



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα ΠΠ

Συστήματα Επικοινωνιών

Ενότητα 5: Διαμορφώσεις γωνίας

Μιχαήλ Λογοθέτης

Πολυτεχνική Σχολή

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών
και Τεχνολογίας Υπολογιστών

Σκοποί ενότητας

- Παρουσίαση της διαμόρφωσης συχνότητας και διαμόρφωσης φάσης
- Καθορισμός του φάσματος και της ισχύος στη διαμόρφωση γωνίας
- Περιγραφή της διαμόρφωσης γωνίας από ημιτονοειδές σήμα
- Παρουσίαση διατάξεων διαμόρφωσης συχνότητας



Περιεχόμενα ενότητας

- ❑ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΓΩΝΙΑΣ
- ❑ ΦΑΣΜΑ ΚΑΙ ΙΣΧΥΣ ΣΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΓΩΝΙΑΣ
- ❑ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΓΩΝΙΑΣ ΑΠΟ ΗΜΙΤΟΝΟΕΙΔΕΣ ΣΗΜΑ
- ❑ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΓΩΝΙΑΣ ΣΤΕΝΟΥ ΕΥΡΟΥΣ ΖΩΝΗΣ
- ❑ ΔΙΑΜΟΡΦΩΤΕΣ FM



Περιεχόμενα ενότητας

ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΓΩΝΙΑΣ

ΦΑΣΜΑ ΚΑΙ ΙΣΧΥΣ ΣΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΓΩΝΙΑΣ

ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΓΩΝΙΑΣ ΑΠΟ ΗΜΙΤΟΝΟΕΙΔΕΣ ΣΗΜΑ

ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΓΩΝΙΑΣ ΣΤΕΝΟΥ ΕΥΡΟΥΣ ΖΩΝΗΣ

ΔΙΑΜΟΡΦΩΤΕΣ FM



Διαμόρφωση γωνίας (Angle Modulation)

- ✓ Διαμόρφωση συχνότητας (Frequency Modulation-FM)
- ✓ Διαμόρφωση Φάσης (Phase Modulation-PM)
- ✓ Μη γραμμικές λειτουργίες, δύσκολες στην ανάλυση
- ✓ Διαστολή του εύρους ζώνης
- ✓ Αντοχή στο θόρυβο



EDWIN H. ARMSTRONG
1890 - 1954



Honeymooning in Palm Beach in 1923. Armstrong's wedding present to his wife was the first portable radio.



Μαθηματική παρουσίαση των FM και PM σημάτων (1/2)

$$x(t) = A_c \cos \theta(t)$$

Διαμορφωμένο σήμα

$$\theta(t) = 2\pi f_c t + \phi(t)$$

Γωνία σήματος

$$f_i(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\theta(t)}{dt} = f_c + \frac{1}{2\pi} \frac{d\phi(t)}{dt}$$

Στιγμιαία συχνότητα

Phase Modulation – PM

$$\phi(t) = K_p m(t)$$

Φάση (K_p : Ευαισθησία φάσης rad/V)

$$\beta_p = \Delta\phi_{\max} = K_p \max |m(t)|$$

Δείκτης διαμόρφωσης



Μαθηματική παρουσίαση των FM και PM σημάτων (2/2)

Frequency Modulation – FM

$$\frac{d\phi(t)}{dt} = 2\pi K_f m(t)$$

K_f : Ευαισθησία φάσης (Hz/V)

$$\phi(t) = 2\pi K_f \int_{-\infty}^t m(\tau) d\tau$$

Φάση

$$f_i(t) = f_c + K_f m(t)$$

Στιγμιαία συχνότητα

$$\beta_f = \frac{\Delta f_{\max}}{W} = \frac{K_f \max |m(t)|}{W}$$

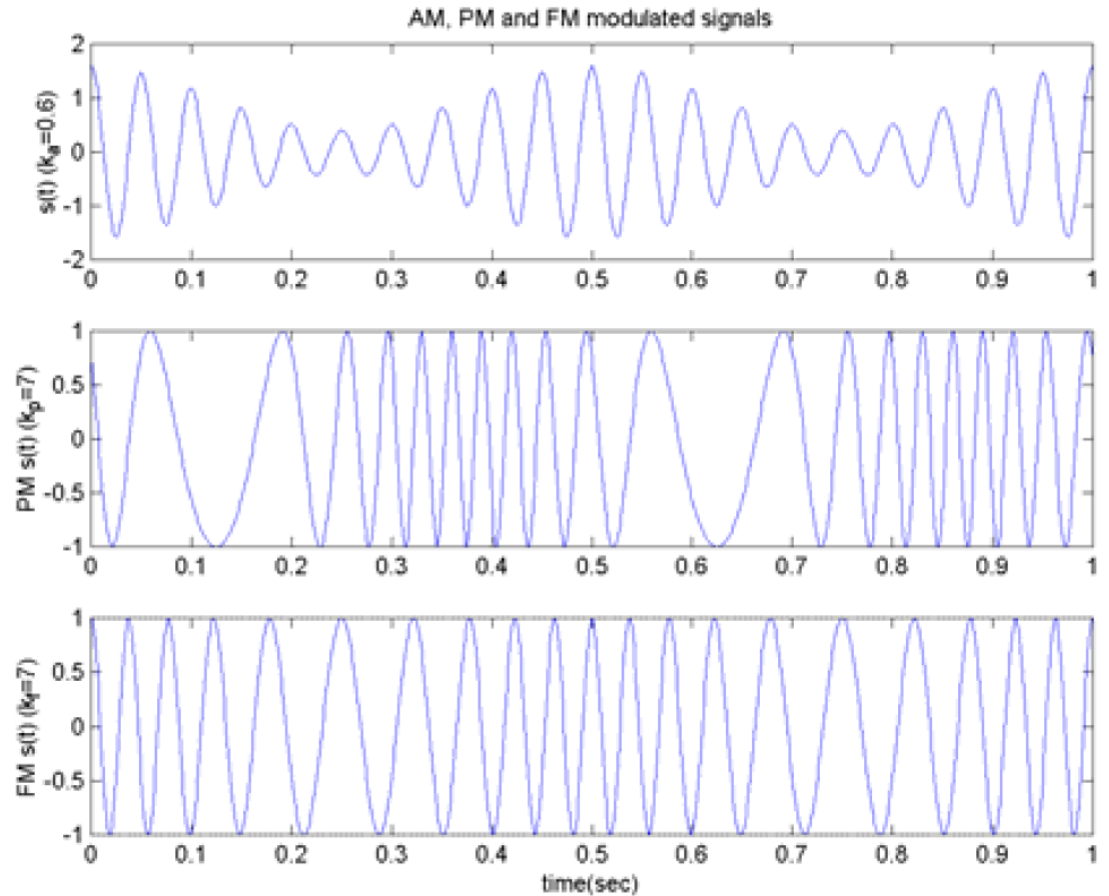
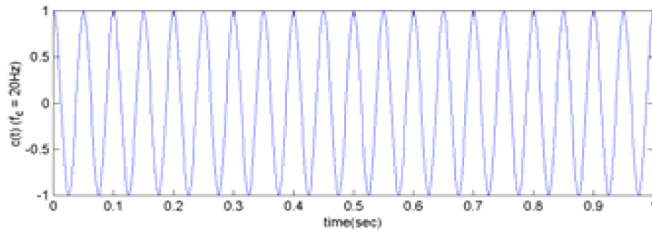
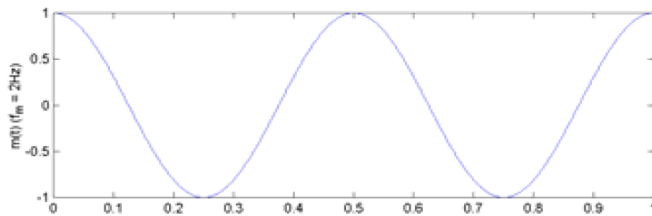
Δείκτης διαμόρφωσης

$$\phi(t) = \begin{cases} K_p m(t), & \text{PM} \\ 2\pi K_f \int_{-\infty}^t m(\tau) d\tau, & \text{FM.} \end{cases}$$

