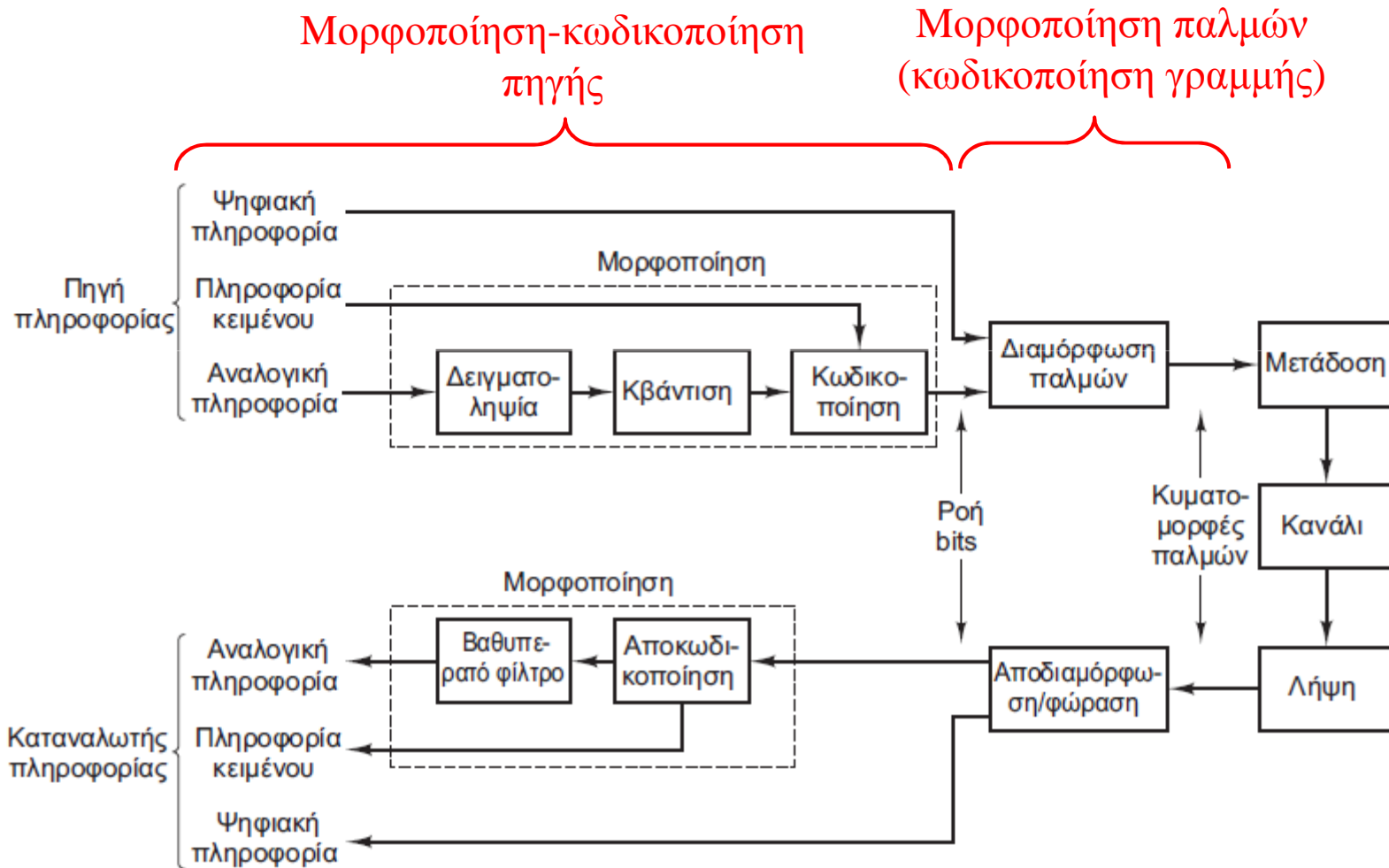

Μορφοποίηση και Διαμόρφωση Σημάτων Βασικής Ζώνης

Μορφοποίηση - Κωδικοποίηση πηγής
Μορφοποίηση παλμών βασικής ζώνης

Μορφοποίηση & μετάδοση βασικής ζώνης



Μορφοποίηση κειμένου

Κώδικας ASCII 7-bit

Με χρήση κάποιου από τους γνωστούς κώδικες χαρακτήρων κειμένου (π.χ. ASCII, EBCDIC, ..)

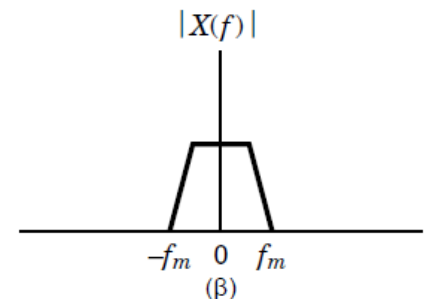
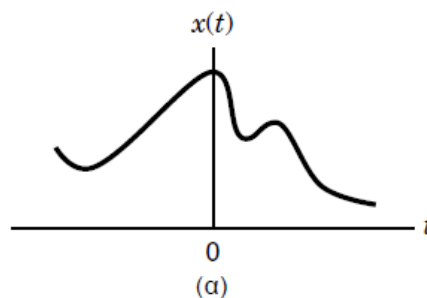
A → 1000001

Bits				5	0	1	0	1	0	1	0	1
				6	0	0	1	1	0	0	1	1
1	2	3	4	7	0	0	0	0	1	1	1	1
0	0	0	0	NUL	DLE	SP	0	@	P	'	p	
1	0	0	0	SOH	DC1	!	1	A	Q	a	q	
0	1	0	0	STX	DC2	"	2	B	R	b	r	
1	1	0	0	ETX	DC3	#	3	C	S	c	s	
0	0	1	0	EOT	DC4	\$	4	D	T	d	t	
1	0	1	0	ENQ	NAK	%	5	E	U	e	u	
0	1	1	0	ACK	SYN	&	6	F	V	f	v	
1	1	1	0	BEL	ETB	'	7	G	W	g	w	
0	0	0	1	BS	CAN	(	8	H	X	h	x	
1	0	0	1	HT	EM	)	9	I	Y	i	y	
0	1	0	1	LF	SUB	*	:	J	Z	j	z	
1	1	0	1	VT	ESC	+	;	K	[	k	{	
0	0	1	1	FF	FS	,	<	L	\	l	|	
1	0	1	1	CR	GS	-	=	M	]	m	}	
0	1	1	1	SO	RS	.	>	N	^	n	~	
1	1	1	1	SI	US	/	?	O	-	o	DEL	

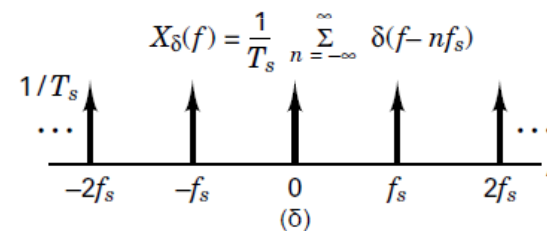
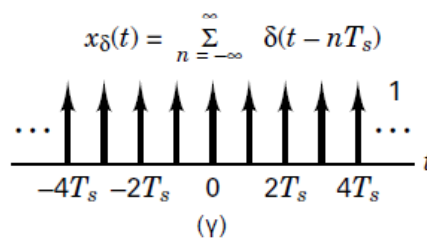
Κωδικοποίηση αναλογικής πληροφορίας

Ιδανική δειγματοληψία αναλ. σημάτων

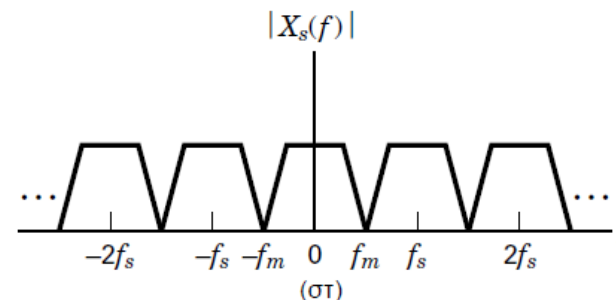
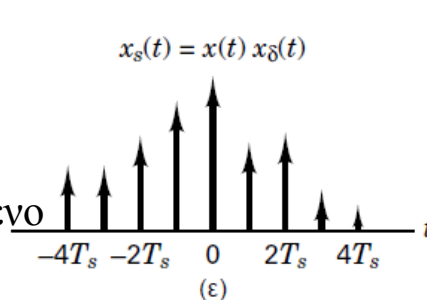
(α),(β) Αναλογικό, βαθυπερατό
σήμα και το φάσμα του



(γ), (δ) Ακολουθία κρουστικών
παλμών και το φάσμα της



(ε),(στ) Ιδανικά δειγματοληπτούμενο
σήμα και το φάσμα του



(ή διαμόρφωση κρουστικών παλμών
Impulse Amplitude Modulation)

Μορφοποίηση και Διαμόρφωση Σημάτων Βασικής Ζώνης

N. Μήτρου

Ιδανική δειγματοληψία αναλ. σημάτων (συνέχεια)

