

ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΡΟΥΣΗ ΤΥΜΠΑΝΟΥ ΕΛΕΓΧΟΜΕΝΗ ΑΠΟ MIDI



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: ΕΡΜΗΣ ΚΟΝΤΟΥΛΗΣ

ΤΕΙ ΚΡΗΤΗΣ - ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΡΕΘΥΜΝΟΥ

ΤΜΗΜΑ: ΜΟΥΣΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ & ΑΚΟΥΣΤΙΚΗΣ

ΜΑΙΟΣ 2009

Περιεχόμενα

<u>Εισαγωγή</u>	03
<u>Κεφάλαιο 1 - Εισαγωγικές Πληροφορίες</u>	
1.1 Το synthesizer	04
1.2 Το πρωτόκολλο M.I.D.I.	05
1.3 Sampler και Drum Machine	06
1.4 Μέθοδοι ηχογράφησης Drums	07
1.5 Η συσκευή της παρούσας εργασίας	09
<u>Κεφάλαιο 2 - Ηλεκτρομηχανικός Βραχίονας, Θεωρία</u>	
2.1 Μαγνητισμός	11
2.2 Μαγνητικό Πεδίο	12
2.3 Γραμμές του Μαγνητικού Πεδίου και Μαγνητική Ροή	14
2.4 Ηλεκτρικό ρεύμα	15
2.5 Μαγνητική Δύναμη πάνω σε Αγωγό που Διαρρέεται από Ηλεκτρικό Ρεύμα	18
<u>Κεφάλαιο 3 - Ψηφιακός Μετατροπέας, Θεωρία</u>	
3.1 Το Δυαδικό και το Δεκαεξαδικό Σύστημα Αρίθμησης	20
3.2 Ψηφιακά Ηλεκτρονικά	23
3.3 Ηλεκτρονικά Εξαρτήματα	25
3.4 Ο Μικροελεγκτής	33
3.5 Musical Instruments Digital Interface (M.I.D.I.)	41
<u>Κεφάλαιο 4 - Ηλεκτρομηχανικός Βραχίονας, Κατασκευή</u>	
4.1 Έρευνα και μοντελοποίηση του βραχίονα	45
4.2 Πλάνο λειτουργίας και υλοποίησης	47
4.3 Σχεδίαση και Κατασκευή των Εξαρτημάτων του Βραχίονα	51
4.4 Επιλογή Τροφοδοτικού και Περιέλιξη του Πηνίου	55
4.5 Συναρμολόγηση εξαρτημάτων	58
<u>Κεφάλαιο 5 - Ψηφιακός Μετατροπέας, Κατασκευή</u>	
5.1 Προγραμματισμός του Μικροελεγκτή	62
5.2 Σχεδίαση του Ηλεκτρονικού Κυκλώματος	74
5.3 Κατασκευή του Ηλεκτρονικού Κυκλώματος	77
5.4 Σχεδίαση και Κατασκευή του Περιβλήματος του Κυκλώματος	78
<u>Κεφάλαιο 6 - Εγχειρίδιο Χρήσης</u>	
6.1 Προφυλάξεις	83
6.2 Σημαντικές πληροφορίες	84
6.3 Περιγραφή της Συσκευής	84

6.4 Σύνδεση Συναρμολόγηση Εξαρτημάτων	85
6.5 Έναρξη Λειτουργίας Συσκευής	87
6.6 Calibrate	87
6.7 Test	88
6.8 Lfm	88
6.9 Run Mode	88
6.10 Συνδεσιμότητα – Latency	89

<u>Βιβλιογραφία</u>	90
----------------------------	----

<u>Πηγές Εικόνων – Σχημάτων</u>	91
--	----

Εισαγωγή

Στις μέρες μας, η ψηφιακή τεχνολογία, έχει γίνει αναπόσπαστο κομμάτι, της μουσικής δημιουργίας και παραγωγής. Ο ψηφιακός έλεγχος, η ψηφιακή καταγραφή και επεξεργασία, τα πολλαπλών λειτουργιών λογισμικά σε υπολογιστή, είναι μόνο μερικά από τα επιτεύγματά της, τα οποία αναμφίβολα, έχουν «κατακτήσει» το σύνολο σχεδόν της μουσικής παραγωγής. Από τα συνεδριακά συστήματα ως τις μεγάλες συναυλίες, από τα studios ηχογραφήσεων μέχρι τα τηλεοπτικά studios, ο ψηφιακός κόσμος είναι εμφανής και κατέχει ισχύουσα θέση στην αλυσίδα της δημιουργίας. Χωρίς να έρχεται σε ρήξη με την εκφραστικότητα του ερμηνευτή ή την «ζεστασιά» και την αμεσότητα των αναλογικών τεχνολογιών, μπορεί να αποτελέσει ισχυρό εργαλείο, στα χέρια του μουσικού, του ηχολήπτη, ακόμη και του απλού χρήστη, που επιθυμεί να γνωρίσει τον κόσμο της μουσικής. Στις αρχές της δεκαετίας του 1980, κάνει την εμφάνισή της μία νέα τεχνολογία, το M.I.D.I. (Musical Instrument Digital Interface), η οποία χάρη στην προσεκτική και εμπνευσμένη της σχεδίαση, κατάφερε, όχι μόνο να επιβιώσει μέχρι τις μέρες μας αλλά να αποτελεί ακόμη και σήμερα, μία από τις πιο εκτενώς χρησιμοποιούμενες μεθόδους επικοινωνίας, μεταξύ μουσικών (και όχι μόνο) ψηφιακών συσκευών.

Η συσκευή της παρούσας εργασίας, όπως αναφέρεται και στον τίτλο **«Ηλεκτρομηχανική Κρούση Τυμπάνου Ελεγχόμενη από M.I.D.I.»**, είναι ουσιαστικά ένα ρομποτικό σύστημα, το οποίο προσαρμόζεται σε ένα όργανο drums και το οποίο έχει τη δυνατότητα να κρούει ένα συγκεκριμένο τύμπανο, όταν δέχεται την κατάλληλη εντολή MIDI. Πρόκειται για μία πειραματική συσκευή η οποία πασχίζει να ορίσει μία νέα διάσταση στα μέχρι τώρα πρότυπα δημιουργίας μουσικής με ψηφιακά μέσα. Η σύλληψη, η σχεδίαση και η υλοποίησή της πραγματοποιήθηκε εξ ολοκλήρου από τον φοιτητή του τμήματος **Μουσικής Τεχνολογίας και Ακουστικής Τ.Ε.Ι. Ρεθύμνου**, Ερμή Κοντούδη ενώ ο επιβλέπων καθηγητής ήταν ο κος Μανώλης Βενιέρης. Η κατασκευή της ολοκληρώθηκε στις 30/08/2008.

Αξίζουν ένα «ευχαριστώ» για την χρήσιμη βοήθειά τους οι : **Μανώλης Βενιέρης, Πέτρος Μασάνοβιτς, Κώστας Χατζηλάζαρος και Χρήστος Δεικτάκης**. Η προμήθεια των υλικών έγινε από τις εταιρείες : **e-magnets** (Εμπόριο Μαγνητών, UKLtd Samson Works, Blagden Street, Sheffield, S2 5QT, England), **Πέτρος Μασάνοβιτς** (Ηλεκτρονικά είδη, Καλαμακίου 44, Άλιμος Αττικής), **Ιερονιμάκης Inox** (Κοπές Laser, Δημαράκη 40, Αθήνα Αττικής), **Θεόδωρος Κοτσαλίδης** (Ανάπτυξη RF, Μικροελεγκτές, Νίκης 61, Άλιμος Αττικής), **e-shop** (Εταιρεία Ηλεκτρονικού Εμπορίου, Βασιλέως Γεωργίου 47, Χαλάνδρι Αττικής), **Γεώργιος Βαρβαντάκης** (Μουσικά είδη, Θεμιστοκλή Σοφούλη 27, Νέα Σμύρνη Αττικής) και **Vioprofil E. & Γ. Κοντούδης Ο.Ε.** (Εμπόριο Αλουμινίου – Σιδήρου, Θεομήτορος 62δ Άγιος Δημήτριος Αττικής).

Εισαγωγικές Πληροφορίες

1.1 To synthesizer

Προτού αναλυθούν τα βασικά χαρακτηριστικά του Midi πρωτοκόλλου, είναι αναγκαίο να γίνει μία μικρή αναδρομή στις τεχνολογίες που προηγήθηκαν του τελευταίου και να παρουσιαστούν συνοπτικά, οι αδυναμίες και τα κενά τα οποία κάλυψε.



Εικόνα 1.1.1

Η πιο διαδεδομένη εικόνα ενός synthesizer, θυμίζει ένα μικρού μεγέθους πιάνο. Ένα synthesizer λοιπόν αυτής της μορφής, διαθέτει ένα κλαβιέ (πλήκτρα) παρόμοιο με εκείνο του πιάνου, έναν αρκετά μεγάλο αριθμό διακοπών και ενδεικτών συνήθως στην εμπρόσθια όψη του και ένα σύνολο εισόδων και εξόδων, υπό την μορφή βυσμάτων, στο πίσω μέρος της συσκευής (Εικόνα 1.1.1). Ένα synthesizer χωρίζεται σε δύο βασικά μέρη. Το πρώτο είναι το κλαβιέ, που βοηθά το μουσικό να εκτελέσει τις νότες και το δεύτερο η μηχανή παραγωγής του ήχου. Ο όρος **synthesizer** (συνθετητής) αφορά την γεννήτρια παραγωγής του ήχου και όχι ολόκληρη την συσκευή. Παρόλα αυτά έχει καθιερωθεί ο όρος synthesizer σε οποιαδήποτε συσκευή περιλαμβάνει στην βασική δομή της ένα synthesizer. (Στην αγορά μπορεί κανείς εύκολα να προμηθευτεί ένα synthesizer σε μορφή rack, χωρίς πλήκτρα). Πριν την εμφάνιση του Midi, η επικοινωνία μεταξύ του κλαβιέ και της μηχανής παραγωγής ήχου γινόταν με αναλογικό τρόπο. Δηλαδή σε κάθε πλήκτρο του κλαβιέ, αντιστοιχούσε και μία τάση συνεχούς ρεύματος, η οποία με την σειρά της οδηγείτο στην γεννήτρια του ήχου. Η τελευταία με κατάλληλα ηλεκτρονικά κυκλώματα «αναγνώριζε» την εν λόγω τάση και παρήγαγε το ανάλογο τονικό ύψος (νότα) για κάθε ήχο. Πολύ γρήγορα δημιουργήθηκε η ανάγκη του διαχωρισμού του κλαβιέ από την γεννήτρια ήχου. Με αυτόν τον τρόπο ο μουσικός έχει την δυνατότητα να ελέγχει πολλές γεννήτριες ήχου με ένα κλαβιέ, είτε προγραμματίζοντας τις γεννήτριες να ηχούν ταυτόχρονα στο πάτημα ενός πλήκτρου, δημιουργώντας πιο πλούσια «χρώματα» στον παραγόμενο ήχο, είτε εναλλάσσοντας τις γεννήτριες ανάλογα με τις ηχοχρωματικές ανάγκες του εκτελούμενου έργου. Πράγματι οι εταιρείες σχεδιασμού synthesizers ενσωμάτωσαν στις συσκευές αυτές, μία είσοδο και μία έξοδο τάσης ρεύματος, η οποίες μπορούσαν να ενώσουν δύο η και

περισσότερες συσκευές μαζί. Η είσοδος έδινε τις εισερχόμενες τάσεις στην γεννήτρια και η έξοδος έστελνε τις παραγόμενες από το κλαβιέ τάσεις, πιθανόν σε κάποιο αντίστοιχης τεχνολογίας όργανο. Τα προβλήματα που είχε να αντιμετωπίσει αυτή η τεχνολογία ήταν πολλά. Τα ρεύματα που «ταξίδευαν» διαμέσου των καλωδιώσεων, ήταν «εκτεθειμένα» στα επαγωγικά ρεύματα άλλων ηλεκτρονικών διατάξεων, με αποτέλεσμα να αλλάζουν τα χαρακτηριστικά της εκτελούμενης νότας στη διαδρομή μεταξύ κλαβιέ και γεννήτριας. Επίσης η χρήση πολλών οργάνων ταυτόχρονα ήταν απαγορευτική, λόγω των μεγάλων απαιτήσεων σε καλώδια και της αδυναμίας αλλαγής των ηχοχρωμάτων ταυτόχρονα σε κάθε γεννήτρια (όπως για παράδειγμα της εναλλαγής των παραγόμενων ήχων, κατά τη διάρκεια εκτέλεσης ενός μουσικού κομματιού). Σε αυτού του είδους τα προβλήματα και σε πολλά άλλα ήρθε να δώσει λύση το Midi.

1.2 Το πρωτόκολλο M.I.D.I.

Το Midi είναι ουσιαστικά μία «γλώσσα» ψηφιακής επικοινωνίας η οποία δημιουργήθηκε αρχικά με σκοπό την ανταλλαγή πληροφοριών μεταξύ ηλεκτρονικών μουσικών οργάνων. (Αξίζει να αναφερθεί ότι στις μέρες μας το Midi χρησιμοποιείται σχεδόν σε όλες τις συσκευές που σχετίζονται με το ήχο, όπως σε κονσόλες, σε πολυκάναλους εγγραφείς ADAT, σε κάθε λογής μουσικό όργανο από κιθάρα μέχρι βιολί και από σαξόφωνο μέχρι ακορντεόν, ακόμη και στα ρομποτικά συστήματα φωτισμού). Το Midi δε μεταφέρει πληροφορία ήχου, ουσιαστικά μεταφέρει μία ψηφιοποιημένη περιγραφή για τον τρόπο με τον οποίο εκτελέστηκε ένα έργο σε κάποιο όργανο. Δηλαδή αν πατηθεί σε ένα κλαβιέ τη νότα ΝΤΟ 3 τότε η Midi πληροφορία που θα διαδοθεί θα αποτελείται μεταξύ άλλων και από δύο αριθμούς, ο ένας θα είναι η νότα που πατήθηκε και ο άλλος, η δύναμη με την οποία πατήθηκε. Όπως γίνεται αντιληπτό αν αυτή η πληροφορία οδηγηθεί σε δύο διαφορετικές γεννήτριες ήχου, θα παραχθούν δύο διαφορετικά ακούσματα. Παρέχεται η δυνατότητα να συνδεθούν πάνω από 16 διαφορετικά synthesizers σε ένα κλαβιέ, να μεταβληθούν από το χρήστη σχεδόν όλες οι παράμετροι του παραγόμενου ήχου στα synthesizer δέκτες, να συνδεθούν πετάλια και άλλες βοηθητικές συσκευές διευκολύνοντας τις αλλαγές ηχοχρωμάτων, που απαιτεί ένα μουσικό έργο κατά τη διάρκεια εκτέλεσής του, να καταγραφεί η Midi πληροφορία σε ένα Sequencer (σύστημα το οποίο καταγράφει τα Midi δεδομένα τη χρονική στιγμή που καταφθάνουν και στη συνέχεια μπορεί να τα αναπαράγει) κ.τ.λ. Θεωρητικά οι δυνατότητες της συγκεκριμένης τεχνολογίας είναι απεριόριστες ενώ παράλληλα το κόστος επίτευξής τους μηδαμινό. Ένας μουσικός για παράδειγμα μπορεί να συνδέσει μία πεταλιέρα που χρησιμοποιούν οι κιθαρίστες για να αλλάζει τα προγράμματα σε κάθε μία από τις 16 συνδεδεμένες συσκευές, ταυτόχρονα να έχει μία ψηφιακή κονσόλα η οποία θα ελέγχει τις παραμέτρους του ήχου πχ reverb time και ένα Midi κλαβιέ το οποίο ανάλογα με την δυναμική εκτέλεσης θα ενεργοποιεί και ένα διαφορετικό synthesizer.

1.3 Sampler και Drum Machine

Τα Samplers και τα Drum Machines είναι δύο είδη συσκευών ευρέως διαδεδομένα σήμερα. Ένα Sampler λοιπόν είναι ένα ηλεκτρονικό μουσικό όργανο το οποίο, όταν δέχεται μία εντολή εκτέλεσης νότας, αντί να συνθέτει τον παραγόμενο ήχο μέσω μίας ηλεκτρονικής διάταξης, αναπαράγει έναν προηχογραφημένο ήχο (**sample**).



Εικόνα 1.3.1

Ο τελευταίος, είναι συνήθως αποθηκευμένος στην μνήμη του οργάνου και έχει αντιστοιχιστεί με μία συγκεκριμένη νότα. Αν λοιπόν αντιστοιχιστεί σε κάθε νότα (πλήκτρο) του κλαβιέ ο ήχος που παράγει ένα βιολί για την συγκεκριμένη τονικότητα, τότε θα έχει δημιουργηθεί ένα εικονικό βιολί. Αντικαθιστώντας τα ηχητικά δείγματα (**samples**) του βιολιού με δείγματα από σαξόφωνο το όργανο ουσιαστικά μετατρέπεται αυτομάτως σε ένα εικονικό σαξόφωνο.



Εικόνα 1.3.2

Το Drum Machine είναι ένα ηλεκτρονικό μουσικό όργανο το οποίο αντί να παράγει τις νότες κάποιου μελωδικού οργάνου πχ. πιάνου, παράγει ήχους τυμπάνων (Drums). Ένα Drum Machine μπορεί να συνθέτει τους ήχους εξαρχής μέσω μίας ηλεκτρονικής διάταξης, οπότε μιλάμε απλά για ένα εξειδικευμένο synthesizer ή να αναπαράγει προηχογραφημένα δείγματα (**samples**) οπότε πρόκειται για ένα εξειδικευμένο Sampler. Στις εικόνες 1.3.1 και 1.3.2 φαίνεται ένα Sampler και ένα Drum Machine αντίστοιχα. Στο

δεύτερο παρατηρείται μία ορθογώνια διάταξη από πλήκτρα στην κάτω αριστερή πλευρά της πρόσοψης της συσκευής. Πρόκειται για τα Drum Pads τα οποία είναι ουσιαστικά πλήκτρα ευαίσθητα ως προς την δυναμική και τα οποία αντικαθιστούν τα γνωστά πλήκτρα ενός κλαβιέ. Με αυτόν τον τρόπο γίνεται ευκολότερη η εκτέλεση του ρυθμικού μοτίβου. Τα Drum Pads μπορεί να είναι και κυκλικά, μεγάλης σχετικά διαμέτρου και να εκτελούνται με μπαγκέτες. Ο συγκεκριμένος τύπος Drum Machine συνηθίζεται να αποκαλείται **Ηλεκτρονικά Drums** (εικόνα 1.3.3).

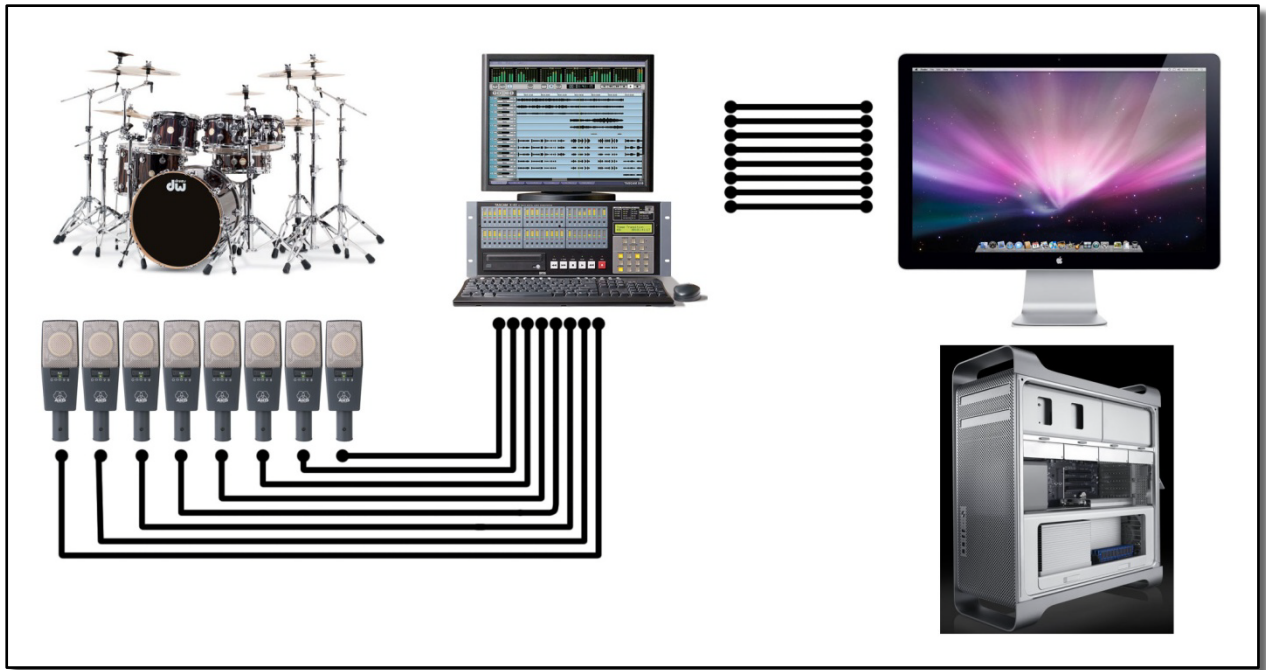


Εικόνα 1.3.3

1.4 Μέθοδοι ηχογράφησης Drums

Οι παραπάνω πληροφορίες βοηθούν να σχηματιστεί μία γενική εικόνα για τα ηλεκτρονικά μουσικά όργανα. Λαβαίνοντας κανείς υπόψη του και τις μεθόδους ηχογράφησης που χρησιμοποιούνται τα τελευταία χρόνια θα έχει τη δυνατότητα να κατανοήσει καλύτερα τη θέση της συσκευής στην οποία αναφέρεται η παρούσα εργασία, στην αλυσίδα της μουσικής παραγωγής.

Οι πιο συνηθισμένες μέθοδοι ηχογράφησης των Drums είναι δύο. Η πρώτη μέθοδος που θα αναφερθεί αφορά την ηχογράφηση ενός πραγματικού οργάνου Drums το οποίο εκτελεί ένας ερμηνευτής (drummer) και ηχογραφείται από τον ηχολήπτη. Για την συγκεκριμένη διαδικασία οι πιο συνηθισμένες ανάγκες είναι : ένας ερμηνευτής που να μπορεί να εκτελέσει το ρυθμικό μέρος που απαιτείται, ένα αρκετά καλής ποιότητας όργανο Drums, οκτώ μικρόφωνα για να «συλλάβουν» τον ήχο του κάθε κρουστού, οι καλωδιώσεις που θα μεταφέρουν τον ήχο στον εγγραφέα, ένα πολυκάναλο σύστημα εγγραφής (καταγράφει ξεχωριστά, τα διαφορετικά σήματα που καταφθάνουν στις εισόδους του) και ένα σύστημα για την επεξεργασία και τη μίξη των σημάτων (παλαιότερα μία κονσόλα και διάφοροι επεξεργαστές σήματος, σήμερα ένας υπολογιστής). Η συνδεσμολογία της προαναφερθείσας μεθόδου, φαίνεται στο Σχήμα 1.4.1.

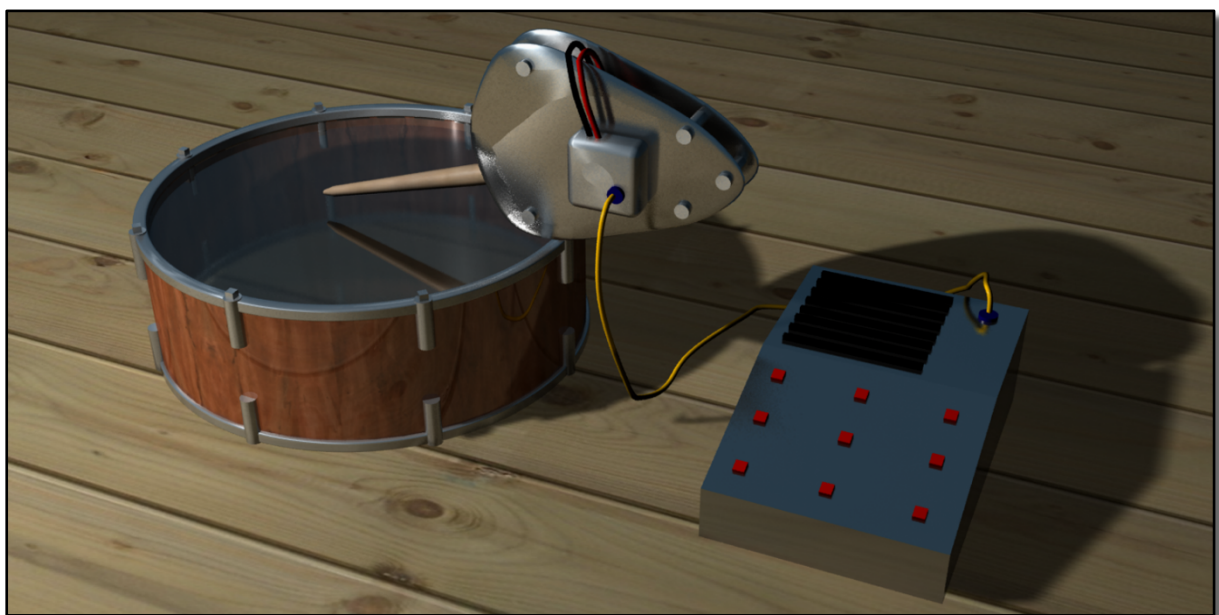


Σχήμα 1.4.1

Ο δεύτερος τρόπος είναι με την χρήση ενός Drum Machine. Σε αυτή τη περίπτωση η ανάγκη σε εξοπλισμό μειώνονται θεαματικά. Με ένα Drum Machine και ένα σύστημα ηχογράφησης μπορεί να προγραμματιστεί ένα ολόκληρο ρυθμικό μέρος σε ένα μουσικό έργο. Αξίζει να σημειωθεί πως αυτή η διαδικασία μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση ενός μόνο ηλεκτρονικού υπολογιστή (H/Y), αφού οι απαιτήσεις ενός Drum Machine ενός Sequencer και ενός εγγραφέα ήχου καλύπτονται πλέον επαρκώς από εξειδικευμένα λογισμικά (πχ. το Nuendo της Steinberg) και ασφαλώς από την υπολογιστική ισχύ των σύγχρονων συστημάτων. Το ίδιο ισχύει και για τη πρώτη μέθοδο όπου ένας H/Y με τη κατάλληλη κάρτα ήχου μπορεί να αντικαταστήσει τον πολυκάναλο εγγραφέα. Οι δύο τεχνοτροπίες έχουν ασφαλώς τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά τους. Βασικό πλεονέκτημα της πρώτης μεθόδου είναι η φυσικότητα του ακούσματος και η «ζεστασιά» του αποτελέσματος ενώ σαν μειονέκτημα το μεγάλο κόστος σε χρόνο, εξοπλισμό και ενός κατάλληλα διαμορφωμένου χώρου. Με τη δεύτερη λύση το αποτέλεσμα επιτυγχάνεται με χαμηλότερο κόστος αλλά χάνει σε φυσικότητα μιας και τα περιορισμένα σε αριθμό δείγματα ήχου, δε μπορούν να συγκριθούν με τους σχεδόν απεριόριστους χρωματισμούς του ήχου από ένα φυσικό set Drums. Στις υψηλού κεφαλαίου παραγωγές συνηθίζεται να χρησιμοποιούνται πραγματικά τύμπανα, όταν το ζητούμενο είναι ένα φυσικό άκουσμα και το Drum Machine όταν υπάρχει η ανάγκη ενός συνθετικού ακούσματος (πχ. Beat). Δυστυχώς στις χαμηλού κεφαλαίου μουσικές παραγωγές συνηθίζεται να χρησιμοποιείται το Drum Machine με σκοπό να προσομοιωθεί ένα αληθινό Drum Set.

1.5 Η συσκευή της παρούσας εργασίας

Ας υποθέσουμε πως αντί για το Drum Machine είχαμε ένα ρομποτικό σύστημα προσαρμοσμένο σε ένα πραγματικό Drum Set το οποίο όταν λάβει τη Midi πληροφορία θα κτυπήσει το ανάλογο τύμπανο. Αυτό θα σήμαινε πως θα είχαμε ένα καλύτερο από άποψη φυσικότητας ηχητικό αποτέλεσμα ενώ παράλληλα θα μπορούσαμε να διατηρήσουμε τις δυνατότητες που μας δίνει η τεχνολογία στον προγραμματισμό του ρυθμικού μέρους. Αυτός λοιπόν είναι και ο λειτουργικός σκοπός της συσκευής στην οποία αναφέρεται η παρούσα πτυχιακή εργασία. **Ηλεκτρομηχανική Κρούση Τυμπάνου Ελεγχόμενη από M.I.D.I.** Στην πράξη ένας ηλεκτρομηχανικός βραχίονας προσαρμόζεται στο στεφάνι ενός τυμπάνου και ένα σύστημα μετατροπής της Midi πληροφορίας σε κίνηση, οδηγεί το βραχίονα ο οποίος με τη σειρά του κρούει το τύμπανο. Το θεωρητικό σχέδιο φαίνεται παρακάτω (Σχήμα 1.5.1).



Σχήμα 1.5.1

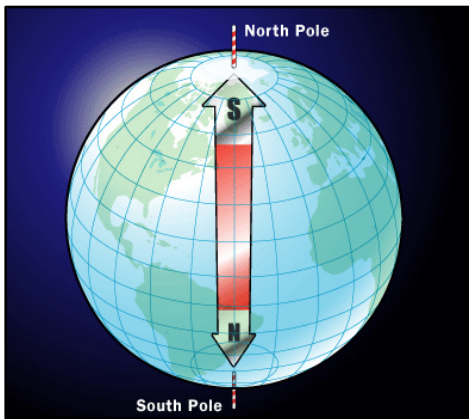
Η Midi πληροφορία φθάνει στον μετατροπέα (ασημί κουτί δεξιά του τυμπάνου, (Σχήμα 1.5.1). Η ηλεκτρονική διάταξη του μετατροπέα αξιοποιεί τη πληροφορία διυλίζοντας τα χρήσιμα δεδομένα που στην προκειμένη περίπτωση είναι τα δεδομένα που αφορούν την εκτέλεση μίας νότας. (Θυμόμαστε πως το Midi πρωτόκολλο «μεταφέρει» πολλών ειδών πληροφορίες). Συγκεκριμένη ηλεκτρονική διάταξη του μετατροπέα αναλαμβάνει να μετατρέψει τα ψηφιακά δεδομένα σε αναλογικές τάσεις, οι οποίες οδηγούνται μέσω ενός καλωδίου (κίτρινο καλώδιο, Σχήμα 1.5.1) στο βραχίονα. Η δομή του τελευταίου αποτελείται από το σκελετό, ο οποίος είναι πακτωμένος με το στεφάνι του τυμπάνου, τους μαγνήτες οι οποίοι βρίσκονται εσωτερικά σε διάταξη V και είναι προσαρμοσμένοι στον σκελετό και τέλος το κινητό μέρος, αποτελούμενο από ένα πηνίο και μία βάση για την μπαγκέτα, το οποίο μπορεί να κινείται σε κυκλική τροχιά πάνω στο τόξο που ορίζει ο σκελετός. Η κατεύθυνση της κίνησης εξαρτάται από τη φορά του ρεύματος που διοχετεύεται στο βραχίονα ενώ η δύναμη που θα ασκηθεί στο πηνίο, λόγω του φαινομένου **Laplace**, είναι ανάλογη της έντασης του ρεύματος. Στα παρακάτω κεφάλαια θα γίνει διεξοδική

μελέτη όλων των μερών της συσκευής καθώς και των φυσικών νόμων που ορίζουν τη λειτουργία της.

Ηλεκτρομηχανικός Βραχίονας, Θεωρία

Ξεκινώντας από τον ηλεκτρομηχανικό βραχίονα θα γίνει μία εκτενής ανάλυση των θεωρητικών γνώσεων που απαιτούνται για την σχεδίασή του.

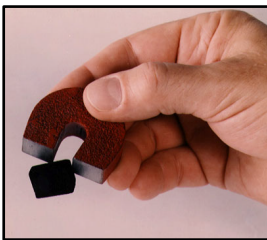
2.1 Μαγνητισμός



Εικόνα 2.1.1

Ο μαγνητισμός είναι ένα φαινόμενο που έχει καθορίσει την εξέλιξη της τεχνολογίας και κατ' επέκταση την ίδια τη ζωή του ανθρώπου. Η τηλεόραση, τα ηχεία, οι ηλεκτρογεννήτριες (δυναμό), οι ηλεκτροκινητήρες (motor), οι εκτυπωτές, είναι μόνο μερικές από τις εφαρμογές του. Η πιο γνώριμη έκφασή του είναι εκείνη των μόνιμων μαγνητών, όπου μπορούν να έλκουν τα σιδερένια αντικείμενα. Η Γη συμπεριφέρεται και αυτή σαν ένας υπερμεγέθης μαγνήτης ο οποίος μάλιστα αλληλεπιδρά με τους μικρότερους που βρίσκονται στην επιφάνειά της (Εικόνα 2.1.1).

Αυτό το φαινόμενο είναι υπεύθυνο για τη μετακίνηση του δείκτη μίας πυξίδας προς τον πολικό βορρά. Μαγνητικά φαινόμενα παρατηρήθηκαν για πρώτη φορά πριν από περίπου 2500 χρόνια σε κομμάτια σιδηρομεταλλεύματος που βρίσκονταν κοντά στη πόλη Μαγνησία της Μικράς Ασίας. Ανακαλύφθηκε πως όταν μία ράβδος σιδήρου αγγίζει ένα φυσικό μαγνήτη, η ράβδος μαγνητίζεται. Όταν μια μαγνητισμένη ράβδος εξαρτάται από το κέντρο της με ένα νήμα, τείνει να προσανατολιστεί στην κατεύθυνση Βορρά – Νότου, όπως η βελόνα μιας πυξίδας. Οι μαγνήτες χρησιμοποιούνται στη ναυσιπλοΐα από τον ενδέκατο αιώνα τουλάχιστον. Η Εικόνα 2.1.2 δείχνει έναν μόνιμο μαγνήτη ο οποίος έλκει ένα μικρό κομμάτι σιδήρου. Ένα μαγνητικό πεδίο μπορεί να οφείλεται σε έναν μόνιμο μαγνήτη (πχ. ο Φερίτης, ο οποίος εμφανίζει μαγνητικές ιδιότητες), σε ηλεκτρικό ρεύμα που διαρρέει έναν αγωγό (πχ. ένας ηλεκτρομαγνήτης) ή σε άλλα κινούμενα φορτία.



Εικόνα 2.1.2

Πριν γίνει κατανοητή η σχέση μεταξύ μαγνητικών αλληλεπιδράσεων και κινούμενων φορτίων, θα γίνει μία αναφορά στην έννοια των **μαγνητικών πόλων**. Εκείνο το άκρο ενός ραβδόμορφου μαγνήτη που έδειχνε προς το Βορρά, ονομαζόταν *Βόρειος Πόλος* (B) και το άλλο άκρο *Νότιος Πόλος* (N). Στα αγγλικά η αντίστοιχη συντομογραφία είναι (N) και (S). Δύο αντίθετοι πόλοι έλκονται μεταξύ τους, ενώ δύο όμοιοι απωθούνται. Οι πόλοι εμφανίζονται πάντα σε ζεύγη και αν ένας μαγνήτης κοπεί στη μέση τότε το κάθε κομμάτι θα αποτελείται και αυτό από δύο πόλους.

Το 1819 ο Δανός επιστήμονας Hans Christian Oested ανακάλυψε ότι ένα σύρμα που διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα προκαλεί απόκλιση της βελόνας μιας πυξίδας. Παρόμοιες έρευνες έγιναν από τον Andre Ampere, τον Michael Faraday και τον Joseph Henry. Σήμερα είναι γνωστό ότι υπάρχει στενή αλληλεξάρτηση ανάμεσα στις μαγνητικές και τις ηλεκτρικές αλληλεπιδράσεις.

2.2 Μαγνητικό Πεδίο

Το μαγνητικό πεδίο είναι ένα διανυσματικό πεδίο, δηλαδή μία διανυσματική ποσότητα που σχετίζεται με κάθε σημείο του χώρου και συμβολίζεται με το λατινικό **B**. Οι μαγνητικές αλληλεπιδράσεις μπορούν να περιγραφούν με τον ακόλουθο τρόπο.

1. Ένα κινούμενο φορτίο ή ένα ηλεκτρικό ρεύμα δημιουργεί ένα ηλεκτρικό και επιπρόσθετα ένα μαγνητικό πεδίο στον χώρο.
2. Το μαγνητικό πεδίο ασκεί μία δύναμη **F** πάνω σε κάθε φορτίο (*q*) που βρίσκεται μέσα στο πεδίο.

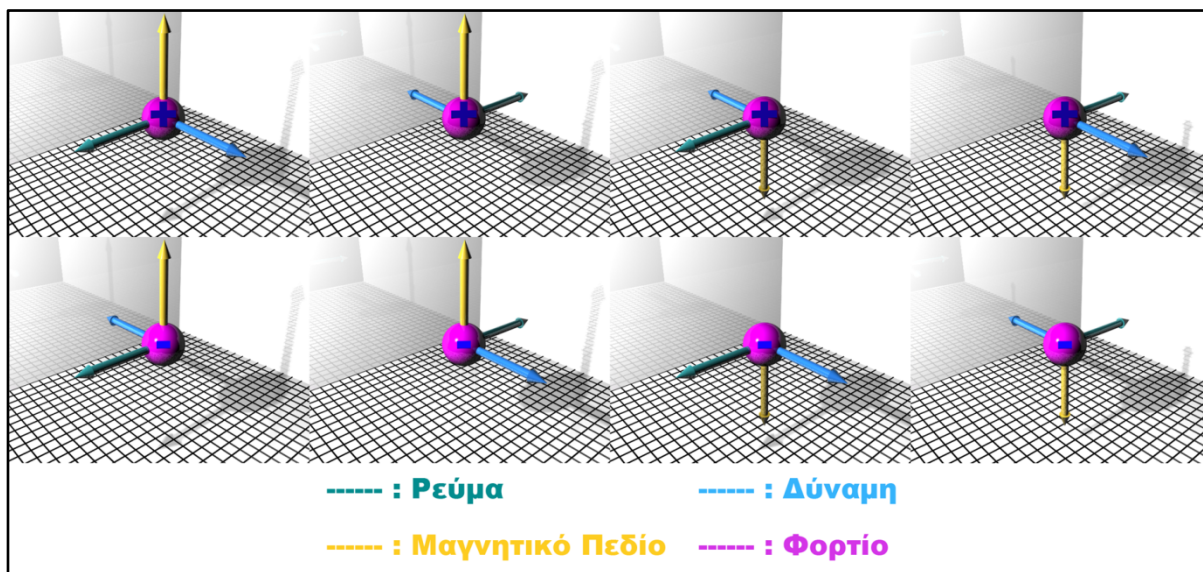
Το μέτρο της μαγνητικής δύναμης (*F*) είναι ανάλογο του φορτίου. Αν ένα φορτίο 1μC (Coulomb: μονάδα μέτρησης του ηλεκτρικού φορτίου) και ένα φορτίο 2μC κινούνται με την ίδια ταχύτητα μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο, η δύναμη πάνω στο φορτίο των 2μC θα είναι διπλάσια αυτής πάνω στο φορτίο του 1μC. Η δύναμη είναι επίσης ανάλογη της έντασης του πεδίου (*B*) και ανάλογη της ταχύτητας του φορτίου. Αν διπλασιάσουμε το μέτρο του μαγνητικού πεδίου κρατώντας τις τιμές της ταχύτητας και του φορτίου σταθερές τότε η δύναμη (*F*) θα διπλασιαστεί. Ομοίως και για την ταχύτητα. Ένα φορτισμένο σωματίδιο που δεν κινείται μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο δεν υφίσταται μαγνητικές δυνάμεις. Τέλος η κατεύθυνση της δύναμης (*F*) είναι πάντα κάθετη στο μαγνητικό πεδίο (*B*) και στην ταχύτητα (*υ*). Το μέτρο της (*F*) βρίσκεται ότι είναι ανάλογο της συνιστώσας της (*υ*) που είναι κάθετη στο πεδίο. Αυτό σημαίνει πως όταν το πεδίο (*B*) και η ταχύτητα είναι παράλληλα μεταξύ τους τότε το μέτρο της δύναμης (*F*) μηδενίζεται. Σύμφωνα με τα παραπάνω διαπιστώνουμε πως το μέτρο της μαγνητικής δύναμης (*F*) δίνεται από την σχέση :

$$F = |q| \cdot B \cdot u \cdot \sin\varphi$$

Σχέση 2.2.1

Όπου *F*: η μαγνητική δύναμη
q: το μέτρο του ηλεκτρικού φορτίου
B: το μέτρο του μαγνητικού πεδίου
υ: η ταχύτητα του φορτισμένου σωματιδίου
φ: η γωνία που σχηματίζει η κατεύθυνση της ταχύτητας με το μαγνητικό πεδίο

Παρόλο που η κατεύθυνση της δύναμης (*F*) είναι πάντα κάθετη στην ταχύτητα και στο πεδίο, η φορά της εξαρτάται από τη φορά της ταχύτητας, από τη φορά του μαγνητικού πεδίου και από την πολικότητα του φορτίου. Στο Σχήμα 2.2.1 παρακάτω φαίνονται οι διάφορες περιπτώσεις για την φορά της (*F*).



