Θ.Ε. ΠΛΗ22 (2012-13)
2η Γραπτή Εργασία

ΑΠΑΝΤΗΣΕΙΣ

Στόχος: Η 2η εργασία αποσκοπεί στην κατανόηση των συστατικών στοιχείων των αναλογικών διαμορφώσεων, της δειγματοληψίας, και της μετατροπής του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό.

Περιγραφή

Η 2η εργασία περιλαμβάνει επτά (7) θέματα που αναφέρονται στα Κεφάλαια 3,4,5 του Τόμου των «Ψηφιακών Επικοινωνιών» (Μέρος Α) και στα Κεφάλαια 3,5 του Τόμου «Ψηφιακές Επικοινωνίες ΙΙ: Σήματα-Διαμόρφωση-Θόρυβος» (Μέρος Β). *Σημείωση: Για όλα τα θέματα μπορείτε να χρησιμοποιήσετε χωρίς απόδειξη τις ιδιότητες των μετασχηματισμών Fourier και τους μετασχηματισμούς Fourier χαρακτηριστικών σημάτων από πίνακες. Οι σχετικές ασκήσεις που αναφέρονται στους στόχους της κάθε άσκησης συμβολίζονται ως εξής:*

ΓΕx (Γραπτή Εργασία x) ή ΕΞx(Εξετάσεις έτους x Α ή Β)/Ακαδημαϊκό Έτος/ Αριθμός θέματος

ΘΕΜΑ 1

Στόχος της άσκησης *είναι η εξοικείωση με θέματα FM σημάτων και ιδίως με την εξαγωγή του σήματος μηνύματος και τον υπολογισμό της ισχύος του, καθώς και τον υπολογισμό της στιγμιαίας απόκλισης φάσης και συχνότητας και του εύρους ζώνης του διαμορφωμένου κατά FM σήματος.*

Σχετικές ασκήσεις: *ΓΕ2/2010-1/Θ6.γ , ΓΕ2/2009-10/Θ1, ΓΕ2/2008-9/Θ5, ΓΕ2/2007-8/Θ3, ΓΕ2/2006-7/Θ3, ΕΞ2005Β/Θ5.Β.iv*

Δίνεται το διαμορφωμένο κατά FM σήμα, με γωνιακή συχνότητα $\omega_c = 2\pi \cdot 10^8$ rad/sec, το οποίο περιγράφεται ως ακολούθως:

$$y(t) = 10\cos\left(\omega_c t + \frac{5}{\pi}\cdot\cos(4000\pi t)\cdot\cos(3000\pi t) + \frac{5}{\pi}\cdot\sin(4000\pi t)\cdot\sin(3000\pi t)\right)$$

Θεωρώντας ότι $k_f = 100/\pi$, να βρεθούν τα εξής:

(α). Το σήμα μηνύματος και η μέση ισχύς του

(β). Η στιγμιαία απόκλιση φάσης,

(γ). Η στιγμιαία απόκλιση συχνότητας και η μέγιστη τιμή της και

(δ). Το εύρος ζώνης του δεδομένου κατά FM διαμορφωμένου σήματος.

<u>Ενδεικτική Μεθοδολογία:</u> *Για τις απαντήσεις όλων των ερωτημάτων δείτε την αντίστοιχη θεωρία στο βιβλίο σας.. Ειδικώς, για τον υπολογισμό της ισχύος του σήματος μηνύματος να εφαρμόσετε την ταυτότητα Parseval (δείτε τη σχετική ενότητα του βιβλίου σας, Μέρος Β του τόμου Β).*

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

(α). Δεδομένου ότι το σήμα είναι διαμορφωμένο γωνιακά κατά FM ακολουθεί τη σχέση 3.38 του βιβλίου "Ψηφιακές επικοινωνίες Ι", σελ. 97

$$y(t) = A_c cos\left[\omega_c t + k_f \int_{-\infty}^{t} x(\lambda) d\lambda\right]$$

όπου x(λ) είναι το σήμα μηνύματος

Επομένως θα έχουμε

$A_c = 10$

$\omega_c = 2\pi \cdot 10^8 \, rad/sec$

Εκ των ανωτέρω, η έκφραση του διαμορφωμένου σήματος έχει ως εξής :

$$y_{fm}(t) = 10cos\left[2\pi \cdot 10^8 t + k_f \int_{-\infty}^{t} x(\lambda) d\lambda\right.$$

$$\left. = 10\cos\left(\omega_c t + \frac{5}{\pi} \cdot \cos(4000\pi t) \cdot \cos(3000\pi t) + \frac{5}{\pi} \cdot \sin(4000\pi t) \cdot \sin(3000\pi t)\right)\right]$$

Όμως γνωρίζω ότι ισχύει η ακόλουθη τριγωνομετρική ταυτότητα

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

Οπότε εφαρμόζοντας το παραπάνω θα έχουμε

$$\frac{5}{\pi} \cdot cos(1000\pi t) = \frac{5}{\pi} \cdot \cos(4000\pi t) \cdot \cos(3000\pi t) + \frac{5}{\pi} \cdot \sin(4000\pi t) \cdot \sin(3000\pi t)$$

Η προηγούμενη σχέση μετατρέπεται ως εξής:

$$y_{fm}(t) = 10cos\left[2\pi \cdot 10^8 t + k_f \int_{-\infty}^{t} x(\lambda) d\lambda\right] = 10\cos\left(\omega_c t + \frac{5}{\pi} \cdot \cos(1000\pi t)\right)$$

Το σήμα μηνύματος x(t) πρέπει να είναι της μορφής $a_m \sin(\cdot)$ ώστε το ολοκλήρωμά του πολλαπλασιασμένο με το k_f να δίνει το $\frac{5}{\pi} \cdot \cos(1000\pi t)$

Πράγματι,

$$k_f \int_{-\infty}^{t} a_m \cdot m(\lambda) d\lambda = \frac{5}{\pi} \cdot \cos(1000\pi t) \Leftrightarrow$$

$$\frac{100}{\pi} \cdot \int_{-\infty}^{t} a_m \cdot m(\lambda) dl = \frac{5}{\pi} \cdot \cos(1000\pi t) \Leftrightarrow$$

$$\frac{100}{\pi}\cdot \alpha_m \cdot m(t) = \frac{d}{dt}\left(\frac{5}{\pi}\cdot \cos(1000\pi t)\right) \Leftrightarrow$$

$$\frac{100}{\pi}\cdot \alpha_m \cdot m(t) = \frac{d}{dt}\left(\frac{5}{\pi}\cdot \cos(1000\pi t)\right) \Leftrightarrow$$

$$\frac{100}{\pi}\cdot \alpha_m \cdot m(t) = -\frac{5}{\pi}\cdot 1000\pi \cdot sin(1000\pi t) \Leftrightarrow$$

$$\alpha_m \cdot m(t) = -5\pi \cdot 10 \cdot sin(1000\pi t)$$

Επομένως το σήμα μηνύματος είναι,

$$\alpha_m \cdot m(t) = x(t) = -50\pi \cdot sin(1000\pi t)$$

με $\alpha_m = 50\pi$

Σύμφωνα με την ταυτότητα Parseval (βλ. σελ. 61 του βιβλίου, Ν. Δημητρίου), η μέση ισχύς του περιοδικού σήματος υπολογίζεται από το άθροισμα των τετραγώνων των πλατών των όρων που περιλαμβάνει το σήμα στο πεδίο συχνοτήτων. Ο μετασχηματισμός Fourier του ημιτονικού σήματος μηνύματος είναι

$$X(f) = -50\pi \cdot \left[\frac{1}{2j}\left(\delta(f-500) - \delta(f+500)\right)\right]$$