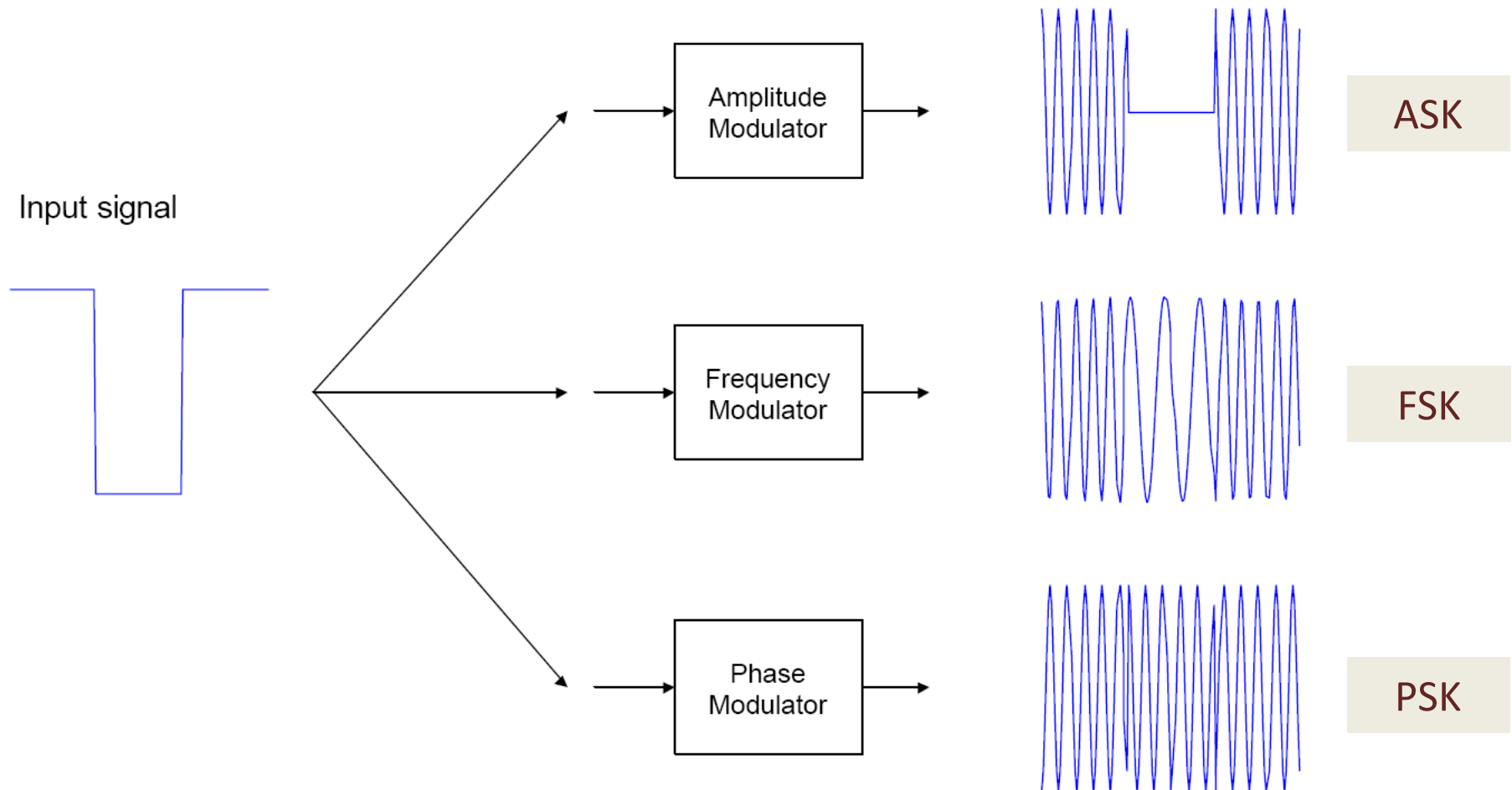
Η διαμόρφωση κατά φάση με το ολοκλήρωμα ενός μηνύματος είναι ισοδύναμη πράξη με την διαμόρφωση κατά συχνότητα με το αρχικό μήνυμα



Παράδειγμα AM, FM και PM σημάτων



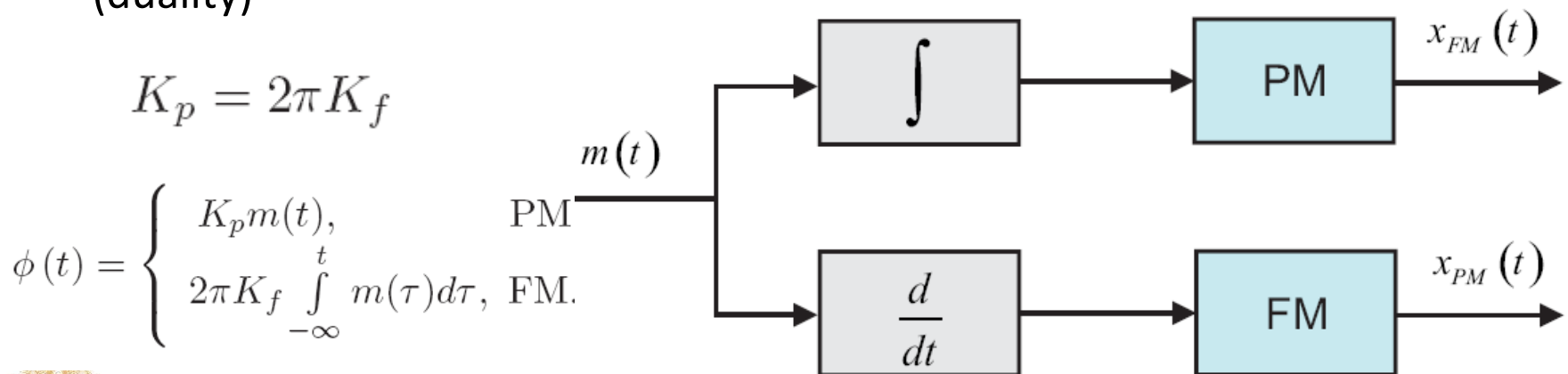
Παράδειγμα AM, FM και PM σημάτων σε είσοδο παλμοσειράς



