



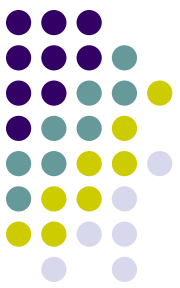
ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ

II

Καθηγητής Αναστάσιος Παπατσώρης

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΤΕ

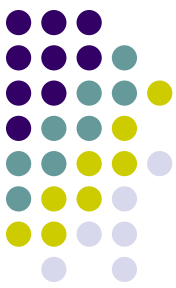




Άδειες Χρήσης

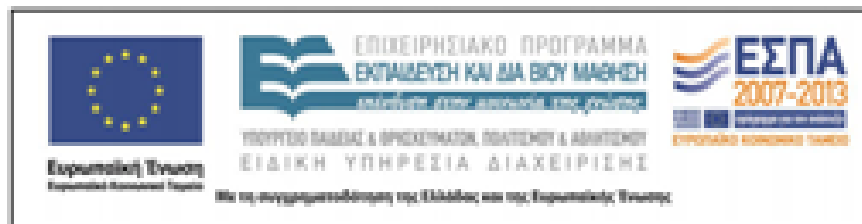
- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.





Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο ΤΕΙ Κεντρικής Μακεδονίας» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη 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.



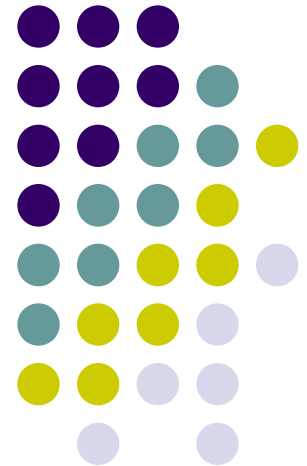


Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Κεντρικής Μακεδονίας

Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής

ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ II

Καθηγητής Αναστάσιος Παπατσώρης





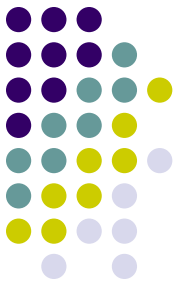
Αναπαράσταση ψηφιακών σημάτων στα πεδία χρόνου και συχνότητας



- Οι επιδόσεις μίας ψηφιακής επικοινωνιακής ζεύξης περιορίζονται από δύο σημαντικούς παράγοντες:
 - **Εύρος ζώνης**
 - **Θόρυβος**
- Τα μαθηματικά εργαλεία που απαιτούνται για τη μετάβαση από το πεδίο του χρόνου, στο πεδίο της συχνότητας είναι τα εξής:
 - Σειρές Fourier (περιοδικά σήματα)
 - Μετασχηματισμός Fourier (περιοδικά και απεριοδικά σήματα)



Σειρές Fourier



Οι σειρές Fourier αναπαριστούν κάθε σήμα περιοδικό στο πεδίο του χρόνου ως ένα άθροισμα αρμονικά σχετιζόμενων ημιτονοειδών κυμάτων.

Τριγωνομετρικό ανάπτυγμα

$$x(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \{a_n \cos(2\pi n f_0 t) + b_n \sin(2\pi n f_0 t)\}$$

όπου

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) \cdot dt = \text{μέση τιμή ενέργειας σήματος}$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \cos(2\pi n f_0 t) \cdot dt$$

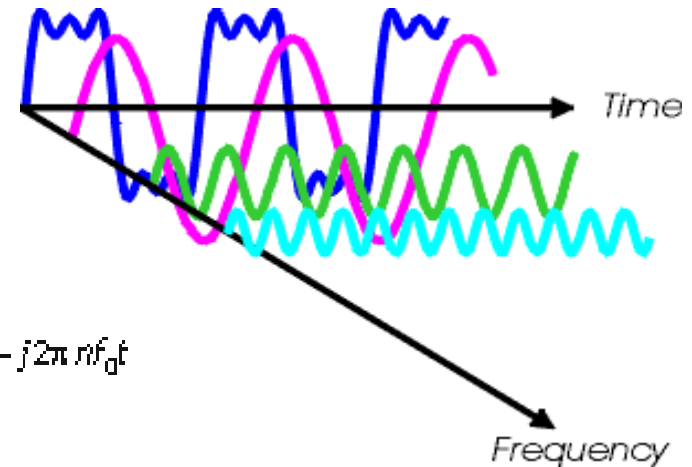
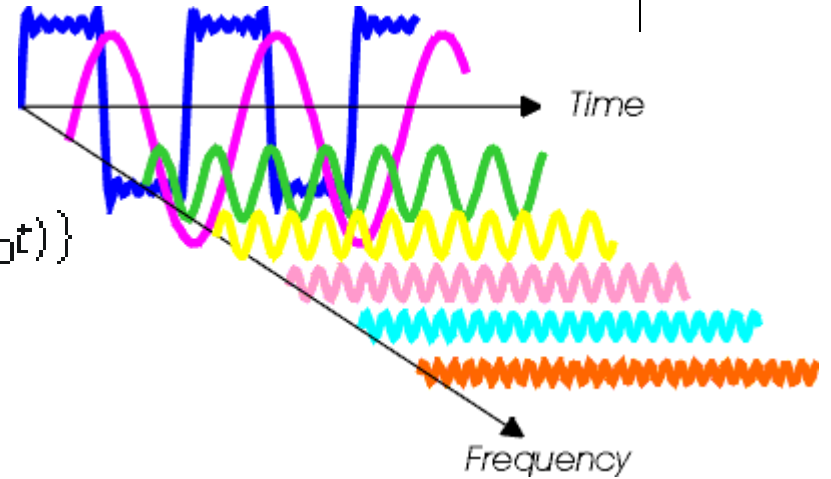
$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^T x(t) \sin(2\pi n f_0 t) \cdot dt$$

Μιγαδικό εκθετικό ανάπτυγμα

$$x(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{j2\pi n f_0 t}$$

όπου

$$c_n = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t) e^{-j2\pi n f_0 t}$$

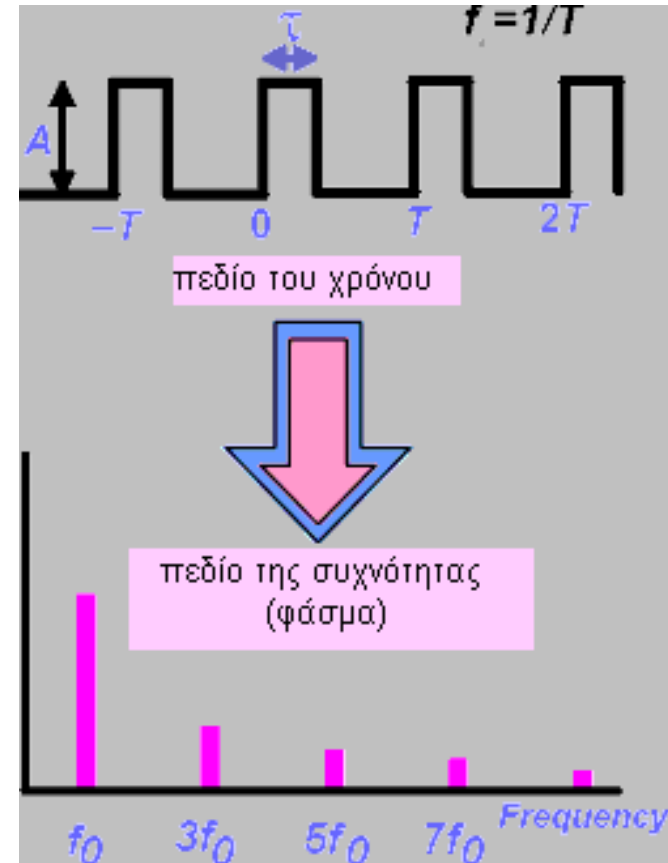




Το πεδίο της συχνότητας

Η αναπαράσταση ενός σήματος στο πεδίο του χρόνου με ένα άθροισμα ημιτονικών ή/και συνημιτονικών όρων αναφέρεται ως το **φάσμα** του σήματος

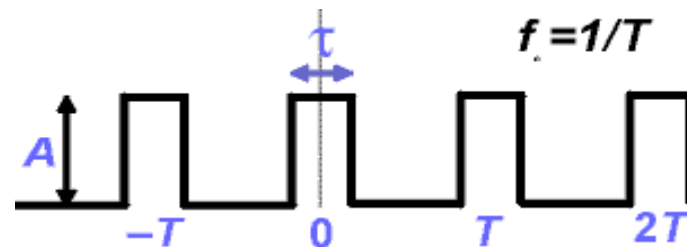
Σημείωση: για να αναπαραχθεί σωστά το σήμα, απαιτείται το **πλάτος** και η **φάση** των ημιτονικών ή συνημιτονικών όρων.





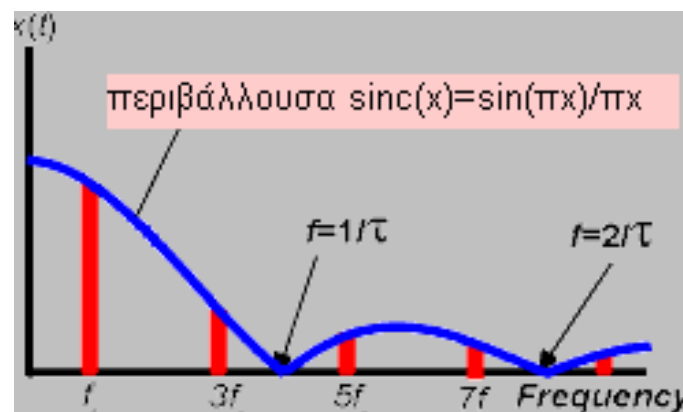
Φάσμα μιας περιοδικής παλμοσειράς

Τα πλάτη των συχνοτικών συνιστωσών περιορίζονται από μια γενική φασματική περιβάλλουσα (envelope), η οποία περνά από την τιμή μηδέν όταν η συχνότητα είναι ακέραιο πολλαπλάσιο της συχνότητας που αντιστοιχεί στο πλάτος των παλμών τ



Περιβάλλουσα

$$\sin c = \frac{2A\tau}{T} \cdot \frac{\sin(\pi n\tau / T)}{(\pi n\tau / T)}$$





Άσκηση

Προσδιορίστε το τριγωνομετρικό ανάπτυγμα σε σειρά Fourier της κυματομορφής:

Λύση

$$x(t) = \begin{cases} A \rightarrow 0 < t < T/2 \\ 0 \rightarrow T/2 < t < T \end{cases}$$

επομένως

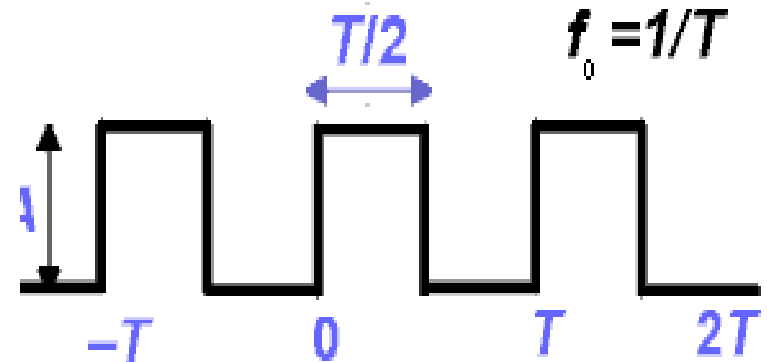
$$a_0 = \frac{1}{T} \int_0^{T/2} A dt = \frac{A}{T} t \Big|_0^{T/2} = \frac{A}{T} \cdot \frac{T}{2} = 0.5A$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} A \cos(2\pi n f_0 t) dt = \frac{2A}{2\pi n f_0 T} \cdot \sin 2\pi n f_0 (T/2)$$

τώρα θέτουμε

$$f_0 = 1/T$$

$$\therefore a_n = \frac{A}{\pi n} \cdot \sin \pi n = 0 \text{ για όλα τα } n$$





$$b_n = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} A \sin(2\pi n f_0 t) dt = \frac{-2A}{2\pi n f_0 T} \cdot \{\cos 2\pi n f_0 (T/2) - \cos(0)\}$$

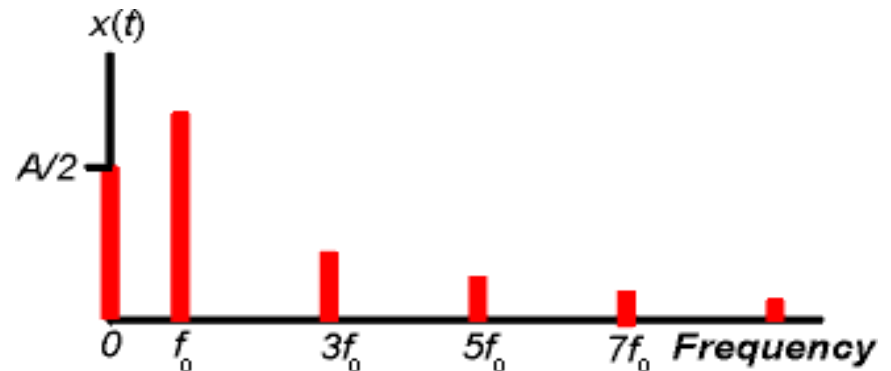
$$\therefore b_n = \frac{A}{\pi n} \cdot (1 - \cos \pi n) = \frac{2A}{\pi n} \text{ για } n \text{ περιττό και } 0 \text{ για } n \text{ άρτιο}$$

πλήρες ανάπτυγμα σε σειρά Fourier:

$$x(t) = \frac{A}{2} + \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{2A}{\pi n} \sin 2\pi n f_0 t$$

Εάν η κυματομορφή μετατοπιστεί κατά $T/4$ προκύπτει το παρακάτω ανάπτυγμα σε σειρά Fourier:

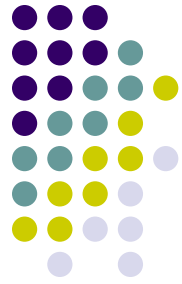
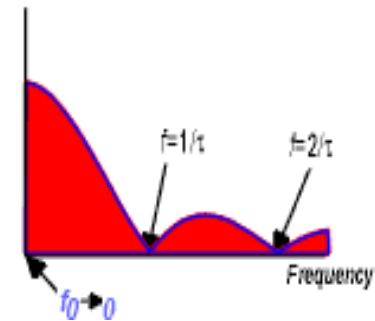
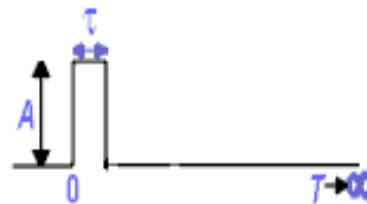
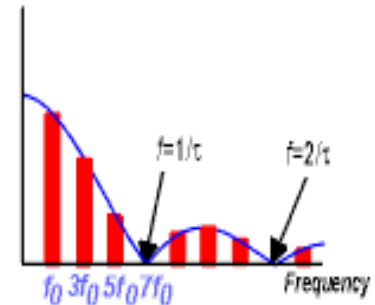
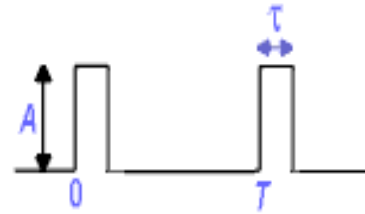
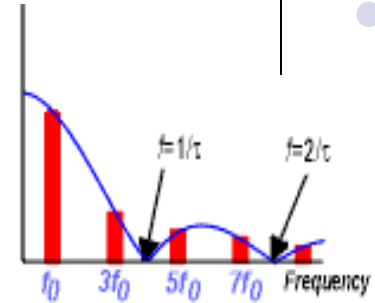
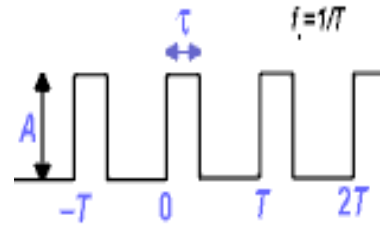
$$x(t) = \frac{A}{2} + \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{2A}{\pi n} \cos 2\pi n f_0 t$$





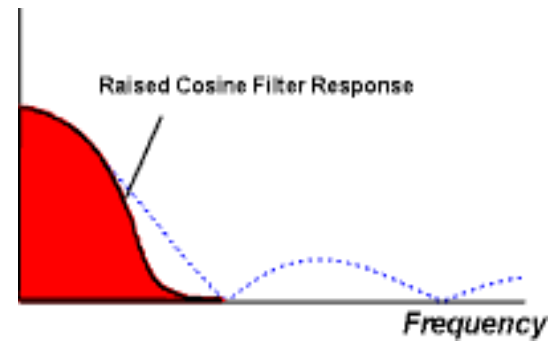
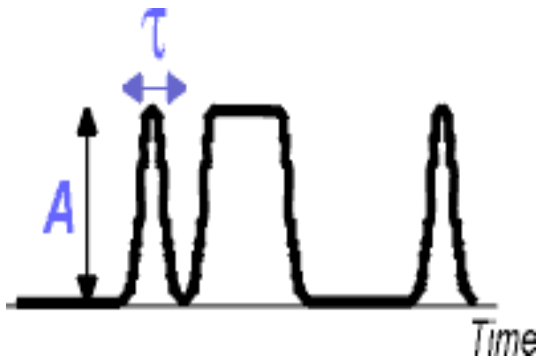
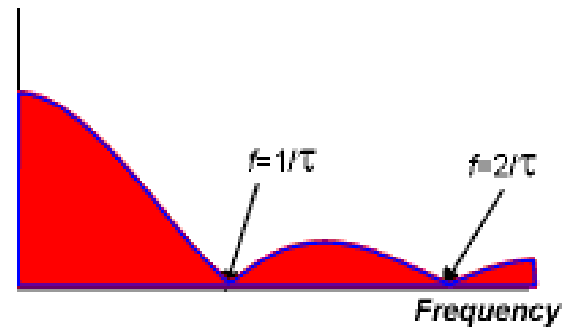
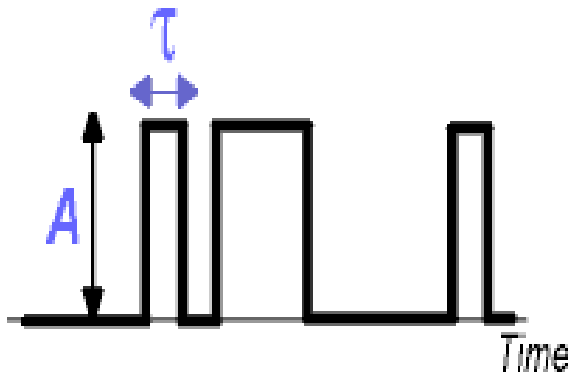
Φάσμα ενός παλμού δεδομένων

- Καθώς αυξάνει η θεμελιώδεις περίοδος μίας χρονικά εξελισσόμενης κυματομορφής, μειώνεται η θεμελιώδης συχνότητα των συνιστωσών της σειράς Fourier που απαρτίζουν την κυματομορφή με αποτέλεσμα οι αρμονικές να πλησιάζουν η μία την άλλη
- Όταν ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ των παλμών πλησιάζει το άπειρο, η αρμονική απόσταση των συνιστωσών γίνεται απείρως μικρή και το φάσμα γίνεται συνεχές





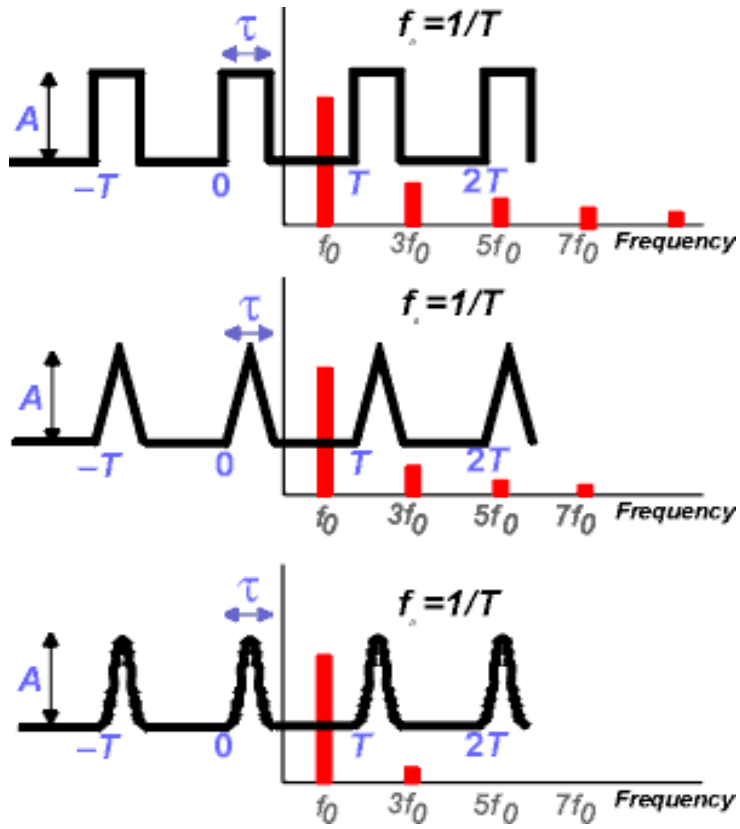
“Λειαίνοντας” τη μορφή των παλμών δεδομένων, ώστε να έχουμε ομαλές ακμές, αναμένουμε να ελαττωθεί σημαντικά το υψηλό φασματικό περιεχόμενο της κυματομορφής





Παράγοντες που επηρεάζουν το εύρος φάσματος ενός σήματος

- Μία κυματομορφή που έχει απότομες μεταβολές στο πεδίο του χρόνου θα έχει μεγαλύτερο συχνοτικό περιεχόμενο από κάποια άλλη που μεταβάλλεται ομαλά
- Άρα, όταν το διαθέσιμο εύρος ζώνης είναι περιορισμένο ευνοούνται οι τεχνικές διαμορφώσεις που δίνουν ομαλές μορφές παλμών ή ομαλές εναλλαγές φάσης μεταξύ διαφορετικών συμβολικών καταστάσεων





Ο Μετασχηματισμός Fourier

- Ο Μετασχηματισμός Fourier χρησιμοποιείται ευρέως για τη μετατροπή οποιαδήποτε κυματομορφής από το πεδίο του χρόνου στην αντίστοιχη της στο πεδίο της συχνότητας. Υπάρχει επιπλέον και ο *αντίστροφος μετασχηματισμός Fourier*, ο οποίος εκτελεί τη μετατροπή από το πεδίο της συχνότητας στο πεδίο του χρόνου.
- Ο μετασχηματισμός Fourier $X(f)$ μιας συνάρτησης στο πεδίο του χρόνου $x(t)$ και ο αντίστροφος μετασχηματισμός Fourier δίνεται από τις σχέσεις αντίστοιχα:

$$F\{x(t)\} = X(f) = \int_{t=-\infty}^{t=\infty} x(t) \exp[-j2\pi ft]. dt$$

$$x(t) = F^{-1}\{X(f)\} = \int_{-\infty}^{\infty} X(f) \exp[j2\pi ft]. df$$



Ζεύγη μετασχηματισμού Fourier

Πίνακας ζευγών μετασχηματισμού Fourier για την ανάλυση συστημάτων επικοινωνίας.

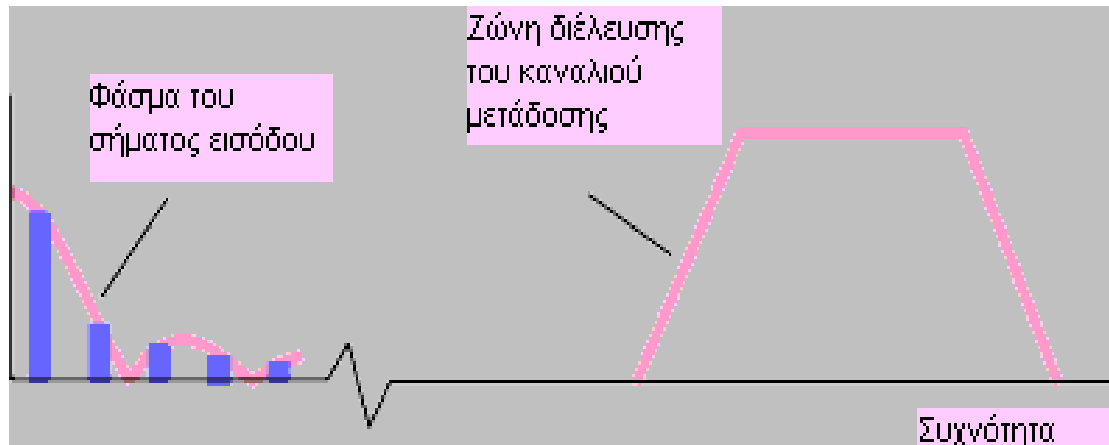
<u>Συνάρτηση</u>	<u>Χρονική Κυματομορφή</u>	<u>Φάσμα συχνοτήτων</u>
Σταθερά $\delta(f)$	1	$\delta(f)$
Κρουστικός παλμός	$\delta(t - t_0)$	$e^{-j2\pi f t_0}$
Τετραγωνικός παλμός	Ευρος = T	$T \frac{\sin(\pi f T)}{\pi f T}$
Τριγωνικός παλμός	Ευρος = T	$T \left(\frac{\sin(\pi f T)}{\pi f T} \right)^2$
Συνημίτονο	$\cos(\omega_c t + \phi)$	$0.5e^{j\phi} \delta(f - f_c) + 0.5e^{-j\phi} \delta(f + f_c)$
Σειρά κρουστικών παλμών	$\sum_{m=-\infty}^{\infty} \delta(t - mT)$	$f_0 \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(f - nf_0)$, όπου $f_0 = 1/T$
Χρονική καθυστέρηση	$x(t - T_d)$	$X(f) e^{-j\pi f T_d}$
Συζυγής συνάρτηση	$x^*(t)$	$X^*(-f)$
Μετατόπιση συχνότητας	$x(t) e^{j2\pi f_c t}$	$X(f - f_c)$



Τριγωνωμετρικές σχέσεις

Η βασική διαδικασία μίξης

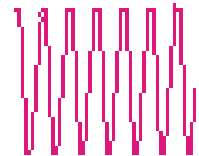
- Για να μετατοπίσουμε το φάσμα του σήματος εισόδου έτσι ώστε να εμπίπτει στην επιτρεπτή περιοχή διέλευσης του καναλιού πραγματοποιούμε μια διαδικασία διαμόρφωσης.
- Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει συχνά τη **μίξη** του σήματος εισόδου με ένα **άλλο** ημιτονικό ή συνημιτονικό **σήμα** υψηλότερης συχνότητας που ονομάζεται **φέρον** (carrier) ή *φέρουσα κυματομορφή*.