Και επομένως, η μέση ισχύς του υπολογίζεται ως εξής:

$$P = 2 \times \left|\left(\frac{50\pi}{2j}\right)^2\right| = 12.337 \ \ KW$$

(β). *Η στιγμιαία απόκλιση φάσης είναι:*

$$\varphi(t) = \frac{5}{\pi}\cdot \cos(4000\pi t)\cdot \cos(3000\pi t) + \frac{5}{\pi}\cdot \sin(4000\pi t) \cdot \sin(3000\pi t) = \frac{5}{\pi}\cdot cos(1000\pi t)$$

(γ). *Η στιγμιαία γωνιακή συχνότητα σε rad/sec δίνεται από*

$$\omega_i(t) = \omega_{c+}\frac{d}{dt}\left(\varphi(t)\right)$$

και η στιγμιαία απόκλιση γωνιακής συχνότητας (rad/sec) δίνεται από

$\Delta\omega = \frac{d}{dt}\left(\varphi(t)\right)$ όπου φ(t)= $\frac{5}{\pi}\cdot cos(1000\pi t)$

Οπότε

$$\Delta\omega = -\frac{5}{\pi}1000\pi\sin(1000\pi t) = -5000\sin(1000\pi t)$$

και επομένως η μέγιστη τιμή της στιγμιαίας απόκλισης συχνότητας είναι $\Delta\omega_{max} = 5000 rad/sec$

και η μέγιστη τιμή απόκλισης συχνότητας (Hz) δίνεται από

$$\Delta f = \frac{\Delta\omega}{2\pi} = \frac{5000}{2\pi} \Leftrightarrow$$

$$\Delta f = \frac{5000}{2\pi} \Leftrightarrow \Delta f = 795.7\,Hz$$

(δ). *Το εύρος ζώνης δίνεται από τον τύπο 3.49 ή 3.51 του βιβλίου* "Ψηφιακές επικοινωνίες Ι", σελ. 97
Εφαρμόζοντας τον τύπο 3.49 θα έχω

$$W = 2\cdot(\beta+1)\cdot f_x$$

Όπου
f_x *είναι η μέγιστη συχνότητα του σήματος πληροφορίας δηλαδή*

$$f_x = \frac{\omega_x}{2\pi} = 500\,Hz$$

β είναι ο δείκτης διαμόρφωσης και δίνεται από

$$\beta = \frac{k_f\cdot a_m}{\omega_x} = \frac{\frac{100}{\pi}\cdot 50\pi}{1000\pi} \Leftrightarrow$$
$$\beta = 1.591$$

Και επομένως η προηγούμενη σχέση γίνεται

$$W = 2\cdot(1.591+1)\cdot 500 = 2591\,Hz$$

Εναλλακτικά μέσω του λόγου απόκλισης

$$D = \frac{\Delta f}{f_x} = \frac{795.7}{500} = 1.591$$

και επομένως
$$W = 2\cdot(D+1)\cdot f_x = 2\cdot(\Delta f + f_x) = 2591.5\,Hz$$

ΘΕΜΑ 2

Στόχος της άσκησης *είναι η εξοικείωση με τη δειγματοληψία, την κβάντιση και την κωδικοποίηση PCM.*
Σχετικές Ασκήσεις: *ΓΕ2/0405/Θ5, ΓΕ2/0708/Θ4, ΓΕ2/0809/Θ2*

Έστω το σήμα $y(t) = t \cdot sinc^2(500t)$ καθώς και το σήμα $x(t) = y^2(t)$. Το x(t) μεταδίδεται ψηφιακά με PCM ομοιόμορφης κβάντισης. Οι προδιαγραφές μετάδοσης απαιτούν:

i) το στιγμιαίο σφάλμα μεταξύ της πραγματικής τιμής του σήματος $x(t)$ και της κβαντισμένης τιμής του σήματος PCM να είναι το πολύ 1.5% του peak-to-peak πλάτους του, και

ii) η δειγματοληψία να πραγματοποιηθεί με ρυθμό κατά 20% μεγαλύτερο από αυτόν του Nyquist.

Να βρεθούν:

(α) Το εύρος ζώνης του σήματος y(t)

(β) Το εύρος ζώνης του σήματος x(t)

(γ) Ο απαιτούμενος αριθμός bits της PCM

(δ) Το εύρος ζώνης της ψηφιακής μετάδοσης.

Υπόδειξη : Σε έναν ομοιόμορφο κβαντιστή το μέγιστο στιγμιαίο σφάλμα μεταξύ πραγματικής και κβαντισμένης τιμής ενός σήματος είναι ίσο με το μισό του βήματος κβαντισμού, δηλ. Δ/2.

Ενδεικτική Μεθοδολογία: *Στα ερωτήματα (α),(β) να υπολογίσετε πρώτα το μετ/σμό Fourier των σημάτων και μετά να εφαρμόσετε τη σχετική θεωρία της δειγματοληψίας. Στο ερώτημα (γ) να δείτε την άσκηση Αυτοαξιολόγησης 4.7, "Ψηφιακές επικοινωνίες Ι", σελ. 201. Στο ερώτημα (δ) να κάνετε χρήση του αντίστοιχου τύπου υπολογισμού του εύρους ζώνης στη σελ. 129, "Ψηφιακές επικοινωνίες Ι".*

Απάντηση

(α). Για το σήμα $y(t) = t \cdot sinc^2(500t)$ ισχύει σύμφωνα με τους μετασχηματισμούς και τις ιδιότητες Fourier

$$sinc^2(500t) \overset{FT}{\leftrightarrow} \frac{1}{500} \Lambda\left(\frac{f}{500}\right)$$

Επίσης από τις ιδιότητες Fourier γνωρίζουμε ότι ισχύει

$$t \cdot x(t) \overset{FT}{\leftrightarrow} \frac{1}{2\pi} j \frac{d}{df} X(f)$$

Οπότε εφαρμόζοντας τα προηγούμενα θα έχουμε

$$y(t) = t \cdot sinc^2(500t) \overset{FT}{\leftrightarrow} Y(f) = \frac{j}{2\pi\, 500} \frac{d}{df}\left(\Lambda\left(\frac{f}{500}\right)\right)$$

Αφού η τριγωνική συνάρτηση έχει πεδίο τιμών στο διάστημα [-500Hz,500Hz] και μηδέν οπουδήποτε αλλού, επομένως και η παράγωγός της είναι μηδενική. Συνεπώς το εύρος ζώνης του Y(f) είναι **500 Hz**

Εναλλακτική λύση:

$$y(t) = t \cdot sinc^2(500t) = t\left[\frac{\sin(500\pi t)}{500\pi t}\right]^2 =$$

$$\frac{1}{500\pi} \cdot \frac{\sin(500\pi t)}{500\pi t}\sin(500\pi t) = \frac{1}{500\pi} \cdot sinc(500t) \cdot \sin(2\pi \cdot 250t)$$

Η προηγούμενη έκφραση στο πεδίο των συχνοτήτων μέσω του μετασχηματισμού Fourier δίνεται σύμφωνα με τους πίνακες (σελ. 57, "Ψηφιακές Επικοινωνίες ΙΙ", Τόμος Β', Μέρος Β', Ν. Δημητρίου) ως

$$sinc(500t) \overset{FT}{\leftrightarrow} \frac{1}{500} rect\left(\frac{f}{500}\right)$$

Το παραπάνω είναι τετραγωνικός παλμός με κέντρο το 0 και έκταση 500 Hz (εύρους ζώνης 250Hz),

Επίσης

$$\sin(2\pi \cdot 250t) \overset{FT}{\leftrightarrow} \frac{1}{2j}[\delta(f-250) - \delta(f+250)]$$

Οπότε συνολικά θα έχω

$$\frac{1}{500\pi} \cdot sinc(500t) \cdot \sin(2\pi \cdot 250t) \overset{FT}{\leftrightarrow} \frac{1}{500\pi} \cdot \left[\frac{1}{500} rect\left(\frac{f}{500}\right) * \frac{1}{2j}[\delta(f-250) - \delta(f+250)]\right]$$