Θεώρημα (ομοιόμορφης) δειγματοληψίας

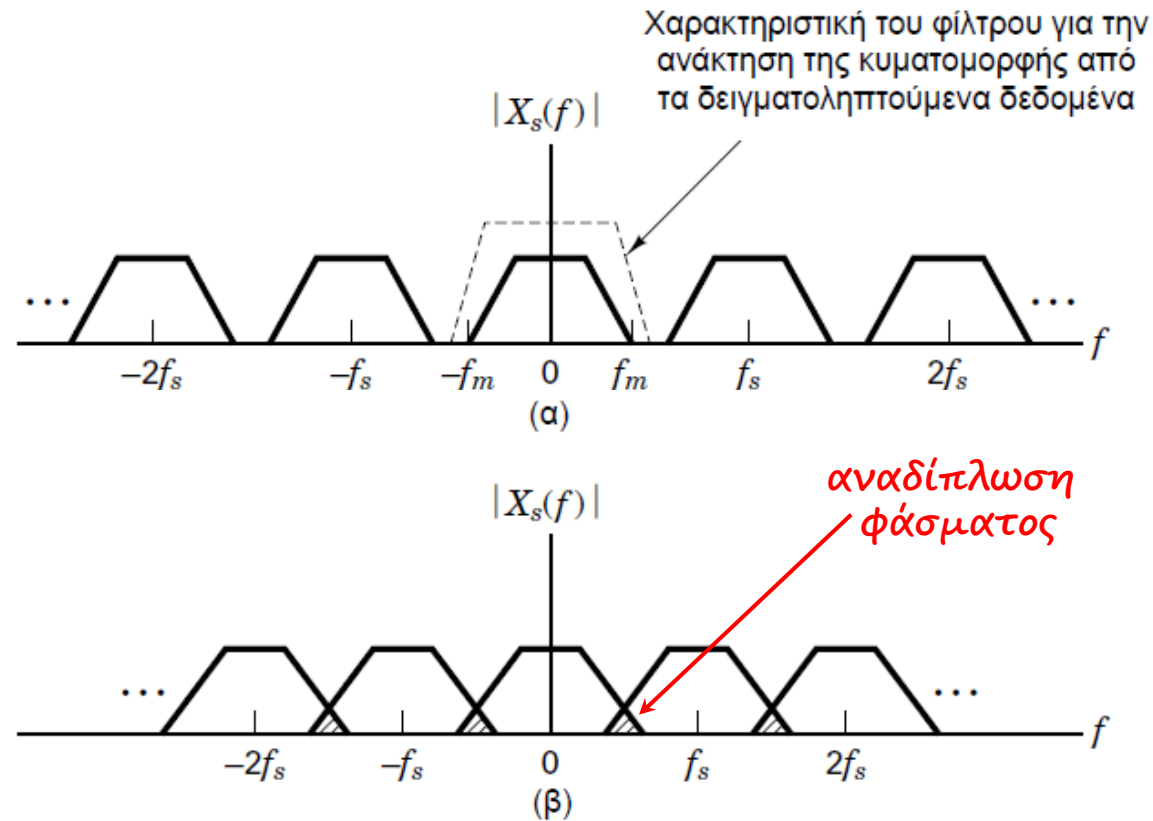
Ένα περιορισμένου εύρους ζώνης σήμα που δεν έχει φασματικές συνιστώσες πάνω από τα f_m Hz, μπορεί να προσδιοριστεί μονοσήμαντα βάσει τιμών που δειγματοληπτούνται σε χρονικά ισαπέχοντα σημεία, το διάστημα μεταξύ των οποίων είναι:

$$T_s \leq \frac{1}{2f_m} \text{ sec}$$

Ο παραπάνω περιορισμός, διατυπωμένος βάσει του ρυθμού δειγματοληψίας $f_s = 1/T_s$, είναι γνωστός ως κριτήριο του Nyquist και εκφράζεται ως εξής:

$$f_s \geq 2f_m$$

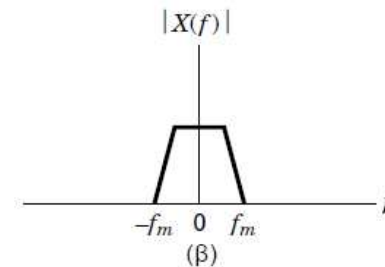
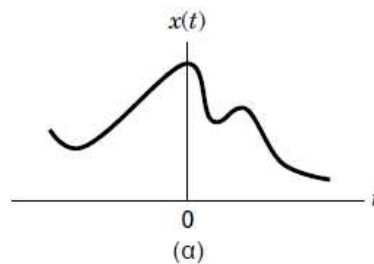
Το φάσμα για διάφορους ρυθμούς δειγματοληψίας



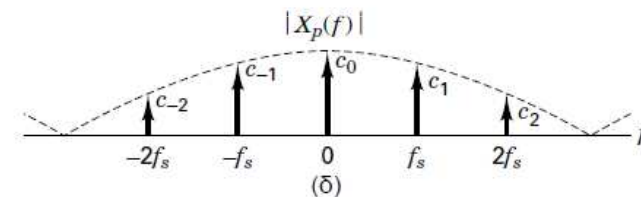
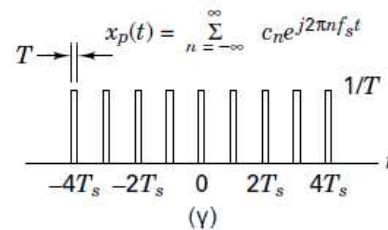
Το προκύπτον φάσμα σήματος για διάφορους ρυθμούς δειγματοληψίας. (α) $f_s > 2f_m$. (β) $f_s < 2f_m$.

Φυσική δειγματοληψία αναλ. σημάτων

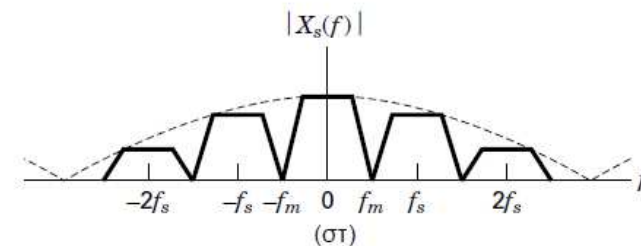
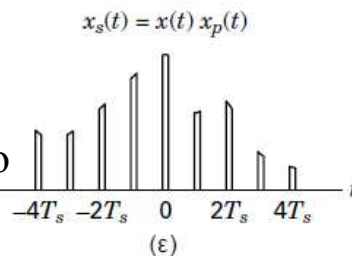
(α),(β) Αναλογικό, βαθυπερατό
σήμα και το φάσμα του



(γ), (δ) Ακολουθία ορθογωνικών
παλμών και το φάσμα της



(ε),(στ) Φυσικά δειγματοληπτούμενο
σήμα και το φάσμα του



Φυσική δειγματοληψία αναλ. σημάτων (συνέχεια)

$$x_p(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{j2\pi n f_s t}, \quad c_n = (1/T_s) \text{sinc}(nT/T_s)$$

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

$$\Rightarrow X_s(f) = \mathfrak{F} \left\{ x(t) \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n e^{j2\pi n f_s t} \right\} = \sum_{n=-\infty}^{\infty} c_n X(f - n f_s)$$

Δειγματοληψία & συγκράτηση

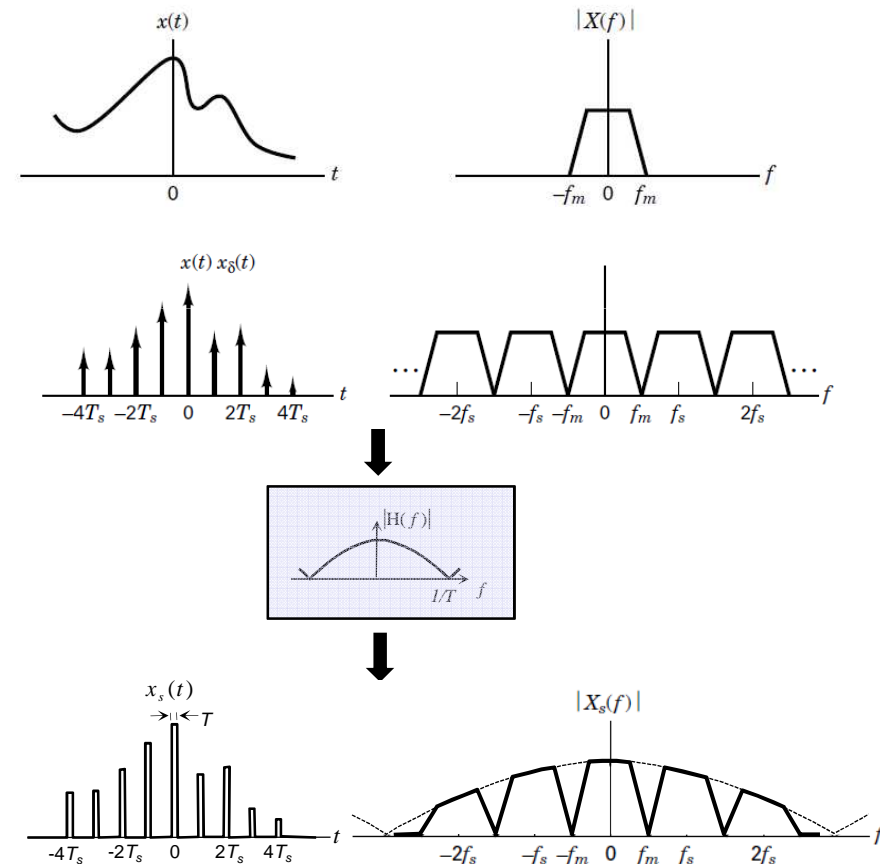
(Διαμόρφωση Πλάτους Παλμών – *Pulse Amplitude Modulation – PAM*)

Η Διαμόρφωση Πλάτους Παλμών (εδώ ορθογωνικών) είναι ισοδύναμη με την ιδανική δειγματοληψία, ακολουθούμενη από (βαθυπερατό) φίλτρο με κρουστική απόκριση όμοια με τον χρησιμοποιούμενο παλμό.

