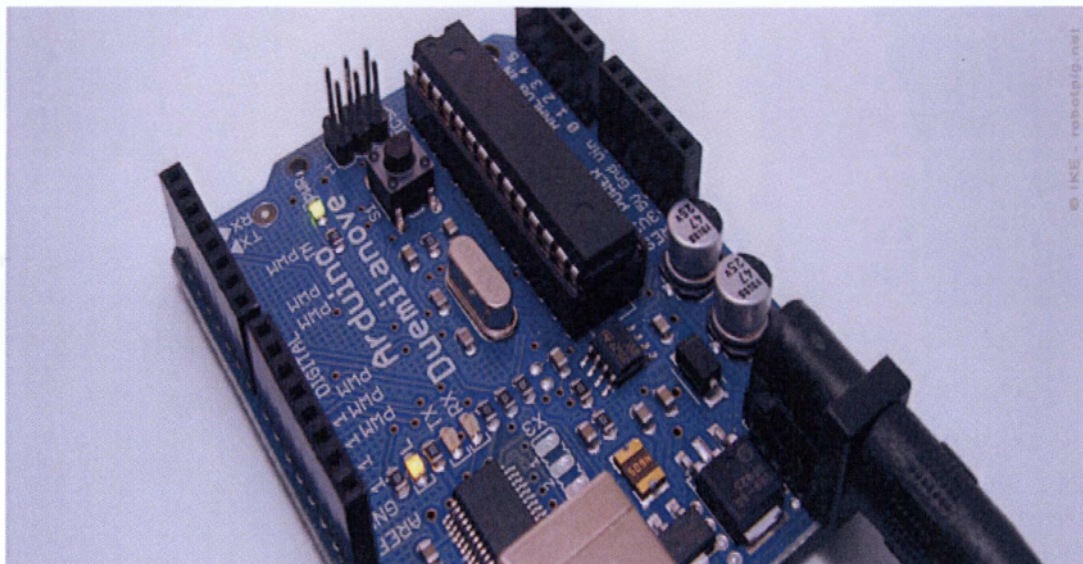




**ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΑΛΑΜΑΤΑΣ
(ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΣΠΑΡΤΗΣ)
ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ
ΤΗΛΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΩΝ**

« Σχεδίαση και υλοποίηση Κωδικοποιητή «Δέλτα» με χρήση ενσωματωμένης πλακέτας «ανοικτής» σχεδίασης (Open-source hardware embedded board). »



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΕΤΡΑΚΗΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ – ΚΑΝΤΙΛΗΣ ΣΤΕΛΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ : ΓΙΑΝΝΗΣ ΛΙΑΠΕΡΔΟΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΣΠΑΡΤΗ 2011

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....σελ.3

1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1.1 Εισαγωγή.....σελ.4

1.1.1 Ιστορική αναδρομή.....σελ.5

1.1.2 Αναλογικός τρόπος μετάδοσης σήματος.....σελ.6

1.1.3 Ψηφιακός τρόπος μετάδοσης σήματος.....σελ.8

1.1.4 Σύγκριση αναλογικού – ψηφιακού τρόπου μετάδοσης.....σελ.9

1.2 Τεχνικές Μετατροπής Αναλογικού Σήματος σε Ψηφιακό και Αντίστροφα.....σελ.9

1.2.1 Παλμοκωδική Διαμόρφωση (PCM).....σελ.12

1.2.2 Διαμόρφωση Δέλτα.....σελ.21

1.2.3 Σύγκριση της Διαμόρφωσης Δέλτα με άλλες τεχνικές μετατροπής αναλογικού σε ψηφιακό.....σελ.25

2. ΠΡΑΚΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

2.1 Μεθοδολογία Σχεδίασης.....σελ.26

2.2 Προδιαγραφές-Σχεδίαση-Υλοποίηση.....σελ.26

2.3 Έλεγχος Διαμορφωτήσελ.29

3. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

3. Τεχνικά χαρακτηριστικά του πρωτότυπου ARDUINO.....σελ.36

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....σελ.43

ΓΛΩΣΣΑΡΙ ΟΡΩΝ.....σελ.44

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....σελ.48

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Ο σκοπός της εργασίας μας είναι η σχεδίαση και υλοποίηση κωδικοποιητή Δέλτα με χρήση ενσωματωμένης πλακέτας «ανοικτής» σχεδίασης. Επιλέξαμε την υλοποίηση με πλακέτα μικροελεγκτή επειδή ενσωματώνει όλα τα στοιχεία του hardware που είναι απαραίτητα χωρίς να χρειάζεται να σχεδιαστούν ειδικά κυκλώματα ενώ προγραμματίζεται εύκολα και δίνει ευχέρεια στον πειραματισμό επιτρέποντας εύκολα αλλαγές και διορθώσεις.

Στο θεωρητικό μέρος αυτής της εργασίας περιγράφουμε τις βασικές έννοιες και αρχές λειτουργίας των αναλογικών και ψηφιακών συστημάτων επικοινωνίας, αποκρύπτοντας, κατά το δυνατό, τόσο τις αφηρημένες θεωρητικές έννοιες και τις μαθηματικές λεπτομέρειες, όσο και τις σχεδιαστικές και κατασκευαστικές αναφορές στη δομή των λειτουργικών τμημάτων ενός επικοινωνιακού συστήματος. Ειδικότερα:

Στο 1ο Κεφάλαιο, που περιλαμβάνει το θεωρητικό μέρος της εργασίας μας, κάνουμε αρχικά μία σύντομη ιστορική αναδρομή στα τηλεπικοινωνιακά συστήματα και στη συνέχεια περιγράφουμε τον αναλογικό και ψηφιακό τρόπο μετάδοσης σήματος αναλύοντας και συγκρίνοντας τους. Στη συνέχεια, αναφέρουμε τις τεχνικές μετατροπής αναλογικού σήματος σε ψηφιακό και αντίστροφα αναλύοντας την Παλμοκωδική διαμόρφωση και την διαμόρφωση Δέλτα. Στο τέλος του Κεφαλαίου παρουσιάζουμε τα προβλήματα της διαμόρφωσης Δέλτα και την συγκρίνουμε με άλλες τεχνικές μετατροπής αναλογικού σήματος σε ψηφιακό.

Στο 2ο Κεφάλαιο, που περιλαμβάνει το πρακτικό μέρος της εργασίας μας, αναλύουμε την μεθοδολογία σχεδίασης του διαμορφωτή που θα ασχοληθούμε καθώς και τις προδιαγραφές και τα διαγράμματα των βαθμίδων του. Στο τέλος του Κεφαλαίου περιγράφουμε την μεθοδολογία σχεδίασης και υλοποίησης του διαμορφωτή ενώ παράλληλα τον ελέγχουμε για την αξιοπιστία του.

Τέλος, το 3ο Κεφάλαιο περιλαμβάνει τα συμπεράσματα και τις παρατηρήσεις μας μετά από την εφαρμογή του διαμορφωτή που κατασκευάσαμε ενώ στο 4ο Κεφάλαιο αναφέρουμε τα τεχνικά χαρακτηριστικά του διαμορφωτή μας.

Ευχαριστίες

Από τη θέση αυτή θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε όλους όσους συνέβαλαν, ο καθένας με το δικό του τρόπο, στην ολοκλήρωση και στην παραγωγή αυτού του βιβλίου. Ειδικότερα, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον κ. *Ιωάννη Λιαπέρδο* (καθηγητής εφαρμογών, επόπτης της εργασίας μας) για την ενδελεχή κριτική ανάγνωση του κειμένου και τα χρήσιμα και εποικοδομητικά σχόλια που ανέπτυξε. Τέλος, θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους γονείς μας για την υπομονή τους και για την οποιαδήποτε βοήθεια που μας πρόσφεραν σε όλα τα στάδια συγγραφής αυτού του κειμένου.

Αναστάσιος Πετράκης
Στέλιος Καντίλης
Ιούνιος 2011

1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1.1 Εισαγωγή

Μια από τις αρχέγονες και πρωταρχικές ανάγκες του ανθρώπου είναι η ανταλλαγή πληροφοριών με τον υπόλοιπο κόσμο. Τα δεδομένα της σύγχρονης εποχής επιβάλλουν την πρόσβαση του ανθρώπου σε ένα πλήθος από αξιόπιστα, αποδοτικά, ασφαλή και οικονομικά μέσα επικοινωνίας, τα οποία μπορούν να αναπαραστήσουν την πληροφορία με πολλούς και ποικίλους τρόπους.

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα μέσου επικοινωνίας είναι το τηλέφωνο, μέσω του οποίου μπορούν να επικοινωνήσουν δύο άτομα, ανταλλάσσοντας φωνητικά μηνύματα σε πραγματικό χρόνο. Ένα άλλο παράδειγμα μέσου επικοινωνίας είναι η τηλεόραση, όπου κινούμενη εικόνα και ήχος μεταβιβάζεται σε ένα πλήθος αποδεκτών. Επίσης, οι χρήστες του Διαδικτύου μπορούν να προσπελάσουν ή να ανταλλάξουν πληροφορίες οι οποίες αναπαρίστανται με μια ποικιλία μέσων (π.χ. κείμενο, ήχος, εικόνα, γραφήματα, κινούμενη εικόνα κ.ά.).

Η μεταβιβαζόμενη πληροφορία δημιουργείται από μια πηγή πληροφορίας, μεταφέρεται μέσω ενός καναλιού επικοινωνίας και καταλήγει σε έναν ή περισσότερους προορισμούς. Στην επικοινωνία μέσω τηλεφώνου, η οποία είναι μια αμφίδρομη επικοινωνία σημείου – με – σημείο, πηγές πληροφορίας αποτελούν τα μικρόφωνα των τηλεφωνικών συσκευών, ενώ οι αντίστοιχοι προορισμοί είναι τα ακουστικά των απέναντι συσκευών. Στο παράδειγμα της τηλεόρασης, όπου η πληροφορία μεταβιβάζεται ταυτόχρονα σε πολλούς αποδέκτες, πηγή πληροφορίας είναι το σύστημα λήψης εικόνας και ήχου, ενώ οι πιθανοί προορισμοί είναι όλες οι συσκευές τηλεόρασης. Τέλος, στο Διαδίκτυο, τα υπολογιστικά συστήματα αποτελούν συνήθως και την πηγή αλλά και τον προορισμό της πληροφορίας.

Ως ψηφιακή πηγή πληροφορίας ορίζουμε εκείνη την πηγή η οποία συνθέτει την πληροφορία της από ένα πεπερασμένο σύνολο συστατικών μηνυμάτων. Για παράδειγμα, η γραφομηχανή αποτελεί μια ψηφιακή πηγή, καθώς μπορεί να δημιουργήσει ένα προκαθορισμένο πλήθος από αλφαριθμητικούς χαρακτήρες και σύμβολα. Ο ηλεκτρονικός υπολογιστής είναι επίσης μια ψηφιακή πηγή πληροφορίας, καθώς μπορεί και αναπαριστά οποιαδήποτε σύνθετη μορφή δεδομένων σε δυαδική μορφή, δηλαδή ως ακολουθία από 0 και 1. Στην ειδική αυτή περίπτωση, όπου η πληροφορία αναπαρίσταται σε δυαδική μορφή, θα λέμε ότι δημιουργήθηκε από μια δυαδική πηγή πληροφορίας. Εάν η μεταβλητή αναπαράστασης της πληροφορίας μπορεί να πάρει οποιαδήποτε τιμή από ένα συνεχές σύνολο, τότε θα λέμε ότι η πληροφορία δημιουργήθηκε από μια αναλογική πηγή. Το μικρόφωνο είναι μια τυπική αναλογική πηγή πληροφορίας, καθώς η τάση εξόδου που περιγράφει το μεταδιδόμενο ήχο λαμβάνει τιμές από ένα συνεχές σύνολο τιμών.

1.1.1 Ιστορική αναδρομή

Με τον όρο επικοινωνία εννοούμε τις ανταλλαγές και τη διακίνηση της πληροφορίας από το ένα μέρος στο άλλο. Ο όρος έχει συνδεθεί σήμερα με την αξιοθαύμαστη ποιοτική αλλά και ποσοτική ανάπτυξη των συσκευών που χρησιμοποιούνται στην υπηρεσία της, όσο και των μέσων διάδοσης, των λεγόμενων "μαζικών", όπως το ραδιόφωνο, η τηλεόραση και ο ηλεκτρονικός υπολογιστής.

Το σύνολο των μέσων αυτών, αποτελούν αυτό που ονομάζουμε σήμερα τηλεπικοινωνίες, οι οποίες αποτελούν πλέον την ισχυρότερη δύναμη και δυναμική της ανθρωπότητας. Θα διατρέχει τις διάφορες ιστορικές περιόδους, από τον 11ο αιώνα π.Χ. όταν αρχίζουν να χρησιμοποιούνται οι Φρυκτωρίες, για την μεταβίβαση μηνυμάτων από περιοχή σε περιοχή με την χρήση πυρσών στη διάρκεια της νύχτας, τον 17ο π.Χ. με τον δίσκο της Φαιστού που σηματοδοτεί την πρώτη παγκοσμίως προσπάθεια για αποτύπωση μηνύματος με τη χρήση κινητών στοιχείων, τον 4ο αιώνα π.Χ. με τον ακουστικό τηλεγράφο του Μεγάλου Αλεξάνδρου και τον υδραυλικό τηλεγράφο του Αινεία.

Οι τηλεπικοινωνίες περνάνε στη νέα εποχή με την ανακάλυψη του τηλεγράφου το 1837 από τον Σάμιουελ Μορς, το 1875 με την ανακάλυψη του τηλεφώνου από τον Γκράχαμ Μπελ έως το πρώτο αξιόλογο τηλεφωνικό κέντρο στην Αθήνα το 1911.

Η σύγχρονη εποχή των τηλεπικοινωνιών ξεκινά την δεκαετία του 1940 με την εμφάνιση των Ηλεκτρονικών Υπολογιστών (1946 ο πρώτος Ηλεκτρονικός υπολογιστής ENIAC). Το 1949 ιδρύεται ο ΟΤΕ, ως εθνικός τηλεπικοινωνιακός φορέας. Στη δεκαετία του 1970 συντελείται η επανάσταση των μικροϋπολογιστών (Ίδρυση Microsoft, Apple). Το 1989 δημιουργείται το πρωτόκολλο TCP/IP και ο Παγκόσμιος Ιστός (WWW) του INTERNET. Μετά το 1990 εμφανίζεται στην Ελλάδα η κινητή τηλεφωνία ενώ το 1996 ξεκινά η έκρηξη της ψηφιακής εποχής.

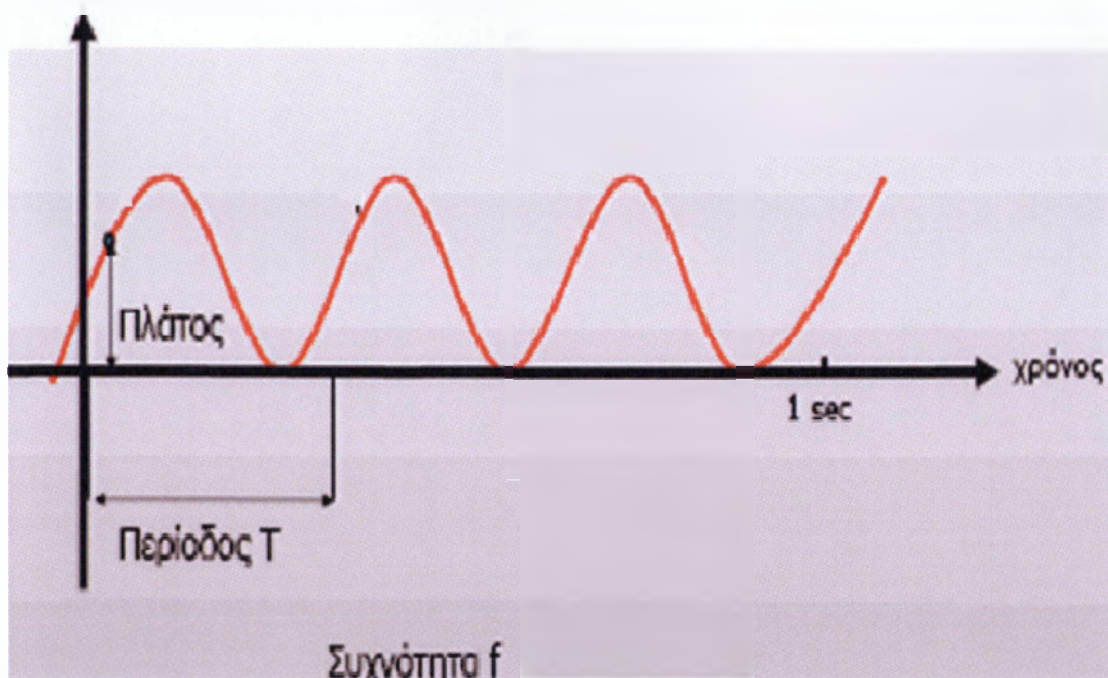
Στο τέλος του 20ου αιώνα η ενοποίηση των τεχνολογιών της πληροφορικής και των επικοινωνιών ανοίγει νέους ορίζοντες για την μετάδοση πληροφοριών και αποτελεί την βάση για την αλλαγή του τρόπου ζωής και της εργασίας. Η Τηλε-εργασία, το Τηλε-εμπόριο, η Τηλε-ιατρική, η Τηλε-εκπαίδευση, το E-Business, το WAP, αποτελούν ήδη μέρος της καθημερινότητάς μας.

1.1.2 Αναλογικός τρόπος μετάδοσης σήματος

Το αναλογικό σήμα είναι κάθε σήμα το οποίο μεταβάλλεται και λαμβάνει συνεχείς τιμές κατά την διάρκεια εξέλιξης του χρόνου. Το αναλογικό αναφέρεται συνήθως σε ηλεκτρικά σήματα, αλλά και άλλα συστήματα μπορεί να μεταφέρουν αναλογικά σήματα όπως π.χ. μηχανικά, αέρια ή υδραυλικά συστήματα.

Το αναλογικό σήμα χρησιμοποιεί ορισμένες ιδιότητες του μέσου μετάδοσης για να μεταφέρει τις πληροφορίες του σήματος. Για παράδειγμα, ένα βαρόμετρο χρησιμοποιεί περιστροφικές θέσεις ως το σήμα για να μεταφέρουν πληροφορίες για την πίεση του αέρα. Στον ηλεκτρισμό το μέγεθος που χρησιμοποιείται συνήθως είναι η διαφορά δυναμικού - τάση συνδυαζόμενη με άλλα μεγέθη π.χ. τη συχνότητα ή την ένταση του ρεύματος. Για κάθε πληροφορία που μπορεί να μεταφερθεί με ένα αναλογικό σήμα, κάθε τέτοιο μήνυμα είναι μια καταγραφή μεταβολών που συμβαίνουν όταν παράγονται φυσικά φαινόμενα, όπως ο ήχος, φως, θερμοκρασία, θέση, ή την πίεση, και επιτυγχάνεται με τη χρήση αισθητήριων οργάνων.

Στην αναλογική μετάδοση σήματος τα δεδομένα μεταδίδονται ως μια συνεχής κυματοσειρά ενώ τα αναλογικά σήματα χαρακτηρίζονται από τη συνεχή μεταβολή μιας παραμέτρου τους στη μονάδα του χρόνου. Η σημαντικότερη παράμετρος ενός αναλογικού σήματος είναι η συχνότητά του που μετράται σε κύκλους ανά δευτερόλεπτο ή Hz. Με τα αναλογικά σήματα πραγματοποιείται η μετάδοση ραδιοφωνικών και τηλεοπτικών σημάτων.



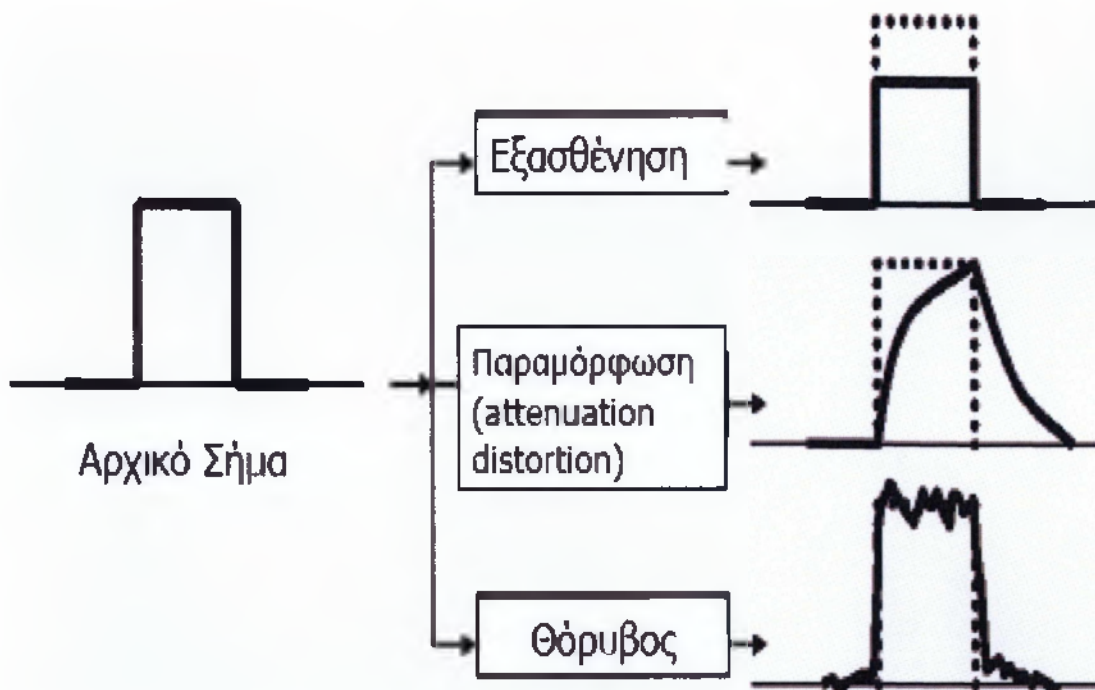
Σχήμα 1.1.2.1 Χαρακτηριστικά αναλογικού σήματος

Σχεδίαση και υλοποίηση Κωδικοποιητή «Δέλτα» με χρήση ενσωματωμένης πλακέτας «ανοικτής» σχεδίασης.(Open-source hardware embedded board).

