Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής τ.ε.
Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Δυτικής Ελλάδας

Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα Ι

Διάλεξη 5: Διαμόρφωση Πλάτους (1/2)

Δρ. Μιχάλης Παρασκευάς
Επίκουρος Καθηγητής

Ατζέντα

- Ορισμοί
- Είδη Διαμόρφωσης
- Διαμόρφωση Διπλής Πλευρικής Ζώνης (DSB)
- Κανονική (συνήθης) διαμόρφωση πλάτους (AM)

Διαμόρφωση Συνεχούς Κύματος

- Το διαμορφωμένο φέρον δίνεται από τη σχέση:

$$x_c(t) = A(t)\cos[\omega_c t + \varphi(t)]$$

- A(t): στιγμιαίο πλάτος ή απλά πλάτος
- φ(t): γωνία φάσης ή απλά φάση

Διαμόρφωση Πλάτους:

- Όταν το πληροφοριακό σήμα m(t) καθορίζει το A(t)

Διαμόρφωση Γωνίας:

- Όταν το πληροφοριακό σήμα m(t) καθορίζει το φ(t)

Διαμόρφωση Πλάτους

Στη διαμόρφωση πλάτους, το διαμορφωμένο φέρον είναι:

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

Είδη Διαμόρφωσης Πλάτους

- Διπλής Πλευρικής Ζώνης – Double Side Band (DSB)
- Κανονική (συνήθης) διαμόρφωση πλάτους (AM)
- Απλής Πλευρικής Ζώνης – Single Side Band (SSB)
- Υπολειπόμενης Πλευρικής Ζώνης – Vestigial Side Band (VSB)

Διαμόρφωση Διπλής Πλευρικής Ζώνης

Double Side Band - DSB

Ορισμός

Το διαμορφωμένο κατά DSB φέρον δίνεται από:

$$x_{DSB}(t) = m(t)\cos(\omega_c t)$$

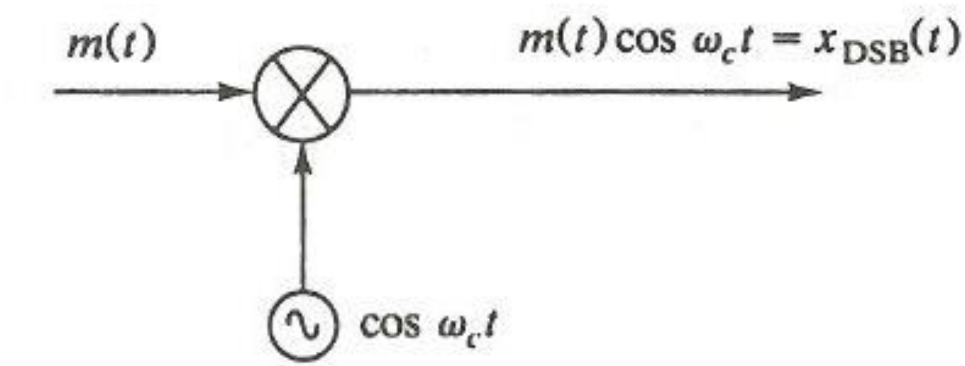
Φάσμα σήματος DSB:

$$\mathrm{X}_{DSB}(\omega) = \frac{1}{2}[\, M(\omega - \omega_c) + M(\omega + \omega_c)]$$

Έγινε εφαρμογή της ιδιότητας της ολίσθησης συχνότητας του μετασχηματισμού Fourier (ιδιότητα διαμόρφωσης).

Δημιουργία Σημάτων DSB

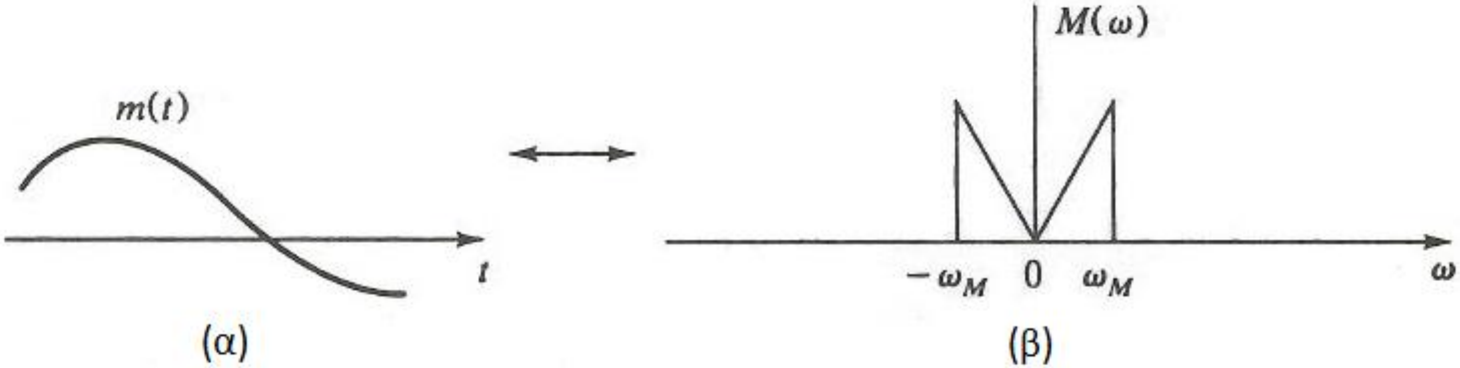
Διαμορφωτής DSB:



Το πληροφοριακό σήμα m(t) πολλαπλασιάζεται με ένα ημιτονοειδές σήμα υψηλής συχνότητας (φέρον σήμα).

