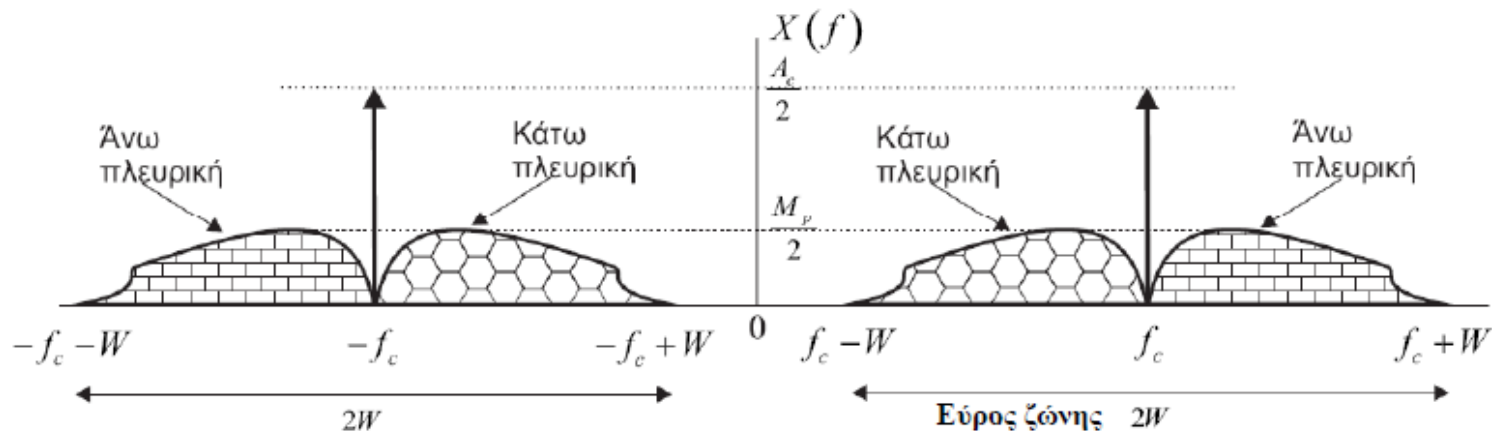
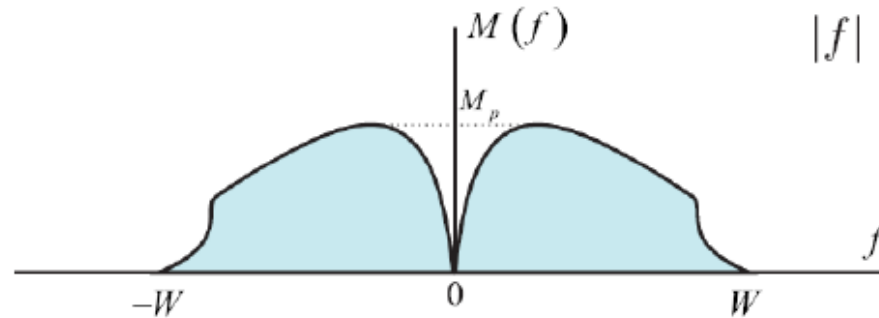
$$\begin{aligned}
 X(f) &= \mathcal{F}[x(t)] = \mathcal{F}[[A_c + m(t)] \cos 2\pi f_c t] = \mathcal{F}[m(t) \cos 2\pi f_c t] + \mathcal{F}[A_c \cos 2\pi f_c t] \\
 &= \frac{1}{2} [M(f - f_c) + M(f + f_c)] + \frac{1}{2} A_c [\delta(f - f_c) + \delta(f + f_c)],
 \end{aligned}$$

Άνω Πλευρική ζώνη (Upper Sideband)

Κάτω Πλευρική ζώνη (Lower Sideband)

$$|f| > f_c$$

$$|f| < f_c$$



# AM: Ισχύς

---

$$V(t) = A_c + m(t) \quad \Longrightarrow \quad \mathcal{P}_{AM} = \frac{1}{2}A_c^2 + \frac{1}{2}\mathcal{P}_m$$

Συντελεστής  
απόδοσης ισχύος

$$\Longrightarrow \quad \eta = \frac{\frac{1}{2}\mathcal{P}_m}{\mathcal{P}_c + \frac{1}{2}\mathcal{P}_m} = \frac{\mathcal{P}_m}{A_c^2 + \mathcal{P}_m}$$

$$m(t) = a \cos 2\pi f_m t \quad \Longrightarrow \quad \eta = \frac{\frac{1}{2}a^2}{\frac{1}{2}a^2 + A_c^2} = \frac{\mu^2}{\mu^2 + 2}$$

# ΑΜ: Φασματικό περιεχόμενο

$$A_c = 2, f_c = 15 \text{ Hz}, a = 1 \text{ και } f_m = 0.125 \text{ Hz}$$

Να βρεθεί μία έκφραση και να σχεδιαστεί το φάσμα του διαμορφωμένου κατά ΑΜ σήματος όταν το σήμα πληροφορίας είναι

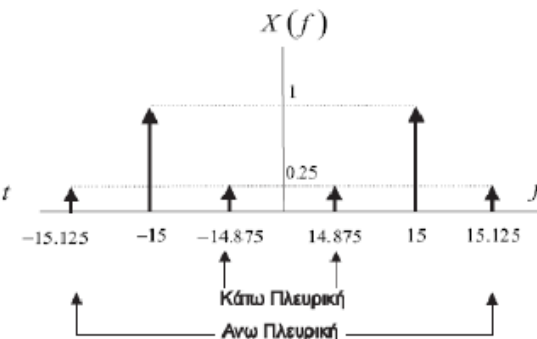
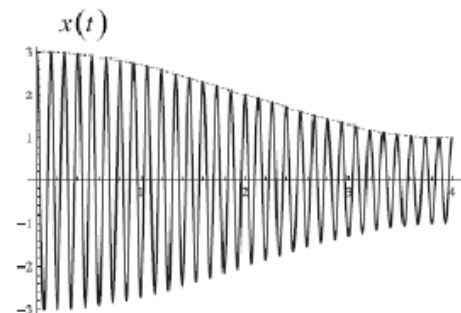
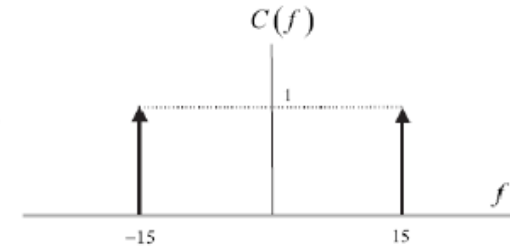
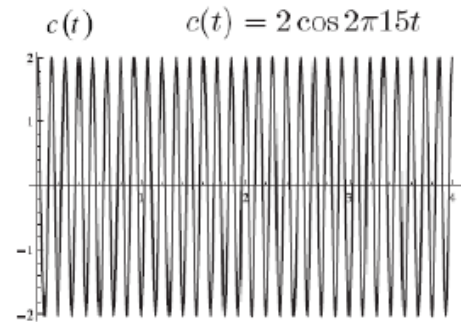
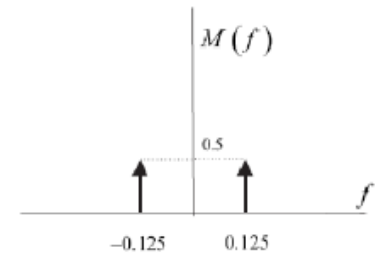
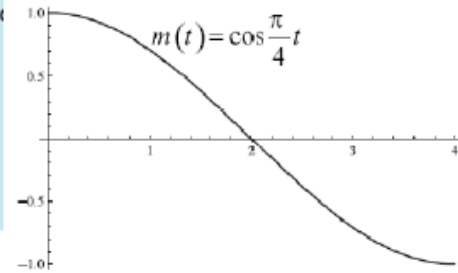
$$m(t) = a \cos 2\pi f_m t.$$