Το βασικό πρόβλημα του αναλογικού σήματος είναι ο θόρυβος - δηλ., το σύνολο των ανεπιθύμητων αλλοιώσεων, οι οποίες συνοδεύουν το σήμα και υποβαθμίζουν την ορθότητα και την ακρίβεια μιας μέτρησης. Άλλα προβλήματα είναι η εξασθένηση που παρουσιάζει το σήμα κατά την μετάδοσή του και η παραμόρφωσή του που είναι αναπόφευκτη εξαιτίας, κυρίως, των περιορισμών στο εύρος ζώνης του καναλιού.

Δεδομένου ότι το σήμα αντιγράφεται ή διαβιβάζεται πέρα από μεγάλες αποστάσεις, αυτές οι τυχαίες αλλοιώσεις γίνονται κυρίαρχες. Αυτές οι αλλοιώσεις μπορούν να περιοριστούν με τη χρήση αγωγών με προστατευτικό κάλυμμα και με κατάλληλους τύπους καλωδίων, όπως ομοαξονικά ή με συνεστραμμένο ζεύγος (twisted pair) καθώς και με ενισχυτές. Όμως με την ενίσχυση του σήματος ενισχύεται παράλληλα ο θόρυβος.

Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες θορύβου:(α) Ο θεμελιώδης θόρυβος (fundamental noise), ο οποίος είναι κατά κανόνα ενδογενούς προέλευσης για κάθε μονάδα και χαρακτηρίζεται από "λευκό" φάσμα συχνοτήτων, δηλαδή όλες οι συχνότητες συμμετέχουν στον ίδιο βαθμό. Οφείλεται στην τυχαία κίνηση φορέων ηλεκτρικού φορτίου και κύριοι εκπρόσωποι του είναι ο θερμικός θόρυβος και ο θόρυβος βολής. (β) Ο μη θεμελιώδης θόρυβος (ή θόρυβος περίσσειας) (non-fundamental ή excess noise), ο οποίος χαρακτηρίζεται από "έγχρωμο" φάσμα συχνοτήτων, δηλαδή μπορεί κάποιες συχνότητες να εμφανίζονται εντονότερα. Ο θόρυβος περιβάλλοντος είναι ο κυριότερος τύπος μη θεμελιώδους θορύβου.



Σχήμα 1.1.2.2 Τα κύρια προβλήματα μετάδοσης ενός σήματος

1.1.3 Ψηφιακός τρόπος μετάδοσης σήματος.

Ένα αναλογικό σήμα είναι μια χρονικά μεταβαλλόμενη ακολουθία δεδομένων ή όπως είναι ο ορισμός του, μια ομαλά μεταβαλλόμενη τιμή ηλεκτρικής τάσης ή έντασης ρεύματος (δηλ. ένα σήμα με πλάτος χρονικά μεταβαλλόμενο) η οποία μπορεί να περιγραφεί από μια μαθηματική συνάρτηση, με το χρόνο να αποτελεί την ανεξάρτητη και την τιμή του σήματος, κάθε χρονική στιγμή, την εξαρτημένη μεταβλητή. Ένα διακριτό σήμα είναι το αποτέλεσμα που παίρνουμε μέσω της μεθόδου της δειγματοληπτικής μείωσης από το αρχικό αναλογικό σήμα : δηλαδή, η τιμή των δεδομένων σημειώνεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα (π.χ. μικροδευτερόλεπτο) και όχι συνεχώς (όπως είναι εκ φύσεως τα μηχανικά κύματα).

Αν οι τιμές του σήματος αντί να μετρηθούν επακριβώς, επάνω στον άξονα του χρόνου, είναι εναρμονισμένες με κάποια ορισμένη ακρίβεια, τότε η ροή δεδομένων που προκύπτει είναι το ψηφιακό σήμα. Η διαδικασία προσέγγισης αυτής της ακρίβειας (δηλ. μιας συγκεκριμένης τιμής), μέσα από ένα σταθερό αριθμό ψηφίων (δηλ. bit) ονομάζεται ψηφιοποίηση. Σε γενικές γραμμές, ένα ψηφιακό σήμα είναι ένα ψηφιοποιημένο σήμα διακριτού χρόνου. Το διακριτό σήμα είναι το αποτέλεσμα της επεξεργασίας ενός αναλογικού σήματος με τη μέθοδο της δειγματοληπτικής μείωσης.

Ο ψηφιακός τρόπος μετάδοσης αποτελεί την φυσική αναλογία των δεδομένων που βρίσκονται σε δυαδική μορφή. Τα ψηφιακά σήματα χαρακτηρίζονται από μια διακριτή μεταβολή μιας παραμέτρου τους στη μονάδα του χρόνου. Η κυριότερη παράμετρος του ψηφιακού σήματος είναι ο αριθμός των διαφορετικών διακριτών τιμών που μπορεί να πάρει το σήμα στη μονάδα του χρόνου.



Σχήμα 1.1.3.1 Χαρακτηριστικά ψηφιακού σήματος.

1.1.4 Σύγκριση αναλογικού – ψηφιακού τρόπου μετάδοσης.

Ένα ψηφιακό σύστημα επικοινωνίας μεταβιβάζει πληροφορία από μια ψηφιακή πηγή στους προορισμούς της. Αντίστοιχα, ένα αναλογικό σύστημα επικοινωνίας μεταβιβάζει πληροφορία από μια αναλογική πηγή στους προορισμούς της. Τα σύγχρονα ψηφιακά επικοινωνιακά συστήματα εμφανίζουν τα ακόλουθα συντριπτικά πλεονεκτήματα έναντι των αντίστοιχων αναλογικών συστημάτων:

- είναι πιο αξιόπιστα, γιατί παρουσιάζουν μεγαλύτερη ανοχή στην παρουσία θορύβου και χρησιμοποιούν εξελιγμένες τεχνικές εντοπισμού και αντιμετώπισης σφαλμάτων,
- είναι πιο αποδοτικά, καθώς μπορούν να μεταβιβάσουν πολύ μεγαλύτερο όγκο πληροφορίας ανά χρονική μονάδα,
- είναι πιο ασφαλή, γιατί μπορούν να εκμεταλλευτούν πλήρως τα σύγχρονα συστήματα κρυπτογραφίας και, τέλος,
- είναι πιο οικονομικά, γιατί, αφενός, χρησιμοποιούν πιο αποδοτικές τεχνικές διαμοιρασμού επικοινωνιακών πόρων και, αφετέρου, υιοθετώντας σύγχρονα συστήματα κωδικοποίησης, αφαιρούν την περιττή πληροφορία και συμπιέζουν τη μεταβιβαζόμενη κυκλοφορία.

Ως συνέπεια των παραπάνω πλεονεκτημάτων, τα ψηφιακά συστήματα επικοινωνίας γίνονται όλο και πιο δημοφιλή. Όλο και περισσότερες αναλογικές πηγές ψηφιοποιούνται πριν από τη μετάδοσή τους και επαναδομούνται στον προορισμό τους στην αρχική αναλογική τους μορφή, επιτρέποντας έτσι την αξιόπιστη, αποδοτική, ασφαλή και οικονομική μεταβίβαση της πληροφορίας τους από ψηφιακό σύστημα επικοινωνίας. Για παράδειγμα, τα αναλογικά συστήματα επικοινωνίας στα τηλεφωνικά δίκτυα έχουν αντικατασταθεί από αντίστοιχα ψηφιακά συστήματα στις αρχές του 21ου αιώνα.

1.2 Τεχνικές Μετατροπής Αναλογικού Σήματος σε Ψηφιακό και Αντίστροφα

Η μετατροπή του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό διενεργείται από τη συσκευή ADC (Analog to Digital Converter – μετατροπέας αναλογικού σε ψηφιακό), ενώ το αντίστροφο από τη συσκευή DAC (Digital to Analog Converter – μετατροπέας ψηφιακού σε αναλογικό).

Μετατροπή αναλογικού σήματος σε ψηφιακό

Η συσκευή ADC αποτελείται από ένα κύκλωμα δειγματοληψίας, από έναν κβαντιστή και από έναν κωδικοποιητή.

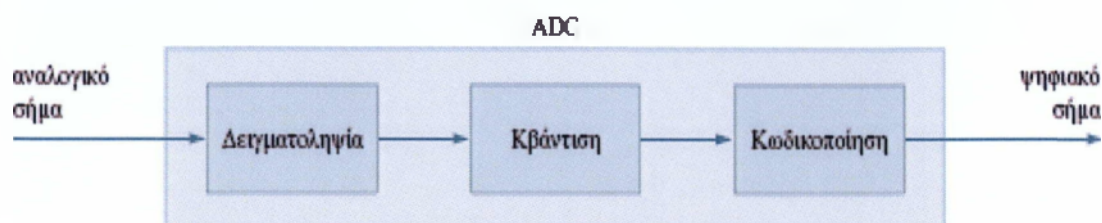
Το κύκλωμα δειγματοληψίας λαμβάνει δείγματα τάσης από το εισερχόμενο αναλογικό σήμα με σταθερό και προκαθορισμένο ρυθμό. Ο ρυθμός δειγματοληψίας είναι πολύ σημαντικός παράγοντας στο σύστημα ψηφιοποίησης μιας αναλογικής πηγής, γιατί η επιλογή μιας λανθασμένης τιμής ισοδυναμεί είτε με απώλεια πληροφορίας κατά την επαναδόμηση του αρχικού σήματος στον προορισμό είτε με τη δημιουργία πλεονασμού, ο οποίος είναι περιττός για την ορθή αναπαράσταση της πληροφορίας στον προορισμό.

Ο κβαντιστής (quantiser) αντιστοιχεί κάθε δείγμα του σήματος με μια τιμή τάσης από ένα πεπερασμένο σύνολο προκαθορισμένων τιμών, έχοντας ως κριτήριο την ελάχιστη διαφορά της τάσης του δείγματος με την αντιστοιχιζόμενη τιμή.

Σχεδίαση και υλοποίηση Κωδικοποιητή «Δέλτα» με χρήση ενσωματωμένης πλακέτας «ανοικτής» σχεδίασης. (Open-source hardware embedded board).

Ο κωδικοποιητής (encoder) αντιστοιχεί κάθε κβαντισμένο δείγμα του αναλογικού σήματος με ένα στοιχείο από ένα πεπερασμένο διακριτό σύνολο (σύμβολο), βασιζόμενος σε ένα προκαθορισμένο σχήμα κωδικοποίησης, με σκοπό τον ακριβή προσδιορισμό του. Με αυτόν τον τρόπο ψηφιοποιούμε τελικά το αναλογικό σήμα.

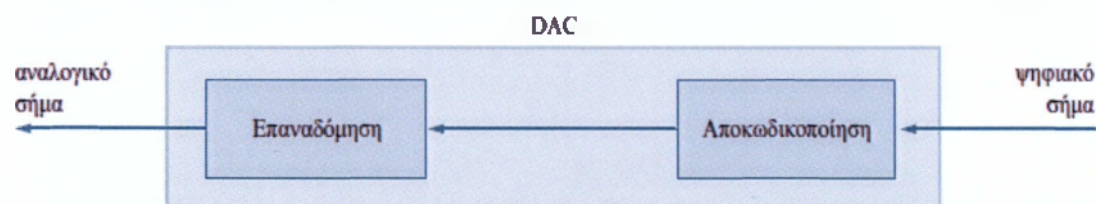
Οι λειτουργίες του κβαντιστή και του κωδικοποιητή συνθέτουν την παλμοκωδική διαμόρφωση (Pulse Code Modulation – PCM), μια τεχνική που χρησιμοποιείται ευρέως στα ψηφιακά συστήματα επικοινωνίας.



Σχήμα 1.2.1 Διάγραμμα του μετατροπέα αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (ADC).
(Στον ADC, προσαρμόζουμε αρχικά τα δείγματα του αναλογικού σήματος σε προκαθορισμένες στάθμες σήματος και κατόπιν τα κωδικοποιούμε, συνθέτοντας έτσι το ψηφιακό σήμα.)

Μετατροπή ψηφιακού σήματος σε αναλογικό

Η συσκευή DAC αποτελείται από έναν αποκωδικοποιητή και από ένα κύκλωμα επαναδόμησης του αρχικού αναλογικού σήματος. Ο αποκωδικοποιητής (decoder) μετατρέπει την ακολουθία των λαμβανόμενων ψηφιακών συμβόλων στις αντιστοιχιζόμενες κβαντισμένες τιμές του σήματος. Έτσι, στην έξοδο του αποκωδικοποιητή λαμβάνουμε τα κβαντισμένα δείγματα του αρχικού σήματος. Χρησιμοποιώντας αυτά τα κβαντισμένα δείγματα, το κύκλωμα επαναδόμησης κατασκευάζει μια προσέγγιση του αρχικού αναλογικού σήματος.

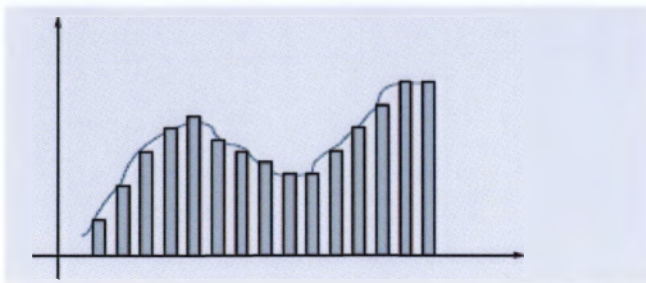


Σχήμα 1.2.2 Διάγραμμα του μετατροπέα ψηφιακού σήματος σε αναλογικό (DAC).
(Στον DAC, αφού αποκωδικοποιήσουμε το ψηφιακό σήμα, ανακατασκευάζουμε το αρχικό αναλογικό σήμα από τα ληφθέντα δείγματα.)

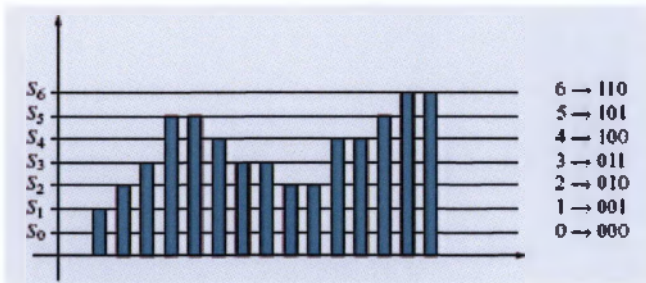
Σχεδίαση και υλοποίηση Κωδικοποιητή «Δέλτα» με χρήση ενσωματωμένης πλακέτας «ανοικτής» σχεδίασης. (Open-source hardware embedded board).



α) Το αρχικό αναλογικό σήμα



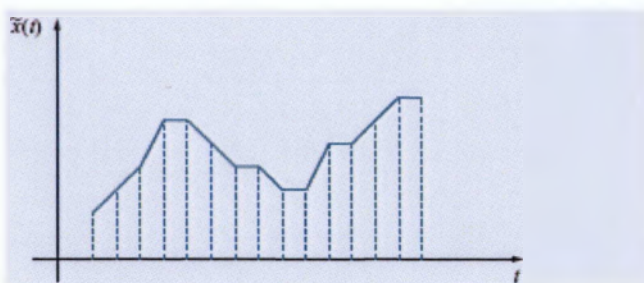
β) Δειγματοληψία



γ) Κβάντιση και κωδικοποίηση

001 010 011 101 101 100 011 011 010 010 100 100 101 110 110

δ) Το μεταβιβαζόμενο δυαδικό σήμα



ε) Το επαναδομημένο σήμα στον προορισμό

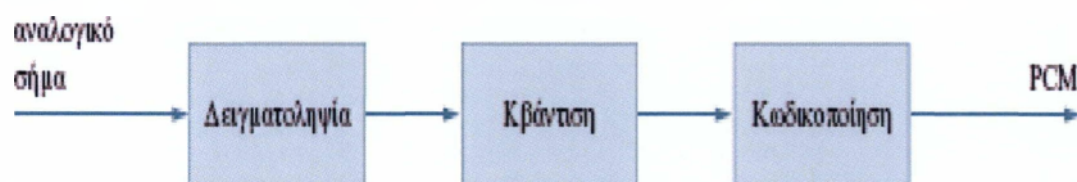
Σχήμα 1.2.3 Ένα παράδειγμα ψηφιοποίησης αναλογικού σήματος

1.2.1 Παλμοκωδική Διαμόρφωση (PCM)

Τα φυσικά σήματα, όπως, π.χ., η φωνή, ο ήχος ή η εικόνα, είναι αναλογικά. Για να μπορέσουμε να χρησιμοποιήσουμε τα ψηφιακά συστήματα για τη μετάδοσή τους, θα πρέπει να τα μετατρέψουμε σε ψηφιακά σήματα.

Μια πρωταρχική πράξη προς την ψηφιοποίησή τους είναι η μετατροπή τους σε αναλογικά σήματα διακριτού χρόνου. Η μετατροπή αναλογικού σήματος σε ψηφιακό καλείται συχνά μετατροπή A/D (Analog to Digital conversion) ή ψηφιακή παλμική διαμόρφωση. Δύο είναι οι κύριες τεχνικές παλμικής διαμόρφωσης: η παλμοκωδική διαμόρφωση (Pulse Code Modulation – PCM) και η διαμόρφωση Δέλτα.

Η παλμοκωδική διαμόρφωση (Pulse Code Modulation – PCM) αποτελεί μια από τις κύριες τεχνικές μετατροπής αναλογικού σήματος σε ψηφιακό. Οι βασικές λειτουργίες είναι: δειγματοληψία, κβάντιση και κωδικοποίηση.



Σχήμα 1.2.1.1 Οι βασικές λειτουργίες της παλμοκωδικής διαμόρφωσης PCM

Τα αναλογικά σήματα λαμβάνουν τιμές καθ' όλη τη διάρκειά τους και όχι μόνο σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές στον άξονα του χρόνου. Για την ψηφιοποίησή τους, το πρώτο βήμα που πρέπει να εκτελέσουμε είναι η μετατροπή τους σε διακριτά. Το διακριτό σήμα, ή αλλιώς σήμα διακριτού χρόνου, λαμβάνει τιμές μόνο σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές. Η μετατροπή ενός αναλογικού σήματος σε διακριτό διενεργείται με τη δειγματοληψία, όπου σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές σταχυολογούνται δείγματα του σήματος. Η πληροφορία που εμπεριέχεται στα ληφθέντα δείγματα θα πρέπει να είναι ικανή για την ακριβή επαναδόμηση του αναλογικού σήματος στον προορισμό του. Η διαδικασία λήψης των δειγμάτων βασίζεται στο θεώρημα της δειγματοληψίας.

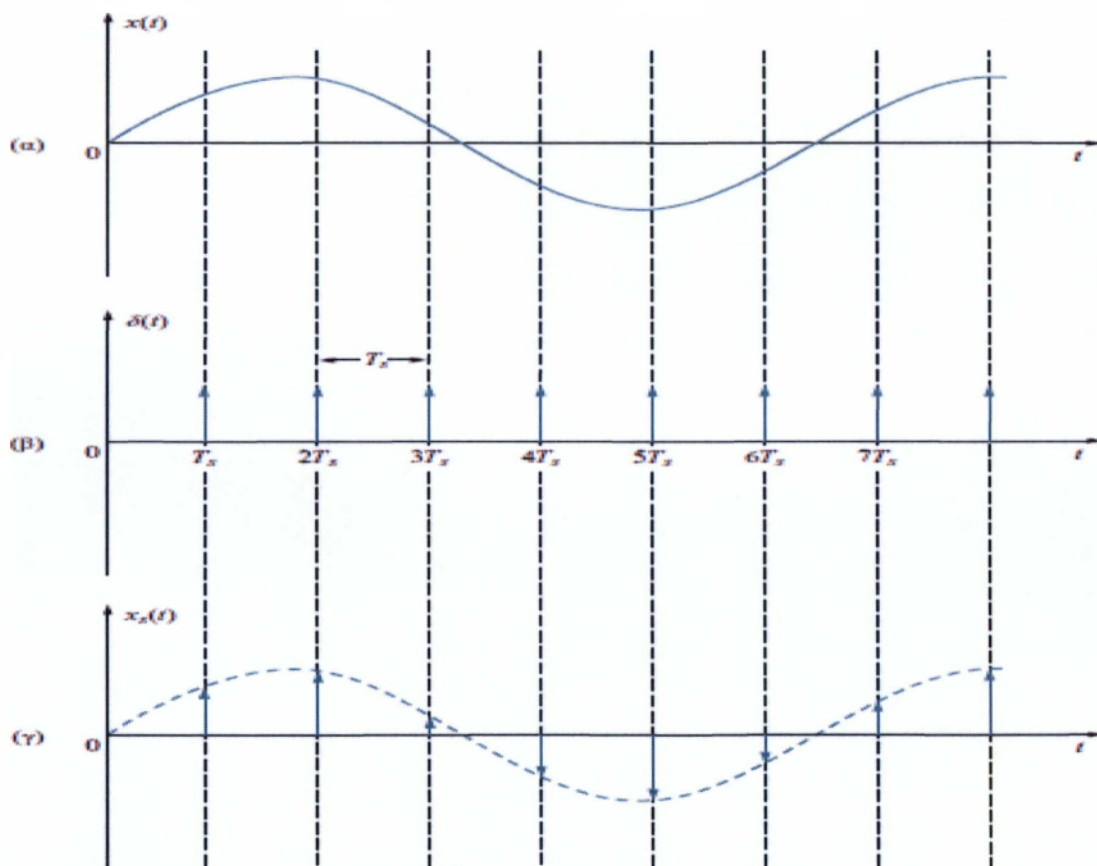
Με το θεώρημα της δειγματοληψίας μπορούμε να προσδιορίσουμε τον ελάχιστο ρυθμό λήψης δειγμάτων από ένα σήμα συνεχούς χρόνου, έτσι ώστε αυτό να μπορεί να ανακτηθεί πλήρως στον προορισμό του.