Εφαρμόζοντας την ιδιότητα της συνέλιξης με τη συνάρτηση Dirac (σελ. 34, "Ψηφιακές Επικοινωνίες ΙΙ", Τόμος Β', Μέρος Β', Ν. Δημητρίου), θα έχουμε

$$Y(f) = \frac{1}{500\pi} \cdot \left[\frac{1}{500} rect\left(\frac{f}{500}\right) * \frac{1}{2j}[\delta(f-250) - \delta(f+250)]\right] \Leftrightarrow$$

$$Y(f) = \frac{1}{500\pi} \cdot \frac{1}{2j}\left[\frac{1}{500} rect\left(\frac{f-250}{500}\right) - \frac{1}{500} rect\left(\frac{f+250}{500}\right)\right]$$

Το ανωτέρω φάσμα αποτελείται από 1 τετραγωνικό παλμό στο θετικό ημιάξονα των συχνοτήτων που εκτείνεται από 0 έως 500Hz και τον κατοπτρικό του στον αρνητικό ημιάξονα που εκτείνεται από 0 έως -500Hz.
Συνεπώς το εύρος ζώνης του **Y(f)** είναι **500 Hz**

β) Δεδομένου ότι $x(t) = y^2(t)$ ο μετ/σμός Fourier θα είναι

$$x(t) = y^2(t) \overset{FT}{\leftrightarrow} X(f) = Y(f) * Y(f)$$

Γνωρίζουμε ότι το εύρος ζώνης του φάσματος της συνέλιξης δύο σημάτων ισούται με το άθροισμα του εύρους ζώνης των επιμέρους σημάτων. Συνεπώς το εύρος ζώνης του X(f) θα ισούται με

500 Hz + 500 Hz = 1000 Hz

Αφού το x(t) μεταδίδεται ψηφιακά, η συχνότητα Nyquist του σήματος θα είναι

f_N=2000 Hz.

γ). Όπως αναφέρεται στην υπόδειξη, σε έναν ομοιόμορφο κβαντιστή το μέγιστο στιγμιαίο σφάλμα μεταξύ πραγματικής και κβαντισμένης τιμής ενός σήματος είναι ίσο με το μισό του βήματος κβαντισμού, δηλαδή Δ/2.

Επίσης το μέγιστο στιγμιαίο σφάλμα στην άσκηση δίνεται ως $\leq 1.5\% \cdot V_{pp}$

Οπότε συνδυάζοντας τα παραπάνω θα έχουμε

$$\frac{\Delta}{2} \leq 1.5\% \cdot V_{pp} \Leftrightarrow \Delta \leq 3\% \cdot V_{pp}$$

Σύμφωνα με την άσκηση αυτοαξιολόγησης 4.7, "Ψηφιακές επικοινωνίες Ι", σελ. 201, ο αριθμός επιπέδων κβάντισης ισούται με

$$L = \frac{V_{pp}}{\Delta} = \frac{V_{pp}}{3\% \cdot V_{pp}} = \lfloor 33.33 \rfloor = 33$$

Συνεπώς απαιτούνται $N = log_2(33) = 6\ bits$

δ. Τέλος, το εύρος ζώνης, "Ψηφιακές επικοινωνίες Ι", σελ. 129, ισούται με

$$W_{PCM} \geq \frac{1}{2} f_S \cdot N$$

Η συχνότητα δειγματοληψίας είναι $f_S = (1 + 20\%) \cdot f_N$

Εφαρμόζοντας τα παραπάνω θα έχουμε

$$W_{PCM} \geq \frac{1}{2} f_S \cdot N = \frac{1}{2}[1.20 \cdot f_N] \cdot 6 = 7200\ Hz$$

ΘΕΜΑ 3

Στόχος της άσκησης *είναι η εξοικείωση με τις αναλογικές διαμορφώσεις πλάτους και με τη χρήση ιδανικών φίλτρων.*
Σχετικές Ασκήσεις: *Θ1/ΕΞ2008-09, Θ3/ΓΕ2/2005-06*

Δίνονται τα σήματα

$x(t) = -4\cos(300\pi t) - 2\sin(400\pi t) - 2\cos(600\pi t)$

και $y(t) = a\left[\sin c^2\left(at\right) + 6\sin c\left(6at\right)\right]$, με $a = 50$.

Το *y(t)* διαμορφώνει το φέρον $c(t) = 2\cos(1400\pi t)$ κατά πλάτος DSB και κατόπιν το διαμορφωμένο σήμα προστίθεται στο $x(t)$ οπότε προκύπτει το σήμα $z\left(t\right) = x(t) + c(t)y(t)$ που στη συνέχεια περνά από 2 φίλτρα:

1/ Βαθυπερατό φίλτρο με συνάρτηση μεταφοράς $H_1(f) = u\left(f + f_0\right) - u\left(f - f_0\right)$ με f_o=350Hz

2/ Άγνωστο ιδανικό φίλτρο μοναδιαίου πλάτους

(α) Υπολογίστε το *z(f)* και σχεδιάστε το φάσμα του.

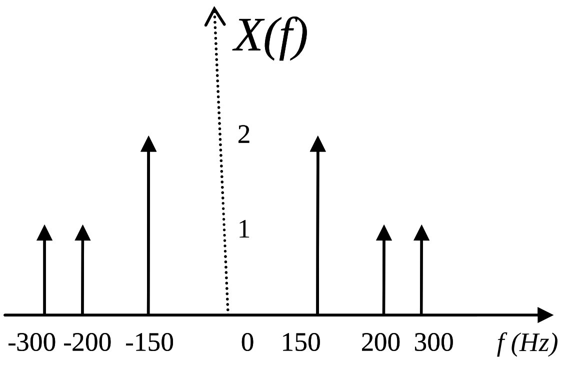
(β) Υπολογίστε το φάσμα στην έξοδο του 1^{ου} (βαθυπερατό) φίλτρου

(γ) Γνωρίζοντας ότι η έξοδός του αποτελείται από το άθροισμα δύο ημιτονικών σημάτων με περίοδο 1/100sec, να προτείνετε και να περιγράψετε δυο διαφορετικές επιλογές για το άγνωστο ιδανικό φίλτρο.

<u>Ενδεικτική Μεθοδολογία:</u> *Για το (γ) εξετάστε όλους τους πιθανούς συνδυασμούς σημάτων που υπάρχουν στην έξοδο του βαθυπερατού φίλτρου.*

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

a/ Το φάσμα πλάτους των ημιτονικών όρων του αθροίσματος του σήματος *x(t)* είναι:



Για το *y(t)*:

$\mathrm{sinc}^2(t) \xleftrightarrow{F} tri(f) \Leftrightarrow$

$\Leftrightarrow a \cdot \mathrm{sinc}^2(at) \xleftrightarrow{F} tri\left(\frac{f}{a}\right)$