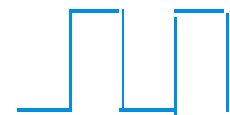


Η βασική διαδικασία μίξης


- Η έννοια του φέροντος παριστάνεται μαθηματικά με τη μορφή:


$$= \cos(\omega_c t)$$

και γνωρίζουμε ότι για τη περίπτωση της παλμοσειράς 1,0,1,0,.....το ανάπτυγμα σε σειρά Fourier είναι:


$$= \sum_{n=1,3,5..}^{\infty} \frac{2A}{n\pi} \cos n\omega_0 t$$

- Η διαδικασία μίξης πραγματοποιεί απλά έναν πολλαπλασιασμό του φέροντος με κάθε φασματική συνιστώσα του αναπτύγματος Fourier, οπότε η έξοδος του μίκτη μπορεί να γραφεί σαν:


$$= \sum_{n=1,3,5..}^{\infty} \frac{2A}{n\pi} \cos n\omega_0 t \cdot \cos \omega_c t$$

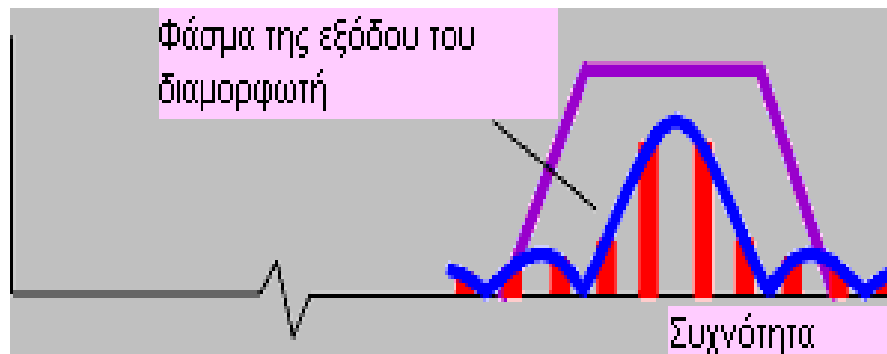


Η βασική διαδικασία μίξης

- Μπορούμε να προσδιορίσουμε την έξοδο της διαδικασίας της μίξης ως εξής:

$$\text{Έξοδος μίκτη} = \frac{1}{2} \cdot \frac{2A}{n\pi} \left(\sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \cos(\omega_c - n\omega_0)t + \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \cos(\omega_c + n\omega_0)t \right)$$

- Εάν σχεδιάσουμε το φάσμα του σήματος που προκύπτει, το οποίο ονομάζεται *διαμορφωμένο*, βλέπουμε ότι είναι κεντραρισμένο στη συχνότητα του φορέα. Επομένως έχουμε μια μέθοδο για τη **μετατόπιση φασματικών συνιστωσών** σε οποιαδήποτε συχνότητα επιθυμούμε, **χρησιμοποιώντας τη διαδικασία της μίξης**.





ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

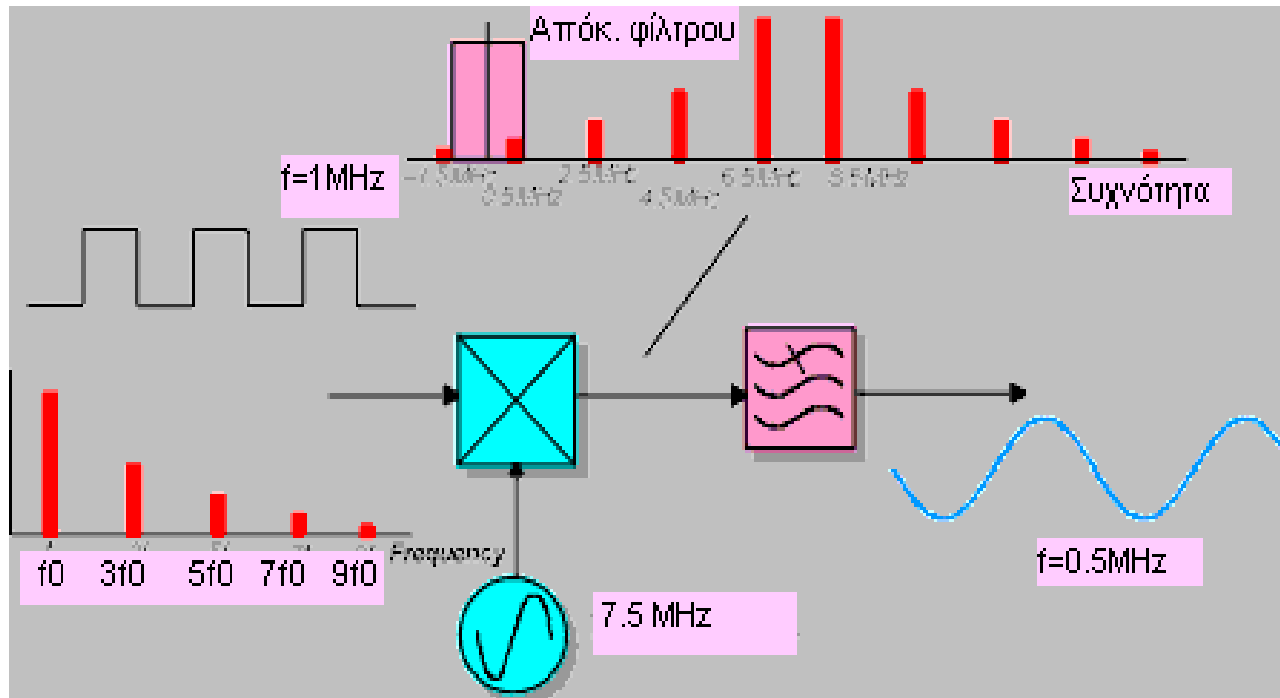
Ένα τετραγωνικό σήμα συχνότητας **1MHz** εισέρχεται στο μίκτη ενός δέκτη που έχει ημιτονικό τοπικό ταλαντωτή στα **7.5MHz** και το σήμα που προκύπτει περνά μέσα από ένα χαμηλοπερατό φίλτρο ορθογωνικής απόκρισης με συχνότητα αποκοπής **700kHz**.

- (a) Τι θα εμφανιστεί στην έξοδο του δέκτη;
- (b) Η έξοδος του δέκτη διαπιστώνεται ότι είναι πολύ ασθενής για πρακτική εφαρμογή. Πως μπορεί αυτή η έξοδος να ενισχυθεί απλά αλλάζοντας τη μορφή (των παλμών) του σήματος του 1MHz;



ΛΥΣΗ

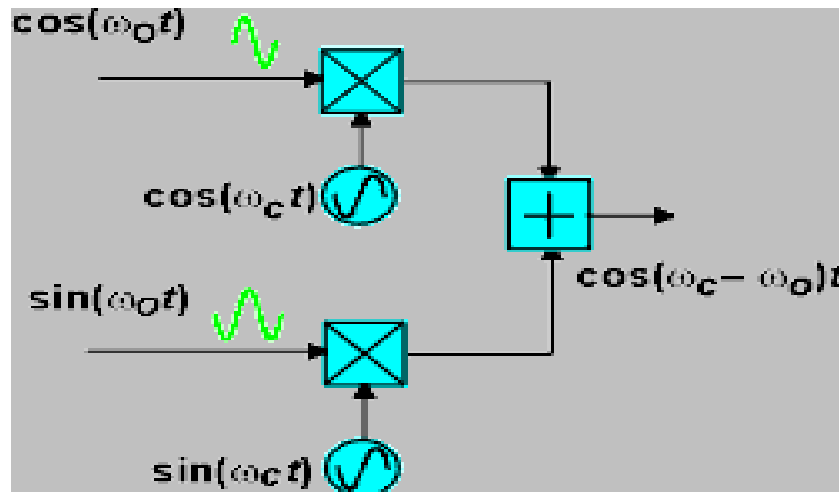
- Για να αυξήσουμε τη στάθμη της εξόδου, θα πρέπει να αυξήσουμε το πλάτος της έβδομης αρμονικής. Αυτό μπορεί να γίνει αλλάζοντας τη (χρονική) αναλογία υψηλής/χαμηλής στάθμης, ώστε το φάσμα να γίνει πλουσιότερο σε αρμονικές.





Ο διανυσματικός διαμορφωτής

- Όταν η μορφή των δεδομένων προς διαμόρφωση είναι περίπλοκη, πρέπει να χρησιμοποιούνται συνδυασμοί ημιτονικών και συνημιτονικών συνιστωσών του σήματος εισόδου, οι οποίοι εισέρχονται σε μίκτες μαζί με τους αντίστοιχους συνδυασμούς ημιτόνων και συνημιτόνων του φέροντος. Μια τέτοια διάταξη ονομάζεται **διανυσματικός διαμορφωτής**.
- Η **χρησιμότητα** του είναι η ανάκτηση της φασματικής απόδοσης στη ζώνη διέλευσης με την **διατήρηση είτε της άνω ή της κάτω πλευρικής ζώνης**.
Η γραφική απεικόνιση του διανυσματικού διαμορφωτή παρουσιάζεται παρακάτω:



Ο διανυσματικός διαμορφωτής (συνέχεια)



- Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι τριγωνομετρικές ταυτότητες, οι οποίες χρησιμοποιούνται κατά τη διαδικασία της μίξης:
 - $\cos A \cos B = 0.5 [\cos(A-B) + \cos(A+B)]$
 - $\sin A \sin B = 0.5 [\cos(A-B) - \cos(A+B)]$
 - $\sin A \cos B = 0.5 [\sin(A-B) + \sin(A+B)]$
 - $\cos A \sin B = 0.5 [\sin(A-B) - \sin(A+B)]$
- Η έξοδος των δύο διαδικασιών μίξης δίδεται από τις σχέσεις:
 - $\cos \omega_c t \cos \omega_0 t = 0.5 [\cos(\omega_c - \omega_0)t + \cos(\omega_c + \omega_0)t]$
 - $\sin \omega_c t \sin \omega_0 t = 0.5 [\cos(\omega_c - \omega_0)t - \cos(\omega_c + \omega_0)t]$
- Όταν αφαιρεθούν οι δύο έξοδοι προκύπτει $\cos(\omega_c + \omega_0)t$
- Όταν προστεθούν οι δύο έξοδοι προκύπτει $\cos(\omega_c - \omega_0)t$

Τυποποίηση αναλογικής πληροφορίας



- Για να μετατρέψουμε ένα αναλογικό σήμα (ένα σήμα συνεχούς χρόνου) σε ένα συρμό δυαδικών ψηφίων (bits), απαιτείται δειγματοληψία του σήματος σε διακριτά χρονικά διαστήματα. Η πιο δημοφιλής υλοποίηση της διαδικασίας της δειγματοληψίας είναι η λεγόμενη λειτουργία λήψης δείγματος και διατήρησης αυτού (sample and hold).
- Η έξοδος της διαδικασίας δειγματοληψίας ονομάζεται διαμόρφωση πλάτους παλμού (Pulse Amplitude Modulation - PAM), επειδή τα διαδοχικά διαστήματα στην έξοδο δύνανται να αναπαρασταθούν ως μια ακολουθία παλμών με πλάτος ανάλογο των δειγμάτων της κυματομορφής εισόδου.
- Η αρχική αναλογική κυματομορφή μπορεί να ανακτηθεί προσεγγιστικά εάν η κυματομορφή PAM διέλθει δια ενός χαμηλοπερατού φίλτρου. Παρ'όλα αυτά μπορεί κάποιος να διερωτηθεί: με πόση ακρίβεια είναι εφικτό η φιλτραρισμένη κυματομορφή PAM να προσεγγίσει την αρχική κυματομορφή;

Το θεώρημα της δειγματοληψίας του Nyquist

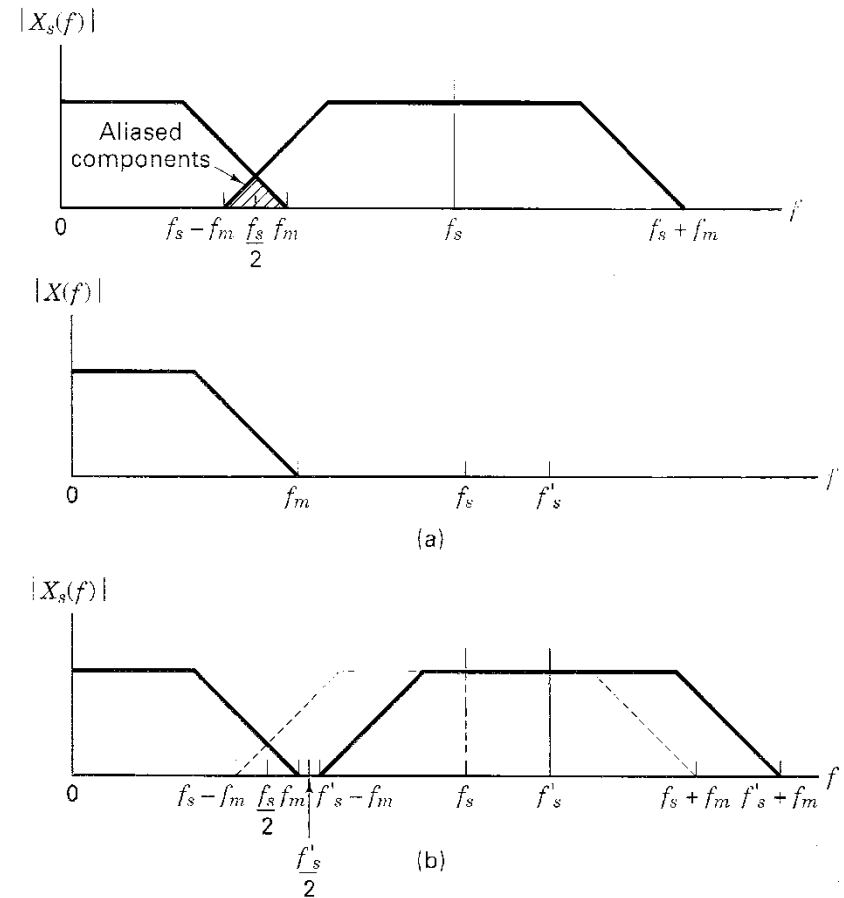


- Ένα σήμα που καταλαμβάνει συγκεκριμένο εύρος ζώνης και έχει μέγιστη συχνότητα f_m [Hertz] μπορεί να προσδιοριστεί με μοναδικό τρόπο εάν:
 - Λαμβάνονται δείγματα σε όμοια διαστήματα διάρκειας $T_s \leq 1/2f_m$, ή ισοδύναμα,
 - Εάν το κριτήριο του **Nyquist** ικανοποιείται, δηλαδή όταν ο ρυθμός (συχνότητα) δειγματοληψίας f_s είναι μεγαλύτερος ή τουλάχιστον ίσος με το διπλάσιο της μέγιστης συχνότητας f_m , $f_s \geq 2f_m$.
- Εάν το κριτήριο του Nyquist ικανοποιείται, τότε καθίσταται εφικτή η πλήρης ανασύνθεση ενός αναλογικού σήματος από το σύνολο των τιμών των διακριτών δειγμάτων που έχουν ληφθεί σε ίσα χρονικά διαστήματα.
- Η εγκυρότητα του θεωρήματος δειγματοληψίας μπορεί να αποδειχθεί κάνοντας χρήση της συνελικτικής ιδιότητας του μετασχηματισμού Fourier. (Πλήρης μαθηματική απόδειξη και επιπλέον υλικό στο βιβλίο του Sklar «Ψηφιακές Επικοινωνίες».)

Το φαινόμενο της παραποίησης



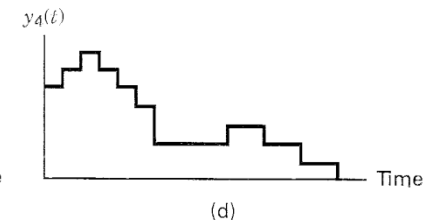
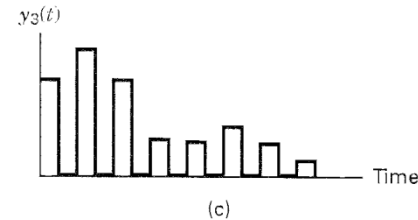
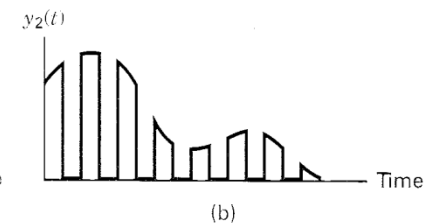
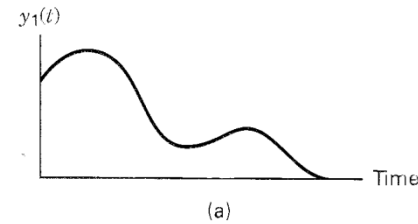
- Η υποδειγματοληψία ($f_s < 2f_m$), έχει ως συνέπεια την παραποίηση στο πεδίο της συχνότητας. Οι παραποημένες φασματικές συνιστώσες αναπαριστούν διφορούμενα δεδομένα τα οποία εμφανίζονται μεταξύ των συχνοτήτων $f_s - f_m$ and f_m .
- Υιοθετώντας ρυθμό δειγματοληψίας $f'_s > 2f_m$ το φαινόμενο της παραποίησης εξαλείφεται.
- Το φαινόμενο της παραποίησης μπορεί επίσης να εξαλειφθεί υιοθετώντας αντι-παραποητικά φίλτρα πριν (η καλύτερη πρακτική) ή μετά (εάν τα χαρακτηριστικά του σήματος είναι γνωστά) τη δειγματοληψία.
- Για την πρακτική υλοποίηση τέτοιων φίλτρων απαιτείται μη μηδενικό εύρος ζώνης για την περιοχή μετάβασης μεταξύ της περιοχής διέλευσης και αποκοπής. Υπολογίζοντας περίπου στο 20% το εύρος ζώνης της περιοχής μετάβασης του αντι-παραποητικού φίλτρου, προκύπτει η πρακτική έκδοση του ελάχιστου απαιτούμενου ρυθμού δειγματοληψίας, ήτοι:
 $f_s \geq 2.2f_m$



Μετατροπή ψηφιακού σήματος σε αναλογικό



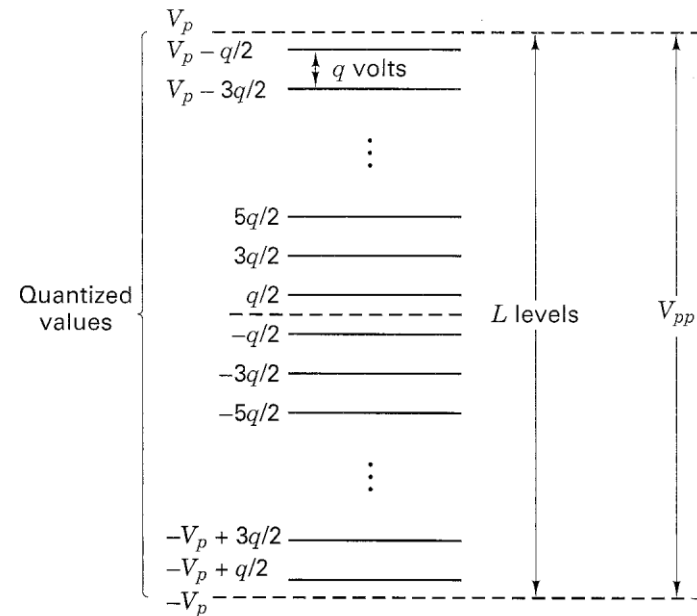
- (a) Αρχική αναλογική κυματομορφή.
- (b) Φυσικά δείγματα της αρχικής κυματομορφής. Αξίζει να σημειωθεί ότι τα δεδομένα δειγματοληψίας δύνανται να λάβουν άπειρο αριθμό τιμών.
- (c) Εκδοχή της αρχικής κυματομορφής που αναπαρίσταται από διακριτούς παλμούς των οποίων τα πλάτη προέρχονται από πεπερασμένο σύνολο. Κάθε παλμός έχει ένα προκαθορισμένο πλάτος, το οποίο αναπαριστά ένα σύμβολο. Οι παλμοί αυτοί ονομάζονται ψηφιακά δείγματα.
- (d) Έξοδος από κύκλωμα δειγματοληψίας και διατήρησης. Η αναπαραγωγή της αρχικής αναλογικής κυματομορφής δεν είναι ακριβής. Μεγαλύτερη πιστότητα αναπαραγωγής της αρχικής κυματομορφής μπορεί να επιτευχθεί αυξάνοντας τον αριθμό των ψηφιακών επιπέδων.



Ιδιότητες ενός ADC



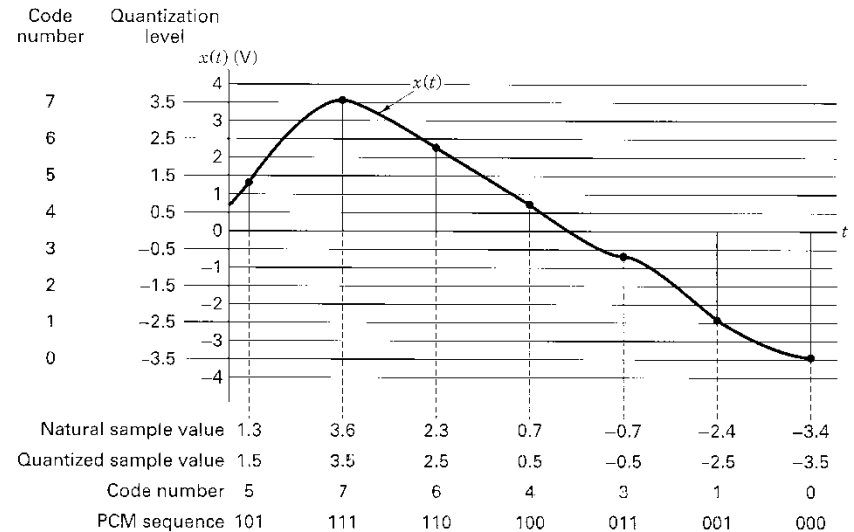
- Η απόσταση q μεταξύ των ψηφιακών επιπέδων ονομάζεται βήμα κβαντοποίησης και μετράται σε Volts.
- Όταν οι ψηφιακές στάθμες κατανέμονται ομοιόμορφα σε όλο το εύρος των τιμών τάσης, ο μετατροπέας ονομάζεται ομοιόμορφος ή γραμμικός.
- Κάθε δειγματοληφθείσα τιμή της αναλογικής κυματομορφής προσεγγίζεται από το πλησιέστερο διακριτό επίπεδο, και έτσι το σφάλμα κβαντισμού δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερο $q/2$ V.
- Αποδεικνύεται ότι ο λόγος της μέγιστης ισχύος προς το μέσο θόρυβο κβαντισμού δίδεται από τη σχέση: $S/N=3L^2/2$
- Το δυναμικό εύρος (DR) του μετατροπέα είναι V_{pp}/q , κι εκφράζει την ικανότητά του να διαχειριστεί μεγάλο εύρος τιμών τάσης στην είσοδό του. Το δυναμικό εύρος σε dBs και για ένα γραμμικό μετατροπέα δίδεται από τη σχέση: $DR=6.02n$ [dB], όπου n είναι η ακρίβεια του ADC.



Παλμοκωδική διαμόρφωση (PCM)



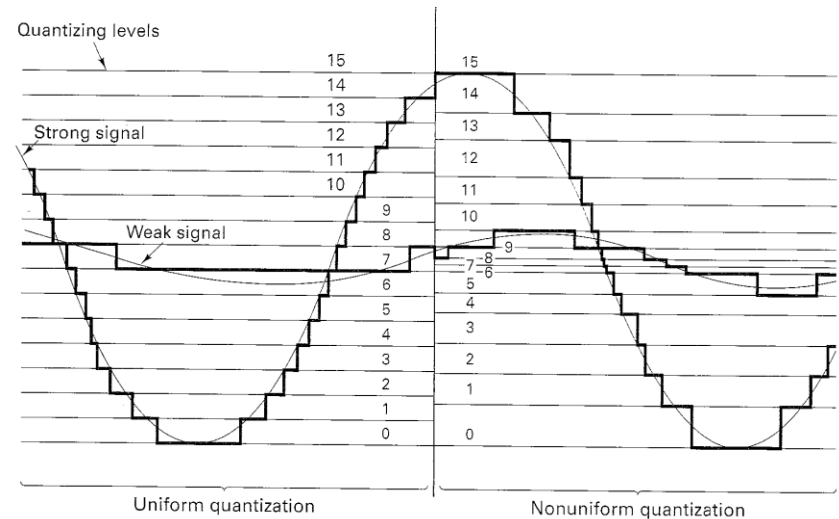
- Αποδίδοντας σε κάθε κβαντοποιημένο δείγμα μια ψηφιακή λέξη προκύπτει η λεγόμενη παλμοκωδική διαμόρφωση (Pulse Code Modulation).
- Χρειάζεται όμως προσοχή προκειμένου να διαχωρίσουμε την PCM, που χρησιμοποιείται:
 - Για την τυποποίηση αναλογικής πληροφορίας κατά την μετατροπή αναλογικού σήματος σε ψηφιακό, διαδικασία η οποία περιλαμβάνει δειγματοληψία, κβαντοποίηση και τελικά παραγωγή ενός συρμού δυαδικών ψηφίων.
 - για σηματοδότηση στη βασική ζώνης (**baseband signaling**), η οποία αναφέρεται σε διάφορες PCM κυματομορφές (line codes) που χρησιμοποιούνται για να μεταφέρουν στο κανάλι το συρμό των δυαδικών PCM ψηφίων.



Ομοιόμορφη και μη ομοιόμορφη κβαντοποίηση



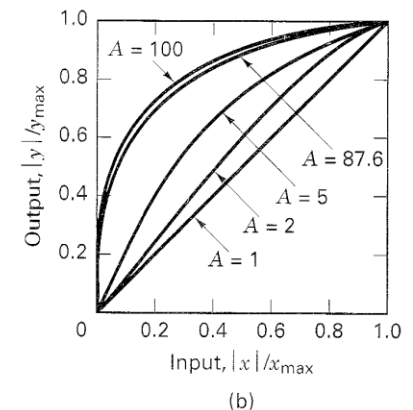
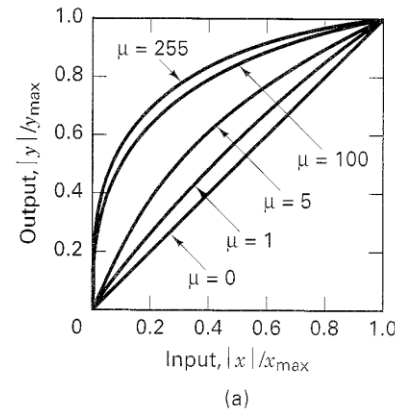
- Όταν τα βήματα κβαντισμού είναι ομοιόμορφα σε μέγεθος, η κβαντοποίηση ονομάζεται ομοιόμορφη. Για τέτοια συστήματα ο θόρυβος κβαντισμού είναι η ίδιος για όλα τα πλάτη σήματος. Η συνέπεια είναι ότι για σήματα χαμηλού πλάτους, ο λόγος σήματος προς θόρυβο είναι χειρότερος από ό, τι για τα σήματα μεγάλου πλάτους.
- Ωστόσο, εάν η κβαντοποίηση διενεργείται με μη ομοιόμορφο τρόπο, σήματα μικρού πλάτους μπορούν να κβαντοποιηθούν με μικρά βήματα ώστε να αποτυπωθεί η απαιτούμενη λεπτομέρεια, ενώ σήματα μεγαλύτερου πλάτους με μεγαλύτερα βήματα χωρίς συνέπειες. Με αυτόν τον τρόπο ο σηματοθορυβικός λόγος καθίσταται ανάλογος στο πλάτος του σήματος.
- Ειδικά για την φωνή, η τυποποιημένη τεχνική για την ψηφιακή τηλεφωνία χρησιμοποιεί τον κβαντιστή λογαριθμικής συμπίεσης.