Σχήμα 2.2.1

Αν η ταχύτητα είναι κάθετη στο μαγνητικό πεδίο, δηλαδή η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ τους (φ) είναι $\varphi = 90^\circ$ τότε το ημίτονο της (φ) της σχέσης 2.2.1 θα γίνει ίσο με τη μονάδα. $\sin(90^\circ) = 1$ οπότε η σχέση που θα προκύψει θα είναι $\mathbf{F} = q\mathbf{B}\mathbf{u}$. Άρα για την περίπτωση όπου η ταχύτητα και το πεδίο είναι κάθετα μεταξύ τους, το μέτρο της δύναμης που θα ασκηθεί στο φορτισμένο σωματίδιο θα δίνεται από τη σχέση:

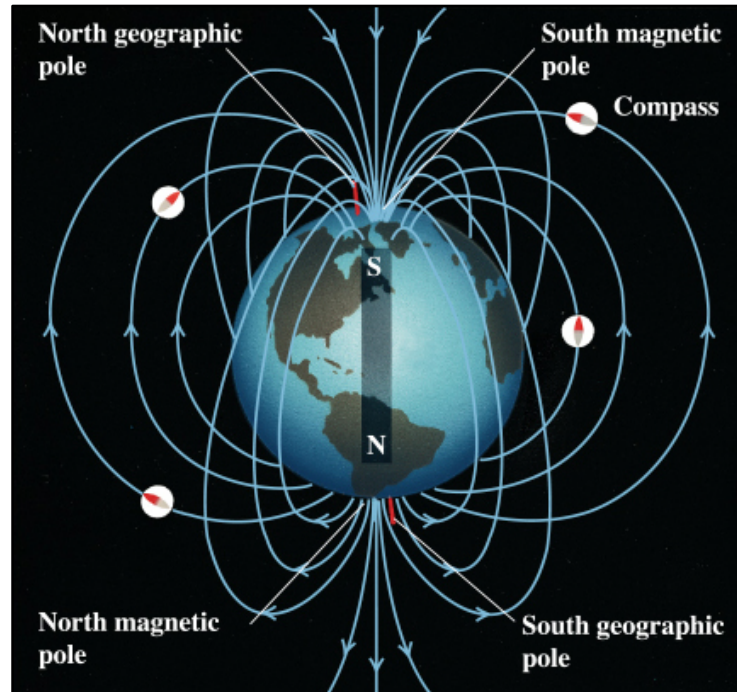
$$\mathbf{F} = q \cdot \mathbf{B} \cdot \mathbf{u}$$

Σχέση 2.2.2

Οι μονάδες του πεδίου (B) πρέπει να είναι ίδιες με τις μονάδες της δύναμης, της ταχύτητας και του φορτίου. Επομένως στο σύστημα (SI) η μονάδα του πεδίου θα πρέπει να είναι ίση με 1 N/C αφού από την σχέση 2.2.2 $\mathbf{B} = \mathbf{F} / q\mathbf{u}$ και δεδομένου ότι οι μονάδα μέτρησης της δύναμης (F) είναι το 1 N , της ταχύτητας το 1 m/s και του φορτίου το 1 C . Επίσης είναι γνωστό ότι ένα Ampere είναι ίσο με ένα Coulomb ανά δευτερόλεπτο $1 \text{ A} = 1 \text{ C/s}$ οπότε η μονάδα του πεδίου θα γίνει 1 N/Am . Αυτή η μονάδα ονομάζεται **Tesla**, προς τιμήν του διακεκριμένου Σέρβο – Αμερικανού επιστήμονα Nicola Tesla και συμβολίζεται με το λατινικό (**T**). Το μαγνητικό πεδίο της Γης είναι ίσο με 10^{-4} T . Μαγνητικά πεδία της τάξης των 10 T υπάρχουν στο εσωτερικό των ατόμων και είναι σημαντικά για την ανάλυση των ατομικών φασμάτων. Οι μεγαλύτερες τιμές σταθερών μαγνητικών πεδίων που έχουν επιτευχθεί στο εργαστήριο είναι της τάξης των 30 T . Μερικοί ηλεκτρομαγνήτες που λειτουργούν με παλμικά ρεύματα μπορούν να δημιουργήσουν πεδία με ένταση της τάξης των 120 T , για μικρά χρονικά διαστήματα της τάξης του ms . Το μαγνητικό πεδίο στην επιφάνεια ενός αστέρα νετρονίων πιστεύεται ότι έχει ένταση της τάξης του 10^8 T !

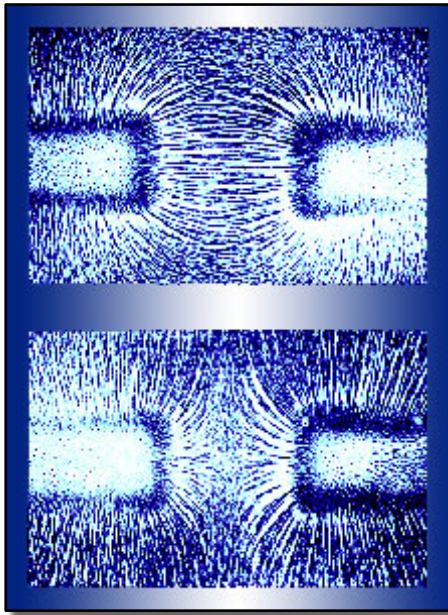
2.3 Γραμμές του Μαγνητικού Πεδίου και Μαγνητική Ροή

Οποιοδήποτε μαγνητικό πεδίο μπορεί να αναπαρασταθεί με γραμμές, ακριβώς όπως στο Σχήμα 2.3.1 όπου φαίνονται οι καμπύλες γραμμές που περιγράφουν το μαγνητικό πεδίο της Γης.



Σχήμα 2.3.1

Οι γραμμές σχεδιάζονται έτσι ώστε η γραμμή που περνά από οποιοδήποτε σημείο να εφάπτεται στο διάνυσμα του μαγνητικού πεδίου (B) στο σημείο αυτό. Δηλαδή για κάθε σημείο το χώρου η γραμμή πρέπει να εφάπτεται με τη φορά και τη κατεύθυνση του πεδίου. Επίσης ο αριθμός των γραμμών ανά μονάδα επιφάνειας καθορίζει την ένταση του πεδίου. Έτσι για δεδομένης επιφάνειας γράφημα θα έχουμε, πιο πυκνή παρουσία γραμμών για μεγαλύτερης έντασης πεδίο και πιο αραιή για χαμηλότερης έντασης πεδίο. Οι γραμμές αυτές ονομάζονται **Γραμμές του Μαγνητικού Πεδίου**. Οι γραμμές του μαγνητικού πεδίου, έχουν σε κάθε σημείο, την κατεύθυνση προς την οποία θα προσανατολιστεί η βελόνα μιας πυξίδας, αν τοποθετηθεί στο σημείο αυτό. Για να αποφευχθεί οι γραμμές να καταλάβουν όλο τον χώρο του γραφήματος, σχεδιάζονται μόνο μερικές αντιπροσωπευτικές. Επίσης, επειδή η κατεύθυνση του (B) είναι μονοσήμαντα καθορισμένη, οι γραμμές του μαγνητικού πεδίου ποτέ δεν τέμνονται μεταξύ τους.



Σχήμα 2.3.2

Αν πλησιάσουν δύο αντίθετοι πόλοι από δύο μαγνήτες σε κοντινή απόσταση, τότε θα διαπιστωθεί ότι οι μαγνητικές γραμμές από τον βόρειο πόλο του ενός μαγνήτη, κατευθύνονται στο νότιο του άλλου ευθύγραμμα ενώ αν πλησιάσουν δύο ίδιας πολικότητας πόλοι, οι μαγνητικές γραμμές θα συμπιέζονται. Στο Σχήμα 2.3.2, φαίνεται στην επάνω εικόνα η αλληλεπίδραση αντίθετων πόλων και στην κάτω δύο ίδιων πόλων. Όταν οι μαγνητικές γραμμές σε έναν χώρο είναι ευθύγραμμες και ομοιόμορφα κατανομημένες, τότε το μέτρο του μαγνητικού πεδίου (B) παραμένει σταθερό για κάθε σημείο του χώρου αυτού. Σε αυτή την περίπτωση λέγεται πως σε αυτό τον χώρο υπάρχει **ομογενές μαγνητικό πεδίο**. Για να παρατηρήσει κανείς τις μαγνητικές γραμμές του σύνθετου πεδίου που δημιουργεί η αλληλεπίδραση δύο μαγνητών, αρκεί να προμηθευτεί μία μικρή ποσότητα ρινισμάτων

σιδήρου και δύο μαγνήτες. Απλώνοντας τα ρινίσματα ομοιόμορφα σε ένα φύλο χαρτιού και στη συνέχεια πλησιάζοντας από τη κάτω πλευρά του χαρτιού το σύστημα με τους δύο μαγνήτες, θα παρατηρήσει ότι τα ρινίσματα θα αρχίσουν να παίρνουν μία μορφή όπως αυτή του σχήματος 2.3.2.

2.4 Ηλεκτρικό ρεύμα

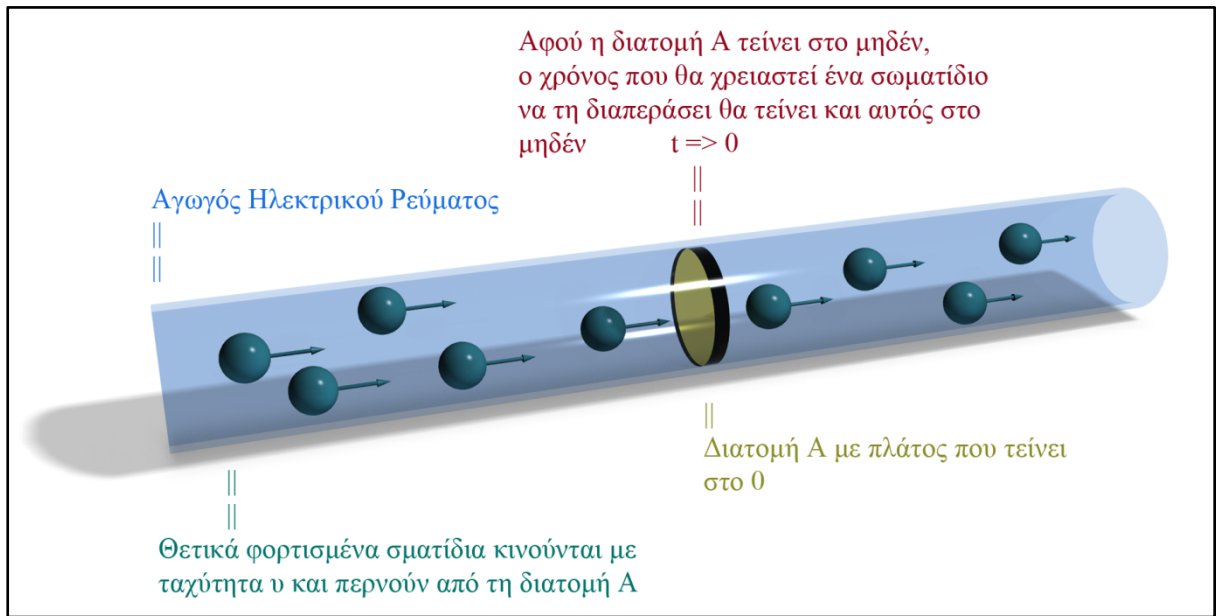
Ηλεκτρικό ρεύμα είναι οποιαδήποτε κίνηση φορτίου από μία περιοχή σε κάποια άλλη διαμέσου κάποιου αγωγού (Αγωγός μπορεί να θεωρηθεί οποιοδήποτε υλικό μέσο, ακόμη και ο ατμοσφαιρικός αέρας). Για να διατηρηθεί μία σταθερή ροή φορτίου σε αγωγό, πρέπει να ασκείται μία σταθερή δύναμη στα κινούμενα φορτία, είτε με ένα ηλεκτροστατικό πεδίο είτε με μία ηλεκτρεγερτική δύναμη. Ας υποθεθεί λοιπόν ότι υπάρχει ένα ηλεκτρικό πεδίο (E) μέσα στον αγωγό τέτοιο ώστε ένα σωματίδιο με φορτίο (q) να υφίσταται την επίδραση μίας δύναμης $F = qE$.

Όταν ένα φορτισμένο σωματίδιο, όπως ένα ηλεκτρόνιο, κινείται μέσα σε ένα ηλεκτρικό πεδίο στο κενό, αυτό επιταχύνεται συνεχώς. Όμως η κίνηση ενός ηλεκτρονίου σε ένα αγώγιμο υλικό, όπως ένα μέταλλο, διαφέρει σημαντικά λόγω των συχνών συγκρούσεων με τα άτομα του υλικού. Σε ένα μέταλλο τα ελεύθερα ηλεκτρόνια πραγματοποιούν τυχαία κίνηση, περίπου όπως τα μόρια ενός αερίου αλλά με πολύ μεγαλύτερες ταχύτητες, της τάξης του 10^6 m/s.

Όταν εφαρμοστεί στο μέταλλο ένα ηλεκτρικό πεδίο, οι δυνάμεις που ασκεί στα ηλεκτρόνια οδηγούν σε μία αργή κίνηση ή ολίσθηση προς την κατεύθυνση της δύναμης, που προστίθεται στην τυχαία κίνηση. Το ηλεκτρικό πεδίο παράγει έργο πάνω στα κινούμενα φορτία και η προκύπτουσα κινητική ενέργεια μεταφέρεται στο υλικό μέσω των μη ελαστικών συγκρούσεων με τα ιόντα, τα οποία ταλαντώνονται γύρω από τις θέσεις ισορροπίας τους στο κρυσταλλικό πλέγμα. Αυτή η μεταφορά ενέργειας, αυξάνει τη μέση ενέργεια ταλάντωσης και επομένως τη θερμοκρασία του υλικού. Έτσι η κίνηση των φορτισμένων σωματιδίων αποτελείται από την τυχαία κίνηση με μεγάλη μέση ταχύτητα και από την ολίσθηση με πολύ μικρότερη ταχύτητα (της τάξης του 10^{-4} m/s), στην κατεύθυνση της δύναμης του ηλεκτρικού πεδίου.

Το ρεύμα ορίζεται ως η ποσότητα φορτίου που μεταφέρεται στη μονάδα του χρόνου. Στα μέταλλα, τα κινούμενα φορτία είναι πάντοτε αρνητικά (ηλεκτρόνια) αλλά σε ένα ιονισμένο αέριο (πλάσμα) ή σε ιοντικό διάλυμα κινούνται και ηλεκτρόνια και θετικά φορτισμένα ιόντα. Σε ένα ημιαγωγικό υλικό όπως τα γερμάνιο ή το πυρίτιο, η αγωγιμότητα οφείλεται εν μέρει σε ηλεκτρόνια και εν μέρει στην κίνηση κενών πλεγματικών θέσεων, γνωστών ως **οπών**. Αυτές οι θέσεις είναι θέσεις από όπου λείπουν ηλεκτρόνια και δρουν σαν θετικά φορτία.

Έστω ότι έχουμε μία εγκάρσια τομή ενός αγωγού στον οποίο κινούνται θετικά φορτία (Σχήμα 2.4.1).



Σχήμα 2.4.1

Ορίζουμε ως ρεύμα που διαπερνά την επιφάνεια της διατομής αυτής το *ολικό φορτίο που διαπερνά την επιφάνεια ανά μονάδα χρόνου*. Έτσι αν το ολικό φορτίο (dQ) ρέει διαμέσου της επιφάνειας (A) σε χρόνο (dt) τότε το ρεύμα (I) θα δίνεται από την παρακάτω σχέση :

$$I = dQ / dt \quad \dots \text{ (Σχέση 2.4.1).}$$

Έχει οριστεί σαν φορά του ηλεκτρικού ρεύματος η φορά κίνησης των θετικά φορτισμένων σωματιδίων. Στο παραπάνω σχήμα (2.4.1) αν αλλαχθεί το φορτίο των σωματιδίων σε αρνητικό, θα αλλάξουν φορά προς την αντίθετη κατεύθυνση (αριστερά). Παρ' όλα αυτά η φορά του ρεύματος συμβολίζεται πάλι προς τα δεξιά, όπως δηλαδή με θετικού φορτίου σωματίδια. Αυτή είναι η λεγόμενη **συμβατική φορά** του ρεύματος.

Το ηλεκτρικό ρεύμα είναι μονόμετρο μέγεθος. Η μονάδα ρεύματος στο SI είναι το Ampere. Ένα Ampere ορίζεται ως ίσο προς ένα Coulomb ανά δευτερόλεπτο ($1A = 1C/s$).

Μπορεί να εκφραστεί το ρεύμα που διαπερνά μια επιφάνεια συναρτήσει της ταχύτητας (v) των φορτισμένων σωματιδίων. Έστω λοιπόν ότι έχουμε τον αγωγό του σχήματος (2.4.1). Ας υποθεθεί ότι όλος ο αγωγός βρίσκεται υπό την επίδραση ομογενούς ηλεκτρικού πεδίου με φορά προς τα δεξιά και ότι τα φορτία είναι θετικά. Αυτό θα προκαλέσει μία κίνηση των φορτίων προς τα δεξιά. Ας υποθεθεί επίσης ότι

το υλικό του αγωγού είναι ομογενές και ισότροπο, δηλαδή έχει τις ίδιες ιδιότητες σε όλα τα σημεία και όλες οι κατευθύνσεις είναι ισοδύναμες. Τέλος ορίζεται η διατομή (A) με πλάτος που τείνει στο μηδέν και που βρίσκεται σε τυχαίο σημείο του αγωγού.

Υποτίθεται ότι εντός του αγωγού βρίσκονται n σε πλήθος θετικά φορτισμένα σωματίδια (το n ονομάζεται **συγκέντρωση** σωματιδίων και η μονάδα μέτρησης είναι το m^{-3}) και ότι όλα κινούνται με την ίδια ταχύτητα (u). Για χρονικό διάστημα dt (τείνει στο μηδέν) κάθε σωματίδιο μετατοπίζεται κατά ($u dt$). Τα σωματίδια τα οποία εξέρχονται από τη διατομή (A) η οποία έχει πάχος ($u dt$), κατά το χρονικό διάστημα (dt) είναι τα σωματίδια που βρίσκονταν μέσα στη διατομή (A) στην αρχή του χρονικού διαστήματος (dt). Ο όγκος της κυλινδρικής διατομής, εμβαδού (A) είναι ($u dt A$) και ο αριθμός των σωματιδίων μέσα στον εν λόγω όγκο ($n u dt A$). Αν κάθε σωματίδιο έχει φορτίο (q) τότε το ολικό φορτίο (dQ) που εξέρχεται από τη διατομή (A) σε χρόνο (dt) είναι :

$$dQ = q(n u dt A) = n q u A dt$$

και το ηλεκτρικό ρεύμα (I) είναι :

$$I = dQ/dt \Rightarrow I = n q u A \quad \dots \text{ (Σχέση 2.4.2)}$$

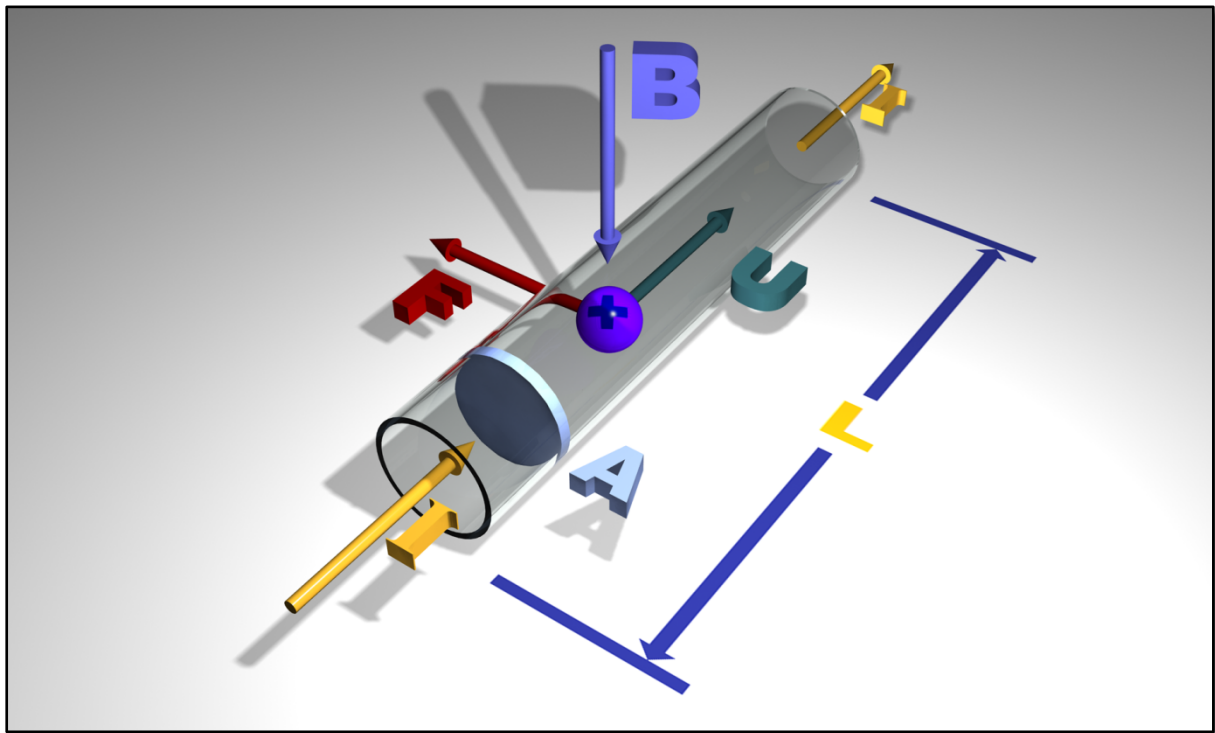
Το ρεύμα ανά μονάδα επιφάνειας της διατομής ονομάζεται **πυκνότητα ρεύματος**, συμβολίζεται με το (**J**) και ορίζεται ως εξής (από σχέση 2.4.2) :

$$J = I / A \Rightarrow J = n q u \quad \dots \text{ (Σχέση 2.4.3)}$$

Η κατανόηση των εξισώσεων που ορίζουν το ρεύμα σε σχέση με τη κίνηση φορτισμένων σωματιδίων είναι ιδιαίτερα σημαντική για τη σχεδίαση του ηλεκτρομηχανικού βραχίονα αλλά και ολόκληρη τη λειτουργία της συσκευής. Όπως θα διαπιστωθεί παρακάτω, συνδυαζόμενες με τις εξισώσεις που περιγράφουν τη μαγνητική επίδραση σε κινούμενα φορτία, θα δώσουν μια λειτουργική λύση για τις δυνάμεις που θα ασκηθούν στο κινητό μέρος του βραχίονα όταν το πηνίο δεχθεί ηλεκτρικό ρεύμα.

2.5 Μαγνητική Δύναμη πάνω σε Αγωγό που Διαρρέεται από Ηλεκτρικό Ρεύμα

Μία γνωστή σε όλους εφαρμογή της μαγνητικής δύναμης πάνω σε ρευματοφόρο αγωγό είναι αυτή του ηλεκτροκινητήρα (motor). Οι δυνάμεις που τον κάνουν να περιστρέφεται είναι οι μαγνητικές δυνάμεις που ασκεί ένα μαγνητικό πεδίο πάνω σε ένα ρευματοφόρο αγωγό (πηνίο). Οι μαγνητικές δυνάμεις που ασκούνται πάνω στα φορτία μέσα στον αγωγό μεταδίδονται στο υλικό του αγωγού, ο οποίος υφίσταται ως σύνολο μία δύναμη που κατανέμεται σε όλο του το μήκος.



Σχήμα 2.5.1

Μπορεί να υπολογιστεί η δύναμη που δρα πάνω σε έναν αγωγό που διαρρέεται από ρεύμα, εκκινώντας από τη μαγνητική δύναμη πάνω σε κινούμενο φορτίο, $F = q\mathbf{u}\mathbf{B}$ (Σχέση 2.2.2). Στο σχήμα 2.5.1 φαίνεται ένα ευθύγραμμο τμήμα αγωγιμού σύρματος, με μήκος L και εμβαδόν διατομής A , το ρεύμα (I) διαρρέει τον αγωγό από εμπρός προς τα πίσω όπως δείχνει το κίτρινο βέλος. Το σύρμα βρίσκεται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο έντασης B και φοράς προς τα κάτω (μπλε βέλος). Το φορτισμένο σωματίδιο είναι θετικό (μωβ σφαίρα).

Η ταχύτητα ολίσθησης (u) είναι προς τα πίσω, παράλληλη με το ρεύμα όπως έχει αναλυθεί στη παράγραφο 2.4. Η δύναμη F που ασκείται στο φορτίο, δεδομένου ότι η ταχύτητα με το πεδίο είναι κάθετα μεταξύ τους, έχει μέτρο $F = q\mathbf{u}\mathbf{B}$ και φορά προς τα αριστερά όπως φαίνεται στο σχήμα (κόκκινο βέλος). Δεδομένου πως ο συνολικός αριθμός των σωματιδίων μέσα στον αγωγό ανά μονάδα όγκου είναι n και ο όγκος του αγωγού \mathbf{AL} , ο συνολικός αριθμός σωματιδίων που διαρρέει τον αγωγό θα είναι $n\mathbf{AL}$. Η ολική δύναμη πάνω στο σύνολο των σωματιδίων θα είναι :

$$\mathbf{F} = (nAL)(q\mathbf{uB}) \Rightarrow \mathbf{F} = (nq\mathbf{uA})(L\mathbf{B}) \quad \dots (\text{Σχέση 2.5.1})$$

Από τη σχέση 2.4.2 γνωρίζουμε ότι το ρεύμα (I) ισούται με $I = nq\mathbf{uA}$ οπότε με αντικατάσταση στη σχέση 2.5.1 προκύπτει:

$$\mathbf{F} = \mathbf{BIL} \quad \dots (\text{Σχέση 2.5.2})$$

Αν η κατεύθυνση του ρεύματος σχηματίζει γωνία φ με την κατεύθυνση του μαγνητικού πεδίου τότε στη σχέση 2.5.2 προστίθεται και ο όρος $\sin(\varphi)$ και παίρνει τη μορφή :

$$\mathbf{F} = \mathbf{B \cdot I \cdot L \cdot \sin\varphi}$$

Σχέση 2.5.3

Αν τοποθετηθούν μέσα στο μαγνητικό πεδίο περισσότερους του ενός αγωγούς, οι οποίοι θα είναι πακτωμένοι μεταξύ τους και θα διαρρέονται από την ίδια ένταση ηλεκτρικού ρεύματος τότε για K αριθμό αγωγών θα ισχύει :

$$\mathbf{F} = \mathbf{KBIL\sin\varphi} \quad \dots (\text{Σχέση 2.5.4})$$

Η δύναμη αυτή λέγεται και δύναμη **Laplace** προς τιμήν του Γάλλου μαθηματικού και αστρονόμου Pierre-Simon Laplace. Οι σχέσεις 2.5.3 και 2.5.4 είναι οι οριστικές σχέσεις που περιγράφουν τις δυνάμεις που ασκούνται στο κινητό μέρος του ηλεκτρομηχανικού βραχίονα της συσκευής. Το K αναπαριστά τον αριθμό των σπειρών του πηνίου που εκτίθενται στο μαγνητικό πεδίο της συσκευής.

Ψηφιακός Μετατροπέας, Θεωρία

Ο ψηφιακός μετατροπέας είναι εκείνη η συσκευή που ελέγχει το βραχίονα. Αναλαμβάνει να αξιοποιήσει τα ψηφιακά δεδομένα που εμφανίζονται στην είσοδό του, να διυλίσει τις χρήσιμες πληροφορίες και να δημιουργήσει εκείνα τα ρεύματα που θα κινήσουν ικανοποιητικά το ηλεκτρομηχανικό μέρος της συσκευής. Στο παρόν κεφάλαιο αναλύονται οι θεωρίες που είναι απαραίτητες για τη κατανόηση της λειτουργίας του.

3.1 Το Δυαδικό και το Δεκαεξαδικό Σύστημα Αρίθμησης

Στις μέρες μας το σύστημα αρίθμησης που χρησιμοποιούμε είναι το **δεκαδικό**. Αυτό σημαίνει πως έχουμε ορίσει 10 σύμβολα για τον καθορισμό όλων των αριθμών, είναι τα γνωστά σύμβολα : **0-1-2-3-4-5-6-7-8-9**

Για να αναπαρασταθεί μία διακριτή ποσότητα έως εννέα στοιχεία αρκεί να επιλεγεί το σωστό σύμβολο. Για παράδειγμα για την καταγραφή του αριθμού των δακτύλων του ενός χεριού χρησιμοποιείται το σύμβολο **5**. Όταν όμως η ποσότητα των στοιχείων ξεπερνά τα διαθέσιμα σύμβολα, δηλαδή είναι μεγαλύτερη του εννέα πρέπει να γίνει ένας συνδυασμός συμβόλων. Έτσι ο αριθμός δεκαπέντε, γράφεται **15**. Αυτό σημαίνει ότι αποτελείται από μία δεκάδα και πέντε μονάδες ενώ πχ. ο αριθμός είκοσι από δύο δεκάδες και καμία μονάδα. Ο λόγος που η μέτρηση μίας ποσότητας γίνεται με δεκάδες είναι γιατί τα διαθέσιμα σύμβολα είναι δέκα. Ο λατινικός συμβολισμός του δεκαδικού συστήματος είναι **Decimal** και η συντομογραφία του είναι **DEC**.

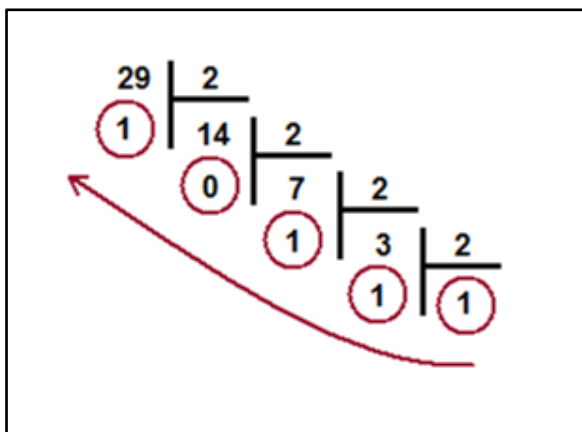
Τι θα συμβεί όμως αν τα διαθέσιμα σύμβολα είναι δύο **0-1**; Πρόκειται λοιπόν για ένα δυαδικό σύστημα και χρησιμοποιώντας τα διαθέσιμα σύμβολα μπορούν να περιγραφούν μόνο το μηδέν και το ένα. Με τον ίδιο τρόπο όπως και στο δεκαδικό σύστημα αρίθμησης, για να αναπαρασταθούν αριθμοί μεγαλύτεροι του πλήθους των διαθέσιμων συμβόλων (στη περίπτωση του δυαδικού, μεγαλύτερους του ένα) πρέπει να συνδυαστούν τα διαθέσιμα σύμβολα. Αυτή τη φορά όμως αντί να μετράται μία ποσότητα με δεκάδες πρέπει να μετράται με δυάδες, έτσι ο αριθμός δύο αναπαρίσταται ως **10**. Αυτό σημαίνει ότι αποτελείται από μία δυάδα και καμία μονάδα. Ο αριθμός πέντε συμβολίζεται ως **101**, που σημαίνει ότι αποτελείται από δύο δυάδες και μία μονάδα (αφού ο αριθμός δύο συμβολίζεται σαν 10). Το δυαδικό σύστημα συμβολίζεται ως **Binary** και η συντομογραφία του είναι **BIN**.

Στη ηλεκτρονική τεχνολογία, το δυαδικό σύστημα είναι ο ευκολότερος τρόπος για να αναπαρασταθούν οι αριθμοί και αυτό γιατί μπορεί να γίνει η αντιστοίχιση των δύο συμβόλων με την ύπαρξη ή όχι ρεύματος. Επίσης, τα ψηφιακά μέσα αποθήκευσης αντιστοιχούν αυτά τα δύο σύμβολα με την ύπαρξη ή όχι μαγνητικού πεδίου (μαγνητικά μέσα αποθήκευσης) ή με τη δυνατότητα ανάκλασης ενός laser ή όχι σε μία επιφάνεια (οπτικά μέσα αποθήκευσης). Για παράδειγμα το CD, ένα οπτικό μέσο αποθήκευσης, αποτελείται από μία ανακλαστική επιφάνεια (σαν καθρέπτης). Όταν εγγράφεται το CD μία ισχυρή δέσμη laser λιώνει συγκεκριμένα σημεία της επιφάνειας με αποτέλεσμα να χάνουν την ανακλαστική τους ιδιότητα. Στη συνέχεια η συσκευή της ανάγνωσης (CD-ROM), στέλνει μία δέσμη laser πολύ χαμηλότερης ισχύος στην επιφάνεια του δίσκου. Εκείνη με τη σειρά της ανακλάται και οδηγείται σε έναν ανιχνευτή φωτός. Όταν η δέσμη «πέσει» σε ένα σημείο και ανακλαστεί τότε η συσκευή διαβάζει 1 ενώ όταν «πέσει» σε μη ανακλαστικό σημείο διαβάζει 0.

Με την ίδια ακριβώς λογική λειτουργούν όλα τα συστήματα αρίθμησης. Ένα σύστημα που χρησιμοποιείται ευρέως στον προγραμματισμό των ψηφιακών συστημάτων είναι και το **δεκαεξαδικό** σύστημα αρίθμησης. Το τελευταίο χρησιμοποιεί δεκαέξι σύμβολα για την αναπαράσταση των αριθμών και για τη μέτρηση αριθμών μεγαλύτερων του δεκαπέντε μετράμε δεκαεξάδες. Τα σύμβολα αυτά είναι : **0-1-2-3-4-5-6-7-8-9-A-B-C-D-E-F**. Τα σύμβολα A έως F αναπαριστούν τους αριθμούς δέκα έως δεκαπέντε αντίστοιχα. Η αναπαράσταση του αριθμού τριάντα είναι ο **1E** που σημαίνει ότι αποτελείται μία (1) δεκαεξάδα και δεκατέσσερις (E) μονάδες. Με λατινικούς χαρακτήρες το δεκαεξαδικό σύστημα συμβολίζεται ως **Hexadecimal** και η συντομογραφία του είναι **HEX**. Στον παρακάτω πίνακα φαίνεται η αντιστοιχία των τριών αυτών συστημάτων αρίθμησης:

DEC	BIN	HEX	DEC	BIN	HEX
0	0	0	21	10101	15
1	1	1	22	10110	16
2	10	2	23	10111	17
3	11	3	24	11000	18
4	100	4	25	11001	19
5	101	5	26	11010	1A
6	110	6	27	11011	1B
7	111	7	28	11100	1C
8	1000	8	29	11101	1D
9	1001	9	30	11110	1E
10	1010	A	31	11111	1F
11	1011	B	32	100000	20
12	1100	C	33	100001	21
13	1101	D	34	100010	22
14	1110	E	35	100011	23
15	1111	F	36	100100	24
16	10000	10	37	100101	25
17	10001	11	38	100110	26
18	10010	12	39	100111	27
19	10011	13	40	101000	28
20	10100	14	41	101001	29

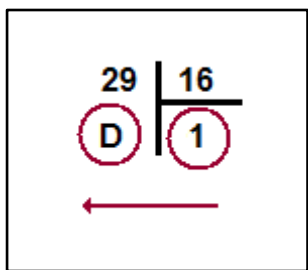
Πίνακας 3.1.1



Σχήμα 3.1.1

Ένα πρόβλημα που συναντάται με τη χρήση διαφορετικών συστημάτων αρίθμησης είναι η μετατροπή από το ένα στο άλλο. Έτσι, σύμφωνα με τη θεωρία, για να μετατραπεί ένας δεκαδικός αριθμός σε δυαδικό αρκεί να υπολογιστεί πόσες δυάδες και πόσες μονάδες τον αποτελούν. Αν οι δυάδες είναι περισσότερες από δύο, τότε πρέπει να υπολογιστεί και αυτές με τη σειρά τους από πόσες δυάδες αποτελούνται. Στη πράξη χρησιμοποιείται μία διαίρεση με διαιρέτη τον αριθμό 2 όπως αυτή του σχήματος

3.1.1. Κάθε αποτέλεσμα διαιρείται ξανά με το 2 μέχρι να προκύψει αποτέλεσμα μικρότερο του 2. Γίνεται αντιληπτό ότι τα υπόλοιπα από κάθε διαίρεση αποτελούνται μόνο από μηδενικά και άσσους, κάτι πολύ λογικό αφού ο διαιρέτης είναι το 2. Όταν η διαίρεση φτάσει στο τέλος της καταγράφουμε τα υπόλοιπα αλλά και το τελικό αποτέλεσμα όπως στο σχήμα, ακολουθώντας δηλαδή



Σχήμα 3.1.2

αντίστροφη πορεία (την πορεία του κόκκινου βέλους). Έτσι για την συγκεκριμένη περίπτωση ο αριθμός 29 (dec) αντιστοιχεί στον αριθμό 11101 (bin). Με αντίστοιχο τρόπο υπολογίζεται ο δεκαεξαδικός αριθμός. Αυτήν τη φορά αντί ο διαιρέτης να είναι ο 2, είναι ο αριθμός 16. Με αυτόν τον τρόπο θα προκύψουν οι δεκαεξάδες από τις οποίες αποτελείται ο δεκαδικός αριθμός 29. Ο δεκαδικός αριθμός λοιπόν είκοσι εννέα αποτελείται από μία δεκαεξάδα και αφήνει υπόλοιπο 13. Ο αριθμός 13 στο δεκαεξαδικό

συμβολίζεται με το λατινικό γράμμα D οπότε στη θέση του υπολοίπου στη διαίρεση ους σχήματος 3.1.2 αντιστοιχεί το γράμμα D. Κυκλώνοντας το αποτέλεσμα και τα υπόλοιπα και στη συνέχεια καταγράφοντας τον αριθμό ακολουθώντας τη πορεία του κόκκινου βέλους, δηλαδή αντίστροφη πορεία, σχηματίζεται ο αριθμός 1D (hex).

Για τη μετατροπή ενός δυαδικού αριθμό σε δεκαδικό ακολουθείται η αντίστροφη διαδικασία. Πρέπει να υπολογιστεί πόσες δεκάδες και πόσες μονάδες έχει ο αριθμός αυτός. Πχ. Για το αριθμό 11101(bin) ισχύει;

$$\begin{aligned}
 11101 \text{ bin} &= (1 \times 2^4) + (1 \times 2^3) + (1 \times 2^2) + (0 \times 2^1) + (1 \times 2^0) = \\
 &= 16 + 8 + 4 + 0 + 1 = 29 \text{ dec}
 \end{aligned}$$

Ο εκθέτης που εφαρμόζεται στους πολλαπλασιαστές καθορίζει τη «βαρύτητα» του κάθε ψηφίου. Έτσι λοιπόν για το τελευταίο ψηφίο του αριθμού, το οποίο αναπαριστά τις μονάδες, ο εκθέτης είναι 0 που σημαίνει ότι το συγκεκριμένο ψηφίο πολλαπλασιάζεται πάντα με τη μονάδα (ισχύει $X^0 = 1$ για κάθε πραγματικό αριθμό X). Το δεύτερο από το τέλος ψηφίο πολλαπλασιάζεται με το 2 αφού αναπαριστά τις δυάδες. Το τρίτο από το τέλος πολλαπλασιάζεται με το 2^2 γιατί αναπαριστά τις δυάδες των δυάδων. Το ίδιο συμβαίνει και στο δεκαδικό σύστημα όπου η βαρύτητα του κάθε ψηφίου ενός αριθμού αναπαρίσταται πολλαπλασιασμένο με το 10 και με εκθέτη τη θέση του ψηφίου στον αριθμό. Πχ. Ο αριθμός 124 μπορεί να γραφτεί σαν

το άθροισμα 12 δεκάδων και 4 μονάδων. Με τη σειρά τους οι 12 δεκάδες μπορούν να γραφτούν σαν 1 δεκάδα και 2 μονάδες. Το αποτέλεσμα γράφεται :

$$(1 \times 10^2) + (2 \times 10^1) + (4 \times 10^0) = 124$$

Για το δεκαεξαδικό το κάθε ψηφίο του πολλαπλασιάζεται με το 16 υψωμένο στην ανάλογη δύναμη. Έτσι για τον δεκαεξαδικό αριθμό 2DE ισχύει:

$$(2 \times 16^2) + (D \times 16^1) + (E \times 16^0)$$

Αντικαθιστώντας τα λατινικά γράμματα με τους αριθμούς που αντιστοιχούν στο δεκαδικό σύστημα προκύπτει:

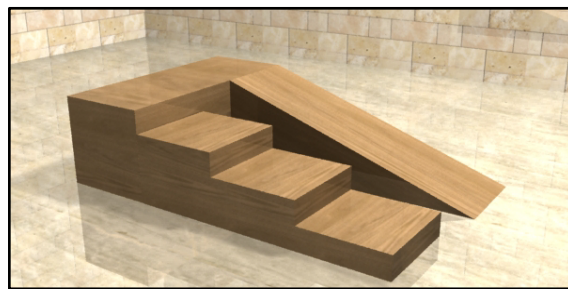
$$\begin{aligned} 2DE \text{ hex} &= (2 \times 16^2) + (13 \times 16^1) + (14 \times 16^0) = \\ &= (2 \times 256) + (13 \times 16) + (14 \times 1) = \\ &= (512) + (208) + (14) = 734 \text{ dec} \end{aligned}$$

Η κατανόηση των συστημάτων αρίθμησης και της μετατροπής από το ένα στο άλλο, όπως θα διαπιστωθεί παρακάτω ,είναι απολύτως απαραίτητη, για τον σχεδιασμό ψηφιακών ηλεκτρονικών κυκλωμάτων.