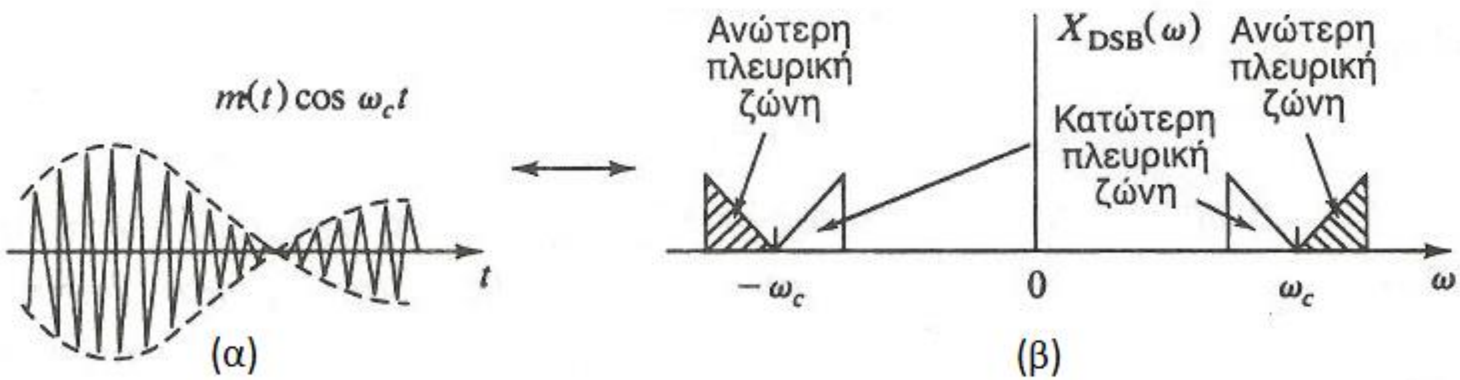
Η συχνότητα του φορέα πρέπει να είναι πολύ μεγαλύτερη από τη συχνότητα του πληροφοριακού σήματος ($\omega_c \gg \omega_m$).

Φάσμα Σημάτων DSB



(α) Πληροφοριακό σήμα m(t)

(β) Φάσμα πληροφοριακού σήματος

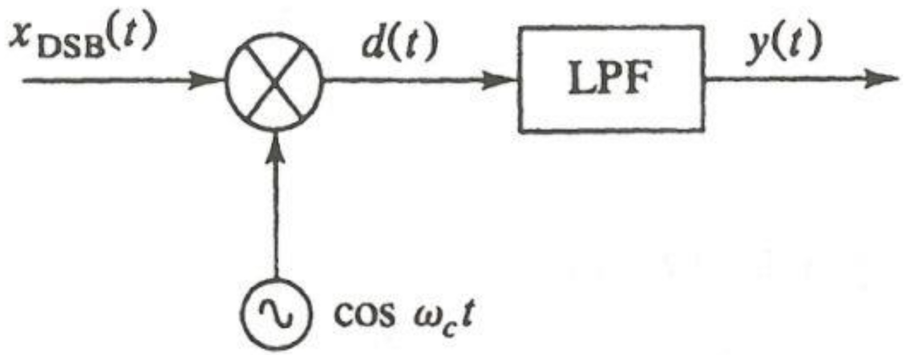


(α) Διαμορφωμένο σήμα $x_{DSB}(t)$

(β) Φάσμα διαμορφωμένου $X_{DSB}(\omega)$

Αποδιαμόρφωση Σημάτων DSB (1/4)

Αποδιαμορφωτής (ανιχνευτής) DSB:



Το διαμορφωμένο σήμα $x_{DSB}(t)$ πολλαπλασιάζεται με ένα **τοπικό φέρον** $\cos(\omega_c t)$ το οποίο παράγεται από έναν **τοπικό ταλαντωτή** και το αποτέλεσμα $d(t)$ φιλτράρεται από ένα βαθυπερατό φίλτρο (LPF) για να προκύψει το αποδιαμορφωμένο σήμα $y(t)$.

Η τεχνική αυτή ονομάζεται **σύγχρονη αποδιαμόρφωση** ή **σύμφωνη ανίχνευση** και παρότι είναι μαθηματικά απλή, στην πράξη αντιμετωπίζει σοβαρά προβλήματα.

Αποδιαμόρφωση Σημάτων DSB (2/4)

Ο πολλαπλασιασμός της τοπικής φέρουσας $cos(\omega_c t)$ με το διαμορφωμένο DSB σήμα $x_{DSB}(t) = m(t)\ cos\omega_c t$, δίνει:

$$d(t) = [m(t)\ cos\ \omega_c t]\ cos(\omega_c t)$$

$$= m(t) \cos^2 \omega_c t$$

$$= \frac{1}{2} m(t) + \frac{1}{2} m(t)\ cos(2\omega_c t)$$

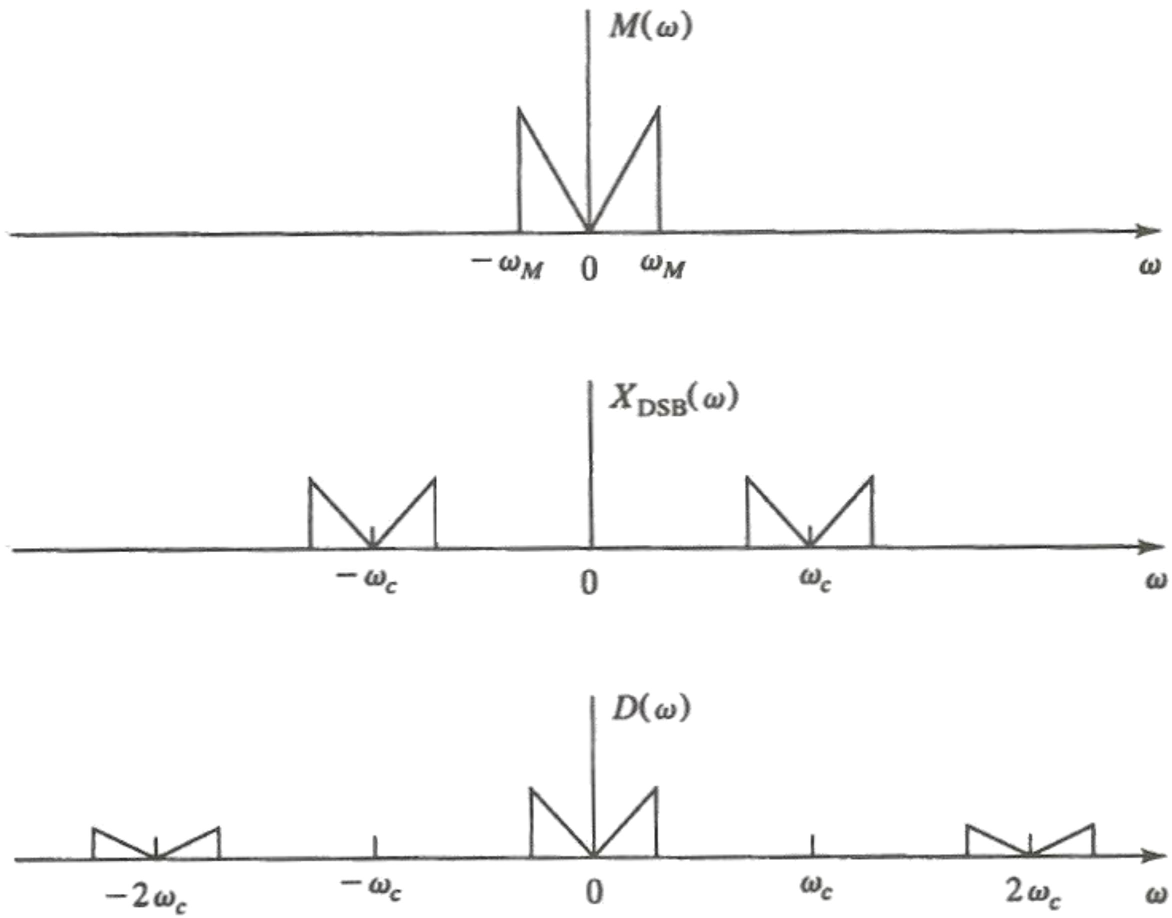
Ο δεύτερος όρος στη δεξιά πλευρά κόβεται από το βαθυπερατό φίλτρο, οπότε το αποδιαμορφωμένο σήμα $y(t)$ δίνεται από:

$$y(t) = \frac{1}{2} m(t)$$

Με απλή ενίσχυση κατά 2, λαμβάνουμε πάλι το αρχικό σήμα $m(t)$.

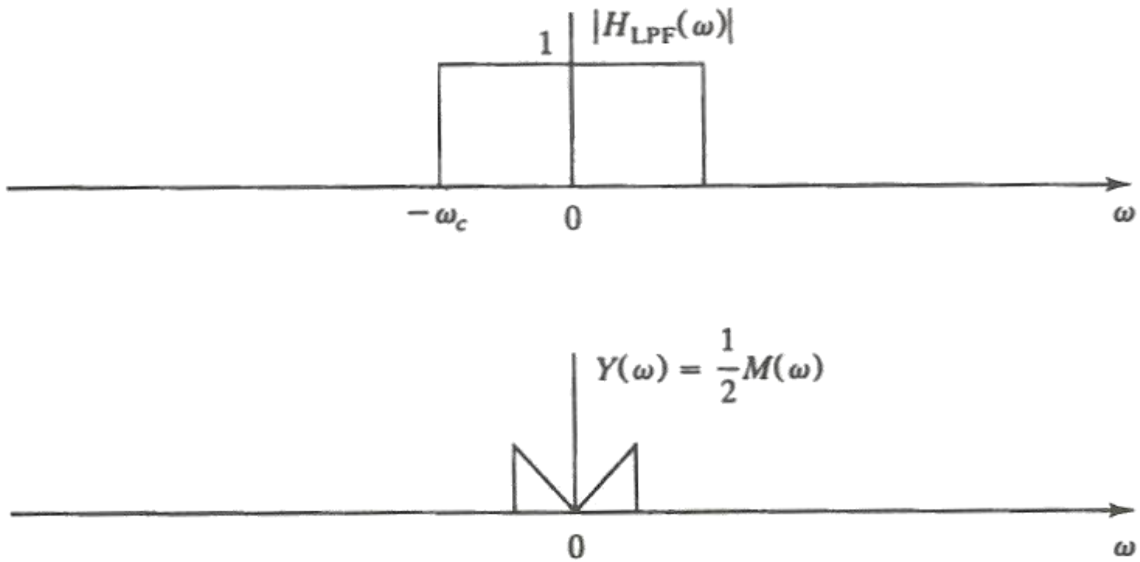
Αποδιαμόρφωση Σημάτων DSB (3/4)