Το φάσμα της τελικής κυματομορφής (ακολουθίας παλμών διαμορφωμένων κατά πλάτος) είναι παρόμοιο με αυτό της κυματομορφής φυσικής δειγματοληψίας, πλην μιας (μικρής) παραμόρφωσης

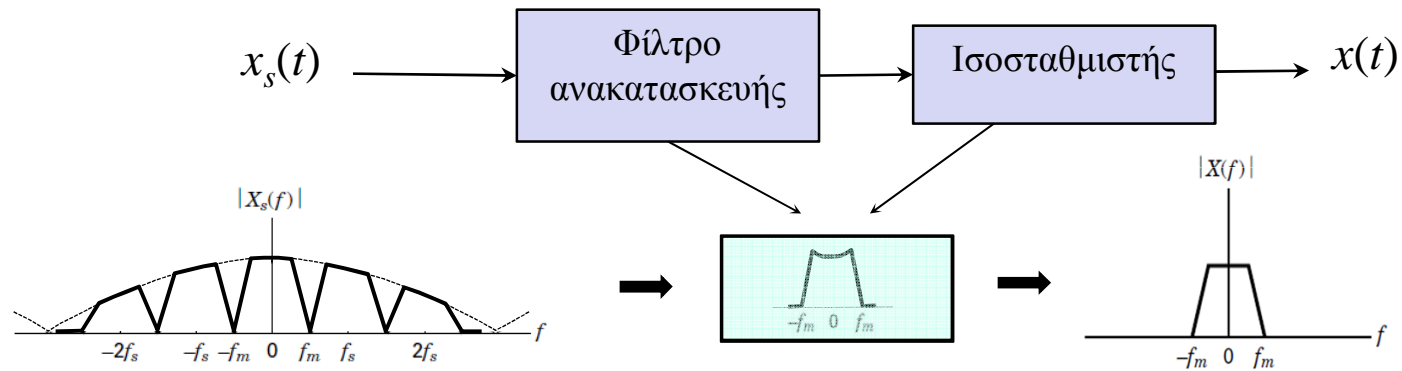
$$X_s(f) = H(f) \sum_{n=-\infty}^{\infty} X(f - nf_s)$$

όπου $H(f) = T \text{sinc}(fT) e^{-j\pi fT}$



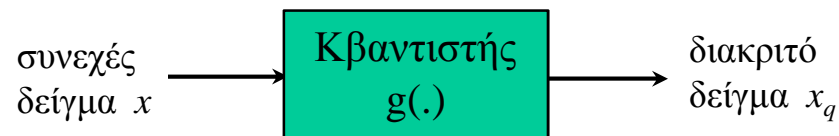
Δειγματοληψία & συγκράτηση (συνέχεια)

Ανάκτηση του σήματος $x(t)$ από το σήμα διαμόρφωσης PAM, $x_s(t)$



Κβάντιση σημάτων PAM

- Η κβάντιση (quantization) πλάτους ορίζεται ως η διαδικασία μετατροπής του πλάτους του δείγματος $x(nT_s)$ ενός σήματος πληροφορίας $x(t)$ στη χρονική στιγμή $t=nT_s$ σε ένα διακριτό πλάτος $x_q(nT_s)$ επιλεγμένο από ένα πεπερασμένο σύνολο δυνατών τιμών πλάτους.
- Εδώ η διαδικασία κβάντισης θεωρείται *στιγμιαία (instantaneous)* και *χωρίς μνήμη (memoryless)*.



SNR για κβαντισμένους παλμούς

- Μέση ισχύς θορύβου κβάντισης

$$\sigma^2 = \int_{-q/2}^{+q/2} e^2 p(e) de = \int_{-q/2}^{+q/2} e^2 \frac{1}{q} de = \frac{q^2}{12}$$

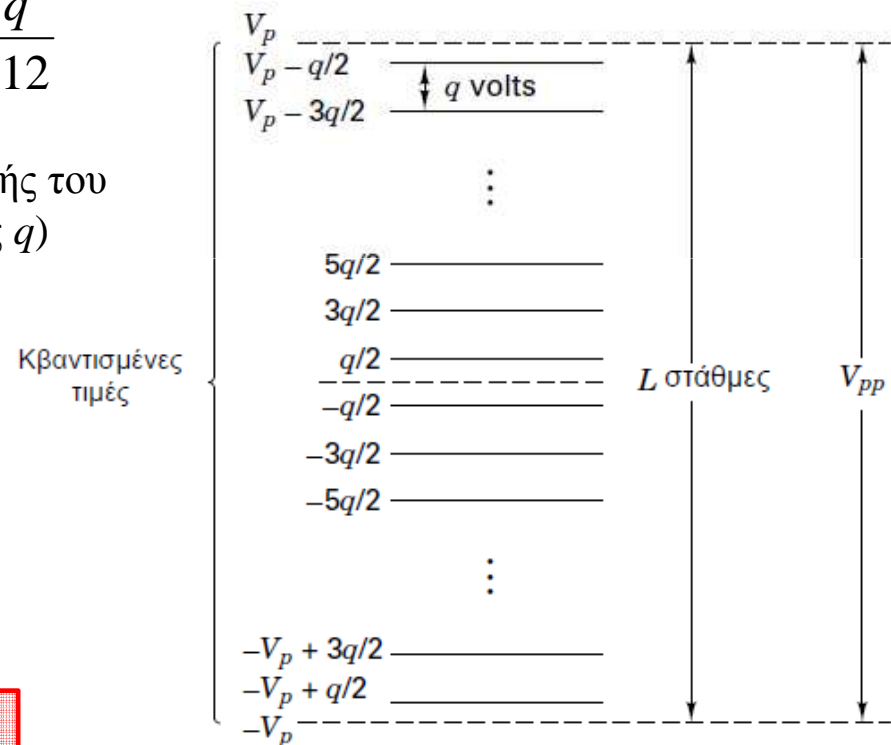
(με την υπόθεση ομοιόμορφης κατανομής του σφάλματος e στο διάστημα του βήματος q)

- Μέγιστη ισχύς σήματος
(τιμή κορυφής)

$$V_p^2 = \left(\frac{V_{pp}}{2} \right)^2 = \left(\frac{Lq}{2} \right)^2 = \frac{L^2 q^2}{4}$$

- **SNR:** $\left(\frac{S}{N} \right)_q = \frac{L^2 q^2 / 4}{q^2 / 12} = 3L^2$

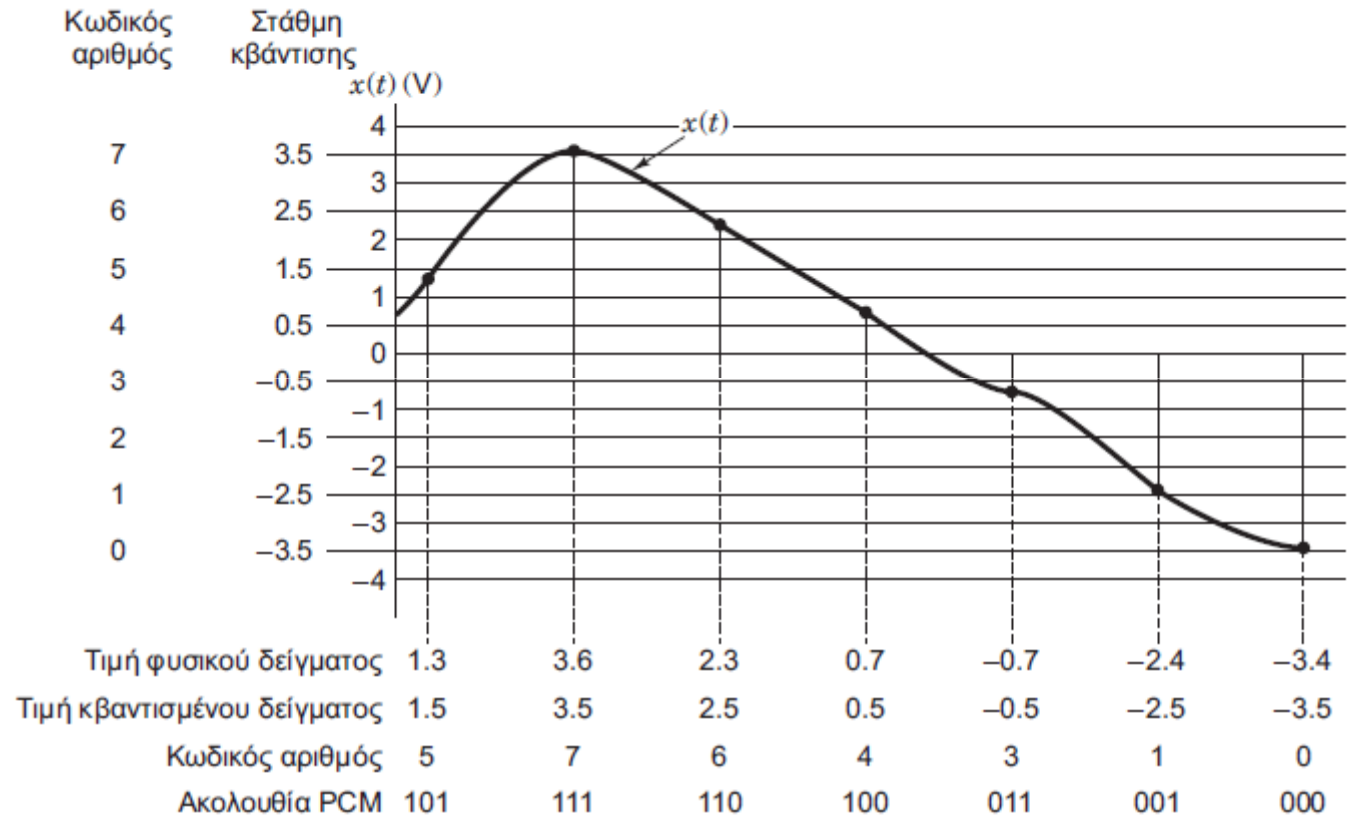
Στάθμες ομοιόμορφης κβάντισης



Παλμοκωδική Διαμόρφωση (PCM)

- Μετά τη κβάντιση, η στάθμη κάθε (κβαντισμένου) παλμού PAM αντιστοιχίζεται σε μια ψηφιακή λέξη ή κωδικολέξη
- Οι κωδικολέξεις έχουν μήκος $l = \log_2 L$
- Για τη μετάδοση στη βασική ζώνη, τα bits κάθε κωδικολέξης θα μετασχηματιστούν στη συνέχεια σε κυματομορφές παλμών

Παλμοκωδική Διαμόρφωση (συνέχεια)

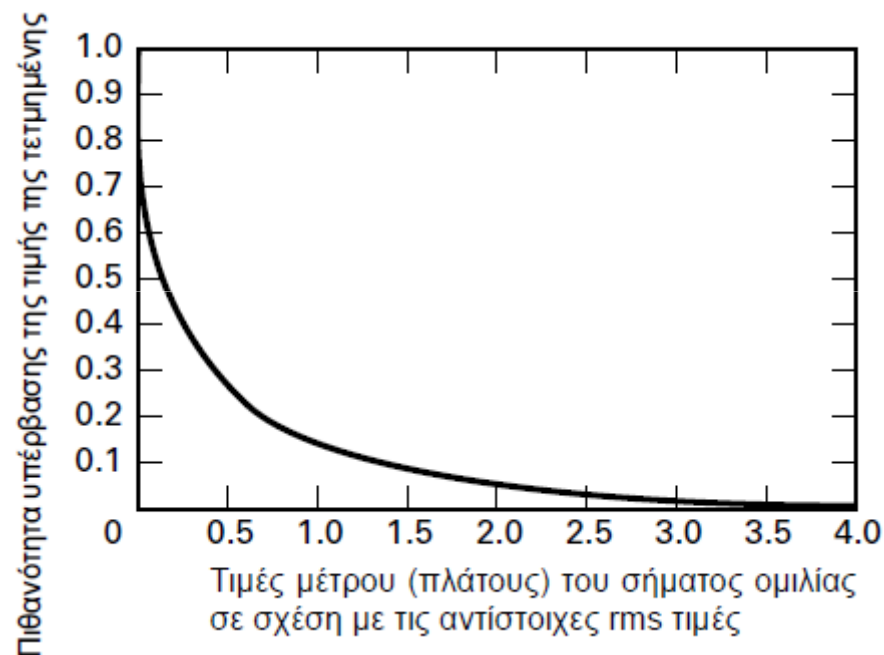


Φυσικά δείγματα, κβαντισμένα δείγματα και παλμοκωδική διαμόρφωση. (Αναπαράγεται με την άδεια των Taub & Schilling από το *Principles of Communications Systems*, McGraw-Hill Book Company, 1971, Fig. 6.5-1, p. 205).

