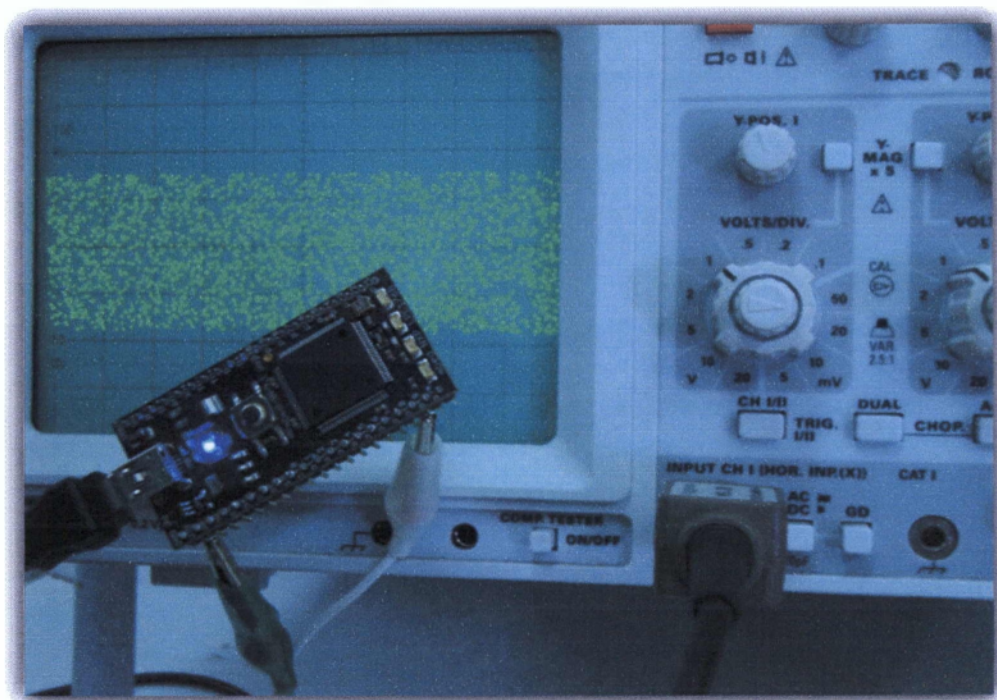


ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΓΕΝΝΗΤΡΙΑΣ ΘΟΡΥΒΟΥ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**της
ΑΝΝΑΣ ΝΤΡΕΜΠΟΥ**

**Επιβλέπων: Γιάννης Λιαπέρδος, Καθηγητής Εφαρμογών
Σπάρτη, Ιούνιος 2010**

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Αντικείμενο της πτυχιακής εργασίας, είναι η κατασκευή ενός συστήματος παραγωγής ηλεκτρονικού θορύβου. Το σύστημα που σχεδιάστηκε θα χρησιμοποιηθεί στο Εργαστήριο Ηλεκτρονικής για εργαστηριακή μελέτη και ανάπτυξη εργαστηριακών ασκήσεων στο αντικείμενο των Τηλεπικοινωνιών.

Το σήμα θορύβου προκύπτει απο μια ακολουθία τυχαίων αριθμών οι τιμές των οποίων μετατρέπονται σε κατάλληλες τιμές τάσης. Για την κατασκευή της γεννήτριας χρησιμοποιήθηκε αρχικά ο μικροελεγκτής ATmega328 της ATMEΛ ενσωματωμένος σε σύστημα ανοικτής σχεδίασης Arduino. Ακολούθησε εργαστηριακός έλεγχος. Στη συνέχεια για την ανάπτυξη και βελτίωση της γεννήτριας, αξιοποιήθηκε το σύστημα ανάπτυξης πρωτοτύπων mbed.

Στο 1ο Κεφάλαιο παραθέτουμε εισαγωγικά στοιχεία για τον ηλεκτρονικό θόρυβο: τα είδη θορύβου, κ.λπ.

Στο 2ο Κεφάλαιο, παρουσιάζονται αναλυτικά οι γεννήτριες τυχαίων αριθμών, και γίνεται η σύνδεσή τους με την παραγωγή θορύβου.

Στο 3ο κεφάλαιο, αναφερόμαστε στις δυνατές υλοποιήσεις και συγκρίνουμε με τη μέθοδο που επιλέξαμε.

Στο 4ο κεφάλαιο, χρησιμοποιούμε την Ενσωματωμένη Πλακέτα Ανοικτής Σχεδίασης (Open Source Hardware Embedded Board) για την κατασκευή της γεννήτριας, εξετάζουμε τον μικροελεγκτή ATMEGA 328 της ATMEΛ και την PWM διαμόρφωση που χρησιμοποιεί.

Στο 5ο κεφάλαιο, παρουσιάζεται η τελική κατασκευή της γεννήτριας με την χρήση του πρωτοτύπου MBED..

Ευχαριστίες

Θα ήθελα ειλικρινά να ευχαριστήσω τον Καθηγητή Εφαρμογών κ. Γιάννη Λιαπέρδο, για την καθοδήγηση και την προθυμία του, καθ' όλο το διάστημα εκπόνησης της εργασίας. Θα ήθελα, επίσης, να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και όλους εκείνους που με αγάπη στέκονται πάντα δίπλα μου.

Πίνακας περιεχομένων

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	2
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	7
1.1 Εισαγωγή	7
1.1.1 Η έννοια του θορύβου	7
1.1.2 Θόρυβος στις Τηλεπικοινωνίες	7
1.2 Θόρυβος	8
1.3 Είδη Θορύβου	9
1.3.1 Εξωτερικός Θόρυβος	9
1.3.2 Εσωτερικός Θόρυβος	10
1.4 Χαρακτηριστικά “χρώματα” θορύβου ($1/f$ θόρυβος)	10
1.4.1 Λευκός Θόρυβος	10
1.4.1.1 Χρήσεις – Οφέλη του λευκού θορύβου	12
1.4.2 Θόρυβος Brown	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	14
Γεννήτριες Τυχαίων Αριθμών	14
2.1 Εισαγωγή	14
2.2 Είδη γεννητριών Τυχαίων Αριθμών	14
2.2.1 Γεννήτριες τυχαίων αριθμών λογισμικού	14
2.2.2 Γεννήτριες τυχαίων αριθμών υλικού	15
2.3 Σύγκριση γεννητριών τυχαίων αριθμών λογισμικού με τις γεννήτριες τυχαίων αριθμών υλικού	16
2.4 Αξιολόγηση Γεννητριών Τυχαίων Αριθμών	16
2.5 Γεννήτριες Θορύβου μέσω Τυχαίων Αριθμών	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	17
3.1 Υλοποιήσεις Γεννητριών Θορύβου	17
3.1.1 Γεννήτρια Θορύβου με Δίοδο	17
3.1.2. Γεννήτρια Θορύβου με Τρανζίστορ	18
3.1.3 Ενίσχυση Θορύβου	19
3.1.4 Γεννήτρια Θορύβου με χρήση ακολουθίας ψευδοτυχαίων αριθμών	20

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4	21
Σχεδίαση του Συστήματος	21
4.1 Ενσωματωμένη Πλακέτα Ανοικτής Σχεδίασης (Open Source Hardware Embedded Board)	21
4.1.1 Τα μέρη του συστήματος	22
4.2 Χρήσεις του Arduino Duemilanove	23
4.3 Pulse Width Modulation- PWM	24
4.3.1 Πλεονεκτήματα Διαμόρφωσης Πλάτους Παλμών	24
4.3.2 Η συνάρτηση AnalogWrite	25
4.4 Μετατροπή σήματος PWM σε Αναλογικό	25
4.4.1 Φίλτρα RC	26
4.5 Προγραμματισμός της Γεννήτριας Θορύβου	26
4.5 Εξωτερικά κυκλώματα	28
4.6 Έλεγχος - Μετρήσεις - Αξιολόγηση	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	33
5.1 Σχεδιαστικές βελτιώσεις	33
5.2 Περιγραφή του πρωτοτύπου mbed	33
5.3 Συνδεσμολογία	36
5.3.1 Κώδικας του mbed	37
5.4 Έλεγχος και Αξιολόγηση	38
Παραρτήματα	42
Το Arduino Duemilanove	43
Πίνακας Εικόνων	47
Πηγές	50
Βιβλιογραφία	51

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 Εισαγωγή

1.1.1 Η έννοια του θορύβου

Για τους περισσότερους ανθρώπους η έννοια του θορύβου έχει σχέση με τον ήχο και είναι αρνητική. Με τη λέξη «θόρυβος» εννοείται κάτι δυσάρεστο. Ωστόσο, ο θόρυβος, και ιδιαίτερα ο λευκός θόρυβος, βρίσκει μια πλειάδα εφαρμογών.

Θόρυβος ονομάζεται, γενικά, κάθε απεριοδικό σύνθετο σήμα (ηχητικό ή ηλεκτρικό) που η στιγμιαία τιμή του μεταβάλλεται με τυχαίο τρόπο, και συνήθως είναι δυσάρεστος ή ανεπιθύμητος.

1.1.2 Θόρυβος στις Τηλεπικοινωνίες

Ο θόρυβος στο τηλεπικοινωνιακό δίαυλο (κανάλι), άρα και στην είσοδο του δέκτη, είναι συνήθως λευκός θόρυβος (white noise). Η ίδια υπόθεση ισχύει για τον θόρυβο μέσα στο δέκτη. Ως λευκός ορίζεται ο θόρυβος του οποίου η φασματική πυκνότητα ισχύος είναι σταθερή.

Αν δ_i είναι η φασματική πυκνότητα ισχύος του θορύβου στην είσοδο του δέκτη ισχύει:

$$\delta_i = k \cdot T_0 \text{ για } f \in (-\infty, +\infty)$$

k είναι η σταθερά του Boltzman $\left(k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}\right)$ και T_0 η απόλυτη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Η πυκνότητα ισχύος του θορύβου μετριέται σε W/Hz.

Ο θόρυβος μέσα στον δέκτη εξαρτάται από το συνολικό κέρδος και χαρακτηρίζεται και από την εικόνα θορύβου (noise figure) του δέκτη.

1.1.2.1 Επιδράσεις των απωλειών μετάδοσης και του θορύβου στα συστήματα τηλεπικοινωνιών

Σε κάθε τηλεπικοινωνιακό σύστημα ο περιορισμός της επίδοσής του οφείλεται συνήθως σε δυο παράγοντες. Ο πρώτος είναι ο προσθετικός θόρυβος (δρα προσθετικά στο σήμα), ο οποίος παράγεται από τις ηλεκτρονικές συσκευές που χρησιμοποιούνται για το φιλτράρισμα, την ενίσχυση και τη μίξη των τηλεπικοινωνιακών σημάτων. Ο δεύτερος παράγοντας είναι η εξασθένηση κατά την μετάδοση του σήματος. Όλα τα φυσικά κανάλια, συμπεριλαμβανομένων των ενσύρματων και των ραδιοκαναλιών, παρουσιάζουν απώλειες. Έτσι, το σήμα εξασθενεί (μειώνεται κατά πλάτος) καθώς μεταδίδεται μέσα από το κανάλι.

Ένα απλό μαθηματικό μοντέλο της εξασθένησης μπορεί να ληφθεί, πολλαπλασιάζοντας το εκπεμπόμενο σήμα επί ένα συντελεστή $\alpha < 1$.

Λαμβάνοντας υπόψη μας και τους δύο παράγοντες, αν το εκπεμπόμενο σήμα είναι $s(t)$ και $n(t)$ ο θόρυβος, τότε το λαμβανόμενο σήμα $r(t)$ είναι

$$r(t) = \alpha s(t) + n(t).$$

Παρόλα αυτά, η εξασθένηση του σήματος μπορεί να αντισταθμιστεί με την χρήση ενισχυτών που ανυψώνουν τη στάθμη του σήματος κατά τη μετάδοση. Όμως κατά τη διαδικασία ενίσχυσης ο ενισχυτής εισάγει ο ίδιος προσθετικό θόρυβο και έτσι υποβαθμίζει το σήμα. Ο επιπρόσθετος αυτός θόρυβος πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν κατά τη σχεδίαση του συστήματος.

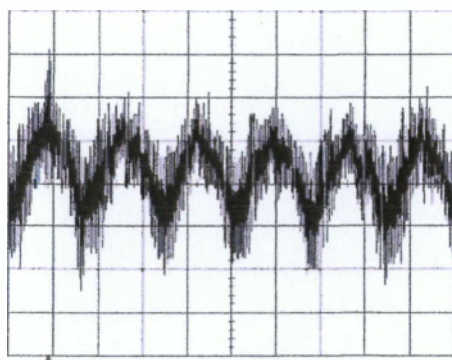
1.1.3 Ταξινόμηση θορύβου

Υπάρχουν πολλοί τρόποι ταξινόμησης του θορύβου. Μπορεί να υποδιαιρεθεί ανάλογα με τον τύπο, την πηγή την επίδραση ή τη σχέση με τον δέκτη. Είναι ωστόσο πιο εύκολο να χωρίσουμε τον θόρυβο σε δύο μεγάλες κατηγορίες : στο θόρυβο του οποίου οι πηγές βρίσκονται έξω από τον δέκτη (εξωτερικός) και στον θόρυβο που δημιουργείται μέσα στον δέκτη (εσωτερικός).

1.2 Θόρυβος

Ο θόρυβος σε ένα σύστημα είναι ένα τυχαίο σήμα, το οποίο μπορεί να οφείλεται σε πολλές και διαφορετικές πηγές. Οι πηγές αυτές μπορεί να είναι εξωτερικές ή εσωτερικές. Το προς μετάδοση σήμα αλλοιώνεται παρουσία θορύβου, όπως φαίνεται στην Εικόνα 1.

Ο θόρυβος είναι συνώνυμος με την τυχαιότητα και προκαλείται από μεγάλο πλήθος εξωτερικών προς το σύστημα παραγόντων, αλλά και άλλων ενδογενών.



Εικόνα 1 Ενθόρυβο Σήμα

Αν και ανεπιθύμητος στη φάση λειτουργίας, οι πηγές θορύβου χρησιμοποιούνται στη φάση σχεδίασης και δοκιμής των τηλεπικοινωνιακών συστημάτων με βασικό σκοπό τον έλεγχο των επιδόσεών τους. Για παράδειγμα, ο θόρυβος χρησιμοποιείται συνήθως για τον έλεγχο συστημάτων ραδιοσυχνότητας (RF) και μικροκυμάτων. Στις ζώνες ραδιοσυχνότητας και μικροκυμάτων, οι πηγές θορύβου κατασκευάζονται χαρακτηριστικά χρησιμοποιώντας μικροκυματικές λυχνίες ή διόδους στερεάς κατάστασης.

1.3 Είδη Θορύβου

Όσον αφορά τα είδη θορύβου θα αναφερθούμε σε δύο βασικούς, τον εξωτερικό θόρυβο και τον εσωτερικό θόρυβο. Επίσης ως είδη θορύβου καταγράφονται και ο ατμοσφαιρικός, ο θερμικός, <<λευκός>> θόρυβος, θόρυβος τύπου <<Brown>> κ.α.

