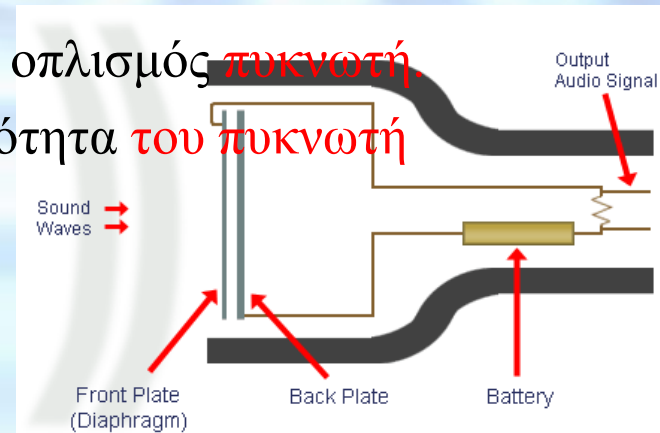


**Επεξεργασία Ήχου Φωνής**  
**3<sup>η</sup> Διάλεξη**

**Θεωρία ψηφιακού ήχου**

# Μετατροπή Ήχου σε Σήμα

- Για να γίνει η επεξεργασία του ηχητικού κύματος πρέπει να μετατραπεί σε ηλεκτρικό σήμα. Η διαδικασία αυτή γίνεται μέσω μικροφώνων. Χαρακτηριστικά Μικροφώνων:
  - Γραμμική απόκριση σε όλο το ακουστικό φάσμα.
  - Ικανοποιητική ευαισθησία.
  - Ικανοποιητική κατευθυντικότητα.
  - Να μην προκαλεί παραμορφώσεις και σφάλματα.
- Είδη μικροφώνων κρυσταλλικά, δυναμικά, μικρόφωνα πυκνωτή, άνθρακα κλπ.
- Σύντομη περιγραφή μικροφώνου πυκνωτή
  - Ό ήχος προσπίπτει σε διάφραγμα που είναι ο ένας οπλισμός **πυκνωτή**.
  - Ανάλογα την ένταση του ήχου αλλάζει η χωρητικότητα **του πυκνωτή**
  - Ανάλογα αλλάζει και το ρεύμα του μικροφώνου.Δυναμικό εύρος 35-140 DB.



# Επεξεργασία σήματος

- Η επεξεργασία τώρα του σήματος, η δυνατότητα δηλαδή παρέμβασης στο σήμα που προκύπτει από την καταγραφή του ήχου, μπορεί να γίνει είτε με αναλογικό τρόπο είτε με ψηφιακό.
- Στην περίπτωση της αναλογικής επεξεργασίας το αναλογικό σήμα που καταγράφεται, αλληλεπιδρά με ηλεκτρονικές διατάξεις όπως πηνία, πυκνωτές ή ολοκληρωμένα κυκλώματα παραμένοντας σ' όλη την διάρκεια της διαδικασίας αναλογικό.
- Στην περίπτωση ψηφιακής επεξεργασίας το σήμα ψηφιοποιείται και εν συνεχεία υφίσταται επεξεργασία ως ψηφιακό σήμα.

# Ψηφιακός Ήχος

- Ήχος
- Ηλεκτρικό –αναλογικό σήμα
- Ψηφιοποίηση
- Αποθήκευση
- Ανάκληση
- Μεταφορά ;
- Αναπαραγωγή

# Πλεονεκτήματα

- Η υψηλότερη σχέση σήματος προς θόρυβο και η αυξημένη δυναμική περιοχή λειτουργίας.
- Η ευκολότερη αποθήκευση και μετάδοση του ηχητικού σήματος και η επικοινωνία των συσκευών με τα ψηφιακά τηλεπικοινωνιακά και υπολογιστικά συστήματα.
- Η ευκολία στην χρήση, το χαμηλότερο κόστος παραγωγής και το μικρότερο μέγεθος.
- Η αέναη; δυνατότητα διατήρησης της ηχογραφημένης πληροφορίας σε ψηφιακή μορφή.
- Η αυξημένη δυνατότητα επεξεργασίας και εφαρμογής υπολογιστικών τεχνικών