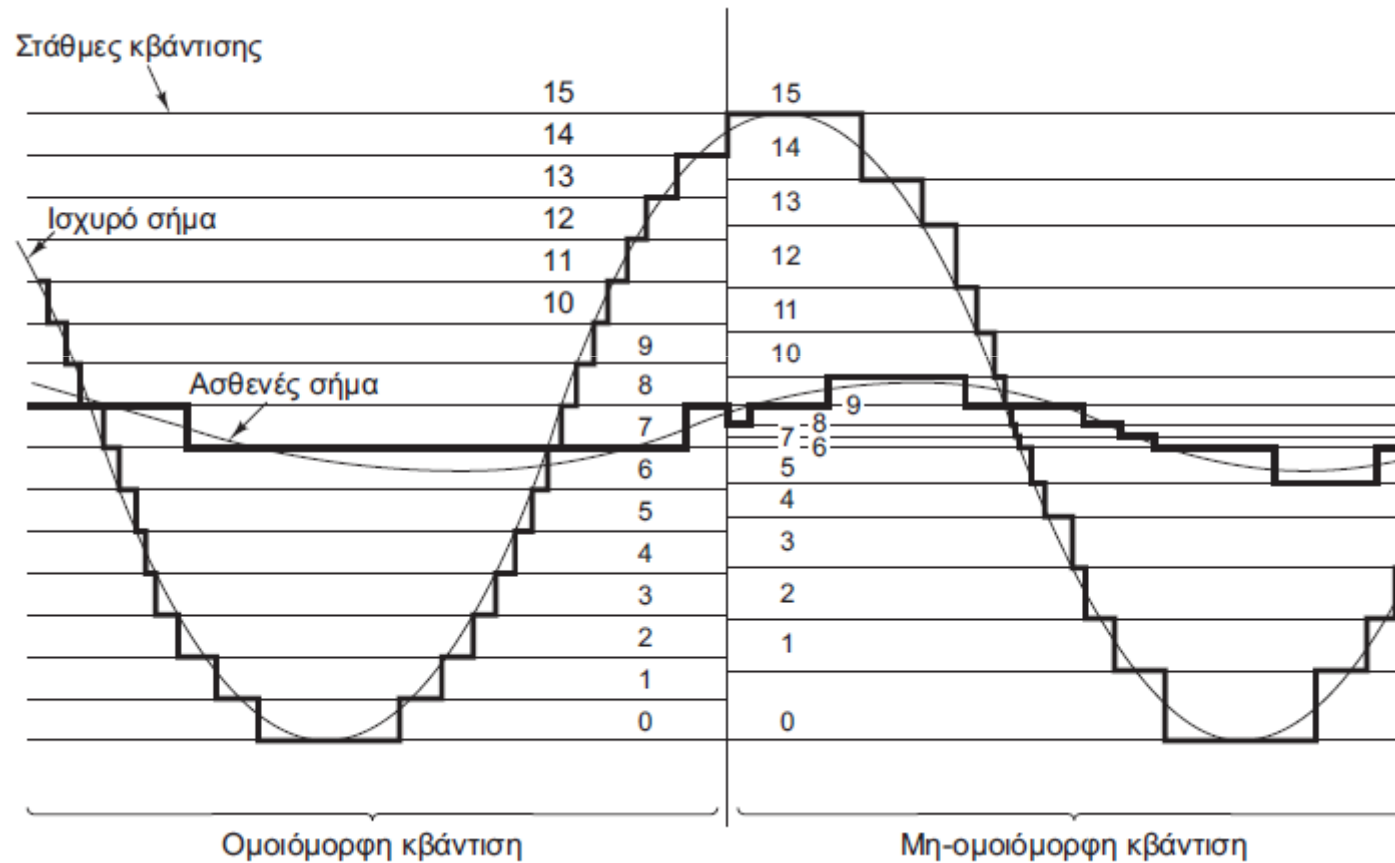
Ομοιόμορφη και μη-ομοιόμορφη κβάντιση

- Όταν η στατιστική κατανομή των δειγμάτων σήματος δεν είναι ομοιόμορφη (όπως συμβαίνει με τα σήματα ανθρώπινης ομιλίας, βλ. διπλανό σχήμα), η ομοιόμορφη κβάντιση αποτελεί σπατάλη
- Μη-ομοιόμορφη κβάντιση μπορεί να παρέχει «λεπτομερή» κβάντιση για τα ασθενέστερα σήματα και πιο «αδρομερή» κβάντιση για τα ισχυρότερα σήματα

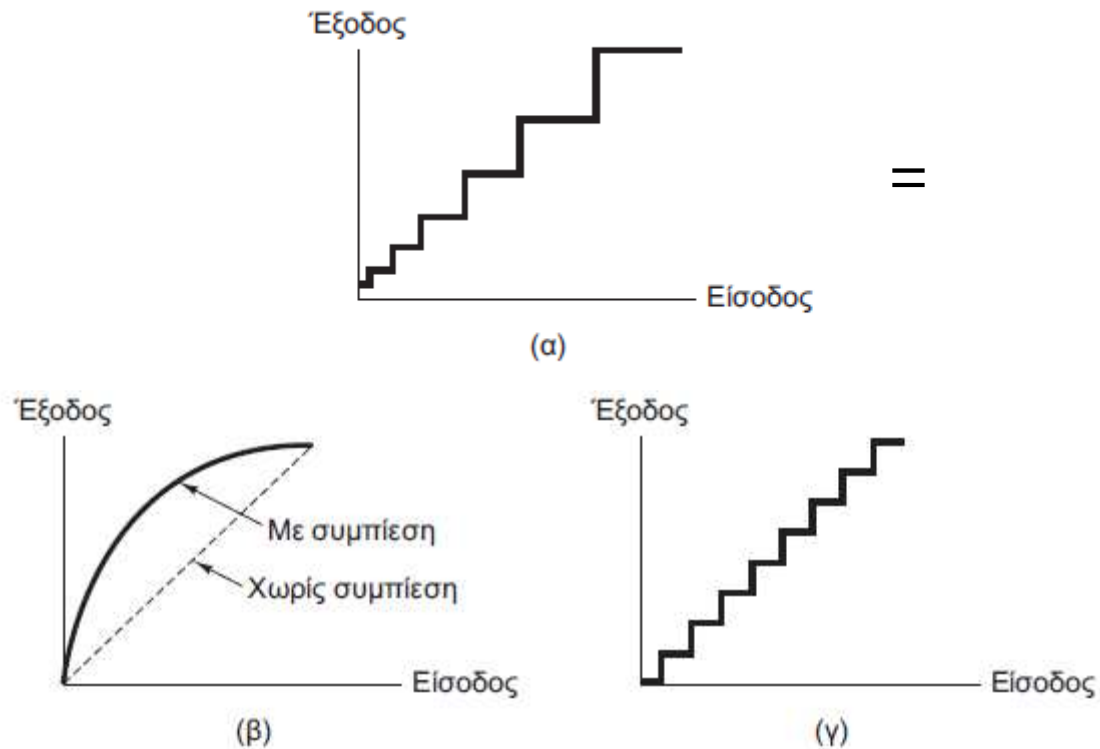
Στατιστική κατανομή σήματος ομιλίας



Ομοιόμορφη και μη-ομοιόμορφη κβάντιση (συνέχεια)



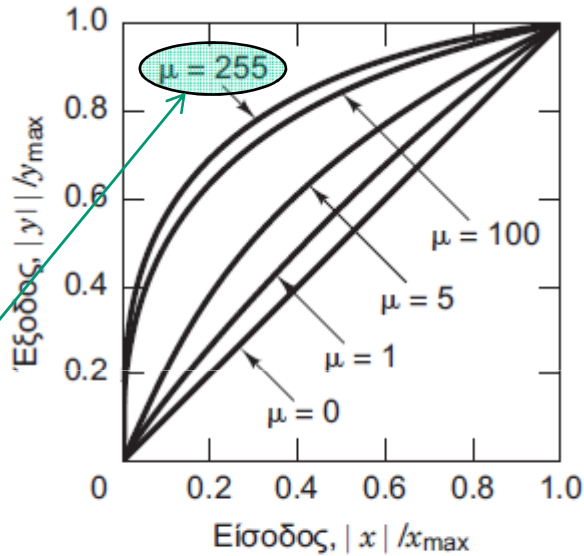
Μη-ομοιόμορφη κβάντιση



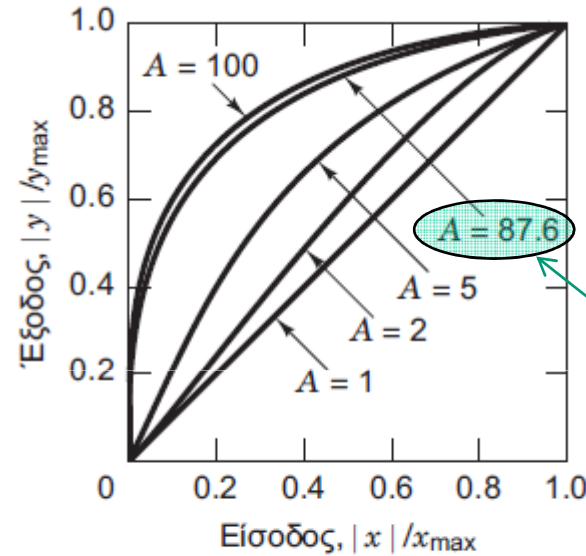
- (α) Χαρακτηριστική μη-ομοιόμορφου κβαντιστή
- (β) Χαρακτηριστική συμπίεσης
- (γ) Χαρακτηριστική ομοιόμορφου κβαντιστή