Να χρησιμοποιηθεί φέρων της αρεσκειάς σας.

$$\begin{aligned} M(f) &= \mathcal{F}[m(t)] \\ &= \mathcal{F}[a \cos 2\pi f_m t] = \frac{a}{2} [\delta(f - f_m) + \delta(f + f_m)] \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} X(f) &= \frac{a}{4} [\delta(f - f_c) + \delta(f + f_c)] \\ &+ \frac{1}{2} A_c [\delta(f - f_c) + \delta(f + f_c)] \end{aligned}$$



# Διαμορφωτές AM

$$V_{in} = A_c \cos 2\pi f_c t + m(t)$$

$$V_{out} = d_1 V_{in} + d_2 V_{in}^2$$



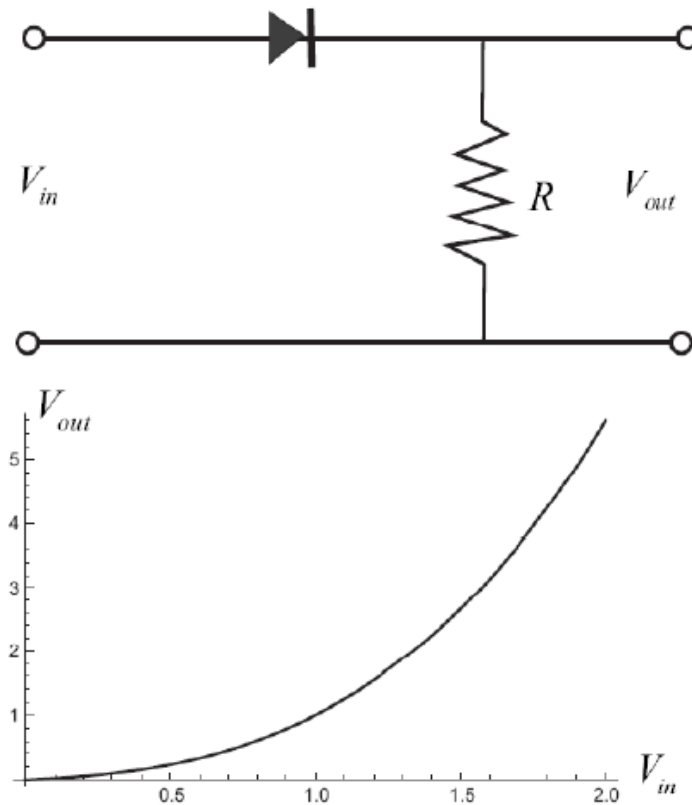
$$\begin{aligned} V_{out} &= d_1 [A_c \cos 2\pi f_c t + m(t)] + d_2 [A_c \cos 2\pi f_c t + m(t)]^2 \\ &= d_1 A_c \cos 2\pi f_c t + d_1 m(t) + d_2 A_c^2 \cos^2 2\pi f_c t \\ &\quad + d_2 m^2(t) + 2d_2 A_c m(t) \cos 2\pi f_c t \\ &= 2d_2 A_c \cos 2\pi f_c t \left[ \frac{d_1}{2d_2} + m(t) \right] + d_1 m(t) + d_2 m^2(t) + d_2 A_c^2 \cos^2 2\pi f_c t \\ &= 2d_2 A_c \cos 2\pi f_c t \left[ \frac{d_1}{2d_2} + m(t) \right] + d_1 m(t) + d_2 m^2(t) + \frac{d_2 A_c^2}{2} (1 + \cos 4\pi f_c t) \end{aligned}$$



BPF

$$V_{out} \simeq 2d_2 A_c \cos 2\pi f_c t \left[ \frac{d_1}{2d_2} + m(t) \right]$$