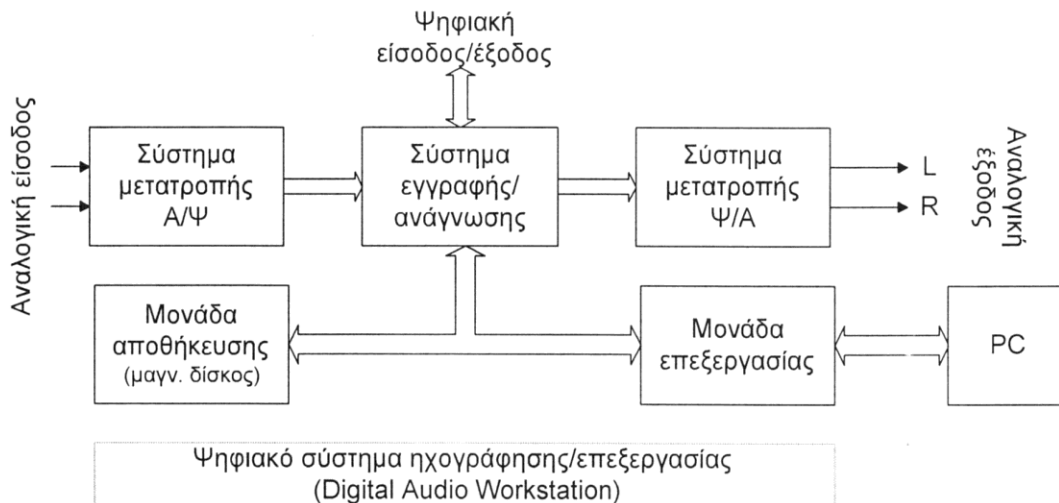
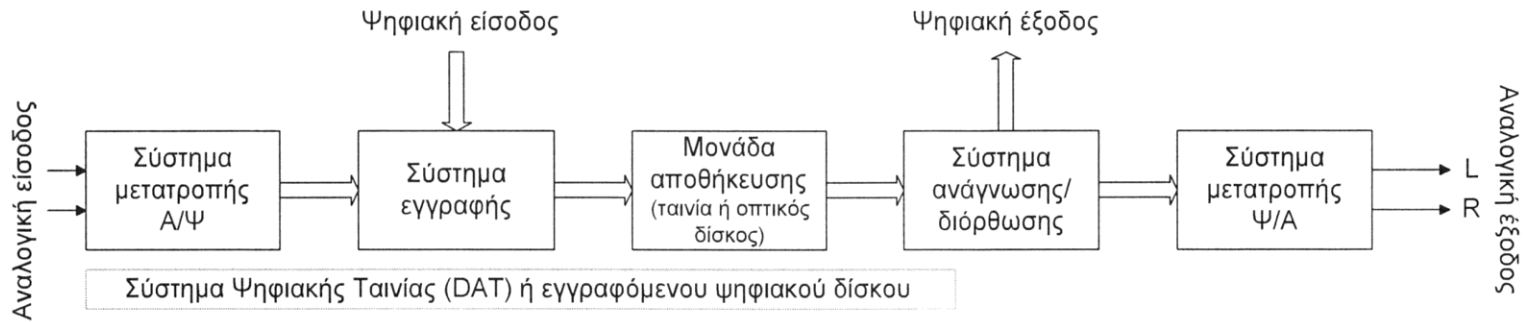
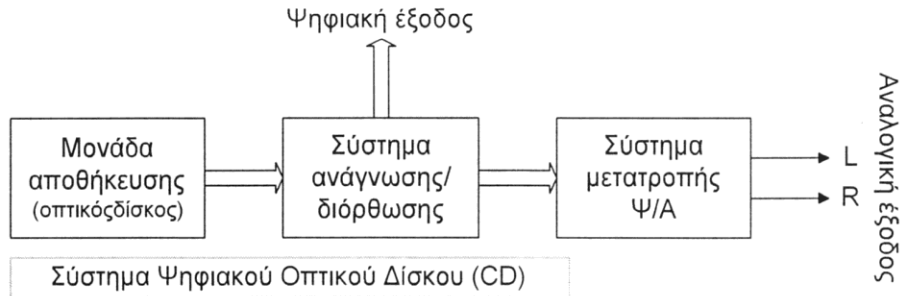
# Μειονέκτημα

