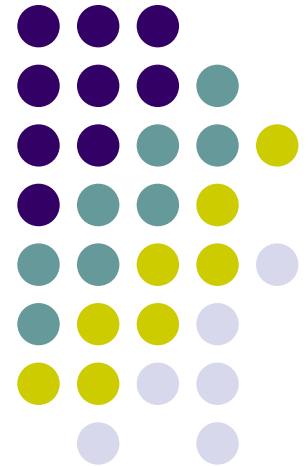
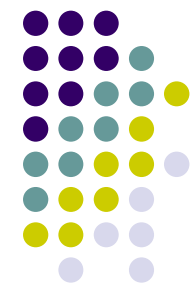


Εμπορικοί δέκτες





silver
color



M/F STORE VOL
AL1 AL2 CHG

SSB/268MEMORIES

AM 1287 KHz VOL 24

FM	MW	3M	60M	49M	41M	31M	25M	22M	19M	15M	13M
108	1710						12.4	14.4	15.9	18.0	21.9
106	1600	4.0	5.4	6.4	7.4	9.9	12.3	14.3	15.8	17.9	21.8
104	1510	3.9	5.3	6.3	7.3	9.8	12.2	14.2	15.7	17.8	21.7
102	1420	3.8	5.2	6.2	7.2	9.7	12.1	14.1	15.6	17.7	21.6
	1330										
100	1240	3.7	5.1	6.1	7.1	9.6	12.0	14.0	15.5	17.6	21.5
98	1150	3.6	5.0	6.0	7.0	9.5	11.9	13.9	15.4	17.5	21.4
	1060										
96	970	3.5	4.9	5.9	6.9	9.4	11.8	13.8	15.3	17.4	21.3
94	880	3.4	4.8	5.8	6.8	9.3	11.7	13.7	15.2	17.3	21.2
92	790	3.3	4.7	5.7	6.7	9.2	11.6	13.6	15.1	17.2	21.1
	700										
90	610	3.2	4.6	5.6	6.6	9.1	11.5	13.5	15.0	17.1	21.0
76	520										

爱好者 3号

精英中流砥柱 55.845 高中档一次交圆 高通滤波调整 调频立体声
268个电台永久动态存储 信号强度指示 宽/窄带选择
单声道接收 智能充电 数字+液晶指针双频指示/全屏背光

DE1103 PLL FM STEREO/SW.MW.LW DUAL CONVERSION SYNTHESIZED WORLD RECEIVER

1 2 3 4 5 6 7 8 9 0
SLEEP RESET HOLD TIME SSB BAND- BAND+
DEL ST/MO FM SCAN AM

Κύριες λειτουργίες ραδιοφωνικών δεκτών



- Αποδιαμόρφωση
 - → λήψη του σήματος πληροφορίας
- Συντονισμός φέροντος
 - → επιλογή του σταθμού
- Φιλτράρισμα
 - → απαλοιφή θορύβου και παρεμβολών
- Ενίσχυση
 - → αντιμετώπιση των απώλειας ισχύος μετάδοσης



Βασική δυσκολία

- Κατασκευή επιλεκτικών (ζωνοπερατών) φίλτρων με μεταβλητή συχνότητα συντονισμού
- Μία μονάδα (κύκλωμα) με δυσκολία θα μπορούσε να επιτύχει όλα
 - Ευαισθησία (sensitivity)
 - Επιλεκτικότητα (selectivity)
 - Ποιότητα σήματος
 - Ενίσχυση

Πρακτικοί δέκτες

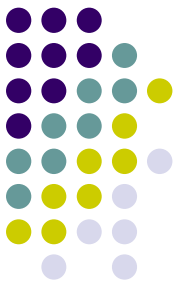


- Δέκτης άμεσης μετατροπής DC (Direct Conversion)
 - Ομοδύνηση: μείξη δύο σημάτων ίδιας συχνότητας
- Υπεραναγεννητικός δέκτης (super regenerative receiver)
 - Χρήση θετικής ανάδρασης για αύξηση της επιλεκτικότητας και ευαισθησίας (ενίσχυση αρκετές χιλιάδες φορές)
- Υπερετερόδυνος δέκτης (super heterodyne receiver)
 - Ετεροδύνηση: μείξη δύο σημάτων διαφορετικών συχνοτήτων για λήψη νέας συχνότητας



Δέκτης άμεσης μετατροπής

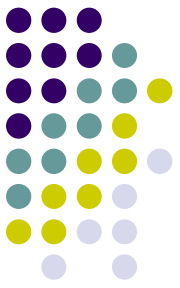
- Ομόδυνη αποδιαμόρφωση
 - Απόρριψη ανεπιθύμητων συνιστωσών από το βαθυπερατό φίλτρο στην έξοδο
- Βρίσκονταν σε αφάνεια λόγω προβλημάτων υλοποίησης
 - Ολίσθηση συχνότητας τοπικού ταλαντωτή
 - PLL
 - Ανατροφοδότηση της συχνότητας του τοπικού ταλαντωτή στο κύκλωμα κεραίας
 - Ρεύμα ολίσθησης DC
- Επανήλθε στην επικαιρότητα μετά τη διάδοση των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων



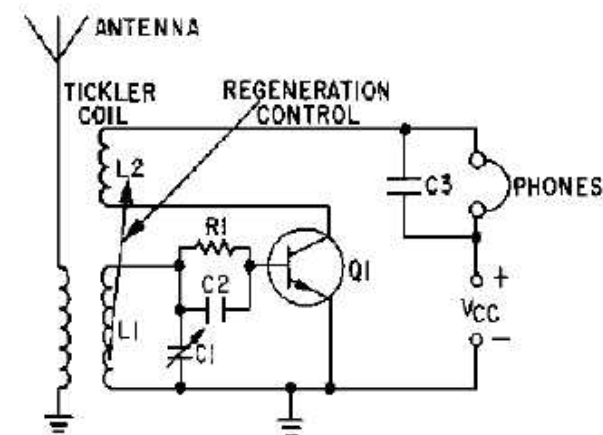
Υπεραναγεννητικός δέκτης

- Ο υπεραναγεννητικός δέκτης (SSR) είναι μια από τις παλαιότερες τεχνικές αναδιαμόρφωσης που ακόμη βρίσκεται σε ευρεία χρήση
 - Δέκτες SSR παράγονται σε τεράστιες ποσότητες για εφαρμογές όπως συναγερμοί, τηλεκοντρολ για πόρτες αυτοκινήτων ή γκαραζόπορτες
- Ο δέκτης SSR είναι μια βελτίωση του αναγεννητικού δέκτη
 - Αμφότεροι είναι εφευρέσεις του E. Armstrong (1914, 1922)

Αναγεννητικός δέκτης



- Στον αναγεννητικό δέκτη το ποσό της θετικής ανάδρασης πρέπει να ρυθμισθεί ώστε να προκαλέσουμε ταλάντωση οπότε προκύπτει αποδιαφόρωση σημάτων (AM, SSB, CW)
- Ο αναγεννητικός δέκτης δεν υπήρξε δημοφιλής στο κοινό διότι ο ακροατής έπρεπε να ρυθμίζει χειροκίνητα την ανάδραση ώστε να πετύχει ισχυρό σήμα
 - Μεγάλη ανάδραση → σφύριγμα
 - Μικρή ανάδραση → ασθενής λήψη



Υπεραναγεννητικός δέκτης



- Ο δέκτης SRR λύνει το πρόβλημα της ταλάντωσης με αυτόματη ρύθμιση
 - Το κέρδος αυξάνει μέχρι να αρχίσει η ταλάντωση
 - Μόλις αρχίσει η ταλάντωση η πόλωση αλλάζει ώστε να μειωθεί, κοκ
- Ο δέκτης βρίσκεται στην πιο ευαίσθητη περιοχή, δηλαδή, η ταλάντωση γίνεται με ρυθμό που είναι μεγαλύτερος των ακουστικών συχνοτήτων, αλλά χαμηλότερος των της φέρουσας συχνότητας
 - Εξ ου και το υπέρ όπως στη λέξη υπέρηχος
- Πλεονεκτήματα
 - Μικρό κόστος
 - Μικρή κατανάλωση ισχύος



