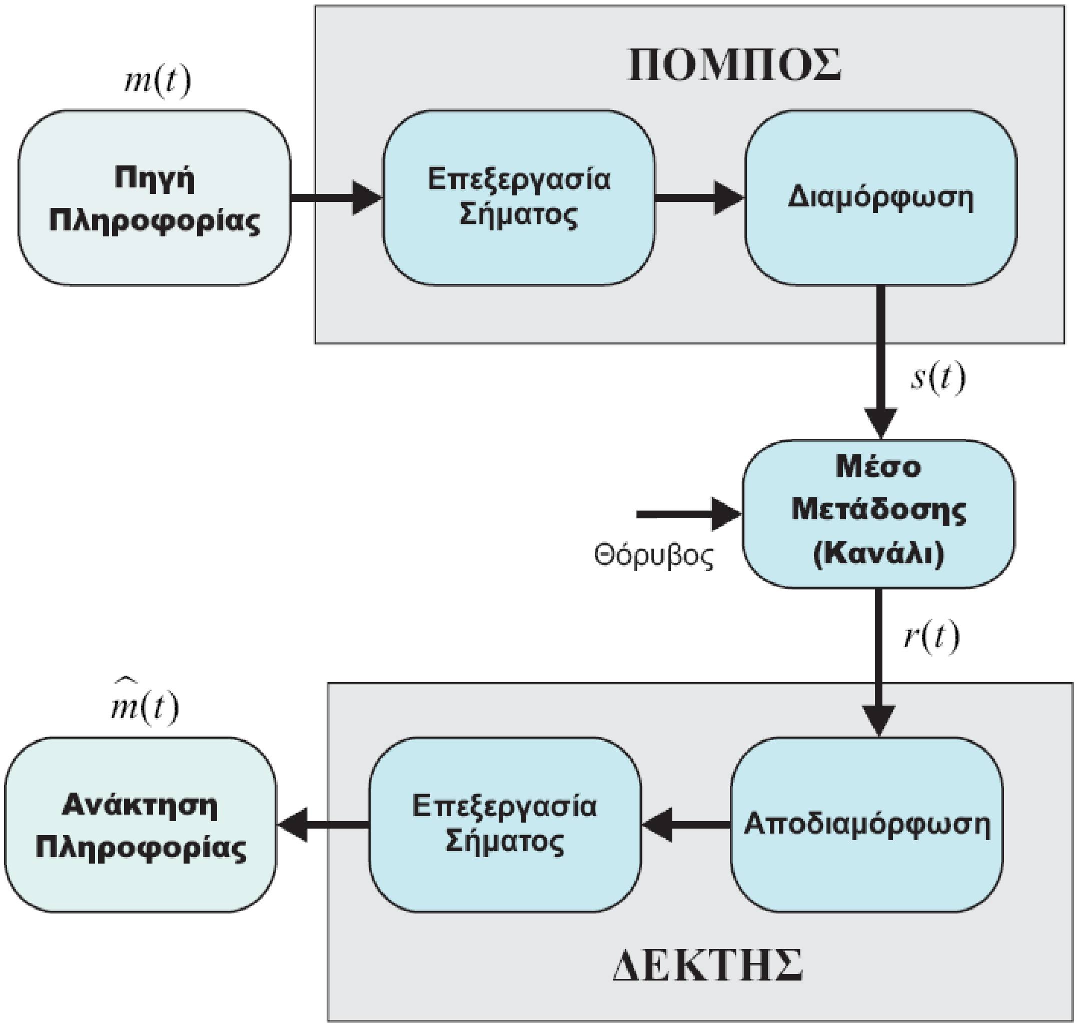
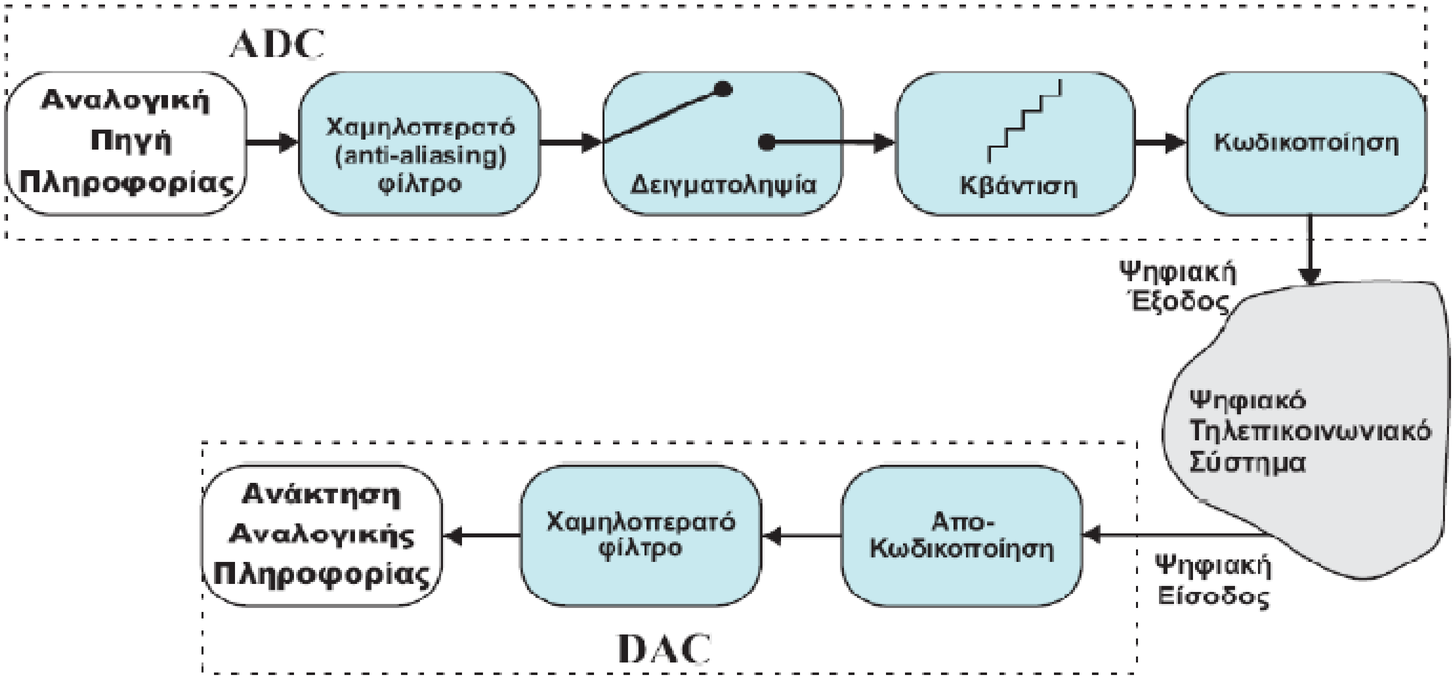
ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ - ΛΗΨΗΣ