- Κύριο μειονέκτημα θεωρείται η ανάγκη μετατροπής του εγγενώς αναλογικού ηχητικού σήματος σε ψηφιακό (και η αντίστοιχη μετατροπή του ψηφιακού σε αναλογικό κατά την αναπαραγωγή), διαδικασία που εμφανίζει πάντα ορισμένες παραμορφώσεις.

# Ψηφιακά υποσυστήματα

- Μετατροπείς Αναλογικού σε Ψηφιακό (Α/Ψ) και Ψηφιακού σε Αναλογικό (Ψ/Α) ηχητικού σήματος (Analog to Digital, A/D ή ADC και Digital to Analog, D/A Converter ή DAC).
- Ψηφιακά υποσυστήματα κωδικοποίησης και μετάδοσης ηχητικών σημάτων (PCM, ADPCM κλπ).
- Υποσυστήματα αποθήκευσης ψηφιακών ηχητικών δεδομένων (μαγνητική ταινία, σκληρός δίσκος, Οπτικός Δίσκος CD, ταινία DAT, κλπ).
- Ειδικοί ψηφιακοί επεξεργαστές ήχου (audio processors).
- Υποσυστήματα λογισμικού επεξεργασίας και διαχείρισης ηχητικών δεδομένων (π.χ. προγράμματα διαχείρισης ηχητικών αρχείων σε υπολογιστές).
- Συστήματα(προγράμματα) συμπίεσης ήχου mp3 κλπ.

# Τυπικές Υλοποιήσεις Ψηφιακών Συστημάτων

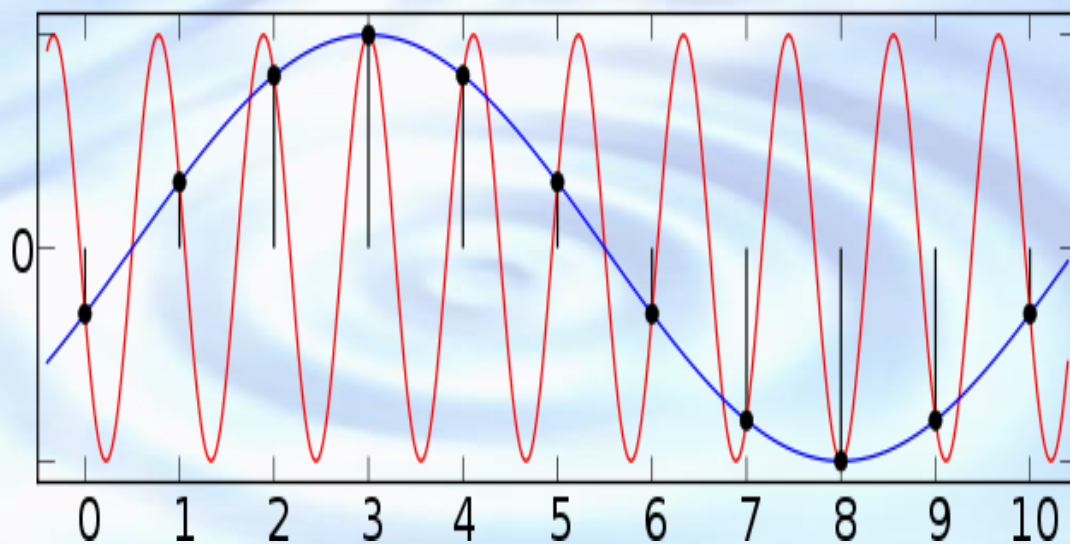
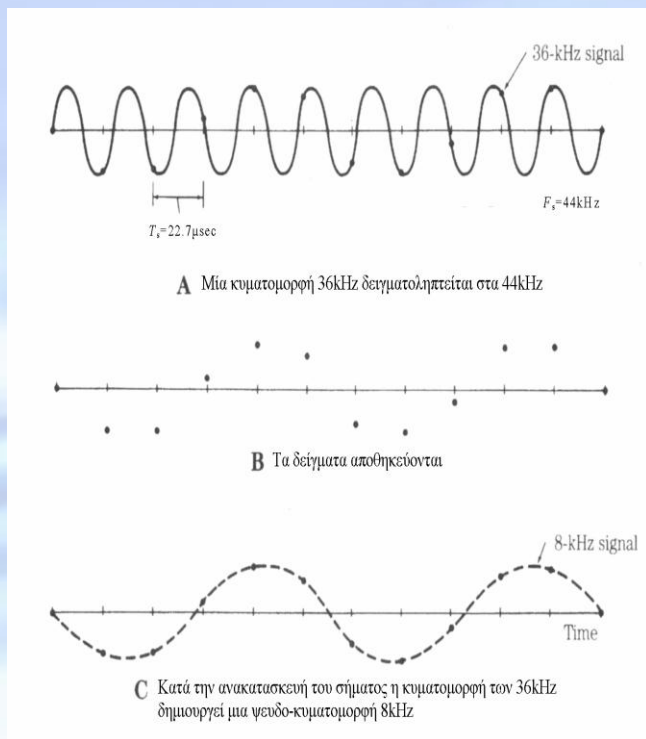


# ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

- **Δειγματοληψία:** η διαδικασία κατά την οποία ένα αναλογικό σήμα  $s_c(t)$  μετατρέπεται σε σήμα διακριτού χρόνου (σήμα το οποίο ορίζεται σε διακριτές χρονικές στιγμές), πραγματοποιείται δηλαδή μια απεικόνιση της μορφής  $s_c(t) \rightarrow s_d(nTs)$ , όπου  $n = 1, 2, \dots$  ο αριθμός του δείγματος και  $Ts$  (sec) είναι η περίοδος δειγματοληψίας. Το χρονικά συνεχές αναλογικό σήμα μετατρέπεται σε πεπερασμένο αριθμό διαδοχικών τιμών τα αναλογικά στιγμιότυπα
- **Κβαντισμός:** οι διαδοχικές τιμές της στάθμης (πλάτους) του σήματος διάκριτου χρόνου  $s_d(nTs)$  μετατρέπονται σε διάκριτες (ψηφιακές) τιμές, πραγματοποιείται δηλαδή μια απεικόνιση της μορφής  $s_d(nTs) \rightarrow \langle s_d(nTs) \rangle$ , όπου  $\langle s_d(nTs) \rangle$  είναι η κβαντισμένη τιμή στάθμης του σήματος.

# Δειγματοληψία ηχητικών σημάτων

- **Θεώρημα Nyquist–Shannon** : αν  $F_s$  είναι η τιμή της συχνότητας δειγματοληψίας, η μέγιστη συχνότητα του αναλογικού σήματος για να μην εμφανιστούν φαινόμενα φασματικής αναδίπλωσης στο ψηφιακό σήμα πρέπει να είναι υποδιπλάσια της συχνότητας δειγματοληψίας, δηλαδή πρέπει να ισχύει  $f_{\max} \leq F_s/2$ .



# Δειγματοληψία

- Από το Θεώρημα Nyquist αποδεικνύεται ότι κατά την απεικόνιση των  $s_c(t) \rightarrow s_d(nTs)$ , στο πεδίο της συχνότητας προκύπτει μια σχέση μεταξύ του φάσματος του αναλογικού σήματος  $S_c(f)$  και του φάσματος του ψηφιακού σήματος  $S_d(f)$  της μορφής 
$$S_d(f) = \frac{1}{Ts} \sum_{k=-\infty}^{+\infty} S_c(f - kFs)$$
- Για  $F_s=44$  kHz και  $f=8$  kHz λαμβάνοντας υπόψη μόνο  $k=-1,0,1$