Ανομοιόμορφη κβαντοποίηση στην τηλεφωνία



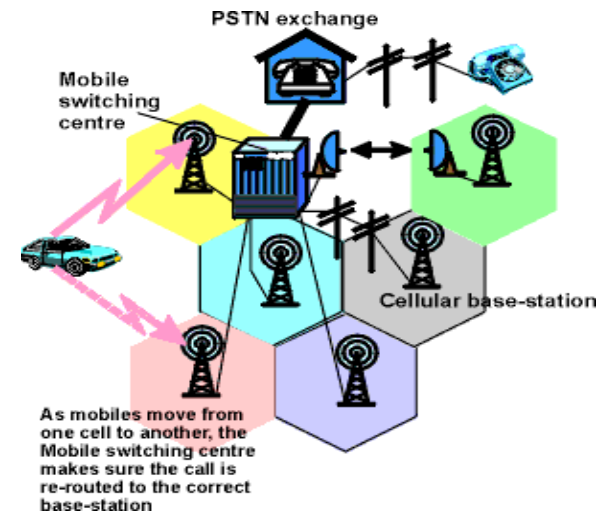
- Στην περίπτωση της τηλεφωνίας η ανομοιόμορφη κβαντοποίηση επιτυγχάνεται αρχικά με την παραμόρφωση του αρχικού σήματος σύμφωνα με μια λογαριθμική χαρακτηριστική συμπίεσης.
- Για σήματα μικρού πλάτους, η χαρακτηριστική συμπίεσης έχει πολύ μεγαλύτερη κλίση από ό, τι για τις μεγάλες σήματα πλάτους. Έτσι, μια δεδομένη αλλαγή σήματος μικρού πλάτους έχει ως αποτέλεσμα να διέλθει μέσω περισσότερων βημάτων ένας κβαντιστής ομοιόμορφου τύπου από ότι θα διερχόταν για την ίδια αλλαγή σήματος μεγαλύτερου όμως πλάτους.
- Στην πραγματικότητα, η χαρακτηριστική συμπίεσης αλλάζει την κατανομή των πλατών του σήματος εισόδου έτσι ώστε να μην υπάρχουν κατά το δυνατόν σήματα χαμηλού πλάτους στην έξοδο του συμπιεστή.
- Μετά την συμπίεση, το παραμορφωμένο σήμα εφαρμόζεται στην είσοδο ενός ομοιόμορφου κβαντιστή. Στο δέκτη εφαρμόζεται η ακριβώς αντίστροφη διαδικασία, αυτή δηλαδή της αποσυμπίεσης, διασφαλίζοντας έτσι ότι η συνολική μετάδοση δεν είναι παραμορφωμένη.
- Σύγχρονες μέθοδοι συμπίεσης-αποσυμπίεσης (**compressing / expanding - companding**) χρησιμοποιούν μια τμηματικά γραμμική προσέγγιση για την λογαριθμική χαρακτηριστική συμπίεσης, όπως φαίνεται στα γειτονικά διαγράμματα. Αυτές οι μέθοδοι είναι γνωστές ως μ -law και A-law, για τις ΗΠΑ και την Ευρώπη, αντίστοιχα.

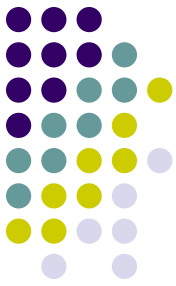




ΔΙΚΤΥΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΚΑΙ ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΣΗΜΑΤΟΔΟΣΙΑΣ

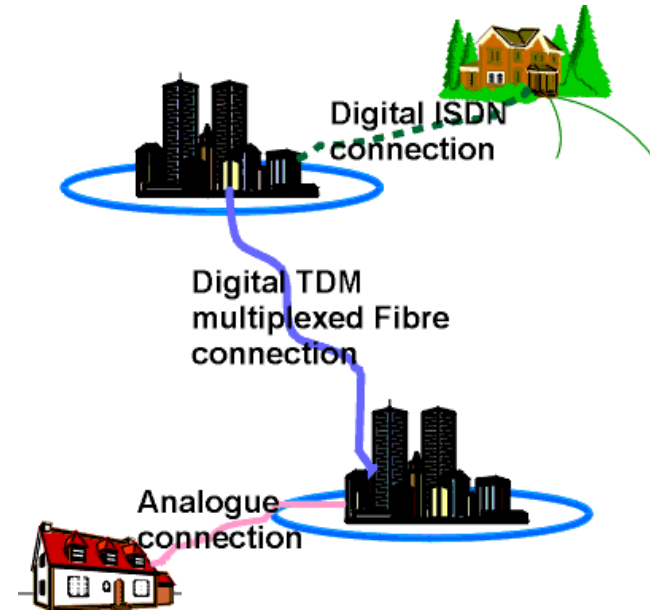
- **Δίκτυο:** το σύνολο των δομικών στοιχείων που απαρτίζουν ένα σύγχρονο, πολυσύνθετο σύστημα επικοινωνιών. Περιλαμβάνει φυσικές διασυνδέσεις (π.χ. καλώδια, οπτικές ίνες, δρομολογητές, κλπ) καθώς και πομποδέκτες (modems) που αποστέλλουν και παραλαμβάνουν την πληροφορία.
- **Δίκτυο Κινητής τηλεφωνίας:** περιλαμβάνει το ασύρματο τμήμα διασύνδεσης όπου η συσκευή κινητής τηλεφωνίας (Mobile Equipment – ME) συνδέεται ασύρματα με το σταθμό βάσης (Base Station Transceiver - BTS), τον ελεγκτή σταθμών βάσης (Base Station Controller - BSC) και το κέντρο μεταγωγής (Mobile Switching Centre - MSC) που διενεργεί τη διαδικασία της μεταγωγής αλλά και συνδέει το δίκτυο κινητής τηλεφωνίας με το δημόσιο τηλεφωνικό δίκτυο (PSTN).





ΙΕΡΑΡΧΙΑ ΔΙΚΤΥΟΥ

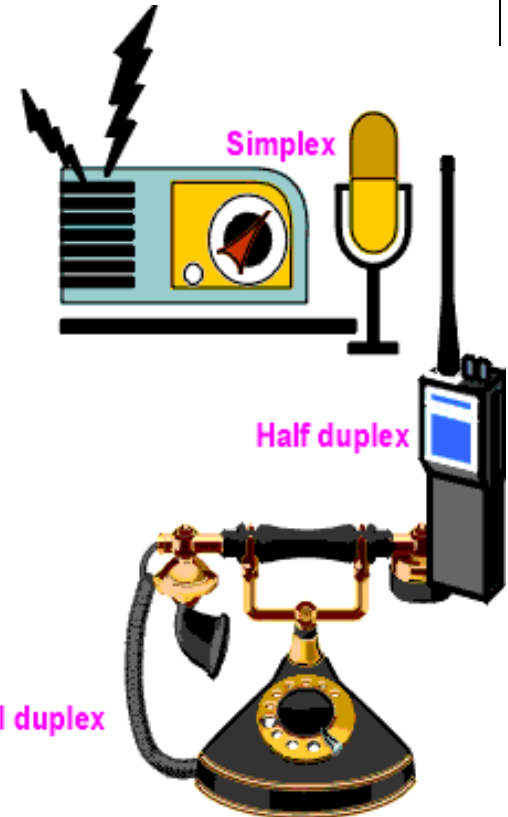
- Στο PSTN οι συνδέσεις που έχουν μικρό φόρτο εξυπηρετούνται με συνδέσεις χαμηλής χωρητικότητας π.χ. με το συνεστραμμένο ζεύγος καλωδίων όπου χρησιμοποιείται για τους οικιακούς χρήστες και υποστηρίζει βασικό ρυθμό μετάδοσης 56 kbps. Επιπροσθέτως, τα τελευταία χρόνια κατέστη δυνατή η ψηφιακή μετάδοση δεδομένων στο απλό χάλκινο καλώδιο του τηλεφωνικού δικτύου μέσω:
 - Του **Ψηφιακού Δικτύου Ενοποιημένων Υπηρεσιών** (Integrated Services Digital Network - ISDN) το οποίο είναι ένα σύνολο προτύπων επικοινωνίας για την ταυτόχρονη ψηφιακή μετάδοση ήχου, βίντεο και άλλων μορφών δεδομένων μέσω του δημόσιου τηλεφωνικού δικτύου (έκδοση τεχνικού προτύπου ISDN το 1988).
 - Της **Ασύμμετρης Ψηφιακής Συνδρομητικής Γραμμής** (Asymmetric Digital Subscriber Line – ADSL) που λειτουργεί πάνω σε παραδοσιακή τηλεφωνική γραμμή αλλά πετυχαίνει υψηλότερους ρυθμούς μεταφοράς από τα παραδοσιακά modem. (1^η έκδοση τεχνικού προτύπου 7/1999, τελευταία έκδοση ADSL2+ 1/2009)
- Αντίθετα, για συνδέσεις μεγάλων πόλεων ή κόμβων χρησιμοποιούνται οπτικές ίνες, οι οποίες μεταφέρουν δεδομένα με ρυθμούς αρκετών Tbps.





ΠΡΩΤΟΚΟΛΛΑ ΕΚΠΟΜΠΗΣ

- **Μονόδρομη (Simplex):** η ροή πληροφορίας μπορεί να γίνει σε **μία μόνο κατεύθυνση**, π.χ. τηλεοπτικές και ραδιοφωνικές εκπομπές.
- **Ημι-αμφίδρομη (Half Duplex):** επιτρέπεται η επικοινωνία προς **δύο κατευθύνσεις, αλλά όχι ταυτόχρονα** π.χ. Walkie-talkie.
- **Πλήρως αμφίδρομη (Full Duplex):** επιτρέπεται η επικοινωνία προς **δύο κατευθύνσεις και ταυτόχρονα** π.χ. τηλέφωνο

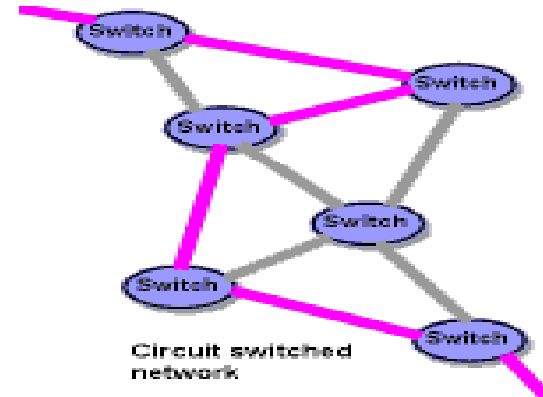




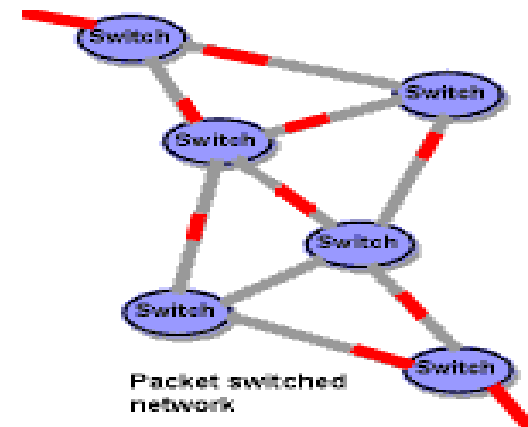
ΕΙΔΗ ΔΙΚΤΥΩΝ:

Δίκτυα μεταγωγής κυκλώματος και μεταγωγής πακέτου

- **Δίκτυο μεταγωγής κυκλώματος:** η διαδρομή των μηνυμάτων / πακέτων καθορίζεται από την αρχή και οι συνδέσεις διατηρούνται καθ' όλη την διάρκεια της συνομιλίας.



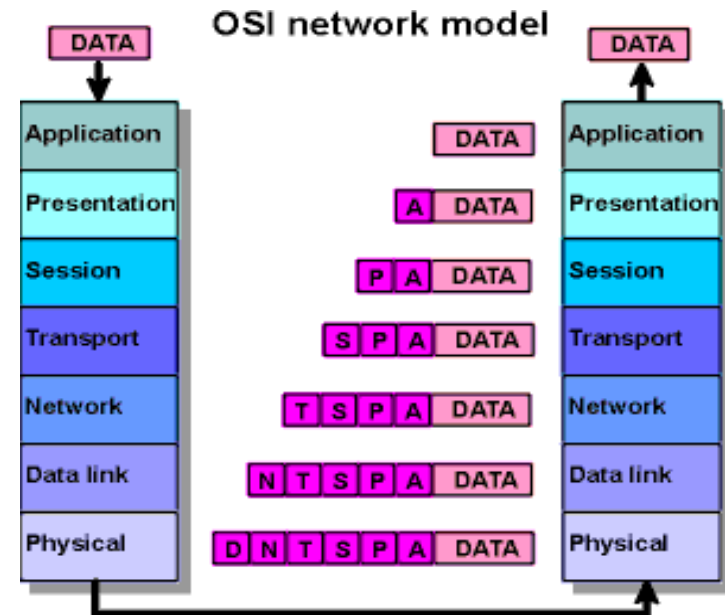
- **Δίκτυο μεταγωγής πακέτων:** η δρομολόγηση υλοποιείται κατά την βέλτιστη διαδρομή, που είναι διαθέσιμη εκείνη την χρονική στιγμή.





ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ ΕΠΤΑ ΕΠΙΠΕΔΩΝ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΟΙΧΤΗΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΗΣ (OPEN INTERCONNECTION SYSTEM – OSI)

- Συχνά σε ένα σύστημα υπάρχουν περισσότερα από ένα **πρωτόκολλα σηματοδότησης**, τα οποία λειτουργούν ταυτόχρονα για να ελέγχουν την ροή της πληροφορίας και τις επεξεργασίες στα διάφορα μέρη του δικτύου.
- Αυτά τα διάφορα επίπεδα πρωτοκόλλων χωρίζονται σε κατηγορίες ανάλογα με την λειτουργία τους. Αυτή η λειτουργία είναι γνωστή ως το **μοντέλο Συστήματος Ανοιχτής Διασύνδεσης OSI επτά επιπέδων**. Στα πλαίσια του μαθήματος Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα II, θα ασχοληθούμε με τα **επίπεδα φυσικό και ζεύξης δεδομένων**, που εντάσσονται στο υλικό του τηλεπικοινωνιακού συστήματος.





ΔΟΜΗ ΠΛΑΙΣΙΩΝ

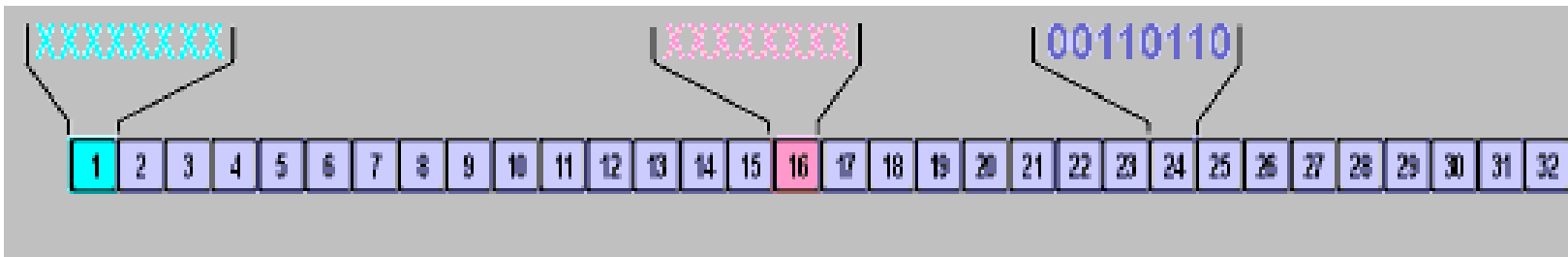
- Κάθε εισερχόμενη αναλογική τηλεφωνική γραμμή δειγματοληπτείται με ρυθμό 8000 δείγματα/δευτερόλεπτα και κάθε **δείγμα φωνής ή δεδομένων** παριστάνεται ως μία λέξη των 8bit. Για να αποσταλούν ομαδικά τα ψηφιοποιημένα σήματα φωνής χρησιμοποιούνται οπτικές ίνες με δυνατότητες Gbps.
- Οι λέξεις των 8bit ομαδοποιούνται σε πλαίσια πριν σταλούν, και προστίθενται σε αυτή, μια **λέξη σηματοδοσίας** των 8 bit και μια **λέξη πλαισίωσης/συγχρονισμού** των 8 bit και αυτή.

Μορφή πλαισίου σύμφωνα με την πολυπλεξία ITU (CCITT)

Λέξη συγχρονισμού

Κανάλι σηματοδοσίας

Δείγμα φωνής ή δεδομένων



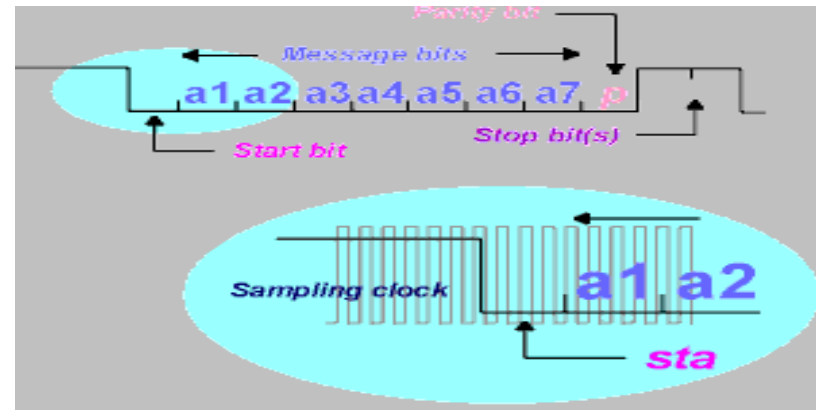


ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΚΑΙ ΑΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΕΣ

- **Σύγχρονη μετάδοση:** Ένα σύγχρονο σύστημα είναι αυτό, στο οποίο ο πομπός και ο δέκτης λειτουργούν συνεχώς, με τον ίδιο αριθμό συμβόλων ανά δευτερόλεπτο και διατηρούνται σε μια επιθυμητή διαφορά φάσης με την βοήθεια κατάλληλων λειτουργιών διόρθωσης.
- **Ασύγχρονη μετάδοση:** Ένα ασύγχρονο σύστημα είναι αυτό, στο οποίο ο ρυθμός αποστολής συμβόλων μπορεί να μεταβάλλεται με το χρόνο μέσα σε κάποια όρια και έτσι δεν υπάρχει αυστηρός περιορισμός χρονισμού.

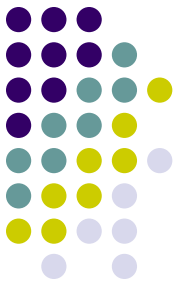
Μορφή χαρακτήρων ASCII

- ✓ Γραφική απεικόνιση του συνήθη τρόπου αποστολής χαρακτήρων ASCII σε μια σύνδεση modem. Αφορά την ασύγχρονη μετάδοση.





ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ



Πλεονεκτήματα

- 1) Ανοχή στον θόρυβο, λόγω του προσαρμοσμένου φίλτρου
- 2) Δυνατότητα διαχείρισης μεγαλύτερων ρυθμών αποστολής δεδομένων από ότι η ασύγχρονη

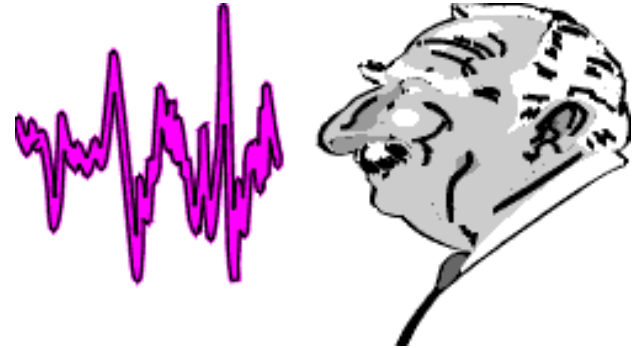
Μειονεκτήματα

- 1) Ο συγχρονισμός του συστήματος πρέπει να γίνει σε πεπερασμένο χρόνο
- 2) Είναι πιο ακριβή και περίπλοκη από την ασύγχρονη λειτουργία
- 3) Δεν μπορεί εύκολα να διαχειριστεί μεταβαλλόμενους ρυθμούς εκπομπής συμβόλων



ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΤΥΠΩΝ ΜΗΝΥΜΑΤΟΣ

- **Αναλογικό:** ορίζεται ως μία φυσική ποσότητα που μεταβάλλεται ομαλά και συνεχώς με το χρόνο, όπως η μεταβολή της ακουστικής πίεσης όταν μιλούμε. Η απόδοση του σχετίζεται με τις έννοιες **πιστότητα (fidelity)** και **ποιότητα (quality)** .



- **Ψηφιακό:** αποτελείται από ξεχωριστά σύμβολα που έχουν επιλεγεί από ένα πεπερασμένο σύνολο. Η απόδοση του σχετίζεται από την **ακρίβεια εκπομπής** π.χ. τον ρυθμό εκπομπής συμβόλων bit και εσφαλμένων συμβόλων.





ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΙΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΖΕΥΞΗΣ

- ✓ **Πομπός:** επεξεργάζεται ένα σήμα μηνύματος, με σκοπό να παράγει ένα σήμα που να μπορεί να εισέλθει αξιόπιστα και αποδοτικά μέσα από το κανάλι.

Περιλαμβάνει:

1. Διαμόρφωση ενός φέροντος σήματος
2. Κωδικοποίηση του σήματος
3. Φιλτράρισμα του διαμορφωμένου σήματος
4. Ενίσχυση ισχύος

- ✓ **Δέκτης:** αντιστρέφει την διαδικασία της διαμόρφωσης και ανακτά την αρχική πληροφορία.

Περιλαμβάνει:

1. Ενίσχυση
2. Φιλτράρισμα
3. Αποδιαμόρφωση
4. Αποκωδικοποίηση



ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΙΑΣ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΗΣ ΖΕΥΞΗΣ

- ✓ **Κανάλι μετάδοσης:** είναι το φυσικό μέσο όπου συνδέει την πηγή (πομπός) και τον προορισμό (δέκτης). Παραδείγματα αποτελούν το καλώδιο, η οπτική ίνα, ο κυματοδηγός, ο ελεύθερος χώρος

Το κανάλι χαρακτηρίζεται από:

1. Απώλεια/ Εξασθένηση
 2. Εύρος ζώνης
 3. Θόρυβος/ Παρεμβολή
 4. Παραμόρφωση
- ❖ Τα χαρακτηριστικά ενός καναλιού μετάδοσης όπως είναι ο θόρυβος και η παραμόρφωση, αποτελούν αιτίες υποβάθμισης της ζεύξης. Ας αναφερθούμε ενδεικτικά σε κάποιες από αυτές.



ΑΙΤΙΕΣ ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗΣ ΤΗΣ ΖΕΥΞΗΣ

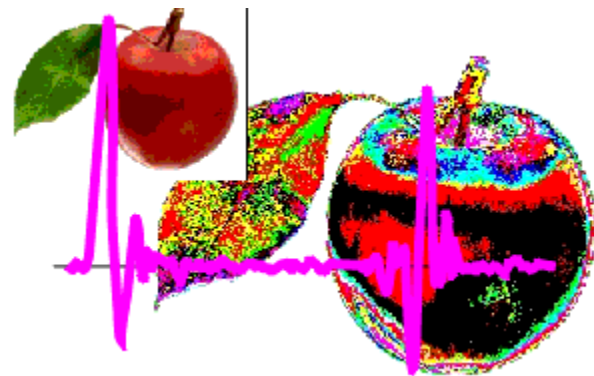
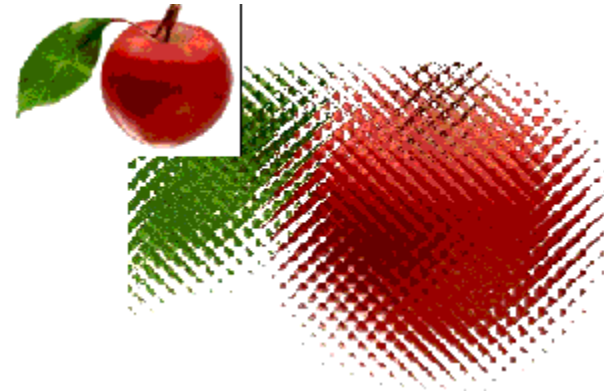
Παραμόρφωση

Μορφές:

1. μεταβολές εξαρτώμενες από την συχνότητα
2. μεταβολές εξαιτίας φιλτραρίσματος
3. Μεταβολές της απολαβής με τον χρόνο
4. Μετατοπίσεις στη συχνότητα

Παρεμβολή

- ✓ Δημιουργείται όταν στο χρησιμοποιούμενο από το κανάλι εύρος ζώνης, εκτός από το επιθυμητό σήμα, φθάνουν και άλλα εξωτερικά ανεπιθύμητα σήματα

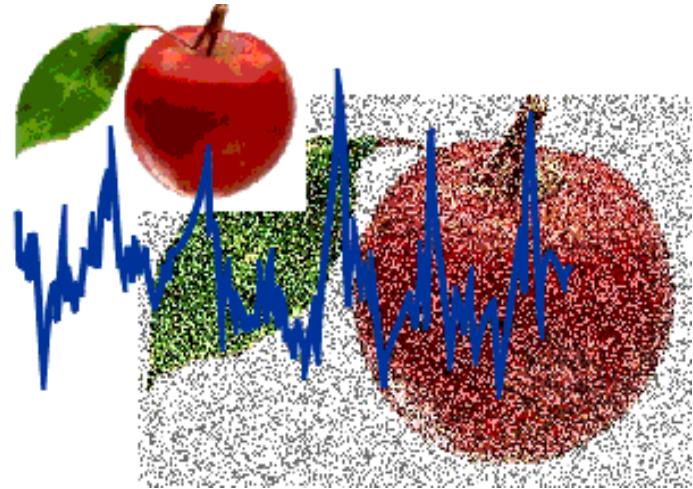




ΑΙΤΙΕΣ ΥΠΟΒΑΘΜΙΣΗΣ ΤΗΣ ΖΕΥΞΗΣ

Θόρυβος

- ✓ Ο θόρυβος είναι τυχαίος και είναι απρόβλεπτα ηλεκτρικά σήματα από φυσικές πηγές.
- ✓ Παραδείγματα αποτελούν ο ατμοσφαιρικός θόρυβος, ο θερμικός θόρυβος, ο θόρυβος βολής κ.α.
- ✓ Εξαιτίας των πολλών πηγών θορύβου είναι **δύσκολο να ελαττωθεί** η επίδραση του.





ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΩΝ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Τεχνολογικοί Περιορισμοί

- **Διαθεσιμότητα υλικού και λογισμικού:** η βέλτιστη σχεδίαση συστημάτων απαιτεί τεχνολογικά μέσα
- **Κατανάλωση ισχύος:** προϋπόθεση για την τροφοδοσία συσκευών
- **Μέγεθος συσκευών:** απαίτηση αγοράς για μικρού μεγέθους συσκευές
- **Κρατικές προδιαγραφές και πρότυπα:** συμβατότητα
- **Εμπορική πραγματικότητα:** συνδυασμός κόστους και εμφάνισης προϊόντων



ΜΟΝΟΠΟΛΙΚΕΣ ΚΑΙ ΔΙΠΟΛΙΚΕΣ ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΕΣ

- Μπορούμε να στείλουμε σήματα σε μία επικοινωνιακή ζεύξη με δύο μορφές σηματοδότησης: την μονοπολική (Unipolar) και την διπολική (Bipolar).

Μονοπολική

Χαρακτηρίζεται από δύο στάθμες, τα μηδέν (0) και $+V$ [Volts].

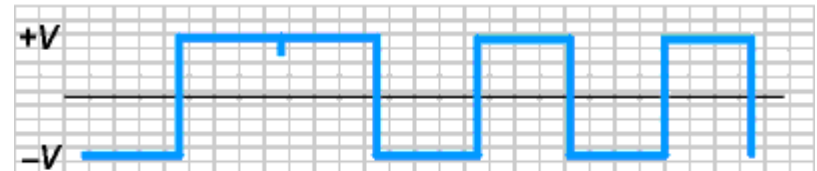
Διπολική

Χαρακτηρίζεται και αυτή από δύο στάθμες, $+V$ και $-V$ [Volts]

Unipolar



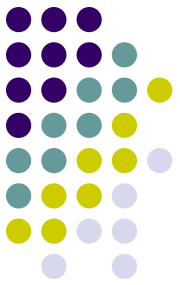
Bipolar





ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ

1. Διαδική σηματοδότηση



- **Διαδική σηματοδότηση χρησιμοποιώντας ένα καλώδιο**
Ο ρυθμός εκπομπής περιορίζεται από το εύρος ζώνης του καναλιού.