Υπερετερόδυνος δέκτης

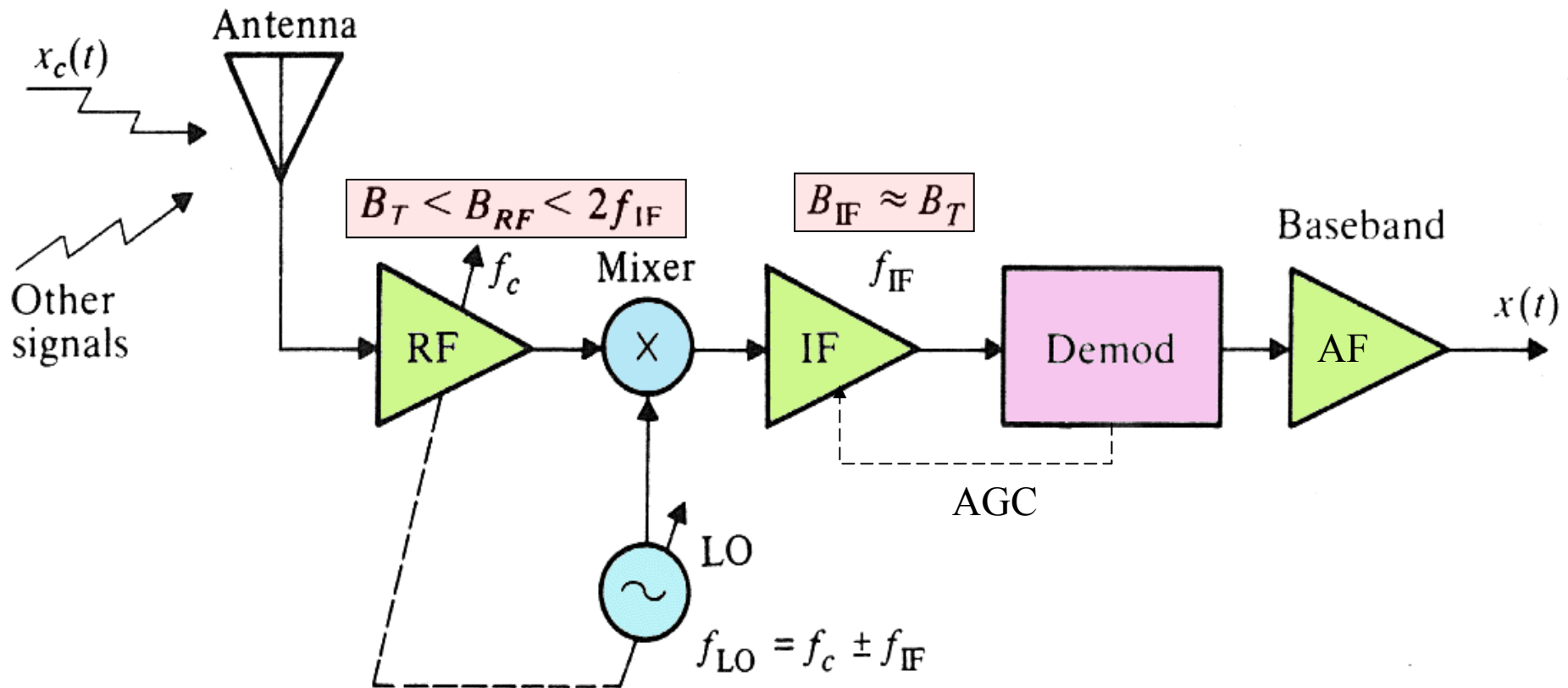
- Μίξη σημάτων RF με τοπικό φέρον για λήψη συγκεκριμένης ενδιάμεσης συχνότητας (IF)
 - Εφευρέθηκε το 1918 από τον E. Armstrong
 - Σχεδόν όλοι οι δέκτες ήταν τέτοιου τύπου



Βασική ιδέα

- Πρώτα, μετατροπή της συχνότητας φέροντος f_c του σήματος σε σταθερή ενδιάμεση συχνότητα f_{IF} μέσω συντονιζόμενου τοπικού ταλαντωτή f_{LO}
- Διάβαση μέσα από ζωνοπερατό φίλτρο υψηλής επιλεκτικότητας στην ενδιάμεση συχνότητα
 - Αφαίρεση το θορύβου και των εκτός ζώνης συνιστωσών πριν την μετατροπή σε σήμα βασικής ζώνης
- Τελικά, αποδιαμόρφωση σε σήμα βασικής ζώνης

Δομικό διάγραμμα

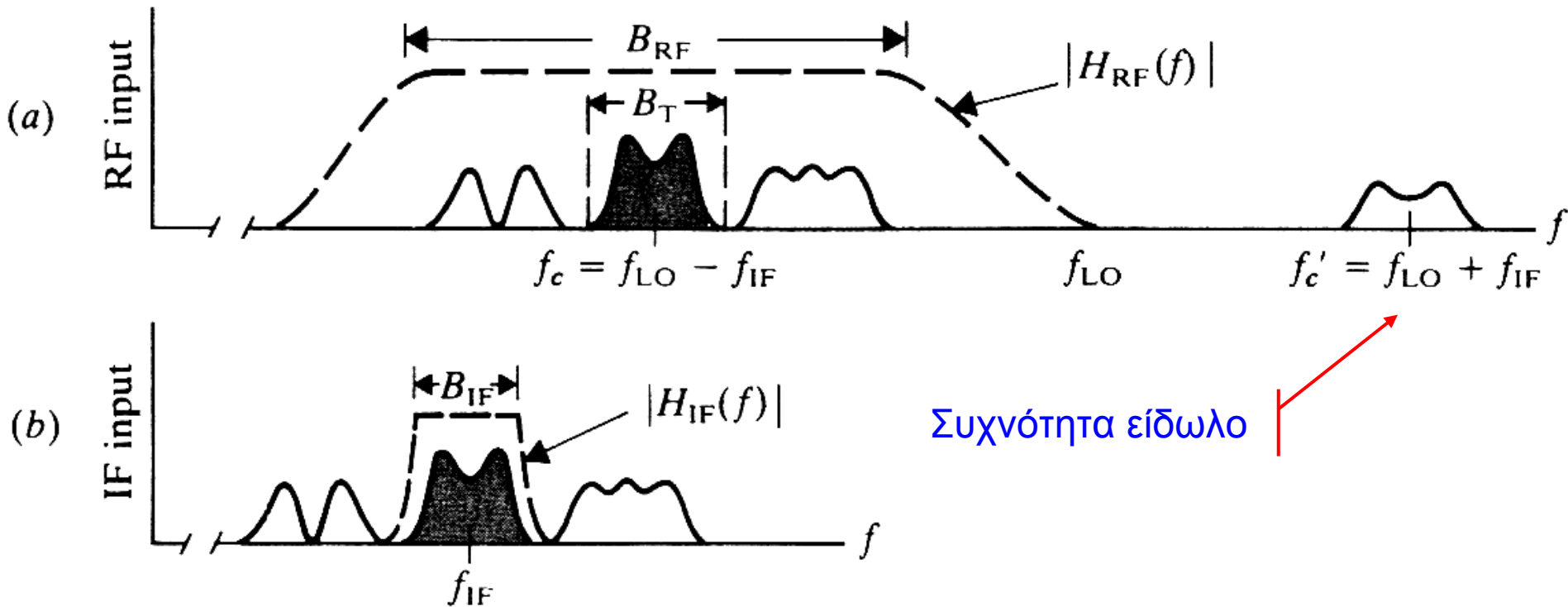




Δομικές μονάδες

- Ενισχυτής ραδιοσυχνοτήτων (RF)
 - Επιλεκτική ενίσχυση του σήματος που λαμβάνεται στην κεραία σε περιοχή περί το επιθυμητό σήμα
- Τοπικός ταλαντωτής
 - Μεταβλητή συχνότητα συντονισμού $f_{LO}=f_c \pm f_{IF}$
- Μείκτης
- Ενισχυτής ενδιάμεσων συχνοτήτων (IF)
 - Ενίσχυση περί τη σταθερή ενδιάμεση συχνότητα f_{IF}
- Φωρατής (αποδιαμορφωτής)
- Ενισχυτής ακουστικών συχνοτήτων (AF)
- AGC – Αυτόματος έλεγχος κέρδους
 - Για να παραμένει η ισχύς εξόδου σταθερή

Λειτουργία



- Εάν το φίλτρο ραδιοσυχνοτήτων δεν απορρίπτει πλήρως τη συχνότητα είδωλο, ο δέκτης θα αποδιαμορφώσει και το σήμα είδωλο!