Ας θεωρήσουμε ένα σήμα περιορισμένου εύρους ζώνης, το οποίο συμβολίζουμε με $x(t)$. Υπενθυμίζουμε ότι, καθώς είναι σήμα με περιορισμένο εύρος ζώνης, οι συχνότητές του θα φράσσονται από μία μέγιστη συχνότητα, την οποία συμβολίζουμε με f_x . Έστω ότι το σήμα δειγματοληπτείται κάθε T χρονικές μονάδες (π.χ. δευτερόλεπτα), λαμβάνοντας έτσι το διακριτό σήμα $x(nT)$, $n = 1, 2, 3, \dots$

Θεώρημα δειγματοληψίας

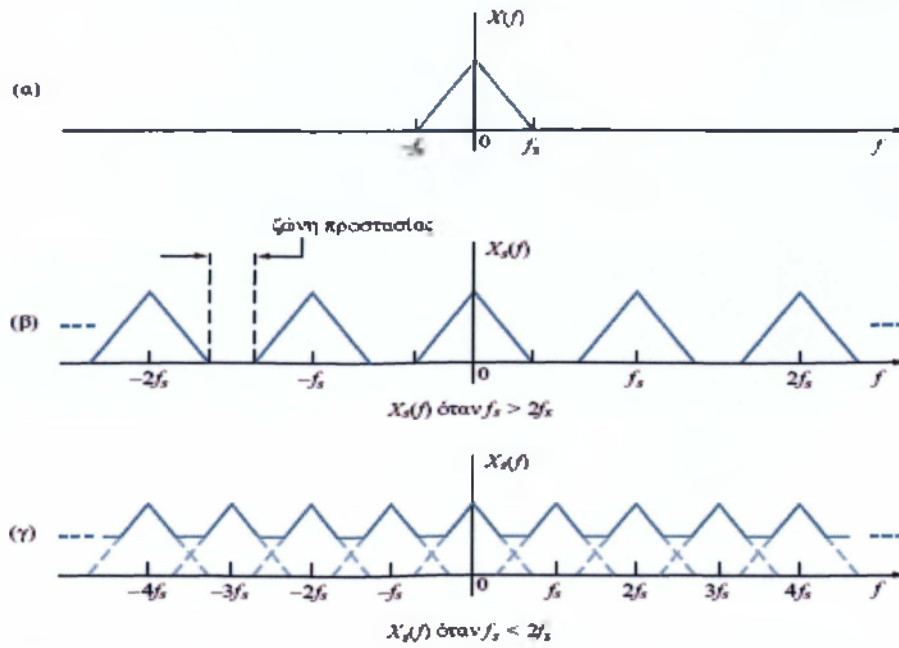
Ένα συνεχές σήμα περιορισμένου εύρους ζώνης $x(t)$, με μέγιστη συχνότητα f_x , μπορεί να ανακτηθεί πλήρως από τα δείγματά του $x(nT)$, $n = 1, 2, 3, \dots$, εάν αυτά λαμβάνονται περιοδικά και η περίοδος δειγματοληψίας ικανοποιεί τη σχέση $T \leq 1/2f_x$.

Η μέγιστη περίοδος δειγματοληψίας $T_s = 1/(2f_x)$ ονομάζεται και διάστημα ή περίοδος Nyquist. Επίσης, γνωρίζοντας ότι η συχνότητα δειγματοληψίας ισούται με την αντίστροφη τιμή της περιόδου δειγματοληψίας, από το Θεώρημα προκύπτει ότι, για να ανακατασκευάσουμε πλήρως ένα συνεχές σήμα περιορισμένου εύρους ζώνης, θα πρέπει να λαμβάνουμε τουλάχιστον δύο δείγματα κατά τη διάρκεια της περιόδου που αντιστοιχεί στη φασματική συνιστώσα της υψηλότερης συχνότητας. Η ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψίας $f_s = 2f_x$ ονομάζεται και ρυθμός ή συχνότητα Nyquist.

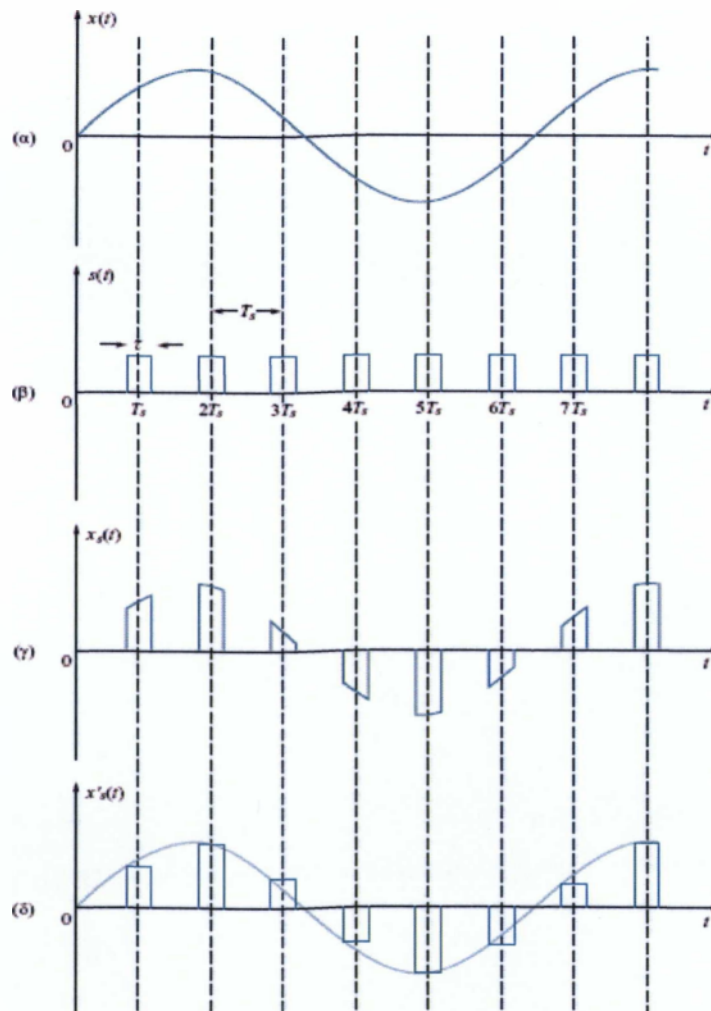


Σχήμα 1.2.1.2 Η πράξη της δειγματοληψίας στο πεδίο του χρόνου: (α) το αρχικό σήμα $x(t)$, (β) μια σειρά στιγμιαίων παλμών $\delta(t)$, με περίοδο T_s δευτερόλεπτα και (γ) το διακριτό σήμα $x_s(t) = x(nT_s)$, $n = 1, 2, \dots$, που προκύπτει από τη δειγματοληψία.

Σχεδίαση και υλοποίηση Κωδικοποιητή «Δέλτα» με χρήση ενσωματωμένης πλακέτας «ανοικτής» σχεδίασης. (Open-source hardware embedded board).



Σχήμα 1.2.1.3 Η πράξη της δειγματοληψίας στο πεδίο συχνοτήτων: (α) το φάσμα $X(f)$ του σήματος $x(t)$, (β) το φάσμα $X_s(f)$ του σήματος $x_s(t)$, που προκύπτει από τη δειγματοληψία, όταν $f_s > 2f_x$, (γ) το φάσμα $X_s(f)$, όταν $f_s < 2f_x$



Σχεδίαση και υλοποίηση Κωδικοποιητή «Δέλτα» με χρήση ενσωματωμένης πλακέτας «ανοικτής» σχεδίασης (Open-source hardware embedded board).

Σχήμα 1.2.1.4 Φυσική δειγματοληψία: (α) το αρχικό σήμα $x(t)$, (β) η συνάρτηση δειγματοληψίας $s(t)$ με παλμούς πεπερασμένου εύρους τ , (γ) το σήμα $x_s(t)$ της φυσικής δειγματοληψίας με δείγματα μεταβλητού πλάτους και (δ) το σήμα $x's(t)$ με δείγματα σταθερού πλάτους.

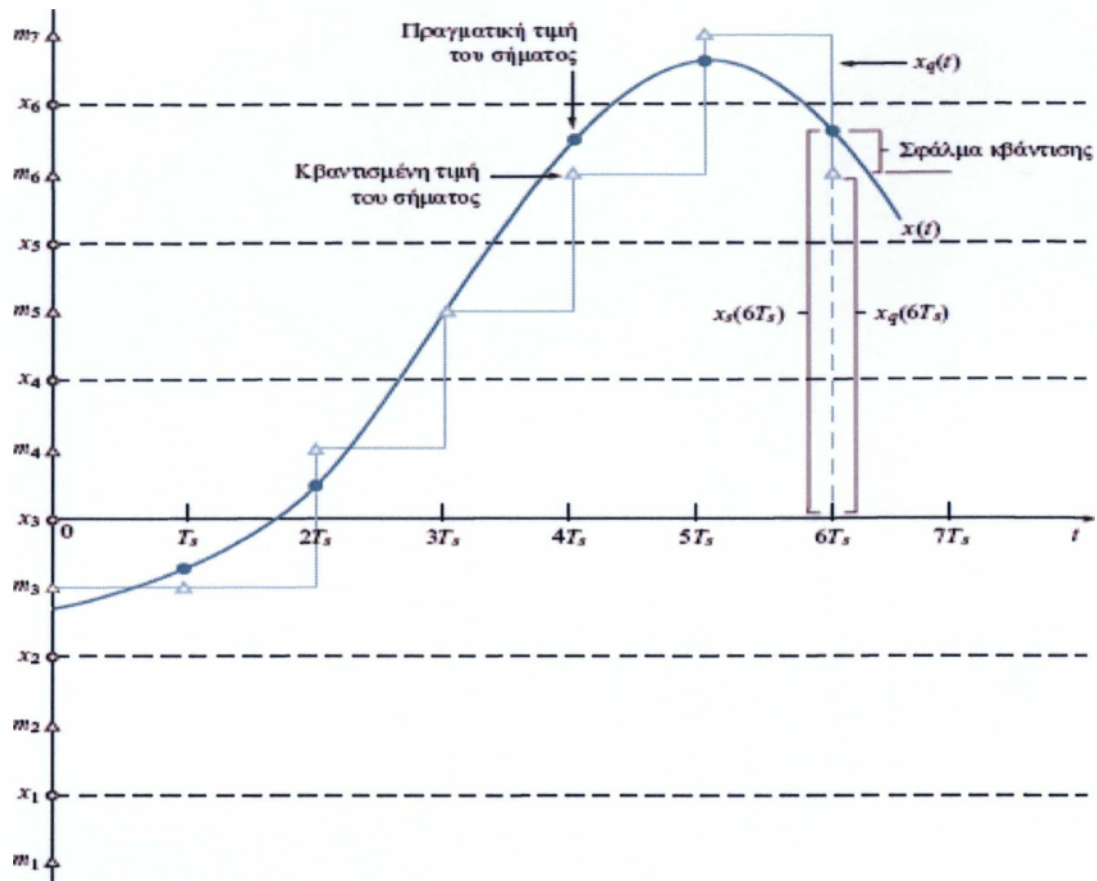
Με την πράξη λοιπόν της δειγματοληψίας μετατρέπουμε το αρχικό αναλογικό σήμα από συνεχούς χρόνου σε διακριτού χρόνου. Στη συνέχεια, η κβάντιση ασχολείται με τα δείγματα του σήματος και, συγκεκριμένα, τα μετατρέπει από δείγματα συνεχούς πλάτους σε δείγματα διακριτού πλάτους. Με άλλα λόγια, με την κβάντιση αναπαριστούμε τις τιμές του αναλογικού σήματος με ένα πεπερασμένο σύνολο τιμών, τις οποίες ονομάζουμε στάθμες. Η αντιστοίχιση της κάθε στάθμης με έναν κώδικα ονομάζεται κωδικοποίηση.

Κβάντιση

Ας θεωρήσουμε ένα σήμα περιορισμένου εύρους ζώνης $x(t)$. Εφαρμόζοντας την πράξη της δειγματοληψίας σ' αυτό, λαμβάνουμε το διακριτό σήμα $x_s(t) = x(nT)$, $n = 1, 2, \dots$, όπου T_s είναι η περίοδος δειγματοληψίας. Κατά την κβάντιση του σήματος οι τιμές $x_s(nT_s)$ μετατρέπονται σε μία από τις Q επιτρεπόμενες τιμές m_1, m_2, \dots, m_Q , δίδοντας έτσι την ακολουθία παλμών $x_q(nT_s)$. Τελικά, το εξαγόμενο σήμα από τον κβαντιστή είναι η ακόλουθη κυματομορφή $x_q(t) = x_q(nT_s)$, $nT_s \leq t < (n+1)T_s$, $n=1, 2, \dots$

Ένα παράδειγμα της κβάντισης δίδεται στο παρακάτω σχήμα. Όπως παρατηρούμε, το πεδίο τιμών του αρχικού σήματος έχει διαιρεθεί στις εξής επτά ζώνες: $(-\infty, x_1]$, $(x_1, x_2]$, \dots , $(x_5, x_6]$, $(x_6, +\infty)$. Σε κάθε ζώνη έχουμε αντιστοιχίσει και από μία τιμή, δηλαδή τις τιμές m_1, m_2, \dots, m_7 , αντίστοιχα. Όταν δειγματοληπτούμε το αρχικό σήμα, η τιμή του μετατρέπεται σε μία από τις τιμές m_1, m_2, \dots, m_7 , ανάλογα με τη ζώνη τιμών στην οποία βρίσκεται. Π.χ., το δείγμα του σήματος που λαμβάνουμε την 6η περίοδο δειγματοληψίας ($x_s(6T_s)$) βρίσκεται μέσα στη ζώνη $(x_5, x_6]$. Οπότε, η τιμή του δείγματος μετατρέπεται σε $x_q(6T_s) = m_6$, εισάγοντας έτσι ένα σφάλμα κβάντισης ίσο με $x_s(6T_s) - m_6$. Τέλος, για το χρονικό διάστημα από τη στιγμή λήψης του έκτου δείγματος μέχρι πριν από τη λήψη του έβδομου δείγματος το εξαγόμενο σήμα ισούται με m_6 . Έτσι, με τη διαδικασία της κβάντισης λαμβάνουμε μια καλή προσέγγιση του αρχικού σήματος.

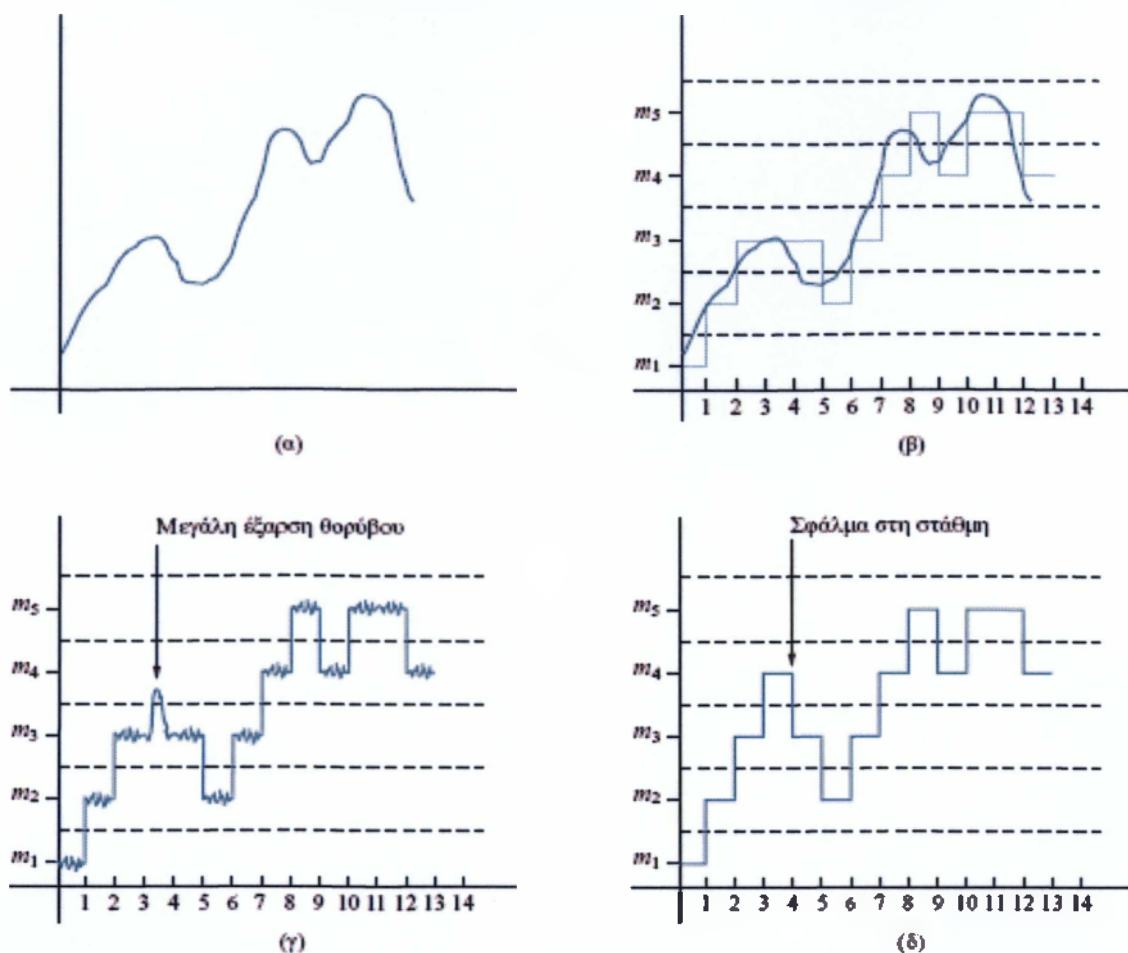
Σχεδίαση και υλοποίηση Κωδικοποιητή «Δέλτα» με χρήση ενσωματωμένης πλακέτας «ανοικτής» σχεδίασης (Open-source hardware embedded board).



Σχήμα 1.2.1.5 Η πράξη της κβάντισης: το αρχικό σήμα $x(t)$ μετατρέπεται στην κυματομορφή $x_q(t)$. Τα ενδιάμεσα βήματα της λειτουργίας είναι η δειγματοληψία και η αντιστοίχιση των τιμών σε μία από τις επιτρεπόμενες στάθμες m_1, m_2, \dots (με εξαγόμενα τα σήματα $x_s(nT_s)$ και $x_q(nT_s)$, αντίστοιχα).

Σύμφωνα με όσα αναφέραμε στην προηγούμενη παράγραφο, αν εφαρμόσουμε την κβάντιση, το αρχικό σήμα δεν μπορεί να ανακατασκευαστεί πλήρως στον προορισμό του, αλλά μόνο να προσεγγιστεί. Η ακρίβεια αυτής της προσέγγισης εξαρτάται από τον αριθμό των σταθμών κβάντισης που χρησιμοποιήσαμε. Επίσης αξίζει να σημειωθεί ότι τα συστήματα που εφαρμόζουν την τεχνική της κβάντισης εμφανίζουν μεγαλύτερη ανοχή στον εξωτερικό προσθετικό θόρυβο.

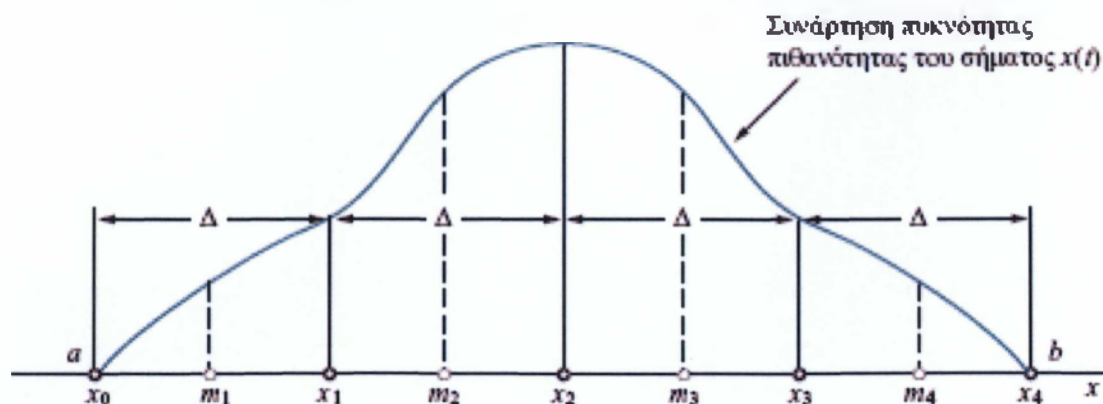
Σχεδίαση και υλοποίηση Κωδικοποιητή «Δέλτα» με χρήση ενσωματωμένης πλακέτας «ανοικτής» σχεδίασης.(Open-source hardware embedded board).



Σχήμα 1.2.1.6 Η ανοχή του κβαντισμένου σήματος στον εξωτερικό προσθετικό θόρυβο: (α) το αρχικό σήμα, (β) το κβαντισμένο σήμα πριν από τη μετάδοση, (γ) το σήμα που λαμβάνεται από τον παραλήπτη, στο οποίο έχει προστεθεί ο εξωτερικός θόρυβος, και (δ) το σήμα μετά τον επανακβαντισμό, στο οποίο εμφανίζεται σφάλμα λόγω της υψηλής στάθμης θορύβου.