- $M(\omega)$ φάσμα πληροφοριακού σήματος
- $X_{DSB}(\omega)$ φάσμα διαμορφωμένου DSB σήματος
- $D(\omega)$ φάσμα ενδιάμεσου σήματος $d(t)$



Αποδιαμόρφωση Σημάτων DSB (4/4)

- $H_{LPF}(\omega)$ φάσμα στην έξοδο του βαθυπερατού φίλτρου (LPF)
- $Y(\omega)$ φάσμα αποδιαμορφωμένου σήματος $y(t)$



Προβλήματα Σύμφωνης Ανίχνευσης (1/3)

- Παραπάνω αποδείξαμε ότι η **σύγχρονη αποδιαμόρφωση** ή **σύμφωνη ανίχνευση** είναι μαθηματικά πολύ απλή.
- Δυστυχώς όμως στην πράξη αντιμετωπίζει σοβαρά προβλήματα και για το λόγο αυτό δεν χρησιμοποιείται.
- Τα προβλήματα οφείλονται στην παραδοχή που κάναμε ότι ο τοπικός ταλαντωτής του δέκτη παράγει ένα τοπικό φέρον **πανομοιότυπο** του φέροντος που παράγει ο ταλαντωτής του πομπού.
- Αυτό στην πραγματικότητα δεν ισχύει, καθώς είναι πολύ πιθανό μεταξύ των δύο φερόντων (πομπού και δέκτη) να υπάρχουν διαφορές στη **φάση** ή στην **συχνότητα**.
- Τα προβλήματα αυτά διερευνώνται στις επόμενες δύο διαφάνειες.
- Η δυσκολία ανάκτησης (ανίχνευσης – αποδιαμόρφωσης) του DSB σήματος, καθιστά ελάχιστα δημοφιλή την τεχνική αυτή.

Προβλήματα Σύμφωνης Ανίχνευσης (2/3)

Αν η τοπική φέρουσα εμφανίζει **σφάλμα φάσης** (φ), δηλ. είναι $cos(\omega_c t + \varphi)$, τότε ο πολλαπλασιασμός της με το $x_{DSB}(t) = m(t)\ cos\omega_c t$, δίνει:

$$d(t) = [m(t)\ cos\ \omega_c t]\ cos(\omega_c t + \varphi) = \frac{1}{2}m(t)[\cos\varphi + cos(2\omega_c t + \varphi)] =$$
$$= \frac{1}{2}m(t)\cos\varphi + \frac{1}{2}m(t)\ cos(2\omega_c t + \varphi)$$

Ο δεύτερος όρος στη δεξιά πλευρά κόβεται από το βαθυπερατό φίλτρο, οπότε:

$$y(t) = \frac{1}{2}m(t)\ cos\varphi$$

<u>Παρατηρήσεις</u>:

- Το σφάλμα φάσης προκαλεί εξασθένηση του σήματος εξόδου κατά $cos\varphi$.
- Όταν $\varphi = \pm\pi/2$ η έξοδος χάνεται εντελώς.
- Αν το σφάλμα φάσης φ μεταβάλλεται τυχαία με το χρόνο, τότε και η έξοδος θα μεταβάλλεται τυχαία, κάτι που δεν είναι επιθυμητό.

Προβλήματα Σύμφωνης Ανίχνευσης (3/3)

Αν η τοπική φέρουσα εμφανίζει **σφάλμα συχνότητας** (Δω), δηλ. είναι $cos(\omega_c t + \Delta\omega)$, τότε ο πολλαπλασιασμός της με το $x_{DSB}(t) = m(t)\ cos\omega_c t$, δίνει:

$$d(t) = [m(t)\ cos\omega_c t]cos(\omega_c + \Delta\omega)t = \frac{1}{2}m(t)\ cos(\Delta\omega)t + \frac{1}{2}m(t)\ cos2\omega_c t$$

Ο δεύτερος όρος στη δεξιά πλευρά κόβεται από το βαθυπερατό φίλτρο, οπότε:

$$y(t) = \frac{1}{2}m(t)\ cos(\Delta\omega)t$$

Παρατηρούμε ότι η έξοδος $y(t)$ είναι το πληροφοριακό σήμα $m(t)$ πολλαπλασιασμένο με ημιτονοειδές χαμηλής συχνότητας. Πρόκειται για φαινόμενο «διακροτήματος» και είναι μια πολύ ανεπιθύμητη παραμόρφωση.