3.2 Ψηφιακά Ηλεκτρονικά

Τα ψηφιακά ηλεκτρονικά έχουν γίνει για τον σύγχρονο άνθρωπο ένα αναπόσπαστο κομμάτι της καθημερινής του ζωής. Η φωτογραφική μηχανή, ο ηλεκτρονικός υπολογιστής, το αυτοκίνητο, το κινητό τηλέφωνο, η τηλεόραση, είναι μόνο μερικές από τις ψηφιακές συσκευές που οι περισσότεροι από εμάς χρησιμοποιούν καθημερινά. Στις επιστήμες η ψηφιακή τεχνολογία μας έχει οδηγήσει σε μεγαλύτερης ανάλυσης πειράματα, σε αποθήκευση των αποτελεσμάτων σε ψηφιακές βάσεις δεδομένων και μας παρέχει εύκολη προσβασιμότητα στην επικοινωνία και στη γνώση. Σε αυτό το κεφάλαιο δε θα αναλυθούν όλες οι πτυχές αυτής της τεχνολογίας αλλά μόνο εκείνα τα τμήματα που αφορούν τη κατασκευή της παρούσας εργασίας.

Αρχικά θα πρέπει να γίνει ο διαχωρισμός μεταξύ των ψηφιακών και των αναλογικών μεγεθών. Έστω λοιπόν ότι υπάρχει μία υψομετρική διαφορά από ένα σημείο στο άλλο. Τα δύο σημεία ενώνουν μία σκάλα στα αριστερά και ένα κεκλιμένο επίπεδο στα δεξιά. (Σχήμα 3.2.1).

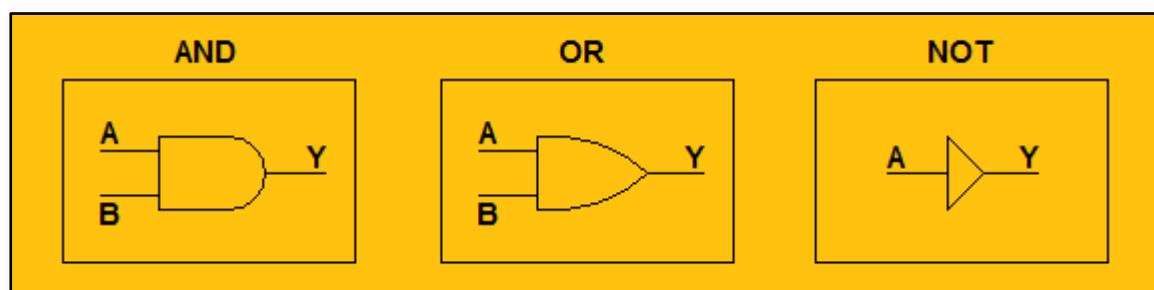


Σχήμα 3.2.1

Ας υποθεθεί ότι το ολικό ύψος του βάρους είναι σαράντα εκατοστά και το κάθε σκαλί από δέκα εκατοστά. Για να ανέβει κανείς στο βάρους από τη σκάλα αναγκάζεται να περάσει από αυτά τα τέσσερα ύψη που του ορίζει η σκάλα. Αντίθετα αν επιλέξει να ανέβει από το κεκλιμένο επίπεδο τότε του δίνεται η δυνατότητα να περάσει από όλα τα πιθανά ύψη μεταξύ του μηδέν και των σαράντα εκατοστών. Δηλαδή ανεβαίνοντας από το κεκλιμένο επίπεδο μπορεί να σταθεί πχ. σε υψόμετρο είκοσιπέντε εκατοστών κάτι που είναι αδύνατον να επιτευχθεί από τη σκάλα. Αν θεωρηθεί η μετακίνηση όσον αφορά το ύψος, σαν ένα μέγεθος τότε η μετακίνηση μέσω του κεκλιμένου επιπέδου είναι ένα αναλογικό μέγεθος ενώ από τη σκάλα ένα ψηφιακό μέγεθος. Στη φύση ένα αναλογικό μέγεθος είναι πχ. η θερμοκρασία περιβάλλοντος η οποία μπορεί να πάρει οποιαδήποτε τιμή μεταξύ κάποιων ορίων. Ψηφιακό μέγεθος είναι ο αριθμός των μαθητών σε ένα τμήμα, ο οποίος είναι ακαίρεος (δεν είναι δυνατόν πχ. να έχουμε 14,3 μαθητές σε ένα τμήμα, θα έχουμε ή 14 ή 15).

Στα ηλεκτρονικά, ένα κύκλωμα που επεξεργάζεται ή παράγει αναλογικά μεγέθη είναι ένα **αναλογικό κύκλωμα**. Αντίθετα, ένα κύκλωμα το οποίο επεξεργάζεται ή παράγει ψηφιακά μεγέθη είναι ένα **ψηφιακό κύκλωμα**. Παράδειγμα αναλογικού κυκλώματος είναι ο ενισχυτής. Για κάθε πιθανή τάση που θα δεχθεί στην εισοδό του (μεταξύ των ορίων λειτουργίας του) θα την εμφανίσει πολλαπλασιασμένη στην έξοδο. Παράδειγμα ψηφιακού κυκλώματος είναι ένας μετρητής συμβάντων σε μία ελεγχόμενη εισοδό συναυλιακού χώρου, ο οποίος μετρά πόσοι άνθρωποι εισήλθαν στο χώρο. Κάθε φορά που ανοίγει το μεταλλικό πορτάκι παίρνει εντολή το ψηφιακό κύκλωμα και αυξάνει κατά μία μονάδα τον εσωτερικό του καταχωρητή, μετρά δηλαδή πόσες φορές άνοιξε η πόρτα. Αξίζει να αναφερθεί πως και τα ψηφιακά και τα αναλογικά κυκλώματα, στη «καρδιά» τους, αποτελούνται μόνο από αναλογικά εξαρτήματα. Για παράδειγμα το που κατατάσσεται ένα κύκλωμα που αποτελείται από tranzistors εξαρτάται καθαρά από την εργασία την οποία πραγματοποιεί, μιας και τα tranzistors είναι αναλογικά εξαρτήματα.

Μία εφαρμογή των ψηφιακών ηλεκτρονικών είναι οι **λογικές πύλες**. Οι λογικές πύλες είναι σχεδιασμένες από tranzistors αλλά η λειτουργία τους είναι καθαρά ψηφιακή. Χωρίζονται σε τρεις βασικές κατηγορίες (**AND, OR, NOT**) ανάλογα με την επεξεργασία που πραγματοποιούν. Οι πύλες AND και OR είναι κυκλώματα που στην πιο απλή τους μορφή αποτελούνται από τρεις ακροδέκτες, δύο από τους οποίους χρησιμεύουν ως εισοδοί και ένας ως έξοδος. Η πύλη NOT αποτελείται από μία εισοδό και μία έξοδο. Παρακάτω φαίνονται τα σχηματικά διαγράμματα για κάθε μία από τις προαναφερθείσες πύλες (Σχήμα 3.2.2).



Σχήμα 3.2.2

Οι πύλες λειτουργούν σε ένα εύρος ηλεκτρικών τάσεων ανάλογα με τη κατασκευή τους. Έτσι, πχ. οι πύλες που έχουν κατασκευαστεί με το πρότυπο TTL λειτουργούν στην περιοχή 0 έως 5 volts (υπάρχουν και άλλα πρότυπα όπως το CMOS τα οποία

λειτουργούν σε άλλες στάθμες). **Μία τάση των 0 volts μεταφράζεται ως το ψηφίο 0, ενώ μία τάση των 5 volts ως το ψηφίο 1.** Πρόκειται λοιπόν για ένα ψηφιακό σύστημα, αφού διαχειρίζεται αριθμούς και όχι αναλογικά μεγέθη. Η πύλη AND για να εμφανίσει μία τάση στην έξοδό της πρέπει να υπάρχει τάση **και** στις δύο της εισόδους. Η πύλη OR εμφανίζει μία τάση στην έξοδό της αν **ή** στη μία **ή** στην άλλη **ή** και στις δύο εισόδους υπάρχει τάση. Τέλος η NOT εμφανίζει στην έξοδό της το **αντίθετο** από αυτό που υπάρχει στην είσοδό της. Παρακάτω φαίνονται όλες οι πιθανές περιπτώσεις για κάθε μία από τις πύλες. (Σχήμα 3.2.3)

AND			OR			NOT	
A	B	Y	A	B	Y	A	Y
0	0	0	0	0	0	0	1
0	1	0	0	1	1	1	0
1	0	0	1	0	1		
1	1	1	1	1	1		

Πίνακας 3.2.1

Ο ψηφιακός μετατροπέας της συσκευής αποτελείται από αναλογικά και ψηφιακά μέρη. Οι ψηφιακές διατάξεις πραγματοποιούν την επεξεργασία των ψηφιακών δεδομένων που «φθάνουν» στην είσοδο της συσκευής και παράγουν τάσεις κατάλληλες για τον έλεγχο του βραχίονα ενώ οι αναλογικές ενισχύουν αυτές τις τάσεις ώστε να κινήσουν ικανοποιητικά τον βραχίονα. Το κέντρο ελέγχου του μετατροπέα (interface) αποτελείται από έναν μικροελεγκτή AVR της εταιρείας Atmel (Παράγραφος 3.4).

3.3 Ηλεκτρονικά Εξαρτήματα

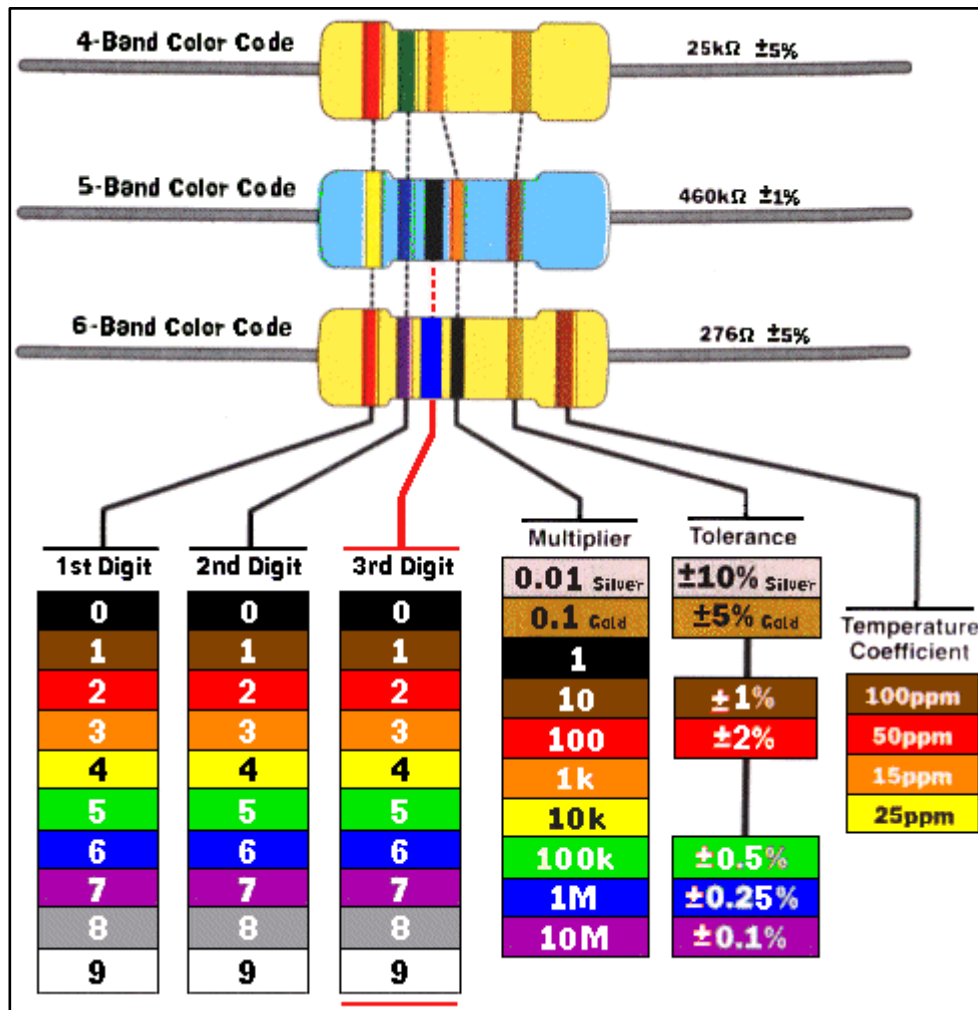
Σε αυτό το κεφάλαιο αναφέρονται οι βασικές αρχές λειτουργίας των ηλεκτρονικών εξαρτημάτων που χρησιμοποιήθηκαν κατά την σχεδίαση και κατασκευή της συσκευής.

Στα ηλεκτρονικά, τα υλικά διακρίνονται σε τρεις βασικές κατηγορίες, τους αγωγούς τους μονωτές και τους ημιαγωγούς. Οι αγωγοί επιτρέπουν να περνά το ηλεκτρικό ρεύμα σχεδόν ανεπηρέαστο ενώ οι μονωτές δεν αφήνουν σχεδόν καθόλου το ρεύμα να περάσει. Αυτό συμβαίνει λόγω των ελεύθερων ηλεκτρονίων που έχουν, πολλά ελεύθερα ηλεκτρόνια στη δομή ενός υλικού το καθιστούν καλό αγωγό του ηλεκτρικού ρεύματος ενώ η απουσία ελεύθερων ηλεκτρονίων, μονωτή. Αν η δομή του υλικού περιέχει λίγα ελεύθερα ηλεκτρόνια τότε το υλικό αυτό χαρακτηρίζεται ως ημιαγωγίμο.

Η **αντίσταση** λοιπόν, ένα από τα πιο απλά στη λειτουργία τους ηλεκτρονικά εξαρτήματα. Αποτελείται από ένα ημιαγωγίμο υλικό και δύο ακροδέκτες (αγωγούς) οι οποίοι βοηθούν στη σύνδεση του εξαρτήματος στο κύκλωμα. Φωτογραφία μίας αντίστασης του εμπορίου φαίνεται στη παρακάτω εικόνα (3.3.1)



Εικόνα 3.3.1



Σχήμα 3.3.1

Η λειτουργία της αντίστασης είναι να περιορίζει τη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος. Αυτό το χαρακτηριστικό εξαρτάται από το υλικό που είναι κατασκευασμένη (πόσα ελεύθερα ηλεκτρόνια διαθέτει) και από τις χωρικές διαστάσεις που έχει (για μικρότερο πάχος ή για μεγαλύτερο μήκος έχουμε μεγαλύτερη αντίσταση). Η μονάδα μέτρησής της είναι το **Ohm (Ω)**, συμβολίζεται με το λατινικό **R** και ορίζεται ως το πηλίκο της διαφοράς δυναμικού που εφαρμόζεται στα άκρα της, προς το ρεύμα που τη διαρρέει :

$$R = V / I \quad \dots \text{ (Σχέση 3.3.1)}$$

Μπορεί να παρομοιαστεί η ύπαρξη μίας αντίστασης στο ενδιάμεσο ενός σύρματος σαν ένα στένωμα ενός σωλήνα μέσα στον οποίο ρέει κάποιο ρευστό. Η αντίσταση της εικόνας 3.3.1 διαθέτει μερικούς χρωματιστούς δακτυλίους στο «σώμα» της. Αυτοί οι δακτύλιοι συμβολίζουν τη τιμή της αντίστασης (σε Ω) μέσω μίας διεθνούς κωδικοποίησης. Στο Σχήμα 3.3.1 φαίνεται αυτή η κωδικοποίηση. Για παράδειγμα στην εικόνα 3.3.1 η αντίσταση έχει τέσσερις χρωματισμούς από αριστερά προς τα δεξιά :

Καφέ – Πράσινο – Καφέ – Χρυσό

Τα χρώματα αυτά βάσει της κωδικοποίησης του σχήματος 3.3.1 αντιστοιχούν στα

1 – 5 – x10 – +-5% Ανοχή

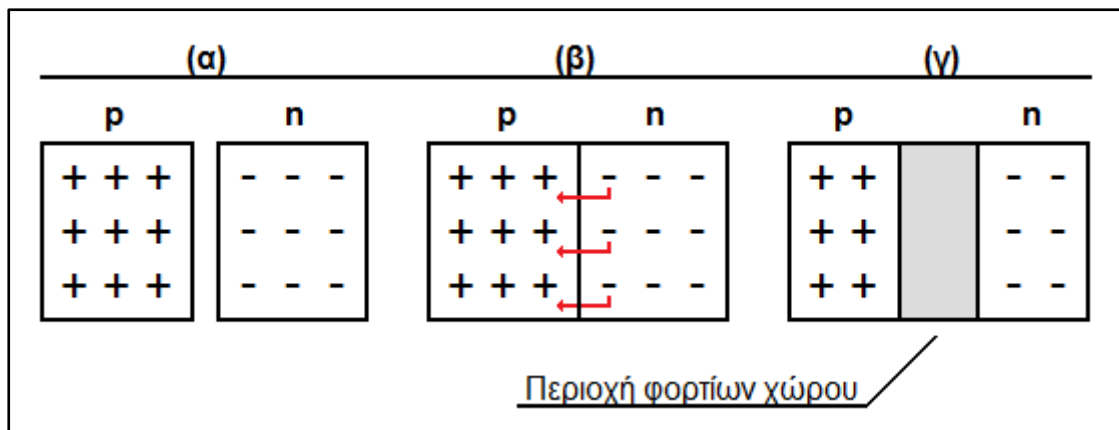
Άρα αυτή η αντίσταση είναι $R = 150 \Omega$ με ανοχή $\pm 5\%$

Ο συμβολισμός μίας αντίστασης σε ένα κύκλωμα φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (3.3.2)



Σχήμα 3.3.2

Ένα άλλο εξάρτημα που συναντάται πολύ συχνά στα ηλεκτρονικά κυκλώματα είναι η δίοδος. Αποτελείται από ημιαγωγό υλικό το οποίο έχει χωριστεί σε δύο διαφορετικά φορτισμένες περιοχές και έχει και αυτή δύο ακροδέκτες για τη σύνδεσή της σε ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα. Οι δύο περιοχές που την αποτελούν έχουν εμπλουτιστεί με αντίθετα φορτία. Η μία περιοχή λοιπόν (περιοχή **n**, negative) έχει πλεόνασμα ηλεκτρονίων και για αυτόν τον λόγο είναι αρνητικά φορτισμένη ενώ η άλλη (περιοχή **p**, positive) έχει πλεόνασμα οπών (Κεφάλαιο 2.4) δηλαδή απώλεια ηλεκτρονίων οπότε είναι θετικά φορτισμένη (Σχήμα 3.3.3.α). Επειδή οι δύο περιοχές βρίσκονται σε επαφή, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια της n περιοχής κινούνται προς την περιοχή p όπου υπάρχουν οπές (κενές θέσεις) (Σχήμα 3.3.3.β). Μεταξύ των δύο περιοχών λοιπόν εμφανίζεται μία διαφορά δυναμικού η οποία εμποδίζει τα ηλεκτρόνια της n περιοχής να εισέρχονται πλέον στη περιοχή p. Αυτή η διαφορά δυναμικού ονομάζεται **Φράγμα Δυναμικού**. Το φράγμα δυναμικού οριοθετεί μία τρίτη περιοχή η οποία ονομάζεται **περιοχή φορτίων χώρου** (Σχήμα 3.3.3.γ).



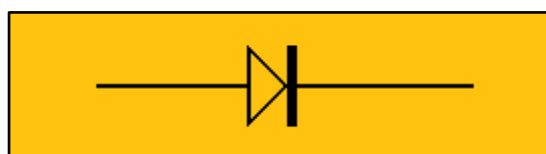
Σχήμα 3.3.3

Στην εικόνα 3.3.2 βλέπουμε μία δίοδο του εμπορίου.



Εικόνα 3.3.2

Η δίοδος επιτρέπει τη διέλευση του ρεύματος μόνο προς μία κατεύθυνση. Έτσι αν στη δίοδο της εικόνας 3.3.2 συνδεθεί ο θετικός πόλος μίας πηγής ρεύματος στο αριστερό άκρο και ο αρνητικός στο δεξιό άκρο, τότε το ρεύμα θα διέλθει μέσα από τη δίοδο, ενώ αν οι πόλοι συνδεθούν ανάποδα δεν θα περάσει. Η επιτρεπτή φορά ρεύματος γίνεται αντιληπτή από τον ασημί δακτύλιο στο «σώμα» της δίοδου. Στη πλευρά που βρίσκεται ο δακτύλιος πρέπει να δείχνει και το βέλος του ρεύματος. Άρα στο παρών παράδειγμα το βέλος θα δείχνει δεξιά (\rightarrow), οπότε η συμβατική φορά του ρεύματος θα είναι και αυτή προς τα δεξιά. (Συμβατική φορά ονομάζουμε τη φορά των θετικών φορτίων σε έναν αγωγό). Το σχηματικό διάγραμμα της δίοδου φαίνεται στο παρακάτω σχήμα (3.3.4)

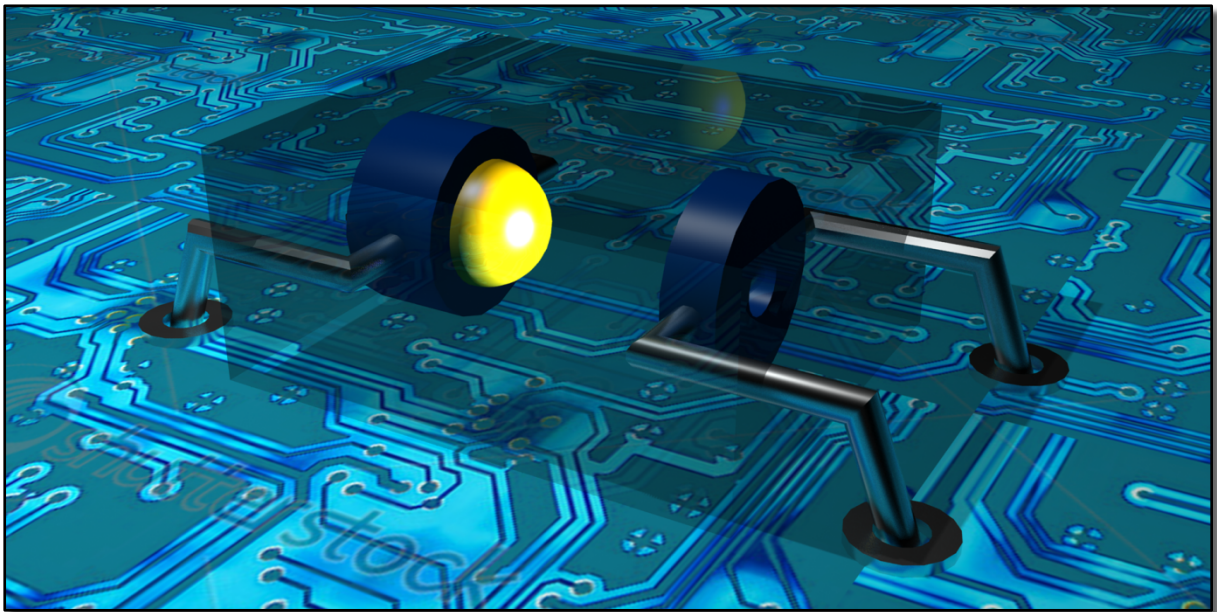


Σχήμα 3.3.4

Το βέλος του σχήματος καθορίζει την επιτρεπτή φορά ρεύματος και η κάθετη γραμμή στο τέλος του βέλους αντιστοιχεί στον ασημί δακτύλιο της εικόνας (3.3.2).

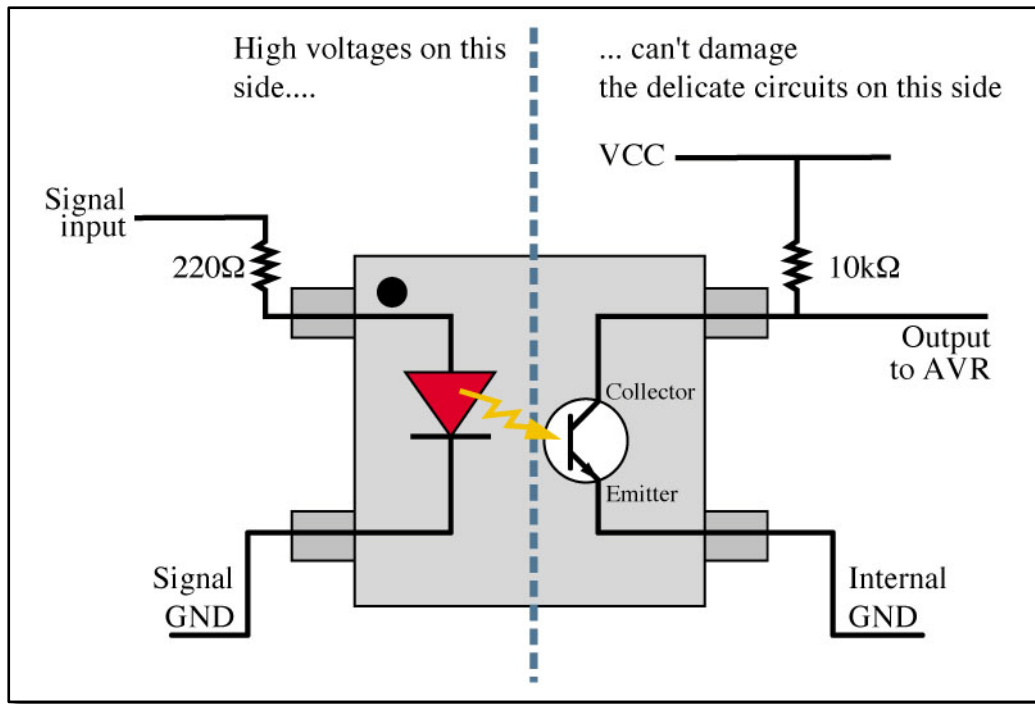
Πολλές φορές σε ένα κύκλωμα είναι απαραίτητη η λεγόμενη **ΟΠΤΙΚΗ ΑΠΟΜΟΝΩΣΗ**. Για παράδειγμα αν ένας ηλεκτρονικός επεξεργαστής (δέκτης) δέχεται πληροφορίες (τάσεις) από μία δεύτερη συσκευή (πομπό), υπάρχει μεγάλος κίνδυνος σε πιθανή βλάβη της δεύτερης συσκευής να προκληθεί βλάβη και στον επεξεργαστή. Δεν είναι σπάνιες οι περιπτώσεις που λόγω βλάβης μία συσκευή εμφανίζει στην έξοδό της πολύ μεγάλες τάσεις. Αν αυτή η τάση οδηγηθεί στην είσοδο ενός πολύ ευαίσθητου ηλεκτρονικού εξαρτήματος είναι πολύ πιθανό να το καταστρέψει. Το εξάρτημα που αναλαμβάνει τη προστασία ευαίσθητων σημείων ενός ηλεκτρονικού

κυκλώματος λέγεται **optocoupler (οπτική διασύζευξη)**. Αποτελείται από μία πηγή φωτός και έναν ανιχνευτή φωτός τα οποία εσωκλείονται σε μία ενιαία κατασκευή (Σχήμα 3.3.5).



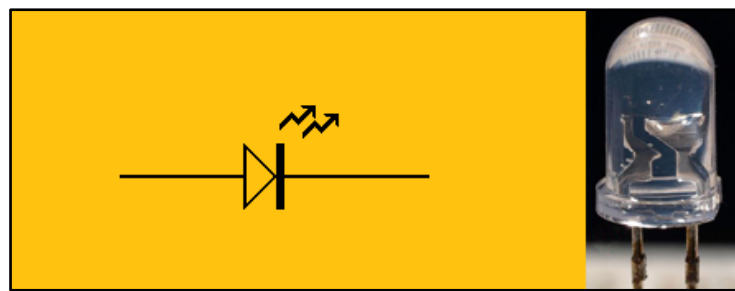
Σχήμα 3.3.5

Όταν εμφανιστεί μία τάση στην είσοδο του optocoupler μετατρέπεται σε αντίστοιχης έντασης φωτεινή ακτινοβολία η οποία με τη σειρά της λαμβάνεται από τον ανιχνευτή φωτός. Ο τελευταίος μετατρέπει αυτήν την ακτινοβολία ξανά σε ηλεκτρική τάση. Αν παρεμβληθεί αυτό το εξάρτημα ανάμεσα σε δύο συσκευές, ουσιαστικά οι τελευταίες απομονώνονται ηλεκτρικά. Αν η μία συσκευή «στείλει» μία εκτός ορίων τάση, τότε η πηγή φωτός του optocoupler θα καταστραφεί με αποτέλεσμα να μην «περάσει» η εν λόγω τάση στην άλλη συσκευή. Έτσι το κόστος επισκευής μειώνεται στο ελάχιστο αφού ένα optocoupler είναι πολύ πιο οικονομικό από τις συσκευές που προστατεύει. Το σχηματικό διάγραμμα της συσκευής φαίνεται παρακάτω (Σχήμα 3.3.6)



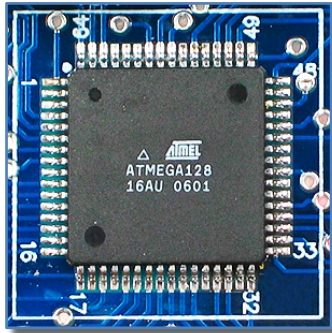
Σχήμα 3.3.6

Οι περισσότερες των ηλεκτρονικών συσκευών περιλαμβάνουν μερικούς ενδείκτες ώστε να πληροφορούν τον χρήστη για την κατάσταση λειτουργίας τους. Τέτοιοι ενδείκτες μπορεί να είναι ένας απλός λαμπτήρας, ένα διαβαθμισμένο όργανο βελόνας, μία οθόνη κ.τ.λ. Μία ειδική κατηγορία λαμπτήρων, που ονομάζονται **L.E.D. (Light Emitter Diode)** προσφέρουν χαμηλή κατανάλωση σε συνδυασμό με πολύ ικανοποιητική φωτεινότητά και εξαιρετική διακοπτική ικανότητα. Το LED ουσιαστικά είναι μία δίοδος η οποία όταν συνδεθεί ορθά (επιτρέπει το ρεύμα να περάσει), παράγει φως. Συμβολίζεται σαν τη δίοδο αλλά προσθέτοντας ένα ή δύο τεθλασμένα βέλη στην επάνω πλευρά του. Στο σχήμα (3.3.7) φαίνεται αριστερά το σχηματικό διάγραμμα και δεξιά μία φωτογραφία ενός LED.



Σχήμα 3.3.7

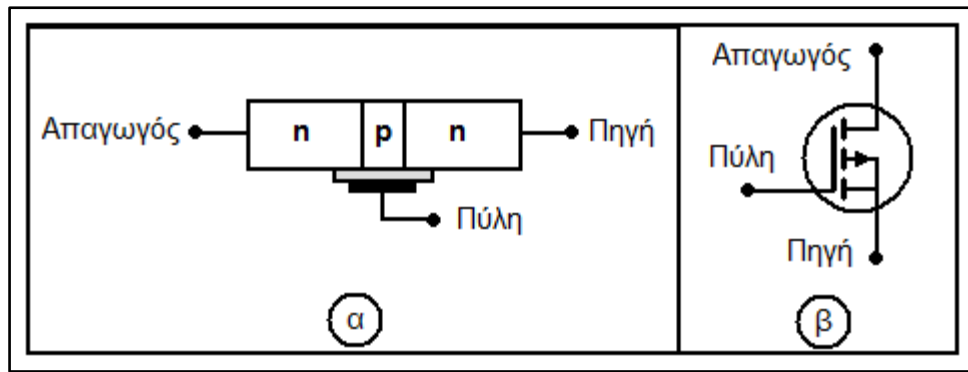
Όταν το ζητούμενο είναι ο σχεδιασμός ενός κυκλώματος το οποίο θα πραγματοποιεί έναν αυτοματισμό (πχ. μία συσκευή η οποία θα ελέγχει την υγρασία περιβάλλοντος σε συνδυασμό με τη θερμοκρασία για να καθορίσει τη λειτουργία ενός κλιματιστικού μηχανήματος) είναι απαραίτητη η χρήση εξειδικευμένων εξαρτημάτων. Ένα τέτοιο εξάρτημα είναι ο **Μικροελεγκτής**. Αποτελείται από εκατομμύρια transistors, αντιστάσεις, διόδους και άλλα εξαρτήματα και δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα του προγραμματισμού. Η όλη κατασκευή εσωκλείεται σε ένα ενιαίο εξάρτημα που έχει τη μορφή **Chip (Ολοκληρωμένο)** (Εικόνα 3.3.3).



Εικόνα 3.3.3

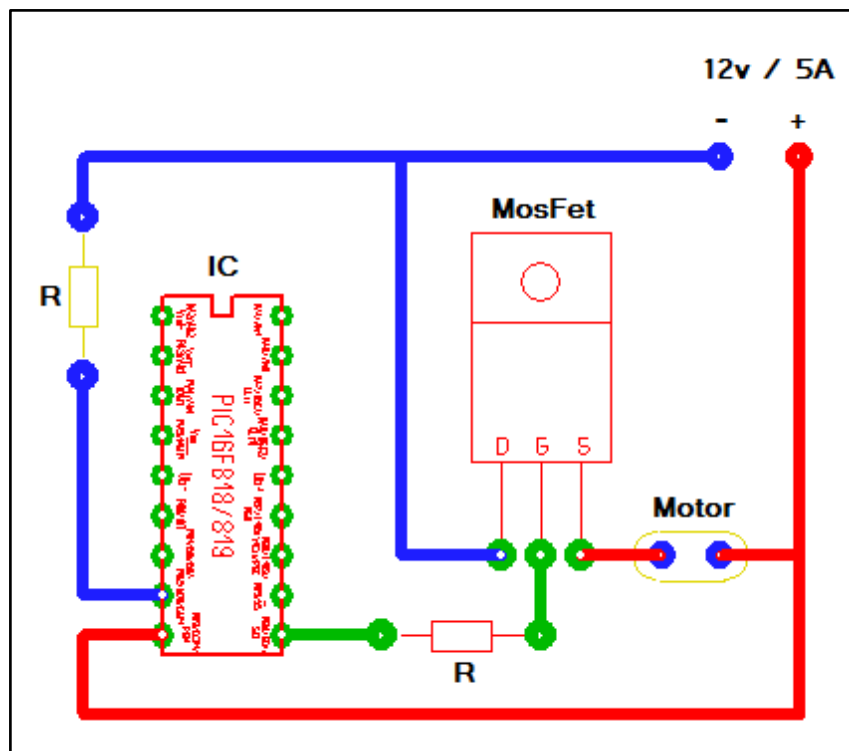
Ένας μικροελεγκτής περιέχει πολλές συσκευές οι οποίες ελέγχονται από μία κεντρική μονάδα. Έτσι μπορεί κανείς να προμηθευτεί μικροελεγκτές με ενσωματωμένη μνήμη, σειριακό δίαυλο επικοινωνίας, μετατροπείς αναλογικών τάσεων σε ψηφιακές κ.α. Στο εμπόριο υπάρχουν μικροελεγκτές πολύ πιο εξειδικευμένοι, για παράδειγμα να ενσωματώνει ένα μουσικό synthesizer (Παράγραφος 1.1) ή μία συστοιχία DSP για την επεξεργασία σήματος ή ακόμη και σύστημα ασύρματης επικοινωνίας. Στην κατασκευή της παρούσας πτυχιακής εργασίας, ένας μικροελεγκτής AVR της εταιρείας ATMEL «αναλαμβάνει» ολοκληρωτικά τον έλεγχο της συσκευής. Λόγω της πολύπλοκης δομής του μικροελεγκτή, σε επόμενη παράγραφο θα γίνει εκτενής ανάλυση των λειτουργιών του (Παράγραφος 3.4).

Οι μικροελεγκτές είναι ευαίσθητα ηλεκτρονικά εξαρτήματα τα οποία δε μπορούν να παρέχουν μεγάλης έντασης ή υψηλής τάσης ρεύματα. Όταν λοιπόν απαιτείται από έναν μικροελεγκτή να ελέγχει ένα εξάρτημα που λειτουργεί με υψηλής έντασης ρεύμα όπως για παράδειγμα μία μίζα ενός αυτοκινήτου η λύση που προτιμάται είναι τα κυκλώματα μετατροπής ισχύος (**Power Converter**). Στο εμπόριο υπάρχουν έτοιμα ολοκληρωμένα που εμπεριέχουν το κατάλληλο κύκλωμα για να επιτύχουν τη μετατροπή με μόνο περιορισμό το μέγιστο ρεύμα που μπορούν να αποδώσουν. Έτσι το πιο ισχυρό ολοκληρωμένο τέτοιου τύπου μπορούσε να μετατρέψει τα 0,1 A ρεύματος του μικροελεγκτή σε 1,5 A που θα οδηγούνταν στο βραχίονα τη στιγμή που ο τελευταίος απαιτούσε τουλάχιστον 15 A. Κρίθηκε λοιπόν απαραίτητος ο σχεδιασμός του μετατροπέα ισχύος εξ αρχής. Η κατηγορία των εξαρτημάτων που χρησιμοποιήθηκαν ήταν transistors τύπου **Mosfet** και συγκεκριμένα **Mosfet Τύπου Πύκνωσης**. Ένα Mosfet τύπου πύκνωσης αποτελείται από δύο εμπλουτισμένες περιοχές τύπου n οι οποίες χωρίζονται από μία τύπου p (Σχήμα 3.3.8.α). Στο Σχήμα 3.3.8.β φαίνεται το σχηματικό διάγραμμα του Mosfet.



Σχήμα 3.3.8

Η πύλη είναι ηλεκτρικά απομονωμένη από τη περιοχή p (γκρι στρώμα). Όταν συνδεθεί η επαφή του απαγωγού και της πηγής με μία πηγή ρεύματος (απαγωγός + και η πηγή -) τότε τα ηλεκτρόνια της n περιοχής θα αποκτήσουν την τάση να κινηθούν προς τον απαγωγό. Η p περιοχή όμως τα εμποδίζει λόγω του φράγματος δυναμικού που έχει δημιουργήσει. Σε αυτήν τη κατάσταση το Mosfet βρίσκεται σε κατάσταση Off. Για να έχουμε ρεύμα διαμέσου της p περιοχής πρέπει να εφαρμόσουμε μία αρκετά μεγάλη τάση στην πύλη. Η επαφή της πύλης λειτουργεί



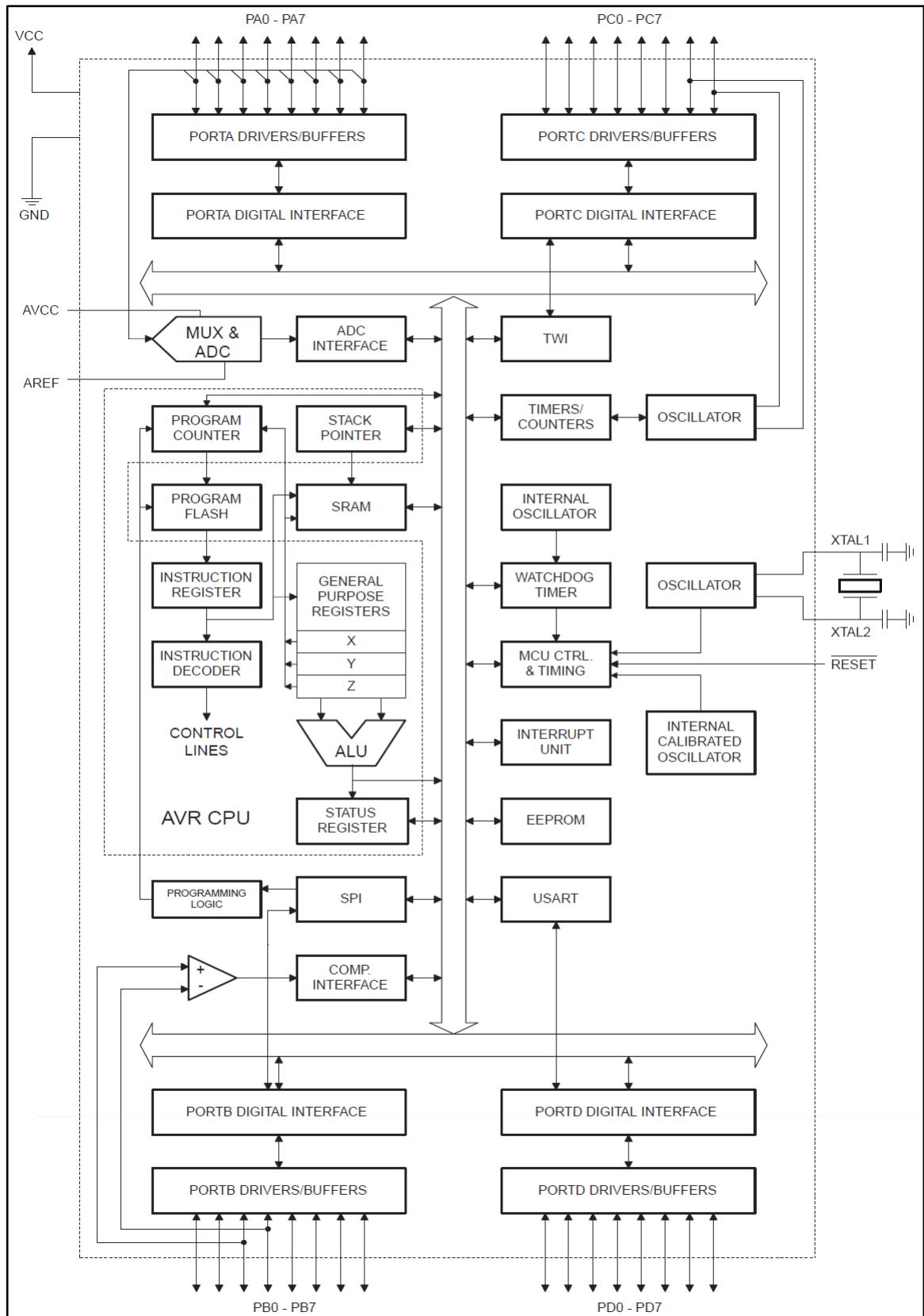
Σχήμα 3.3.9

σαν τον οπλισμό ενός πυκνωτή, όταν λοιπόν εφαρμόζεται η θετική τάση προκαλεί τα ηλεκτρόνια των αρνητικών ιόντων της p περιοχής να κινούνται ελεύθερα κατά μήκος της επαφής. Δημιουργείται έτσι ένα στρώμα ελεύθερων ηλεκτρονίων το οποίο υπό την τάση της πηγής επιτρέπει τη διέλευση των ηλεκτρονίων από τη πηγή στον απαγωγό. Η ελάχιστη τάση που προκαλεί το ροή του ρεύματος σε ένα Mosfet ονομάζεται **τάση κατωφλίου** και η τιμή της εξαρτάται από τον τύπο του Mosfet. Με

ένα κατάλληλα συνδεδεμένο Mosfet λοιπόν μπορεί να μετατραπεί η μικρή ισχύς ενός μικροελεγκτή σε μία αρκετά μεγαλύτερη. Στο σχήμα 3.3.9 φαίνεται μία πιθανή συνδεσμολογία για αυτόν τον σκοπό.