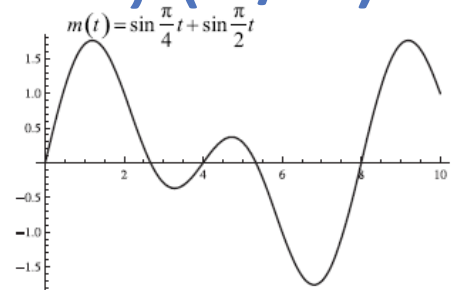
Συμπεράσματα για την διαμόρφωση γωνίας (1/2)

$$x(t) = A_c \cos 2\pi f_c t \cos \phi(t) - A_c \sin 2\pi f_c t \sin \phi(t)$$

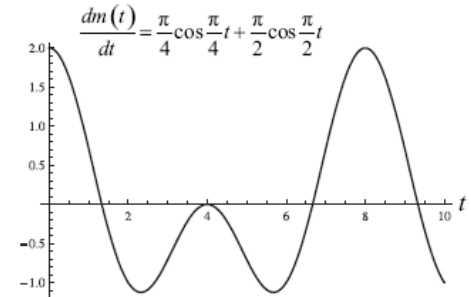
- ✓ Σε αντίθεση με τις διαμορφώσεις πλάτους, τα δύο ορθογώνια φέρονται διαμορφώνονται κατά πλάτος από τις μη-γραμμικές συναρτήσεις $\cos \phi(t)$ και $\sin \phi(t)$. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η διαμόρφωση γωνίας να είναι μία έντονα μη-γραμμική διαδικασία, στην οποία δεν ισχύει η αρχή της υπέρθεσης.
- ✓ Οι διαμορφώσεις PM και FM παρουσιάζουν την ιδιότητα της δυϊκότητας (duality)



Συμπεράσματα για την διαμόρφωση γωνίας (2/2)



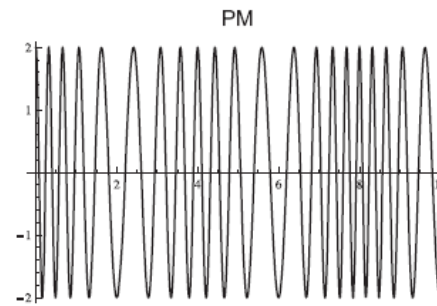
(α)



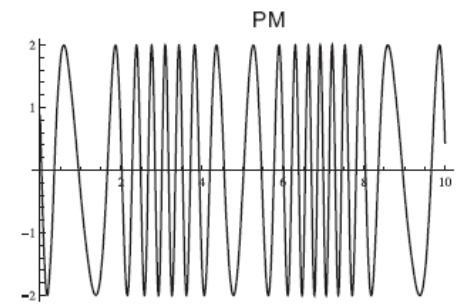
(β)

$$K_p = 2\pi K_f$$

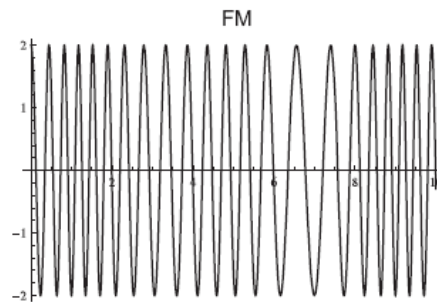
$$\phi(t) = \begin{cases} K_p m(t), & \text{PM} \\ 2\pi K_f \int_{-\infty}^t m(\tau) d\tau, & \text{FM.} \end{cases}$$



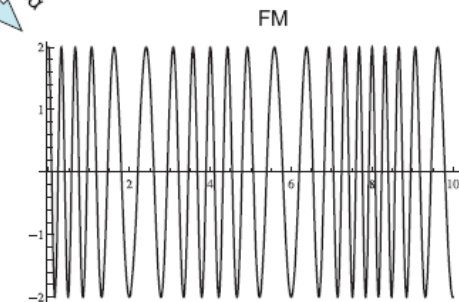
(γ)



(δ)



(ε)



(στ)

Ισοδυναμία



Παράδειγμα

Αν το σήμα πληροφορίας βασικής ζώνης είναι:

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

να βρεθούν οι αναλυτικές σχέσεις στο πεδίο του χρόνου για τα σήματα PM και FM.

$$\begin{aligned}x_{PM}(t) &= A_c \cos[2\pi f_c t + K_p m(t)] \\ &= A_c \cos[2\pi f_c t + K_p a \cos 2\pi f_m t] \\ &= A_c \cos[2\pi f_c t + \beta_p \cos 2\pi f_m t]\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}x_{FM}(t) &= A_c \cos \left[2\pi f_c t + 2\pi K_f \int_{-\infty}^t m(\tau) d\tau \right] \\ &= A_c \cos \left[2\pi f_c t + \frac{K_f a}{f_m} \sin 2\pi f_m t \right] \\ &= A_c \cos[2\pi f_c t + \beta_f \sin 2\pi f_m t],\end{aligned}$$



Περιεχόμενα ενότητας

- ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΓΩΝΙΑΣ
- ΦΑΣΜΑ ΚΑΙ ΙΣΧΥΣ ΣΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΓΩΝΙΑΣ
- ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΓΩΝΙΑΣ ΑΠΟ ΗΜΙΤΟΝΟΕΙΔΕΣ ΣΗΜΑ
- ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΓΩΝΙΑΣ ΣΤΕΝΟΥ ΕΥΡΟΥΣ ΖΩΝΗΣ
- ΔΙΑΜΟΡΦΩΤΕΣ FM



Φάσμα και ισχύς σημάτων με διαμόρφωση γωνίας (1/2)

$$x(t) = A_c \cos 2\pi f_c t \cos \phi(t) - A_c \sin 2\pi f_c t \sin \phi(t) \quad \text{Διαμορφωμένο σήμα}$$

$$\mathcal{F}[x(t)] = \mathcal{F}[A_c \cos 2\pi f_c t \cos \phi(t)] - \mathcal{F}[A_c \sin 2\pi f_c t \sin \phi(t)] =$$

$$= \frac{1}{2} A_c \mathcal{F}[\cos \phi(t)] \Big|_{f-f_c} + \frac{1}{2} \mathcal{F}[\cos \phi(t)] \Big|_{f+f_c} \\ - \frac{1}{2} A_c (-j) \mathcal{F}[\sin \phi(t)] \Big|_{f-f_c} - \frac{1}{2} j \mathcal{F}[\sin \phi(t)] \Big|_{f+f_c}$$

Φάσμα σήματος

$$\cos \phi(t) = 1 - \frac{\phi^2(t)}{2!} + \frac{\phi^4(t)}{4!} - \dots$$

$$\sin \phi(t) = \phi(t) - \frac{\phi^3(t)}{3!} + \frac{\phi^5(t)}{5!} - \dots,$$

Αναπτύγματα
τριγωνομετρικών
συναρτήσεων



Φάσμα και ισχύς σημάτων με διαμόρφωση γωνίας (2/2)

$$x(t) = A_c \cos 2\pi f_c t - A_c \frac{\phi^2(t)}{2!} \cos 2\pi f_c t + \dots \\ - A_c \phi(t) \sin 2\pi f_c t + A_c \frac{\phi^3(t)}{3!} \sin 2\pi f_c t - \dots$$

Διαμορφωμένο σήμα

$$B \simeq 2W(\beta + 1)$$



Ενεργό εύρος ζώνης
Κανόνας του Carson

Περιλαμβάνει τουλάχιστον
το 99% της συνολικής ισχύος



Περιεχόμενα ενότητας

- ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΓΩΝΙΑΣ
- ΦΑΣΜΑ ΚΑΙ ΙΣΧΥΣ ΣΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΓΩΝΙΑΣ
- ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΓΩΝΙΑΣ ΑΠΟ ΗΜΙΤΟΝΟΕΙΔΕΣ ΣΗΜΑ
- ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΓΩΝΙΑΣ ΣΤΕΝΟΥ ΕΥΡΟΥΣ ΖΩΝΗΣ
- ΔΙΑΜΟΡΦΩΤΕΣ FM