Ομοιόμορφη κβάντιση

Αυτό που δεν έχουμε αναφέρει μέχρι τώρα είναι ο τρόπος με τον οποίο επιλέγουμε τις ζώνες και τις στάθμες κβάντισης. Γενικά, υπάρχουν δύο μέθοδοι κβάντισης: η ομοιόμορφη κβάντιση και η ανομοιόμορφη κβάντιση. Στην ομοιόμορφη κβάντιση, το πεδίο τιμών του αρχικού σήματος διαμοιράζεται σε διαστήματα ίσου εύρους, τα οποία ονομάζουμε και ζώνες κβάντισης. Όταν η τιμή του σήματος είναι εντός των ορίων μιας ζώνης κβάντισης, τότε ως κβαντισμένη τιμή του λαμβάνουμε το μέσο του αντίστοιχου διαστήματος.



Σχήμα 1.2.1.7 Παράδειγμα ομοιόμορφης κβάντισης σε 4 στάθμες εύρους Δ .

Στο παραπάνω σχήμα απεικονίζεται η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του αρχικού σήματος $x(t)$. Παρατηρούμε ότι η ελάχιστη και η μέγιστη τιμή του ισούνται με a και b , αντίστοιχα. Αν συμβολίσουμε με Q το πλήθος των ζωνών κβάντισης, τότε το εύρος της ζώνης ομοιόμορφης κβάντισης Δ θα είναι ίσο με $\Delta = (b-a)/Q$.

Έτσι, η έξοδος του κβαντιστή $x_q(t)$ θα περιγράφεται από την ακόλουθη σχέση: $x_q(t) = m_i$ αν $x_i - 1 < x(t) \leq x_i$ όπου $x_i = a + i\Delta$ και $m_i = (x_{i-1} + x_i)/2$, $i = 1, 2, \dots, Q$

Έχουμε ήδη αναφέρει ότι το σφάλμα κβάντισης περιορίζεται όταν αυξάνουμε το πλήθος των ζωνών κβάντισης. Ειδικά για την ομοιόμορφη κβάντιση, έχειδειχθεί ότι το μέσο τετραγωνικό σφάλμα κβαντισμού δίδεται από τη σχέση

$$E\left[\left(x(t) - x_q(t)\right)^2\right] = \frac{\Delta^2}{12}$$

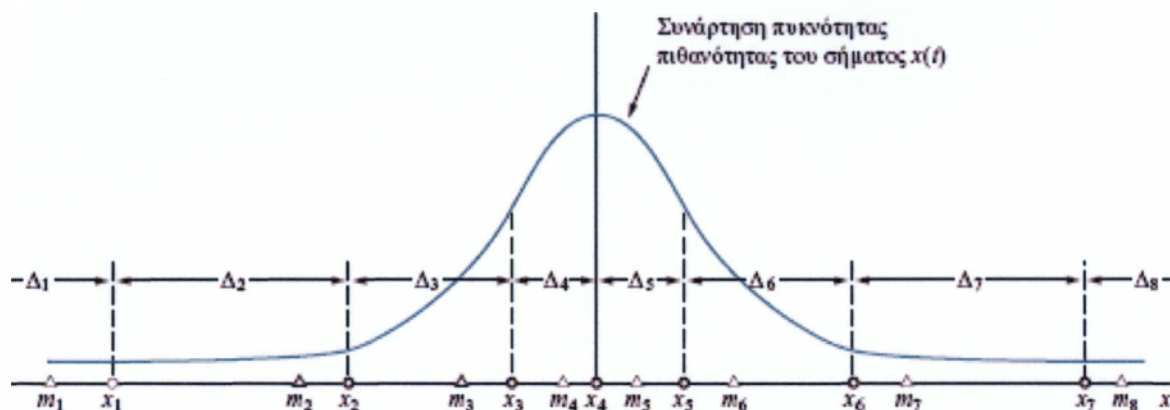
Ανομοιόμορφη κβάντιση

Η ομοιόμορφη κβάντιση δεν είναι σε όλες τις περιπτώσεις αποτελεσματική. Για παράδειγμα, έχει παρατηρηθεί ότι στην ομιλία εμφανίζονται συνήθως σήματα μικρού πλάτους και σπανιότερα σήματα μεγάλου πλάτους. Στην ομοιόμορφη κβάντιση όμως τα σήματα μικρού πλάτους θα έχουν μεγαλύτερο θόρυβο κβάντισης σε σχέση με τα σήματα μεγάλου πλάτους. Έτσι, λοιπόν, με το σχεδιασμό της ομοιόμορφης κβάντισης ευνοούνται τα δείγματα μεγάλου πλάτους, τα οποία εμφανίζονται αραιά στο σύστημά μας. Ταυτόχρονα όμως, δεν έχουμε την αντίστοιχη ευνοϊκή αντιμετώπιση και στα δείγματα μικρού πλάτους, παρ'όλο που αυτά έχουν τη μεγαλύτερη πιθανότητα εμφάνισης.

Για την αντιμετώπιση αυτού του φαινομένου, και υπό τον περιορισμό του σταθερού πλήθους ζωνών κβάντισης, χρησιμοποιείται η ανομοιόμορφη κβάντιση. Στο παρακάτω σχήμα δίδουμε ένα παράδειγμα ανομοιόμορφης κβάντισης για ένα σήμα Gaussian. Η βασική της ιδέα είναι πολύ απλή. Το πεδίο τιμών του αρχικού σήματος διαμοιράζεται

Σχεδίαση και υλοποίηση Κωδικοποιητή «Δέλτα» με χρήση ενσωματωμένης πλακέτας «ανοικτής» σχεδίασης (Open-source hardware embedded board).

σε διαστήματα μεταβλητού εύρους (Δ_i). Τα ακραία σημεία των ζωνών κβάντισης (x_i) και η αντίστοιχη στάθμη εξόδου του κβαντιστή (m_i) επιλέγονται έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η επίδραση του θορύβου κβάντισης. Συνήθως η αντικειμενική συνάρτηση της αντίστοιχης βελτιστοποίησης είναι ο μέσος λόγος σήματος προς θόρυβο κβάντισης, όπου οι τιμές των ζωνών κβάντισης σταθμίζονται ως προς η συχνότητα εμφάνισης των δειγμάτων που περιλαμβάνουν.



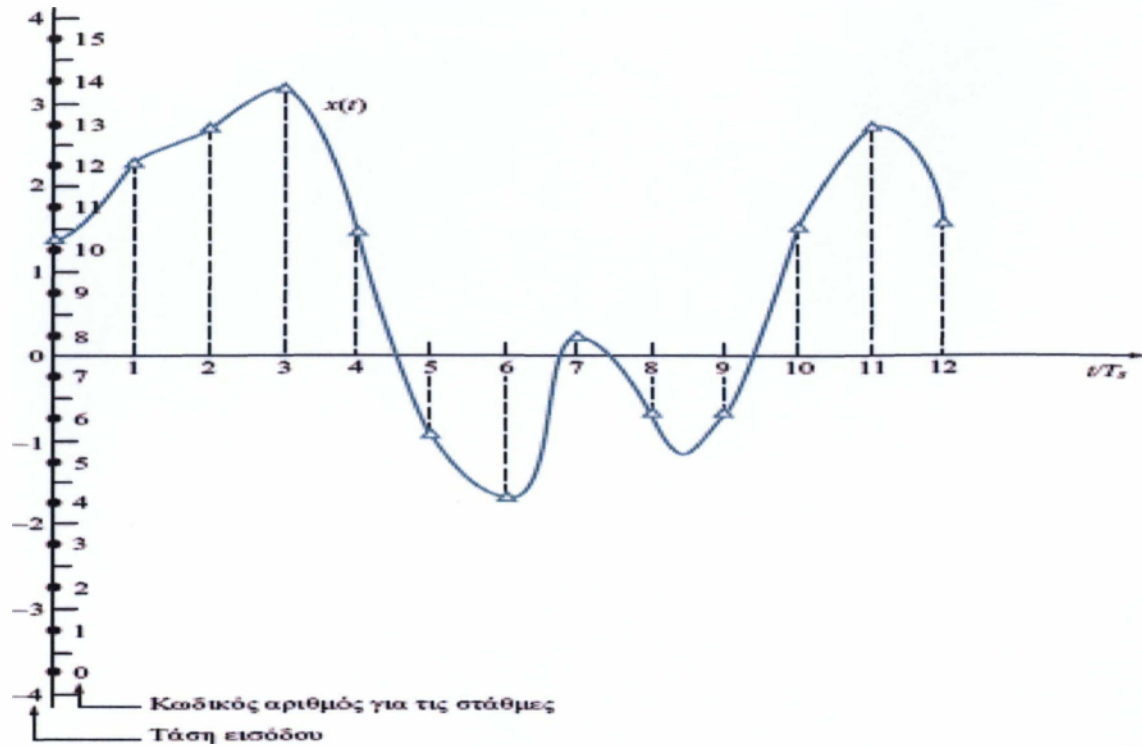
Σχήμα 1.2.1.8 Παράδειγμα ανομοιόμορφης κβάντισης για σήμα Gaussian. Το πεδίο τιμών του σήματος είναι $(-\infty, +\infty)$ και διαμοιράζεται σε 8 στάθμες μεταβλητού εύρους.

Κωδικοποίηση

Στην παλμοκωδική διαμόρφωση, το αρχικό αναλογικό σήμα, αφού δειγματοληπτηθεί και κβαντιστεί, εισέρχεται στην τρίτη φάση επεξεργασίας, που είναι η κωδικοποίηση. Σ' αυτή τη φάση κάθε κβαντισμένη στάθμη αναπαρίσταται με έναν κωδικό αριθμό. Έτσι, αυτό που μεταδίδεται δεν είναι η ίδια η στάθμη, αλλά ο αντίστοιχος κωδικός αριθμός. Για τη βέλτιστη αναπαράσταση των σταθμών κβάντισης με κωδικές λέξεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν προηγμένες τεχνικές κωδικοποίησης πηγής, οι οποίες οδηγούν σε ελαχιστοποίηση της μεταδιδόμενης κυκλοφορίας.

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζονται τα κύρια χαρακτηριστικά της παλμοκωδικής διαμόρφωσης. Θεωρούμε ότι το αρχικό αναλογικό σήμα $x(t)$ λαμβάνει τιμές στο πεδίο $[-4, 4]$. Το σήμα δειγματοληπτείται με περίοδο δειγματοληψίας T_s δευτερόλεπτα και έτσι λαμβάνουμε το διακριτό σήμα $x_s(t) = x(nT_s)$, $n = 1, 2, \dots$. Στη συνέχεια, το διακριτό σήμα εισέρχεται σε έναν ομοιόμορφο κβαντιστή 16 βαθμίδων. Το εύρος της κάθε ζώνης κβάντισης είναι ίσο με 0,5 Volts. Έτσι, τα άκρα των ζωνών κβάντισης βρίσκονται στα $-4, -3,5, -3, \dots, 3, 3,5, 4$ Volts και οι στάθμες κβάντισης θα είναι $-3,75, -3,25, -2,75, \dots, 2,75, 3,25, 3,75$ Volts. Το εξαγόμενο κβαντισμένο σήμα το συμβολίζουμε με $x_q(t)$.

Σχεδίαση και υλοποίηση Κωδικοποιητή «Δέλτα» με χρήση ενσωματωμένης πλακέτας «ανοικτής» σχεδίασης.(Open-source hardware embedded board).



Σχήμα 1.2.1.9 Ένα παράδειγμα παλμοκωδικής διαμόρφωσης. Οι κωδικοί αριθμοί των σταθμών απεικονίζονται στο δεκαδικό σύστημα.

Αριθμός δείγματος	$x_s(t)$	$x_q(t)$	Αριθμός στάθμης	Δεκαδική τιμή αριθμού στάθμης
0	1,3	1,25	10	1010
1	2,3	2,25	12	1100
2	2,7	2,75	13	1101
3	3,2	3,25	14	1110
4	1,45	1,25	10	1010
5	- 0,9	- 0,75	6	0110
6	- 1,7	- 1,75	4	0100
7	0,3	0,25	8	1000
8	0,7	0,75	9	1001
9	0,7	0,75	9	1001
10	1,6	1,75	11	1011
11	2,8	2,75	13	1101
12	1,7	1,75	11	1011

Σχήμα 1.2.1.10 Οι τιμές που λαμβάνουν τα δείγματα του σχήματος 1.2.1.9 σε κάθε φάση της παλμοκωδικής διαμόρφωσης.

Διαφορική παλμοκωδική διαμόρφωση (DPCM)

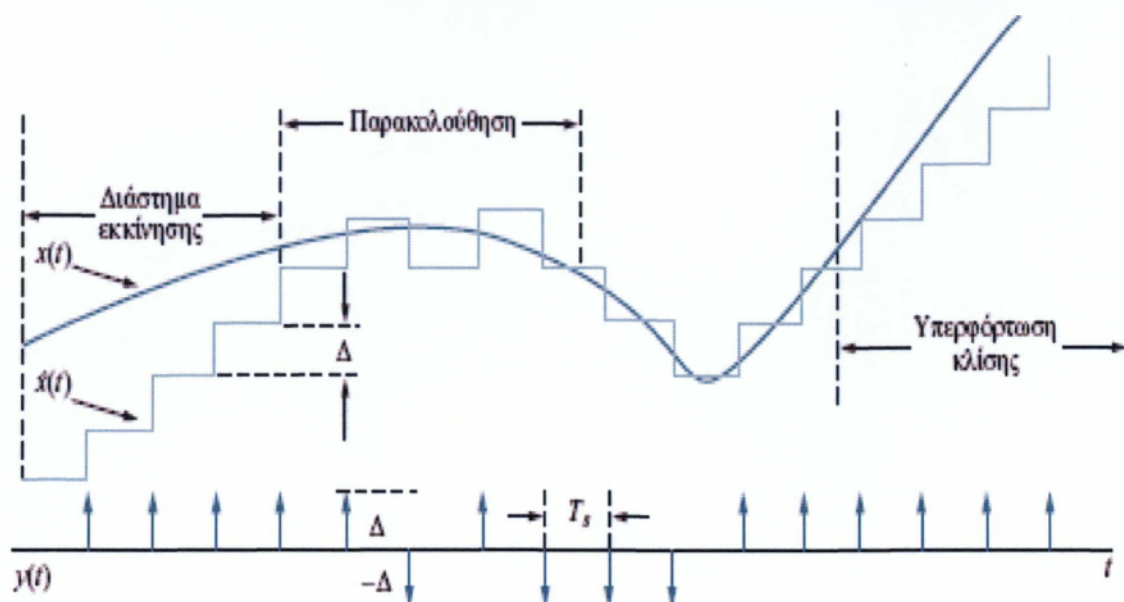
Η διαφορική παλμοκωδική διαμόρφωση (Differential PCM –DPCM), εκπέμπει τις διαφορές στάθμης των διαδοχικών δειγμάτων αντί της απόλυτης τιμής τους. Έτσι, αντί για 8 bits, που εκπέμπονται συνήθως για κάθε δείγμα του σήματος στη συμβατική PCM, η διαφορική PCM υλοποιείται εκπέμποντας 4 bits ανά δείγμα. Αυτή η τεχνική είναι αποδοτική όταν δεν υπάρχουν μεγάλες διαφορές σε γειτονικά δείγματα, όπως, π.χ., κατά την εκπομπή ενός τηλεοπτικού δελτίου ειδήσεων και συγκεκριμένα κατά την εκφώνηση των ειδήσεων, όπου οι μεταβολές στα γειτονικά καρέ προκαλούνται μόνο από τις κινήσεις του προσώπου του τηλεπαρουσιαστή. Επίσης, έχει παρατηρηθεί ότι και οι διαφορές μεταξύ διαδοχικών δειγμάτων σε κοινά σήματα ομιλίας δεν είναι πολύ μεγάλες, και έτσι η διαφορική PCM είναι ικανή να χρησιμοποιηθεί για την ψηφιακή μετάδοσή τους. Μια άλλη προηγμένη τεχνική είναι η διαμόρφωση Δέλτα, η οποία χρησιμοποιεί κώδικα του ενός μόνο bit για την ψηφιακή μετάδοση αναλογικών σημάτων την οποία θα αναπτύξουμε παρακάτω.

1.2.2 Διαμόρφωση Δέλτα

Η βασική ιδέα της διαμόρφωσης Δέλτα είναι η εξής: αντί, για κάθε δείγμα, να αποστέλλουμε πληροφορία για το πλάτος του σήματος, στέλνουμε πληροφορία για τη μεταβολή της στάθμης του. Συγκεκριμένα, για κάθε δείγμα του αναλογικού σήματος εκπέμπεται ένα bit που υποδηλώνει αν το συγκεκριμένο δείγμα είναι μεγαλύτερο ή μικρότερο από το προηγούμενό του. Στον παραλήπτη κόμβο, το εξαγόμενο σήμα αυξομειώνεται βηματικά κατά ένα προκαθορισμένο διάστημα Δ , ανάλογα με την τιμή του σήματος εισόδου στον αποδιαμορφωτή Δέλτα.

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζονται συνοπτικά οι λειτουργίες της διαμόρφωσης Δέλτα. Το αρχικό αναλογικό σήμα προς μετάδοση είναι το $x(t)$, το σήμα που εξάγεται τελικά στον παραλήπτη κόμβο είναι το $x'(t)$ και η δυαδική κυματομορφή που μεταδίδεται οδηγείται από τους παλμούς του σήματος $y(t)$. Η προσέγγιση $x'(t)$ είναι αρχικά μικρότερη του αναλογικού σήματος $x(t)$. Κατά συνέπεια, ο πρώτος παλμός του $y(t)$ θα έχει θετική τιμή, γεγονός που οδηγεί στην αύξηση του $x'(t)$ κατά μία βαθμίδα μεταβολής με πλάτος Δ . Αυτό επαναλαμβάνεται καθ' όλη τη διάρκεια του διαστήματος εκκίνησης και μέχρις ότου το $x'(t)$ ξεπεράσει το $x(t)$, δηλαδή μέχρι το πέμπτο βήμα. Από το έκτο βήμα και μέχρι το ένατο βήμα, όπου το $x(t)$ δεν εμφανίζει σημαντικές μεταβολές, το $x'(t)$ παρουσιάζει μια συμπεριφορά παρακολούθησης του σήματος, με διαδοχικές αυξομειώσεις της τιμής του.

Σχεδίαση και υλοποίηση Κωδικοποιητή «Δέλτα» με χρήση ενσωματωμένης πλακέτας «ανοικτής» σχεδίασης. (Open-source hardware embedded board).



Σχήμα 1.2.2.1 Ένα παράδειγμα της διαμόρφωσης Δέλτα.

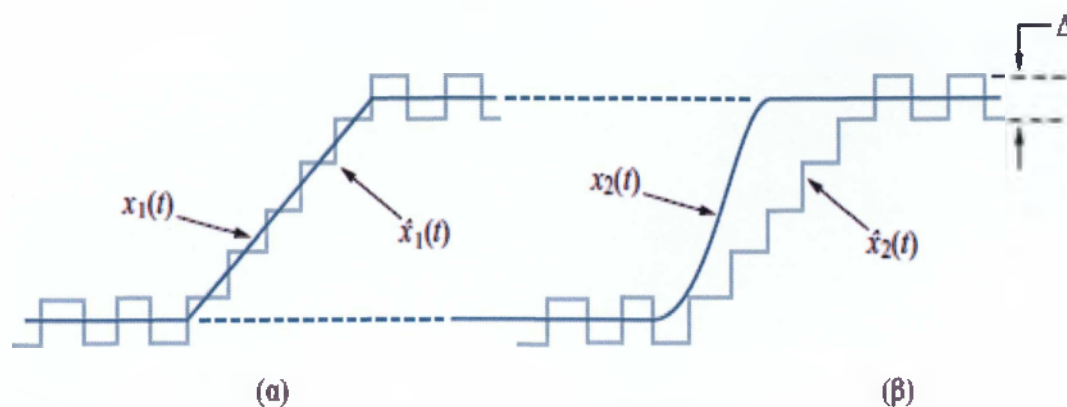
Η διαμόρφωση Δέλτα απαιτεί μικρότερους ρυθμούς μετάδοσης από την παλμοκωδική διαμόρφωση για τη μεταφορά ενός αναλογικού σήματος. Επίσης, επειδή ο αλγόριθμος Δέλτα είναι εξαιρετικά απλός, τα κυκλώματα που απαιτούνται για τη διαμόρφωση, μετάδοση και αποδιαμόρφωση είναι πολύ απλούστερα από τα αντίστοιχα κυκλώματα της παλμοκωδικής διαμόρφωσης.

Όμως, αυτό που πρέπει να παρατηρήσουμε είναι ότι η έξοδος του συστήματος διαφέρει σημαντικά από το αρχικό αναλογικό σήμα κατά τη διάρκεια του **διαστήματος εκκίνησης**. Επίσης, και κατά τη διάρκεια των διαστημάτων παρακολούθησης η έξοδος του συστήματος εμφανίζει μεταβολές που δεν υπάρχουν στο αρχικό αναλογικό σήμα εισόδου. Οι μεταβολές αυτές οφείλονται στη βηματική προσέγγιση του αρχικού σήματος και καλούνται **βηματικός θόρυβος**. Τέλος, ένα ακόμα σημαντικό πρόβλημα που συναντάμε στη διαμόρφωση Δέλτα είναι η **υπερφόρτωση κλίσης**.