Χαρακτηριστικές συμπίεσης

Καθιερωμένη τιμή USA



(α)



(β)

Καθιερωμένη τιμή Ευρώπη

Χαρακτηριστικές συμπίεσης. (α) Συμπίεση νόμου-μ. (β) Συμπίεση νόμου-A.

$$y = y_{\max} \frac{\log_e[1 + \mu(|x|/x_{\max})]}{\log_e(1 + \mu)} \operatorname{sgn} x$$

$$\operatorname{sgn} x = \begin{cases} +1 & \text{για } x \geq 0 \\ -1 & \text{για } x < 0 \end{cases}$$

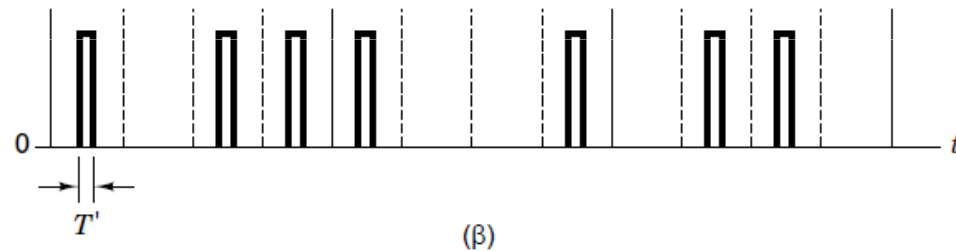
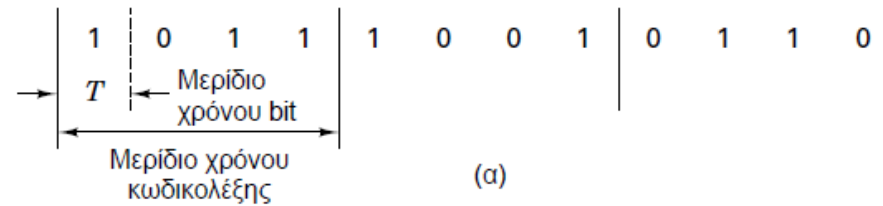
$$y = \begin{cases} y_{\max} \frac{A(|x|/x_{\max})}{1 + \log_e A} \operatorname{sgn} x & 0 < \frac{|x|}{x_{\max}} \leq \frac{1}{A} \\ y_{\max} \frac{1 + \log_e[A(|x|/x_{\max})]}{1 + \log_e A} \operatorname{sgn} x & \frac{1}{A} < \frac{|x|}{x_{\max}} < 1 \end{cases}$$

Μετάδοση βασικής ζώνης

Μετάδοση βασικής ζώνης

- Η μορφοποίηση-κωδικοποίηση πηγής δίνει ακολουθίες bits.
- Η μετάδοση ακολουθιών bits με παλμούς των οποίων το εύρος ζώνης ξεκινάει από τις χαμηλές συχνότητες (δηλαδή, παλμούς που απαρτίζουν κυματομορφές βασικής ζώνης) ονομάζεται ψηφιακή μετάδοση βασικής ζώνης
- Ο σχηματισμός & η μετάδοση κυματομορφών βασικής ζώνης αναφέρονται στη βιβλιογραφία και ως κωδικοποίηση γραμμής (line encoding)

Κώδικες γραμμής

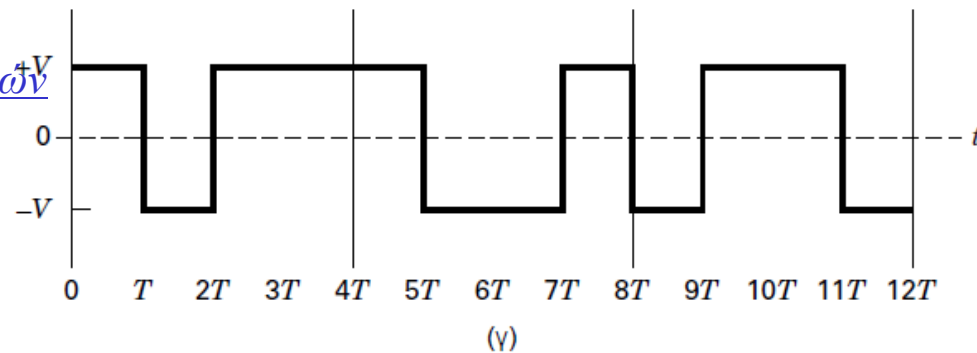


Αναπαράσταση ακολουθιών bits (π.χ. κωδικολέξεων PCM) ως κυματομορφών

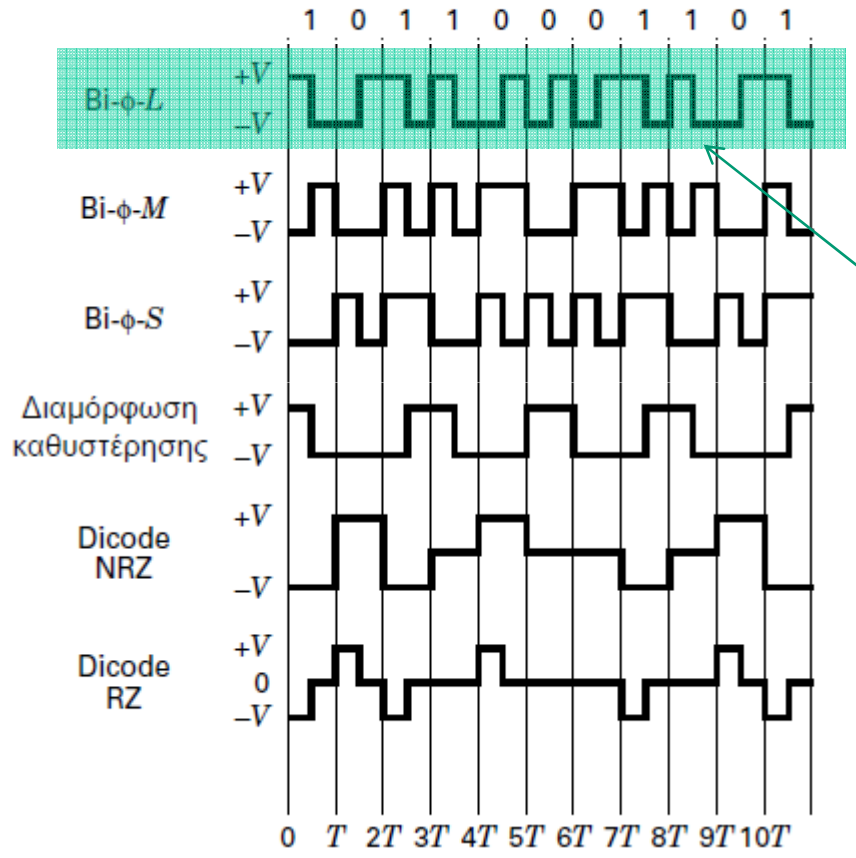
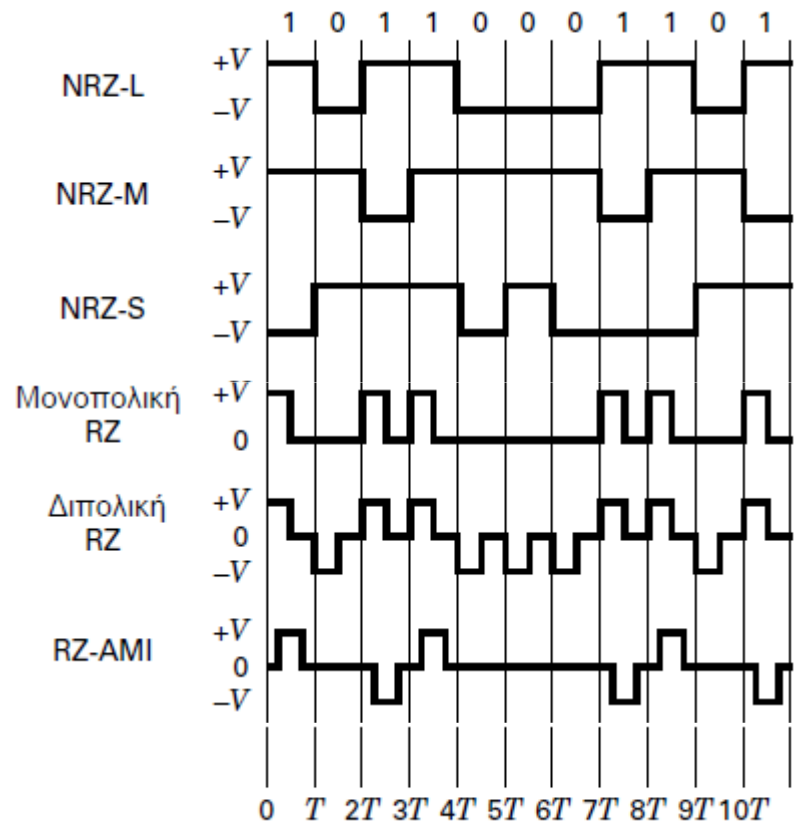
(α) Ακολουθία κωδικολέξεων PCM

(β) Αναπαράσταση παλμών

(γ) Κυματομορφή παλμών (μετάβαση ανάμεσα σε δύο στάθμες)