Διαμόρφωση γωνίας από ημιτονοειδές σήμα (1/4)

Αν το σήμα πληροφορίας βασικής ζώνης είναι:

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

να βρεθεί μία αναλυτική σχέση για το φάσμα του σήματος FM. Επίσης, να σχεδιαστεί η θετική περιοχή συχνοτήτων του ενεργού εύρους ζώνης όταν $a = 1$, $f_m = 1$ Hz, $f_c = 100$ Hz, $A_c = 2$, $\beta_f = 2$

$$\begin{aligned} x_{FM}(t) &= A_c \cos[2\pi f_c t + \beta_f \sin 2\pi f_m t] \\ &= A_c \cos 2\pi f_c t \cos(\beta_f \sin 2\pi f_m t) - A_c \sin 2\pi f_c t \sin(\beta_f \sin 2\pi f_m t). \end{aligned}$$

Σήμα FM

$$\cos[\beta_f \sin 2\pi f_m t] = a_0 + 2a_2 \cos 4\pi f_m t + 2a_4 \cos 8\pi f_m t + \dots$$

$$\sin[\beta_f \sin 2\pi f_m t] = 2a_1 \sin 2\pi f_m t + 2a_3 \sin 6\pi f_m t + \dots$$

Ανάπτυγμα ημιτονοειδών συναρτήσεων



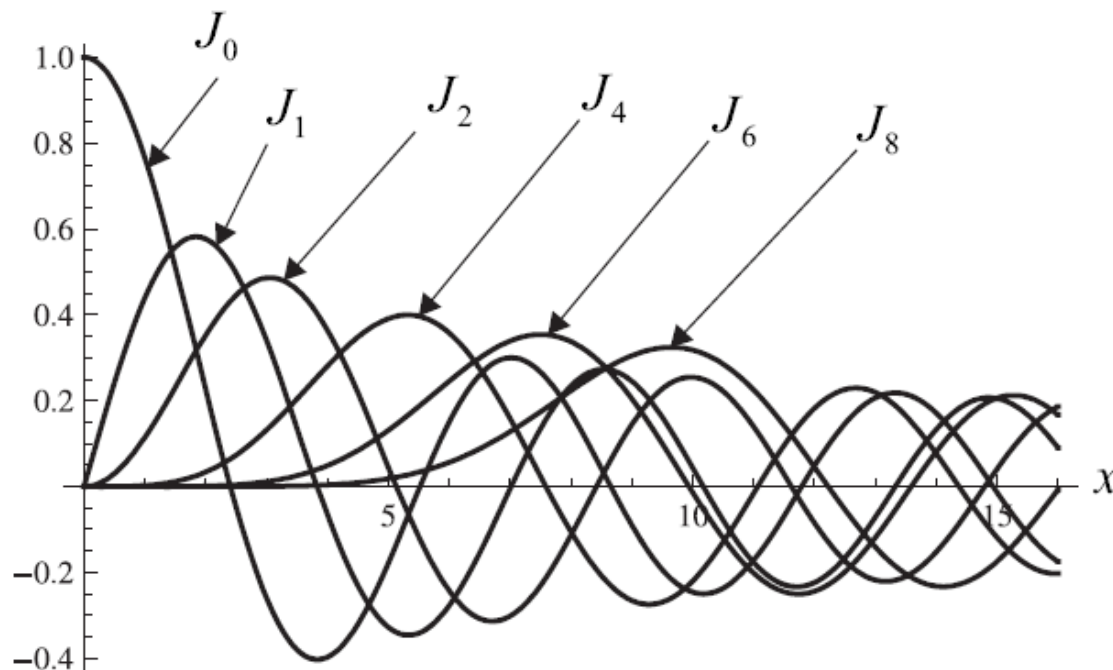
Διαμόρφωση γωνίας από ημιτονοειδές σήμα (2/4)

$$a_k = J_k(\beta_f)$$

Σταθερές a_k

$$J_k(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} e^{-j(kz - x \sin z)} dz$$

Συναρτήσεις Bessel



Διαμόρφωση γωνίας από ημιτονοειδές σήμα (3/4)

$$\begin{aligned}x_{FM}(t) &= A_c \{ J_0(\beta_f) \cos 2\pi f_c t \\ &- J_1(\beta_f) [\cos\{2\pi(f_c - f_m)t\} - \cos\{2\pi(f_c + f_m)t\}] \\ &+ J_2(\beta_f) [\cos\{2\pi(f_c - 2f_m)t\} + \cos\{2\pi(f_c + 2f_m)t\}] \\ &- J_3(\beta_f) [\cos\{2\pi(f_c - 3f_m)t\} - \cos\{2\pi(f_c + 3f_m)t\}] + \dots \} \\ &= A_c \sum_{k=-\infty}^{\infty} J_k(\beta_f) \cos[2\pi(f_c + kf_m)t].\end{aligned}$$

Σήμα FM

$$J_{-n}(z) = (-1)^n J_n(z) \quad ; \quad n \in \mathbb{Z}$$

Ιδιότητα συναρτήσεων Bessel

$$\cos z = \operatorname{Re} \{ e^{jz} \} \quad \longrightarrow \quad x_{FM}(t) = A_c \operatorname{Re} \left\{ \sum_{k=-\infty}^{\infty} J_k(\beta_f) e^{jk2\pi f_m t} e^{j2\pi f_c t} \right\}$$



Διαμόρφωση γωνίας από ημιτονοειδές σήμα (4/4)

- Το εύρος ζώνης του σήματος FM είναι θεωρητικά άπειρο και αποτελείται από το φέρον και φασματικές συνιστώσες υπό τη μορφή συναρτήσεων Δέλτα στις συχνότητες $f_c \pm kf_m$, k : ακέραιος
- Οι περιττής τάξης φασματικές συνιστώσες παρουσιάζουν διαφορά φάσης ίση με π .
- Για συγκεκριμένες τιμές του β_f , καθώς μεγαλώνει το k , μειώνεται το $J_k(\beta_f)$ και επομένως και το πλάτος των φασματικών συνιστωσών. Πρακτικά, όταν $\beta_f < k$, τότε η $J_k(\beta_f)$ είναι σχεδόν ίση με μηδέν,