- **Διαδική σηματοδότηση χρησιμοποιώντας πολλά παράλληλα καλώδια**
Αύξηση χωρητικότητας της σύνδεσης ανάλογα με τον αριθμό των καλωδίων και χρήση καλωδίων με μικρότερο εύρος ζώνης.





ΜΕΘΟΔΟΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ



2. Σηματοδοσία πολλών επιπέδων

- **Σηματοδοσία πολλών επιπέδων χρησιμοποιώντας ένα καλώδιο**

Στέλνουμε πληροφορία με διπλάσιο ρυθμό από τη δυαδική, με δεδομένο εύρος ζώνης.



- **Σηματοδοσία πολλών επιπέδων χρησιμοποιώντας πολλά καλώδια**

Χρήση πολλών συμβόλων για τη μεταφορά ψηφιακής πληροφορίας.



Συμπέρασμα:

Με τη χρήση σηματοδοσίας πολλαπλών επιπέδων αυξάνουμε απεριόριστα το ρυθμό μετάδοσης πληροφορίας, όμως την ίδια στιγμή μειώνεται η αντίσταση του συστήματος στο θόρυβο και αυξάνεται η πολυπλοκότητα του δέκτη.



Ο ΣΥΜΒΙΒΑΣΜΟΣ ΜΕΤΑΞΥ ΕΥΡΟΥΣ ΖΩΝΗΣ ΚΑΙ ΘΟΡΥΒΟΥ

Ο ρυθμός μεταφοράς δεδομένων σε ένα κανάλι επικοινωνίας επηρεάζεται από:

- Το μέγιστο δυνατό ρυθμό ανίχνευσης της κατάστασης συμβόλων, καταδεικνύοντας το **εύρος ζώνης** ως περιοριστικό παράγοντα.
- Τη δυνατότητα διαχωρισμού των διαφορετικών καταστάσεων συμβόλων, καταδεικνύοντας το **θόρυβο** και την **αλλοίωση** ως περιοριστικούς παράγοντες.



ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ - ΟΡΙΣΜΟΙ

- ✓ **Ρυθμός μεταφοράς πληροφορίας:** Ορίζεται ως η ταχύτητα με την οποία μπορεί να αποσταλεί δυαδική πληροφορία από τη πηγή στον προορισμό και μετράται σε **[bits/sec]**.
- ✓ **Ρυθμός μεταφοράς συμβόλων:** Ορίζεται ως ο ρυθμός με τον οποίο μεταβάλλονται οι καταστάσεις συμβόλων στο κανάλι και μετράται σε **[symbols/sec ή baud]**.
- ✓ **Φασματική απόδοση:** Αποτελεί μέτρο του πόσο καλά μια συγκεκριμένη τεχνική διαμόρφωσης εκμεταλλεύεται το διαθέσιμο εύρος ζώνης και μετράται σε **[bits/sec/Hz]**.



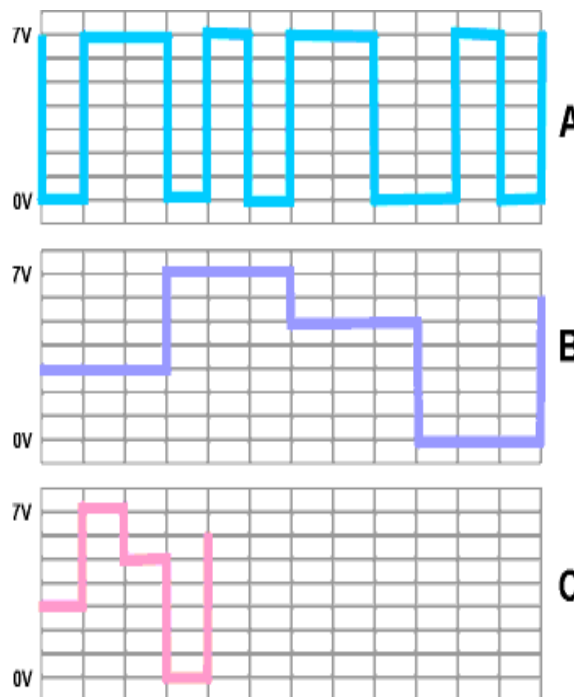
ΣΗΜΑΤΟΔΟΣΙΑ ΠΟΛΛΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ

Η Σχέση ανάμεσα στα bit και τα σύμβολα

Ο αριθμός των καταστάσεων σηματοδότησης που απαιτείται για να αναπαρασταθεί με μοναδικό τρόπο κάθε σχηματισμός από n bit δίνεται από τη σχέση:

$$M = 2^n \text{ συμβολικές καταστάσεις}$$

Στο διπλανό σχήμα παρουσιάζεται υλοποίηση σηματοδότησης οκτώ επιπέδων. Συγκρίνετε τον ρυθμό μετάδοσης και πληροφορίας της κάθε κυματομορφής, A, B και C.





ΣΗΜΑΤΟΔΟΣΙΑ ΠΟΛΛΩΝ ΕΠΙΠΕΔΩΝ

Πλεονεκτήματα Μ-αδικής σηματοδοσίας είναι:

- Για δεδομένο ρυθμό μετάδοσης συμβόλων και διαθέσιμο εύρος ζώνης επιτυγχάνεται υψηλότερος ρυθμός μετάδοσης πληροφορίας.
- Με την υιοθέτηση χαμηλότερου ρυθμού μετάδοσης συμβόλων ελαττώνεται η απαίτηση για εύρος ζώνης.
- Αποτέλεσμα: **Άυξηση της φασματικής απόδοσης**

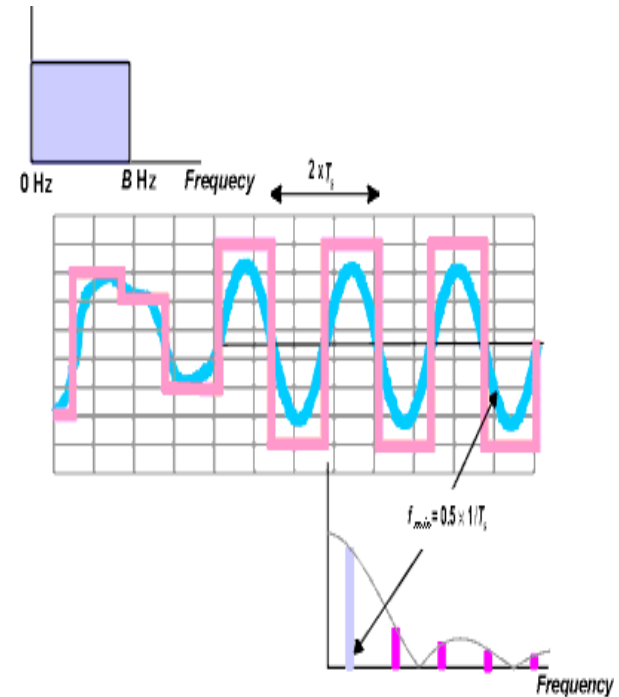
Μειονεκτήματα Μ-αδικής σηματοδοσίας είναι:

- Μειωμένη ανοχή στο θόρυβο και τις παρεμβολές σε σχέση με τη δυαδική σηματοδοσία.
- Πιο περίπλοκη διαδικασία αναγνώρισης συμβόλων στο δέκτη.
- Μεγαλύτερες απαιτήσεις για γραμμικότητα.



ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΝΑΛΙΟΥ

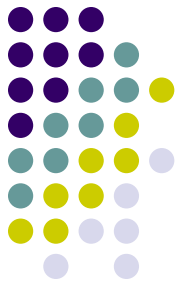
- Για να υπολογίσουμε το μέγιστο ρυθμό, με τον οποίο μπορούν να αποστέλλονται δεδομένα σε ένα κανάλι, πρέπει να γνωρίζουμε το μέγιστο ρυθμό αποστολής συμβόλων που μπορεί να υποστηριχθεί από το κανάλι ως συνάρτηση του εύρους ζώνης του καναλιού.
- Ας υποθέσουμε ότι στα χαμηλοπερατά κανάλια ή βασικής ζώνης (baseband), περνούν σήματα με συχνότητες από 0 έως B Hz. Το εύρος αυτό ονομάζεται ζώνη διέλευσης του καναλιού. Η θεμελιώδης συχνότητα της κυματομορφής αυτής είναι $0.5 \times 1/T_s$, όπου T_s είναι η χρονική διάρκεια του συμβόλου.





ΕΛΑΧΙΣΤΟ ΕΥΡΟΣ ΖΩΝΗΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ

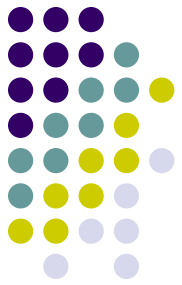
- Το ελάχιστο εύρος ζώνης που απαιτείται για εκπομπή σε ένα κανάλι βασικής ζώνης που απουσιάζει θόρυβος είναι: $B_{\min} = f_0 = \frac{1}{2} \cdot T_s$, όπου T_s είναι η χρονική διάρκεια των συμβόλων.
- Συνεπώς, η χωρητικότητα ενός καναλιού βασικής ζώνης είναι: $C = S \cdot \log_2 M = \frac{1}{T_s} \cdot \log_2 M = 2 \cdot B_{\min} \cdot \log_2 M$



ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΝΑΛΙΟΥ ΛΟΓΩ ΘΟΡΥΒΟΥ

ΤΟ ΘΕΩΡΗΜΑ SHANNON- HARTLEY

- Όταν αυξάνει ο αριθμός M των καταστάσεων συμβόλων, μειώνεται η ικανότητα του δέκτη να διακρίνει τα σύμβολα μεταξύ τους εξαιτίας του θορύβου και/ ή παρεμβολής και παραμόρφωσης. Άρα, ο λόγος της ισχύος σήματος S προς την ισχύ θορύβου N είναι ένας κρίσιμος παράγοντας, ώστε να επιτευχθεί επικοινωνία απαλλαγμένη από σφάλματα.
- Οι συνδυασμένες επιδράσεις του πεπερασμένου εύρους ζώνης B και του πεπερασμένου λόγου σήματος προς θόρυβο S/N στη χωρητικότητα ενός καναλιού διέπονται από την σχέση που είναι γνωστή ως το όριο Shannon-Hartley



ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΧΩΡΗΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΚΑΝΑΛΙΟΥ ΛΟΓΩ ΘΟΡΥΒΟΥ

- Το όριο χωρητικότητας των Shannon- Hartley για επικοινωνία απαλλαγμένη από σφάλματα δίνεται από την σχέση:

$$\text{Χωρητικότητα καναλιού} \quad C = B \log_2 (S / N + 1) \quad \text{bits / second}$$

- Το θεώρημα Shannon- Hartley δηλώνει ότι εάν ο **ρυθμός μεταφοράς πληροφορίας** που απαιτείται είναι **μικρότερος από το όριο χωρητικότητας Shannon (C)**, τότε είναι δυνατή η **πραγματοποίηση μετάδοσης απαλλαγμένη από σφάλματα**. Εάν ο ρυθμός πληροφορίας είναι μεγαλύτερος από C, τότε θα υπάρχουν σφάλματα κατά την διάρκεια της μετάδοσης, ακόμα και αν οι συσκευές έχουν σχεδιαστεί πολύ καλά.



ΑΠΟΔΟΣΗ ΙΣΧΥΟΣ ΚΑΙ ΕΥΡΟΥΣ ΖΩΝΗΣ

- Για ένα σύστημα που εκπέμπει μέγιστη χωρητικότητα C , η μέση ισχύς σήματος S , που μετριέται στην είσοδο του δέκτη, μπορεί να γραφεί ως εξής: $S = E_b \cdot C$
- Η μέση ισχύς θορύβου N μπορεί να ορισθεί επίσης ως εξής: $N = N_0 \cdot B$
όπου N_0 είναι η πυκνότητα ισχύος θορύβου (Watt/Hz)
- Χρησιμοποιώντας τους παραπάνω ορισμούς, το θεώρημα Shannon γράφεται επίσης, με την εξής μορφή:

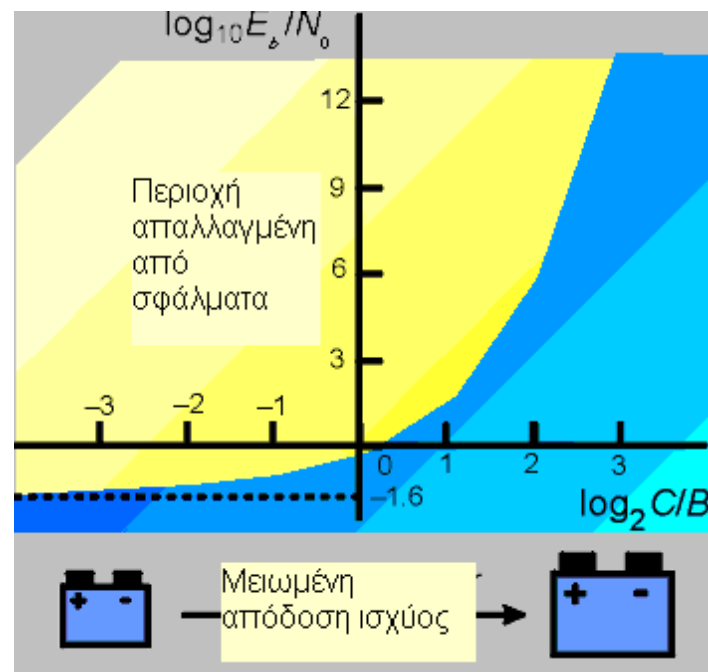
$$C / B = \log_2 (1 + E_b \cdot C / N_0 \cdot B)$$

- ✓ Ο λόγος C/B αντιπροσωπεύει την φασματική απόδοση σε bits/sec/Hz. Όσο μεγαλύτερος είναι ο λόγος, τόσο καλύτερη είναι η φασματική απόδοση. Ο λόγος E_b/N_0 αποτελεί ένα μέτρο της απόδοσης ισχύος του συστήματος. Όσο μικρότερος είναι, τόσο λιγότερη ενέργεια χρησιμοποιείται από κάθε bit, ώστε αυτό να ανιχνευτεί σωστά, παρουσίας μιας δεδομένης ποσότητας θορύβου



ΓΡΑΦΙΚΗ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ

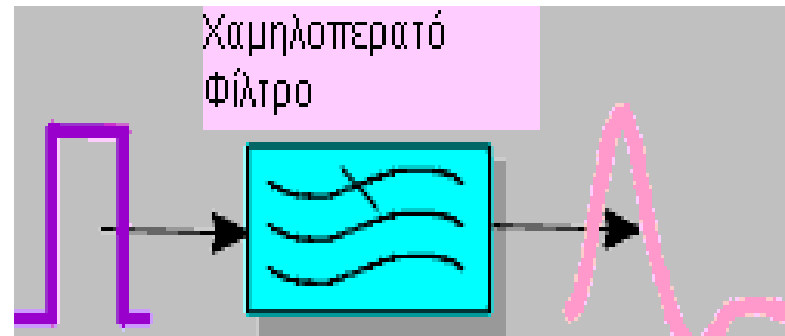
- ✓ Το θεώρημα **Shannon-Hartley** δείχνει καθαρά ότι η **φασματική απόδοση** μπορεί να ανταλλάξει με την απόδοση ισχύος και αντίστροφα.
- ✓ Το θεώρημα αυτό, θεωρεί ότι ο θόρυβος που συνυπάρχει μαζί με το σήμα είναι λευκός, προσθετικός και κανονικής κατανομής.





ΔΙΑΣΥΜΒΟΛΙΚΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ (ISI)

- ✓ Σε κάθε κανάλι που λειτουργεί, το αναπόφευκτο φιλτράρισμα προκαλεί τη διασπορά των επιμέρους συμβόλων δεδομένων που περνούν μέσα από το κανάλι. Στην περίπτωση των διαδοχικών συμβόλων η διασπορά αυτή θα οδηγήσει στην επικάλυψη ενός τμήματος της ενέργειας κάθε συμβόλου από τα γειτονικά σύμβολα προκαλώντας **διασυμβολική παρεμβολή**.
- ✓ Το φιλτράρισμα που προκαλούν οι μονάδες πομπού και δέκτη μπορεί επίσης να δημιουργήσει υποβάθμιση λόγω πρόσθετης παρεμβολής ISI.

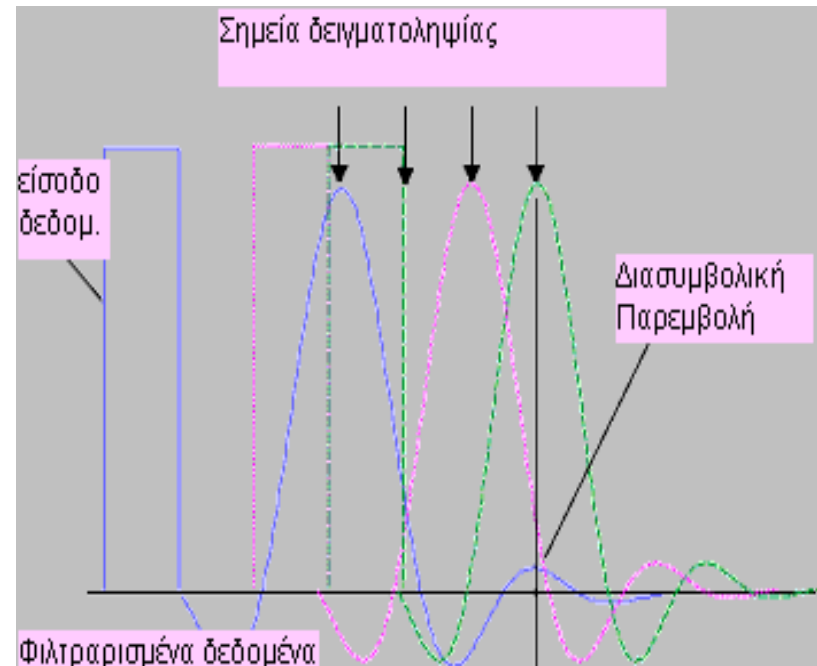




ΔΙΑΣΥΜΒΟΛΙΚΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ (ISI)

Συνέπειες διασυμβολικής παρεμβολής

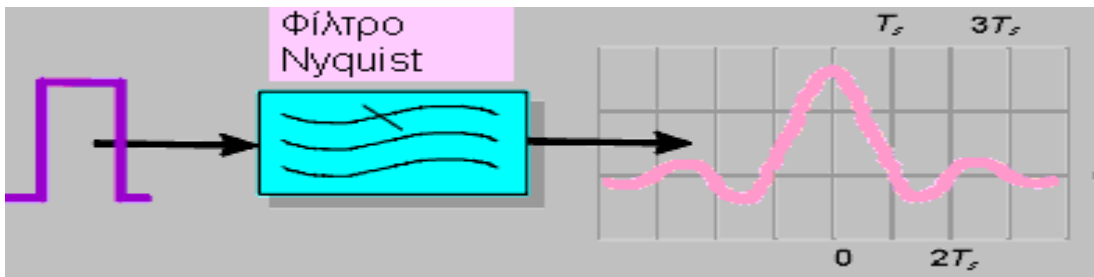
- ✓ Η διασυμβολική παρεμβολή μπορεί να υποβαθμίσει σημαντικά την ικανότητα του ανιχνευτή δεδομένων να διαχωρίσει το τρέχον σύμβολο από την διάχυτη ενέργεια των γειτονικών συμβόλων.
- ✓ Και χωρίς την παρουσία θορύβου στο κανάλι, η παρεμβολή αυτή μπορεί να οδηγήσει σε σφάλματα ανίχνευσης, και το λιγότερο που θα προκαλέσει είναι η υποβάθμιση του ρυθμού σφαλμάτων Bit Error Rate (BER).





ΜΟΡΦΗ ΠΑΛΜΩΝ ΓΙΑ ΜΗΔΕΝΙΚΗ ΔΙΑΣΥΜΒΟΛΙΚΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ: ΦΙΛΤΡΑΡΙΣΜΑ ΚΑΝΑΛΙΟΥ ΚΑΤΑ Nyquist

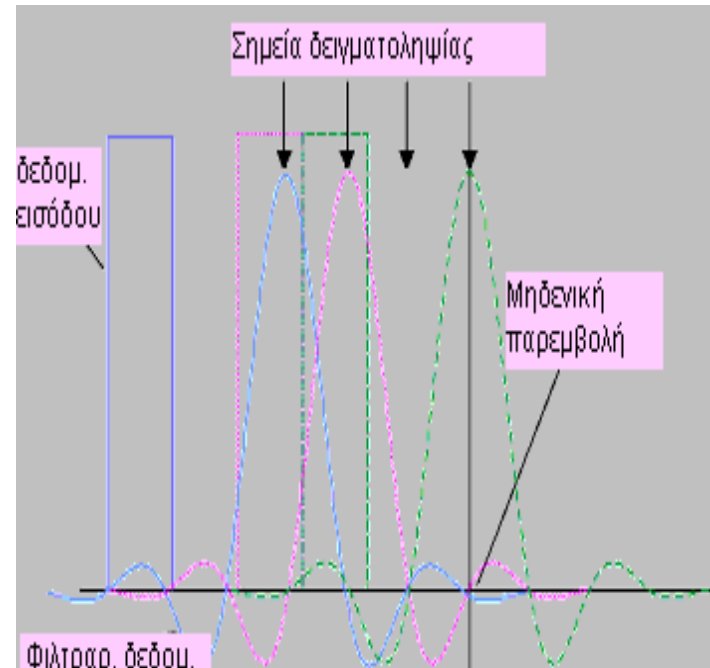
- ✓ Επιλέγοντας με προσοχή τα φασματικά χαρακτηριστικά του καναλιού είναι δυνατό να ελέγχουμε τη διασυμβολική παρεμβολή έτσι ώστε να μην υποβαθμίζει την απόδοση ρυθμού σφαλμάτων (BER) της ζεύξης. Έτσι η συνολική συνάρτηση μεταφοράς του καναλιού ονομάζεται **απόκριση κατά Nyquist**.
- ✓ Η απόκριση κατά Nyquist χαρακτηρίζεται από μια συνάρτηση μεταφοράς που έχει ζώνη μετάβασης (μεταξύ ζώνης διέλευσης και αποκοπής) η οποία είναι συμμετρική ως προς τη συχνότητα $0.5 \times 1/T_s$.
- ✓ Για αυτή την μορφή απόκρισης καναλιού τα σύμβολα των δεδομένων εξακολουθούν να διαχέονται, αλλά η κυματομορφή περνά από την τιμή μηδέν σε χρονικές στιγμές που είναι πολλαπλάσια της περιόδου των συμβόλων.





ΜΟΡΦΗ ΠΑΛΜΩΝ ΓΙΑ ΜΗΔΕΝΙΚΗ ΔΙΑΣΥΜΒΟΛΙΚΗ ΠΑΡΕΜΒΟΛΗ: ΦΙΛΤΡΑΡΙΣΜΑ ΚΑΝΑΛΙΟΥ ΚΑΤΑ Nyquist

- ✓ **Δειγματοληπτώντας** την ακολουθία των συμβόλων **στα σημεία όπου η παρεμβολή είναι μηδενική**, βλέπουμε ότι η διασπορά ενέργειας των γειτονικών συμβόλων δεν επηρεάζει την τιμή του δειγματοληπτούμενου συμβόλου στο σημείο όπου γίνεται η δειγματοληψία.
- ✓ Επίσης, ο **χρονισμός της δειγματοληψίας** πρέπει να γίνεται με εξαιρετική ακρίβεια ώστε να ελαχιστοποιείται το πρόβλημα της διασυμβολικής παρεμβολής.

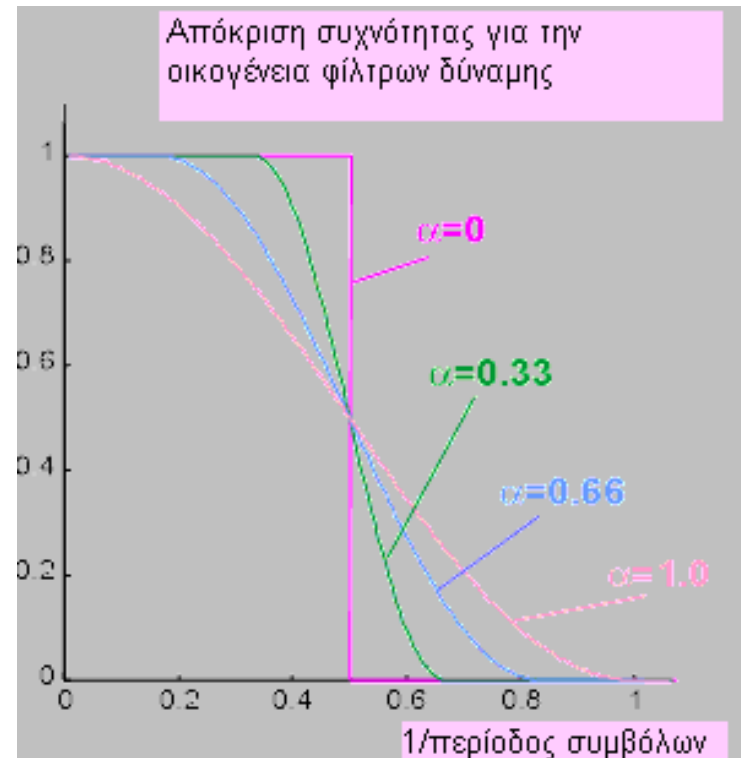




ΦΙΛΤΡΑ ΥΨΩΜΕΝΟΥ ΣΥΝΗΜΙΤΟΝΟΥ

- ✓ Για την υλοποίηση της απόκρισης Nyquist, συχνά χρησιμοποιείται το φίλτρο υψωμένου συνημιτόνου. Ονομάζεται έτσι, διότι η περιοχή μετάβασης από τη ζώνη διέλευσης στη ζώνη αποκοπής μοιάζει με το συνημίτονο.
- ✓ Η οξύτητα του φίλτρου ελέγχεται από την παράμετρο α , που ονομάζεται **παράγοντας κλίσης**. Όταν $\alpha=0$, έχουμε το ιδανικό φίλτρο.
- ✓ Το πραγματικό εύρος ζώνης δίνεται:

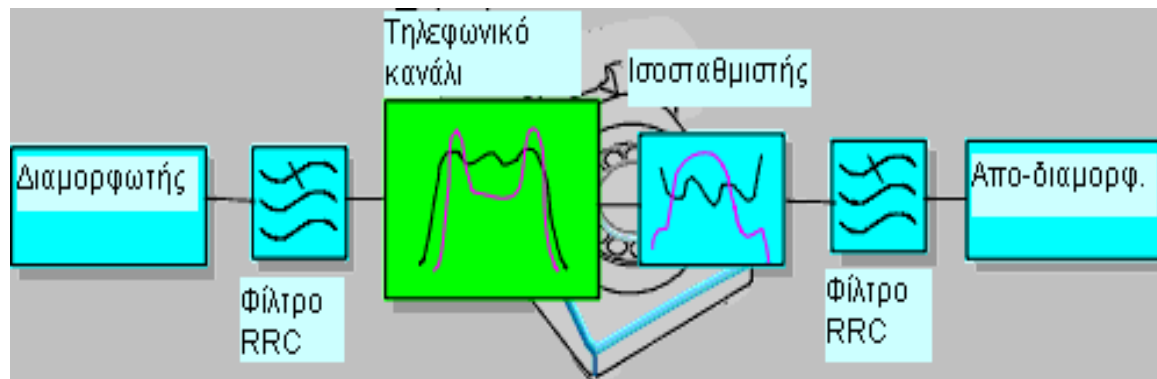
$$B_{RC} = B_{\min} (1 + \alpha)$$





ΕΠΙΤΕΥΞΗ ΑΠΟΚΡΙΣΗΣ ΚΑΝΑΛΙΟΥ ΚΑΤΑ NYQUIST

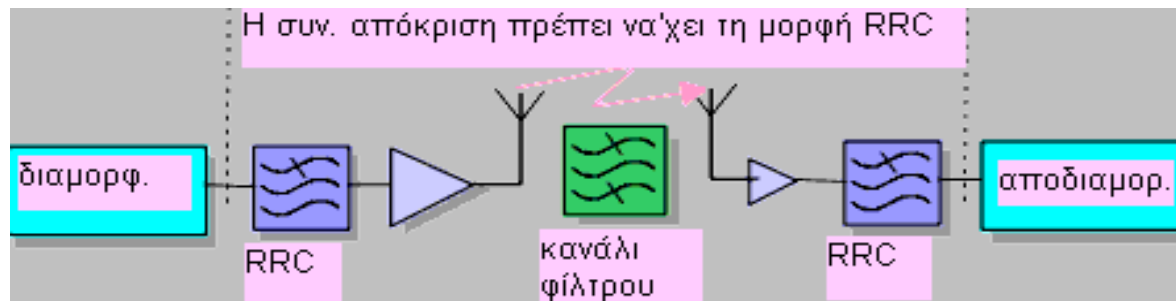
- Είναι απίθανο να εμφανίζει ενδογενώς ένα επικοινωνιακό κανάλι την απόκριση συχνότητας κατά Nyquist. Άρα, ο σχεδιαστής του συστήματος θα πρέπει να προσθέσει επιπρόσθετο φιλτράρισμα, ώστε να επιτύχει την επιθυμητή απόκριση.
- Για να γίνει η απόκριση του καναλιού επίπεδη χρησιμοποιούνται συνήθως **προσαρμοζόμενοι ισοσταθμιστές καναλιών**, οι οποίοι προσπαθούν να μεταβάλλουν σε επίπεδη την συνάρτηση μεταφοράς του καναλιού ώστε τα συμβάντα να έχουν την μορφή που τους προσδιορίζει ο πομπός και ο δέκτης. Τέτοιο παράδειγμα αποτελεί το τηλεφωνικό modem σε ταχύτητες των 4.8 kbps.