Σήμα AM  $x(t) = [A_c + m(t)] \cos 2\pi f_c t$

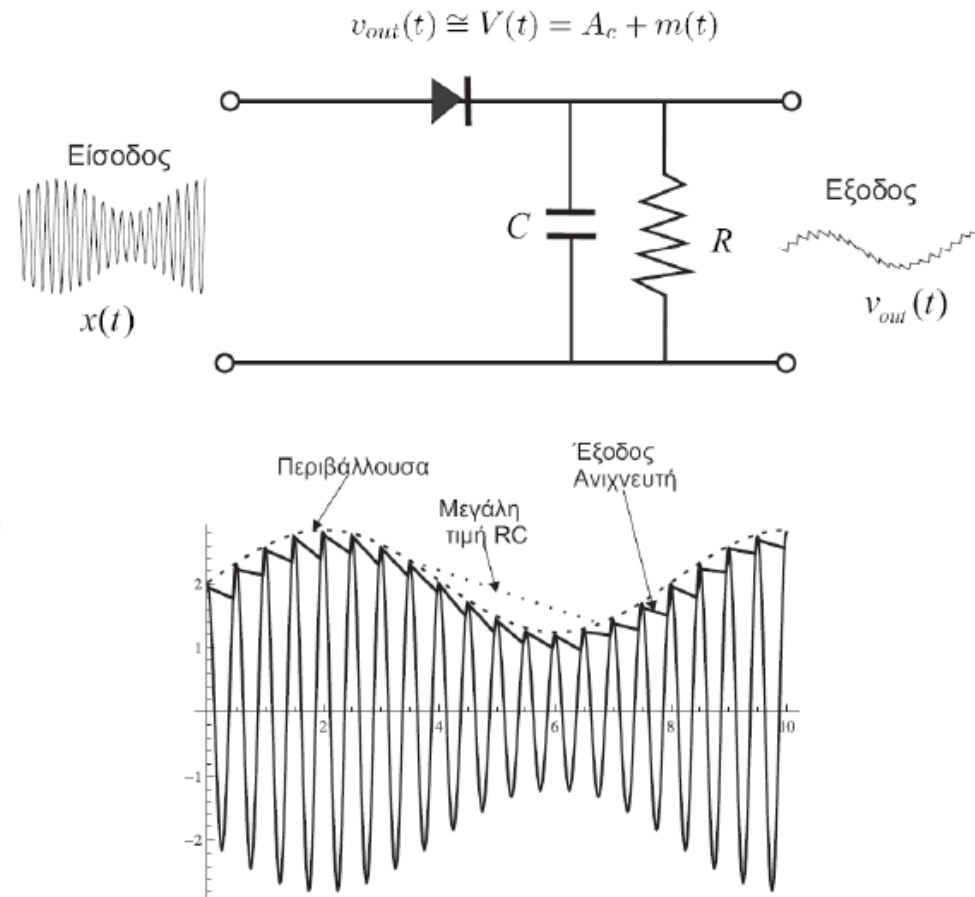


Σχήμα 4.4: Διαμορφωτής AM διόδου

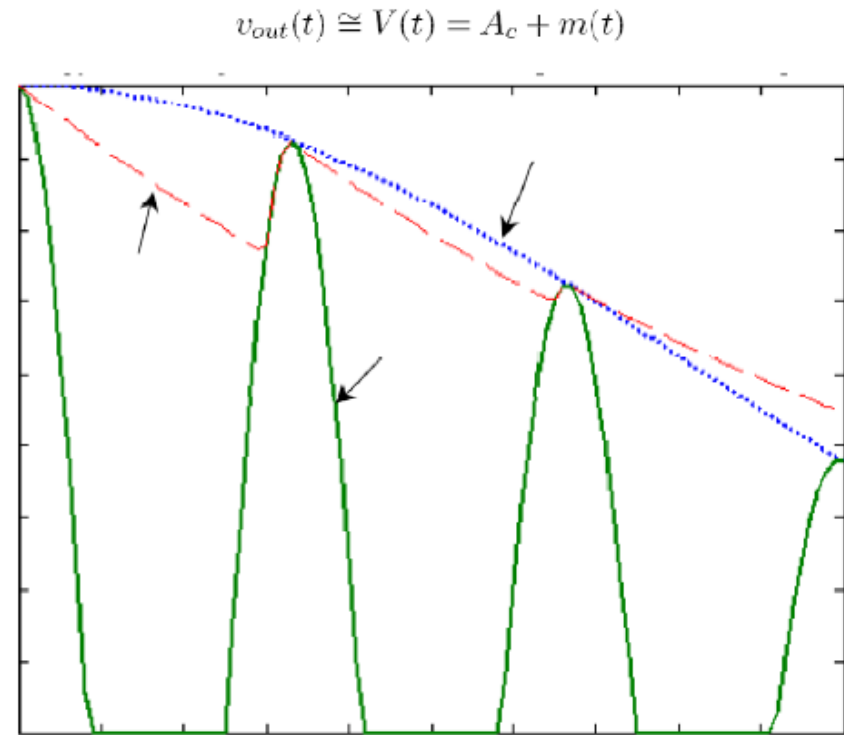
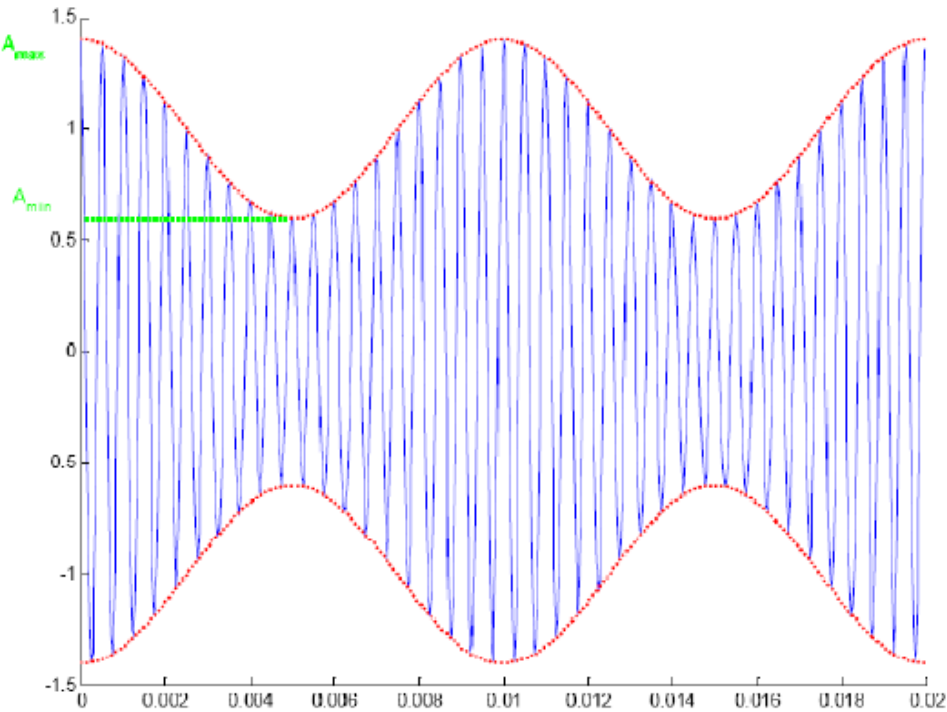


# Ασύμφωνοι Αποδιαμορφωτές ΑΜ

- ✓ Όσο διαρκεί η άνοδος της τάσης σε μια θετική ημιπερίοδο η θετικά πολωμένη διόδος άγει και ο πυκνωτής φορτίζεται έως τη μέγιστη τιμή του σήματος.
- ✓ Όταν η τάση του σήματος αρχίζει να λαμβάνει τιμές κάτω από τη μέγιστη τιμή, η διόδος - ανάστροφα πλέον πολωμένη - δεν άγει αφού η τάση στα άκρα του πυκνωτή είναι μεγαλύτερη από τη τάση εισόδου. Τότε ο πυκνωτής εκφορτίζεται μέσω της αντίστασης,  $R$ , με χαμηλό ρυθμό και σύμφωνα με τη σταθερά χρόνου,  $\tau=RC$ .
- ✓ Κατά τη διάρκεια της επόμενης θετικής ημιπεριόδου επαναλαμβάνεται η ίδια λειτουργία. Με τον τρόπο αυτό η τάση εξόδου στα άκρα του πυκνωτή,  $v_{out}(t)$ , παρακολουθεί την περιβάλλουσα του σήματος εισόδου.