Βαθμίδα RF

- Μεταφέρει την επιθυμητή συχνότητα λήψης στη σταθερή ενδιάμεση συχνότητα
 - Στους δέκτες DC έχουμε $f_{IF}=0$, άρα καταλήγουμε απ' ευθείας στο σήμα βασικής ζώνης
 - Στους υπερετερόδυνους δέκτες $f_{IF} \gg 0$!
- Η βαθμίδα RF συμβάλει στην απόρριψη του σήματος ειδώλου
 - Διπλοί υπερετερόδυνοι δέκτες (δύο ενδιάμεσες συχνότητες) για καλύτερη απόρριψη



Σήμα είδωλο

- Έστω ότι η συχνότητα του τοπικού ταλαντωτή είναι $f_{LO} = f_c + f_{IF}$
- Η συχνότητα είδωλο είναι $f'_c = f_{LO} + f_{IF}$
- Για να απορριφθεί το σήμα είδωλο πρέπει $B_T < B_{RF} < 2f_{IF}$



Βαθμίδα IF

- Η βαθμίδα IF παρέχει ενίσχυση (κέρδος) και συμβάλει στην απόρριψη των παρεμβολών
- Το εύρος ζώνης στην ενδιάμεση βαθμίδα πρέπει να είναι σχετικά μικρό

$$0,01 < \frac{B_{IF}}{f_c} < 0,1$$

- Για παράδειγμα στην εμπορική ραδιοφωνία FM

$$\frac{B_{IF}}{f_c} = \frac{200 \text{ kHz}}{10 \text{ MHz}} \approx 0,02$$



Συντονισμός

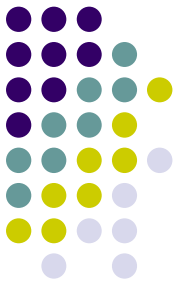
- Ο συντονισμός του δέκτη επιτυγχάνεται μόνο με αλλαγή της συχνότητας του τοπικού ταλαντωτή
 - Εάν $f_{LO} > f_c$, έχουμε αντιστροφή της πλευρικής ζώνης (σε περίπτωση SSB)
- Ο φωρατής εξαρτάται από το είδος της διαμόρφωσης
 - Φωρατής περιβάλλουσας, κύκλωμα κλίσης, PLL
- Δεν έχουμε προβλήματα λόγω ανατροφοδότησης του ενισχυμένου σήματος στην κεραία

Δέκτης AM



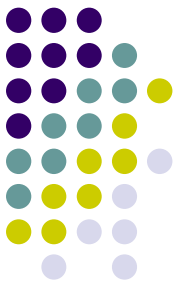
- Περιοχή ραδιοσυχνοτήτων 0,535 – 1,605 MHz
- Ενδιάμεση συχνότητα 455 kHz
- Εύρος ζώνης στην ενδιάμεση βαθμίδα 10 kHz

Δέκτης FM



- Περιοχή ραδιοσυχνοτήτων 88 – 108 MHz
- Ενδιάμεση συχνότητα 10,7 MHz
- Εύρος ζώνης στην ενδιάμεση βαθμίδα 200 kHz

Προτερήματα υπερετερόδυνων δεκτών



- Απλή κατασκευή
- Η τεχνική της μετατροπής συχνότητας μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλα τα είδη διαμόρφωσης
- Ο υπερτερόδυνος δέκτης χειρίζεται τα θέματα ποιότητας λήψης σε διαφορετικές μονάδες
 - RF: Ευαισθησία
 - IF: Επιλεκτικότητα



Μειονεκτήματα

- Το βασικό πρόβλημα με τους υπερ-ετερόδυνους δέκτες είναι η απόκριση σε κίβδηλες (spurious) συχνότητες πέραν της f_c
 - Η προφανής συχνότητα είδωλο απαλείφεται με αύξηση της f_{IF}
 - Μη γραμμικότητες μπορεί να προκαλέσουν παρεμβολές και από ισχυρά σήματα σε υποπολλαπλάσια της f_{IF}