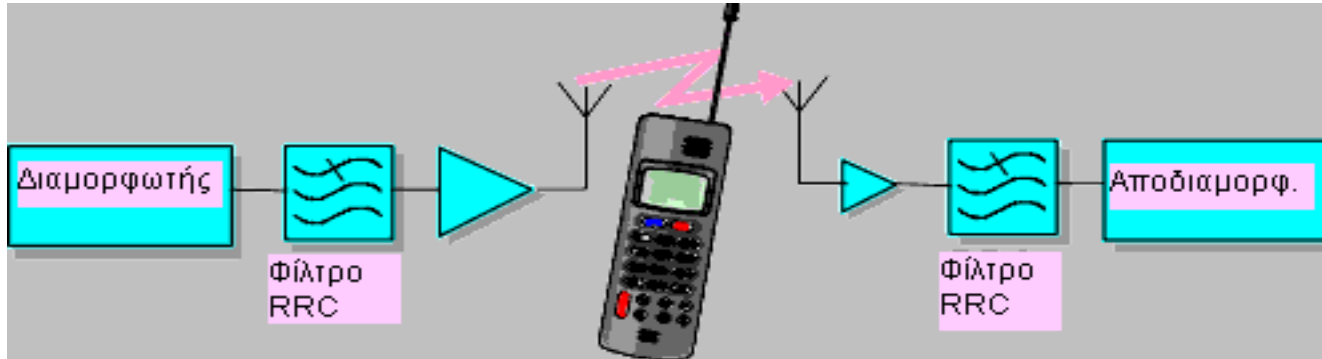
ΤΟ ΦΙΛΤΡΟ (ΤΕΤΡΑΓΩΝΙΚΗΣ) ΡΙΖΑΣ ΥΨΩΜΕΝΟΥ ΣΥΝΗΜΙΤΟΝΟΥ

- ✓ Το **φιλτράρισμα** είναι σχεδόν πάντα υποχρεωτικό στη μονάδα εκπομπής, ειδικά στην περίπτωση ασύρματων επικοινωνιών, για να περιοριστεί το εύρος ζώνης του σήματος που «ταξιδεύει» στον αέρα ή από την ανάγκη συνύπαρξης πολλών χρηστών σε κανάλια διαδοχικών περιοχών συχνοτήτων.
- ✓ Το καλό φιλτράρισμα στο δέκτη είναι επίσης αναγκαίο **για να απομακρυνθούν** τα ισχυρά **σήματα παρεμβολής** από τον αποδιαμορφωτή, και **για να απορριφθεί** όσος περισσότερος **θόρυβος** γίνεται, που δεν εμπίπτει στο εύρος διαμόρφωσης του σήματος.
- ✓ Για τους λόγους αυτούς διαμοιράζεται το **φιλτράρισμα κατά Nyquist μεταξύ πομπού και δέκτη**, θεωρώντας μάλιστα ότι η απόκριση του καναλιού είναι επίπεδη ή ότι έχει ισοσταθμιστεί με κάποιον τρόπο.





ΑΠΟΚΡΙΣΗ ΚΑΤΑ ΝΥQUIST ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΚΥΨΕΛΩΤΗΣ ΡΑΔΙΟΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ

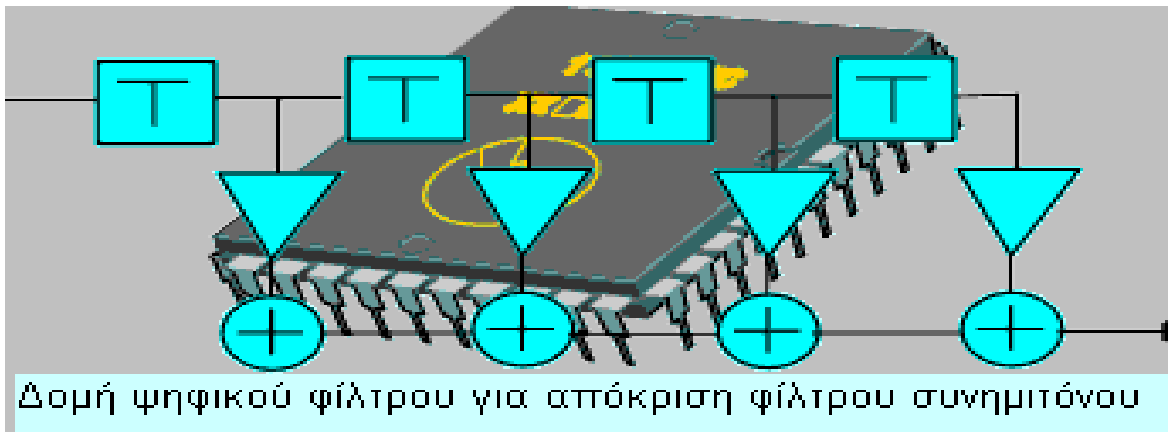


- ✓ Το φιλτράρισμα του πομπού προκαλείται για να περιοριστεί το εύρος ζώνης του σήματος, ενώ στον δέκτη για να απομακρυνθεί το πλήθος των ξένων σημάτων και να ελαχιστοποιηθεί ο θόρυβος που εισέρχεται στον αποδιαμορφωτή.
- ✓ Η απόκριση κατά Nyquist η οποία είναι απαραίτητη για μηδενική διασυμβολική παρεμβολή, μοιράζεται εξίσου μεταξύ πομπού και δέκτη χρησιμοποιώντας ένα ζεύγος φίλτρων υψωμένου συνημιτόνου (RRC)



ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΦΙΛΤΡΩΝ ΝΥΚΟΥΙΣΤ

- ✓ Για να προσεγγίσουμε ένα τέλειο φίλτρο υψωμένου συνημιτόνου, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε μια κατηγορία φίλτρων που ονομάζονται **ψηφιακά μη αναδρομικά γραμμικής φάσης ή πεπερασμένης κρουστικής απόκρισης** (Finite Impulse Response).
- ✓ *Το μήκος του φίλτρου είναι μεγαλύτερο για φίλτρα που έχουν απότομες ζώνες μετάβασης, τα οποία αντιστοιχούν σε φίλτρα με μικρό παράγοντα α.*



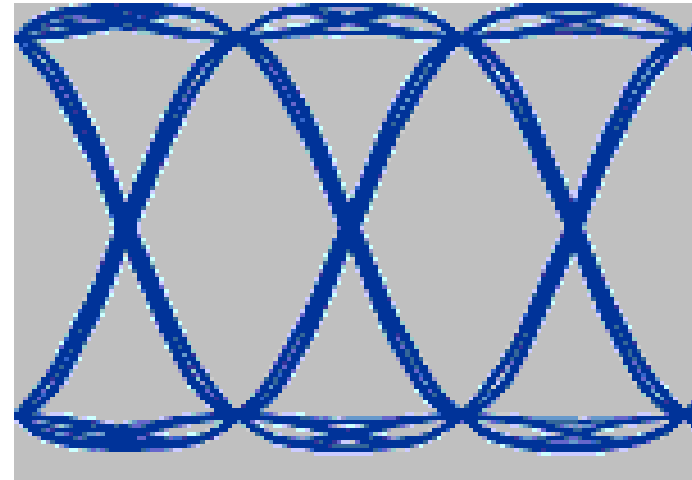


ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΟΦΘΑΛΜΟΥ



ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΟΦΘΑΛΜΟΥ

- Τα διαγράμματα οφθαλμού είναι μια **οπτική μέθοδος** για την **διάγνωση προβλημάτων** σε συστήματα μετάδοσης δεδομένων.
- Ο τρόπος δημιουργίας τους γίνεται συνδέοντας έναν παλμογράφο στο αποδιαμορφωμένο και φιλτραρισμένο σήμα των συμβόλων **πριν** από την μετατροπή τους σε δυαδικά ψηφία.

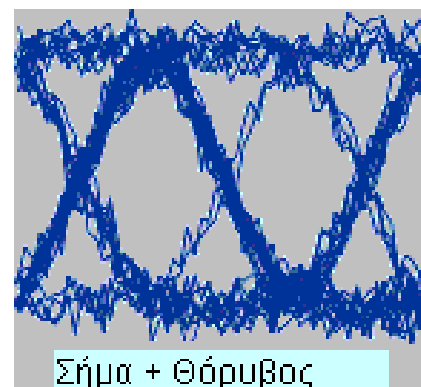
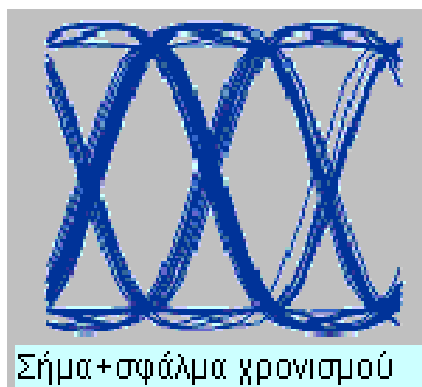
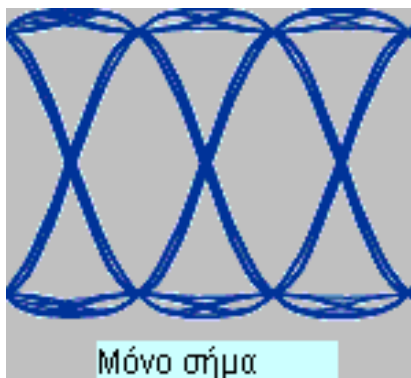




ΔΙΑΓΝΩΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ ΤΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΟΦΘΑΛΜΟΥ

➤ Τα προβλήματα τα οποία μπορούμε να διαγνώσουμε είναι τα εξής:

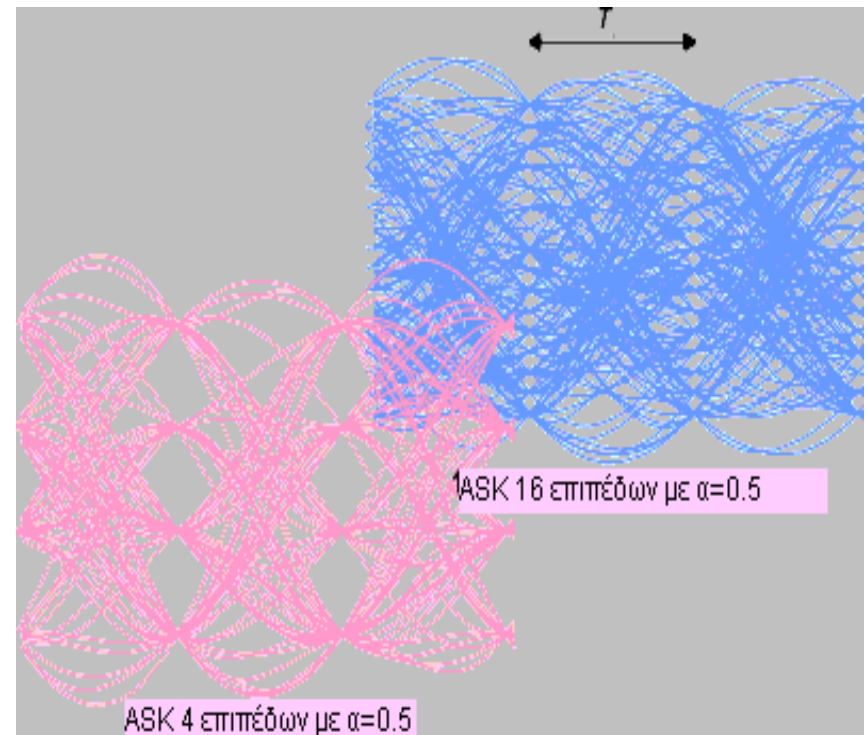
- 1) Πρόβλημα θορύβου
- 2) Πρόβλημα χρονισμού συμβόλων





ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΣΥΝΘΕΤΟΥ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΟΦΘΑΛΜΟΥ

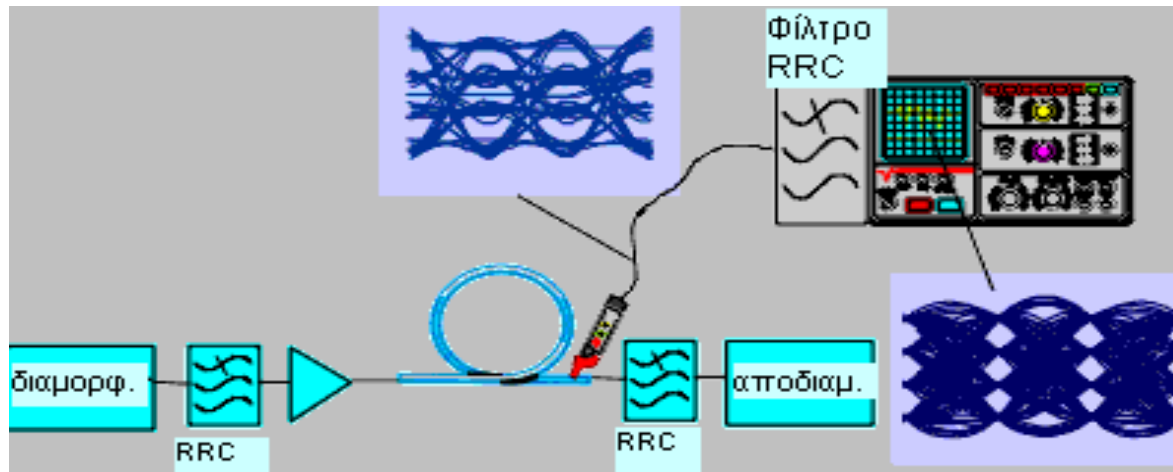
- Ακριβώς δίπλα μπορούμε να παρατηρήσουμε το διάγραμμα οφθαλμού για ένα αποδιαμορφωμένο σήμα με τέσσερις(4) και ένα με δεκαέξι (16) καταστάσεις.
- Μπορούμε να παρατηρήσουμε επίσης ότι, το άνοιγμα του οφθαλμού στο σύστημα τεσσάρων επιπέδων είναι στενότερο και η απόσταση ανάμεσα στα όρια των διαφορετικών καταστάσεων μικρότερη, απ' ότι στα προηγούμενα παραδείγματα.
- Το ίδιο αποτέλεσμα παίρνουμε συγκρίνοντας τις 4 καταστάσεις με τις 16 καταστάσεις κ.ο.κ.





ΠΡΟΣΟΧΗ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΟΦΘΑΛΜΟΥ

- Τα διαγράμματα οφθαλμού είναι πολύ ισχυρό εργαλείο, συχνά όμως δεν είναι δυνατόν να τα παρατηρήσουμε στο σωστό σημείο του κυκλώματος, και ειδικότερα μετά το φιλτράρισμα που επιφέρει ο δέκτης, όπου θα έπρεπε να δούμε την πλήρη συμπεριφορά Nyquist, καθώς αυτό το σημείο μπορεί να είναι θαμμένο στο εσωτερικό κάποιου ολοκληρωμένου κυκλώματος.



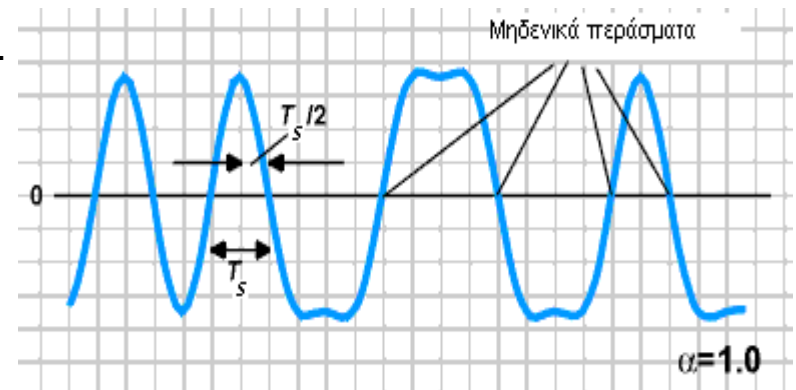


ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΣΥΜΒΟΛΩΝ

Τα περισσότερα σύγχρονα συστήματα ψηφιακών επικοινωνιών ανακτούν την πληροφορία χρονισμού από τα ίδια τα δεδομένα κάνοντας χρήση της μεθόδου της διέλευσης δια του μηδενός.

Το πρόβλημα του χρονισμού των συμβόλων επιλύεται σε σημαντικό βαθμό στη περίπτωση των φιλτραρισμένων σημάτων με φίλτρα υψωμένου συνημιτόνου εάν ο παράγοντας κλίσης α ισούται με 1. Για την ειδική αυτή περίπτωση τα μηδενικά περάσματα της φιλτραρισμένης κυματομορφής λαμβάνουν χώρα σε στιγμές που προηγούνται κατά χρόνο $T_s/2$ των στιγμών βέλτιστης διασυμβολικής παρεμβολής. Το κυριότερο μειονέκτημα που έχει η χρήση ενός συστήματος με $\alpha=1$, ώστε να επιτύχει χρονισμό συμβόλων, είναι ότι θυσιάζεται πολύτιμο εύρος ζώνης, το

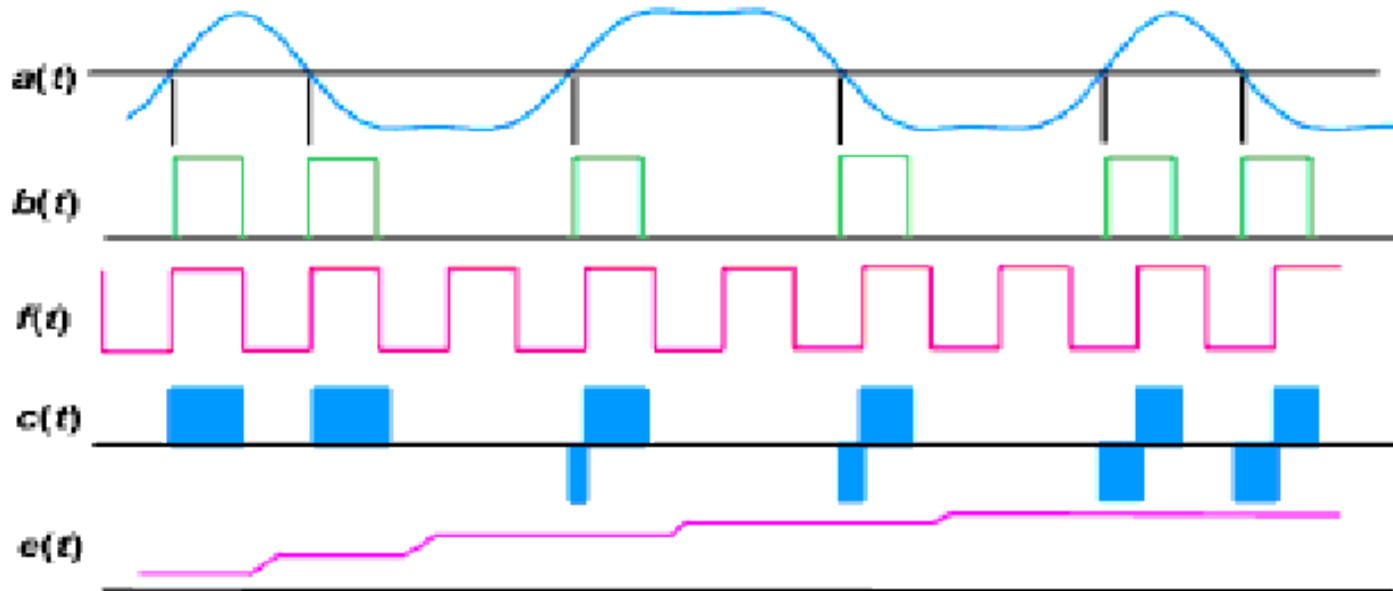
οποίο απαιτεί αυτή η τόσο μεγάλη τιμή του α .





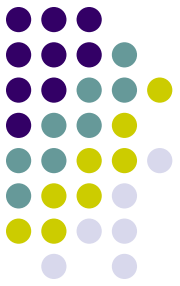
ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ ΧΡΟΝΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΣΥΜΒΟΛΩΝ

Κύκλωμα ανάκτησης χρονισμού των συμβόλων





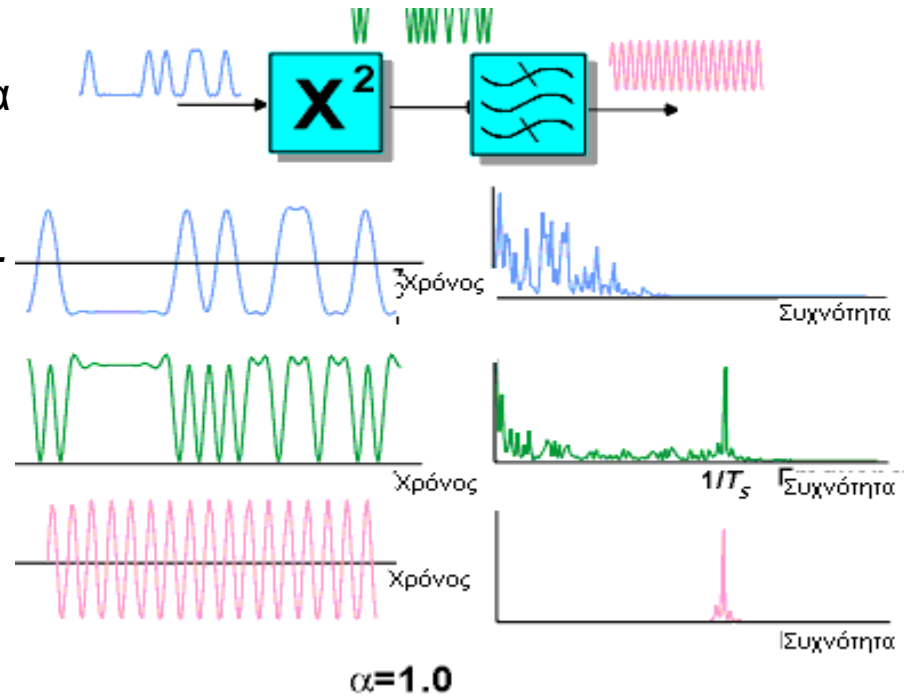
ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ ΧΡΟΝΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΣΥΜΒΟΛΩΝ



Μια εναλλακτική μέθοδος για την ανάκτηση του χρονισμού των συμβόλων προβλέπει τον «τετραγωνισμό» της λαμβανόμενης φιλτραρισμένης ακολουθίας δεδομένων, οπότε προκύπτει σήμα με ισχυρή διακριτή φασματική συνιστώσα στη συχνότητα

χρονισμού συμβόλων. Η συχνότητα αυτή εξάγεται με ένα στενό φίλτρο ή ένα **βρόχο κλειδωμένης φάσης**.

Το σύστημα δουλεύει καλά για $\alpha=1$, αλλά δεν θα παράγει διακριτή φασματική γραμμή για μικρές τιμές του α .





Περίληψη: επιλογή του α

Οφέλη όταν το α είναι μικρό

- Μέγιστη φασματική απόδοση

Οφέλη όταν το α είναι μεγάλο

- Απλούστερα φίλτρα, λιγότερες βαθμίδες και επομένως ευκολότερη υλοποίηση και μικρότερη καθυστέρηση επεξεργασίας
- Μικρότερη υπερτίναξη σήματος και επομένως μικρότερες διακυμάνσεις του λόγου σήματος κορυφής προς μέση τιμή
- Μικρότερη ευαισθησία στην ακρίβεια χρονισμού των συμβόλων – μεγαλύτερο άνοιγμα οφθαλμού

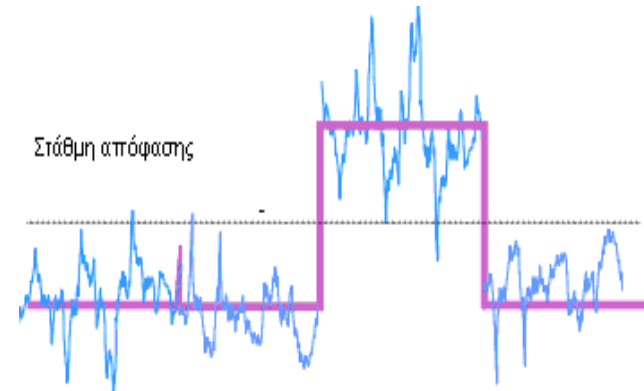


ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΜΕΝΑ ΦΙΛΤΡΑ

Ανάκτηση συμβόλων σε περιβάλλον θορύβου



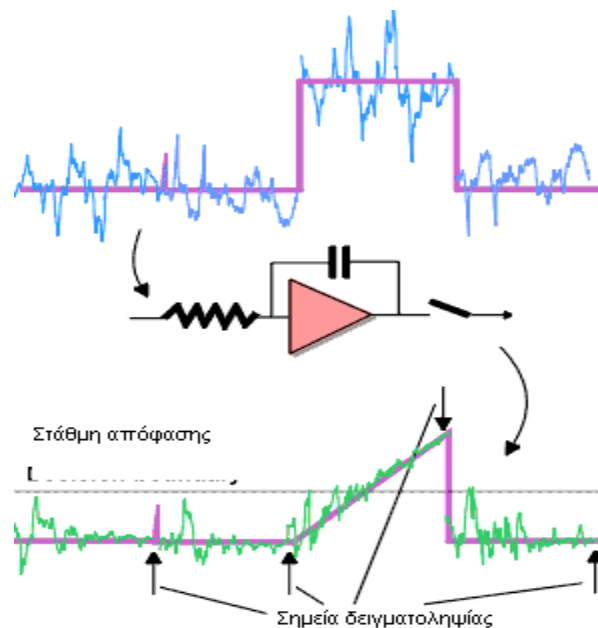
Η περίπτωση του προσθετικού, λευκού θορύβου κανονικής κατανομής απλοποιεί σημαντικά τη μαθηματική επεξεργασία για τη βελτιστοποίηση της ανίχνευσης των δεδομένων σε συνθήκες θορύβου. Σε πολλές εφαρμογές η περίπτωση αυτή αποτελεί μια καλή προσέγγιση της πραγματικότητας. Η λογική στάθμη της απόφασης είναι στο ήμισυ των δύο επιπέδων που αναπαριστούν κάθε σύμβολο.