# Ασύμφωνοι Αποδιαμορφωτές ΑΜ

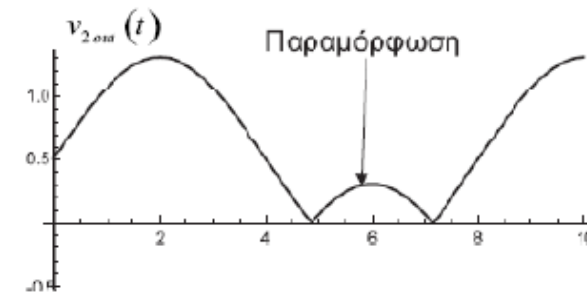
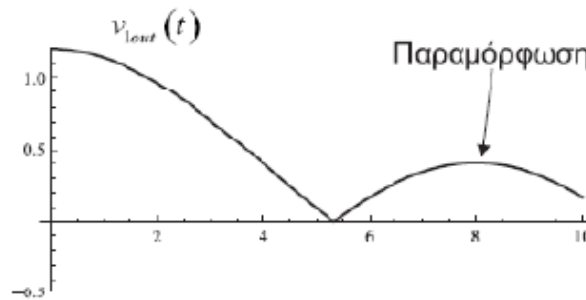
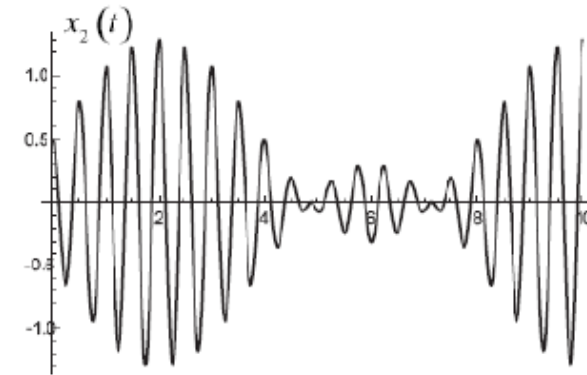
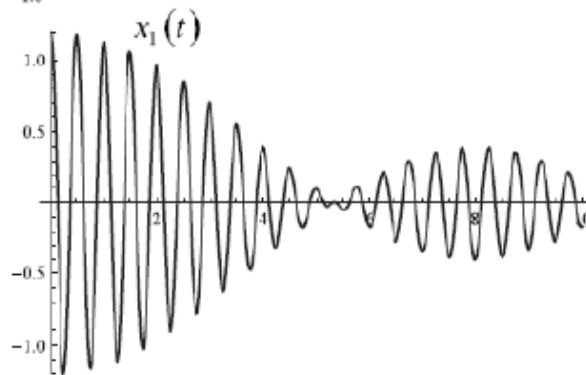
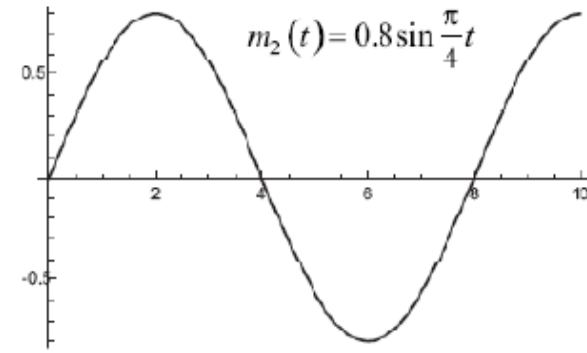
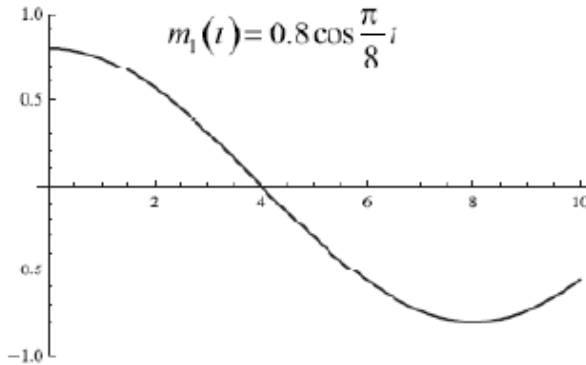


# Ασύμφωνοι Αποδιαμορφωτές ΑΜ: Υπερδιαμόρφωση

$$\mu = 2.$$

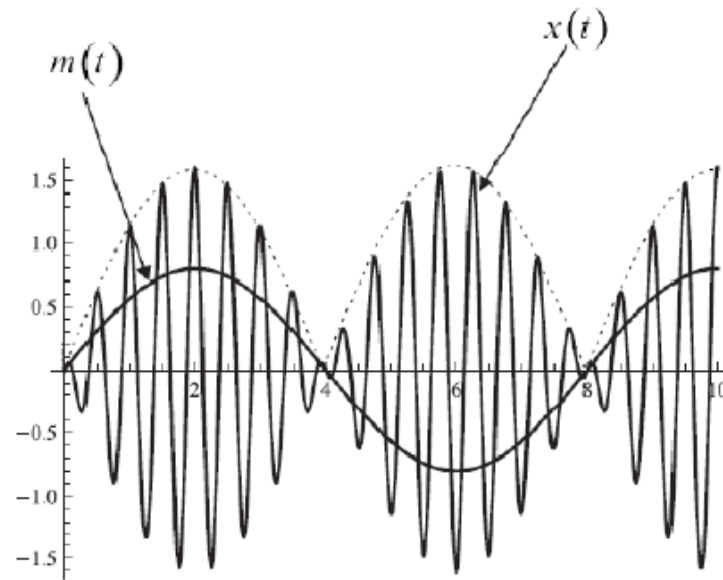


$$A_c = 0.4$$

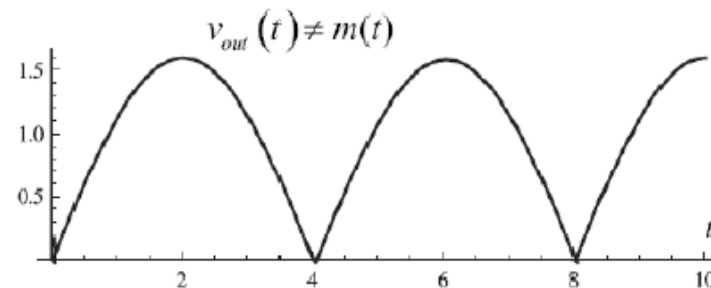


# Ο ανιχνευτής περιβάλλουσας σαν αποδιαμορφωτής DSB-SC AM

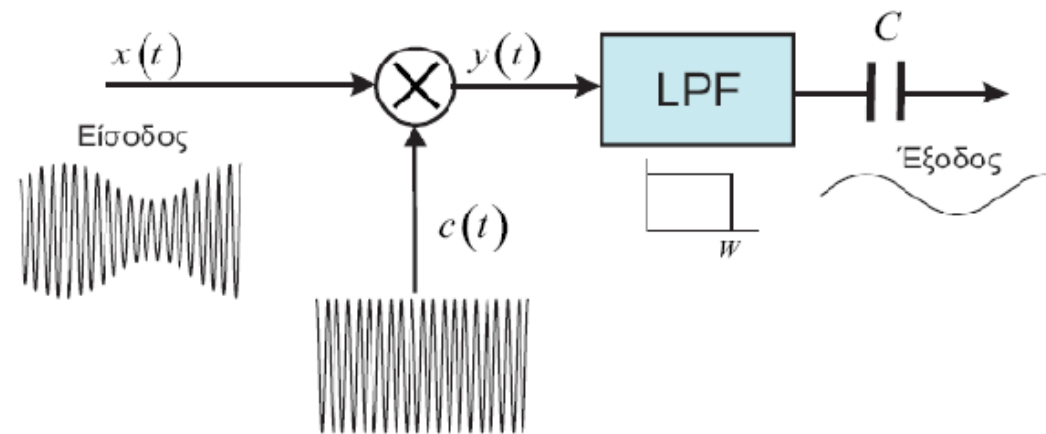
Να εξετάσετε αν ο ανιχνευτής περιβάλλουσας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποδιαμόρφωση σημάτων DSB-AM-SC.