$$B = 2W(\beta_f + 1) = 2f_m(\beta_f + 1)$$

Ισχύς

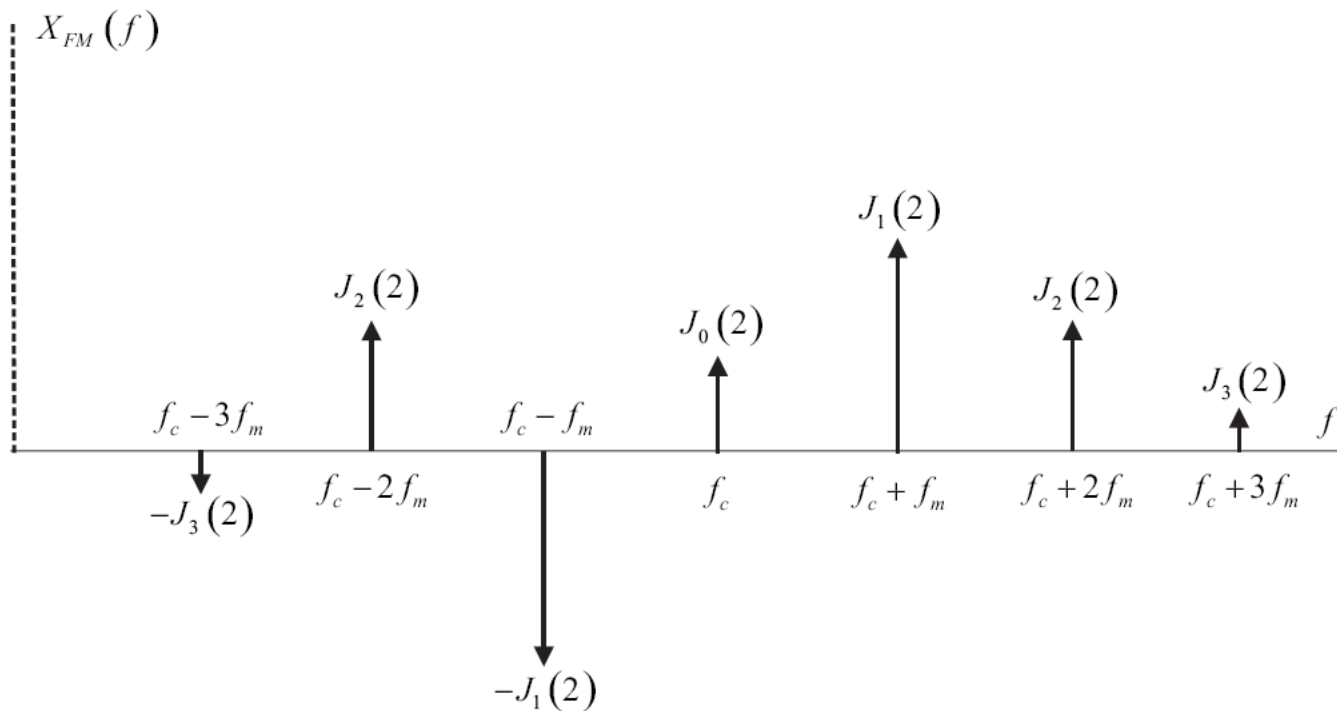
$$\mathcal{P}_{FM} = \frac{1}{2}A_c^2[J_0^2(\beta_f) + 2J_1^2(\beta_f) + 2J_2^2(\beta_f) + \dots] = \frac{1}{2}A_c^2$$

$$\sum_{k=-\infty}^{\infty} J_k^2(x) = 1$$



Ενεργό εύρος ζώνης FM σήματος (1/2)

Παράδειγμα: $m(t) = \cos \frac{\pi}{4}t$, $A_c = 2$ $\beta_f = 2$



Φάσμα διαμορφωμένου σήματος



Ενεργό εύρος ζώνης FM σήματος (2/2)

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1 ΤΙΜΕΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΗΣ BESSEL

n	$\beta = 0.1$	$\beta = 0.2$	$\beta = 0.5$	$\beta = 1$	$\beta = 2$	$\beta = 5$	$\beta = 8$	$\beta = 10$
0	0.997	0.990	0.938	0.765	0.224	-0.178	0.172	-0.246
1	0.050	0.100	0.242	<u>0.440</u>	<u>0.577</u>	-0.328	0.235	0.043
2	0.001	0.005	0.031	<u>0.115</u>	0.353	0.047	-0.113	0.255
3				0.020	<u>0.129</u>	0.365	-0.291	0.058
4				0.002	0.034	<u>0.391</u>	-0.105	-0.220
5					0.007	0.261	0.186	-0.234
6					0.001	<u>0.131</u>	0.338	-0.014
7						0.053	<u>0.321</u>	0.217
8						0.018	0.223	<u>0.318</u>
9						0.006	<u>0.126</u>	0.292
10						0.001	0.061	0.207
11							0.026	<u>0.123</u>
12							0.010	0.063
13							0.003	0.029
14							0.001	0.012
15								0.004
16								0.001

(Από τους Ziemer και Tranter, ©1990 Houghton Mifflin. Ανατύπωση κατόπιν αδείας.)



Επίδραση πλάτους-συχνότητας στο ενεργό εύρος ζώνης

$$B = 2W(\beta_f + 1) = 2f_m(\beta_f + 1) \quad \longrightarrow \quad B = \begin{cases} 2(K_p\alpha + 1)f_m, & \text{PM} \\ 2\left(\frac{K_f\alpha}{f_m} + 1\right)f_m, & \text{FM} \end{cases}$$

- ✓ Η αύξηση του πλάτους του σήματος διαμόρφωσης έχει σχεδόν ίδια επίδραση στην αύξηση του εύρους ζώνης, τόσο για το PM όσο και για το FM.
- ✓ Τόσο στο PM όσο και στο FM, το εύρος ζώνης αυξάνει αυξάνοντας την f_m , αλλά στο PM η αύξηση είναι αναλογική ενώ στο FM είναι προσθετική (για μεγάλο β που μας ενδιαφέρει είναι ασήμαντη).



Πλήθος αρμονικών

$$B = 2W(\beta_f + 1) = 2f_m(\beta_f + 1) \quad \longrightarrow \quad M = 2[\beta_f] + 3 = \begin{cases} 2[K_p\alpha + 1] + 3, & \text{PM} \\ 2\left[\frac{K_f\alpha}{f_m} + 1\right] + 3, & \text{FM} \end{cases}$$

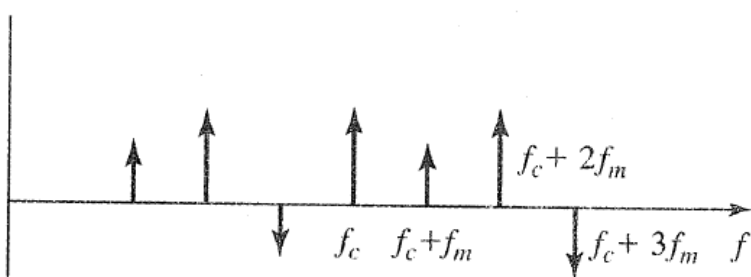
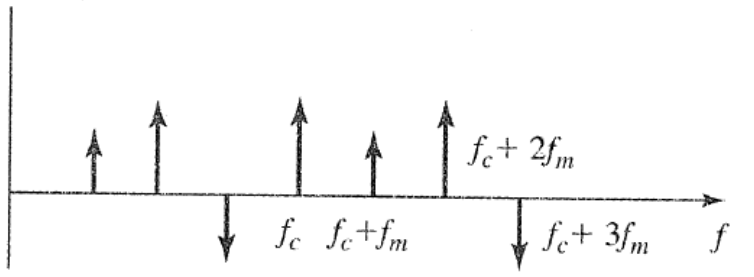
- ✓ Η αύξηση του πλάτους του σήματος διαμόρφωσης έχει σχεδόν ίδια επίδραση στην αύξηση του αριθμού των αρμονικών τόσο για το PM όσο και για το FM.
- ✓ Η αύξηση της f_m δεν επιδρά στο πλήθος αρμονικών στο PM, ενώ ελαττώνει αυτό σχεδόν γραμμικά στο FM.
- ✓ Εκεί οφείλεται η σχετική αναισθησία του εύρους ζώνης του FM στη συχνότητα του σήματος πληροφορίας. Αυξάνοντας το f_m από την μία ελαττώνεται το πλήθος των αρμονικών και από την άλλη αυξάνει η μεταξύ τους απόσταση.
- ✓ Στο PM το πλήθος των αρμονικών παραμένει σταθερό και μόνο η μεταξύ τους απόσταση αλλάζει με συνολική επίδραση μια γραμμική αύξηση του εύρους ζώνης.