Ανάκτηση συμβόλων από το θόρυβο

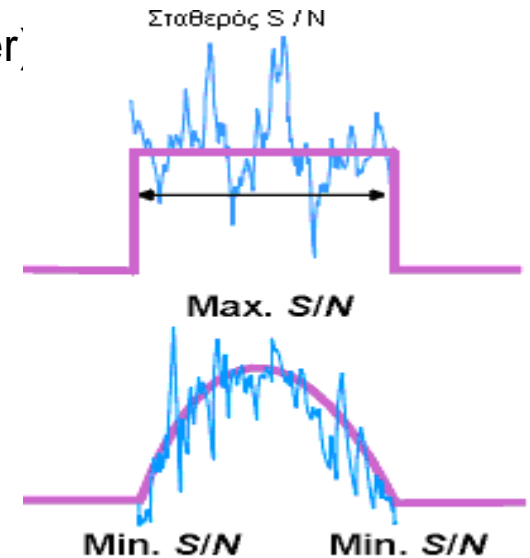
Η πιθανότητα να λάβει ο δέκτης τη σωστή απόφαση αυξάνεται σημαντικά όταν ο δέκτης ενσωματώνει κάποια μορφή υπολογισμού του μέσου όρου, ώστε να αυξάνει την τιμή του λογικού σήματος προς θόρυβο στο κάθε συγκεκριμένο σημείο δειγματοληψίας. Είναι φρόνιμο να μηδενίζεται ο ολοκληρωτής στην αρχή κάθε νέου συμβόλου. Αυτός ο τύπος ανιχνευτή ονομάζεται συχνά *φίλτρο ολοκλήρωσης – απόρριψης* (integrate and dump filter).





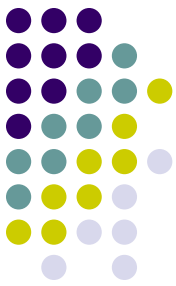
Η έννοια του βέλτιστου (προσαρμοσμένου) φίλτρου

Η ονομασία του *προσαρμοσμένου φίλτρου* (matched filter) προκύπτει επειδή το φίλτρο υπολογίζει το μέσο όρο του παλμού με τρόπο που εξαρτάται από το σχήμα του παλμού. Άρα το φίλτρο ολοκλήρωσης – απόρριψης αποτελεί ένα προσαρμοσμένο φίλτρο για την περίπτωση των παλμών τετραγωνικού σχήματος, αλλά όχι για την περίπτωση παλμών σχήματος υψωμένου συνημιτόνου.

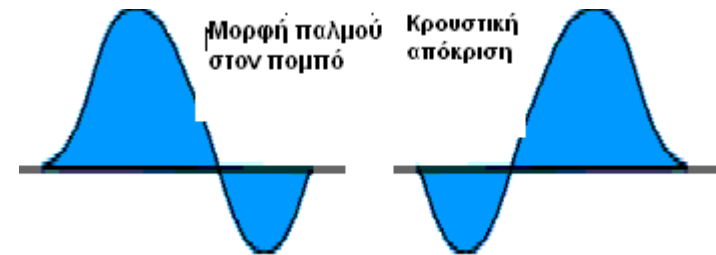




Σχεδίαση ενός προσαρμοσμένου φίλτρου λαμβάνοντας υπόψη τη διασυμβολική παρεμβολή



Μπορεί ναδειχθεί ότι ένα φίλτρο ανίχνευσης θα είναι προσαρμοσμένο στο σχήμα του παλμού εισόδου των συμβόλων εάν είναι σχεδιασμένο να έχει κρουστική απόκριση, της οποίας το σχήμα να είναι χρονικά ανεστραμμένο και καθυστερημένο σε σύγκριση με το σχήμα του παλμού εισόδου. Με άλλο τρόπο, η απόκριση συχνότητας ενός προσαρμοσμένου φίλτρου πρέπει να ισούται με το μιγαδικό συζυγές του φάσματος του παλμού εισόδου. Η υλοποίηση ενός προσαρμοσμένου φίλτρου απαιτεί πρότερη λεπτομερή γνώση του σχήματος των παλμών που στέλνει η πηγή και επίσης ότι βασίζεται στο σχήμα του συμβόλου που παραμένει αναλλοίωτο κατά τη διαδρομή του στο επικοινωνιακό κανάλι. Ισχύει μόνο για την περίπτωση του προσθετικού λευκού θορύβου που ακολουθεί την κανονική κατανομή.





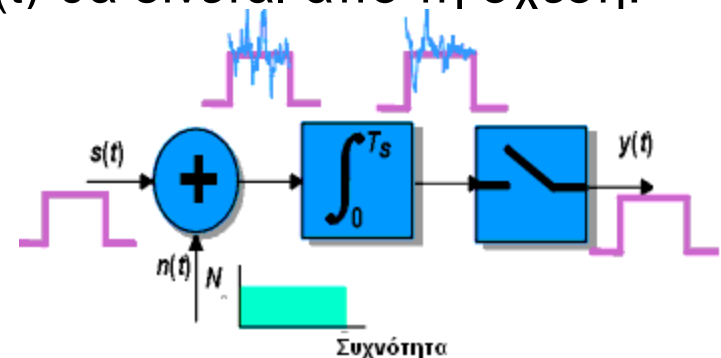
Ρυθμός εμφάνισης εσφαλμένων bit κατά την ανίχνευση με προσαρμοσμένα φίλτρα

Ας θεωρήσουμε το ρυθμό εμφάνισης εσφαλμένων bit στην περίπτωση ενός ορθογωνικού παλμού βασικής ζώνης χρησιμοποιώντας ένα φίλτρο ολοκλήρωσης – απόρριψης στον ανιχνευτή.

Εάν κοιτάξουμε κάποιο σύμβολο $s(t)$ τάσης V που διέρχεται από τον ανιχνευτή και περιλάβουμε τον προσθετικό θόρυβο $n(t)$, τότε η έξοδος του φίλτρου ολοκλήρωσης $y(t)$ θα δίνεται από τη σχέση:

$$y(t) = \int_T^0 \{s(t) + n(t)\} dt = V \cdot T + \int_T^0 n(t) dt$$

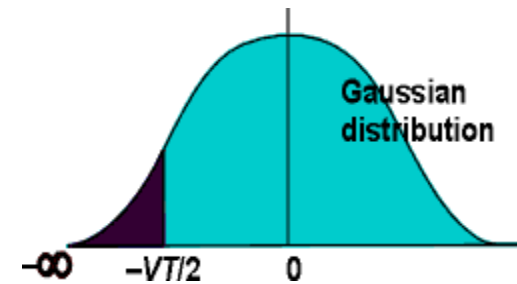
Η συνεισφορά του σήματος κατά τη στιγμή της δειγματοληψίας επομένως είναι μια τάση $V \cdot T$ Volts.





Ρυθμός εμφάνισης εσφαλμένων bit κατά την ανίχνευση με προσαρμοσμένα φίλτρα

Η στατιστική μελέτη του ολοκληρώματος του θορύβου, που εμφανίζεται στην έξοδο του ανιχνευτή ολοκλήρωσης – απόρριψης δίνει ότι η πυκνότητα πιθανότητας των δειγμάτων του θορύβου ακολουθεί την κανονική κατανομή.



Η πιθανότητα P_s εμφάνισης εσφαλμένων συμβόλων δίνεται από τη σχέση:

$P_s(\text{πιθανότητα εμφάνισης εσφαλμένων συμβόλων}) = (0.5 \operatorname{erfc}) (0.25 E_s / N_0)^{1/2}$
όπου E_s είναι η ενέργεια για το σύμβολο του λογικού '1' και N_0 είναι η πυκνότητα ισχύος του θορύβου.



Μονοπολικά σύμβολα έναντι διπολικών

Η πιθανότητα εμφάνισης εσφαλμένων συμβόλων για ένα σύστημα μονοπολικών δυαδικών δεδομένων σε συνθήκες προσαρμοσμένου φιλτραρίσματος είναι:

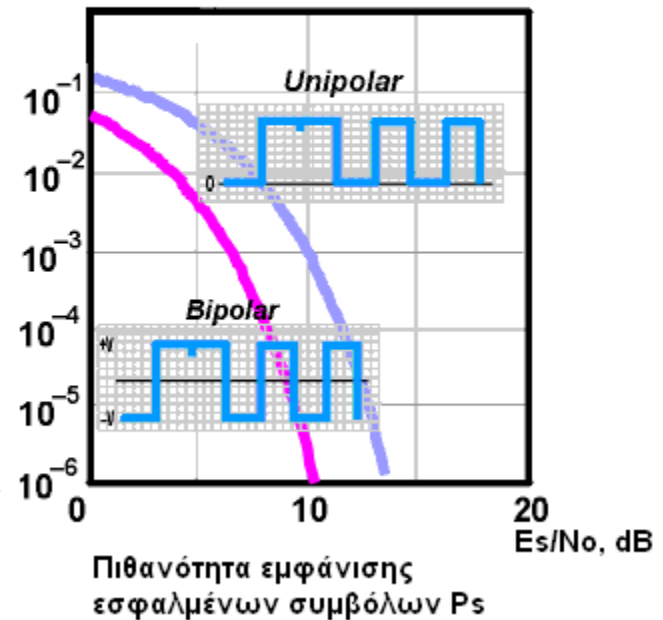
$$P_s, \text{μονοπολική} = 0.5 \cdot \text{erfc}(0.5 \cdot E_s, \text{μέση} / N_0)^{1/2}$$

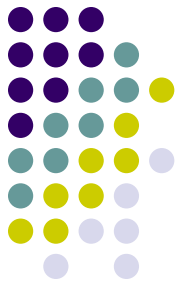
Η πιθανότητα εμφάνισης εσφαλμένων συμβόλων για ένα σύστημα μονοπολικών δυαδικών δεδομένων είναι :

$$P_s, \text{διπολική} = 0.5 \cdot \text{erfc}(E_s, \text{μέση} / N_0)^{1/2}$$

Μονοπολική: $P_s = 0.5 \sqrt{E_s / 2N_0}$

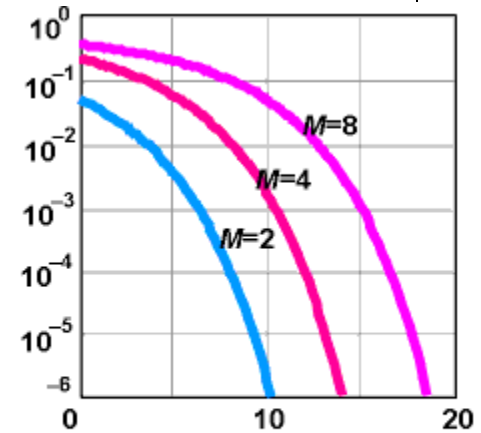
Διπολική: $P_s = 0.5 \sqrt{E_s / N_0}$





Ρυθμός εμφάνισης εσφαλμένων bit για M-δική σηματοδοσία

Όταν αυξάνουμε τον αριθμό των καταστάσεων συμβόλων θα μειώνεται η ικανότητα του δέκτη να διακρίνει ανάμεσα στα σύμβολα εφόσον υπάρχει θόρυβος, εκτός και αν αυξήσουμε σημαντικά την ενέργεια ανά σύμβολο.



Πιθανότητα εμφάνισης εσφαλμένων συμβόλων $E_s/N_0, \text{dB}$

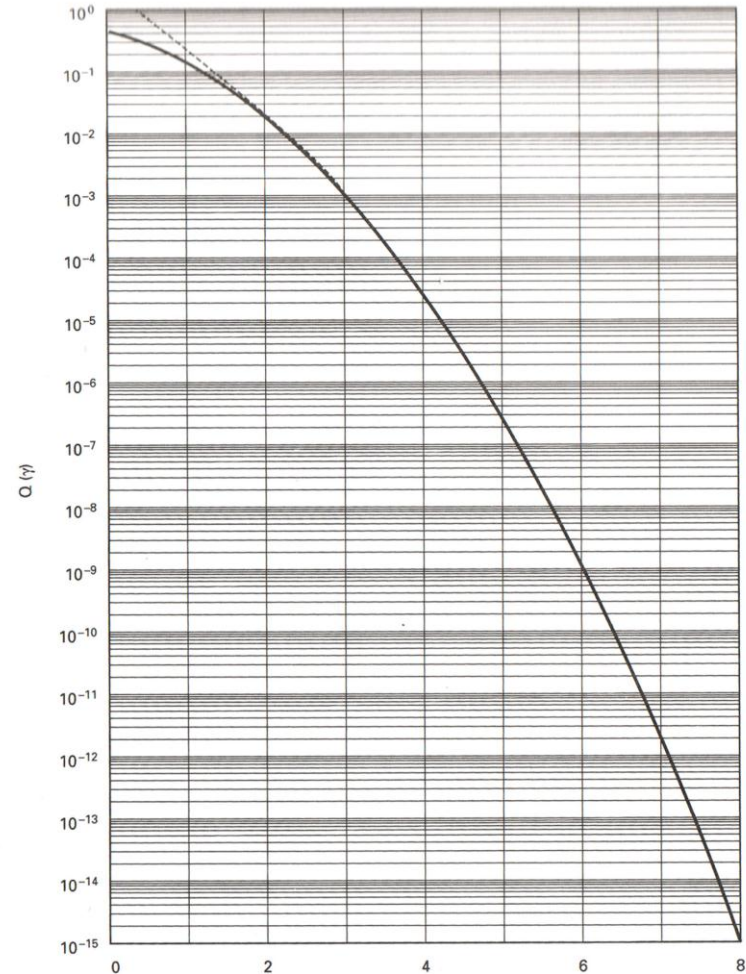
Η πιθανότητα εμφάνισης εσφαλμένων συμβόλων για μια M-αδική μονοπολική σηματοδοσία βασικής ζώνης δίνεται από τη σχέση:

$$P_s, M\text{-αδική, Μονοπολική} = \left[\frac{M-1}{M} \right] \cdot \text{erfc} \left(\left[\frac{3}{M^2-1} \right] \cdot E_s, \text{μέση} / N_0 \right)^{1/2}$$

όπου M είναι το πλήθος των χρησιμοποιούμενων συμβόλων.

Η συνάρτηση Q

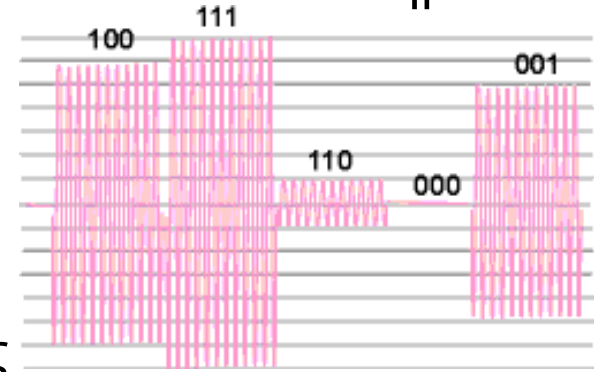
- Η πιθανότητα σφάλματος γενικά δυαδικής σηματοδότησης που χρησιμοποιεί στάθμες V_0 και V_1 , δίδεται από τη σχέση: $P_e = Q(V_1 - V_0/2\sigma)$.
- Η συνάρτηση Q είναι η συμπληρωματική συνάρτηση της αθροιστικής συνάρτησης πιθανότητας F της κανονικής κατανομής, δηλαδή $Q(z) + F(z) = 1$. Συνεπώς η συνάρτηση $Q(z_1)$ εκφράζει την πιθανότητα η τυχαία μεταβλητή z να λάβει τιμή μεγαλύτερη ή ίση της z_1 .
- Μια χρήσιμη ιδιότητα της συνάρτησης Q είναι: $Q(-z) = 1 - Q(z)$
- Γραφική απεικόνιση της συνάρτησης Q παρουσιάζεται στο γράφημα.

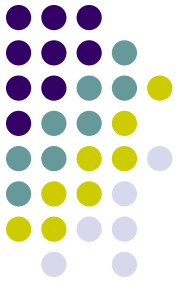




Ρυθμός εσφαλμένων bit έναντι ρυθμού εσφαλμένων συμβόλων

Σε δυαδικό σύστημα τα σφάλματα bit και συμβόλων ταυτίζονται, επειδή κάθε σύμβολο αντιστοιχεί σε ένα bit. Σε M-αδικά συστήματα ($M > 2$) όμως αυτό δεν ισχύει. Στην πράξη μερικά σύμβολα είναι πιο επιρρεπή στην εσφαλμένη ανίχνευση από άλλα, ανάλογα με το πόσο ομοιάζουν στα γειτονικά σύμβολα. Η προσεκτική επιλογή της μορφής κάθε συμβόλου μπορεί να βοηθήσει στην ελαχιστοποίηση του αριθμού των εσφαλμένων bit που προκύπτουν σε κάθε εσφαλμένα ανιχνευόμενο σύμβολο.

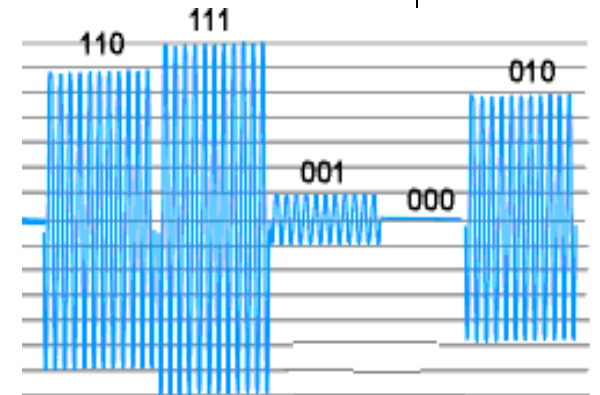




Κωδικοποίηση Gray

Κωδικοποίηση Gray ονομάζεται μια μέθοδος αντιστοίχησης των bit, σύμφωνα με την οποία οι μορφές των διαδοχικών συμβόλων διαφέρουν μόνο κατά ένα bit.

P_b (πιθανότητα εμφάνισης εσφαλμένων bit) = P_s (πιθανότητα εμφάνισης εσφαλμένων συμβόλων) / k



Κωδικοποίηση Gray

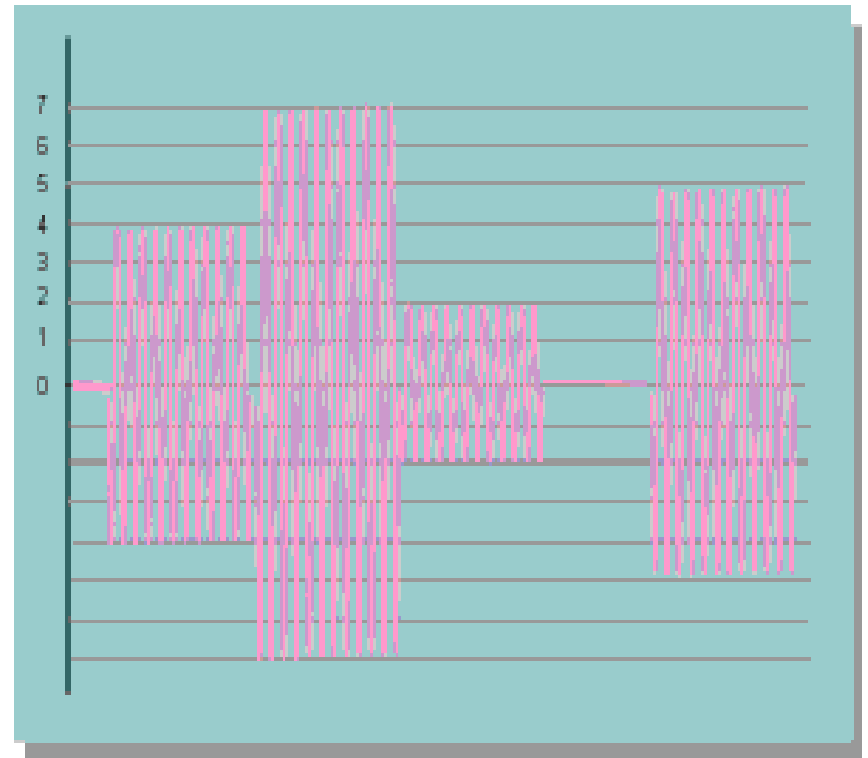


ΨΗΦΙΑΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΠΛΑΤΟΥΣ (ASK)

Ορισμός

- ✓ Στην ψηφιακή διαμόρφωση πλάτους (Amplitude Shift Keying), τα σύμβολα παριστάνονται ως **διακριτές τιμές πλάτους** ενός φέροντος συγκεκριμένης συχνότητας.
- ✓ Στην δυαδική ASK απαιτούνται μόνο **δύο καταστάσεις συμβόλων**, οπότε το φέρον ενεργοποιείται ή διακόπτεται. Η διαδικασία αυτή, ονομάζεται επίσης Διαμόρφωση ON-OFF.
- ✓ Εάν χρησιμοποιήσουμε περισσότερες από δύο καταστάσεις συμβόλων, τότε χρησιμοποιείται μία Μ-αδική σηματοδοσία ASK.

Παράδειγμα οκτώ επιπέδων





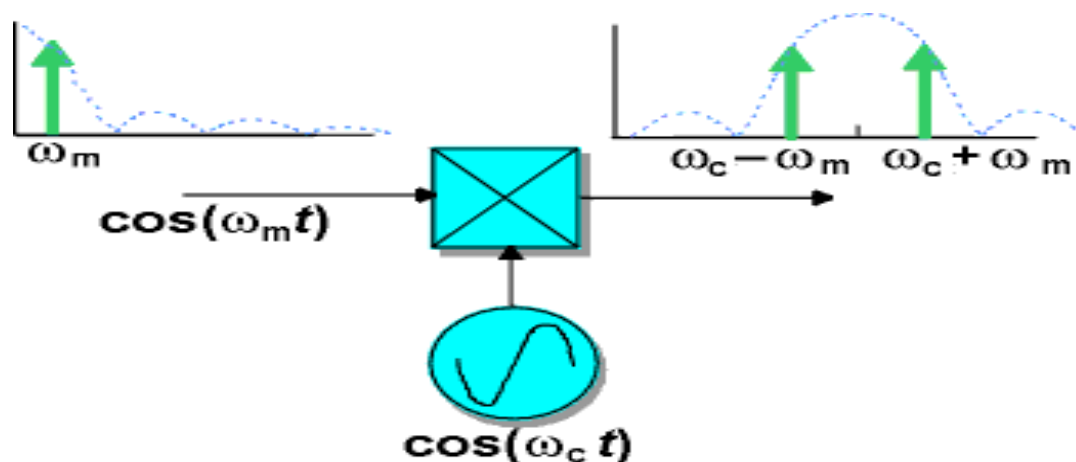
ΣΥΜΜΕΤΡΙΑ ΣΤΗΝ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ASK

- ✓ Η διαδικασία της διαμόρφωσης ASK μπορεί να θεωρηθεί ως ο πολλαπλασιασμός του σήματος βασικής ζώνης με το φέρον.
- ✓ Συνιστώσα συχνότητας: $\cos \omega_m t$ και φέρον: $\cos \omega_c t$

Προκύπτει το διαμορφωμένο σήμα

$$\cos \omega_m t \times \cos \omega_c t = 0.5 \cos (\omega_c - \omega_m)t + 0.5 \cos (\omega_c + \omega_m)t$$

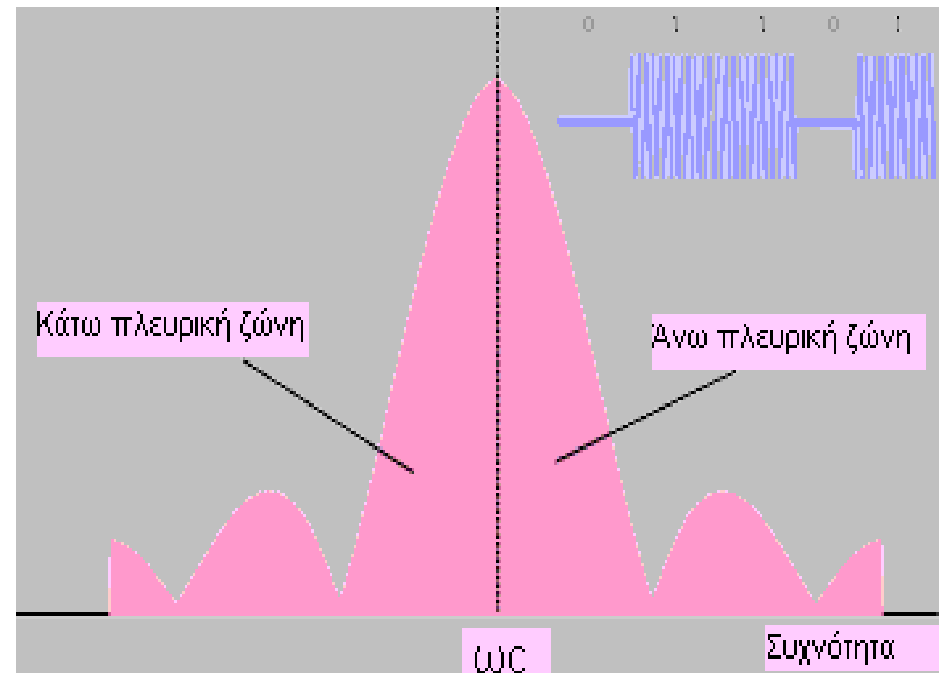
- ✓ Το διαμορφωμένο φάσμα, είναι δύο παρόμοιες συνιστώσες, τοποθετημένες *συμμετρικά ως προς τη συχνότητα του φέροντος*. Όπως φαίνεται παρακάτω:





ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΚΑΛΥΨΗ ΤΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ASK: ΤΟ ΦΑΣΜΑ ASK ΕΝΟΣ ΣΗΜΑΤΟΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

- Το φάσμα ASK αναφέρεται και ως αμφίπλευρο φάσμα.
- Έχει μία **άνω πλευρική ζώνη** (upper sideband, USB) και μία **κάτω πλευρική ζώνη** (lower sideband, LSB) ως προς το φέρον.
- Το **εύρος ζώνης** που καταλαμβάνεται από την ASK, είναι το **διπλάσιο** από αυτό του αρχικού σήματος.
- Η μέγιστη **φασματική απόδοση** είναι 1bits/sec/Hz .