Και

$\mathrm{sinc}(t) \xleftrightarrow{F} rect(f) \Leftrightarrow$

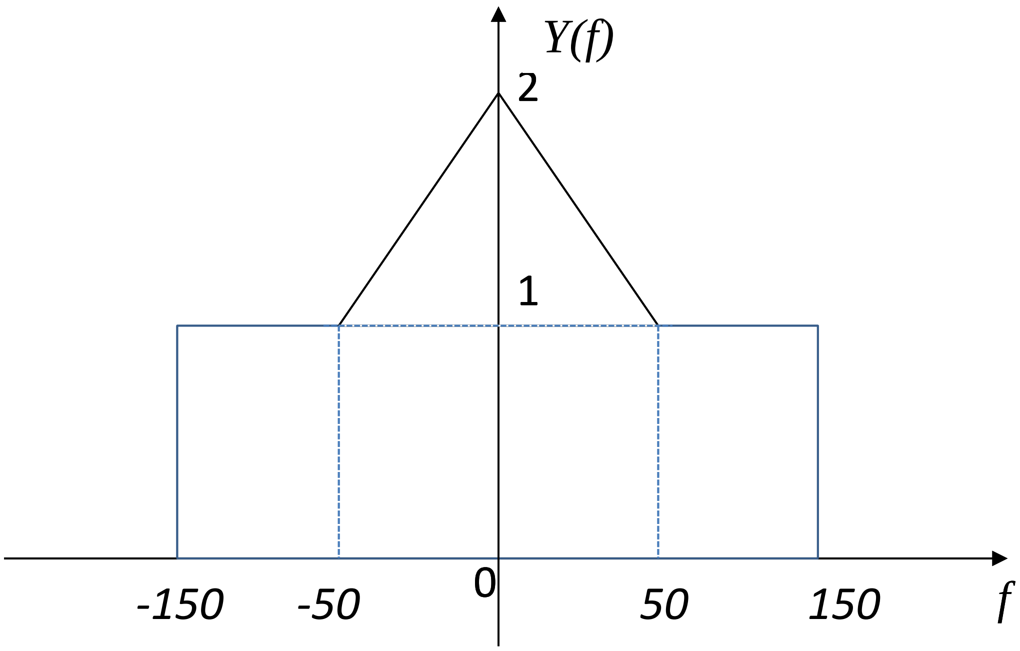
$\Leftrightarrow 6a \cdot \mathrm{sinc}(6at) \xleftrightarrow{F} rect\left(\frac{f}{6a}\right)$

Άρα έχουμε ότι

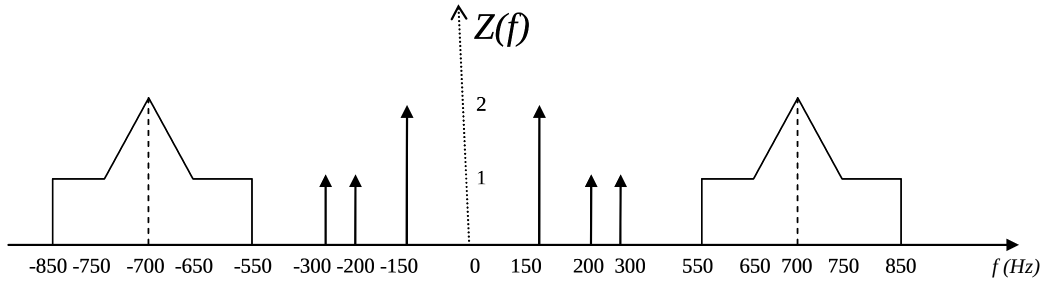
$Y(f) = tri\left(\frac{f}{a}\right) + rect\left(\frac{f}{6a}\right)$

Με *α=50*:

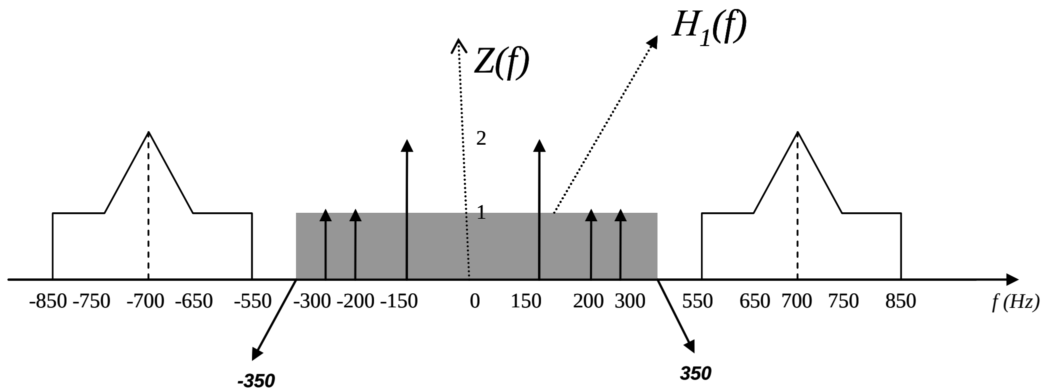
$Y(f) = tri\left(\frac{f}{50}\right) + rect\left(\frac{f}{300}\right)$



Ο πολλαπλασιασμός του *y(t)* με το *c(t)* μετατοπίζει σύμφωνα με την ιδιότητα της διαμόρφωσης το *Y(f)* στα ±700Hz. Επίσης, αφού $0 < a < 100$ το *Y(f)* βρίσκεται δεξιότερα (αριστερότερα) της συχνότητας 400 (-400) Hz. Άρα το φάσμα του συνολικού σήματος $x(t) + c(t)y(t)$ είναι:



b/ Το 1° φίλτρο (βαθυπερατό) κόβει τις συχνότητες πέρα από τα ± 350Hz και επομένως φεύγουν ο μετατοπισμένος όρος *Y(f)* και μένουν μόνο οι κρουστικές:



c/ Με βάση την εκφώνηση για το σήμα εξόδου: *αποτελείται από το άθροισμα δύο ημιτονικών σημάτων με περίοδο 1/100sec*. Επόμένως ψάχνουμε να βρούμε ποιό από τα 3 δυνατά ζευγάρια (150, 200), (150, 300), (200, 300) έχει περίοδο 1/100sec.

Κάνοντας τον υπολογισμό βρίσκουμε ότι το 1° ζευγάρι έχει περίοδο 1/50sec, το 2° 1/150sec και το τρίτο 1/100sec. Επομένως στην έξοδο υπάρχου οι συχνότητες 200Hz και 300Hz.

Για να έχουμε στην έξοδο μόνο αυτά τα δύο σήματα θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε:

i/ Ένα ιδανικό ζωνοπερατό φίλτρο με κεντρική συχνότητα f_o = 250Hz και εύρος ζώνης *100Hz≤W<200Hz* με συνάρτηση μεταφοράς

$$H_{BP}(f) = rect\left(\frac{f - f_o}{W}\right) + rect\left(\frac{f + f_o}{W}\right)$$

ii/ Ένα ιδανικό υψιπερατό με συχνότητα αποκοπής *150Hz<f_o≤200Hz* και συνάρτηση μεταφοράς

$$H_{HP}(f) = 1 - rect\left(\frac{f}{2f_0}\right)$$

ΘΕΜΑ 4

Στόχος της άσκησης *είναι η εξοικείωση με τις αναλογικές διαμορφώσεις πλάτους και με τη χρήση ιδανικών φίλτρων.*
Σχετικές Ασκήσεις: *Θ5/ΓΕ2/2011-12, Θ3/ΓΕ2/2009-10, Θ4/ΓΕ2/2008-09*

Έστω το σήμα $x(t) = A\sin c^2(B^4 t)$, *{A,B}*>0.

(α) Να υπολογίσετε το *B* αν η διπλάσια περίοδος δειγματοληψίας του *x(t)* είναι 1sec.

(β) Το σήμα *x(t)* διαμορφώνει συνημιτονικό φέρον μοναδιαίου πλάτους και συχνότητας f_c με διαμόρφωση DSB. Να υπολογίσετε την έκφραση στο πεδίο του χρόνου και το φάσμα πλάτους του διαμορφωμένου σήματος και στη συνέχεια να προσδιορίσετε την κρουστική απόκριση και τη συνάρτηση μεταφοράς κατάλληλου ζωνοπερατού φίλτρου για να δημιουργηθεί σήμα SSB κάτω πλευρικής ζώνης.