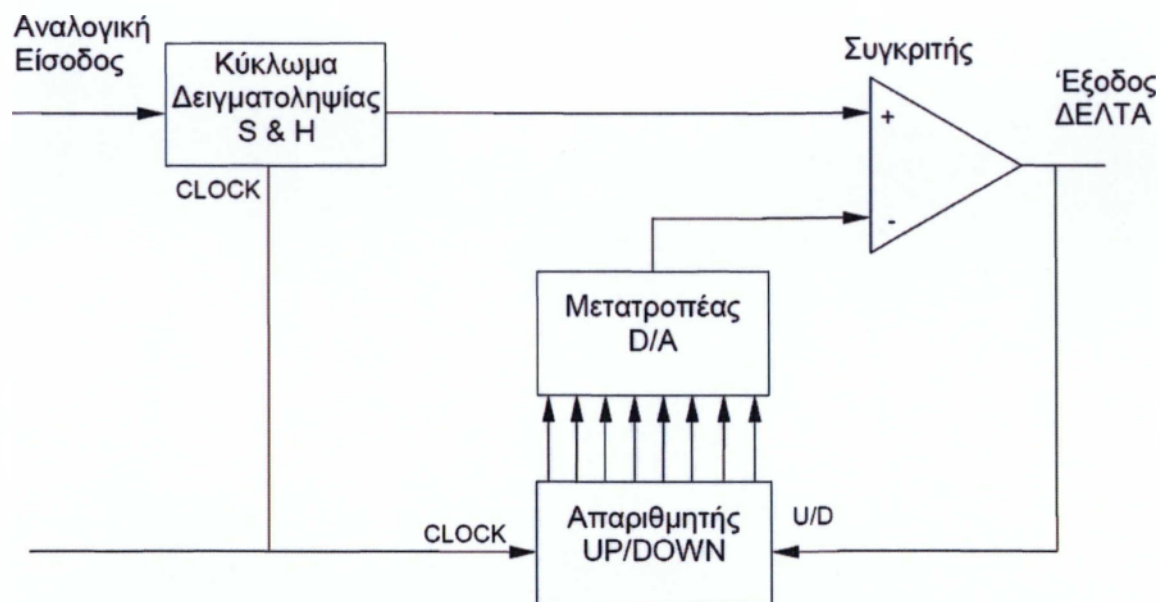
Υπερφόρτωση κλίσης

Όταν το αναλογικό σήμα εισόδου μεταβάλλεται γρηγορότερα απ' ό,τι μπορεί να παρακολουθήσει ο διαμορφωτής Δέλτα, τότε η προσέγγιση του αρχικού σήματος δεν είναι ικανοποιητική. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **υπερφόρτωση κλίσης** (slope overload). Η υπερφόρτωση κλίσης δεν εξαρτάται από το πλάτος του σήματος αλλά από την κλίση του, απ' όπου και η ονομασία του. Το πρόβλημα της υπερφόρτωσης κλίσης απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα. Παρατηρούμε ότι και στις δύο περιπτώσεις του σχήματος το σήμα εισόδου μεταβάλλεται από μια κατώτερη τιμή σε μια ανώτερη. Στην περίπτωση (α), ο διαμορφωτής Δ μπορεί να παρακολουθήσει τη μεταβολή. Στην περίπτωση (β) όμως, όπου το σήμα μεταβάλλεται με μεγαλύτερο ρυθμό, η έξοδος του συστήματος Δέλτα δεν προσεγγίζει ικανοποιητικά το αρχικό σήμα.

Σχεδίαση και υλοποίηση Κωδικοποιητή «Δέλτα» με χρήση ενσωματωμένης πλακέτας «ανοικτής» σχεδίασης. (Open-source hardware embedded board).

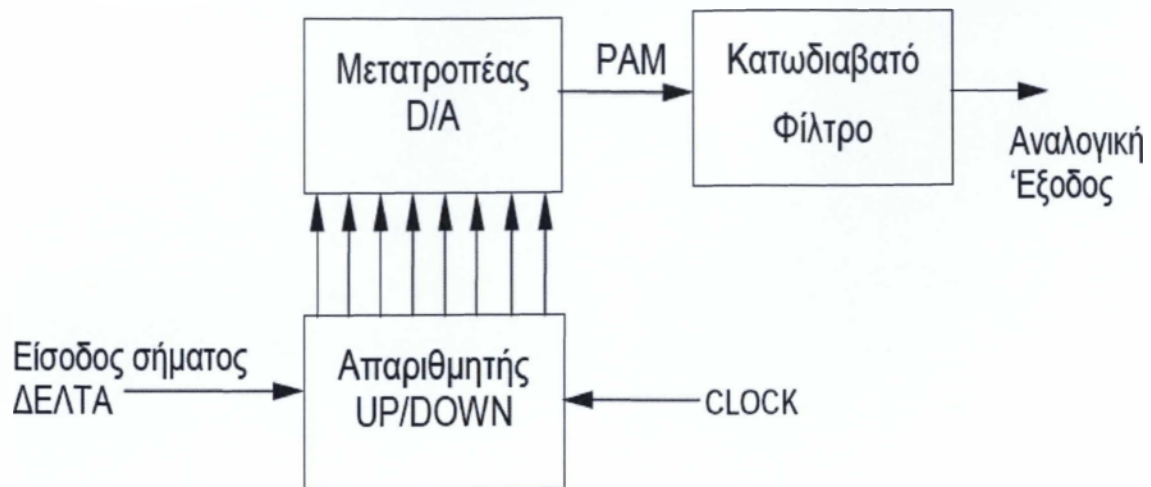


Σχήμα 1.2.2.2 Το πρόβλημα της υπερφόρτωσης κλίσης λόγω γρήγορης μεταβολής του σήματος. (Η υπερφόρτωση κλίσης μπορεί να αντιμετωπιστεί είτε με αύξηση του ρυθμού δειγματοληψίας είτε με αύξηση του βήματος μεταβολής Δ .)



Σχήμα 1.2.2.3 Ο διαμορφωτής Δέλτα.

Σχεδίαση και υλοποίηση Κωδικοποιητή «Δέλτα» με χρήση ενσωματωμένης πλακέτας «ανοικτής» σχεδίασης. (Open-source hardware embedded board).

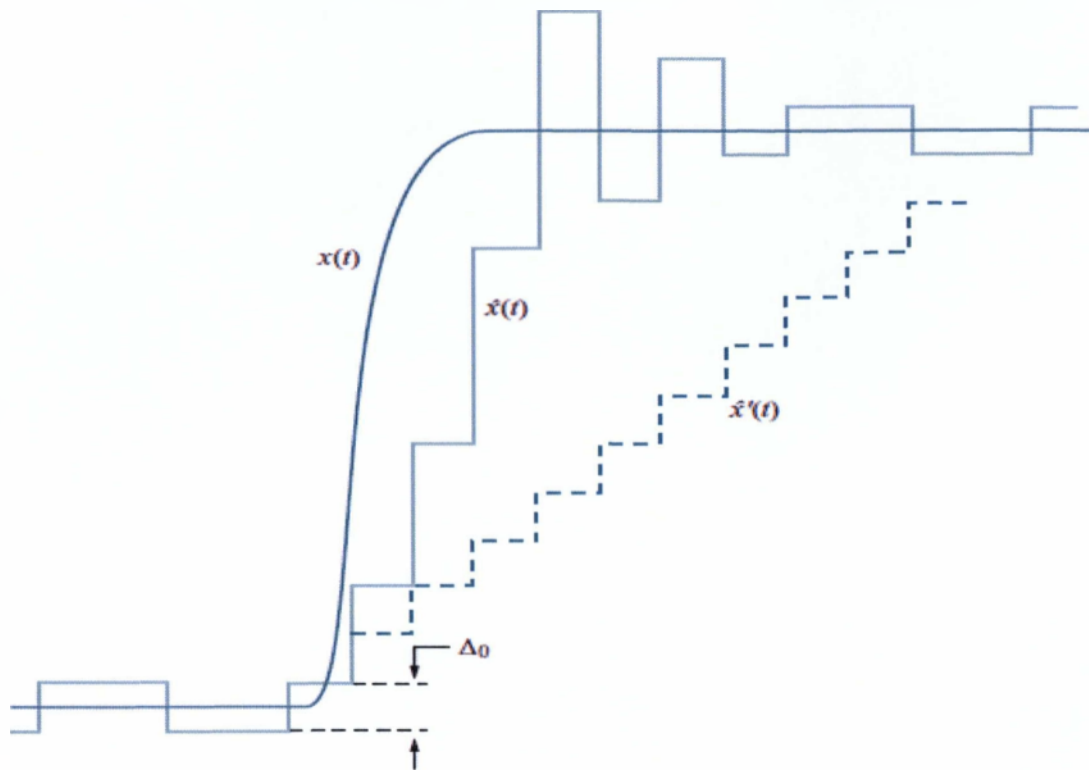


Σχήμα 1.2.2.4 Ο αποδιαμορφωτής Δέλτα.

Η προσαρμοστική διαμόρφωση Δέλτα

Για να αντιμετωπιστεί η παραμόρφωση λόγω υπερφόρτωσης κλίσης, επινοήθηκε και χρησιμοποιείται μια παραλλαγή της διαμόρφωσης Δέλτα, η οποία είναι γνωστή ως προσαρμοστική διαμόρφωση Δέλτα (Adaptive Delta Modulation – ADM). Στη διαμόρφωση ADM το πλάτος του βήματος μεταβολής δεν είναι σταθερό, αλλά αυξάνεται στα σημεία όπου το αρχικό αναλογικό σήμα παρουσιάζει μεγάλη κλίση. Συγκεκριμένα, ο διαμορφωτής ADM διατηρεί σταθερό το βήμα μεταβολής όταν στη μεταδιδόμενη δυαδική παλμοσειρά υπάρχουν συχνές εναλλαγές bit με τιμές 0 και 1, γεγονός που υποδηλώνει την ικανοποιητική προσέγγιση του αρχικού σήματος. Αν, όμως, εμφανιστούν πολλά συνεχόμενα 0 ή 1, τότε αυτό σημαίνει ότι έχει υπάρξει μεγάλη μεταβολή στο αρχικό σήμα. Σ' αυτή την περίπτωση ο διαμορφωτής ADM αυξάνει αυτόματα το βήμα μεταβολής, μέχρις ότου προσεγγιστεί ικανοποιητικά το αρχικό σήμα. Στη συνέχεια, το βήμα μεταβολής μειώνεται πάλι στην αρχική του τιμή, προσπαθώντας έτσι να διατηρηθεί σε χαμηλά επίπεδα ο βηματικός θόρυβος.

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζεται παραστατικά το πλεονέκτημα της διαμόρφωσης ADM έναντι της διαμόρφωσης Δέλτα. Όπως παρατηρούμε, το σήμα εξόδου $x'(t)$, το οποίο έχει παραχθεί με χρήση συστήματος ADM, προσεγγίζει πολύ καλύτερα το αρχικό σήμα $x(t)$ απ' ό,τι το σήμα $x'(t)$, που έχει παραχθεί με χρήση διαμόρφωσης Δέλτα.



Σχήμα 1.2.2.5 Ένα παράδειγμα που απεικονίζει την καλύτερη απόκριση της προσαρμοστικής διαμόρφωσης Δέλτα συγκριτικά με τη διαμόρφωση Δέλτα.

1.2.3 Σύγκριση της Διαμόρφωσης Δέλτα με άλλες τεχνικές μετατροπής αναλογικού σε ψηφιακό.

Δεδομένης της απλής αρχής λειτουργίας ενός συστήματος Δέλτα Διαμόρφωσης / Αποδιαμόρφωσης, γίνεται φανερό πως η κυκλωματική υλοποίηση της τεχνικής είναι εξίσου απλή, γεγονός που καθιστά το κόστος της αντίστοιχης υλοποίησης σημαντικά μικρότερο σε σχέση με άλλες τεχνικές. Μάλιστα, υπάρχουν διαθέσιμοι σε ένα μόνο ολοκληρωμένο κύκλωμα κωδικοποιητές / αποκωδικοποιητές για Διαμόρφωση Δέλτα οι οποίοι χρησιμοποιούν κώδικα του ενός μόνο bit για την ψηφιακή μετάδοση αναλογικών σημάτων.

Παρόλα αυτά, η Διαμόρφωση Δέλτα δεν συνηθίζεται να χρησιμοποιείται μιας και είναι ευπαθής σε διάφορες ατέλειες που εμφανίζονται σε ένα τηλεπικοινωνιακό σύστημα. Τα προβλήματα στη διαμόρφωση Δέλτα που οδηγούν στην υποβάθμιση της ποιότητας μετάδοσης είναι το αρχικό διάστημα εκκίνησης, ο βηματικός θόρυβος και η υπερφόρτωση κλίσης που μπορεί να αντιμετωπιστεί με την προσαρμοστική διαμόρφωση Δέλτα, όπου το πλάτος του βήματος μεταβολής δεν είναι σταθερό, αλλά αυξάνεται ανάλογα με την κλίση του αρχικού σήματος.

2. ΠΡΑΚΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

2.1 Μεθοδολογία Σχεδίασης

Η διαμόρφωση «Δέλτα» (Delta Modulation-DM) αποτελεί μια τεχνική μετατροπής αναλογικού σήματος σε ψηφιακό, η πολυπλοκότητα υλοποίησης της οποίας είναι σχετικά μικρή. Σκοπός της εργασίας είναι η σχεδίαση και η υλοποίηση ενός διαμορφωτή «Δέλτα» με τον κατάλληλο προγραμματισμό μικροελεγκτή, ενσωματωμένου σε πλακέτα «ανοικτής» σχεδίασης, Arduino.

Για να κατανοήσουμε τη λειτουργία του διαμορφωτή «Δέλτα» θα χρησιμοποιήσουμε τη γλώσσα Processing με στόχο να επικοινωνήσει με την πλακέτα Arduino και να δημιουργήσουμε γραφήματα (graphs) έτσι ώστε να διακρίνουμε απόλυτα την λειτουργία του διαμορφωτή μας. Τα γραφήματα (graphs) θα είναι τα δεδομένα μεταφοράς από την πλακέτα Arduino στην γλώσσα Processing.

2.2 Προδιαγραφές-Σχεδίαση-Υλοποίηση

Στην εργασία χρησιμοποιήσαμε, προγραμματίζοντάς την, μία πλακέτα Arduino Duemilanova και οφείλουμε να αναφέρουμε αρχικά μερικά από τα χαρακτηριστικά της. Η πλακέτα μπορεί να τροφοδοτηθεί είτε με τροφοδοτικό των 9 Volt, είτε απευθείας από την USB θύρα του υπολογιστή. Περιλαμβάνει επεξεργαστή κώδικα(κειμένου) και μεταγλωττιστή και έχει την ικανότητα να φορτώνει εύκολα το πρόγραμμα μέσω σειριακής θύρας από τον υπολογιστή στην πλακέτα ενώ το περιβάλλον ανάπτυξης είναι βασισμένο στην γλώσσα Processing.

Η γλώσσα Processing είναι ένα περιβάλλον προγραμματισμού που αρχικά αναπτύχθηκε και χρησίμευσε για να διδάξει βασικές αρχές του προγραμματισμού ηλεκτρονικών υπολογιστών μέσα σε ένα οπτικό πλαίσιο σχεδίων λογισμικού. Σήμερα, υπάρχουν χιλιάδες φοιτητές, καλλιτέχνες, σχεδιαστές και ερευνητές που χρησιμοποιούν τη γλώσσα Processing για μάθηση, προτυποποίηση και παραγωγή.

Στη συνέχεια θα αναφέρουμε αναλυτικά τις προδιαγραφές του διαμορφωτή Δέλτα που σχεδιάσαμε παρατηρώντας τους κώδικες προγραμματισμού για την πλακέτα Arduino και το περιβάλλον Processing έτσι ώστε να κατανοηθεί πλήρως η λειτουργία του. Αρχικά, να τονίσουμε ότι το αναλογικό σήμα εισόδου του διαμορφωτή θα είναι μεταξύ 0 και 5 Volts ενώ για να εφαρμόσουμε τη διαμόρφωση Δέλτα δημιουργούμε ένα εσωτερικό σήμα(clock) το οποίο συγκρίνουμε με το σήμα που εισέρχεται στον Arduino . Ακολουθούν αναλυτικά οι κώδικες για Arduino και Processing αντίστοιχα.

Σχεδίαση και υλοποίηση Κωδικοποιητή «Δέλτα» με χρήση ενσωματωμένης πλακέτας «ανοικτής» σχεδίασης.(Open-source hardware embedded board).

Κώδικας πλακέτας Arduino

```
int currReading;
//ορίζουμε την μεταβλητή για την τιμή του τρέχοντος δείγματος του αναλογικού
σήματος

int pinModulator=0;
//ορίζουμε τον ακροδέκτη εισόδου για το αναλογικό σήμα

int sizeConstant=4;
//ορίζουμε το ύψος βήματος του κλιμακωτού σήματος

unsigned long StepVar;
//ορίζοντας το sizeConstant=4, αν η τιμή του ADC είναι π.χ. 800 θα έχουμε
χρονικό βήμα σήματος 0-4-8-12-17-.....-796-800-796-800-796

void setup(){
  Serial.begin(9600);
  // αρχικοποίηση της σειριακής επικοινωνίας σε ρυθμό 9600Baud

  unsigned long StepVar =0;
  //ορίζουμε την αρχική τιμή του εσωτερικού (κλιμακωτού) σήματος
}
void loop(){
  currReading=analogRead(0);
  // ανάγνωση της τιμής του τρέχοντος δείγματος του αναλογικού σήματος //το
εύρος τιμών του analogRead είναι [min=0V, max=5]

  if (StepVar>currReading)
  { StepVar=StepVar-sizeConstant;
    digitalWrite(pinModulator,LOW);
    Serial.print(0);}
  //όταν το εσωτερικό σήμα είναι μεγαλύτερο από το εξωτερικό τότε ο
μικροελεγκτής παραμένει LOW δηλαδή 0 στο ψηφιακό σήμα.
    else
      {StepVar=StepVar+sizeConstant;
        digitalWrite(pinModulator,HIGH);
        Serial.print(1);}
  //αντίθετα αν το εσωτερικό σήμα είναι μικρότερο από το εξωτερικό τότε ο
μικροελεγκτής γίνεται HIGH δηλαδή 1 στο ψηφιακό σήμα.
    delay(10);
  //καθυστέρηση κατά 10ms μέχρι τη λήψη του επόμενου δείγματος (ο χρόνος
αυτός καθορίζει τη συχνότητα δειγματοληψίας [=1/10ms=100Hz] και μπορεί να
μειωθεί ώστε να επιτρέπει τη δειγματοληψία σημάτων με υψηλότερες
συχνότητες)
}
```

Σχεδίαση και υλοποίηση Κωδικοποιητή «Δέλτα» με χρήση ενσωματωμένης πλακέτας «ανοικτής» σχεδίασης. (Open-source hardware embedded board).

Κώδικας Processing

```
//αυτό το πρόγραμμα παίρνει τιμές από τη σειριακή θύρα στα 9600 baud και σε
εύρος 0 έως 1023
import processing.serial.*;
Serial myPort;
// Η σειριακή θύρα

int xPos = 0;
// οριζόντια θέση του γραφήματος

void setup () {
  size(400, 300);
  // ορίζουμε το μέγεθος του παραθύρου

  println(Serial.list());
  //ορίζουμε όλες τις σειριακές θύρες

  myPort = new Serial(this, Serial.list()[1], 9600);
  //το πρόγραμμα Processing επικοινωνεί με την πλακέτα Arduino στο port 1

  background(0); }
void draw () {
  void serialEvent (Serial myPort) {
    int inByte = myPort.read()%2;
    if (inByte != -1) {
      float inByte_float = map(inByte, 0, 1, 0, height/2);
      //εδώ ρυθμίζουμε το πρόγραμμα ώστε να διαβάσει τα bits που στέλνει ο Arduino
      και να τα παρουσιάσει σε γράφημα

      stroke(127,34,255);

      line(xPos, height, xPos, height-inByte_float);
      // σχεδιάζουμε τη διαχωριστική γραμμή

      if (xPos >= width) { xPos = 0;
      // στην άκρη της οθόνης,το γράφημα ξεκινάει από την αρχή

      background(0);
        } else {
          // αυξάνεται η οριζόντια θέση του γραφήματος
          xPos++;
        }
      }
    }
  }
```

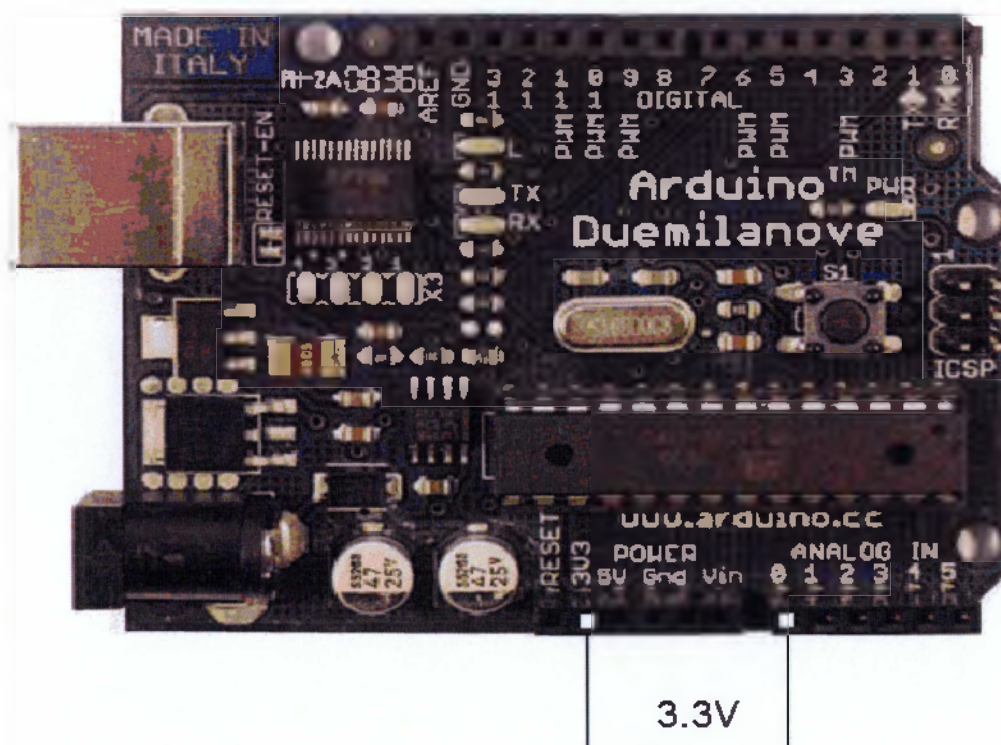

Σχεδίαση και υλοποίηση Κωδικοποιητή «Δέλτα» με χρήση ενσωματωμένης πλακέτας «ανοικτής» σχεδίασης.(Open-source hardware embedded board).