Συνήθης Διαμόρφωση Πλάτους

Amplitude Modulation - AM

Ορισμός

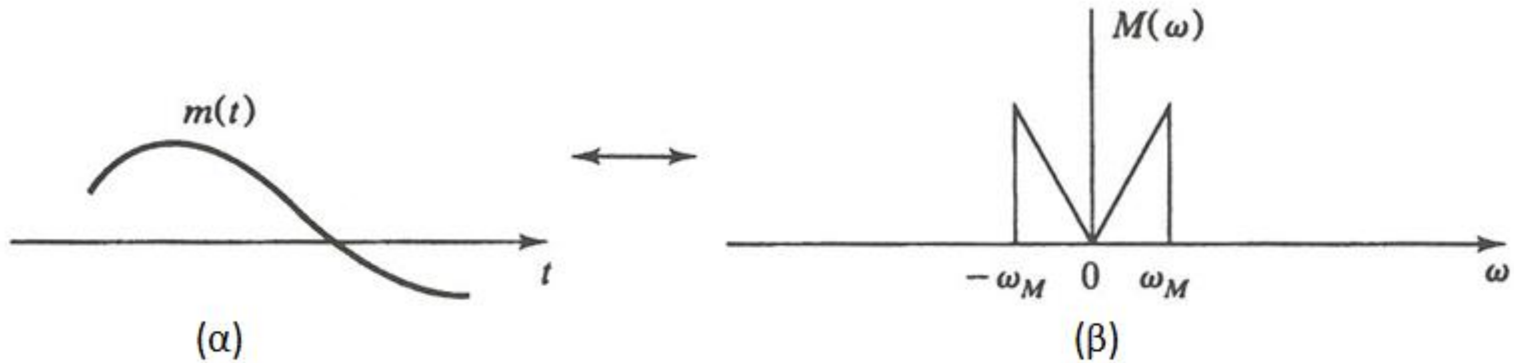
Το σύνηθες σήμα AM προκύπτει με την πρόσθεση μεγάλου φέροντος σήματος στο σήμα DSB και δίνεται από:

$$x_{AM}(t) = m(t)\cos(\omega_c t) + A\cos(\omega_c t) = [m(t) + \mathrm{A}]\cos(\omega_c t)$$

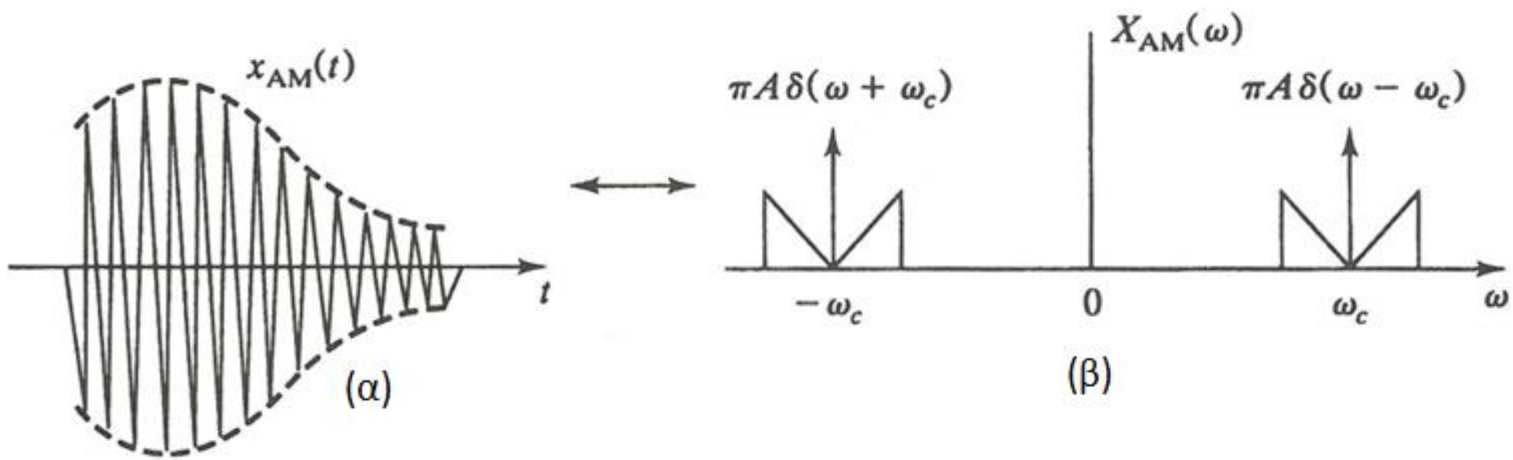
Φάσμα σήματος AM:

$$\mathrm{X}_{\mathrm{AM}}(\omega) = \frac{1}{2}[\, M(\omega - \omega_c) + M(\omega + \omega_c)] + \pi\mathrm{A}\,[\, \delta(\omega - \omega_c) + \delta(\omega + \omega_c)]$$