1.3.1 Εξωτερικός Θόρυβος

Ο Εξωτερικός Θόρυβος προέρχεται από πηγές έξω από το σύστημα. Έχει είτε **φυσική προέλευση** (π.χ ατμοσφαιρικά παράσιτα), ή οφείλεται στην ανθρώπινη δραστηριότητα, οπότε έχει **τεχνητή προέλευση** (ηλεκτρομαγνητική παρεμβολή από τηλεπικοινωνιακά συστήματα, ηλεκτρικές συσκευές, το ηλεκτρικό δίκτυο, βιομηχανικά και άλλα παράσιτα).

Τα διαφορά είδη θορύβου, που δημιουργούνται έξω από τον δέκτη, υπάγονται στην κατηγορία των εξωτερικών θορύβων και μερικοί από τους θορύβους αυτούς είναι ο ατμοσφαιρικός, ο βιομηχανικός.

1.3.2 Εσωτερικός Θόρυβος

Ο εσωτερικός θόρυβος παράγεται μέσα στο ίδιο το σύστημα. Ο **θερμικός θόρυβος** (εσωτερικός-φυσικός θόρυβος), οφείλεται στην τυχαία κίνηση των ηλεκτρονίων μέσα στα αγωγά υλικά και αποτελεί μια αναπόφευκτη πηγή θορύβου σε κάθε ηλεκτρικό κύκλωμα.

1.4 Χαρακτηριστικά “χρώματα” θορύβου ($1/f$ θόρυβος)

Ο $1/f$ θόρυβος είναι ένας τύπος θορύβου, του οποίου η φασματική πυκνότητα ισχύος $[P(f)]$, ως συνάρτηση της συχνότητας f , περιγράφεται σύμφωνα με τον τύπο: $P(f)=1/f^\beta$, όπου ο εκθέτης β είναι πολύ κοντά στο 1, από όπου προέρχεται και το όνομα “ $1/f$ ” θόρυβος.

Σε αντιστοιχία με το φάσμα του φωτός, το φάσμα του $1/f$ θορύβου μπορεί να περιγραφεί με χαρακτηριστικά “χρώματα”. Εάν αναμείξουμε το ορατό φως με διαφορετικές συχνότητες σύμφωνα με την $1/f$ κατανομή, το παραγόμενο φως μπορεί να είναι ροζ. Εάν η κατανομή είναι ομοιόμορφη ως προς τη συχνότητα, το παραγόμενο φως είναι λευκό.

Τα δυο άκρα της οικογένειας των $1/f$ θορύβων είναι ο λευκός και ο θόρυβος τύπου Brown. Η φασματική τους πυκνότητα $S(f)$, για κάθε συχνότητα f , είναι ανάλογη του $1/f^\beta$, όπου ο εκθέτης είναι ίσος με μηδέν για τον λευκό θόρυβο και με δυο για τον Brown θόρυβο. Ανάμεσα στα δυο άκρα, καθώς επίσης και εκτός αυτών, υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός πιθανών “χρωματισμένων” θορύβων.

Παρακάτω παρουσιάζονται δύο είδη θορύβου: ο **λευκός θόρυβος** και ο **θόρυβος τύπου Brown**.

1.4.1 Λευκός Θόρυβος

Ως λευκός ορίζεται ο θόρυβος που έχει ομοιόμορφη φασματική πυκνότητα ισχύος ως προς τη συχνότητα. Η ονομασία του προέρχεται κατ’ αντιστοιχία με το λευκό φως, το οποίο περιέχει όλες τις οπτικές συχνότητες. Κατά τον ίδιο τρόπο ο λευκός θόρυβος περιέχει ιδανικά όλες τις συχνότητες.

Ο Λευκός Θόρυβος είναι ένα τυχαίο σήμα με μια ομοιόμορφη φασματική πυκνότητα ισχύος. Το σήμα περιέχει ισχύ μέσα σε ένα σταθερό εύρος ζώνης σε οποιαδήποτε κεντρική συχνότητα.



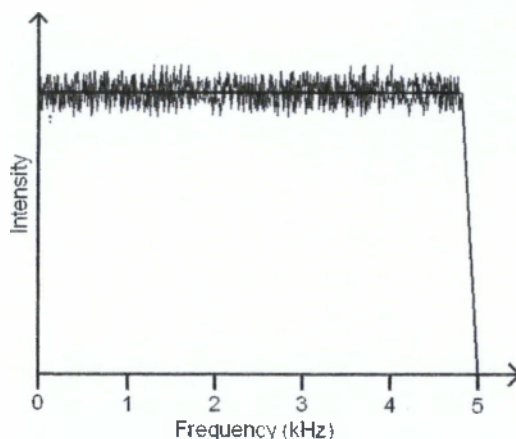
Εικόνα 2 Λευκός Θόρυβος στο πεδίο του χρόνου

Κάθε μοντέλο θορύβου μπορεί να αντιπροσωπευτεί με μια πιθανολογική διαδικασία X με τις ιδιότητές της να αλλάζουν ανάλογα με το είδος του θορύβου. Ο λευκός θόρυβος είναι η πιο απλή πιθανολογική διαδικασία. Η κάθε τιμή X παρουσιάζει κανονική κατανομή με τυπική απόκλιση σ_w και μέσο όρο μ .

$$X_t \sim N(\mu, \sigma_w^2)$$

Η διακύμανση στο λευκό θόρυβο παραμένει σταθερή. Ο λευκός θόρυβος δεν περιλαμβάνει κανενός είδους χρονική συσχέτιση. Οι τιμές ενός τυχαίου σήματος σε δυο χρονικές στιγμές είναι εντελώς ανεξάρτητες μεταξύ τους, μια και δεν διατηρείται καμία μνήμη των περασμένων γεγονότων.

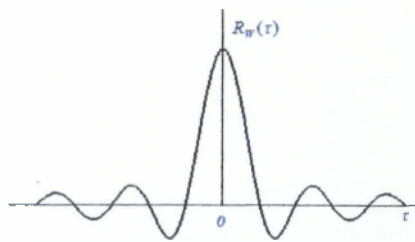
Η φασματική πυκνότητα αυτού του μοντέλου για κάθε συχνότητα είναι ανάλογη της μονάδας.



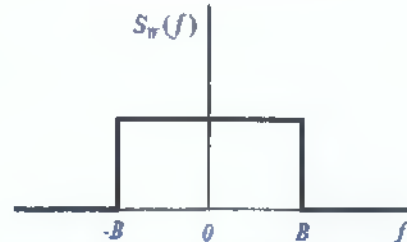
Εικόνα 3 Λευκός Θόρυβος στο πεδίο της συχνότητας (μη ιδανική περίπτωση)

Το φάσμα και η συνάρτηση αυτοσυσχετίσης του λευκού θορύβου είναι διαφορετικά στην περίπτωση που ο λευκός θόρυβος περιοριστεί σε πεπερασμένο εύρος συχνοτήτων (για παράδειγμα, εάν ιδανικός λευκός θόρυβος εφαρμοστεί σε ένα βαθυπερατό φίλτρο¹). Ο θόρυβος αυτός ονομάζεται «λευκός θόρυβος με περιορισμό εύρους ζώνης» (“bandlimited white noise”). Το φάσμα και η συνάρτηση αυτοσυσχετίσης σε αυτήν την περίπτωση, φαίνονται στα παρακάτω σχήματα (Εικόνες 4 και 5, αντίστοιχα).

¹βαθυπερατό φίλτρο (low-pass filter - LPF) επιτρέπει τη διέλευση χαμηλών συχνοτήτων ενώ αποκόπτει τις υψηλές.



Εικόνα 4 Συναρτηση Αυτοσυσχέτισης Λευκού Θορύβου σε πεπερασμένο εύρος ζώνης



Εικόνα 5 Φάσμα Συχνότητων Λευκού Θορύβου σε πεπερασμένο εύρος ζώνης

1.4.1.1 Χρήσεις – Οφέλη του λευκού θορύβου

Η χρησιμότητα του λευκού θορύβου έγκειται κατά κύριο λόγο στο γεγονός ότι περιέχει συνιστώσες όλων των συχνοτήτων. Η ιδιότητά του αυτή βρίσκει ένα μεγάλο αριθμό εφαρμογών.

Ο λευκός θόρυβος αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για τον έλεγχο της απόκρισης συχνότητας ηλεκτρονικών στοιχείων, για παράδειγμα, ενισχυτών και φίλτρων. Βρίσκει, ακόμα, εφαρμογή στον έλεγχο της ποιότητας τηλεπικοινωνιακών συστημάτων, ενώ ορισμένες διαδικασίες επεξεργασίας σήματος έχει αποδειχθεί ότι βελτιώνονται εάν στο σήμα προστεθεί μια μικρή ποσότητα λευκού θορύβου. Συνήθεις είναι, επίσης, και οι ιατρικές εφαρμογές του.

Στον τομέα της ηλεκτροακουστικής, ο λευκός θόρυβος αποτελεί εργαλείο ελέγχου της απόκρισης συχνότητας ηχείων, ενισχυτών και φίλτρων. Τροφοδοτώντας στην είσοδο των στοιχείων αυτών ένα σήμα το οποίο περιέχει όλες τις συχνότητες και παρατηρώντας την έξοδο, είναι δυνατό να καθοριστεί για ποιες συχνότητες τα στοιχεία αυτά έχουν την καλύτερη απόδοση. Χρησιμοποιείται επιπλέον για τον έλεγχο της απόδοσης ηχοσυστημάτων, για παράδειγμα σε θέατρα ή συναυλιακούς χώρους. Τροφοδοτώντας το ηχοσύστημα με λευκό θόρυβο ελέγχεται η ποιότητα του ηχοσυστήματος και η ακουστική των χώρων για τις διάφορες συχνότητες.

Στον τομέα της επεξεργασίας σήματος έχει αποδειχθεί ότι όταν ένα αναλογικό σήμα κβαντίζεται για περαιτέρω ψηφιακή επεξεργασία, παρουσιάζεται το λεγόμενο «σφάλμα κβαντισμού²» ("quantization error"), καθώς το κβαντισμένο σήμα δεν αποτελεί ακριβές αντίγραφο του αρχικού. Προσθήκη μιας χαμηλής στάθμης θορύβου εξουδετερώνει αρκετά το σφάλμα αυτό.

Μια άλλη πολύ σημαντική εφαρμογή του λευκού θορύβου είναι η καταπολέμηση της ηχορύπανσης. Συγκεκριμένα, έχει την ικανότητα να «καλύψει» μεμονωμένες πηγές θορύβου ("noise masking"). Ο πραγματικός λευκός θόρυβος περνάει σχεδόν απαρατήρητος από το ανθρώπινο αυτί «παρασύροντας» μαζί του και κάθε άλλο ανεπιθύμητο θόρυβο. Γεννήτριες λευκού θορύβου ή CD με ηχογραφημένο λευκό θόρυβο

² Σφάλμα κβαντισμού είναι η διαφορά της πραγματικής τιμής του δείγματος από την τιμή που τελικά κωδικοποιείται.

χρησιμοποιούνται ως βοηθήματα για καλύτερο ύπνο και σε χώρους γραφείων και χώρους μελέτης ως βοηθήματα για υψηλότερη αυτοσυγκέντρωση. Από την σκοπιά της Ιατρικής, ο λευκός θόρυβος ως ηχομονωτικό μέσο, βοηθά άτομα τα οποία πάσχουν από έλλειψη συγκέντρωσης ("Attention Deficit Disorder").

Επειδή ο λευκός θόρυβος αποτελεί ένα εντελώς τυχαίο και άρα μη προβλέψιμο σήμα, βρίσκει εφαρμογές στην Κρυπτογραφία, όπου χρησιμοποιείται ως πηγή τυχαίων bits. Τέλος, είναι ένα από τα κύρια εργαλεία της ηλεκτρονικής μουσικής σύνθεσης, όπου χρησιμοποιείται αυτούσιος ή αποτελεί τη βάση για την παραγωγή άλλων ηλεκτρονικών ήχων.

1.4.2 Θόρυβος Brown

Ο θόρυβος Brown είναι ένας τυχαίος θόρυβος που μιμείται το θόρυβο σημάτων που παράγεται από την κίνηση BROWN. Από τεχνικής άποψης, η φασματική πυκνότητα είναι ανάλογη προς $1/f^2$, το οποίο σημαίνει ότι έχει περισσότερη ενέργεια στις χαμηλότερες συχνότητες.

Τα μοντέλα τύπου Brown αρχικά αναπτύχθηκαν για να περιγράψουν την κίνηση Brown των σωματιδίων. Η στοχαστική διαδικασία που περιγράφει αυτό το είδος θορύβου είναι η εξής:

$$X_{t+1} = X_t + W_t, \quad W_t \sim N(0, \sigma_b^2)$$

Η τιμή της παραμέτρου που μας ενδιαφέρει, υπολογίζεται προσθέτοντας στην τιμή του προηγούμενου χρονικού βήματος μια τυχαία μεταβλητή που παρουσιάζει κανονική κατανομή με μέσο όρο 0 (μηδέν) και τυπική απόκλιση σ_b . Όπως είναι φανερό, στα μοντέλα θορύβου τύπου brown, η διακύμανση δεν παραμένει σταθερή όπως συμβαίνει σε εκείνα του λευκού, αλλά αυξάνει με το χρόνο.

Σε αντίθεση με τα μοντέλα λευκού θορύβου, τα μοντέλα τύπου Brown αφορούν διαδικασίες που συμβαίνουν σε μεγαλύτερες χρονικές κλίμακες.



Εικόνα 6 Θόρυβος Brown στο πεδίο του χρόνου

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Γεννήτριες Τυχαίων Αριθμών

2.1 Εισαγωγή

Με τον όρο γεννήτρια τυχαίων αριθμών εννοείται κάθε υπολογιστική ή φυσική διάταξη, ικανή να παράγει μια ακολουθία αριθμών οι οποίοι δεν μπορούν να προβλεφθούν.

Με την ανάπτυξη των ηλεκτρονικών υπολογιστών δημιουργήθηκαν υπολογιστικές μέθοδοι για την παραγωγή τυχαίων αριθμών. Μια από τις πρώτες μεθόδους ήταν η λεγόμενη "middle-square method" που προτάθηκε από τον John von Neumann το 1946.

Η πιο συχνή εφαρμογή τους είναι σε παιχνίδια που εμπεριέχουν τύχη, όπως για παράδειγμα το ζάρι που αποτελεί μια από τις πιο παλιές και πιο γνωστές γεννήτριες τυχαίων αριθμών. Ωστόσο με την πρόοδο της τεχνολογίας βρήκαν εφαρμογή και σε άλλους τομείς και κυρίως στην κρυπτογραφία, για την ασφαλή μεταφορά δεδομένων στο διαδίκτυο ή τη διατήρηση της ασφάλειας ενός τοπικού δικτύου.