Επίδραση στο εύρος ζώνης και στον αριθμό των αρμονικών

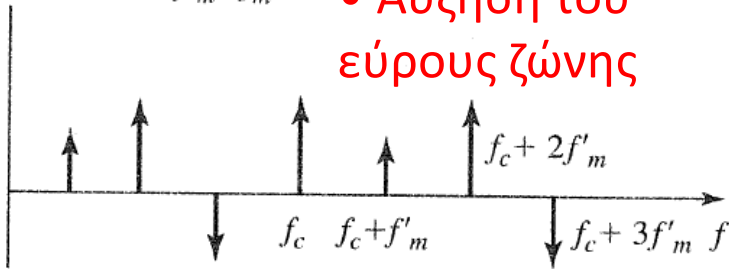
$$M = 2[\beta_f] + 3 = \begin{cases} 2[K_p\alpha + 1] + 3, & \text{PM} \\ 2\left[\frac{K_f\alpha}{f_m} + 1\right] + 3, & \text{FM} \end{cases}$$

PM



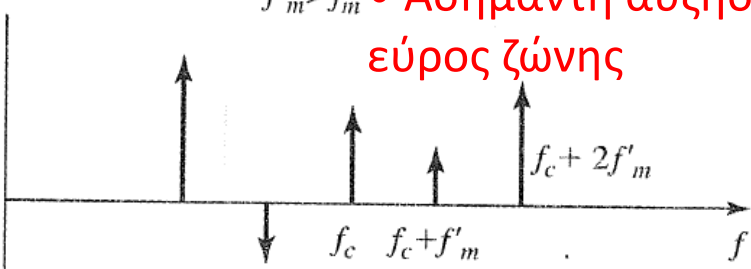
- Καμία αλλαγή στο πλήθος των αρμονικών
- Αύξηση του εύρους ζώνης

$f'_m > f_m$



- Ελάττωση στο πλήθος των αρμονικών
- Ασήμαντη αύξηση στο εύρος ζώνης

$f'_m > f_m$



Περιεχόμενα ενότητας

- ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΓΩΝΙΑΣ
- ΦΑΣΜΑ ΚΑΙ ΙΣΧΥΣ ΣΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΓΩΝΙΑΣ
- ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΓΩΝΙΑΣ ΑΠΟ ΗΜΙΤΟΝΟΕΙΔΕΣ ΣΗΜΑ
- ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΓΩΝΙΑΣ ΣΤΕΝΟΥ ΕΥΡΟΥΣ ΖΩΝΗΣ
- ΔΙΑΜΟΡΦΩΤΕΣ FM



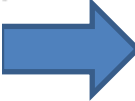
Διαμόρφωση γωνίας στενού εύρους ζώνης (1/3)


$$\phi(t) = K_p m(t)$$

$$\beta_p = \Delta\phi_{\max} = K_p \max |m(t)|$$

$$x(t) = A_c \cos 2\pi f_c t - A_c \frac{\phi^2(t)}{2!} \cos 2\pi f_c t + \dots - A_c \phi(t) \sin 2\pi f_c t + A_c \frac{\phi^3(t)}{3!} \sin 2\pi f_c t - \dots$$

$\beta \ll 1$

 $x(t) \simeq A_c \cos 2\pi f_c t - A_c \phi(t) \sin 2\pi f_c t$



$$X(f) \simeq \mathcal{F}[A_c \cos 2\pi f_c t] - \mathcal{F}[A_c \phi(t) \sin 2\pi f_c t]$$
$$\simeq \frac{A_c}{2} \delta(f - f_c) + \frac{A_c}{2} \delta(f + f_c) + \frac{jA_c}{2} \Phi(f - f_c) - \frac{jA_c}{2} \Phi(f + f_c)$$

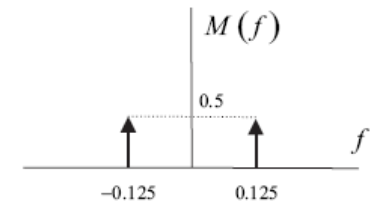
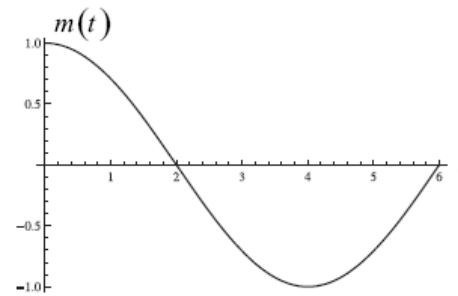


Διαμόρφωση γωνίας στενού εύρους ζώνης (2/3)

- ✓ Το $x(t)$ αποτελείται από 2 όρους: α) ένα φέρον, $A_c \cos 2\pi f_c t$, το οποίο δεν μεταβάλλεται με το σήμα πληροφορίας και β) τον όρο $A_c \varphi(t) \sin 2\pi f_c t$, ο οποίος είναι ένα DSB-AM-SC σήμα.
- ✓ Οι πλευρικές φασματικές ζώνες του DSB-AM-SC παρουσιάζουν διαφορά φάσης $\pi/2$ με τη συνιστώσα του φέροντος. Συγκεκριμένα, το $\Phi(f - f_c)$ προηγείται ενώ το $\Phi(f + f_c)$ έπεται κατά $\pi/2$ της φασματικής συνιστώσας του φέροντος.
- ✓ Οι πλευρικές ζώνες του DSB-AM-SC παρουσιάζουν μεταξύ τους διαφορά φάσης ίση με π .
- ✓ Το εύρος ζώνης είναι σχεδόν ίδιο με αυτό του AM, δηλαδή $2W$.



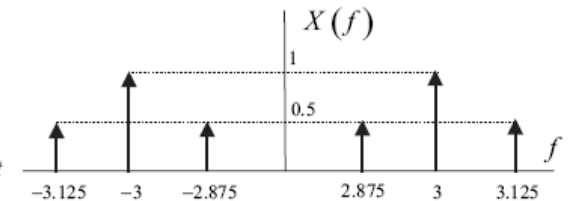
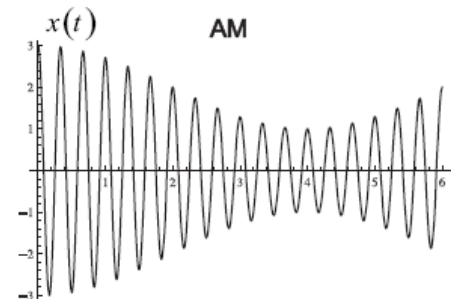
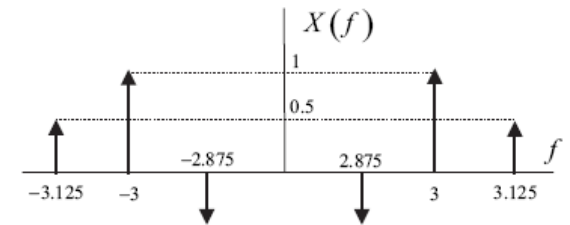
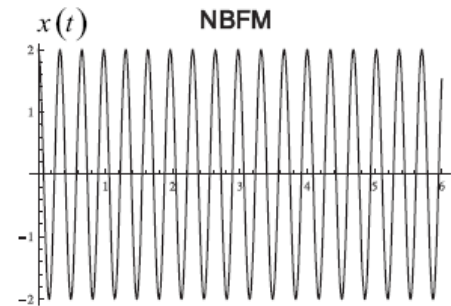
Διαμόρφωση γωνίας στενού εύρους ζώνης (3/3)