Σύστημα ADC και DAC



- Το *Χαμηλοπερατό φίλτρο*, γνωστό και ως *anti-aliasing*, περιορίζει το φάσμα του αναλογικού σήματος, ώστε σε συνδυασμό με τη συχνότητα δειγματοληψίας να ικανοποιείται η συνθήκη του *Nyquist*, η οποία παρουσιάζεται στη συνέχεια.
- Ο *Δειγματολήπτης* (*Sampler*) μετατρέπει το αναλογικό σήμα συνεχούς χρόνου στο αντίστοιχο σήμα διακριτού χρόνου.
- Ο *Κβαντιστής* (*Quantizer*), έχοντας σαν είσοδο το διακριτό σήμα της εξόδου του δειγματολήπτη, προσεγγίζει τις διακριτές τιμές με συγκεκριμένα επίπεδα πλάτους.
- Ο *Κωδικοποιητής* (*Coder*) μετατρέπει την ακολουθία των επιπέδων πλάτους της εξόδου του κβαντιστή σε δυαδικές κωδικολέξεις (*codewords*).

Δειγματοληψία-Θεώρημα ή Συνθήκη Nyquist

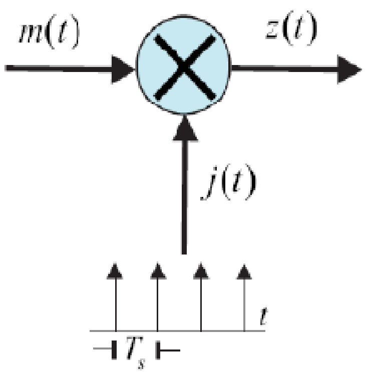
Θεώρημα *Έστω σήμα βασικής ζώνης* $m(t)$ *με φάσμα* $M(f)$ *για το οποίο ισχύει*

$$M(f) = 0, \;\; |f| > W.$$

Αν $m(kT_s)$ *είναι τα δείγματα του* $m(t)$ *τα οποία λαμβάνονται με συχνότητα* $f_s = \frac{1}{T_s}$ *(δηλαδή σε ισαπέχοντα χρονικά διαστήματα* T_s*), τότε είναι δυνατή η ακριβής ανάκτηση του* $m(t)$ *από τα δείγματα* $m(kT_s)$ *αν ισχύει*

$$T_s = \frac{1}{f_s} \leq \frac{1}{2W} \quad \Rightarrow f_s \geq 2W$$

Ιδανική Δειγματοληψία (Ideal Sampling)



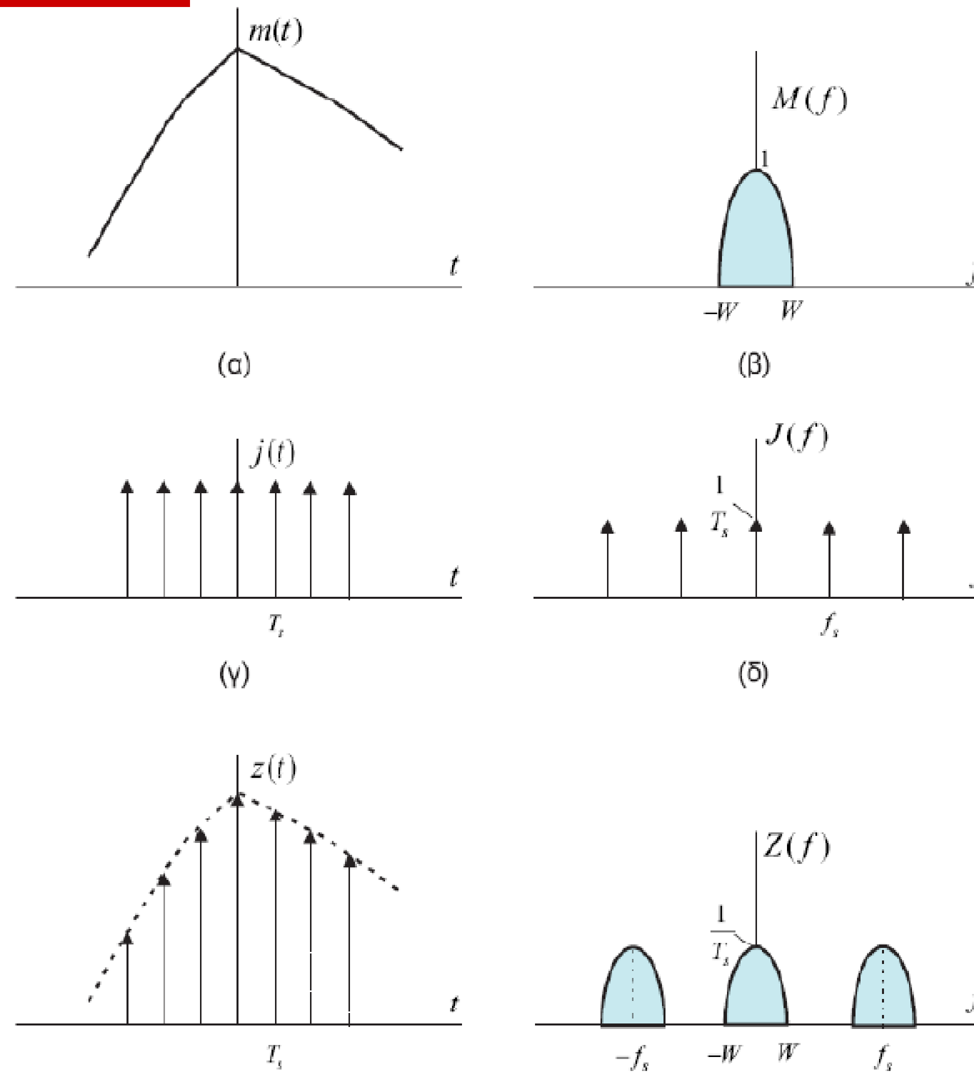
$$j(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(t - kT_s)$$

$$\mathcal{F}[j(t)] = J(f) = \frac{1}{T_s} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(f - \frac{k}{T_s})$$

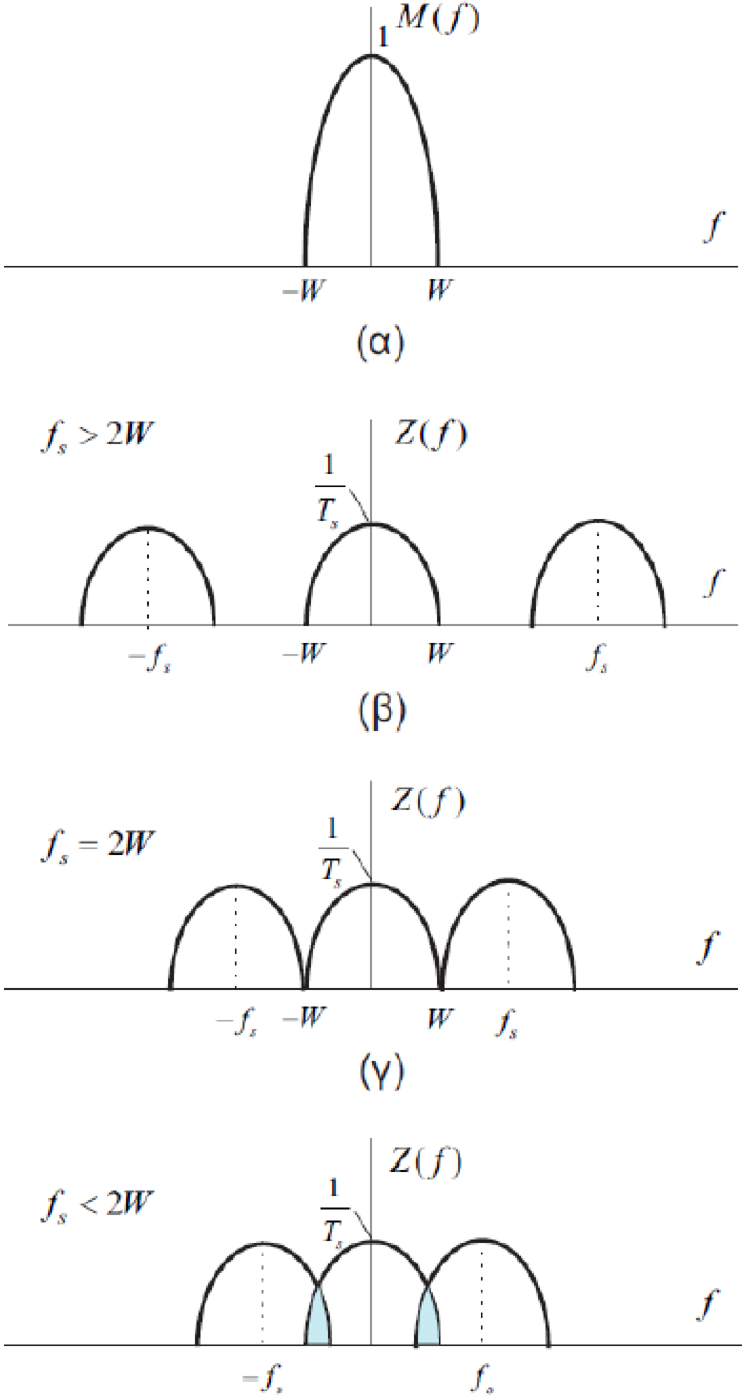
$$z(t) = m(t) \left[\sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(t - kT_s) \right] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} m(kT_s)\delta(t - kT_s)$$

$$Z(f) = M(f) * \frac{1}{T_s} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(f - \frac{k}{T_s})$$

$$= \frac{1}{T_s} \sum_{k=-\infty}^{\infty} M(f - \frac{k}{T_s}) = \frac{1}{T_s} \sum_{k=-\infty}^{\infty} M(f - kf_s)$$



Ρυθμός Δειγματοληψίας Περιπτώσεις



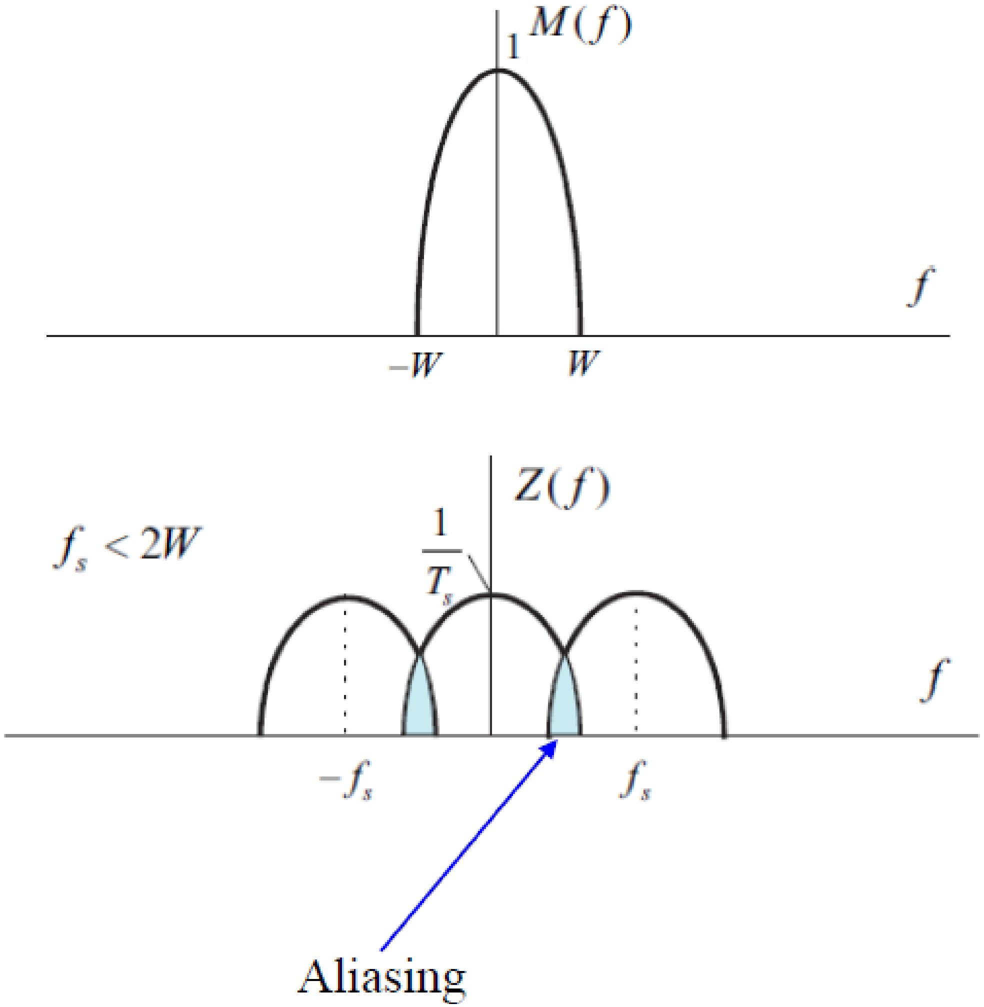
Ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψίας
Ρυθμός Nyquist

$$f_s = \frac{1}{T_s} = 2W.$$

Ανάκτηση στο δέκτη
με χαμηλοπερατό φίλτρο

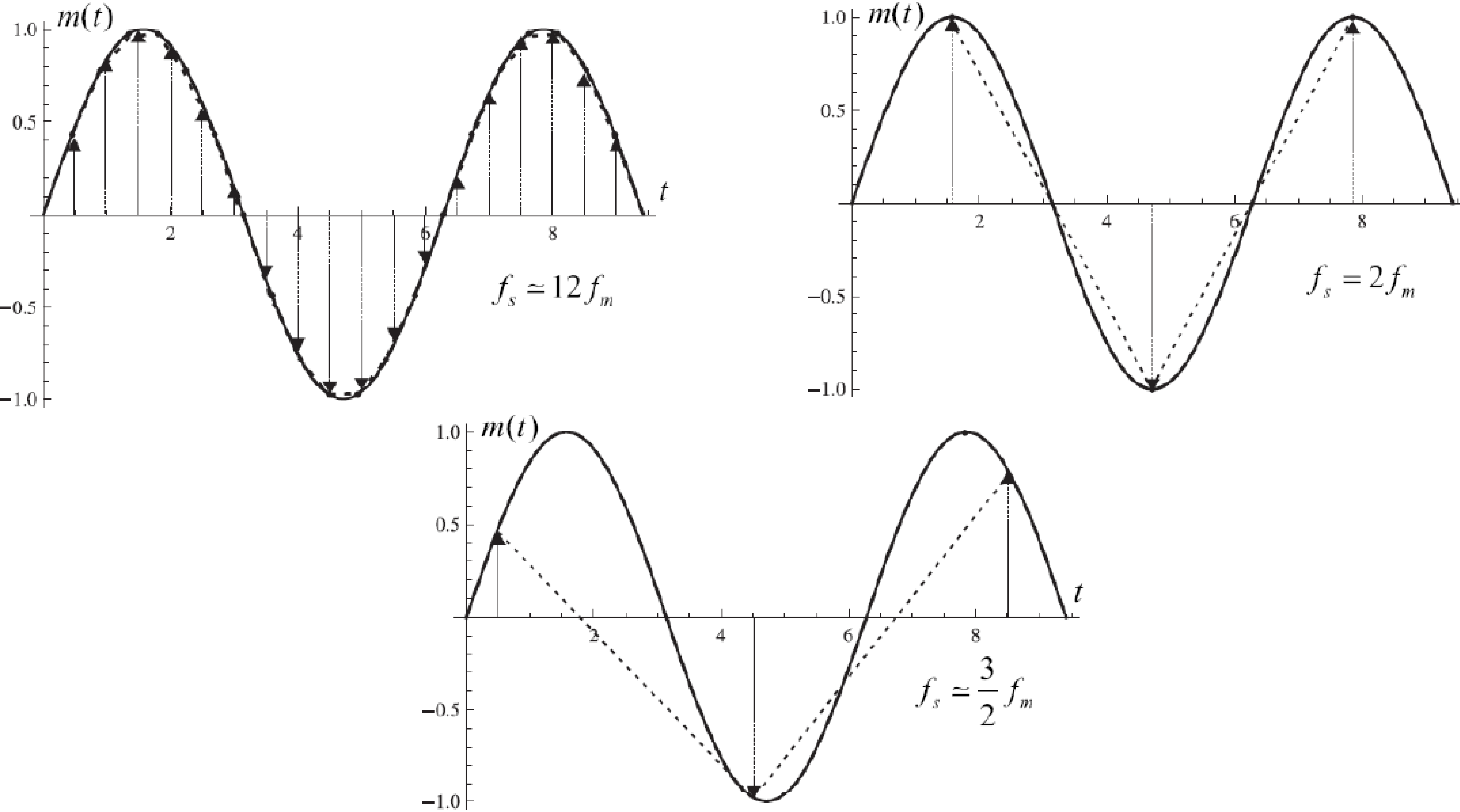
$$H(f) = \begin{cases} T_s, & f \in [-W, W] \\ 0, & \text{αλλού} \end{cases}$$

Ρυθμός Δειγματοληψίας



Το σήμα φιλτράρεται πριν την δειγματοληψία με ένα χαμηλοπερατό ή ζωνοπερατό φίλτρο (anti-aliasing) , ώστε να ικανοποιείται η συνθήκη του Nyquist.

Ρυθμός Δειγματοληψίας

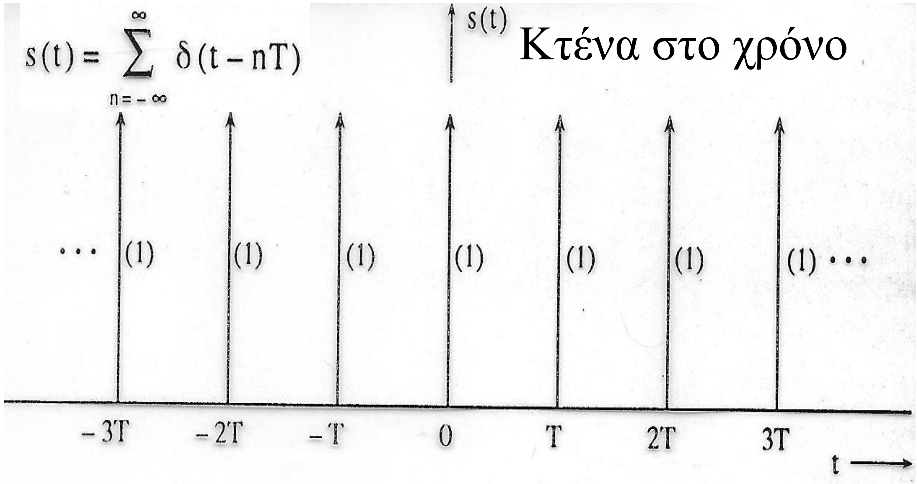


ΙΔΑΝΙΚΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ (ξανά!!!)

Λήψη ενός δείγματος από το f(t): $f(t)\delta(t-T)=f(T)\delta(t-T)$

$$s(t)=\sum_{n=-\infty}^{\infty}\delta(t-nT)$$

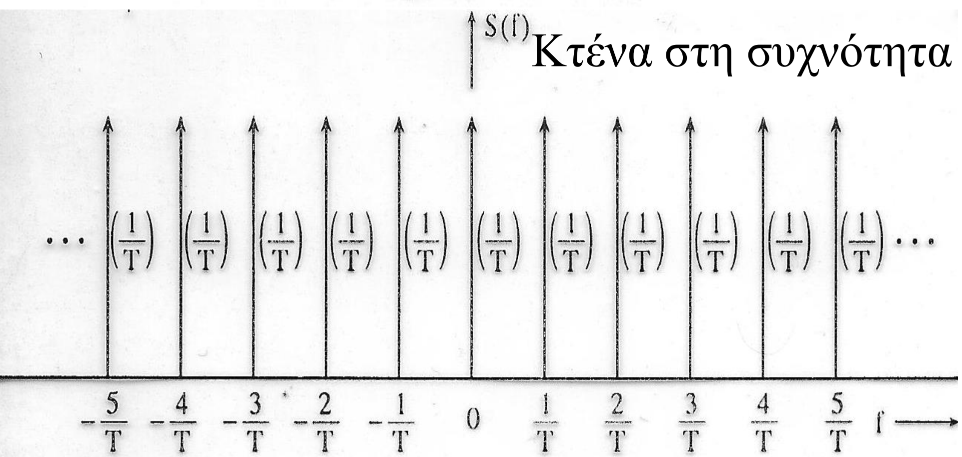
Κτένα στο χρόνο



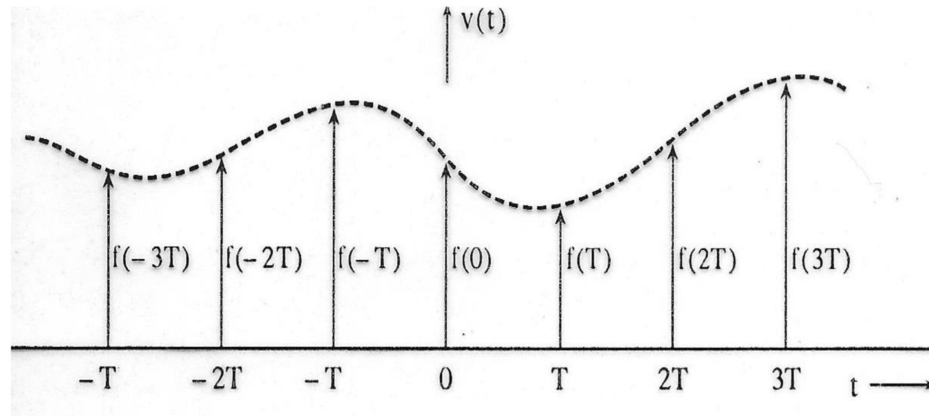
Ακολουθία περιοδικών παλμών δέλτα.

$$s(t)=\leftrightarrow S(f)=\frac{1}{T}\sum_{n=-\infty}^{\infty}\delta\left(f-\frac{n}{T}\right)$$

Κτένα στη συχνότητα



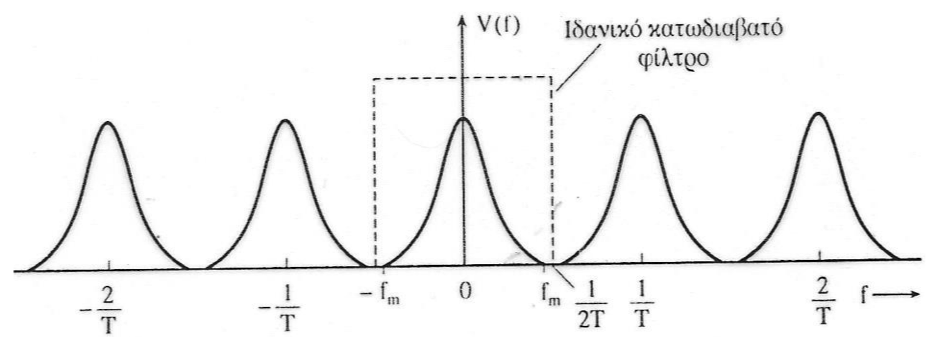
Δειγματοληψία: $v(t) = f(t)s(t)$



Φάσμα συχνοτήτων:

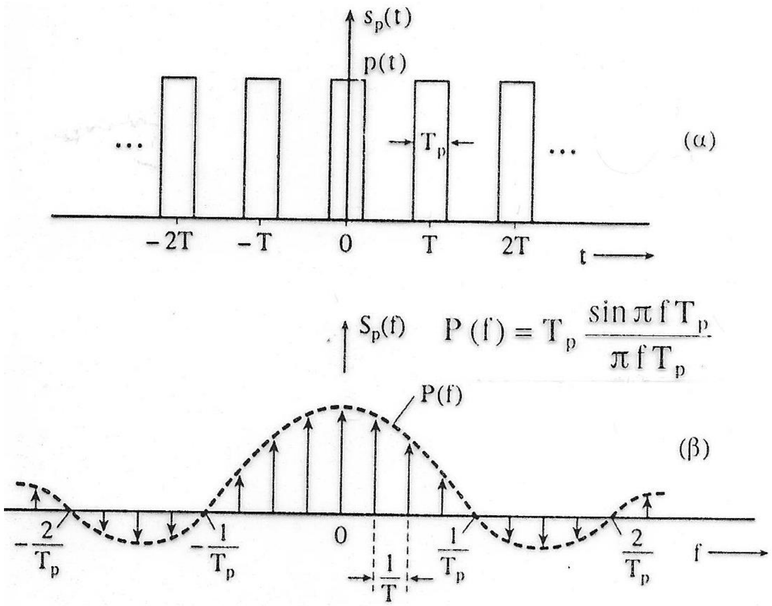
$$V(f)=F(f)*S(f)=\frac{1}{T}\sum_{n=-\infty}^{\infty}F\left(f-\frac{n}{T}\right)$$

όπου $f(t)\leftrightarrow F(f)$



Φάσμα σήματος μετά τη δειγματοληψία με περιοδικούς παλμούς δέλτα.

ΦΥΣΙΚΗ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ - PAM



Περιοδική ακολουθία ορθογώνιων παλμών (α) και αντίστοιχο φάσμα (β).

$$s_p(t) = p(t) * s(t) = \sum_{n=-\infty} p(t - nT) \leftrightarrow S_p(f)$$

$$\text{όπου } p(t) = \begin{cases} 1, & |t| \leq \frac{T_p}{2} \\ 0, & |t| > \frac{T_p}{2} \end{cases} \leftrightarrow P(f)$$

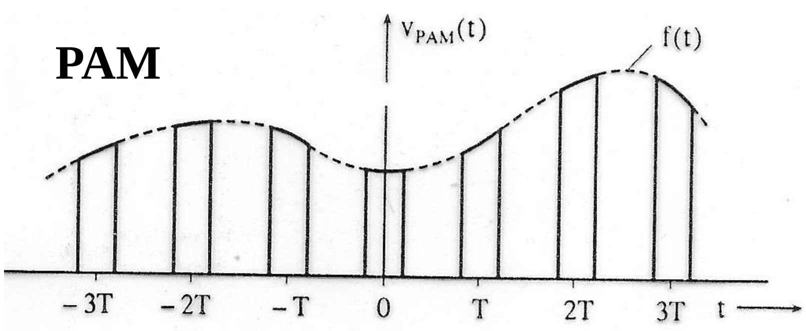
$$S_p(f) = P(f)\,S(f) = \frac{T_p}{T} \frac{\sin(\pi f T_p)}{\pi f T_p} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta\left(f - \frac{n}{T}\right) =$$

$$= \frac{T_p}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \frac{\sin(\pi n T_p/T)}{\pi n T_p/T}\, \delta\left(f - \frac{n}{T}\right)$$

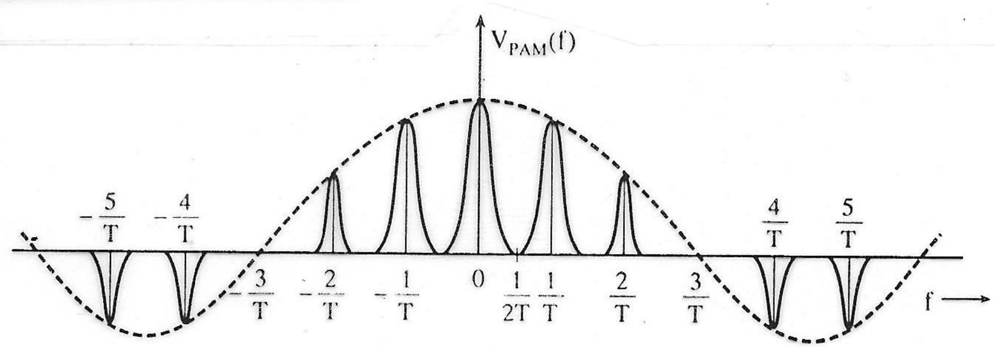
$$v_{PAM}(t) = f(t)\, s_p(t) = f(t)\,|p(t) * s(t)| \leftrightarrow V_{PAM}(f)$$

Το φάσμα $V_{PAM}(f)$ προσδιορίζεται εύκολα από τη συνέλιξη των φασμάτων $F(f)$ και $S_p(f)$

PAM



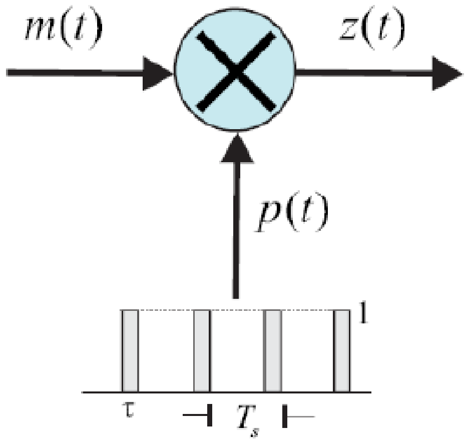
Διαμόρφωση παλμών κατά πλάτος.



Φάσμα παλμοσειράς διαμορφωμένης κατά πλάτος.

ξανά!!!

Δειγματοληψία παλμού (Pulse Sampling) ή Πρακτική Δειγματοληψία

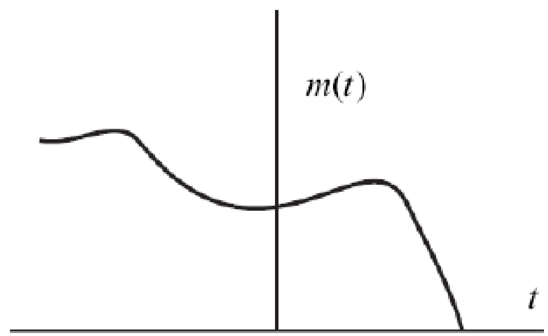


$$p(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} y_p(t - kT_s)$$

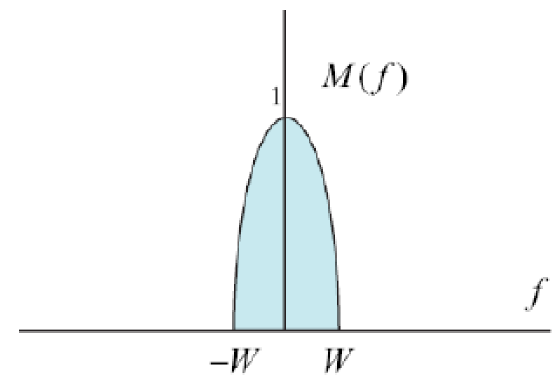
$$y_p(t) = \begin{cases} 1, & t \in [-\frac{\tau}{2}, \frac{\tau}{2}] \\ 0, & \text{αλλού} \end{cases}$$

$$P(f) = \frac{\tau}{T_s} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \operatorname{sinc}(k f_s \tau)\, \delta(f - k f_s)$$

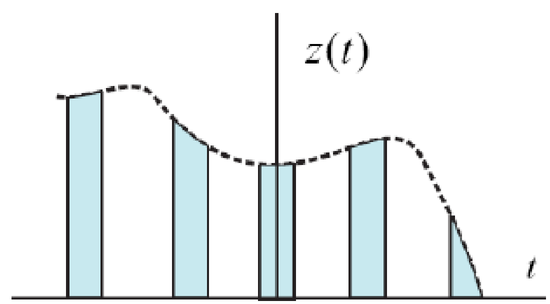
$$Z(f) = M(f) * P(f) = \frac{\tau}{T_s} \sum_{k=-\infty}^{\infty} \operatorname{sinc}(k f_s \tau)\, M(f - k f_s)$$

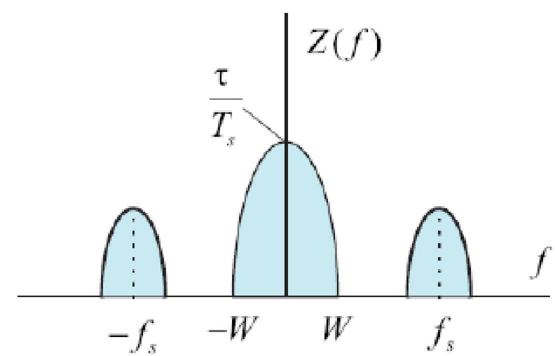


(α)



(β)

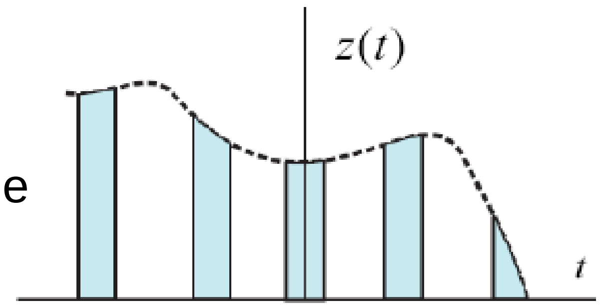


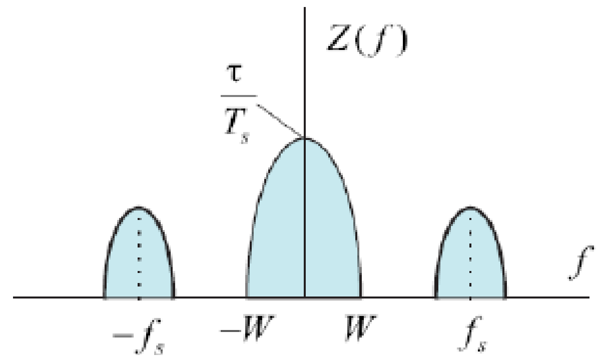


Σήμα PAM
Pulse Amplitude Modulation

Δειγματοληψία παλμού (Pulse Sampling) Συμπεράσματα

Σήμα PAM
Pulse Amplitude
Modulation



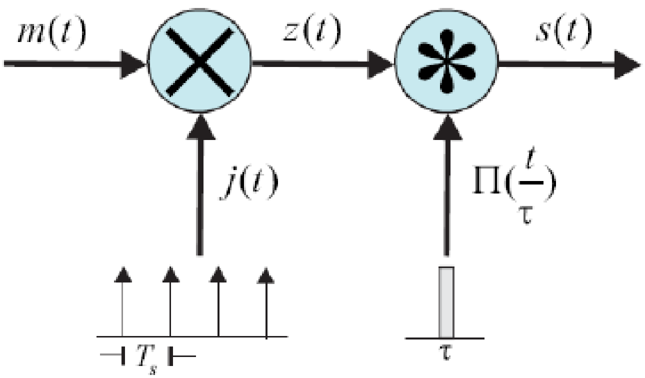


- Το φάσμα της εξόδου του δειγματολήπτη παλμού έχει παρόμοια μορφή με αυτό του ιδανικού δειγματολήπτη. Η διαφορά είναι ότι τα αντίγραφα του φάσματος του σήματος εισόδου πολλαπλασιάζονται με ένα παράγοντα $\operatorname{sinc}(kf_s\tau)$, ο οποίος δεν είναι σταθερός (στην ιδανική δειγματοληψία είναι μονάδα) αλλά μειώνεται με αύξηση του k.

  Όμως επειδή ο παράγοντας αυτός δε μεταβάλλεται με τη συχνότητα δεν προκαλείται παραμόρφωση στα αντίγραφα του $M(f)$ που αποτελούν το $Z(f)$

- Όταν ικανοποιείται η συνθήκη του Nyquist, δηλαδή $f_s \geq 2W$, είναι δυνατή η ανάκτηση του αναλογικού σήματος $m(t)$ στον DAC μέσω ενός χαμηλοπερατού φίλτρου όπως και στην περίπτωση της ιδανικής δειγματοληψίας.

Δειγματοληψία επίπεδης κορυφής (Flat-top sampling)



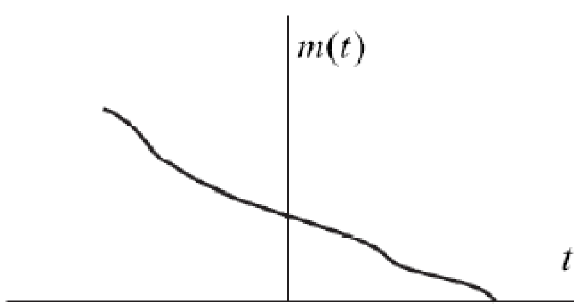
$$j(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(t - kT_s)$$

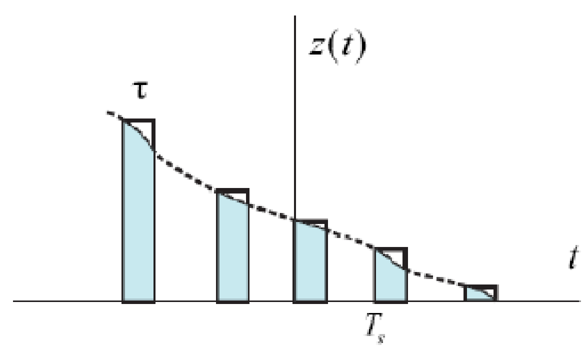
$$z(t) = x(t)\left[\sum_{k=-\infty}^{\infty} \delta(t - kT_s)\right] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x(kT_s)\delta(t - kT_s)$$

$$p(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} y_p(t - kT_s)$$

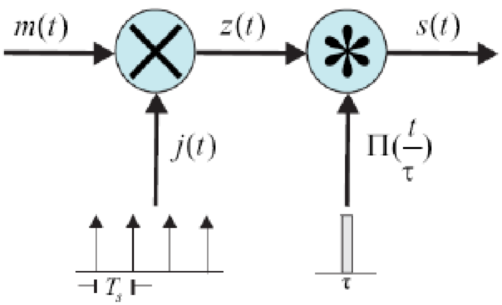
$$s(t) = [m(t)\, j(t)] * \Pi(\frac{t}{\tau})$$

$$S(f) = \frac{\tau \mathrm{sinc}(f\tau)}{T_s} \sum_{k=-\infty}^{\infty} M(f - kf_s)$$





Δειγματοληψία επίπεδης κορυφής (Flat-top sampling) Πεδίο συχνότητας



$$S(f) = \frac{\tau \operatorname{sinc}(f\tau)}{T_s} \sum_{k=-\infty}^{\infty} M(f - kf_s)$$

- Το φάσμα του $s(t)$ αποτελείται από παραμορφωμένα αντίγραφα του φάσματος του αναλογικού σήματος, επαναλαμβανόμενα στις συχνότητες $\pm f_s$.

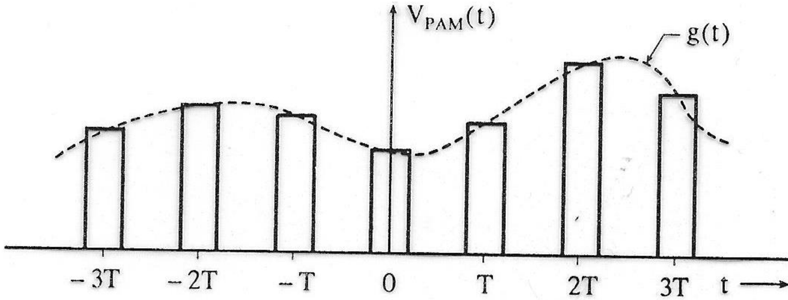
- Η παραμόρφωση οφείλεται στον πολλαπλασιασμό στο πεδίο συχνοτήτων με τον παράγοντα $\tau \operatorname{sinc} f\tau$, ο οποίος προκαλεί παραμόρφωση του $s(t)$.

- Για την ανάκτηση του αναλογικού σήματος στον DAC χωρίς παραμόρφωση απαιτείται επιπλέον του χαμηλοπερατού φίλτρου και ένα φίλτρο με απόκριση συχνότητας,

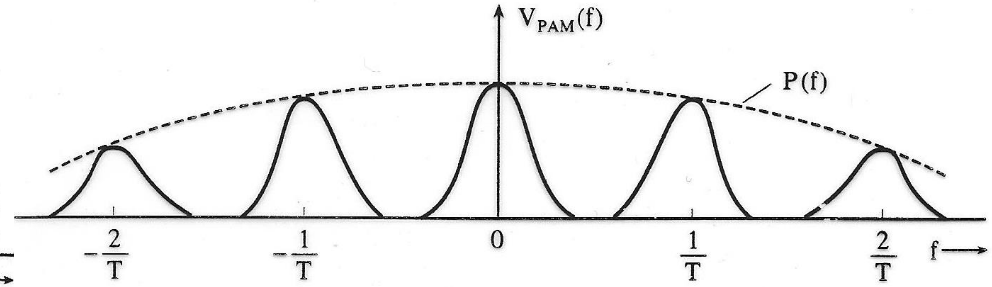
$$H(f) = \frac{1}{\tau \operatorname{sinc} f\tau},$$

προκειμένου να αντισταθμιστεί ο όρος $\tau \operatorname{sinc} f\tau$ στην (1.24). Η χρησιμοποίηση αυτού του φίλτρου ονομάζεται *ισοστάθμιση* (*equalising*).

ΣΤΙΓΜΙΑΙΑ ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ (Top Sampling) ξανά!!!



Στιγμιαία δειγματοληψία.



Φάσμα παλμοσειράς διαμορφωμένης με στιγμιαία δειγματοληψία σήματος.

Σήμα της ανωτέρω μορφής μπορεί να ληφθεί με δειγματοληψία του σήματος Χ.Σ. με πολύ στενούς παλμούς (θεωρητικά παλμούς δέλτα) και επέκταση κατόπιν των παλμών στο χρόνο με ένα κύκλωμα συγκράτησης (Holding circuit)

Για τον υπολογισμό του φάσματος παλμοσειράς διαμορφωμένης με στιγμιαία δειγματοληψία προχωρούμε ως εξής: Πρώτα εφαρμόζεται δειγματοληψία του σήματος Χ.Σ. με ακολουθία περιοδικών παλμών δέλτα s(t) (συνάρτηση δειγματοληψίας) με αποτέλεσμα τη δημιουργία σήματος δειγμάτων v(t)

$$v(t) = f(t)\,s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} f(nT)\,\delta(t-nT)$$

Κατόπιν, η συνάρτηση v(t) συνελίσσεται με τον ορθογώνιο παλμό p(t), διαδικασία που δίνει σήμα PAM με παλμούς επίπεδης κορυφής.

$$v_{PAM}(t) = v(t) * p(t) = [f(t)\,s(t)] * p(t)$$

$$V_{PAM}(f) = V(f)P(f) = [\,F(f) * S(f)\,]\,P(f)$$