Φάσμα Σημάτων AM

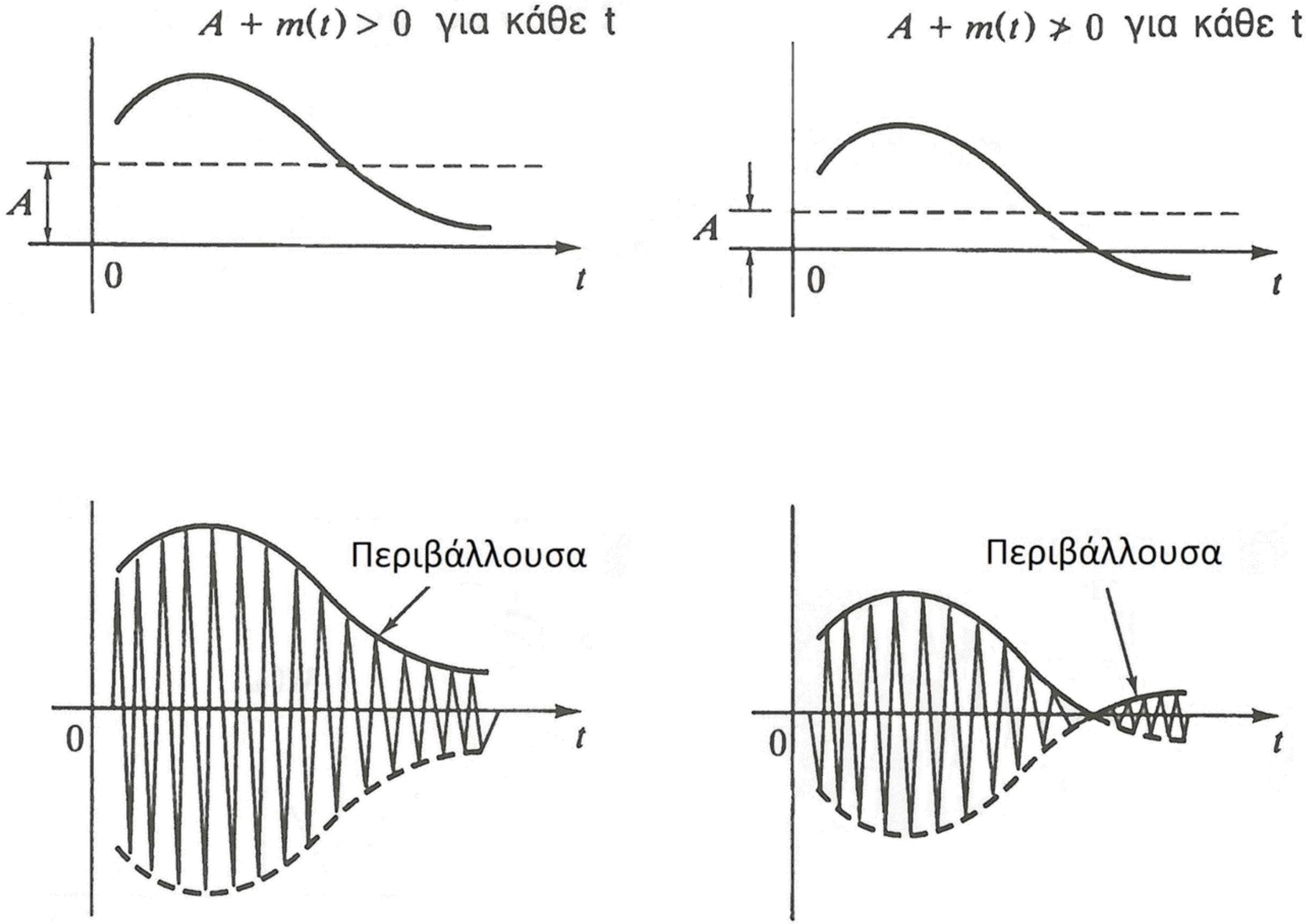


(α) Πληροφοριακό σήμα m(t) (β) Φάσμα πληροφοριακού σήματος



(α) Διαμορφωμένο σήμα $x_{\mathrm{AM}}(t)$ (β) Φάσμα διαμορφωμένου $X_{\mathrm{AM}}(\omega)$

Σήμα ΑΜ και η Περιβάλλουσα του



Δείκτης Διαμόρφωσης

- Ο **δείκτης διαμόρφωσης μ** για την AM ορίζεται ως:

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

Για σωστή αποδιαμόρφωση πρέπει να ισχύει $A \geq |\min\{m(t)\}|$ άρα:

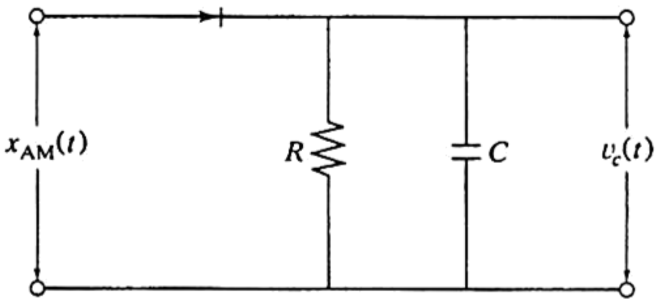
$$\boldsymbol{\mu \leq 1}$$

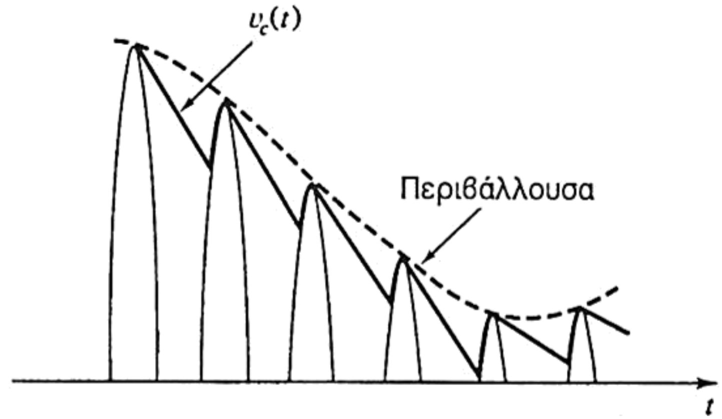
Για $\boldsymbol{\mu > 1}$ λέμε ότι η φέρουσα είναι **υπερδιαμορφωμένη**, πράγμα που έχει ως αποτέλεσμα στην παραμόρφωση της περιβάλλουσας, άρα δεν είναι εφικτή η αποδιαμόρφωση.

Η κατάσταση για $\boldsymbol{\mu = 1}$ ονομάζεται **ιδανική διαμόρφωση** και είναι μία οριακή κατάσταση.