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

$$a = 1, f_m = 1/8, f_c = 3,$$

$$\beta_f = 0.12, A_c = 2.$$

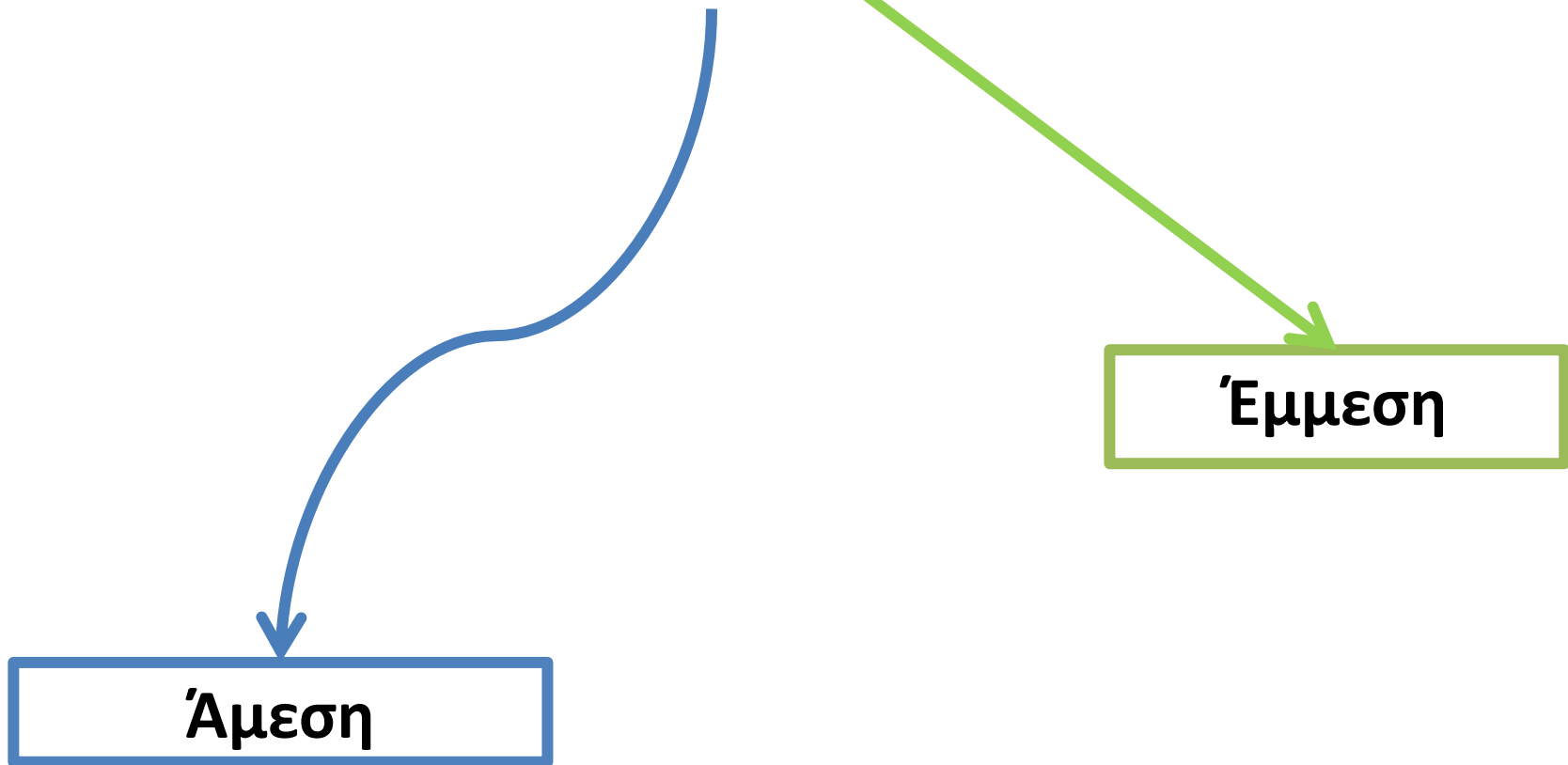


Περιεχόμενα ενότητας

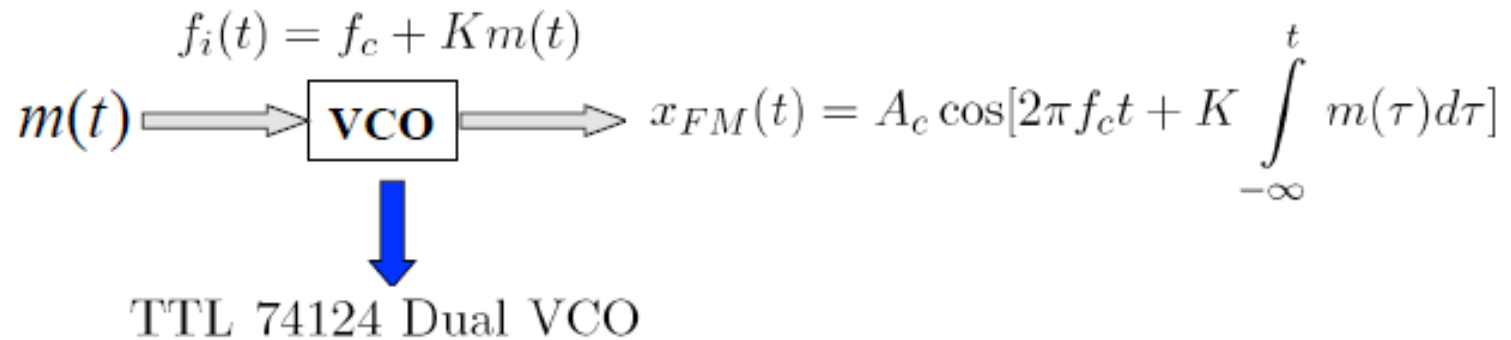
- ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΓΩΝΙΑΣ
- ΦΑΣΜΑ ΚΑΙ ΙΣΧΥΣ ΣΗΜΑΤΩΝ ΜΕ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΓΩΝΙΑΣ
- ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΓΩΝΙΑΣ ΑΠΟ ΗΜΙΤΟΝΟΕΙΔΕΣ ΣΗΜΑ
- ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΓΩΝΙΑΣ ΣΤΕΝΟΥ ΕΥΡΟΥΣ ΖΩΝΗΣ
- ΔΙΑΜΟΡΦΩΤΕΣ FM