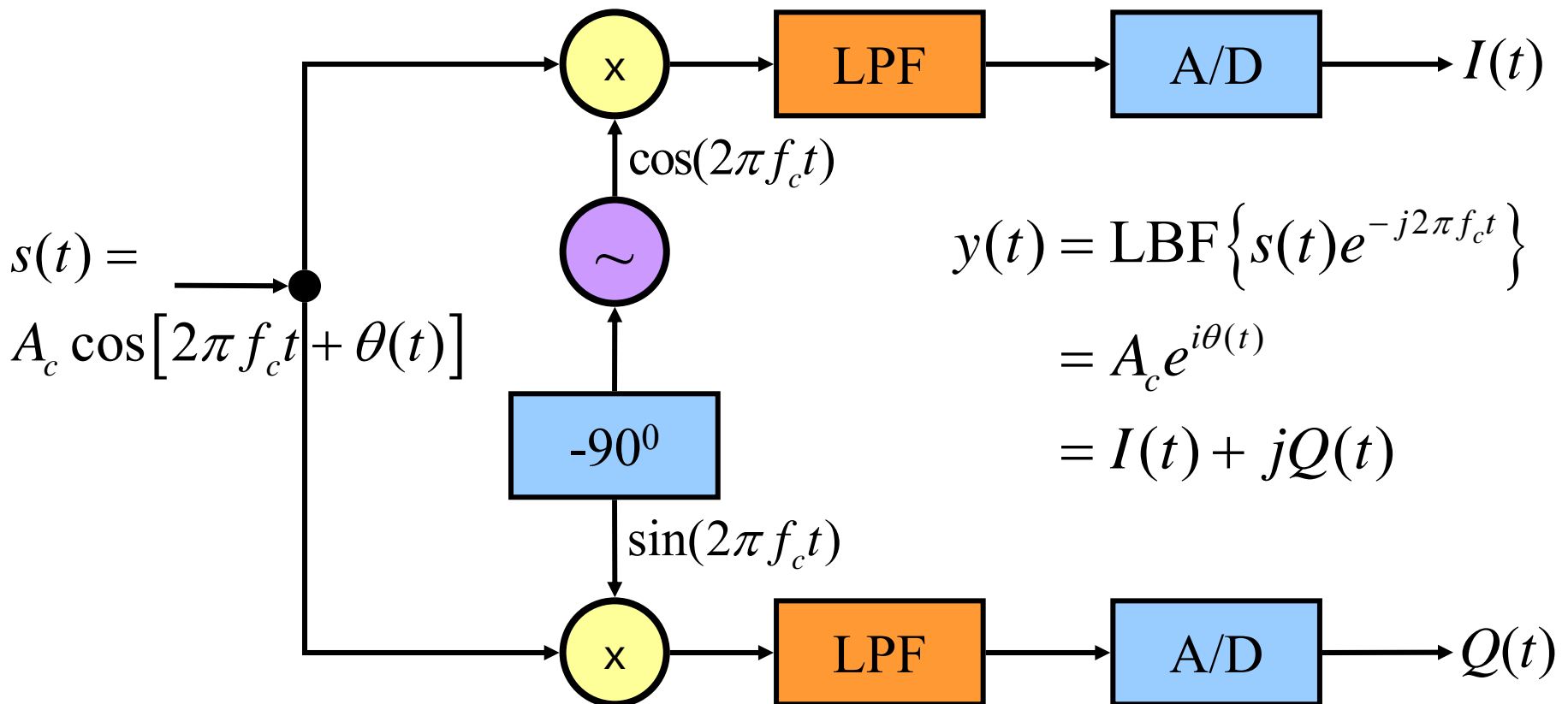
Δέκτες διπλής μετατροπής

- Δύο διαφορετικές βαθμίδες IF σε διαφορετικές ενδιάμεσες συχνότητες
- Πρώτη βαθμίδα IF στα 10,7 MHz \gg 455 kHz
 - Κακή επιλεκτικότητα (δεν είναι εύκολο να έχουμε στενό εύρος ζώνης), αλλά η απόρριψη του ειδώλου είναι εύκολη
 - Π.χ., για $f_c = 146,94$ MHz στα VHF, το είδωλο βρίσκεται 14% πιο ψηλά από το φέρον στα $146,94 + 2 \cdot 10,7 = 168,34$ MHz
- Δεύτερη βαθμίδα IF στα 455 kHz
 - Είδωλο στα $10,7 + 2 \cdot 0,455 = 11,6$ MHz, περίπου 8.5% πιο πάνω από το φέρον (καθόλου άσχημα)
 - Το ζωνοπερατό δεύτερο φίλτρο IF BPF παρέχει την απαιτούμενη επιλεκτικότητα
- Για δέκτες ευρείας ζώνης, μπορεί να απαιτείται τριπλή μετατροπή για περαιτέρω βελτίωση της επιλεκτικότητας και απόρριψης ειδώλου

Δέκτες SDR (Software Defined Radio)



- Δώσε μου τα $I(t)$ και $Q(t)$ και μπορώ να αποδιαμορφώσω τα πάντα!



Δέκτες SDR (Software Defined Radio)



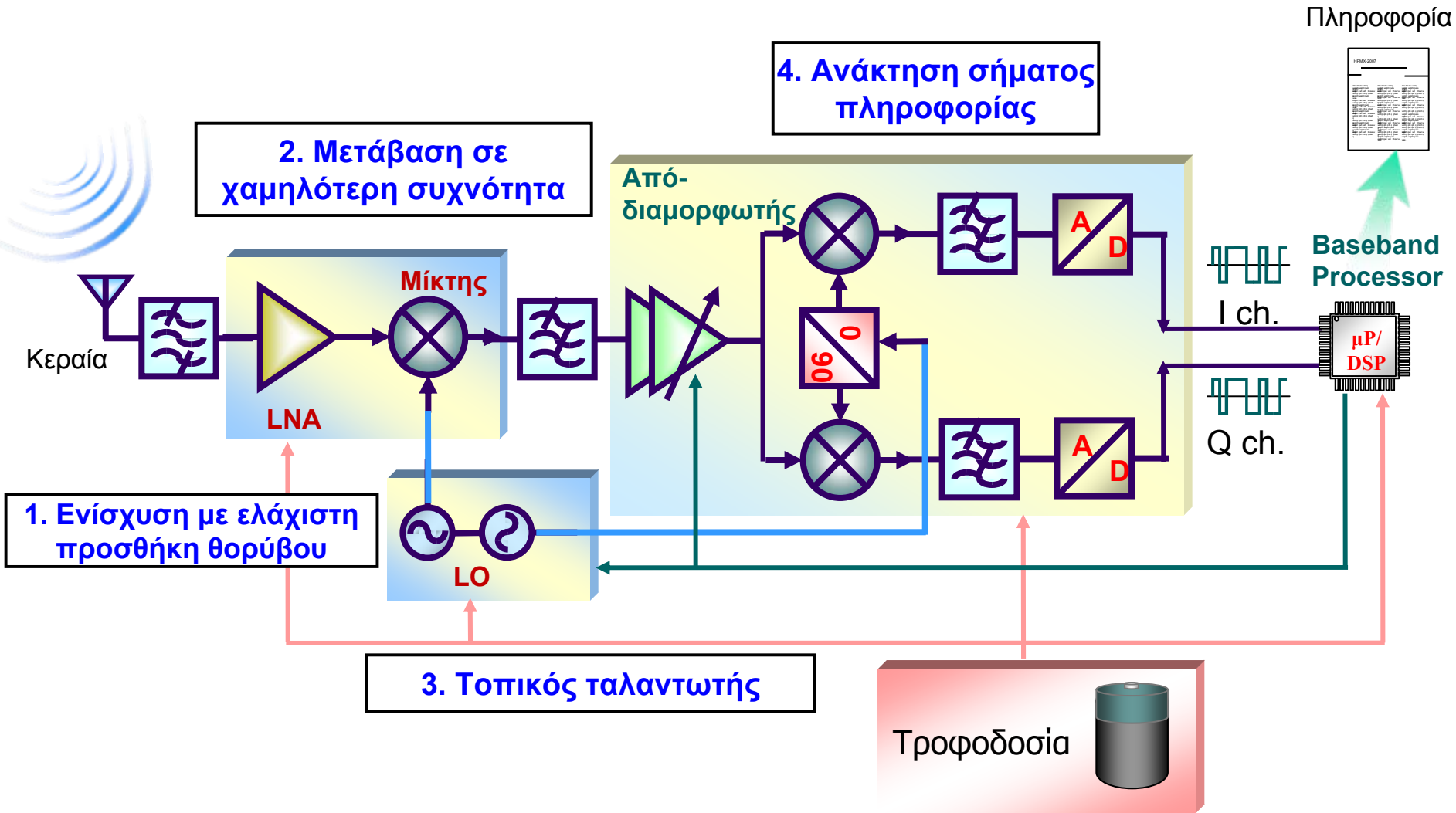
- Η αποδιαμόρφωση γίνεται με λογισμικό (μαθηματικές πράξεις) σε υπολογιστή

$$\text{AM} \rightarrow \sqrt{I^2(t) + Q^2(t)}$$

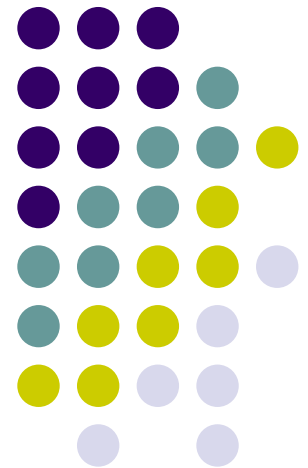
$$\text{FM} \rightarrow \arctan \frac{Q(t)}{I(t)}$$

$$\text{DSB, SSB} \rightarrow I(t)$$

Μοντέρνος δέκτης



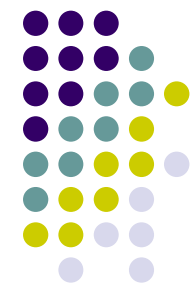
Μοντέλο συστήματος αποδιαμόρφωσης παρουσία θορύβου