Ανιχνευτής Περιβάλλουσας

- Ο ανιχνευτής περιβάλλουσας μια πολύ απλή διάταξη αποδιαμόρφωσης, που αποτελείται από μία δίοδο, έναν πυκνωτή και μία αντίσταση.

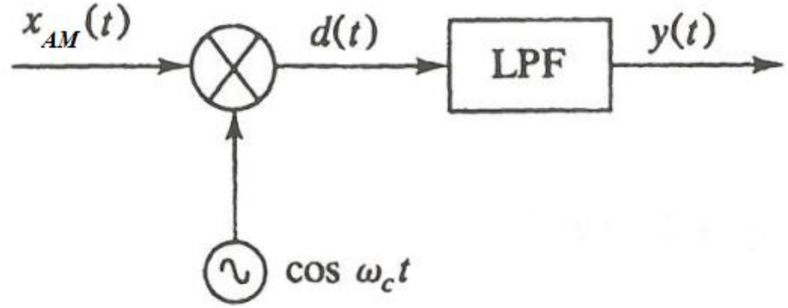




- Στη διάρκεια της θετικής ημιπεριόδου του σήματος $x_{AM}(t)$, η δίοδος έχει θετική πόλωση και ο πυκνωτής φορτίζεται γρήγορα στη μέγιστη τιμή του σήματος $x_{AM}(t)$.
- Όταν το σήμα $x_{AM}(t)$ πέφτει κάτω από τη μέγιστη τιμή του, η δίοδος παύει να λειτουργεί και ο πυκνωτής εκφορτίζεται αργά.
- Η τάση στα άκρα του πυκνωτή $x_c(t)$ είναι μία προσέγγιση του πληροφοριακού σήματος $m(t)$.
- Για σωστή λειτουργία του ανιχνευτή περιβάλλουσας πρέπει $\omega_c \gg \omega_m$.

Σύμφωνος Ανιχνευτής AM

Το διαμορφωμένο σήμα $x_{\mathrm{AM}}(t)$ πολλαπλασιάζεται με ένα **τοπικό φέρον** $\cos(\omega_c t)$ και το αποτέλεσμα $d(t)$ φιλτράρεται από ένα βαθυπερατό φίλτρο (LPF) για να προκύψει το αποδιαμορφωμένο σήμα $y(t)$.



$$d(t) = x_{AM}(t)cos\omega_c t = [A + m(t)]cos^2\omega_c t$$
$$= \frac{1}{2}[A + m(t)] + \frac{1}{2}[A + m(t)]cos2\omega_c t$$

Μετά από βαθυπερατό φιλτράρισμα, λαμβάνουμε

$$y(t) = \frac{1}{2}[A + m(t)] = \frac{1}{2}m(t) + \frac{1}{2}A$$

Ένας πυκνωτής θα καταπιέσει τον όρο συνεχούς ρεύματος $\frac{1}{2}A$, οπότε η έξοδος θα είναι $\frac{1}{2}m(t)$.

Άσκηση 1

Να σχεδιαστεί το κανονικό σήμα AM για διαμόρφωση απλού τόνου με δείκτες διαμόρφωσης $\mu = 0.5\ \kappa\alpha\iota\ \mu = 1$.

<u>Απάντηση</u>: Για διαμόρφωση απλού τόνου $m(t) = a_m\, cos\omega_m t$ ο δείκτης διαμόρφωσης είναι:

$$\mu = \frac{|min\{m(t)\}|}{A} = \frac{a_m}{A} \Rightarrow \alpha_m = \mu \mathrm{A}$$

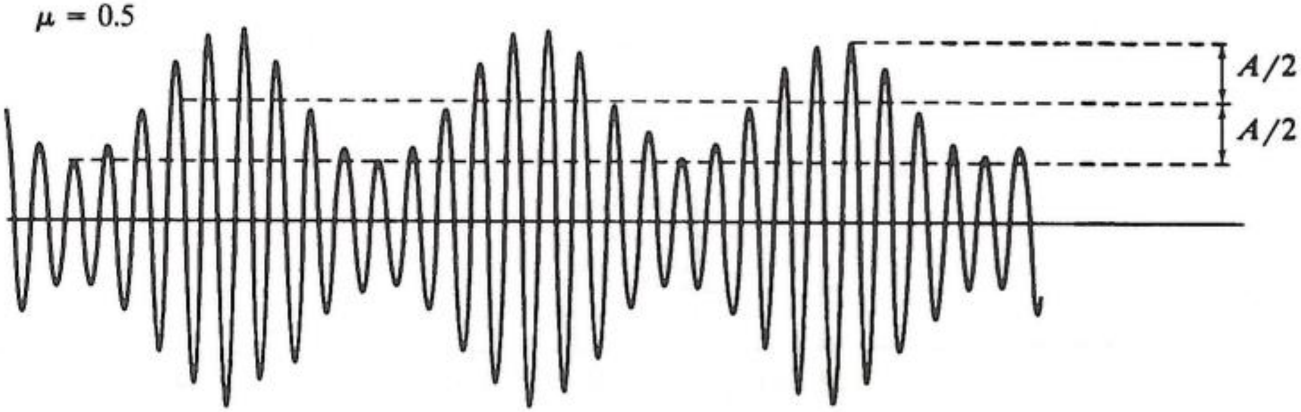
Άρα $m(t) = \mu A\, cos\omega_m t$

Το διαμορφωμένο AM σήμα δίνεται από:

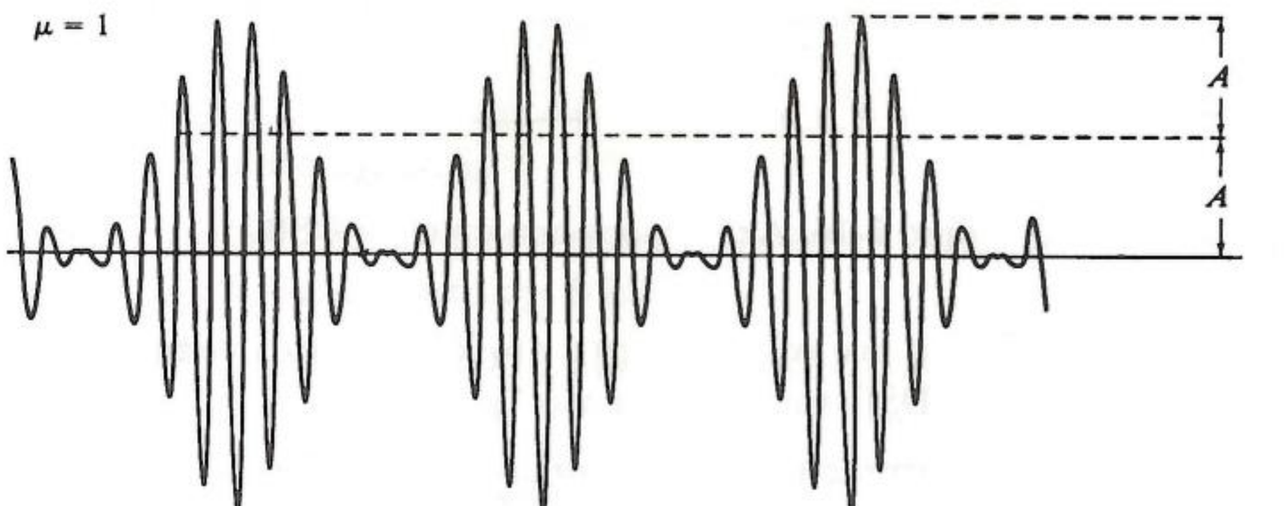
$$x_{AM}(t) = [A + m(t)] \cos \omega_c\, t = A[1 + \mu\, cos\omega_m t]\, cos\omega_c t$$

Στην επόμενη διαφάνεια φαίνονται τα κανονικά σήματα AM που αντιστοιχούν σε (α) $\mu = 0.5\ \kappa\alpha\iota\ (b)\mu = 1$, αντίστοιχα.

Άσκηση 1 (συνέχεια)



(a)



(b)

Άσκηση 2

Η **απόδοση $\boldsymbol{\eta}$** της συνήθους AM ορίζεται σαν το ποσοστό της συνολικής ισχύος που μεταφέρεται από τις πλευρικές ζώνες, δηλ. $\boldsymbol{\eta = (P_S/P_t) \times 100\%}$, όπου P_s είναι η ισχύς που μεταφέρεται από τις πλευρικές ζώνες και P_t είναι η συνολική ισχύς του σήματος AM.

1) Να βρεθεί το η για $\mu = 0.5$ (διαμόρφωση 50%)
2) Να δειχθεί ότι για AM απλού τόνου, το η_{max} είναι 33,3% για $\mu = 1$

Απάντηση: Το σήμα AM απλού τόνου εκφράζεται σαν:

$$x_{AM}(t) = [A + m(t)]\, cos\omega_c t = A\cos\omega_c t + \mu A\, cos\omega_m t\, cos\omega_c\, t$$
$$= A\cos\omega_c\, t + \frac{1}{2}\mu\, A\, cos(\omega_c - \omega_m)t + \frac{1}{2}\mu\, A\, cos(\omega_c + \omega_m)t$$

Η ισχύς του φορέα είναι:

$$P_c = \frac{1}{2}A^2$$

Άσκηση 2 (συνέχεια)

Η ισχύς των πλευρικών ζωνών είναι:

$$P_s = \frac{1}{2}\left[\left(\frac{1}{2}\mu\, A\right)^2 + \left(\frac{1}{2}\mu\, A\right)^2\right] = \frac{1}{4}\mu^2 A^2$$

Η συνολική ισχύς P_t είναι:

$$P_t = P_c + P_s = \frac{1}{2}A^2 + \frac{1}{4}\mu^2 A^2 = \frac{1}{2}\left(1 + \frac{1}{2}\mu^2\right)A^2$$

Επομένως, η απόδοση ισχύος (για $\mu \leq 1$) είναι:

$$\eta = \frac{P_s}{P_t} \times 100\% = \frac{\frac{1}{4}\mu^2 A^2}{\left(\frac{1}{2} + \frac{1}{4}\mu^2\right)A^2} \times 100\% = \frac{\mu^2}{2 + \mu^2} \times 100\%$$

Άσκηση 2 (συνέχεια)

1) Για $\mu = 0.5$, ο συντελεστής απόδοσης είναι:

$$\eta = \frac{(0.5)^2}{2 + (0.5)^2} \times 100\% = 11.1\%$$

2) Επειδή $\mu \leq 1$, φαίνεται ότι το η_{max} συμβαίνει για $\mu = 1$ και δίνεται από την

$$\eta = \frac{1}{3} \times 100\% = 33.3\%$$