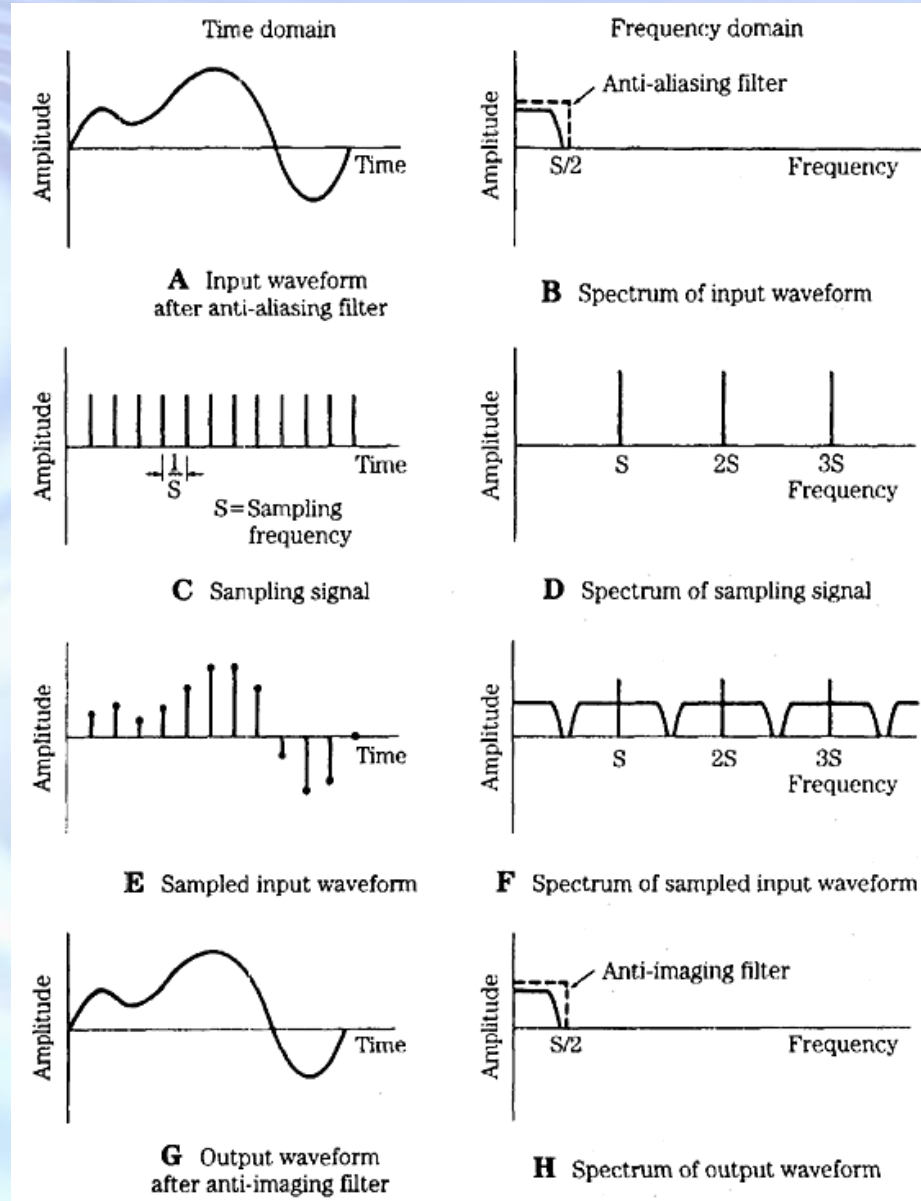
$$S_d(8\text{kHz}) = \frac{1}{Ts} [S_c(8\text{kHz} - 44\text{kHz}) + S_c(8\text{kHz}) + S_c(8\text{kHz} + 44\text{kHz})] \Rightarrow$$

$$S_d(8\text{kHz}) = \frac{1}{Ts} [S_c(-32\text{kHz}) + S_c(8\text{kHz}) + S_c(54\text{kHz})].$$

