



ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
Εθνικόν και Καποδιστριακόν
Πανεπιστήμιον Αθηνών

Συστήματα Επικοινωνιών

Ενότητα 6: Συστήματα Αναλογικής Διαμόρφωσης

Σαγκριώτης Εμμανουήλ

Σχολή Θετικών Επιστημών

Τμήμα Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών

Σκοποί ενότητας

1. Η αναγνώριση της ανάγκης διαμόρφωσης αναλογικού σήματος για την διαβίβασή του με ασύρματο τρόπο.
2. Ανάδειξη των τεχνικών διαμόρφωσης πλάτους (AM) και συχνότητας (FM) και των παραλλαγών αυτών.
3. Προσδιορισμός των απαιτήσεων εύρους ζώνης και ισχύος στα συστήματα AM και FM.
4. Σύγκριση επιδόσεων των συστημάτων AM FM και PCM.



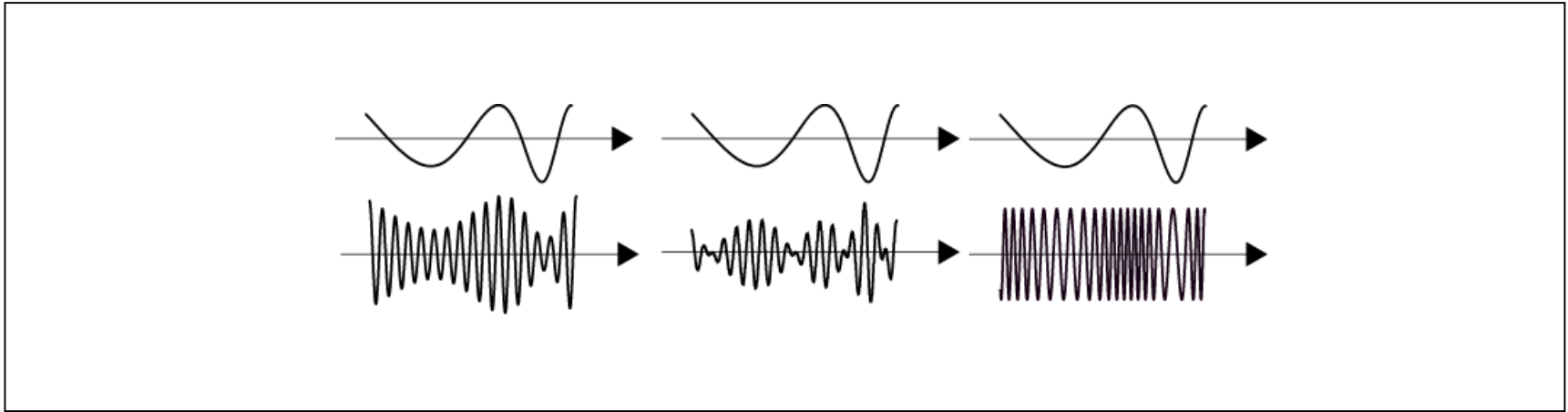
Περιεχόμενα ενότητας

1. Τηλεφωνία βασικής Ζώνης.
2. Συστήματα διαμόρφωσης πλάτους, DSB, SSB, Συμβατικό AM.
3. Συστήματα διαμόρφωσης γωνίας, FM, PM.
4. Επίδραση του θορύβου καναλιού στα συστήματα αναλογικής διαμόρφωσης. Προσδιορισμός της ποιότητας στον προορισμό.
5. Σύγκριση επιδόσεων των συστημάτων αναλογικής διαμόρφωσης μεταξύ τους και με το PCM.



Ενότητα 6

Συστήματα Αναλογικής Διαμόρφωσης



$$u(t) = A_c(1 + m(t))\cos(2\pi f_c t)$$

Συμβατικό AM

$$u(t) = m(t)\cos(2\pi f_c t)$$

AM-DSB-SC

FM

Φασματική πυκνότητα ισχύος του σήματος DSB-SC όταν $m(t)$ τυχαίο σήμα (σήμα ισχύος)

Για τον υπολογισμό της πυκνότητας ισχύος του $u(t)$:

- Υπολογίζεται η συνάρτηση αυτοσυσχέτισης $R_u(\tau)$
 - Ισχύει $R_u(\tau) = R_m(\tau) [(A_c^2/2) \cos(2\pi f_c \tau)]$
- Η φασματική πυκνότητα ισχύος $S_u(f) = F(R_u(\tau))$

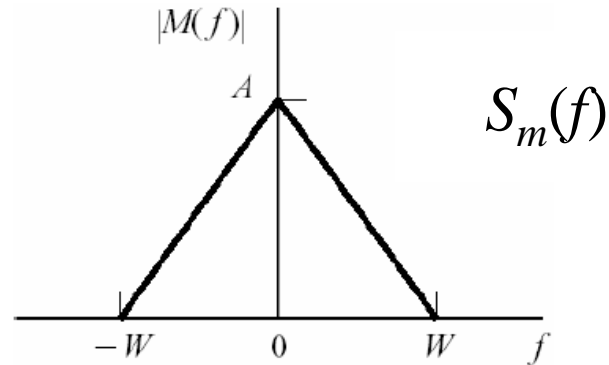
$$\begin{aligned} S_u(f) &= \mathcal{F} \left[\frac{A_c^2}{2} R_m(\tau) \cos(2\pi f_c \tau) \right] \\ &= \frac{A_c^2}{4} [S_m(f - f_c) + S_m(f + f_c)] \end{aligned}$$

$$\text{ΙΣΧΥΣ ΤΟΥ ΣΗΜΑΤΟΣ DSB-SC } (P_u = R_u(0)) = \int_{-\infty}^{+\infty} S_u(f) df$$

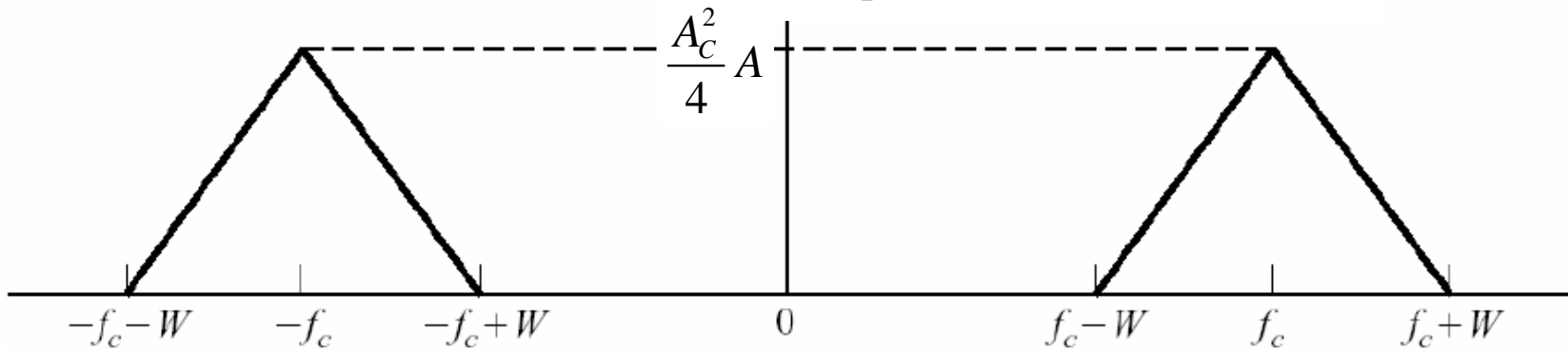
$$\begin{aligned} P_u &= \frac{A_c^2}{2} R_m(\tau) \cos(2\pi f_c \tau) \Big|_{\tau=0} = \frac{A_c^2}{2} R_m(0) \\ &= \frac{A_c^2}{2} P_m \end{aligned}$$