2.2 Είδη γεννητριών Τυχαίων Αριθμών

Γίνεται διάκριση μεταξύ δύο ειδών γεννητριών τυχαίων αριθμών: τις γεννήτριες που βασίζονται σε υπολογιστικές μεθόδους, τις λεγόμενες «γεννήτριες τυχαίων αριθμών λογισμικού» ("software random number generators") και τις γεννήτριες που βασίζονται σε φυσικές μεθόδους, τις λεγόμενες «γεννήτριες τυχαίων αριθμών υλικού» ("hardware random number generators").

2.2.1 Γεννήτριες τυχαίων αριθμών λογισμικού ("software random number generators")

Οι γεννήτριες αυτού του είδους χρησιμοποιούν έναν αλγόριθμο, βασισμένο σε κάποια μαθηματική έκφραση, για να παράγουν μια ακολουθία τυχαίων αριθμών. Προκύπτει το εξής παράδοξο: μέσω ενός αλγορίθμου, που είναι καθαρά και άρα απολύτως προβλέψιμη διαδικασία, ζητείται να παραχθεί μια τυχαία έξοδος. Στην πραγματικότητα οι αριθμοί που παράγονται από τις γεννήτριες αυτού του είδους είναι μόνο «φαινομενικά» τυχαίοι. Κάποιος που γνωρίζει τον αλγόριθμο που χρησιμοποιείται, μπορεί, προφανώς, να προβλέψει ποιος θα είναι ο επόμενος αριθμός που θα παραχθεί. Για το λόγο αυτό γίνεται αναφορά στις γεννήτριες αυτού του είδους και ως «γεννήτριες ψευδοτυχαίων αριθμών» ("pseudorandom number generators"- PRNGs).

Η μαθηματική έκφραση που χρησιμοποιούν οι γεννήτριες ψευδοτυχαίων αριθμών είναι της μορφής

$$x_i = f(x_{i-1}, x_{i-2}, \dots, x_{i-k}) \quad (1.2.1)$$

Οι προηγούμενοι k αριθμοί καθορίζουν τον επόμενο αριθμό. Στην πράξη το πιο σύνηθες είναι, ο αριθμός που παράγεται να είναι συνάρτηση μόνο του αμέσως προηγούμενου αριθμού. Στην πλειονότητα των περιπτώσεων οι αριθμοί που παράγονται παρουσιάζουν ομοιόμορφη κατανομή σε ένα διάστημα $[a,b]$. Αυτό σημαίνει ότι κάθε αριθμός έχει την ίδια πιθανότητα εμφάνισης.

2.2.2 Γεννήτριες τυχαίων αριθμών υλικού ("hardware random number generators")

Οι γεννήτριες αυτού του είδους βασίζονται σε κάποια φυσική διαδικασία μπορούν δηλαδή να παράγουν μια ακολουθία τυχαίων αριθμών. Οι διαδικασίες αυτές είναι συνήθως μικροσκοπικά φαινόμενα τα οποία χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: κβαντικά φαινόμενα και θερμικά φαινόμενα. Τα φαινόμενα αυτά είναι εξ' ορισμού τυχαία και εντελώς απρόβλεπτα, επομένως και οι αριθμοί που παράγονται με βάση αυτά είναι πραγματικά τυχαίοι. Γεννήτριες αυτού του είδους ονομάζονται και «γεννήτριες πραγματικά τυχαίων αριθμών» ("true random number generators"-TRNGs).

Κβαντικά φαινόμενα που χρησιμοποιούνται σε γεννήτριες πραγματικά τυχαίων αριθμών είναι η κίνηση των φωτονίων. Τα θερμικά φαινόμενα είναι πιο εύκολο να ανιχνευθούν. Μερικά από αυτά είναι: ο θερμικός θόρυβος μιας αντίστασης, ο θόρυβος χιονοστιβάδας ("avalanche noise") από μια αντίστροφα πολωμένη ένωση p-n ή ο ατμοσφαιρικός θόρυβος.

Στην ορολογία των γεννητριών τυχαίων αριθμών χρησιμοποιείται ο όρος *εντροπία* ("entropy") για να περιγράψει την τυχειότητα της παραγόμενης ακολουθίας. Μια τυχαία ακολουθία έχει μέγιστη εντροπία, ενώ μια προβλέψιμη ακολουθία έχει μηδενική εντροπία. Όλα τα παραπάνω μικροσκοπικά φαινόμενα θεωρούνται πηγές υψηλής εντροπίας.

2.3 Σύγκριση γεννητριών τυχαίων αριθμών λογισμικού με τις γεννήτριες τυχαίων αριθμών υλικού

Η επιλογή μεταξύ των γεννητριών τυχαίων αριθμών λογισμικού (PRNGs) και των γεννητριών τυχαίων αριθμών υλικού (TRNGs) εξαρτάται από την εφαρμογή που θέλουμε. Οι γεννήτριες τυχαίων αριθμών λογισμικού παράγουν αριθμούς που είναι μόνο φαινομενικά τυχαίοι. Για κάποιες εφαρμογές αυτό μπορεί να αποτελεί μειονέκτημα. Αυτό μπορεί να γίνει εύκολα με τις PRNGs (χρησιμοποιώντας ίδια αρχική τιμή) ενώ δεν μπορεί να γίνει με τις γεννήτριες τυχαίων αριθμών υλικού, παρά μόνο από σύμπτωση. Επίσης, οι PRNGs είναι πολύ πιο γρήγορες από τις TRNGs και δεν διατρέχουν τον κίνδυνο να σταματήσουν κάποια στιγμή να λειτουργούν.

Ωστόσο για εφαρμογές όπου χρειάζονται πραγματικά τυχαίοι αριθμοί, οι TRNGs είναι η μόνη επιλογή.

2.4 Αξιολόγηση Γεννητριών Τυχαίων Αριθμών

Πολλά τεστ έχουν αναπτυχθεί για την αξιολόγηση των γεννητριών τυχαίων αριθμών. Δυστυχώς δεν υπάρχει κάποιος έλεγχος που να μπορεί να εγγυηθεί με βεβαιότητα ότι μια γεννήτρια είναι «καλή» ή το αντίθετο ωστόσο οι τυχαίοι αριθμοί είναι απαραίτητοι σε διάφορες εφαρμογές.

2.5 Γεννήτριες Θορύβου μέσω Τυχαίων Αριθμών

Μια γεννήτρια ψευδοτυχαίων αριθμών θορύβου είναι χρήσιμη σε πολλά διαφορετικά συστήματα επικοινωνίας. Μερικές από τις εφαρμογές μιας ψευδοτυχαίας γεννήτριας θορύβου είναι στα ακόλουθα πεδία:

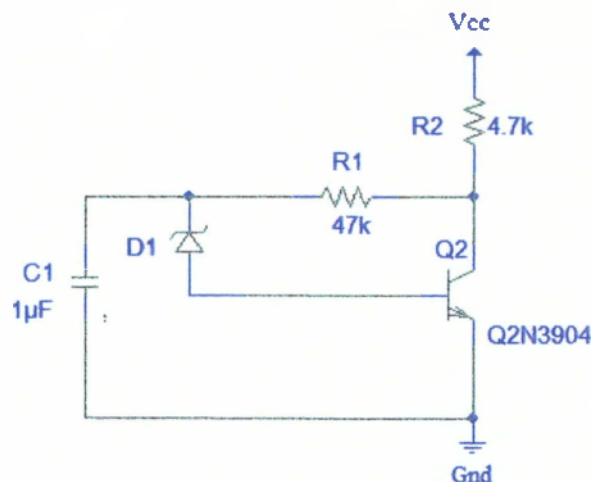
- Κρυπτογράφηση / αποκρυπτογράφηση φωνής ή δεδομένων.
- Σόναρ υψηλής απόδοσης ή ραντάρ.
- Πηγές ακουστικού σήματος (Audio) για εξίσωση ή άλλες λειτουργίες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 Υλοποιήσεις Γεννητριών Θορύβου

3.1.1 Γεννήτρια Θορύβου με Δίοδο

Κάθε ηλεκτρονικό εξάρτημα παράγει θόρυβο χαμηλής ισχύος. Μια απλή υλοποίηση γεννήτριας θορύβου μπορεί να εκμεταλλευθεί τον ενδογενή αυτό θόρυβο και να τον ενισχύσει. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 7, μια ανάστροφα πολωμένη δίοδος Zener παράγει θερμικό θόρυβο ο οποίος ενισχύεται με τη βοήθεια του διπολικού τρανζίστορ το οποίο –σε συνδυασμό με τις αντιστάσεις R1 και R2- σχηματίζει έναν ενισχυτή υψηλής απολαβής σε τοπολογία κοινού εκπομπού. Ο θόρυβος που παράγεται με τον τρόπο αυτό είναι «πραγματικός» και όχι «ψευδοτυχαίος».

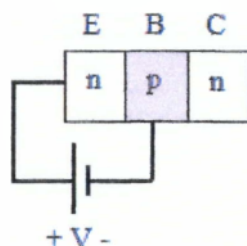


Εικόνα 7 Γεννήτρια παραγωγής λευκού θορύβου με χρήση διόδου Zener

3.1.2.Γεννήτρια Θορύβου με Τρανζίστορ

Μια παραλλαγή της προηγούμενης υλοποίησης χρησιμοποιεί διπολικό τρανζίστορ ως πηγή θορύβου «χιονοστιβάδας».

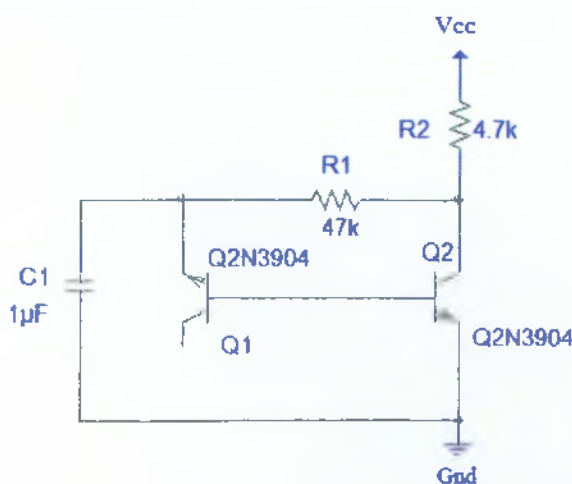
Το φαινόμενο χιονοστιβάδας ("avalanche") δημιουργείται όταν μια επαφή p-n πολωθεί ανάστροφα έτσι ώστε να λειτουργεί στην περιοχή διάσπασης (Εικόνα 8). Υπό την επίδραση του ισχυρού ηλεκτρικού πεδίου, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια αποκτούν αρκετή κινητική ενέργεια έτσι ώστε, όταν συγκρούονται με άλλα άτομα του πλέγματος, να δημιουργούνται περισσότερα ζεύγη θετικών και αρνητικών φορέων. Τα νέα ηλεκτρόνια που ελευθερώνονται επιταχύνονται από το πεδίο και αποκτούν με τη σειρά τους την ικανότητα να διεγείρουν άλλα ηλεκτρόνια του πλέγματος (φαινόμενο χιονοστιβάδας). Οι συγκρούσεις είναι εντελώς τυχαίες και αντιστοιχούν σε λευκό θόρυβο.



Εικόνα 8 Πόλωση επαφής p-n για λειτουργία στην περιοχή διάσπασης

Το κύκλωμα βασίζεται σε ένα npn τρανζίστορ του οποίου η επαφή εκπομπού -βάσης (p-n) έχει πολωθεί ανάστροφα, έτσι ώστε να εμφανίζεται θόρυβος χιονοστιβάδας.

Ένα δεύτερο τρανζίστορ ενισχύει το θόρυβο.

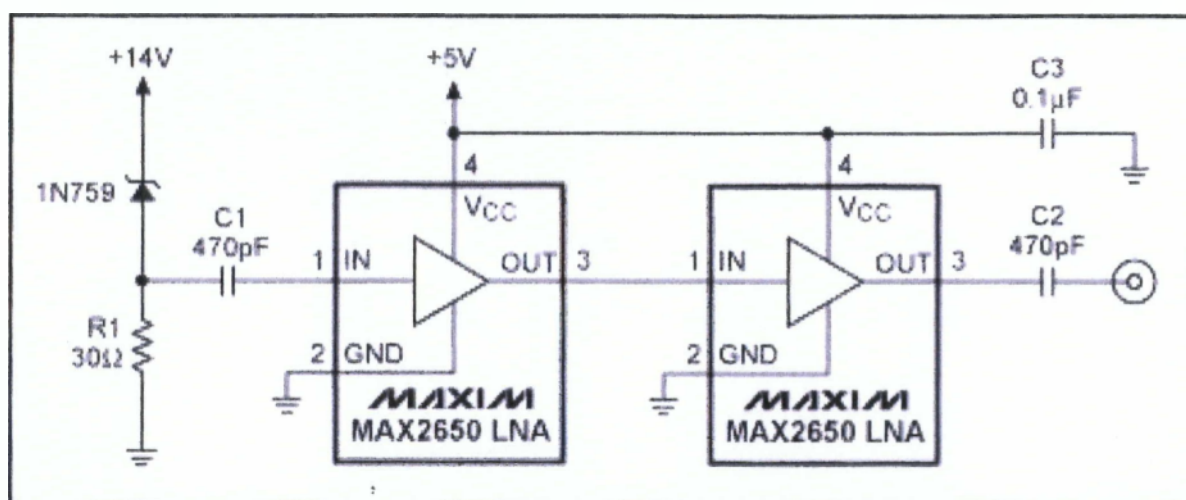


Εικόνα 9 Γεννήτρια παραγωγής λευκού θορύβου βασισμένη στο θόρυβο χιονοστιβάδας με χρήση δύο npn τρανζίστορ

3.1.3 Ενίσχυση Θορύβου

Η ενίσχυση του θορύβου όπως παρουσιάστηκε στις δύο προηγούμενες υλοποιήσεις μπορεί να γίνει, εναλλακτικά, με χρήση ολοκληρωμένου ενισχυτή χαμηλού θορύβου (LNA-Low Noise Amplifier). Η επιλογή αυτή γίνεται ώστε στο τελικό προϊόν θορύβου να μην υπάρχει συνεισφορά από τον ίδιο τον ενισχυτή, γεγονός που εξασφαλίζει ομοιόμορφη φασματική κατανομή του θορύβου.

Ένας τέτοιος ενισχυτής είναι ο MAX2650, ένας ευρυζωνικός ενισχυτής με υψηλή απολαβή (18dB/900MHz).



Εικόνα 10 Γεννήτρια παραγωγής λευκού θορύβου με δίοδο και δύο LNA

Ένα κύκλωμα παραγωγής θορύβου και ενίσχυσής του με LNA φαίνεται στην Εικόνα 9.

Η αρχή λειτουργίας του κυκλώματος έχει ως εξής: Δύο ενισχυτές χαμηλού θορύβου (LNAs) ενισχύουν το θόρυβο από μια δίοδος Zener, που παράγει λευκό θόρυβο με εύρος ζώνης αρκετά εκατοντάδες MHz. Η υλοποίηση αυτή εξασφαλίζει έναν αρκετά ευρείας ζώνης λευκό θόρυβο χρησιμοποιώντας εξαρτήματα χαμηλού κόστους.

