



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΠΑΤΡΩΝ
UNIVERSITY OF PATRAS

ΑΝΟΙΚΤΑ ακαδημαϊκά
μαθήματα ΠΠ

Συστήματα Επικοινωνιών

Ενότητα 7: Απόδοση συστημάτων γωνίας υπό
θόρυβο

Μιχαήλ Λογοθέτης

Πολυτεχνική Σχολή

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών
και Τεχνολογίας Υπολογιστών

Σκοποί ενότητας

- Παρουσίαση της γενικής μορφής ενός τηλεπικοινωνιακού συστήματος υπό θόρυβο
- Περιγραφή της επίδρασης του θορύβου σε συστήματα διαμόρφωσης συχνότητας και φάσης
- Παρουσίαση του φαινομένου κατωφλίου, καθώς και των φίλτρων προέμφασης και αποέμφασης
- Σύγκριση των συστημάτων αναλογικής διαμόρφωσης



Περιεχόμενα ενότητας

- ❑ ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ
- ❑ ΘΟΡΥΒΟΣ ΣΕ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΓΩΝΙΑΣ
- ❑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΚΑΤΩΦΛΙΟΥ
- ❑ ΦΙΛΤΡΑ ΠΡΟΕΜΦΑΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΕΜΦΑΣΗΣ
- ❑ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΝΑΛΟΓΙΚΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ



Περιεχόμενα ενότητας

ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

ΘΟΡΥΒΟΣ ΣΕ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΓΩΝΙΑΣ

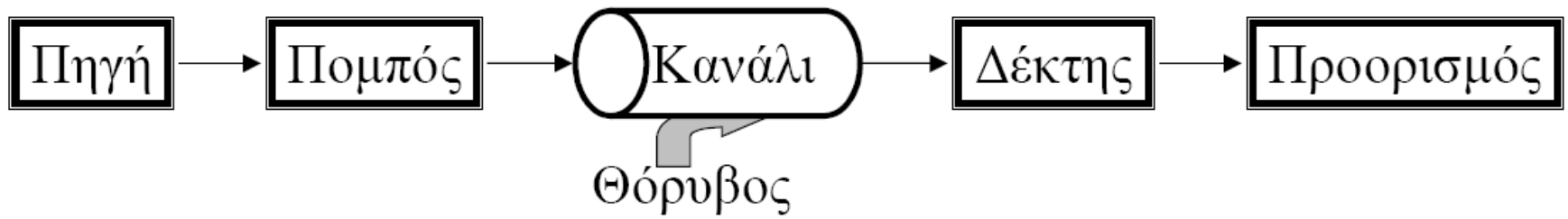
ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΚΑΤΩΦΛΙΟΥ

ΦΙΛΤΡΑ ΠΡΟΕΜΦΑΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΕΜΦΑΣΗΣ

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΝΑΛΟΓΙΚΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ



Τηλεπικοινωνιακό σύστημα: Αρχιτεκτονική



**Σηματοθορυβική Σχέση ή Λόγος Σήματος
προς Θόρυβο (Signal-to-noise Ratio), S/N**

Περιεχόμενα ενότητας

ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

ΘΟΡΥΒΟΣ ΣΕ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΓΩΝΙΑΣ

ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΚΑΤΩΦΛΙΟΥ

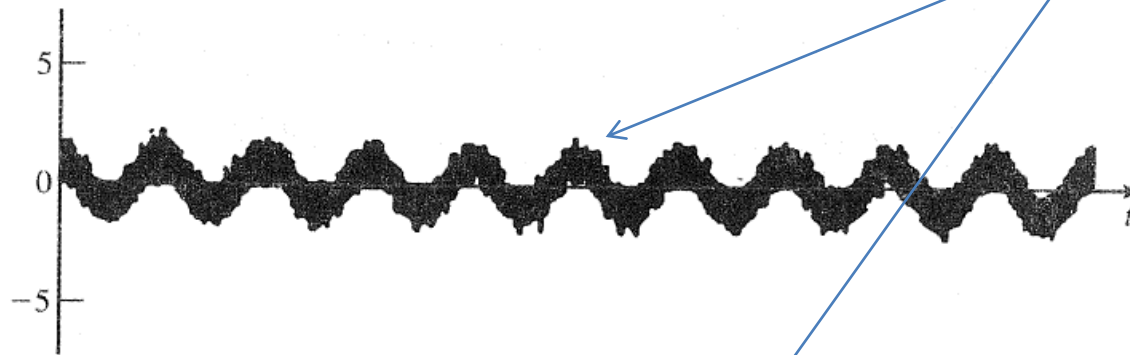
ΦΙΛΤΡΑ ΠΡΟΕΜΦΑΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΕΜΦΑΣΗΣ

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΝΑΛΟΓΙΚΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ

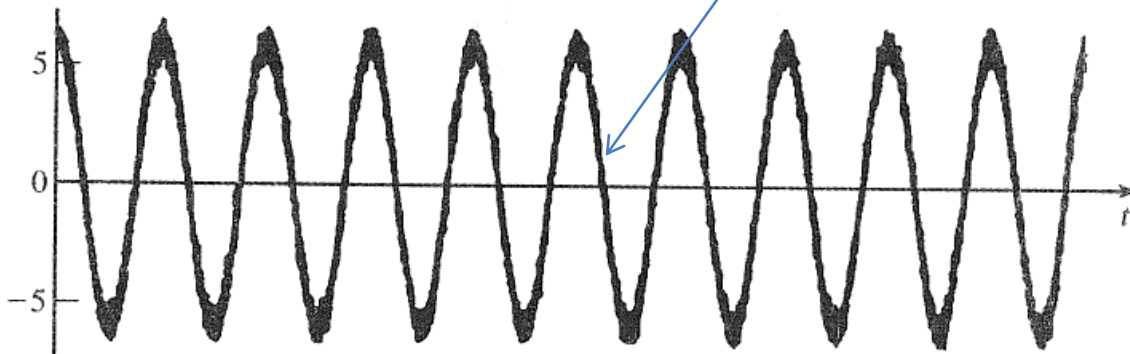


Θόρυβος σε διαμόρφωση γωνίας (1/5)

Επίδραση του θορύβου στις
διελεύσεις από το 0



(α)



(β)



Θόρυβος σε διαμόρφωση γωνίας (2/5)

$$P_{n_o} = \int_{-W}^{+W} \mathcal{S}_{n_o}(f) df = \begin{cases} \int_{-W}^{+W} \frac{N_0}{A_c^2} df, & \text{PM} \\ \int_{-W}^{+W} f^2 \frac{N_0}{A_c^2} df, & \text{FM} \end{cases} \quad \text{Ισχύς θορύβου για FM ή PM}$$
$$= \begin{cases} \frac{2WN_0}{A_c^2}, & \text{PM} \\ \frac{2N_0W^3}{3A_c^2}, & \text{FM} \end{cases}$$

$$P_{s_o} = \begin{cases} k_p^2 P_M, & \text{PM} \\ k_f^2 P_M, & \text{FM} \end{cases} \quad \text{Ισχύς σήματος για FM ή PM}$$

$$\left(\frac{S}{N}\right)_o = \frac{P_{s_o}}{P_{n_o}} \quad \text{Λόγος σήματος προς θόρυβο για FM ή PM}$$



Θόρυβος σε διαμόρφωση γωνίας (3/5)