Ενδεικτική Μεθοδολογία: *Να χρησιμοποιήσετε το θεώρημα δειγματοληψίας αφού υπολογίσετε το ΜΣ Fourier του x(t) και κατόπιν θεωρία διαμόρφωσης DSB – SSB με το κατάλληλο φίλτρο.*

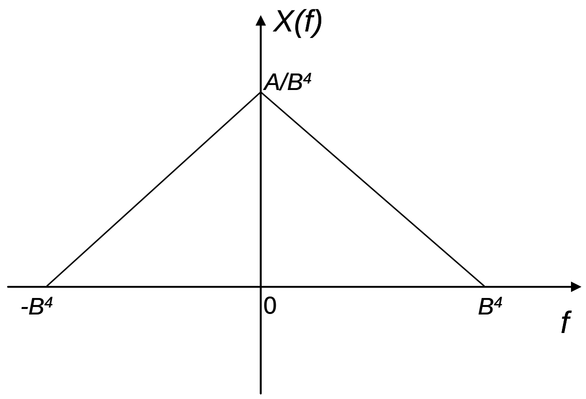
ΛΥΣΗ

α/

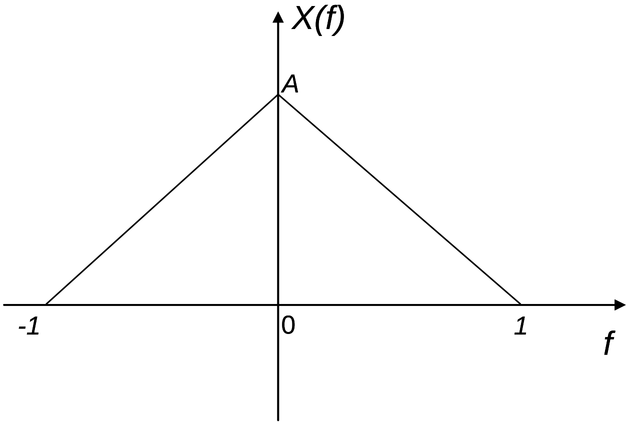
$$\sin c^2(t) \leftrightarrow tri(f)$$

$$\sin c^2(B^4 t) \leftrightarrow \frac{1}{B^4} tri(\frac{f}{B^4})$$

$$A\sin c^2(B^4 t) \leftrightarrow \frac{A}{B^4} tri(\frac{f}{B^4})$$



Άρα f_{max}=B^4 και $f_s = 2f_{\max} = 2B^4 \Leftrightarrow \frac{1}{T_s} = \frac{1}{\frac{1}{2}} = 2 = 2B^4 \Leftrightarrow B = 1$, (αφού B>0).



β/

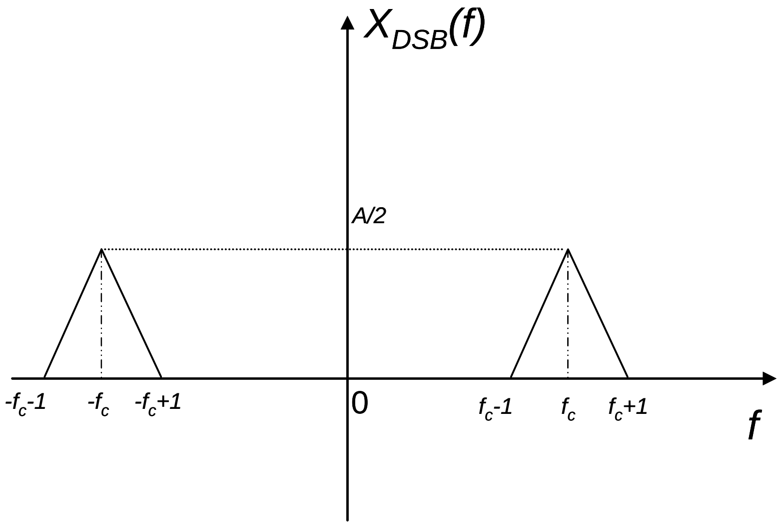
Το διαμορφωμένο κατά DSB θα είναι στο πεδίο του χρόνου:

$$x_{DSB}(t) = x(t)\cos\left(2\pi f_c t\right) = A\sin c^2(B^4 t)\cos\left(2\pi f_c t\right)$$

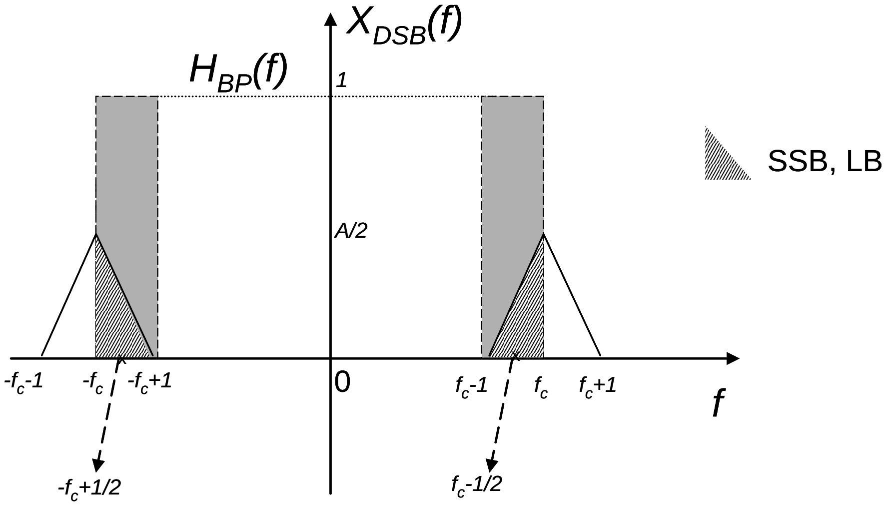
και στο πεδίο των συχνοτήτων:

$$X_{DSB}(f) = \Im\left\{x(t)\cos\left(2\pi f_c t\right)\right\} = \frac{1}{2}\left[X\left(f - f_c\right) + X\left(f + f_c\right)\right] =$$

$$= \frac{A}{2}\left[tri\left(f - f_c\right) + tri\left(f + f_c\right)\right]$$



Για να πάρουμε το SSB κάτω πλευρικής θα χρησιμοποιήσουμε ιδανικό ζωνοπερατό με κεντρική συχνότητα $\pm\left(f_c - \frac{1}{2}\right)$ και εύρος ζώνης *W=1*, όπως φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα.



Η συνάρτηση μεταφοράς ζωνοπερατού φίλτρου με αυτά τα χαρακτηριστικά είναι:

$$H_{BP}(f) = rect\left(f - \left(f_c - \frac{1}{2}\right)\right) + rect\left(f + \left(f_c - \frac{1}{2}\right)\right)$$

και η κρουστική απόκριση ισούται με:

$$h_{BP}(t) = e^{j2\pi\left(f_c - \frac{1}{2}\right)t}\operatorname{sinc}(t) + e^{-j2\pi\left(f_c - \frac{1}{2}\right)t}\operatorname{sinc}(t) = 2\operatorname{sinc}(t)\cos\left(2\pi\left(f_c - \frac{1}{2}\right)t\right)$$

ΘΕΜΑ 5

Στόχος της άσκησης *είναι η εξοικείωση με τη διαμόρφωση DSB και με την ισχύ ενός σήματος*
Σχετικές ασκήσεις: *Θ1/ΓΕ2/0809, Θ1/ΓΕ2/1011.*

Έστω ότι το σήμα μηνύματος $m(t) = 2\cos(2000\pi t) + \cos(6000\pi t)$ διαμορφώνει κατά DSB συνημιτονοειδές φέρον σήμα συχνότητας 1 MHz και πλάτους 100 Volt.
(α) Να υπολογίσετε την έκφραση του διαμορφωμένου σήματος στο πεδίο του χρόνου
(β) Να υπολογίσετε το φάσμα του διαμορφωμένου σήματος.
(γ) Να υπολογίσετε τη μέση ισχύ του διαμορφωμένου σήματος.