2.3 Έλεγχος Διαμορφωτή

Σε αυτό το σημείο θα αποδείξουμε τη σωστή λειτουργία του διαμορφωτή μας και να υπενθυμίσουμε ότι σκοπός μας είναι η μετατροπή ενός αναλογικού σήματος σε ψηφιακό με διαμόρφωση Δέλτα. Για να το επιτύχουμε αυτό, εφαρμόσαμε αρχικά τον διαμορφωτή μας σε σταθερές αναλογικές τάσεις των 3.3V και 5V καθώς και σήμα από γεννήτρια συναρτήσεων για να μελετήσουμε τις ψηφιακές εξόδους στο Processing και να βγάλουμε τα αντίστοιχα συμπεράσματα για κάθε περίπτωση. Παρακάτω θα παρουσιάσουμε αναλυτικά κάθε περίπτωση.

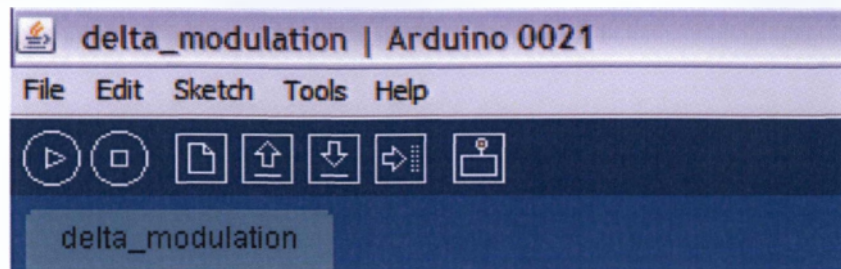
Παράδειγμα σταθερής αναλογικής τάσης 3.3V

Για να επιτύχουμε σταθερή αναλογική τάση 3.3V και να παρατηρήσουμε την ψηφιακή έξοδο του διαμορφωτή μας συνδέσαμε με λεπτό καλώδιο το αναλογικό pin 0 του Arduino με το pin 3V3 (3.3V) και έχουμε τα παρακάτω αποτελέσματα.



Σχήμα 2.3.1 Η σύνδεση του αναλογικού pin 0 με το pin 3V3 για να επιτύχουμε σταθερή τάση 3.3Volts.

Σχεδίαση και υλοποίηση Κωδικοποιητή «Δέλτα» με χρήση ενσωματωμένης πλακέτας «ανοικτής» σχεδίασης.(Open-source hardware embedded board).



```
delta_modulation | Arduino 0021
File Edit Sketch Tools Help

delta_modulation

int currReading;
  int pinModulator=0;
int sizeConstant=4;
unsigned long StepVar;

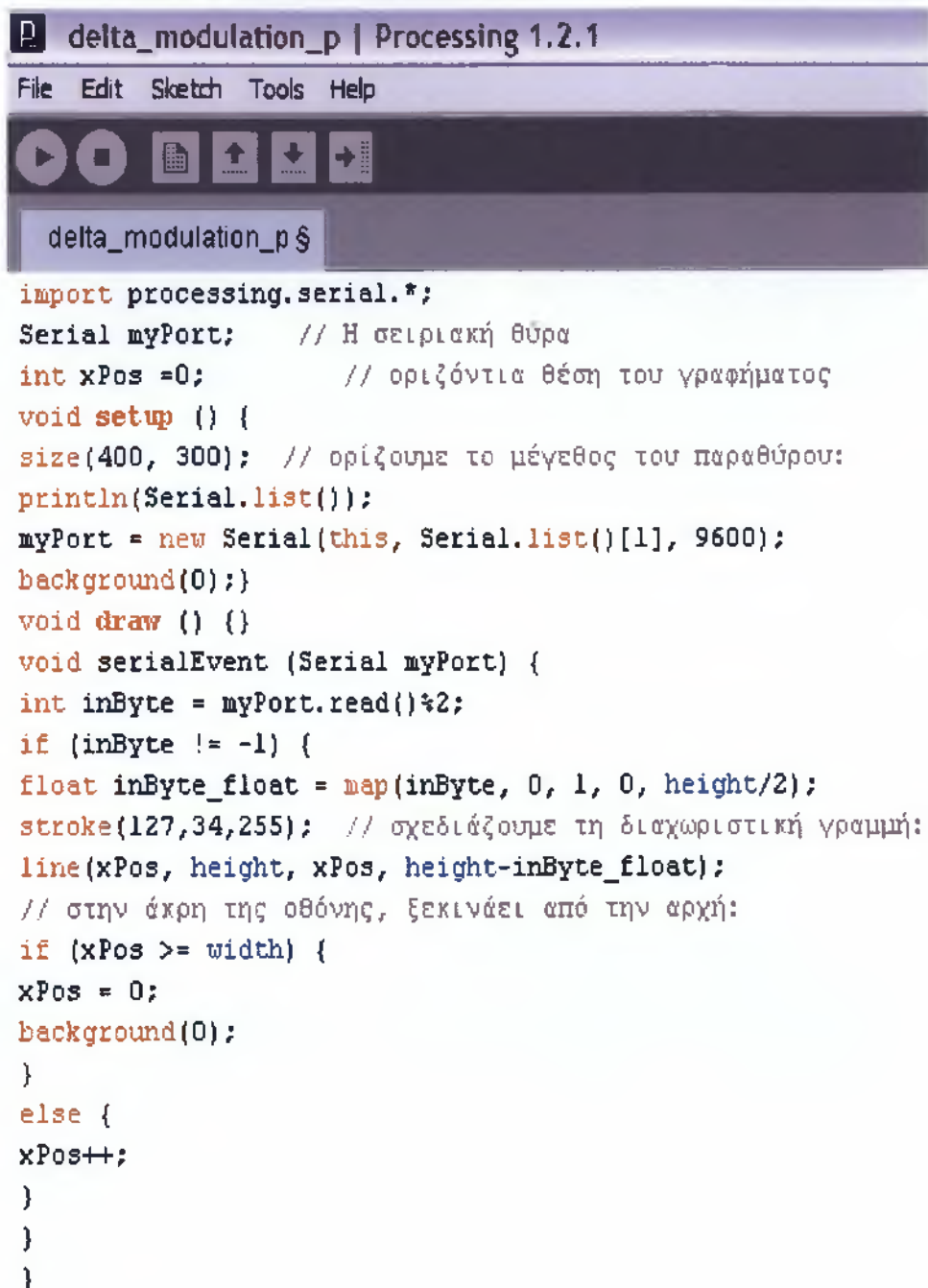
void setup(){
  // αρχικοποίηση της σειριακής επικοινωνίας:
  Serial.begin(9600);

  unsigned long StepVar =0;
}
void loop(){

currReading=analogRead(0);
  if (StepVar>currReading)
    { StepVar=StepVar-sizeConstant;
      digitalWrite(pinModulator,LOW);
      Serial.print(0);
    }
    else
      {StepVar=StepVar+sizeConstant;
        digitalWrite(pinModulator,HIGH);
        Serial.print(1);
      }
  delay(10);
}
```

Σχήμα 2.3.2 Ο κώδικας της διαμόρφωσης Δέλτα στον μικροελεγκτή Arduino.

Σχεδίαση και υλοποίηση Κωδικοποιητή «Δέλτα» με χρήση ενσωματωμένης πλακέτας «ανοικτής» σχεδίασης (Open-source hardware embedded board).



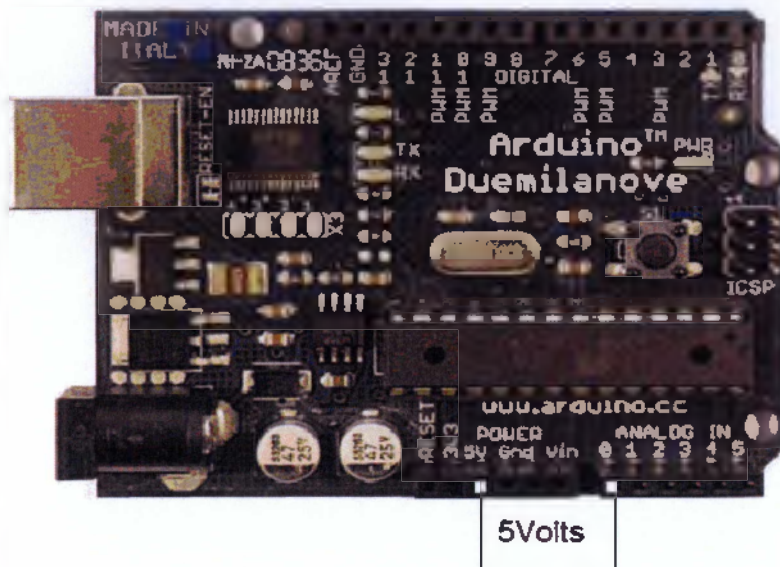
```
delta_modulation_p | Processing 1.2.1
File Edit Sketch Tools Help
delta_modulation_p $
import processing.serial.*;
Serial myPort; // Η σειριακή θύρα
int xPos = 0; // οριζόντια θέση του γραφήματος
void setup () {
  size(400, 300); // ορίζουμε το μέγεθος του παραθύρου:
  println(Serial.list());
  myPort = new Serial(this, Serial.list()[1], 9600);
  background(0);}
void draw () {}
void serialEvent (Serial myPort) {
  int inByte = myPort.read()*2;
  if (inByte != -1) {
    float inByte_float = map(inByte, 0, 1, 0, height/2);
    stroke(127,34,255); // σχεδιάζουμε τη διαχωριστική γραμμή:
    line(xPos, height, xPos, height-inByte_float);
    // στην άκρη της οθόνης, ξεκινάει από την αρχή:
    if (xPos >= width) {
      xPos = 0;
      background(0);
    }
    else {
      xPos++;
    }
  }
}
```

Σχήμα 2.3.3 Ο κώδικας στη γλώσσα Processing για την δημιουργία των γραφημάτων.

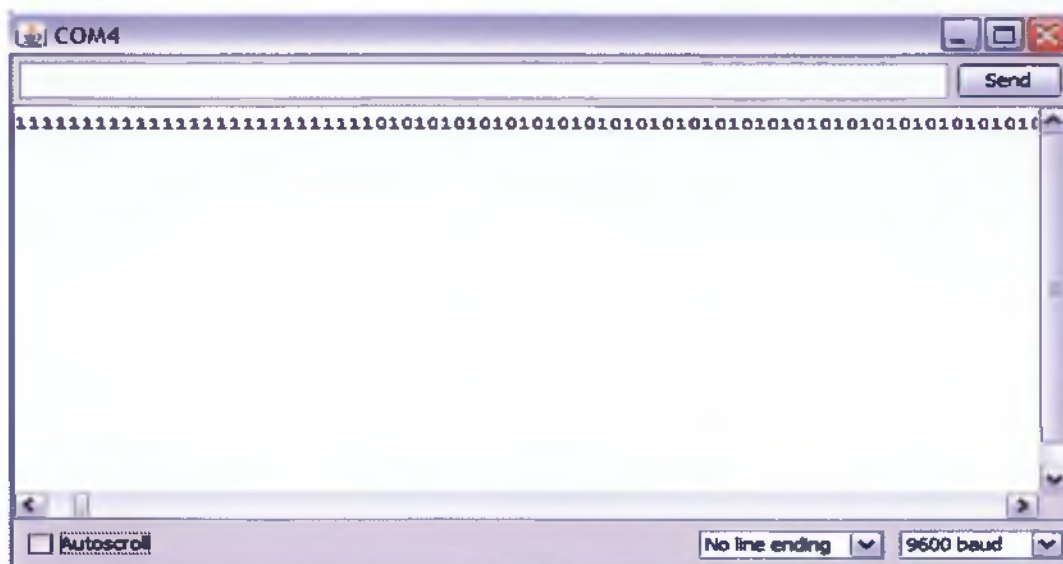
Σχεδίαση και υλοποίηση Κωδικοποιητή «Δέλτα» με χρήση ενσωματωμένης πλακέτας «ανοικτής» σχεδίασης.(Open-source hardware embedded board).

Παράδειγμα σταθερής αναλογικής τάσης 5V.

Για να επιτύχουμε σταθερή αναλογική τάση 5V και να παρατηρήσουμε την ψηφιακή έξοδο του διαμορφωτή μας συνδέσαμε με λεπτό καλώδιο το αναλογικό pin 0 του Arduino με το pin 5V (5Volts) και έχουμε τα παρακάτω αποτελέσματα.



Σχήμα 2.3.6 Η σύνδεση του αναλογικού pin 0 με το pin 5V για να επιτύχουμε σταθερή τάση 5Volts.



Σχήμα 2.3.7 Το Serial monitor της πλακέτας Arduino που εμφανίζει τα bits.

Παρατήρηση

Σε αυτή την περίπτωση παρατηρούμε ότι η σταθερή τάση 5V <<κλειδώνει>> σε 101010101010.....

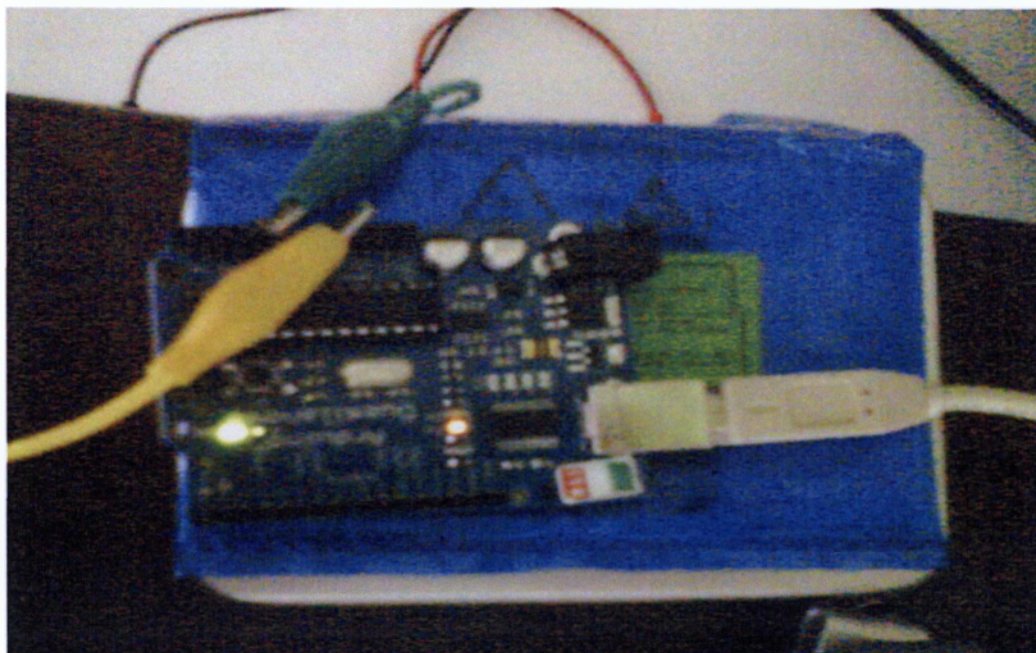
Σχεδίαση και υλοποίηση Κωδικοποιητή «Δέλτα» με χρήση ενσωματωμένης πλακέτας «ανοικτής» σχεδίασης.(Open-source hardware embedded board).



Σχήμα 2.3.8 Το γράφημα που απεικονίζει τα bits του Serial Monitor

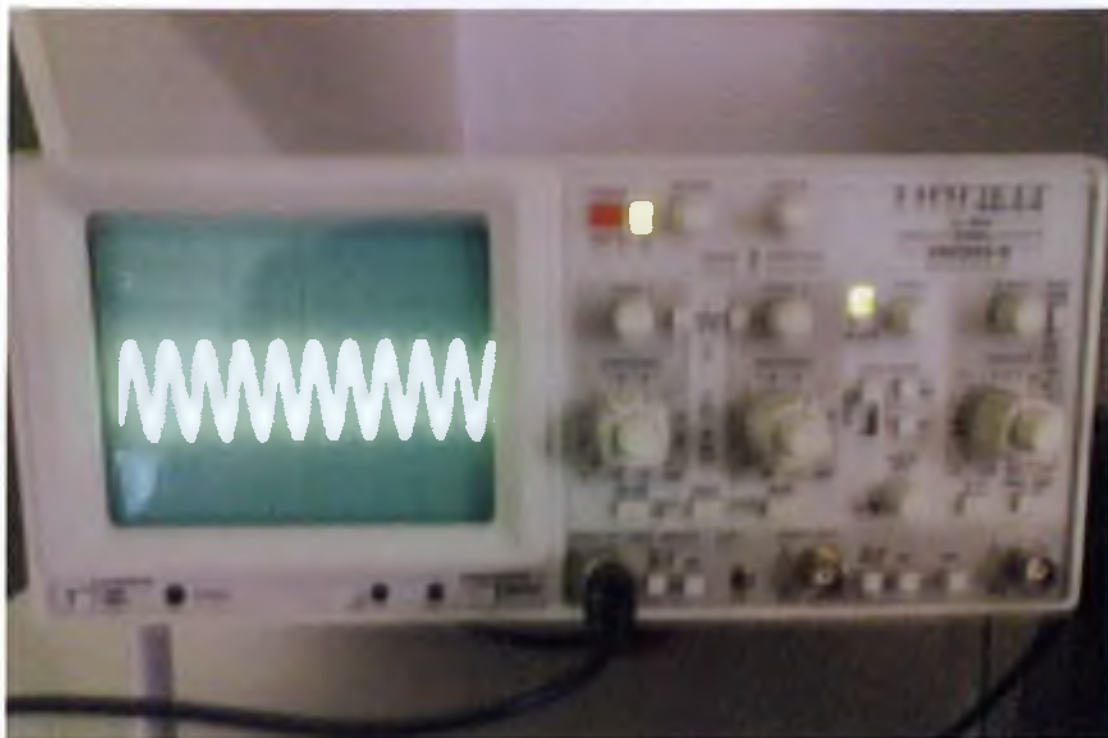
Παράδειγμα με γεννήτρια συναρτήσεων

Για να εξακριβώσουμε τη σωστή λειτουργία του διαμορφωτή μας, τον συνδέουμε με μία γεννήτρια συναρτήσεων και του βάζουμε ημιτονικό σήμα 3Volts από κορυφή σε κορυφή με συχνότητα 100Hz. Με ένα καλώδιο συνδέουμε το pin0 του Arduino με την γεννήτρια και με ένα άλλο το pin Gnd(ground).

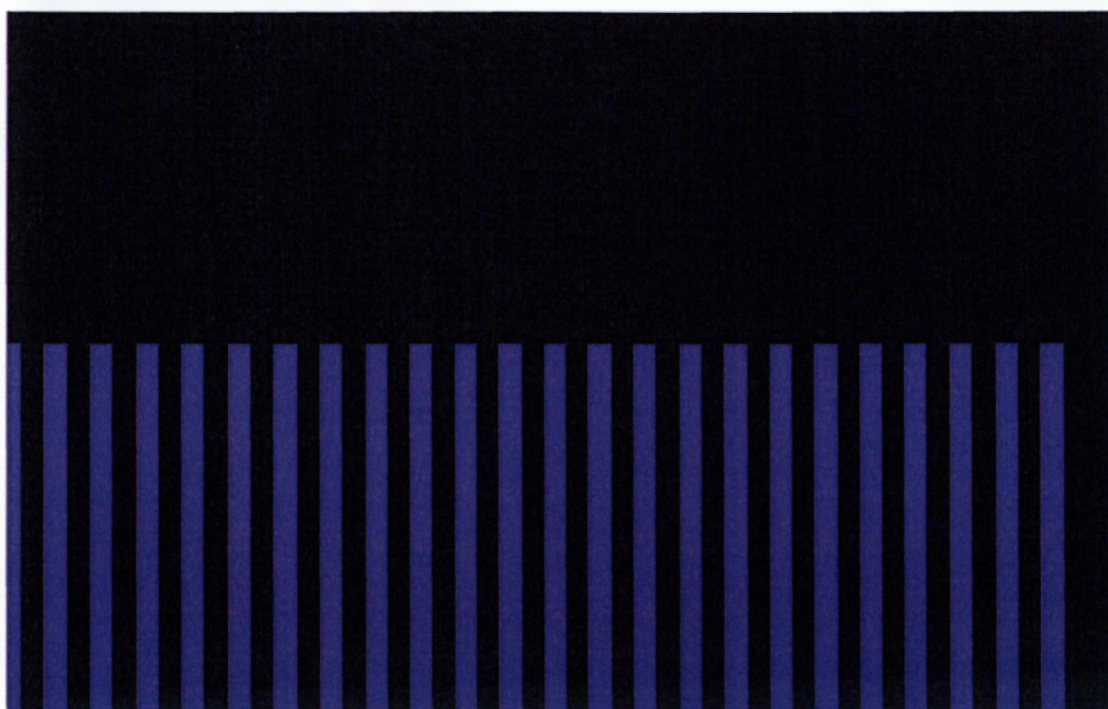


Σχήμα 2.3.9 Η συνδεσμολογία της γεννήτριας συναρτήσεων με την πλακέτα Arduino.

Σχεδίαση και υλοποίηση Κωδικοποιητή «Δέλτα» με χρήση ενσωματωμένης πλακέτας «ανοικτής» σχεδίασης.(Open-source hardware embedded board).