Λαμβάνοντας υπόψη ότι:

$$\begin{cases} \beta_p = k_p \max|m(t)|, & \text{PM} \\ \beta_f = \frac{k_f \max|m(t)|}{W}, & \text{FM} \end{cases} \quad P_R = \frac{A_c^2}{2}$$

$$\left(\frac{S}{N}\right)_o = \begin{cases} P_R \left(\frac{\beta_p}{\max|m(t)|}\right)^2 \frac{P_M}{N_0 W}, & \text{PM} \\ 3P_R \left(\frac{\beta_f}{\max|m(t)|}\right)^2 \frac{P_M}{N_0 W}, & \text{FM} \end{cases}$$



$$\left(\frac{S}{N}\right)_o = \begin{cases} \frac{P_M \beta_p^2}{(\max|m(t)|)^2} \left(\frac{S}{N}\right)_b, & \text{PM} \\ 3 \frac{P_M \beta_f^2}{(\max|m(t)|)^2} \left(\frac{S}{N}\right)_b, & \text{FM} \end{cases}$$



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



Θόρυβος σε διαμόρφωση γωνίας (4/5)

$$\left(\frac{S}{N}\right)_o = \begin{cases} P_R \left(\frac{\beta_p}{\max|m(t)|}\right)^2 \frac{P_M}{N_0 W}, & \text{PM} \\ 3P_R \left(\frac{\beta_f}{\max|m(t)|}\right)^2 \frac{P_M}{N_0 W}, & \text{FM} \end{cases}$$

Λαμβάνοντας υπόψη ότι για την PM: $B_c = 2(\beta+1)W$

Λαμβάνοντας υπόψη ότι για την FM: $\Omega = \frac{B_c}{W} = 2(\beta+1)$



$$\left(\frac{S}{N}\right)_o = \begin{cases} P_M \left(\frac{\frac{\Omega}{2}-1}{\max|m(t)|}\right)^2 \left(\frac{S}{N}\right)_b, & \text{PM} \\ 3P_M \left(\frac{\frac{\Omega}{2}-1}{\max|m(t)|}\right)^2 \left(\frac{S}{N}\right)_b, & \text{FM} \end{cases}$$



Θόρυβος σε διαμόρφωση γωνίας (5/5)

- ✓ Τόσο στο PM όσο και στο FM το SNR εξόδου είναι ανάλογο του τετραγώνου του δείκτη διαμόρφωσης β σε αντίθεση με το AM
- ✓ Αυξάνοντας το εύρος ζώνης αυξάνει και το SNR (ανταλλαγή)
- ✓ Μπορούμε να αυξήσουμε το SNR αυξάνοντας το β . Όμως μεγάλο β σημαίνει και μεγάλο B_c και συνεπώς μεγάλη ισχύ θορύβου οπότε δεν ισχύει η προσέγγιση για μεγάλα SNR (φαινόμενο κατωφλίου)
- ✓ Στο AM αυξάνοντας την ισχύ αυξάνει απευθείας το SNR (η πληροφορία στο πλάτος). Στη διαμόρφωση γωνίας δεν αυξάνεται η ισχύς αλλά μειώνεται ο θόρυβος
- ✓ Στο FM η επίδραση του θορύβου είναι μεγαλύτερη σε υψηλότερες συχνότητες



Περιεχόμενα ενότητας

- ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ
- ΘΟΡΥΒΟΣ ΣΕ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΓΩΝΙΑΣ
- ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΚΑΤΩΦΛΙΟΥ**
- ΦΙΛΤΡΑ ΠΡΟΕΜΦΑΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΕΜΦΑΣΗΣ
- ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΝΑΛΟΓΙΚΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ



Φαινόμενο Κατωφλίου (1/2)

$$y(t) = \begin{cases} k_p m(t) + Y_n(t), & \text{PM} \\ k_f m(t) + \frac{1}{2\pi} \frac{d}{dt} Y_n(t), & \text{FM} \end{cases}$$

Προσθετικός θόρυβος: μπορούμε να ορίσουμε το SNR

$$= \begin{cases} k_p m(t) + \frac{V_n(t)}{A_c} \sin(\Phi_n(t) - \phi(t)), \\ k_f m(t) + \frac{1}{2\pi} \frac{d}{dt} \frac{V_n(t)}{A_c} \sin(\Phi_n(t) - \phi(t)) \end{cases}$$

Χαμηλά SNR \rightarrow Φαινόμενο κατωφλίου

Δύο παράγοντες που επηρεάζουν την τιμή του δείκτη διαμόρφωσης:

- ✓ Η δεδομένη ισχύ λήψης
- ✓ Το εκχωρημένο εύρος ζώνης

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{b,th} = 20(\beta_f + 1)$$

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

Προσεγγιστικά για FM



Φαινόμενο Κατωφλίου (2/2)

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{b,th} = 20(\beta_f + 1)$$

Ημιτονοειδές

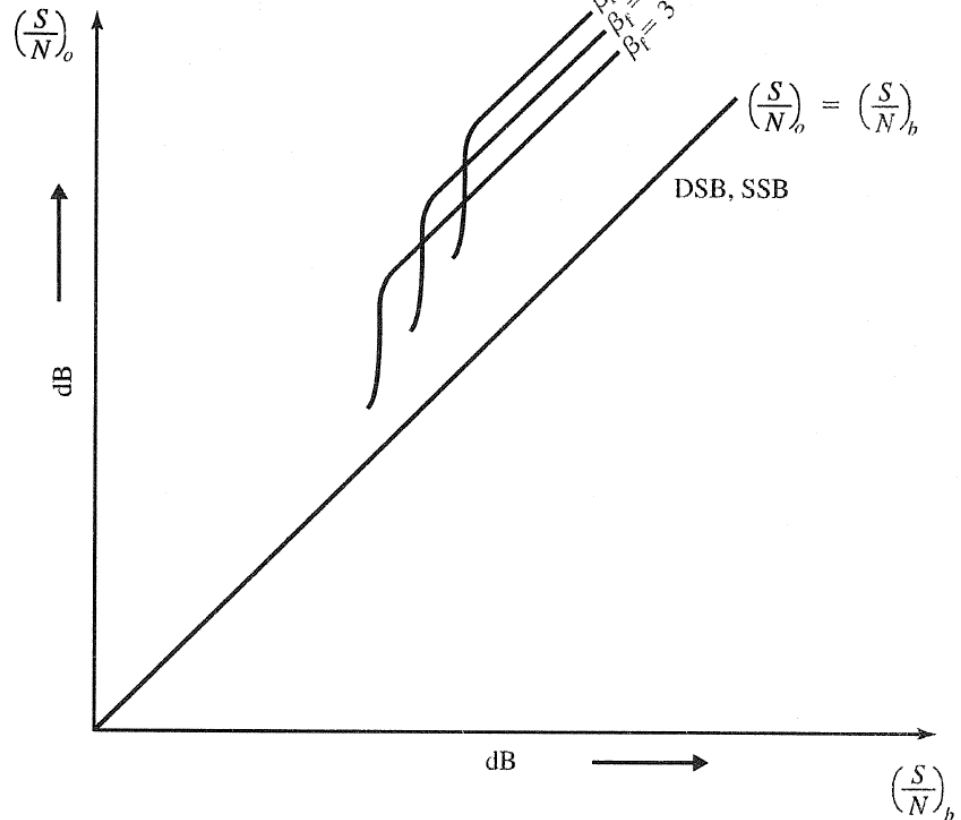
$$\frac{P_M}{(\max|m(t)|)^2} = \frac{1}{2}$$

$$\left(\frac{S}{N}\right)_o = \frac{3}{2}\beta_f^2 \left(\frac{S}{N}\right)_b$$

Από το σχήμα προκύπτει ότι $\beta_f=5$

$$\left(\frac{S}{N}\right)_o|_{dB} = 15.7 + \left(\frac{S}{N}\right)_b|_{dB}$$

$$\left(\frac{S}{N}\right)_{b,th} = 120 \sim 20.8 \text{ dB}$$



$$\left(\frac{S}{N}\right)_{b,th} = 20(\beta_f + 1)$$



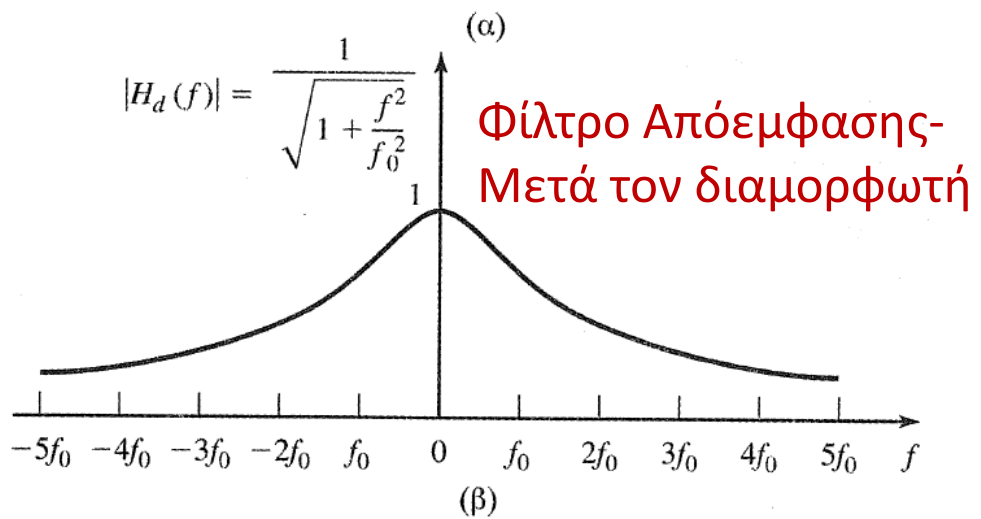
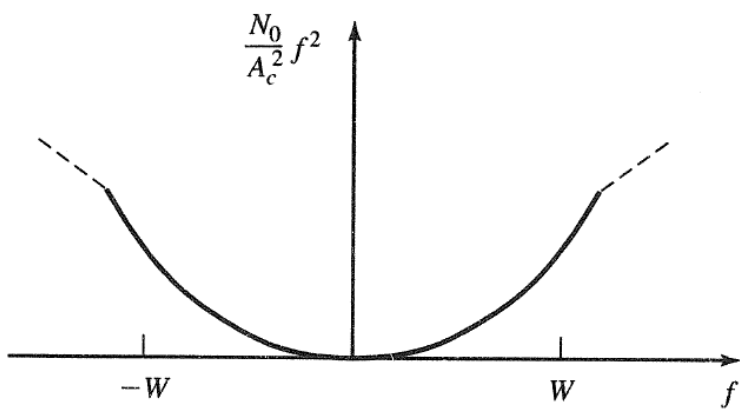
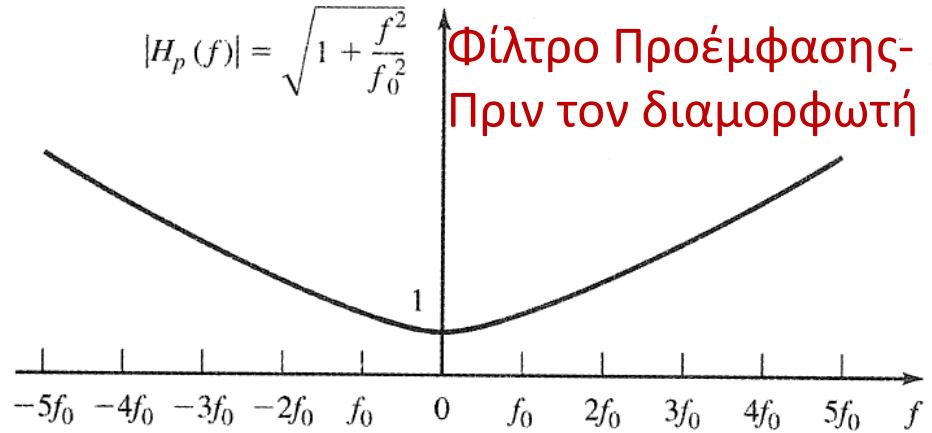
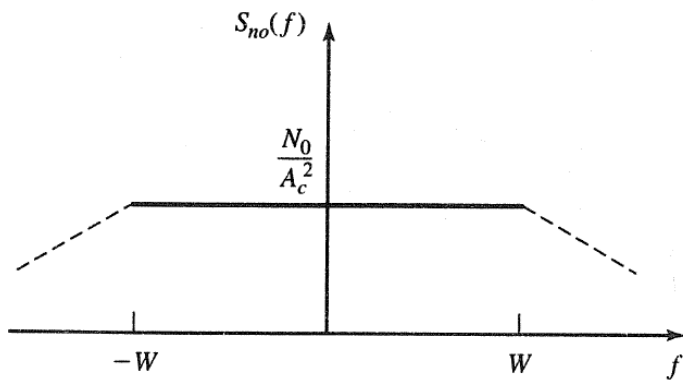
$$\left(\frac{S}{N}\right)_{OFDM} = 60\beta_f^2(\beta_f + 1)P_{Mn}$$