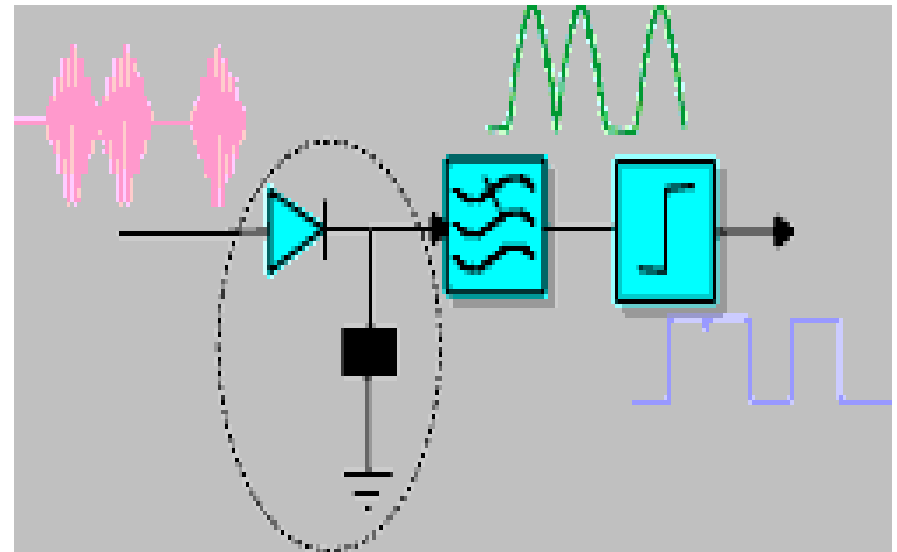




ΑΣΥΜΦΩΝΗ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ

- Στην ASK, η πληροφορία που θέλουμε να μεταφερθεί αποθηκεύεται στο πλάτος ή αλλιώς την περιβάλλουσα, του διαμορφωμένου φέροντος.
- Η ανάκτηση των δεδομένων μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας έναν **ανιχνευτή περιβάλλουσας**
- Ένας ασύμφωνος ανιχνευτής προκύπτει με χρήση μίας διόδου που λειτουργεί ως ανορθωτής και ενός φίλτρου εξομάλυνσης

Γραφική απεικόνιση



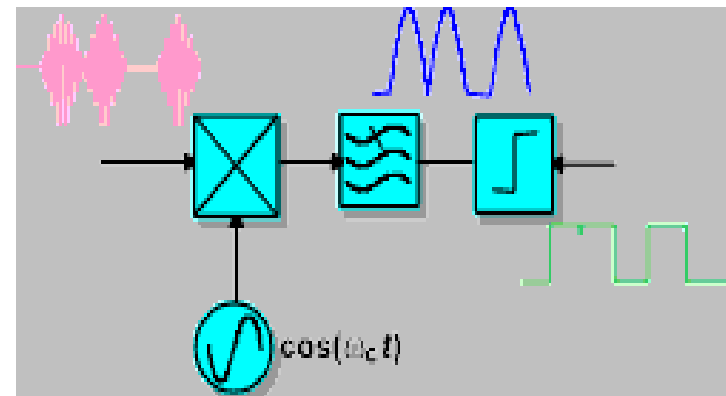


ΣΥΜΦΩΝΗ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ

- Ένας σύμφωνος ανιχνευτής λειτουργεί αναμιγνύοντας το εισερχόμενο στο δέκτη διαμορφωμένο σήμα δεδομένων με ένα φέρον αναφοράς που παράγεται τοπικά και επιλέγοντας την συνιστώσα διαφοράς από την έξοδο του μείκτη.
- Διαμορφωμένο σήμα: $a(t) \cos \omega_c t$
- Φορέας αναφοράς: $\cos(\omega_c t + \theta)$
- Η έξοδος μείκτη προκύπτει:
$$a(t) \cos \omega_c t \cos(\omega_c t + \theta) =$$
$$0.5 a(t) \cos(\theta) + 0.5 a(t) \cos(2\omega_c t + \theta)$$

- Εάν ο φορέας είναι σύμφωνος σε φάση ($\theta=0^\circ$), τότε στην έξοδο επιτυγχάνεται τέλεια ανίχνευση.
- Εάν $\theta=90^\circ$, τότε $\cos(90^\circ) = 0$, με αποτέλεσμα να μην λαμβάνουμε καθόλου έξοδο.

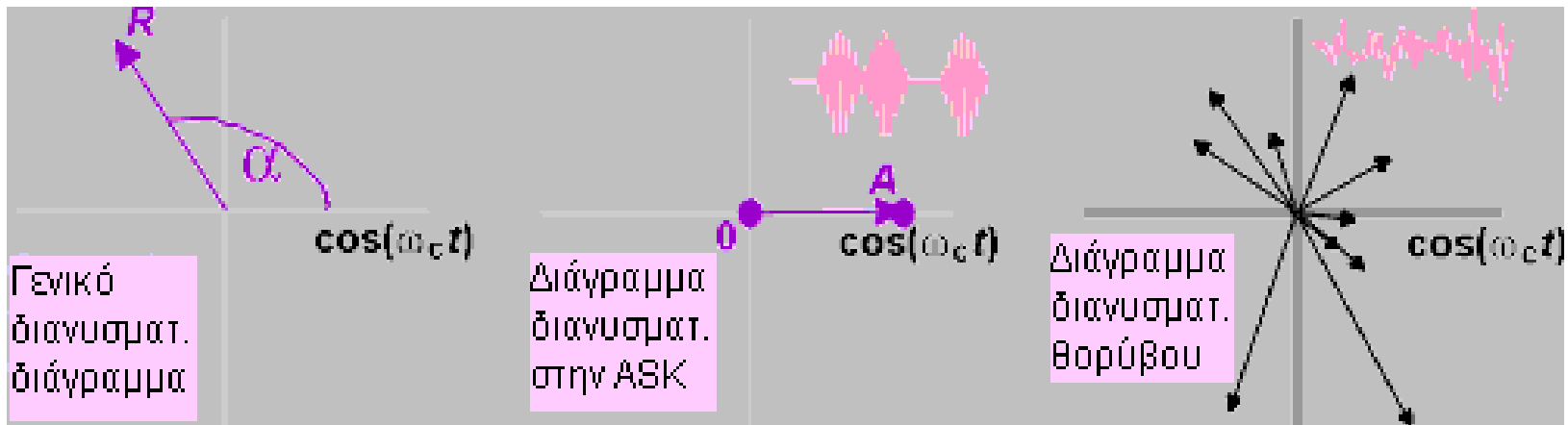
Γραφική απεικόνιση





ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΣΥΜΦΩΝΗΣ ΚΑΙ ΑΣΥΜΦΩΝΗΣ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗΣ

- Η **σύμφωνη** ανίχνευση δίνει **καλύτερη ανοχή στο θόρυβο** (μπορεί να ανεχθεί 3dB περισσότερο θόρυβο, για ίδια πιθανότητα σφάλματος ανίχνευσης) από την ασύμφωνη.
- Στα διανυσματικά διαγράμματα, παριστάνεται το πλάτος ενός σήματος ως το μήκος μιας γραμμής και η στιγμιαία φάση με την γωνία που σχηματίζεται η γραμμή αυτή με τον οριζόντιο άξονα.
- Τις δύο καταστάσεις συμβόλων, τις αναπαριστούμε ως δύο διανύσματα, ένα με μήκος μηδέν (0) και ένα με μήκος A.

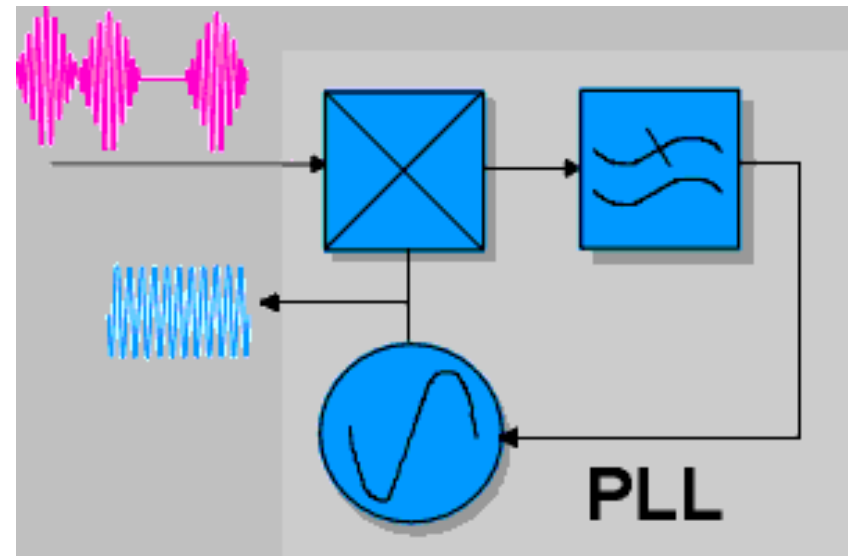




ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΦΕΡΟΝΤΟΣ ΣΤΗΝ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ASK

- Μια μέθοδος για να ανακτήσουμε το φέρον (συχνότητα και φάση), είναι η αποστολή ενός τόνου αναφοράς μαζί με το σήμα δεδομένων.
- Μια άλλη μέθοδος, είναι να ανακτήσουμε το φέρον από το διαμορφωμένο σήμα.
- **Κλειδώνοντας έναν ταλαντωτή στη φάση** του εισερχόμενου φορέα όταν φθάνει το σύμβολο (φέρον ON) και διατηρώντας την ίδια φάση ταλαντωτή(φέρον OFF).
- Η διαδικασία αυτή είναι του **βρόχου κλειδωμένης φάσης (PLL)**.

Κύκλωμα Βρόχου Κλειδωμένης Φάσης



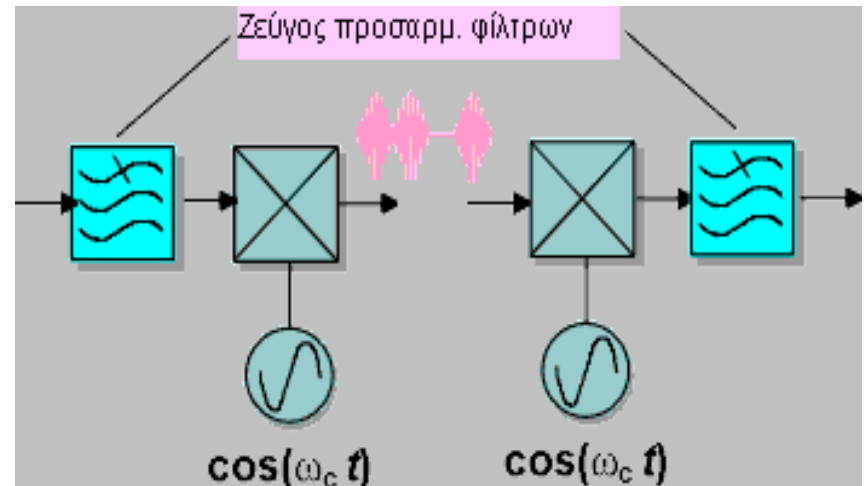


ΠΡΟΣΑΡΜΟΣΜΕΝΑ ΦΙΛΤΡΑ ΣΤΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ASK

- Για να βελτιστοποιηθεί ο λόγος σήματος προς θόρυβο στην έξοδο του δέκτη ενός συστήματος, είναι εφικτό να χρησιμοποιηθεί η έννοια του **προσαρμοσμένου φιλτραρίσματος**.

- Ένα ζεύγος προσαρμοσμένων φίλτρων, όπως είναι τα **φίλτρα ρίζας υψωμένου συνημιτόνου**, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μορφοποιήσει τα σύμβολα δεδομένων τα οποία εκπέμπονται και λαμβάνονται στη διαμόρφωση ASK.

- Αυτού του είδους η προσέγγιση είναι συνηθισμένη για **ανίχνευση** με προσαρμοσμένα φίλτρα **στα** περισσότερα **modem** δεδομένων διέλευσης ζώνης.

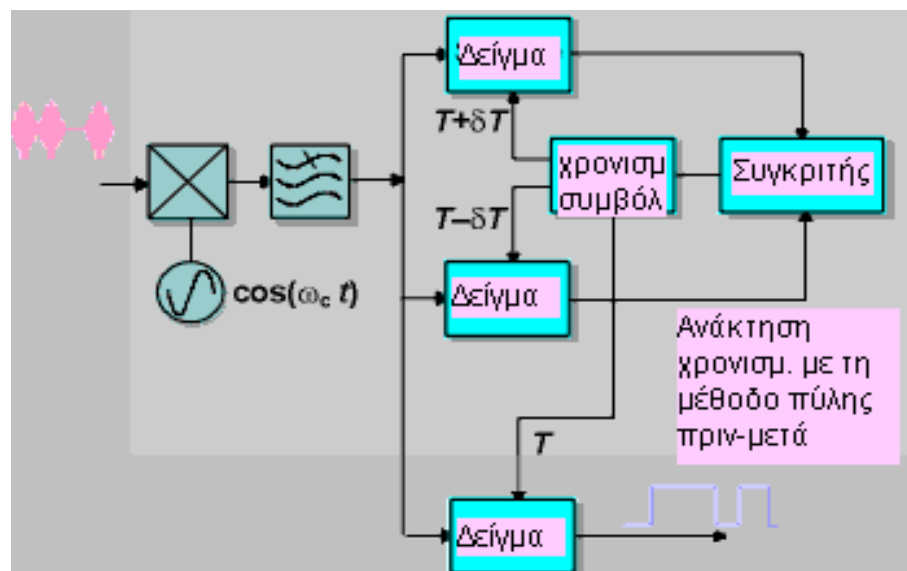




ΑΝΑΚΤΗΣΗ ΤΟΥ ΧΡΟΝΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΣΥΜΒΟΛΩΝ

- Η επίτευξη ελάχιστης διασυμβολικής παρεμβολής, έθιξε την ανάγκη για **ακριβές χρονισμό την στιγμή δειγματοληψίας.**
- Το κύκλωμα **συγχρονιστή πύλης προπορείας- επιπορείας** χρησιμοποιείται για το σκοπό αυτό.
- Η λειτουργία του: θεωρεί βέλτιστη χρονική **στιγμή δειγματοληψίας**, την στιγμή όπου το **σήμα είναι μέγιστο.**

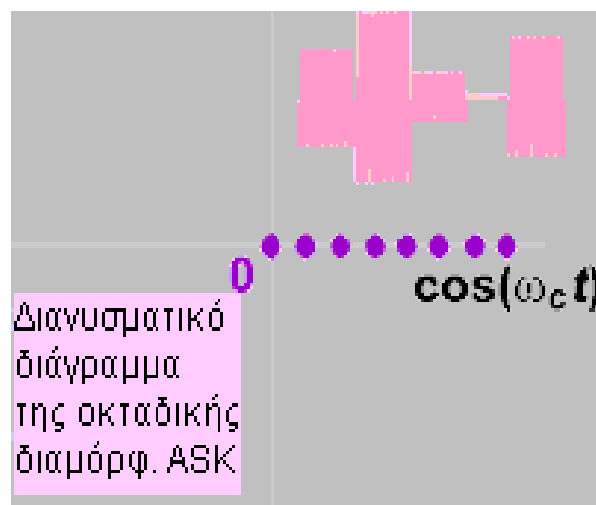
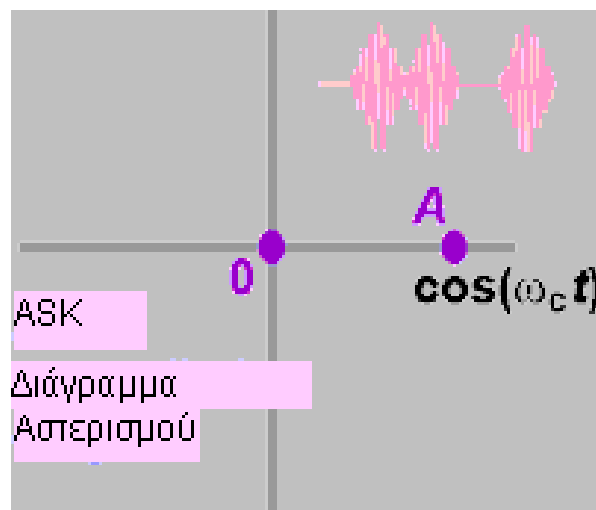
Μέθοδος ανάκτησης συμβόλων





ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΑΣΤΕΡΙΣΜΟΥ

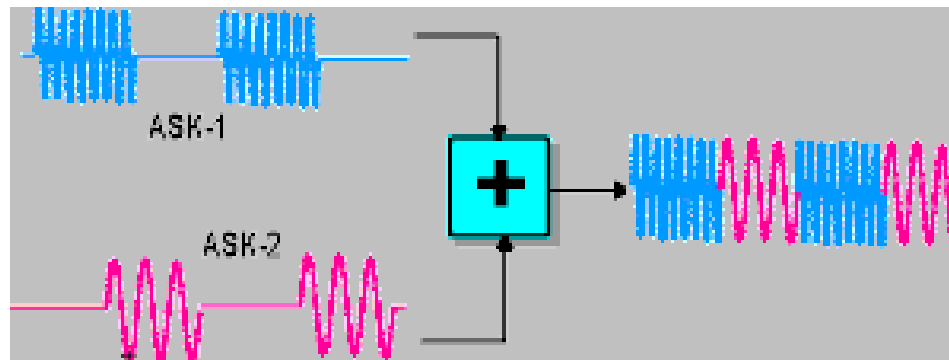
- Το **διάγραμμα αστερισμού** είναι μία **μέθοδος παρουσίασης** των καταστάσεων συμβόλων σε ένα modem διέλευσης ζώνης **ως προς το πλάτος και την φάση** του διαμορφωμένου φέροντος.
- Ο οριζόντιος άξονας περιγράφει σύμβολα που είναι σε φάση με τον φορέα, $\cos \omega_c t$.
- Ενώ ο κατακόρυφος άξονας αντιπροσωπεύει την ορθογωνική συνιστώσα του φορέα, $\sin \omega_c t$
- Τέλος, έχουμε δύο καταστάσεις για απεικόνιση,
 $a(t) = 0$ και $a(t) = A \cos \omega_c t$





ΨΗΦΙΑΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ (FSK)

- Η ψηφιακή διαμόρφωση συχνότητας είναι εύκολη στη δημιουργία αλλά και την ανίχνευση, ενώ παράλληλα είναι αναίσθητη στις διακυμάνσεις πλάτους που προκαλεί το κανάλι.
- Η μέθοδος FSK μεταφέρει τα δεδομένα χρησιμοποιώντας **φορείς με διακριτές συχνότητες**, έτσι ώστε να αναπαραστήσει με αυτές τις καταστάσεις συμβόλων. Ενώ το πλάτος του διαμορφωμένου σήματος είναι σταθερό.
- Παρακάτω, εικονίζεται μία κυματομορφή, η οποία μπορεί να θεωρηθεί ως δύο ξεχωριστές ακολουθίες ASK, που αθροίζονται πριν εκπεμφθούν στο κανάλι.

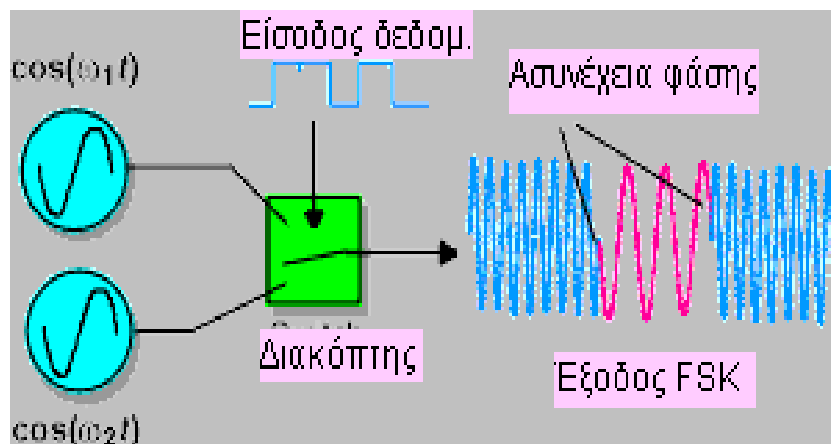




ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ FSK

1. Διακοπτική Διαμόρφωση FSK

- ✓ Με τον διακόπτη δημιουργείται μεταγωγή μεταξύ των διαφορετικών πηγών συχνοτήτων.
- ✓ Κάθε ασυνέχεια φάσης στα όρια των συμβόλων ενισχύει την εμφάνιση υψίσυχνων όρων στο φάσμα και αυξάνει το εύρος ζώνης που απαιτείται για την μετάδοση.

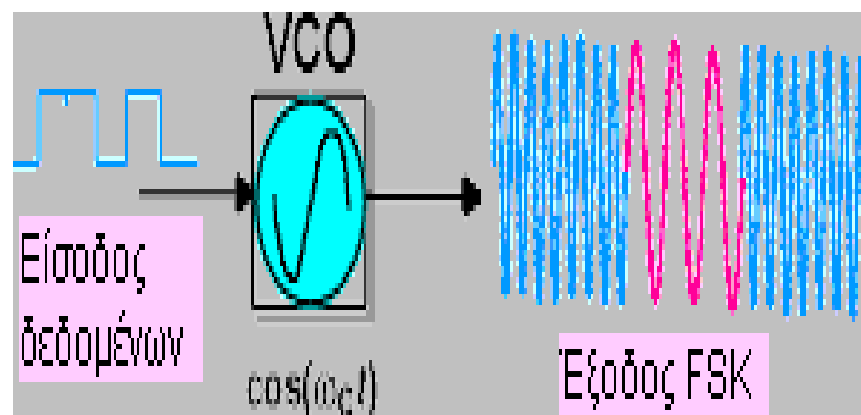




ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ FSK

2. Διαμόρφωση συνεχούς φάσης (CPFSK)

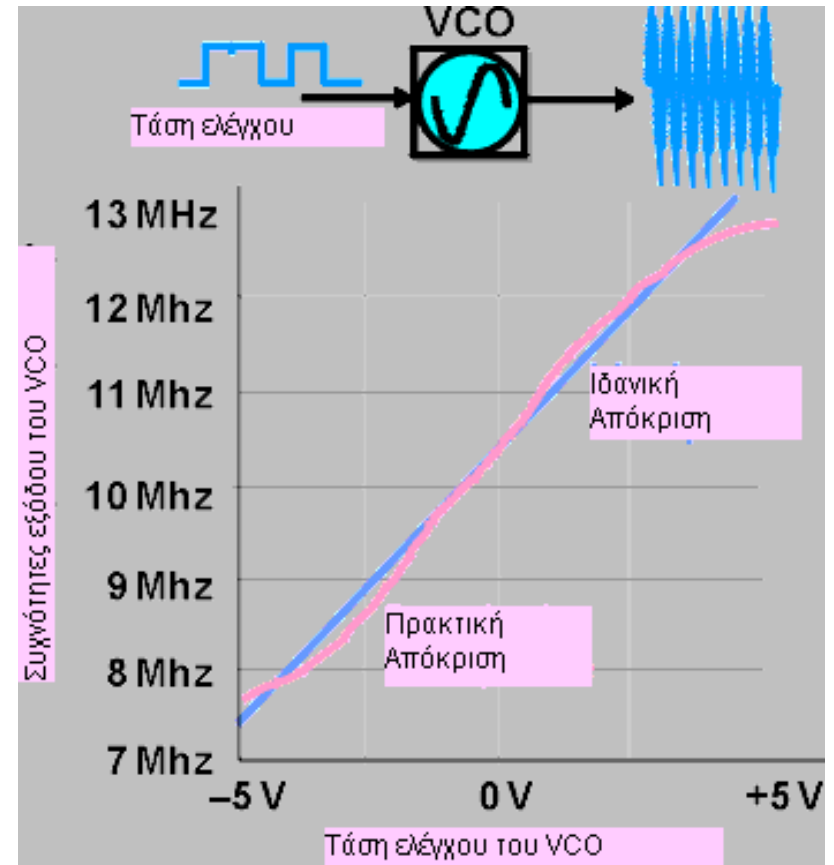
- ✓ Το πλεονάζον φασματικό περιεχόμενο που δημιουργείται από τις ασυνέχειες, μπορεί να περιοριστεί σημαντικά αν αυτές απαλειφθούν.
- ✓ Αυτό καθίσταται εφικτό επιτυγχάνεται, εάν η κυματομορφή δεδομένων εφαρμοστεί ως τάση ελέγχου σε έναν ταλαντωτή ελεγχόμενο από τάση (VCO).
- ✓ Με τον τρόπο αυτό, η μετάβαση από τη μια κατάσταση συμβόλων στην επόμενη γίνεται ομαλά, χωρίς ασυνέχεια φάσης.





ΤΑΛΑΝΤΩΤΕΣ ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΟΙ ΑΠΟ ΤΑΣΗ (VCO)

- Ένας ταλαντωτής ελεγχόμενος από τάση, παράγει μία ημιτονοειδή έξοδο με συχνότητα που είναι συνάρτηση της τάσης ελέγχου που εφαρμόζεται στην είσοδο ελέγχου.
- Δίπλα βλέπουμε το διάγραμμα ενός τυπικού VCO που λειτουργεί με συχνότητες γύρω στα 10MHz.
- Στην ιδανική περίπτωση ο VCO δίνει μεταβολές ευθέως ανάλογες της τάσης εισόδου.
- Στην πράξη όμως, οι μεταβολές δεν είναι απολύτως γραμμικές.

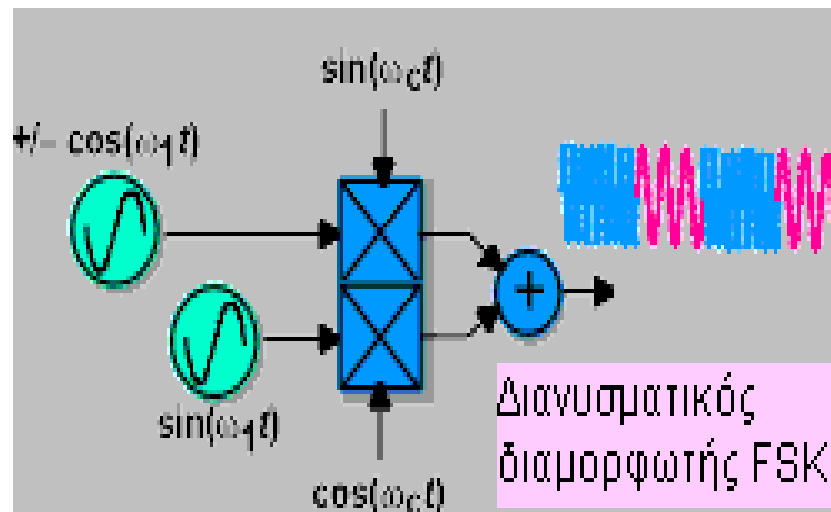




ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ FSK

3. Διαμόρφωση με διανυσματικό ταλαντωτή

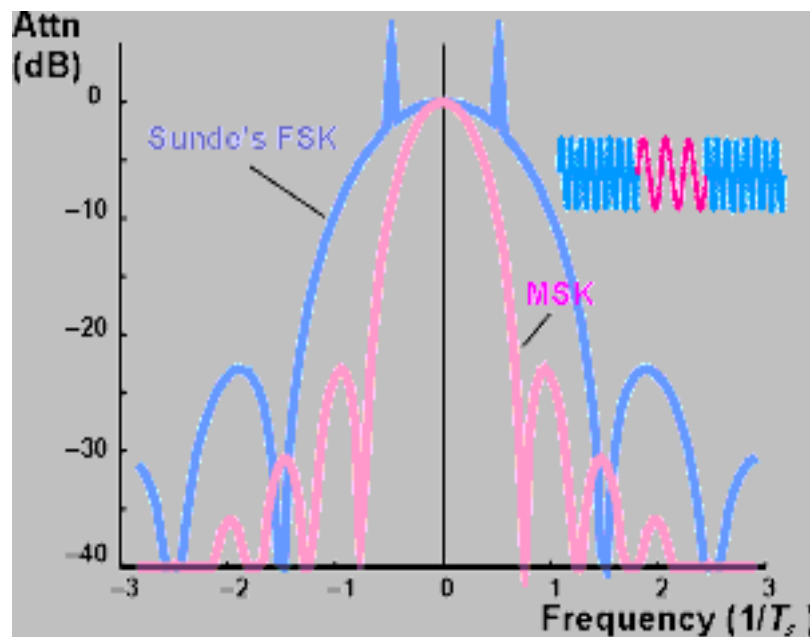
- ✓ Μια τρίτη μέθοδος υλοποίησης της FSK, είναι με διανυσματικό διαμορφωτή ή αλλιώς ορθογωνικού διαμορφωτή.
- ✓ Λειτουργεί με την βασική αρχή ότι μπορεί να δημιουργηθεί οποιοδήποτε διάνυσμα διαμόρφωσης ως άθροισμα καταλλήλων ποσών της συμφασικής έκδοσης $\cos \omega_c t$ του φέροντος και της ορθογωνικής της $\sin \omega_c t$.