Η γεννήτρια λευκού θορύβου βασίζεται στο θόρυβο που δημιουργείται από το φαινόμενο χιονοστιβάδας σε μια δίοδο Zener. Το κύκλωμα αποτελείται από δύο μέρη: μια δίοδο Zener, και δύο ενισχυτές χαμηλού θορύβου MAX2650. Η δίοδος είναι ανάστροφα πολωμένη και ο θόρυβος έχει ληφθεί από την άνοδο. Με δύο διαδοχικές φάσεις ενίσχυσης, η στάθμη του λαμβανόμενου θορύβου στην έξοδο της γεννήτριας παίρνει την επιθυμητή τιμή.

3.1.4 Γεννήτρια Θορύβου με χρήση ακολουθίας ψευδοτυχαίων αριθμών

Πολλές φορές, η υλοποίηση μιας γεννήτριας θορύβου με την επιθυμητή φασματική κατανομή μπορεί να πραγματοποιηθεί ευκολότερα με τη χρήση γεννητριών αριθμών (ψευδοτυχαίων ή μη). Η αρχή μιας τέτοιας υλοποίησης έγκειται στην παραγωγή (με υπολογιστικές μεθόδους) της επιθυμητής σειράς δειγμάτων του θορύβου (σε «ψηφιακή» μορφή) και στη συνέχεια η μετατροπή τους σε αναλογική κυματομορφή με τη βοήθεια ενός μετατροπέα ψηφιακού σε αναλογικό (DAC – Digital to Analog Converter).

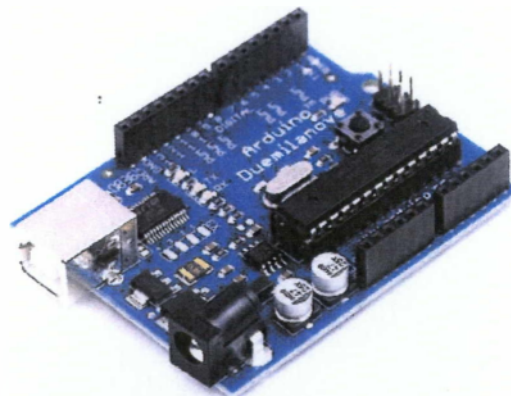
Δύο παραλλαγές της μεθόδου αυτής υλοποιήθηκαν σε χαμηλού κόστους πλακέτες πρωτοτύπων (χωρίς την ανάγκη χρήσης ηλεκτρονικού υπολογιστή) κατά την πραγματοποίηση της παρούσας εργασίας, όπως θα περιγραφεί αναλυτικά στο επόμενο κεφάλαιο.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Σχεδίαση του Συστήματος

4.1 Ενσωματωμένη Πλακέτα Ανοικτής Σχεδίασης (Open Source Hardware Embedded Board)

Το **Arduino Duemilanove** είναι μια υπολογιστική πλατφόρμα βασισμένη σε μια απλή μητρική πλακέτα με ενσωματωμένο μικροελεγκτή και εισόδους/εξόδους, και η οποία μπορεί να προγραμματιστεί με τη γλώσσα Wiring (ουσιαστικά πρόκειται για τη C++ με κάποιες μετατροπές). Το Arduino μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ανάπτυξη ανεξάρτητων διαδραστικών αντικειμένων αλλά και να συνδεθεί με υπολογιστή μέσω προγραμμάτων σε Processing, Max/MSP, Pure Data, SuperCollider. Περιέχει όλα αυτά που απαιτούνται για να υποστηρίξουν τον μικροελεγκτή. Συνδέεται απλά με έναν υπολογιστή με ένα καλώδιο USB και τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα ή με μπαταρία.



Εικόνα 11 Arduino Duemilanove

Οι υπολογιστικές λειτουργίες εκτελούνται στον μικροελεγκτή ATmega328 που διαθέτει 16KB μνήμης flash για την αποθήκευση κώδικα. Έχει επίσης 1 KB SRAM και 512 bytes μνήμης EEPROM (τα οποία μπορούν να διαβαστούν και να γραφτούν με την βιβλιοθήκη EEPROM).



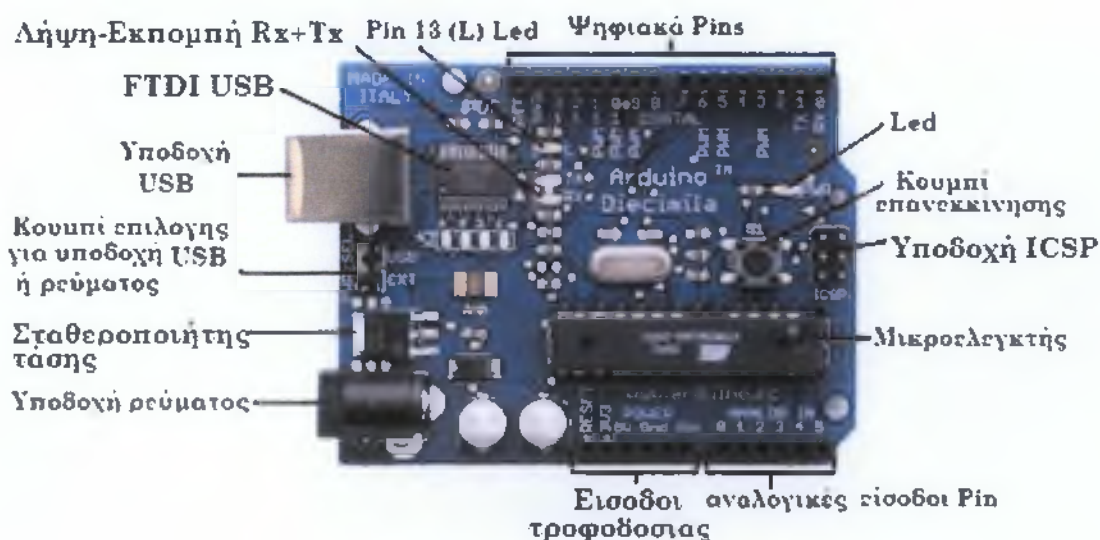
Εικόνα 12 Ο Μικροελεγκτής ATMEGA328

Το Arduino Duemilanove τροφοδοτείται είτε από εξωτερική τροφοδοσία είτε απευθείας από την θύρα USB. Η επιλογή της πηγής γίνεται αυτόματα. 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 εξάγουν τάση 5 Volts. Αν από την άλλη δώσουμε πάνω από 12 Volts θα υπερθερμανθεί ο σταθεροποιητής τάσης στην πλακέτα και υπάρχει μεγάλη πιθανότητα να καταστραφεί. Συνεπώς μια ιδανική τάση είναι τα 9 Volts

Το Arduino Duemilanove έχει την δυνατότητα να επικοινωνεί με τον Ηλεκτρονικό Υπολογιστή, με ένα άλλο Arduino ή άλλους μικροελεγκτές. Το ολοκληρωμένο ATmega 328 παρέχει σειριακή επικοινωνία TTL 5Volt UART, η οποία είναι διαθέσιμη από τους ακροδέκτες (λήψη RX) 0 και (εκπομπή TX) 1 του ολοκληρωμένου. Επιπλέον, στην πλακέτα του Arduino είναι ενσωματωμένο ένα ολοκληρωμένο 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 το Arduino και παρέχουν μια ιδεατή θύρα επικοινωνίας στον Ηλεκτρονικό Υπολογιστή για τους σκοπούς της επικοινωνίας.

4.1.1 Τα μέρη του συστήματος



Λειτουργίες Ακροδεκτών:

- 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.
- 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.
- I2C: 4 (SDA) and 5 (SCL). Υποστηρίζει το πρωτόκολλο I2C (TWI) χρησιμοποιώντας βιβλιοθήκες τις Γλώσσας προγραμματισμού Wiring.
- AREF. είναι ένα αναλογικό pin που χρησιμοποιείτε για μετατροπή αναλογικού σε ψηφιακό. Χρησιμοποιείται με την συνάρτηση `analogReference()`.
- Reset. Αν τεθεί σε κατάσταση LOW (χαμηλή) τότε μπορούμε να κάνουμε επανεκκίνηση τον Μικροελεγκτή, χρησιμοποιώντας το κουμπί επανεκκίνησης όπως φαίνεται παρακάτω.



διακόπτης επανεκκίνησης

4.2 Χρήσεις του Arduino Duemilanove

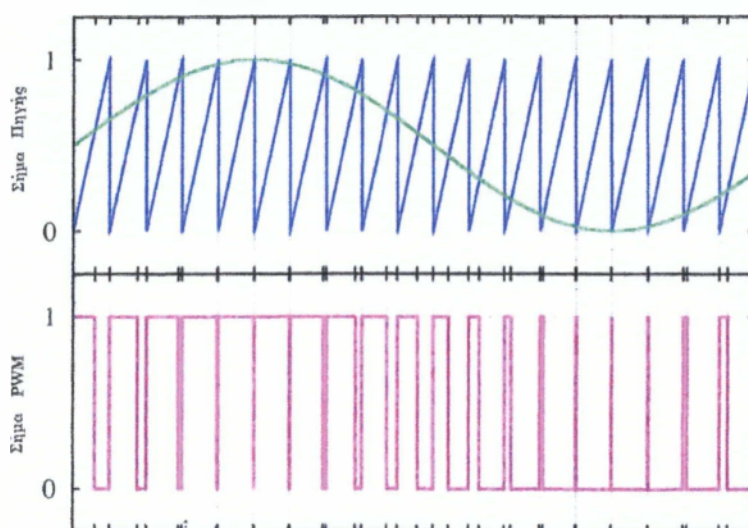
Ο Arduino είναι μια πλακέτα ανάπτυξης πρωτοτύπων ανοιχτού υλικού και λογισμικού. Ενσωματώνει έναν μικροελεγκτή και συνδέεται με τον Η/Υ ώστε να προγραμματίζεται μέσα από ένα απλό περιβάλλον ανάπτυξης. Ένα Arduino μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αναπτύξουμε εφαρμογές ελέγχου (control) όπως να ελέγχουμε 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 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) και μπορεί κάποιος να τις "κατεβάσει" δωρεάν. Η Γλώσσα προγραμματισμού του Arduino εξομοιώνει απόλυτα το φυσικό περιβάλλον του μικροελεγκτή και είναι βασισμένη σε C/C++.

4.3 Pulse Width Modulation- PWM

Η διαμόρφωση εύρους παλμών, Pulse Width Modulation ή PWM, είναι μια τεχνική αναπαράστασης ενός αναλογικού μεγέθους σε ψηφιακή μορφή. Μια κυματομορφή PWM βασίζεται σε έναν τετραγωνικό παλμό, ένα σήμα που κυμαίνεται μεταξύ on και off. Η διάρκεια «on time» καλείται εύρος του παλμού. Για να έχουμε διάφορες αναλογικές τιμές, μεταβάλλουμε το εύρος αυτό.



Εικόνα 13 Διαμόρφωση Εύρους Παλμών (PWM)

4.3.1 Πλεονεκτήματα Διαμόρφωσης Πλάτους Παλμών

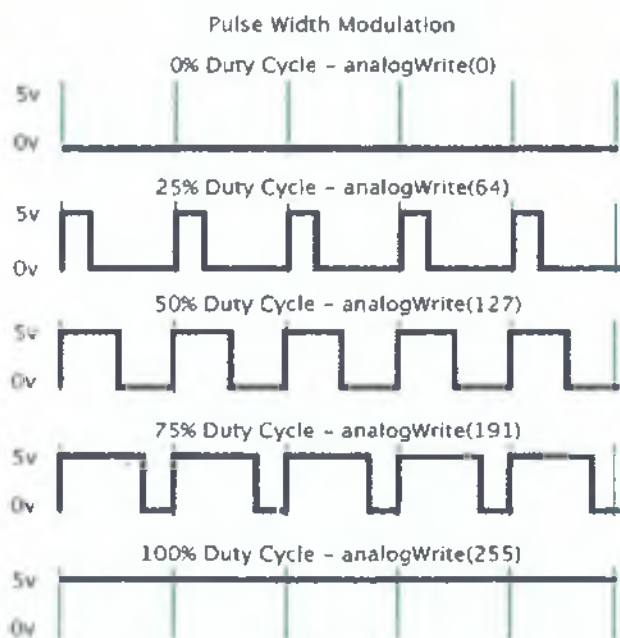
Ένα από τα πλεονεκτήματα του PWM είναι ότι το σήμα παραμένει ψηφιακό σε όλο το κύκλωμα από τον επεξεργαστή έως την έξοδο, χωρίς να είναι απαραίτητη καμία μετατροπή από ψηφιακό σε αναλογικό. Κρατώντας το σήμα ψηφιακό, φαινόμενα θορύβου ελαχιστοποιούνται.

Ο θόρυβος μπορεί να επιδράσει σε ένα ψηφιακό σήμα μόνο αν είναι τόσο ισχυρός ώστε να μπορεί να αλλάξει το λογικό 1 σε 0 και το αντίστροφο. Η επίδραση του θορύβου είναι ένας λόγος για το οποίο επιλέγουμε PWM για αναλογικό έλεγχο και είναι ο βασικός λόγος επιλογής του PWM στις επικοινωνίες.

4.3.2 Η συνάρτηση AnalogWrite

Στο Arduino, προκειμένου ένα δείγμα ενός αναλογικού μεγέθους (στην κλίμακα από 0-255) να αναπαρασταθεί σε μορφή PWM γίνεται μια κλήση στη συνάρτηση `analogWrite()`. Το εύρος του παλμού PWM διαμορφώνεται με βάση την τιμή του αναλογικού δείγματος, όπως φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα.

Οι πράσινες γραμμές οριοθετούν την (σταθερή) περίοδο του σήματος PWM. Προφανώς, αυτή η διάρκεια είναι το αντίστροφο της συχνότητας PWM και στην περίπτωση του Arduino είναι ίση με 2msec.



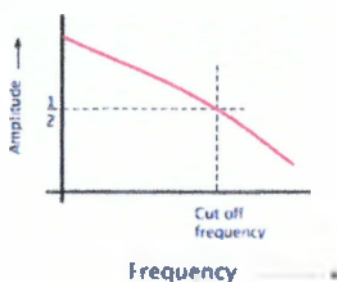
Εικόνα 14 Λειτουργία της συνάρτησης `analogWrite`

4.4 Μετατροπή σήματος PWM σε Αναλογικό

Το επιθυμητό σήμα θορύβου που θα παράγει η γεννήτρια είναι αναλογικό (συνεχές στο χρόνο και στο πλάτος). Επειδή οι αναλογικές έξοδοι του Arduino παρέχουν σήμα PWM, θα πρέπει κατά τη σχεδίαση να προβλεφθεί μετατροπή του σήματος αυτό σε αναλογικό. Η μετατροπή αυτή μπορεί να γίνει με τη χρήση ενός απλού φίλτρου RC, όπως θα εξηγήσουμε στη συνέχεια.

4.4.1 Φίλτρα RC

Τα ηλεκτρονικά φίλτρα αφαιρούν μέρος από το φασματικό περιεχόμενο του σήματος. Προκειμένου να μετατραπεί ένα σήμα PWM σε αναλογικό, είναι αναγκαία η χρήση βαθυπερατού φίλτρου (με απόκριση σαν αυτή της Εικόνας 15), ώστε να αποκοπούν οι υψηλές συχνότητες του τετραγωνικού παλμού που περιέχει το σήμα PWM.