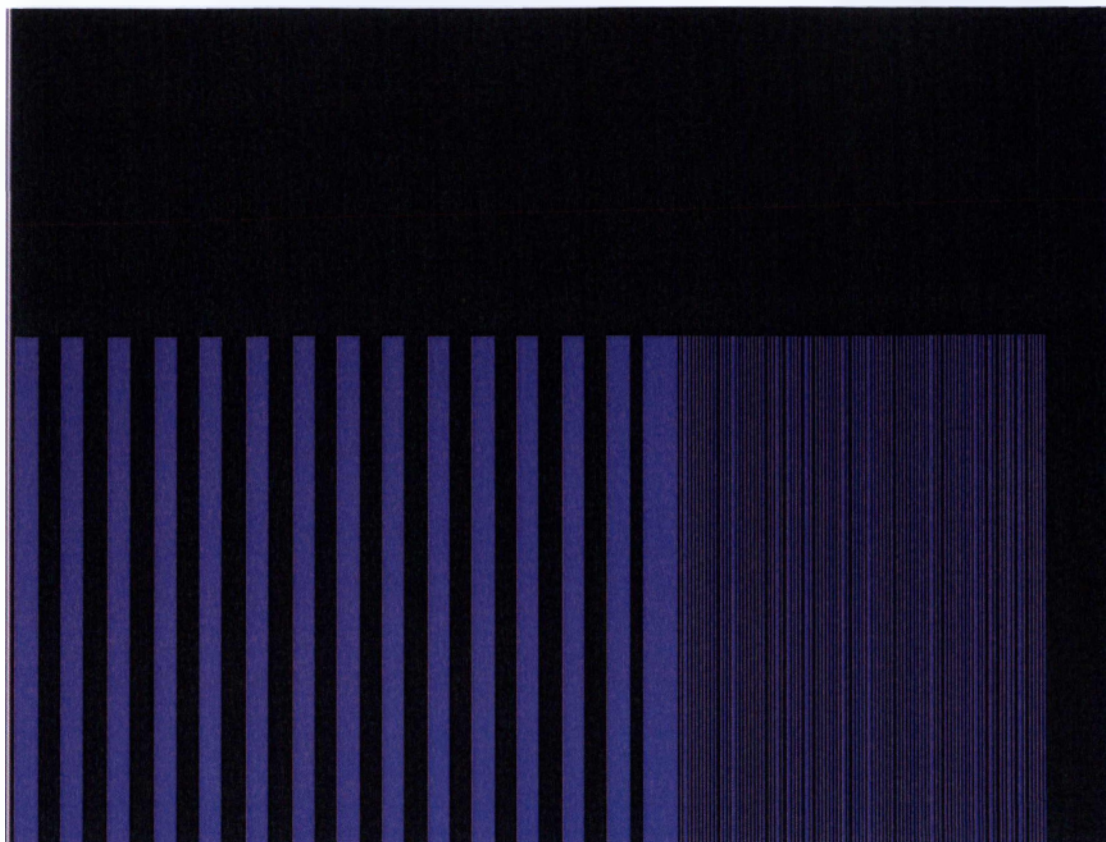


Σχήμα 2.3.10 Η γεννήτρια συναρτήσεων και το ημιτονικό σήμα προς ψηφιοποίηση.



Σχήμα 2.3.11 Το γράφημα που απεικονίζει τα bits του Serial Monitor για το ημιτονικό σήμα.

Σχεδίαση και υλοποίηση Κωδικοποιητή «Δέλτα» με χρήση ενσωματωμένης πλακέτας «ανοικτής» σχεδίασης.(Open-source hardware embedded board).



Σχήμα 2.3.12 Το γράφημα απεικονίζει τα bits του Serial Monitor για το προηγούμενο ημιτονικό σήμα με τη διαφορά ότι έπειτα από ένα χρονικό διάστημα στέλναμε σταθερή τάση <<μελετώντας>> την γεννήτρια συναρτήσεων.

3. ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΜΙΚΡΟΕΛΕΓΚΤΗ ARDUINO

3.1 Τι είναι ο Arduino;

Ο Arduino θα λέγαμε ότι είναι ένα εργαλείο για να κατασκευάσουμε ένα υπολογιστικό σύστημα με την έννοια ότι αυτό θα ελέγχει συσκευές του φυσικού κόσμου, σε αντίθεση με τον κοινό Ηλεκτρονικό Υπολογιστή. Είναι ανοιχτού υλικού και λογισμικού και βασίζεται σε μια αναπτυξιακή πλακέτα που ενσωματώνει επάνω έναν μικροελεγκτή και συνδέεται με τον Η/Υ για να τον προγραμματίσουμε μέσα από ένα απλό περιβάλλον ανάπτυξης. Αναπτύχθηκε στην Ιταλία από τους Gianluca Martino, Massimo Banzi, και David Cuartielles και γίνεται όλο και πιο δημοφιλές με το πέρασμα του χρόνου.

Το Arduino μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αναπτύξουμε διαδραστικά αντικείμενα, να δεχτούμε εισόδους από πληθώρα αισθητηρίων οργάνων και διακόπτες, αλλά και να ελέγχουμε διάφορα φώτα, κινητήρες και άλλες συσκευές εξόδου του φυσικού κόσμου. Τα Projects στον εν λόγω Μικροελεγκτή μπορούν να είναι αυτόνομα (σε επίπεδο hardware) ή να επικοινωνούν με κάποιο software στον Η/Υ του προγραμματιστή (προγράμματα όπως τα Flash, Processing, MaxMSP). Οι πλακέτες

Σχεδίαση και υλοποίηση Κωδικοποιητή «Δέλτα» με χρήση ενσωματωμένης πλακέτας «ανοικτής» σχεδίασης (Open-source hardware embedded board).

μπορούν εύκολα να συναρμολογηθούν ακόμη και από έναν αρχάριο ή να αγοραστούν μονταρισμένες. Το περιβάλλον ανάπτυξης του λογισμικού βασίζεται στην γλώσσα προγραμματισμού Processing και την γλώσσα προγραμματισμού Wiring, οι οποίες είναι ανοιχτού κώδικα (open source).

Η Γλώσσα προγραμματισμού του Arduino αποτελεί μια εφαρμογή σε software επίπεδο της καλωδίωσης. Εξομοιώνει θα λέγαμε απόλυτα το φυσικό περιβάλλον του μικροελεγκτή. Μάλιστα, κάποιος θα μπορούσε να ισχυριστεί και θα ήταν ένας αρκετά πετυχημένος παραλληλισμός, ότι λειτουργικά το Arduino μοιάζει πολύ με το NXT Brick των Lego Mindstorms NXT. Άλλωστε η ρομποτική είναι μια από τις πολλές εφαρμογές στις οποίες το Arduino διαπρέπει. Αξίζει να σημειωθεί ότι το πρόγραμμα Arduino έλαβε τιμητική μνεία στην κατηγορία Digital Communities στο Prix Ars Electronica το 2006.

3.2 Πλεονεκτήματα Arduino

Υπάρχει πληθώρα άλλων μικροελεγκτών και αναπτυξιακών στο εμπόριο. Ο Basic Stamp της Parallax, ο BX-24 της Netmedia, το Handyboard του MIT και πολύ άλλη όμοιας λειτουργικότητας. Όλα αυτά τα εργαλεία που προαναφέραμε είναι απλά και για τον αρχάριο χρήστη καθώς "κρύβουν" τις δύσκολες λεπτομέρειες της αρχιτεκτονικής και επιτρέπουν τον άμεσο προγραμματισμό του μικροελεγκτή, προσφέροντας τα πάντα σε ένα και μόνο "πακέτο" έτοιμο για χρήση. Ο Arduino διαφέρει από τους προηγούμενους γιατί απλοποιεί την διαδικασία να δουλεύει κάποιος με μικροελεγκτές, αλλά κάποια πλεονεκτήματα που προσφέρει σε σχέση με άλλους μικροελεγκτές για χρήση από δασκάλους, μαθητές και άλλους hobbίστες είναι τα παρακάτω:

- Φθηνός - Οι πλακέτες του Arduino είναι εξαιρετικά φθηνές σε σχέση με άλλες πλατφόρμες μικροελεγκτών. Ειδικά δε μπορεί με τα σχηματικά που κυκλοφορούν στο Internet να κατασκευάσει κάποιος την φθηνότερη εκδοχή ενός Arduino. Ωστόσο ακόμα και αν προμηθευτεί την έτοιμη (μονταρισμένη πλακέτα) αυτή θα κοστίσει το μέγιστο 50 Euro.
- Τρέχει σε διάφορα Λειτουργικά Συστήματα. Οι μηχανικοί λογισμικού, ανέπτυξαν το περιβάλλον προγραμματισμού του Arduino για Windows, Macintosh OSX και για λειτουργικά συστήματα Linux. Τα περισσότερα συστήματα ανάπτυξης Μικροελεγκτών περιορίζονται στα Windows.
- Απλό, ξεκάθαρο προγραμματιστικό περιβάλλον. Το περιβάλλον προγραμματισμού ενός Arduino ενδείκνεται για αρχάριους, αλλά είναι ταυτόχρονα και ευέλικτο και για πιο προχωρημένους χρήστες.
- Ανοιχτού λογισμικού και λογισμικού που επεκτείνεται και παραμετροποιείται. Το software του Arduino διανέμεται με την μορφή εργαλείων ανοιχτού λογισμικού και είναι διαθέσιμο προς επέκταση για έμπειρους προγραμματιστές. Η γλώσσα προγραμματισμού του μπορεί να επεκταθεί διαμέσου των βιβλιοθηκών την C++ και οι άνθρωποι που θέλουν να ασχοληθούν περισσότερο με τους μικροελεγκτές μπορούν να μεταβούν από τον Arduino στην AVR C που είναι

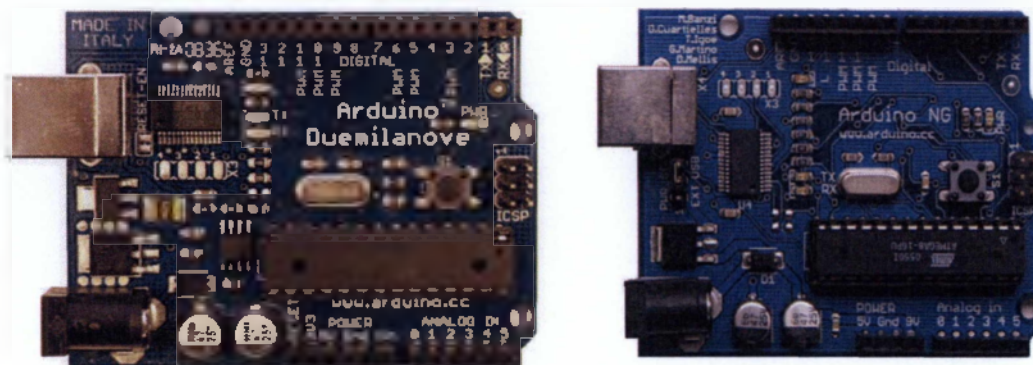
Σχεδίαση και υλοποίηση Κωδικοποιητή «Δέλτα» με χρήση ενσωματωμένης πλακέτας «ανοικτής» σχεδίασης (Open-source hardware embedded board).

για προγραμματισμό των Atmel Μικροελεγκτών και η γλώσσα στην οποία βασίστηκε το λογισμικό του Arduino. Ομοίως μπορεί κάποιος να προσθέσει κώδικα της AVR-C στο πρόγραμμα που έχει γράψει για τον Arduino του.

- Ανοιχτού Υλικού το οποίο μπορεί να επεκταθεί. Ο Arduino βασίζεται στους μικροελεγκτές της Atmel ATMEGA8 και ATMEGA168. Τα σχηματικά για τα αναπτυξιακά είναι κάτω από την άδεια της Creative Commons, επιτρέποντας σε έμπειρους σχεδιαστές να κατασκευάσουν το δικό τους αναπτυξιακό, εξελίσσοντας το ήδη υπάρχον χωρίς να έχουν νομικά προβλήματα.

3.3.1 Το Υλικό (Hardware) του Arduino

Ο μικροελεγκτής Arduino είναι στην ουσία μια αναπτυξιακή πλακέτα που ενσωματώνει έναν ATMEL ATMEGA168. Υπάρχουν πολλές εκδόσεις του μικροελεγκτή. Στα παρακάτω σχήματα φαίνεται η έκδοση NG και η έκδοση Duemilanove. Η τελευταία έκδοση (2009) είναι αυτή του Arduino Duemilanove. Οι κατασκευαστές του Arduino έχουν τοποθετήσει στις πλακέτες όλα τα απαραίτητα εξαρτήματα για την τροφοδοσία και την διασύνδεση των μικροελεγκτών με τον Ηλεκτρονικό Υπολογιστή. Η πλακέτα μπορεί να τροφοδοτηθεί είτε με τροφοδοτικό των 9Volt, είτε απευθείας από την USB θύρα του Υπολογιστή.



Σχήμα 3.3.1.1 Arduino Duemilanove και NG

3.3.1.2 Το λογισμικό (Software) του Arduino

Το IDE του Arduino είναι γραμμένο σε Java και μπορεί να τρέξει σε πολλαπλές πλατφόρμες. Περιλαμβάνει επεξεργαστή κώδικα (επεξεργαστή κειμένου με διάφορα εύχρηστα εργαλεία) και μεταγλωττιστής και έχει την ικανότητα να φορτώνει εύκολα το πρόγραμμα μέσω σειριακής θύρας από τον υπολογιστή στην πλακέτα.

Το περιβάλλον ανάπτυξης είναι βασισμένο στην Processing, ένα περιβάλλον ανάπτυξης σχεδιασμένο να εισαγάγει στον προγραμματισμό καλλιτέχνες μη εξοικειωμένους με την ανάπτυξη λογισμικού. Η συγκεκριμένη γλώσσα

Σχεδίαση και υλοποίηση Κωδικοποιητή «Δέλτα» με χρήση ενσωματωμένης πλακέτας «ανοικτής» σχεδίασης.(Open-source hardware embedded board).

προγραμματισμού προέρχεται από την Wiring, μια γλώσσα που μοιάζει με την C η οποία παρέχει παρόμοια λειτουργικότητα για μια πιο περιορισμένης σχεδίασης πλακέτα, της οποίας το περιβάλλον ανάπτυξης βασίζεται επίσης στην Processing.

3.3.2 Ακροδέκτες του μικροελεγκτή Arduino

Ο Arduino έχει 14 ψηφιακούς ακροδέκτες Εισόδου/Εξόδου. Αυτοί μπορούν να τεθούν ως είσοδοι ή ως έξοδοι με τις εντολές-συναρτήσεις pinMode(), digitalWrite(), and digitalRead(). Λειτουργούν στα 5 Volts και έχουν την δυνατότητα να παρέχουν ή να καταβυθίζουν ένταση της τάξεως των 40mA. Σε κάθε Pin υπάρχει εσωτερικά ένας Pull-up αντιστάτης στα 20-50KΩ. Επιπλέον έχει 5 Αναλογικούς ακροδέκτες Εισόδου. Αυτοί μπορούν να διαβάσουν αναλογικές τιμές όπως η τάση μιας μπαταρίας κτλ και να τις μετατρέψουν σε έναν αριθμό από 0-1023. Η μέτρηση της τάσης γίνεται από προκαθορισμένα από 0 έως 5 volts. Εκτός αυτού 6 εκ των 14 ψηφιακών ακροδεκτών οι P3, P5, P6, P9, P10 και P11 έχουν την δυνατότητα να προγραμματιστούν ώστε να λειτουργούν ως Αναλογικές Έξοδοι.

Κάποιοι ακροδέκτες έχουν συγκεκριμένες λειτουργίες.

- Σειριακή Λειτουργία: 0 (RX) and 1 (TX). Χρησιμοποιούνται για λήψη (RX) και εκπομπή (TX) TTL σειριακών δεδομένων. Αυτοί οι ακροδέκτες είναι συνδεδεμένοι με τους αντίστοιχους του ολοκληρωμένου FTDI USB-to-TTL Serial.
- Εξωτερικές Διακοπές: 2 και 3. Αυτοί οι ακροδέκτες μπορούν να ενεργοποιούν διακοπές αν ανιχνευθεί παλμός χαμηλής τάσης. Με την συνάρτηση attachInterrupt().
- PWM: 3, 5, 6, 9, 10, and 11. Παρέχουν Έξοδο 8-bit PWM με την συνάρτηση analogWrite().
- SPI: 10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO), 13 (SCK). Αυτοί οι ακροδέκτες επιτρέπουν επικοινωνία SPI, η οποία αν και παρέχεται από το hardware δεν είναι ακόμα διαθέσιμη στην γλώσσα προγραμματισμού του Arduino.
- LED: 13. Στον ακροδέκτη 13 υπάρχει ένα ενσωματωμένο LED. Όταν ο ακροδέκτης έχει τιμή HIGH, το LED φωτοβολεί..

Επιπλέον υπάρχουν ακροδέκτες για ειδικές λειτουργίες όπως:

- I2C: 4 (SDA) and 5 (SCL). Υποστηρίζει το πρωτόκολλο I2C (TWI) χρησιμοποιώντας βιβλιοθήκες τις Γλώσσας προγραμματισμού Wiring.
- AREF. Reference voltage for the analog inputs. Χρησιμοποιείται με την συνάρτηση analogReference().
- Reset. Αν τεθεί σε κατάσταση LOW τότε επανενεκινεί τον Μικροελεγκτή. Σε αυτή τη γραμμή τοποθετείται ένας διακόπτης.
- I2C: 4 (SDA) and 5 (SCL). Υποστηρίζει το πρωτόκολλο I2C (TWI) χρησιμοποιώντας βιβλιοθήκες τις Γλώσσας προγραμματισμού Wiring.

Σχεδίαση και υλοποίηση Κωδικοποιητή «Δέλτα» με χρήση ενσωματωμένης πλακέτας «ανοικτής» σχεδίασης. (Open-source hardware embedded board).

- AREF. Reference voltage for the analog inputs. Χρησιμοποιείται με την συνάρτηση `analogReference()`.
- Reset. Αν τεθεί σε κατάσταση LOW τότε επαννεκινεί τον Μικροελεγκτή. Σε αυτή τη γραμμή τοποθετείται ένας διακόπτης.

3.3.3 Χαρακτηριστικά Arduino

Μικροελεγκτής	ATmega168
Τάση Λειτουργίας	5V
Τάση Εισόδου	7-12V
Όρια Τάσης	6-20V
Ψηφιακοί Ακροδέκτες I/O	14 (of which 6 provide PWM output)
Ψηφιακοί Ακροδέκτες Εισόδου	6
DC ρεύμα ανά I/O Ακροδέκτη	40 mA
DC ρεύμα για 3.3V Ακροδέκτη	50 mA
Μνήμη Flash	16 KB (2 KB χρησιμοποιούνται από τον bootloader)
SRAM	1 KB
EEPROM	512 bytes
Ταχύτητα Ρολογιού	16 MHz

3.3.4 Μνήμη

Το ολοκληρωμένο ATmega168 έχει 16KB μνήμης flash για την αποθήκευση κώδικα (2 KB εκ των οποίων χρησιμοποιούνται από τον bootloader). Έχει επίσης 1 KB SRAM και 512 bytes μνήμης EEPROM (τα οποία μπορούν να διαφαστούν και να γραφτούν με την βιβλιοθήκη EEPROM).

3.3.5 Τροφοδοσία

Το αναπτυξιακό Arduino Duemilanove τροφοδοτείται είτε από εξωτερική τροφοδοσία είτε απευθείας από την θύρα USB. Η επιλογή της πηγής γίνεται αυτόματα από το αναπτυξιακό. Ως εξωτερική τροφοδοσία ορίζεται είτε μια μπαταρία, είτε μετασχηματιστής των 9Volt από 220V. Η μπαταρία μπορεί να συνδεθεί στις υποδοχές του Arduino Vin και GND όπου τοποθετούνται ο θετικός πόλος και ο αρνητικός αντίστοιχα. Από την άλλη αν τροφοδοτήσουμε με μετασχηματιστή απλά τοποθετούμε το βύσμα στην υποδοχή που υπάρχει με τον θετικό πόλο στο κέντρο. Η πλακέτα μπορεί να λειτουργήσει με εξωτερική πηγή από 6 έως 20 Volts. Αν ωστόσο τροφοδοτηθεί με λιγότερα από 7 Volt τα pin εξόδου 5Volt δεν θα καταφέρουν να

Σχεδίαση και υλοποίηση Κωδικοποιητή «Δέλτα» με χρήση ενσωματωμένης πλακέτας «ανοικτής» σχεδίασης. (Open-source hardware embedded board).

εξάγουν τάση 5 Volts. Αν από την άλλη δώσουμε πάνω από 12 Volts θα υπερθερμανθεί ο σταθεροποιητής τάσης στην πλακέτα και ενδεχόμενος να καταστραφή. Συνεπώς μια ιδανική τάση είναι τα 9 Volts.