ΦΑΣΜΑ ΤΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ CPFSK

- Η διαμόρφωση **FSK** κατά **Sunde** δημιουργείται όταν η απόσταση μεταξύ των δύο συχνοτήτων επιλέγεται να είναι ακριβώς ίση με το ρυθμό εκπομπής συμβόλων.
- Στην **τεχνική MSK** η απόσταση συχνότητας των συμβόλων είναι ίση με το ήμισυ του ρυθμού αποστολής των συμβόλων.
- Αυτή η μικρή απόσταση των συχνοτήτων των συμβόλων καθιστά την **MSK** πιο **αποδοτική φασματικά** από τις δυαδικές ASK και PSK, και στην πραγματικότητα προσεγγίζει την απόδοση της διαμόρφωσης QPSK.





ΤΟ ΦΑΣΜΑ ΤΩΝ ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΩΝ FSK

- Το φάσμα της διαμόρφωσης FSK εξαρτάται από έναν αριθμό παραγόντων, στους οποίους περιλαμβάνεται η ύπαρξη συνεχούς ή ασυνεχούς μεταβολής φάσης κατά την εναλλαγή των συμβόλων.

Φασματική πυκνότητα ισχύος της διαμόρφωσης FSK κατά Sunde

$$G(f)_{\text{Sunde's FSK}} = \frac{1}{4} [\delta(f - 0.5 \times 1 / T_b) + \delta(f + 0.5 \times 1 / T_b)] + P(f)$$

όπου είναι

$$P(f) = \frac{4T_b}{\pi^2} \left[\frac{\cos(\pi f T_b)}{4f^2 T_b^2 - 1} \right]^2$$

- Η διαμόρφωση FSK κατά Sunde είναι ότι έχει **δύο διακριτές συνιστώσες** στο πεδίο της συχνότητας, και πιο συγκεκριμένα στις δύο συχνότητες που αντιπροσωπεύουν τα σύμβολα.



ΤΟ ΦΑΣΜΑ ΤΩΝ ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΩΝ FSK

Φασματική πυκνότητα ισχύος της διαμόρφωσης MSK

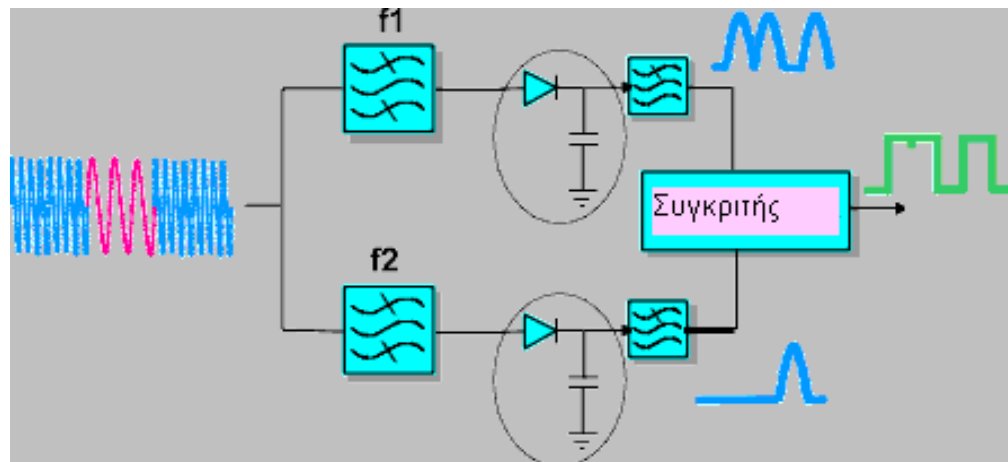
$$G(f)_{MSK} = \frac{16T_b}{\pi^2} \left[\frac{\cos(2\pi f T_b)}{16f^2 T_b^2 - 1} \right]^2$$

- Το φάσμα αυτό **δεν έχει διακριτές συνιστώσες**, αλλά έχει πολύ **στενότερο κεντρικό λοβό**, λόγω της μικρότερης απόστασης των συχνοτήτων των συμβόλων.



ΑΣΥΜΦΩΝΗ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ FSK

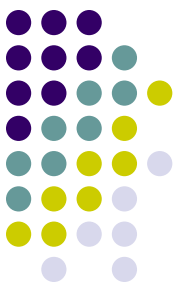
- Ένας, τρόπος ανίχνευσης της FSK είναι η διαβίβαση του συνολικού σήματος σε δύο φίλτρα διέλευσης ζώνης, που είναι συντονισμένα στις δύο συχνότητες σηματοδοσίας και η ανίχνευση της εξόδου που έχει την μεγαλύτερη μέση τιμή κατά την διάρκεια κάθε συμβόλου.
- Αυτός ο τρόπος συνιστά έναν ασύμφωνο ανιχνευτή περιβάλλουσας που εφαρμόζεται σε δύο ακολουθίες ASK, οι δύο έξοδοι που προκύπτουν συγκρίνονται σ' έναν συγκριτή.



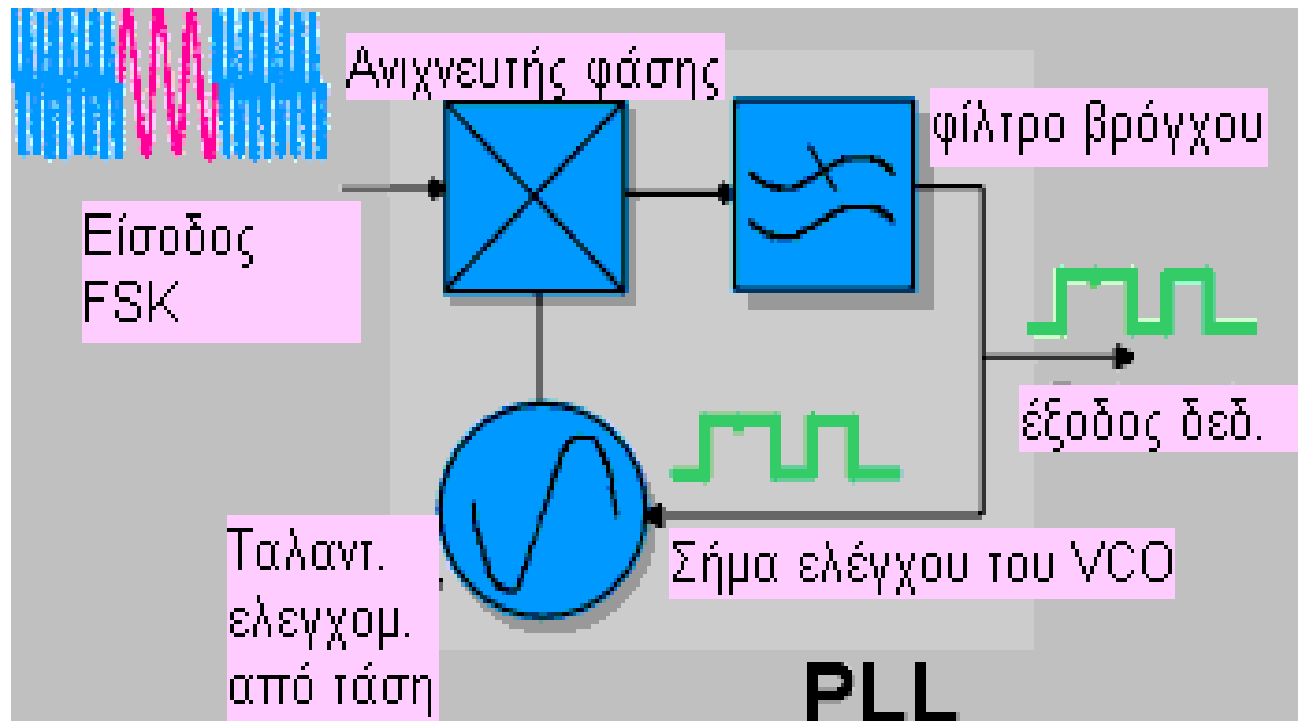


ΑΣΥΜΦΩΝΗ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ FSK ΧΡΗΣΟΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ PLL

- Ο βρόγχος κλειδωμένης φάσης(PLL) χρησιμοποιείται συχνά στα κυκλώματα ανάκτησης χρονισμού συμβόλων και του φέροντος των ψηφιακών συστημάτων επικοινωνίας.
 - Το παραπάνω κύκλωμα αποτελείται από τρία στοιχεία:
 1. Ταλαντωτή ελεγχόμενο από τάση
 2. Έναν ανιχνευτή φάσης
 3. Ένα φίλτρο βρόχου
- ### Λειτουργία PLL
- Συγκρίνεται η φάση του σήματος εισόδου με αυτή του τοπικού ταλαντωτή.
 - Αν υπάρχει διαφορά φάσης μεταξύ τους, τότε η παραγόμενη στην έξοδο του φίλτρου βρόγχου τάση ρυθμίζει κατάλληλα την φάση του VCO, ώστε η διαφορά να εκμηδενιστεί.
 - Όταν η διαφορά μηδενιστεί η παραγόμενη τάση στην έξοδο του φίλτρου βρόχου είναι μηδέν και ο VCO έχει «κλειδώσει» στο σήμα εισόδου.



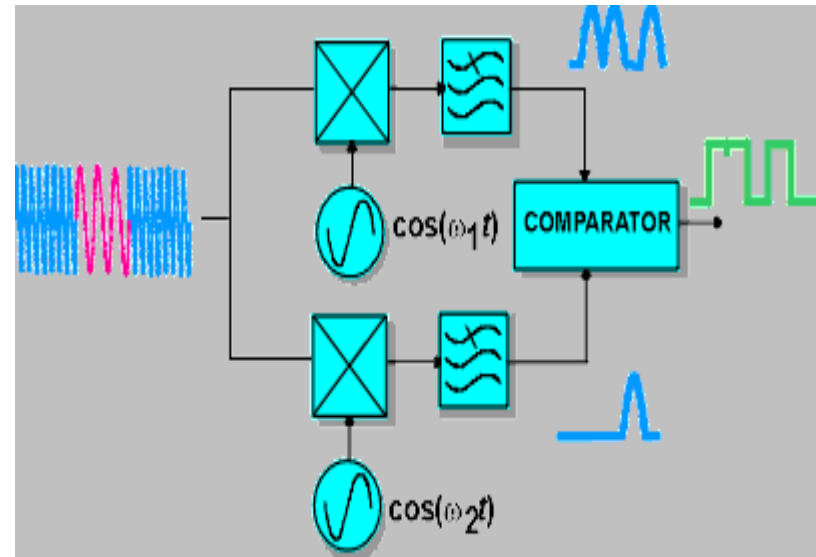
ΑΣΥΜΦΩΝΗ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ FSK ΧΡΗΣΟΜΟΠΟΙΩΝΤΑΣ PLL





ΣΥΜΦΩΝΗ ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ FSK

- Η διαφορά της ASK με την FSK είναι ότι στην **FSK υπάρχουν δύο ανιχνευτές συντονισμένοι** στις δύο συχνότητες του φορέα.
- Η χρήση προσαρμοσμένων φίλτρων ελαχιστοποιούν την επίδραση του θορύβου στο δέκτη.
- Η **ανάκτηση του φέροντος** επιτυγχάνεται αν η **απόσταση συχνότητας των συμβόλων** καταστεί **ίση με το ρυθμό εκπομπής συμβόλων**. Τότε το φάσμα περιέχει δύο διακριτές συχνότητες.





ΠΛΕΟΜΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ FSK

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Η διαμόρφωση FSK αποτελεί μία **διαμόρφωση σταθερής περιβάλλουσας** και είναι αναίσθητη στις μεταβολές πλάτους. Επίσης, είναι **συμβατή με συστήματα μη γραμμικών πομπών και δεκτών**.
- Η **ανίχνευση** της FSK μπορεί να στηριχθεί στις σχετικές μεταβολές συχνότητας, επομένως **δεν απαιτεί απόλυτη ακρίβεια των τιμών συχνοτήτων**.

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

1. Η FSK έχει σχετικά **μικρότερη απόδοση εύρους ζώνης** από τις ASK και PSK (όχι από την MSK).
2. Ο **ρυθμός εμφάνισης εσφαλμένων bit και συμβόλων της FSK** είναι **χειρότερος** από την PSK.



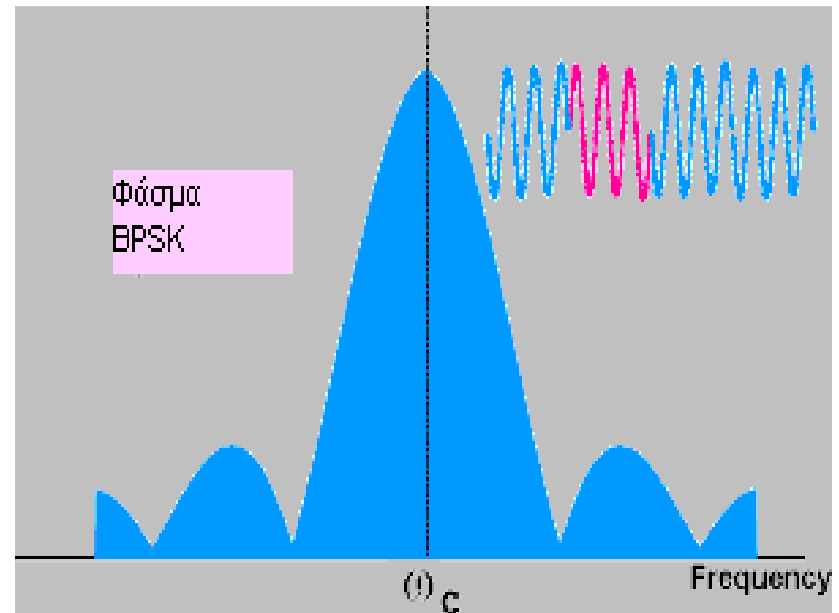
ΨΗΦΙΑΚΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΦΑΣΗΣ (PSK)

- Στην ψηφιακή διαμόρφωση φάσης η πληροφορία περιέχεται στη **στιγμιαία φάση του διαμορφωμένου φέροντος**.
- Αυτή η φάση ενσωματώνεται στο φέρον και εκτιμάται ως προς ένα σταθερό φέρον αναφοράς γνωστής φάσης, για αυτό και ονομάζεται **σύμφωνη PSK**.
- Στην δυαδική διαμόρφωση PSK χρησιμοποιούνται οι καταστάσεις φάσης 0° και 180° .
- Επιπλέον, είναι δυνατή η μετάδοση δεδομένων κωδικοποιημένων με τη μορφή μεταβολών φάσης (διαφορά φάσης) ανάμεσα σε διαδοχικά σύμβολα. Αυτή η μέθοδος ονομάζεται Διαφορική Συνεχής Ψηφιακή Διαμόρφωση Φάσης (DCPSK).



ΚΑΤΑΛΑΜΒΑΝΟΜΕΝΟ ΦΑΣΜΑ ΑΠΟ ΤΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ PSK

- Το εύρος ζώνης ενός δυαδικού σήματος PSK (BPSK) είναι ίδιο με αυτό του δυαδικού ASK.
- Η **BPSK** μπορεί να φανεί ως ένα σήμα ASK με πλάτη **+A** και **-A**.
- Αν οι αλλαγές φάσης είναι απότομες στα όρια των συμβόλων, τότε το εύρος ζώνης που καταλαμβάνεται θα είναι πολύ μεγαλύτερο από ότι θα είναι στην περίπτωση ομαλών μεταβάσεων από την μία κατάσταση φάσης στην επόμενη.

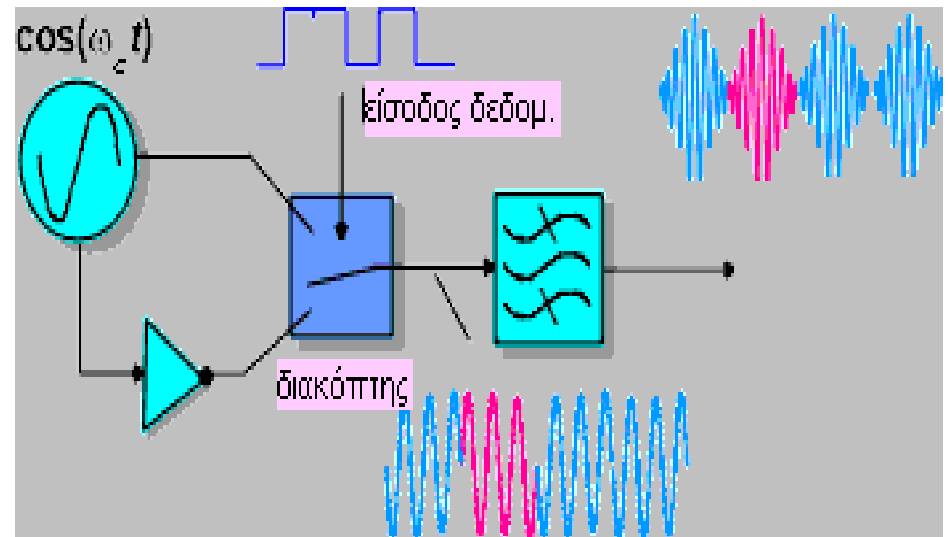




ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ PSK

1. Διαμόρφωση με διακόπτη

- ✓ Ένας τρόπος δημιουργίας **χωρίς φιλτράρισμα** είναι να μεταβάλλουμε το πρόσημο του φορέα με ένα διακόπτη, προκαλώντας διαφορά φάσης 0° και 180° .
- ✓ Αυτή η μέθοδος δεν ενδείκνυται για να λάβουμε μία τελική κυματομορφή φιλτραρισμένη σύμφωνα με το κριτήριο Nyquist.

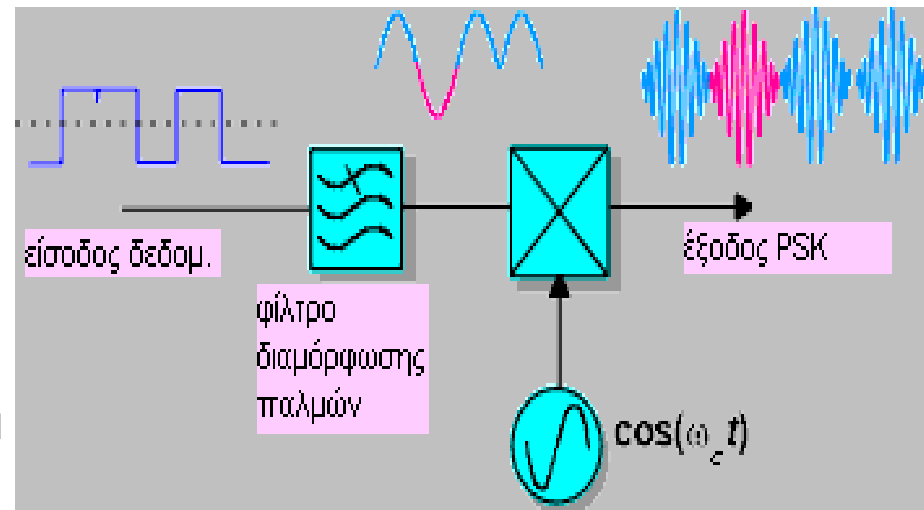




ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ PSK

2. Διαμόρφωση με γραμμικό πολλαπλασιασμό

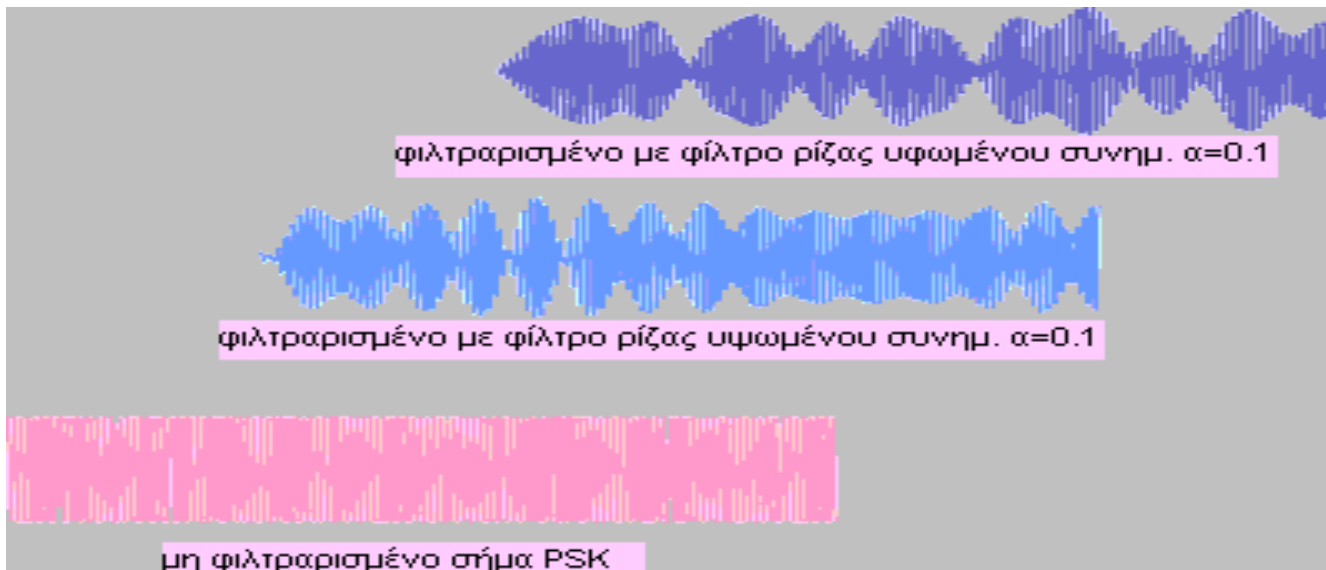
- ✓ **Εάν απαιτείται φιλτράρισμα,** τότε πρέπει να χρησιμοποιηθεί γραμμικός πολλαπλασιασμός.
- ✓ Αν η διαδικασία διαμόρφωσης είναι γραμμική, τότε η μορφή του φίλτρου βασικής ζώνης επικάθεται πάνω στο διαμορφωμένο σήμα ζώνης διέλευσης.





ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΦΙΛΤΡΑΡΙΣΜΑΤΟΣ ΣΤΙΣ ΚΥΜΑΤΟΜΟΡΦΕΣ PSK

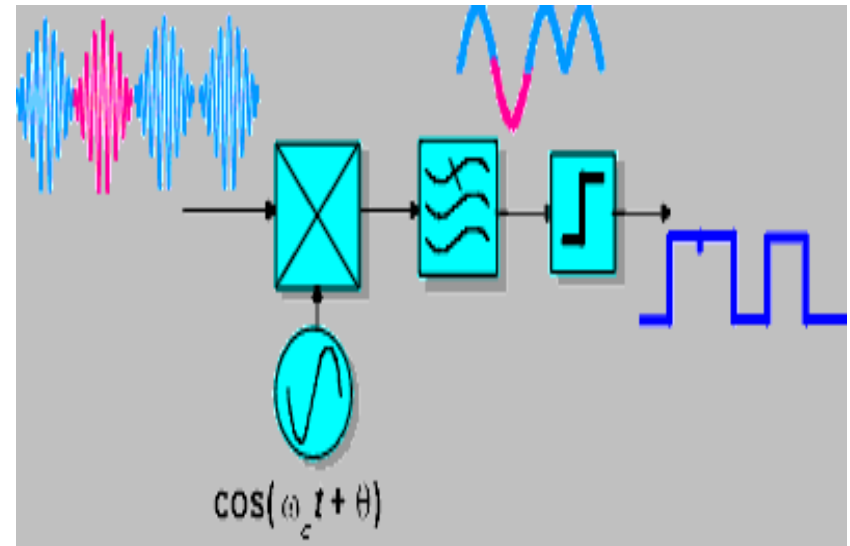
- ✓ Η περιβάλλουσα ενός σήματος PSK το οποίο δεν έχει υποστεί φιλτράρισμα είναι σταθερή.
- ✓ Στο παρακάτω σχήμα εικονίζονται διάφορες περιπτώσεις κυματομορφής PSK μετά από φιλτράρισμα με **φίλτρο ρίζας υψωμένου συνημιτόνου**.
- ✓ Όσο **μικρότερος** είναι ο παράγοντας κλίσης α , τόσο πιο **απότομο** είναι το **φίλτρο** και υψηλότερες οι τιμές κορυφής του σήματος PSK.





ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ PSK

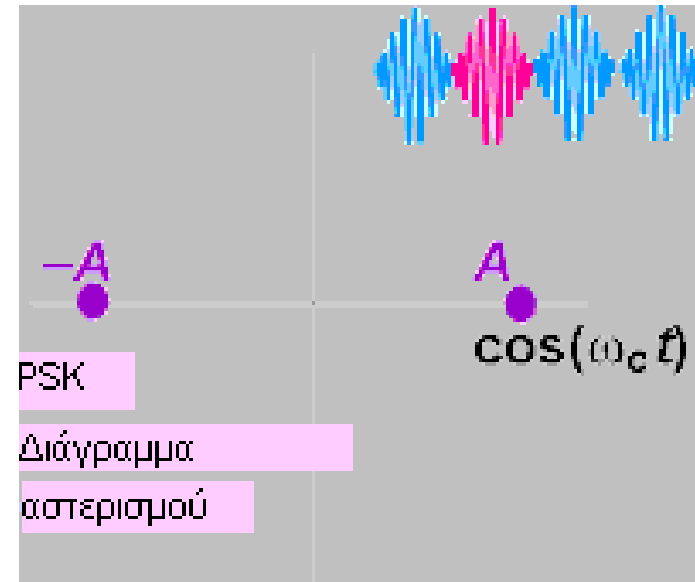
- Ο ιδανικός ανιχνευτής, απαιτεί την ακριβή γνώση της φάσης του αδιαμόρφωτου φορέα στο δέκτη.
- Όπως, και στην ASK, όταν υπάρχει σφάλμα φάσης θ , τότε μειώνεται η τάση του σήματος στην έξοδο του δέκτη κατά ένα παράγοντα $\cos(\theta)$.
- Έτσι, μειώνεται ο λόγος E_s/N_0 του ανιχνευτή κατά ένα παράγοντα $\cos^2(\theta)$.
- Πρέπει να υπάρχει **μηδενικό σφάλμα**, για να έχουμε τη βέλτιστη ανίχνευση.





ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΑΣΤΕΡΙΣΜΟΥ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ PSK

- Το διάγραμμα αστερισμού της δυαδικής διαμόρφωσης PSK εμφανίζει το χαρακτηριστικό της αντιποδικής σηματοδοσίας. Εμφανίζει **σημεία συμμετρικά** ως προς την αρχή των αξόνων.
- Η αντιποδική σηματοδοσία αποτελεί προϋπόθεση για την επίτευξη μέγιστης απόδοσης ως προς το θόρυβο κατά την ανίχνευση.



ΡΥΘΜΟΣ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΕΣΦΑΛΜΕΝΩΝ bit ΓΙΑ ΤΗ ΙΔΙΑ ΜΕΣΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΥΜΒΟΛΩΝ

- Για την περίπτωση της αντιποδικής σηματοδοσίας η PSK εμφανίζει την καλύτερη απόδοση.
- Η αμέσως επόμενη καλύτερη μέθοδος είναι η FSK με ορθογωνική σηματοδοσία, μαζί με την σύμφωνη διαμόρφωση ASK.