Υλοποίηση διαμορφωτών FM



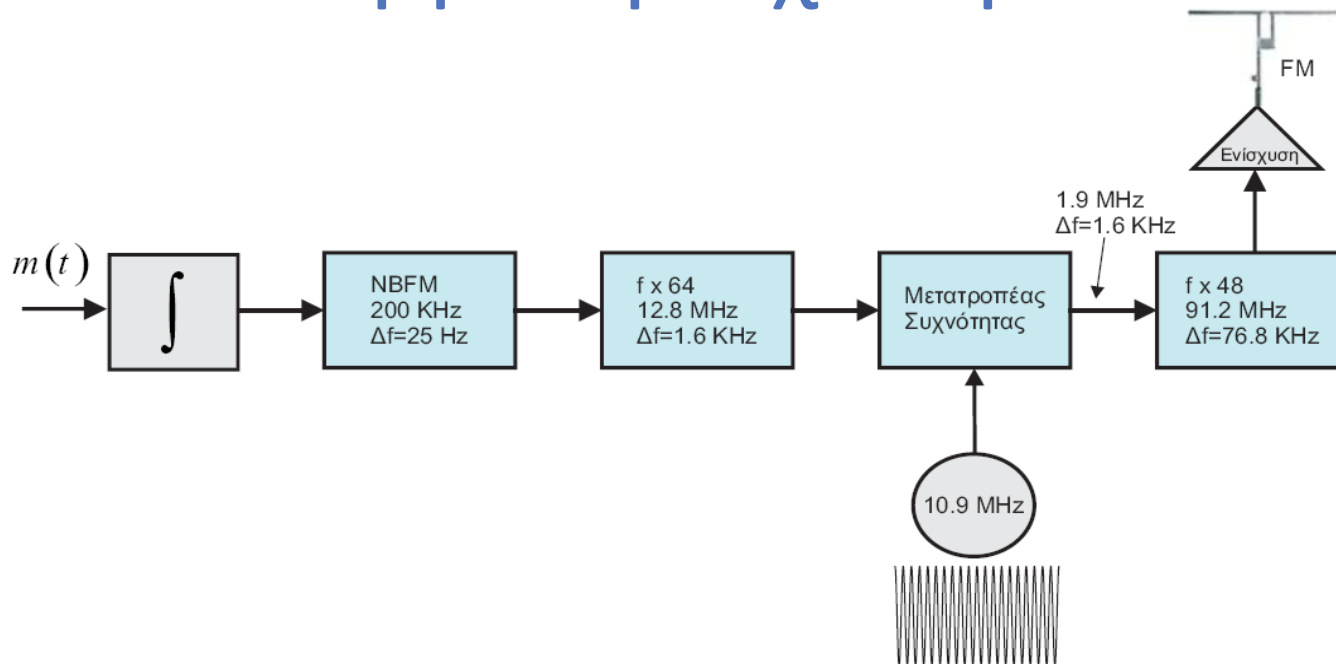
Υλοποίηση διαμορφωτών FM – Άμεση Τεχνική με VCO



Γενικά η άμεση διαμόρφωση με χρήση VCO οδηγεί σε ασταθή συχνότητα εξόδου, η οποία αντιμετωπίζεται με ανάδραση μέσω ενός κρυσταλλικού ταλαντωτή (που λειτουργεί ως αναφορά)



Υλοποίηση διαμορφωτών FM – Έμμεση Τεχνική



Η μέθοδος αυτή, αν και δημιουργεί σήματα FM με σταθερή κεντρική συχνότητα, μειονεκτεί εξαιτίας του θορύβου που παράγεται από τους χρησιμοποιούμενους πολλαπλασιαστές συχνοτήτων, καθώς επίσης και της παραμόρφωσης στις χαμηλές συχνότητες του υπό διαμόρφωση σήματος. Στις συχνότητες αυτές ο λόγος $\Delta f/f_m$ δεν είναι ικανοποιητικά μικρός ώστε να λειτουργεί αξιόπιστα ο διαμορφωτής στενής ζώνης.



Αποδιαμόρφωση FM (1/2)

$$x_{FM}(t) = A_c \cos\left[2\pi f_c t + K \int_{-\infty}^t m(\tau) d\tau\right]$$

Σήμα εισόδου στον
αποδιαμορφωτή

$$y(t) = \frac{dx_{FM}(t)}{dt} = A_c [2\pi f_c + Km(t)] \sin\left[2\pi f_c t + K \int_{-\infty}^t m(\tau) d\tau\right]$$

Διαφόριση σήματος εισόδου

$$V(t) = A_c(t) [2\pi f_c t + Km(t)]$$

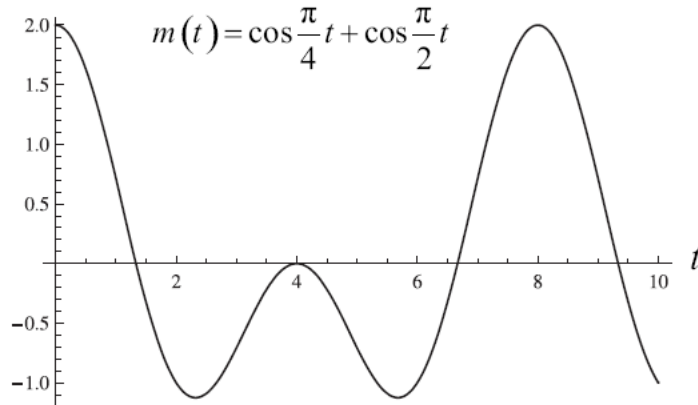
Έξοδος ανιχνευτή AM

$$\hat{y}(t) = A_c(t) K_f m(t)$$

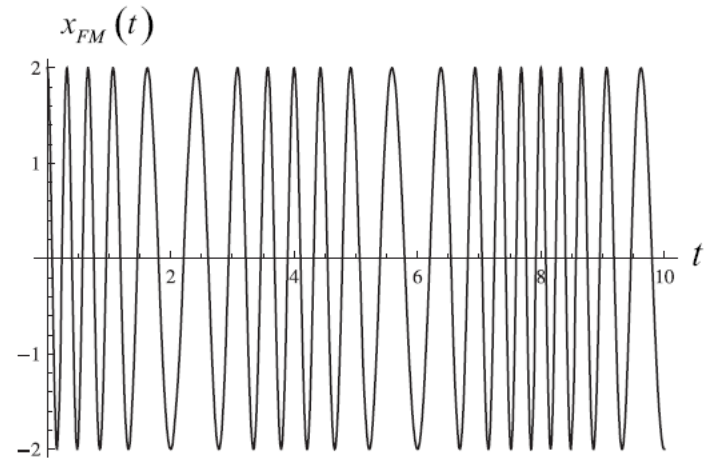
Σταθεροποίηση του
πλάτους (με bandpass limiter)



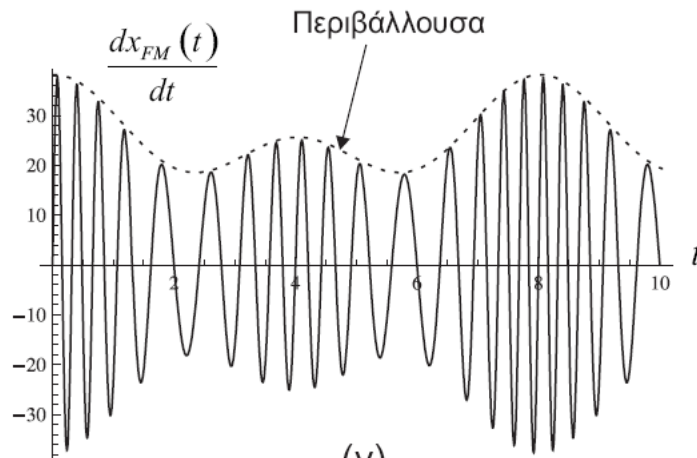
Αποδιαμόρφωση FM (2/2)



(α)



(β)



(γ)



(δ)



Τέλος Ενότητας

Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Πατρών**» 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**.



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Πανεπιστήμιο Πατρών, **Μιχαήλ Λογοθέτης 2015**. «**Συστήματα Επικοινωνιών – Ενότητα 5: Διαμορφώσεις γωνίας**». Έκδοση: **1.0**. Πάτρα **2015**.
Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:
<https://eclass.upatras.gr/courses/EE789/> .



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:

Τα σχήματα στις διαφάνειες 5, 8-11, 18, 21, 22, 25, 29 και 32-35 προέρχονται από το σύγγραμμα του μαθήματος “Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα”, Εκδόσεις Τζιόλα, μετά από άδεια του συγγραφέα Καθ. Γ. Καραγιαννίδη.