Φάσμα Ισχύος του Διαμορφούντος και του Διαμορφωμένου Σήματος



$$|U(f)| = \frac{A_c^2}{4} [\mathcal{S}_m(f - f_c) + \mathcal{S}_m(f + f_c)]$$



ΑΠΟΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΗΜΑΤΟΣ DSB-SC

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

ΣΥΜΦΩΝΗ ΑΠΟΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ

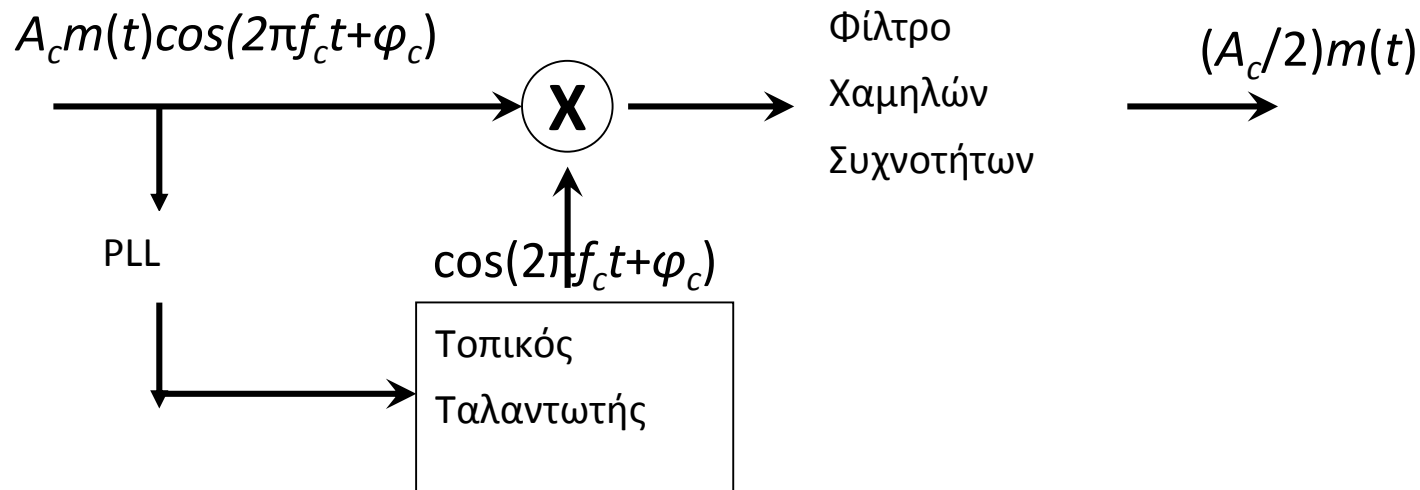
$$\begin{aligned} r(t) \cos(2\pi f_c t + \phi) &= A_c m(t) \cos(2\pi f_c t + \phi_c) \cos(2\pi f_c t + \phi) \\ &= \frac{1}{2} A_c m(t) \cos(\phi_c - \phi) + \frac{1}{2} A_c m(t) \cos(4\pi f_c t + \phi + \phi_c) \end{aligned}$$

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

**ΑΝΑΓΚΗ ΥΠΑΡΞΗΣ ΤΟΠΙΚΟΥ ΤΑΛΑΝΤΩΤΗ ΣΥΜΦΑΣΙΚΟΥ!!
ΜΕ ΤΟ ΦΕΡΟΝ ΤΟΥ ΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΟΥ DSB-SC**

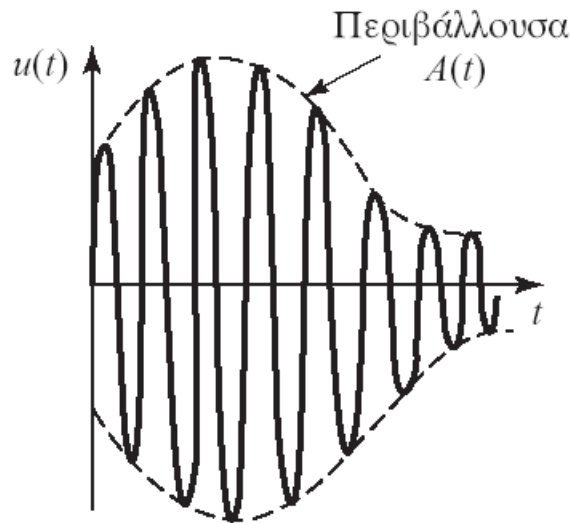


Η χρήση του PLL στην Σύμφωνη Αποδιαμόρφωση



Συμβατική διαμόρφωση πλάτους (AM)

$$u(t) = A_c[1 + m(t)] \cos(2\pi f_c t + \phi_c) \quad |m(t)| \leq 1$$



Ισχύς του σήματος AM:

$$P = (A_c^2/2)(1 + P_m)$$

Γενικότερα ορίζεται: $m_n(t) = m(t) / \max |m(t)|$ και
 $u(t) = A_c[1 + a m_n(t)] \cos(2\pi f_c t)$ α: δείκτης διαμόρφωσης

$$U(f) = \frac{A_c}{2} [e^{j\phi_c} a M_n(f - f_c) + e^{j\phi_c} \delta(f - f_c) + e^{-j\phi_c} a M_n(f + f_c) + e^{-j\phi_c} \delta(f + f_c)]$$

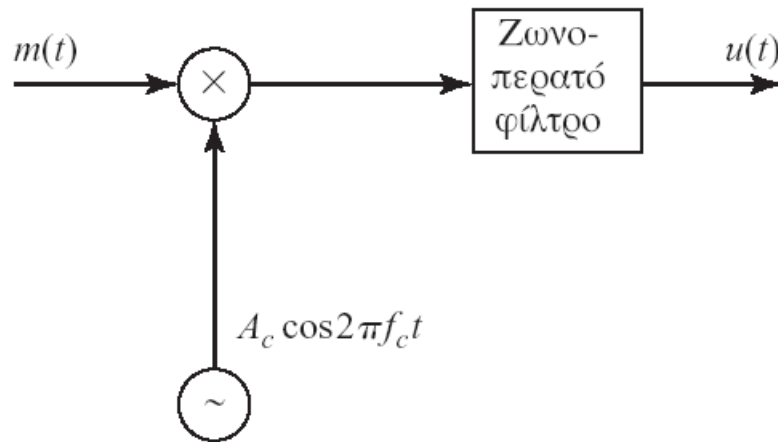
Δυνατή η Αποδιαμόρφωση με σύμφωνη φώραση, αλλά για το συμβατικά διαμορφωμένο σήμα συνήθως χρησιμοποιείται η φώραση περιβάλλουσας.

ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΕ ΕΥΡΟΣ ΖΩΝΗΣ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΥ ΑΜ ΚΑΙ DSB-SC

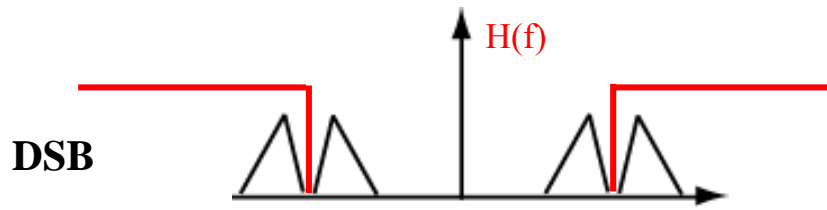
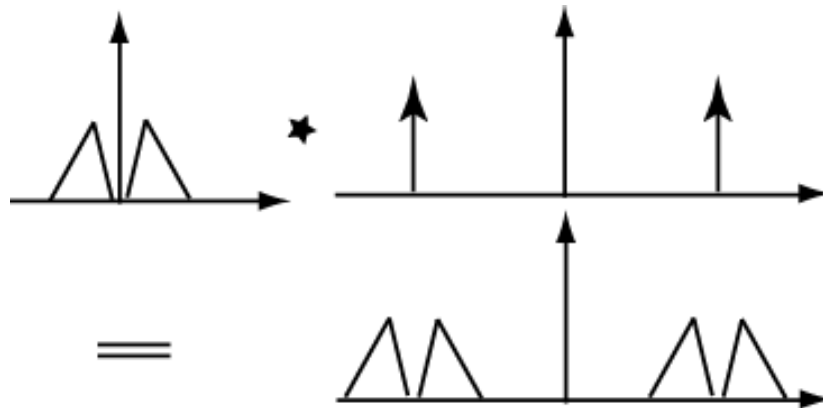
$$B_C = 2W$$



AM μονής πλευρικής Ζώνης (SSB)



Σχήμα 3.9 Δημιουργία ενός σήματος AM μονής πλευρικής ζώνης φιλτράροντας μία από τις δύο πλευρικές ζώνες ενός DSB AM σήματος.



ΜΕ ΠΑΡΟΜΟΙΟ ΤΡΟΠΟ ΔΗΜΙΟΥΡΓΕΙΤΑΙ ΤΟ LSSB

ΠΩΣ ΟΜΩΣ ΘΑ ΥΛΟΠΟΙΗΘΕΙ Η ΑΠΟΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΟΥ USSB
Ή ΤΟΥ LSSB ?

ΑΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΟΥΜΕ ΤΗΝ ΕΞΙΣΩΣΗ ΕΝΟΣ ΣΗΜΑΤΟΣ USSB!

$$H(f) = \begin{cases} 1, & |f| > f_c \\ 0, & \text{αλλιώς} \end{cases} \quad H(f) = u_{-1}(f - f_c) + u_{-1}(-f - f_c)$$

FT ΕΝΟΣ ΣΗΜΑΤΟΣ USSB!

$$U_u(f) = A_c M(f - f_c) u_{-1}(f - f_c) + A_c M(f + f_c) u_{-1}(-f - f_c)$$

$$U_u(f) = A_c M(f) u_{-1}(f)|_{f=f-f_c} + A_c M(f) u_{-1}(-f)|_{f=f+f_c}$$

$$u_u(t) = A_c m(t) \star \mathcal{F}^{-1}[u_{-1}(f)] e^{j2\pi f_c t} + A_c m(t) \star \mathcal{F}^{-1}[u_{-1}(-f)] e^{-j2\pi f_c t}$$



$$\mathcal{F} \left[\frac{1}{2} \delta(t) + \frac{j}{2\pi t} \right] = u_{-1}(f)$$

$$\mathcal{F} \left[\frac{1}{2} \delta(t) - \frac{j}{2\pi t} \right] = u_{-1}(-f)$$

$$u_u(t) = A_c m(t) \star \left[\frac{1}{2} \delta(t) + \frac{j}{2\pi t} \right] e^{j2\pi f_c t} + A_c m(t) \star \left[\frac{1}{2} \delta(t) - \frac{j}{2\pi t} \right] e^{-j2\pi f_c t}$$



$$u_u(t) = A_c m(t) \star \left[\frac{1}{2} \delta(t) + \frac{j}{2\pi t} \right] e^{j2\pi f_c t} + A_c m(t) \star \left[\frac{1}{2} \delta(t) - \frac{j}{2\pi t} \right] e^{-j2\pi f_c t}$$

$$u_u(t) = A_c \frac{e^{j2\pi f_c t} + e^{-j2\pi f_c t}}{2} [m(t) \star \delta(t)] - A_c \frac{e^{j2\pi f_c t} - e^{-j2\pi f_c t}}{2j} \left[m(t) \star \frac{1}{\pi t} \right]$$

Μετασχηματισμός

Hilbert

$$[m(t) \star \delta(t)] = m(t)$$

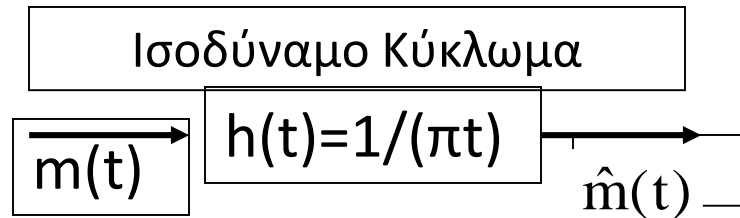
$$\left[m(t) \star \frac{1}{\pi t} \right]^{\text{ορσ}} = \hat{m}(t)$$



Σημαντική Παρατήρηση για το $m^{\wedge}(t)$!

Hilbert Transform

$$\hat{m}(t) = m(t) * \frac{1}{\pi t}$$



$$S_{\hat{m}}(f) = S_m(f) \left| \mathcal{F} \left\{ \frac{1}{\pi t} \right\} \right|^2$$

Τα $m(t)$ και $m^{\wedge}(t)$ έχουν τα ίδια PDF και την ίδια ισχύ

$$\mathcal{F} \left\{ \frac{1}{\pi t} \right\} = -j \operatorname{sgn}(f) \quad S_{\hat{m}}(f) = S_m(f) \quad P_{\hat{m}} = P_m$$



Η ΕΞΙΣΩΣΗ ΕΝΟΣ ΣΗΜΑΤΟΣ USSB

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

$$U_u(f) = A_c M(f - f_c) u_{-1}(f - f_c) + A_c M(f + f_c) u_{-1}(-f - f_c)$$

Η ΕΞΙΣΩΣΗ ΕΝΟΣ ΣΗΜΑΤΟΣ LSSB

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

$$U_l(f) = A_c M(f - f_c) u_{-1}(f - f_c) - A_c M(f + f_c) u_{-1}(-f - f_c)$$

Θυμηθείτε ότι στο SSB το εύρος ζώνης του διαμορφωμένου σήματος είναι:

$$B_c = W$$



Αποδιαμόρφωση σημάτων SSB Σύμφωνη Φώραση

$$r(t) \cos(2\pi f_c t + \phi) = u_{SSB}(t) \cos(2\pi f_c t + \phi) = \\ \frac{1}{2} A_c m(t) \cos \phi \pm \frac{1}{2} A_c \hat{m}(t) \sin \phi + \text{όροι διπλάσιας συχνότητας}$$

Και μετά την απόρριψη των υψηλών
συχνοτήτων

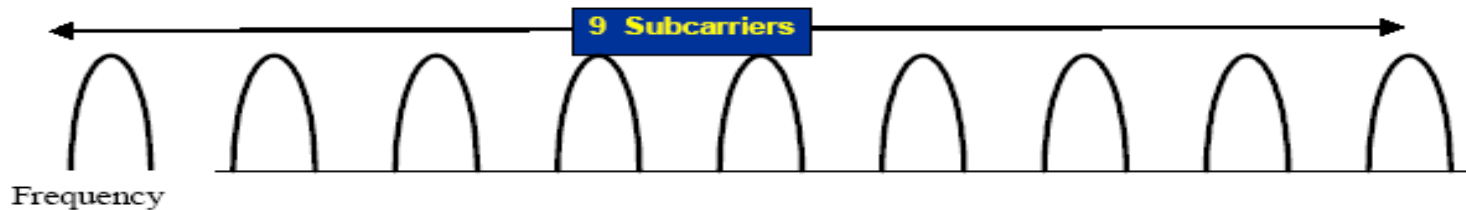
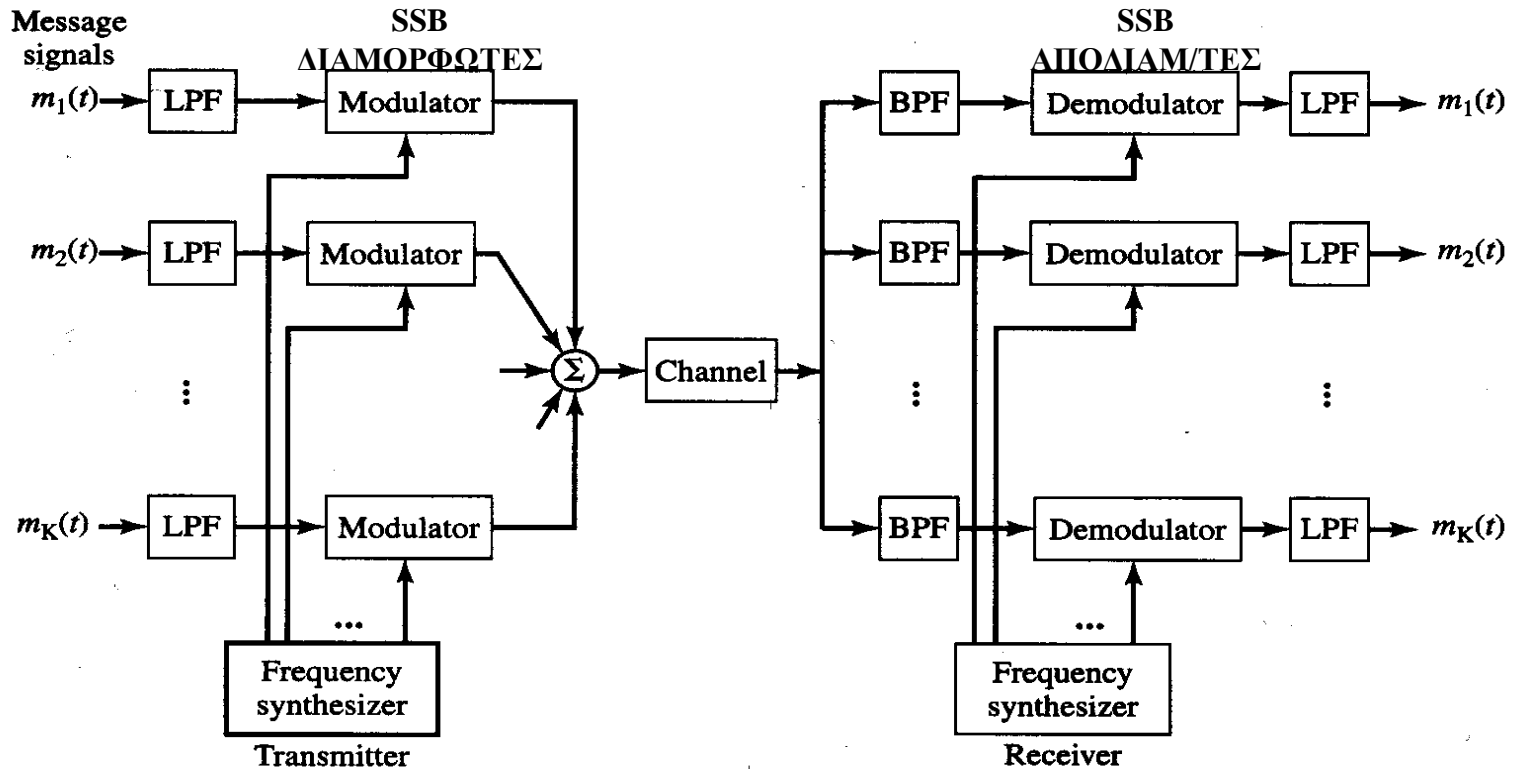
$$y_\ell(t) = \frac{1}{2} A_c m(t) \cos \phi \pm \frac{1}{2} A_c \hat{m}(t) \sin \phi$$

Από την τελευταία σχέση γίνεται πάλι
φανερή ή ανάγκη $\phi=0$!

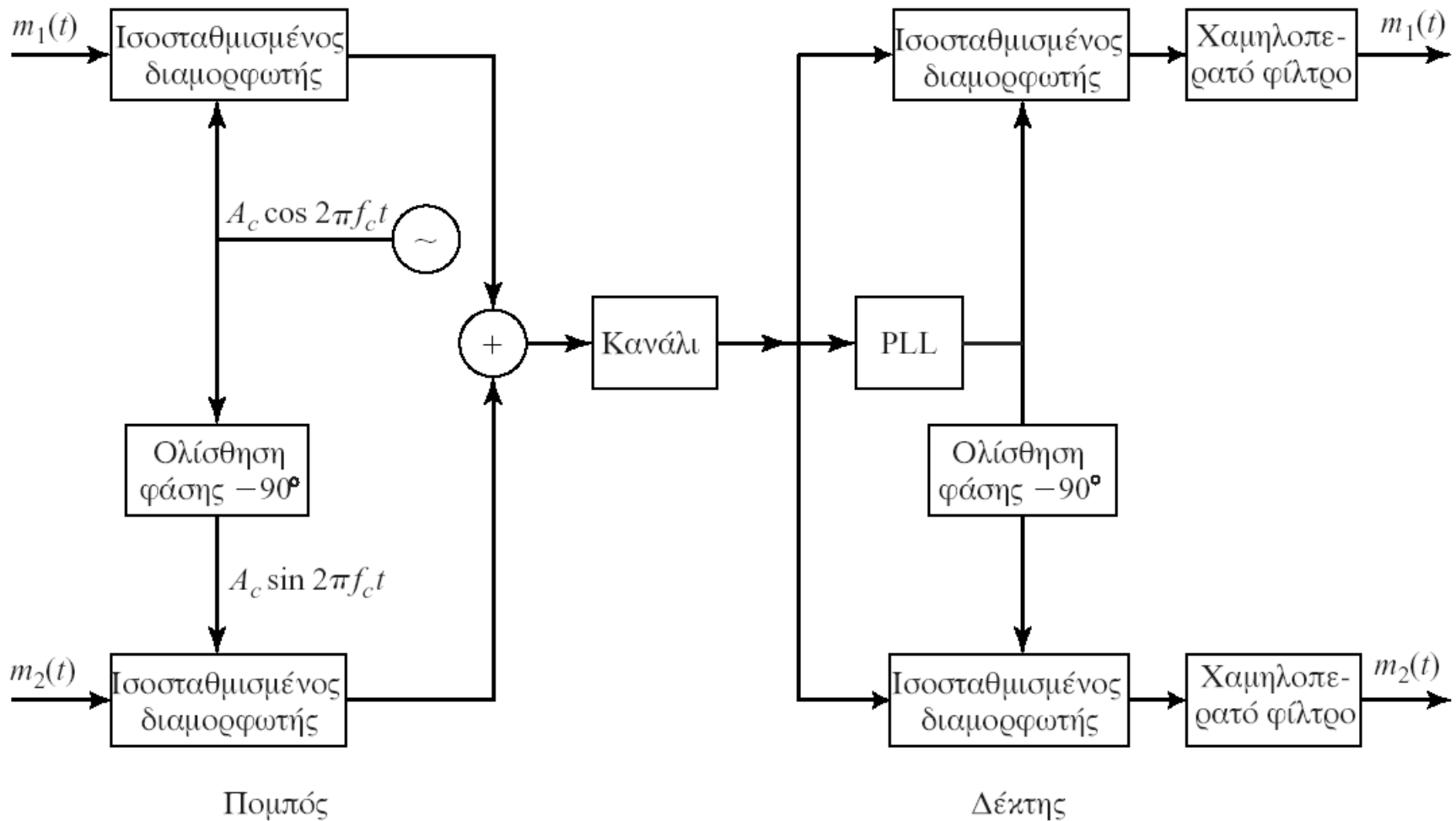


Κλασικές Τεχνικές Πολυπλεξίας Συχνότητας

Πολυπλεξία Φασμάτων SSB



Πολυπλεξία με ορθογώνια φέροντα



$$u(t) = A_c m_1(t) \cos 2\pi f_c t + A_c m_2(t) \sin 2\pi f_c t$$

Διαμόρφωση γωνίας (1/2)

Σήμα Ζωνοπερατό με Πλάτος Σταθερό Ανεξάρτητο του Χρόνου

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

$\theta(t)$: Η φάση του σήματος ως συνάρτηση του χρόνου.

Ορισμός Στιγμιαίας Συχνότητας του Σήματος

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



Διαμόρφωση γωνίας (2/2)

Ένα Ζωνοπερατό Σήμα με σταθερό πλάτος μπορεί να γραφτεί ως:

$$u(t) = A_c \cos(2\pi f_c t + \phi(t))$$

Όπου:

f_c σταθερή τιμή συχνότητας της ζώνης συχνοτήτων του σήματος.

$\phi(t)$: Η φάση του σήματος ως συνάρτηση του χρόνου.

Εφαρμόζοντας τον ορισμό της στιγμιαίας συχνότητας

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



Έστω $m(t)$: το διαμορφούν σήμα

Διαμόρφωση Φάσης (Phase Modulation-PM)

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

Η Εξίσωση του σήματος PM

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

Διαμόρφωση Συχνότητας FM

$$f_i(t) - f_c = k_f m(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d}{dt} \phi(t)$$

Η Εξίσωση του σήματος FM

$$u(t) = A_c \cos\left(2\pi f_c t + 2\pi k_f \int_{-\infty}^t m(\tau) d\tau\right)$$



Ομοιότητες μεταξύ PM και FM

Η σχέση μεταξύ φάσης $\phi(t)$ και διαμορφούντος $m(t)$ στα δύο συστήματα

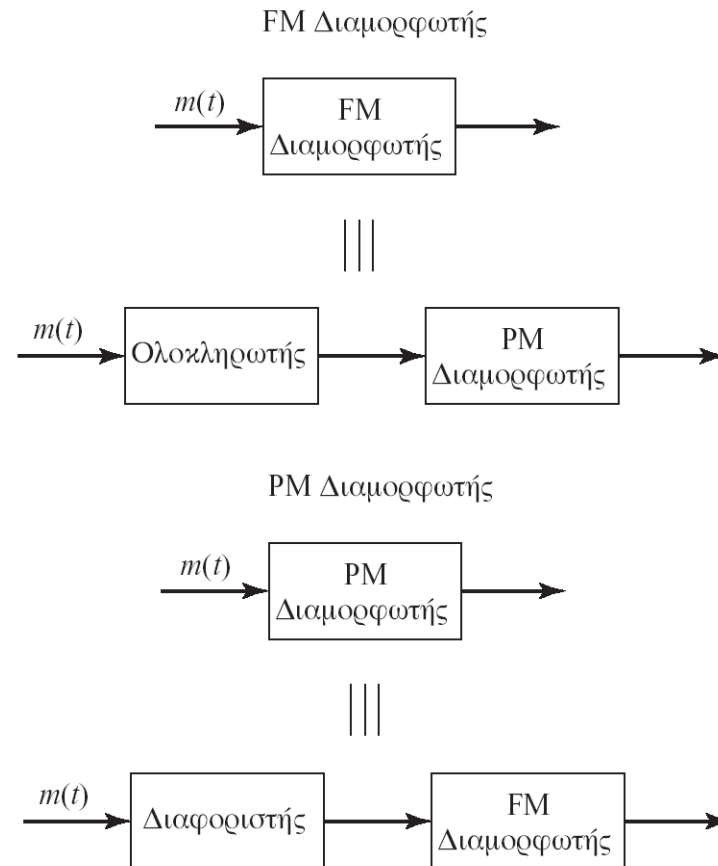
$$\phi(t) = \begin{cases} k_p m(t), & \text{PM} \\ 2\pi k_f \int_{-\infty}^t m(\tau) d\tau, & \text{FM} \end{cases}$$

Η σχέση μεταξύ παραγώγου της φάσης $d\phi(t)/dt$ και διαμορφούντος $m(t)$ στα δύο συστήματα

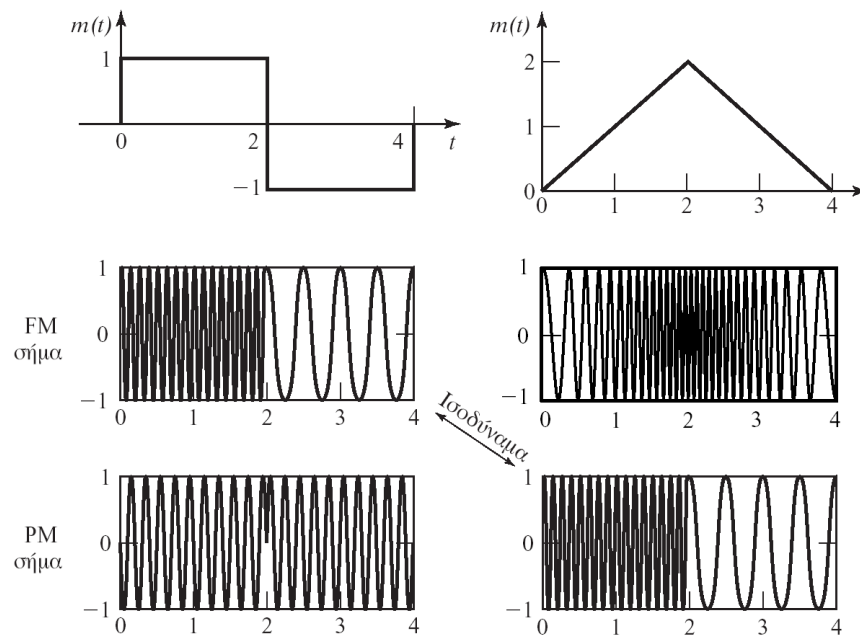
$$\frac{d}{dt}\phi(t) = \begin{cases} k_p \frac{d}{dt}m(t), & \text{PM} \\ 2\pi k_f m(t), & \text{FM} \end{cases}$$



Οι ομοιότητες στη φάση των δύο συστημάτων οδηγεί στις πιο κάτω σχέσεις μεταξύ PM και FM διαμορφωτών



Στο πιο κάτω σχήμα δίνονται οι μορφές διαμορφωμένων σημάτων κατά FM και PM για δύο διαμορφούντα σήματα.



Μέγιστη Απόκλιση φάσης σε ένα σήμα PM

$$\Delta\phi_{\max} = k_p \max[|m(t)|]$$

Μέγιστη Απόκλιση Συχνότητας σε ένα σήμα FM

$$\Delta f_{\max} = k_f \max[|m(t)|]$$



Απαιτήσεις σε εύρος ζώνης ενός κατά Γωνία Διαμορφωμένου Σήματος

Για την περίπτωση που το διαμορφωμένο κατά γωνία σήμα προκύπτει γενικά από ένα μη περιοδικό, αλλά νομοτελειακό σήμα μηνύματος $m(t)$, η λεπτομερής εξέταση των φασματικών χαρακτηριστικών του πρώτου, παρουσιάζει αυξημένη πολυπλοκότητα λόγω της μη γραμμικής φύσης της διαδικασίας διαμόρφωσης. Εντούτοις υπάρχει μια προσεγγιστική σχέση για το ενεργό εύρος-ζώνης του διαμορφωμένου σήματος, γνωστής ως ο κανόνας του Carson, και δίνεται από την

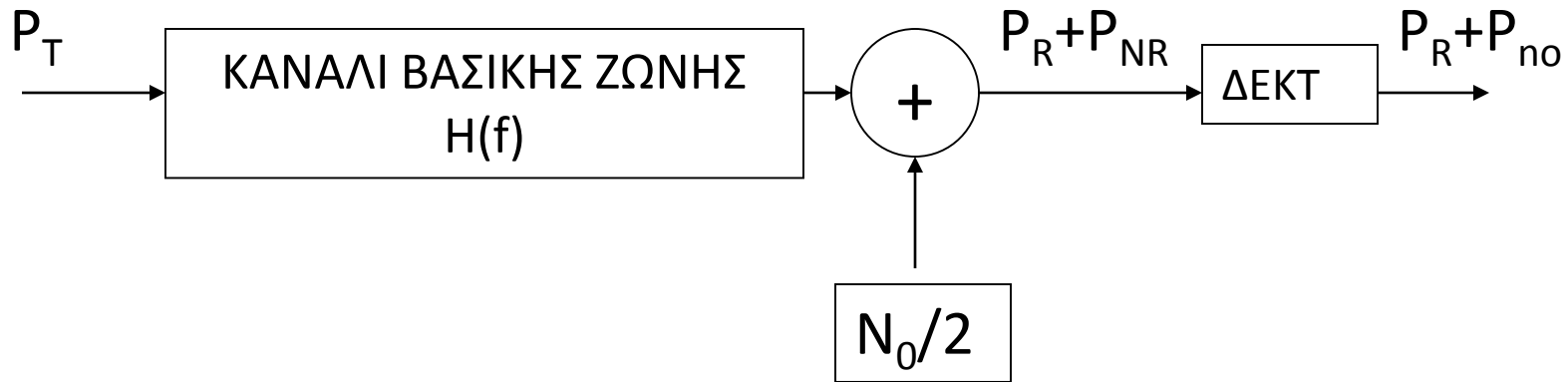
$$B_c = 2(\beta + 1)W \quad (3.3.45)$$

όπου β είναι ο δείκτης διαμόρφωσης που ορίζεται ως

$$\beta = \begin{cases} k_p \max[|m(t)|], & \text{PM} \\ \frac{k_f \max[|m(t)|]}{W}, & \text{FM} \end{cases} \quad (3.3.46)$$



Επίδραση του θορύβου σε μετάδοση βασικής ζώνης (σταθερή τηλεφωνία)



Ισχύς του θορύβου στην έξοδο του δέκτη (τηλεφώνου)

$$P_{no} = \int_{-W}^{+W} \frac{N_0}{2} df = N_0 W$$

Λόγος Σήματος προς Θόρυβο στον προορισμό

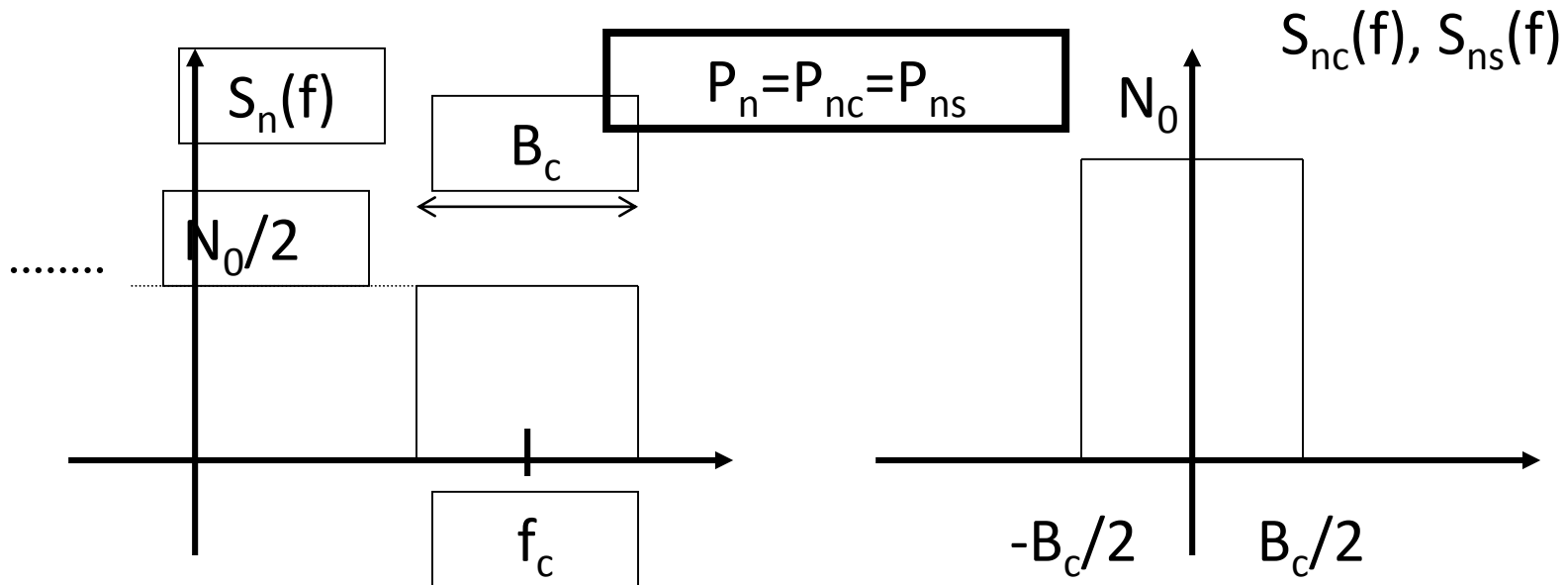
$$\left(\frac{S}{N}\right)_b = \frac{P_R}{N_0 W}$$

Gaussian θόρυβος ζωνοπερατού καναλιού

Αποτελείται από δύο ορθογώνιες μεταξύ τους συνιστώσες:

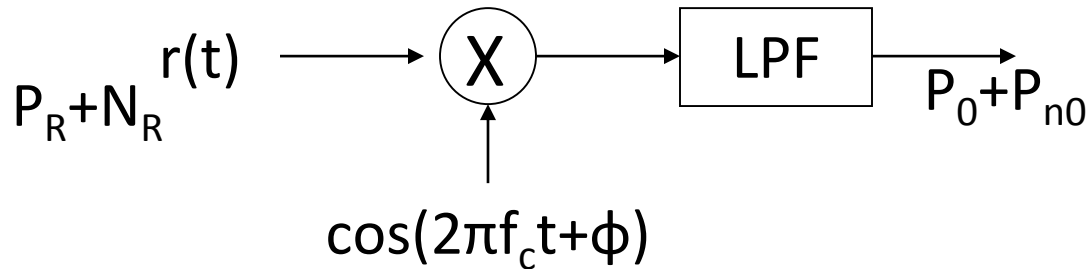
$$n(t) = n_c(t)\cos(2\pi f_c t + \phi_o) - n_s(t)\sin(2\pi f_c t + \phi_o)$$

όπου ϕ_o είναι μια αυθαίρετα επιλεγμένη φάση, τα $n_c(t)$ και $n_s(t)$ είναι τυχαία σήματα, με Gaussian κατανομή, μεταξύ τους ασυσχέτιστα, με φάσμα σταθερής πυκνότητας N_0 για συχνότητες $-B_c/2 \leq f \leq B_c/2$



Επίδραση του θορύβου σε DSB-SC AM

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

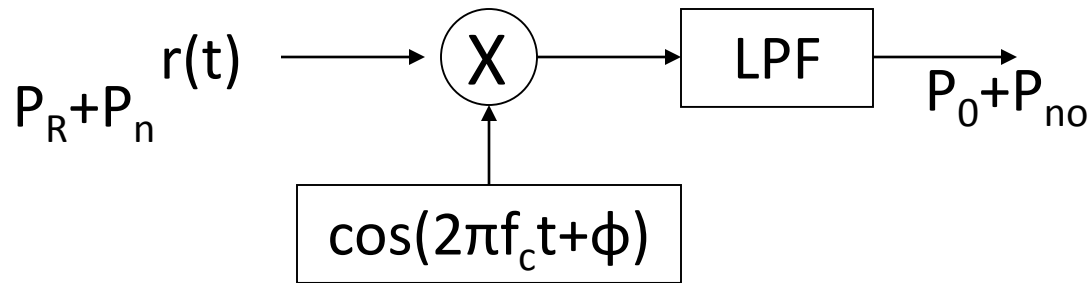


$$r(t) = u(t) + n(t)$$

$$= A_c m(t) \cos(2\pi f_c t + \phi_c) + n_c(t) \cos 2\pi f_c t - n_s(t) \sin 2\pi f_c t$$

$$\begin{aligned} r(t) \cos(2\pi f_c t + \phi) &= A_c m(t) \cos(2\pi f_c t + \phi_c) \cos(2\pi f_c t + \phi) + n(t) \cos(2\pi f_c t + \phi) \\ &= \frac{1}{2} A_c m(t) \cos(\phi_c - \phi) + \frac{1}{2} A_c m(t) \cos(4\pi f_c t + \phi + \phi_c) \\ &\quad + \frac{1}{2} [n_c(t) \cos \phi + n_s(t) \sin \phi] + \\ &\quad \frac{1}{2} [n_c(t) \cos(4\pi f_c t + \phi) - n_s(t) \sin(4\pi f_c t + \phi)] \end{aligned}$$





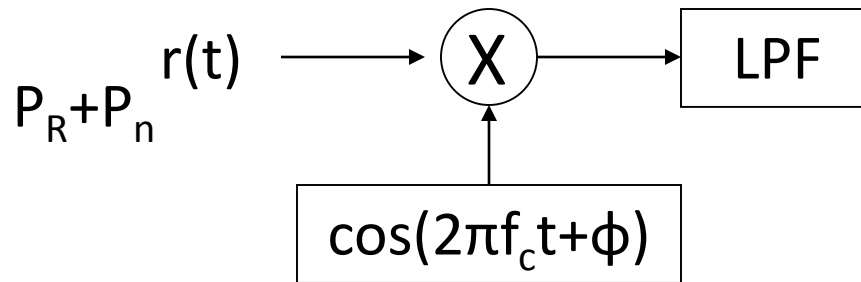
$$y(t) = \frac{1}{2} A_c m(t) \cos(\phi_c - \phi) + \frac{1}{2} [n_c(t) \cos \phi + n_s(t) \sin \phi]$$

Αν $\phi_c - \phi = 0$ (Χρήση PLL) ή ακόμα καλύτερα $\phi_c = \phi = 0$

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

$$P_o = \frac{A_c^2}{4} P_m \quad P_{no} = \frac{1}{4} P_{n_c} = \frac{1}{4} P_n$$





Ισχύς του θορύβου στην είσοδο του δέκτη

$$P_n = \int_{-\infty}^{\infty} \mathcal{S}_n(f) df = \frac{N_0}{2} \times 4W = 2WN_0$$

SNR στον Προορισμό

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{\text{DSB}} = \frac{P_o}{P_{n_o}} = \frac{\frac{A_c^2}{4} P_m}{\frac{1}{4} 2WN_0} = \frac{A_c^2 P_m}{2WN_0} \quad \left(\frac{S}{N}\right)_{\text{DSB}} = \frac{P_R}{N_0 W} = \left(\frac{S}{N}\right)_b$$



5.1.3 Επίδραση του θορύβου σε SSB AM

Αλγεβρική Εξίσωση Σήματος SSB (USSB/LSSB)

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

Σήμα SSB Υποβαθμισμένο από Θόρυβο Καναλιού

$$\begin{aligned} r(t) &= A_c m(t) \cos 2\pi f_c t \pm A_c \hat{m}(t) \sin 2\pi f_c t + n(t) \\ &= (A_c m(t) + n_c(t)) \cos 2\pi f_0 t + (\pm A_c \hat{m}(t) - n_s(t)) \sin 2\pi f_c t \end{aligned}$$

Μετά από Ομόδυνη Αποδιαμόρφωση

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



Μετά από Ομόδυνη Αποδιαμόρφωση

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

Ισχύς και Θόρυβος στον Προορισμό

$$P_o = \frac{A_c^2}{4} P_m \quad P_{n_o} = \frac{1}{4} P_{n_c} = \frac{1}{4} P_n$$

Ισχύς Σήματος SSB στην Είσοδο του Δέκτη

$$P_R = P_U = A_c^2 P_m$$

SNR στον Προορισμό

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{oSSB} = \frac{P_o}{P_{n_o}} = \frac{A_c^2 P_m}{W N_0} \quad \left(\frac{S}{N}\right)_{oSSB} = \frac{P_R}{N_0 W} = \left(\frac{S}{N}\right)_b$$



Επίδραση του θορύβου σε συμβατικό AM

Αλγεβρική Εξίσωση Σήματος AM

$$u(t) = A_c[1 + am_n(t)] \cos 2\pi f_c t$$

Σήμα AM Υποβαθμισμένο από το Θόρυβο Καναλιού

$$r(t) = [A_c[1 + am_n(t)] + n_c(t)] \cos 2\pi f_c t - n_s(t) \sin 2\pi f_c t$$

Μετά από Ομόδυνη Αποδιαμόρφωση

$$y_l(t) = \frac{1}{2} \left[A_c[1 + am_n(t)] + n_c(t) \right]$$



Μετά από Ομόδυνη Αποδιαμόρφωση

$$y_l(t) = \frac{1}{2} \left[A_c [1 + a m_n(t)] + n_c(t) \right]$$

Ισχύς Σήματος AM στην Είσοδο του Δέκτη

$$P_R = \frac{A_c^2}{2} [1 + a^2 P_{m_n}]$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{S}{N} \right)_{oAM} &= \frac{\frac{1}{4} A_c^2 a^2 P_{m_n}}{\frac{1}{4} P_{nc}} = \frac{A_c^2 a^2 P_{m_n}}{2 N_0 W} = \frac{a^2 P_{m_n}}{1 + a^2 P_{m_n}} \frac{\frac{A_c^2}{2} [1 + a^2 P_{m_n}]}{N_0 W} \\ &= \frac{a^2 P_{m_n}}{1 + a^2 P_{m_n}} \frac{P_R}{N_0 W} = \frac{a^2 P_{m_n}}{1 + a^2 P_{m_n}} \left(\frac{S}{N} \right)_b \end{aligned}$$



Φώραση περιβάλλουσας

Σήμα AM Υποβαθμισμένο από το Θόρυβο Καναλιού

$$r(t) = [A_c[1 + am_n(t)] + n_c(t)] \cos 2\pi f_c t - n_s(t) \sin 2\pi f_c t$$

Εξίσωση Περιβάλλουσας

$$V_r(t) = \sqrt{[A_c[1 + am_n(t)] + n_c(t)]^2 + n_s^2(t)}$$

Αν Ισχύει

$$P\left(n_s(t) \ll A_c[1 + am_n(t)]\right) \approx 1$$

Ισχύει Επίσης

$$V_r(t) \approx A_c[1 + am_n(t)] + n_c(t)$$



Οπότε

$$y(t) = A_c a m_n(t) + n_c(t)$$

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{oA1} = \frac{a^2 P_{m_n}}{1 + a^2 P_{m_n}} \left(\frac{S}{N}\right)_b$$



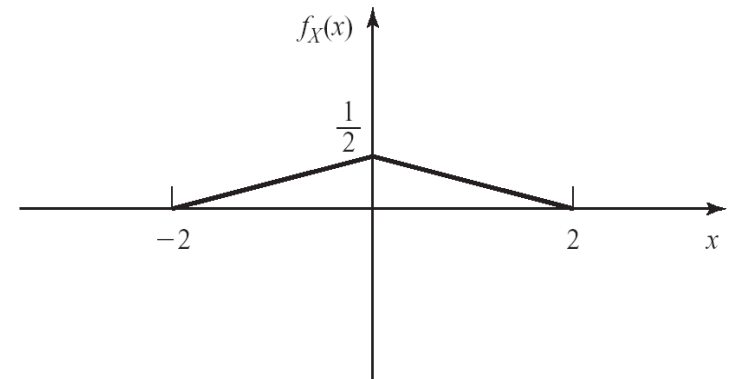
Παράδειγμα

Ένα σήμα μπορεί να θεωρηθεί ως μία στατική χαμηλοπερατή διαδικασία $X(t)$ της οποίας το PDF σε οποιοδήποτε χρονική στιγμή t_0 δίνεται στο Σχήμα Π-6.53. Το εύρος-ζώνης αυτής της διαδικασίας είναι 5 KHz και επιθυμούμε να τη διαβιβά-

σουμε με ποιότητα στον προορισμό (έξοδο του δέκτη) $(S/N)_o = 45$ dB. Να υπολογίσετε την ισχύ P_R στην είσοδο του δέκτη και το απαιτούμενο εύρος-ζώνης B_c για τη διαβίβαση του σήματος $X(t)$, για το κάθε ένα από τα πιο κάτω Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα.

- A) Τηλεφωνία Βασικής Ζώνης.
- B) DSB-SC
- Γ) Συμβατικό AM με $\alpha=1$.
- Δ) PCM/B-PSK

Το κανάλι που θα χρησιμοποιηθεί είναι ένα AWGN με πυκνότητα θορύβου $N_0/2=10^{-10}$ Watt/Hz.



Σχήμα Π-6.53

Λύση

A) ΣΤΗ ΒΑΣΙΚΗ ΖΩΝΗ

$$W=5 \text{ KHz}$$

$$(S/N)_o = P_R / (N_o W) \text{ ή } P_R = (S/N)_o (N_o W) = 10^{4.5} (5 \times 10^3 \times 2 \times 10^{-10}) \text{ ή}$$
$$P_R = 32 \times 10^{-3} \text{ Watt.}$$

B) DSB $B_C = 10 \text{ KHz}$, $P_R = 32 \times 10^{-3} \text{ Watt}$

Γ) Συμβ. AM

$$B_C = 2W = 10 \text{ KHz}$$



$$P_{mn} = \sigma_x^2 / (x_{max})^2$$

$$\sigma_x^2 = \int_{-2}^2 (x - \mu_x)^2 f_x(x) dx = \int_{-2}^2 x^2 f_x(x) dx = 2 \int_0^2 x^2 f_x(x) dx = 2 \int_0^2 x^2 (1/2 - x/4) dx$$

$$\sigma_x^2 = 2 \left[\frac{x^3}{6} \Big|_0^2 - \frac{x^4}{16} \Big|_0^2 \right] = 2 \left[\frac{8}{6} - \frac{16}{16} \right] = \frac{4}{6}$$

$$\Delta\eta\lambda\alpha\delta\acute{\eta} P_{mn} = (4/6) / 2^2 \rightarrow P_{mn} = 1/6$$

$$(S/N)_o = [\alpha^2 P_{mn} / (1 + \alpha^2 P_{mn})] [P_R / (N_0 W)] \acute{\eta}$$

$$P_R = (S/N)_o (N_0 W) (1 + \alpha^2 P_{mn}) / \alpha^2 P_{mn}$$

$$P_R = 10^{4.2} (5 \times 10^3 \times 2 \times 10^{-10}) (1 + 1/6) 6 \acute{\eta} P_R = 7 \times 32 \times 10^{-3} \text{ Watt}$$

$$P_R = 224 \times 10^{-3} \text{ Watt.}$$

Δ) PCM/B-PSK Από την (6.6.5) $(SNR)_{db} = P_{mn}|_{db} + 6v + 4.8 \acute{\eta}$
 $45 \text{ dB} = -7.8 \text{ dB} + 6v + 4.8 \acute{\eta} v = 8 \text{ bits } R_b = 2vW \acute{\eta}$
 $R_b = 80 \text{ Kbits/sec } \acute{\eta} B_C = R = R_b = 80 \text{ KHz}$



Δ) PCM/B-PSK

$$P_{TH} = 4^{-(v+2)} = 4^{-10} = 2^{-20} = 10^{-6}$$

$$P_b = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right) \quad \dot{\eta} \quad P_R = E_b R_b = [\text{quinv}(P_{TH})]^2 \left(\frac{N_0}{2}\right) R_b$$

$$P_R = [\text{quinv}(10^{-6})]^2 (10^{-10}) 70 \cdot 10^3 = 0.16 \cdot 10^{-3} \text{ Watt}$$

$$\mathbf{P_R = 0.16 \times 10^{-3} \text{ Watt}}$$

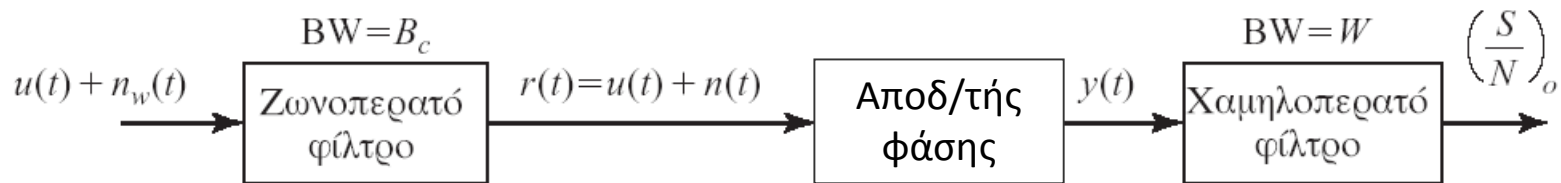


Επίδραση του θορύβου στη διαμόρφωση γωνίας – Βασική διάταξη ενός δέκτη PM

$$u(t) = A_c \cos(2\pi f_c t + \phi(t))$$

Αποδ/τής
φάσης

$$y(t) = \phi(t) = k_p m(t)$$



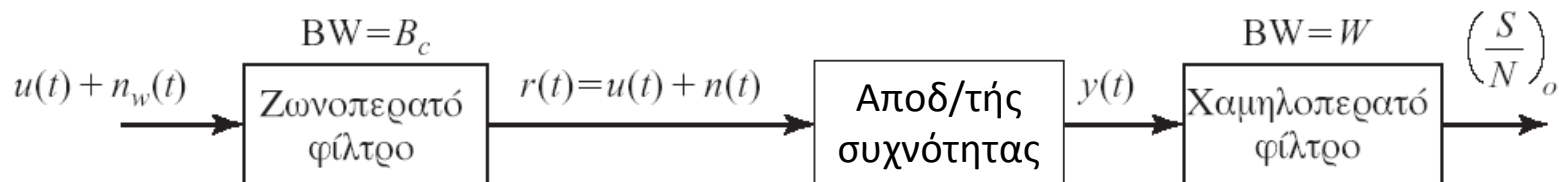
ΒΑΣΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΕΝΟΣ ΔΕΚΤΗ FM

Κύκλωμα Αποδιαμόρφωσης Συχνότητας

$$u(t) = A_c \cos\left(2\pi f_c t + 2\pi k_f \int_{-\infty}^t m(\tau) d\tau\right)$$

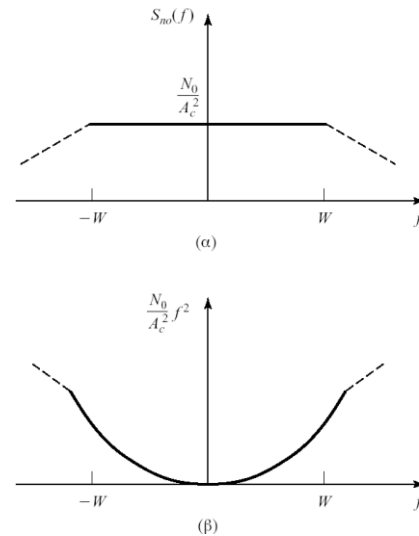
Αποδ/τής
συχνότητας

$$y(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d}{dt} \phi(t) = k_f m(t)$$



Φασματική πυκνότητα θορύβου, $S_{no}(f)$, στην έξοδο

$$S_{no}(f) = \begin{cases} \frac{N_0}{A_c^2}, & \text{PM} \\ \frac{N_0}{A_c^2} f^2, & \text{FM} \end{cases}$$



Στην έξοδο του δέκτη FM ο θόρυβος είναι
έγχρωμος!



Η ποιότητα λήψης στα συστήματα PM & FM

$$\left(\frac{S}{N}\right)_o = \begin{cases} \beta_p^2 P_{M_n} \left(\frac{S}{N}\right)_b, & \text{PM} \\ 3\beta_f^2 P_{M_n} \left(\frac{S}{N}\right)_b, & \text{FM} \end{cases}$$

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι πιο πάνω σχέσεις έχουν υπολογιστεί με την παραδοχή ότι ισχύει $(S/N)_R > 10$. Αν η παραδοχή αυτή δεν αληθεύει το σήμα της βασικής ζώνης καταστρέφεται πλήρως μετά την αποδιαμόρφωση. Για το λόγο αυτό στα διάφορα προβλήματα η λύση πρέπει να βρίσκεται κάτω από τον περιορισμό της σχέσης αυτής.

Ο περιορισμός $(S/N)_R > 10$ είναι ισοδύναμη με:

$$(S/N)_R > 10 \iff (S/N)_b > 20 (\beta_f + 1) \iff (S/N)_o > 60 P_{mn} \beta_f^2 (\beta_f + 1)$$

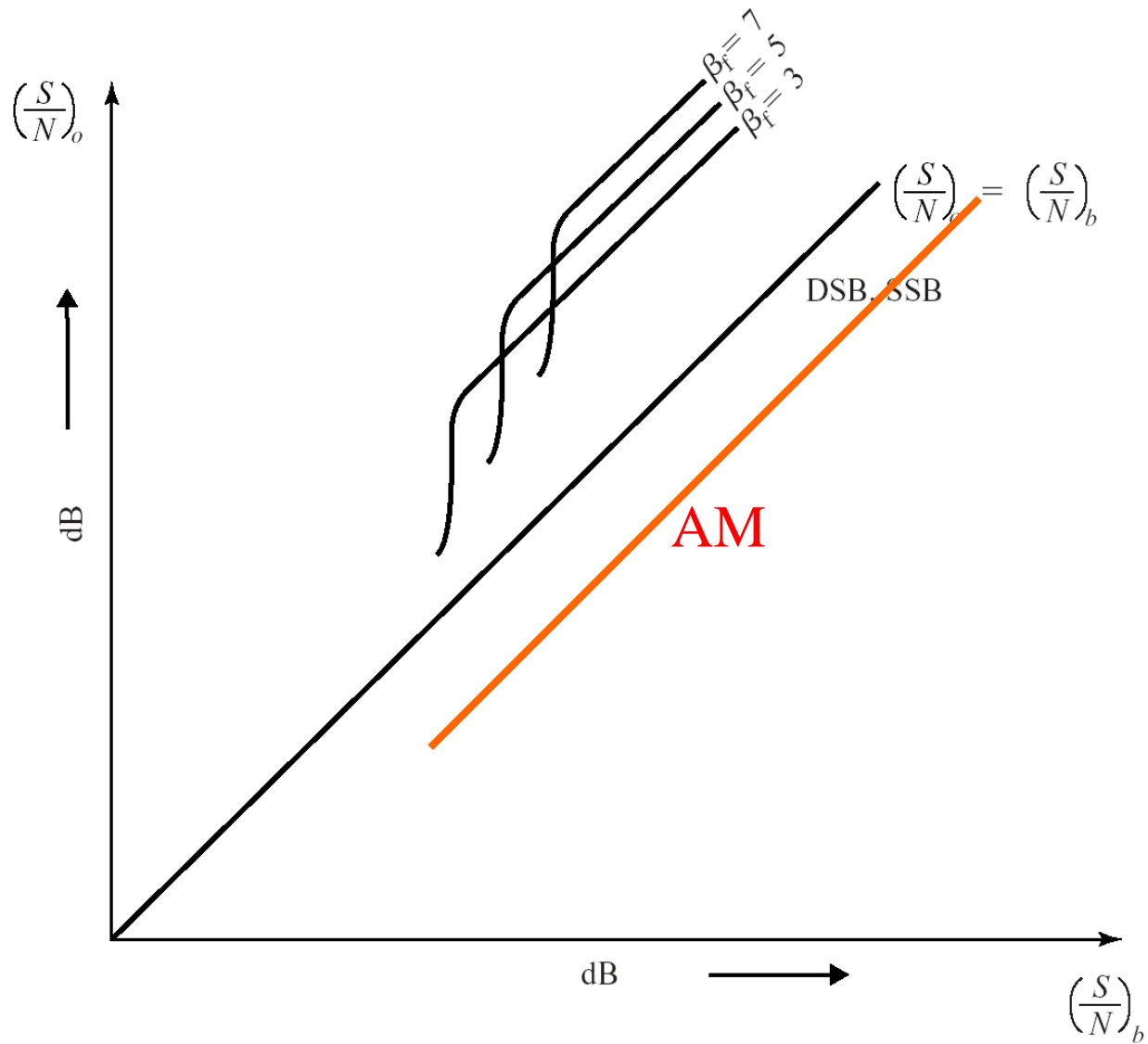


Απόδειξη των Ισοδύναμων Σχέσεων Περιορισμού:

$$(S/N)_R > 10 \iff P_r / (N_0 B_C) > 10 \iff [P_r / (N_0 W)] (W / B_C) > 10 \\ \iff (S/N)_b > 10 (B_C / W) \iff (S/N)_b > 10 (2(\beta_f + 1) W / W) \iff \\ (S/N)_b > 20 (\beta_f + 1)$$

$$(S/N)_o = 3\beta_f^2 P_{mn} (S/N)_b \iff (S/N)_o > 60 P_{mn} \beta_f^2 (\beta_f + 1) \\ \iff (S/N)_o > 60 P_{mn} \beta_f^3$$





Παράδειγμα 5.3.1

Σχεδιάστε ένα σύστημα FM που να επιτυγχάνει SNR στην έξοδο του δέκτη ίσο με 40 dB και να απαιτεί την ελάχιστη ισχύ εκπομπής. Το εύρος-ζώνης του καναλιού είναι 120 KHz, το εύρος-ζώνης του μηνύματος είναι 10 KHz, ο λόγος μέσης προς μέγιστη στιγμιαία ισχύ για το μήνυμα, $P_{M_n} = \frac{P_M}{(\max|m(t)|)^2}$, είναι $\frac{1}{2}$, και η (μονόπλευρη) φασματική πυκνότητα ισχύος του θορύβου είναι $N_0 = 10^{-8}$ W/Hz. Ποια είναι η απαιτούμενη ισχύς εκπομπής αν το σήμα εξασθενεί κατά 40 dB κατά τη μετάδοση μέσα από το κανάλι;

ΛΥΣΗ

Υπολογισμός Κατωφλίου β_{fth}

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{oFM} \geq 60\beta_f^2(\beta_f + 1)P_{M_n} \quad \beta_f \leq 6.6$$

Υπολογισμός τιμής β_f αν καλυφθεί όλο το εύρος-ζώνης που διατίθεται

$$B_c = 2(\beta_f + 1)W \Rightarrow 120000 = 2(\beta_f + 1) \times 10000$$

$$\beta_f = 5 < 6.6 \text{ (δεκτό)} \rightarrow$$

$$\rightarrow \text{απαιτείται } (S/N)_b = \left(\frac{S}{N}\right)_b = \left(\frac{S}{N}\right)_{oFM} / 3P_{M_n}\beta_f^2 = 267 \text{ Watt}$$



Τέλος Ενότητας

Συστήματα Αναλογικής Διαμόρφωσης

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 Αναφοράς

Copyright Εθνικών και Καποδιστριακών Πανεπιστημίων Αθηνών, Σαγκριώτης Εμμανουήλ. «Εισαγωγή στα Συστήματα Επικοινωνιών. Ενότητα 6: Συστήματα Αναλογικής Διαμόρφωσης». Έκδοση: 1.01 Αθήνα 2015. Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:<http://opencourses.uoa.gr/courses/DI11/>.



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.