3.4 Ο Μικροελεγκτής

Για να δοθεί μία λειτουργική περιγραφή για το τι είναι τελικά ένας μικροελεγκτής, πρέπει αρχικά να δοθεί μία περιγραφή για τον μικροεπεξεργαστή και τον μικροϋπολογιστή. Με αυτή τη λογική λοιπόν, ένας **μικροεπεξεργαστής** είναι ουσιαστικά μία ψηφιακή μονάδα κεντρικής επεξεργασίας υλοποιημένη μέσα σε ένα ολοκληρωμένο (IC). Σε αυτόν μπορούν να γίνουν μαθηματικές και λογικές πράξεις, ολισθήσεις δεδομένων και άλλες λειτουργίες. Ένας μικροεπεξεργαστής όμως χρειάζεται υποστήριξη από διάφορες άλλες περιφερειακές συσκευές ώστε να πραγματοποιήσει το λειτουργικό σκοπό του. Για την υλοποίηση λοιπόν ενός κυκλώματος με βάση έναν μικροεπεξεργαστή πρέπει ο τελευταίος να συνοδεύεται από μία μνήμη EPROM στην οποία θα γίνει η αποθήκευση του προγράμματος, μία μνήμη RAM για την προσωρινή αποθήκευση των διαφόρων μεταβλητών και αποτελεσμάτων καθώς επίσης και κάποιων περιφερειακών μονάδων εισόδου – εξόδου για τη σύνδεση του κυκλώματος με το περιβάλλον του (πχ. με μία οθόνη ή ένα πληκτρολόγιο). Ένα κύκλωμα αυτής της φιλοσοφίας, με τον μικροεπεξεργαστή και τις περιφερειακές μονάδες ονομάζεται **μικροϋπολογιστής**. Επεκτείνοντας τη παραπάνω λογική, όταν όλες οι παραπάνω μονάδες που αποτελούν έναν μικροϋπολογιστή τοποθετηθούν μέσα στο «σώμα» του ίδιου του ολοκληρωμένου κυκλώματος, η διάταξη που προκύπτει καλείται **μικροελεγκτής**. Υπάρχουν πολλές κατασκευαστικές εταιρείες οι οποίες διαθέτουν μικροελεγκτές όπως η Motorola, η Hitachi, η Texas Instruments, η Atmel, η Toshiba, η Phillips και πολλές άλλες. Για το κύκλωμα της παρούσας πτυχιακής εργασίας έχει επιλεγεί η οικογένεια AVR της Atmel και ειδικότερα, ο μικροελεγκτής ATMega16. Ο συγκεκριμένος μικροελεγκτής διαθέτει μερικές περιφερειακές συσκευές, όπως αυτή του μετατροπέα από αναλογικό σε ψηφιακό, οι οποίες βοηθούν στην υλοποίηση του κυκλώματος.



Σχήμα 3.4.1

Στο Σχήμα 3.4.1 φαίνεται το διάγραμμα λειτουργίας (block diagram) του μικροελεγκτή. Οι βασικές μονάδες οι οποίες αποτελούν τον μικροελεγκτή της παρούσας εργασίας είναι:

Μονάδα κεντρικής επεξεργασίας

Η μονάδα κεντρικής επεξεργασίας CPU (Central Processing Unit), αποτελεί την «καρδιά» ενός μικροελεγκτή. Εκτελεί ανάκληση δεδομένων από τη μνήμη προγράμματος υπό τη μορφή εντολών, αποκωδικοποιεί τις εντολές αυτές και στη συνέχεια τις εκτελεί. Η μονάδα CPU αποτελείται από καταχωρητές (registers), την αριθμητική λογική μονάδα (Arithmetic Logic Unit, ALU), τον αποκωδικοποιητή εντολών (instruction decoder) και διάφορα κυκλώματα ελέγχου.

Μνήμη προγράμματος

Στην μνήμη προγράμματος αποθηκεύονται οι εντολές που σχηματίζουν τον κορμό του προγράμματος. Για την χρήση μεγαλύτερων σε μήκος προγραμμάτων, το είδος της μνήμης αυτής μπορεί να χωριστεί σε *εσωτερική μνήμη προγράμματος* και *εξωτερική μνήμη προγράμματος*. Η μνήμη προγράμματος συναντάται σε διάφορους τύπους όπως αυτόν της EEPROM (Ηλεκτρικά Επαναπρογραμματιζόμενη Μνήμη Μόνο Ανάγνωσης ή **E**lectrically **E**rasable **P**rogrammable **R**ead **O**nly **M**emory), την EPROM (**E**rasable **P**rogrammable **R**ead **O**nly **M**emory), τη μνήμη ταχείας αποθήκευσης (Flash Memory), τη μνήμη ROM τύπου μάσκας (Mask ROM) και τη μνήμη Μη – αναστρέψιμου προγραμματισμού (**O**n **T**ime **P**rogrammable ή OTP).

Μνήμη RAM

Η Μνήμη Τυχαίας Προσπέλασης (Random Access Memory), αποτελεί τη μνήμη δεδομένων του μικροελεγκτή, δηλαδή χρησιμοποιείται από το μικροελεγκτή για την αποθήκευση δεδομένων. Η CPU χρησιμοποιεί τη μνήμη RAM για την αποθήκευση μεταβλητών καθώς επίσης και την λεγόμενη Στοιβά (Stack). Η Στοιβά χρησιμοποιείται από τη CPU για την προσωρινή αποθήκευση των λεγομένων διευθύνσεως επιστροφής με σκοπό να συνεχίσει την εκτέλεση του προγράμματος που είχε διακοπεί για την εξυπηρέτηση κάποιας υπορουτίνας (Subroutine) ή κάποιας ρουτίνας διακοπής (Interrupt Routine).

Ταλαντωτής Χρονισμού

Ο μικροελεγκτής εκτελεί ένα πρόγραμμα όπως αυτό εμφανίζεται μέσα στη μνήμη προγράμματος με έναν καθορισμένο ρυθμό. Ο ρυθμός αυτός καθορίζεται από τη συχνότητα λειτουργίας του ταλαντωτή χρονισμού. Ο ταλαντωτής χρονισμού (Clock Oscillator) μπορεί να είναι ένας εσωτερικός ταλαντωτής RC ή ένας ταλαντωτής που υλοποιείται με κάποιο εξωτερικό στοιχείο χρονισμού, όπως για παράδειγμα ένας κρύσταλλος χαλαζία (Quartz), ένα κύκλωμα συντονισμού LC ή ακόμη και ένα απλό κύκλωμα RC. Η λειτουργία του ταλαντωτή ξεκινά σχεδόν αμέσως μετά την εφαρμογή της τάσης τροφοδοσίας.

Κύκλωμα επανατοποθέτησης και Κύκλωμα ανίχνευσης βυθίσεων τάσης

Το κύκλωμα επανατοποθέτησης ή μηδενισμού ή απλά Reset, που διαθέτει ένας μικροελεγκτής, εξασφαλίζει το γεγονός ότι όλες οι εσωτερικές μονάδες και τα κυκλώματα ελέγχου του μικροελεγκτή θα ξεκινήσουν να λειτουργούν κατά την εφαρμογή τροφοδοσίας, από κάποια προκαθορισμένη αρχική κατάσταση ενώ όλοι οι καταχωρητές του συστήματος βρίσκονται σε κατάλληλες αρχικές στιγμές. Από την άλλη πλευρά, το κύκλωμα ανίχνευσης βύθισης της τάσης τροφοδοσίας (brownout detector), είναι επίσης εσωτερικό κύκλωμα ελέγχου το οποίο παρακολουθεί συνεχώς το επίπεδο της τάσης τροφοδοσίας και εφόσον ανιχνευτεί κάποια στιγμιαία βύθιση στην τάση αυτή, τότε αυτόματα θέτει τον μικροελεγκτή σε λειτουργία

επανατοποθέτησης, έτσι ώστε να προστατευτούν τα περιεχόμενα των καταχωρητών και της μνήμης από πιθανή καταστροφή ή αλλοίωση, πράγμα που θα οδηγούσε το μικροελεγκτή σε εσφαλμένη λειτουργία.

Σειριακή θύρα επικοινωνίας

Ένα από τα πλέον εύχρηστα συστατικά ενός μικροελεγκτή, αποτελεί η σειριακή θύρα επικοινωνίας. Η θύρα αυτή χρησιμοποιείται για τη επικοινωνία του μικροελεγκτή με διάφορες εξωτερικές διατάξεις υπό τη μορφή σειριακής μετάδοσης δεδομένων. Η θύρα αυτή μπορεί να λειτουργήσει σε οποιαδήποτε ταχύτητα μετάδοσης δεδομένων τυχόν απαιτηθεί. Η λειτουργία της βασίζεται στο ότι λαμβάνει δεδομένα από το μικροελεγκτή, τα οποία ολισθαίνει προς την έξοδο υπό τη μορφή ενός δυαδικού ψηφίου (bit) τη φορά. Εντελώς παρόμοια λαμβάνει δεδομένα από την αντίστοιχη είσοδό της και πάλι με τη μορφή ενός bit τη φορά, σχηματίζοντας έτσι με οκτώ τέτοια bits, μία λέξη του ενός byte, την οποία και αντιγράφει στο εσωτερικό του μικροελεγκτή. Οι σειριακές θύρες απαντώνται σε δύο τύπους, την *ασύγχρονη σειριακή θύρα* και την *σύγχρονη σειριακή θύρα*. Για την λειτουργία μας σύγχρονης σειριακής θύρας απαιτείται και η παρουσία ενός πρόσθετου σήματος χρονισμού (clock), αντίθετα με την ασύγχρονη σειριακή θύρα στην οποία δεν απαιτείται η ύπαρξη ενός τέτοιου σήματος, διότι οι απαραίτητες πληροφορίες συγχρονισμού και χρονισμού γενικότερα, ενσωματώνονται στο σύνολο δεδομένων που μεταδίδονται σειριακά με τη μορφή της διάρκειας εμφάνισης των εκάστοτε bits που αποτελούν την πληροφορία, καθώς επίσης και με τη χρήση πρόσθετων bits με τα οποία σηματοδοτείται η έναρξη και η παύση μίας συγκεκριμένης μετάδοσης (start bit και stop bit, αντίστοιχα).

Ψηφιακή θύρα εισόδου – εξόδου

Ο μικροελεγκτής χρησιμοποιεί τις ψηφιακές θύρες εισόδου – εξόδου με σκοπό την ανταλλαγή δεδομένων από και προς το εξωτερικό περιβάλλον. Σε σύγκριση με μια σειριακή θύρα, με την οποία τα δεδομένα ανταλλάσσονται υπό τη μορφή συρμού με εκπομπή ενός bit τη φορά, η ψηφιακή θύρα εισόδου – εξόδου ανταλλάσσει δεδομένα υπό τη μορφή ομάδων των οκτώ bits ή διαφορετικά του ενός byte.

Αναλογική θύρα εισόδου – εξόδου

Γενικά, είναι δυνατόν να μετατραπεί μία ψηφιακή είσοδος ή έξοδος σε αναλογική χρησιμοποιώντας έναν εξωτερικό μετατροπέα αναλογικού σε ψηφιακό. Ένας τυπικός μικροελεγκτής μπορεί να διαθέτει μία ενσωματωμένη μονάδα μετατροπής ADC ή ακόμη και σε μερικές περιπτώσεις, έναν απλό ενσωματωμένο αναλογικό συγκριτή, ο οποίος χρησιμοποιείται μαζί με κατάλληλο λογισμικό έτσι ώστε να μπορεί να εκτελεί μετατροπές αναλογικού σε ψηφιακό. Οι μετατροπείς αναλογικού σήματος σε ψηφιακό χρησιμοποιούνται για την ανάγνωση δεδομένων από αισθητήρες όπως για παράδειγμα αισθητήρες πίεσης και θερμοκρασίας. Οι αισθητήρες αυτοί συνήθως παράγουν μία τάση η οποία είναι ανάλογη της μετρούμενης φυσικής παραμέτρου. Επίσης μπορούμε να έχουμε και αναλογικές εξόδους, χρησιμοποιώντας κάποιες μονάδες οι οποίες καλούνται Μετατροπείς ψηφιακού σήματος σε αναλογικό (**D**igital to **A**nalog **C**onverter ή DAC). Οι μετατροπείς ψηφιακού σήματος σε αναλογικό χρησιμοποιούνται για την οδήγηση κινητήρων, ειδικών μονάδων απεικόνισης (όπως παλαιότερες οθόνες με μπάρα από LED, γνωστές και με την ονομασία VU-Meter), για την αναπαραγωγή σημάτων ήχου η μουσικής γενικότερα κ.τ.λ.

Χρονιστής

Ένας χρονιστής ή Timer χρησιμοποιείται από το μικροελεγκτή για τον χρονισμό ή την σηματοδότηση διαφόρων γεγονότων, για παράδειγμα, είναι πιθανό ο χρήστης να επιθυμεί να αποστείλει δεδομένα σε μία εξωτερική οθόνη με έναν συγκεκριμένο ρυθμό. Ο χρονιστής χρησιμοποιείται από τον μικροελεγκτή για να παράγει αυτόν τον ζητούμενο ρυθμό. Ένας χρονιστής μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης και για την καταμέτρηση γεγονότων, τα οποία μπορεί να είναι είτε εσωτερικά είτε εξωτερικά. Σε αυτή τη περίπτωση ο χρονιστής καλείται και απλά, Μετρητής (Counter).

Χρονιστής επιτήρησης

Ένας χρονιστής ειδικού σκοπού, ο οποίος συναντάται συχνά στους σύγχρονους μικροελεγκτές, είναι και ο Χρονιστής Επιτήρησης (**WatchDog Timer** ή **WDT**). Ο χρονιστής αυτός χρησιμοποιείται συνήθως για την αποφυγή της πιθανής κατάρρευσης του συστήματος (crash). Η λειτουργία του χρονιστή επιτήρησης του συστήματος έχει ως εξής. Από τη στιγμή που θα ενεργοποιηθεί (ή όπως λέγεται, θα οπλιστεί), λειτουργεί αυξανόμενα ένας εσωτερικός μετρητής σε κάποιον συγκεκριμένο ρυθμό. Αν το πρόγραμμα χρήσης δε μηδενίσει (ή επαναθέσει) το μετρητή αυτόν, τότε κάποια στιγμή θα επέλθει η λεγόμενη υπερχείλιση (Overflow) του παραπάνω μετρητή και θα επανατοποθετηθεί ο μικροελεγκτής (reset). Έτσι όταν χρησιμοποιείται ο χρονιστής επιτήρησης, το πρόγραμμα χρήσης θα πρέπει να είναι εφοδιασμένο με κατάλληλες εντολές, έτσι ώστε σε τακτά χρονικά διαστήματα να μπορεί να μηδενίζει τον χρονιστή WDT, πληροφορώντας τον έτσι ότι το σύστημα εργάζεται και δεν έχει καταρρεύσει. Η λογική αυτής της τεχνικής ελέγχου στηρίζεται στην υπόθεση, ότι αν το πρόγραμμα χρήσης δε μηδενίσει το χρονιστή WDT, αυτό πιθανότατα σημαίνει ότι το πρόγραμμα έχει αποτύχει σε κάποια προσπάθειά του είτε εξαιτίας κατάρρευσης ή γενικότερα κάποιας απρόβλεπτης συμπεριφοράς, οπότε είναι προτιμότερο να εκκινήσει διαδικασία επανατοποθέτησης.

Ρολόι πραγματικού χρόνου

Ένας ακόμη ειδικού σκοπού χρονιστής είναι και το λεγόμενο Ρολόι Πραγματικού Χρόνου (**Real Time Clock** ή **RTC**), του οποίου σκοπός είναι η μέτρηση και η διατήρηση της τρέχουσας ώρας της ημέρας, της ημερομηνίας κ.τ.λ. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την σηματοδότηση συγκεκριμένων γεγονότων με γνώμονα την τρέχουσα ώρα.

Το πλήθος των εντολών που χρησιμοποιούνται ποικίλει ανάλογα με τον τύπο του μικροελεγκτή αλλά και την αρχιτεκτονική βάσει της οποίας σχεδιάστηκε. Έτσι ο μικροελεγκτής της παρούσας εργασίας είναι σχεδιασμένος με το πρότυπο RISC (Reduced Instruction Set Computer ή Υπολογιστής μειωμένου ρεπερτορίου εντολών) και αριθμεί 112 εντολές οι οποίες αναλύονται παρακάτω (Πίνακας 3.4.1):

Instruction Set

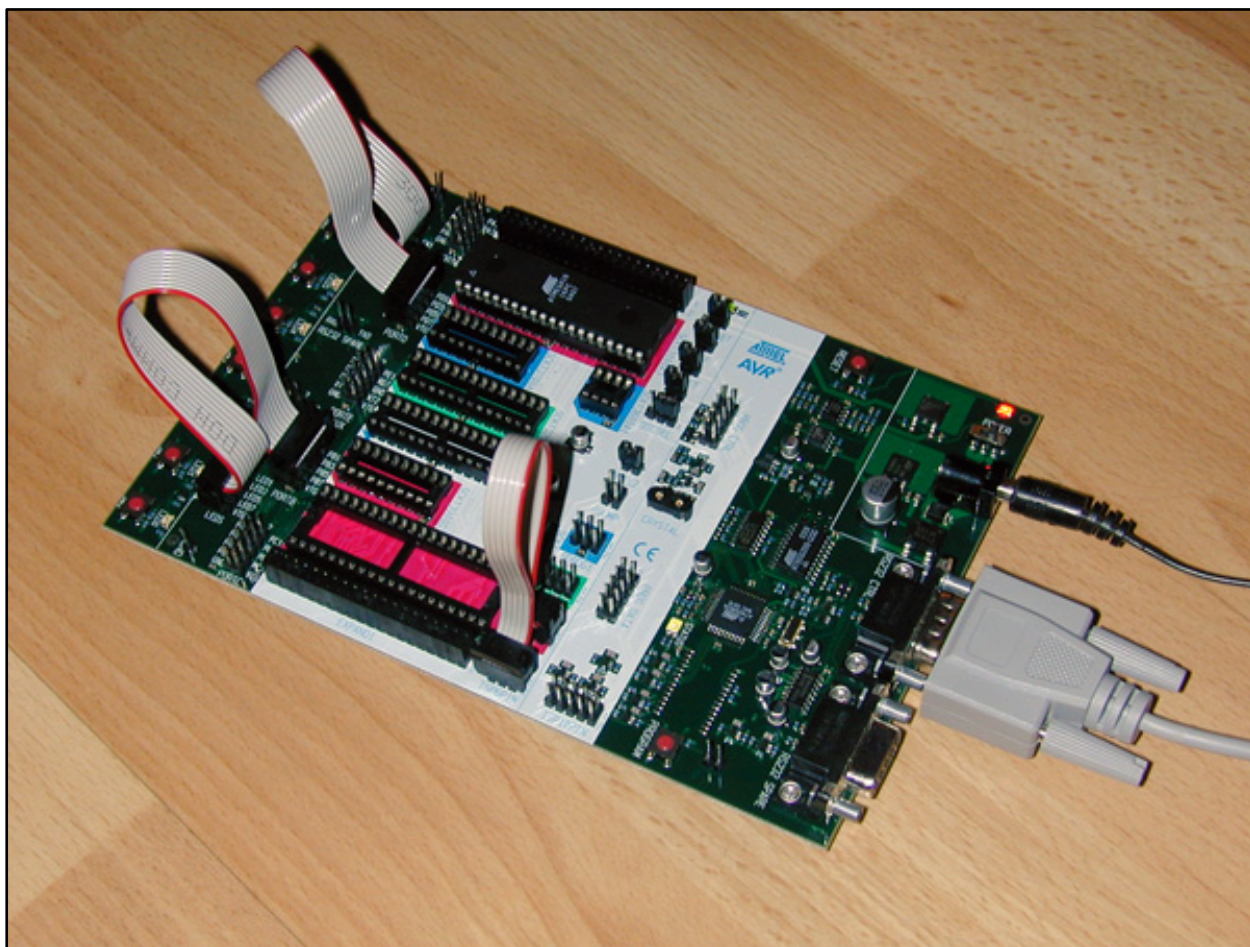
Mnemonics	Operands	Description	Operation	Flags	#Clocks
ARITHMETIC AND LOGIC INSTRUCTIONS					
ADD	Rd, Rr	Add two Registers	$Rd \leftarrow Rd + Rr$	Z,C,N,V,H	1
ADC	Rd, Rr	Add with Carry two Registers	$Rd \leftarrow Rd + Rr + C$	Z,C,N,V,H	1
ADIW	Rdl,K	Add Immediate to Word	$Rdh:Rdl \leftarrow Rdh:Rdl + K$	Z,C,N,V,S	2
SUB	Rd, Rr	Subtract two Registers	$Rd \leftarrow Rd - Rr$	Z,C,N,V,H	1
SUBI	Rd, K	Subtract Constant from Register	$Rd \leftarrow Rd - K$	Z,C,N,V,H	1
SBC	Rd, Rr	Subtract with Carry two Registers	$Rd \leftarrow Rd - Rr - C$	Z,C,N,V,H	1
SBCI	Rd, K	Subtract with Carry Constant from Reg.	$Rd \leftarrow Rd - K - C$	Z,C,N,V,H	1
SBIW	Rdl,K	Subtract Immediate from Word	$Rdh:Rdl \leftarrow Rdh:Rdl - K$	Z,C,N,V,S	2
AND	Rd, Rr	Logical AND Registers	$Rd \leftarrow Rd \bullet Rr$	Z,N,V	1
ANDI	Rd, K	Logical AND Register and Constant	$Rd \leftarrow Rd \bullet K$	Z,N,V	1
OR	Rd, Rr	Logical OR Registers	$Rd \leftarrow Rd \vee Rr$	Z,N,V	1
ORI	Rd, K	Logical OR Register and Constant	$Rd \leftarrow Rd \vee K$	Z,N,V	1
EOR	Rd, Rr	Exclusive OR Registers	$Rd \leftarrow Rd \oplus Rr$	Z,N,V	1
COM	Rd	One's Complement	$Rd \leftarrow \$FF - Rd$	Z,C,N,V	1
NEG	Rd	Two's Complement	$Rd \leftarrow \$00 - Rd$	Z,C,N,V,H	1
SBR	Rd,K	Set Bit(s) in Register	$Rd \leftarrow Rd \vee K$	Z,N,V	1
CBR	Rd,K	Clear Bit(s) in Register	$Rd \leftarrow Rd \bullet (\$FF - K)$	Z,N,V	1
INC	Rd	Increment	$Rd \leftarrow Rd + 1$	Z,N,V	1
DEC	Rd	Decrement	$Rd \leftarrow Rd - 1$	Z,N,V	1
TST	Rd	Test for Zero or Minus	$Rd \leftarrow Rd \bullet Rd$	Z,N,V	1
CLR	Rd	Clear Register	$Rd \leftarrow Rd \oplus Rd$	Z,N,V	1
SER	Rd	Set Register	$Rd \leftarrow \$FF$	None	1
MUL	Rd, Rr	Multiply Unsigned	$R1:R0 \leftarrow Rd \times Rr$	Z,C	2
MULS	Rd, Rr	Multiply Signed	$R1:R0 \leftarrow Rd \times Rr$	Z,C	2
MULSU	Rd, Rr	Multiply Signed with Unsigned	$R1:R0 \leftarrow Rd \times Rr$	Z,C	2
FMUL	Rd, Rr	Fractional Multiply Unsigned	$R1:R0 \leftarrow (Rd \times Rr) \lll 1$	Z,C	2
FMULS	Rd, Rr	Fractional Multiply Signed	$R1:R0 \leftarrow (Rd \times Rr) \lll 1$	Z,C	2
FMULSU	Rd, Rr	Fractional Multiply Signed with Unsigned	$R1:R0 \leftarrow (Rd \times Rr) \lll 1$	Z,C	2
BRANCH INSTRUCTIONS					
RJMP	k	Relative Jump	$PC \leftarrow PC + k + 1$	None	2
IJMP		Indirect Jump to (Z)	$PC \leftarrow Z$	None	2
JMP	k	Direct Jump	$PC \leftarrow k$	None	3
RCALL	k	Relative Subroutine Call	$PC \leftarrow PC + k + 1$	None	3
ICALL		Indirect Call to (Z)	$PC \leftarrow Z$	None	3
CALL	k	Direct Subroutine Call	$PC \leftarrow k$	None	4
RET		Subroutine Return	$PC \leftarrow STACK$	None	4
RETI		Interrupt Return	$PC \leftarrow STACK$	I	4
CPSE	Rd,Rr	Compare, Skip if Equal	if (Rd = Rr) $PC \leftarrow PC + 2$ or 3	None	1 / 2 / 3
CP	Rd,Rr	Compare	$Rd - Rr$	Z, N,V,C,H	1
CPC	Rd,Rr	Compare with Carry	$Rd - Rr - C$	Z, N,V,C,H	1
CPI	Rd,K	Compare Register with Immediate	$Rd - K$	Z, N,V,C,H	1
SBRC	Rr, b	Skip if Bit in Register Cleared	if (Rr(b)=0) $PC \leftarrow PC + 2$ or 3	None	1 / 2 / 3
SBRS	Rr, b	Skip if Bit in Register is Set	if (Rr(b)=1) $PC \leftarrow PC + 2$ or 3	None	1 / 2 / 3
SBIC	P, b	Skip if Bit in I/O Register Cleared	if (P(b)=0) $PC \leftarrow PC + 2$ or 3	None	1 / 2 / 3
SBIS	P, b	Skip if Bit in I/O Register is Set	if (P(b)=1) $PC \leftarrow PC + 2$ or 3	None	1 / 2 / 3
BRBS	s, k	Branch if Status Flag Set	if (SREG(s) = 1) then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1 / 2
BRBC	s, k	Branch if Status Flag Cleared	if (SREG(s) = 0) then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1 / 2
BREQ	k	Branch if Equal	if (Z = 1) then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1 / 2
BRNE	k	Branch if Not Equal	if (Z = 0) then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1 / 2
BRCS	k	Branch if Carry Set	if (C = 1) then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1 / 2
BRCC	k	Branch if Carry Cleared	if (C = 0) then $PC \leftarrow PC + k + 1$	None	1 / 2

BRSH	k	Branch if Same or Higher	if (C = 0) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
BRLO	k	Branch if Lower	if (C = 1) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
BRMI	k	Branch if Minus	if (N = 1) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
BRPL	k	Branch if Plus	if (N = 0) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
BRGE	k	Branch if Greater or Equal, Signed	if (N ⊕ V = 0) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
BRLT	k	Branch if Less Than Zero, Signed	if (N ⊕ V = 1) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
BRHS	k	Branch if Half Carry Flag Set	if (H = 1) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
BRHC	k	Branch if Half Carry Flag Cleared	if (H = 0) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
BRTS	k	Branch if T Flag Set	if (T = 1) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
BRTC	k	Branch if T Flag Cleared	if (T = 0) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
BRVS	k	Branch if Overflow Flag is Set	if (V = 1) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
BRVC	k	Branch if Overflow Flag is Cleared	if (V = 0) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
BRIE	k	Branch if Interrupt Enabled	if (I = 1) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
BRID	k	Branch if Interrupt Disabled	if (I = 0) then PC ← PC + k + 1	None	1 / 2
DATA TRANSFER INSTRUCTIONS					
MOV	Rd, Rr	Move Between Registers	Rd ← Rr	None	1
MOVW	Rd, Rr	Copy Register Word	Rd+1:Rd ← Rr+1:Rr	None	1
LDI	Rd, K	Load Immediate	Rd ← K	None	1
LD	Rd, X	Load Indirect	Rd ← (X)	None	2
LD	Rd, X+	Load Indirect and Post-Inc.	Rd ← (X), X ← X + 1	None	2
LD	Rd, -X	Load Indirect and Pre-Dec.	X ← X - 1, Rd ← (X)	None	2
LD	Rd, Y	Load Indirect	Rd ← (Y)	None	2
LD	Rd, Y+	Load Indirect and Post-Inc.	Rd ← (Y), Y ← Y + 1	None	2
LD	Rd, -Y	Load Indirect and Pre-Dec.	Y ← Y - 1, Rd ← (Y)	None	2
LDD	Rd, Y+q	Load Indirect with Displacement	Rd ← (Y + q)	None	2
LD	Rd, Z	Load Indirect	Rd ← (Z)	None	2
LD	Rd, Z+	Load Indirect and Post-Inc.	Rd ← (Z), Z ← Z+1	None	2
LD	Rd, -Z	Load Indirect and Pre-Dec.	Z ← Z - 1, Rd ← (Z)	None	2
LDD	Rd, Z+q	Load Indirect with Displacement	Rd ← (Z + q)	None	2
LDS	Rd, k	Load Direct from SRAM	Rd ← (k)	None	2
ST	X, Rr	Store Indirect	(X) ← Rr	None	2
ST	X+, Rr	Store Indirect and Post-Inc.	(X) ← Rr, X ← X + 1	None	2
ST	-X, Rr	Store Indirect and Pre-Dec.	X ← X - 1, (X) ← Rr	None	2
ST	Y, Rr	Store Indirect	(Y) ← Rr	None	2
ST	Y+, Rr	Store Indirect and Post-Inc.	(Y) ← Rr, Y ← Y + 1	None	2
ST	-Y, Rr	Store Indirect and Pre-Dec.	Y ← Y - 1, (Y) ← Rr	None	2
STD	Y+q, Rr	Store Indirect with Displacement	(Y + q) ← Rr	None	2
ST	Z, Rr	Store Indirect	(Z) ← Rr	None	2
ST	Z+, Rr	Store Indirect and Post-Inc.	(Z) ← Rr, Z ← Z + 1	None	2
ST	-Z, Rr	Store Indirect and Pre-Dec.	Z ← Z - 1, (Z) ← Rr	None	2
STD	Z+q, Rr	Store Indirect with Displacement	(Z + q) ← Rr	None	2
STS	k, Rr	Store Direct to SRAM	(k) ← Rr	None	2
LPM		Load Program Memory	R0 ← (Z)	None	3
LPM	Rd, Z	Load Program Memory	Rd ← (Z)	None	3
LPM	Rd, Z+	Load Program Memory and Post-Inc	Rd ← (Z), Z ← Z+1	None	3
SPM		Store Program Memory	(Z) ← R1:R0	None	-
IN	Rd, P	In Port	Rd ← P	None	1
OUT	P, Rr	Out Port	P ← Rr	None	1
PUSH	Rr	Push Register on Stack	STACK ← Rr	None	2
POP	Rd	Pop Register from Stack	Rd ← STACK	None	2
BIT AND BIT-TEST INSTRUCTIONS					
SBI	P, b	Set Bit in I/O Register	I/O(P, b) ← 1	None	2
CBI	P, b	Clear Bit in I/O Register	I/O(P, b) ← 0	None	2
LSL	Rd	Logical Shift Left	Rd(n+1) ← Rd(n), Rd(0) ← 0	Z, C, N, V	1
LSR	Rd	Logical Shift Right	Rd(n) ← Rd(n+1), Rd(7) ← 0	Z, C, N, V	1
ROL	Rd	Rotate Left Through Carry	Rd(0) ← C, Rd(n+1) ← Rd(n), C ← Rd(7)	Z, C, N, V	1
ROR	Rd	Rotate Right Through Carry	Rd(7) ← C, Rd(n) ← Rd(n+1), C ← Rd(0)	Z, C, N, V	1
ASR	Rd	Arithmetic Shift Right	Rd(n) ← Rd(n+1), n=0..6	Z, C, N, V	1
SWAP	Rd	Swap Nibbles	Rd(3..0) ← Rd(7..4), Rd(7..4) ← Rd(3..0)	None	1
BSET	s	Flag Set	SREG(s) ← 1	SREG(s)	1
BCLR	s	Flag Clear	SREG(s) ← 0	SREG(s)	1
BST	Rr, b	Bit Store from Register to T	T ← Rr(b)	T	1

BLD	Rd, b	Bit load from T to Register	Rd(b) ← T	None	1
SEC		Set Carry	C ← 1	C	1
CLC		Clear Carry	C ← 0	C	1
SEN		Set Negative Flag	N ← 1	N	1
CLN		Clear Negative Flag	N ← 0	N	1
SEZ		Set Zero Flag	Z ← 1	Z	1
CLZ		Clear Zero Flag	Z ← 0	Z	1
SEI		Global Interrupt Enable	I ← 1	I	1
CLI		Global Interrupt Disable	I ← 0	I	1
SES		Set Signed Test Flag	S ← 1	S	1
CLS		Clear Signed Test Flag	S ← 0	S	1
SEV		Set Twos Complement Overflow	V ← 1	V	1
CLV		Clear Twos Complement Overflow	V ← 0	V	1
SET		Set T in SREG	T ← 1	T	1
CLT		Clear T in SREG	T ← 0	T	1
SEH		Set Half Carry Flag in SREG	H ← 1	H	1
CLH		Clear Half Carry Flag in SREG	H ← 0	H	1
MCU CONTROL INSTRUCTIONS					
NOP		No Operation		None	1
SLEEP		Sleep	(see Sleep function)	None	1
WDR		Watchdog Reset	(see WDR/timer)	None	1
BREAK		Break	For On-Chip Debug Only	None	N/A

Πίνακας 3.4.1

Για να προγραμματιστεί ένας μικροελεγκτής χρειάζεται ένα λογισμικό ανάπτυξης σε υπολογιστή και ένα ενδιάμεσο ηλεκτρονικό κύκλωμα το οποίο συνδεδεμένο με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή θα μεταφέρει το πρόγραμμα στην εσωτερική μνήμη του μικροελεγκτή. Το λογισμικό παρέχεται δωρεάν από την εταιρεία κατασκευής του μικροελεγκτή, ATMEL και είναι διαθέσιμο στην επίσημη ιστοσελίδα της. Ονομάζεται **AVR Studio** και παρέχει μεταξύ άλλων τέσσερις βασικές λειτουργίες. Διατίθεται λοιπόν ένας κειμενογράφος ο οποίος χρησιμεύει στην ανάπτυξη του προγράμματος (αξίζει να σημειωθεί ότι ο κειμενογράφος είναι προαιρετικός και σε κάποιες εκδόσεις του λογισμικού δεν υπάρχει μιας και αυτήν την λειτουργία μπορεί να καλύψει και το Σημειωματάριο των Windows). Ένα εικονικό σύστημα εξομίωσης το οποίο λειτουργεί στο περιβάλλον του ηλεκτρονικού υπολογιστή και πληροφορεί τον χρήστη για το αποτέλεσμα που θα έχει το πρόγραμμα εφαρμοζόμενο στον μικροελεγκτή. Ένας κωδικοποιητής ο οποίος μετατρέπει το κείμενο εντολών το οποίο έχει εισάγει ο προγραμματιστής σε ένα αρχείο δυαδικής μορφής, κατάλληλο για να εγγραφθεί στη μνήμη του μικροελεγκτή. Τέλος περιλαμβάνει το λογισμικό της σειριακής διασύνδεσης με την κατάλληλη ηλεκτρονική πλακέτα, την οποία επίσης μπορεί κάποιος να προμηθευτεί από την ίδια την εταιρεία, ώστε να αποθηκευτεί το πρόγραμμα στον μικροελεγκτή. Η προαναφερθείσα ηλεκτρονική πλακέτα, είναι ουσιαστικά ένα ενδιάμεσο κύκλωμα πάνω στο οποίο συνδέεται ο μικροελεγκτής και το οποίο με τη σειρά του συνδέεται στον υπολογιστή μέσω της σειριακής θύρας (κάποια κυκλώματα αυτού του τύπου έχουν τη δυνατότητα της USB σύνδεσης με τον ηλεκτρονικό υπολογιστή). Για την συγκεκριμένη εργασία χρησιμοποιήθηκε το **ATMEL STK500 AVR Tool** το οποίο έχει τη δυνατότητα να προγραμματίσει ένα μεγάλο πλήθος οκτάμπιτων επεξεργαστών της σειράς AVR. Το εν λόγω interface περιλαμβάνει μεταξύ άλλων και οκτώ LEDs για την απεικόνιση των bit μίας το πολύ θύρας εξόδου, οκτώ διακόπτες τύπου Push για την εισαγωγή δεδομένων σε μία το πολύ θύρα εισόδου, εξωτερικό σύστημα ταλαντωτή χρονισμού με κύκλωμα RC αλλά και με κρύσταλλο χαλαζία (προαιρετικά) κ.α. Στην εικόνα 3.4.1 φαίνεται το interface STK500 σε λειτουργία.



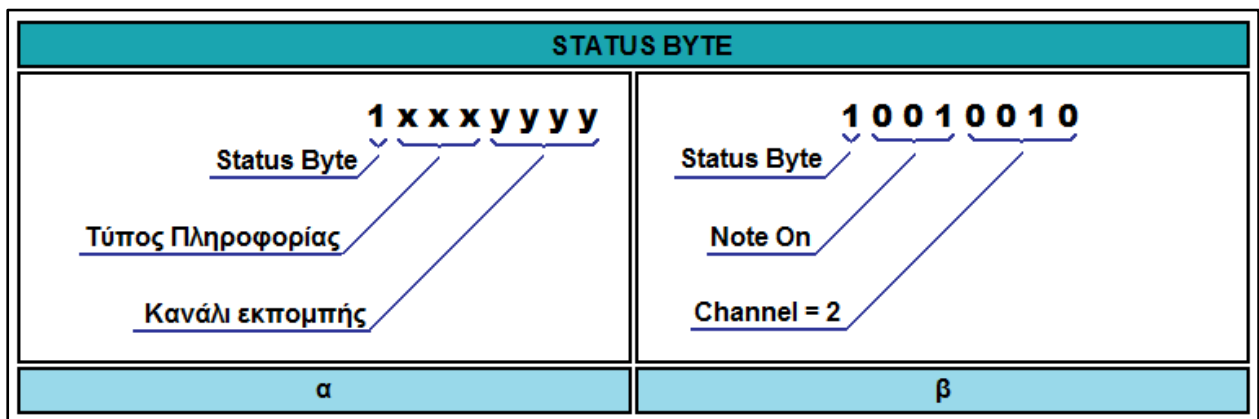
Εικόνα 3.4.1

Διακρίνονται τα καλώδια τροφοδοσίας (μαύρο) και σειριακής διασύνδεσης (γκρι δεξιά), οι καλωδιωταινίες η οποίες χρησιμεύουν στη σύνδεση των LED και των διακοπών με τον μικροελεγκτή καθώς και για τη μεταφορά των σειριακών δεδομένων από το ολοκληρωμένο προγραμματισμού στον μικροελεγκτή και η συστοιχία των οκτώ Led και των διακοπών στα αριστερά της πλακέτας.

3.5 Musical Instruments Digital Interface (M.I.D.I.)

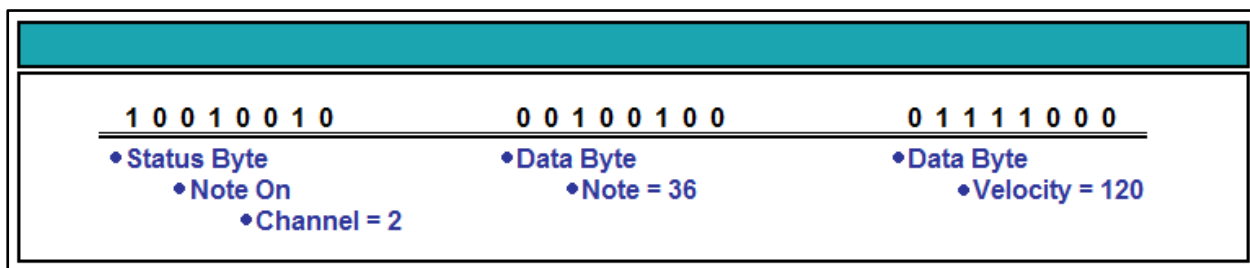
Σε προηγούμενο κεφάλαιο έγινε μία πρώτη εισαγωγή στο πρωτόκολλο Midi. Ακολουθεί μία εκτενέστερη ανάλυση, αναγκαία για την κατανόηση της λειτουργίας του ψηφιακού μετατροπέα της παρούσας συσκευής. Όπως αναφέρθηκε λοιπόν και παραπάνω (Παράγραφος 1.2) το πρωτόκολλο MIDI είναι ουσιαστικά μία ψηφιακή «γλώσσα» επικοινωνίας μεταξύ μουσικών συσκευών και όχι μόνο. Με το Midi δε μεταφέρεται ήχος αλλά μόνο οι πληροφορίες που αφορούν τον τρόπο εκτέλεσης ενός μουσικού οργάνου. Αυτό επιτυγχάνεται με κατάλληλα διαμορφωμένα ηλεκτρονικά όργανα τα οποία μετατρέπουν τις κινήσεις του μουσικού σε ψηφιακές πληροφορίες (MIDI). Οι πληροφορίες στη συνέχεια διαβιβάζονται μέσω ενός διπολικού καλωδίου στη γεννήτρια του ήχου η οποία παράγει το ηχητικό άκουσμα που τους αντιστοιχεί. Είναι μία ψηφιακή τεχνολογία, χρησιμοποιεί το δυαδικό σύστημα και μεταφέρει τα δεδομένα με τη μορφή bytes των οκτώ bits.