Εικόνα 15 Απόκριση βαθυπερατού φίλτρου

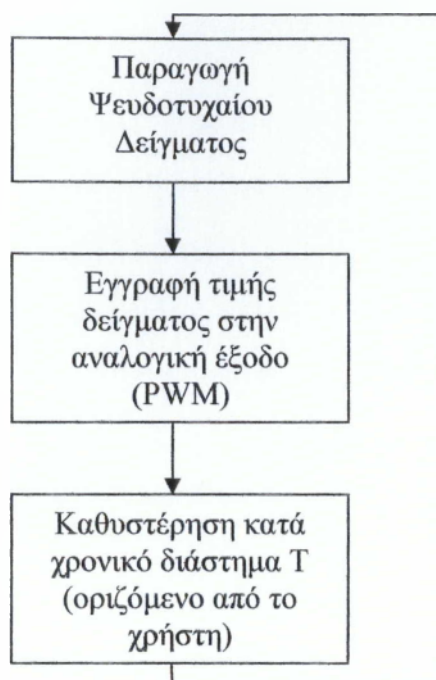
Οι λεπτομέρειες της σχεδίασης θα αναλυθούν σε επόμενη παράγραφο.

4.5 Προγραμματισμός της Γεννήτριας Θορύβου

Σκοπός μας είναι ο προγραμματισμός του μικροελεγκτή ώστε σε μία αναλογική έξοδο του πρωτοτύπου να παρέχεται, σε μορφή PWM, θόρυβος σε καθοριζόμενο από το χρήστη εύρος ζώνης.

Ο προγραμματισμός μπορεί να ακολουθήσει το λογικό διάγραμμα που φαίνεται στην Εικόνα 16-A. Μετά την παραγωγή του τρέχοντος δείγματος του θορύβου και την εγγραφή του στην αναλογική έξοδο, ακολουθεί μια χρονική καθυστέρηση (παύση) η οποία και καθορίζει τη διάρκεια των δειγμάτων και άρα τη συχνότητα του παραγόμενου θορύβου. Όσο πιο μικρή είναι η παύση αυτή, τόσο πιο μεγάλη είναι η μέγιστη συχνότητα του παραγόμενου θορύβου.

Σε μορφή κώδικα, η διαδικασία που περιγράφεται στην Εικόνα 16-A έχει τη μορφή που φαίνεται στην Εικόνα 16-B.

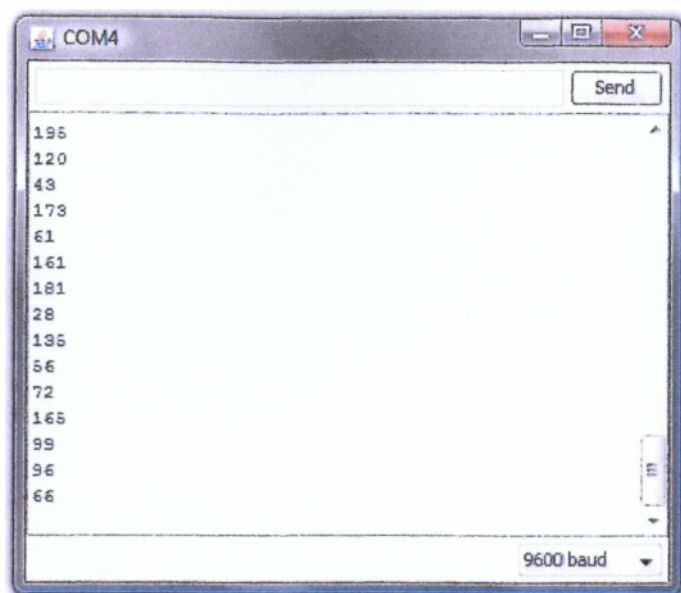


Εικόνα 16-Α Λογικό Διάγραμμα Λειτουργίας Γεννήτριας Θορύβου

```

int analogPin = 3;
int randNumber;
int analogPin2=10;
int analogPin1=5;
int i;
void setup()
{
  Serial.begin(9600);
  pinMode(analogPin2, OUTPUT);
  randomSeed(analogRead(0));
}
void loop()
{
  randNumber = random(200);
  analogWrite(analogPin,randNumber);
  i = analogRead(analogPin1);
  Serial.println(randNumber);
  analogWrite(10,randNumber);
  delay(i);
}
  
```

Εικόνα 16-Β Κώδικας για την υλοποίηση Γεννήτριας Θορύβου



Εικόνα 17 Τιμές Δειγμάτων Θορύβου στην Σειριακή Έξοδο

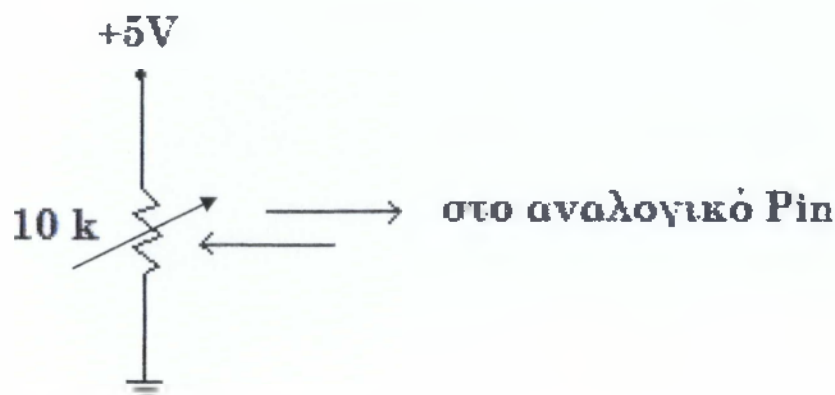
Για λόγους ελέγχου της ορθής λειτουργίας της γεννήτριας, τα δείγματα του παραγόμενου θορύβου οδηγούνται και στην σειριακή έξοδο του πρωτοτύπου, όπως φαίνεται στην Εικόνα 17.

4.5 Εξωτερικά κυκλώματα

Η ρύθμιση της συχνότητας του θορύβου γίνεται με βάση την τιμή της τάσης που εφαρμόζεται εξωτερικά στον ακροδέκτη #1 και η οποία ρυθμίζεται από τον χρήστη μέσω διαιρέτη τάσης (Εικόνα 19), με τη βοήθεια μεταβλητής αντίστασης (trimmer) [Εικόνα 18].

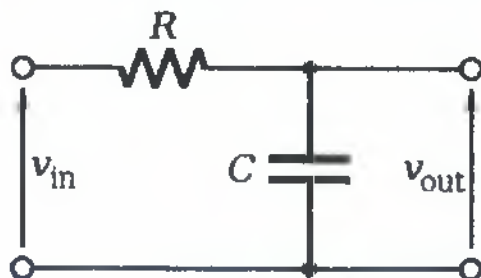


Εικόνα 18 Trimmer

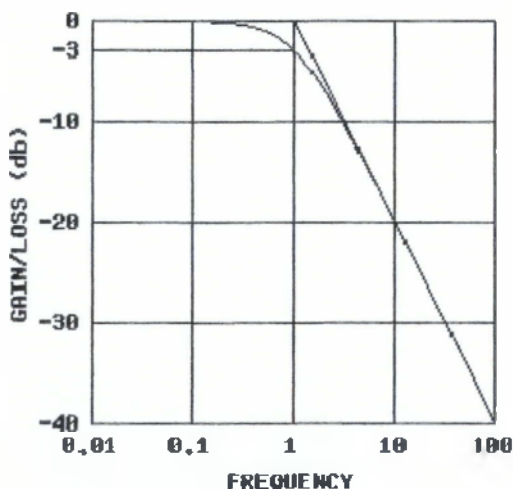


Εικόνα 19 Διαιρέτης Τάσης για τη ρύθμιση της συχνότητας του θορύβου

Για τη μετατροπή του σήματος PWM σε αναλογικό, θα χρησιμοποιηθεί ένα απλό LPF (Low Pass Filter) πρώτης τάξης με αντίσταση και πυκνωτή (Resistor – Capacitor [RC])

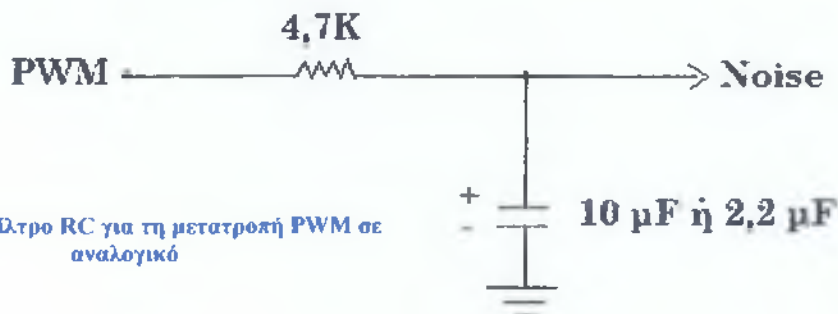


Εικόνα 20 Απλό Φίλτρο RC πρώτης τάξης



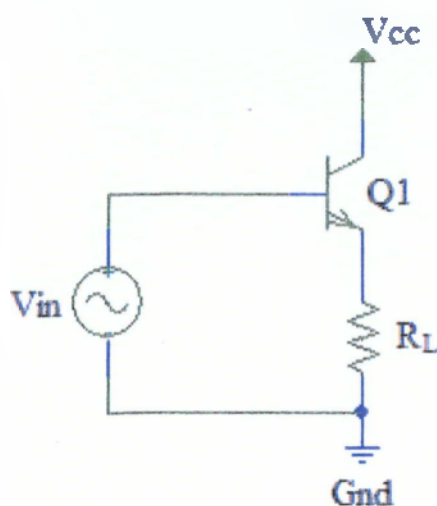
Εικόνα 21 Τοπική Καμπύλη Απόκρισης Απλού Φίλτρου RC

Τα στοιχεία του φίλτρου αυτού είναι τα εξής:



Εικόνα 22 Φίλτρο RC για τη μετατροπή PWM σε αναλογικό

Το σήμα που παράγεται από την γεννήτρια θορύβου μπορεί να παρατηρηθεί και να μετρηθεί σε έναν παλμογράφο, δεν έχει όμως την κατάλληλη ισχύ έτσι ώστε να γίνει αντιληπτό ή να χρησιμοποιηθεί και ως ακουστικό σήμα λευκού θορύβου. Χρειάζεται για το σκοπό αυτό ένα τελευταίο στάδιο ενίσχυσης. Αν και δεν υλοποιήθηκε στην παρούσα εργασία, αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί χρησιμοποιώντας έναν απλό ενισχυτή ευρείας ζώνης με διπολικό τρανζίστορ, σαν κι αυτόν του επόμενου σχήματος.



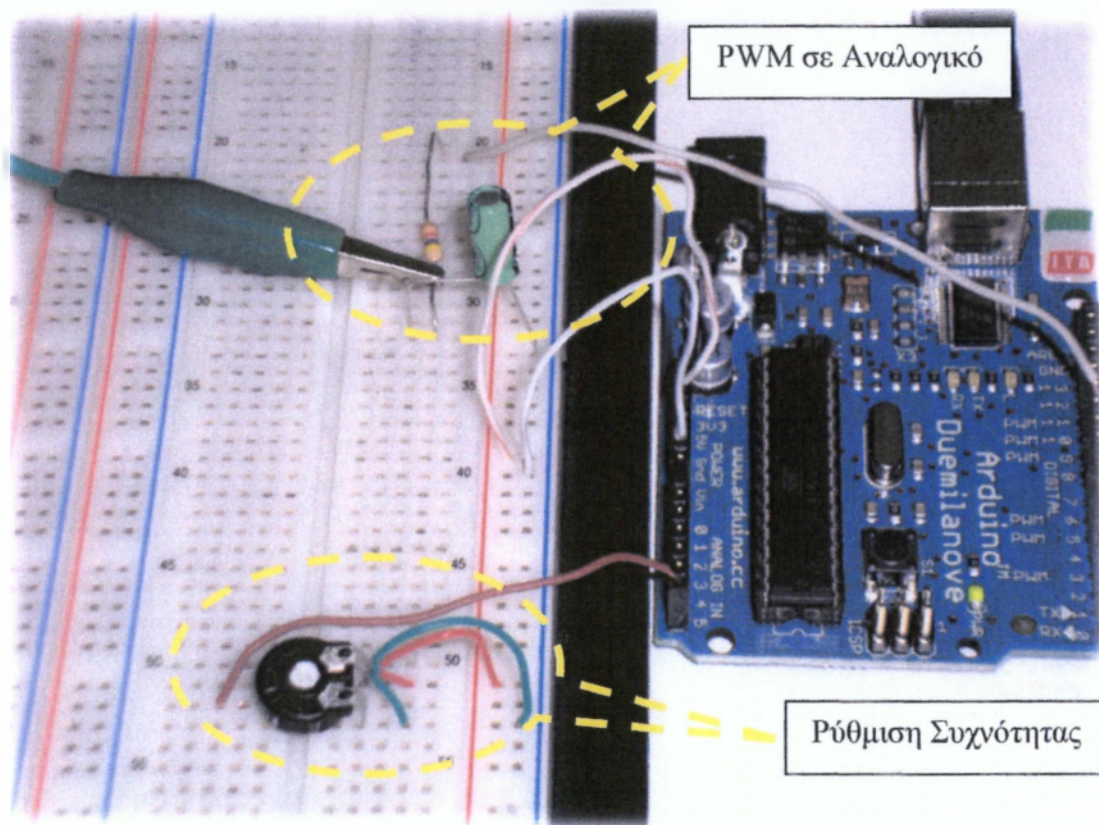
Εικόνα 23 Κύκλωμα ενίσχυσης του θορύβου

Ο συλλέκτης του τρανζίστορ συνδέεται με τη θετική τροφοδοσία, ενώ ο εκπομπός συνδέεται με τη γη μέσω της αντίστασης φορτίου. Το σήμα εφαρμόζεται στην βάση του τρανζίστορ. Το τρανζίστορ άγει καθ' όλη τη διάρκεια του κύκλου του σήματος εισόδου και ενισχύει το σήμα χωρίς παραμόρφωση στην έξοδο.

Λόγω των επιμέρους σχεδιαστικών προβλημάτων που αντιμετωπίσαμε χρειάστηκε να γίνει επανασχεδίαση αρκετές φορές μέχρι να επιτευχθεί η επιθυμητή λειτουργικότητα.