Ενδεικτική Μεθοδολογία: *Να υπολογίσετε το διαμορφωμένο σήμα με βάση τους τύπους που δίνονται στη θεωρία και να λάβετε υπόψη τις συνθήκες που πρέπει να ισχύουν σε κάθε περίπτωση. Για τον υπολογισμό της μέσης ισχύος να εφαρμόσετε την ταυτότητα Parseval.*

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

(α)

Η μαθηματική έκφραση του διαμορφωμένου σήματος στο πεδίο του χρόνου είναι

$$u(t) = m(t)c(t) = (2\cos(1000\pi t) + \cos(6000\pi t))100\cos(2\pi f_c t)$$
$$= 200\cos(2\pi 1000t)\cos(2\pi f_c t) + 100\cos(2\pi 3000t)\cos(2\pi f_c t)$$
$$= 100\left[\cos(2\pi(f_c - 1000)t) + \cos(2\pi(f_c + 1000)t)\right]$$
$$+ 50\left[\cos(2\pi(f_c - 3000)t) + \cos(2\pi(f_c + 3000)t)\right]$$

(β)

Το φάσμα του διαμορφωμένου σήματος είναι (με ΜΣ Fourier):

$$U(f) = 50\left(\delta(f - (f_c - 1000)) + \delta(f + (f_c - 1000))\right)$$
$$+ 50\left(\delta(f - (f_c + 1000)) + \delta(f + (f_c + 1000))\right)$$
$$+ 25\left(\delta(f - (f_c - 3000)) + \delta(f + (f_c - 3000))\right)$$
$$+ 25\left(\delta(f - (f_c + 3000)) + \delta(f + (f_c + 3000))\right)$$

(γ)

Η στιγμιαία ισχύς του διαμορφωμένου σήματος θα είναι:

$$P(t) = u^2(t) = m^2(t)c^2(t) = \frac{A_c^2}{2}m^2(t)(1 + \cos(4\pi f_c t) = \frac{A_c^2}{2}m^2(t) + \frac{A_c^2}{2}m^2(t)\cos(4\pi f_c t)$$

Συνεπώς η μέση ισχύς του σήματος είναι

$$\overline{P}(t) = \frac{1}{T}\int_{-T/2}^{T/2} P(t)dt = \frac{1}{T}\int_{-T/2}^{T/2}\left(\frac{A_c^2}{2}m^2(t) + \frac{A_c^2}{2}m^2(t)\cos(4\pi f_c t)\right)dt$$
$$= \frac{1}{T}\int_{-T/2}^{T/2}\left(\frac{A_c^2}{2}m^2(t)\right)dt + \frac{1}{T}\int_{-T/2}^{T/2}\left(\frac{A_c^2}{2}m^2(t)\cos(4\pi f_c t)\right)dt$$

Λόγω του ότι το σήμα πληροφορίας μεταβάλλεται αργά σε σχέση με το φέρον ο δεύτερος όρος ισούται με 0. Συνεπώς

$$\overline{P}(t) = \frac{1}{T}\int_{-T/2}^{T/2}\left(\frac{A_c^2}{2}m^2(t)\right)dt = \frac{A_c^2}{2}\frac{1}{T}\int_{-T/2}^{T/2} m^2(t)dt = \overline{P}_c\overline{P}_m = \frac{A_c^2}{2}\overline{P}_m$$

, όπου $\overline{P}_m$ η μέση ισχύς του σήματος πληροφορίας.

Αλλά $\overline{P}_m = \frac{A_1^2}{2} + \frac{A_2^2}{2} = \frac{4}{2} + \frac{1}{2} = \frac{5}{2}W$

Οπότε $\overline{P}(t) = \frac{100^2}{2}\frac{5}{2}W = \frac{10000}{2}\frac{5}{2}W = 12500W$

<u>Εναλλακτική λύση</u>

Από το φάσμα πλάτους του διαμορφωμένου σήματος έχουμε:

$$\bar{P}(t) = \sum |U_i|^2 = 4 \cdot 50^2 + 4 \cdot 25^2 = 12500W$$

ΘΕΜΑ 6

Στόχος της άσκησης *είναι η εξοικείωση με τις αναλογικές διαμορφώσεις γωνίας (PM, FM), καθώς και με τη θεωρία δειγματοληψίας.*
Σχετικές ασκήσεις: *Παράδειγμα 2/τόμος Β'-Μέρος Β', Θ3/ΓΕ2/1112*

Σήμα πληροφορίας $x_m(t) = 100\text{sinc}^2(100t)$ διαμορφώνει κατά συχνότητα (FM) συνημιτονικό φέρον σήμα πλάτους 10Volt και συχνότητας 2000 Hz με σταθερά απόκλισης συχνότητας $k_f = 20\pi \frac{rad/\sec}{Volt}$.

(α) Να δώσετε την έκφραση του φέροντος σήματος στο πεδίο του χρόνου και στο πεδίο των συχνοτήτων. Επίσης, να δοθεί η έκφραση στο πεδίο των συχνοτήτων του σήματος πληροφορίας και να σχεδιαστούν τα φάσματα πλάτους για το φέρον σήμα και για το σήμα πληροφορίας.
(β) Να υπολογιστούν οι ελάχιστες συχνότητες δειγματοληψίας για το φέρον σήμα και το σήμα πληροφορίας, εφαρμόζοντας το κριτήριο δειγματοληψίας Nyquist.
(γ) Να γράψετε την έκφραση στο πεδίο του χρόνου του διαμορφωμένου σήματος FM.
(δ) Να υπολογίσετε το εύρος ζώνης του διαμορφωμένου σήματος FM.

Ενδεικτική Μεθοδολογία: *Να χρησιμοποιήσετε τις τυπικές εκφράσεις των διαμορφωμένων σημάτων κατά FM ώστε να υπολογίσετε τις ζητούμενες εκφράσεις των σημάτων. Επίσης, να χρησιμοποιήσετε κατάλληλα τον κανόνα Carson για τον υπολογισμό του εύρους ζώνης γωνιακά διαμορφωμένων σημάτων.*

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

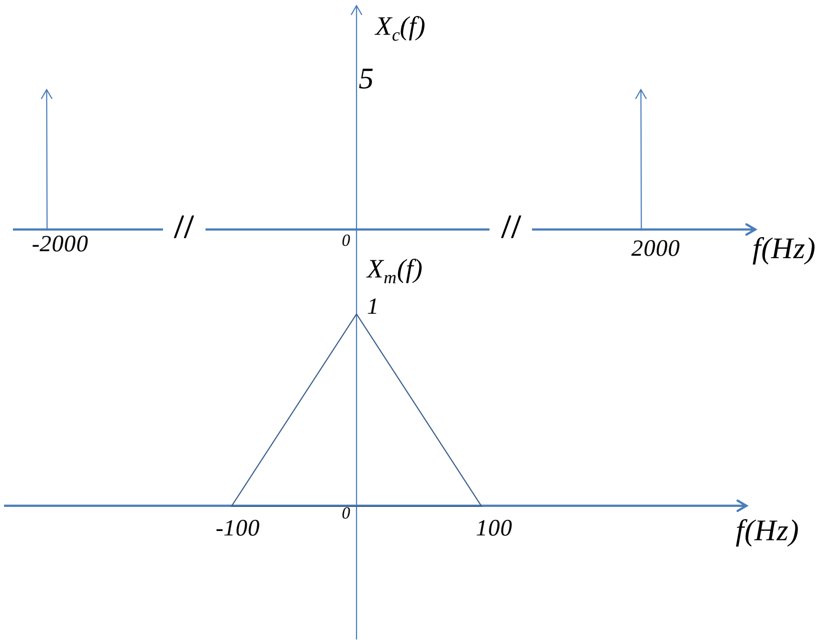
(α)
Για το φέρον σήμα έχουμε:

$$x_c(t) = A_c \cos(2\pi f_c t) = 10 \cdot \cos(4000\pi t) \xleftrightarrow{F} \frac{1}{2} 10 \cdot \left[\delta(f - 2000) + \delta(f + 2000)\right] = X_c(f)$$

Για το σήμα πληροφορίας έχουμε

$$x_m(t) = 100 \sin c^2(100t) \xleftrightarrow{F} tri\left(\frac{f}{100}\right) = X_m(f)$$

Τα ζητούμενα φάσματα πλάτους απεικονίζονται παρακάτω:



(β)

Για το φέρον σήμα

$$X_c(f)=\frac{1}{2}10\cdot\left[\delta(f-2000)+\delta(f+2000)\right]$$

η μέγιστη συχνότητα είναι 2000Hz άρα η ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψίας με το κριτήριο Nyquist είναι 2 x 2000=4000Hz.

Για το σήμα πληροφορίας $X_m(f)=tri\left(\frac{f}{100}\right)$ η μέγιστη συχνότητα είναι 100Hz άρα η ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψίας με το κριτήριο Nyquist είναι 2 x 100=200Hz.

(γ)

Με βάση την περιγραφή της εκφώνησης, το διαμορφωμένο σήμα FM γράφεται:

$$x_{\text{mod},FM}(t)=A_c\cos\left(2\pi f_c t+k_f\int_{-\infty}^{t}x_m(\lambda)\delta\lambda\right)=10\cos\left(4000\pi t+20\pi\int_{-\infty}^{t}100\text{sinc}^2(100\lambda)d\lambda\right)$$

(δ)

Το εύρος ζώνης του σήματος ισούται με:

$$W=2(D+1)f_x$$

όπου $D=\dfrac{\max\left|\dfrac{d\varphi(t)}{dt}\right|}{2\pi f_x}$

Έχουμε:

$$\varphi(t)=20\pi\int_{-\infty}^{t}100\text{sinc}^2(100\lambda)d\lambda\Rightarrow\frac{d\varphi(t)}{dt}=20\pi\cdot 100\text{sinc}^2(100t)$$

συνεπώς

$$\max\left|\frac{d\varphi(t)}{dt}\right| = \max\left|20\pi\cdot 100\mathrm{sinc}^2(100t)\right| = 2000\pi$$

Επίσης, το εύρος ζώνης του σήματος πληροφορίας $X_m(f) = tri\left(\frac{f}{100}\right)$ είναι ίσο με $f_x = 100Hz$

Άρα,

$$D = \frac{2000\pi}{2\pi 100} = 10$$

$$W = 2(10+1)100Hz = 2200Hz$$

ΘΕΜΑ 7

Στόχος της άσκησης *είναι η εξοικείωση με τις αναλογικές διαμορφώσεις πλάτους και τη δειγματοληψία, καθώς και τον προσδιορισμό του εύρους ζώνης και της διάρκειας ενός σήματος και το χαρακτηρισμό των σημάτων μέσω του γινομένου Διάρκειας-Εύρους Ζώνης.*
Σχετικές ασκήσεις: *Θ5/ΓΕ2/2011-12, ΕΞ2009Β/Θ2, Θ4/ΓΕ2/2008-09, Θ3/ΓΕ2/2010-11.*

Δίνεται το σήμα $x_1(t) = 200\mathrm{sinc}^2(200t)$. Με κατάλληλη επεξεργασία του σήματος αυτού θέλουμε να λάβουμε σήμα $x_2(t)$ με φάσμα $X_2(f) = tri\left(\frac{f-400}{200}\right) + tri\left(\frac{f+400}{200}\right)$.

(α) Να υπολογίσετε τις απαραίτητες παραμέτρους για να ληφθεί το σήμα $x_2(t)$ με τους εξής διαφορετικούς τρόπους:

(α-i) Με διαμόρφωση πλάτους DSB ,οπότε να υπολογίσετε το πλάτος και τη συχνότητα του φέροντος σήματος.

(α-ii) Με δειγματοληψία και χρήση κατάλληλου φίλτρου ,οπότε να υπολογίσετε την απαιτούμενη συχνότητα δειγματοληψίας , την έκφραση στο πεδίο του χρόνου και στο πεδίο των συχνοτήτων του δειγματισμένου σήματος καθώς και την κρουστική απόκριση και τη συνάρτηση μεταφοράς του φίλτρου.

(β-i) Να υπολογίσετε το εύρος ζώνης του αρχικού σήματος $x_1(t)$ με βάση τον παρακάτω ορισμό #2-α.

Ορισμός #2-α: Το ***Εύρος Ζώνης*** ενός ***βαθυπερατού*** συστήματος ορίζεται ως η συχνότητα W όπου η απόκριση πλάτους |H(f)| γίνεται (1/$\sqrt{2}$) φορές το πλάτος στη μηδενική συχνότητα.

(β-ii) Να υπολογίσετε το εύρος ζώνης και τη διάρκεια του αρχικού σήματος $x_1(t)$ με βάση τους παρακάτω ορισμούς #3-α και #3-β και κατόπιν να υπολογίσετε το αντίστοιχο γινόμενο Διάρκειας-Εύρους Ζώνης. Τι παρατηρείτε;

Ορισμός #3-α: Το ***Εύρος Ζώνης Ισοδύναμου Παραλληλογράμμου*** ενός σήματος x(t) πεπερασμένης ενέργειας, με συνάρτηση πλάτους |X(f)| συμμετρική ως προς f=0 και μέγιστη τιμή στη μηδενική συχνότητα f=0, ορίζεται ως:

$W_{eq} = \dfrac{\int_{-\infty}^{\infty} \lvert X(f) \rvert^2 df}{2\lvert X(0) \rvert^2}$ ***Ορισμός #3-β***: Η αντίστοιχη δυική συνάρτηση ***Ισοδύναμης*** μέτρησης της ***Διάρκειας*** ορίζεται ως: $T_{eq} = \dfrac{\left(\int_{-\infty}^{\infty} \lvert x(t) \rvert dt\right)^2}{\int_{-\infty}^{\infty} \lvert x(t) \rvert^2 dt}$
Ενδεικτική Μεθοδολογία: Να κάνετε χρήση βασικών ιδιοτήτων του ΜΣ Fourier και των διαφόρων μορφών του Θεωρήματος του Parseval.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ

(α-i)

$$x_1(t) = 200 \cdot \text{sinc}^2(200 \cdot t) \overset{F}{\longleftrightarrow} tri\left(\frac{f}{200}\right)$$

Για να δημιουργηθεί το $X_2(f)$ από το $X_1(f)$ με διαμόρφωση πλάτους DSB θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί το φέρον

$$x_c(t) = 2 \cdot \cos(2\pi 400t)$$

(α-ii) Με δειγματοληψία:

Η μέγιστη συχνότητα του βαθυπερατού σήματος (ιδανικό εύρος ζώνης) παρατηρούμε ότι είναι 200Hz, οπότε η ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψίας f_δ είναι 400Hz.

Προκειμένου να λάβουμε σήμα $x_2(t)$ με φάσμα $X_2(f) = tri\left(\frac{f-400}{200}\right) + tri\left(\frac{f+400}{200}\right)$, θα πρέπει να δημιουργήσουμε ένα δειγματισμένο σήμα στο οποίο τα αντίγραφα του της μορφής του φάσματος του $x_1(t)$ θα πρέπει να έχουν ως κεντρικές συχνότητες τις ±400Hz, άρα θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί η ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψίας f_δ =400Hz.

Δηλαδή στο πεδίο των συχνοτήτων θα έχουμε:

$$X_{1,\delta}(f) = f_\delta \sum_{m=-\infty}^{+\infty} X(f - mf_\delta) = 400 \sum_{m=-\infty}^{+\infty} tri\left(\frac{f - m400}{200}\right)$$

Η αντίστοιχη έκφραση του δειγματισμένου σήματος στο πεδίο του χρόνου θα είναι

$$x_{1,\delta}(n) = x_1(t)\Big|_{t=nT_\delta} = 200 \cdot \text{sinc}^2(200 \cdot nT_\delta) = 200 \cdot \text{sinc}^2\left(200 \cdot n\frac{1}{400}\right), \quad n \text{ ακέραιος}$$

Στη συνέχεια, προκειμένου να ληφθεί από το δειγματισμένο σήμα $x_{1,\delta}(n)$ το $x_2(t)$ θα χρειαστεί να χρησιμοποιήσουμε αντίστοιχα στο πεδίο συχνοτήτων (δηλ. στο $X_{1,\delta}(f)$) ένα ζωνοπερατό φίλτρο με συχνότητες αποκοπής :

$$\begin{aligned} f_{LOW} &= 200Hz \\ f_{HIGH} &= 600Hz \end{aligned}$$ και με πλάτος 1/400 .

για να απομονώσουμε το ζητούμενο σήμα $X_2(f)$

Η συνάρτηση μεταφοράς και η κρουστική απόκριση του ζωνοπερατού φίλτρου θα είναι αντίστοιχα:

$$H(f)=\frac{1}{400}\left[rect\left(\frac{f-400}{400}\right)+rect\left(\frac{f+400}{400}\right)\right]$$

$$h(t)=\frac{1}{400}400\text{sinc}(400t)\left[e^{j2\pi 400t}+e^{-j2\pi 400t}\right]=2\text{sinc}(400t)\cos(2\pi 400t)$$

(β-i)

Με βάση τον ορισμό 2-α:

Εργαζόμαστε στο θετικό ημιάξονα των συχνοτήτων για το $X_1(f)=tri\left(\frac{f}{200}\right)$

Ο τριγωνικός παλμός έχει εξίσωση $g(f)=-\frac{f}{200}+1$

Αναζητούμε τη συχνότητα f_0 για την οποία έχουμε $g(f_0)=\frac{g(0)}{\sqrt{2}}=\frac{1}{\sqrt{2}}$.

Άρα:

$$-\frac{f_0}{200}+1=\frac{1}{\sqrt{2}}\Rightarrow f_0=200\left(1-\frac{1}{\sqrt{2}}\right)=58.57Hz$$

(β-ii) Με βάση τον ορισμό 3-α:

$$W_{eq}=\frac{\int_{-\infty}^{\infty}|X_1(f)|^2df}{2|X_1(0)|^2}\Rightarrow$$

$$W_{eq}=\frac{\int_{-200}^{200}\left|X_1(f)\right|^2df}{2\left|X_0(f)\right|^2}=\frac{\int_{-200}^{0}\left|\frac{f}{200}+1\right|^2df+\int_{0}^{200}\left|-\frac{f}{200}+1\right|^2df}{2}=$$

$$=\frac{\int_{-200}^{0}\left[\left(\frac{f}{200}\right)^2+1+2\frac{f}{200}\right]df+\int_{0}^{200}\left[\left(-\frac{f}{200}\right)^2+1-2\frac{f}{200}\right]df}{2}=$$

$$=\frac{\left[\left(\frac{f^3}{3\cdot 200^2}\right)+f+2\frac{f^2}{2\cdot 200}\right]_{-200}^{0}+\left[\left(\frac{f^3}{3\cdot 200^2}\right)+f-2\frac{f^2}{2\cdot 200}\right]_{0}^{200}}{2}=$$

$$=\frac{\left\{0-\left[\left(\frac{-200^3}{3\cdot 200^2}\right)-200+\frac{200^2}{200}\right]\right\}+\left\{\left[\left(\frac{200^3}{3\cdot 200^2}\right)+200-\frac{200^2}{200}\right]-0\right\}}{2}=$$

$$=\frac{\frac{200}{3}+\frac{200}{3}}{2}=\frac{200}{3}=66.67Hz$$

Με βάση τον ορισμό 3-β:

$$T_{eq} = \frac{(\int_{-\infty}^{\infty} |x_1(t)| dt)^2}{\int_{-\infty}^{\infty} |x_1(t)|^2 dt} \Rightarrow$$

$$T_{eq} = \frac{(\int_{-\infty}^{\infty} |200 sinc^2(200t)| dt)^2}{\int_{-\infty}^{\infty} |200 sinc^2(200t)|^2 dt} = \frac{(\int_{-\infty}^{\infty} |200 sinc^2(200t)| dt)^2}{\int_{-200}^{200} |X_1(f)|^2 dt} = \frac{(\int_{-\infty}^{\infty} |200 sinc^2(200t)| dt)^2}{\frac{400}{3}} =$$

$$= \frac{(\int_{-\infty}^{\infty} |200 sinc^2(200t)| dt)^2}{\frac{400}{3}} = \frac{(\int_{-\infty}^{\infty} |200 sinc(200t)|^2 dt)^2}{200^2 \frac{400}{3}} = \frac{(\int_{-100}^{100} \left| rect(\frac{f}{200}) \right|^2 df)^2}{200^2 \frac{400}{3}} = \frac{(\int_{-100}^{100} df)^2}{200^2 \frac{400}{3}}$$

$$\Rightarrow T_{eq} = \frac{3}{400} \ secs$$

Άρα, το γινόμενο Διάρκειας-Εύρους Ζώνης του σήματος $x_1(t) = 200 \mathrm{sinc}^2(200t)$ ικανοποιεί το κατώτερο θεωρητικό όριο του με ισότητα:

$T_{eq} W_{eq} = 0{,}5.$

Κριτήρια Αξιολόγησης

ΘΕΜΑ 1	**16**	
Ερώτημα (α)		5
Ερώτημα (β)		3
Ερώτημα (γ)		4
Ερώτημα (δ)		4
ΘΕΜΑ 2	**17**	
Ερώτημα (α)		5
Ερώτημα (β)		4
Ερώτημα (γ)		4
Ερώτημα (δ)		4
ΘΕΜΑ 3	**14**	
Ερώτημα (α)		5
Ερώτημα (β)		4
Ερώτημα (γ)		5
ΘΕΜΑ 4	**11**	
Ερώτημα (α)		5
Ερώτημα (β)		6
ΘΕΜΑ 5	**12**	
Ερώτημα (α)		4
Ερώτημα (β)		4
Ερώτημα (γ)		4
ΘΕΜΑ 6	**14**	
Ερώτημα (α)		3
Ερώτημα (β)		3
Ερώτημα (γ)		3
Ερώτημα (δ)		5
ΘΕΜΑ7	**16**	
Ερώτημα (α-i)		3
Ερώτημα (α-ii)		5
Ερώτημα (β-i)		4
Ερώτημα (β-ii)		4
ΣΥΝΟΛΟ		**100**

Ο συνολικός βαθμός θα διαιρεθεί δια 10, ώστε να προκύψει ο τελικός βαθμός της εργασίας.

Τρόπος – Ημερομηνία Παράδοσης

1. Η εργασία σας θα πρέπει να έχει αποσταλεί στον Καθηγητή-Σύμβουλό σας μέχρι την **Κυριακή 06 Ιανουαρίου 2013**, ώρα 23:59.
2. Περιμένουμε όλες οι εργασίες να σταλούν με χρήση της υπηρεσίας ανάρτησης και διαχείρισης ΓΕ του ΕΑΠ, μέσω του συνδέσμου http://moodle.eap.gr και να είναι γραμμένες σε επεξεργαστή κειμένου (π.χ. MS-Word).
3. Την Παρασκευή 11 Ιανουαρίου 2013 θα δημοσιευθεί ενδεικτική απάντηση για την επίλυση της εργασίας στο site της Θ.Ε. στο http://moodle.eap.gr και στην ιστοσελίδα της ΠΛΗ-22 “http://p-comp.di.uoa.gr/eap/index.html”.

Καλή Επιτυχία!!!