Διάφορες κυματομορφές PCM*

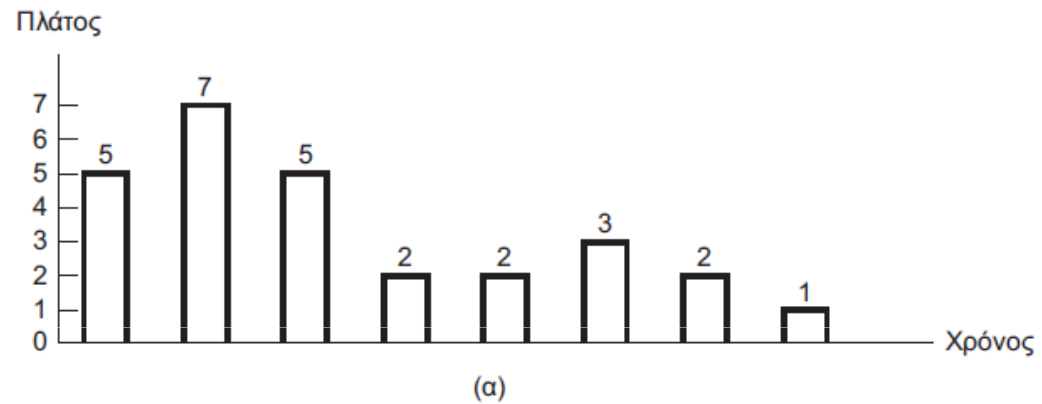


Κωδικοποίηση Manchester

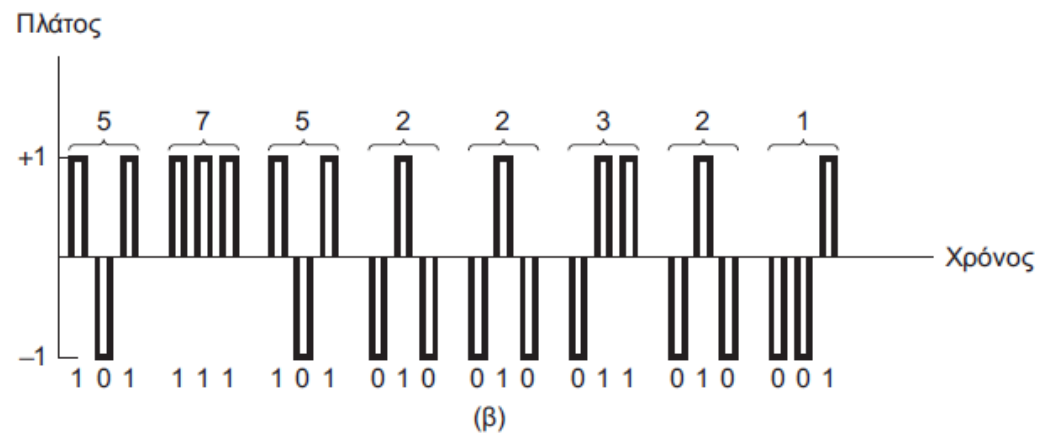
* Στην πραγματικότητα, πρόκειται για δυαδική μετάδοση βασικής ζώνης (baseband binary transmission) οποιασδήποτε ακολουθίας bits, και όχι μόνο ακολουθιών PCM. Για ιστορικούς λόγους, έχει διατηρηθεί ο όρος *PCM waveforms*.

M-αδική διαμόρφωση παλμών βασικής ζώνης (M-ary PAM)

(α) 8-δική PAM



(β) Δυαδική PAM



Φάσμα Ψηφιακών Κυματομορφών

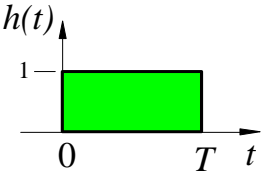
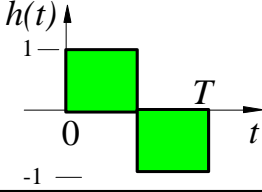
$$u(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} b_n h(t - nT) \quad \text{Μιγαδική PAM -- ASK, PSK, QAM}$$

$$\varphi_{bb}(m) \equiv E\{b_n^* b_{n+m}\} \quad \Phi_{bb}(f) \equiv \sum_{m=-\infty}^{\infty} \varphi_{bb}(m) e^{-j2\pi f m T}$$

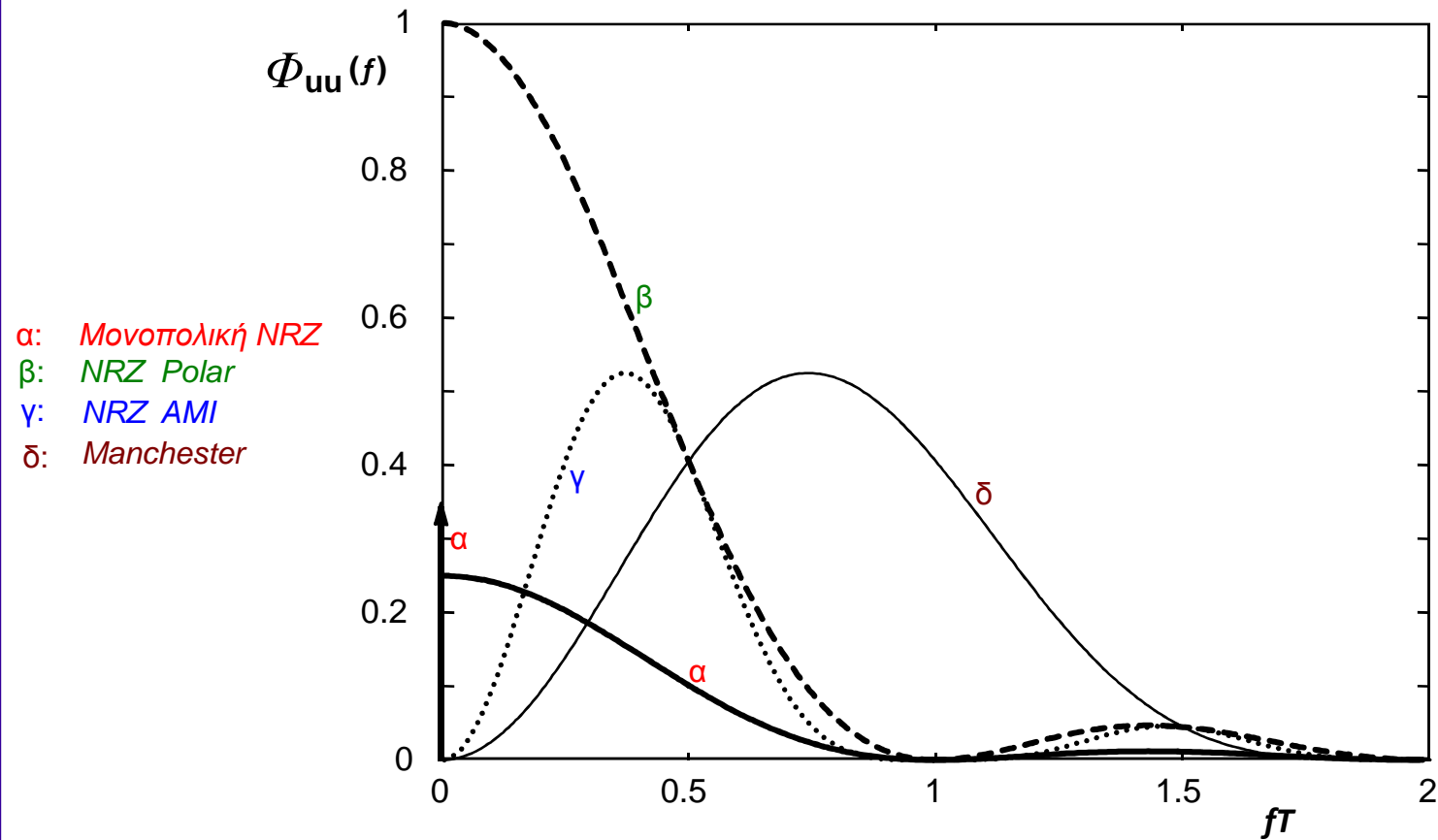


$$\Phi_{uu}(f) = \frac{1}{T} |H(f)|^2 \Phi_{bb}(f)$$

Εφαρμογή σε κυματομορφές Βασικής Ζώνης

Τύπος Κωδικοποίησης	Συντελεστής, b_n	Παλμός, $h(t)$
Μονοπολική NRZ	$b_n = \begin{cases} A, & \text{ψηφίο } 1 \\ 0, & \text{ψηφίο } 0 \end{cases}$	 <p>The diagram shows a plot of $h(t)$ versus t. The vertical axis is labeled $h(t)$ and has a tick mark at 1. The horizontal axis is labeled t and has tick marks at 0 and T. A green rectangular pulse is shown from $t=0$ to $t=T$ at a height of 1.</p>
NRZ-L (NRZ Polar)	$b_n = \begin{cases} A, & \text{ψηφίο } 1 \\ -A, & \text{ψηφίο } 0 \end{cases}$	
NRZ-AMI	$b_n = \begin{cases} A, -A & \text{εναλλάξ, ψηφίο } 1 \\ 0, & \text{ψηφίο } 0 \end{cases}$	
Manchester	$b_n = \begin{cases} A, & \text{ψηφίο } 1 \\ -A, & \text{ψηφίο } 0 \end{cases}$	 <p>The diagram shows a plot of $h(t)$ versus t. The vertical axis is labeled $h(t)$ and has tick marks at 1 and -1. The horizontal axis is labeled t and has tick marks at 0 and T. A green waveform is shown: it starts at 1 at $t=0$ and decreases linearly to -1 at $t=T/2$, then jumps to -1 and increases linearly back to 1 at $t=T$.</p>