Τα είδη των bytes που αποστέλλονται ή λαμβάνονται από μία MIDI συσκευή χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες : τα **DATA** και τα **STATUS**. Τα Status Bytes προηγούνται πάντα των Data σε σειρά αποστολής και λήψης και είναι αυτά που καθορίζουν τα ποιοτικά χαρακτηριστικά του μηνύματος. Δηλαδή ένα Status Byte καθορίζει αν το μήνυμα που εισέρχεται σε μία συσκευή αφορά για παράδειγμα την εκτέλεση μίας νότας ή την κίνηση ενός ποτενσιόμετρου ή είναι μία μεμονωμένη εντολή RESET για όλο το σύστημα. Όταν οι εντολές αφορούν το σύστημα και όχι τη μουσική ερμηνεία, το μήνυμα αποτελείται μόνο από ένα Status Byte ενώ όταν μεταφέρει πληροφορίες μουσικής ερμηνείας, το Status Byte ακολουθείται από ένα ή δύο Data Bytes. Το πρώτο bit λοιπόν καθενός byte καθορίζει και τον τύπο του. Αν πρόκειται για Status Byte παίρνει την τιμή 1 ενώ αν πρόκειται για Data Byte την τιμή 0.



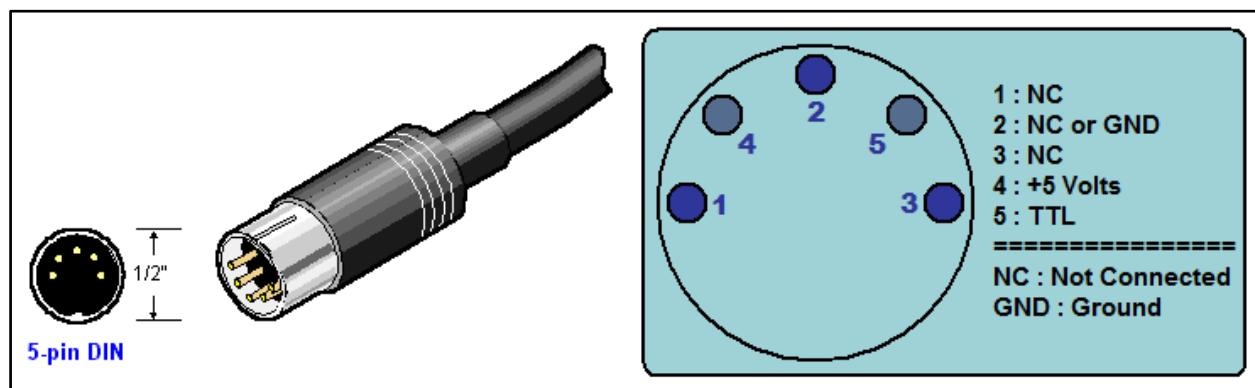
Σχήμα 3.5.1

Στο Σχήμα 3.5.1.α φαίνεται η δομή ενός Status Byte. Το πρώτο bit αναφέρθηκε και παραπάνω καθορίζει αν πρόκειται για Status ή για Data Byte. Τα τρία επόμενα bits καθορίζουν τον τύπο της πληροφορίας, για παράδειγμα μπορεί η πληροφορία να αφορά την εκτέλεση μίας νότας ή την κίνηση ενός ποτενσιόμετρου. Με τα τρία διαθέσιμα bits μπορούμε να κάνουμε οκτώ διαφορετικούς συνδυασμούς (Παράγραφος 3.1) οπότε γίνεται αντιληπτό ότι υπάρχουν μόνο οκτώ τύποι πληροφορίας για τα Status Bytes. Τα τελευταία τέσσερα bits αφορούν το κανάλι εκπομπής και εφόσον διατίθενται τέσσερα bits, τα διαθέσιμα κανάλια θα είναι δεκαέξι. Στο Σχήμα 3.5.1.β φαίνεται ένα παράδειγμα. Η τριάδα 001 βάσει της κωδικοποίησης του MIDI πρωτοκόλλου σημαίνει ότι πρόκειται για ένα μήνυμα που αφορά την εκτέλεση μίας νότας ενώ τα τελευταία τέσσερα bits 0010 καθορίζουν ότι αυτή η εκτέλεση αφορά το κανάλι 2. Αυτό το μήνυμα μπορεί να το λάβουν πολλές συσκευές αλλά μόνο αυτή που έχει προγραμματιστεί για το κανάλι 2 θα αξιοποιήσει την πληροφορία. Στο παράδειγμα (β) του σχήματος το συγκεκριμένο Status Byte θα ακολουθείται από δύο Data Bytes. Το πρώτο περιλαμβάνει τη νότα που εκτελέστηκε και το δεύτερο τη δυναμική με την οποία εκτελέστηκε. Έτσι το συνολικό μήνυμα που θα εκπέμψει μία συσκευή για να πληροφορήσει τη γεννήτρια του καναλιού 2 να εκτελέσει τη νότα NTO 3 σε δυναμική 120 / 127 θα είναι (Σχήμα 3.5.2) :



Σχήμα 3.5.2

Για καθοριστεί αν ένα Byte είναι Data ή Status χρησιμοποιείται το πρώτο bit, όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Αυτό σημαίνει ότι τα διαθέσιμα bits που αφορούν την πληροφορία μειώνονται σε επτά, συνεπώς ο μέγιστος αριθμός που μπορεί να αποσταλεί είναι ο 127 (Αφού $0000000_{bin} = 0_{dec}$ & $1111111_{bin} = 127_{dec}$, Παράγραφος 3.1). Άρα η εκτέλεση για παράδειγμα της νότας 128 ή μεγαλύτερης είναι αδύνατον να πραγματοποιηθεί. Εκτός από την εντολή Note On υπάρχει και η εντολή Note Off η οποία σηματοδοτεί με την εμφάνισή της το τέλος εκτέλεσης μίας νότας. Δηλαδή η διάρκεια εκτέλεσης μίας νότας πλαισιώνεται από ένα μήνυμα Note On στην αρχή και ένα μήνυμα Note Off στο τέλος. Για τη λειτουργία όλων των μουσικών οργάνων, αυτός ο συνδυασμός είναι απαραίτητος, για τα κρουστά όργανα όμως η πληροφορία διακοπής εκτέλεσης δεν έχει συνήθως χρησιμότητα, αφού ένας κρουστός ήχος έχει καθορισμένη διάρκεια στην οποία δεν επεμβαίνει ο ερμηνευτής. Ειδικά οι κρουστοί ήχοι μικρής διάρκειας όπως ο ήχος ενός τυμπάνου drums, είναι αδύνατον να ελεγχθούν όσον αφορά τη διάρκεια, κατά την ερμηνεία ενός μουσικού έργου. Έτσι, η μόνη εντολή που χρειάζεται να αναγνωρίζεται η συσκευή της παρούσας εργασίας είναι η εντολή Note On.



Σχήμα 3.5.3

Στην ηλεκτρονική του έκφραση το MIDI αρκείται σε δύο αγωγούς, δηλαδή σε ένα διπολικό καλώδιο για την μετάδοσή του. Παρόλα αυτά, οι σχεδιαστές του πρωτοκόλλου, το εφοδίασαν με ένα πενταπολικό καλώδιο, το οποίο περιγράφεται ως **5 pin DIN** και είναι το ίδιο με αυτό που χρησιμοποιείται παλαιότερα για τα πληκτρολόγια των ηλεκτρονικών υπολογιστών (Εικόνα 3.5.1). Ο λόγος που χρησιμοποίησαν πενταπολικό καλώδιο ήταν για να προσδώσουν στο νέο αυτό πρωτόκολλο τη δυνατότητα της μελλοντικής αναβάθμισης. Πράγματι κάποιες εταιρείες χρησιμοποίησαν το pin 2 ως γείωση (Ground) ενώ κάποιες άλλες εκμεταλλεύτηκαν και τα πέντε pin για τις ιδιαίτερες λειτουργίες των συσκευών τους. Στο Σχήμα 3.5.3 φαίνεται η διάταξη των pin σε ένα βύσμα αυτού του τύπου, καθώς και η αρίθμηση αυτών. Σε κάθε βύσμα ή καλώδιο στην αγορά μπορεί κάποιος να διακρίνει αυτούς τους αριθμούς οι οποίοι είναι τυπωμένοι στην έσω πλευρά του

βύσματος. Το MIDI χρησιμοποιεί το pin 4 και το pin 5 για την μετάδοσή του. Το pin 4 παρέχει μόνιμα μία τάση των 5 volts, ενώ το pin 5 εναλλάσσεται μεταξύ 0 και 5 volts έτσι όπως ορίζει το MIDI μήνυμα που αποστέλλεται. Η ένδειξη TTL στο σχήμα 3.5.3 εκφράζει ακριβώς αυτή την ιδιότητα, την εναλλαγή δηλαδή μεταξύ των δύο τάσεων οι οποίες αναπαριστούν τελικά τους δυαδικούς αριθμούς που μεταδίδονται. Όταν λοιπόν πρέπει να μεταδοθεί ένα ψηφίο 0 τότε το pin 5 αποκτά μία τάση ίση με 5 volt με αποτέλεσμα η διαφορά δυναμικού μεταξύ των pin 4 και 5 να είναι ίση με το μηδέν. Αντιθέτως, όταν πρέπει να μεταδοθεί το ψηφίο 1, τότε το pin 5 γειώνεται με αποτέλεσμα να έχουμε μία διαφορά δυναμικού στα pin 4 και 5 η οποία επιτρέπει τη ροή ρεύματος. Δηλαδή τα ψηφία 1 και 0 του δυαδικού συστήματος αντιστοιχούν στην ύπαρξη ή όχι διαφοράς δυναμικού μεταξύ των δύο προαναφερθέντων pin.

Η ταχύτητα μετάδοσης του Midi μηνύματος ονομάζεται Baud Rate, συμβολίζεται ως BAUD και ισούται με **BAUD = 31250 bps** (bits per second). Το κάθε byte που αποστέλλεται πλαισιώνεται από δύο bit ελέγχου, το Start Bit και το Stop Bit. Τα τελευταία ενημερώνουν τη συσκευή λήψης για τη αρχή και το τέλος του κάθε μηνύματος. Το Start Bit είναι πάντα ίσο με 1 και το Stop Bit με 0.

Αν υποθεθεί ότι αποστέλλεται από μία συσκευή ένα μήνυμα Note On το οποίο αποτελείται από 3τρία bytes, τότε ο συνολικός αριθμός των bit τα οποία θα διαδοθούν θα είναι 30. Από την αναλογία $tm / 1 \text{ sec} = 30 \text{ bps} / 31250 \text{ bps}$ μπορεί να υπολογισθεί ο χρόνος αποστολής ενός Note On ο οποίος ισούται με : 0,00096 sec ή **NoteOn = 960 ns**. Με την ίδια μέθοδο υπολογίζεται ότι μέσω MIDI αποστέλλεται ένα bit κάθε 32 ns.

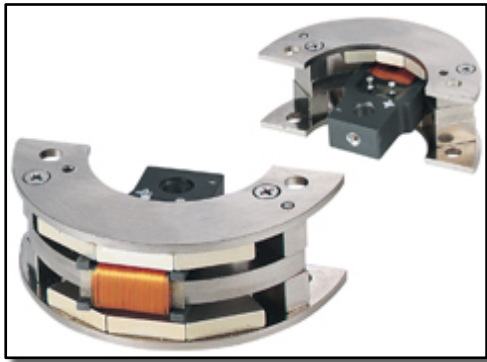
Ηλεκτρομηχανικός Βραχίονας, Κατασκευή

4.1 Έρευνα και μοντελοποίηση του βραχίονα

Για να επιτευχθεί μία λειτουργική και ταυτόχρονα πραγματοποιήσιμη σχεδίαση του βραχίονα έπρεπε αρχικά να υπάρχει ένα μοντέλο πάνω στο οποίο θα γίνονταν οι απαραίτητες τροποποιήσεις. Το ζητούμενο ήταν ένα ηλεκτρομηχανικό σύστημα το οποίο θα μπορούσε να κρούει ένα τύμπανο υπό κάποιες προϋποθέσεις. Μία πρώτη και σημαντική απαίτηση ήταν η αθόρυβη λειτουργία, δεδομένου ότι η συσκευή προορίζεται για ηχογράφηση με μικρόφωνα. Αν κατά τη λειτουργία της συσκευής παραγόταν κάποιος θόρυβος, αυτός θα καταγραφόταν μέσω των μικροφώνων στην ηχογράφηση του τυμπάνου με αποτέλεσμα ένα μη ικανοποιητικό αποτέλεσμα. Μία δεύτερη απαίτηση ήταν η γρήγορη απόκριση, από τη στιγμή της λήψης του MIDI μηνύματος ως την κρούση του τυμπάνου. Οι δύο πρώτες απαιτήσεις δεν αφήνουν περιθώρια για τη χρήση ενός ηλεκτροκινητήρα σε συνδυασμό με ένα μηχανικό σύστημα μετατροπής της κυκλικής κίνησης σε κρούση. Ένας ηλεκτροκινητήρας κατά την περιστροφή του ρότορα παράγει έναν χαρακτηριστικό ήχο ο οποίος είναι ανεπιθύμητος σε μία ηχογράφηση, το ίδιο και τα μηχανικά μέρη τα οποία όσο πιο πολύπλοκα είναι τόσο πιο πολύ θόρυβο παράγουν κατά την κίνησή τους. Επίσης, ένας ηλεκτροκινητήρας έχει πολύ αργή απόκριση σε σχέση με άλλες ηλεκτρομηχανικές συσκευές. Μία τρίτη απαίτηση ήταν η φύση του υλικού που θα ερχόταν σε επαφή με τη μεμβράνη (δέρμα) του τυμπάνου. Ένα σετ Drums εκτελείται με μπαγκέτες η οποίες έχουν ξύλινο σώμα και στο τελειώμά τους αποτελούνται από ένα στρογγυλοποιημένο τμήμα ξύλου ή πλαστικού που αποτρέπει τον τραυματισμό της μεμβράνης (Εικόνα 4.1.1).



Εικόνα 4.1.1



Εικόνα 4.1.2

Η χρήση ξύλινου σώματος και ξύλινου ή πλαστικού τελειώματος στις μπαγκέτες έχει σημαντική επίδραση στον παραγόμενο ήχο συνεπώς το σύστημα θα έπρεπε να περιλαμβάνει αυτά τα υλικά και μάλιστα σε αρμονία με τα υπόλοιπα μηχανικά μέρη. Επίσης το σύστημα θα έπρεπε να υποστηρίξει την εκτέλεση σε διαφορετικές δυναμικές ανάλογα με τις απαιτήσεις του μουσικού έργου. Ένα σύστημα που διαθέτει τις παραπάνω ιδιότητες είναι το λεγόμενο **Rotary Voice Coil Actuator** (Στα Ελληνικά δεν υπάρχει ακριβής

μετάφραση αλλά προσεγγίζεται ως: Ενεργοποιητής κυκλικής τροχιάς κίνησης με χρήση πηνίου φωνής). Ένα τέτοιο σύστημα φαίνεται στην Εικόνα 4.1.2.

Δύο μαγνήτες τοποθετούνται αντικριστά, με τους πόλους αντίθετα ώστε να έλκονται και διατηρούνται σε μία απόσταση. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργείται ένα σχεδόν ομογενές μαγνητικό πεδίο. Ενδιάμεσα από τους δύο μαγνήτες υπάρχει ένα κανάλι το οποίο «εξαναγκάζει» το πηνίο που παρεμβάλλεται μεταξύ των μαγνητών να κινηθεί στην τροχιά που ορίζει ο σκελετός. Το κινητό μέρος ενός Rotary Voice Coil Actuator έχει ένα σταθερό κέντρο περιστροφής το οποίο αποτελείται από ένα ρουλεμάν.

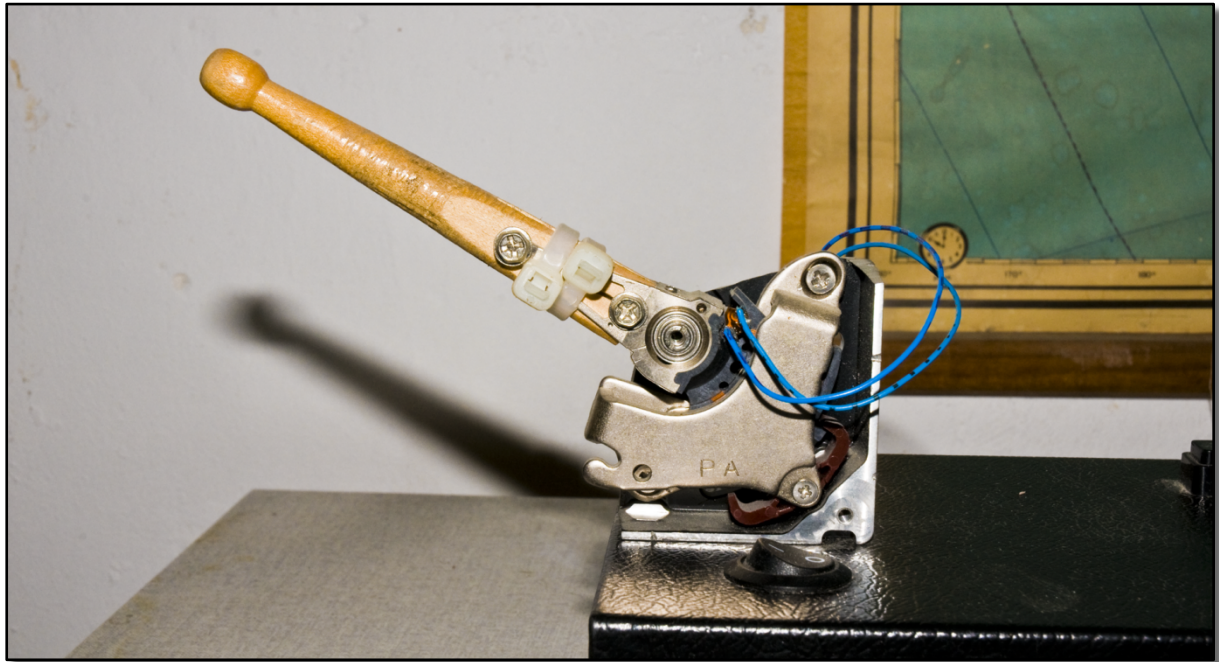


Εικόνα 4.1.3

Προσαρμόζοντας ένα τμήμα μίας μπαγκέτας στο κινητό μέρος του actuator και τοποθετώντας το τελευταίο σε κάθετη διεύθυνση πάνω από ένα τύμπανο θα μπορούσαν να καλυφθούν οι ανάγκες κρούσης που αναφέρθηκαν παραπάνω. Όπως είδαμε και στη Παράγραφο 2.5 στη θεωρία, η δύναμη που θα ασκηθεί στο πηνίο και κατ' επέκταση στο κινητό μέρος της συσκευής είναι ευθέως ανάλογο με το παρεχόμενο ρεύμα, με την ένταση του μαγνητικού πεδίου και το μήκος του αγωγού που εκτίθεται στο μαγνητικό πεδίο (Σχέση 2.5.2). Στη θεωρία αναφέρθηκε η περίπτωση ενός και μόνο αγωγού που εκτίθεται σε μαγνητικό πεδίο. Όταν όμως πρόκειται για πηνίο, ουσιαστικά έχουμε πολλούς αγωγούς

πακτωμένους μεταξύ τους ο οποίοι αποτελούν ένα ενιαίο σώμα. Σε αυτήν την περίπτωση η δύναμη θα πολλαπλασιαστεί με τον αριθμό των σπειρών που αποτελούν το πηνίο. Άρα το ζητούμενο πλέον ήταν η εύρεση του κατάλληλου εξαρτήματος. Διαπιστώθηκε πολύ σύντομα ότι η εύρεση τέτοιων συστημάτων στην Ελλάδα ήταν απαγορευτική, οπότε κρίθηκε αναγκαία η λύση του Internet και η αγορά του κατάλληλου προϊόντος από το εξωτερικό. Μετά από έρευνα βρέθηκε ένα Rotary Voice Coil Actuator της εταιρείας Beikimco το οποίο είχε τις απαραίτητες προϋποθέσεις, θεωρητικά, για χρήση στη συσκευή της παρούσας πτυχιακής εργασίας. Παρόλα αυτά, το κόστος αγοράς του actuator ήταν απαγορευτικό ενώ παράλληλα η δοκιμή του αδύνατη αφού ο εισαγωγέας έχει έδρα τη Νορβηγία. Μέσα από την έρευνα στο διαδίκτυο διαπιστώθηκε ότι τέτοιου είδους συσκευές χρησιμοποιούνται στους σκληρούς δίσκους των ηλεκτρονικών υπολογιστών και είναι αυτές που κινούν την ακίδα ανάγνωσης πάνω στην μαγνητική επιφάνεια του δίσκου

(Εικόνα 4.1.3). Αφαιρώντας λοιπόν από έναν παλιό σκληρό δίσκο, άνευ αξίας, το actuator, κατασκευάστηκε ένα μοντέλο του βραχίονα για να διαπιστωθεί στην πράξη, η επίδραση των διαφόρων μεγεθών της θεωρίας (Σχέση 2.5.2), στη κρούση ενός πραγματικού τυμπάνου (Εικόνα 4.1.4).



Εικόνα 4.1.4

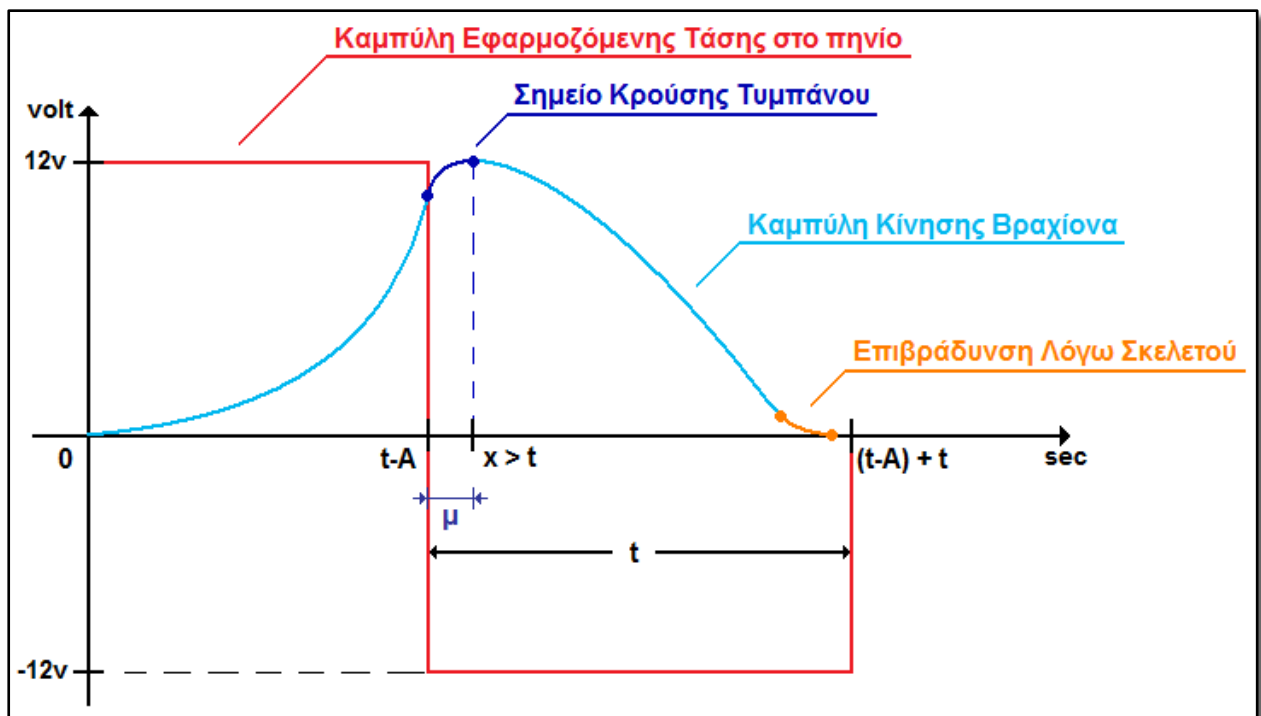
Το μοντέλο του βραχίονα τοποθετήθηκε σε ένα κουτί από αλουμίνιο και το κύκλωμα ελέγχου σχεδιάστηκε έτσι ώστε να κρούει το τύμπανο στη μέγιστη δυνατή ισχύ. Με χρήση ενός πολύμετρου μετρήθηκε το ρεύμα που διέρρεε το πηνίο σε συνδυασμό με την τάση που εφαρμόστηκε στα άκρα του. Το μέγιστο ρεύμα που καταγράφηκε ήταν της τάξης του 1 A στα 12 volt παρεχόμενης τάσης. Παρόλα αυτά δεν επιτεύχθηκε ικανοποιητική κρούση. Η δύναμη του actuator δεν αρκούσε για να κινήσει αρκετά γρήγορα την προσαρμοσμένη μπαγκέτα με αποτέλεσμα η κρούση να είναι πολύ ασθενής. Χρειαζόταν περίπου τέσσερις φορές περισσότερη δύναμη, δηλαδή υποθετικά τέσσερα ίδια actuator να λειτουργούν παράλληλα ή τέσσερις φορές μεγαλύτερη τάση η οποία θα εφαρμοζόταν στο πηνίο. Και οι δύο λύσεις ήταν ανέφικτες η μεν πρώτη από άποψη κόστους, η δε δεύτερη από αδυναμία του πηνίου να «φέρει» πάνω από 1 A ηλεκτρικό ρεύμα. Η μόνη λύση που μπορούσε να δοθεί ήταν η εξ αρχής σχεδίαση και κατασκευή του ηλεκτρονικού βραχίονα.

4.2 Πλάνο λειτουργίας και υλοποίησης

Παρατηρώντας το μοντέλο της προηγούμενης παραγράφου, έγινε ένα πρώτο σκίτσο του νέου βραχίονα. Η σχεδίαση έπρεπε να είναι ιδιαίτερα προσεκτική για να επιτρέψει την αρμονική συμπεριφορά όλου του συστήματος. Ο σκελετός και τα κινητά μέρη έπρεπε να έχουν τις αναμονές για την στήριξη όλων των επιπρόσθετων εξαρτημάτων όπως για παράδειγμα τη μπαγκέτα. Ένας πολύ σημαντικός παράγοντας σε αυτήν την φάση της σχεδίασης ήταν η δυνατότητα που έπρεπε να διαθέτει η συσκευή στην εκτέλεση διαφορετικών δυναμικών. Παρόλο που η σχεδίαση

είχε σαν βάση το actuator ενός σκληρού δίσκου έπρεπε να παρθεί απ' την αρχή μία τελική απόφαση για τον τρόπο με τον οποίο θα επιτυγχανόταν αυτό.

Δεδομένου ότι η βασική ιδέα ήταν εκείνη του πηνίου το οποίο θα κινείται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο οι επιλογές για την επίτευξη εκτέλεσης δυναμικών ήταν ιδιαίτερα περιορισμένες. Το όλο σύστημα δεν διέθετε ένα αισθητήρα που να μπορεί να πληροφορεί κάθε στιγμή που βρίσκεται η μπαγκέτα, οπότε τα μόνα που μπορούσαν να ελεγχθούν ήταν η τάση που θα εφαρμοστεί στο πηνίο και η φορά του ρεύματος. Μια πρώτη σκέψη ήταν να εφαρμόζεται στο πηνίο μία ανάλογη τάση της επιθυμητής δυναμικής. Αυτό θα είχε σαν αποτέλεσμα για μικρότερες τάσεις ρεύματος να έχουμε ασθενέστερη κρούση. Η λύση αυτή αποδείχτηκε ανεπαρκής. Εμπόδιο στάθηκε η ανάγκη μίας σταθερής καθυστέρησης (latency) από την στιγμή της λήψης του MIDI μηνύματος έως την κρούση του τυμπάνου. Εφόσον τα MIDI δεδομένα θα έφταναν στην είσοδο του μετατροπέα συγχρονισμένα με το υπόλοιπο κομμάτι και μεταξύ τους, θα ήταν καταστροφικό οι μικρότερες δυναμικές να εκτελούνται με μεγαλύτερη καθυστέρηση. Αρκεί να γίνει κατανοητό πως η απόσταση της θέσης αναμονής της μπαγκέτας από το τύμπανο θα έπρεπε να είναι σταθερή (αφού δεν θα γνώριζε από πριν η συσκευή την δυναμική της επόμενης νότας) με αποτέλεσμα μία εφαρμοζόμενη τάση μικρότερης τιμής να έχει σαν συνέπεια ένα μικρότερης έντασης ρεύμα, κατά συνέπεια μικρότερη δύναμη εφαρμοζόμενη στο κινητό μέρος, οπότε μία μικρότερη ταχύτητα άρα και ασθενέστερη κρούση. Η λύση που δόθηκε είναι της εκμετάλλευσης του φαινομένου της αδράνειας. Αν υποθεθεί ότι ένα θετικής (θεωρητικά) φοράς ρεύμα με τη μέγιστη δυνατή τιμή εφαρμοστεί στο πηνίο ενός actuator τότε το τελευταίο θα κινηθεί με την μέγιστη δυνατή ταχύτητα προς τη μεμβράνη του τυμπάνου. Ας υποθεθεί επίσης ότι ο χρόνος που χρειάζεται η μπαγκέτα για να καλύψει την διαδρομή είναι t . Τότε σε t χρόνο από την εφαρμογή της θετικής (θεωρητικά) φοράς θα έπρεπε να εφαρμοστεί μία αντίθετης φοράς ρεύμα για να ωθήσει τη μπαγκέτα πίσω στην αρχική θέση ισορροπίας της. Το κινούμενο όμως σύστημα πηνίου μπαγκέτας αποκτά αδράνεια και ακόμα και αν εφαρμοστεί απότομα αντίθετης φοράς ρεύμα η μπαγκέτα για ένα μικρό χρονικό διάστημα θα συνεχίσει να κινείται προς την θετική φορά. Αν λοιπόν εφαρμοζόταν το αντίθετης φοράς ρεύμα κατά **A sec** πριν καλυφθεί ο χρόνος t τότε η αδράνεια που θα είχε αποκτήσει το κινούμενο μέρος θα επέτρεπε μία πολύ πιο ασθενή κρούση του τυμπάνου. Έτσι, στην κατάσταση λειτουργίας ο συνολικός χρόνος εφαρμογής της θετικής φοράς θα έπρεπε να είναι $(t - A)$ και το A να είναι αντιστρόφως ανάλογο της απαιτούμενης δυναμικής εκτέλεσης που ορίζει το MIDI μήνυμα. Επίσης θα αρκούσε ο χρόνος επιστροφής να είναι πάντα ίσος με t . Κατά την επιστροφή του κινητού μέρους θα έπρεπε να υπάρχει ένα μηχανικό σύστημα επιβράδυνσης την μπαγκέτας. Στο παρακάτω σχήμα (4.2.1) φαίνεται μία γραφική παράσταση αυτής της λειτουργίας. Το διάγραμμα περιλαμβάνει δύο καμπύλες, η μία μας πληροφορεί για την εφαρμοζόμενη τάση και η άλλη για τη θέση της μπαγκέτας στον κάθετο άξονα κρούσης. Αρχικά εφαρμόζεται μία τάση +12 v στο πηνίο, το οποίο διαρρέεται από ρεύμα και υπό την επίδραση του μαγνητικού πεδίου ασκείται πάνω του μία δύναμη F με φορά προς τα κάτω (προς το τύμπανο). Η θετική τάση εφαρμόζεται για χρονικό διάστημα $t-A$ και το σύστημα πηνίου – μπαγκέτας αποκτά μία επιταχυνόμενη κίνηση δεδομένου ότι η τιμή της δύναμης F είναι σταθερή. Μόλις ολοκληρωθεί το χρονικό διάστημα $t-A$ εφαρμόζεται στο πηνίο μία τάση -12 v, η οποία έχει σαν συνέπεια την αλλαγή της φοράς του



Σχήμα 4.2.1

ρεύματος οπότε και την αντιστροφή της δύναμης F στο πηνίο, η οποία το ωθεί προς τα πίσω (προς την θέση ισορροπίας). Παρόλα αυτά η μπαγκέτα έχει αποκτήσει αδράνεια λόγω της επιταχυνόμενης κίνησης προς τα κάτω οπότε για χρονικό διάστημα μ (Σχήμα 4.1.1) συνεχίζει να κινείται προς την ίδια κατεύθυνση και χτυπά το τύμπανο. Η αντίστροφη όμως δύναμη F συνεχίζει να ασκείται στο πηνίο οπότε το κινητό μέρος αλλάζει πλέον φορά και κινείται προς την θέση ισορροπίας του. Λίγο πριν φτάσει στην αρχική του θέση ένας μηχανικός επιβραδυντής (πχ. Λάστιχο) θα μειώσει την ταχύτητά του ώστε να αποφθεχθεί η καταπόνηση του σκελετού. Μετατρέποντας λίγο το αρχικό μοντέλο έτσι ώστε στη μπαγκέτα να ασκείται και η δύναμη του βάρους επιτεύχθηκε ένας μεγαλύτερος σε διάρκεια χρόνος μ που επέτρεψε τελικά την καλύτερη διασπορά των δυναμικών που εκτελούνται από την συσκευή.

Για την σχεδίαση του σκελετού έγινε χρήση του AutoCAD 2007. Το συγκεκριμένο λογισμικό προσφέρει ευκολίες που είναι πολύ δύσκολο να επιτευχθούν με σχεδίαση στο χέρι, όπως για παράδειγμα η εξομοίωση της κίνησης των κινητών μερών ώστε να διαπιστωθεί ότι κινούνται ελεύθερα στον χώρο που ορίζει ο σκελετός. Τα μέρη του σκελετού θα έπρεπε στη συνέχεια να κατασκευαστούν σε κάποιο μηχανουργείο. Σε αυτήν την φάση της σχεδίασης έπρεπε να γίνει μία έρευνα στην αγορά για το κόστος υλοποίησης της κατασκευής. Η λύση που επιλέχθηκε ήταν αυτή της laser κοπής των μεταλλικών μερών σε ειδικό μηχανουργείο (Εικόνα 4.2.1). Το συγκεκριμένο μηχανουργείο διαθέτει ένα σύγχρονο μηχάνημα laser κοπής το οποίο λειτουργεί βάσει σχεδίων από το AutoCAD ενώ παράλληλα παρέχει ακρίβεια της τάξης του δέκατου του χιλιοστού. Για παράδειγμα ας υποθέσουμε ότι σχεδιάζουμε ένα δισδιάστατο σχήμα στο AutoCAD και το αποθηκεύουμε σε ένα αρχείο. Το αρχείο το εισάγουμε στη συνέχεια στο μηχάνημα κοπής το οποίο με τη βοήθεια της τεχνολογίας laser κόβει ένα μεταλλικό φύλλο (στη συγκεκριμένη περίπτωση ανοξείδωτου) στο σχήμα που περιέχεται στο αρχείο. Έχοντας υπόψη αυτήν την τεχνολογία, τα μέρη του σκελετού έπρεπε να σχεδιαστούν με τέτοιο τρόπο ώστε να καλύπτονται από αυτήν την τεχνολογία. Είναι δεδομένο πως με



Εικόνα 4.2.1

αυτόν τον τρόπο μειώνεται η αποτελεσματικότητα της συσκευής αλλά παράλληλα μειώνεται και ο προϋπολογισμός του κόστους ο οποίος ήδη είχε ξεφύγει από κάθε προηγούμενη πρόβλεψη. Ο σκελετός λοιπόν σχεδιάστηκε με τέτοιο τρόπο ώστε η κατασκευή του να περιλαμβάνει εξαρτήματα τα οποία ήταν εύκολο σχετικά να υλοποιηθούν.

Ένα ακόμη πρόβλημα που έπρεπε να αντιμετωπιστεί πριν την τελική σχεδίαση ήταν και εύρεση των κατάλληλων μαγνητών οι οποίοι θα δημιουργούσαν το ομογενές μαγνητικό πεδίο. Μετά από έρευνα μέσω διαδικτύου διαπιστώθηκε ότι οι πιο αποτελεσματικοί μαγνήτες από άποψη της έντασης του πεδίου B που δημιουργούν είναι

αυτοί του **Νεοδυμίου**. Τέτοιου είδους μαγνήτες βρέθηκαν και στην ελληνική αγορά μετά από τηλεφωνική έρευνα, σε ελάχιστα όμως μηχανουργεία. Δημιουργώντας μία λίστα διευθύνσεων έγινε στη συνέχεια μία επίσκεψη σε όλα τα μηχανουργεία και εισαγωγείς οι οποίοι διέθεταν κάποιο δείγμα του προϊόντος. Από όλους όσους διέθεταν μαγνήτες προς πώληση (ή μη) μόνο ένας εισαγωγέας διέθετε έναν μαγνήτη Νεοδυμίου ικανό να δημιουργήσει ένα αρκετά ισχυρό πεδίο. Το κόστος όμως για αγορά των τεσσάρων τεμαχίων που απαιτούνταν άγγιζε το βασικό μισθό ενός ανειδίκευτου εργάτη. Η λύση του εξωτερικού ήταν μονόδρομος και μετά από μερικές εβδομάδες έρευνας και επικοινωνίας με διάφορους κατασκευαστές μαγνητών στην Ευρώπη βρέθηκαν οι κατάλληλοι μαγνήτες των οποίων το κόστος ήταν στο 1/10 του εγχώριου. Ακολούθησε η παραγγελία αυτών και όταν πλέον παρελήφθησαν έγιναν οι απαραίτητες μετρήσεις ακριβείας όσον αφορά τις χωρικές τους διαστάσεις.

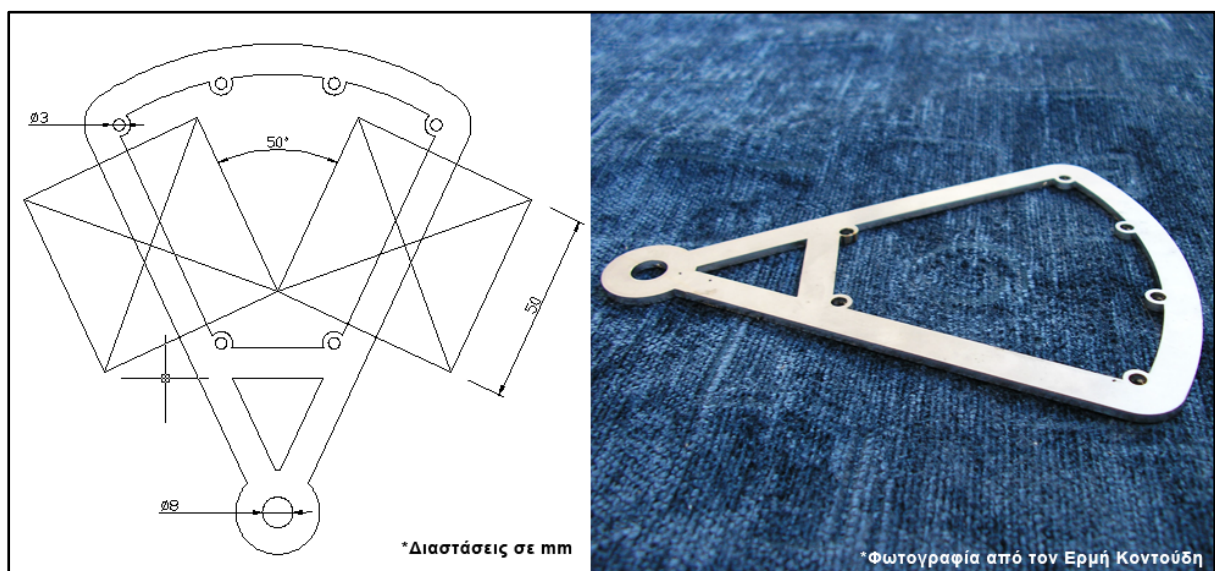
Τέλος αναγκαία ήταν και η εύρεση του κατάλληλου ρουλεμάν και των κατάλληλων βιδών στήριξης. Όσον αφορά το ρουλεμάν αυτό ήταν της εταιρείας SKF και το σχηματικό του διάγραμμα φαίνεται στο Σχήμα 4.2.2. Όλα τα μέταλλα επιλέχτηκαν να είναι ανοξειδωτα πάχους 2mm ώστε να μην μαγνητίζονται αλλά να παρέχουν παράλληλα αρκετή ακαμψία κάτι που δε μπορούσε να επιτευχθεί με αλουμίνιο. Το ίδιο και όλες οι βίδες στήριξης οι οποίες και αυτές επιλέχτηκαν ανοξειδωτες. Το ρουλεμάν είναι τύπου μπίλιας, έχει εξωτερική διάμετρο 22 χιλιοστά και εσωτερική διάμετρο 8 χιλιοστά. Αφού συγκεντρώθηκαν όλα τα υλικά ξεκίνησε η σχεδίαση του βραχίονα.