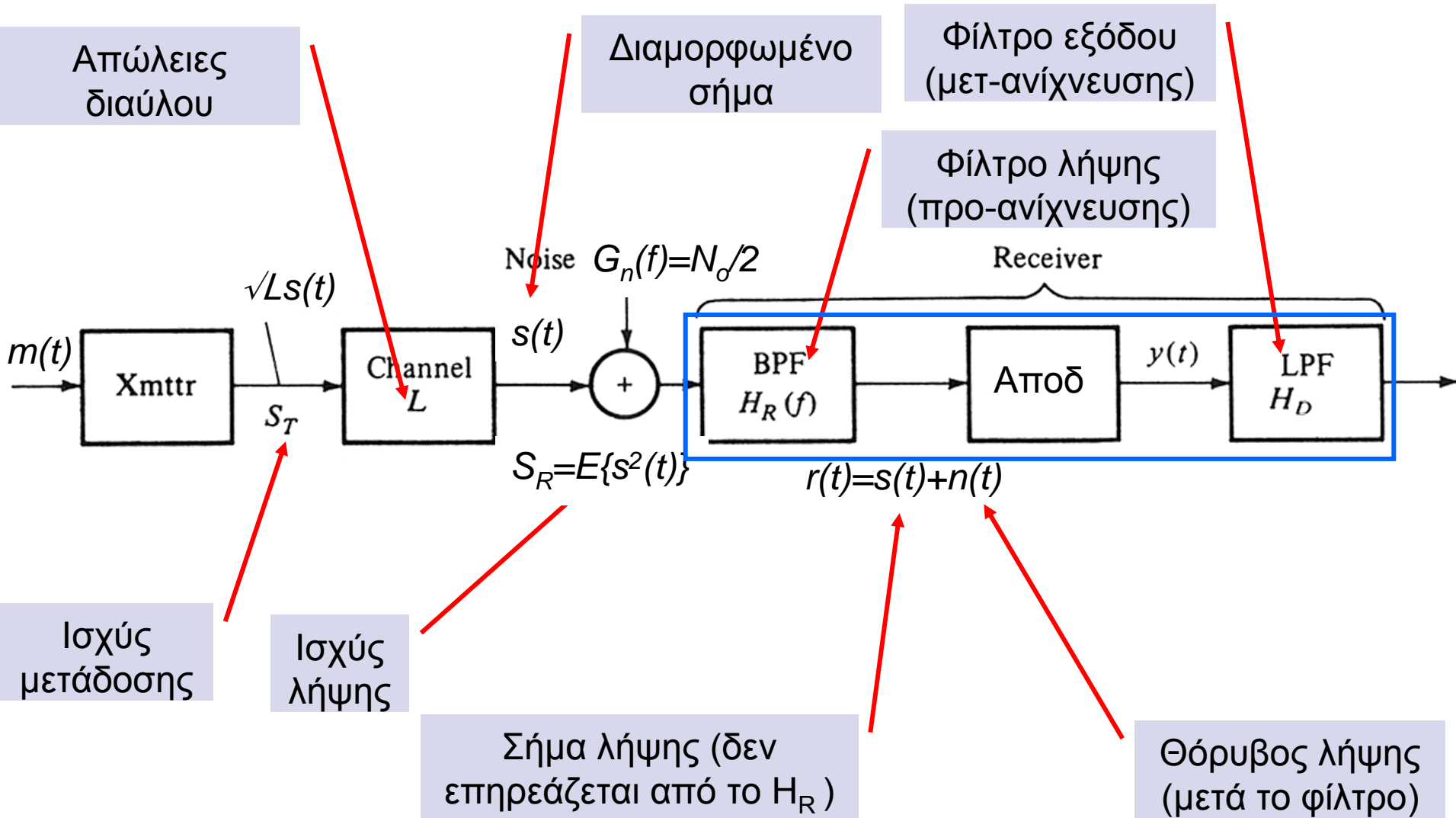
Επίδοση παρουσία θορύβου



- Η ανάλυση της επίδοσης των συστημάτων διαμόρφωσης παρουσία θορύβου είναι εξαιρετικά σημαντική για τη σχεδίαση των διαφόρων επικοινωνιακών συστημάτων
- Ο τελικός σκοπός είναι να αναπτυχθεί ένα σύστημα όπου οι επιδράσεις του θορύβου να ελαχιστοποιούνται
- Εάν η επίδραση του θορύβου ελαχιστοποιηθεί, τότε είναι δυνατό να μειωθεί η ισχύς εκπομπής στον πομπό
 - Εξαιρετικά σημαντικό στην κινητή τηλεφωνία για επαναχρησιμοποίηση του φάσματος
 - Δορυφορικές (deep space) επικοινωνίες λόγω της μεγάλης απόσβεσης



Μοντέλο συστήματος



Ο δέκτης



- Το μέρος του δέκτη πριν την αποδιαμόρφωση μπορεί να μοντελοποιηθεί ως ζωνοπερατό φίλτρο με μοναδιαίο κέρδος και εύρος ζώνης ίσο με το εύρος ζώνης μετάδοσης
 - Το φίλτρο αυτό υλοποιείται στην ενδιάμεση βαθμίδα
 - Στην πράξη το εύρος ζώνης είναι αρκετά μεγαλύτερο του απαιτούμενου (τόσο στην είσοδο όσο και στην ενδιάμεση βαθμίδα του δέκτη)
- Η επίδραση της μίξης και ενίσχυσης στην πρώτη βαθμίδα είναι ταυτόσημες για το σήμα πληροφορίας και τον θόρυβο, οπότε δεν χρειάζεται να ληφθούν υπόψη



Το σήμα πληροφορίας

- Θεωρούμε κανονικοποιημένο αναλογικό σήμα πληροφορίας $|m(t)| \leq 1$ με ισχύ

$$S_m = \langle m^2(t) \rangle = E\{m^2(t)\}$$

- Υποθέτουμε ότι το σήμα πληροφορίας είναι εργοδικό, δηλαδή, ότι οι χρονικές και οι χωρικές μέσες τιμές ισούνται

$$\langle m(t) \rangle = E\{m(t)\}, \quad \langle m^2(t) \rangle = E\{m^2(t)\}$$

$$\langle m(t)m(t-\tau) \rangle = E\{m(t)m(t-\tau)\}$$

- Με τη χρονική μέση τιμή να ορίζεται ως

$$\langle m(t) \rangle = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} m(t) dt$$



Ο δίαυλος

- Εισάγει μόνο απόσβεση L στο σήμα χωρίς να προκαλεί καμία παραμόρφωση πλην της προσθήκης θορύβου
- Ο δίαυλος υποτίθεται ότι είναι προσθετικού λευκού θορύβου Gauss (AGWN)
- όπου ο θόρυβος στο δίαυλο έχει πυκνότητα φάσματος ισχύος

$$G(f) = N_0 / 2$$



Το διαμορφωμένο σήμα

- Το διαμορφωμένο σήμα $s(t)$ στην έξοδο του διαύλου (είσοδο του δέκτη) έχει πλάτος A_c και ισχύ S_R

$$S_R = \frac{S_T}{L} = E \{ s^2(t) \}$$

- όπου S_T η ισχύς μετάδοσης
- Το εκπεμπόμενο σήμα στο πομπό είναι

$$\sqrt{L}s(t)$$



Το σήμα λήψης

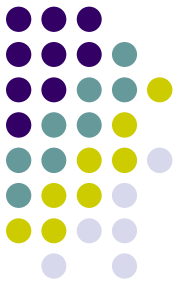
- Το προς αποδιαμόρφωση σήμα στην είσοδο του δέκτη είναι

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

- όπου το $n(t)$ αναπαριστά το θόρυβο μετά το φίλτρο λήψης (προ-ανίχνευσης)
- Το φίλτρο λήψης $H_R(f)$ δεν επηρεάζει το σήμα λήψης, αλλά καθιστά τον θόρυβο ζωνοπερατό

$$\begin{aligned} r(t) &= A_r(t) \cos[2\pi f_c t + \phi_r(t)] \\ &= r_c(t) \cos(2\pi f_c t) - r_s(t) \sin(2\pi f_c t) \end{aligned}$$