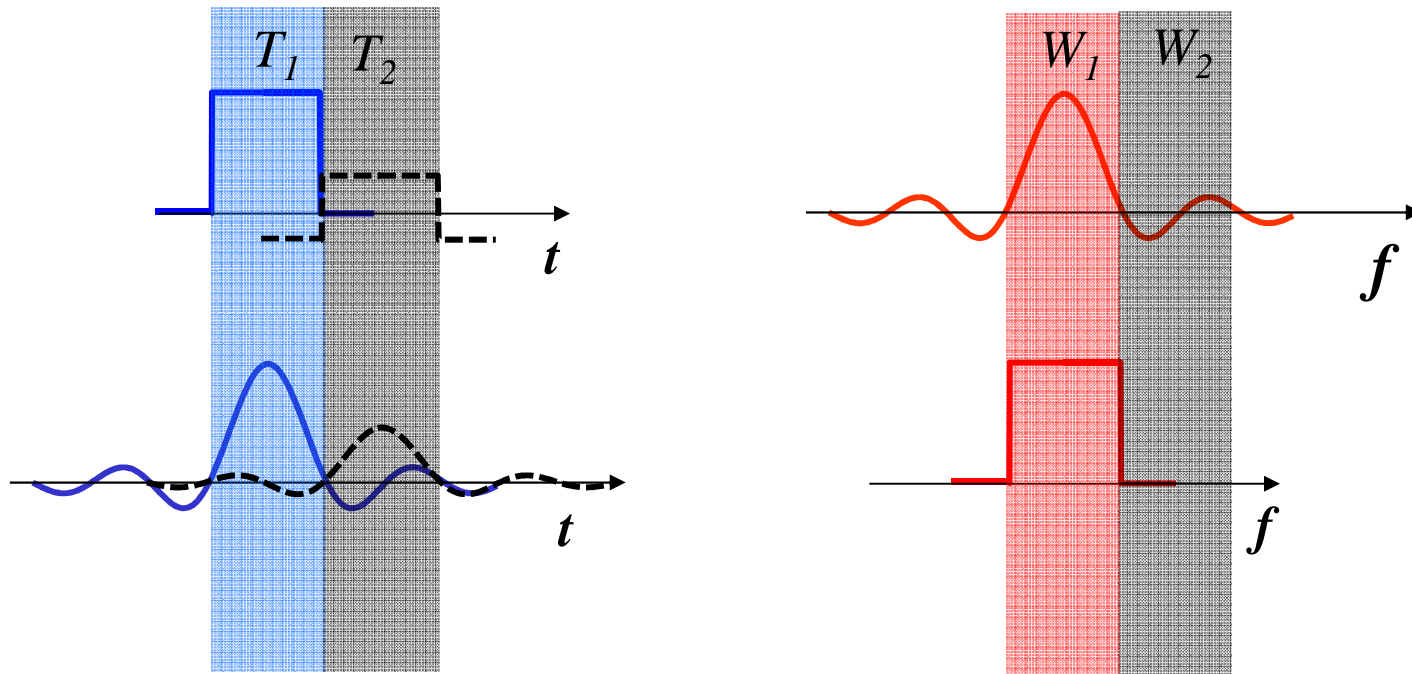
Φάσμα κυματομορφών Βασικής Ζώνης



Μορφοποίηση παλμών βασικής ζώνης

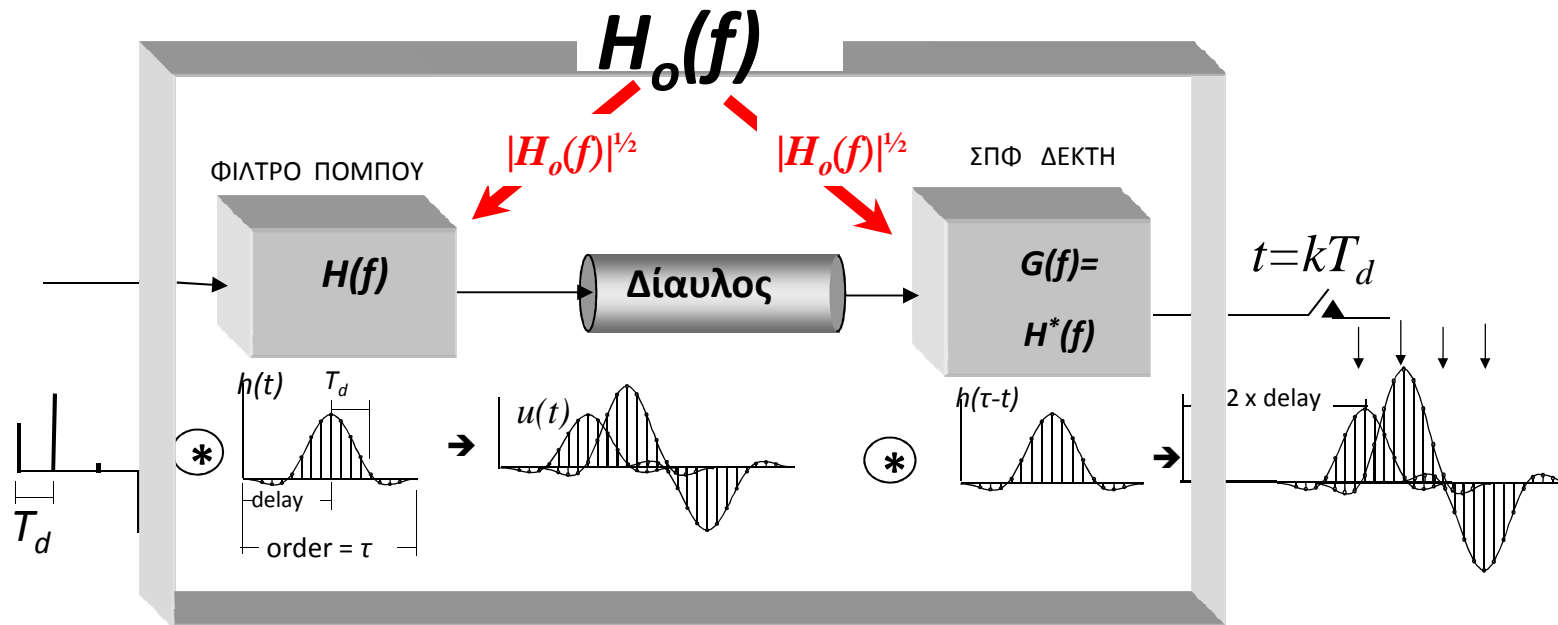
Η ανάγκη για μορφοποίηση των παλμών

Ο συγκερασμός χρονικών και φασματικών προδιαγραφών



Σύστημα μορφοποίησης & βέλτιστης αναγνώρισης

Συνάρτηση Μεταφοράς πομπού-διαύλου-δέκτη



Για βέλτιστη αναγνώριση: $|H(f)| = |H_o(f)|^{1/2}$ (βλ. επόμενο κεφ.)

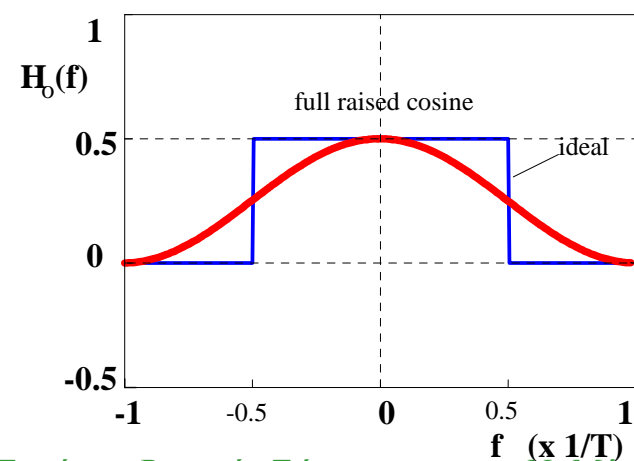
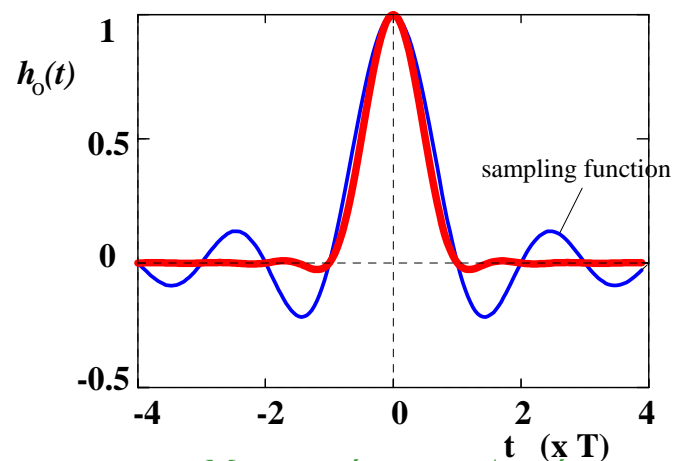
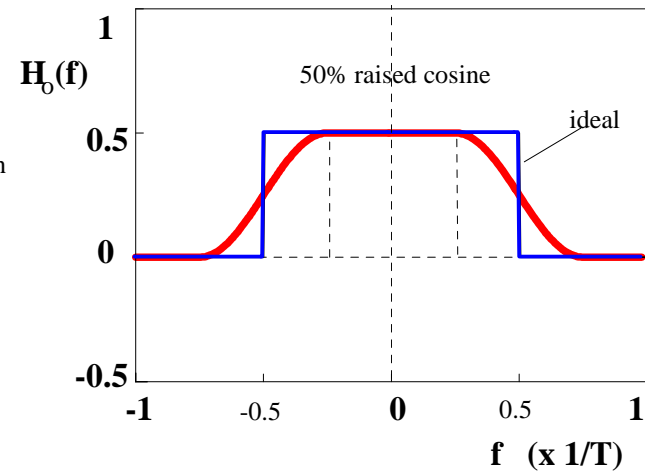
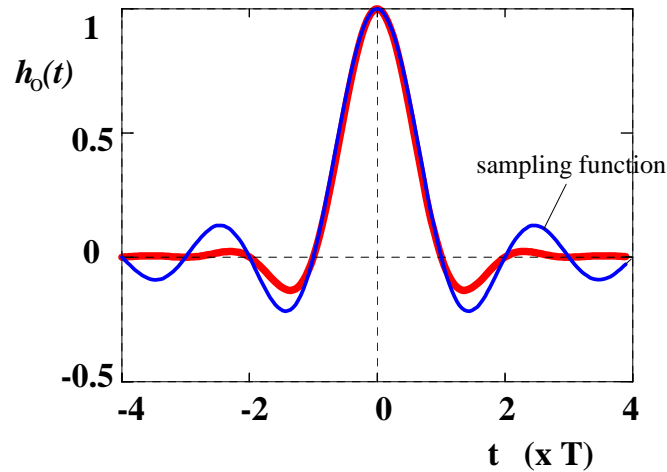
$H_o(f) ???$

1^ο Κριτήριο του *Nyquist*

Αν στην παλμοσειρά $\sum_n b_n h_o(t - nT)$ που λαμβάνεται στο δέκτη γίνεται δειγματοληψία στους χρόνους $\dots, -T, 0, +T, +2T, \dots$, η διαπαλμική παρεμβολή είναι μηδέν τότε και μόνον τότε όταν

$$\sum_{n=-\infty}^{\infty} H_o\left(f - \frac{n}{T}\right) = h_o(0)T, \quad \text{σταθερό } \forall f$$