Principal dimensions			Basic load ratings		Fatigue load limit P_u	Speed ratings		Mass	Designation
d	D	B	C	C_0		Reference speed	Limiting speed		
mm			kN		kN	r/min		kg	* - SKF Explorer bearing
8	22	7	3,45	1,37	0,057	-	22000	0,012	608-2RSH*

Σχήμα 4.2.2

4.3 Σχεδίαση και Κατασκευή των Εξαρτημάτων του Βραχίονα

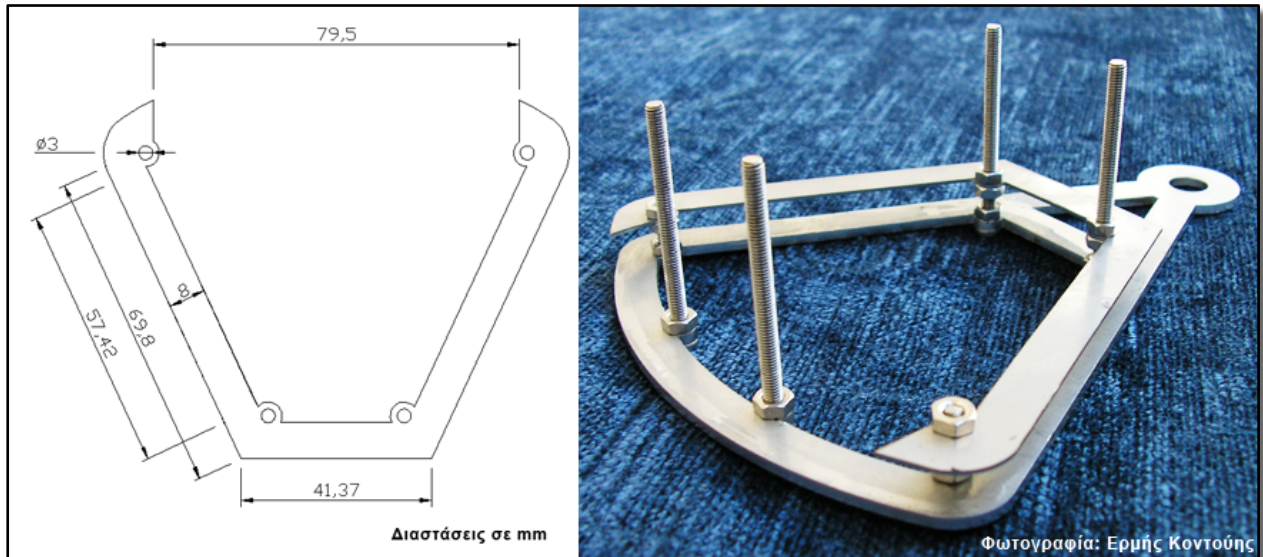
Αρχικά σχεδιάστηκε το κινητό μέρος του βραχίονα το οποίο περιλαμβάνει τη θέση τύλιξης του πηνίου, τις οπές για τις βίδες στήριξης άλλων μερών (όπως πχ. του προστατευτικού καλύμματος του πηνίου) και την οπή για την κεντρική βίδα στήριξης του κινητού μέρους στο ρουλεμάν του σκελετού (Σχήμα 4.3.1). Οι τετράγωνες πλάκες αναπαριστούν τους μαγνήτες ο οποίοι βρίσκονται πίσω και εμπρός του κινητού μέρους πλαισιώνοντάς το. Στο κάτω μέρος φαίνεται η μεγάλη οπή στήριξης στο ρουλεμάν.



Σχήμα 4.3.1

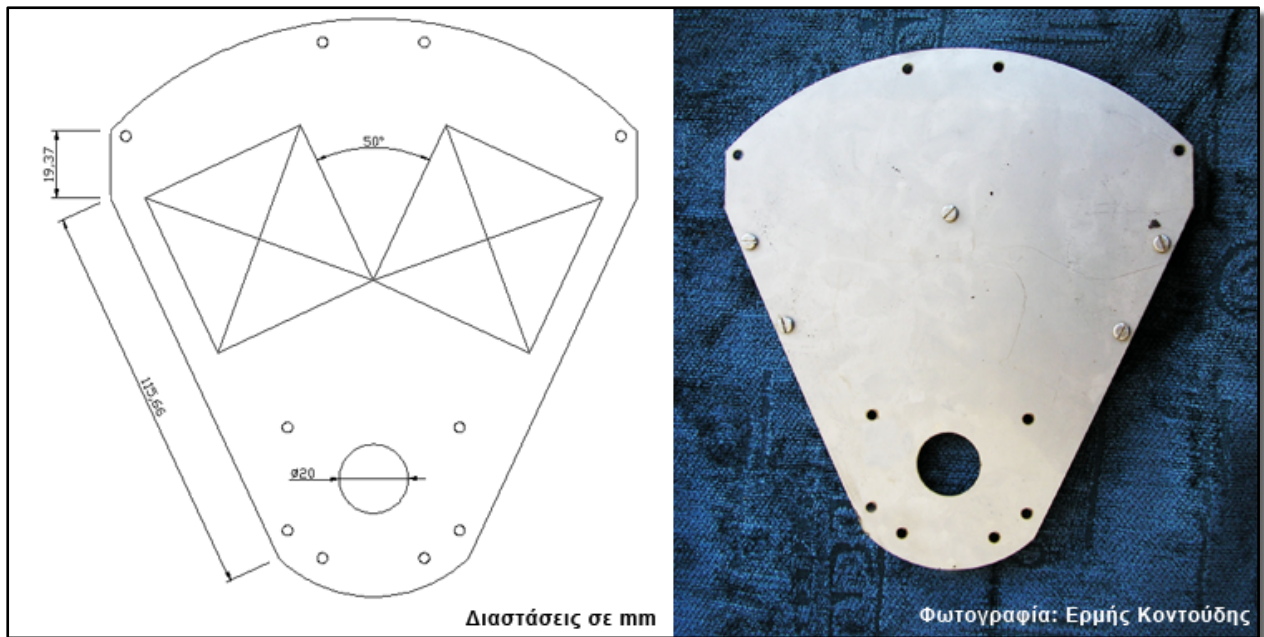
Όλες οι οπές μικρής διαμέτρου είναι των 3mm ενώ η μεγάλη οπή στο κάτω μέρος 8mm. Οι μαγνήτες είναι τετραγωνικού σχήματος με πλευρές 50mm και πάχος 5mm. Η γωνία που σχηματίζουν οι πλευρές των δύο μαγνητών είναι 50 μοίρες και οι πλευρές αυτές είναι παράλληλες με τις πλευρές του κινητού μέρους. Γύρω από τις έξι μικρές οπές αφού στηριχθούν οι ανοξειδωτες βίδες θα τυλιχθεί το πηνίο, ενώ στις

τέσσερις εσωτερικές οι οποίες σχηματίζουν ένα ορθογώνιο παραλληλεπίπεδο θα στηριχθεί αργότερα το εξάρτημα συγκράτησης της μπαγκέτας. Τέλος στις τέσσερις εξωτερικές οπές θα στηριχθεί το κάλυμμα του πηνίου το οποίο και αυτό αποτελείται από ανοξείδωτο πάχους 0,5mm. Στο Σχήμα 4.3.1 αριστερά φαίνεται το σχέδιο του καλύμματος και δεξιά η φωτογραφία του κινητού μέρους μαζί με τις βίδες στήριξης και το κάλυμμα. Μεταξύ του κινητού μέρους και του καλύμματος σχηματίζεται ένας χώρος ο οποίος είναι κατάλληλος για την τύλιξη του πηνίου.



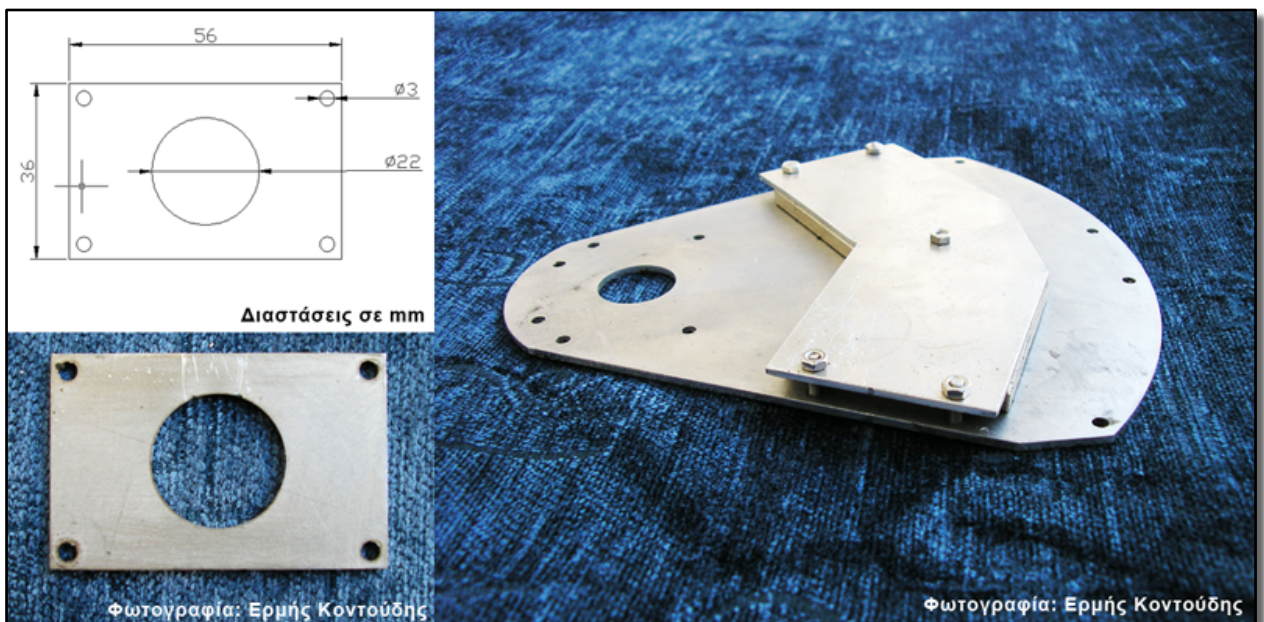
Σχήμα 4.3.1

Το κάλυμμα του πηνίου δεν καλύπτει όλη την επιφάνεια του κινητού μέρους επιτυγχάνοντας έτσι μείωση της μάζας άρα αύξηση της μέγιστης δυνατής ταχύτητας. Όλες οι βίδες στηρίζονται στα διάφορα μέρη του βραχίονα με χρήση παξιμαδιών. Στη συνέχεια σχεδιάστηκε το πίσω μέρος του σκελετού. Στο Σχήμα 4.3.2 φαίνεται αυτή η υλοποίηση. Στη μέση του σχήματος φαίνονται οι θέσεις των μαγνητών ενώ εκτός από τις μικρές οπές των 3mm υπάρχει και μία μεγάλη οπή στο κέντρο και στην κάτω πλευρά. Πρόκειται για τη θέση του ρουλεμάν και έχει διάμετρο 20mm, δηλαδή 2mm μικρότερη από την εξωτερική διάμετρο του ίδιου του ρουλεμάν. Αυτό εξυπηρετεί στην στήριξη του εξωτερικού δακτυλίου του ρουλεμάν έτσι ώστε να μένει σταθερό μαζί με τον σκελετό αφήνοντας τον εσωτερικό δακτύλιο να περιστρέφεται ελεύθερα. Ένα πρόσθετο εξάρτημα ορθογώνιου σχήματος με μία μεγάλη οπή στη μέση 22mm και τέσσερις μικρές των 3mm σε κάθε γωνία θα στηριχθεί με τη σειρά του στο πίσω μέρος του σκελετού με σκοπό την συγκράτηση του ρουλεμάν στη θέση του. Στο σχήμα 4.3.2 διακρίνονται στο κάτω μέρος οι τέσσερις οπές οι οποίες πλαισιώνουν την κεντρική οπή των 20mm και οι οποίες θα επιτρέψουν αυτή την σύνδεση.



Σχήμα 4.3.2

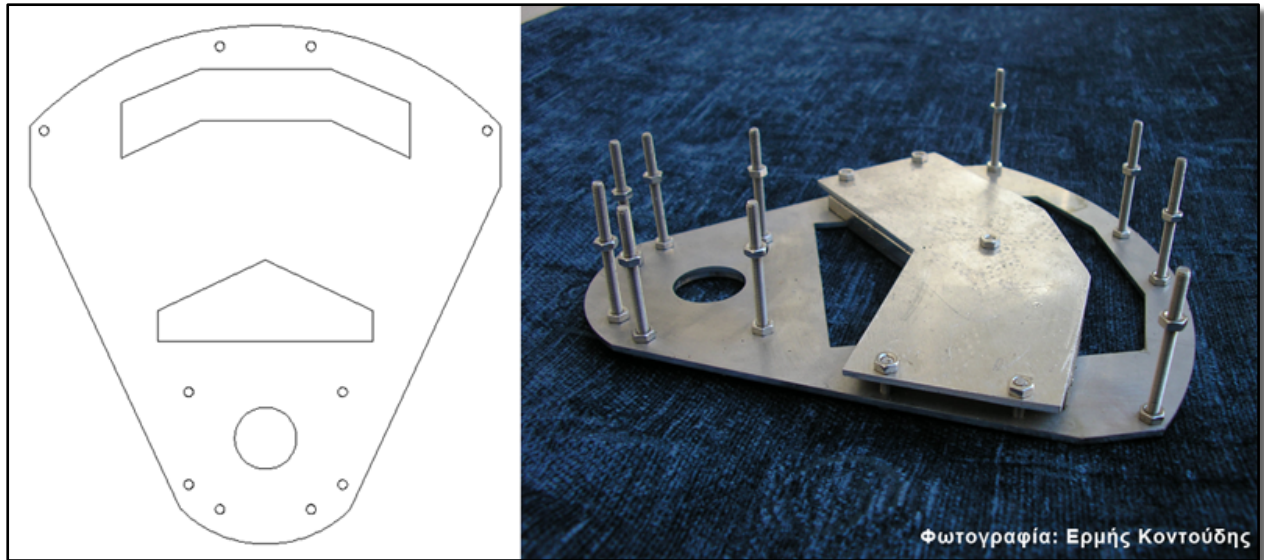
Επίσης μπορεί κανείς να παρατηρήσει στην εικόνα του σχήματος 4.3.2 πέντε επιπλέον οπές οι οποίες περιλαμβάνουν και βίδες. Οι συγκεκριμένες οπές ανοίχτηκαν στο εργαστήριο μετά την σχεδίαση και χρησιμεύουν στην στήριξη ενός εξαρτήματος συγκράτησης των μαγνητών. Το τελευταίο διαμορφώθηκε και αυτό στο εργαστήριο με χειροκίνητη μέθοδο (σιδεροπρίονο, λίμα, γυαλόχαρτο) και είναι από αλουμίνιο για τη δυνατόν περισσότερη εξοικονόμηση βάρους.



Σχήμα 4.3.3

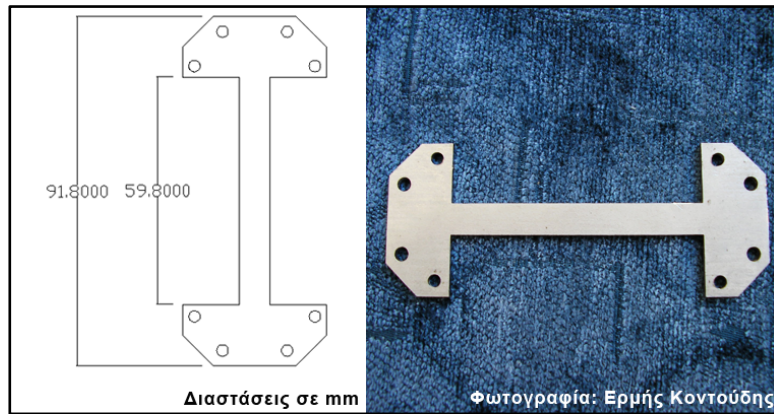
Στο Σχήμα 4.3.3 φαίνεται το εξάρτημα συγκράτησης του ρουλεμάν και μία εικόνα του πίσω μέρους του σκελετού συμπεριλαμβανομένων των βιδών στήριξης και των μαγνητών. Παρόλο που στο πίσω μέρος υπάρχουν όλες οι οπές στήριξης των μερών του σκελετού οι βίδες τοποθετήθηκαν με κατεύθυνση από εμπρός προς τα

πίσω για λόγους καλαισθησίας. Έτσι στην εμπρόσθια όψη υπάρχουν μόνο οι κεφαλές από τις βίδες και όχι παξιμάδια. Ολοκληρώνοντας το πίσω μέρος του σκελετού με τους μαγνήτες και του κινητού μέρους με το κάλυμμα του πηνίου άρχισε η σχεδίαση του εμπρόσθιου μέρους. Στο Σχήμα 4.3.4 φαίνεται το σχέδιο αριστερά και μία εικόνα του εξαρτήματος στα δεξιά.



Σχήμα 4.3.4

Το εμπρόσθιο τμήμα του σκελετού είναι πανομοιότυπο με το πίσω με μόνη διαφορά τα δύο μεγάλα πολυγωνικά ανοίγματα στο «σώμα» του. Αυτά τα ανοίγματα επιτρέπουν στις βίδες στήριξης (Σχήμα 4.3.1) να περάσουν έξω από τον σκελετό για να επιτευχθεί η συγκράτηση της μπαγκέτας πάνω στο κινητό μέρος. Γύρω από την οπή του ρουλεμάν υπάρχουν οι ίδιες ακριβώς υποδοχές όπως και στο πίσω μέρος, αφού τα ρουλεμάν θα είναι δύο, ένα στο πίσω και ένα στο εμπρόσθιο μέρος του σκελετού. Ενδιάμεσα θα στηριχθεί το κινητό μέρος με μία βίδα διαμέτρου 8mm και από το οποίο θα εξέρχονται οι βίδες για την στήριξη της μπαγκέτας (οι βίδες αυτές εκτείνονται έξω από το εμπρόσθιο τμήμα, διαμέσου των πολυγωνικών ανοιγμάτων). Όλες οι βίδες στήριξης πλην αυτών που συγκρατούν το κάλυμμα των μαγνητών θα ενωθούν τελικά με το πίσω μέρος της κατασκευής. Μετά τη τοποθέτηση όλων των μερών, μαγνητών, καλύμματος και βιδών, στις τελευταίες προσαρμόστηκαν τα παξιμάδια τα οποία θα συγκρατήσουν το επάνω μέρος. Πρέπει να σημειωθεί πως οι μαγνήτες που χρησιμοποιήθηκαν είναι ιδιαίτερα ισχυροί (αν ενωθούν δεν απομακρύνονται παρά μόνο καταστρέφοντας τους) και έχουν τοποθετηθεί με τέτοιο τρόπο ώστε να έλκονται. Αυτό σημαίνει πως όταν πλησιάσουν το εμπρόσθιο με το πίσω μέρος, μία πολύ ισχυρή δύναμη θα τείνει να τα ενώσει. Τα παξιμάδια της εικόνας του σχήματος 4.3.4 θα συγκρατήσουν τα δύο μέρη στην επιθυμητή απόσταση ώστε να αφήσουν τον απαραίτητο χώρο στο κινητό μέρος ενδιάμεσα. Μετά την τοποθέτηση, είναι εφικτό χρησιμοποιώντας ένα ανοξείδωτο κλειδί να ρυθμιστεί η απόσταση λεπτομερώς, ώστε κάθε σημείο του εμπρόσθιου τμήματος να απέχει κατά το ίδιο ποσό από το πίσω. Το τελευταίο εξάρτημα είναι αυτό της συγκράτησης της μπαγκέτας. Συνδεδεμένο με τις βίδες που προεξέχουν του εμπρόσθιου τμήματος θα αποτελέσει ένα τμήμα του κινητού μέρους. Πάνω σε αυτό το εξάρτημα θα στηριχθεί μία μπαγκέτα. Παρακάτω φαίνεται το σχέδιο και η εικόνα του εξαρτήματος συγκράτησης της μπαγκέτας (Σχήμα 4.3.5).



Σχήμα 4.3.5

4.4 Επιλογή Τροφοδοτικού και Περιέλιξη του Πηνίου

Έχοντας σχεδιάσει και κατασκευάσει όλα τα επιμέρους τμήματα του βραχίονα, πρέπει να γίνει η επιλογή του κατάλληλου πηνίου και η περιέλιξή του γύρω από τις κατάλληλες βίδες του κινητού μέρους. Όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενα κεφάλαια όσο περισσότερο ρεύμα διαρρέει το πηνίο τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η δύναμη που θα ασκηθεί σε αυτό. Έχει αναφερθεί επίσης ότι όσο μεγαλύτερη η διατομή του αγωγού τόσο μεγαλύτερο και το ρεύμα που θα διέλθει από αυτόν. Η πρώτη σκέψη ήταν να βρεθεί ο διαθέσιμος όγκος περιέλιξης του πηνίου. Από το σχέδιο είναι αδύνατο να μετρηθεί ο ακριβής όγκος γιατί στο σημείο ενδιαφέροντος υπάρχουν παξιμάδα τα οποία εμποδίζουν την σωστή μέτρηση. Παρόλα αυτά με τη βοήθεια του AutoCAD έγινε μία προσεγγιστική μέτρηση η οποία όμως δεν είχε εφαρμογή. Ο μόνος τρόπος για να μετρηθεί ο εν λόγω όγκος ήταν η εφαρμογή μίας άλλης πρακτικής.

Χρησιμοποιώντας ένα πηνιόσυρμα πάχους 0.3mm έγινε η περιέλιξη μετρώντας ταυτόχρονα τα μέτρα του σύρματος που δαπανήθηκαν έως την κάλυψη όλου του διαθέσιμου χώρου. Με αυτόν τον τρόπο θα προέκυπτε μία σχέση μεταξύ πάχους αγωγού και μέτρων που χρειάζονται για την περιέλιξη. Αυτό χρησίμευσε σαν οδηγός για να γίνουν οι υπολογισμοί για τη σχέση του μήκους και πάχους πηνίου. Τυλίγοντας το πηνιόσυρμα των 0.3mm διαπιστώθηκε ότι δαπανήθηκαν 69 μέτρα. Για δεδομένο όγκο το μήκος σύρματος είναι αντιστρόφως ανάλογο του τετραγώνου του πάχους του σύρματος, αφού μεγαλύτερο πάχος σημαίνει και περισσότερος απαιτούμενος όγκος ανά μονάδα απόστασης. Αυτό αποδεικνύεται και από την μαθηματική σχέση που δίνει τον όγκο σωληνοειδούς:

$$V = L \pi (\delta/2)^2$$

Όπου V : όγκος

L : το μήκος του σωληνοειδούς

π : 3.14159

δ : διατομή (πάχος) σωληνοειδούς

Ας υποτεθεί ότι έχουμε δύο αγωγούς με μήκη L_1 και L_2 οι οποίοι έχουν διάμετρο δ_1 και δ_2 αντίστοιχα και ας θεωρηθεί δεδομένο ότι καταλαμβάνουν τον ίδιο όγκο. Θα προκύψει ότι:

$$V = L_1 \pi \delta_1^2 / 4 \dots (1) \text{ και}$$

$$V = L_2 \pi \delta_2^2 / 4 \dots (2)$$

$$(1) \ \& \ (2) \rightarrow (L_1 \pi \delta_1^2 / 4) = (L_2 \pi \delta_2^2 / 4)$$

$$\rightarrow L_1 \delta_1^2 = L_2 \delta_2^2$$

Συνεπώς :

$$\frac{L_1}{L_2} = \frac{\delta_2^2}{\delta_1^2}$$

Σχέση 4.4.1

Γνωρίζουμε ότι η αντίσταση ενός αγωγού δίνεται από την σχέση :

$$R = V / I \ \text{ή} \ R = \rho L / A \dots \text{(Σχέση 4.4.2)}$$

- Όπου
- R : η αντίσταση του αγωγού σε Ohm
 - V : η διαφορά δυναμικού που εφαρμόζεται στα άκρα του
 - I : το ρεύμα που τον διαρρέει
 - ρ : η ειδική αντίσταση του υλικού
 - L : το μήκος του αγωγού
 - A : η διατομή του αγωγού (πάχος)

Συνδυάζοντας τις σχέσεις 4.4.1 και 4.4.2 προκύπτει ότι για δεδομένο όγκο η ο λόγος των αντιστάσεων δύο διαφορετικής διατομής αγωγών ισούται με:

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{\delta_2^4}{\delta_1^4}$$

Σχέση 4.4.3

Συνεχίζοντας την έρευνα για την επιλογή του πηνίου, χρησιμοποιώντας ένα πολύμετρο, μετρήθηκε η αντίσταση των 69 μέτρων πηνίου - οδηγού που δαπανήθηκε για το γέμισμα του διαθέσιμου χώρου που όριζε η κατασκευή. Η αντίσταση βρέθηκε ίση με

$R_1 = 33,7 \Omega$. Από τον νόμο του Ohm ($I = V / R$) προέκυψε ότι το ρεύμα που θα διαρρέει το συγκεκριμένο πηνίο - οδηγό θα είναι $I_1 = 12 / 33,7 \rightarrow I_1 = 0,36 \text{ A}$. Το ρεύμα αυτό ήταν πολύ μικρής έντασης ώστε να κινήσει ικανοποιητικά το κινητό μέρος. Σε αυτή τη φάση της σχεδίασης έπρεπε να βρεθεί ένα τροφοδοτικό που να μπορεί να παρέχει ένα αρκετά μεγάλης έντασης ρεύμα.

Η έρευνα πραγματοποιήθηκε και πάλι στο διαδίκτυο. Το τροφοδοτικό που βρέθηκε ήταν της εταιρείας SANSUN και είχε ονομαστική ισχύ τα 500W. Η συγκεκριμένη συσκευή προοριζόταν για χρήση σε ηλεκτρονικό υπολογιστή και παρέχει τάσεις : +3.3v, +5v, +12v, -5v, -12v και ρεύματα : 26A, 32A, 20A, 0.5A, 0.8A, αντίστοιχα. Παρακάτω βλέπουμε την ενημερωτική ετικέτα του τροφοδοτικού (Εικόνα 4.4.1).

AC INPUT 220/VAC 50Hz 5A					
FUSE RATING:F 5A 250VAC					
DC OUTPUT MAX.	+3.3V	+5V	+12V	-5V	-12V
	26A	32A	20A	0.5A	0.8A
	500W				

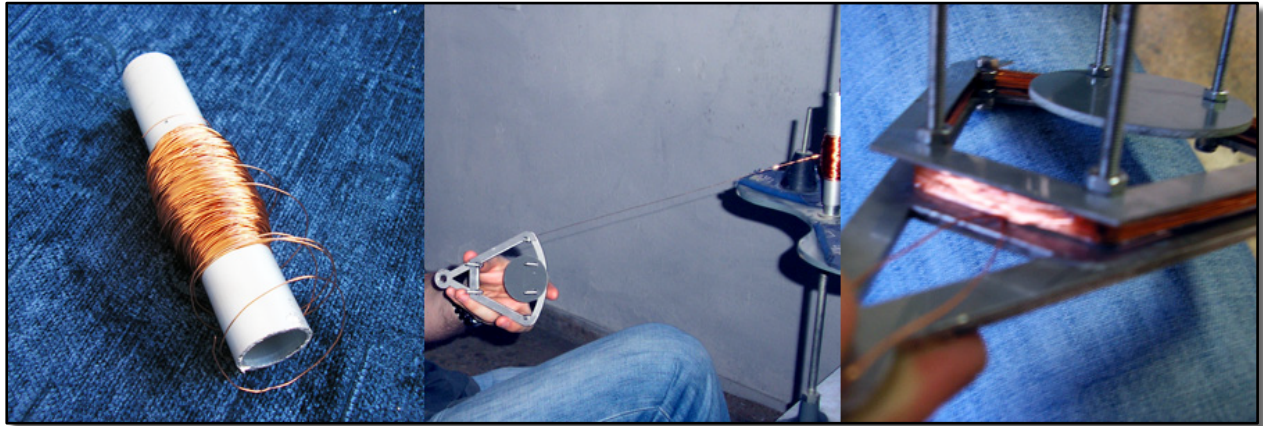
Εικόνα 4.4.1

Τα 12v είναι η μέγιστη παρεχόμενη τάση και μπορεί να αποδώσει 20A, οπότε μία ασφαλής τιμή κατανάλωσης κατά την λειτουργία είναι τα 18A.

Από το νόμο του Ohm $R = V / I$ υπολογίζουμε ότι η αντίσταση που θα «τραβήξει» από το τροφοδοτικό το ζητούμενο ρεύμα είναι $R_2 = 12 / 18 \rightarrow R_2 = 2/3 \Omega$. Το πηνίο – οδηγός όμως που είχε ήδη χρησιμοποιηθεί, για την μέτρηση του διαθέσιμου όγκου ήταν $R_1 = 33,7 \Omega$. Από την Σχέση 4.4.3 μπορούμε να υπολογίζουμε το απαιτούμενο πάχος σύρματος πηνίου, για τον διαθέσιμο όγκο, που θα έχει συνολική αντίσταση $2/3\Omega$ ή αλλιώς που θα εκμεταλλεύεται το τροφοδοτικό στο έπακρο «τραβώντας περίπου 18A. Έχοντας γνωστά τη διατομή $\delta_1 = 0,3\text{mm}$ και την συνολική αντίσταση $R_1 = 33,7\text{mm}$ του πηνίου – οδηγού καθώς και την απαιτούμενη συνολική αντίσταση $R_2 = 2/3 \Omega$ ενός καταλληλότερου νέου πηνίου λύνουμε την εξίσωση με μοναδικό άγνωστο το δ_2 και προκύπτει ότι το απαιτούμενο πάχος σύρματος πηνίου είναι $\delta_2 = 0,79\text{mm}$, δηλαδή περίπου $\delta_2 = 0,8\text{mm}$. Πράγματι αντικαθιστώντας το πηνίο των 0,3mm με ένα των 0.8mm έγινε η καλύτερη δυνατή εκμετάλλευση του διαθέσιμου όγκου, αφού το ρεύμα που διέρρεε πλέον το πηνίο ήταν $I_2 = 18 \text{ A}$, πενήντα φορές μεγαλύτερο του πηνίου – οδηγού.

4.5 Συναρμολόγηση εξαρτημάτων

Για την περιέλιξη του πηνίου χρησιμοποιήθηκε μία αυτοσχέδια τροχαλία όπου τυλίχθηκε αρχικά το πηνίο και στη συνέχεια έγινε η περιέλιξή του, στο κινητό μέρος του βραχίονα (Εικόνα 4.5.1)



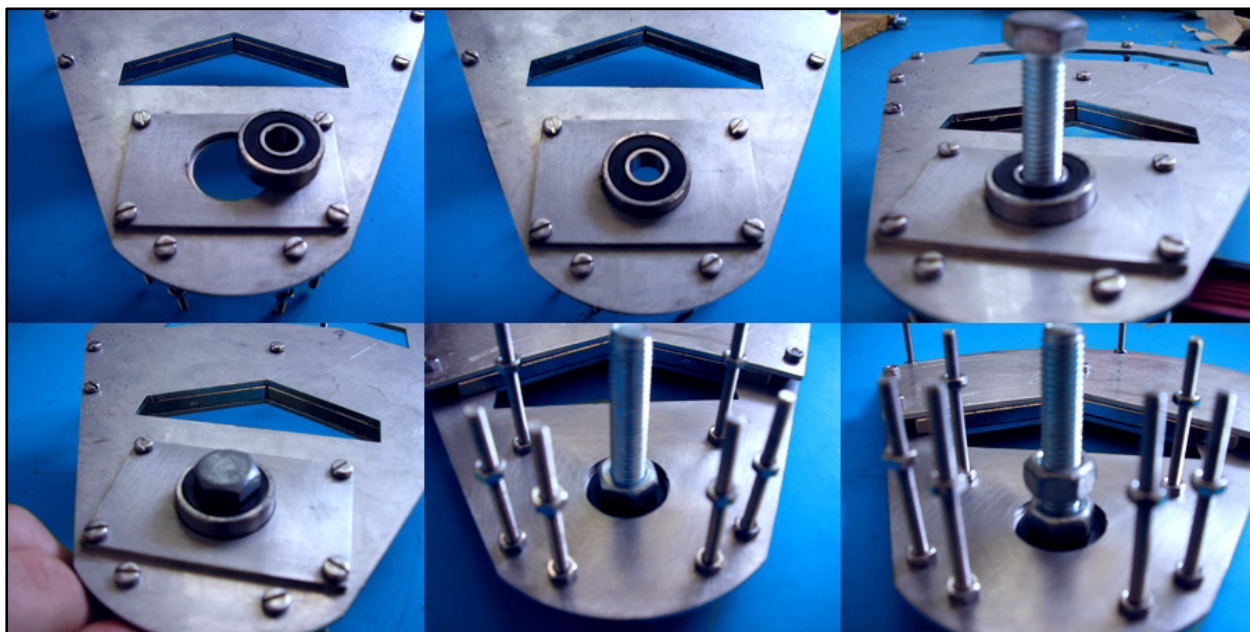
Εικόνα 4.5.1

Το σύρμα του πηνίου πρέπει να τυλίγεται αρκετά σφιχτά ώστε να αποφευχθεί η χαλάρωσή του κατά τη λειτουργία. Το στρογγυλό πλαστικό βοήθημα που φαίνεται στην τρίτη σε σειρά εικόνα (4.5.1) στηρίχθηκε προσωρινά μόνο για να οριοθετήσει καλύτερα τον χώρο που προοριζόταν για το πηνίο.



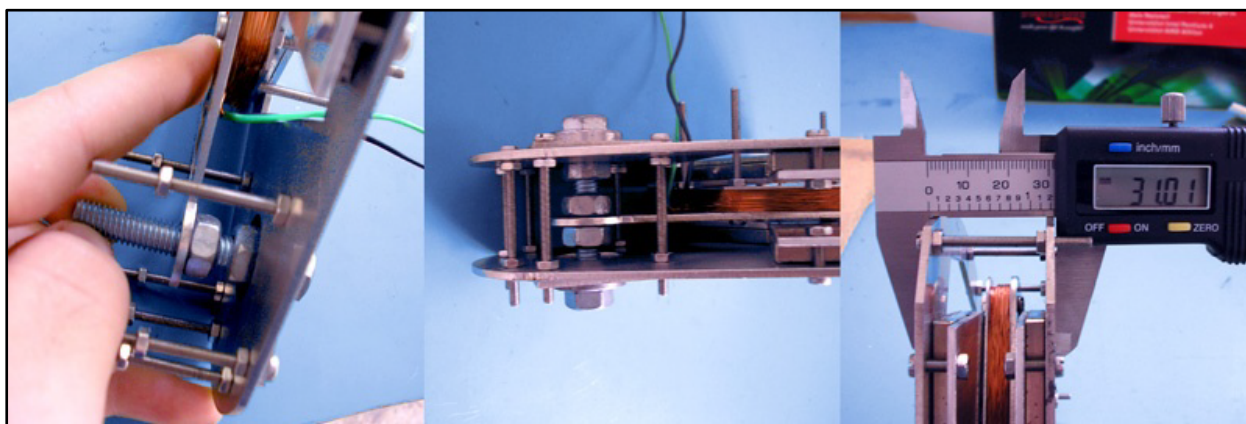
Εικόνα 4.5.2

Αφού ολοκληρώθηκε η περιέλιξη, αφαιρέθηκε το πλαστικό βοήθημα, όλο το πηνίο εμποτίστηκε με ισχυρή κόλλα (Logo) και στη συνέχεια ασφαλίστηκε το ευάλωτο σημείο του πηνίου με πλαστικά δεματικά (Εικόνα 4.5.2). Στη συνέχεια στηρίχθηκε με τη βοήθεια βιδών (3mm) το εξάρτημα συγκράτησης του ρουλεμάν στο εμπρόσθιο και στο πίσω τμήμα του σκελετού. Αφού τοποθετήθηκε το ρουλεμάν στο εμπρόσθιο τμήμα του σκελετού μία βίδα διατομής 8mm σε συνδυασμό με ένα κατάλληλο παξιμάδι στηρίχθηκαν σταθερά στο ρουλεμάν (Εικόνα 4.5.3). Με αυτόν τον τρόπο η βίδα – άξονας ενσωματώθηκε στο κινητό μέρος του ρουλεμάν και απέκτησε την ιδιότητα της ελεύθερης περιστροφής. Στη συνέχεια ένα δεύτερο παξιμάδι τοποθετήθηκε σε μικρή απόσταση από το πρώτο με σκοπό να συγκρατήσει το κινητό μέρος του βραχίονα (Εικόνα 4.5.3).



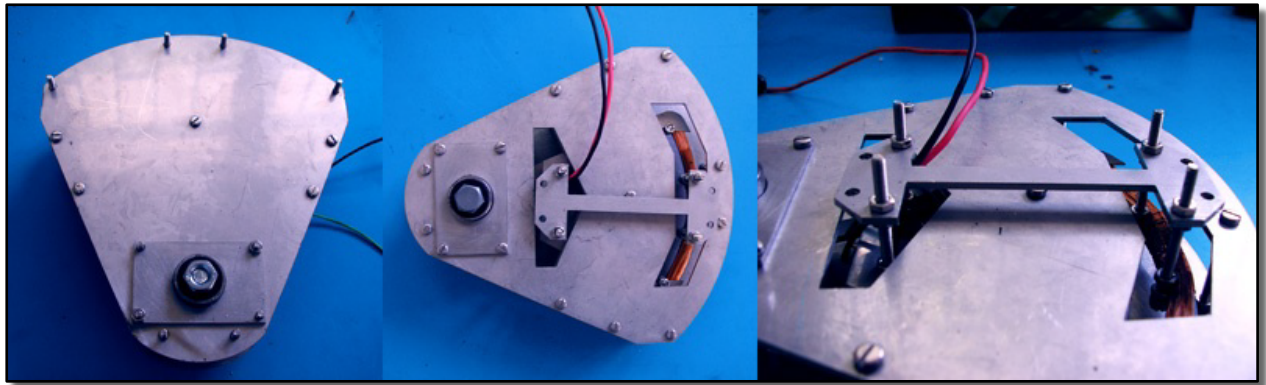
Εικόνα 4.5.3

Στη συνέχεια τοποθετήθηκε το κινητό μέρος με το πηνίο στην αναμονή που είχε αφήσει το τελευταίο παξιμάδι (Εικόνα 4.5.4). Ένα τρίτο παξιμάδι σταθεροποίησε το κινητό μέρος με τη βίδα – άξονα οπότε πλέον σαν συσσωμάτωμα το κινητό μέρος μπορούσε να κινείται ελεύθερα γύρω από τον άξονα του ρουλεμάν. Το πίσω μέρος του σκελετού έκλεισε την όλη κατασκευή αφού πρώτα είχε τοποθετηθεί άλλο ένα παξιμάδι για την ένωση του άξονα περιστροφής (βίδα – άξονας) με το δεύτερο ρουλεμάν. Κλείνοντας το δεύτερο εξάρτημα συγκράτησης του ρουλεμάν και το ίδιο το ρουλεμάν βιδώθηκαν στον σκελετό και στον άξονα αντίστοιχα. Με ένα ψηφιακό παχύμετρο υπολογίστηκε η ελάχιστη δυνατή απόσταση του πίσω μέρους από το μπροστινό (31mm) και στη συνέχεια ρυθμίστηκαν όλες οι βίδες συγκράτησης των δύο μερών στην ίδια απόσταση. Στην Εικόνα 4.5.4 φαίνονται τα τέσσερα παξιμάδια του άξονα περιστροφής, οι βίδες στήριξης του εμπρόσθιου με το πίσω μέρος και η γενικότερη διάταξη των εξαρτημάτων.



Εικόνα 4.5.4

Προσαρμόζοντας το εξάρτημα συγκράτησης της μπαγκέτας στην πλευρά των προεξehόντων βιδών ολοκληρώνεται η συναρμολόγηση του σκελετού και του κινητού μέρους του βραχίονα. Στην παρακάτω εικόνα (4.5.5) φαίνονται οι τρεις όψεις του.



Εικόνα 4.5.5

Το τελευταίο τμήμα της κατασκευής αφορά τη στήριξη του βραχίονα σε ένα συμβατικό τύμπανο drums. Τη λύση έδωσε ένα εξάρτημα της Shure το οποίο χρησιμεύει στην στήριξη ενός μικροφώνου στο στεφάνι ενός συμβατικού τυμπάνου. Το εν λόγω εξάρτημα αποτελείται από δύο μέρη, το πρώτο στηρίζεται στο στεφάνι του τυμπάνου ενώ το δεύτερο παρέχει την υποδοχή για το μικρόφωνο (Εικόνα 4.5.6). Χρησιμοποιώντας μία γωνία και ένα παραλληλόγραμμο προφίλ αλουμινίου έγινε η μετατροπή του δεύτερου μέρους ώστε να συνδυάζεται με τον ηλεκτρομηχανικό βραχίονα. Περιμετρικά του σκελετού πλέχτηκε ένα λάστιχο το οποίο χρησιμεύει σαν επιβραδυντής του κινητού μέρους κατά την επιστροφή του στη θέση ισορροπίας και για την προστασία της συσκευής από το εξωτερικό περιβάλλον. Τέλος ένα κουτί αλουμινίου προσαρμόστηκε στο πίσω τμήμα του σκελετού το οποίο φέρει εξωτερικά ένα βύσμα τύπου BNC και εσωτερικά τις απαραίτητες συνδέσεις με το πηνίο (Εικόνα 4.5.6).