- Παρατηρούνται συχνότητες 32,8,54 kHz
- Θεραπεία: χαμηλοπερατά φίλτρα
- Για ήχο με συχνότητες μέχρι 20 kHz συνήθης συχνότητα δειγματοληψίας 44kHz

# Επίδραση φίλτρων Antialiasing

Όπως φαίνεται παραπάνω είναι απαραίτητη, η όσο το δυνατό μεγαλύτερη απόσταση της συχνότητας δειγματοληψίας από την συχνότητα του σήματος για να μην έχουμε εμφάνιση συχνοτήτων – ειδώλων κοντά στην συχνότητα του ήχου που ψηφιοποιείται



# Αντιστοιχήσεις

$$s_d(nTs) = s(n)$$

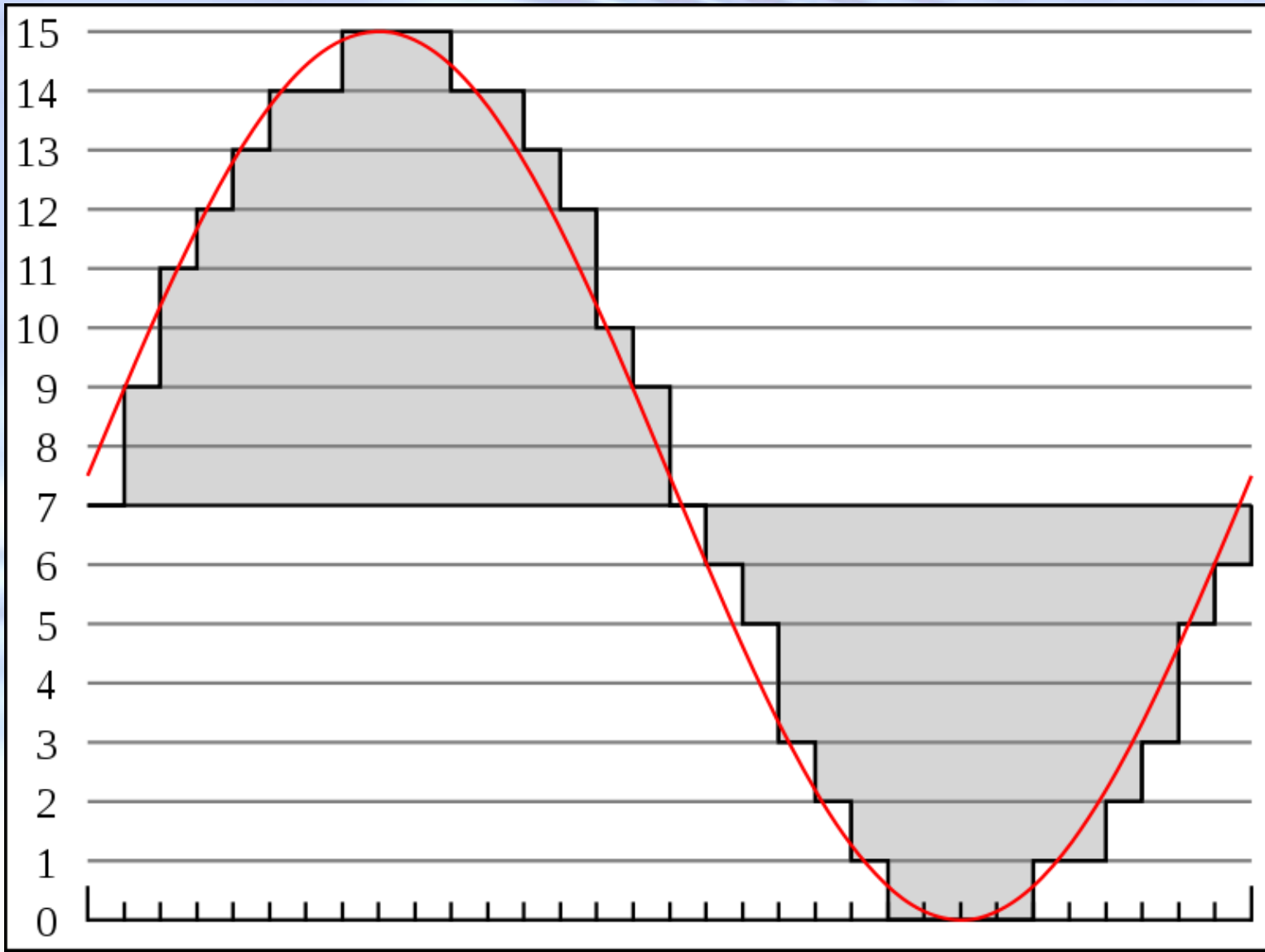
$$\langle s_d(nTs) \rangle = Q\{s(n)\} = \hat{s}(n)$$

# Κβαντισμός ηχητικών σημάτων

- Η αναλογική κυματομορφή του ακουστικού σήματος διάκριτου χρόνου  $s(n)$  έχει άπειρο αριθμό τιμών πλάτους. Κατά την Α/Ψ μετατροπή, οι τιμές αυτές αντιστοιχίζονται σε πεπερασμένο αριθμό σταθμών (τιμών πλάτους), το πλήθος των οποίων εξαρτάται από την τάξη του κβαντιστή.
- Μαθηματική περιγραφή της κβάντισης  $\hat{s}(n) = Q\{s(n)\}$
- Κάθε δυνατή έξοδος του κβαντιστή κωδικοποιείται από λέξη μήκους N bit
- Συνολικό πλήθος σταθμών  $2^N$
- N: ευκρίνεια κβαντισμού, τάξη κβαντιστή.
- Δ: Απόσταση μεταξύ σταθμών, βήμα κβαντισμού ή τιμή Ελάχιστά Σημαντικού Ψηφίου (LSB)
- Στην πράξη, το βήμα κβαντισμού Δ ορίζεται σαν η αύξηση της τάσης εισόδου που απαιτείται να εφαρμοστεί στην είσοδο ενός κβαντιστή για την αλλαγή του λιγότερο σημαντικού ψηφίου (LSB) της εξόδου του όπου  $s_{\max}$  το μέγιστο πλάτος εισόδου

