



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ  
Εθνικόν και Καποδιστριακόν  
Πανεπιστήμιον Αθηνών

# Συστήματα Επικοινωνιών

Ενότητα 3: Αναλογικές επικοινωνίες

Μαθιόπουλος Παναγιώτης

Σχολή Θετικών Επιστημών

Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

# Περιγραφή ενότητας

- Διαμόρφωση Πλάτους: Διπλής πλευρικής ζώνης με συνολικό φέρον, DSB-AM-TC, Διπλής πλευρικής ζώνης με καταργημένο φέρον, DSB-AM-SC, Απλής πλευρικής ζώνης, SSB-AM, Απλής πλευρικής ζώνης με κατάλοιπο, VSB-AM, Σύνοψη αναλογικών διαμορφώσεων πλάτους.
- Διαμόρφωση Γωνίας: Φάσμα και ισχύς σημάτων με διαμόρφωση γωνίας, Διαμορφωτές και αποδιαμορφωτές FM
- Η επίδραση του θορύβου στις αναλογικές επικοινωνίες: Συστήματα διαμόρφωσης πλάτους και Συστήματα διαμόρφωσης γωνίας
- Υπερετερόδυνος Δέκτης: Εικονικές συχνότητες
- Πολυπλεξία Σημάτων

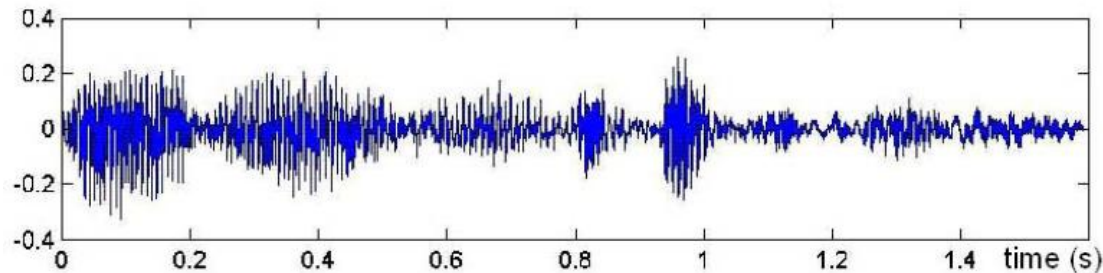


# Αναλογικές διαδικασίες

Α' Μέρος

# 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.

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



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



# Ζωνοπερατά Σήματα

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

Συμφασική (In-phase) συνιστώσα

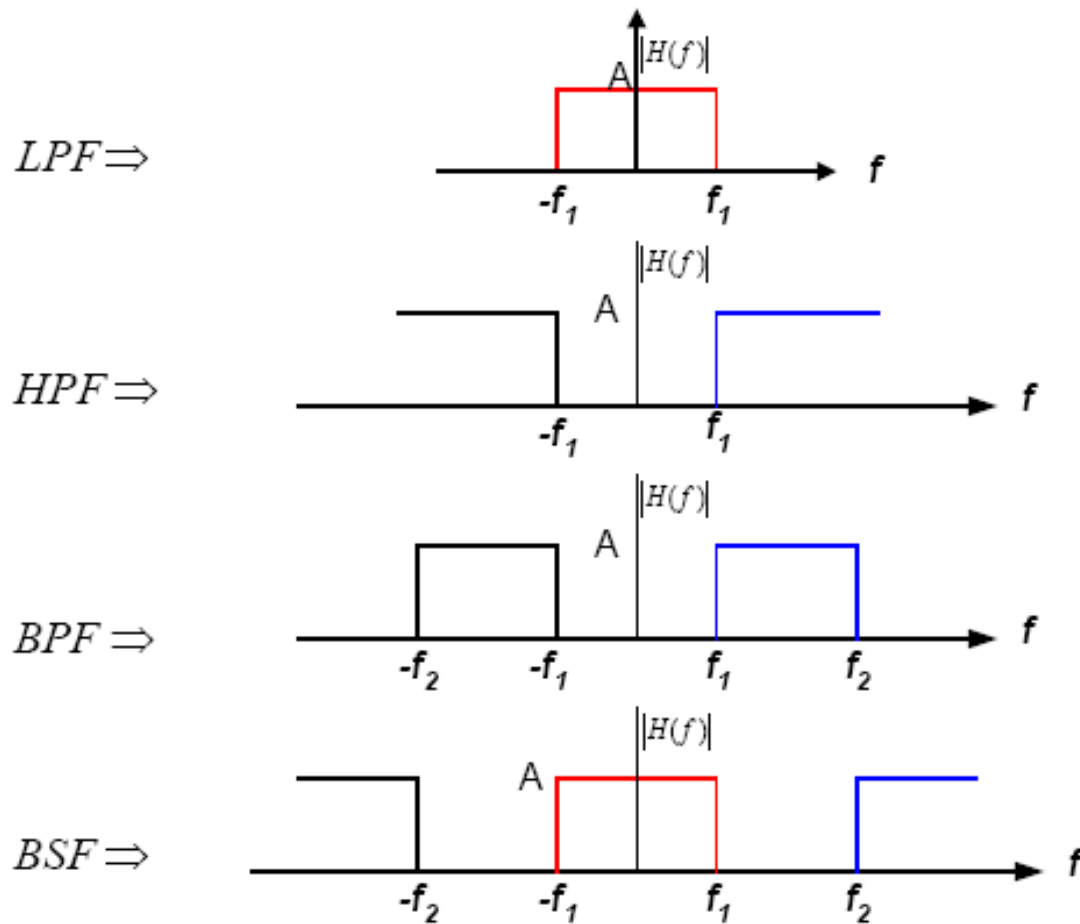
Βασικής ζώνης

Ορθογώνια (Quadrature) συνιστώσα

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

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

# Φίλτρα



# 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 H/M ακτινοβολίας
- ✓ Πολυπλεξία
- ✓ Αντιμετώπιση των περιορισμών που επιβάλλει το κανάλι
- ✓ Διαμόρφωση για περιορισμό θορύβου και παρεμβολών
- ✓ Απονομή συχνοτήτων

Κινητή τηλεφωνία

Ραδιοφωνία-Τηλεόραση

# Αναλογικές και Ψηφιακές Επικοινωνίες

- Στα αναλογικά τηλεπικοινωνιακά συστήματα η πληροφορία με τη μορφή αναλογικού σήματος αποτυπώνεται στο πλάτος ή τη γωνία του φέροντος (βλέπε Κεφ. 4), παράμετροι οι οποίες μπορούν θεωρητικά να λάβουν άπειρο αριθμό τιμών-καταστάσεων.
- Στα ψηφιακά τηλεπικοινωνιακά συστήματα η πληροφορία μετατρέπεται από αναλογική σε ψηφιακή μορφή (αν δεν είναι ήδη, όπως για παράδειγμα σε επικοινωνίες υπολογιστών) και κατόπιν -αφού υποστεί κατάλληλη επεξεργασία- ακολουθεί η αντιστοίχιση του ψηφιακού σήματος σε πεπερασμένο αριθμό αναλογικών κυματομορφών προς εκπομπή, οι οποίες ονομάζονται σύμβολα (*symbols*).





# 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).



# 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.

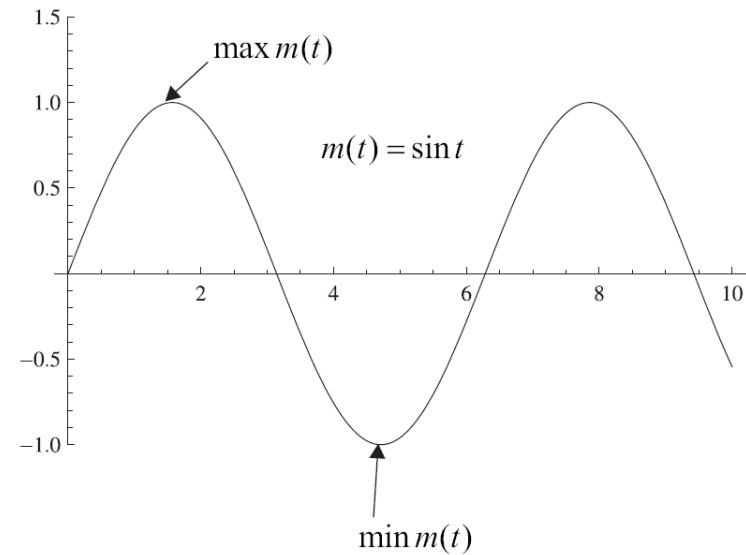
$$x(t) = [A_c + m(t)] \cos 2\pi f_c t$$



# ΑΜ-Δείκτης διαμόρφωσης

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

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



# Παράδειγμα 4.1 (1)

## Παράδειγμα 4.1

Να σχεδιαστεί το διαμορφωμένο κατά AM σήμα, όταν το φέρον είναι  $c(t) = 2 \cos 4\pi t$  και το σήμα πληροφορίας  $m(t) = 0.8 \sin \frac{\pi t}{4}$ .



# Παράδειγμα 4.1 (2)

## Παράδειγμα 4.1

Να σχεδιαστεί το διαμορφωμένο κατά AM σήμα, όταν το φέρον είναι  $c(t) = 2 \cos 4\pi t$  και το σήμα πληροφορίας  $m(t) = 0.8 \sin \frac{\pi t}{4}$ .

### Απάντηση

Το πλάτος και η συχνότητα του φέροντος είναι  $A_c = 2$  και  $f_c = 2$  Hz αντίστοιχα.

Έτσι, το διαμορφωμένο κατά AM σήμα μπορεί να γραφτεί ως

$$x(t) = [A_c + m(t)] \cos 2\pi f_c t = [2 + 0.8 \sin \frac{\pi t}{4}] \cos 4\pi t. \quad (4.11)$$

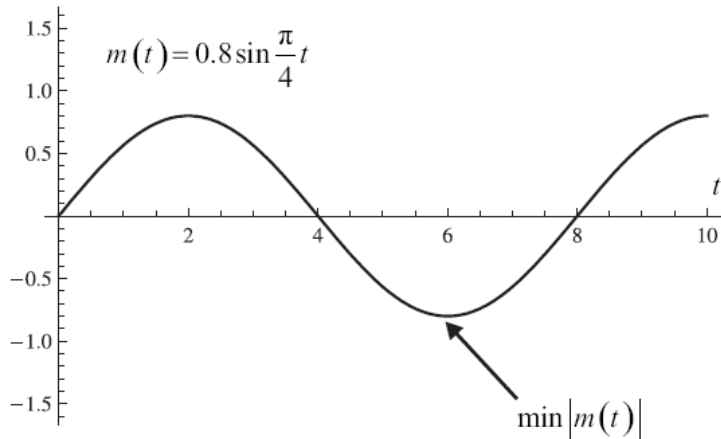
Τα  $m(t)$ ,  $c(t)$  και  $x(t)$  σχεδιάζονται στο Σχήμα 4.1.