Εικόνα 4.5.6

Ψηφιακός Μετατροπέας, Κατασκευή

5.1 Προγραμματισμός του Μικροελεγκτή

Για τον προγραμματισμό του μικροελεγκτή, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό και το κύκλωμα προγραμματισμού, της εταιρείας ATMEL. Στις επόμενες σελίδες, φαίνεται το πρόγραμμα του μικροελεγκτή και δίπλα με ερωτηματικό, οι επεξηγήσεις της κάθε εντολής.

```
-----  
                                Πρόγραμμα AVR Αρχή  
-----  
  
;r16 = General purpose Register  
;r17 = Delay Register  
;r18 = Delay Register  
;r19 = Delay Register  
;r20 = Calibrate Register  
;r21 = Test Register  
;r22 = Lfm Register (Midi Status Byte)  
;r23 = Lfm Register (Midi Note Byte)  
;r24 = Velocity Register (Run Mode)  
  
-----  
  
clr r16                                ; Clear all Registers  
clr r17  
clr r18  
clr r19  
clr r20  
clr r21  
clr r22  
clr r23  
clr r24  
clr r25  
clr r26  
clr r27  
clr r28  
clr r29  
clr r30  
clr r31  
  
-----  
  
Init:                                ; Port C As Output  
    ser r16
```

```

out $14, r16 ;
ldi r16, 32 ;
out $07, r16 ; Set AD Left ADjusted
ldi r16, 135 ;
out $6, r16 ;

ldi r16, 248 ; All Leds On
out $15, r16 ;

```

```

Security: ;
  in r16, $16 ; Check all buttons
  cpi r16, 160 ; If portb != 160 then
  brne Security ; goto Security
  ldi r16, 128 ;
  out $15, r16 ; Run Led On
Key: ;
  in r16, $16 ; Check all buttons
  cpi r16, 80 ; If portb != 80 then
  brne Key ; goto Key

Safe01: ;
  in r16, $16 ;
  cpi r16, 0 ; Check buttons not pressed
  brne Safe01 ;

  ldi r16, 0 ;
  out $15, r16 ; Turn Off Leds

```

```

Menu: ;
  sbi $15, 3 ; Menu Led On
  in r16, $16 ; Read buttons condition

  sbic $16, 0 ; If Cal = on then
  rjmp Calibrate ; goto Calibrate
  sbic $16, 1 ; If Tst = on then
  rjmp Test ; goto Test
  sbic $16, 2 ; If Lfm = on then
  rjmp Lfm ; goto Lfm
  sbic $16, 3 ; If Run = on then
  rjmp Run ; goto Run
  cpi r16, 144 ; If Menu = on then
  breq Init ; goto menu
  rjmp Menu ; Menu loop end

```

```

Calibrate:
    clr r16
    out $15, r16
    sbi $15, 4
    ldi r17, 0
    ldi r18, 0
    ldi r19, 0
    sbi $07, 0

    sbi $15, 1

Ready01:
    inc r17
    cpi r17, 70
    brne Ready01
    clr r17
    inc r18
    cpi r18, 70
    brne Ready01
    clr r18
    inc r19
    cpi r19, 70
    brne Ready01
    clr r19

    cbi $15, 1
    sbi $15, 0

    Button01:
        sbic $16, 5
        rjmp Safe02
        sbic $16, 4
        rjmp Safe01
        rjmp Button01

        Safe02:
            in r16, $16
            cpi r16, 0
            brne Safe02

            sbi $06, 6
            Conv1:
                sbic $06, 6
                rjmp Conv1
                in r20, $05

    cbi $15, 0
    sbi $15, 2

```

```

;
;
; All Leds Off
; Calibrate Led On
;
; Clear registers
;
; Set AD Channel = 1
;
;12V Reverse force
;
;
;
;
; Delay (t)
;
;
;
;
; Clear Register
;
; Clear bit
; Set bit / 5V Reverse Force
;
;
; If Set = on then
; goto Safe02
; If Menu = on then
; goto Safe01
; Button01 loop end
;
;
; Check buttons not pressed
;
; Start Conversion
;
; Wait ...
;
; Inport Pot Position
; Clear bit
; Set bit / 12V Hit

```

```

Delay01:
    inc r17
    cpi r17, 23
    brne Delay01
    clr r17
    inc r18
    cpi r18, 23
    brne Delay01
    clr r18
    inc r19
    cpse r19, r20
    rjmp Delay01
    clr r19

cbi $15, 2
rjmp Calibrate

```

; Delay (t-A)

; Clear bit
; Calibrate loop End

```

Test:
    clr r16
    out $15, r16
    sbi $15, 5
    ldi r17, 0
    ldi r18, 0
    ldi r19, 0

cbi $07, 0

sbi $15, 1

Ready02:
    inc r17
    cpi r17, 70
    brne Ready02
    clr r17
    inc r18
    cpi r18, 70
    brne Ready02
    clr r18
    inc r19
    cpi r19, 70
    brne Ready02
    clr r19

cbi $15, 1
sbi $15, 0

Button02:

```

; All Leds Off
; Test Led On
; Clear registers
; Set AD Channel = 0
; 12V Reverse Force
; Delay (t)
; 5V Reverse Force

```

                sbic $16, 6                ; If Hit = on then
                rjmp Safe03                ; goto Safe03
                sbic $16, 4                ; If Menu = on then
                rjmp Safe01                ; goto Safe01
                rjmp Button02              ; Button01 Loop End

Safe03:         ;
                in r16, $16                ;
                cpi r16, 0                  ; Check buttons not pressed
                brne Safe03                ;

                sbi $06, 6                 ; Start Conversion

Conv2:         ;
                sbic $06, 6                 ; Wait...
                rjmp Conv2                  ;
                in r21, $05                 ;
                lsr r21                      ; Shift Left By 1 (Convert for

Midi)

                cbi $15, 0                  ;
                sbi $15, 2                  ; 12V Hit

CalDelay01:    ;
                inc r17                     ;
                cpi r17, 23                 ;
                brne CalDelay01             ;
                clr r17                     ;
                inc r18                     ;
                cpi r18, 23                 ; Delay from Calibrate
                brne CalDelay01             ;
                clr r18                     ;
                inc r19                     ;
                cpse r19, r20                ;
                rjmp CalDelay01             ;
                clr r19                     ;

Delay02:       ;
                inc r17                     ;
                cpi r17, 20                 ;
                brne Delay02                ;
                clr r17                     ;
                inc r18                     ;
                cpi r18, 20                 ; Delay from velocity
                brne Delay02                ;
                clr r18                     ;
                inc r19                     ;
                cpse r19, r21                ;
                rjmp Delay02                ;
                clr r19                     ;

```

```

cbi $15, 2           ; 12v = off
rjmp Test           ; Test End

```

Lfm.;

```

ldi r16, 64         ;
out $15, r16       ; Lfm Led On

clr r16            ;
clr r17            ;
clr r18            ;
clr r19            ;
clr r19            ; Clear registers
clr r22            ;
clr r23            ;
clr r24            ;

MidiWait01:        ;
    sbic $10, 0    ; Check For StartBit
    rjmp Receive01 ;
    sbic $16, 4    ; Check Menu Button
    rjmp Safe01    ;
    rjmp MidiWait01 ; End loop

Receive01:         ;

    inc r16        ;
    cpi r16, 68    ; Delay For BaudRate = 31250
    brne Receive01 ;

    lsr r17        ; Shift r17 right

    in r16, $10    ; Input r16=PortD
    ror r16        ; RightBit of r16 to Carry
    ror r16        ; Carry to LeftBit of r16

    ldi r19, 128   ; Secure the 6 LSB bits of
    and r16, r19   ; r16 are ZERO
    or r17, r16    ; Move Bit7 of r16 to r17

    clr r16        ; Clear register

    inc r18        ; Bit Count = 8
    cpi r18, 8     ; Repeat the procedure for
    brne Receive01 ; 8 times

```

```

LfmStopBit01:
    inc r16
    cpi r16, 68
    brne LfmStopBit01

    com r17

    ldi r16, 240
    and r16, r17

    cpi r16, 144
    brne Lfm

    or r22, r17

    clr r16
    clr r17
    clr r18
    clr r19

MidiWait02:
    sbis $10, 0
    rjmp MidiWait02

Receive02:
    inc r16
    cpi r16, 68
    brne Receive02

    lsr r17

    in r16, $10
    ror r16
    ror r16

    ldi r19, 128
    and r16, r19

    or r17, r16

    clr r16

    inc r18
    cpi r18, 8

```

; Delay For LastBit
; Negative r17
; Make an Omni copy of
; r17 to r16 (for all midi
channels)
; Check if r16 or r17
; is NoteOn Byte
; Copy r17 to r22
; Clear registers
; Check For StartBit
; Delay For BaudRate = 31250
; Shift r17 right
; Input r16=PortD
; RightBit of r16 to Carry
; Carry to LeftBit of r16
; Secure the 6 LSB bits of
; r16 are ZERO
; Move Bit7 of r16 to r17
; Clear register
; Bit Count = 8
; Repeat the procedure for

```

        brne Receive02                ; 8 times

LfmStopBit02:
    inc r16                          ;
    cpi r16, 68                      ; Delay For LastBit
    brne LfmStopBit02               ;

    com r17                          ; Negative r17

    clr r16                          ;
    out $15, r16                    ; Lfm Led Off

LfmSet:
    sbic $16, 4                      ; Check For Menu Button
    rjmp Safe01                      ;
    sbis $16, 7                      ; Check For Lfm Set Button
    rjmp LfmSet                     ;

    or r23, r17                      ; Copy r17 to r23

    clr r17                          ; Clear Registers
    clr r18                          ;
    clr r19                          ;

    rjmp Safe01                     ; Return to Menu

;-----
Run:
    ldi r16, 128                     ;
    out $15, r16                    ;

    sbi $15, 1                      ;12V Reverse Movement

Ready12:
    inc r17                          ;
    cpi r17, 70                      ;
    brne Ready12                    ;
    clr r17                          ;
    inc r18                          ;
    cpi r18, 70                      ; Delay (t)
    brne Ready12                    ;
    clr r18                          ;
    inc r19                          ;
    cpi r19, 70                      ;
    brne Ready12                    ;
    clr r19                          ;

```

```

cbi $15, 1 ;
sbi $15, 0 ; 5V Reverse Force

clr r16 ; Clear register

MidiWait11: ;
    sbic $10, 0 ; Check For StartBit
    rjmp Receive11 ;
    sbic $16, 4 ; Check Menu Button
    rjmp Safe01 ;
    rjmp MidiWait11 ; End loop

Receive11: ;
    inc r16 ;
    cpi r16, 68 ; Delay For BaudRate = 31250
    brne Receive11 ;

    lsr r17 ; Shift r17 right

    in r16, $10 ; Input r16=PortD
    ror r16 ; RightBit of r16 to Carry
    ror r16 ; Carry to LeftBit of r16

    ldi r19, 128 ; Secure the 6 LSB bits of
    and r16, r19 ; r16 are ZERO

    or r17, r16 ; Move Bit7 of r16 to r17

    clr r16 ; Clear register

    inc r18 ; Bit Count = 8
    cpi r18, 8 ; Repeat the procedure for
    brne Receive11 ; 8 times

LfmStopBit11: ;
    inc r16 ;
    cpi r16, 68 ; Delay For LastBit
    brne LfmStopBit11 ;

    com r17 ; Negative r17

    cpse r17, r22 ; Check Status Byte = Lfm
    rjmp Ready12 ;

clr r16 ; Clear registers
clr r17 ;
clr r18 ;
clr r19 ;

```

```

MidiWait12:
    sbis $10, 0
    rjmp MidiWait12

Receive12:
    inc r16
    cpi r16, 68
    brne Receive12

    lsr r17

    in r16, $10
    ror r16
    ror r16

    ldi r19, 128
    and r16, r19

    or r17, r16

    clr r16

    inc r18
    cpi r18, 8
    brne Receive12

LfmStopBit12:
    inc r16
    cpi r16, 68
    brne LfmStopBit12

    com r17

    cpse r17, r23
    rjmp Ready12

    clr r16
    clr r17
    clr r18
    clr r19

MidiWait13:
    sbis $10, 0
    rjmp MidiWait13

Receive13:
    inc r16
    cpi r16, 68
    brne Receive13

```



```

lsr r17                ; Shift r17 right

in r16, $10           ; Input r16=PortD
ror r16               ; RightBit of r16 to Carry
ror r16               ; Carry to LeftBit of r16

ldi r19, 128          ; Secure the 6 LSB bits of
and r16, r19          ; r16 are ZERO

or r17, r16           ; Move Bit7 of r16 to r17

clr r16               ; Clear register

inc r18               ; Bit Count = 8
cpi r18, 8            ; Repeat the procedure for
brne Receive13        ; 8 times

LfmStopBit13:        ;
inc r16               ;
cpi r16, 68           ; Delay For LastBit
brne LfmStopBit13    ;

com r17               ; Negative r17

cpi r17, 0            ;
breq BrakePoint01    ; Check for NoteOff

mov r24, r17          ; Copy r17 to r24

clr r16               ;
clr r17               ; Clear Registers
clr r18               ;
clr r19               ;

; →

cbi $15, 0            ;
sbi $15, 2            ; 12V Hit

CalDelay11:          ;
inc r17               ;
cpi r17, 23           ;
brne CalDelay11      ;
clr r17               ;
inc r18               ;
cpi r18, 23           ; Calibrate Delay
brne CalDelay11      ;
clr r18               ;
inc r19               ;

```

```

        cpse r19, r20          ;
        rjmp CalDelay11      ;
        clr r19              ;

Delay12:
        inc r17              ;
        cpi r17, 20          ;
        brne Delay12        ;
        clr r17              ;
        inc r18              ;
        cpi r18, 20          ; Velocity Delay
        brne Delay12        ;
        clr r18              ;
        inc r19              ;
        cpse r19, r24        ;
        rjmp Delay12         ;
        clr r19              ;

        cbi $15, 2          ;
        sbi $15, 1          ; 12V Reverse Force
        rjmp Ready12        ;

BrakePoint01:
        rjmp Ready12        ;

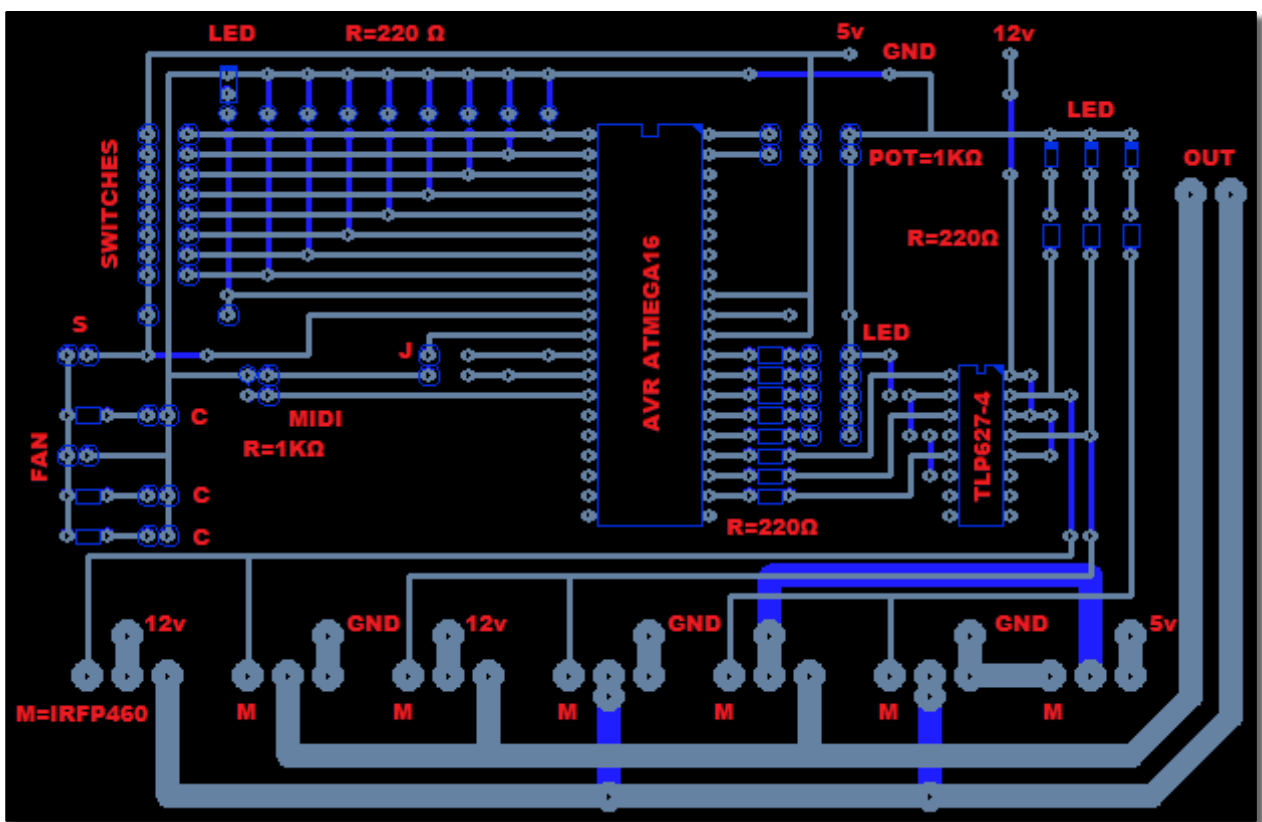
```

Πρόγραμμα AVR Τέλος

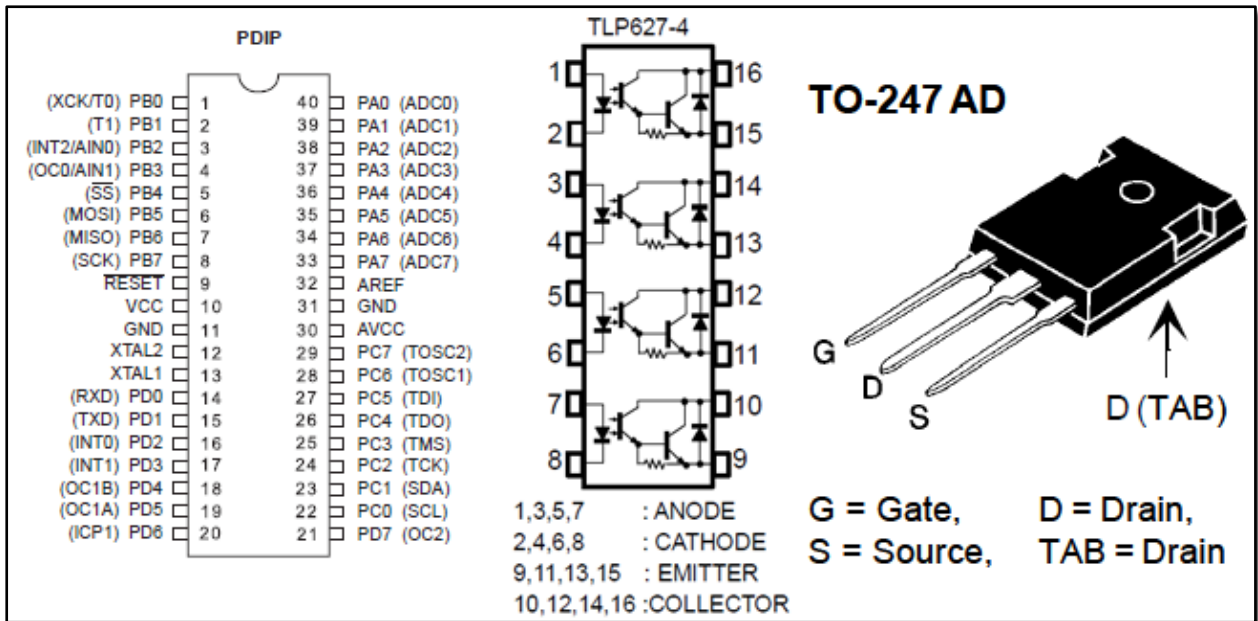
Κατά την περάτωση του προγραμματισμού, στο λογισμικό του ηλεκτρονικού υπολογιστή (AVR Tool), ο μικροελεγκτής τοποθετείται, στην κατάλληλη θέση του κυκλώματος προγραμματισμού (Εικόνα 3.4.1). Συνδέοντας το κύκλωμα προγραμματισμού, μέσω της σειριακής θύρας (RS232) με τον υπολογιστή, το AVR Tool αποκτά τον πλήρη έλεγχο. Αφού ενεργοποιηθεί η διαγραφή, όλων των θέσεων μνήμης του μικροελεγκτή, γίνεται ο προγραμματισμός του. Τα δεδομένα του προγράμματος, μετατρέπονται σε αλληλουχία δυαδικών ψηφίων και μέσω του σειριακού καλωδίου και του κυκλώματος προγραμματισμού, εγγράφονται στη μνήμη προγράμματος του μικροελεγκτή. Το εσωτερικό RC Clock του τελευταίου, προγραμματίστηκε μέσω του λογισμικού στα **2 MHz = 2000000 Hz**.

5.2 Σχεδίαση του Ηλεκτρονικού Κυκλώματος

Για την σχεδίαση, του ηλεκτρονικού κυκλώματος του ψηφιακού μετατροπέα, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό της **ABACOM, Sprint Layout 5.0** το οποίο, έχει τη δυνατότητα να εξάγει τη μορφή του τυπωμένου, δηλαδή να εξάγει σε μορφή αρχείου εικόνας, την πραγματική όψη της πλακέτας από την πίσω πλευρά, την πλευρά που καλύπτουν οι διαδρομές χαλκού. Παρέχει, τη δυνατότητα σχεδίασης πολλών επιπέδων και εμπεριέχει λίστα, με τους συμβολισμούς των περισσοτέρων εξαρτημάτων της αγοράς. Τέλος, δίνεται στο χρήστη η δυνατότητα, να σχεδιάσει το κύκλωμα από την εμπρόσθια όψη του και στη συνέχεια το λογισμικό να εξάγει την πίσω όψη, λειτουργία ιδιαίτερα χρήσιμη. Στα παρακάτω σχήματα φαίνονται, το ηλεκτρονικό σχέδιο του μετατροπέα (Σχήμα 5.2.1) και οι επεξηγήσεις των pin, για τα τρία σημαντικότερα εξαρτήματα του κυκλώματος (Σχήμα 5.2.2).



Σχήμα 5.2.1



Σχήμα 5.2.2

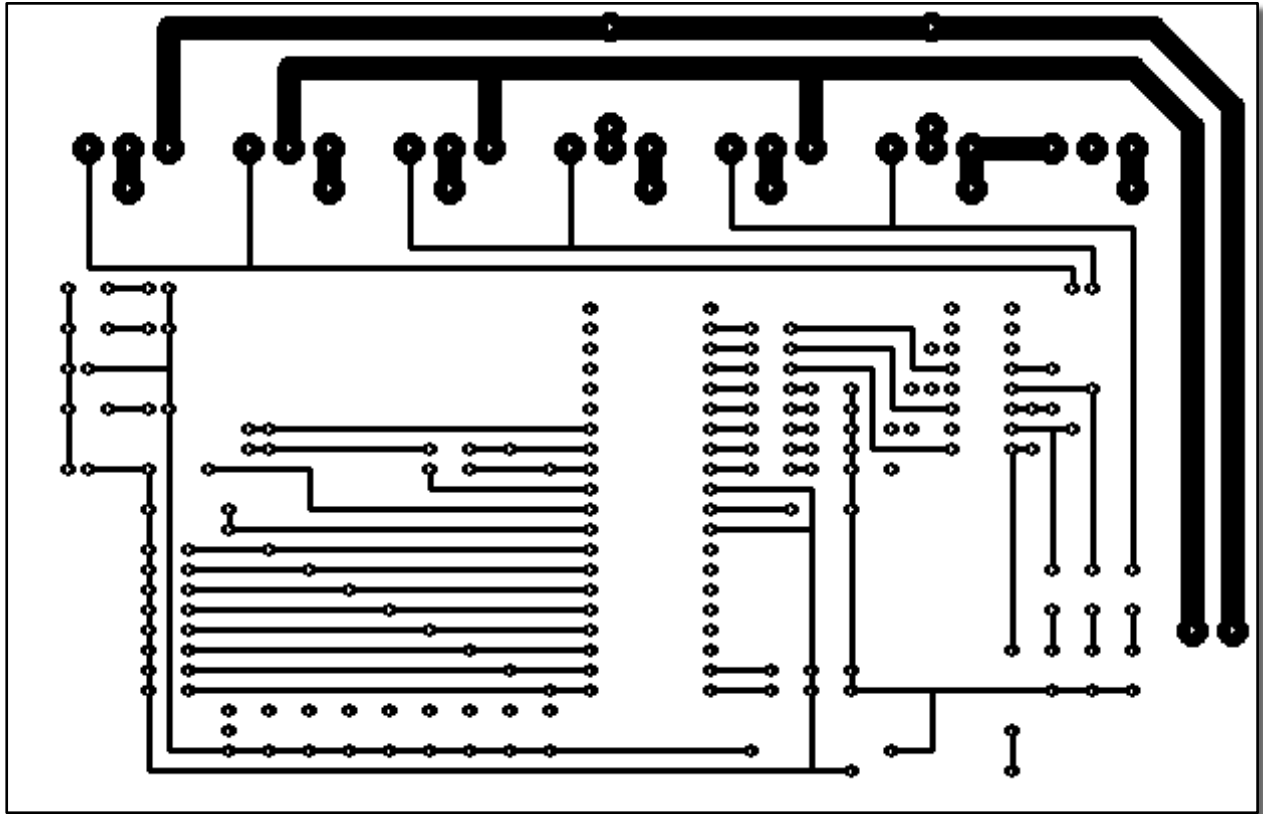
Τον έλεγχο της συσκευής, αναλαμβάνει κατά κύριο λόγο το ολοκληρωμένο (IC) της ATMEGA16 της σειράς AVR (Παράγραφος 3.4). Στο Σχήμα 5.2.2 αριστερά, διακρίνονται οι διευκρινήσεις για το κάθε pin (τμήμα αγωγού που χρησιμεύει στη σύνδεση του ολοκληρωμένου με το υπόλοιπο κύκλωμα). Το συγκεκριμένο IC, παρέχει, τέσσερις των οκτώ bit εισόδους ή εξόδους (ο κατασκευαστής τις ονομάζει **πόρτες** για ευκολία), των οποίων η ιδιότητα της εισόδου ή της εξόδου, εξαρτάται από τον προγραμματιστή και οι οποίες αριθμούνται, με τα γράμματα του λατινικού αλφάβητου **PA** έως **PD** ενώ το κάθε pin, με αριθμούς από το **0** έως το **7**. Έτσι για παράδειγμα, το pin PC4, είναι το πέμπτο pin της πόρτας C. Οι ενδείξεις **VCC** και **GND**, αντιστοιχούν στην παροχή τροφοδοσίας (5v) και στη γείωση του εξαρτήματος. Τα pin της πόρτας A, μπορούν με κατάλληλες εντολές, να μετατραπούν σε έναν μετατροπέα αναλογικού σε ψηφιακό (**ADC**, **A**nalog to **D**igital **C**onverter), οκτώ εισόδων (σημειώνεται στις παρενθέσεις του σχεδιαγράμματος ως ADC0...ADC7) και για την συγκεκριμένη λειτουργία χρειάζονται, μία τάση αναφοράς (AREF) και μία τάση τροφοδοσίας (AVCC). Η επιπλέον τάση τροφοδοσίας, παρέχεται, για την αποφυγή θορύβου στον ADC, δίνοντας στον ηλεκτρονικό σχεδιαστή, τη δυνατότητα της παρεμβολής μεταξύ της AVCC και των 5v του τροφοδοτικού, ένα φίλτρο διέλευσης χαμηλών συχνοτήτων. Εντός των παρενθέσεων στο σχεδιάγραμμα του IC, σημειώνονται οι δευτερεύουσες λειτουργίες του κάθε pin, οι οποίες όμως δεν χρησιμοποιούνται στην παρούσα εργασία. Στο σχήμα 5.2.2 στη μέση, διακρίνουμε το ολοκληρωμένο TLP627-4, το οποίο αποτελείται από τέσσερα optocouplers TLP627 της Toshiba. Στην αριστερή πλευρά του εξαρτήματος βρίσκονται τα LEDs και στη δεξιά τα φωτοευαίσθητα transistors (Παράγραφος 3.3). Τέλος, στη δεξιά πλευρά του σχήματος, παρουσιάζεται το Mosfet IRFP460, το οποίο χρησιμοποιείται σαν ένας ηλεκτρονικός διακόπτης μεγάλων ρευμάτων (Παράγραφος 3.3).

Στο κέντρο περίπου του κυκλώματος (Σχήμα 5.2.1), τοποθετείται ο μικροελεγκτής. Τα οκτώ pin της πόρτας B χρησιμοποιούνται ως εισοδοί και έχουν συνδεθεί με τους διακόπτες του μπροστινού panel της συσκευής. Σε κάθε γραμμή

μεταξύ των διακοπών και του μικροελεγκτή, έχει συνδεθεί μία αντίσταση φορτίου, η οποία διαρρέεται από ρεύμα, κάθε φορά που ενεργοποιείται ένας διακόπτης. Με αυτόν τον τρόπο, γειώνονται τα pin εισόδου όταν οι διακόπτες είναι κλειστοί. Σημειώνεται ότι, με γκρι χρώμα σχεδιάστηκαν οι γραμμές του χαλκού, στην πίσω όψη της πλακέτας και με μπλε χρώμα, οι διαδρομές στην εμπρόσθια όψη. Οποιοδήποτε άλλο εξάρτημα έχει μπλε σκούρο χρώμα, σημαίνει πως βρίσκεται στην μπροστινή πλευρά. Η τάση των 5v της τροφοδοσίας, οδηγείται μέσω ενός ενδεικτικού LED και μίας προστατευτικής αντίστασης, στο VCC pin του μικροελεγκτή ενώ η γείωση μέσω ενός Jumper (J), στο pin GND. Στη γραμμή της γείωσης, εφάπτεται και το ένα από τα δύο pin του MIDI ενώ το άλλο, οδηγείται στο pin PD0. Επειδή το MIDI ουσιαστικά, είναι ένας μεταβαλλόμενος βρόγχος ρεύματος (συχνά γίνεται η σύγχυση ότι το MIDI περιγράφεται από μία μεταβαλλόμενη τάση), μία αντίσταση φορτίου παράλληλη με τα pin εισόδου, εκτονώνει το εισερχόμενο ρεύμα. Ταυτόχρονα, ο αρνητικός πόλος της MIDI μετάδοσης γειώνεται, έτσι μετατρέπεται ο μεταβαλλόμενος βρόγχος ρεύματος, σε μεταβαλλόμενη τάση, η οποία οδηγείται στον μικροελεγκτή. Αριστερότερα υπάρχει ο διακόπτης επανατοποθέτησης (reset) και ένας διακόπτης (S) ο οποίος ενεργοποιεί, μία ξεχωριστή ομάδα στο κύκλωμα. Στην τελευταία υπάρχουν οι υποδοχές, για την παροχή του ανεμιστήρα, την παροχή του αντίστοιχου ενδεικτικού LED (μέσω μίας αντίστασης), καθώς και μία ακόμη παροχή γενικής χρήσης, η οποία όμως δεν χρησιμοποιείται. Στην επάνω δεξιά πλευρά του μικροελεγκτή (Σχήμα 5.2.1), υπάρχουν δύο συνδετήρες των τριών pin ο καθένας, οι οποίοι συνδέονται με τα pin δύο ποτενσιόμετρων. Τα συγκεκριμένα ποτενσιόμετρα χρησιμεύουν για το Calibrate και το Test του προγράμματος AVR. Οι δρομείς των ποτενσιόμετρων οδηγούνται στα pin ADC0 και ADC1 ενώ τα άλλα δύο ζευγάρια ακροδεκτών, στη παροχή των 5v και στη γείωση. Επίσης τα pin AREF και AVCC, τα οποία αφορούν τον ADC, συνδέονται με την παροχή των 5v, ενώ παράλληλα γειώνεται και το δεύτερο pin GND. Συνεχίζοντας πιο κάτω διακρίνονται οι οκτώ αντιστάσεις στις εξόδους της πόρτας C, εκ των οποίων οι πρώτες πέντε, δημιουργούν την απαραίτητη πτώση τάσης, για τα πέντε LED του panel της συσκευής ενώ οι υπόλοιπες τρεις, συνδέονται με το ολοκληρωμένο TLP627-4. Το συγκεκριμένο optocoupler, χρησιμεύει στη μετατροπή των 5v μικρού ρεύματος που παρέχει ο μικροελεγκτής, σε 12v μεγαλύτερο ρεύμα το οποίο οδηγείται στα Mosfet. Τα pin 1, 3, 5 συνδέονται με τα pin PC2, PC1, PC0 αντίστοιχα ενώ τα pin 2, 4, 6 με την γείωση. Για κάθε ένα optocoupler, το φωτοευαίσθητο τμήμα δεξιά (σχήμα) συνδέει την τάση των 12v με τις πύλες των Mosfet. Σε κάθε optocoupler αντιστοιχούν δύο Mosfet, ένα για την παροχή της τάσης στο πηνίο και ένα για την γείωση. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η επιλογή της ορθής ή ανάστροφης πόλωσης του πηνίου. Το τρίτο ζευγάρι Mosfet παρέχει ανάστροφη τάση ισορροπίας 5v στο πηνίο ώστε να μειώνεται η κατανάλωση ρεύματος στον βραχίονα. Σε κάθε Mosfet μεταξύ της πηγής και του απαγωγού υπάρχει μία εσωτερική δίοδος που αποτρέπει την ανάστροφη πόλωση. Αυτό έχει σαν συνέπεια όταν λειτουργεί το δεύτερο ζευγάρι Mosfet το οποίο στέλνει ανάστροφο ρεύμα τάσεως 12v στο πηνίο, τα 12v αυτά να έρχονται σε επαφή με τα 5v του τροφοδοτικού. Αυτήν την επαφή αποτρέπει η δίοδος η οποία βρίσκεται στο δεξιό κάτω άκρο του κυκλώματος. Απουσία αυτής της δίοδου θα προκαλέσει ολική καταστροφή του τροφοδοτικού. Οι γραμμές που οδηγούν το ρεύμα στο πηνίο είναι πολύ φαρδύτερες για να αντέξουν τα 18 A που τις διαρρέουν. Αριστερά από τον συνδετήρα της εξόδου βρίσκονται τρία LED με τις αντίστοιχες αντιστάσεις τα οποία πληροφορούν τον τεχνικό για το ποιο ζευγάρι Mosfet είναι ενεργοποιημένο ώστε να διευκολυνθεί η επισκευή του κυκλώματος.

5.3 Κατασκευή του Ηλεκτρονικού Κυκλώματος

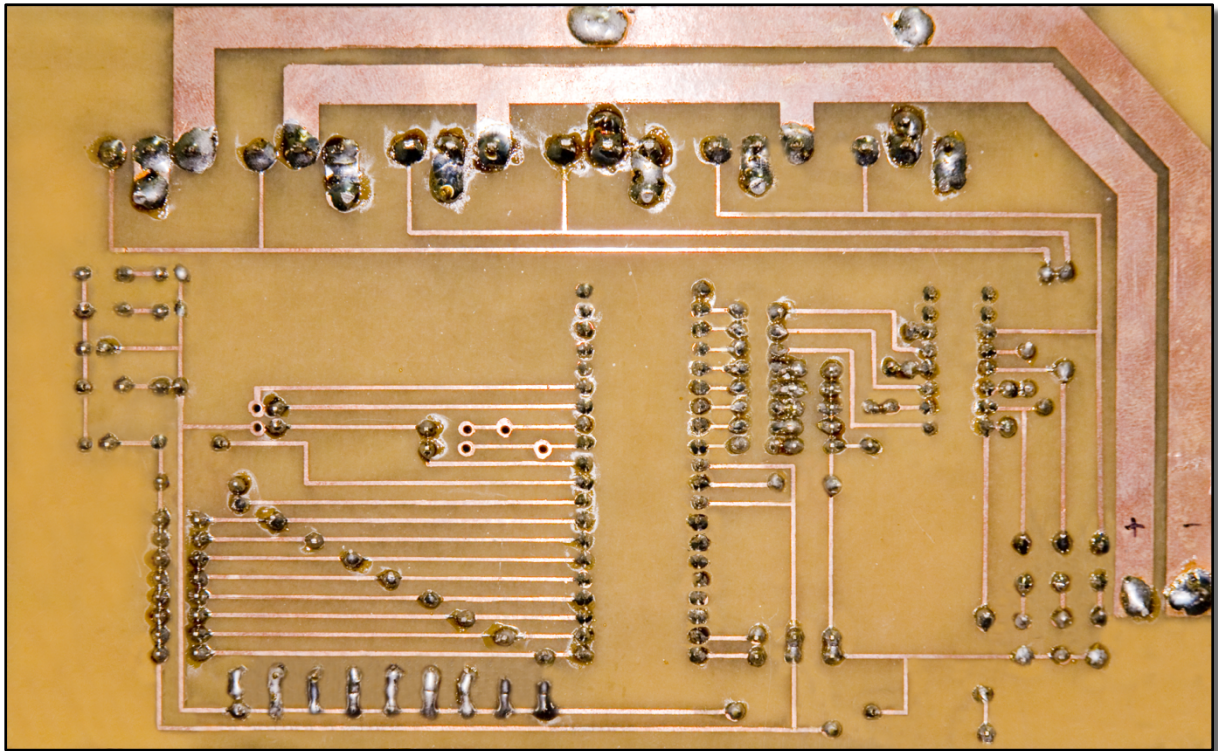
Έχοντας έτοιμο το κύκλωμα σε ψηφιακή μορφή, εξάγουμε σε ένα αρχείο εικόνας σε αντεστραμμένη μορφή μόνο τις γραμμές που αφορούν το πίσω μέρος της πλακέτας (Σχήμα 5.3.1).



Σχήμα 5.3.1

Στη συνέχεια σχεδιάζεται το κύκλωμα σε μία εποξική πλακέτα της οποίας η μία πλευρά είναι επικαλυμμένη με μία στρώση χαλκού. Χρησιμοποιείται μόνο ανεξίτηλος μαρκαδόρος με πάχος γραφής 1,8mm. Η πλακέτα τοποθετείται για μερικά λεπτά σε δοχείο το οποίο περιέχει διάλυμα άνυδρου χλωριούχου σιδήρου σε αναλογία 1:2 με νερό. Τα σημεία που είναι προστατευμένα με την στρώση χρώματος από τον μαρκαδόρο παραμένουν αναλλοίωτα σε αντίθεση με τα υπόλοιπα σημεία τα οποία διαλύονται στο χημικό. Όταν τελειώσει η διαδικασία, στην επιφάνεια της πλακέτας έχουν απομείνει μόνο οι διαδρομές χαλκού οι οποίες είχαν σχεδιαστεί πρωτίτερα. Με τη βοήθεια ενός ηλεκτρικού τρυπανιού με μύτη πάχους 0,8mm ανοίγονται οι οπές στα σημεία που υποδεικνύει το κυκλωματικό διάγραμμα.

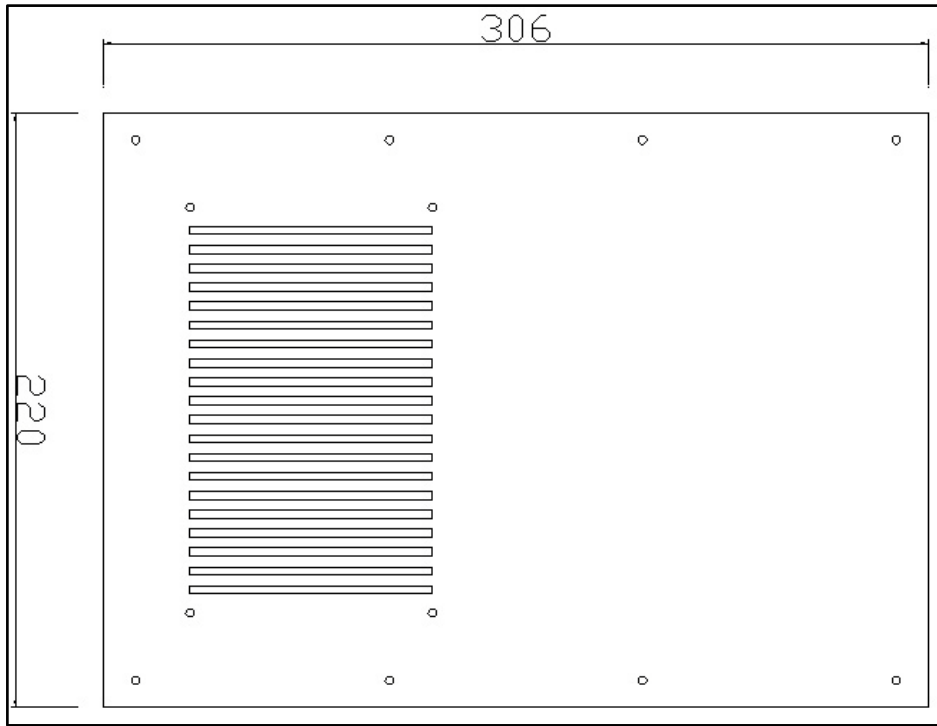
Έχοντας ολοκληρώσει τη διαδικασία κατασκευής της πλακέτας γίνεται η συγκόλληση των εξαρτημάτων. Το ηλεκτρικό εργαλείο συγκόλλησης πρέπει να μένει τον λιγότερο δυνατόν χρόνο σε επαφή με το ηλεκτρονικό εξάρτημα ώστε να μην το υπερθερμάνει. Με τη βοήθεια ειδικού σύρματος (με περιεκτικότητα σε κασσίτερο 99% και χαλκό 1%) το οποίο στην αγορά ονομάζεται **κόλληση** γίνεται εφαρμογή των εξαρτημάτων στις διαδρομές του χαλκού στην πλακέτα. Μία ολοκληρωμένη εικόνα της πλακέτας φαίνεται παρακάτω (Εικόνα 5.3.1).