$$v_{out} = |V(t)| = A_c |m(t)|$$



# Σύμφωνοι Αποδιαμορφωτές ΑΜ



PLL

$$\begin{aligned}
 y(t) &= x(t) \cos 2\pi f_c t = [A_c + m(t)] \cos^2 2\pi f_c t \\
 &= A_c \cos^2 2\pi f_c t + m(t) \cos^2 2\pi f_c t \\
 &= \frac{A_c}{2} [1 + \cos 4\pi f_c t] + \frac{1}{2} m(t) + \frac{1}{2} m(t) \cos 4\pi f_c t
 \end{aligned}$$

Απομάκρυνση

$$\begin{aligned}
 y(t) &= [A_c + m(t)] \cos(2\pi f_c t + \phi) \cos 2\pi f_c t \\
 &= \frac{1}{2} [A_c + m(t)] [\cos(4\pi f_c t + \phi) + \cos \phi] \\
 &= \frac{1}{2} [A_c + m(t)] \cos(4\pi f_c t + \phi) + \frac{1}{2} [A_c + m(t)] \cos \phi.
 \end{aligned}$$

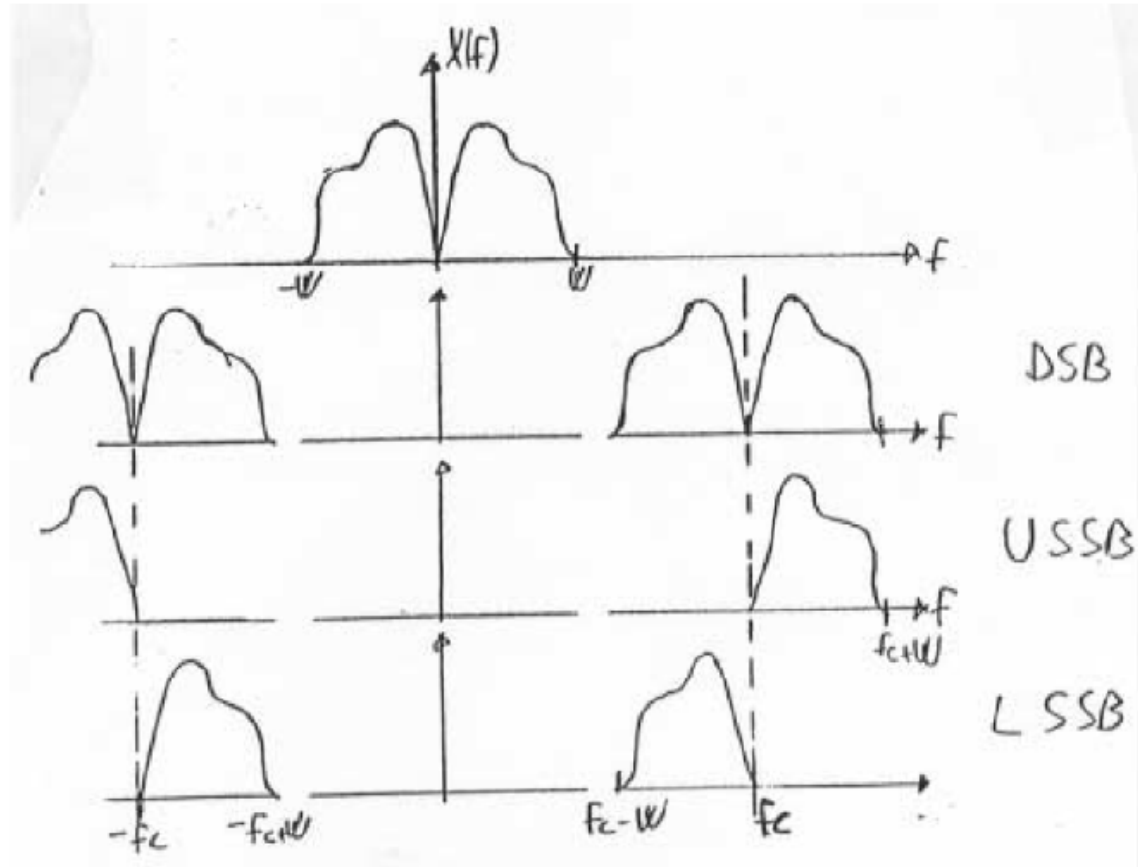
Υποβάθμιση

# Διαμόρφωση μονής πλευρικής ζώνης

## Single Sideband AM, SSB-AM

✓ Οι δύο πλευρικές ζώνες περιέχουν την ίδια πληροφορία για το σήμα μηνύματος

✓ Μπορούμε να μεταδώσουμε την μία προκειμένου να εξοικονομήσουμε εύρος ζώνης

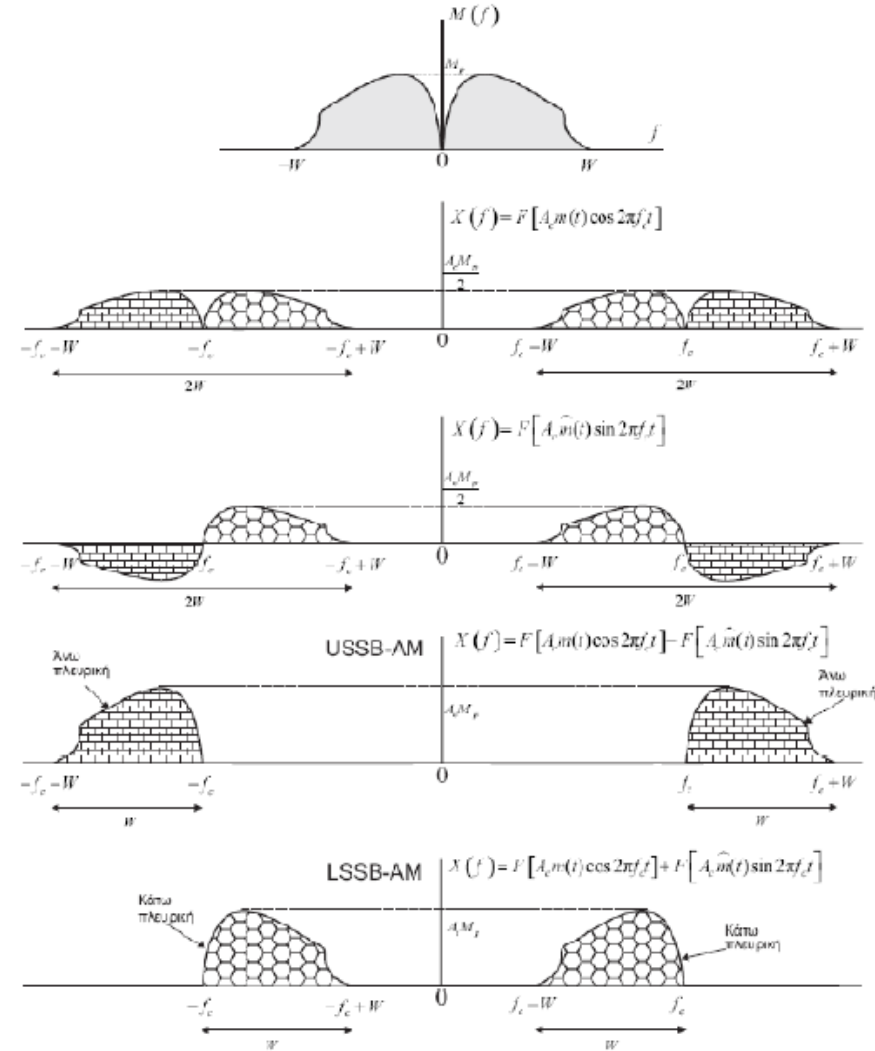


# Διαμόρφωση μονής πλευρικής ζώνης

## Single Sideband AM, SSB-AM

$$x(t) = A_c m(t) \cos 2\pi f_c t \mp A_c \hat{m}(t) \sin 2\pi f_c t$$

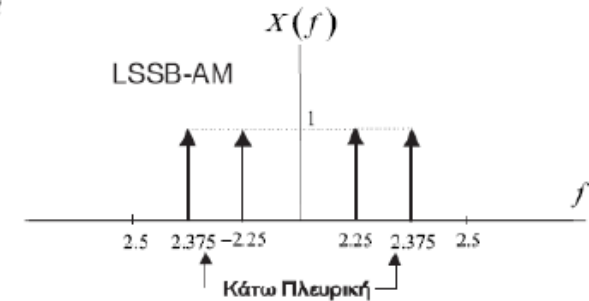
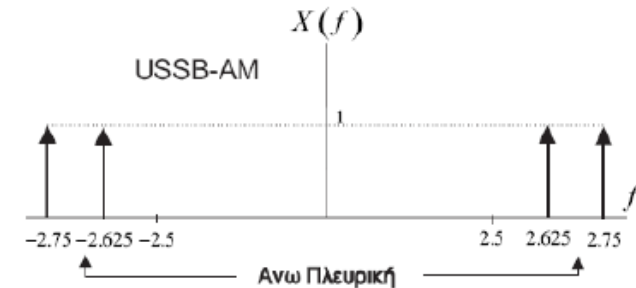
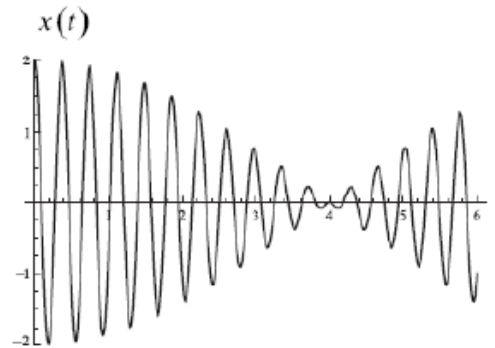
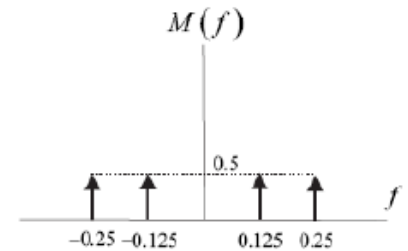
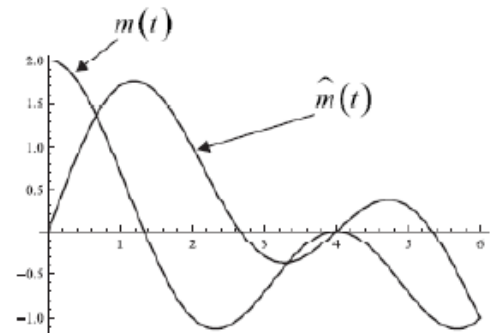
$$X(f) = A_c \left\{ \begin{array}{l} M(f - f_c), f > f_c \\ 0, f < f_c \end{array} \right\} + A_c \left\{ \begin{array}{l} 0, f > -f_c \\ M(f + f_c), f < -f_c \end{array} \right\}$$



# Διαμόρφωση μονής πλευρικής ζώνης

## Single Sideband AM, SSB-AM

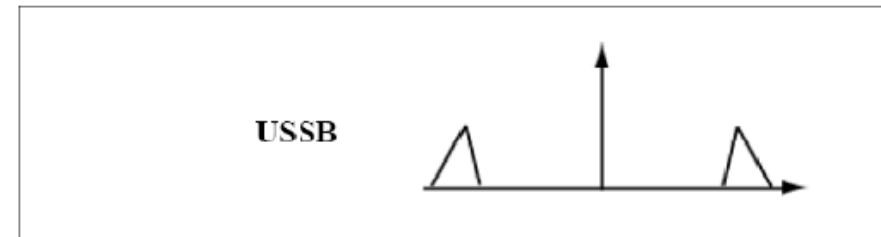
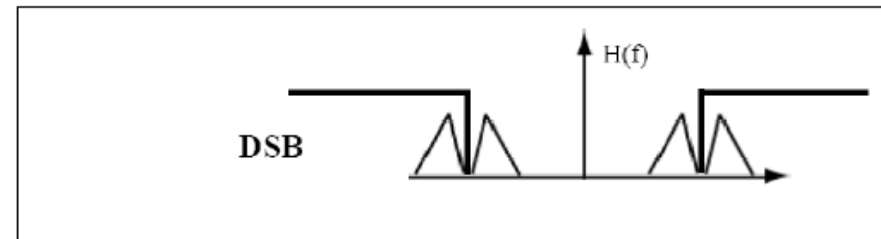
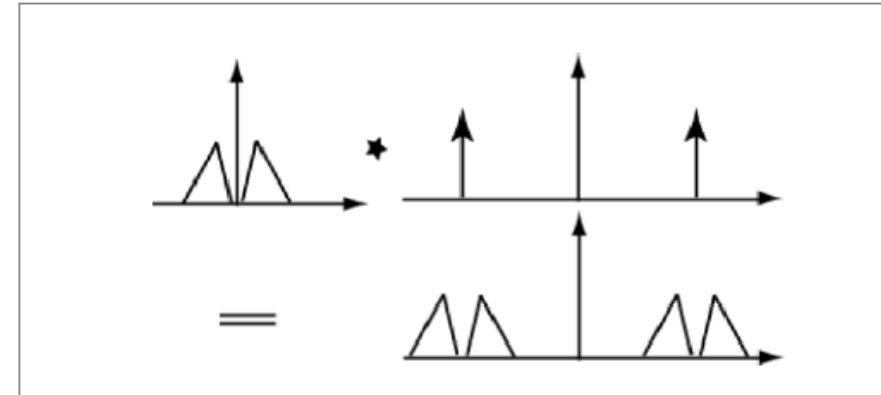
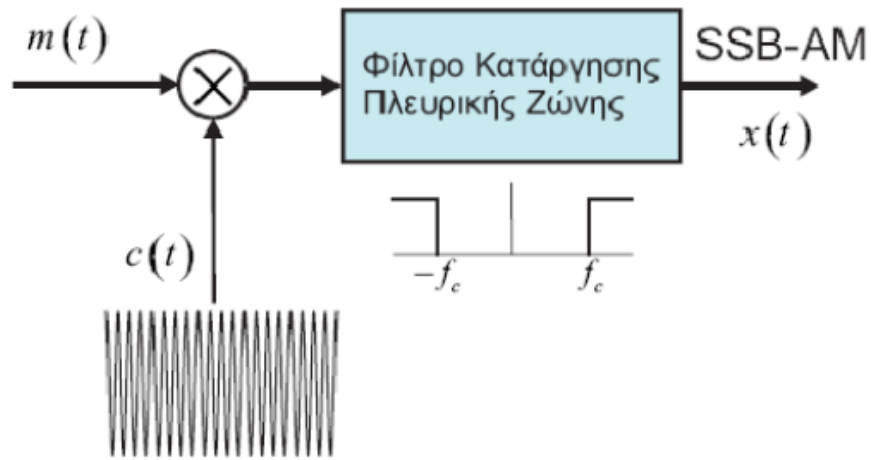
$$m(t) = \cos \frac{\pi}{4}t + \cos \frac{\pi}{2}t \text{ και } c(t) = 2 \cos 5\pi t$$





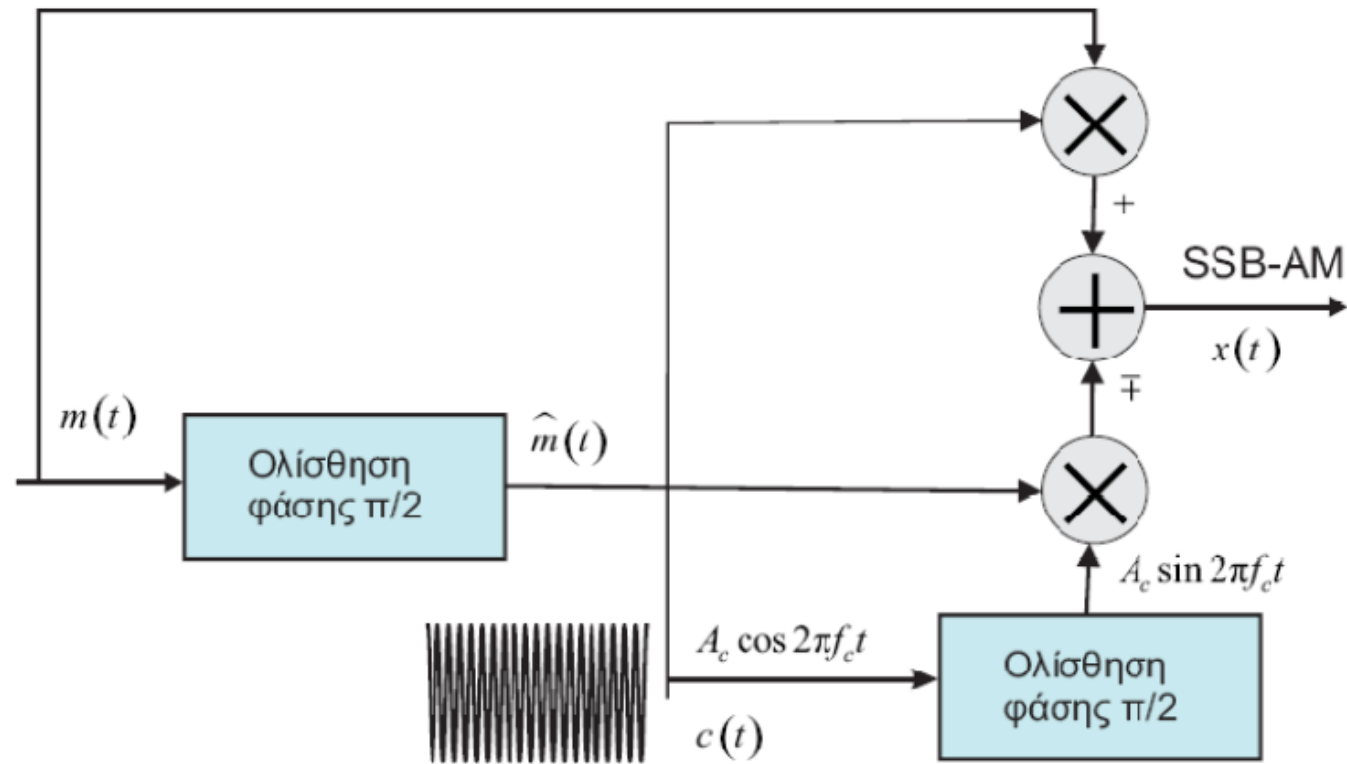
# Διαμόρφωση μονής πλευρικής ζώνης (Single Sideband AM-SSB)

## Μέθοδος Ζωνοπερατού Φίλτρου



# Διαμόρφωση μονής πλευρικής ζώνης (Single Sideband AM-SSB)

## Μέθοδος Ολίσθησης Φάσης



$$x(t) = A_c m(t) \cos 2\pi f_c t \mp A_c \hat{m}(t) \sin 2\pi f_c t$$

# Αποδιαμόρφωση AM-SSB

## Σύμφωνος Αποδιαμορφωτής

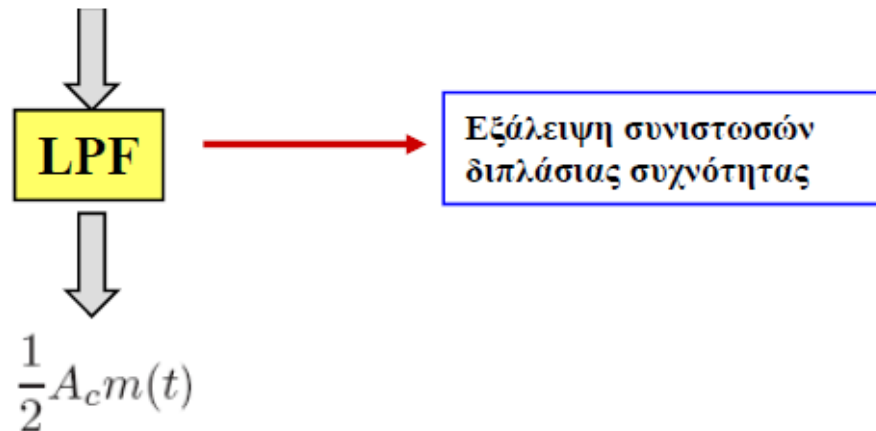
$$x(t) = A_c m(t) \cos 2\pi f_c t \mp A_c \hat{m}(t) \sin 2\pi f_c t$$

$$y(t) = x(t) \cos 2\pi f_c t$$

$$= [A_c m(t) \cos 2\pi f_c t \mp A_c \hat{m}(t) \sin 2\pi f_c t] \cos 2\pi f_c t$$

$$= A_c m(t) \cos^2 2\pi f_c t \mp A_c \hat{m}(t) \sin 2\pi f_c t \cos 2\pi f_c t$$

$$= \frac{1}{2} A_c m(t) + \frac{1}{2} A_c [\cos 4\pi f_c t \mp \hat{m}(t) \sin 4\pi f_c t].$$



# Διαμόρφωση μονής πλευρικής ζώνης (Single Sideband AM-SSB)

---

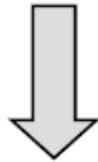
## Μειονεκτήματα-Πλεονεκτήματα

- ✓ Για την εξασφάλιση συμφασικού σήματος αναφοράς χρησιμοποιείται η μέθοδος της εκπομπής τόνου πιλότου. Έτσι εξαλείφεται η ανεπιθύμητη συνιστώσα του σήματος πλευρικής ζώνης αλλά διατίθεται μέρος της ισχύος για τον τόνο.
- ✓ Η φασματική απόδοση του SSB την κάνει ελκυστική σε επικοινωνίες μέσα από τηλεφωνικά κανάλια
- ✓ Η χρήση του φίλτρου για την επιλογή μιας από τις δύο πλευρικές είναι δύσκολο να υλοποιηθεί αν το σήμα μηνύματος έχει ισχύ κοντά στο  $f=0$  (γιατί;).

# SSB με κατάλοιπο πλευρικής Vestigial Side Band AM, VSB-AM

---

- ✓ Χαλάρωση της αυστηρής απαίτησης στην απόκριση συχνότητας του ζωνοπερατού φίλτρου. Εμφάνιση κατάλοιπου.

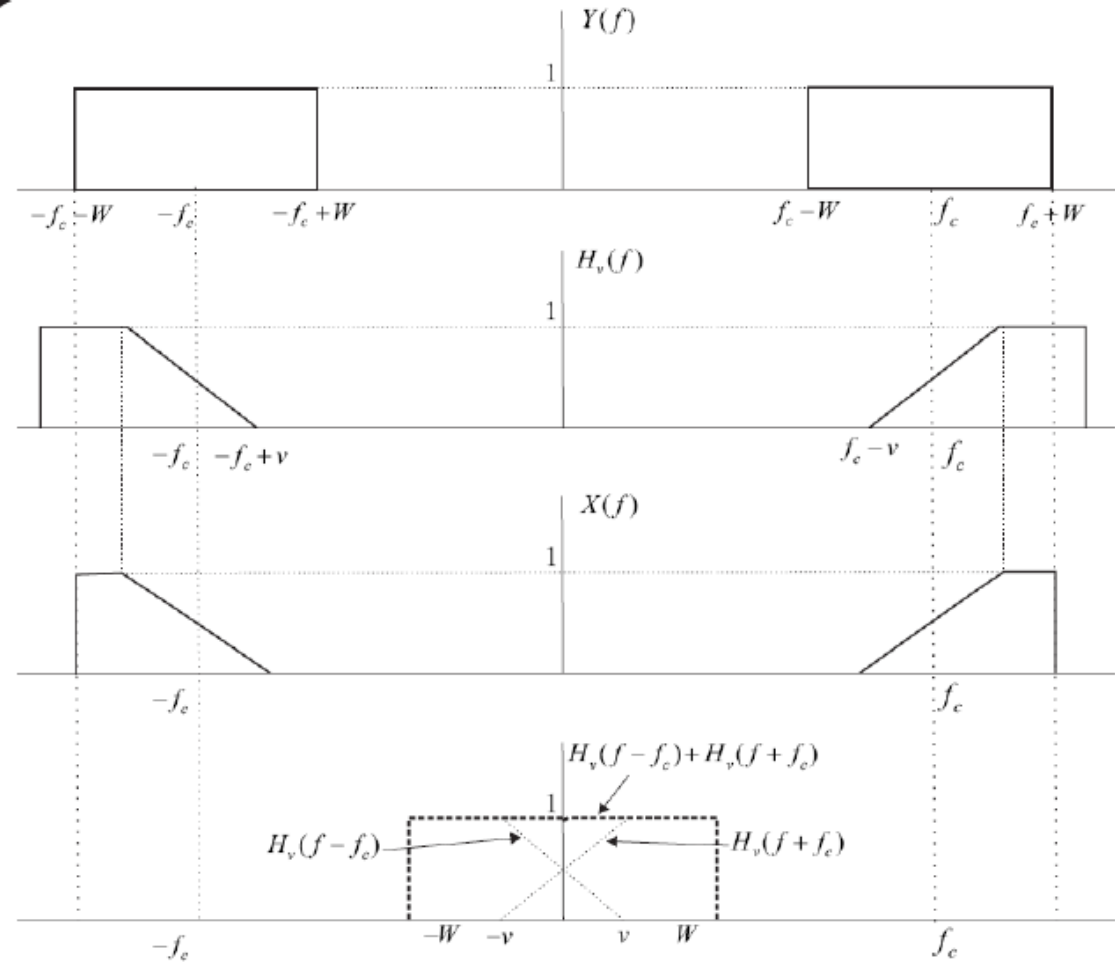
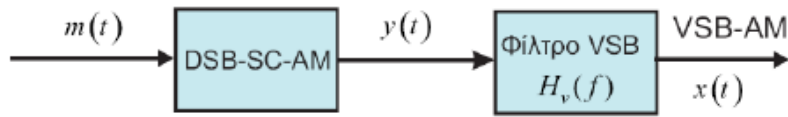


**AM με κατάλοιπο πλευρικής ζώνης-  
Vestigial Side-band (VSB-AM)**

- ✓ Ένας συμβιβασμός μεταξύ DSB-AM και SSB-AM
- ✓ Εύρος ζώνης πλησιέστερο στο SSB-AM
- ✓ Ευκολότερο στην υλοποίηση από το SSB-AM
- ✓ Το σήμα πληροφορίας μπορεί πλέον να περιέχει και χαμηλές συχνότητες

# SSB με κατάλοιπο πλευρικής

## Vestigial Side Band AM, VSB-AM



# Σύνοψη διαμορφώσεων πλάτους

	AM	DSB-AM-SC	SSB-AM	SSB-AM+C	VSB-AM	VSB-AM+C
$x_I(t)$	$A_c + m(t)$	$A_c m(t)$	$A_c m(t)$	$A_c + m(t)$	$A_c m(t)$	$A_c + m(t)$
$x_Q(t)$	0	0	$A_c \hat{m}(t)$	$A_c \hat{m}(t)$	$A_c m_u(t)$	$A_c m_u(t)$
Εύρος ζώνης	$2W$	$2W$	$W$	$W$	$W + \frac{W}{k}$	$W + \frac{W}{k}$
Αποδιαμόρφωση	Ασύμφωνη	Σύμφωνη	Σύμφωνη	Ασύμφωνη	Σύμφωνη	Ασύμφωνη
Αποδοτικότητα Ισχύος	Μικρή	Μέγιστη	Μέγιστη	Πολύ μικρή	Μέγιστη	Πολύ Μικρή
Πολυπλοκότητα Δέκτη	Μικρή	Μεγάλη	Μεγάλη	Μικρή	Μεγάλη	Μικρή
Κόστος Δέκτη	Χαμηλό	Υψηλό	Υψηλό	Χαμηλό	Υψηλό	Χαμηλό