Οι ακροδέκτες τροφοδοσίας είναι οι εξής:

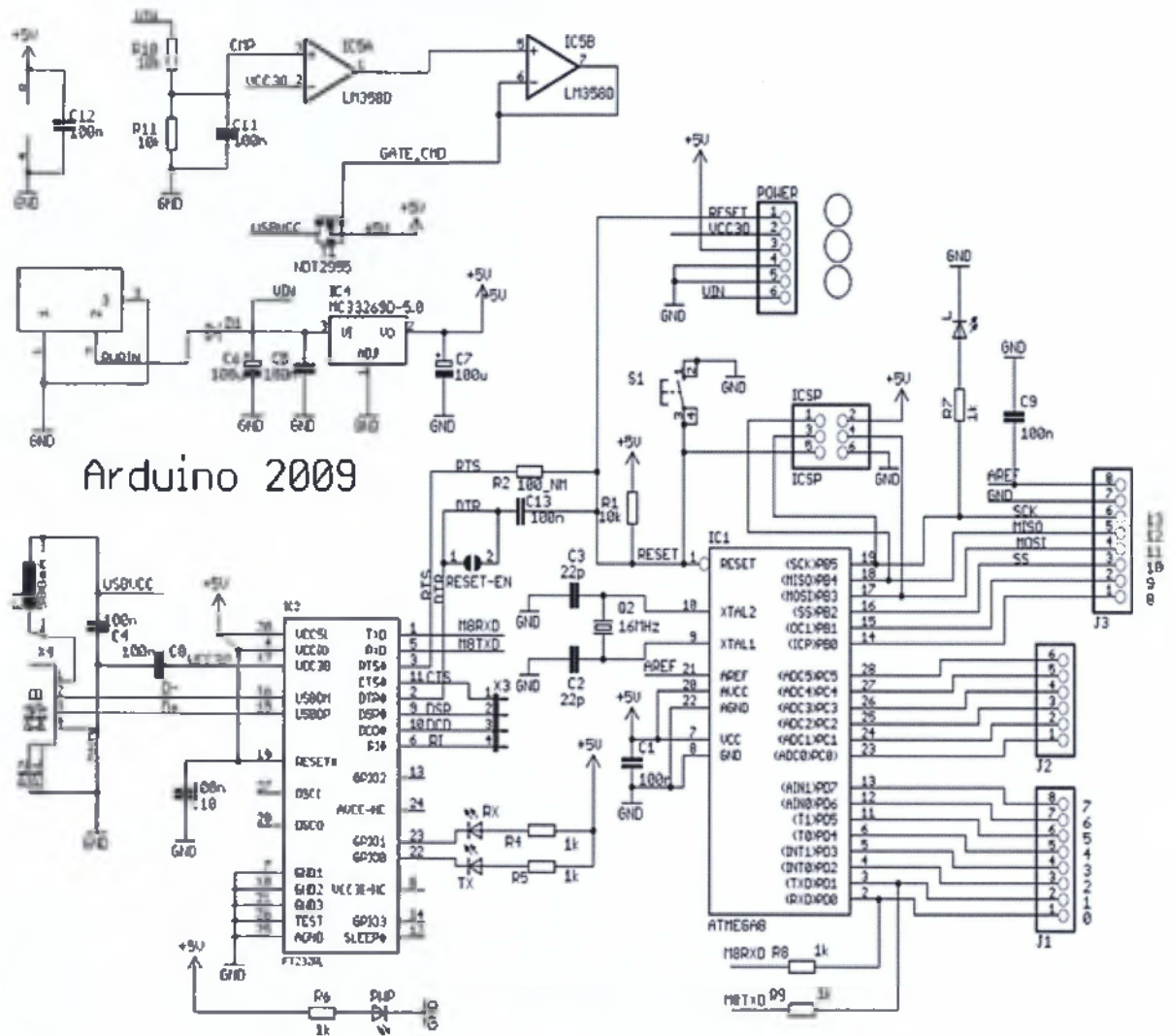
- **VIN.** Ακροδέκτης για μη σταθεροποιημένη τάση. Συνήθως εδώ συνδέεται μια εξωτερική πηγή τροφοδοσίας.
- **5V.** Ακροδέκτης σταθεροποιημένης τάσης 5Volt. Χρησιμοποιείται για την τροφοδοσία του μικροελεγκτή ή άλλων ηλεκτρονικών στοιχείων.
- **3V3.** Το ολοκληρωμένο FTDI που βρίσκεται στην πλακέτα του Arduino παράγει τάση των 3.3V με μέγιστο ρεύμα 50mA.
- **GND.** Ακροδέκτες Γείωσης

3.3.6 Επικοινωνία

Ο Arduino Duemilanove έχει την δυνατότητα να επικοινωνεί με τον Ηλεκτρονικό Υπολογιστή, έναν άλλον Arduino ή άλλους μικροελεγκτές. Το ολοκληρωμένο ATmega 168 παρέχει σειριακή επικοινωνία TTL 5Volt UART, η οποία είναι διαθέσιμη από τους ακροδέκτες (λήψη RX) 0 και (εκπομπή TX) 1 του ολοκληρωμένου. Επιπλέον στην αναπτυξιακή πλακέτα του Arduino είναι ενσωματωμένο ένα ολοκληρωμένο το FTDI FT232RL το οποίο παρέχει σειριακή επικοινωνία με τον Ηλεκτρονικό Υπολογιστή για προγραμματισμό, πάνω από την θύρα USB με την βοήθεια των ανάλογων FTDI drivers. Οι drivers αυτοί περιλαμβάνονται στο software για τον Arduino και παρέχουν μια ιδεατή θύρα επικοινωνίας στον Ηλεκτρονικό Υπολογιστή για τους σκοπούς της επικοινωνίας.

Σχεδίαση και υλοποίηση Κωδικοποιητή «Δέλτα» με χρήση ενσωματωμένης πλακέτας «ανοικτής» σχεδίασης. (Open-source hardware embedded board).

3.3.7 Σχηματικό διάγραμμα Arduino



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Ian Glover and Peter Grant. Digital Communications,Prentice – Hall, Inc.(1998)

[2] Leon W. Couch II. Digital and Analog Communication Systems. Fifth Edition,Prentice – Hall.(1997)

[3] Αρης Αλεξόπουλος και Γιώργος Λαγογιάννης. Τηλεπικοινωνίες και Δίκτυα Υπολογιστών. Τέταρτη Έκδοση. Ανεξάρτητη έκδοση.(1997)

[4] John Proakis. Digital Communications. 3th edition. McGraw – Hill.(1998)

[5] Andy Bateman. Digital Communications. Design for the Real World.(1999)

[6]H. Taub, D. Schilling. Τηλεπικοινωνιακά Συστήματα. Μετάφραση: Γ. Τσίρη, Σ. Κουκουρλή. Εκδόσεις Α. Τζιόλα. (1995).

[7]E.C. Ifeachor and B.W. Jervis. Digital Signal Processing. A Practical Approach.(1993)

[8] Getting Started with Arduino Massimo Banz.(2009)

Σχεδίαση και υλοποίηση Κωδικοποιητή «Δέλτα» με χρήση ενσωματωμένης πλακέτας «ανοικτής» σχεδίασης. (Open-source hardware embedded board).

ΓΛΩΣΣΑΡΙ ΟΡΩΝ

Αλλοίωση του ψηφιακού σήματος

Κατά τη μεταβίβαση ενός ψηφιακού σήματος μπορεί να αλλάξει η τιμή ενός μεμονωμένου ή πολλών διαδοχικών ψηφίων και να προστεθούν ή να αφαιρεθούν ψηφία. Αυτά τα σφάλματα οφείλονται συνήθως στην παρουσία θορύβου κατά τη μετάδοση, αλλά και σε εξασθένιση της ισχύος του και σε παραμόρφωσή του.

Αναλογικό σήμα

Το σήμα συνεχούς χρόνου που λαμβάνει τιμές από ένα συνεχές πεδίο τιμών (πεπερασμένο ή άπειρο).

Ανομοιόμορφη κβάντιση

Η μορφή κβάντισης στην οποία το πεδίο τιμών του αρχικού σήματος διαμοιράζεται σε διαστήματα μεταβλητού εύρους, τα οποία ονομάζουμε ζώνες κβάντισης. Τα όρια των ζωνών κβάντισης και η αντίστοιχη στάθμη εξόδου του κβαντιστή επιλέγονται έτσι, ώστε να ελαχιστοποιείται η επίδραση του θορύβου κβάντισης.

Διαμόρφωση Δέλτα

Μία τεχνική μετατροπής ενός αναλογικού σήματος σε ψηφιακό, κατά την οποία, για κάθε δείγμα του σήματος, μεταβιβάζουμε ένα ψηφίο που υποδηλώνει αν το συγκεκριμένο δείγμα είναι μεγαλύτερο ή μικρότερο από το προηγούμενό του. Έτσι, η τιμή του μεταδιδόμενου σήματος αυξομειώνεται βηματικά κατά ένα προκαθορισμένο εύρος, ανάλογα με την τιμή του αντίστοιχου μεταβιβαζόμενου ψηφίου.

Διαμόρφωση κατά εύρος (PWM)

Είναι μία τεχνική μετάδοσης ενός διακριτού σήματος ως μία ακολουθία παλμών, στην οποία το εύρος του κάθε παλμού μεταβάλλεται ανάλογα με την τιμή του αντίστοιχου δείγματος του σήματος.

Διαμόρφωση

Η διαδικασία εκείνη κατά την οποία κάποια από τα χαρακτηριστικά του φέροντος σήματος του καναλιού μεταβάλλονται σύμφωνα με το σήμα μηνύματος.

Διάστημα Nyquist

Είναι η μέγιστη περίοδος δειγματοληψίας που ικανοποιεί το θεώρημα δειγματοληψίας και ισούται με $1/2f_x$, όπου f_x είναι η μέγιστη συχνότητα του σήματος.

Διαφορική παλμοκωδική διαμόρφωση (DPCM)

Είναι μία εξελιγμένη μορφή παλμοκωδικής διαμόρφωσης (PCM), στην οποία μεταδίδονται οι διαφορές στάθμης μεταξύ διαδοχικών δειγμάτων αντί της απόλυτης τιμής τους. Χρησιμοποιείται για να περιορίσει το πλήθος των ψηφίων που μεταδίδονται για κάθε δείγμα του αναλογικού σήματος.

Σχεδίαση και υλοποίηση Κωδικοποιητή «Δέλτα» με χρήση ενσωματωμένης πλακέτας «ανοικτής» σχεδίασης. (Open-source hardware embedded board).

Διπολική κωδικοποίηση

Μία μορφή κωδικοποίησης της δυαδικής πληροφορίας, όπου για την αναπαράσταση των δυαδικών ψηφίων χρησιμοποιούνται δύο μη μηδενικές στάθμες τάσης, διαμετρικά αντίθετες μεταξύ τους.

Δυαδική πηγή πληροφορίας

Η ψηφιακή πηγή που αναπαριστά την πληροφορία της σαν μία ακολουθία δύο ψηφίων (0 και 1).

Ημιτονικό σήμα

Το σήμα $x(t) = A\cos(2\pi ft + \theta)$, όπου οι σταθερές A , f και θ συμβολίζουν το πλάτος, τη συχνότητα και τη γωνία φάσης του σήματος αντίστοιχα.

Θεώρημα δειγματοληψίας

Καθορίζει το ρυθμό δειγματοληψίας ενός σήματος συνεχούς χρόνου, έτσι ώστε αυτό να μπορεί να ανακτηθεί πλήρως από τα ληφθέντα δείγματα. Σύμφωνα μ'αυτό το θεώρημα, θα πρέπει να λαμβάνουμε δείγματα με ρυθμό μεγαλύτερο ή ίσο του διπλασίου της μέγιστης συχνότητας του σήματος.

Θόρυβος

Ένα ανεπιθύμητο, μη προβλέψιμο, σήμα που υποβαθμίζει την αξιοπιστία των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων. Ο θόρυβος είναι είτε εξωγενής (τεχνητός, ατμοσφαιρικός, ηλιακός – κοσμικός θόρυβος), είτε εσωτερικά προερχόμενος από τα κυκλώματα πομπού και δέκτη (θερμικός και θόρυβος βολής).

Κβάντιση

Είναι η λειτουργία με την οποία περιορίζουμε ένα αναλογικό σήμα να λαμβάνει τιμές από ένα πεπερασμένο σύνολο τιμών, τις οποίες ονομάζουμε στάθμες.

Μετατροπέας αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (Analog to Digital Converter – ADC)

Στη συσκευή ADC, τα δείγματα του αναλογικού σήματος προσαρμόζονται αρχικά σε προκαθορισμένες στάθμες και στη συνέχεια κωδικοποιούνται, συνθέτοντας έτσι το ψηφιακό σήμα.

Μετατροπέας ψηφιακού σήματος σε αναλογικό (Digital to Analog Converter –DAC)

Στη συσκευή DAC, η ακολουθία των λαμβανομένων ψηφιακών συμβόλων μετατρέπεται αρχικά σε μία ακολουθία κβαντισμένων δειγμάτων του αρχικού σήματος, από τα οποία επαναδομείται τελικά μία προσέγγιση του αναλογικού σήματος.

Σχεδίαση και υλοποίηση Κωδικοποιητή «Δέλτα» με χρήση ενσωματωμένης πλακέτας «ανοικτής» σχεδίασης.(Open-source hardware embedded board).

Ομοιόμορφη κβάντιση

Η μορφή κβάντισης στην οποία το πεδίο τιμών του αρχικού σήματος διαμοιράζεται σε διαστήματα ίσου εύρους, τα οποία ονομάζουμε ζώνες κβάντισης. Όταν η τιμή του σήματος είναι εντός των ορίων μίας ζώνης κβάντισης, τότε ως κβαντισμένη τιμή του λαμβάνουμε το μέσο του αντίστοιχου διαστήματος.

Παλμοκωδική διαμόρφωση (PCM)

Είναι μία από τις κύριες τεχνικές μετατροπής αναλογικού σήματος σε ψηφιακό. Οι βασικές της λειτουργίες είναι η δειγματοληψία, η κβάντιση και η κωδικοποίηση.

Περιοδικό σήμα

Το σήμα στο οποίο μπορούμε να διακρίνουμε ένα τμήμα του που επαναλαμβάνεται αυτούσιο καθόλη τη διάρκεια του σήματος.

Προσαρμοστική διαμόρφωση Δέλτα (ADM)

Μία παραλλαγή της διαμόρφωσης Δέλτα που επινοήθηκε για να αντιμετωπιστεί η παραμόρφωση λόγω υπερφόρτωσης κλίσης. Στη διαμόρφωση ADM, το πλάτος του βήματος μεταβολής δεν είναι σταθερό, αλλά αυξάνεται στα σημεία όπου το αρχικό αναλογικό σήμα παρουσιάζει μεγάλη κλίση.

Σήμα διακριτού χρόνου

Το σήμα που ορίζεται μόνο σε συγκεκριμένες διακριτές χρονικές στιγμές.

Σήμα συνεχούς χρόνου

Το σήμα $x(t)$ στο οποίο η ανεξάρτητη μεταβλητή που αντιπροσωπεύει το χρόνο, t , είναι συνεχής.

Υπερφόρτωση κλίσης

Είναι ένα φαινόμενο που παρουσιάζεται στη διαμόρφωση Δέλτα, όταν το αναλογικό σήμα μεταβάλλεται γρηγορότερα απ' ό,τι μπορούν να παρακολουθήσουν οι διαδοχικές αυξομειώσεις του εξαγόμενου σήματος. Σ' αυτήν την περίπτωση, η προσέγγιση του αρχικού σήματος δεν είναι ικανοποιητική.

Ψηφιακή διαμόρφωση

Μία ειδική μορφή διαμόρφωσης, στην οποία τα χαρακτηριστικά του φέροντος σήματος του καναλιού μεταγονται μεταξύ πεπερασμένων διακριτών τιμών που αντιπροσωπεύουν τα σύμβολα της ψηφιακής πληροφορίας. Στην ειδική περίπτωση του δυαδικού σήματος, η διαδικασία διαμόρφωσης αντιστοιχεί με τη μεταγωγή των χαρακτηριστικών του φέροντος σήματος μεταξύ δύο διακριτών τιμών που αντιπροσωπεύουν τα ψηφία 0 και 1.

Ψηφιακή πηγή πληροφορίας

Η πηγή εκείνη που συνθέτει την πληροφορία της από ένα πεπερασμένο σύνολο συστατικών μηνυμάτων.

Σχεδίαση και υλοποίηση Κωδικοποιητή «Δέλτα» με χρήση ενσωματωμένης πλακέτας «ανοικτής» σχεδίασης.(Open-source hardware embedded board).

Ψηφιακό σήμα

Το σήμα διακριτού χρόνου που λαμβάνει τιμές από ένα πεπερασμένο σύνολο διακριτών τιμών. Συχνά χρησιμοποιείται – καταχρηστικά – για να δηλώσει το δυαδικό σήμα.

Ψηφιακό σύστημα επικοινωνίας

Εκείνο το σύστημα που μεταβιβάζει πληροφορία από μια ψηφιακή πηγή στους προορισμούς της. Στον αποστολέα κόμβο, η εισερχόμενη ψηφιακή ακολουθία κωδικοποιείται σε δυαδική μορφή, κρυπτογραφείται για λόγους ασφαλείας, εξοπλίζεται με πληροφορία κατάλληλη για έλεγχο σφαλμάτων και διαμορφώνεται σε σήμα κατάλληλο προς διάδοση μέσω του φυσικού μέσου. Το λαμβανόμενο σήμα υπόκειται στην αντίστροφη επεξεργασία, δηλαδή αποδιαμορφώνεται σε δυαδικούς παλμούς, ελέγχεται για σφάλματα μετάδοσης, αποκρυπτογραφείται και αποκωδικοποιείται σε ψηφιακή ακολουθία, πριν μεταβιβαστεί στον προορισμό.

Ψηφιακός κώδικας μετάδοσης

Ορίζει τα χαρακτηριστικά του ζευγαριού παλμών που χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση των δυαδικών ψηφίων 0 και 1.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1.2.1	Χαρακτηριστικά αναλογικού σήματος	σελ.6
Σχήμα 1.1.2.2	Τα κύρια προβλήματα μετάδοσης ενός σήματος	σελ.7
Σχήμα 1.1.3.1	Χαρακτηριστικά ψηφιακού σήματος.	σελ.8
Σχήμα 1.2.1	Διάγραμμα του μετατροπέα αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (ADC).	σελ.10
Σχήμα 1.2.2	Διάγραμμα του μετατροπέα ψηφιακού σήματος σε αναλογικό (DAC).	σελ.10
Σχήμα 1.2.3	Ένα παράδειγμα ψηφιοποίησης αναλογικού σήματος	σελ.11
Σχήμα 1.2.1.1	Οι βασικές λειτουργίες της παλμοκωδικής διαμόρφωσης PCM	σελ.12
Σχήμα 1.2.1.2	Η πράξη της δειγματοληψίας στο πεδίο του χρόνου	σελ.13
Σχήμα 1.2.1.3	Η πράξη της δειγματοληψίας στο πεδίο συχνοτήτων	σελ.14
Σχήμα 1.2.1.4	Φυσική δειγματοληψία	σελ.14
Σχήμα 1.2.1.5	Η πράξη της κβάντισης	σελ.16
Σχήμα 1.2.1.6	ανοχή του κβαντισμένου σήματος στον εξωτερικό προσθετικό θόρυβο	σελ.17
Σχήμα 1.2.1.7	Παράδειγμα ομοιόμορφης κβάντισης σε 4 στάθμες εύρους Δ.	σελ.18
Σχήμα 1.2.1.8	Παράδειγμα ανομοιόμορφης κβάντισης για σήμα Gaussian	σελ.19
Σχήμα 1.2.1.9	Ένα παράδειγμα παλμοκωδικής διαμόρφωσης	σελ.20
Σχήμα 1.2.1.10	Οι τιμές που λαμβάνουν τα δείγματα του σχήματος 1.2.1.9 σε κάθε φάση της παλμοκωδικής διαμόρφωσης.	σελ.20
Σχήμα 1.2.2.1	Ένα παράδειγμα της διαμόρφωσης Δέλτα.	σελ.22
Σχήμα 1.2.2.2	Το πρόβλημα της υπερφόρτωσης κλίσης λόγω γρήγορης μεταβολής του σήματος	σελ.23
Σχήμα 1.2.2.3	Ο διαμορφωτής Δέλτα.	σελ.23
Σχήμα 1.2.2.4	Ο αποδιαμορφωτής Δέλτα.	σελ.24
Σχήμα 1.2.2.5	Ένα παράδειγμα που απεικονίζει την καλύτερη απόκριση της προσαρμοστικής διαμόρφωσης Δέλτα συγκριτικά με τη διαμόρφωση Δέλτα.	σελ.25
Σχήμα 2.3.1	Η σύνδεση του αναλογικού pin 0 με το pin 3V3 για να επιτύχουμε σταθερή τάση 3.3Volts.	σελ.29
Σχήμα 2.3.2	Ο κώδικας της διαμόρφωσης Δέλτα στον μικροελεγκτή Arduino.	σελ.30

Σχεδίαση και υλοποίηση Κωδικοποιητή «Δέλτα» με χρήση ενσωματωμένης πλακέτας «ανοικτής» σχεδίασης. (Open-source hardware embedded board).

Σχήμα 2.3.3	Ο κώδικας στη γλώσσα Processing για την δημιουργία των γραφημάτων.	σελ.31
Σχήμα 2.3.4	Το Serial monitor της πλακέτας Arduino που εμφανίζει τα bits.	σελ.32
Σχήμα 2.3.5	Το γράφημα που απεικονίζει τα bits του Serial Monitor.	σελ.32
Σχήμα 2.3.6	Η σύνδεση του αναλογικού pin 0 με το pin 5V για να επιτύχουμε σταθερή τάση 5Volts.	σελ.33
Σχήμα 2.3.7	Το Serial monitor της πλακέτας Arduino που εμφανίζει τα bits	σελ.33
Σχήμα 2.3.8	Το γράφημα που απεικονίζει τα bits του Serial Monitor	σελ.34
Σχήμα 2.3.9	Η συνδεσμολογία της γεννήτριας συναρτήσεων με την πλακέτα Arduino.	σελ.34
Σχήμα 2.3.10	Η γεννήτρια συναρτήσεων και το ημιτονικό σήμα προς ψηφιοποίηση.	σελ.35
Σχήμα 2.3.11	Το γράφημα που απεικονίζει τα bits του Serial Monitor για το ημιτονικό σήμα.	σελ.35
Σχήμα 2.3.12	Το γράφημα απεικονίζει τα bits του Serial Monitor για το προηγούμενο ημιτονικό σήμα με τη διαφορά ότι έπειτα από ένα χρονικό διάστημα στέλναμε σταθερή τάση <<μελετώντας>> την γεννήτρια συναρτήσεων.	σελ.36
Σχήμα 3.3.1.1	Arduino Duemilanove και NG	σελ.38