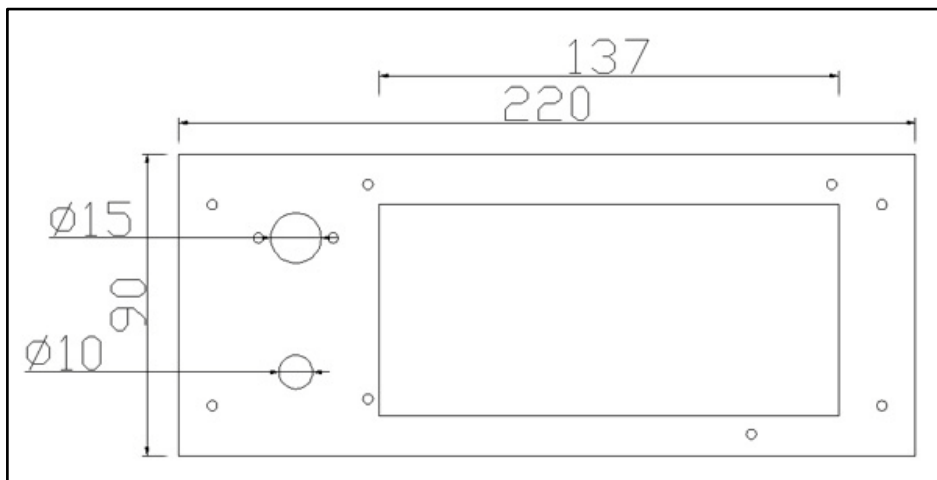
Εικόνα 5.3.1

5.4 Σχεδίαση και Κατασκευή του Περιβλήματος του Κυκλώματος

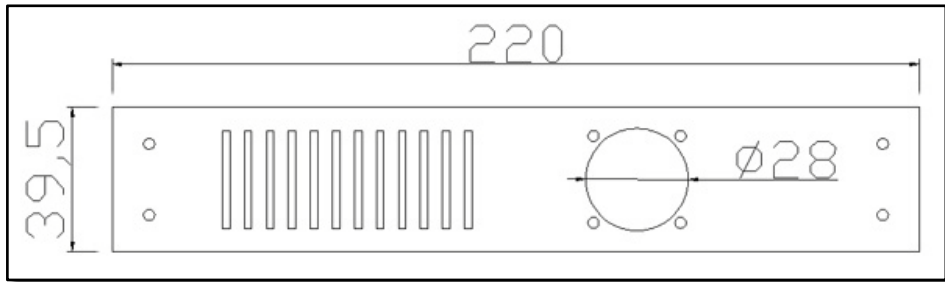
Κάνοντας χρήση του AutoCAD σχεδιάστηκαν τα μεταλλικά μέρη του περιβλήματος. Χρησιμοποιήθηκε ανοξείδωτος χάλυβας όπως και στον βραχίονα ως μία οικονομικότερη λύση. Τα μεταλλικά μέρη στερεώνονται σε δύο ξύλινες βάσεις πάχους 2cm. Στα παρακάτω σχήματα φαίνονται τα σχέδια των τμημάτων που απαρτίζουν το περίβλημα της συσκευής.



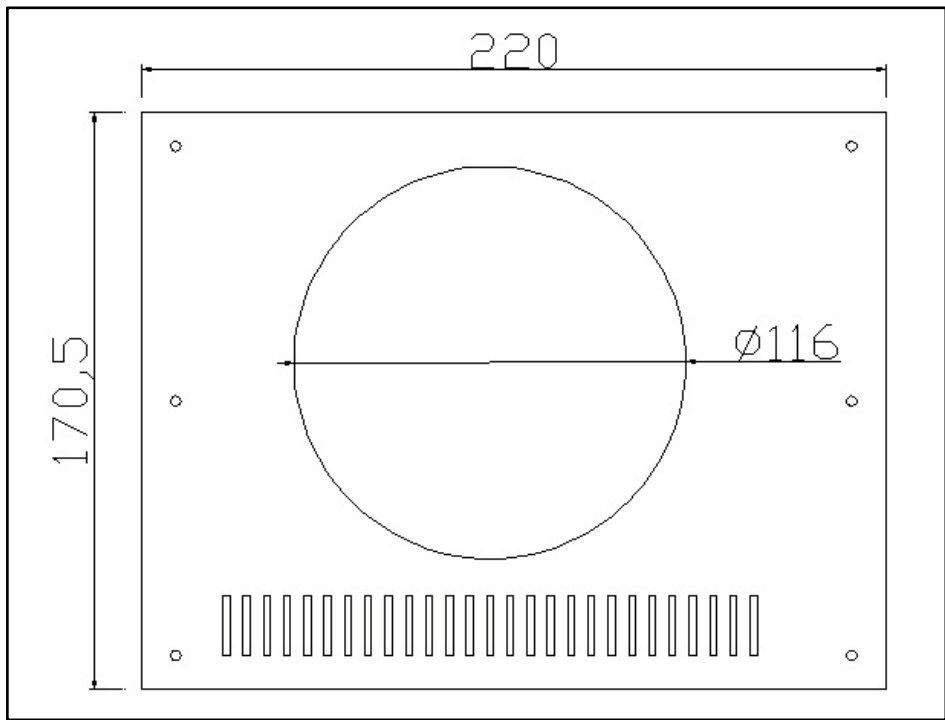
Σχήμα 5.4.1



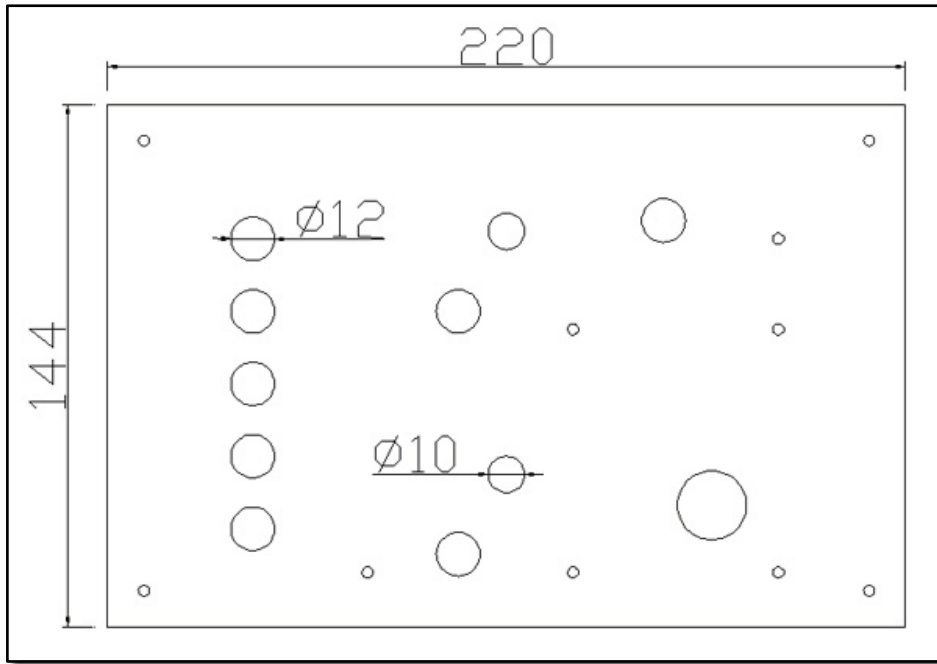
Σχήμα 5.4.2



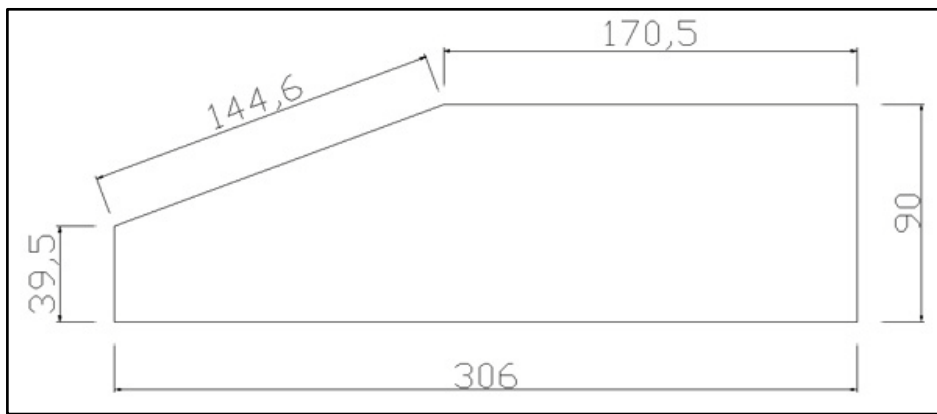
Σχήμα 5.4.3



Σχήμα 5.4.4

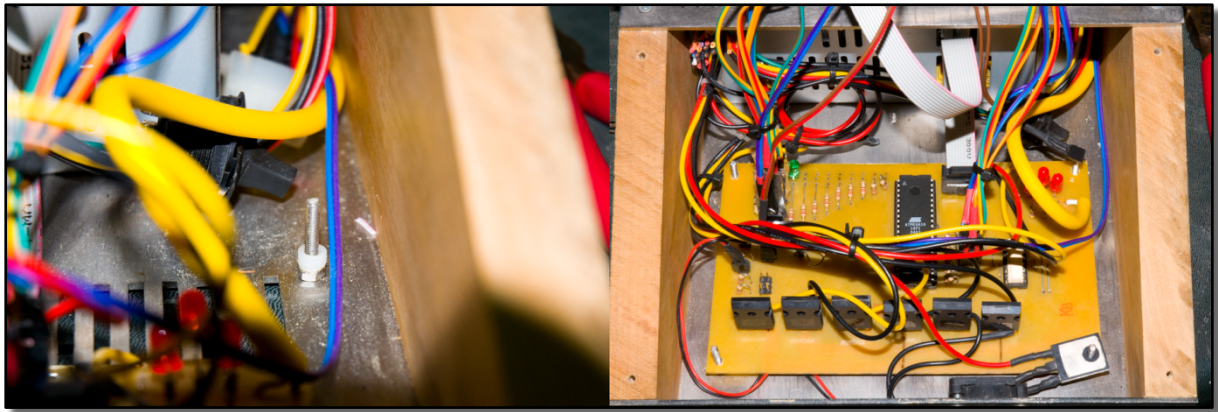


Σχήμα 5.4.5



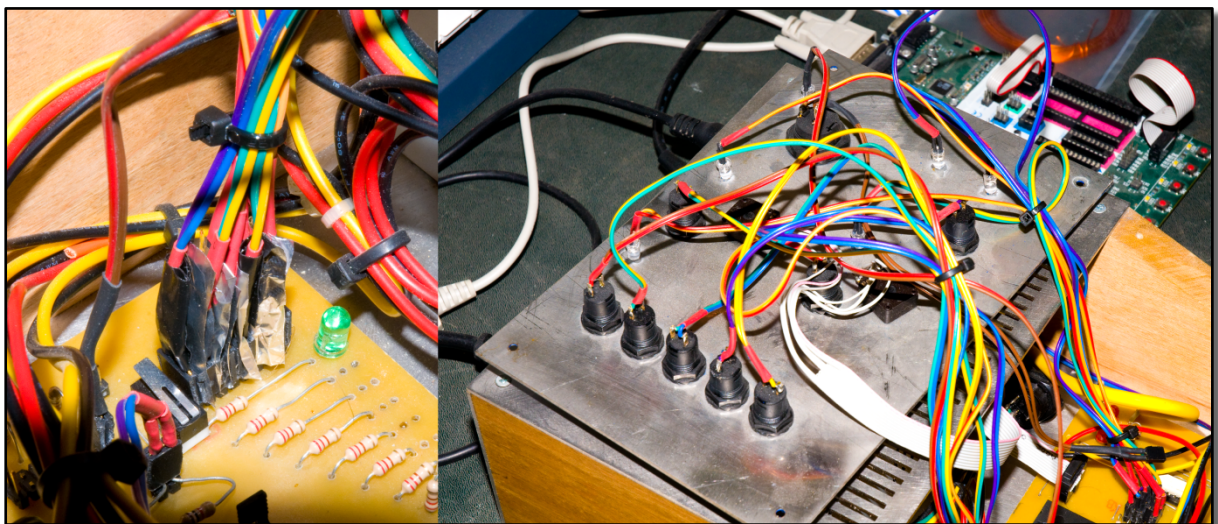
Σχήμα 5.4.6

Στην πίσω πλευρά το μεταλλικό κάλυμμα έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε να συνδυάζεται με το τροφοδοτικό, το ίδιο συμβαίνει και με το πάνω κάλυμμα. Χρησιμοποιώντας βίδες κατάλληλες για ξύλο ξεκίνησε η διαδικασία του μονταρίσματος. Αρχικά συναρμολογήθηκαν τα πλαϊνά και το κάτω τμήμα ώστε να στερεωθούν το τροφοδοτικό και η πλακέτα. Το τροφοδοτικό βιδώθηκε με τις υπάρχουσες βίδες στο πίσω κάλυμμα ενώ η πλακέτα αφού συνδέθηκε με το τροφοδοτικό βιδώθηκε στις τέσσερις γωνίες τις στο μέσα τμήμα του περιβλήματος (Εικόνα 5.4.1).



Εικόνα 5.4.1

Αφού στερεώθηκαν τα ποτενσιόμετρα, οι διακόπτες και τα LED στο εμπρόσθιο panel της συσκευής πραγματοποιήθηκε και η σύνδεσή τους με το κύκλωμα. Για κάθε εξάρτημα από τα προαναφερθέντα αντιστοιχεί και ένας συνδετήρας πάνω στη πλακέτα. Με τα κατάλληλα βύσματα κολλήθηκαν τα καλώδια στα εξαρτήματα και στη συνέχεια συνδέθηκαν στις προκαθορισμένες θέσεις τους. Για την περίπτωση των διακοπών, ανάμεσα σε κάθε συνδετήρα προστέθηκε μία στρώση αλουμινοχαρτο ώστε να αποφευχθούν επαγωγικά φαινόμενα. Κάθε κόλληση σε καλώδιο ασφαλίστηκε με χρήση θερμοσυστελλόμενου καλωδίου (Εικόνα 5.4.2). Τέλος, στο εμπρόσθιο τμήμα του περιβλήματος βιδώθηκε ένας ανεμιστήρας μικρού μεγέθους, με τάση λειτουργίας τα 5v. Όλες οι καλωδιώσεις χωρίστηκαν σε ομάδες χρησιμοποιώντας δεματικά, ενώ απομακρύνθηκαν οι παροχές ρεύματος για αποφυγή των επαγωγικών φαινομένων. Η γείωση του κυκλώματος έχει συνδεθεί εσωτερικά, με το περίβλημα της συσκευής και με τον ανάλογο συνδετήρα της 220v πρίζας, ώστε να προληφθεί η πιθανότητα ηλεκτροπληξίας.



Εικόνα 5.4.2

Εγχειρίδιο Χρήσης

6.1 Προφυλάξεις

1. Πριν χρησιμοποιήσετε τη συσκευή σιγουρευτείτε ότι έχετε διαβάσει τις οδηγίες χρήσης
2. Δεν πρέπει να ανοίξετε ή να επέμβετε με οποιονδήποτε τρόπο στο εσωτερικό της συσκευής
3. Μην επιχειρήσετε να επισκευάσετε τη συσκευή ή να αντικαταστήσετε εξαρτήματα που την απαρτίζουν (εξαιρουμένων των επεμβάσεων που αναφέρονται σε αυτό το εγχειρίδιο χρήσης
4. Η συσκευή πρέπει να προφυλάσσεται από υψηλές θερμοκρασίες, υγρασία, ισχυρές δονήσεις και σκόνη
5. Δώστε ιδιαίτερη προσοχή στην ακεραιότητα των καλωδιώσεων. Ένα διαβρωμένο ή κατεστραμμένο καλώδιο μπορεί να προκαλέσει βλάβες στη συσκευή, ακόμη και πυρκαγιά
6. Αποφεύγετε να στερεώνετε τη συσκευή σε ασταθή σημεία
7. Κλείστε τον διακόπτη τροφοδοσίας και αφαιρέστε αμέσως το καλώδιο παροχής ηλεκτρικού ρεύματος όταν :
 - Το καλώδιο παροχής έχει υποστεί ζημιά
 - Κάποιο αντικείμενο έχει χτυπήσει τη συσκευή
 - Η συσκευή έχει εκτεθεί στη βροχή
 - Η συσκευή δεν συμπεριφέρεται με τον αναμενόμενο τρόπο
8. Απαγορεύεται η χρήση της συσκευής από μικρά παιδιά
9. Προστατεύστε τη συσκευή από χτυπήματα
10. Μη ζορίσετε κάποιο από τα καλώδια αν δεν εισέρχεται στη ανάλογη υποδοχή
11. Αφαιρείτε το καλώδιο τροφοδοσίας αν η συσκευή παραμείνει για μεγάλο χρονικό διάστημα εκτός λειτουργίας
12. Ποτέ μην ακουμπάτε με βρεγμένα χέρια οποιοδήποτε από τα καλώδια της συσκευής
13. Μην στηρίζεται αντικείμενα πάνω στη συσκευή
14. Μην μεταφέρετε τη συσκευή αν πρώτα δε έχετε αφαιρέσει όλα τα καλώδια
15. Αν υποπτευθείτε μυρωδιά καμένου ή οποιαδήποτε άλλη ένδειξη φωτιάς αφαιρέστε αμέσως το καλώδιο παροχής ηλεκτρικού ρεύματος
16. Η συσκευή διαθέτει ισχυρό μαγνητικό πεδίο. Απαγορεύεται να πλησιάσετε σιδερένια αντικείμενα ή ευαίσθητα ηλεκτρονικά προϊόντα. Προκαλεί ανεπανόρθωτη βλάβη σε πιστωτικές κάρτες αν αυτές έρθουν σε επαφή με τη συσκευή

6.2 Σημαντικές πληροφορίες

1. Η συσκευή μπορεί να παρέμβει σε συσκευές ραδιοκυμάτων όπως κινητά τηλέφωνα ή τηλεοράσεις.
2. Για τον καθημερινό καθαρισμό χρησιμοποιείτε ένα απαλό, στεγνό η ελάχιστα νωπό μαντήλι. Ποτέ μη χρησιμοποιείτε για καθαρισμό υλικά που περιέχουν οινόπνευμα ή βενζίνη
3. Χρησιμοποιείτε περιφερειακές συσκευές που έχουν υποστεί ποιοτικό έλεγχο

6.3 Περιγραφή της Συσκευής

Η συσκευή αποτελείται από δύο μέρη, τον βραχίονα με το εξάρτημα συγκράτησής του και τη συσκευή ελέγχου. Επίσης παρέχονται, ένα καλώδιο παροχής ρεύματος, ένα καλώδιο ένωσης της συσκευής ελέγχου με τον βραχίονα και ένα MIDI καλώδιο.



Εικόνα 6.3.1

Η συσκευή ελέγχου περιλαμβάνει στην πίσω πλευρά της, μία υποδοχή για την τροφοδοσία, έναν συνδετήρα τύπου BNC και έναν τύπου 5 Din MIDI. Στην επάνω όψη διακρίνεται μία μεγάλη οπή εξαερισμού της συσκευής η οποία διαθέτει έναν ανεμιστήρα και ένα προστατευτικό κάλυμμα.



Εικόνα 6.3.2

Η εμπρόσθια όψη καλύπτεται από τα ρυθμιστικά και τα ενδεικτικά Led.



Εικόνα 6.3.3

6.4 Σύνδεση Συναρμολόγηση Εξαρτημάτων

Αρχικά πρέπει να προσαρμόσουμε τον βραχίονα σε ένα τύμπανο drums. Τοποθετούμε το εξάρτημα συγκράτησης στο επιθυμητό σημείο επάνω στο στεφάνι του τυμπάνου και στη συνέχεια στρέφουμε τη βίδα σύσφιξης δεξιόστροφα. Ιδιαίτερη

προσοχή πρέπει να δοθεί για την αποφυγή τραυματισμού του οργάνου. Στη συνέχεια τοποθετούμε τη μαύρου χρώματος εξαγωγική προεξοχή του βραχίονα στη θέση αναμονής του εξαρτήματος συγκράτησης. Κρατώντας με ένα χέρι το βραχίονα σταθερό στρέφουμε τη πλαϊνή βίδα σύσφιξης δεξιόστροφα έως ότου σταθεροποιηθεί ο βραχίονας επάνω στο τύμπανο. Το ύψος τοποθέτησης πρέπει να είναι τέτοιο ώστε να ακουμπά η μπαγκέτα τη μεμβράνη αλλά να έχει τη δυνατότητα να κινηθεί σε κάθετη διεύθυνση. Δεν απαιτείται μεγάλη ακρίβεια τοποθέτησης, αφού η συσκευή ρυθμίζεται ηλεκτρονικά.



Εικόνα 6.4.1

Για την ολοκλήρωση της διαδικασίας συνδέουμε τη μία άκρη του καλωδίου BNC στο ανάλογο βύσμα επάνω στο βραχίονα. Αφού σπρώξουμε ελαφρά το βύσμα στην υποδοχή, στρέφουμε ελαφρά τον εξωτερικό του δακτύλιο δεξιόστροφα ώσπου να ακούσουμε το χαρακτηριστικό κλικ. Πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή κατά τη

σύνδεση του καλωδίου γιατί σε περίπτωση που δεν ασφαλιστεί η σύνδεση υπάρχει πιθανότητα να προκληθεί βλάβη στη συσκευή.

Την άλλη άκρη του καλωδίου BNC ενώνουμε στην ανάλογη υποδοχή της συσκευής ελέγχου, πραγματοποιώντας την ίδια διαδικασία όπως και στον βραχίονα. Στη συνέχεια συνδέουμε τη παροχή ηλεκτρικού ρεύματος, πρώτα στη συσκευή και μετά στην πρίζα του τοίχου. Η συσκευή είναι έτοιμη να λειτουργήσει. Σε περίπτωση που θέλουμε να κάνουμε χρήση της συσκευής σε συνδυασμό με μία συσκευή MIDI τότε πρέπει να συνδέσουμε ένα καλώδιο τύπου MIDI (5Din) από την έξοδο της περιφερειακής συσκευής στην είσοδο της συσκευής ελέγχου. Προσοχή πρέπει να δοθεί κατά την τοποθέτηση όλων των βυσμάτων ώστε να μην προκληθεί τραυματισμός των συσκευών. Καλώδιο τύπου 5Din MIDI χρησιμοποιούν και άλλες συσκευές, όπως για παράδειγμα τα παλαιότερου τύπου πληκτρολόγια ηλεκτρονικών υπολογιστών. Σε περίπτωση σύνδεσης της συσκευής με οποιαδήποτε άλλη η οποία δεν βασίζεται στο πρωτόκολλο MIDI η πιθανότητα βλάβης είναι πολύ μεγάλη.

6.5 Έναρξη Λειτουργίας Συσκευής

Ο διακόπτης έναρξης λειτουργίας βρίσκεται στο πίσω μέρος της συσκευής ελέγχου. Ανοίγοντας τη συσκευή πρέπει να ανάψουν όλα τα LED του εμπρόσθιου τμήματος (εκτός του εφεδρικού ανεμιστήρα) και τα LED που κοσμούν τον ανεμιστήρα του τροφοδοτικού. Σε οποιαδήποτε άλλη περίπτωση πρέπει να κλείσετε τη συσκευή και να επικοινωνήσετε με τον κατασκευαστή του προϊόντος. Με την έναρξη λειτουργίας η συσκευή μπαίνει σε κατάσταση ασφαλείας κατά την οποία όλοι οι διακόπτες είναι ανενεργοί. Η χρήση της συσκευής μπορεί να προκαλέσει τραυματισμούς, έτσι μόνο ο ιδιοκτήτης μπορεί να την θέση σε λειτουργία. Πατώντας ταυτόχρονα τα button με την ένδειξη **SET** του τομέα **Calibrate** και **Lfm** τα Led σβήνουν και παραμένει ανοιχτό μόνο το Led του τομέα **Run Mode**. Η συσκευή βρίσκεται ακόμα σε κατάσταση ασφαλείας. Πατώντας στη συνέχεια ταυτόχρονα τα button **Menu** και **Hit** το Run Mode Led σβήνει και δίνει τη θέση του στο Menu Led. Κάθε τομέας περιλαμβάνει στην κάτω δεξιά γωνία του ένα Led το οποίο πληροφορεί το χρήστη για τον τομέα που είναι ενεργοποιημένος. Ο τομέας Fan δεξιά και κάτω, στο εμπρόσθιο panel ενεργοποιεί έναν δεύτερο ανεμιστήρα ο οποίος προστατεύει τη συσκευή από υπερθέρμανση, σε περίπτωση πολύωρης χρήσης

6.6 Calibrate

Πατώντας τον διακόπτη **Cal** ενεργοποιείται ο τομέας Calibrate. Παρατηρούμε πως ο βραχίονας κινείται ανεβάζοντας την μπαγκέτα στην επάνω θέση, θέση ισορροπίας. Ο τομέας Calibrate μας βοηθά στην ρύθμιση της συσκευής ώστε να αποδίδει με τον καλύτερο δυνατό τρόπο τις δυναμικές κρούσης. Στρέφοντας το ποτενσιόμετρο του τομέα στη μέση της διαδρομής του, πατάμε το πλήκτρο **Set**. Ο βραχίονας εκτελεί κρούση. Σκοπός μας είναι να ρυθμίσουμε την ελάχιστη δυναμική ώστε να εκμεταλλευτούμε στο έπακρο τις δυνατότητες του βραχίονα. Στρέφοντας το ποτενσιόμετρο δεξιά αυξάνουμε την ελάχιστη δυναμική ενώ στρέφοντάς το αριστερά την μειώνουμε. Πρέπει να επιτευχθεί τέτοια ρύθμιση ώστε σε κάθε πάτημα του πλήκτρου Set να εκτελείται η ελαφρότερη δυνατών κρούση. Την τελευταία ρύθμιση πρέπει να ακολουθήσει τα πάτημα του πλήκτρου Set ώστε να αποθηκευτεί η

ρύθμιση στη μνήμη της συσκευής. Πατώντας το πλήκτρο Menu μπορούμε οποιαδήποτε στιγμή να επιστρέψουμε στο αρχικό Menu.

6.7 Test

Πατώντας το πλήκτρο Test από το Menu ενεργοποιούμε τον τομέα Test. Σε αυτόν τον τομέα μπορούμε να ελέγξουμε τη συμπεριφορά της συσκευής σε κανονική λειτουργία. Το ποτενσιόμετρο του τομέα Test έχει εύρος 0 έως 127 προσομοιώνοντας το **velocity** ενός Note On Midi μηνύματος. Διαλέγοντας λοιπόν μία δυναμική εντός του εύρους του ποτενσιόμετρου και πιέζοντας το πλήκτρο **Hit** ο βραχίονας εκτελεί κρούση βάσει αυτής της δυναμικής. Οι λειτουργίες Test και Calibrate δεν έχουν ως προϋπόθεση τη σύνδεση με μία περιφερειακή συσκευή MIDI, συνεπώς μπορούν να ενεργοποιούνται και σε κατάσταση Stand alone.

6.8 Lfm

Για τον έλεγχο του βραχίονα από μία συσκευή αποστολής MIDI είναι αναγκαίο να ρυθμιστεί το κανάλι εκπομπής – λήψης, να ρυθμιστεί η συσκευή ώστε να αξιοποιεί μόνο τα μηνύματα τύπου Note On και να ορισθεί μία συγκεκριμένη νότα η οποία θα ελέγχει τον βραχίονα. Με σκοπό τη μείωση της πολυπλοκότητας και του απαιτούμενου χρόνου ρύθμισης, η συσκευή έχει εφοδιαστεί με αυτόματη αναγνώριση των MIDI μηνυμάτων (**Learn From MIDI**, ή αλλιώς **LFM**). Πατώντας το πλήκτρο Lfm ενεργοποιούμε τον ανάλογο τομέα. Σε αυτή τη φάση η συσκευή βρίσκεται σε κατάσταση αναμονής, ελέγχοντας την είσοδο για εισροή κάποιου MIDI μηνύματος. Όλα τα μηνύματα που αποστέλλονται στη συσκευή, διαβιβάζονται στον εσωτερικό επεξεργαστή και αξιοποιούνται. Το πρώτο μήνυμα τύπου Note On που θα ληφθεί από τη συσκευή κρατείται στην προσωρινή μνήμη και η ένδειξη του τομέα Lfm σβήνει, υποδεικνύοντας στον χρήστη ότι η διαδικασία έχει ολοκληρωθεί. Πατώντας το πλήκτρο **Set** οι πληροφορίες καναλιού και νότας μεταβιβάζονται από την προσωρινή μνήμη στη μνήμη του επεξεργαστή. Πλέον η συσκευή είναι έτοιμη προς χρήση. Ακολουθεί παράδειγμα βήμα - βήμα της διαδικασίας Lfm. Έστω λοιπόν ότι έχουμε συνδέσει ένα Midi Keyboard στην είσοδο της συσκευής.

1. Πατάμε το πλήκτρο Lfm του κεντρικού Menu ώστε να ενεργοποιήσουμε τον ανάλογο τομέα
2. Πιέζουμε στο Keyboard τη νότα από την οποία θέλουμε να ελέγξουμε τη συσκευή (παρατηρούμε το ενδεικτικό Led του τομέα Lfm ότι σβήνει)
3. Πατάμε το πλήκτρο Set του τομέα Lfm ολοκληρώνοντας τη διαδικασία (το κόκκινου χρώματος Led στο κεντρικό Menu τίθεται σε λειτουργία)

6.9 Run Mode

Πιέζοντας το πλήκτρο Run ενεργοποιούμε τον τομέα Run της συσκευής. Ένα χαρακτηριστικό μπλε χρώματος Led μας ενημερώνει για την σωστή λειτουργία. Η κατάσταση Run Mode είναι ουσιαστικά η κανονική κατάσταση λειτουργίας της συσκευής. Τα εισερχόμενα MIDI δεδομένα ελέγχουν τις κρούσεις του βραχίονα. Θα

μπορούσαμε να την χαρακτηρίσουμε σαν κατάσταση εξάρτησης ή αλλιώς **Slave Mode**. Κάθε φορά που εκτελούμε τη νότα του παραδείγματος (παράγραφος 6.8) εκτελείται μία κρούση δυναμικής ανάλογη αυτής που πραγματοποιήσαμε στο Keyboard.

6.10 Συνδεδειμότητα – Latency

Αντί για Keyboard μπορούμε να συνδέουμε οποιαδήποτε συσκευή έχει τη δυνατότητα να παράγει MIDI Note On, όπως για παράδειγμα ένα Drum Machine ή ένα Midi Sequencer. Η καθυστέρηση πραγματοποίησης της κρούσης από τη στιγμή της δοθείσας Midi εντολής είναι περίπου 50ms. Η ακριβής καθυστέρηση εξαρτάται από το ύψος τοποθέτησης του βραχίονα. Για χαμηλότερο ύψος έχουμε μείωση της καθυστέρησης αλλά και της μέγιστης δυνατής κρούσης. Για όλες τις διαφορετικές δυναμικές η καθυστέρηση παραμένει σταθερή. Οι εργαστηριακές μετρήσεις έδειξαν (δεδομένου ότι ο βραχίονας έχει τοποθετηθεί στο μέγιστο δυνατό ύψος) ότι από τη στιγμή της εκκίνησης αποστολής ενός MIDI μηνύματος η καθυστέρηση κρούσης του τυμπάνου είναι ίση με 53ms.

Βιβλιογραφία

1. Πανεπιστημιακή Φυσική, Τόμος β΄ Hugh D.Young, Εκδόσεις : Παπαζήση
2. Βασική Ηλεκτρονική, Τέταρτη Έκδοση, Albert Paul Malvino, Εκδόσεις : Α. Τζιόλα Ε. Θεσσαλονίκη
3. Γενικά Ηλεκτρονικά, 8^η Έκδοση, Σπύρος Α. Πακίτης, Εκδόσεις : «ΙΩΝ»
4. Ηλεκτρονικές Ηχητικές Διατάξεις, Νίκος Τουσούνης – Σωτήρης Κορδάς, Εκδόσεις : «ΙΩΝ»
5. Ηλεκτρονικά Με Τη Visual Basic, Β.Καϊνka, Εκδόσεις : ΕΛΕΚΤΟΡ Ε.Π.Ε.
6. Προγραμματίζοντας σε midi, Δημήτριος Αδάμ, Εκδόσεις : Σύγχρονη Μουσική
7. Προγραμματίζοντας τον Μικροελεγκτή AVR, Dhananjay V. Gadre, Εκδόσεις : Τζιόλα
8. ATMEL AVR ATMEGA16 Datasheet, Έκδοση : ATMEL
9. TOSHIBA TLP627-4 Datasheet, Έκδοση Toshiba
10. IXYS IRFP460 Mosfet Datasheet, Έκδοση : Ixys

Πηγές Εικόνων - Σχημάτων

Εξώφυλλο	: Φωτογράφιση και επεξεργασία με το Adobe Photoshop CS4 (Ερμής Κοντούδης)
Εικόνα 1.1.1	: www.roland.com
Εικόνα 1.3.1	: www.roland.com
Εικόνα 1.3.2	: www.akaipro.com
Εικόνα 1.3.3	: www.roland.com
Σχήμα 1.4.1	: Σχεδίαση με Adobe Photoshop CS4 (Ερμής Κοντούδης)
Σχήμα 1.5.1 Κοντούδης)	: Σχεδίαση με Autodesk 3D Max Studio 2009 (Ερμής Κοντούδης)
Εικόνα 2.1.1	: static.howstuffworks.com/gif/compass-earth-magnet.gif
Εικόνα 2.1.2	: eetd.lbl.gov/ECS/Aerogels/images/magnet-l.jpg
Σχήμα 2.2.1	: Σχεδίαση με Autodesk 3D Max Studio 2009 και Adobe Photoshop CS4 (Ερμής Κοντούδης)
Σχήμα 2.3.1	: www.physics.sjsu.edu/becker/physics51/images/28_03_Earth_magnetic_field.jpg
Σχήμα 2.3.2	: Επεξεργασία με Adobe Photoshop CS4 (Ερμής Κοντούδης)
Σχήμα 2.4.1 Κοντούδης)	: Σχεδίαση με Autodesk 3D Max Studio 2009 (Ερμής Κοντούδης)
Σχήμα 2.5.1 Κοντούδης)	: Σχεδίαση με Autodesk 3D Max Studio 2009 (Ερμής Κοντούδης)
Πίνακας 3.1.1	: Υπολογισμός με το Microsoft Excel (Ερμής Κοντούδης)
Σχήμα 3.1.1	: Σχεδίαση με το Microsoft Paint (Ερμής Κοντούδης)
Σχήμα 3.1.2	: Σχεδίαση με το Microsoft Paint (Ερμής Κοντούδης)
Σχήμα 3.2.1 Κοντούδης)	: Σχεδίαση με Autodesk 3D Max Studio 2009 (Ερμής Κοντούδης)
Σχήμα 3.2.2	: Σχεδίαση με το Microsoft Paint (Ερμής Κοντούδης)
Πίνακας 3.2.1	: Υπολογισμός με το Microsoft Excel (Ερμής Κοντούδης)

- Εικόνα 3.3.1 : www.beatrizdacosta.net/stillopen/images/resistor.jpg
- Σχήμα 3.3.1 : www.geocities.com/aliciainelpaso/schematics/resistor-color-code.gif
- Σχήμα 3.3.2 : Σχεδίαση με το Microsoft Paint (Ερμής Κοντούδης)
- Σχήμα 3.3.3 : Σχεδίαση με το Microsoft Paint (Ερμής Κοντούδης)
- Εικόνα 3.3.2 : faqlight.carpassion.info/diode.jpg
- Σχήμα 3.3.4 : Σχεδίαση με το Microsoft Paint (Ερμής Κοντούδης)
- Σχήμα 3.3.5 : Σχεδίαση με Autodesk 3D Max Studio 2009 (Ερμής Κοντούδης)
- Σχήμα 3.3.6 : www.mech.uwa.edu.au
- Σχήμα 3.3.7 : www.audiovideo.gr / Σχεδίαση με το Microsoft Paint
- Εικόνα 3.3.3 : www.futurlec.com.au
- Σχήμα 3.3.8 : Σχεδίαση με το Microsoft Paint (Ερμής Κοντούδης)
- Σχήμα 3.3.9 : Σχεδίαση με το Abacom, Sprint Layout 5.0 (Ερμής Κοντούδης)
- Σχήμα 3.4.1 : Τεχνικό εγχειρίδιο Atmel
- Πίνακας 3.4.1 : Τεχνικό εγχειρίδιο Atmel
- Εικόνα 3.4.1 : wiki.tkk.fi
- Σχήμα 3.5.1 : Σχεδίαση με το Microsoft Paint (Ερμής Κοντούδης)
- Σχήμα 3.5.2 : Σχεδίαση με το Microsoft Paint (Ερμής Κοντούδης)
- Εικόνα 3.5.1 : <http://img.tfd.com/cde/DIN.GIF> / Microsoft Paint
- Εικόνα 4.1.1 : <http://www.8auguststudio.com/>
- Εικόνα 4.1.2 : <http://www.beikimco.com/>
- Εικόνα 4.1.3 : <http://www.wdc.com/>
- Εικόνα 4.1.4 : Φωτογράφιση και επεξεργασία με Adobe Photoshop CS4 (Ερμής Κοντούδης)
- Σχήμα 4.2.1 : Σχεδίαση με το Microsoft Paint (Ερμής Κοντούδης)

- Εικόνα 4.2.1 : <http://www.thefabricator.com/>
- Σχήμα 4.2.2 : <http://www.skf.com/> / Φωτογράφιση (Ερμής Κοντούδης)
- Σχήμα 4.3.1 : Σχεδίαση με AutoCAD / Φωτογράφιση (Ερμής Κοντούδης)
- Σχήμα 4.3.2 : Σχεδίαση με AutoCAD / Φωτογράφιση (Ερμής Κοντούδης)
- Σχήμα 4.3.3 : Σχεδίαση με AutoCAD / Φωτογράφιση (Ερμής Κοντούδης)
- Σχήμα 4.3.4 : Σχεδίαση με AutoCAD / Φωτογράφιση (Ερμής Κοντούδης)
- Εικόνα 4.4.1 : Φωτογράφιση και επεξεργασία με Adobe Photoshop CS4 (Ερμής Κοντούδης)
- Εικόνα 4.5.1 : Φωτογράφιση και επεξεργασία με Adobe Photoshop CS4 (Ερμής Κοντούδης)
- Εικόνα 4.5.2 : Φωτογράφιση και επεξεργασία με Adobe Photoshop CS4 (Ερμής Κοντούδης)
- Εικόνα 4.5.3 : Φωτογράφιση και επεξεργασία με Adobe Photoshop CS4 (Ερμής Κοντούδης)
- Εικόνα 4.5.4 : Φωτογράφιση και επεξεργασία με Adobe Photoshop CS4 (Ερμής Κοντούδης)
- Εικόνα 4.5.5 : Φωτογράφιση και επεξεργασία με Adobe Photoshop CS4 (Ερμής Κοντούδης)
- Εικόνα 4.5.6 : Φωτογράφιση και επεξεργασία με Adobe Photoshop CS4 (Ερμής Κοντούδης)
- Σχήμα 5.2.1 : Σχεδίαση με το ABACOM, Sprint Layout 5.0 (Ερμής Κοντούδης)
- Σχήμα 5.2.2 : Εγχειρίδιο του ATMEL AVR, ATMEGA16
- Σχήμα 5.3.1 : Σχεδίαση με το ABACOM, Sprint Layout 5.0 (Ερμής Κοντούδης)
- Εικόνα 5.3.1 : Φωτογράφιση και επεξεργασία με το Adobe Photoshop CS4 (Ερμής Κοντούδης)
- Σχήμα 5.4.1 : Σχεδίαση με AutoCAD / Επεξεργασία με Photoshop CS4 (Ερμής Κοντούδης)
- Σχήμα 5.4.2 : Σχεδίαση με AutoCAD / Επεξεργασία με Photoshop CS4 (Ερμής Κοντούδης)

- Σχήμα 5.4.3 : Σχεδίαση με AutoCAD / Επεξεργασία με Photoshop CS4 (Ερμής Κοντούδης)
- Σχήμα 5.4.4 : Σχεδίαση με AutoCAD / Επεξεργασία με Photoshop CS4 (Ερμής Κοντούδης)
- Σχήμα 5.4.5 : Σχεδίαση με AutoCAD / Επεξεργασία με Photoshop CS4 (Ερμής Κοντούδης)
- Σχήμα 5.4.6 : Σχεδίαση με AutoCAD / Επεξεργασία με Photoshop CS4 (Ερμής Κοντούδης)
- Εικόνα 5.4.1 : Φωτογράφιση και επεξεργασία με το Adobe Photoshop CS4 (Ερμής Κοντούδης)
- Εικόνα 5.4.2 : Φωτογράφιση και επεξεργασία με το Adobe Photoshop CS4 (Ερμής Κοντούδης)
- Εικόνα 6.3.1 : Φωτογράφιση και επεξεργασία με το Adobe Photoshop CS4 (Ερμής Κοντούδης)
- Εικόνα 6.3.2 : Φωτογράφιση και επεξεργασία με το Adobe Photoshop CS4 (Ερμής Κοντούδης)
- Εικόνα 6.3.3 : Φωτογράφιση και επεξεργασία με το Adobe Photoshop CS4 (Ερμής Κοντούδης)
- Εικόνα 6.4.1 : Φωτογράφιση και επεξεργασία με το Adobe Photoshop CS4 (Ερμής Κοντούδης)