Το αποδιαμορφωμένο σήμα



- Το σήμα μετά την αποδιαμόρφωση μπορεί να γραφθεί σύμφωνα με το είδος φωρατή

$$y(t) = \begin{cases} r_c(t) & \text{ομόδυνος αποδιαμορφωτής} \\ A_r(t) - \overline{A_r} & \text{φωρατής περιβάλλουσας} \\ \phi_r(t) & \text{φωρατής PM} \\ \frac{1}{2\pi} \frac{d}{dt} \phi_r(t) & \text{φωρατής FM} \end{cases}$$

Αποδιαμορφωτής



- Υποτίθεται ότι υπάρχει τέλειος συγχρονισμός του φέροντος στον δέκτη
- Ο όρος $\overline{A_r}$ αφορά την αφαίρεση της συνιστώσας DC για αποδιαμόρφωση με φωρατή περιβάλλουσας (πιθανώς να ισχύει και στις άλλες περιπτώσεις)
- Η σταθερά αποδιαμόρφωσης μπορεί να μην είναι μοναδιαία, αλλά η επίδρασή της είναι η ίδια όσον αφορά το σήμα πληροφορίας και τον θόρυβο
 - Την παραλείπουμε χωρίς βλάβη της γενικότητας
- Το μέρος του δέκτη μετά τον αποδιαμορφωτή είναι συνήθως ένα βαθυπερατό φίλτρο
 - Φίλτρο από-έμφασης στην FM



Θόρυβος λήψης

- Το σήμα και ο θόρυβος είναι στατιστικά ανεξάρτητα, άρα μπορούν να προστεθούν οι ισχύεις ώστε να ληφθεί η συνολική ισχύς λήψης

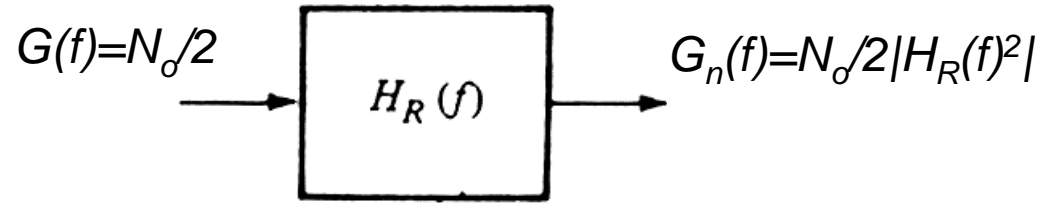
$$r^2 = s^2 + n^2 = S_R + N_R$$

- όπου N_R η ισχύς του θορύβου στη λήψη (είσοδο του δέκτη)
- Ο θόρυβος λήψης (πριν τη φώραση) είναι φιλτραρισμένη εκδοχή του θορύβου που εισάγει ο δίαυλος

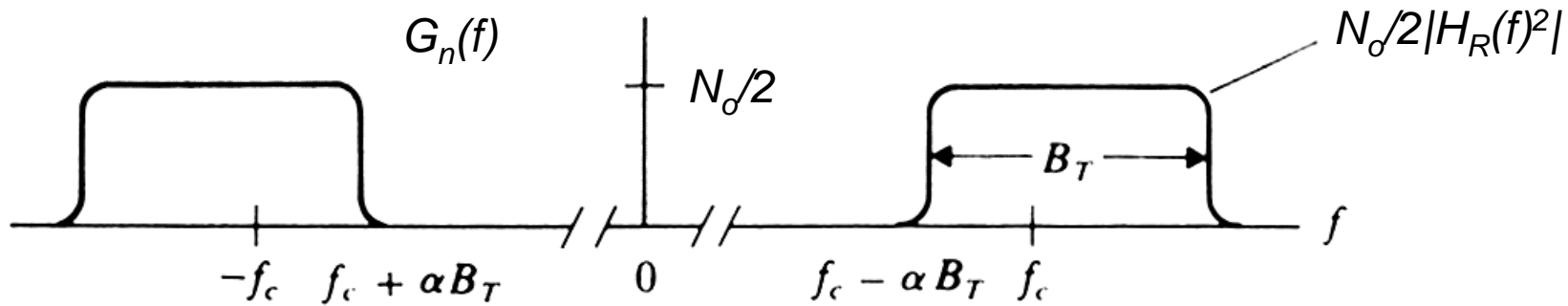
$$G_n(f) = \frac{N_0}{2} |H_R(f)|^2$$



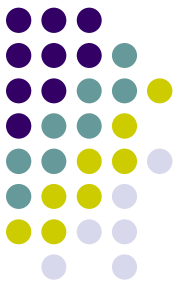
Θόρυβος λήψης



(a)



(b)



Ισχύς θορύβου λήψης

- Για λευκό θόρυβο στον δίαυλο

$$G_n(f) = \frac{N_0}{2} |H_R(f)|^2$$

- όπου $N_0/2$ η πυκνότητα φάσματος ισχύος του λευκού θορύβου
- Επομένως η ισχύς του θορύβου λήψης υποθέτοντας ιδανικό ζωνεπερατό φίλτρο εύρους ζώνης B_T είναι

$$N_R = \int_{-\infty}^{\infty} G_n(f) df = N_0 B_T$$

Σηματοθορυβική σχέση εισόδου



- Η σηματοθορυβική σχέση στην είσοδο του δέκτη ορίζεται ως

$$SNR_c \triangleq \frac{S_R}{N_R} = \frac{S_R}{N_0 B_T}$$

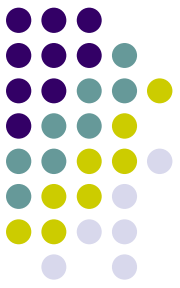
- Σημειώστε ότι το B_T είναι το **εύρος ζώνης μετάδοσης** μέσα στο οποίο όσος θόρυβος διαύλου εμφανισθεί θα οδηγείται προς τον φωρατή
- Για λόγους σύγκρισης ορίζουμε τη σηματοθορυβική σχέση εισόδου του **συστήματος βασικής ζώνης** (χωρίς διαμόρφωση) με ταυτόσημες ισχείς σήματος και θορύβου

Σηματοθορυβική σχέση εισόδου στη βασική ζώνη



- Για λόγους σύγκρισης ορίζουμε τη σηματοθορυβική σχέση εισόδου του **συστήματος βασικής ζώνης** (χωρίς διαμόρφωση) με ταυτόσημες ισχείς σήματος και θορύβου
- Τότε ως εύρος ζώνης (για τον θόρυβο) χρησιμοποιούμε το **εύρος ζώνης σήματος πληροφορίας**

Σηματοθορυβική σχέση εισόδου στη βασική ζώνη



$$SNR_b \triangleq \frac{S_R}{N_0 W}$$

$$SNR_c = \frac{W}{B_T} SNR_b, \quad SNR_c \leq SNR_b, \quad B_T \geq W$$

- όπου στην ακραία περίπτωση για το SSB ισχύουν οι ισότητες
- Η φυσική σημασία του SNR_b είναι ότι αποτελεί τη **μέγιστη** σηματοθορυβική σχέση στην είσοδο για αναλογική μετάδοση στη βασική ζώνη