4.6 Έλεγχος - Μετρήσεις - Αξιολόγηση

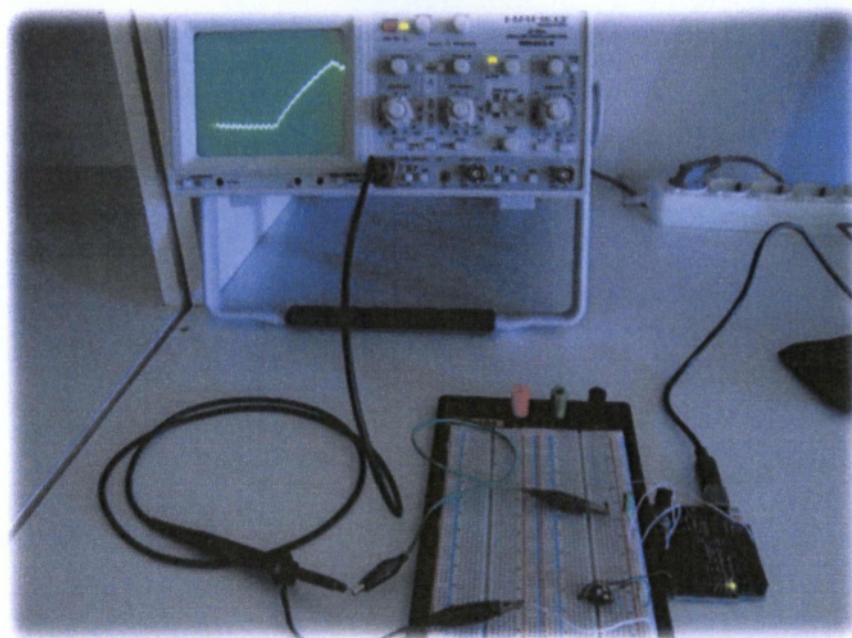
Το πρωτότυπο της γεννήτριας θορύβου που προέκυψε με βάση τις αρχές σχεδίασης που ήδη περιγράψαμε φαίνεται στην Εικόνα 24.



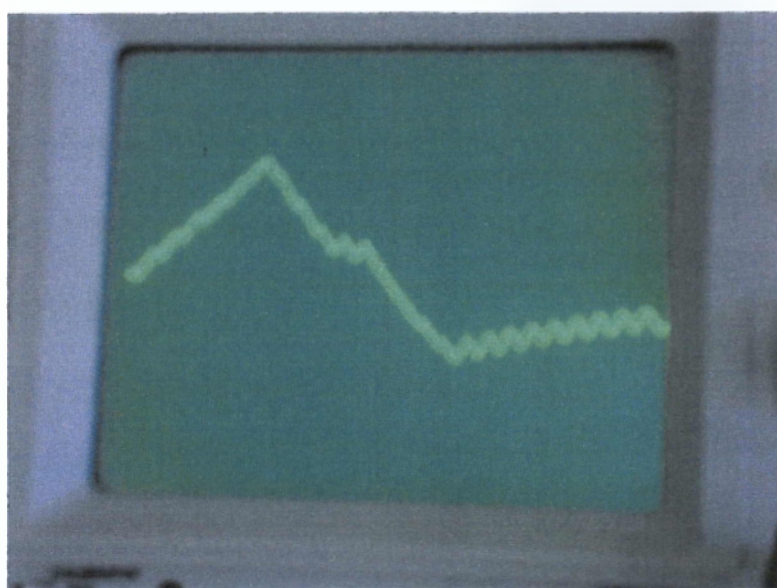
Εικόνα 24 Πρωτότυπο Γεννήτριας Θορύβου με χρήση του Arduino Duemilanove

Για τον έλεγχο της ορθής λειτουργίας του κυκλώματος, η έξοδος του φίλτρου RC οδηγήθηκε σε αναλογικό παλμογράφο όπως φαίνεται στην Εικόνα 25.

Ένα χαρακτηριστικό στιγμιότυπο της κυματομορφής του παραγόμενου θορύβου φαίνεται στην Εικόνα 26.



Εικόνα 25 Έλεγχος ορθής λειτουργίας Πρωτοτύπου Γεννήτριας Θορύβου



Εικόνα 26 Στιγμιότυπο θορύβου στον παλμογράφο

Τα αποτελέσματα του εργαστηριακού ελέγχου έδειξαν αφενός πως η συχνότητα του θορύβου που μπορεί να επιτευχθεί είναι σχετικά μικρή (εξαιτίας της αργής απόκρισης του μικροελεγκτή), αφετέρου πως η μετατροπή PWM σε αναλογικό δεν μπορεί να αποδώσει αξιόπιστο σήμα θορύβου.

Για τους λόγους αυτούς, θα προταθούν οι σχεδιαστικές βελτιώσεις του επόμενου κεφαλαίου.

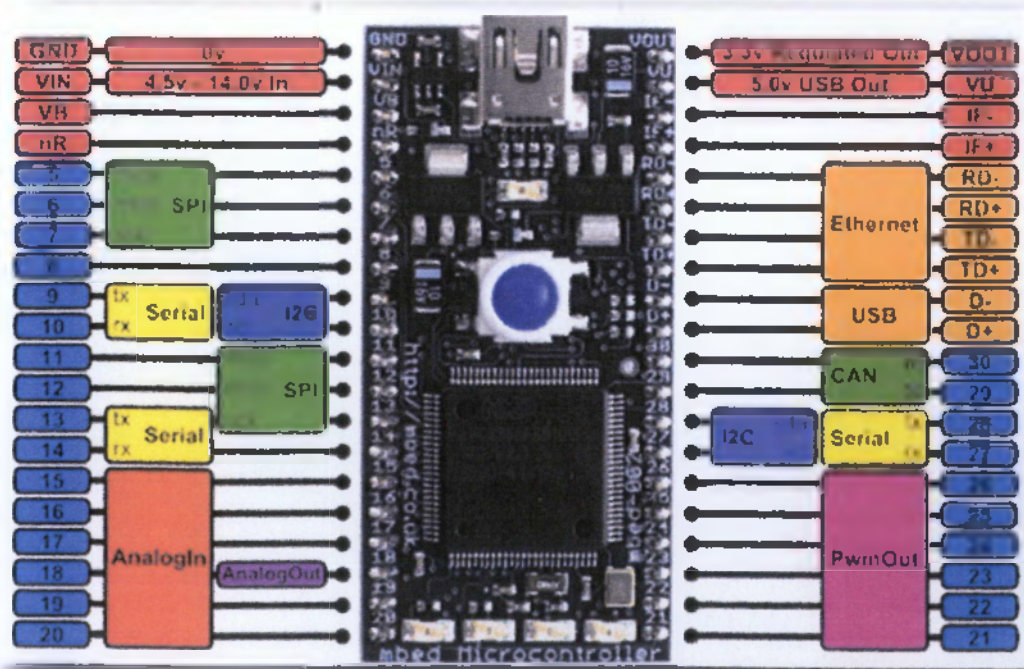
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1 Σχεδιαστικές βελτιώσεις

Σε αυτή την ενότητα θα αναφερθούμε σε ένα άλλο πρωτότυπο που θα μας βοηθήσει να βελτιώσουμε τις επιδόσεις της γεννήτριας θορύβου, χωρίς να απομακρυνθούμε από τις βασικές αρχές σχεδίασης που ήδη παρουσιάσαμε. Συγκεκριμένα, θα χρησιμοποιήσουμε το κύκλωμα mbed, το οποίο με την ταχύτερη απόκρισή του θα μπορέσει να μας δώσει υψηλότερες συχνότητες θορύβου και, επιπλέον, με τη βοήθεια του ενσωματωμένου μετατροπέα ψηφιακού σε αναλογικό θα παρακάμψει τις δυσκολίες μετατροπής του PWM σήματος σε αναλογικό.

5.2 Περιγραφή του πρωτοτύπου mbed

Σκοπός του mBed είναι η υλοποίηση πρωτοτύπων, και διαθέτει 40 ακροδέκτες 0.1 " pitch DIP form-factor που το καθιστούν ιδανικό για τον πειραματισμό σε breadboard, stripboard και PCBs.



Εικόνα 27 Ακροδέκτες πρωτοτύπου mbed

Υποστηρίζει πολλές διεπαφές (interfaces), ώστε να μπορούμε να το συνδέσουμε σε όλων των ειδών τα κυκλώματα εισόδου και εξόδου.

Μπορούμε να κατεβάσουμε το πρόγραμμα, χρησιμοποιώντας τον internet explorer εφόσον έχουμε αγοράσει το κύκλωμα mbed που μας παραπέμπει στην αντίστοιχη σελίδα και χρησιμοποιώντας συγκεκριμένο κώδικα, για να το αξιοποιήσουμε για τον σκοπό της εργασίας.

Χαρακτηριστικά mbed

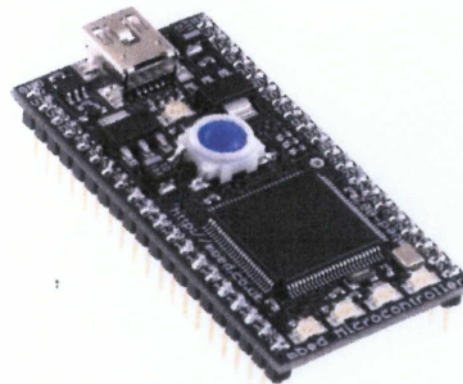
100 MHz ARM με 64 KB στη μνήμη SRAM, 512 KB στη μνήμη Flash

Ethernet, USB OTG

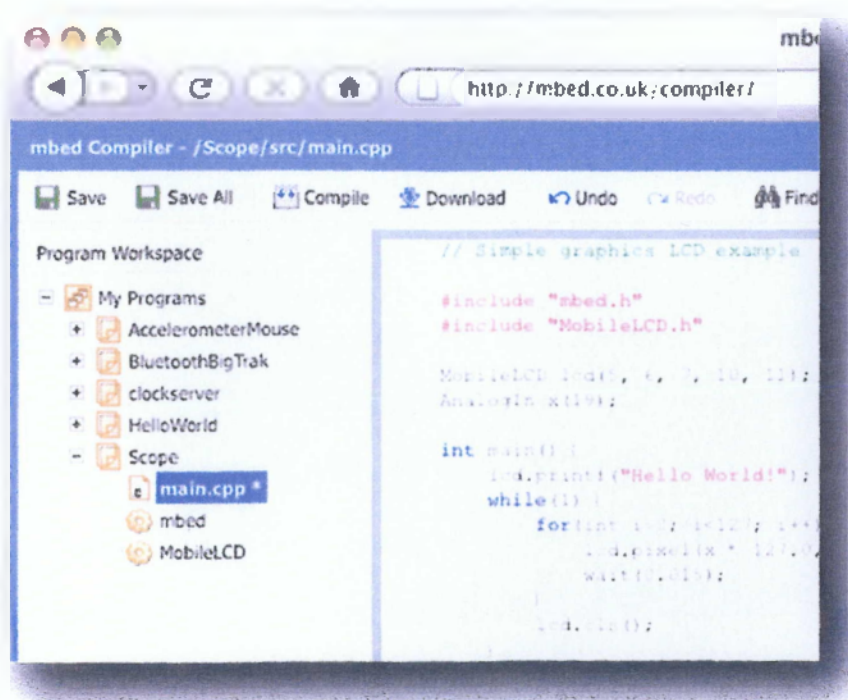
SPI, I2C, UART, CAN

GPIO, PWM, ADC, DAC

Γλώσσα Προγραμματισμού βασισμένη σε C/C++

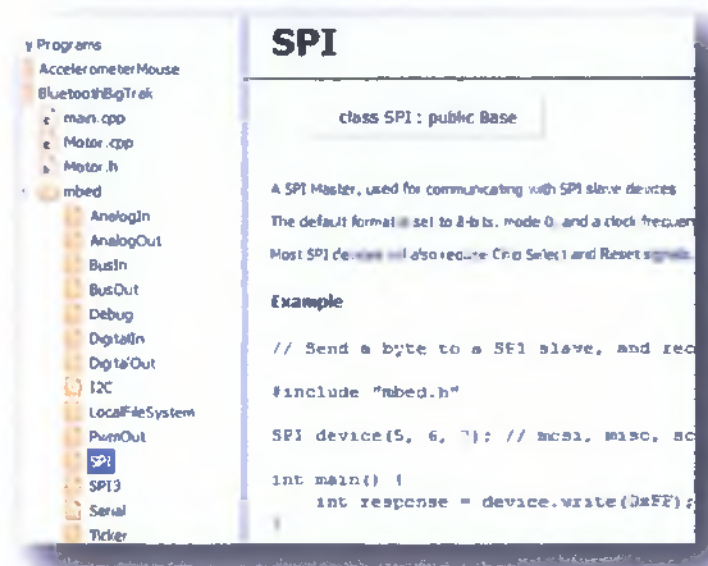


Κώδικας mbed



Η βιβλιοθήκη του mbed

Με τον μεταγλωττιστή μπορούμε να γράψουμε τα προγράμματα σε γλώσσα C++ και έπειτα να τρέξει ο μικροελεγκτής NXP LPC1768. Δεν χρειάζεται να εγκατασταθεί κάποιο πρόγραμμα, δεδομένου ότι ο μεταγλωττιστής τρέχει on-line. Τρέχουν σε Windows, MAC, ή υπολογιστές που χρησιμοποιούν Linux.

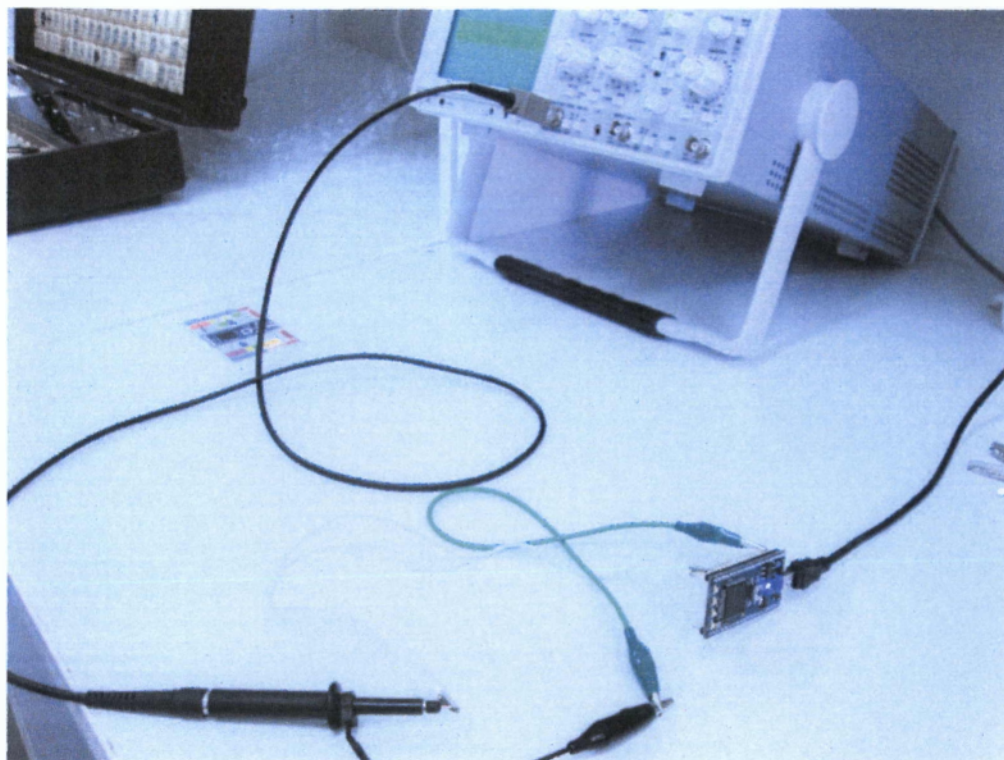


5.3 Συνδεσμολογία

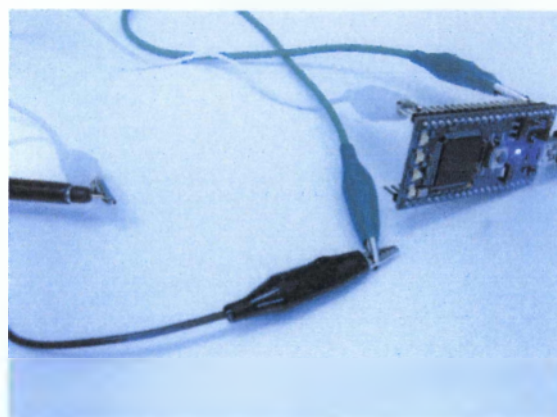
Η συνδεσμολογία γίνεται μέσω ενός καλωδίου, όπου συνδέεται το mbed με τον υπολογιστή.