Συναρτήσεις “Nyquist”



Μορφοποίηση και Διαμόρφωση Σημάτων Βασικής Ζώνης

N. Μήτρου

Υλοποίηση της $H(f)$

$$|H(f)| = \sqrt{|H_o(f)|} \quad (\text{τετραγωνική ρίζα συνάρτησης Nyquist})$$

Υλοποίηση FIR, με $h(t)$ υπολογισμένη από:

- Αναλυτικό τύπο (root raised cosine), ή
- IFFT της επιλεγείσας $|H(f)| = \sqrt{|H_o(f)|}$

Υλοποίηση της $H(f)$ (συνέχεια)

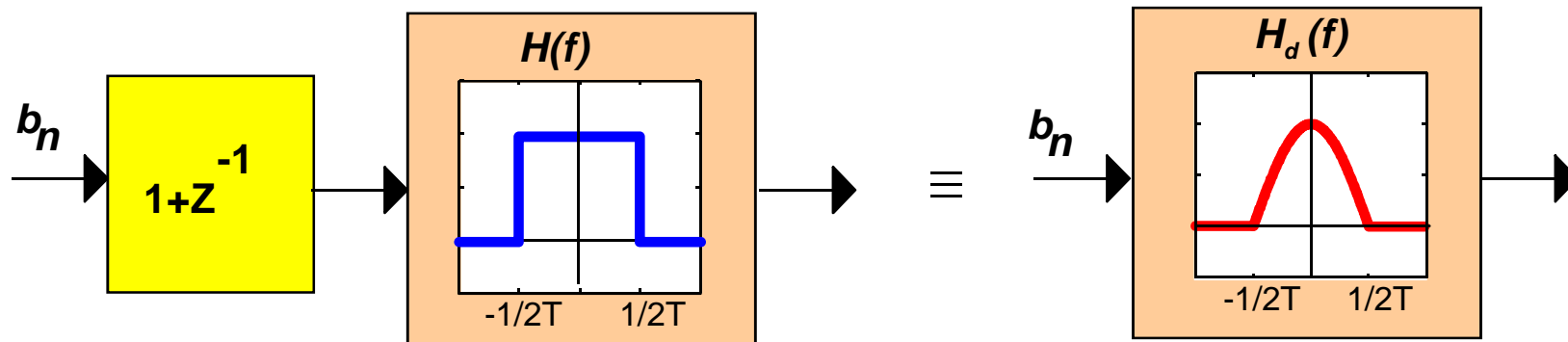
Συνάρτηση μεταφοράς & κρουστική απόκριση
Root-raised-cosine

$$H_{rc}(f) = \begin{cases} 1, & |f| < F_1 \\ \frac{1}{\sqrt{2F_o}} \cos\left(\frac{\pi}{4F_o\alpha} (|f| - F_o(1-\alpha))\right), & F_1 \leq |f| \leq F_2 \\ 0, & |f| > F_2 \end{cases}$$

$$h_{rc}(t) = \frac{\sqrt{2F_o}}{(1 - (8\alpha F_o t)^2)} \left(\frac{\sin[2\pi F_o(1-\alpha)t]}{2\pi F_o t} + \frac{4\alpha}{\pi} \cos[2\pi F_o(1+\alpha)t] \right)$$

$$F_1 = F_o(1-\alpha), \quad F_2 = F_o(1+\alpha)$$

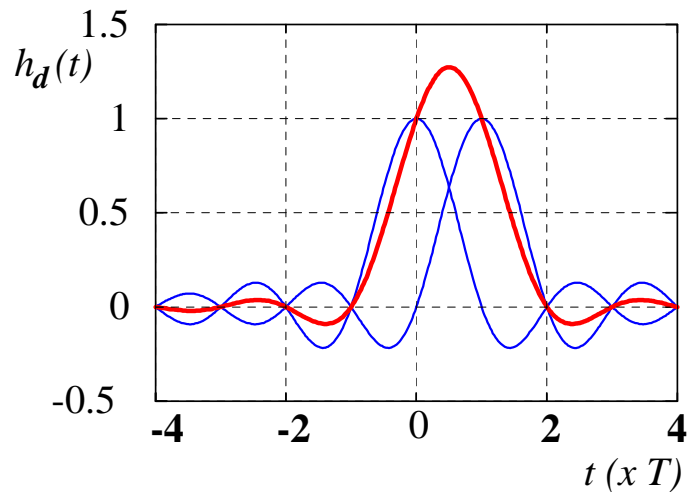
Σήματα Μερικής Απόκρισης (*Partial response signalling*)



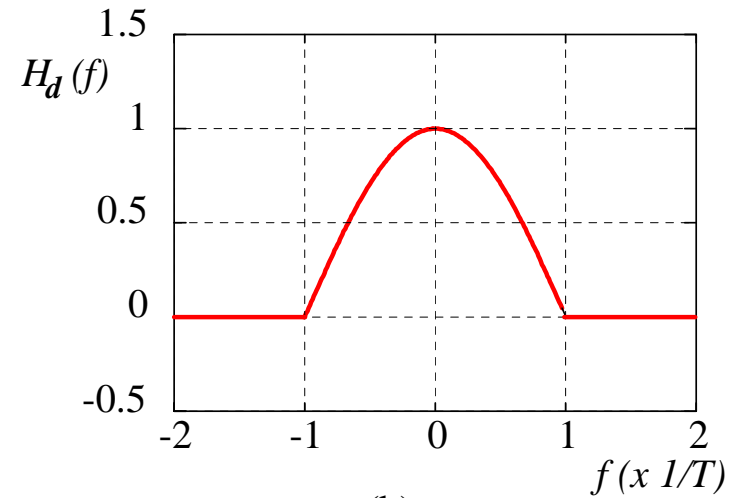
$$|H_d(f)| = |1 + e^{-j2\pi fT}| |H(f)| = \begin{cases} 2T \cos(\pi fT), & |f| < \frac{1}{2T} \\ 0, & \text{αλλου} \end{cases}$$

Σήματα Μερικής Απόκρισης (συνέχεια)

κρουστική απόκριση:



(a)



(b)

Σήματα Μερικής Απόκρισης (συνέχεια)

Precoding: $b_k = a_k \oplus b_{k-1}$

Decoding:

$a_k = 0$, αν απόλυτη τιμή σήματος = 2 V

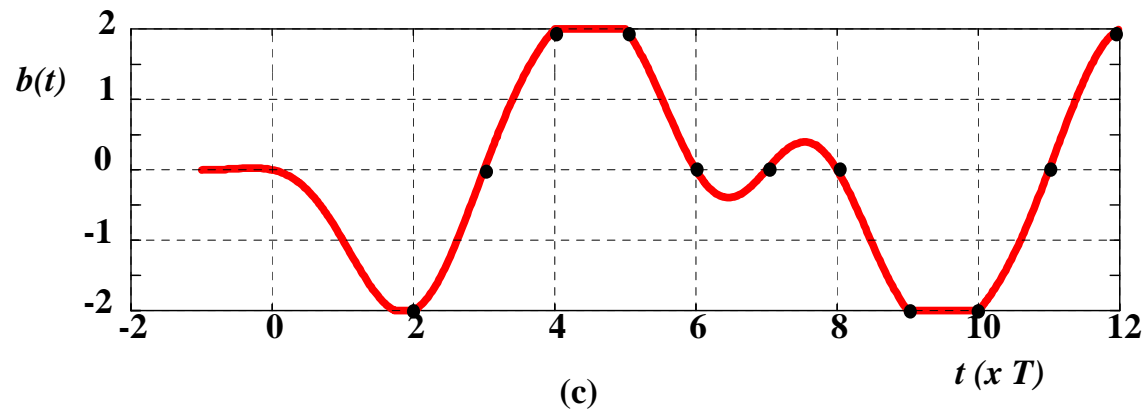
$a_k = 1$, αν απόλυτη τιμή σήματος = 0 V

a_k	b_{k-1}	b_k	$b_o[k]$
0	0	0	-2
0	1	1	2
1	0	1	0
1	1	0	0

Σήματα Μερικής Απόκρισης (συνέχεια)

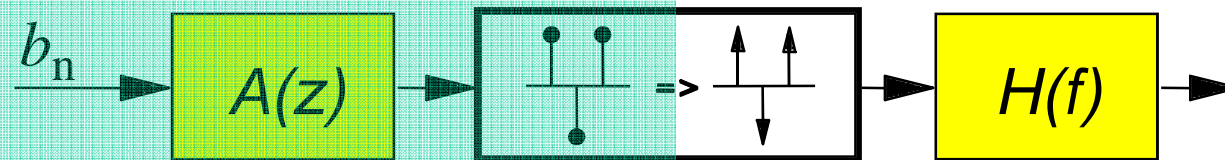
Παράδειγμα:

$$\begin{array}{l} a_k: \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \\ b_k: \quad 0 \quad 0 \quad 1 \quad 1 \quad 1 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 1 \quad 1 \end{array}$$

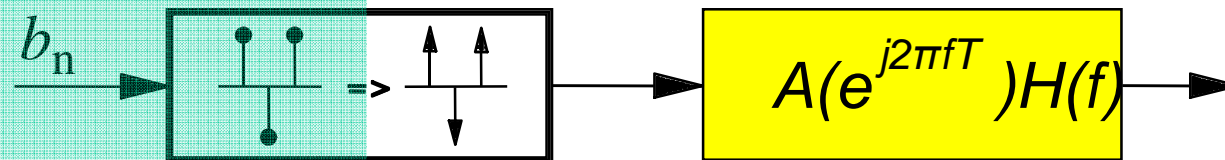


Γραμμικό *filtering* ψηφιακής ακολουθίας

Πεδίο διακριτού χρόνου



=



Βιβλιογραφία

- [1] B. Sklar *Ψηφιακές Επικοινωνίες, Θεωρία και Εφαρμογές*, Παπασωτηρίου, 2011. **Κεφάλαια 2, 3 (3.3)**
- [2] S. Haykin, M. Moher, *Συστήματα Επικοινωνίας*, 5^η έκδοση, Παπασωτηρίου 2010. **Κεφάλαιο 7**