Σηματοθορυβική σχέση εξόδου



- Εάν ο θόρυβος στην έξοδο του δέκτη μετά την αποδιαμόρφωση εμφανίζεται με μορφή προσθετικής συνιστώσας, η σηματοθορυβική σχέση στην έξοδο του δέκτη ορίζεται ως

$$SNR_o \triangleq \frac{S_D}{N_D}$$

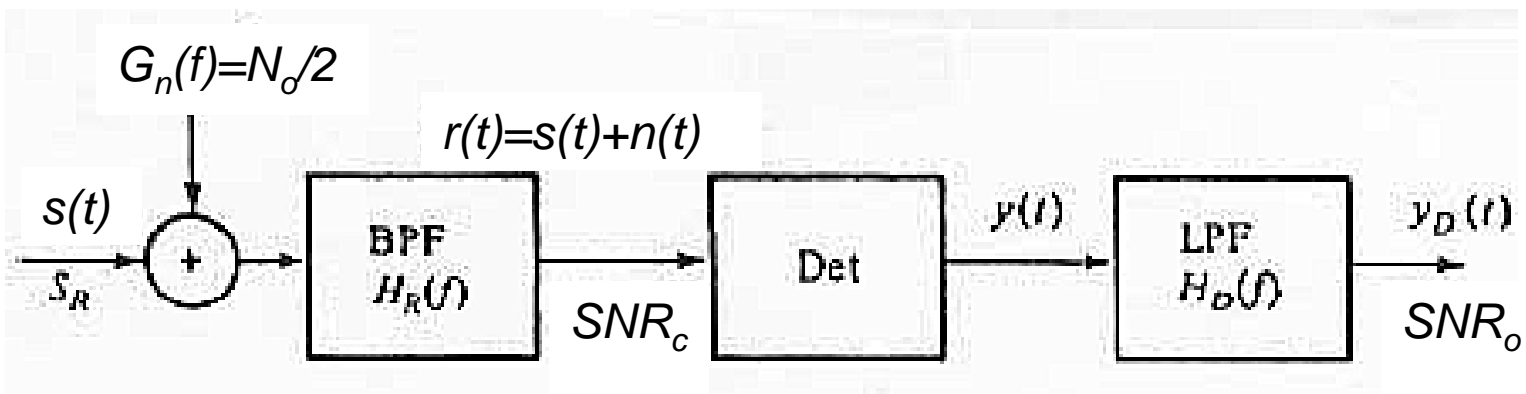
- όπου N_D η ισχύς του θορύβου στην έξοδο του δέκτη



Το βασικό πρόβλημα

- Η ερώτηση είναι: δοθέντος του $r(t)$ και του είδους του φωρατή (α) να βρεθεί το σήμα (με θόρυβο) στην τελική έξοδο $y_D(t)$ και (β) εάν ο θόρυβος εμφανίζεται προσθετικά να βρεθεί η σηματοθορυβική σχέση στην έξοδο

$$SNR_o = \frac{S_D}{N_D}$$





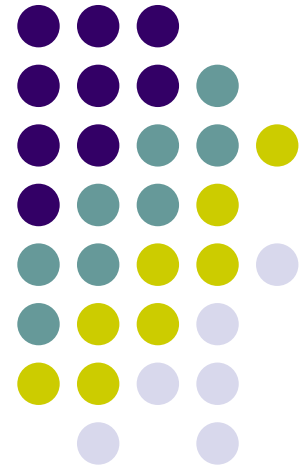
Επίδοση

- Η επίδοση του δέκτη προσδιορίζεται από τον λόγο των σηματοθορυβικών σχέσεων

$$\text{Επίδοση} = \frac{SNR_o}{SNR_c}$$

- Όσο υψηλότερη η τιμή του, τόσο καλύτερος είναι ο δέκτης

Ζωνοπερατός θόρυβος





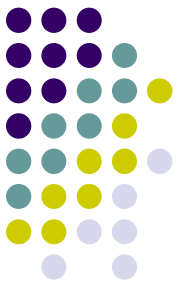
Ζωνοπερατός θόρυβος

- Θεωρούμε ότι ο θόρυβος στον δίαυλο είναι **λευκός**, δηλαδή, αναπαριστάνεται από στατική, μηδενικής μέσης τιμής διαδικασία Gauss

$$\bar{n} = 0, \quad \overline{n^2} = \sigma_n^2 = N_R$$

- Ο ζωνοπερατός θόρυβος λήψης μπορεί να γραφτεί συναρτήσει των ορθογωνίων συνιστωσών του ως εξής

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



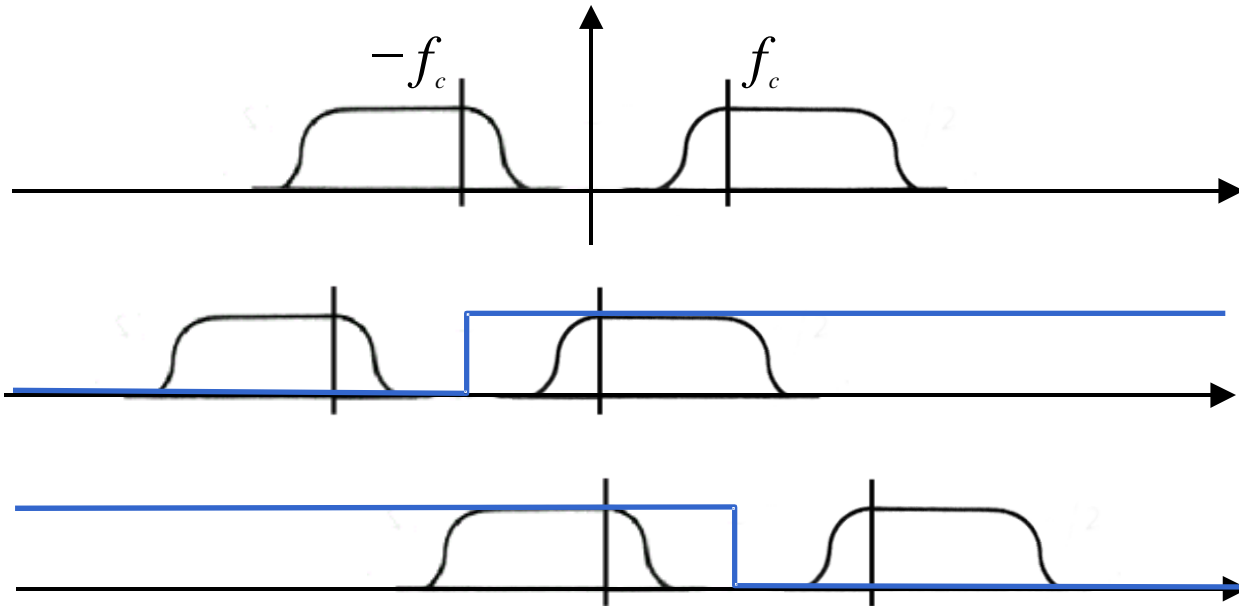
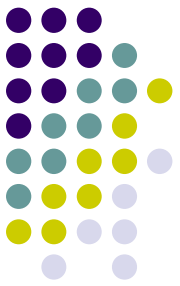
Ζωνοπερατός θόρυβος

- Όπου οι πυκνότητες φάσματος ισχύος των δύο συνιστωσών είναι ταυτόσημες

$$\begin{aligned} G_{n_c}(f) &= G_{n_s}(f) \\ &= \frac{1}{2} G_n(f - f_c) [1 - \text{sgn}(f - f_c)] \\ &\quad + \frac{1}{2} G_n(f + f_c) [1 + \text{sgn}(f + f_c)] \end{aligned}$$