$$\Delta = LSB = \frac{s_{\max}}{2^{N-1}}$$

# Αναλογικό και ψηφιακό σήμα ... bits

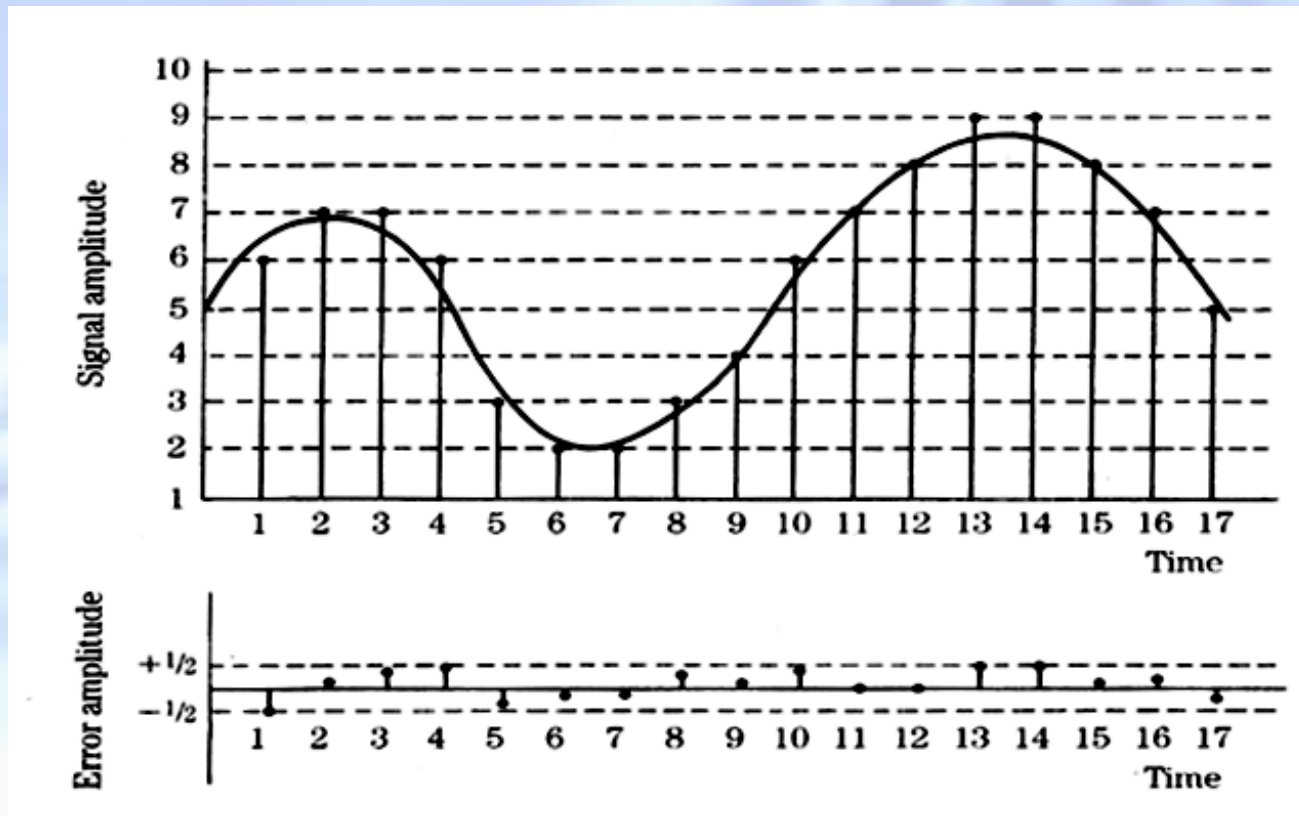


# Κβαντισμός ηχητικών σημάτων

- **Παράδειγμα:** Μία ψηφιακή κάρτα ήχου δέχεται στην είσοδό της αναλογικό σήμα 5V. Κατά την ψηφιοποίηση του σήματος χρησιμοποιείται κβαντιστής τάξης  $N=12$  bit. Ποιά είναι η ελάχιστη μεταβολή της τάσης σε Volt που απαιτείται για την αλλαγή του λιγότερου σημαντικού ψηφίου (LSB); Από πόσους σταθμούς κβαντοποίησης διέρχεται ένα ημιτονικό σήμα πλάτους 0.1 V;
- Είναι  $\Delta = \frac{5V}{2^{12-1}} = \frac{5V}{2^{11}} = 0.00244V = 2,44mV$  Το ημιτονικό σήμα έχει πλάτος από κορυφή σε κορυφή (p-p)  $2 \cdot 0,1V = 0,2V = 200mV$ .  
Επομένως διέρχεται από  $200/2,44=82$  σταθμούς κβαντισμού.

# Σφάλμα Κβαντισμού

- Κατά τον ιδανικό κβαντισμό ενός αναλογικού σήματος διακριτού χρόνου  $s(n)$  παράγεται ένα σήμα και εμφανίζεται σφάλμα κβαντισμού  $e(n)$ , τότε
$$e(n) = \hat{s}(n) - s(n)$$



# Παραδοχές Σφάλματος Κβαντισμού

- Για την ανάλυση της μορφής του σφάλματος κβαντισμού ως μία στατιστική διαδικασία είναι απαραίτητο να γίνουν οι ακόλουθες παραδοχές:
  1. Η σειρά των τιμών του σφάλματος  $e(n)$  είναι στατιστικά στάσιμη
  2. Είναι στατιστικά ασυσχέτιστη με το σήμα  $s(n)$
  3. Τα δείγματά της είναι επίσης μεταξύ τους ασυσχέτιστα και προσεγγίζουν τη συμπεριφορά του λευκού θορύβου
  4. Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του λάθους είναι ομοιόμορφη