Ο δείκτης διαμόρφωσης θα είναι

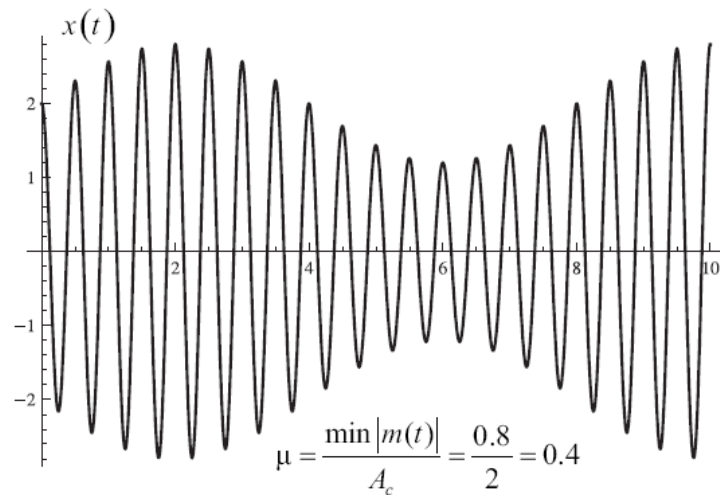
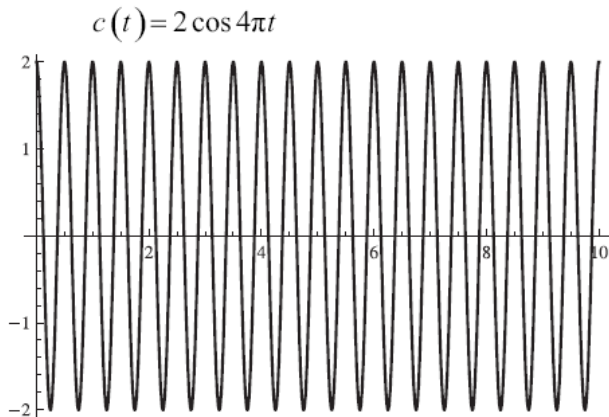
$$\mu = \frac{|\min m(t)|}{A_c} = \frac{0.8}{2} = 0.4. \quad (4.12)$$



# ΑΜ: Παράδειγμα 4.1



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



# ΑΜ: Ημιτονοειδές σήμα πληροφορίας (1)

## Παράδειγμα 4.2

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.



# ΑΜ: Ημιτονοειδές σήμα πληροφορίας (2)

## Παράδειγμα 4.2

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.

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

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





# Παράδειγμα 4.3

## Παράδειγμα 4.3

Αν το σήμα πληροφορίας είναι ένα άθροισμα  $K$  ημιτονοειδών σημάτων (τόνων) της ίδιας συχνότητας  $f_m$  αλλά διαφορετικού πλάτους  $a_i$

$$m(t) = \sum_{i=1}^K a_i \cos 2\pi f_m t, \quad (4.17)$$

να βρεθεί η έκφραση του διαμορφωμένου κατά AM σήματος στο πεδίο του χρόνου καθώς και ο δείκτης διαμόρφωσης.

## Απάντηση

Το διαμορφωμένο κατά AM σήμα θα είναι

$$x(t) = [A_c + m(t)] \cos 2\pi f_c t = \left[ A_c + \sum_{i=1}^K a_i \cos 2\pi f_m t \right] \cos 2\pi f_c t.$$

$$|\min m(t)| = \sum_{i=1}^K a_i \quad \mu = \frac{\sum_{i=1}^K a_i}{A_c} = \sum_{i=1}^K \mu_i, \quad \mu_i = \frac{a_i}{A_c}.$$



# Παράδειγμα 4.4

## Παράδειγμα 4.4

Αν το σήμα πληροφορίας είναι

$$m(t) = a \sin \frac{\pi}{4} t, \quad (4.21)$$

να σχεδιάσετε το διαμορφωμένο κατά AM σήμα στο πεδίο του χρόνου όταν το πλάτος του φέροντος  $A_c$  λαμβάνει τιμές από το σύνολο  $\{2, 1, 0.75, 0.5, 0.33, 0.25\}$ , η συχνότητα του φέροντος είναι  $f_c = 2 \text{ Hz}$  και  $a = 0.5$ .

Επίσης να σχεδιάσετε τα σήματα AM που προκύπτουν αν το πλάτος του φέροντος είναι σταθερό  $A_c = 2$  και μεταβάλλεται το πλάτος  $a$  του  $m(t)$  λαμβάνοντας τιμές από το σύνολο:  $\{0.5, 1, 1.33, 2, 3, 4\}$ . Για όλες τις παραπάνω περιπτώσεις να υπολογίσετε το δείκτη διαμόρφωσης  $\mu$ .



# ΑΜ με μεταβολή του πλάτους του φέροντος

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

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

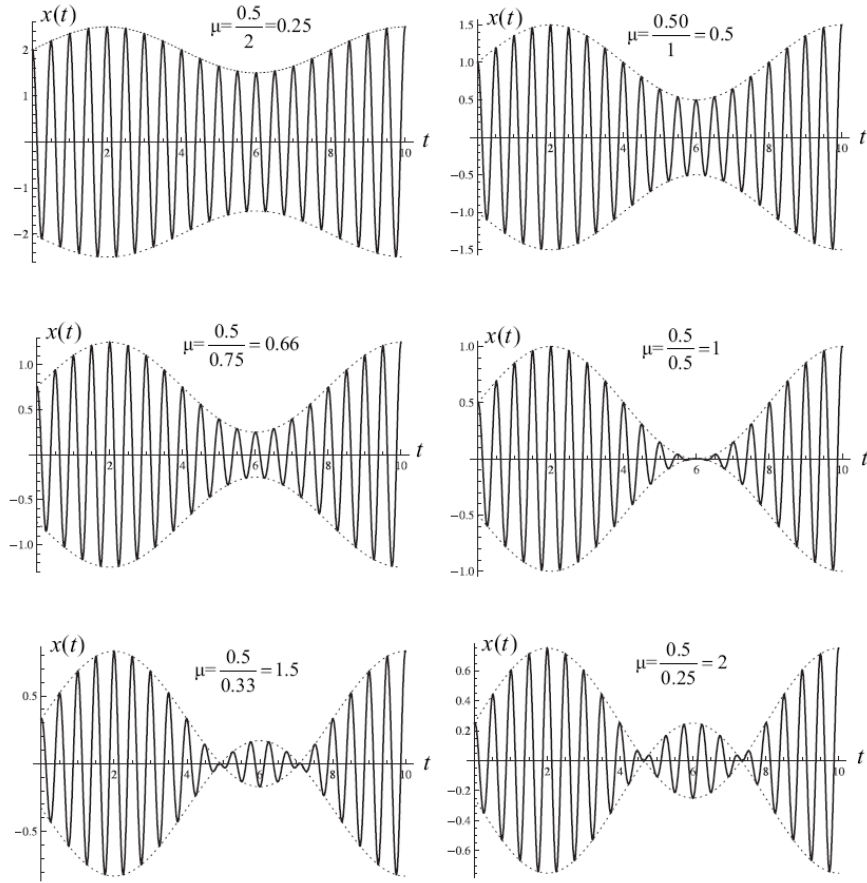
$$a = 0.5$$

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

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

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

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



# ΑΜ με μεταβολή του πλάτους του σήματος πληροφορίας

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

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

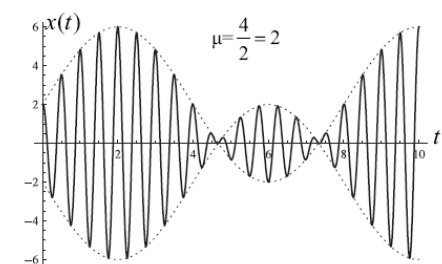
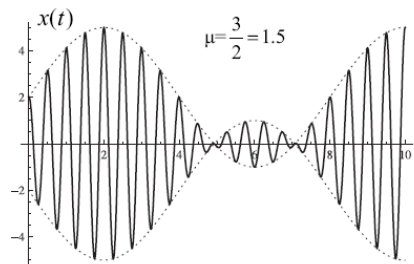
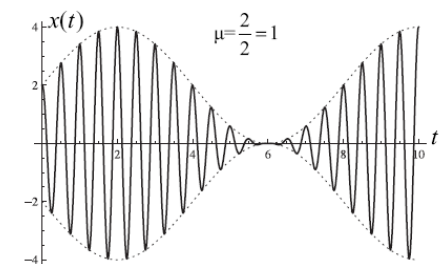
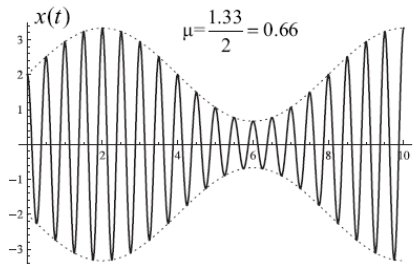
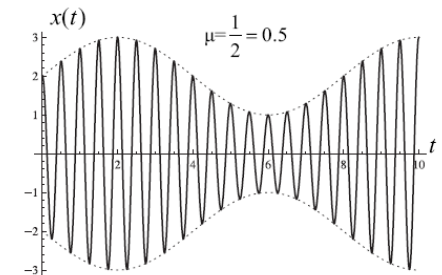
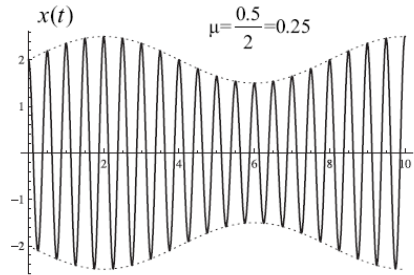
$$A_c = 2$$

$$a \Leftrightarrow \{0.5, 1, 1.33, 2, 3, 4\}$$

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

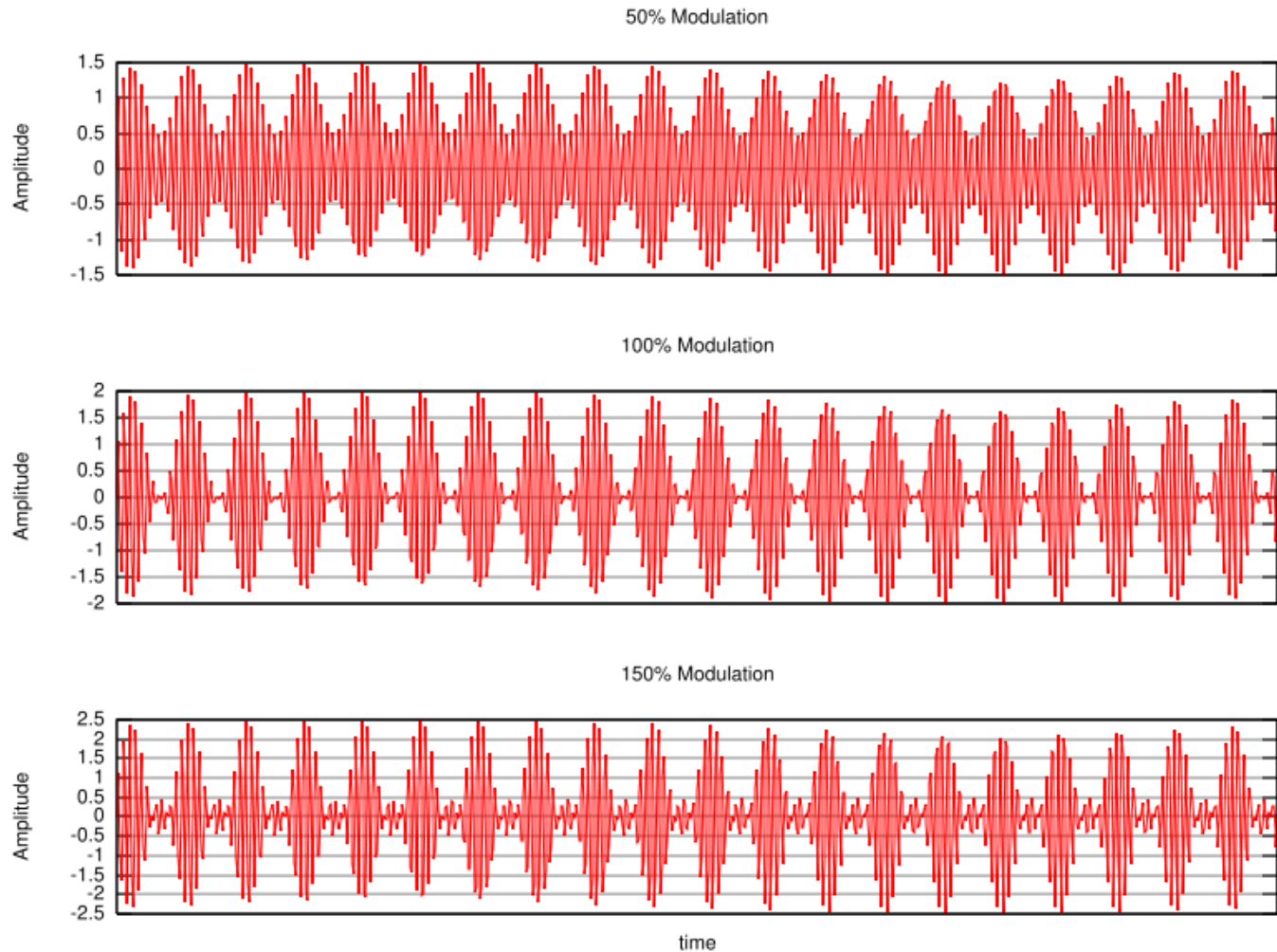
$$= A_c \left[ 1 + \mu \sin \frac{\pi}{4} t \right] \cos 4\pi t$$

$$\mu = a/2$$

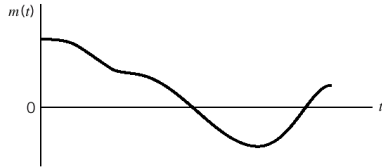


# Διπλής πλευρικής ζώνης με συνολικό φέρον ή AM (1)

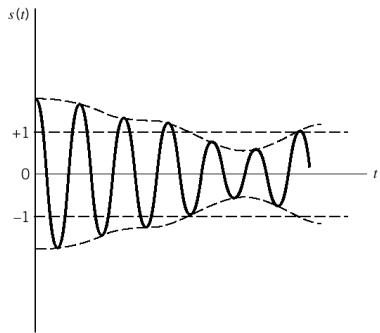
$A_c =$



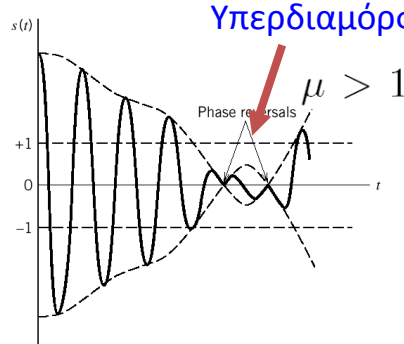
# Διπλής πλευρικής ζώνης με συνολικό φέρον ή AM (2)



(a)



(b)

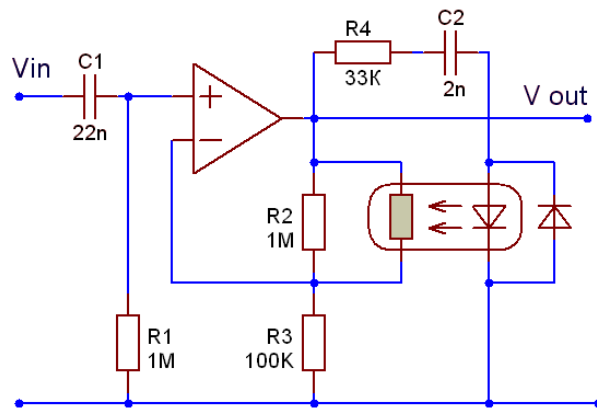


Υπερδιαμόρφωση

Phase reversals

$\mu > 1$

(c)



✓ 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

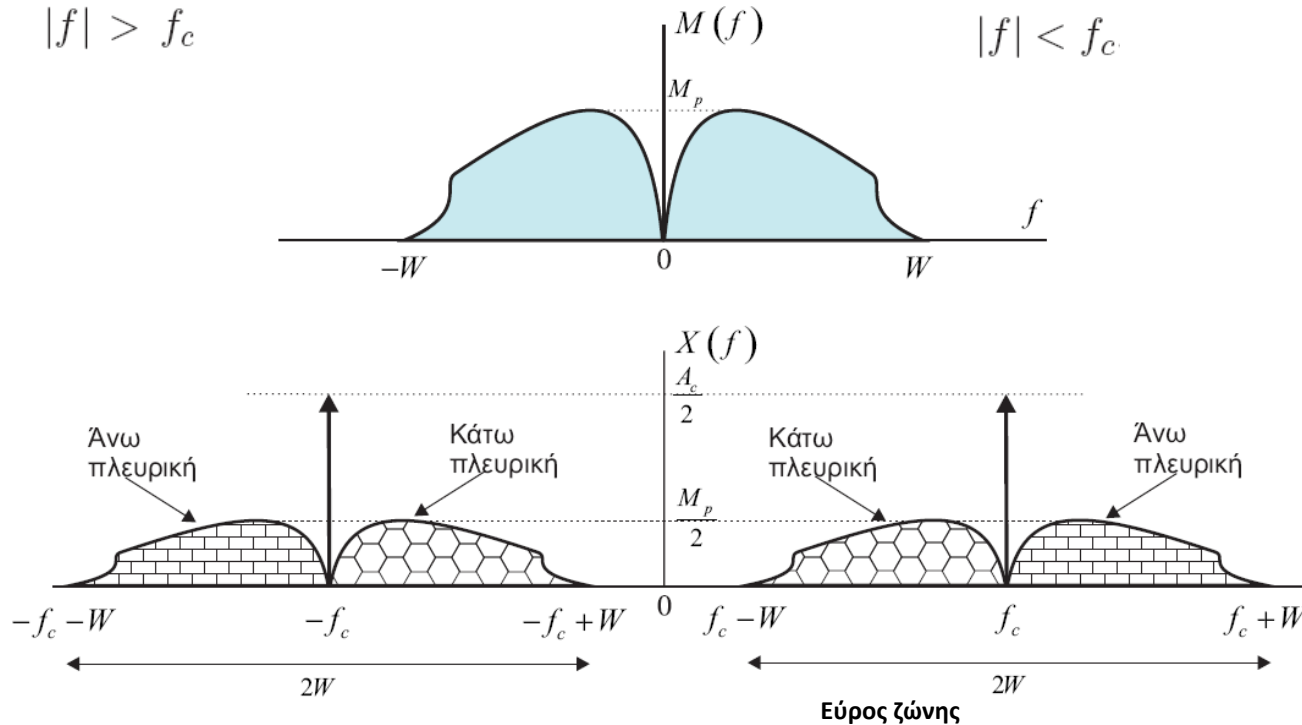
$$\begin{aligned}
 X(f) &= \mathcal{F}[x(t)] = \mathcal{F}[[A_c + m(t)] \cos 2\pi f_c t] = \mathcal{F}[m(t) \cos 2\pi f_c t] + \mathcal{F}[A_c \cos 2\pi f_c t] \\
 &= \frac{1}{2} [M(f - f_c) + M(f + f_c)] + \frac{1}{2} A_c [\delta(f - f_c) + \delta(f + f_c)],
 \end{aligned}$$

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

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

$$m(t) = a \cos 2\pi f_m t. \quad (4.27)$$

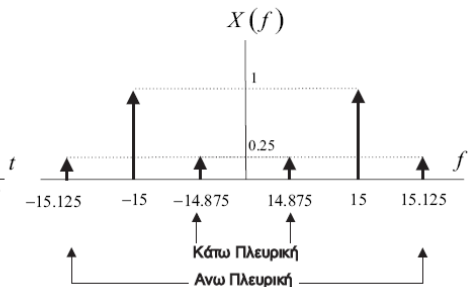
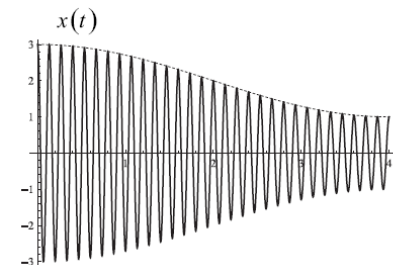
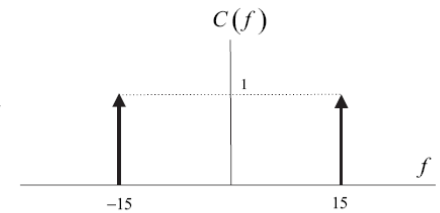
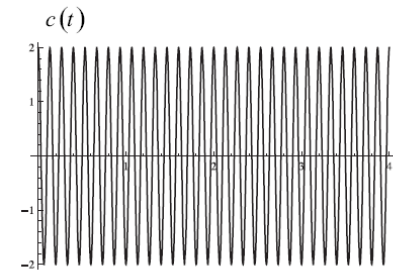
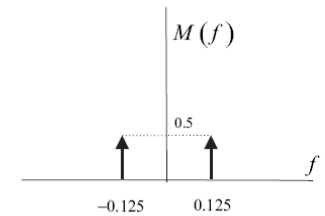
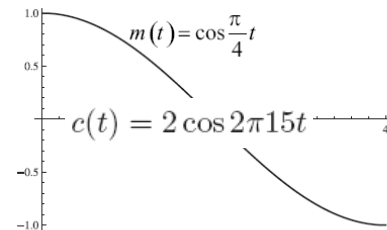
Να χρησιμοποιηθεί φέρον της αρεσκειάς σας.

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



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

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



# Διαμορφωτές AM

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

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



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

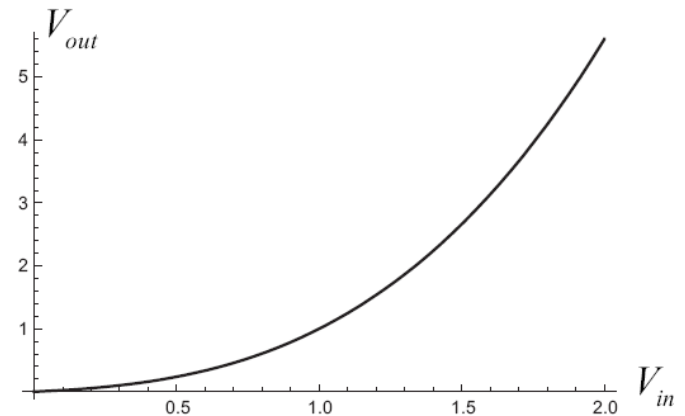
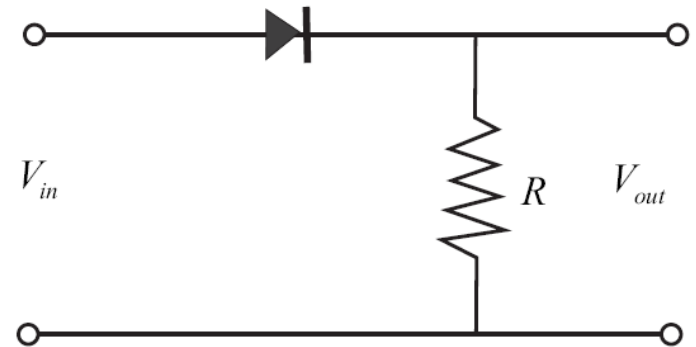
BPF



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

Σήμα AM

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

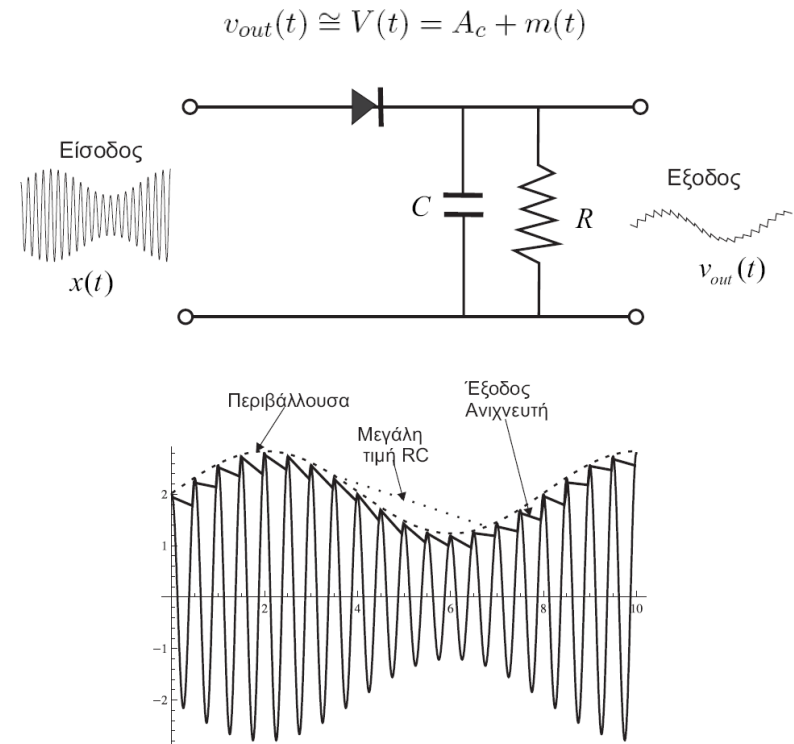


Σχήμα 4.4: Διαμορφωτής AM διόδου



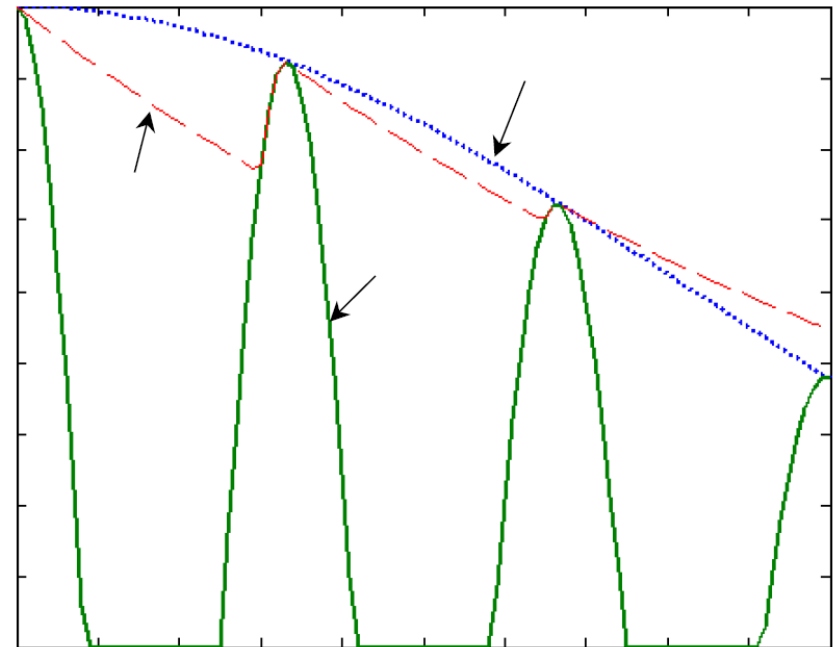
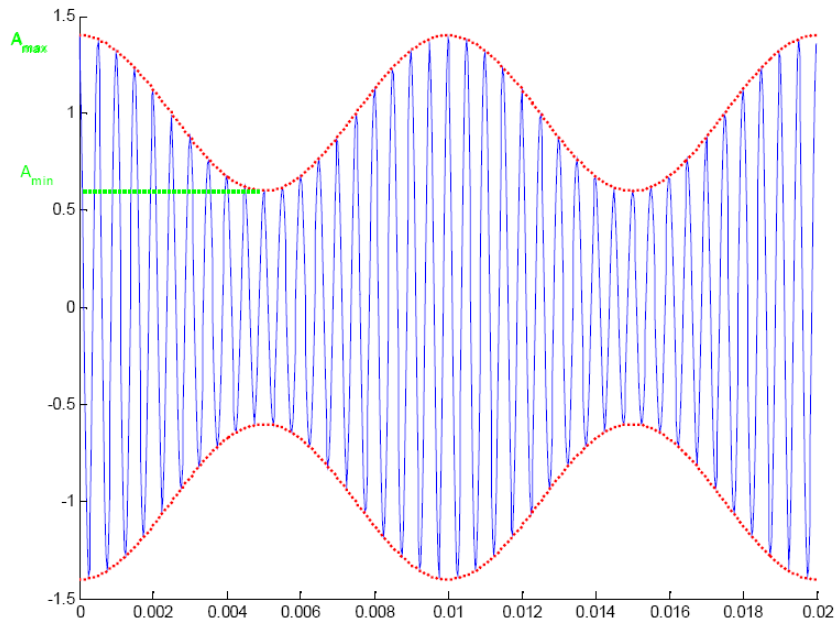
# Ασύμφωνοι Αποδιαμορφωτές AM (1)

- Όσο διαρκεί η άνοδος της τάσης σε μια θετική ημιπερίοδο η θετικά πολωμένη δίοδος 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 δίοδος -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 AM (2)

$$v_{out}(t) \cong V(t) = A_c + m(t)$$



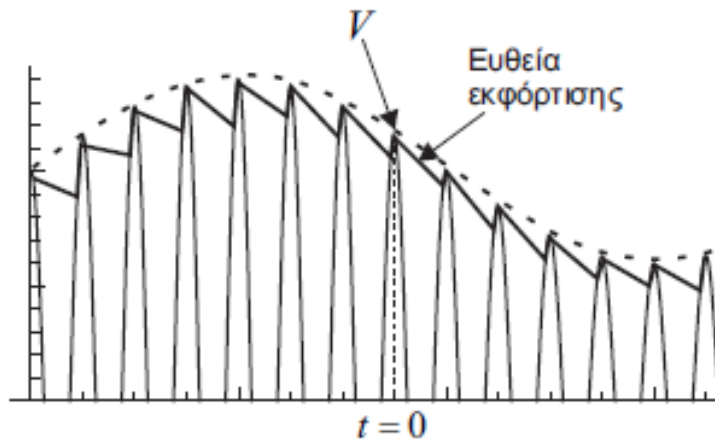
# Παράδειγμα 4.6

## Παράδειγμα 4.6

Για το σήμα πληροφορίας

$$m(t) = \frac{1}{2} \sin \frac{\pi}{4} t, \quad (4.38)$$

να υπολογιστεί η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή της σταθεράς χρόνου  $\tau$  ώστε ο ανιχνευτής περιβάλλουσας να λειτουργεί αξιόπιστα.



$$v_{out}(t) = V e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$v_{out} = V \left( 1 - \frac{t}{\tau} + \frac{t^2}{2\tau^2} - \dots \right)$$

$$\left| \frac{dv_{out}(t)}{dt} \right| = \frac{V}{\tau} \geq \left| \frac{dV(t)}{dt} \right|$$

# Παράδειγμα 4.7

## Παράδειγμα 4.7

Σχεδιάστε τα διαμορφωμένα σήματα και τις εξόδους του ανιχνευτή περιβάλλουσας χρησιμοποιώντας συχνότητα του φέροντος της αρεσκειάς σας, όταν τα σήματα πληροφορίας είναι

$$m_1(t) = 0.8 \cos \frac{\pi}{8}t \text{ και } m_2(t) = 0.8 \sin \frac{\pi}{4}t \quad (4.49)$$

και ο δείκτης διαμόρφωσης  $\mu = 2$ .

## Απάντηση

Στο Σχήμα 4.9 φαίνονται οι έξοδοι του ανιχνευτή περιβάλλουσας για τα δύο σήματα πληροφορίας όταν  $\mu = 2$  (υπερδιαμόρφωση), οπότε  $A_c = 0.4$ . Η συχνότητα του φέροντος που χρησιμοποιήθηκε είναι  $f_c = 2 \text{ Hz}$ .

Είναι φανερό ότι εκεί που δεν ικανοποιούνται οι συνθήκες

$$V_1(t) = A_c + m_1(t) \geq 0 \quad V_2(t) = A_c + m_2(t) \quad (4.50)$$

η περιβάλλουσα παραμορφώνεται και ο ανιχνευτής δεν μπορεί να ανακτήσει αξιόπιστα το σήμα πληροφορίας. Έτσι, οι έξοδοι αυτού  $v_{1out}$  και  $v_{2out}$  δεν αποτελούν πιστά αντίγραφα των σημάτων πληροφορίας  $m_1(t)$  και  $m_2(t)$ .

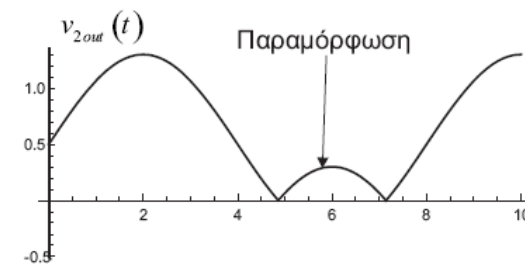
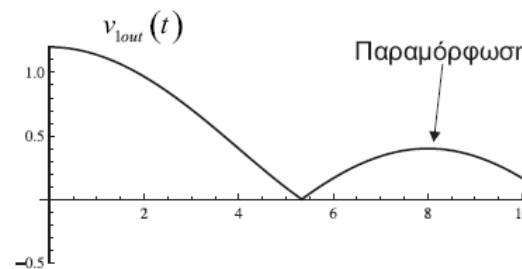
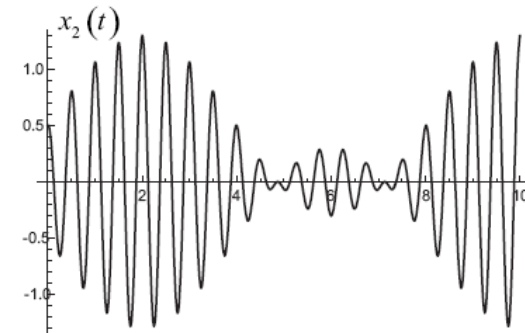
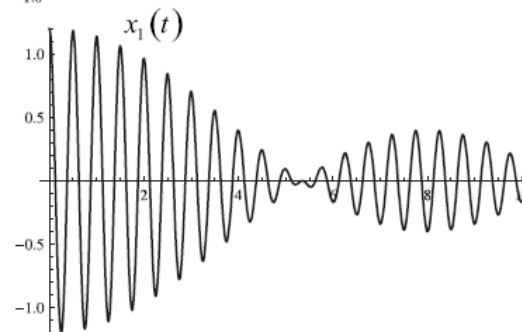
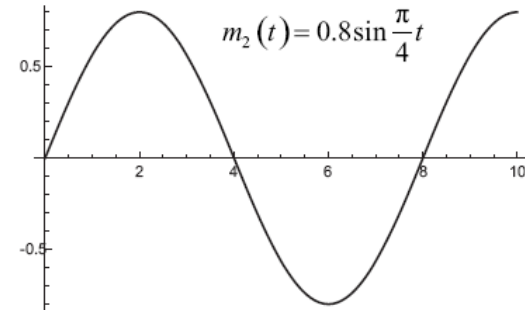
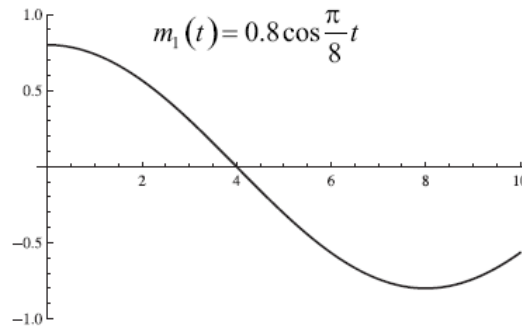


# Ασύμφωνοι Αποδιαμορφωτές ΑΜ: Υπερδιαμόρφωση

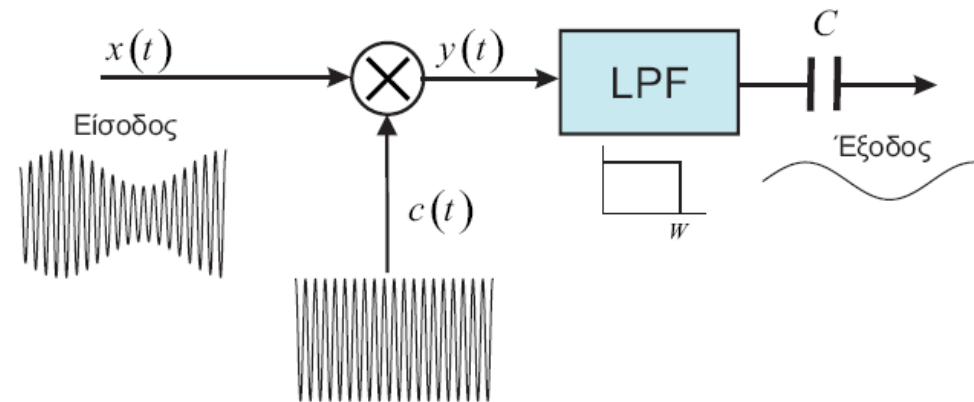
$$\mu = 2$$

↓

$$A_c = 0.4$$



# Σύμφωνοι Αποδιαμορφωτές AM



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





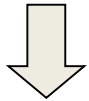
# Διπλής Πλευρικής Ζώνης με Καταργημένο Φέρον

## Double Side Band-AM-Suppressed Carrier, DSB-AM-SC

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

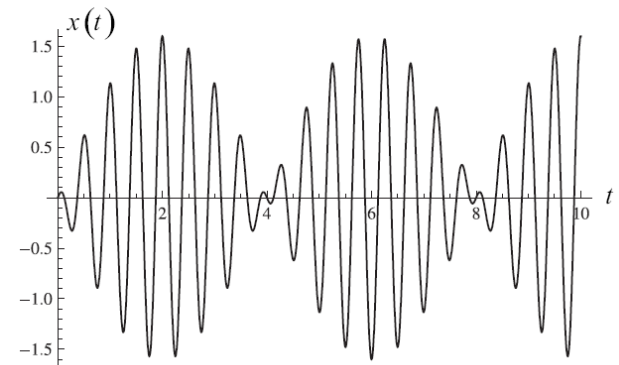
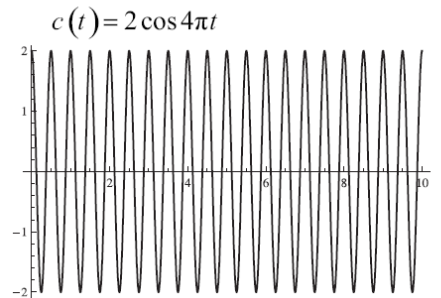
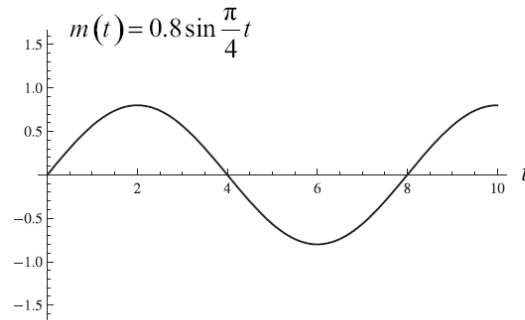
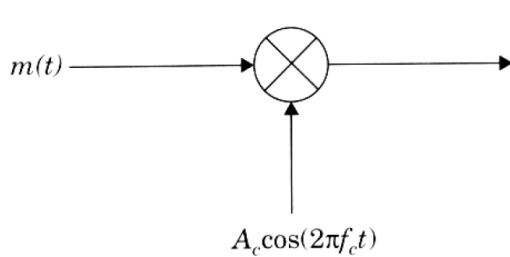
**DSB-AM-SC**

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



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

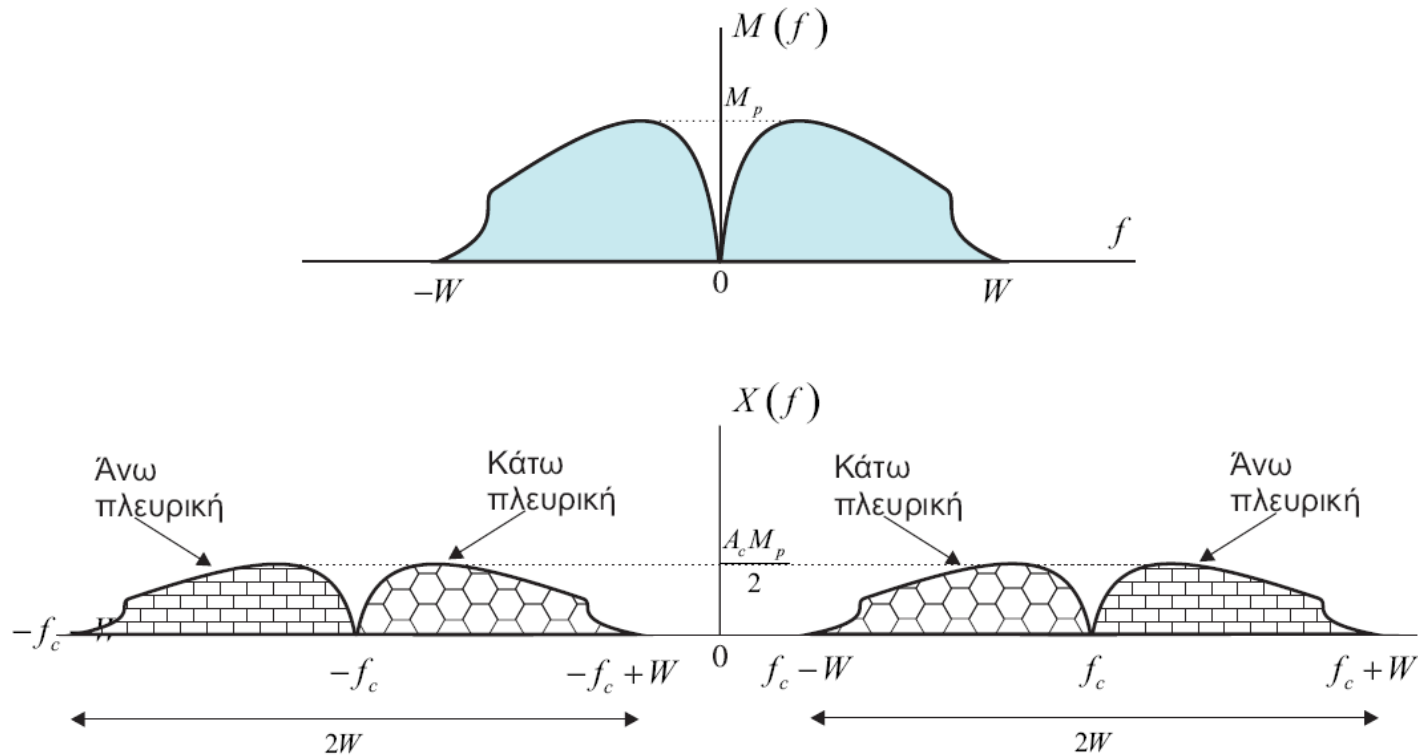
$$V(t) = A_c m(t)$$



# Φασματικό περιεχόμενο και ισχύς, DSB-AM-SC (1)

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

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



# Παράδειγμα 4.8

## Παράδειγμα 4.8

Για το ημιτονοειδές σήμα πληροφορίας

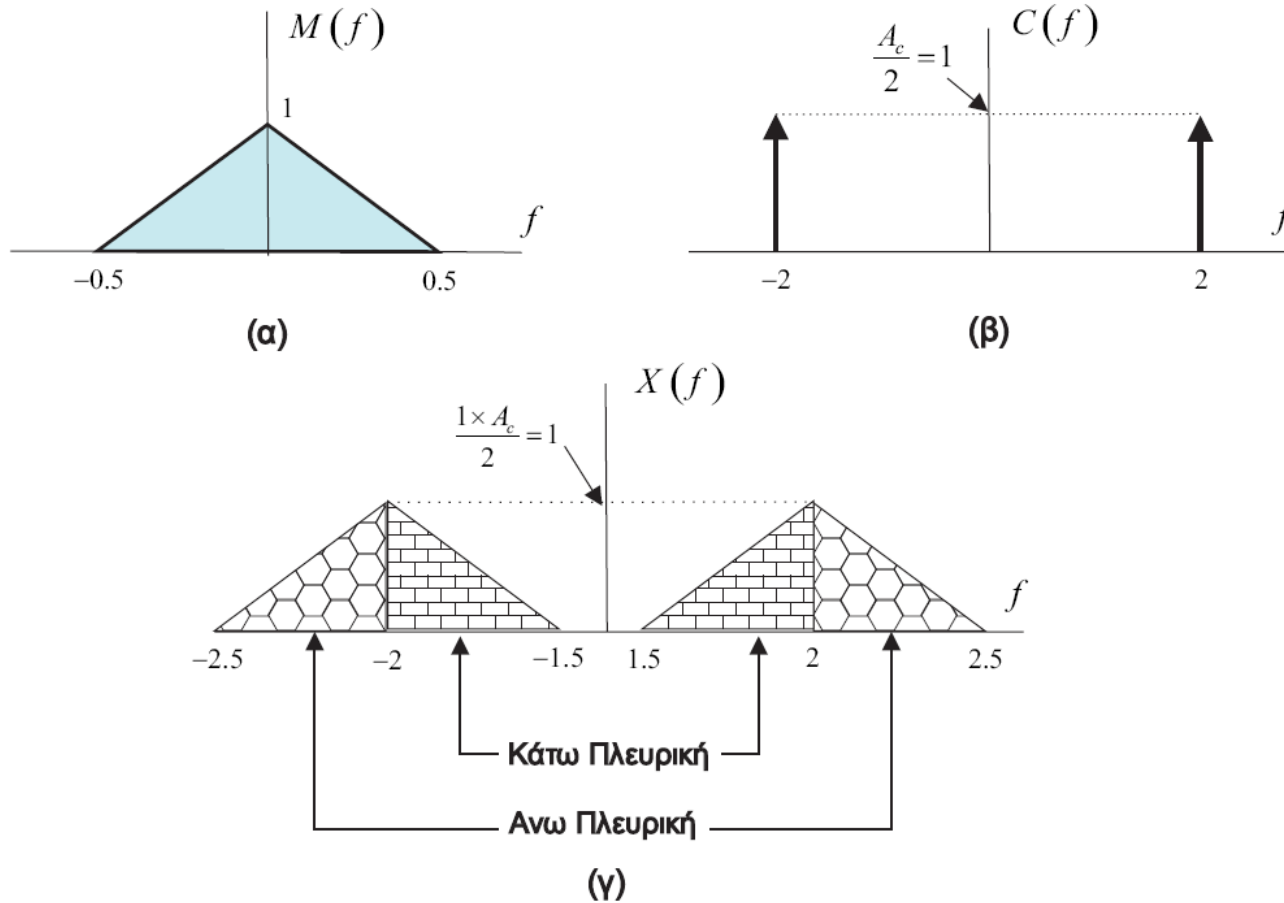
$$m(t) = a \cos 2\pi f_m t, \quad (4.58)$$

βρείτε την έκφραση του DSB-AM-SC σήματος στο πεδίο του χρόνου και της συχνότητας.

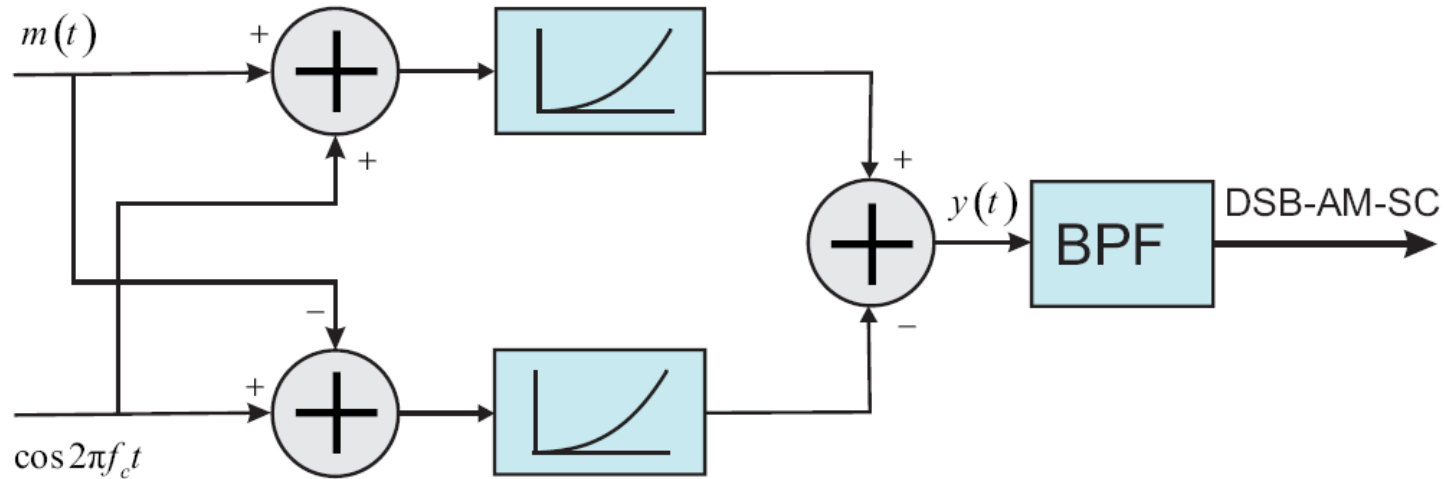
*Εφαρμογή:* Σχεδιάστε το σήμα πληροφορίας, το φέρον και το διαμορφωμένο σήμα στο πεδίο του χρόνου και της συχνότητας όταν  $a = 0.8$ ,  $f_m = 0.125$  Hz,  $A_c = 2$  και  $f_c = 2$  Hz.



# Φασματικό περιεχόμενο και ισχύς, DSB-AM-SC (2)



# Διαμόρφωση DSB-AM-SC Ισοσταθμισμένος διαμορφωτής



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

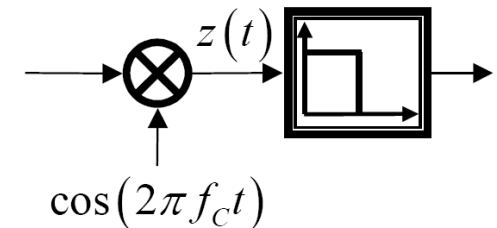
$$\begin{aligned} y(t) &= d_1 [m(t) + \cos 2\pi f_c t] + d_2 [m(t) + \cos 2\pi f_c t]^2 \\ &\quad - d_1 [-m(t) + \cos 2\pi f_c t] - d_2 [-m(t) + \cos 2\pi f_c t]^2 \\ &= 2d_1 m(t) + 4d_2 m(t) \cos 2\pi f_c t. \end{aligned}$$

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



# Σύμφωνη αποδιαμόρφωση DSB-AM-SC

$$r(t) = u(t) \quad \leftarrow \text{Απουσία θορύβου}$$
$$= A_c m(t) \cos(2\pi f_c t + \phi_c)$$



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

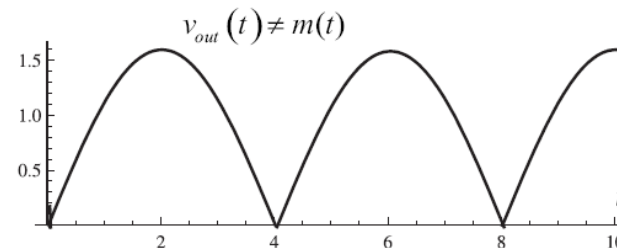
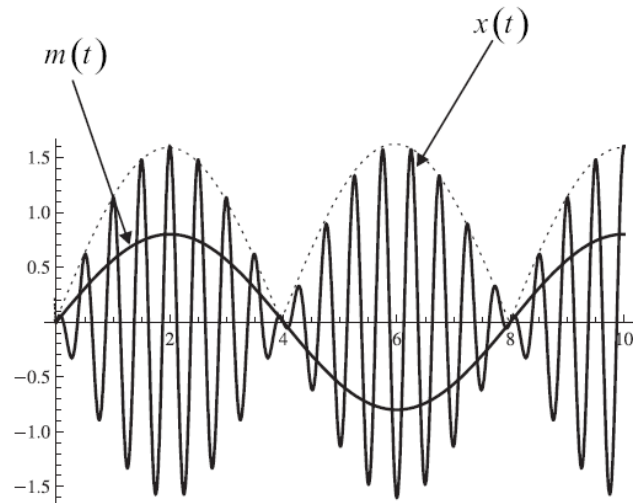


$$y_e(t) = \frac{1}{2} A_c m(t) \cos(\phi_c - \phi)$$



# Ο ανιχνευτής περιβάλλουσας σαν αποδιαμορφωτής DSB-SC AM

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



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



# Παράδειγμα 4.11

## Παράδειγμα 4.11

Σε πολλές τηλεπικοινωνιακές εφαρμογές είναι απαραίτητη η μετατροπή της συχνότητας του διαμορφωμένου σήματος από  $f_1$  σε  $f_2$ . Να περιγράψετε πώς μπορεί να υλοποιηθεί η μετατροπή αυτή σε σήματα DSB-AM-SC.

$$\begin{aligned}y(t) &= 2A_c m(t) \cos 2\pi f_1 t \cos 2\pi f_{mix} t \\ &= A_c m(t) [\cos 2\pi (f_1 + f_{mix}) t + \cos 2\pi (f_1 - f_{mix}) t].\end{aligned}$$

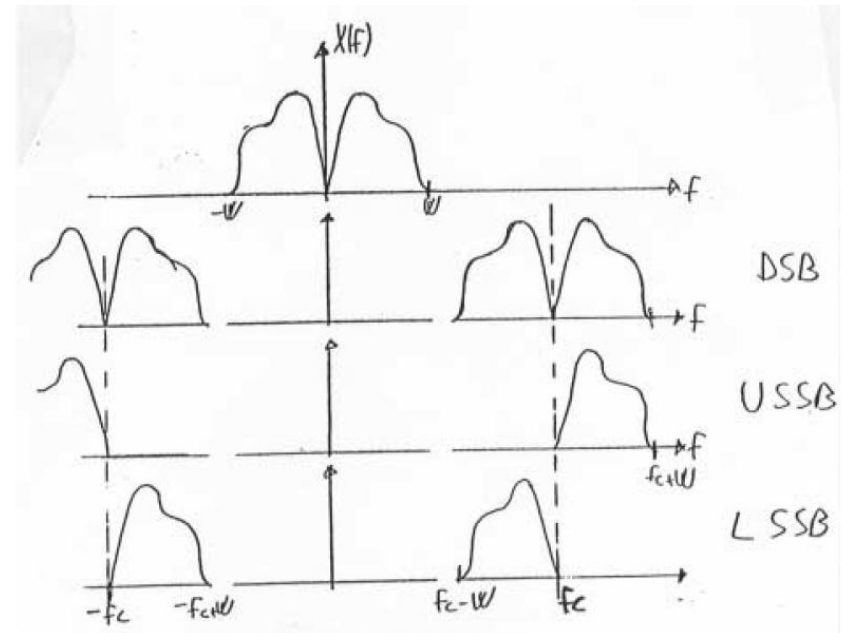




# Διαμόρφωση μονής πλευρικής ζώνης

## Single Sideband AM, SSB-AM (1)

- Οι δύο πλευρικές ζώνες περιέχουν την ίδια πληροφορία για το σήμα μηνύματος
- Μπορούμε να μεταδώσουμε την μία προκειμένου να εξοικονομήσουμε εύρος ζώνης

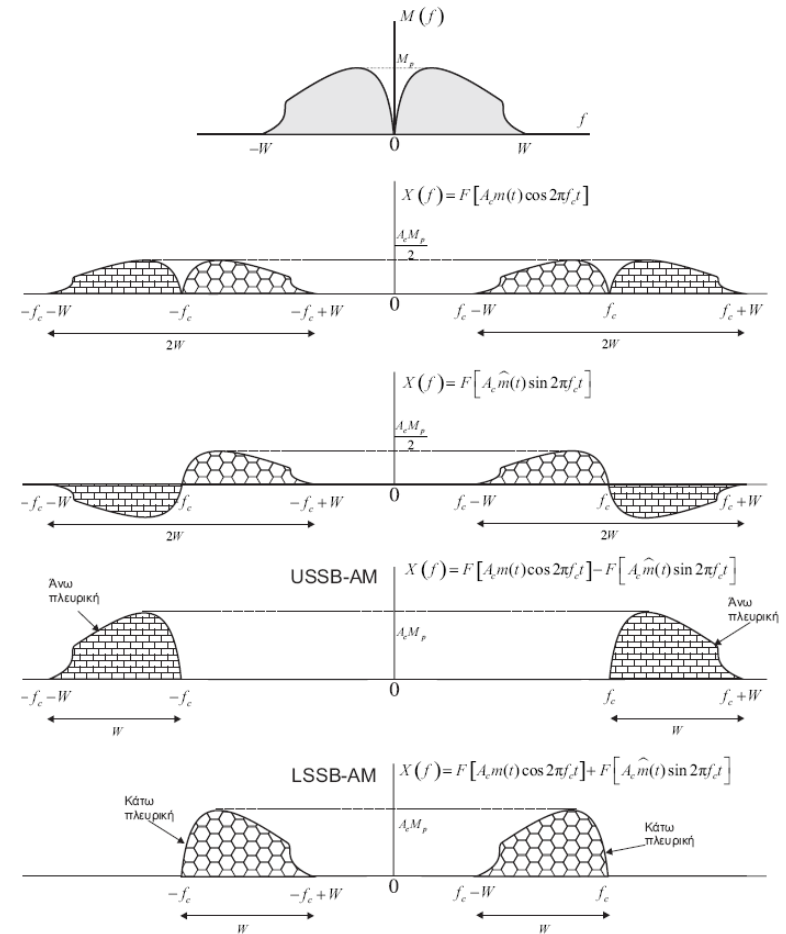


# Διαμόρφωση μονής πλευρικής ζώνης

## Single Sideband AM, SSB-AM (2)

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

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



# Παράδειγμα 4.12

## Παράδειγμα 4.12

Αν το σήμα πληροφορίας είναι άθροισμα δύο ημιτονοειδών σημάτων-τόνων

$$m(t) = \cos 2\pi f_1 t + \cos 2\pi f_2 t, \quad (4.78)$$

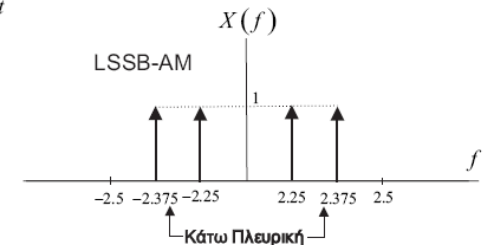
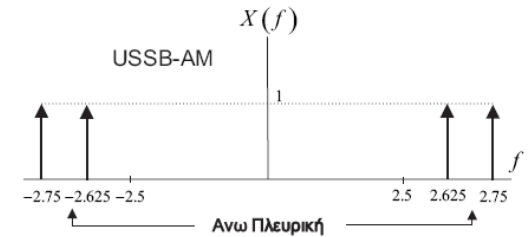
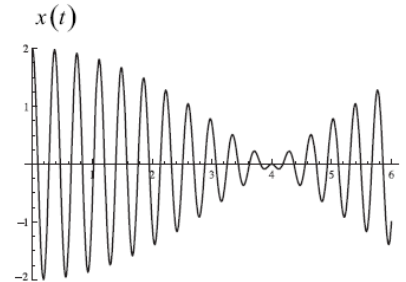
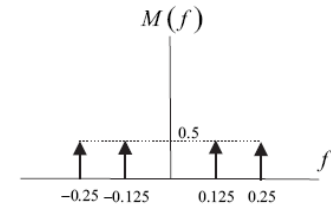
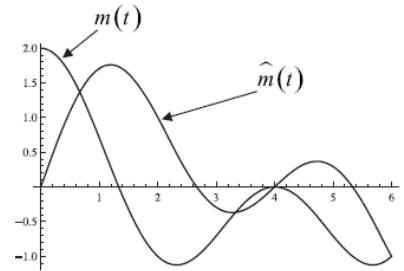
να εκφραστεί μαθηματικά και να σχεδιαστεί το διαμορφωμένο σήμα SSB-AM στα πεδία του χρόνου και της συχνότητας για τιμές των  $f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_c$  και  $A_c$  της αρεσχείας σας.



# Διαμόρφωση μονής πλευρικής ζώνης

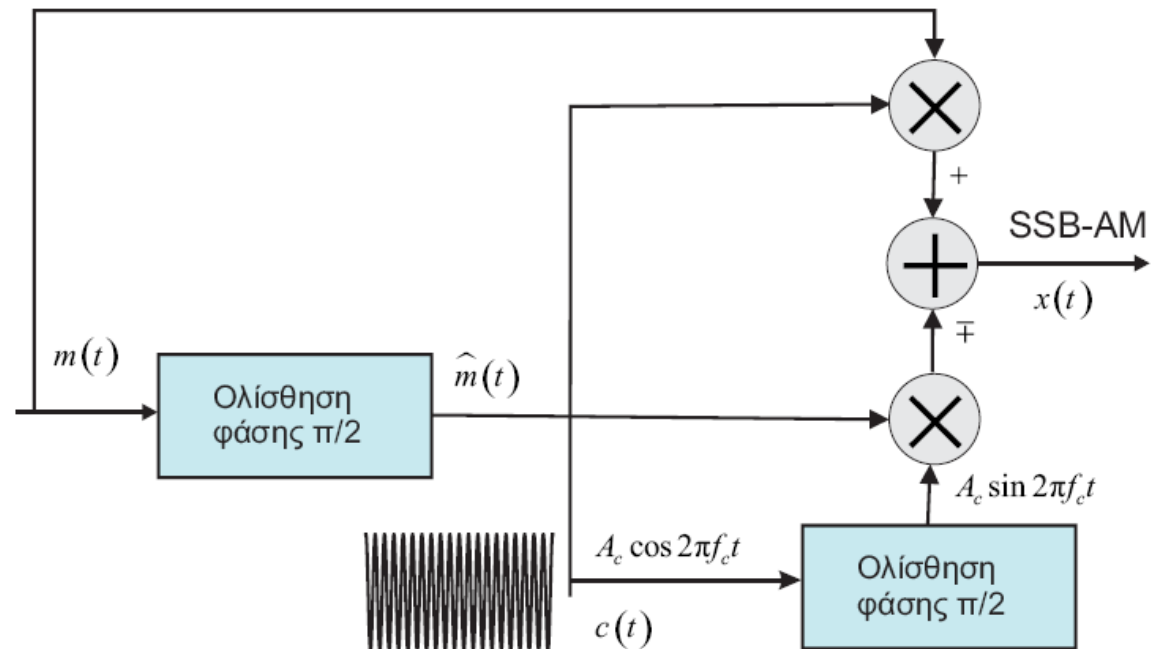
## Single Sideband AM, SSB-AM (3)

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



# Διαμόρφωση μονής πλευρικής ζώνης Single Sideband AM- SSB (1)

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

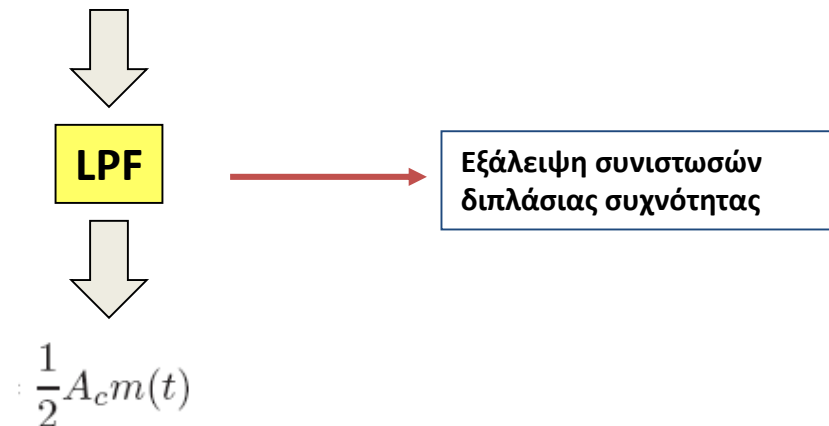
$$x(t) = A_c m(t) \cos 2\pi f_c t \mp A_c \hat{m}(t) \sin 2\pi f_c t$$

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

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

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

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



# Παράδειγμα 4.13 (1)

## Παράδειγμα 4.13

Μία τροποποιημένη μορφή του SSB-AM υλοποιείται με την πρόσθεση μίας συνιστώσας του φέροντος (SSB-AM+C), έτσι ώστε να είναι δυνατή η χρησιμοποίηση ανιχνευτή περιβάλλουσας στο δέκτη.

Περιγράψτε σύντομα τη λειτουργία της τεχνικής αυτής στο πεδίο του χρόνου.

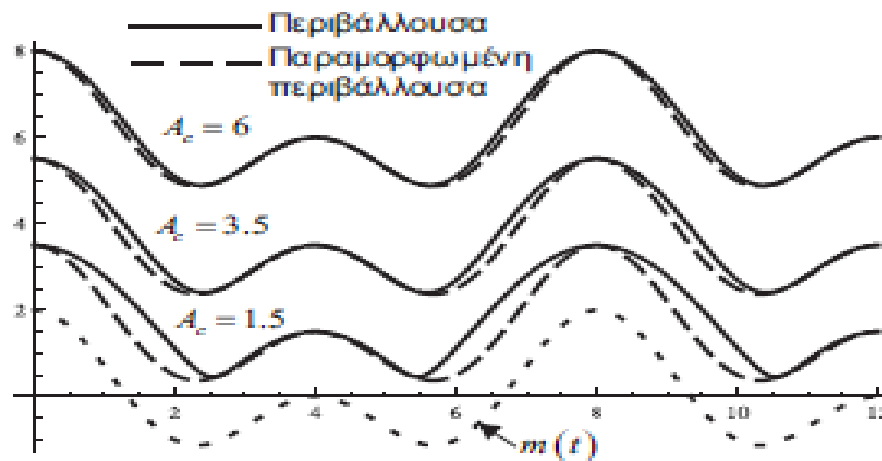


# Παράδειγμα 4.13 (2)

Στο Σχήμα 4.21 φαίνεται η παραμόρφωση της περιβάλλουσας (σύμφωνα με την 4.88) ενός σήματος SSB-AM+C όταν το σήμα πληροφορίας είναι

$$m(t) = \cos \frac{\pi}{4}t + \cos \frac{\pi}{2}t, \quad (4.89)$$

για διάφορες τιμές της συνιστώσας του φέροντος. Η παραμόρφωση είναι εμφανής όταν δεν ισχύει η σχέση  $A_c \gg |m(t)|$ .



Σχήμα 4.21: Παραμόρφωση περιβάλλουσας σε SSB-AM+C





# Διαμόρφωση μονής πλευρικής ζώνης

## Single Sideband AM- SSB (2)

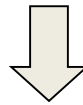
### Μειονεκτήματα-Πλεονεκτήματα

- 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 ζώνης- Vestigial Side Band AM, VSB-AM (1)

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



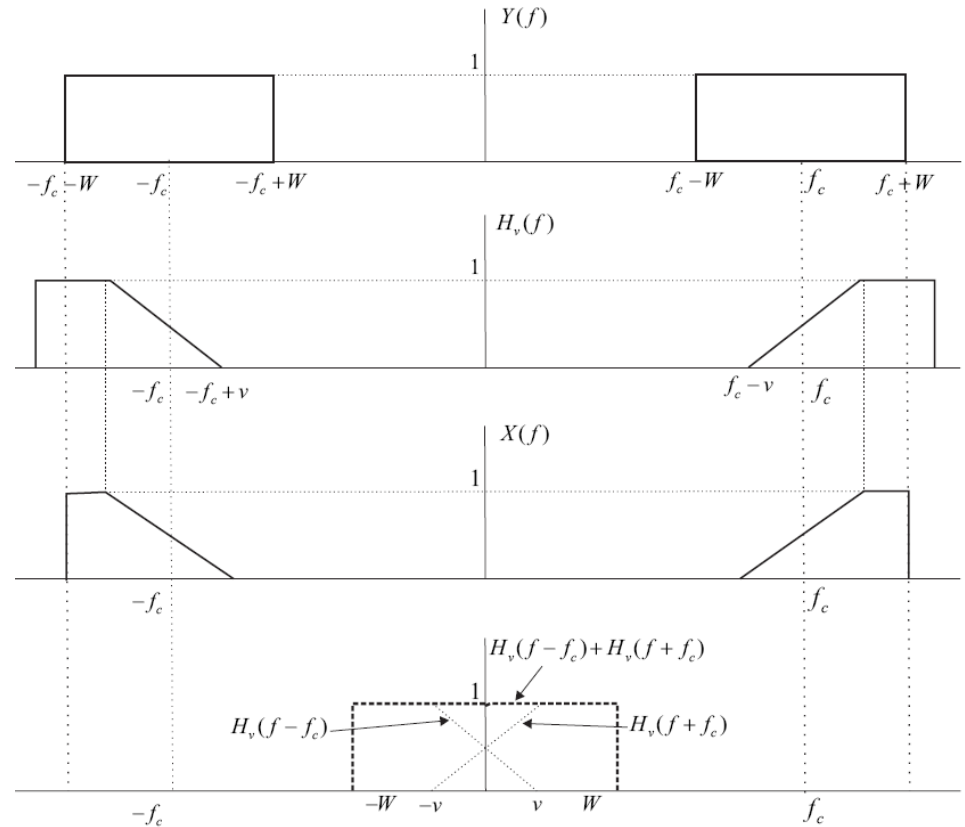
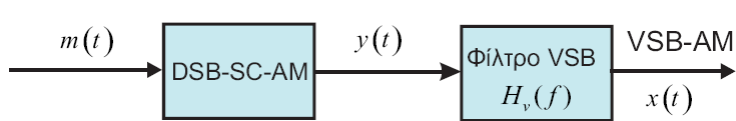
**AM με κατάλοιπο πλευρικής ζώνης- Vestigial Side-band (VSB-AM)**

- 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 (2)



# 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



Τέλος

# Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αθηνών**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο την αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Σημειώματα

# Σημείωμα Ιστορικού Εκδόσεων Έργου

Το παρόν έργο αποτελεί την έκδοση 1.0.

Έχουν προηγηθεί οι κάτωθι εκδόσεις:

- Έκδοση διαθέσιμη [εδώ](#).





# Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Εθνικών και Καποδιστριακών Πανεπιστημίων Αθηνών, Παναγιώτης Μαθιόπουλος. Παναγιώτης Μαθιόπουλος. «Συστήματα Επικοινωνιών. Αναλογικές Επικοινωνίες». Έκδοση: 1.0. Αθήνα 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση: <http://opencourses.uoa.gr/courses/DI114>.



# Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.



# Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.



# Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων

Το Έργο αυτό κάνει χρήση των ακόλουθων έργων:

## **Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/Φωτογραφίες**

"Η δομή και οργάνωση της παρουσίασης, καθώς και το υπόλοιπο περιεχόμενο, αποτελούν πνευματική ιδιοκτησία του συγγραφέα και του Πανεπιστημίου Αθηνών και διατίθενται με άδεια Creative Commons Αναφορά Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή Έκδοση 4.0 ή μεταγενέστερη.

Οι Εικόνες/Σχήματα/Διαγράμματα/φωτογραφίες που περιέχονται στην παρουσίαση αποτελούν πνευματική ιδιοκτησία τρίτων. Απαγορεύεται η αναπαραγωγή, αναδημοσίευση και διάθεσή τους στο κοινό με οποιονδήποτε τρόπο χωρίς τη λήψη άδειας από τους δικαιούχους. "