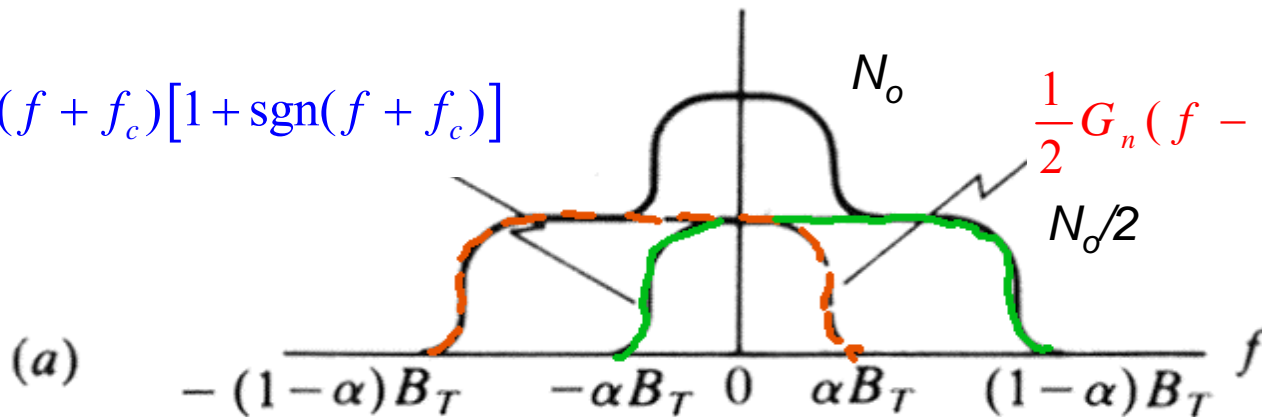
- Ο πρώτος όρος αντιστοιχεί σε **μετακίνηση προς τα επάνω των αρνητικών συχνοτήτων**, ενώ ο δεύτερος σε μετακίνηση των **θετικών συχνοτήτων προς τα κάτω**

Πώς βρίσκουμε τις ορθογώνιες συνιστώσες

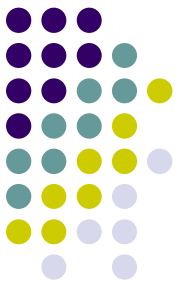


$$\frac{1}{2} G_n(f + f_c) [1 + \text{sgn}(f + f_c)]$$

$$\frac{1}{2} G_n(f - f_c) [1 - \text{sgn}(f - f_c)]$$

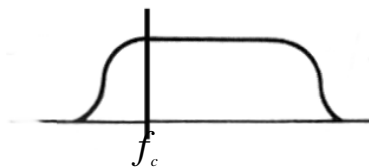


Ορθογώνιες συνιστώσες ζωνοπερατού θορύβου

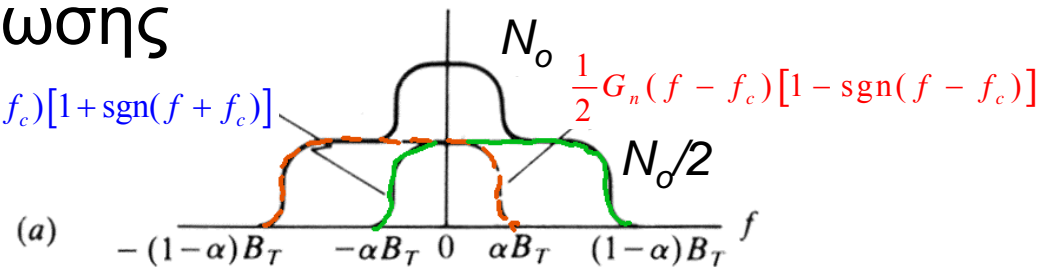


- Η φασματική μορφή των ορθογώνιων συνιστωσών μπορεί να διαφέρει σημαντικά από τη φασματική μορφή του ζωνοπερατού θορύβου λόγω του συστήματος διαμόρφωσης

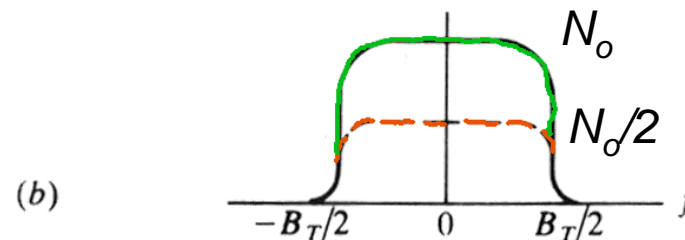
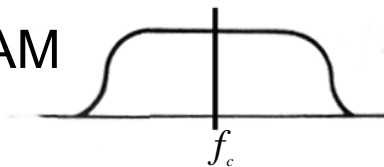
VSB



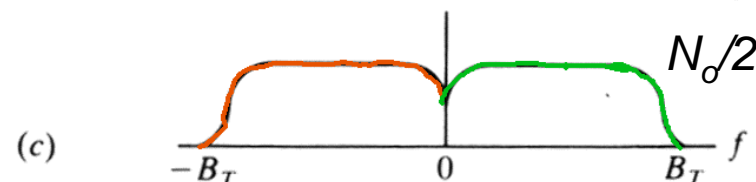
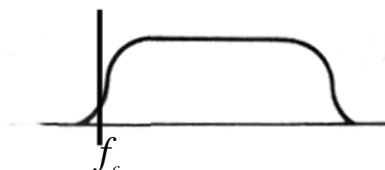
$$\frac{1}{2}G_n(f + f_c)[1 + \text{sgn}(f + f_c)]$$



FM, PM
DSB, AM



USB





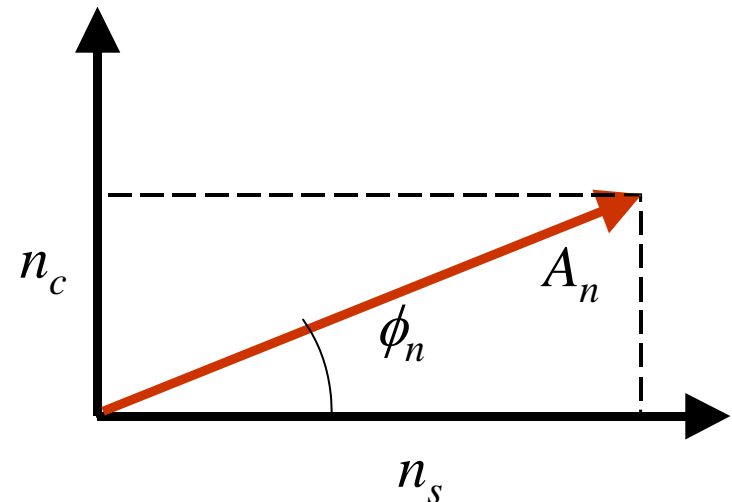
Ζωνοπερατός θόρυβος

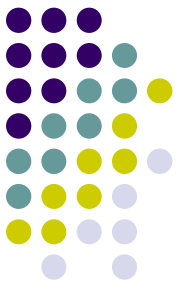
- Οι δύο συνιστώσες **συμφασική** και **ορθογωνική** είναι
 - Βαθυπερατές
 - Ανεξάρτητες
 - Μηδενικής μέσης τιμής
 - Ίδιας ισχύος

$$\overline{n_c} = \overline{n_s} = 0,$$

$$\overline{n_c(t)n_s(t)} = 0$$

$$\overline{n_c^2} = \overline{n_s^2} = \overline{n^2} = N_R = N_0 B_T$$





Κατανομή πλάτους θορύβου

- Ο ζωνοπερατός θόρυβος εκφρασμένος στη μορφή περιβάλλουσας-φάσης

$$n(t) = A_n(t) \cos[2\pi f_c t + \phi_n(t)]$$

- Το πλάτος $A_n^2(t) = n_c^2 + n_s^2$ έχει κατανομή Rayleigh

$$p_{A_n}(A_n) = \frac{A_n}{N_R} \exp\left\{-\frac{A_n^2}{2N_R}\right\}, \quad A_n \geq 0$$

- με μέση τιμή και μεταβλητότητα

$$\overline{A_n} = \sqrt{\frac{\pi N_R}{2}}, \quad \overline{A_n^2} = 2N_R, \quad P(A_n > a) = \exp\left\{-\frac{a^2}{2N_R}\right\}$$



Κατανομή φάσης θορύβου

- ενώ η φάση

$$\phi_n = \arctan \frac{n_s}{n_c}$$

- είναι ομοιόμορφα κατανεμημένη, με αποτέλεσμα

$$\overline{n^2} = \overline{A_n^2 \cos^2 [2\pi f_c t + \phi_n]} = \overline{A_n^2} \times \frac{1}{2} = N_R$$