στη συνέχεια γράφουμε τον αντίστοιχο κώδικα για τον σκοπό της εργασίας και συνδέουμε το κύκλωμα στον παλμογράφο. Η σύνδεση στον παλμογράφο παρουσιάζεται στην Εικόνα 29.



Εικόνα 29 Συνδεσμολογία mbed



Σύνδεση

Η σύνδεση έγινε στο pin GND, (βλέπε πράσινο καλώδιο) όπου συνδέθηκε στη έξοδο του παλμογράφου και στο pin18, (βλέπε λευκό καλώδιο) όπου συνδέθηκε ο παλμογράφος.

5.3.1 Κώδικας του mbed

Ο κώδικας που χρησιμοποιήθηκε παρουσιάζεται παρακάτω και είναι σε πλήρη αντιστοιχία με το λογικό διάγραμμα της Εικόνας 16-A:

```
#include "mbed.h"

AnalogOut signal(p18);

int main()
{
    srand(1);
    while(1)
    {
        float random_num = rand() % 100000 + 1;

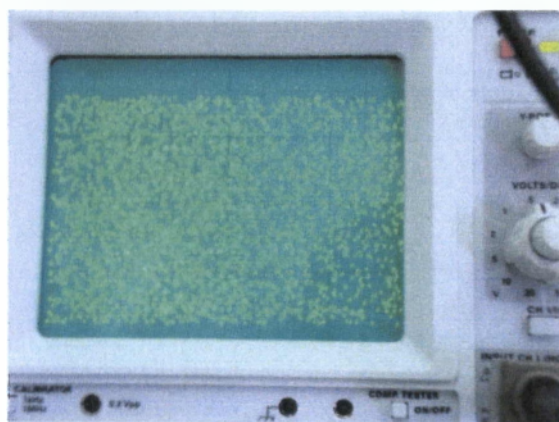
        float value=random_num/100000;

        signal.write(value);

        wait(0.000001);
    }
}
```

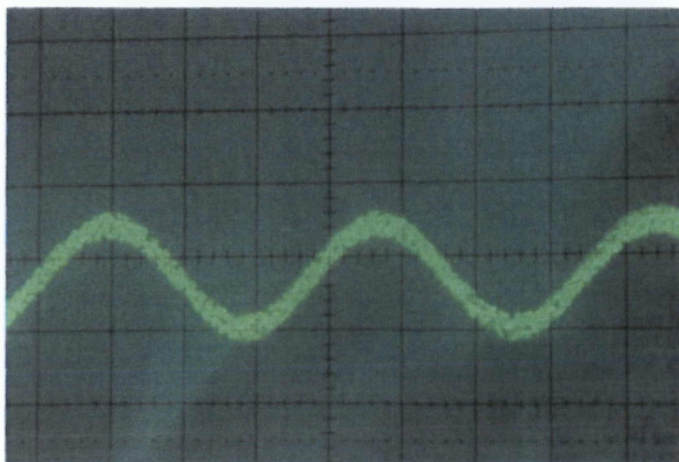
5.4 Έλεγχος και Αξιολόγηση

Για την αξιολόγηση του νέου πρωτοτύπου έγιναν έλεγχοι ορθής λειτουργίας και μετρήσεις στον παλμογράφο. Παρατηρώντας την κυματομορφή του θορύβου, διαπιστώθηκε πως η μέγιστη συχνότητά του είναι αρκετά υψηλή για χρήση σε προσομοιώσεις θορύβου ($>1\text{kHz}$) (βλπ. Εικόνα 30).

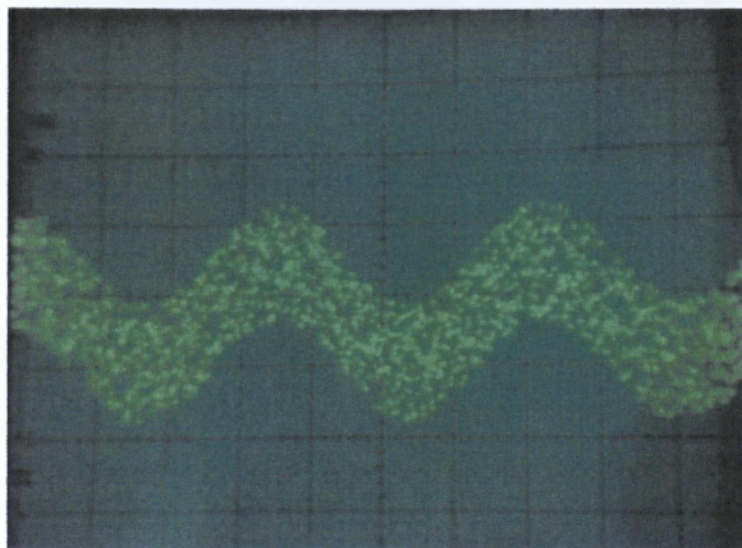


Εικόνα 30 Στιγμιότυπο θορύβου στον Παλμογράφο

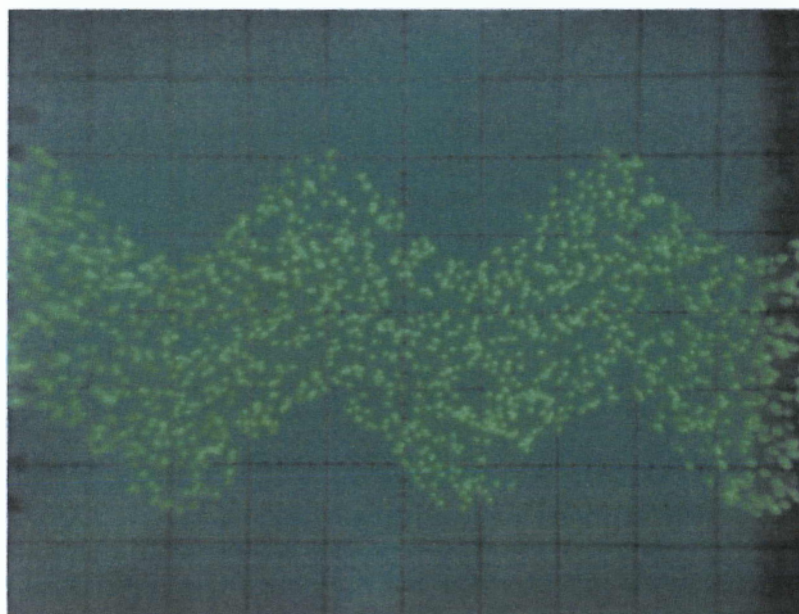
Για περαιτέρω αξιολόγηση, το σήμα του θορύβου εφαρμόστηκε σε ημιτονικό σήμα με τη βοήθεια της λειτουργίας ADD του αναλογικού παλμογράφου



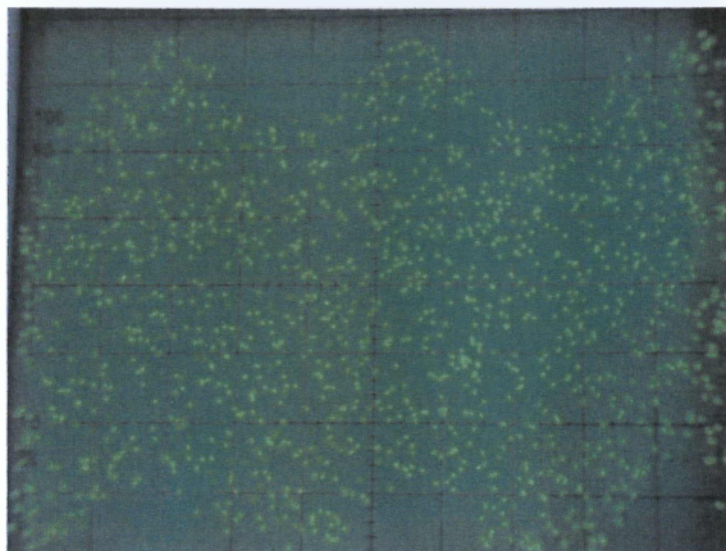
Εικόνα 31 Προσθήκη Θορύβου σε Ημιτονική Κυματομορφή



Εικόνα 32 Ημιτονικό σήμα με προσθήκη θορύβου
(μικρό πλάτος θορύβου)



Εικόνα 33 Ημιτονικό σήμα με προσθήκη θορύβου
(μεσαίο πλάτος θορύβου)



Εικόνα 34 Ημιτονικό σήμα με προσθήκη θορύβου
(μεγάλο πλάτος θορύβου)

Συμπεράσματα

Στην παρούσα εργασία σχεδιάστηκαν και κατασκευάστηκαν κυκλώματα για την παραγωγή θορύβου για εργαστηριακή χρήση. Χρησιμοποιήθηκαν δυο βασικά κυκλώματα: το Arduino Duemilanove και το κύκλωμα mbed. Το σήμα του θορύβου προήλθε από μια ακολουθία τυχαίων τιμών τάσης, οι οποίες παράγονται από μια γεννήτρια ψευδοτυχαίων αριθμών και μετατρέπονται στις αντίστοιχες στάθμες αναλογικού σήματος.

Μια σειρά ελέγχων διενεργήθηκαν για να πιστοποιηθεί η καλή λειτουργία του συστήματος.

Η πολυπλοκότητα της σχεδίασης υπήρξε σχετικά περιορισμένη, το δε κόστος αρκετά μικρό. Τέλος, όλες οι κατασκευές των γεννητριών μπορούν να χρησιμοποιηθούν στο εργαστήριο ηλεκτρονικής για την υποστήριξη ασκήσεων που απαιτούν προσομοίωση θορύβου.

Παραρτήματα

Βιβλιοθήκη του Arduino Duemilanove:

Structure

- `setup()`
- `loop()`

Control Structures

- `if`
- `if...else`
- `for`
- `switch case`
- `while`
- `do... while`
- `break`
- `continue`
- `return`

Further Syntax

- `;` (semicolon)
- `{}` (curly braces)
- `//` (single line comment)
- `/* */` (multi-line comment)

Arithmetic Operators

- `*` (assignment)
- `+` (addition)
- `-` (subtraction)
- `*` (multiplication)
- `/` (division)
- `%` (modulo)

Comparison Operators

- `==` (equal to)
- `!=` (not equal to)
- `<` (less than)
- `>` (greater than)
- `<=` (less than or equal to)
- `>=` (greater than or equal to)

Boolean Operators

- `&&` (and)
- `||` (or)
- `!` (not)

Compound Operators

- `++` (increment)
- `--` (decrement)
- `+=` (compound addition)
- `-=` (compound subtraction)
- `*=` (compound multiplication)
- `/=` (compound division)

Variables

Constants

- `HIGH` | `LOW`
- `INPUT` | `OUTPUT`
- `true` | `false`
- Integer Constants

Data Types

- `boolean`
- `char`
- `byte`
- `int`
- `unsigned int`
- `long`
- `unsigned long`
- `float`
- `double`
- `string`
- `array`
- `void`

Conversion

- `char()`
- `byte()`
- `int()`
- `long()`
- `float()`

Functions

Digital I/O

- `pinMode()`
- `digitalWrite()`
- `digitalRead()`

Analog I/O

- `analogRead()`
- `analogWrite()` - *PWM*

Advanced I/O

- `tone()`
- `noTone()`
- `shiftOut()`
- `pulseIn()`

Time

- `millis()`
- `micros()`
- `delay()`
- `delayMicroseconds()`

Math

- `min()`
- `max()`
- `abs()`
- `constrain()`
- `map()`
- `pow()`
- `sq()`
- `sqrt()`

Trigonometry

- `sin()`
- `cos()`
- `tan()`

Random Numbers

- `randomSeed()`
- `random()`

Communication

- `Serial`

To Arduino Duemilanove

Μικροελεγκτής	ATmega328
Τάση Λειτουργίας	5V
Τάση Εισόδου	7-12V
Όρια Τάσης	6-20V
Ψηφιακοί Ακροδέκτες I/O	14
Ψηφιακοί Ακροδέκτες Εισόδου	6
DC ρεύμα ανά I/O Ακροδέκτη	40 mA
DC ρεύμα για 3.3V Ακροδέκτη	50 mA
Μνήμη Flash	16 KB
SRAM	1 KB
EEPROM	512 bytes
Ταχύτητα Ρολογιού	16 MHz

- *AnalogWrite()*

Δίνει μια αναλογική τιμή (παλμός PWM) σε ένα Pin του Arduino. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ρυθμίσει την ένταση φωτός ενός led ή να ρυθμίσει την ταχύτητα ανάλογα με το πόσο αργά η γρήγορα θέλουμε να δουλέψει. Μετά από μια κλήση στο *analogWrite()*, το pin παράγει ένα σταθερό τετραγωνικό παλμό μέχρι την επόμενη κλήση στο *analogWrite()*. Η συχνότητα του σήματος PWM είναι περίπου 490 Hz.

Στους περισσότερους πίνακες Arduino (εκείνοι με το ATmega168 ή το ATmega328), αυτή η λειτουργία δουλεύει στα pin 3, 5, 6, 9, 10, και 11.

Στο Arduino mega, δουλεύει στα pin 2 μέχρι 13. Τα πιο παλαιά κυκλώματα Arduino με μικροελεγκτή ATmega8 υποστηρίζουν μόνο *analogWrite()* στα Pin 9, 10, και 11.

Η συνάρτηση *analogWrite* δεν έχει να κάνει με τα αναλογικά pin ή τη λειτουργία *analogRead*.

Σύνταξη

analogWrite (pin, value)

Παράμετροι

Pin: ποιο pin του Arduino θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε.

Value: λειτουργεί μεταξύ 0 (always off) και 255 (always on).

Η συνάρτηση δεν επιστρέφει τίποτα.

Τα αποτελέσματα PWM που παράγονται στα pins 5 και 6 θα έχουν τους μεγαλύτερους από ότι θα περιμέναμε κύκλους. Αυτό είναι εξαιτίας των αλληλεπιδράσεων με τις συναρτήσεις `millis()` και `delay()`, οι οποίες μοιράζονται το ίδιο εσωτερικό χρονόμετρο που χρησιμοποιείται για να παραγάγει τα αποτελέσματα PWM.