Περιεχόμενα ενότητας

- ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ
- ΘΟΡΥΒΟΣ ΣΕ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΓΩΝΙΑΣ
- ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΚΑΤΩΦΛΙΟΥ
- ΦΙΛΤΡΑ ΠΡΟΕΜΦΑΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΕΜΦΑΣΗΣ**
- ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΝΑΛΟΓΙΚΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ

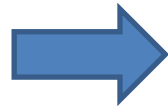


Φίλτρα προέμφασης και αποέμφασης (1/2)

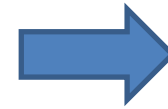


Φίλτρα προέμφασης και αποέμφασης (2/2)

Εμπορικά FM



RC φίλτρα με σταθερά χρόνου 75μs



$$H_d(f) = \frac{1}{1 + j \frac{f}{f_0}}$$

Συχνότητα 3 dB

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \times 75 \times 10^{-6}} = 2.1 \text{ KHz}$$

$$S_{n_{PD}}(f) = S_{n_o}(f) |H_d(f)|^2 = \frac{N_0}{A_c^2} f^2 \frac{1}{1 + \frac{f^2}{f_0^2}}$$

$$P_{n_{PD}} = \int_{-W}^{+W} S_{n_{PD}}(f) df = \frac{N_0}{A_c^2} \int_{-W}^{+W} \frac{f^2}{1 + \frac{f^2}{f_0^2}} df \rightarrow \frac{\left(\frac{S}{N}\right)_{OPD}}{\left(\frac{S}{N}\right)_o} = \frac{P_{n_o}}{P_{n_{PD}}} = \frac{\frac{2N_0 W^3}{3A_c^2}}{\frac{2N_0 f_0^3}{A_c^2} \left[\frac{W}{f_0} - \arctan \frac{W}{f_0} \right]}$$

$$= \frac{2N_0 f_0^3}{A_c^2} \left[\frac{W}{f_0} - \arctan \frac{W}{f_0} \right] = \frac{1}{3} \frac{\left(\frac{W}{f_0}\right)^3}{\frac{W}{f_0} - \arctan \frac{W}{f_0}}$$



Περιεχόμενα ενότητας

- ΑΡΧΙΤΕΚΤΟΝΙΚΗ ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ
- ΘΟΡΥΒΟΣ ΣΕ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΓΩΝΙΑΣ
- ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΚΑΤΩΦΛΙΟΥ
- ΦΙΛΤΡΑ ΠΡΟΕΜΦΑΣΗΣ ΚΑΙ ΑΠΟΕΜΦΑΣΗΣ
- ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΝΑΛΟΓΙΚΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ



Σύγκριση των συστημάτων αναλογικής διαμόρφωσης

Ευκολία υλοποίησης

- ✓ AM: Απλούστερο
- ✓ VSB+C: Ελάχιστα πιο πολύπλοκη
- ✓ Δέκτες FM: Εύκολοι στην υλοποίηση
- ✓ DSB-SC, SSB: Απαιτούν σύγχρονη αποδιαμόρφωση, πολύπλοκα

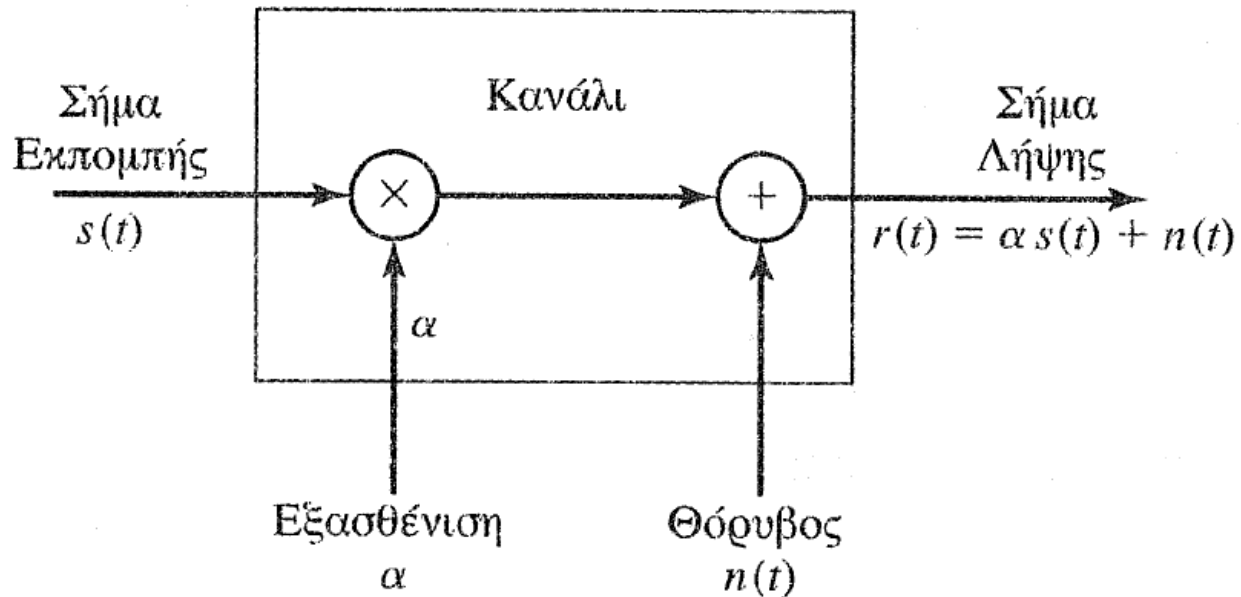
Αποδοτικότητα εύρους ζώνης

- ✓ SSB βέλτιστο αλλά δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί όταν υπάρχουν dc συνιστώσες
- ✓ VSB: TV
- ✓ PM, FM: Λιγότερο αποδοτικά

Αποδοτικότητα ισχύος

- ✓ FM: Μεγάλη ανοχή στο θόρυβο και επομένως μεγάλη απόδοση
- ✓ AM, VSB+C: Λιγότερο αποδοτικά αλλά πολύ απλά

Επιδράσεις απωλειών μετάδοσης και θορύβου



$$r(t) = \alpha s(t) + n(t)$$

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 7: Απόδοση συστημάτων γωνίας υπό θόρυβο**».
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, 7, 14, 16, και 20 προέρχονται από το σύγγραμμα του μαθήματος “Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα”, Εκδόσεις Τζιόλα, μετά από άδεια του συγγραφέα Καθ. Γ. Καραγιαννίδη.