- `analogRead()`

Διαβάζει την αξία από το analog pin. Ο πίνακας Arduino περιλαμβάνει 6 κανάλια (8 κανάλια mini και nano, 16 στο mega), 10 bit αναλογικά στον ψηφιακό μετατροπέα. Αυτό σημαίνει ότι θα ενσωματώσει τις τάσεις μεταξύ 0 και 5 Volt στις τιμές ακέραιων αριθμών μεταξύ 0 και 1023. Αυτό παράγει ένα αποτέλεσμα μεταξύ των: 5 Volt/1024 μονάδες ή, .0049 βολτ (4.9 mV) ανά μονάδα. Τη σειρά και το αποτέλεσμα εισαγωγής μπορεί να αλλάξει χρησιμοποιώντας την συνάρτηση `analogReference()`.

Διαρκεί περίπου 100 microseconds (0.0001 s) για να διαβάσει μια αναλογική εισαγωγή, έτσι το μέγιστο ποσοστό που μπορεί να αναγνωρίσει (διαβάσει) είναι περίπου 10.000 φορές το δευτερόλεπτο.

Σύνταξη

`analogRead(pin)`

Παράμετροι

pin: ο αριθμός εισαγωγής (analog input pin) που διαβάζει απο (0 έως 5, απο 0 έως 7 σε Arduino Mini και Nano).

Επιστρέφει

int (0 to 1023)

Εάν το αναλογικό Pin εισαγωγής δεν συνδέεται με τίποτα, η αξία που επιστρέφεται από το `analogRead()` θα κυμανθεί βασισμένο σε διάφορους παράγοντες (π.χ. οι τιμές των άλλων αναλογικών εισαγωγών κ.λ.π.).

Για να προγραμματίσουμε το Arduino Duemilanove χρησιμοποιήσαμε αυτές τις δυο εντολές που αναφέρθηκαν πιο πριν. Αρχικά ξεκινήσαμε με την παραγωγή (random) τυχαίων αριθμών με αναλογική είσοδο analogPin=3,analogPin2=10,analogPin1=5 που θα παράγει στην έξοδο τυχαίους αριθμούς.

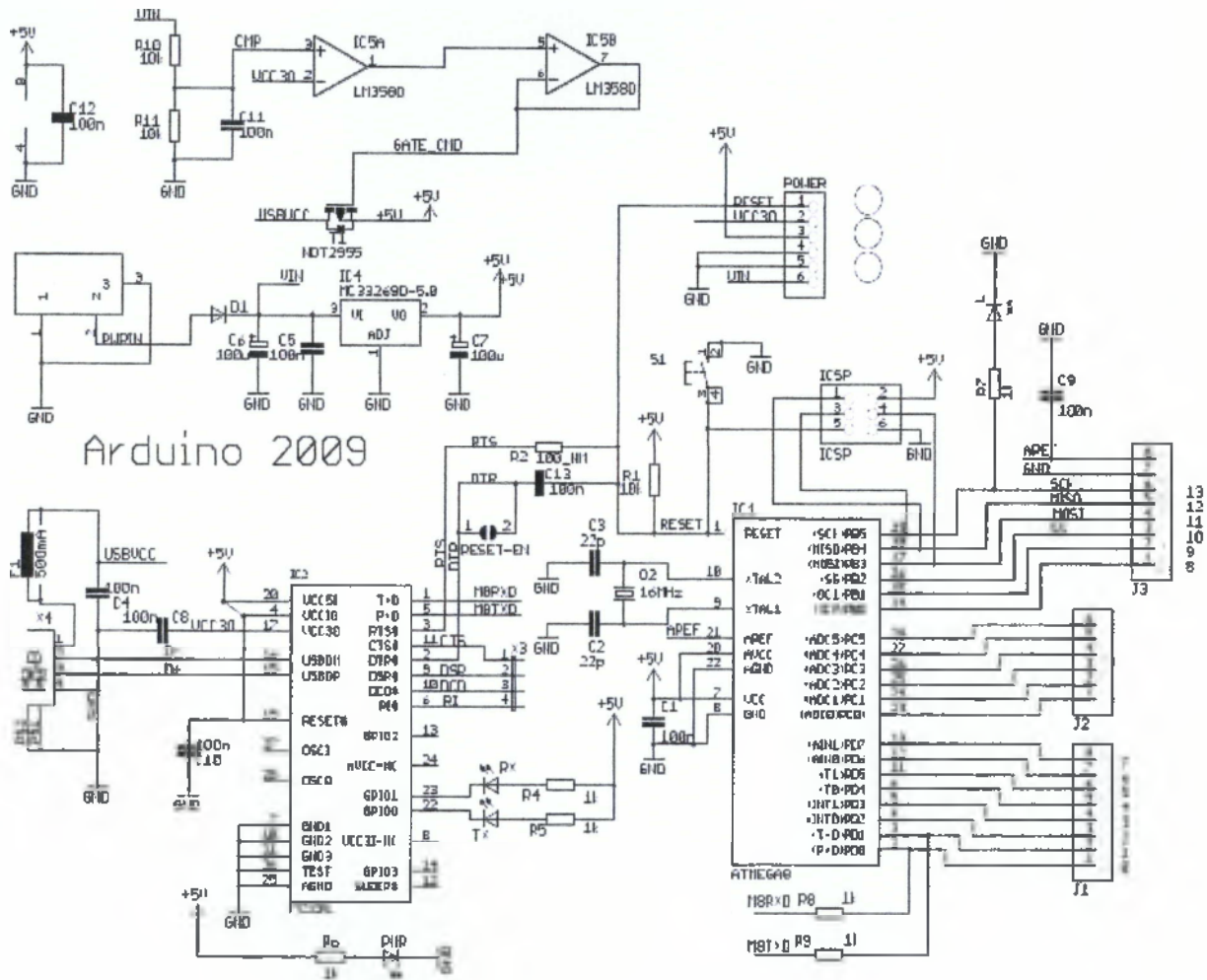
Η συνάρτηση **pinMode(analogPin2, OUTPUT);** ρυθμίζει το καθορισμένο pin να συμπεριφέρεται ως έξοδος.

Όσον αφορά την συνάρτηση **Serial.begin(9600);** καθορίζει το ρυθμό δεδομένων σε bits ανά δευτερόλεπτο (baud) για τη σειριακή μετάδοση δεδομένων.

Για την επικοινωνία με τον υπολογιστή, συνήθως χρησιμοποιούμε μία από αυτές τις τιμές: 300, 1200, 2400, 4800, 9600, 14400, 19200, 28800, 38400, 57600, ή 115200.

Μετά τη δημιουργία του **setup()**, η οποία προετοιμάζει και θέτει τις αρχικές τιμές, το **void loop()** κάνει αυτή την συνεχόμενη επανάληψη που θέλουμε για να πάρουμε τα αποτελέσματα μας.

Η συνάρτηση **delay (i);** Καθυστερεί το πρόγραμμα για το χρονικό διάστημα (milliseconds) του διευκρινίζεται ως παράμετρος.



Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1 Ενθόρυβο Σήμα	9
Εικόνα 2 Λευκός Θόρυβος στο πεδίο του χρόνου	11
Εικόνα 3 Λευκός Θόρυβος στο πεδίο της συχνότητας (μη ιδανική περίπτωση)	11
Εικόνα 4 Συνάρτηση Αυτοσυσχέτισης Λευκού Θορύβου σε πεπερασμένο εύρος ζώνης	12
Εικόνα 5 Φάσμα Συχνοτήτων Λευκού Θορύβου σε πεπερασμένο εύρος ζώνης	12
Εικόνα 6 Θόρυβος Brown στο πεδίο του χρόνου	13
Εικόνα 7 Γεννήτρια παραγωγής λευκού θορύβου με χρήση διόδου Zener	17
Εικόνα 8 Πόλωση επαφής p-n για λειτουργία στην περιοχή διάσπασης	18
Εικόνα 9 Γεννήτρια παραγωγής λευκού θορύβου βασισμένη στο θόρυβο χιονοστιβάδας με χρήση δύο ηρη τρανζίστορ	18
Εικόνα 10 Γεννήτρια παραγωγής λευκού θορύβου με δίοδο και δύο LNA	19
Εικόνα 11 Arduino Duemilanove	21
Εικόνα 12 Ο Μικροελεγκτής ATMEGA328	21
Εικόνα 14 Διαμόρφωση Εύρους Παλμών (PWM)	24
Εικόνα 14 Λειτουργία της συνάρτησης analogWrite	25
Εικόνα 15 Απόκριση βαθυπερατού φίλτρου	26
Εικόνα 16-A Λογικό Διάγραμμα Λειτουργίας Γεννήτριας Θορύβου	27
Εικόνα 17 Τιμές Δειγμάτων Θορύβου στην Σειριακή Έξοδο	28
Εικόνα 18 Trimmer	28
Εικόνα 19 Διαιρέτης Τάσης για τη ρύθμιση της συχνότητας του θορύβου	29
Εικόνα 20 Απλό Φίλτρο RC πρώτης τάξης	29
Εικόνα 21 Τυπική Καμπύλη Απόκρισης Απλού Φίλτρου RC	29
Εικόνα 22 Φίλτρο RC για τη μετατροπή PWM σε αναλογικό	29
Εικόνα 23 Κύκλωμα ενίσχυσης του θορύβου	30
Εικόνα 24 Πρωτότυπο Γεννήτριας Θορύβου με χρήση του Arduino Duemilanove	31
Εικόνα 25 Έλεγχος ορθής λειτουργίας Πρωτοτύπου Γεννήτριας Θορύβου	32
Εικόνα 26 Στιγμιότυπο θορύβου στον παλμογράφο	32

Εικόνα 27 Ακροδέκτες πρωτοτύπου mbed	33
Εικόνα 28 Αρχιτεκτονική βιβλιοθήκης mbed	35
Εικόνα 29 Συνδεσμολογία mbed	36
Εικόνα 30 Στιγμιότυπο θορύβου στον Παλμογράφο	38
Εικόνα 31 Προσθήκη Θορύβου σε Ημιτονική Κυματομορφή	38
Εικόνα 32 Ημιτονικό σήμα με προσθήκη θορύβου (μικρό πλάτος θορύβου)	39
Εικόνα 33 Ημιτονικό σήμα με προσθήκη θορύβου (μεσαίο πλάτος θορύβου)	39
Εικόνα 34 Ημιτονικό σήμα με προσθήκη θορύβου (μεγάλο πλάτος θορύβου)	40

ΟΡΟΛΟΓΙΑ

Θόρυβος (noise) : απεριοδικό σύνθετο σήμα που μεταβάλλεται με τυχαίο τρόπο.

Λευκός θόρυβος (white noise) : θόρυβος που έχει ομοιόμορφη φασματική πυκνότητα ισχύος.

Brown θόρυβος : η φασματική πυκνότητα είναι ανάλογη προς $1/f^2$, το οποίο σημαίνει ότι έχει περισσότερη ενέργεια στις χαμηλότερες συχνότητες.

Φίλτρο (Filter) : Ηλεκτρονικό κύκλωμα το οποίο επιτρέπει την αποκοπή τμήματος του φασματικού περιεχομένου ενός σήματος.

Βαθυπερατό φίλτρο (low-pass filter-LPF): επιτρέπει τη διέλευση χαμηλών συχνοτήτων ενώ αποκόπτει τις υψηλές.

Γεννήτρια τυχαίων αριθμών : εννοείται κάθε υπολογιστική ή φυσική διάταξη, ικανή να παράγει μια ακολουθία αριθμών οι οποίοι δεν μπορούν να προβλεφθούν.

Εντροπία ("entropy") : για να περιγράψει την τυχειότητα της παραγόμενης ακολουθίας.

Εξασθένηση (Attenuation) : Η απώλεια ισχύος ενός σήματος.

Παραμόρφωση (Distortion) : Κάθε αλλοίωση της μορφής ενός σήματος που συνεπάγεται την αλλοίωση της πληροφορίας που αυτό εμπεριέχει.

Διαμόρφωση πλάτους παλμών(PWM) : τεχνική μετατροπής ψηφιακού σε αναλογικό.

Πηγές

<http://www.google.gr/>

<http://el.wikipedia.org>

<http://150.140.9.29/simulation/book/sim5.doc>

http://www.google.gr/#hl=el&q=%CE%BB%CE%B5%CF%85%CE%BA%CE%BF%CF%82+%CE%B8%CE%BF%CF%81%CF%85%CE%B2%CE%BF%CF%82+&meta=&aq=f&aqj=g10&aql=&oq=&gs_rfai=&fp=9160df9a9b0e48ba (Λευκός θόρυβος)

<http://www.arduino.cc/> (Arduino Duemilanove)

<http://arduino.cc/en/Reference/HomePage>

<http://www.hlektronika.gr/forum/index.php>

<http://www.scribd.com/doc/15490318/Getting-Started-with-Arduino-by-OReilly-Media>

<http://www.vezeris.gr/LinkClick.aspx?fileticket=uEY8Xwbfw3g%3D&tabid=357&mid=936&language=en-US>

<http://www.microplanet.gr/tutorials/microcontrollers/arduino>

<http://arduino.cc/en/Tutorial/HomePage>

<http://www.microplanet.gr/tutorials/microcontrollers/arduino>

<http://www.thebox.myzen.co.uk/Tutorial/PWM.html>

(mbed)

- <http://mbed.org/>
- http://mbed.org/media/press/mbed_LPC1768.pdf

Βιβλιογραφία

- Practical Arduino Cool Projects for Open Source Hardware Jonathan Oker /Hugh Blemings
- Getting Started with Arduino by Massimo Banzi Co-founder of Arduino
- Microcontroller Programming Beginning with Arduino by Charlie Mooney
- PWM και SWITCHING τεχνολογίες Βεζέρης Δημήτριος
- Γιάννης Λιαπέρδος: Εργαστηριακές Ασκήσεις Αναλογικών Ηλεκτρονικών, Σπάρτη 2008 (Εργαστηριακό Εγχειρίδιο)
- Ψηφιακές Επικοινωνίες ΓΙΩΡΓΟΣ ΦΟΥΣΚΑΣ Ειδικός Λειτουργικός Επιστήμονας ΙΤΕ – ΕΙΧΗΜΥΘ
- Σύστημα Παραγωγής Ηχητικού Λευκού Θορύβου της Μαρίας Δ. Πολίτου, Διπλωματική εργασία 14^η Νοεμβρίου 2007, Αθήνα
- Κατασκευή Διαμορφωτή / Αποδιαμορφωτή Δέλτα για Εκπαιδευτική Χρήση των Μαρία Σεβοπούλου, Χρήστος Κυλάφας Σπάρτη 2009
- Συστήματα τηλεπικοινωνιών John G. Proakis Masoud Salihi έκδοση ΕΘΝΙΚΟ και ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
- Τηλεπικοινωνίες Συστήματα Διαμόρφωσης Νασιώπουλος Αθανάσιος ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΕΣ ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΑΡΑΚΥΝΘΟΣ