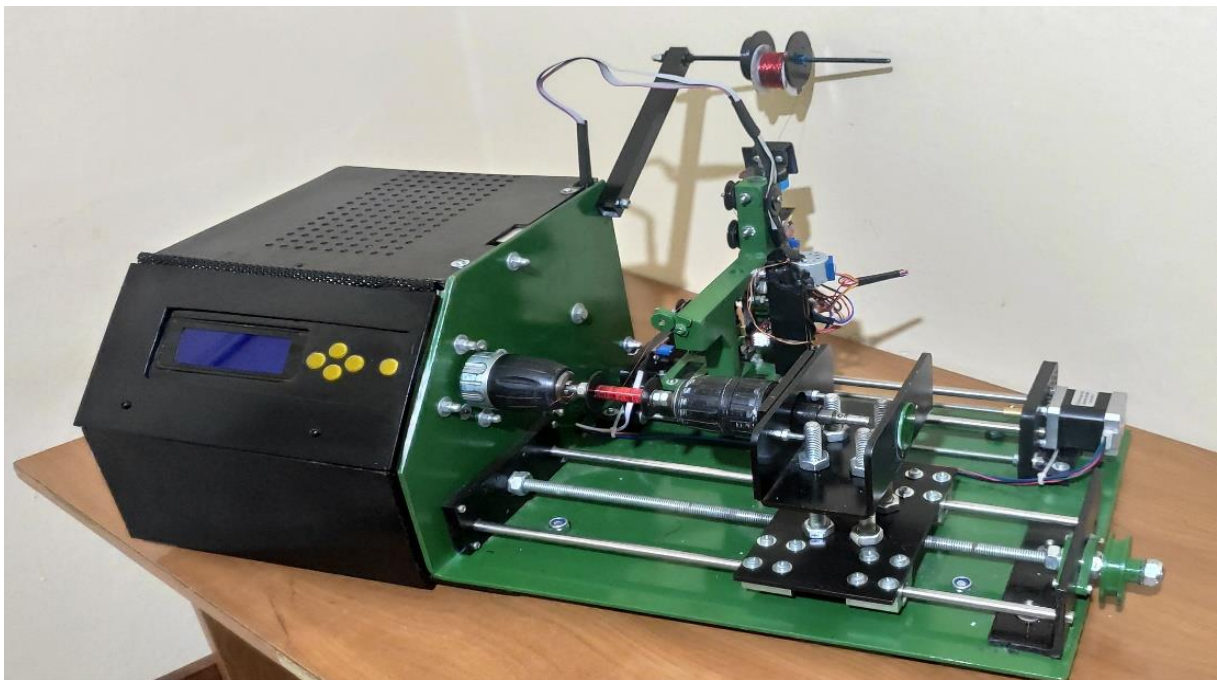




ΔΙΕΘΝΕΣ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ ΚΑΙ
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
«Σχεδίαση και υλοποίηση συσκευής περιέλιξης
πηνίων και μετασχηματιστών»



Των φοιτητών
Ακριβιάδη Χρήστου
Αρ. Μητρώου: 512160
Βραχνή Κοσμά
Αρ. Μητρώου: 513023

Επιβλέπων
Κιοσκερίδης Ιορδάνης

Θεσσαλονίκη, Ιανουάριος 2021

Τίτλος Π.Ε. Σχεδίαση και υλοποίηση συσκευής περιέλιξης πηνίων και μετασχηματιστών
Κωδικός Π.Ε. 19114

Ονοματεπώνυμο φοιτητών Ακριβιάδης Χρήστος, Βραχνής Κοσμάς

Ονοματεπώνυμο εισηγητή Κιοσκερίδης Ιορδάνης

Ημερομηνία ανάληψης Π.Ε. 5/4/2019

Ημερομηνία περάτωσης Π.Ε. 10/1/2021

Βεβαιώνω ότι είμαι ο συγγραφέας αυτής της εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, έχω καταγράψει τις όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών, εικόνων και κειμένου, είτε αυτές αναφέρονται ακριβώς είτε παραφρασμένες. Επιπλέον, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία προετοιμάστηκε από εμένα προσωπικά, ειδικά ως πτυχιακή εργασία, στο Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του ΔΙ.ΠΑ.Ε.

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία των φοιτητών Ακριβιάδη Χρήστου και Βραχνή Κοσμά που την εκπόνησαν. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης, ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο Διεθνές Πανεπιστήμιο της Ελλάδος άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσης της εργασίας διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο της εργασίας, δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού, ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, πώληση, εμπορική χρήση, διανομή, έκδοση, μεταφόρτωση (downloading), ανάρτηση (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού.

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Ηλεκτρονικών Συστημάτων του Διεθνούς Πανεπιστημίου της Ελλάδος, δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα, εκ μέρους του Τμήματος.

«Αφιέρωση»

Στους γονείς μας για την στήριξη τους όλα αυτά τα χρόνια και σε όλους όσους μας βοήθησαν να μάθουμε και να εξελιχθούμε.

Πρόλογος

Φθάνοντας στο τέλος των σπουδών μας και έχοντας αποκομίσει πολλές γνώσεις σε αρκετούς κλάδους της επιστήμης της ηλεκτρονικής, ήρθε η στιγμή να εκπονήσουμε την πτυχιακή μας εργασία. Το περιεχόμενο αυτής πραγματεύεται τη θεωρητική μελέτη καθώς και την υλοποίηση μιας εργαλειομηχανής περιέλιξης πηνίων και μετασχηματιστών. Κατόπιν ώριμου σκέψεως καταλήξαμε στο θέμα τούτο για τρεις βασικούς λόγους. Ο πρώτος και κυρίως λόγος είναι ότι η τελική κατασκευή θα ήταν αποτέλεσμα συνδυασμού γνώσεων από διάφορους κλάδους της ηλεκτρονικής όπως ο προγραμματισμός, τα αναλογικά ηλεκτρονικά, τα ηλεκτρονικά ισχύος, ο αυτοματισμός, καθώς και γνώσεις που αφορούν την επιστήμη της μηχανολογίας. Σε συνέχεια, ο δεύτερος λόγος που επιλέξαμε να κατασκευάσουμε αυτή τη μηχανή περιέλιξης είναι ότι η συγκεκριμένη μηχανή θα μας φανεί χρήσιμη σε πολλές κατασκευές που απαιτείται η χρήση πηνίων και μετασχηματιστών. Ο τρίτος λόγος είναι ότι η κατασκευή μελλοντικά μπορεί να δεχθεί βελτιώσεις ώστε να είναι πιο αποδοτική καθώς και να διευρυνθούν οι λειτουργίες της. Στις μέρες μας είναι επιτακτική η ανάγκη τα μηχανήματα να μπορούν να αναβαθμίζονται, καθώς και να προσαρμόζονται στις απαιτήσεις που η σύγχρονη εποχή επιβάλλει. Όλοι οι προαναφερθέντες λόγοι ήταν μια πρόκληση για μας. Με την επιλογή του θέματος αυτού, κληθήκαμε να εφαρμόσουμε τεχνικές και θεωρίες που διδαχθήκαμε κατά τη διάρκεια της ακαδημαϊκής μας πορείας καθώς και να αποκομίσουμε νέες σημαντικές γνώσεις που θα μας φανούν χρήσιμες στο μέλλον.

Περίληψη

Η εργασία που ακολουθεί έχει ως αντικείμενο τη θεωρητική μελέτη, την προσομοίωση και την κατασκευή μιας αυτοματοποιημένης μηχανής περιέλιξης πηνίων και μετασχηματιστών. Στο πρώτο κεφάλαιο αρχικά γίνεται μια ιστορική αναδρομή περί του πηνίου και στη συνέχεια αναφέρονται τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των πηνίων διαφόρων κατηγοριών. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύεται ενδελεχώς ο μετασχηματιστής, ξεκινώντας με το τι είναι, καθώς και τη θεωρία στην οποία βασίζεται. Ακολουθούν οι βασικές κατηγορίες των μετασχηματιστών, ο τρόπος που υπολογίζονται και πως γίνεται η περιέλιξή τους.

Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζεται η τεχνική μελέτη και η προσομοίωση του μηχανολογικού τμήματος της κατασκευής με το πρόγραμμα Solidworks και τα μηχανολογικά σχέδια αυτής.

Το τέταρτο κεφάλαιο περιέχει τα ηλεκτρονικά μέρη της κατασκευής. Πιο συγκεκριμένα περιέχει το ηλεκτρονικό κύκλωμα και το διάγραμμα ροής του κώδικα. Γίνεται αναφορά στους αισθητήρες και τα επιμέρους ηλεκτρονικά στοιχεία του κυκλώματος και τέλος η προσομοίωση των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων με το πρόγραμμα Proteus.

Το τελευταίο κεφάλαιο εστιάζει στο τελικό αποτέλεσμα της κατασκευής, τα συμπεράσματα και γίνεται αναφορά σε πιθανές βελτιώσεις που μπορεί να δεχθεί το σύστημα.

«Design and implementation of coil and transformer winding machine»

«Christos Akriviadis, Kosmas Vrachnis»

Abstract

The following work has as its object the theoretical study, the simulation and the construction of a winding machine of coils and transformers. The first chapter lists the materials used in the construction of coils. The transformers are thoroughly analyzed, starting with what they are, as well as the theory on which they are based. The following are the basic categories into which they are divided, how they are calculated and also how they are wound. Finally, reference is made to similar winding machines.

The third chapter presents the technical study and the simulation of the mechanical part of the construction with the Solidworks program and its mechanical drawings.

The fourth chapter contains the electronic parts of the construction. More specifically, it contains the electronic circuit and the flow diagram of the code. Reference is made to the sensors and the individual electronic components of the circuit and finally the simulation of the electronic circuits with the Proteus program.

The last chapter focuses on the final result of the construction, the conclusions and refers to possible improvements that the system can accept.

Ευχαριστίες

Θα θέλαμε από τα βάθη της καρδιάς μας να ευχαριστήσουμε τον φίλο και συμφοιτητή μας Χρήστο Ηλιάδη για την πολύτιμη βοήθεια του αναφορικά με την εργασία μας καθώς και τον επιβλέποντα καθηγητή μας κ. Ιορδάνη Κιοσκερίδη που μας παρείχε τις απαραίτητες γνώσεις, στάθηκε δίπλα μας σε ότι χρειαστήκαμε και με την καθοδήγηση του καταφέραμε να ολοκληρώσουμε με επιτυχία το εγχείρημα μας.

Περιεχόμενα

Πρόλογος	v
Περίληψη	vi
Abstract.....	vii
Ευχαριστίες.....	viii
Περιεχόμενα.....	ix
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΤΑ ΠΗΝΙΑ.....	1
1.1 Πηνίο.....	1
1.2 Υλικά κατασκευής.....	3
1.3 Είδη πηνίων.....	4
1.4 Πηνία χαμηλών συχνοτήτων (LF).....	8
1.5 Πηνία υψηλών συχνοτήτων (RF).....	11
1.6 Βλάβες και έλεγχος	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ.....	14
2.1 Μονοφασικός μετασχηματιστής.....	14
2.2 Κατασκευή και εφαρμογές μετασχηματιστών	15
2.3 Λειτουργίες μετασχηματιστή	16
2.4 Κατασκευή μετασχηματιστών.....	16
2.5 Περιγραφή κατασκευής μετασχηματιστή (τύπου μανδύα)	18
2.6 Υπολογισμός μετασχηματιστή	19
2.6.1 Υπολογισμός μετασχηματιστή (ακουστικών συχνοτήτων)	21
2.7 Βλάβες και έλεγχος	22
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ ΜΕΡΗ.....	24
3.1 Μηχανολογικά μέρη.....	24
3.2 Μηχανολογικά μέρη με τη χρήση του Solidworks.....	25
3.2.1 Σασί.....	25
3.2.2 Κεντρικός βηματικός κινητήρας με το τσοκ.....	26
3.2.3 Μπλοκ κεφαλής.....	27
3.2.4 Βοηθητικό σύστημα στήριξης της καρκάσας-καρουλιού	35
3.2.5 Οθόνη και πληκτρολόγιο.....	39
3.2.6 Πύργος με τα ηλεκτρονικά μέρη.....	40
3.3 Φωτογραφίες της κατασκευής.....	42
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ ΕΛΕΓΧΟΥ	47
4.1 Γενική δομή της ηλεκτρονικής διάταξης.....	47

4.2	Τροφοδοτική διάταξη.....	49
4.3	Μητρική πλακέτα.....	53
4.4	Κινητήρες.....	56
4.5	Drivers κινητήρων.....	57
4.6	Το Arduino.....	57
4.7	Οθόνη και πληκτρολόγιο.....	59
4.8	Αισθητήρες.....	59
4.9	Πρόγραμμα.....	59
4.10	Τελικό κύκλωμα, προσομοίωση και κατασκευή.....	62
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....		64
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....		66
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΚΩΔΙΚΑΣ.....		67

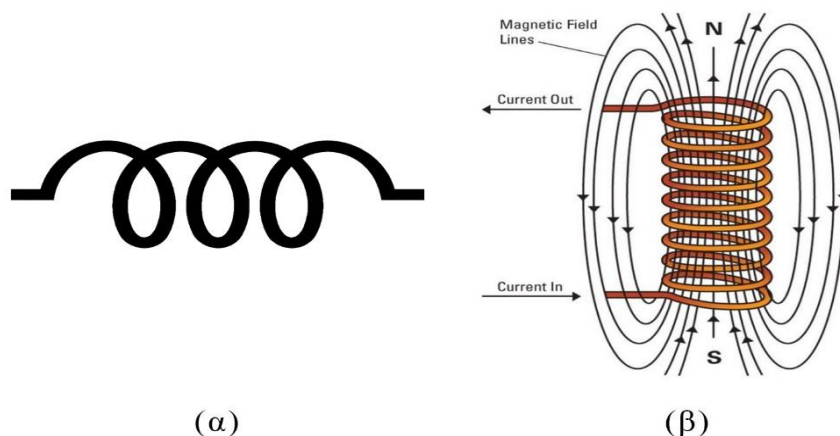
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΤΑ ΠΗΝΙΑ

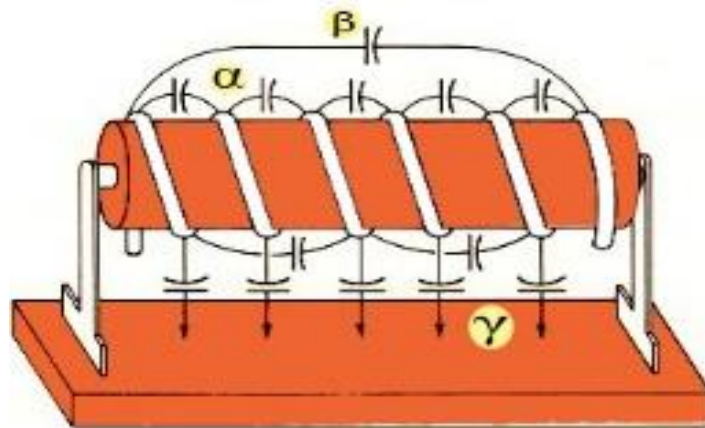
1.1 Πηνίο

Το 1823 ο Αμερικάνος φυσικός Τζόσεφ Χένρι, έπειτα από μελέτες και πειράματα πάνω στα ηλεκτρομαγνητικά πεδία, ανακάλυψε ότι αν ένα κομμάτι σύρμα τυλιχθεί σε σπειροειδή μορφή και στα άκρα του εφαρμοσθεί ηλεκτρικό ρεύμα, τότε στο εσωτερικό του αναπτύσσεται ηλεκτρομαγνητικό πεδίο. Η ανακάλυψη αυτή πήρε το όνομα πηνίο, συμβολίζεται με το γράμμα L και η αυτεπαγωγή του μετριέται σε H (Henry). Ανήκει στην ομάδα των παθητικών στοιχείων και θεωρείται μέχρι σήμερα ένα από τα κύρια εξαρτήματα στις τάξεις της ηλεκτρονικής. Το πηνίο λόγω της ιδιότητας του είναι βασικό εξάρτημα που χρησιμοποιείται στην κατασκευή ηλεκτρονικών διατάξεων και τα χαρακτηριστικά του ποικίλουν ανάλογα με την εφαρμογή για την οποία προορίζεται να λειτουργήσει. Τα κύρια χαρακτηριστικά αυτού είναι η αυτεπαγωγή, ο συντελεστής ποιότητας, η συχνότητα λειτουργίας, η εσωτερική αντίσταση και η παρασιτική χωρητικότητα.

- ❖ **Αυτεπαγωγή L .** Ορίζεται ως το φαινόμενο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής, την οποία το σώμα που προκαλεί την επαγωγή είναι ταυτόχρονα και το σώμα στο οποίο επιδρά η επαγωγή και μετριέται σε Henry.
- ❖ **Συντελεστής ποιότητας Q .** Δηλώνει ότι η τάση στα άκρα του πηνίου είναι Q φορές την τάση τροφοδοσίας. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως υπέρταση κατά το συντονισμό και όσο μεγαλύτερος είναι ο συντελεστής ποιότητας Q , τόσο καλύτερο είναι το πηνίο.
- ❖ **Συχνότητα λειτουργίας.** Η συχνότητα λειτουργίας πρέπει να είναι αυτή, στην οποία το πηνίο παρουσιάζει το μεγαλύτερο μαγνητικό πεδίο.



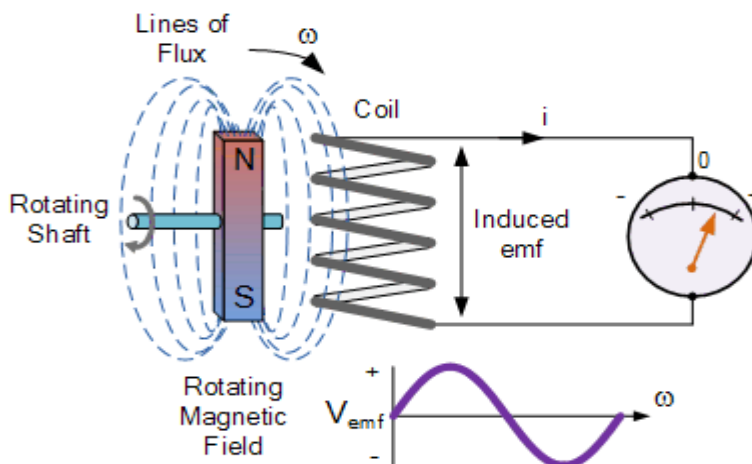
Σχήμα 1.1 α) Ηλεκτρονικό σύμβολο του πηνίου, β) Γραμμές μαγνητικού πεδίου στο πηνίο



Σχήμα 2.2 Παράσιτες χωρητικότητες πηνίου

- ❖ **Εσωτερική αντίσταση.** Είναι η ωμική αντίσταση που οφείλεται στο υλικό κατασκευής του σύρματος, από το οποίο είναι κατασκευασμένο το πηνίο. Η ειδική αντίσταση του σύρματος μετριέται σε Ohm/cm.
- ❖ **Παρασιτική χωρητικότητα.** Είναι το σύνολο των χωρητικότητων που παρουσιάζονται: α) μεταξύ των σπειρών του πηνίου, β) μεταξύ των σπειρών του πηνίου ως προς το τύμπανο, γ) μεταξύ όλου του πηνίου ως προς το χώρο του.

Λίγα χρόνια μετά την ανακάλυψη του πηνίου, στις αρχές της επόμενης δεκαετίας, ο Άγγλος φυσικός Μάικλ Φαραντέι κατόπιν διαφόρων πειραμάτων διαπίστωσε ότι αν ένα πηνίο βρεθεί μέσα σε μεταβαλλόμενο μαγνητικό πεδίο, τότε στα άκρα του εμφανίζεται ηλεκτρική τάση. Αν τα δυο άκρα του πηνίου ενωθούν μεταξύ τους, τότε το πηνίο διαρρέεται από εναλλασσόμενο ρεύμα του οποίου η ένταση είναι ανάλογη της ταχύτητας μεταβολής του μαγνητικού πεδίου. Το φαινόμενο αυτό ονομάστηκε ηλεκτρομαγνητική επαγωγή. Επίσης αξίζει να σημειωθεί πως όταν στο πηνίο εφαρμόσουμε εναλλασσόμενο ρεύμα, τότε γύρω από αυτό αναπτύσσεται εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο. Βασιζόμενοι στο φαινόμενο αυτό, δημιουργήθηκε μια διάταξη αποτελούμενη αρχικά από δύο πηνία τα οποία ήταν σε σύζευξη μεταξύ τους. Η διάταξη αυτή ονομάστηκε μετασχηματιστής και η λειτουργία του θα αναλυθεί στο επόμενο κεφάλαιο.



Σχήμα 3.3 Το φαινόμενο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής

1.2 Υλικά κατασκευής

Για την κατασκευή των πηνίων αλλά και των μετασχηματιστών χρησιμοποιούνται σύρμα, τύμπανο ή καρκάσα όταν αναφερόμαστε σε μετασχηματιστές και διάφορα σιδηρομαγνητικά υλικά για την κατασκευή του πυρήνα.

i. Σύρμα

Τα σύρματα που συναντάμε στο εμπόριο είναι: 1) χάλκινο σύρμα, 2) σύρμα αλουμινίου, 3) πλακέ σύρμα, 4) επάργυρο σύρμα, 5) σύρμα Lits. Διατίθενται σε διάφορες διατομές για κάθε είδους χρήση και τις περισσότερες φορές η επιφάνεια τους καλύπτεται από ειδικό βερνίκι.

Το απλό χάλκινο στρόγγυλο ή πλακέ σύρμα χρησιμοποιείται στις περισσότερες εφαρμογές. Στις εφαρμογές που απαιτείται χαμηλό βάρος αλλά και χαμηλό κόστος κατασκευής χρησιμοποιείται σύρμα αλουμινίου. Το επάργυρο σύρμα και το σύρμα Lits χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές υψηλών συχνοτήτων.

ii. Τύμπανο ή καρκάσα

Τύμπανο ή καρκάσα, είναι η βάση πάνω στην οποία τυλίγεται το σύρμα κατά την κατασκευή του πηνίου. Το υλικό κατασκευής τους μπορεί να είναι ειδικό χαρτί, πλαστικό, βακελίτης είτε ακόμα και πορσελάνη. Τα υλικά αυτά επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά του πηνίου, όπως παρασιτικές χωρητικότητες και διαρροές. Στις εφαρμογές που είναι επιτακτική ανάγκη η υψηλή ποιότητα κατασκευής, χρησιμοποιείται η πορσελάνη.

iii. Πυρήνας

Ο πυρήνας χρησιμοποιείται στην κατασκευή των πηνίων και των μετασχηματιστών για την αύξηση της αυτεπαγωγής. Τα υλικά για την κατασκευή των πυρήνων είναι ο φερίτης ή κράματα σιδήρου.

Ο φερίτης έχει μεγάλη μαγνητική διαπερατότητα και μικρές απώλειες και για το λόγο αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλο το φάσμα των συχνοτήτων. Πιο συγκεκριμένα ο φερίτης με μαγγάνιο-ψευδάργυρο έχει χαμηλό θερμικό συντελεστή, χρησιμοποιείται σε συχνότητες μέχρι 700kHz και για υψηλά Q . Ο φερίτης με κράμα νικελίου – ψευδαργύρου έχει χαμηλές απώλειες και το χαρακτηριστικό αυτό τον κάνει ιδανικό για χρήση σε πολύ υψηλές συχνότητες. Ο φερίτης μαγνησίου – μαγγάνιου χρησιμοποιείται σε πυρήνες μετασχηματιστών χαμηλής συχνότητας και σε κεραίες ραδιοφώνων.

Οι σιδηροπυρήνες αποτελούνται από κράμα σιδήρου – νικελίου – κοβαλτίου, το οποίο εμπλουτίζεται με χρώμιο ή μαγγάνιο ή από κράμα χαλκού – αλουμινίου – μαγγάνιου.

Η μαγνητική διαπερατότητα μ του σιδηροπυρήνα υπολογίζεται από την σχέση

$$\mu = \frac{L}{L_0} \quad (1.1)$$

όπου:

L είναι η αυτεπαγωγή πηνίου με πυρήνα,

L_0 είναι η αυτεπαγωγή πηνίου χωρίς πυρήνα.

Πιο συγκεκριμένα, αν πάρουμε την αυτεπαγωγή ενός πηνίου με πυρήνα και την αυτεπαγωγή του ίδιου πηνίου χωρίς τον πυρήνα, τότε ο λόγος των δυο αυτεπαγωγών μας δίνει τη μαγνητική διαπερατότητα του υλικού.

1.3 Είδη πηνίων

Τα πηνία χωρίζονται σε έξι κατηγορίες, ανάλογα με τον τρόπο που είναι κατασκευασμένα σε:

- i. Σωληνοειδές πηνίο.
- ii. Κυβελοειδές πηνίο.
- iii. Πηνίο πλαισίου.
- iv. Πηνίο σε μορφή αντίστασης.
- v. Τοροειδές πηνίο.
- vi. Άλλου είδους πηνίο.

➤ **Σωληνοειδές πηνίο (Σχ. 1.6)** Κατά βάση κατασκευάζεται πάνω σε ειδικό χάρτινο ή πλαστικό τύμπανο αλλά ακόμα μπορούμε να το συναντήσουμε και στον αέρα (χωρίς την παρουσία τυμπάνου). Χρησιμοποιείται εμαγιέ σύρμα με μεγάλη διατομή για να επιτυγχάνεται μεγάλος συντελεστής ποιότητας Q . Το πηνίο αυτό αποτελείται από σπείρες που είναι τοποθετημένες η μία δίπλα στην άλλη και συνήθως από ένα μόνο στρώμα σπειρών. Πολλές φορές στο εσωτερικού του τυμπάνου τοποθετείται πυρήνας από σιδηρομαγνητικό υλικό (φερίτης) με συνέπεια να επιτυγχάνεται η ρύθμιση και η αύξηση της αυτεπαγωγής. Η συχνότητα λειτουργίας κυμαίνεται από 500 KHz έως και 400 MHz και συνήθως το χρησιμοποιούμε ως πηνίο κεραίας και ταλαντωτή. Τροφοδοτώντας το με DC τάση, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως ηλεκτρονόμος (ρελέ).

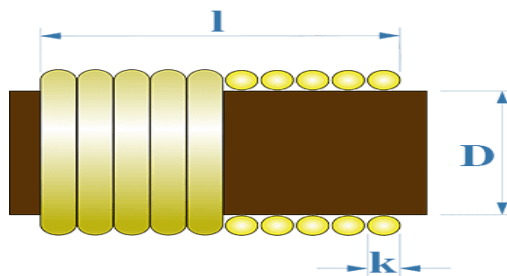
✓ Πηνίο χωρίς πυρήνα

Διακρίνεται στο σχ. 1.4. Οι σπείρες του πηνίου υπολογίζονται από τη σχέση

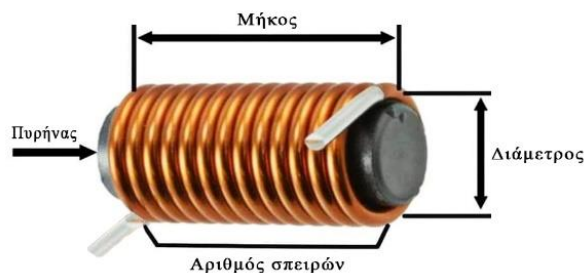
$$N = \frac{\sqrt{L(102l + 45D)}}{D} \quad (1.2)$$

και ο συντελεστής ποιότητας από τη σχέση

$$Q = \frac{\sqrt{fLkI^2D}}{31,62D\rho(1^2N + 2N^3k^2)} \quad (1.3)$$



Σχήμα 1.4 Πηνίο χωρίς πυρήνα



Σχήμα 1.5 Πηνίο με πυρήνα

όπου: k, l, D είναι οι διαστάσεις του πηνίου σε cm (υποδεικνύονται στο Σχ. 1.4) και επιπλέον, L η απαιτούμενη αυτεπαγωγή σε μΗ, f η συχνότητα λειτουργίας του πηνίου σε Hz, ρ η ειδική αντίσταση του σύρματος σε Ohm/cm.

Καλύτερα αποτελέσματα πετυχαίνουμε όταν

$$\frac{l}{D} = 0,3 - 0,5 \quad \text{και} \quad k = 0,707 \frac{l}{N} \quad (1.4)$$

✓ Πηνίο με πυρήνα

Διακρίνεται στο σχ. 1.5. Η αυτεπαγωγή του πηνίου ορίζεται από τη σχέση

$$L = \frac{\mu N^2 A}{l} \quad (1.5)$$

όπου:

μ η μαγνητική διαπερατότητα του πυρήνα,

N ο αριθμός των σπειρών,

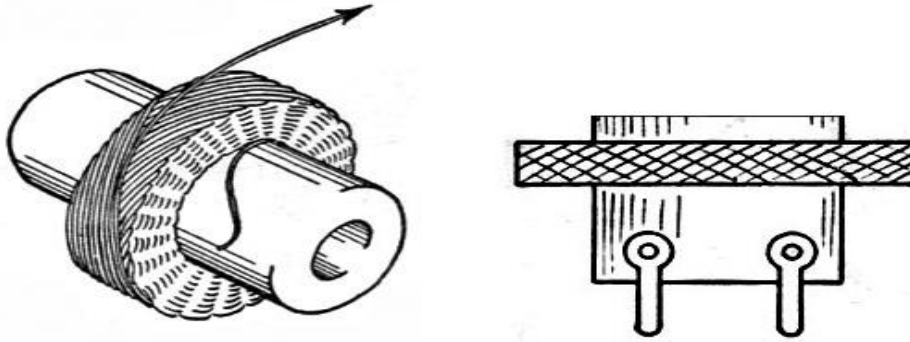
A η διάμετρος πηνίου σε m^2 ,

l το μήκος του πηνίου σε m .

- **Κοψελοειδές πηνίο (Σχ. 1.7)** Το πλεονέκτημα αυτού του πηνίου είναι ότι παρουσιάζει μεγάλη αυτεπαγωγή σε μικρό όγκο. Η κατασκευή του γίνεται πάνω σε τύμπανο από μονωτικό υλικό (βακελίτης, χαρτί). Η περιέλιξη γίνεται ώστε κάθε σπείρα να διέρχεται από το κέντρο και από την περιφέρεια του τυμπάνου. Στην κατασκευή αυτού του πηνίου χρησιμοποιείται ειδικό σύρμα Lits που έχει ως αποτέλεσμα τη βελτίωση του συντελεστή ποιότητας Q . Το σύρμα αυτό



Σχήμα 1.6 α) Πηνίο με πυρήνα β) Πηνίο χωρίς πυρήνα



Σχήμα 1.7 Κυβελοειδές πηνίο χωρίς πυρήνα

αποτελείται από πολλούς λεπτούς μονωμένους αγωγούς, όπου στο σύνολο τους-παρουσιάζουν μεγάλη διατομή. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται η εξάλειψη του επιδερμικού φαινομένου. Η χρήση πυρήνα από κονιοποιημένο σίδηρο βελτιώνει και αυτή σημαντικά το συντελεστή ποιότητας Q . Η συχνότητα λειτουργίας κυμαίνεται από 50 KHz έως 6 MHz.

Η αυτεπαγωγή του πηνίου ορίζεται από τη σχέση

$$L = \frac{0,315a^2N^2}{6a + 9b + 10c} \text{ σε } \mu\text{H} \quad (1.6)$$

όπου: a, b, c οι διαστάσεις του πηνίου σε cm,

N ο αριθμός των σπειρών,

L η αυτεπαγωγή του πηνίου σε μH .

Καλύτερα αποτελέσματα πετυχαίνουμε όταν $a = b = c$.

- **Πηνίο πλαίσιου (Σχ. 1.8)** Καλείται εκείνο που είναι κατασκευασμένο πάνω σε πλαίσιο από μονωτικό υλικό. Κατασκευάζεται σε διάφορα σχήματα και μεγέθη, ανάλογα με την εφαρμογή του. Κατά βάση το χρησιμοποιούμε ως κεραία (ραδιόφωνο, ανιχνευτής μετάλλων).



Σχήμα 1.8 Αριστερά διακρίνεται πηνίο πλαίσιου σε κεραία ραδιοφώνου και δεξιά πηνίο πλαίσιου σε ανιχνευτή μετάλλων



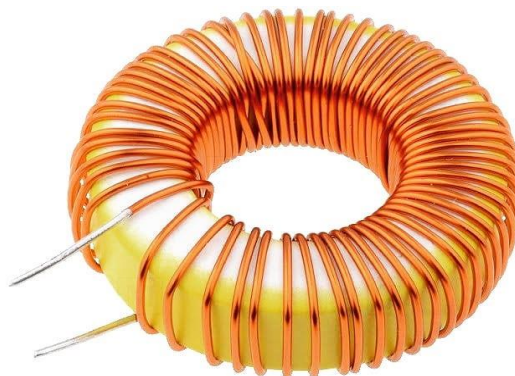
Σχήμα 1.9 Πηνίο σε μορφή αντίστασης

- **Πηνίο σε μορφή αντίστασης (Σχ. 1.9)** Είναι αυτό που έχει μορφή αντίστασης και χρησιμοποιείται κυρίως σε τυπωμένα κυκλώματα.
- **Τοροειδές πηνίο (Σχ. 1.10)** Είναι το πηνίο σε μορφή δακτυλίου, με την ύπαρξη πυρήνα και χρησιμοποιείται σε διάφορες εφαρμογές. Έχει ως πλεονέκτημα το μικρότερο όγκο συγκριτικά με το κλασσικό τετράγωνο μετασχηματιστή.
- **Άλλων ειδους πηνία (Σχ. 1.11)**

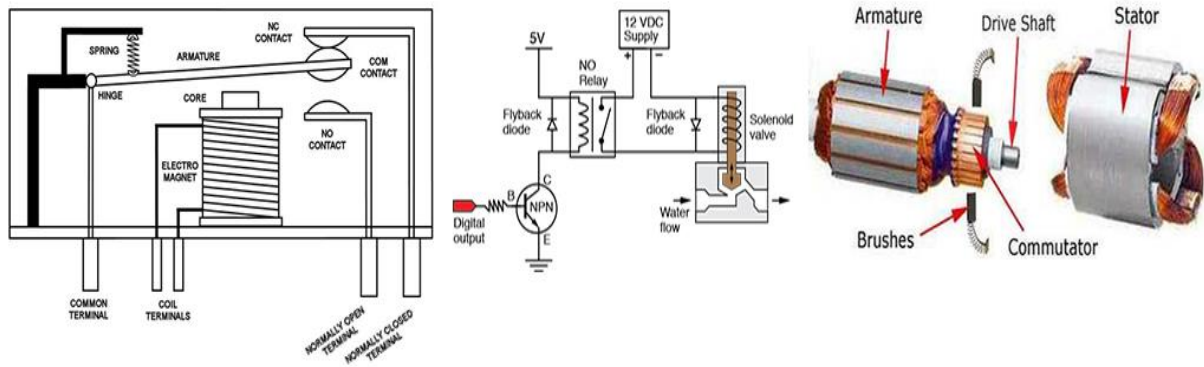
Πρέπει να αναφερθεί πως υπάρχουν και άλλων ειδών πηνία, που βρίσκουν εφαρμογή σε ρελέ, ηλεκτρομηχανές ή σε ηλεκτροβάνες κ.α.

Τα έξι πηνία που αναλύθηκαν πριν χωρίζονται σε επιμέρους δύο κατηγορίες, ανάλογα με τη συχνότητα λειτουργίας τους. Πιο συγκεκριμένα διακρίνονται σε:

- Πηνία χαμηλών συχνοτήτων.
- Πηνία υψηλών συχνοτήτων.



Σχήμα 1.10 Τοροειδές πηνίο



Σχήμα 1.11 Από αριστερά πηνίο σε ρελέ, στο κέντρο πηνίο σε ηλεκτροβάννα και δεξιά πηνίο σε μοτέρ

1.4 Πηνία χαμηλών συχνοτήτων (LF)

Πηνία χαμηλών συχνοτήτων ονομάζονται εκείνα τα οποία είναι κατασκευασμένα να λειτουργούν σε χαμηλές συχνότητες, δηλαδή σε ένα εύρος τιμών από 10 Hz έως περίπου 100 KHz και έχουν σχετικά μεγάλη αυτεπαγωγή που κυμαίνεται περίπου από 0,5 έως μερικές δεκάδες Henry. Κατασκευάζονται πάνω σε τύμπανο και αποτελούνται από μια ή περισσότερες στρώσεις σύρματος. Στις περιπτώσεις που απαιτείται μεγάλη αυτεπαγωγή, κρίνεται απαραίτητη η χρήση του πυρήνα.

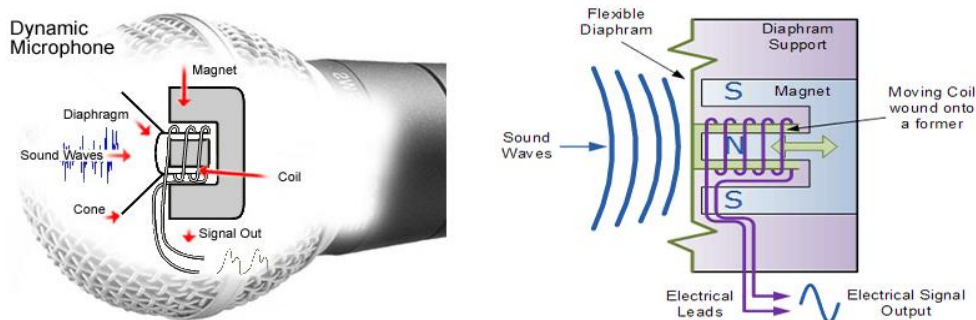
Τα πηνία LF χρησιμοποιούνται κυρίως σε: α) τροφοδοτικές διατάξεις (μετασχηματιστής, τσοκ εξομάλυνσης) αλλά τα βρίσκουμε και σε β) συσκευές ήχου (πηνίο μικροφώνου, μετασχηματιστής προσαρμογής, πηνίο crossover, πηνίο μεγάφωνου).

α) Τροφοδοτικές διατάξεις

Οι τροφοδοτικές διατάξεις αποτελούνται από έναν ή περισσότερους μετασχηματιστές για την παροχή διαφόρων εναλλασσόμενων τάσεων, τον ανορθωτή για την ανόρθωση των εναλλασσόμενων τάσεων και ένα φίλτρο για την εξομάλυνση της κυμάτωσης της τάσης εξόδου. Το τσοκ εξομάλυνσης (σχ. 1.12) είναι ένα κύριο εξάρτημα της τροφοδοτικής διάταξης και σε συνδυασμό με τους πυκνωτές δημιουργεί ένα φίλτρο, συνήθως τύπου π. Το τσοκ που χρησιμοποιείται μπορεί να είναι σωληνοειδές, όταν απαιτείται χαμηλή αυτεπαγωγή και με ύπαρξη πυρήνα όταν απαιτείται μεγάλη αυτεπαγωγή. Συνήθως το τσοκ με πυρήνα έχει τη μορφή μετασχηματιστή και παρουσιάζει αυτεπαγωγή από 5 Henry και άνω. Ο μετασχηματιστής τροφοδοσίας θα αναλυθεί εκτενώς στο επόμενο κεφάλαιο.



Σχήμα 1.12 Τσοκ εξομάλυνσης



Σχήμα 1.13 Εσωτερικό ενός δυναμικού μικροφώνου

β) Συσκευές ήχου

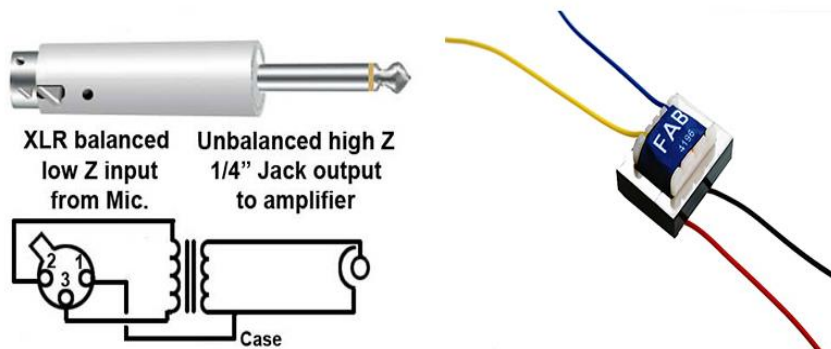
- Πηνίο μικροφώνου (Σχ 1.13)

Στο εσωτερικό των δυναμικών μικροφώνων υπάρχει τοποθετημένο πάνω στο διάφραγμα ένα πηνίο αποτελούμενο από πολλές σπείρες σύρματος της τάξεως του 0.1 mm, με συνολική αντίσταση περίπου 500 Ohm, πράγμα που είναι απαραίτητο για την προσαρμογή του μικροφώνου με την είσοδο του ενισχυτή. Γύρω από το πηνίο είναι τοποθετημένος ένας μαγνήτης, δημιουργώντας μόνιμο μαγνητικό πεδίο. Όταν το διάφραγμα πάλλεται λόγω της φωνής, ταυτόχρονα πάλλεται και το πηνίο το οποίο εξαιτίας της ύπαρξης του μόνιμου μαγνητικού πεδίου, εμφανίζει στα άκρα του εναλλασσόμενη τάση αντίστοιχη της φωνής.

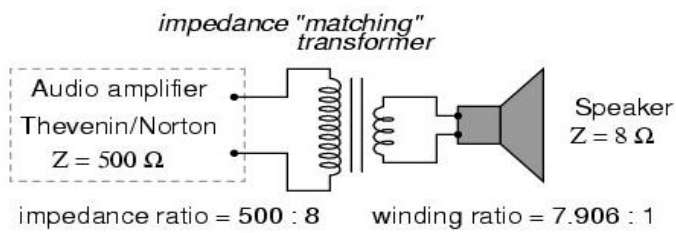
- Μετασχηματιστής προσαρμογής

Ο μετασχηματιστής προσαρμογής (σχ. 1.14) αποτελείται συνήθως από 2 τυλίγματα (πρωτεύον-δευτερεύον) και χρησιμοποιείται στις διατάξεις ακουστικών συχνοτήτων για την προσαρμογή διαφόρων βαθμίδων μεταξύ τους. Αρκετές φορές δημιουργείται η ανάγκη για σύνδεση ενός ενισχυτή με πολυμέσο, το οποίο παρουσιάζει διαφορετική αντίσταση εξόδου, από την αντίσταση εισόδου του ενισχυτή. Στην περίπτωση αυτή είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθεί μετασχηματιστής προσαρμογής εισόδου.

Μετασχηματιστή προσαρμογής εξόδου (σχ. 1.15) συναντάμε συνήθως σε διατάξεις με λυχνίες ή τρανζίστορ. Ο μετασχηματιστής αυτός χρησιμοποιείται για να προσφέρει γαλβανική απομόνωση μεταξύ του κυκλώματος του ενισχυτή και του μεγάφωνου, για την προσαρμογή της υψηλής σύνθετης αντίστασης της βαθμίδας εξόδου, με τη χαμηλή σύνθετη αντίσταση εισόδου του μεγάφωνου και τέλος



Σχήμα 1.14 Προσαρμογέας εισόδου μικροφώνου



Σχήμα 1.15 Μετασχηματιστής προσαρμογής εξόδου

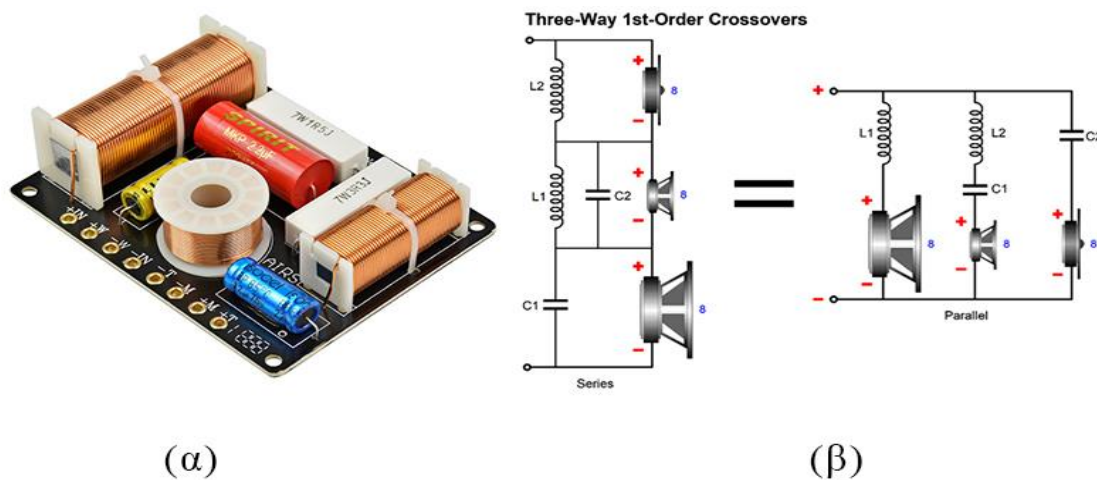
χρησιμοποιείται για την αποτροπή διέλευσης του DC ρεύματος που κυκλοφορεί στη βαθμίδα εξόδου προς το μεγάφωνο.

- Πηνίο crossover

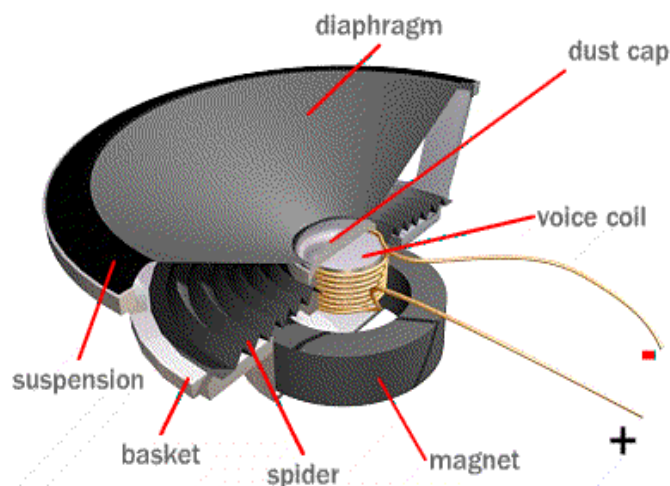
Το crossover (σχ. 1.16) είναι ένα κύκλωμα που αποτελείται από φίλτρα, τα οποία χρησιμοποιούνται στο διαχωρισμό των ακουστικών συχνοτήτων. Το κύκλωμα αυτό παρεμβάλλεται ανάμεσα στην έξοδο του ενισχυτή και στα μεγάφωνα. Τα crossover αποτελούνται από πηνία, σε συνδυασμό με πυκνωτές.

- Πηνίο μεγάφωνου

Το πηνίο (σχ. 1.17) αυτό βρίσκεται στο εσωτερικό του μεγάφωνου. Είναι σωληνοειδές, συνήθως μιας στρώσης και αποτελείται από σχετικά χοντρό σύρμα, η διατομή του οποίου εξαρτάται από την αποδιδόμενη ισχύ του μεγάφωνου. Η κατασκευή του μεγάφωνου είναι παρόμοια με εκείνη του μικρόφωνου, με τη διαφορά ότι αλλάζουν τα χαρακτηριστικά του πηνίου.



Σχήμα 1.16 α) Ενδεικτική πλακέτα crossover β) Ηλεκτρονικό κύκλωμα crossover με εφαρμογή σε ηχείο που περιέχει τρία μεγάφωνα



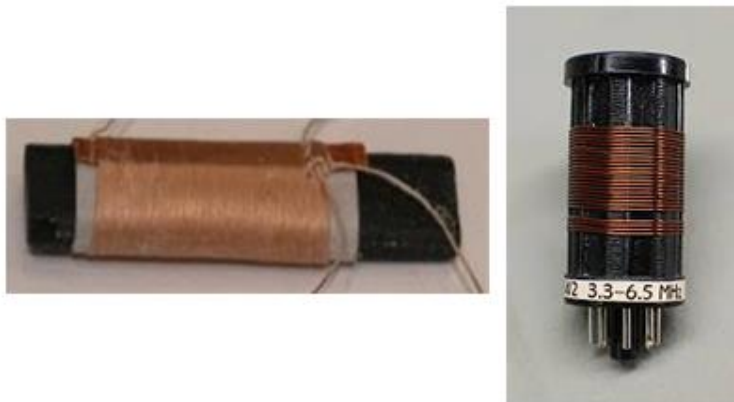
Σχήμα 1.17 Μεγάφωνο και επιμέρους τμήματα αυτού

1.5 Πηνία υψηλών συχνοτήτων (RF)

Πηνία υψηλών συχνοτήτων ονομάζονται εκείνα που λειτουργούν σε συχνότητες περίπου 100 KHz και άνω και η αυτεπαγωγή τους κυμαίνεται από μερικά μH έως δεκάδες mH . Χρησιμοποιούνται κατά βάσει σε διατάξεις τηλεπικοινωνιών (πομπός, δέκτης ραδιοφώνου) και σε αρκετά ιατρικά μηχανήματα.

Όπως αναφέρθηκε πριν, τα χαρακτηριστικά των πηνίων εκτός της αυτεπαγωγής και της συχνότητας λειτουργίας, είναι η παρασιτική χωρητικότητα και ο συντελεστής ποιότητας Q . Στις χαμηλές συχνότητες, ο συντελεστής ποιότητας και οι παρασιτικές χωρητικότητες δεν επιδρούν σημαντικά στη λειτουργία του πηνίου. Όσο όμως η συχνότητα λειτουργίας αυξάνεται, τόσο ο ρόλος των δυο αυτών παραμέτρων γίνεται και πιο σημαντικός. Για τον λόγο αυτό, τα πηνία υψηλών συχνοτήτων κατασκευάζονται με τρόπο τέτοιο, ώστε να έχουν όσο το δυνατό μεγαλύτερο συντελεστή ποιότητας Q και μικρή παρασιτική χωρητικότητα. Τα πηνία RF χωρίζονται σε πέντε κατηγορίες ανάλογα την χρήση τους σε:

- *Πηνίο κεραίας* (Σχ. 1.18). Καλείται εκείνο το οποίο χρησιμοποιείται για την προσαρμογή της κεραίας με την είσοδο της RF διάταξης. Είναι κυψελοειδές ή σωληνοειδές. Σε κάποιες περιπτώσεις χρησιμοποιείται πυρήνας, ώστε να είναι δυνατή η αυξομείωση της αυτεπαγωγής. Η ρυθμιζόμενη αυτεπαγωγή μας βοηθά στο συντονισμό της κεραίας με το κύκλωμα εισόδου



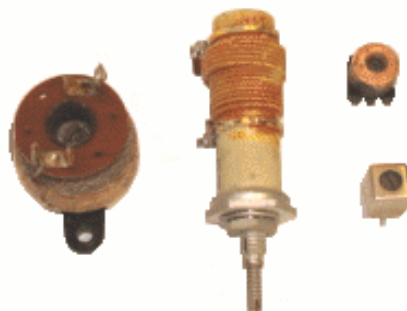
Σχήμα 1.18 Πηνία κεραίας με φερίτη



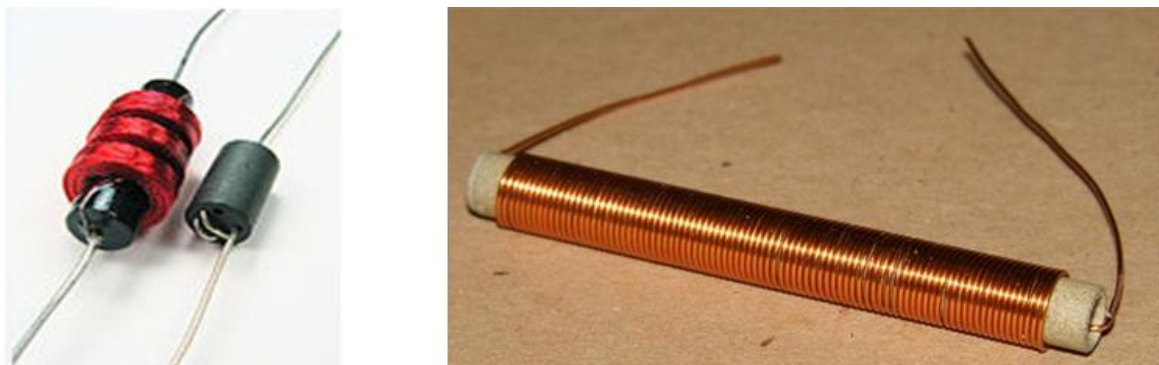
Σχήμα 1.19 Πηνίο ταλαντωτή

της RF διάταξης. Το πηνίο κεραίας πέραν της προσαρμογής στο δέκτη, προκαλεί και ενίσχυση του σήματος, στη συχνότητα συντονισμού.

- *Πηνίο ταλαντωτή (Σχ. 1.19).* Χρησιμοποιείται σε διατάξεις παραγωγής ταλαντώσεων. Είναι σωληνοειδές ή κυψελοειδές και τις περισσότερες φορές φέρει πυρήνα. Ο πυρήνας βοηθά στο μικρομετρικό συντονισμό του ταλαντωτή.
- *Πηνίο σύζευξης (Σχ. 1.20).* Χρησιμοποιείται για τη σύζευξη διατάξεων RF. Το πηνίο αυτό λειτουργεί ως φίλτρο διέλευσης ζώνης, με μια κεντρική συχνότητα που καθορίζεται από τον κατασκευαστή. Το συναντάμε ως κυψελοειδές ή σωληνοειδές, με ή χωρίς την ύπαρξη πυρήνα. Ο πυρήνας χρησιμοποιείται για την ρύθμιση του εύρους ζώνης διέλευσης του φίλτρου. Το ζεύγος των πηνίων περιβάλλεται από μεταλλικό πλαίσιο που γειώνεται, για να αποφεύγεται ο επηρεασμός των πηνίων από εξωτερικούς παράγοντες.
- *Πηνίο διευκρινιστή.* Μοιάζει με τα πηνία σύζευξης. Είναι θωρακισμένο και χρησιμοποιείται στους αποδιαμορφωτές (διευκρινιστές FM).
- *R.F. Choke (Σχ. 1.21).* Είναι το πηνίο που χρησιμοποιείται στο στραγγαλισμό διαφόρων συχνοτήτων. Χρησιμοποιείται ως φίλτρο σε πομπούς και σε δέκτες, ώστε να αποτρέψει τη διέλευση της RF συχνότητας προς τη βαθμίδα του τροφοδοτικού ή σε άλλες βαθμίδες.



Σχήμα 1.20 Πηνίο σύζευξης



Σχήμα 1.21 Στην αριστερή φωτογραφία απεικονίζεται ένα κυβελοειδές πηνίο τσοκ και στην δεξιά φωτογραφία απεικονίζεται ένα σωληνοειδές πηνίο τσοκ

1.6 Βλάβες και έλεγχος

Οι βλάβες που μπορεί να παρουσιάσει ένα πηνίο είναι δύο, βραχυκύκλωμα και διακοπή.

Βραχυκύκλωμα

Σε αρκετές περιπτώσεις κάποιες από τις σπείρες του πηνίου βραχυκυκλώνουν μεταξύ τους λόγω της φθοράς της μόνωσης του σύρματος ή υπερπήδηση της τάσης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μειώνεται η ωμική αντίσταση και η αυτεπαγωγή του πηνίου. Για να διαπιστώσουμε τη βλάβη αυτή, θα πρέπει εξ αρχής να γνωρίζουμε την ωμική αντίσταση καθώς και την αυτεπαγωγή του πηνίου.

Διακοπή

Διακοπή ονομάζεται η μη συνέχεια του αγωγού του πηνίου. Διακοπή μπορεί να προκληθεί από την διέλευση μεγαλύτερου ρεύματος από αυτό που είναι κατασκευασμένο να αντέχει το πηνίο. Ακόμη, η διακοπή μπορεί να οφείλεται στη κακή σύνδεση (κόλληση) της αρχής του σύρματος με τον ακροδέκτη.

Ο έλεγχος των πηνίων μπορεί να γίνει ωμικά με τη χρήση ομόμετρου, είτε με την χρήση γέφυρας *LCR*. Με το ομόμετρο μπορούμε να διαπιστώσουμε τη συνέχεια του σύρματος του πηνίου, καθώς και αν το πηνίο είναι εντελώς βραχυκυκλωμένο. Με τη γέφυρα *LCR* και γνωρίζοντας την αρχική αυτεπαγωγή του πηνίου, μπορούμε να διαπιστώσουμε αν αυτή έχει μεταβληθεί. Αν παρατηρήσουμε μεταβολή της αυτεπαγωγής, σε σχέση με αυτή που ορίζει ο κατασκευαστής, αυτό σημαίνει ότι υπάρχει βραχυκύκλωμα μεταξύ κάποιων σπειρών του πηνίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΜΟΝΟΦΑΣΙΚΟΣ

ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ

2.1 Μονοφασικός μετασχηματιστής

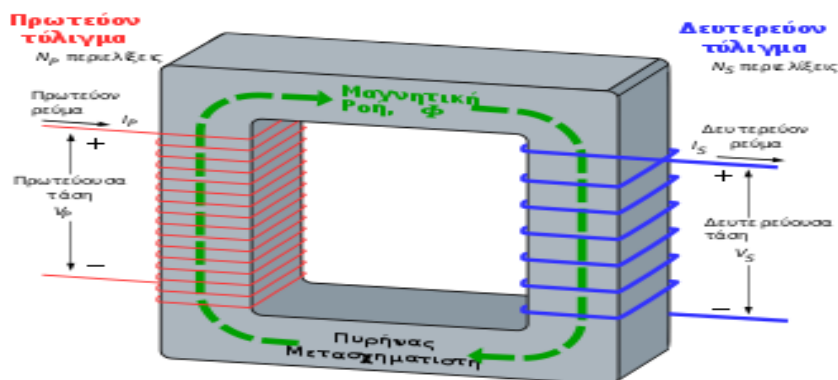
Το 1831 ο Αμερικανός φυσικός Μάικλ Φαραντέι διατύπωσε την αρχή λειτουργίας του μετασχηματιστή (Μ/Σ). Ο μετασχηματιστής στην πράξη είναι μια διάταξη που αποτελείται από δυο η περισσότερα πηνία σε σύζευξη μεταξύ τους. Δέχεται στην είσοδο του μια τάση και στην έξοδο του αποδίδει εξ επαγωγής μια τάση που είναι μεγαλύτερη, ίση ή μικρότερη της τάσης εισόδου. Αρχικά ο μετασχηματιστής χρησιμοποιήθηκε για να αποδείξει το φαινόμενο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής. Στα πρώτα πειράματα που έγιναν ο μετασχηματιστής τροφοδοτούνταν από μια διάταξη αποτελούμενη από μπαταρίες και έναν μηχανικό ταλαντωτή, έτσι ώστε να μπορεί να τροφοδοτηθεί με διακοπτόμενο ρεύμα, που ήταν απαραίτητο στη λειτουργία του. Το 1880 αναγνωρίστηκε η πραγματική του αξία και έτσι ξεκίνησε η κατασκευή και η χρήση του. Αξίζει να αναφερθεί πως ο μετασχηματιστής είναι μια διάταξη με πολύ υψηλή απόδοση που μπορεί να φθάσει μέχρι και 95%. Τα στοιχεία που χαρακτηρίζουν ένα μετασχηματιστή είναι η τάση και το ρεύμα εισόδου και εξόδου, οι απώλειες καθώς και η συχνότητα λειτουργίας. Με βάση αυτή τη συχνότητα χωρίζονται σε Μ/Σ ακουστικής και σε Μ/Σ τροφοδοσίας.

- ❖ **Τάση και ρεύμα εισόδου και εξόδου.** Η τάση εισόδου είναι η τάση που τροφοδοτεί το πρωτεύον τύλιγμα του Μ/Σ και η τάση εξόδου είναι η μετασχηματισμένη τάση που εμφανίζεται στο δευτερεύον τύλιγμα. Οι δυο αυτές τάσεις συνδέονται μεταξύ τους από την σχέση

$$a = \frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} \quad (2.1)$$

όπου, a είναι ο λόγος μετασχηματισμού.

Το ρεύμα εισόδου είναι το ρεύμα που ρέει στο πρωτεύον τύλιγμα σε πλήρη ισχύ και το ρεύμα εξόδου είναι το ρεύμα που αποδίδει ο Μ/Σ στο φορτίο. Τα ρεύματα εισόδου και εξόδου του μετασχηματιστή εξαρτώνται από την ολική ισχύ του δευτερεύοντος (ή το σύνολο των ισχύων, αν υπάρχουν παραπάνω από ένα δευτερεύοντα τυλίγματα).



Σχήμα 2.1 Περιγραφή μετασχηματιστή

- ❖ **Συχνότητα λειτουργίας.** Είναι η συχνότητα της ημιτονικής τάσης εισόδου, η οποία τροφοδοτεί το μετασχηματιστή. Στις περισσότερες περιπτώσεις ο Μ/Σ τροφοδοτείται από το δίκτυο με τάση 230/115V και συχνότητα 50-60Hz.
- ❖ **Απώλειες.** Οι απώλειες που παρουσιάζει ένας μετασχηματιστής προέρχονται από:
 1. Απώλειες του πυρήνα.
 2. Απώλειες του σύρματος.
 3. Απώλειες σκέδασης.
 4. Απώλειες της κατανεμημένης χωρητικότητας.

Απώλειες πυρήνα. Στις απώλειες πυρήνα περιλαμβάνονται οι απώλειες εξαιτίας του ρεύματος μαγνήτισης και των δινορευμάτων.

- *Ρεύμα μαγνήτισης.* Είναι το ρεύμα που κυκλοφορεί στο πρωτεύον του Μ/Σ ακόμα και αν δεν υπάρχει φορτίο στην έξοδο του δευτερεύοντος πηνίου. Το ρεύμα μαγνήτισης δημιουργεί μαγνητική ροή Φ , που θα παραμείνει ίδια και μετά τη σύνδεση του φορτίου στο δευτερεύον.
- *Δινορεύματα.* Το εναλλασσόμενο μαγνητικό πεδίο που παράγεται από το πρωτεύον τύλιγμα, δημιουργεί ηλεκτρικό ρεύμα εξ επαγωγής στο δευτερεύον. Εκτός από την τάση στο δευτερεύον τύλιγμα δημιουργεί και βρόχους ρευμάτων που επάγονται εντός του πυρήνα και προκαλούν τη θέρμανση του. Τα ρεύματα αυτά ονομάζονται δινορεύματα ή ρεύματα Foucault.

Απώλειες σύρματος. Οι απώλειες αυτές οφείλονται στην ωμική αντίσταση που παρουσιάζουν τα τυλίγματα του Μ/Σ. Η αντίσταση αυτή καθορίζεται από την ειδική αντίσταση του μετάλλου από το οποίο είναι κατασκευασμένοι οι αγωγοί που αποτελούν τα τυλίγματα.

Απώλειες σκέδασης. Στον ιδανικό μετασχηματιστή όλη η μαγνητική ροή Φ μεταφέρεται από το πρωτεύον στο δευτερεύον τύλιγμα. Στον πραγματικό μετασχηματιστή όμως δεν συμβαίνει αυτό, διότι ένα μικρό μέρος της μαγνητικής ροής δεν μεταφέρεται, αλλά διαχέεται στον αέρα που τον περιβάλλει. Οι απώλειες αυτές ορίζονται ως απώλειες σκέδασης.

Απώλειες κατανεμημένης χωρητικότητας. Άλλη μια απώλεια που παρουσιάζουν οι Μ/Σ οφείλεται στην κατανεμημένη χωρητικότητα. Αυτή εμφανίζεται ανάμεσα στις σπείρες των τυλιγμάτων, με διηλεκτρικό το μονωτικό βερνίκι του σύρματος και τον αέρα που τα περιβάλλει, αλλά ακόμα εμφανίζεται και μεταξύ των τυλιγμάτων (το σύνολο των σπειρών) του πρωτεύοντος και του δευτερεύοντος. Η χωρητικότητα αυτή δεν επιδρά σημαντικά στη λειτουργία του Μ/Σ, όταν αυτός προορίζεται να λειτουργήσει σε χαμηλές συχνότητες, όπως αυτές του δικτύου 50/60 Hz. Αντίθετα στις υψηλές συχνότητες, η χωρητικότητα αυτή επιδρά σημαντικά στη λειτουργία του και πρέπει να λαμβάνεται υπόψη.

2.2 Κατασκευή και εφαρμογές μετασχηματιστών

Οι μετασχηματιστές ανάλογα με την κατασκευή και την εφαρμογή τους, χωρίζονται σε διάφορες κατηγορίες. Ανάλογα με την εφαρμογή τους διακρίνονται σε:

- 1) Μετασχηματιστή ανύψωσης τάσης.
- 2) Μετασχηματιστή υποβιβασμού τάσης.
- 3) Μετασχηματιστή απομόνωσης 1:1.
- 4) Μετασχηματιστή ακουστικών συχνοτήτων.
- 5) Αυτομετασχηματιστή.

Ανάλογα με την κατασκευή τους χωρίζονται σε:

1. Κοινός τετράγωνος (κλαστικός μετασχηματιστής).
2. Τοροειδής μετασχηματιστής.

2.3 Λειτουργίες μετασχηματιστή

- **Μετασχηματιστής ανύψωσης τάσης – υποβιβασμού τάσης – απομόνωσης 1:1.** Όταν η τάση του δευτερεύοντος είναι μεγαλύτερη της τάσης του πρωτεύοντος, τότε αναφερόμαστε σε μετασχηματιστή ανύψωσης τάσης. Τέτοιου είδους μετασχηματιστές χρησιμοποιούνται στα δίκτυα ηλεκτροδότησης για την ανύψωση και μεταφορά της τάσης σε μεγάλες αποστάσεις. Μετασχηματιστής υποβιβασμού, είναι εκείνος που η τάση του δευτερεύοντος τυλίγματος είναι μικρότερη της τάσης του πρωτεύοντος. Για παράδειγμα τέτοιος Μ/Σ χρησιμοποιείται στους φορτιστές μπαταριών. Ο μετασχηματιστής απομόνωσης 1:1 είναι αυτός που η τάση του πρωτεύοντος είναι η ίδια με την τάση του δευτερεύοντος. Χρησιμοποιείται συνήθως σε ηλεκτρονικά εργαστήρια, για τη γαλβανική απομόνωση τους, από το δίκτυο της ΔΕΗ.
- **Μετασχηματιστής ακουστικών συχνοτήτων.** Μ/Σ ακουστικών συχνοτήτων καλείται εκείνος που χρησιμοποιείται σε διατάξεις ακουστικών συχνοτήτων. Το συναντάμε σε διάφορες βαθμίδες και συνήθως για την προσαρμογή των κυκλωμάτων της εκάστοτε διάταξης.
- **Αυτομετασχηματιστής.** Ο μετασχηματιστής αυτός αποτελείται από ένα μόνο τύλιγμα στο οποίο εφαρμόζεται συνήθως η τάση του δικτύου. Παίρνοντας λήψη από το τύλιγμα του μπορούμε να έχουμε μια τάση μικρότερη ή μεγαλύτερη της τάσης του δικτύου. Έχει χαμηλό κόστος κατασκευής αλλά δεν παρέχει γαλβανική απομόνωση. Μεγαλύτερη οικονομία στον χαλκό που θα χρησιμοποιήσουμε έχουμε όταν ο λόγος της τάσης εισόδου προς την τάση που θέλουμε να πάρουμε είναι κοντά στη μονάδα.

2.4 Κατασκευή μετασχηματιστών

Οι κατηγορίες των Μ/Σ που αναφέρθηκαν πριν μπορούν να κατασκευαστούν σε τοροειδές μορφή είτε σε κοινή τετράγωνη (κλαστικός μετασχηματιστής). Η επιλογή του τύπου κατασκευής είναι στην ευχέρεια του κατασκευαστή, λαμβάνοντας υπόψη το διαθέσιμο χώρο και όγκο για την τοποθέτησή του, αλλά και την απαιτούμενη απόδοση. Ο τοροειδής μετασχηματιστής είναι πιο αποδοτικός σε σχέση με τον κοινό, αλλά είναι πολύ πιο ακριβός.



Σχήμα 2.2 Τοροειδής μετασχηματιστής εμπορίου μαζί με τα στηρίγματα τοποθέτησής του

▪ Τοροειδής Μ/Σ

Ο τοροειδής μετασχηματιστής (Σχ. 2.2) έχει στρόγγυλη μορφή και είναι πολύ πιο αποδοτικός από τον κοινό. Η υψηλή αποδοτικότητα οφείλεται στο γεγονός ότι το πηνίο τυλίγεται απευθείας πάνω στον πυρήνα. Για την μόνωση του χρησιμοποιείται ειδική μονωτική ταινία. Λόγω του ότι το σύρμα καλύπτει όλη την επιφάνεια του πυρήνα, έχει ως αποτέλεσμα τη χαμηλή θερμοκρασία άρα και μικρότερες απώλειες Joule. Ο πυρήνας πάνω στον οποίο είναι τυλιγμένα τα πηνία, αποτελείται από έλασμα σιδήρου πυριτίου με πολύ καλές μαγνητικές ιδιότητες και έτσι εμφανίζει ελάχιστες απώλειες μαγνητικού πεδίου. Ακόμα ένα χαρακτηριστικό αυτού του είδους μετασχηματιστή, είναι ότι εξαιτίας της πολύ σφιχτής περιέλιξης του, δεν δημιουργεί ταλαντώσεις που προκαλούν θόρυβο.

Στους τοροειδείς μετασχηματιστές, συγκαταλέγεται και ο αυτομετασχηματιστής Variac. Χαρακτηριστικό αυτού του αυτομετασχηματιστή είναι η επιλεγόμενα μεταβαλλόμενη τάση εξόδου. Αναφέρθηκαν τα βασικά στοιχεία και οι διαφορές του τοροειδή μετασχηματιστή που τον κάνουν να διαφέρει από το κοινό Μ/Σ, ωστόσο δεν θα γίνει περαιτέρω ανάλυση του επειδή η κατασκευή μας δεν υποστηρίζει τέτοιου είδους περιέλιξη.

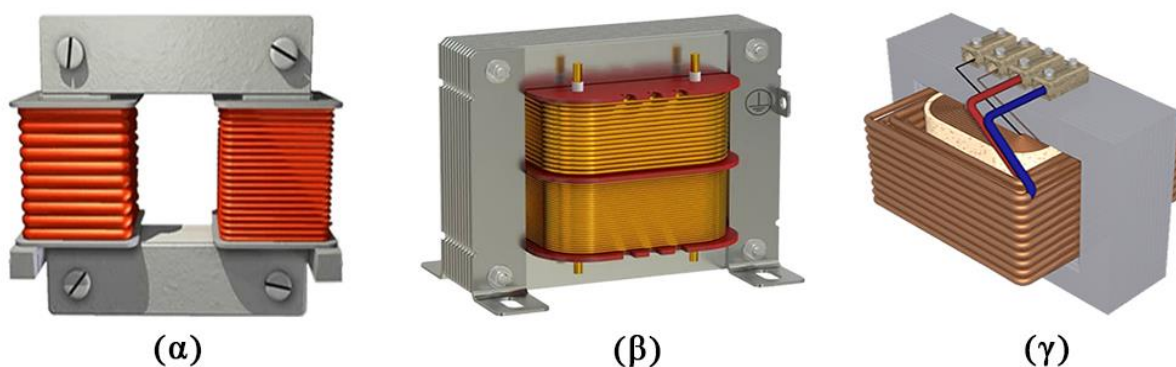
▪ Κλασικός τετράγωνος Μ/Σ

Για την κατασκευή αυτών των μετασχηματιστών (σχ. 2.3) χρησιμοποιούνται τα ακόλουθα υλικά: καρούλι ή καρκάσα, σύρμα, πυρήνας, μονωτικά φύλλα, μονωτικές ρητίνες.

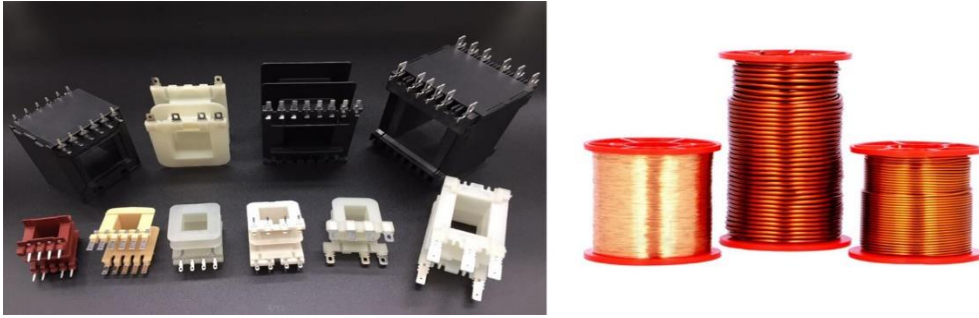
Καρούλι ή καρκάσα. Είναι το τετράγωνο καρούλι (σχ. 2.4) πάνω στο οποίο αναπτύσσονται τα τυλίγματα του μετασχηματιστή. Αυτό συνήθως κατασκευάζεται από ειδικό χαρτί πρεσπών ή από πλαστικό. Συναντάται στο εμπόριο σε διάφορους τύπους και μεγέθη.

Σύρμα. Το σύρμα (σχ. 2.4) που χρησιμοποιείται αποτελείται από χαλκό ή αλουμίνιο, η επιφάνεια του οποίου είναι μονωμένη με ειδικό μονωτικό βερνίκι. Υπάρχει στο εμπόριο σε διάφορες διατομές και η επιλογή της έχει να κάνει με την ισχύ του κάθε επιμέρους τυλίγματος.

Πυρήνας. Χρησιμοποιούνται διάφοροι τύποι πυρήνων για την κατασκευή. Ο πυρήνας (σχ. 2.5) αποτελείται από πολλά μεταλλικά μονωμένα μεταξύ τους φύλλα, που ποικίλουν ανάλογα με το κράμα από το οποίο είναι κατασκευασμένα καθώς και από το μέγεθος και το σχήμα τους.



Σχήμα 2.3 Κλασικός τετράγωνος μετασχηματιστής α) Μετασχηματιστής τύπου πυρήνα, β) μετασχηματιστής τύπου κελύφους, γ) μετασχηματιστής τύπου μανδύα (στο εσωτερικό του το πρωτεύον τύλιγμα, έπειτα το λευκό πρεσπών και στην εξωτερική πλευρά το δευτερεύον τύλιγμα)



Σχήμα 2.4 Από αριστερά μερικοί τύποι καρκάσας και δεξιά σύρμα περιέλιξης διαφόρων διατομών

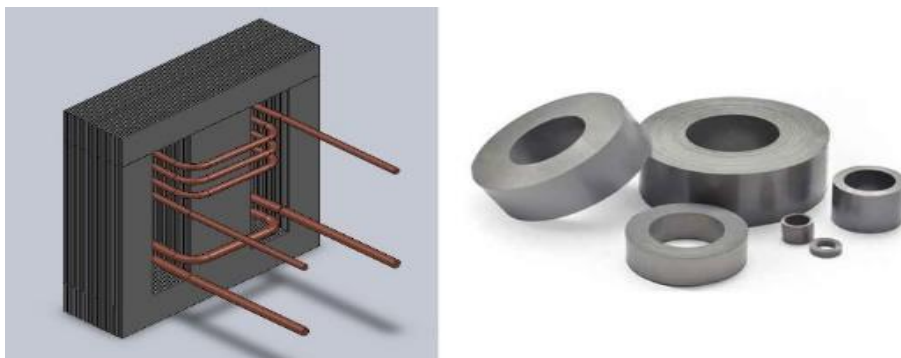
Μονωτικά φύλλα. Κατά την κατασκευή των Μ/Σ χρησιμοποιούνται μονωτικά φύλλα (σχ. 2.6), τα οποία τοποθετούνται ανάμεσα στα τυλίγματα. Τα φύλλα αυτά μπορεί να είναι από ειδικό χαρτί πρεσπών ή άλλο ειδικό υλικό. Στο εμπόριο τα βρίσκουμε σε διάφορα χρώματα και πάχη.

Μονωτικές ρητίνες-βερνίκια. Οι ρητίνες και τα βερνίκια αυτά (σχ. 2.6) είναι ειδικά κατασκευασμένα για χρήση σε μετασχηματιστές, ώστε να παρέχουν μια πιο συμπαγή στερέωση τους, καθώς και για να αυξάνουν ακόμα περισσότερο την ηλεκτρική μόνωση των τυλιγμάτων.

Κουτί – καπάκι Μ/Σ. Τα καπάκια (σχ. 2.7) είναι συνήθως μεταλλικά και τοποθετούνται στα πλαϊνά του Μ/Σ για να παρέχουν προστασία στο χρήστη, και για να θωρακίσουν τον Μ/Σ ώστε να μην επηρεάζει τις διατάξεις που βρίσκονται γύρω από αυτόν. Το κουτί μέσα στο οποίο τοποθετείται ο Μ/Σ μπορεί να είναι μεταλλικό ή πλαστικό.

2.5 Περιγραφή κατασκευής μετασχηματιστή (τύπου μανδύα)

Αυτού του τύπου ο Μ/Σ κατασκευάζεται πάνω σε τετράγωνο καρούλι (καρκάσα). Αρχικά περιελίσσεται το σύρμα που αποτελεί το πρωτεύον, στη συνέχεια τοποθετείται ειδικό μονωτικό υλικό συνήθως πρεσπών και έπειτα πάνω από αυτό περιελίσσεται το δευτερεύον τύλιγμα (μπορούμε να έχουμε παραπάνω από ένα δευτερεύοντα τυλίγματα). Εφόσον τελειώσει και η κατασκευή του δευτερεύοντος πηνίου τοποθετείται ξανά μονωτικό χαρτί πρεσπών, για να προστατεύσει και το δεύτερο τύλιγμα. Εν συνεχεία τοποθετούνται οι ακροδέκτες και συγκολλούνται τα σύρματα επάνω σε αυτούς. Ακόμα, τοποθετούνται τα ελάσματα του πυρήνα κατά εναλλασσόμενες κατευθύνσεις, όταν τα ελάσματα είναι τύπου (E-I). Με αυτό τον τρόπο δε δημιουργείται συγκεντρωμένη μαγνητική αντίσταση στο διάκενο των αρμών της συναρμολόγησης. Έπειτα ακολουθεί η εμβάπτιση του σε ειδικό βερνίκι. Χρησιμοποιείται το βερνίκι για να αποφευχθούν πιθανά τριξίματα που προκαλούν απώλειες. Για μεγαλύτερη προστασία μπορούν να τοποθετηθούν μεταλλικά καπάκια, συνηθίζεται όμως και η τοποθέτηση του Μ/Σ μέσα σε κουτί, καλυπτόμενος από πίσσα ή άλλο μονωτικό υλικό. Τα τυλίγματα του Μ/Σ μπορούν να τοποθετηθούν το ένα δίπλα στο άλλο (τύπου κελύφους), το ένα πάνω στο άλλο



Σχήμα 2.5 Από αριστερά τετράγωνος πυρήνας και δεξιά πυρήνες διαφόρων διατομών για τοροειδή μετασχηματιστή



Σχήμα 2.6 Αριστερά το ειδικό βερνίκι και στη δεξιά φωτογραφία το χαρτί πρεσπάν

(τύπου μανδύα) ή τοποθετούνται γύρω από τα δυο κάθετα μέρη του πυρήνα (τύπου πυρήνα). Στο σχήμα 2.3 διακρίνονται και οι τρεις τρόποι περιέλιξης.

2.6 Υπολογισμός μετασχηματιστή

- *Ολική ισχύς δευτερεύοντος:*

$$W_s = V_{s1} \times I_{s1} + V_{s2} \times I_{s2} + \dots + V_{sn} \times I_{sn} \quad (\text{VA}) \quad (2.2)$$

όπου:

V_s η τάση του δευτερεύοντος πηνίου (σε V) και I_s το ρεύμα του δευτερεύοντος πηνίου (σε A).

- *Ισχύς πρωτεύοντος:*

$$W_p = 1.11 \times W_s \quad (\text{VA}) \quad (2.3)$$

όπου:

W_s η ολική ισχύς δευτερεύοντος.

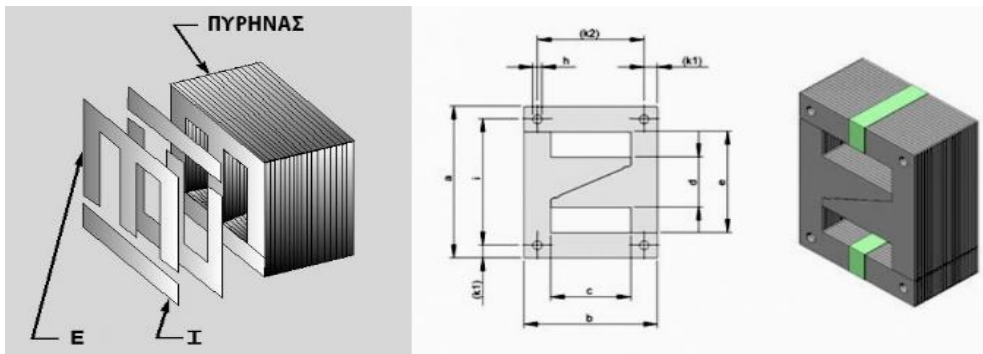


(α)



(β)

Σχήμα 2.7 α) Πλαϊνά μεταλλικά καπάκια β) πλαστικά προστατευτικά καπάκια



Σχήμα 2.8 Από αριστερά ελάσματα πυρήνα τύπου E-I και δεξιά άλλου τύπου ελάσματα πυρήνα

Ρεύμα πρωτεύοντος:

$$I_p = \frac{W_p}{0.9 \times V_p} \quad (\text{A}) \quad (2.4)$$

όπου:

W_p η ισχύς πρωτεύοντος.

V_p η τάση πρωτεύοντος (σε V).

- Διατομή σύρματος πρωτεύοντος – δευτερεύοντος:

$$\Phi_p = \sqrt{\frac{I_p}{2}} \quad (\text{mm}) \quad (2.5)$$

$$\Phi_s = \sqrt{\frac{I_s}{2}} \dots \Phi_n = \sqrt{\frac{I_n}{2}} \quad (\text{mm})$$

όπου:

I_p ρεύμα πρωτεύοντος (σε A), I_s ρεύμα δευτερεύοντος (σε A).

- Διατομή πυρήνα S

$$S = 1.16 \sqrt{W_p} \quad (\text{cm}^2) \quad (2.6)$$

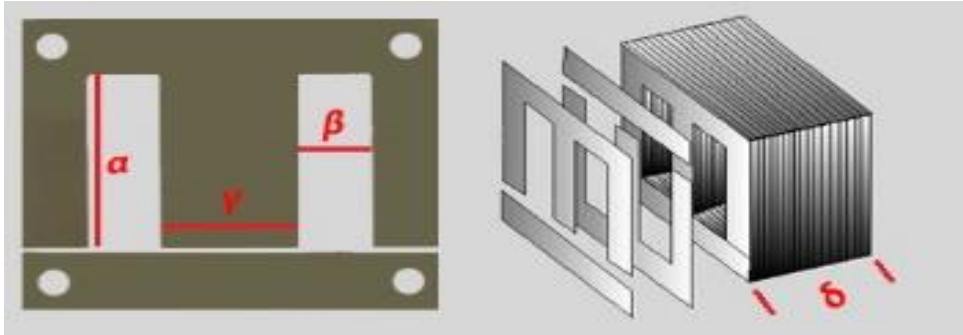
- Διάσταση δ του πυρήνα

$$\delta = \frac{S}{0.87\gamma} \quad (\text{cm}) \quad (2.7)$$

Η διάσταση γ του πυρήνα πρέπει να είναι από $0.5\sqrt{S}$ και $1.2\sqrt{S}$ (cm)

- Σπείρες ανά Volt:

$$H = \frac{43}{\gamma \times \delta} \quad (2.8)$$



Σχήμα 2.9 Διαστάσεις πυρήνα

- Σπείρες κάθε τυλίγματος

$$N_p = H \times V_p \quad (2.9)$$

$$N_{s1} = H \times V_{p1} \dots N_{sn} = H \times V_{pn}$$

2.6.1 Υπολογισμός μετασχηματιστή (ακουστικών συχνοτήτων)

Η διαδικασία κατασκευής αυτού του μετασχηματιστή μοιάζει με αυτή του μετασχηματιστή τροφοδοσίας, με τη διαφορά ότι ο πυρήνας που χρησιμοποιείται αποτελείται από ειδικά ελάσματα και είναι κατασκευασμένος με τέτοια χαρακτηριστικά ώστε να λειτουργεί σε αυτές τις συχνότητες.

Χρησιμοποιείται μόνο χάλκινο σύρμα, με πολύ καλής ποιότητας βερνίκι, για τον περιορισμό των παρασιτικών χωρητικότητων. Τέλος σε κάθε στρώμα σπειρών χρησιμοποιείται φύλλο με μονωτικό υλικό για την αποφυγή υπερπήδησης τάσεως λόγω υψηλής συχνότητας. Οι διαστάσεις του πυρήνα διακρίνονται στο σχήμα 2.9.

- Διατομή πυρήνα S

$$S = 1.16 \sqrt{W_p} \quad (\text{cm}^2) \quad (2.10)$$

- Διάσταση δ του πυρήνα

$$\delta = \frac{S}{0.87\gamma} \quad (\text{cm}) \quad (2.11)$$

Η διάσταση γ του πυρήνα πρέπει να είναι από $0.7\sqrt{S}$ και $1.1\sqrt{S}$ (cm)

- Τάση δευτερεύοντος

$$V_s = \sqrt{W_p \times Z_s} \quad (\text{V}) \quad (2.12)$$

Με δεδομένες τις διαστάσεις a , b , γ , δ .

- Σπείρες δευτερεύοντος

$$N_s = \frac{10^8 V_s}{4.4 \times f \times S \times B} \quad (2.13)$$

όπου:

B μαγνητική ροή του πυρήνα (συνήθως κυμαίνεται σε 8000 ή 9000 Gauss).

- Σπείρες πρωτεύοντος

$$N_p = 0.94N_s \times \sqrt{\frac{Z_p}{Z_s}} \quad (2.14)$$

όπου:

Z η σύνθετη αντίσταση.

- Ρεύμα δευτερεύοντος και πρωτεύοντος

$$I_s = \frac{W_p}{V_s} \quad (\text{A}) \quad (2.15)$$

$$I_p = I_s \times \frac{N_s}{N_p} \quad (\text{A}) \quad (2.16)$$

- Συνολική ένταση ρεύματος

$$I_{ολικό} = \sqrt{I_s^2 + I_p^2} \quad (2.17)$$

- Διατομή αγωγού πρωτεύοντος

$$\Phi_p = 1.13 \sqrt{\frac{I_{ολικό}}{1.2}} \quad (\text{mm}) \quad (2.18)$$

- Διατομή αγωγού δευτερεύοντος

$$\Phi_s = 1.13 \sqrt{\frac{I_s}{1.2}} \quad (\text{mm}) \quad (2.19)$$

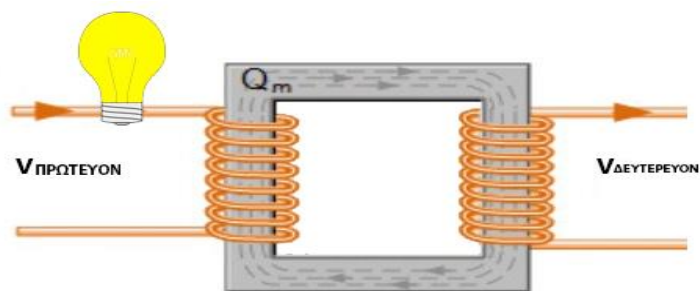
2.7 Βλάβες και έλεγχος

Οι βλάβες στο μετασχηματιστή μπορεί να είναι το βραχυκύκλωμα μεταξύ των σπειρών των τυλιγμάτων, είτε η διακοπή του αγωγού σε κάποιο από τα τυλίγματα του μετασχηματιστή. Επίσης σε κάποιες περιπτώσεις, βλάβη μπορεί να προκύψει και στον πυρήνα. Με το πέρασμα του χρόνου το βερνίκι των φύλλων του πυρήνα αλλοιώνεται και έχει ως αποτέλεσμα να προκαλεί δονήσεις, οι οποίες με τη σειρά τους προκαλούν τη θέρμανσή του.

Ο έλεγχος στους μετασχηματιστές αρχικά γίνεται ωμικά. Με το ομόμετρο μετράμε την αντίσταση του κάθε τυλίγματος και γνωρίζοντας την πραγματική τιμή που πρέπει να παρουσιάζει, μπορούμε να διαπιστώσουμε αν υπάρχει βραχυκύκλωμα μεταξύ των σπειρών.

Ένας άλλος τρόπος ελέγχου των Μ/Σ είναι ως προς τη διαρροή. Με ειδικό όργανο εφαρμόζουμε υψηλή τάση μεταξύ των τυλιγμάτων και αν μετρηθεί ρεύμα μεγαλύτερο μιας προκαθορισμένης τιμής, τότε θεωρούμε ότι ο μετασχηματιστής έχει διαρροή.

Ένας ακόμα έλεγχος που πρέπει να διεξαχθεί είναι ως προς την τάση (ή τάσεις) εξόδου. Τροφοδοτούμε το πρωτεύον με την ονομαστική τάση λειτουργίας του, και ελέγχουμε την τάση του δευτερεύοντος (ή των δευτερευόντων όταν υπάρχουν) αν είναι αυτή που προβλέπει ο κατασκευαστής.



Σχήμα 2.10 Έλεγχος του μετασχηματιστή με τη χρήση λάμπας πυρακτώσεως

Ο έλεγχος αυτός συνίσταται να γίνεται, με την τοποθέτηση εν σειρά με το πρωτεύον, λυχνίας πυρακτώσεως, μεγαλύτερης ισχύος από αυτή του μετασχηματιστή (Σχ. 2.10). Με τον πρακτικό αυτό τρόπο, περιορίζεται το ρεύμα πρωτεύοντος και σε περίπτωση βραχυκυκλώματος του Μ/Σ, η λυχνία φωτοβολεί, και έτσι αποφεύγονται τα χειρότερα.

ΠΗΝΙΟ



Μ/Σ ΜΕ ΙΔΙΑ ΠΟΛΙΚΟΤΗΤΑ ΤΥΛΙΓΜΑΤΩΝ



ΠΗΝΙΟ ΡΥΘΜΙΖΟΜΕΝΟ



ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΟΣ Μ/Σ



ΠΗΝΙΟ ΜΕ ΣΙΔΗΡΟΠΥΡΗΝΑ



Μ/Σ ΜΕ ΘΩΡΑΚΙΣΗ



ΠΗΝΙΟ ΜΕ ΦΕΡΙΤΗ



Μ/Σ ΜΕΣΗΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΑΣ (I.F)



ΠΗΝΙΟ ΜΕ ΡΥΘΜ. ΠΥΡΗΝΑ



ΑΥΤΟΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ



Μ/Σ ΜΕ ΣΙΔΗΡΟΠΥΡΗΝΑ



ΑΥΤΟΜ/Σ ΜΕ ΣΙΔΗΡΟΠΥΡΗΝΑ



Μ/Σ ΜΕ ΦΕΡΙΤΗ



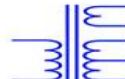
ΜΕΤΑΒΑΛΛΟΜΕΝΟΣ ΑΥΤΟΜ/Σ



Μ/Σ ΜΕ ΜΕΣΑΙΑ ΛΗΨΗ



Μ/Σ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ



Μ/Σ ΑΝΥΨΩΣΗΣ ΤΑΣΗΣ



ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΗΣ



Μ/Σ ΥΠΟΒΙΒΑΣΜΟΥ ΤΑΣΗΣ



Σχήμα 2.11 Ηλεκτρονικά σύμβολα πηνίου και μετασχηματιστή

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ

ΜΕΡΗ

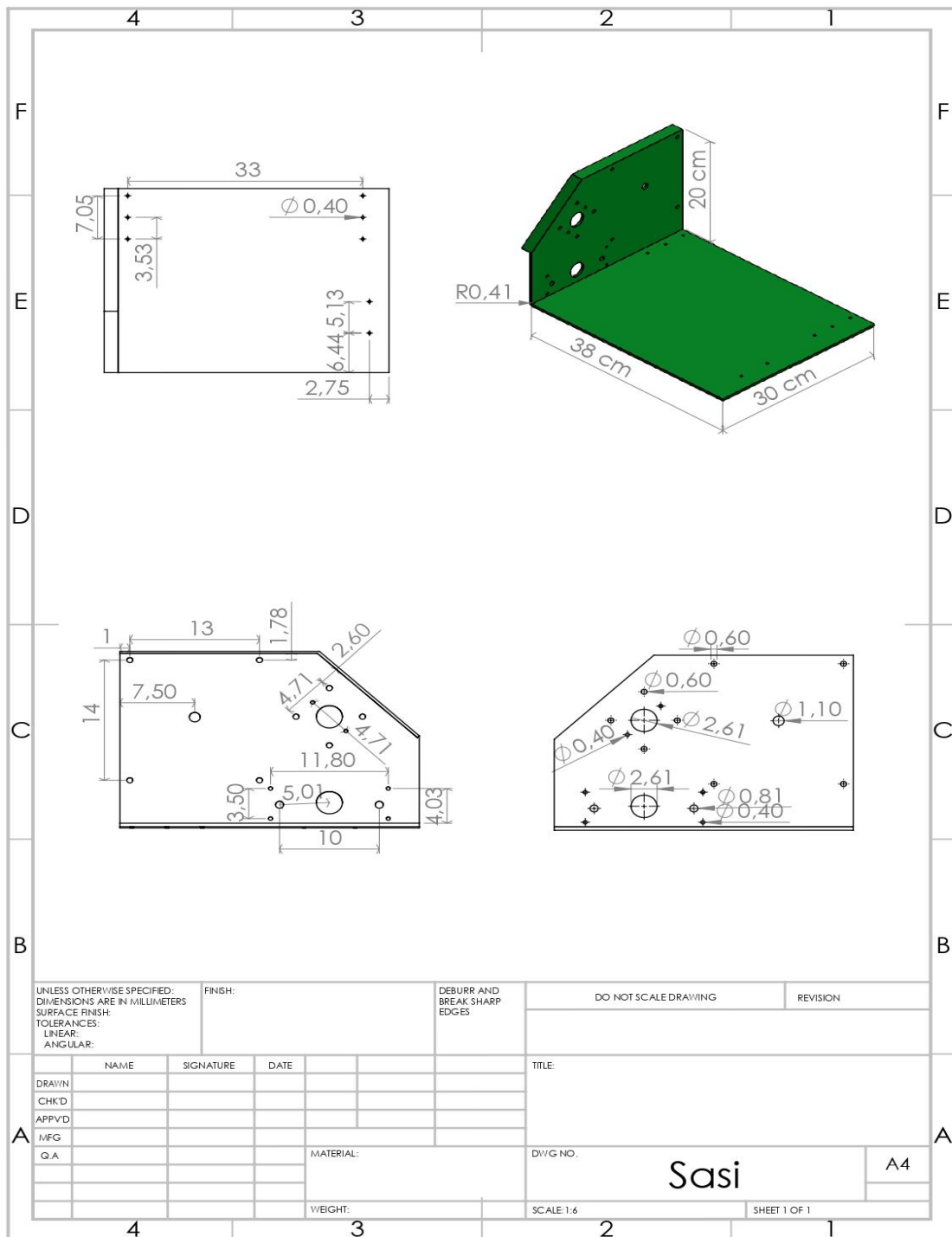
3.1 Μηχανολογικά μέρη

Από τις ιδέες και τα αρχικά σχέδια στο χαρτί, μεταβήκαμε στην ηλεκτρονική σχεδίαση των εξαρτημάτων της κατασκευής με το πρόγραμμα Solidworks. Το συγκεκριμένο, είναι ένα αμιγώς επαγγελματικό πρόγραμμα μηχανολογικής σχεδίασης. Η ευκολία στον χειρισμό του και το φιλικό περιβάλλον για το χειριστή, το κατατάσσουν ψηλά στη λίστα μαζί με άλλα κορυφαία προγράμματα της κατηγορίας του. Χρησιμοποιώντας λοιπόν αυτό, σχεδιάσαμε και προσομοιώσαμε σχεδόν τα πάντα. Υπήρχαν κομμάτια που μελετήθηκαν, σχεδιάστηκαν και έπειτα κατασκευάστηκαν, ωστόσο υπήρχαν και κομμάτια που πρώτα τα κατασκευάσαμε στο χέρι και κατόπιν τα σχεδιάσαμε ώστε να ενωθούν με τα υπόλοιπα κομμάτια για την προσομοίωση. Αποφασίσαμε να χωρίσουμε την κατασκευή σε έξι μέρη για την περαιτέρω ανάλυση της. Το σασί, τον κύριο κινητήρα με το τσοκ, το μπλοκ της κεφαλής, το σύστημα βοηθητικής στήριξης της καρκάσας-καρουλιού, τον πύργο με τα ηλεκτρονικά μέρη μαζί με τον μετασχηματιστή και την οθόνη με το πληκτρολόγιο. Η δημιουργία μερικών κομματιών έγινε με εκτύπωση σε 3D printer, κάποια άλλα κομμάτια κόπηκαν σε CNC μηχάνημα και κάποια άλλα αποτελούν ιδιοκατασκευή από εμάς. Τα κομμάτια που ήταν για εκτύπωση και κοπή, σχεδιάστηκαν και προσομοιώθηκαν μόνα τους, με σκοπό να ελεγχθούν τυχόν αστοχίες πριν την εκάστοτε διαδικασία. Κάποια κομμάτια που ενώ στην προσομοίωση έδειχναν να λειτουργούν σωστά στην πράξη διαπιστώσαμε ότι χρειαζόνταν βελτίωση. Πραγματοποιήθηκαν οι αναγκαίες τροποποιήσεις καταλήγοντας στο τελικό εξάρτημα. Η μεγαλύτερη αλλαγή που έγινε σε σχέση με τα αρχικά σχέδια έχει να κάνει με την κατασκευή της κεφαλής και τη στήριξή της. Αρχικά σκεφτήκαμε αυτά τα κομμάτια να στηρίζονται πάνω στο σασί του μηχανήματος, ακολουθώντας την λογική του βοηθητικού συστήματος στήριξης της καρκάσας, που είχαμε φτιάξει εξ αρχής. Ερχόμενοι στην πράξη διαπιστώσαμε ότι αυτή η λογική, ενώ μας εξυπηρετούσε στο σύστημα της βοηθητικής στήριξης της καρκάσας, δεν μας εξυπηρετούσε τόσο καλά με το μπλοκ της κεφαλής. Κάθε φορά που θέλαμε να επέμβουμε στην κεφαλή έπρεπε να την αποσυναρμολογούμε κάτι που ήταν χρονοβόρο και επιπρόσθετα δημιουργούσε φθορές στα επιμέρους μηχανικά μέρη. Κληθήκαμε λοιπόν να αντιμετωπίσουμε το πρόβλημα που προέκυψε. Μετά από αρκετή έρευνα καταλήξαμε ότι αυτό το σύστημα θα λειτουργούσε καλύτερα αν ήταν αποσπώμενο. Έτσι το σχεδιάσαμε εξολοκλήρου από την αρχή, οι καινούριες βάσεις τυπώθηκαν και έγινε η συναρμολόγησή τους. Το επόμενο πρόβλημα που εμφανίστηκε ήταν ότι το σύστημα με τα δυο αντικριστά τσοκ, δεν μπορούσαμε να το ευθυγραμμίσουμε πλήρως. Επίσης, δεν μπορούσαμε να ευθυγραμμίσουμε και το κεντρικό τσοκ που συνδέεται με τον κινητήρα. Εξ αρχής γνωρίζαμε τη λύση στο πρώτο πρόβλημα. Αυτή ήταν η δημιουργία δύο αξόνων με σπείρωμα που από τη μια θα βίδωνε το τσοκ και από την άλλη θα εφάρμοζε στο ρουλεμάν. Αυτό ωστόσο ανέβαζε το κόστος της κατασκευής κατά πολύ, καθώς χρειαζόνταν τόννος για την εργασία αυτή. Έτσι κληθήκαμε ξανά να βρούμε κάποια άλλη λύση. Αυτή δόθηκε χρησιμοποιώντας το τσοκ και το εμπρόσθιο σύστημα (κουζινέτο) από ηλεκτρικό δράπανο. Τέλος, για τη σύμπλεξη του κεντρικού κινητήρα με το τσοκ χρησιμοποιήσαμε λάστιχο υψηλής πίεσης. Το συγκεκριμένο λάστιχο αν και κάπως εύκαμπτο, έχει πολύ μεγάλες αντοχές.

3.2 Μηχανολογικά μέρη με τη χρήση του Solidworks

3.2.1 Σασί

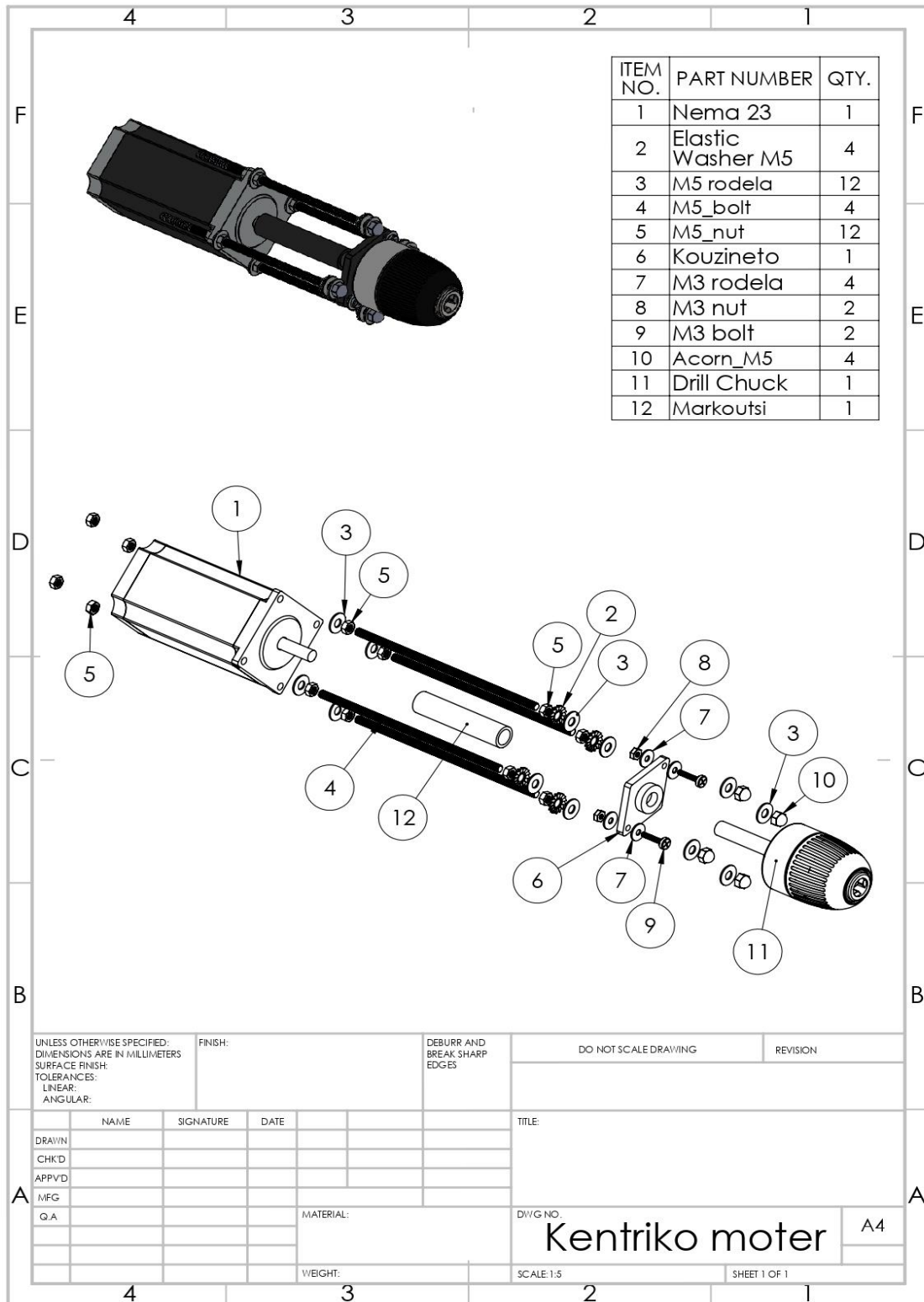
Το σασί είναι κατασκευασμένο από λαμαρίνα 4mm. Επιλέχθηκε η συγκεκριμένη λαμαρίνα για να προσφέρει στιβαρότητα και αντοχή στη κατασκευή. Η κοπή και το στραντζάρισμα της λαμαρίνας έγινε με τη χρήση CNC μηχανήματος και μηχανής στραντζαρίσματος αντίστοιχα. Ακολουθούν τα αναλυτικά σχέδια του σασί.



Σχήμα 3.1 Το σασί με τα σχέδια που δόθηκαν για την κοπή και το στραντζάρισμα

3.2.2 Κεντρικός βηματικός κινητήρας με το τσοκ

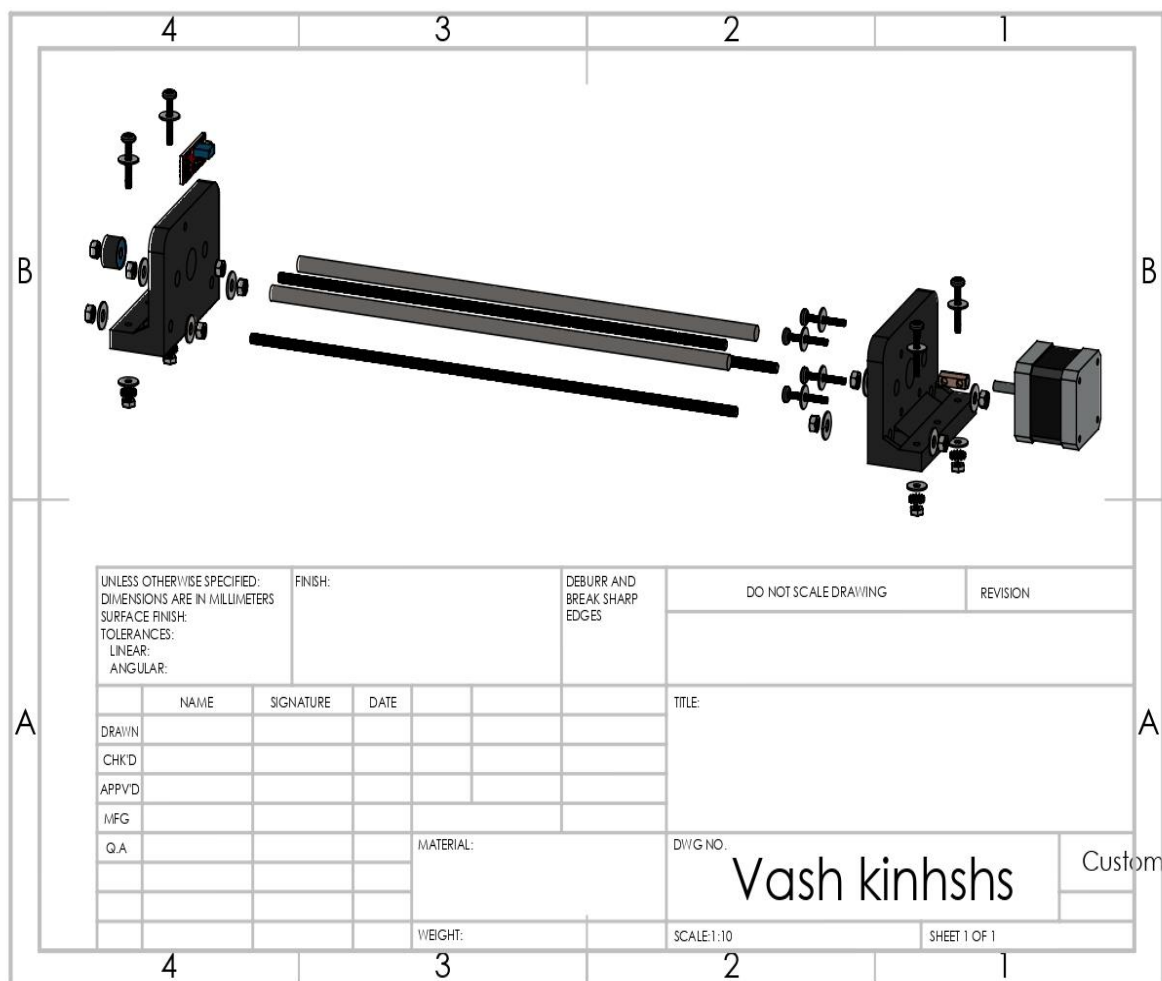
Ο κινητήρας μεταδίδει την κίνηση του στο τσοκ, μέσω του λάστιχου υψηλής πίεσης. Ο κινητήρας στηρίζεται με τέσσερις ντίζες M5 στο σασί.



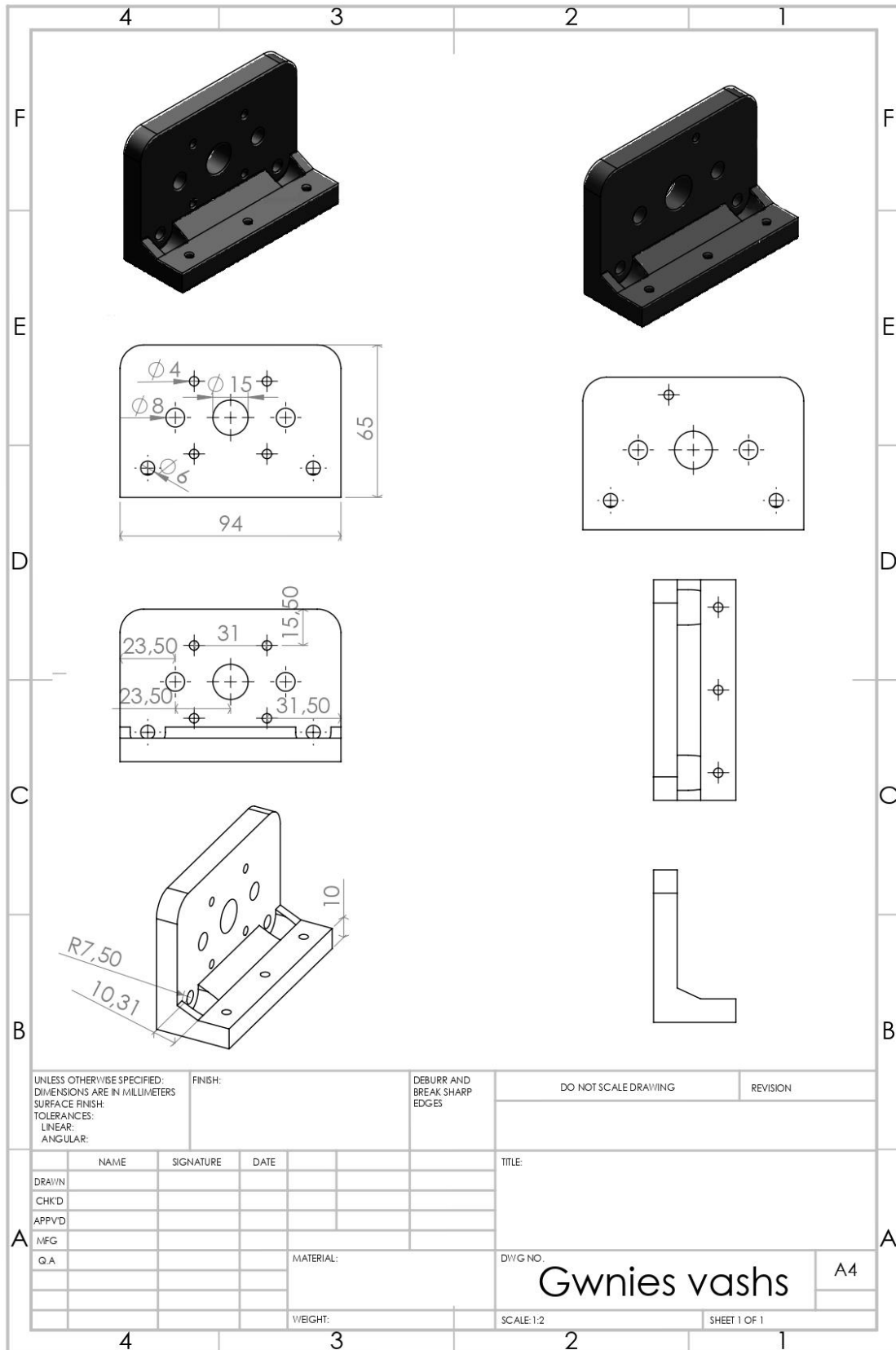
Σχήμα 3.2 Κεντρικός κινητήρας

3.2.3 Μπλοκ κεφαλής

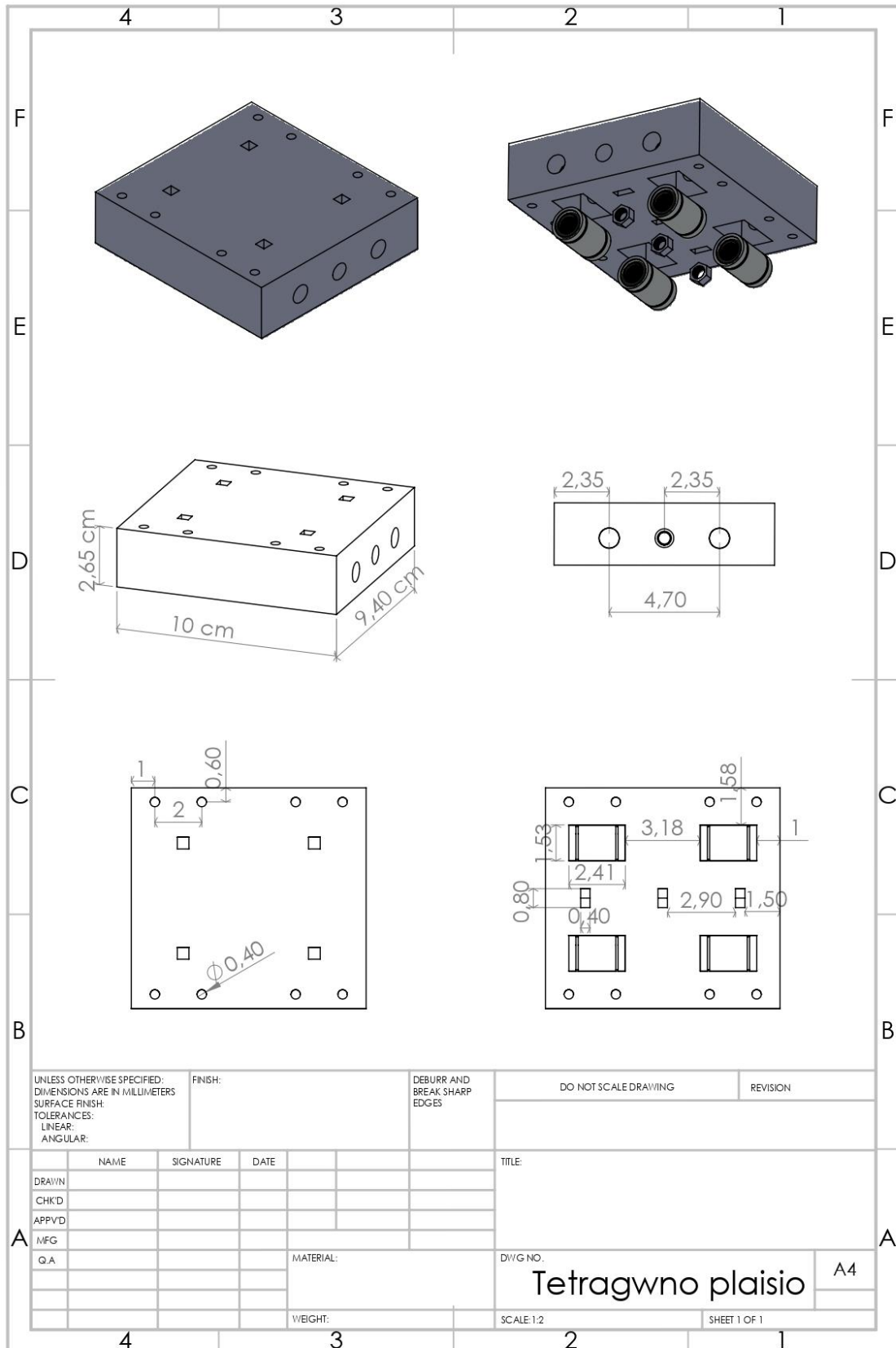
Το μπλοκ της κεφαλής αποτελείται από δύο κύρια μέρη, τη βάση κίνησης της κεφαλής και την κεφαλή με τα επιμέρους τμήματά της. Η κεντρική βάση κίνησης της κεφαλής απαρτίζεται από δυο πλαστικές γωνίες στήριξης και δύο ντίξες M5 για την επιμέρους στήριξη του συστήματος. Για τη στερέωση και την κίνηση της κεφαλής χρησιμοποιείται ένα τετράγωνο πλαίσιο. Αυτό διαμορφώνεται από 4 γραμμικά ρουλεμάν και 3 παξιμάδια. Ακόμα, από ένα βηματικό κινητήρα, μια ντίξα M5 (με μετρικό σπείρωμα), ένα ρουλεμάν και δυο άξονες 8mm, που συμβάλουν στην κίνηση του πλαισίου αυτού. Η κεφαλή αποτελείται από τον κεντρικό κορμό που πάνω του είναι στηριγμένο ένα σύστημα τροχαλιών, για την οδήγηση του σύρματος. Επίσης φέρει το σύστημα μπλοκαρίσματος του σύρματος και το σύστημα σύσφιξης του σύρματος. Η κεφαλή με τέσσερις βίδες M3 στηρίζεται πάνω στο τετράγωνο πλαίσιο στήριξης και κίνησης. Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί πως το σύστημα σύσφιξης του σύρματος ακολουθεί τη λογική των ραπτομηχανών. Καθώς το μηχάνημα που κατασκευάσαμε έχει κοινά σημεία αναφοράς με τις διάφορες ραπτομηχανές, επιλέξαμε να εντυφήσουμε στη λογική σύσφιξης που αυτές χρησιμοποιούν και πάνω σε αυτό να δημιουργήσουμε το δικό μας σύστημα. Έτσι μετά από αρκετές ώρες αναζήτησης και έπειτα πειραμάτων, φτάσαμε να υλοποιήσουμε το σύστημα που εικονίζεται στο σχήμα 3.8.



Σχήμα 3.3 Βάση κίνησης της κεφαλής

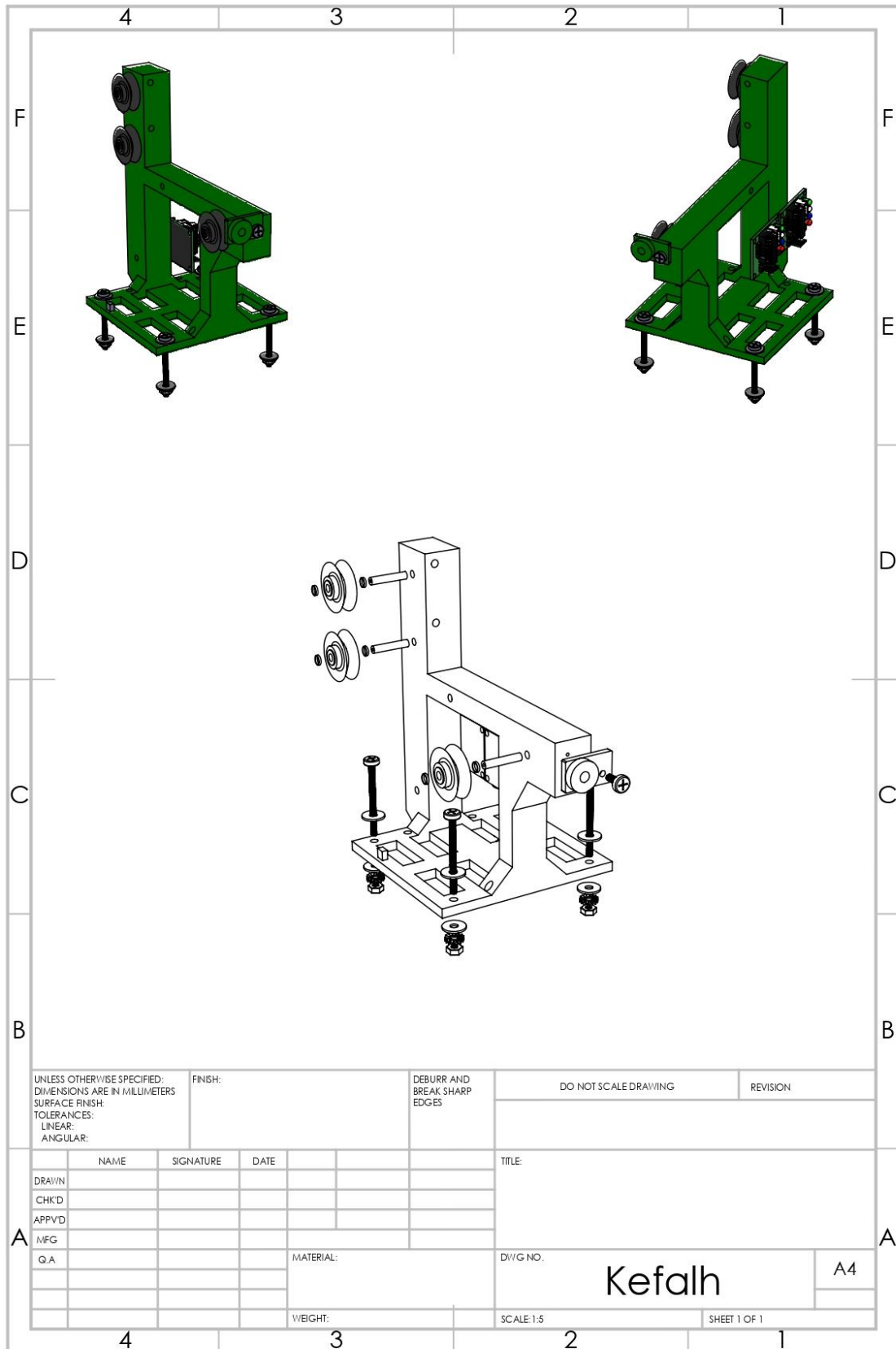


Σχήμα 3.4 Γωνίες στήριξης βάσης κίνησης της κεφαλής. Και οι δυο βάσεις έχουν τις ίδιες διαστάσεις με μόνη διαφορά την αριστερή βάση που έχει επιπλέον τέσσερις τρύπες για τη στήριξη του κινητήρα

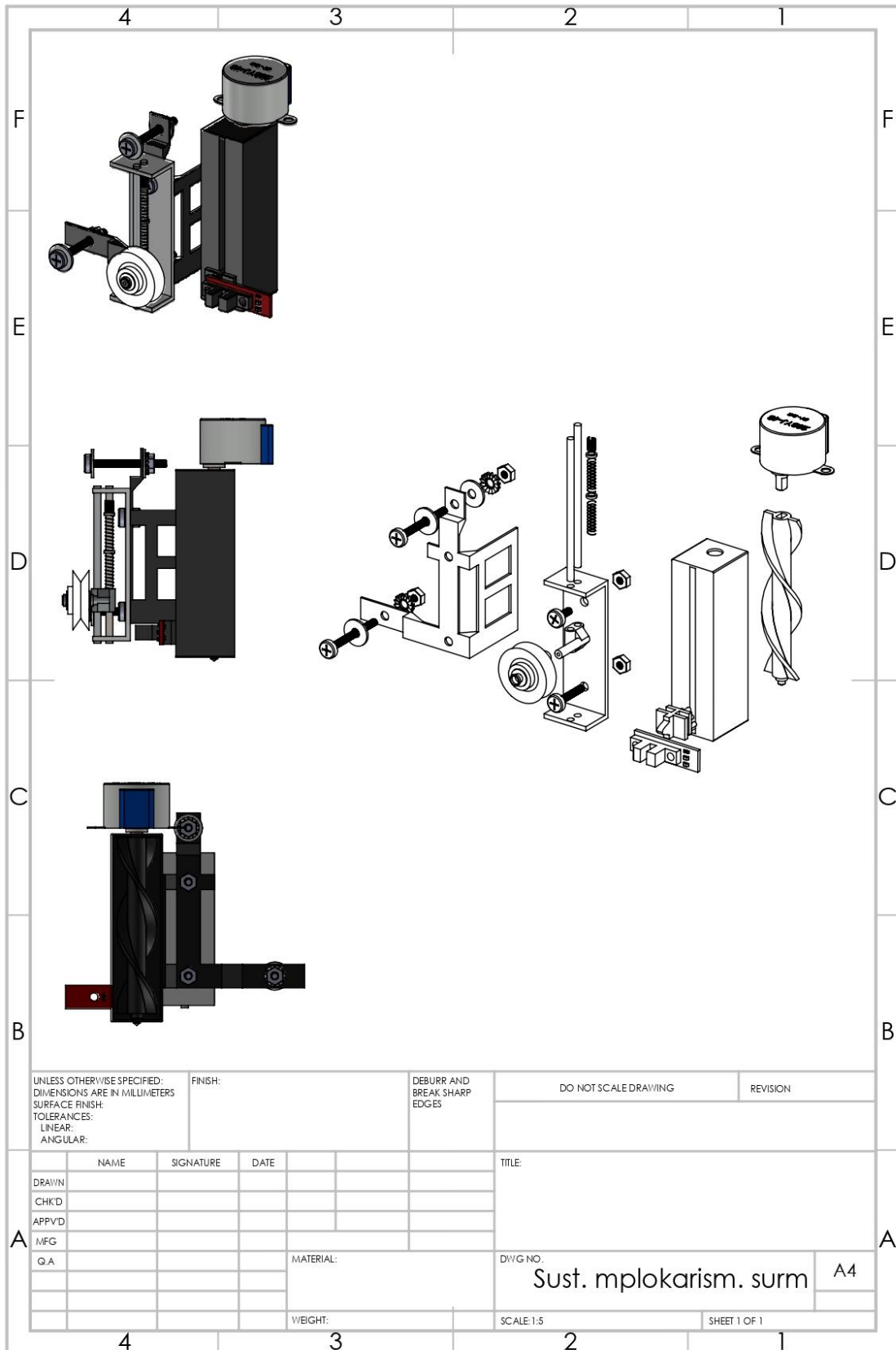


Σχήμα 3.5 Τετράγωνο πλαίσιο στήριξης και κίνησης της κεφαλής

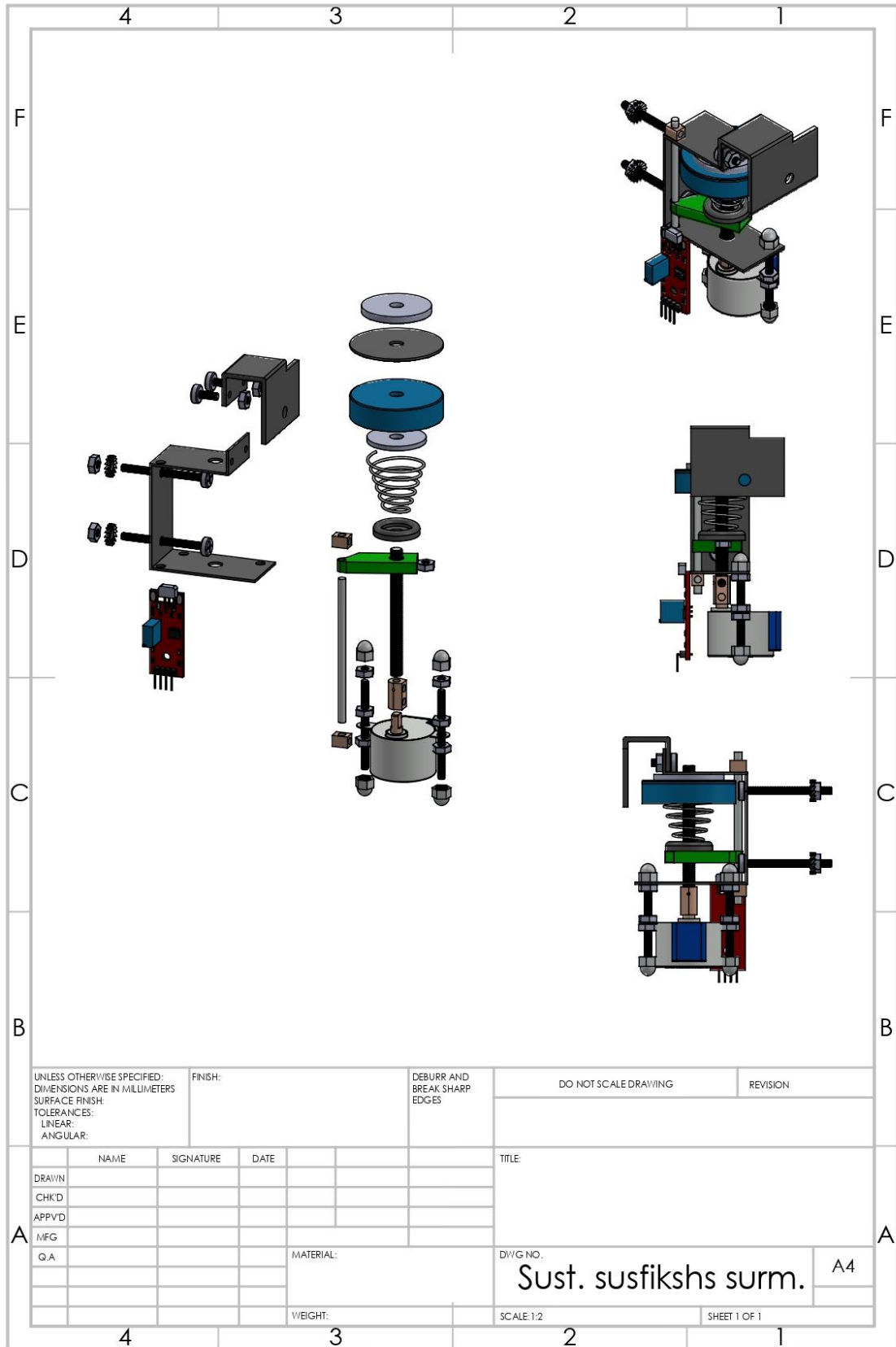
Κεφάλαιο 3



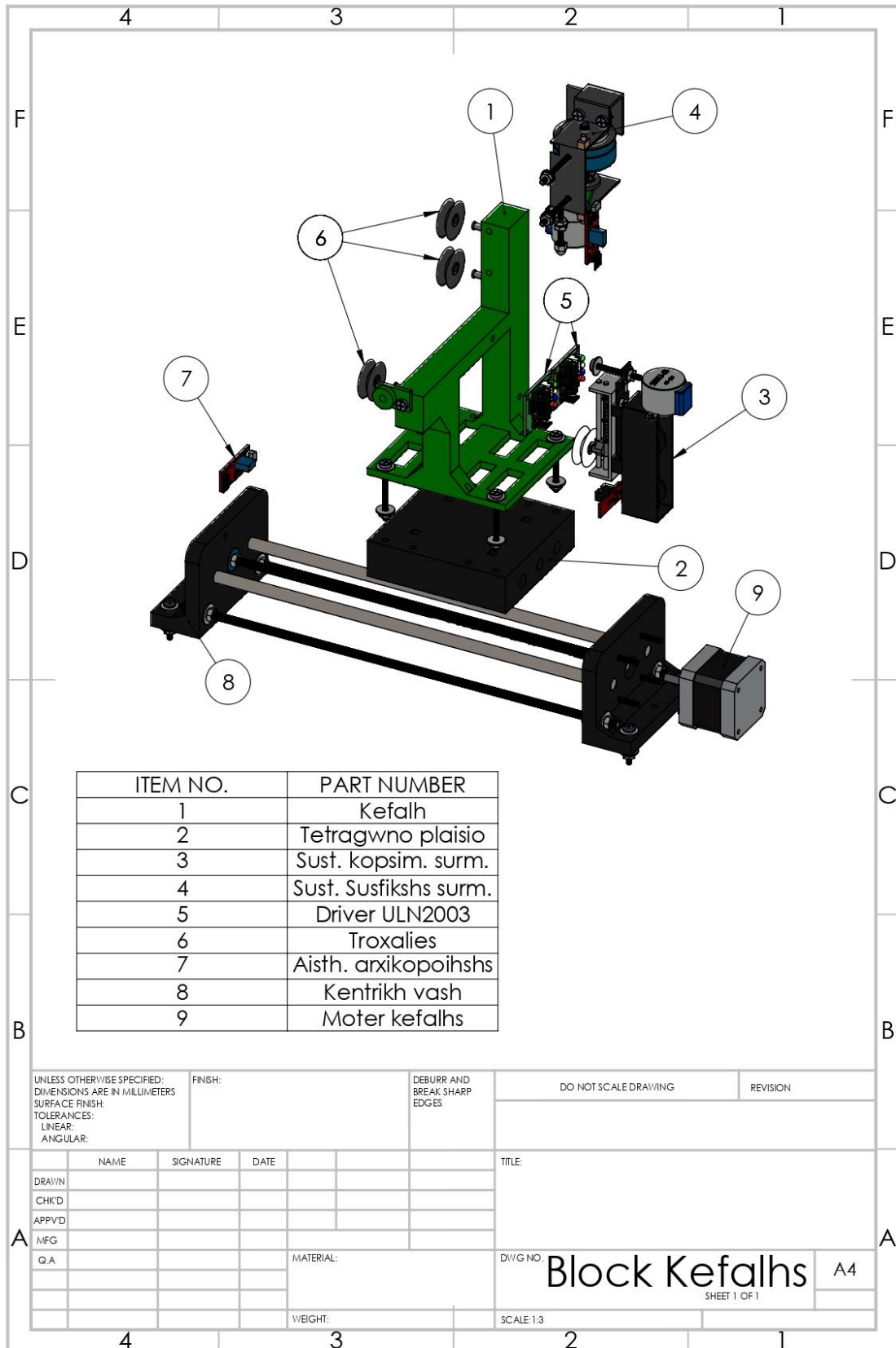
Σχήμα 3.6 Η κεφαλή με το σύστημα τροχαλιών



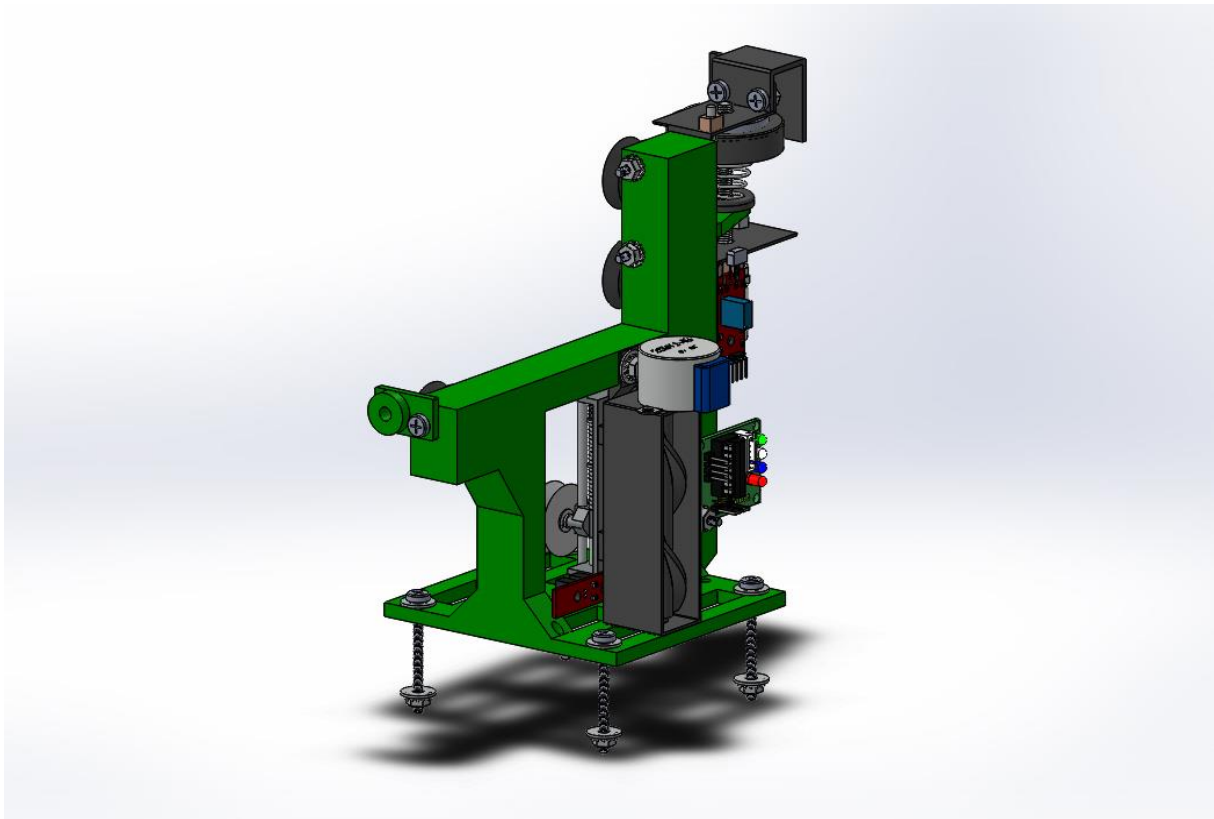
Σχήμα 3.7 Σύστημα μπλοκαρίσματος του σύρματος



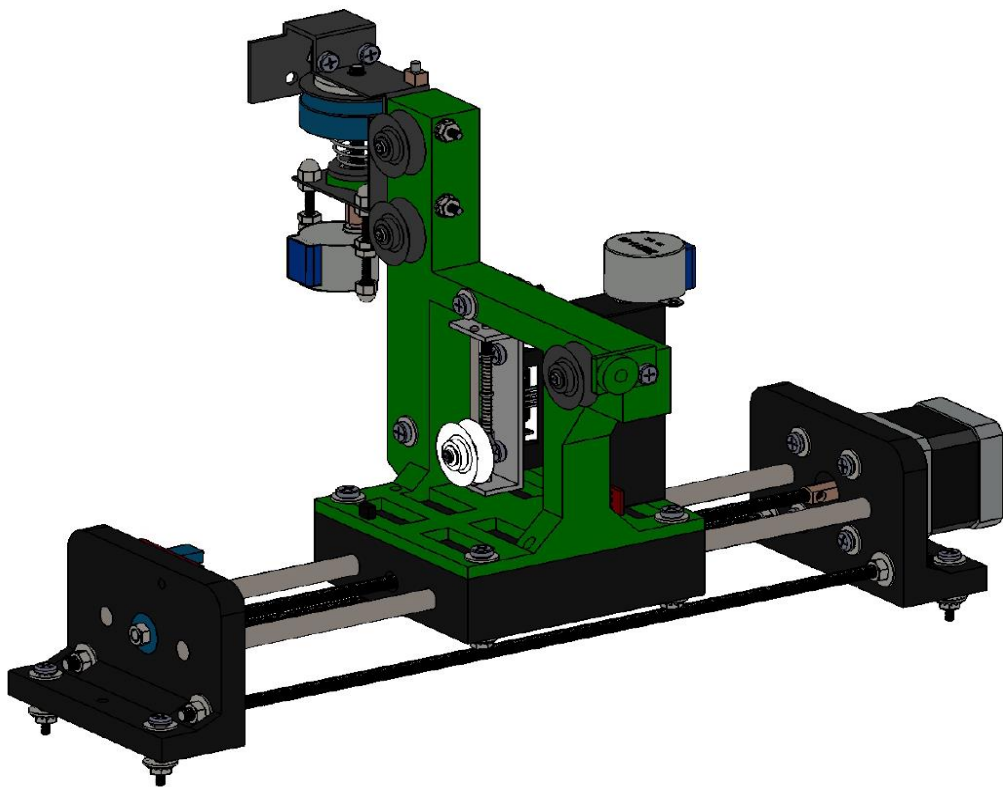
Σχήμα 3.8 Σύστημα σύσφιξης του σύρματος



Σχήμα 3.9 Το μπλοκ της κεφαλής με τα επιμέρους τμήματα



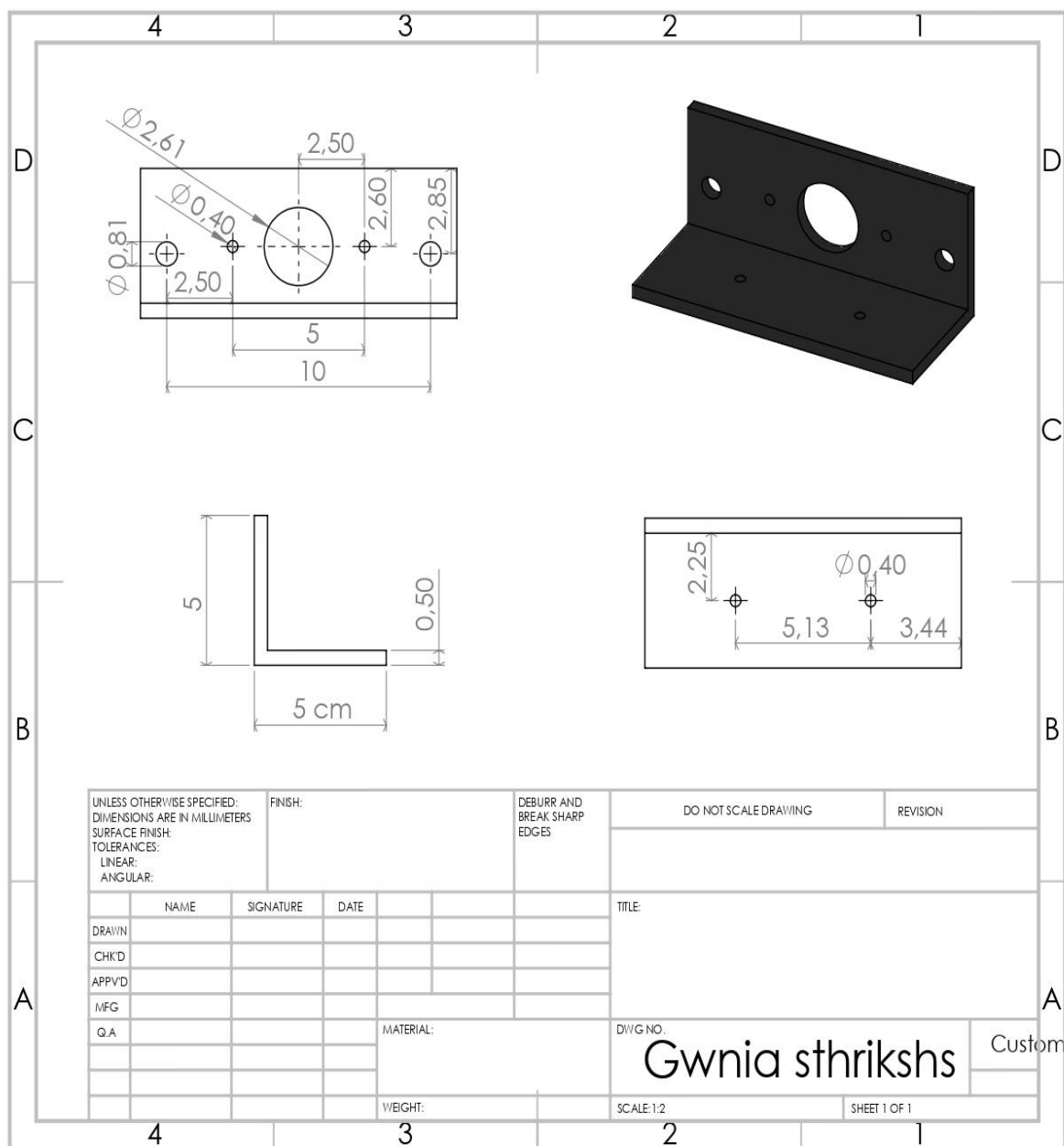
Σχήμα 3.10 Συναρμολογημένη κεφαλή



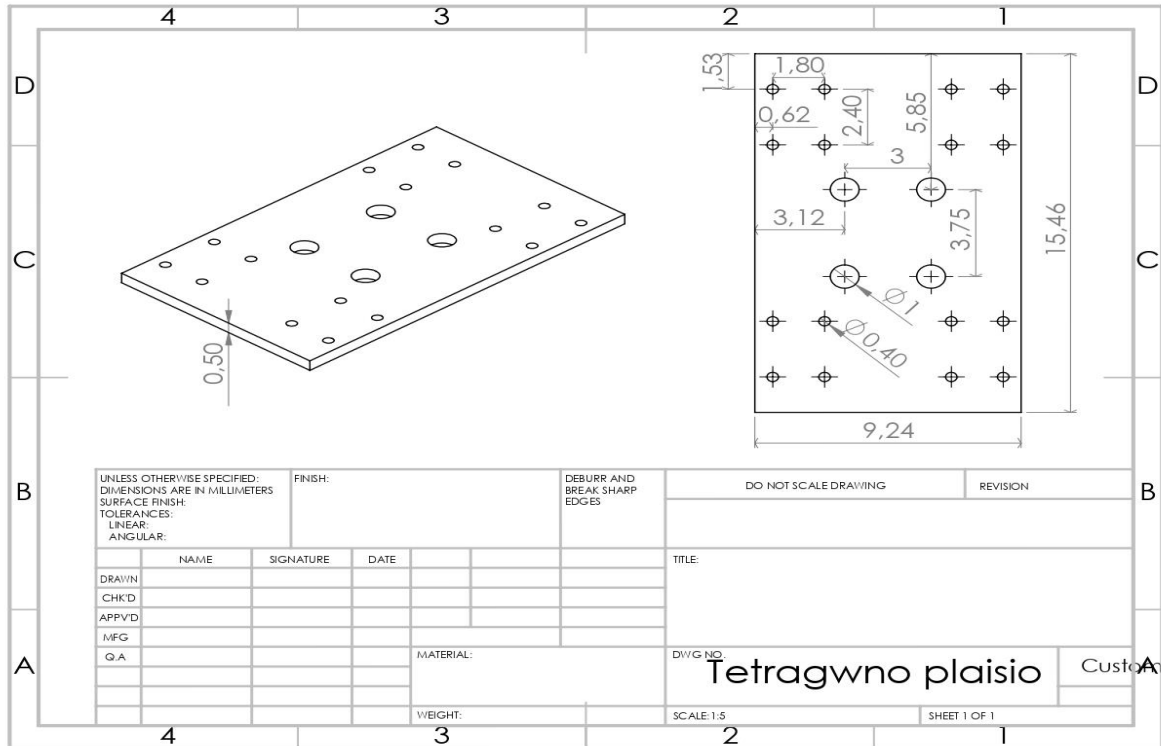
Σχήμα 3.11 Συναρμολογημένο το μπλοκ κεφαλής

3.2.4 Βοηθητικό σύστημα στήριξης της καρκάσας-καρουλιού

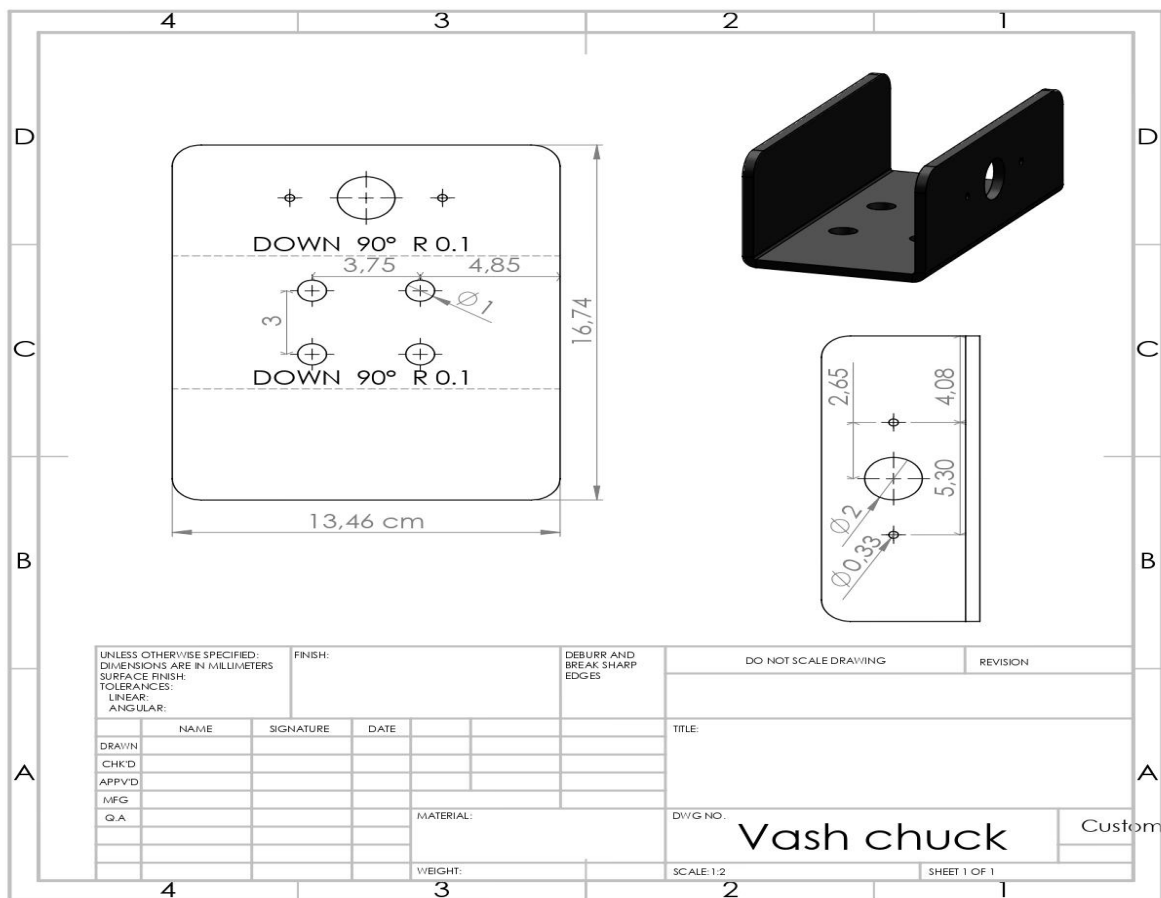
Το βοηθητικό σύστημα στήριξης αποτελείται από ένα τετράγωνο πλαίσιο με τέσσερα γραμμικά ρουλεμάν και τρία παξιμάδια. Το πλαίσιο αυτό κινείται πάνω σε δυο άξονες 8mm με τη βοήθεια ντίζας M10 και δύο ρουλεμάν για την καλύτερη κίνηση της ντίζας. Τα ρουλεμάν συγκρατούνται εμπρός-πίσω από πλαστικές φωλιές, οι οποίες τυπώθηκαν στον 3D εκτυπωτή. Η στήριξη των δυο αξόνων και των ρουλεμάν γίνονται στη μια πλευρά από το σασί και στην άλλη από μια γωνία 4mm. Ακόμα, πάνω στο πλαίσιο είναι τοποθετημένη μια βάση που φέρει το κουζινέτο και το τσοκ. Η στήριξη αυτής της βάσης γίνεται με 4 βίδες M10. Το σύστημα της στήριξης χρησιμοποιείται επίσης και για την ευθυγράμμιση των δύο τσοκ. Η κίνηση του συστήματος γίνεται χειροκίνητα από ένα στρόγγυλο χερούλι.



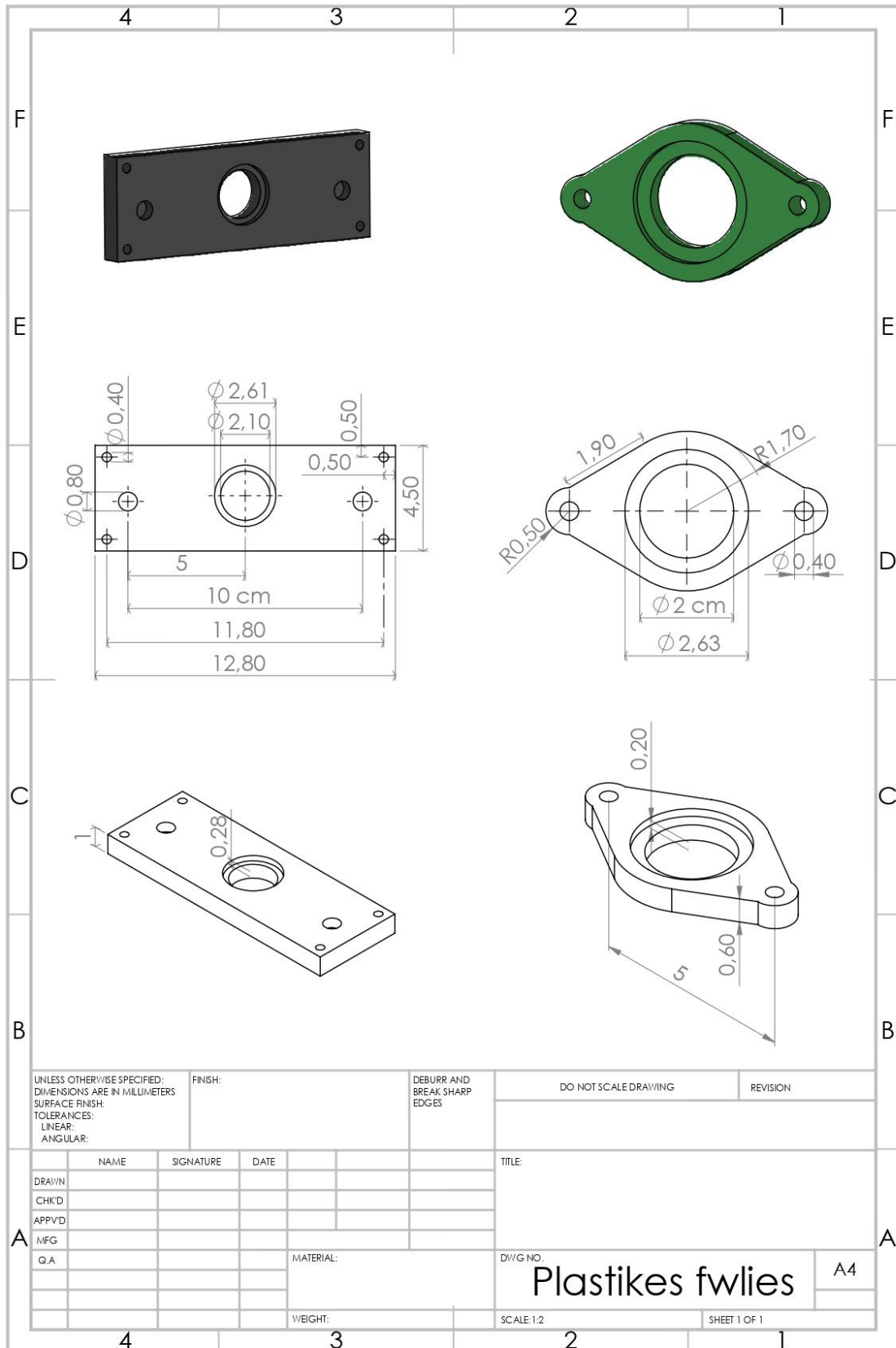
Σχήμα 3.12 Γωνία στήριξης βοηθητικού συστήματος στήριξης καρκάσας-καρουλιού



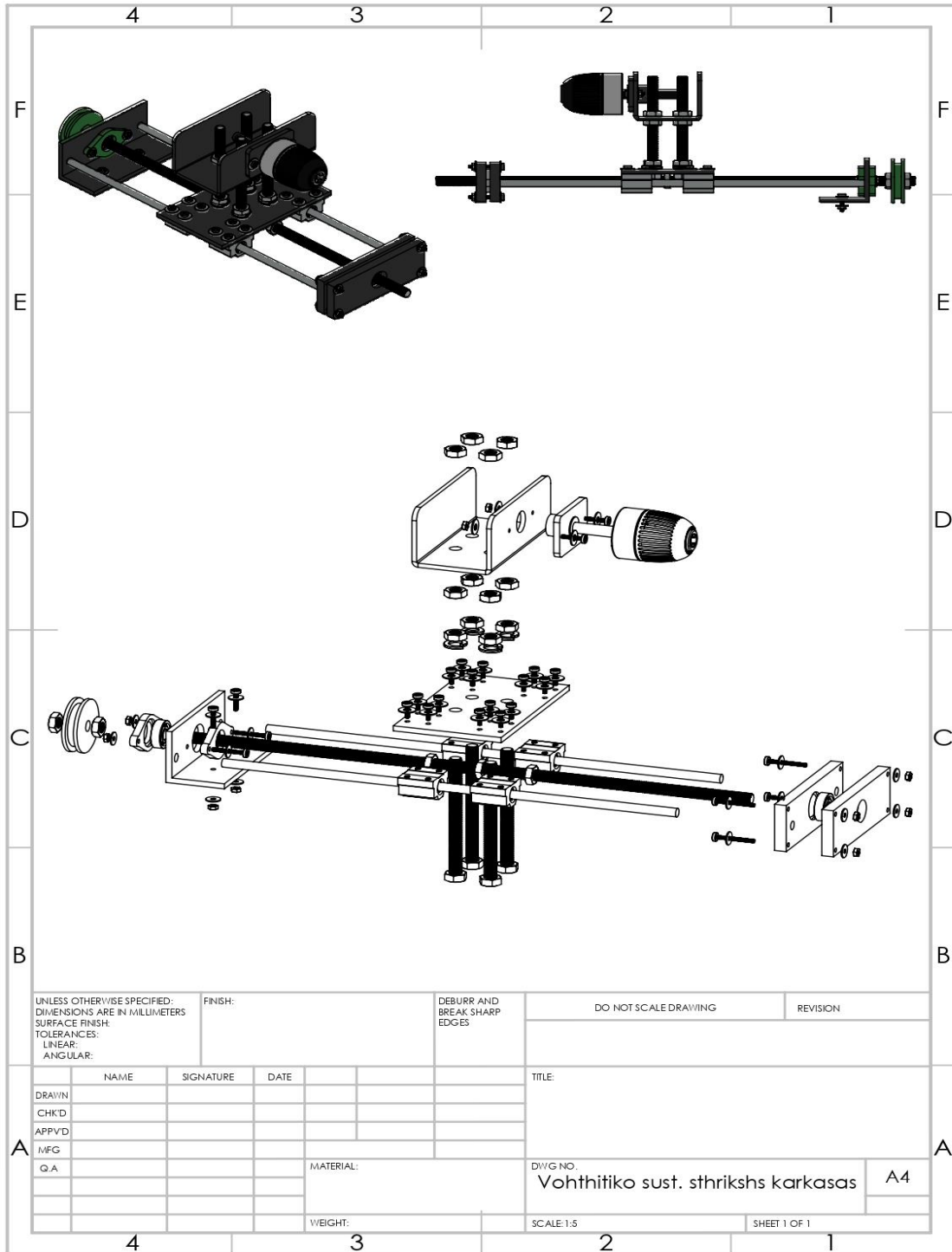
Σχήμα 3.13 Τετράγωνο πλαίσιο στήριξης βάσης βοηθητικού τσοκ



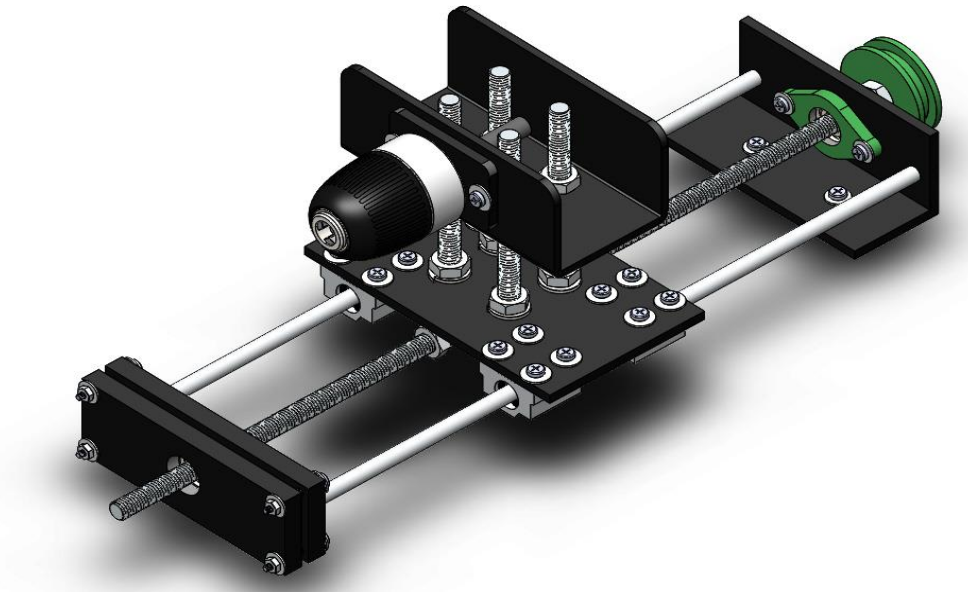
Σχήμα 3.14 Βάση βοηθητικού τσοκ



Σχήμα 3.15 Πλαστικές φωλιές συγκράτησης ρουλεμάν



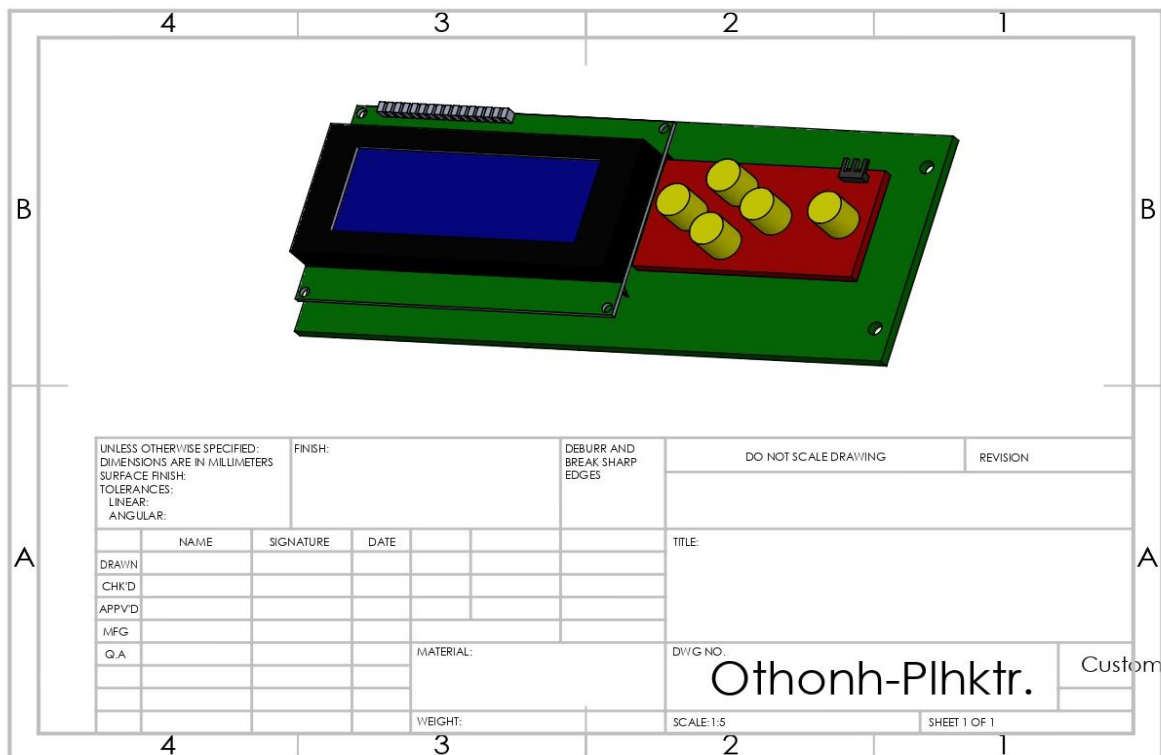
Σχήμα 3.16 Βοηθητικό σύστημα στήριξης καρκάσας-καρουλιού



Σχήμα 3.17 Συναρμολογημένο μπλοκ βοηθητικής στήριξης καρκάσας-καρουλιού

3.2.5 Οθόνη και πληκτρολόγιο

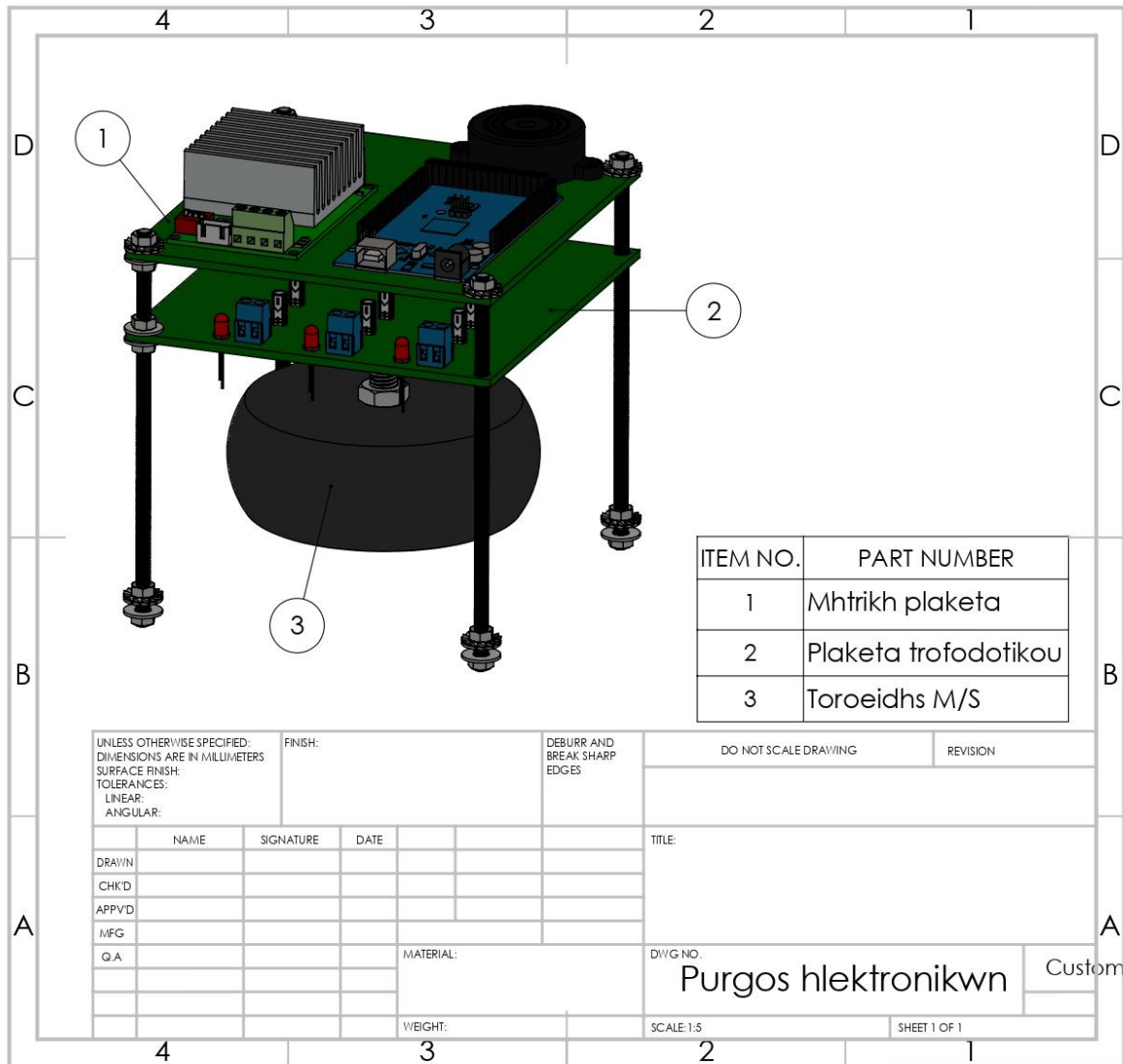
Η οθόνη και το πληκτρολόγιο στηρίζονται πάνω σε ένα κομμάτι βακελίτη που με τη σειρά του στηρίζεται πάνω στο σασί με δύο βίδες M3.



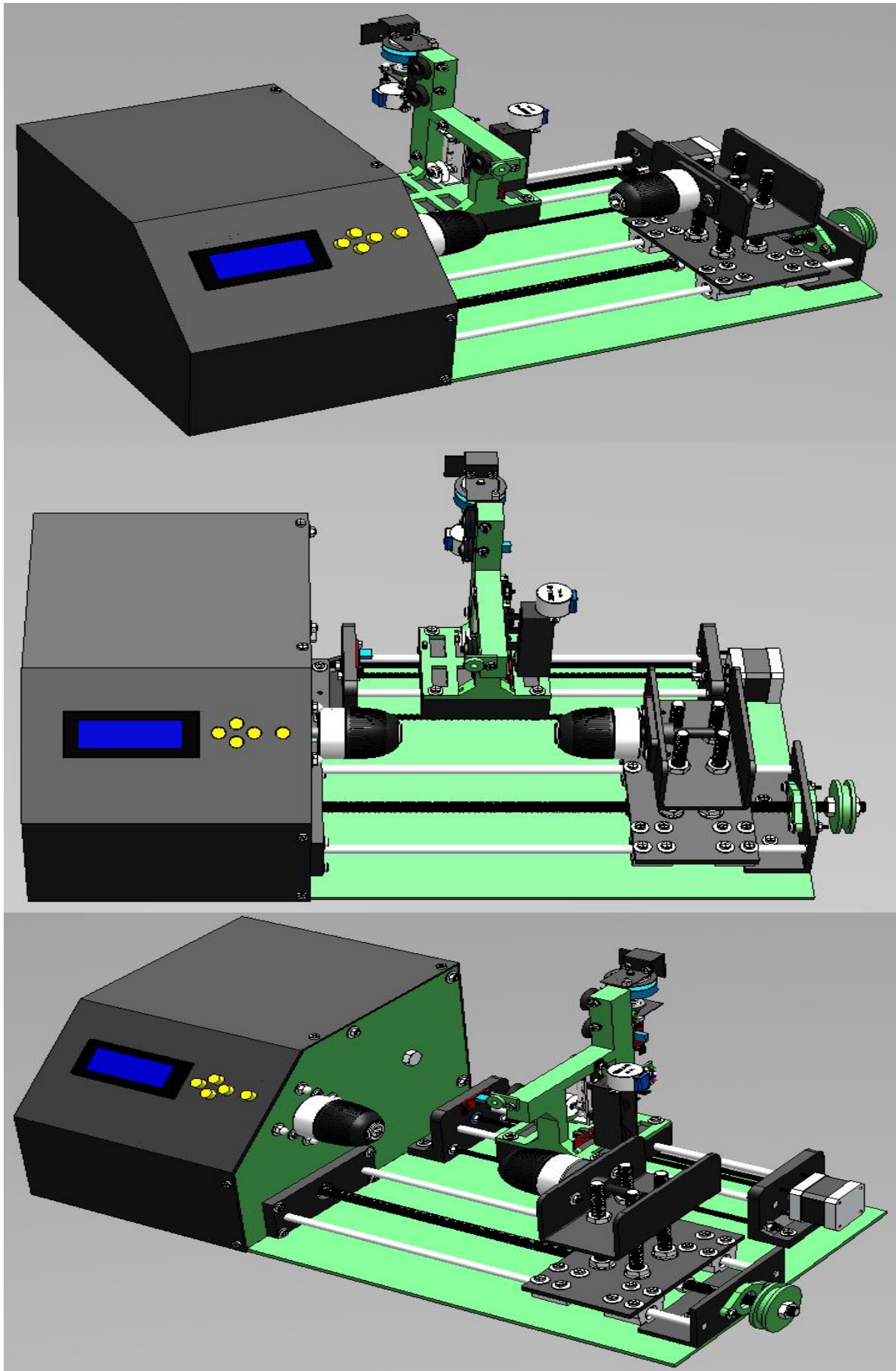
Σχήμα 3.18 Οθόνη και πληκτρολόγιο

3.2.6 Πύργος με τα ηλεκτρονικά μέρη

Ο πύργος απαρτίζεται από τα ηλεκτρονικά στοιχεία της κατασκευής και αποτελείται από τις δυο πλακέτες, τη μητρική και το τροφοδοτικό, καθώς και από τον τοροειδή μετασχηματιστή. Η στήριξη γίνεται πάνω στο σασί με τέσσερις ντίζες M5.



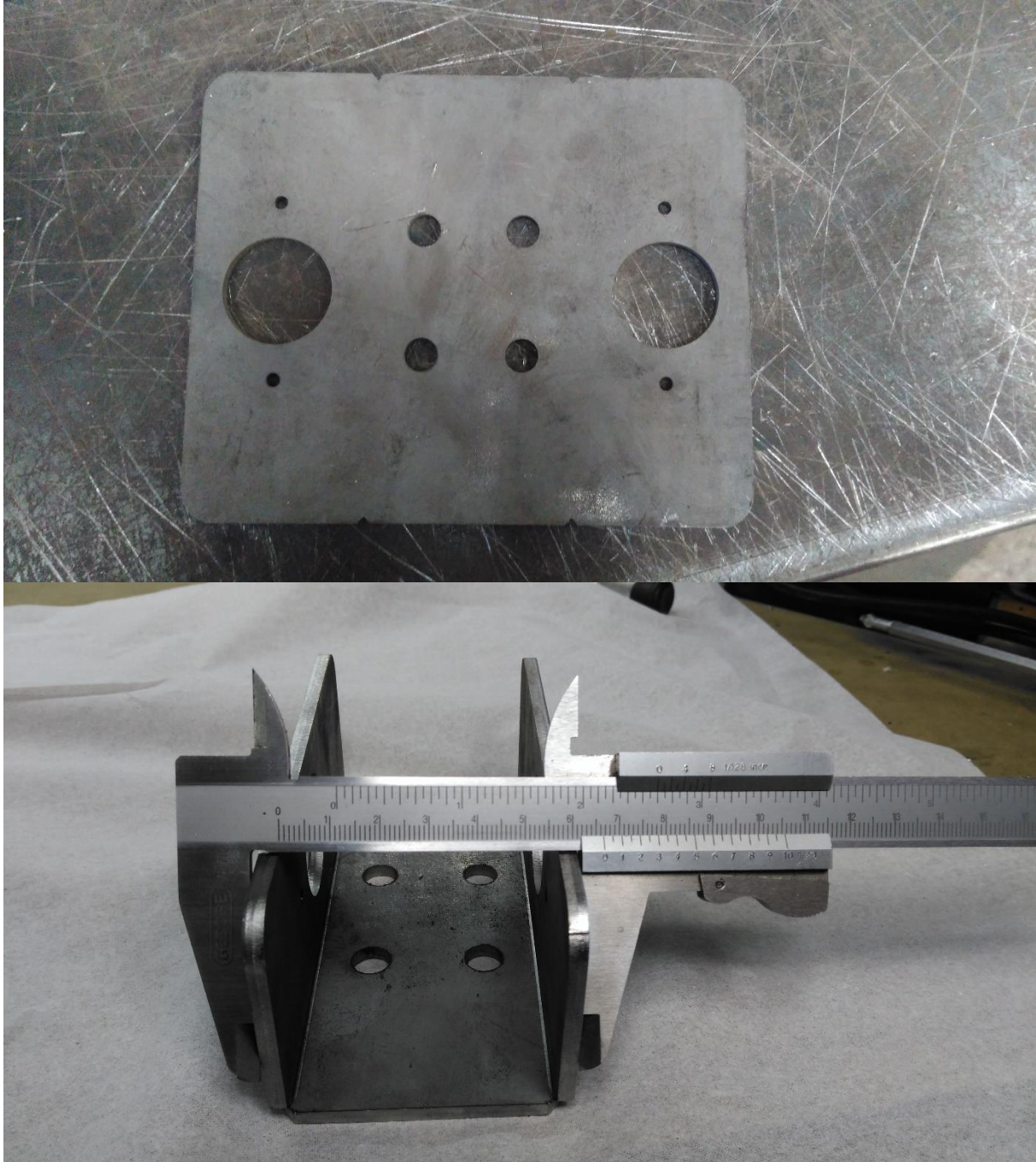
Σχήμα 3.19 Πύργος με τα ηλεκτρονικά μέρη



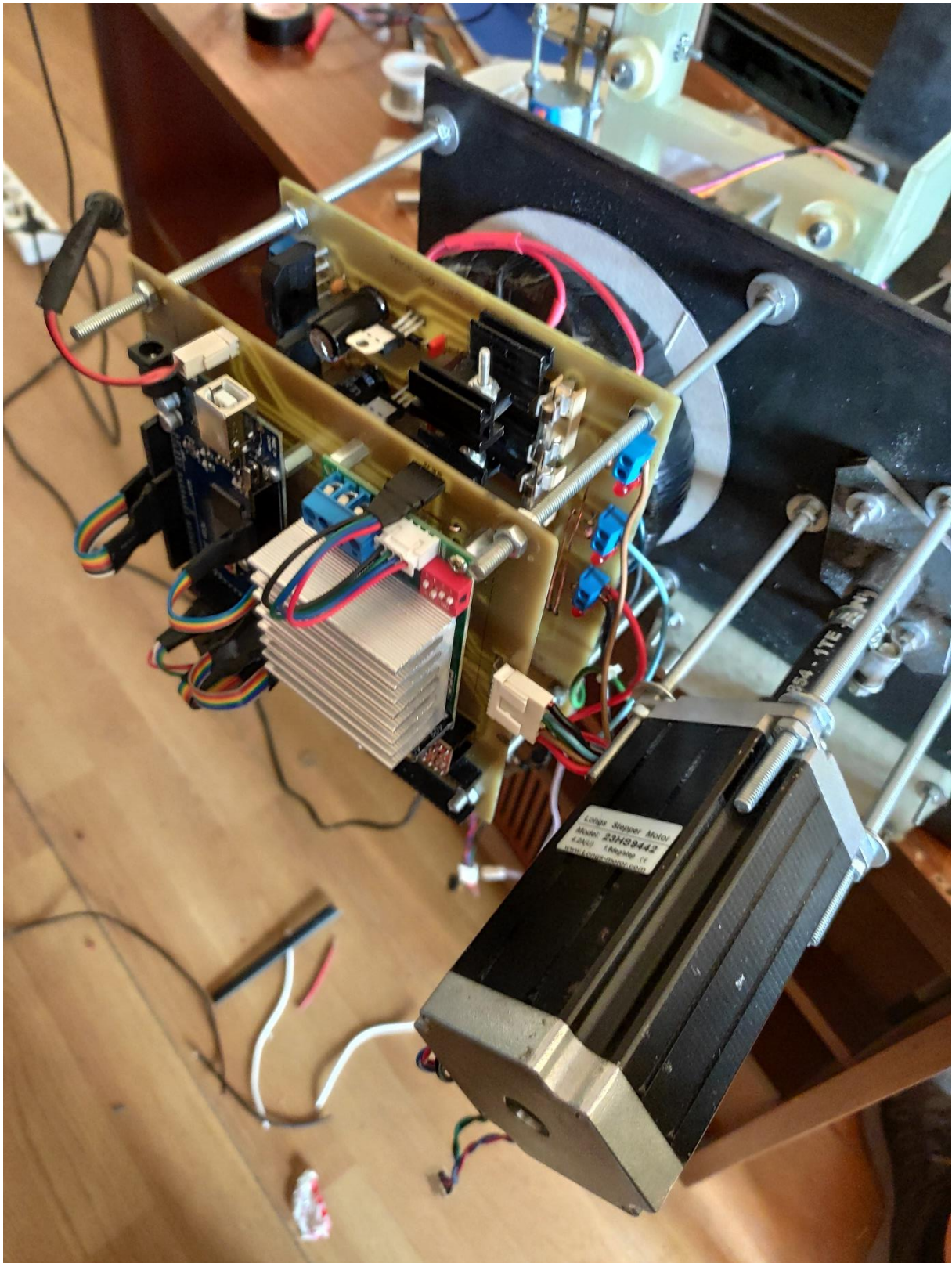
Σχήμα 3.20 Μηχανή περιέλιξης πηνίων και μετασχηματιστών

3.3 Φωτογραφίες της κατασκευής

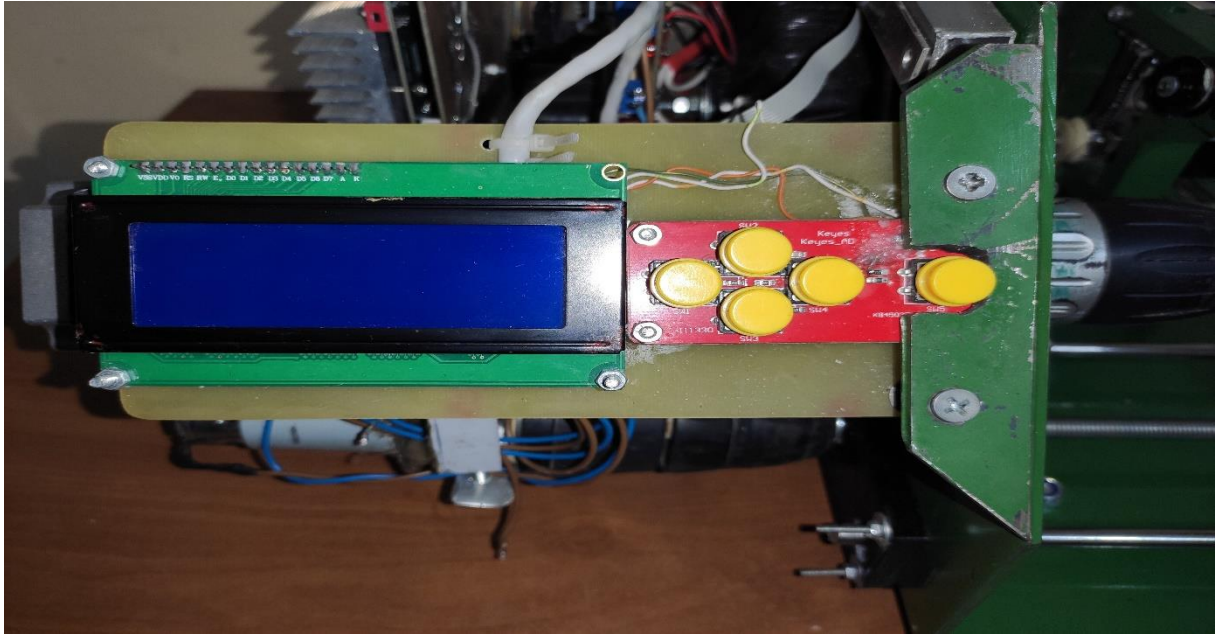
Σε συνέχεια των σχεδίων από το λογισμικό Solidworks, παρατίθενται φωτογραφίες από τα κύρια επιμέρους τμήματα της συσκευής περιέλιξης, καθώς και από την ολοκληρωμένη διάταξη.



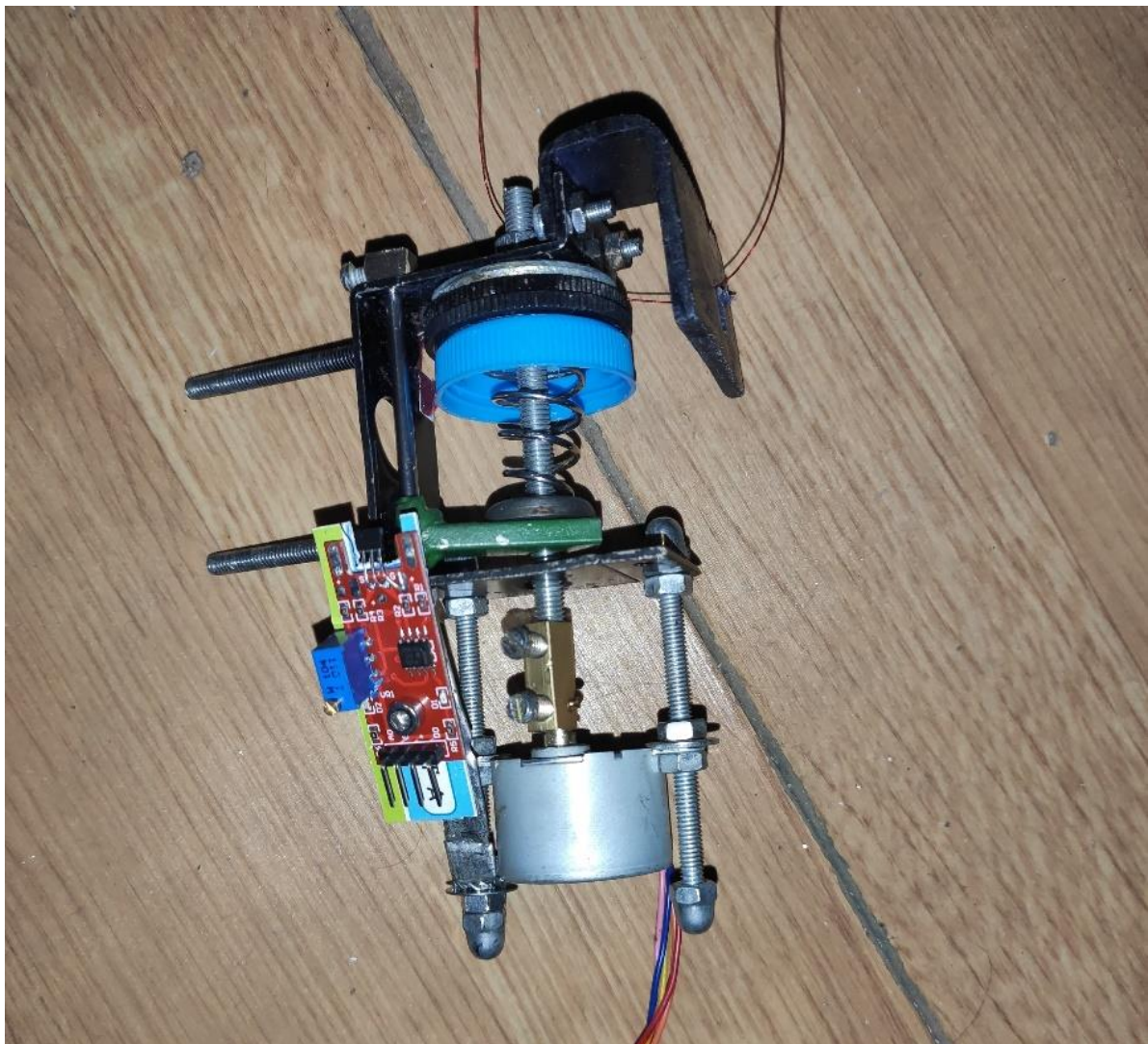
Σχήμα 3.21 Βάση βοηθητικού τσοκ. Στην πάνω φωτογραφία εικονίζεται το τετράγωνο πλαίσιο μετά την κοπή από το CNC μηχάνημα ενώ στην κάτω φωτογραφία το έτοιμο τμήμα έπειτα και από το στραντζάρισμα



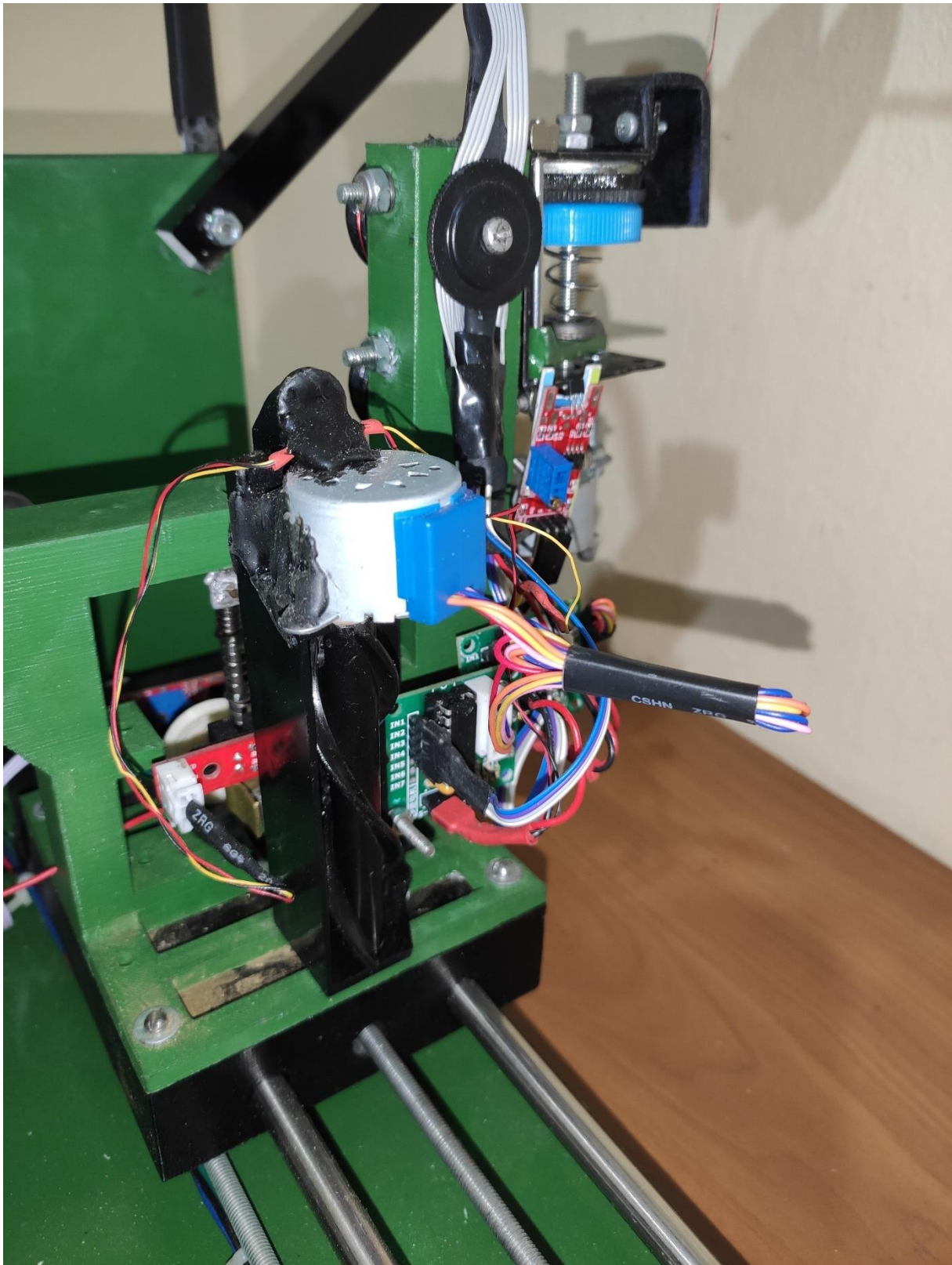
Σχήμα 3.22 Από αριστερά εικονίζεται ο πύργος με τα ηλεκτρονικά μέρη και τον Μ/Σ ενώ δεξιά ο κύριος κινητήρας με το λάστιχο υψηλής πίεσεως και το κουζινέτο, βιδωμένα στο σασί



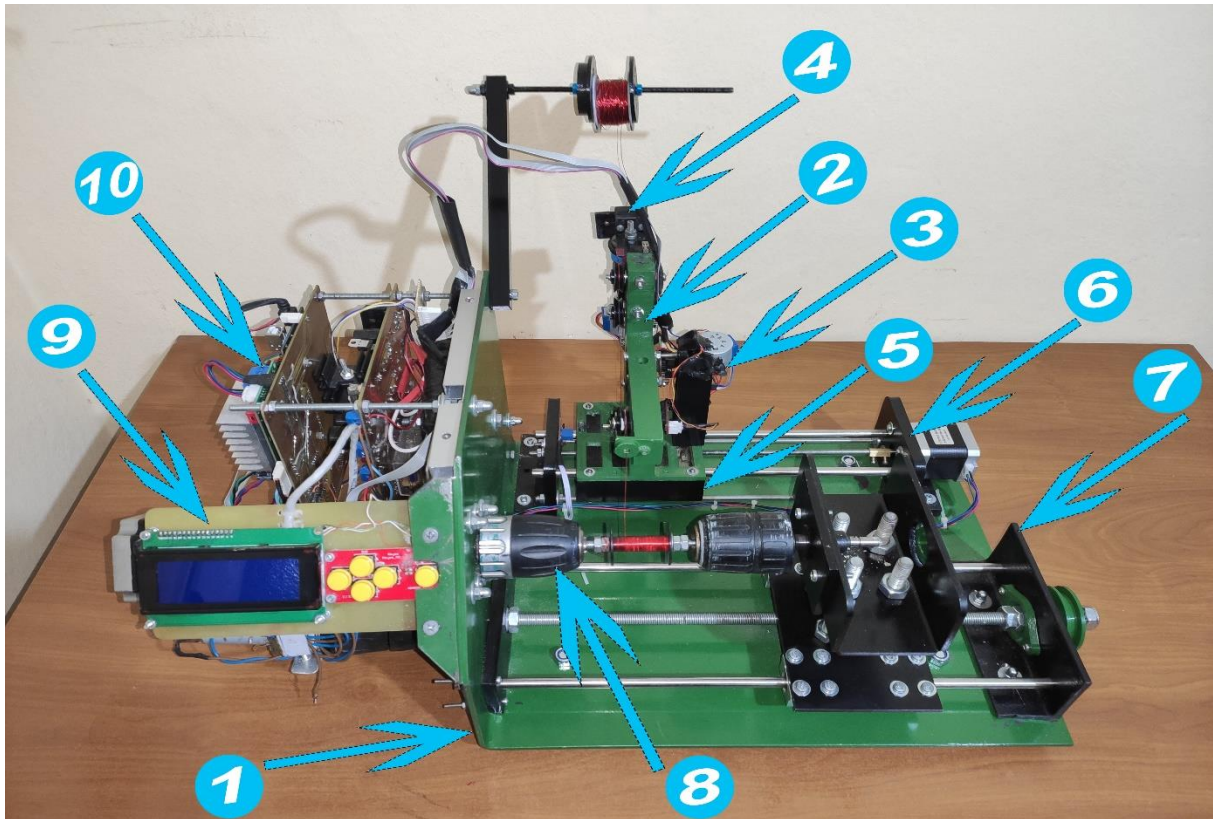
Σχήμα 3.23 Η οθόνη και πληκτρολόγιο τοποθετημένα στο σασί



Σχήμα 3.24 Σύστημα σύσφιξης του σύρματος

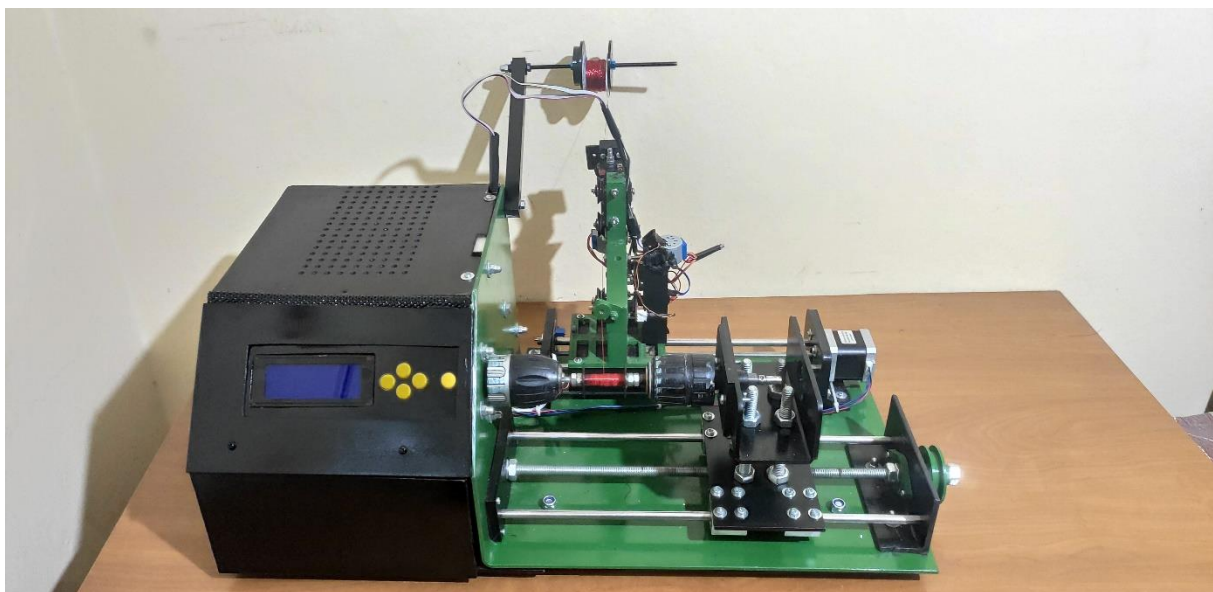


Σχήμα 3.25 Στο πίσω μέρος διακρίνεται το σύστημα σύσφιξης του σύρματος τοποθετημένο στην κεφαλή ενώ στο μπροστινό μέρος διακρίνεται το σύστημα μπλοκαρίσματος του σύρματος



Σχήμα 3.26 Η κατασκευή ολοκληρωμένη

- 1) Σασί.
- 2) Κεφαλή.
- 3) Σύστημα μπλοκαρίσματος του σύρματος.
- 4) Σύστημα σύσφιξης του σύρματος.
- 5) Τετράγωνο πλαίσιο στήριξης και κίνησης της κεφαλής.
- 6) Μπλοκ κίνησης της κεφαλής.
- 7) Βοηθητικό σύστημα στήριξης καρκάσας-καρουλιού.
- 8) Τσοκ κεντρικού κινητήρα.
- 9) Οθόνη και πληκτρολόγιο.
- 10) Πύργος με τα ηλεκτρονικά μέρη του.



Σχήμα 3.27 Η μηχανή περιέλιξης πηνίων και μετασχηματιστών ολοκληρωμένη

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ

ΕΛΕΓΧΟΥ

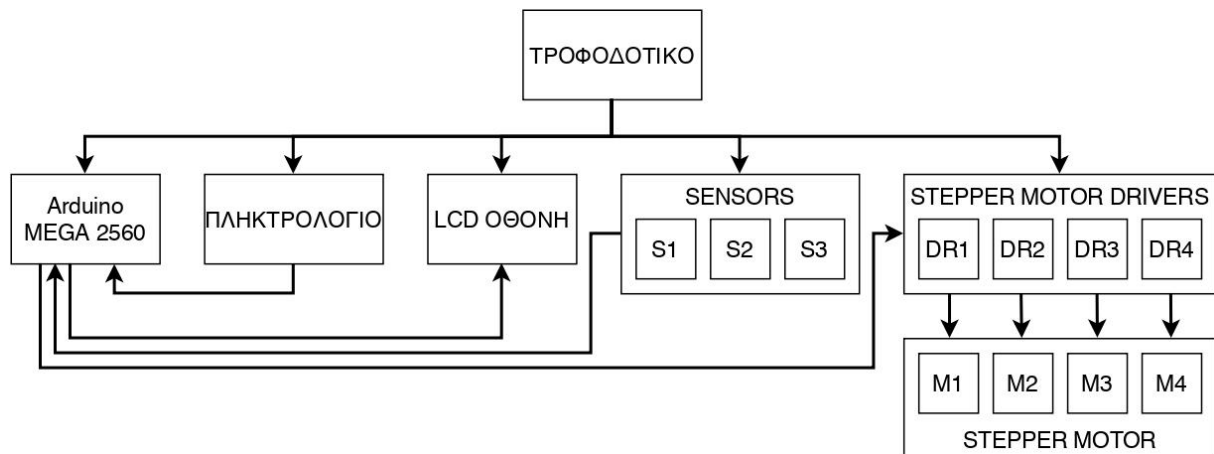
4.1 Γενική δομή της ηλεκτρονικής διάταξης

Η κατασκευή μας αναπτύχθηκε γύρω από τη μητρική πλακέτα ανοικτού κώδικα Arduino Mega. Καταλήξαμε στη συγκεκριμένη πλακέτα αφενός μεν γιατί μας παρείχε αρκετές εισόδους και εξόδους, πράγμα που την καθιστά εύχρηστη, καθώς μας δίνει την ευχέρεια να προσθέσουμε και άλλες δυνατότητες ως αναβάθμιση του μηχανήματος μας στο μέλλον, αφετέρου δε η φιλοσοφία του Arduino βασίζεται στον ανοιχτό κώδικα. Αυτό σημαίνει πληθώρα παραδειγμάτων από πολλούς χρήστες παγκοσμίως, που συνεπάγεται αδιαμφισβήτητη την καλύτερη αφομοίωση της λογικής του προγραμματισμού. Όλα αυτά λοιπόν έκαναν την επιλογή μας, γι' αυτό το μικροελεγκτή, πολύ εύκολη.

Η οθόνη που χρησιμοποιήσαμε είναι LCD 4x20 και επιλέχθηκε έτσι ώστε να έχει μεγάλη ευκρίνεια με αποτέλεσμα να καθιστά τη συσκευή πιο εύχρηστη. Το πληκτρολόγιο είναι Analog 5 Button Module και επιλέχθηκε επειδή η διάταξη με την οποία είναι τοποθετημένα τα κουμπιά πάνω σε αυτό ταίριαζε με αυτό που θέλαμε να κατασκευάσουμε. Για τις ηχητικές ειδοποιήσεις διαλέξαμε το Buzzer 95DB Alarm DC.

Ως κύριος κινητήρας της κατασκευής χρησιμοποιείται το Stepper Motor Nema23, επιλέχθηκε με γνώμονα τη μεγάλη ροπή στρέψης που παρέχει και τη στιβαρή κατασκευή του. Το driver που προτείνει ο κατασκευαστής για το συγκεκριμένο βηματικό κινητήρα είναι το TB6600 και για το λόγο αυτό το ενσωματώσαμε στην κατασκευή μας. Ο κινητήρας που κινεί την κεφαλή είναι το Stepper Motor Nema17 με driver το A4988. Το μεγάλο ρεύμα εξόδου σε συνδυασμό με το μικρό μέγεθος του, είναι τα δυο στοιχεία που μας έκαναν να το επιλέξουμε. Δυο ακόμη κινητήρες του τύπου 24BY48 με driver το ULN2003 χρησιμοποιούνται το ένα για να τη ρύθμιση του αισθητηρίου που ελέγχει το μπλοκάρισμα του σύρματος, και το άλλο στη ρύθμιση της σύσφιξης του σύρματος. Αυτός ο τύπος του κινητήρα επιλέχθηκε και για τις δυο περιπτώσεις, για το λόγο ότι συνδυάζει το μικρό μέγεθος, με την πολύ μεγάλη ροπή. Αυτή η ροπή οφείλεται στο σασμάν που βρίσκεται στο εσωτερικό του. Τα αισθητήρια που χρησιμοποιήσαμε είναι μαγνητικοί και οπτικοί διακόπτες. Επιλέξαμε τους συγκεκριμένους τύπους διακοπών για να αποφύγουμε μηχανικές καταπονήσεις και φθορές σε βάθος χρόνου, κάτι που εμφανίζουν οι μηχανικοί διακόπτες. Πρέπει να επισημάνουμε πως όλοι οι κινητήρες προτιμήθηκαν να είναι βηματικοί και όχι DC, ώστε να έχουμε προγραμματιστικά τον πλήρη έλεγχό τους.

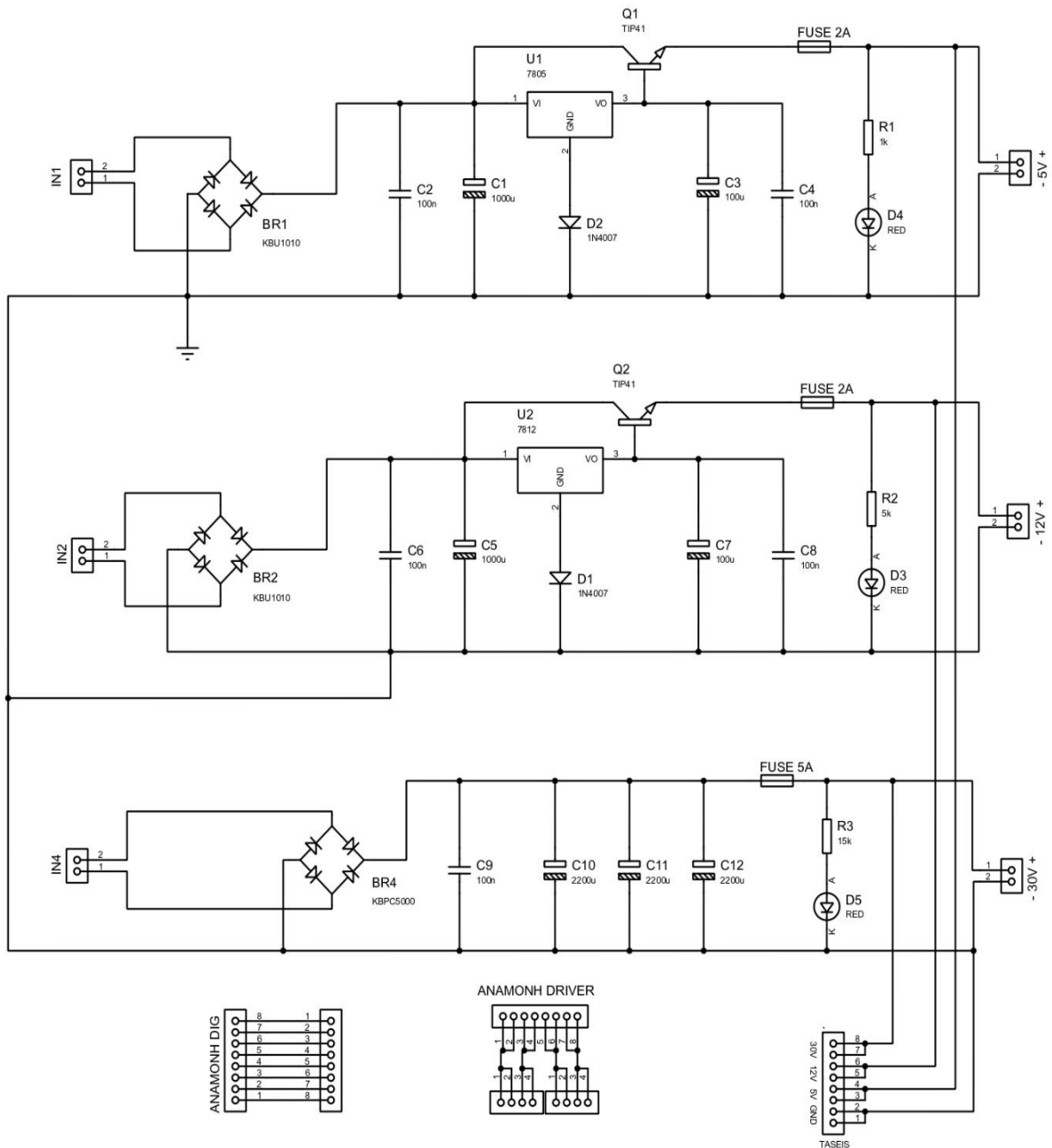
Όλα τα παραπάνω ηλεκτρονικά στοιχεία λαμβάνουν τάσεις από μια τροφοδοτική διάταξη, με κύριο στοιχείο τον τοροειδή μετασχηματιστή, ο οποίος παρέχει 3 εναλλασσόμενες τάσεις. Οι τάσεις αυτές μετά από ανόρθωση εξομάλυνση και σε κάποιες περιπτώσεις σταθεροποίηση, καταλήγουν να τροφοδοτούν τις επιμέρους διατάξεις της συσκευής.



Σχήμα 4.1 Λειτουργικό διάγραμμα

Το μπλοκ διάγραμμα παραπάνω μας δείχνει συνοπτικά τις επιμέρους ηλεκτρονικές διατάξεις και πως αυτές συνδέονται μεταξύ τους. Η φορά που έχουν τα βέλη, δηλώνει αν τα δεδομένα εισέρχονται ή εξέρχονται του επεξεργαστή. Το τροφοδοτικό παρέχει συνεχή τάση στον επεξεργαστή, την οθόνη, το πληκτρολόγιο, τους αισθητήρες καθώς και τα drivers. Το πληκτρολόγιο και οι αισθητήρες στέλνουν δεδομένα στον επεξεργαστή. Ο επεξεργαστής εφόσον επεξεργαστεί τα δεδομένα αυτά βάση του προγράμματος, στέλνει με τη σειρά του εντολές στην οθόνη και τα drivers των κινητήρων. Τα drivers αναλόγως τους παλμούς που δέχονται στις εισόδους τους κινούν αναλόγως τους κινητήρες.

4.2 Τροφοδοτική διάταξη



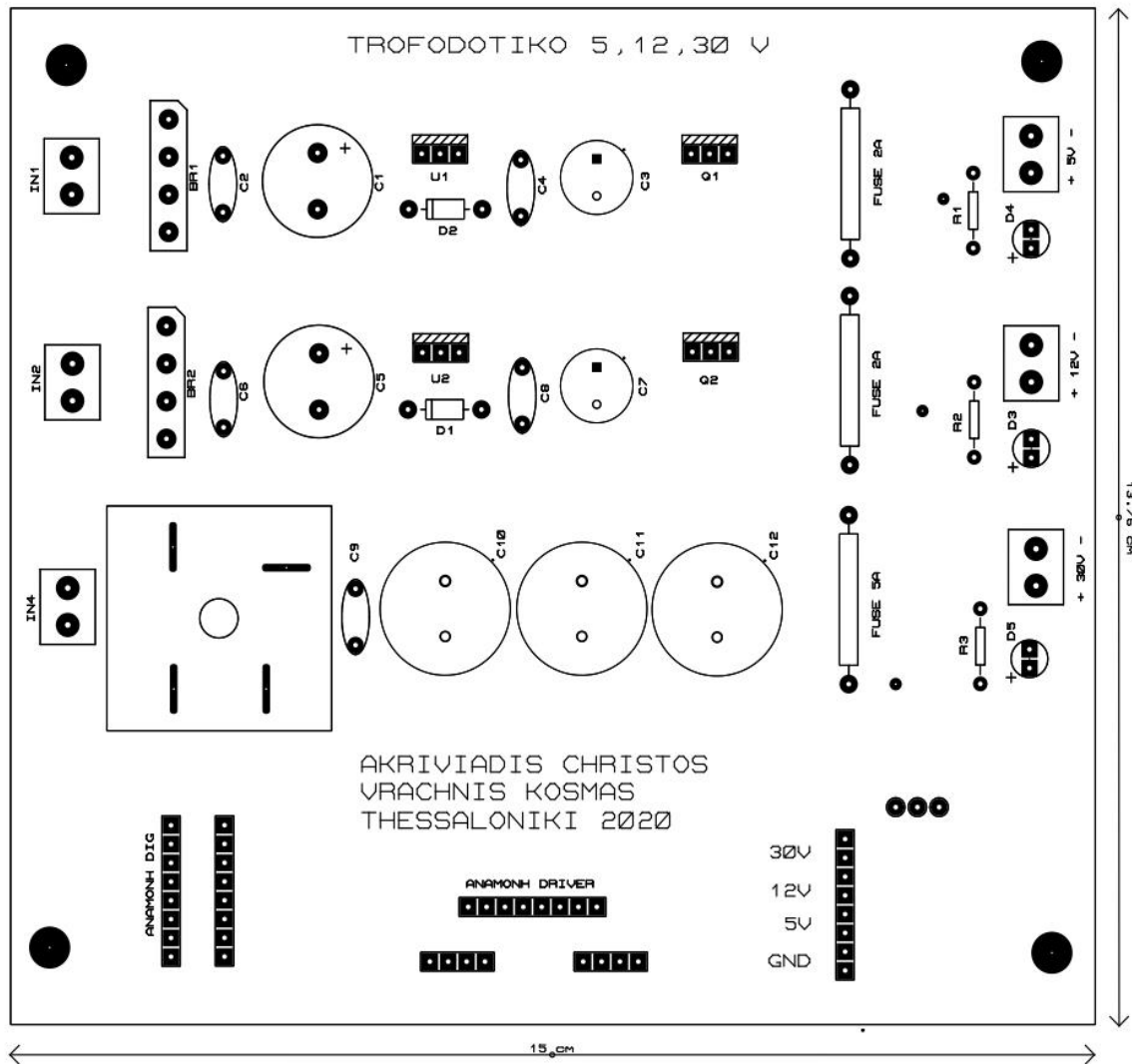
Σχήμα 4.2 Ηλεκτρονικό σχέδιο τροφοδοτικού

Το σχηματικό κύκλωμα του τροφοδοτικού αποτελείται από τρία επιμέρους κυκλώματα, τα οποία βρίσκονται στην ίδια πλακέτα και μοιράζονται την ίδια γείωση. Η τροφοδοσία των τριών γεφυρών προέρχεται από τον τοροειδή μετασχηματιστή. Το πρώτο και το δεύτερο κύκλωμα αποτελούνται από τα ίδια υλικά με μόνη διαφορά το σταθεροποιητή, καθώς το πρώτο κύκλωμα σταθεροποιεί στα 5V ενώ το δεύτερο στα 12V. Πιο αναλυτικά, πρώτα συναντάμε μια γέφυρα ανόρθωσης τάσης, στη συνέχεια είναι τοποθετημένοι δυο πυκνωτές, ο ηλεκτρολυτικός για την εξομάλυνση της τάσης και ο πολυεστερικός που χρησιμοποιείται ως φίλτρο για να οδηγήσει στη γείωση τυχόν spikes. Στη συνέχεια ακολουθεί ο σταθεροποιητής τάσης LM, το pin 2 του οποίου συνδέεται στη γείωση μέσω μιας διόδου, ώστε να μας προσφέρει στην έξοδο μια τάση μεγαλύτερη κατά 0,7V της τάσεως αναφοράς. Στο

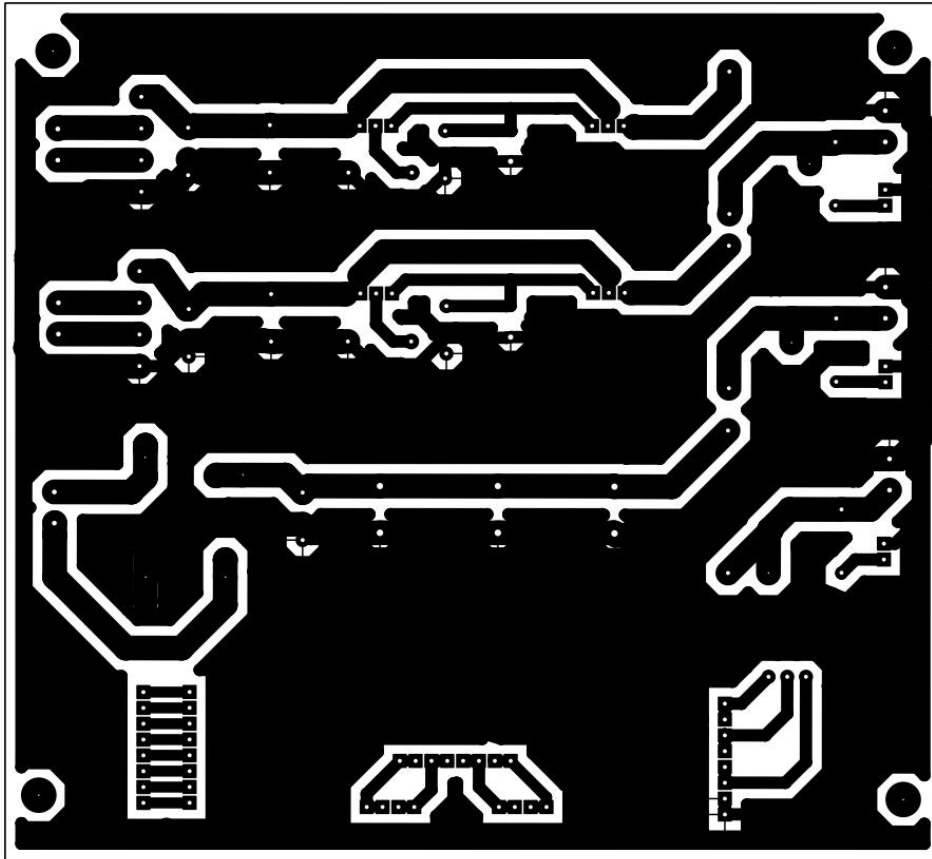
ολοκληρωμένο κύκλωμα παράλληλα με την έξοδο βρίσκονται δυο πυκνωτές για επιπρόσθετη εξομάλυνση και απόσβεση θορύβων. Από την έξοδο του LM οδηγείται ένα τρανζίστορ ισχύος για να παρέχει ενισχυμένο ρεύμα στην έξοδο. Από τον εκπομπού μέχρι την έξοδο του κυκλώματος παρεμβάλλεται μια ασφάλεια που σκοπό έχει να προστατεύσει το κύκλωμα από υψηλά ρεύματα και βραχυκυκλώματα. Παράλληλα με την έξοδο υπάρχει ένα led. Αυτό έχει τοποθετηθεί στην έξοδο για να μας δείχνει ότι το κύκλωμα βρίσκεται σε λειτουργία. Επίσης χρησιμοποιείται ως οπτικό μέσο, για να ελέγχουμε την ασφάλεια.

Το τρίτο κύκλωμα αποτελείται από μια γέφυρα ισχύος και από τέσσερις πυκνωτές. Ο κεραμικός τοποθετήθηκε για την απόσβεση θορύβων και οι ηλεκτρολυτικοί παράλληλα προσφέρουν μια πολύ καλή εξομάλυνση. Το ρεύμα εξόδου της συγκεκριμένης βαθμίδας είναι αρκετά μεγάλο και γι' αυτό το λόγο οι πυκνωτές εξομάλυνσης έχουν μεγάλη χωρητικότητα. Λόγω αυτής της χωρητικότητας, τροφοδοτούν επαρκώς το κύκλωμα και βοηθούν στην αποφυγή βυθίσεων τάσης. Για την προστασία του κυκλώματος και τον γρήγορο οπτικό έλεγχο της λειτουργίας του, είναι τοποθετημένα αντίστοιχα μια ασφάλεια και ένα led.

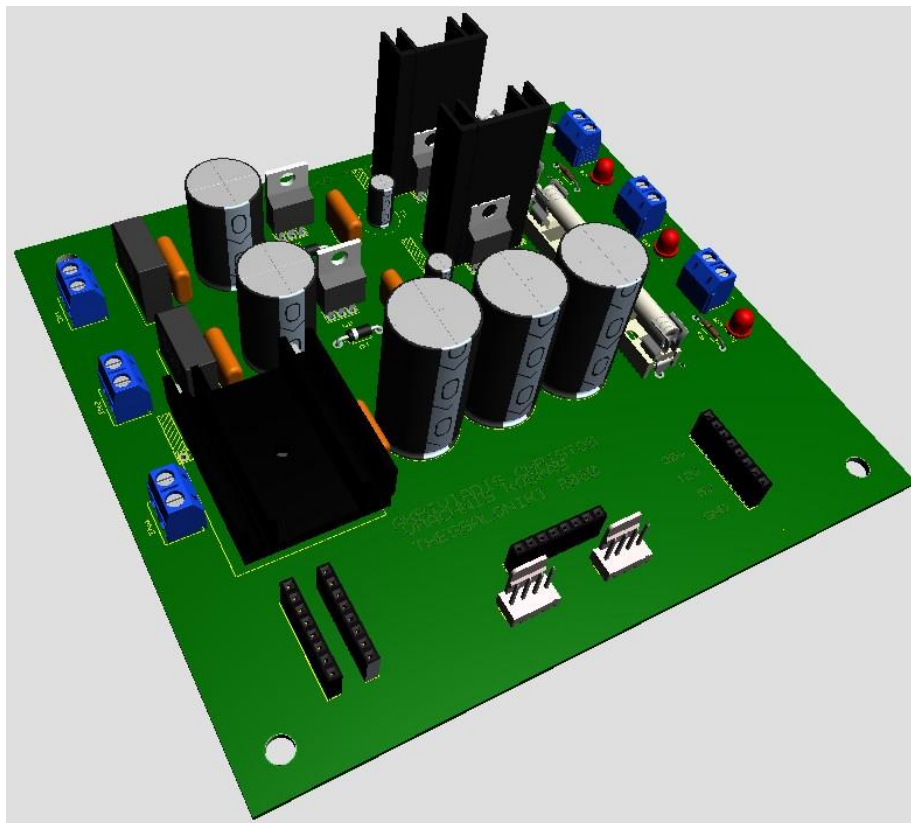
Τα σχήματα 4.3, 4.4 και 4.5 μας δείχνουν την πάνω όψη, την κάτω όψη, καθώς και την τριών διαστάσεων όψη της πλακέτας του τροφοδοτικού, που σχεδιάσαμε και κατασκευάσαμε. Η σχεδίαση και η απεικόνιση έγινε με το πρόγραμμα Proteus.



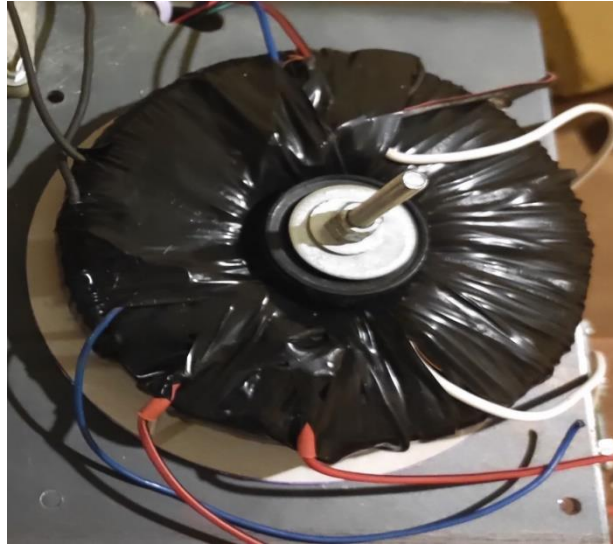
Σχήμα 4.3 Πάνω όψη πλακέτας τροφοδοτικού



Σχήμα 4.4 Κάτω όψη πλακέτας τροφοδοτικού



Σχήμα 4.5 3D όψη του τροφοδοτικού



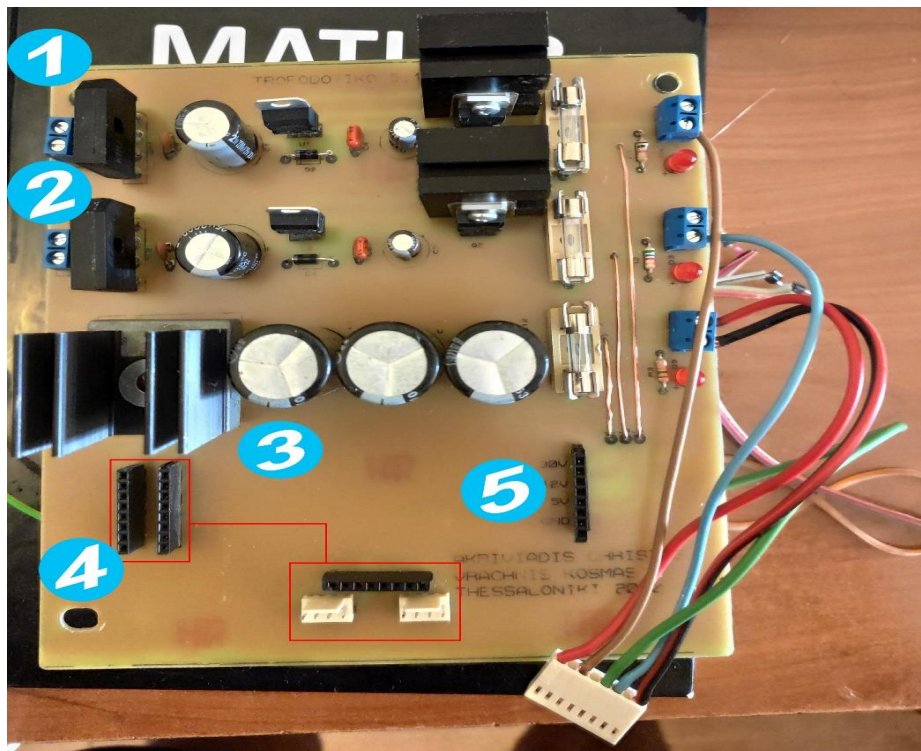
Σχήμα 4.6 Τοροειδής μετασχηματιστής

Στο σχήμα 4.6 διακρίνεται ο τοροειδής μετασχηματιστής με είσοδο 230V και εξόδους:

1. 10V με ρεύμα εξόδου 4A.
2. 15V με ρεύμα εξόδου 4A.
3. 20V με ρεύμα εξόδου 7A.

Στο σχήμα 4.7 διακρίνεται το τροφοδοτικό και η επεξήγηση των επιμέρους τμημάτων

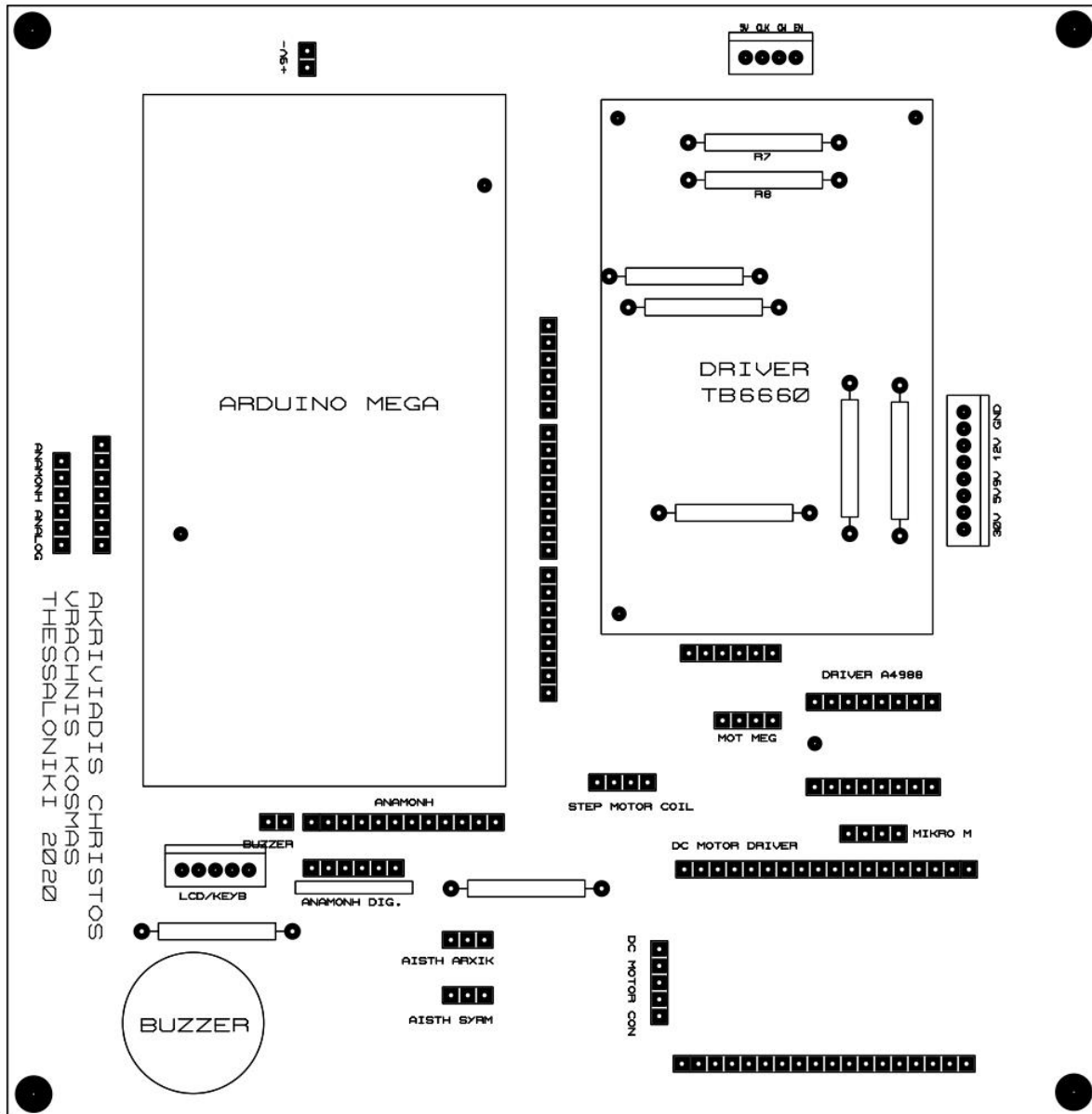
- 1) Κύκλωμα ανόρθωσης εξομάλυνσης και σταθεροποίησης τάσεως με έξοδο 5V και ρεύμα 2,5A.
- 2) Κύκλωμα ανόρθωσης εξομάλυνσης και σταθεροποίησης τάσεως με έξοδο 12V και ρεύμα 2,5A.
- 3) Κύκλωμα ανόρθωσης και εξομάλυνσης τάσεως με έξοδο 28V και ρεύμα 5A.
- 4) Υποδοχές για μελλοντική αναβάθμιση.
- 5) Έξοδοι 5V, 12V, 28V, GND.



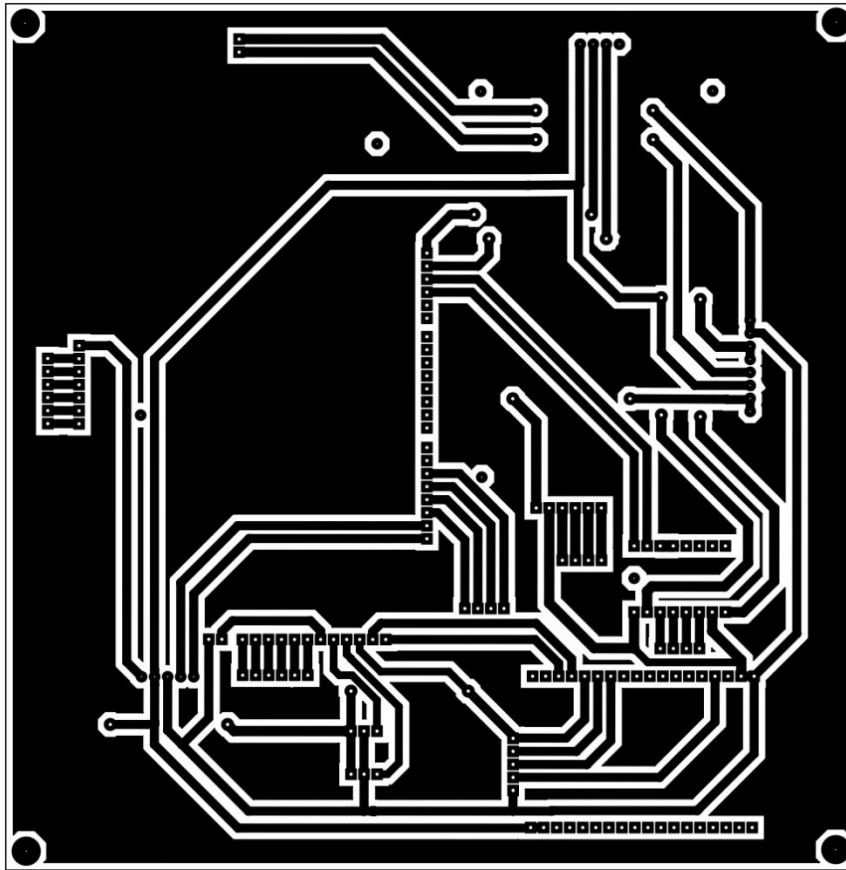
Σχήμα 4.7 Πάνω όψη πραγματικής πλακέτας τροφοδοτικού

4.3 Μητρική πλακέτα

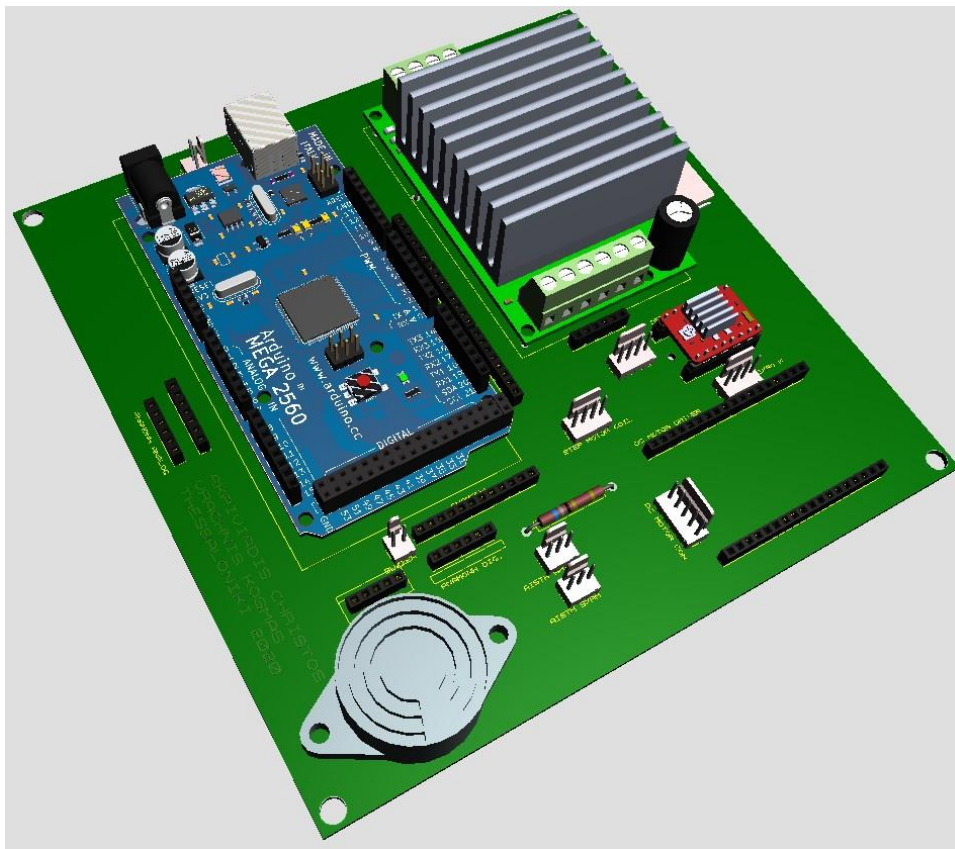
Τα σχήματα 4.8, 4.9 και 4.10 απεικονίζουν την πάνω όψη, την κάτω όψη και την 3D όψη της μητρικής πλακέτας που σχεδιάσαμε και κατασκευάσαμε. Η ιδέα ήταν μια μπλοκ διάταξη πάνω στην οποία θα ήταν τοποθετημένες όλες οι ηλεκτρονικές διατάξεις της κατασκευής, χωρίς αυτές να συνδέονται μεταξύ τους με καλώδια. Επίσης θέλαμε να υπάρχει η δυνατότητα άμεσης αντικατάστασης οποιασδήποτε διάταξης σε περίπτωση βλάβης. Το σύστημα αυτό όντας αποσπώμενο κάνει την όποια παρέμβαση σε αυτό πολύ εύκολη. Οι λόγοι αυτοί μας ώθησαν να δημιουργήσουμε τη μητρική πλακέτα.



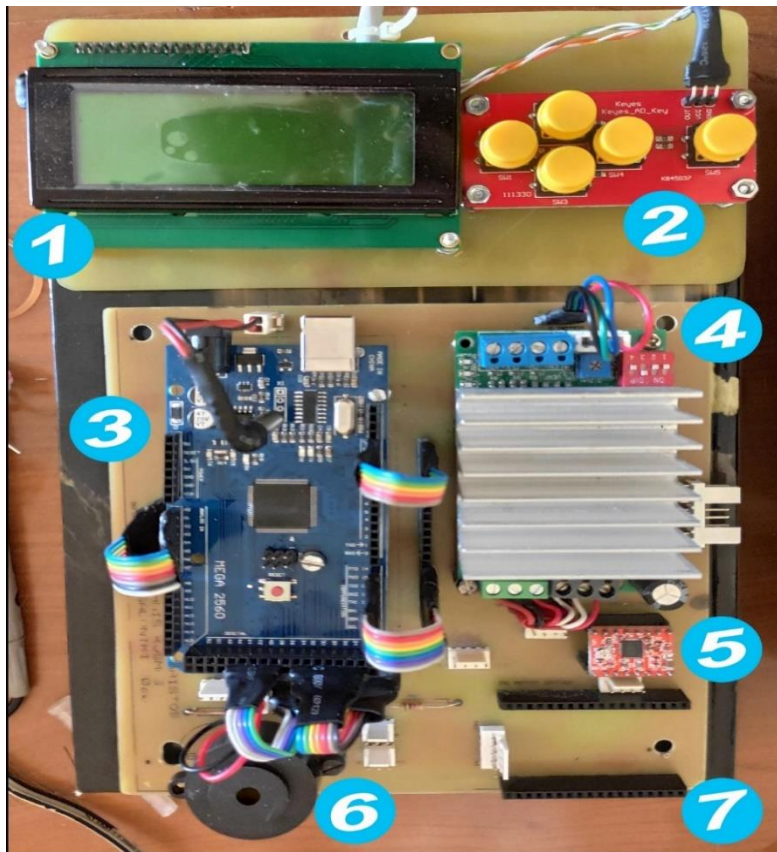
Σχήμα 4.8 Πάνω όψη μητρικής πλακέτας



Σχήμα 4.9 Κάτω όψη μητρικής πλακέτας



Σχήμα 4.10 3D όψη μητρικής πλακέτας



Σχήμα 4.11 Πάνω όψη μητρικής πλακέτας

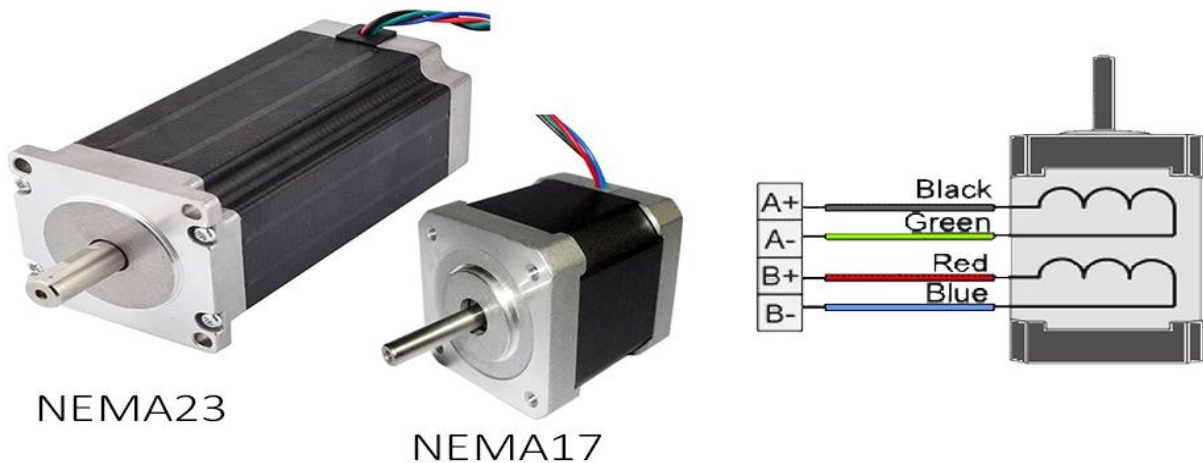
Στο σχήμα 4.11 εικονίζεται η πραγματική όψη της πλακέτας και γίνεται η επεξήγηση των ηλεκτρονικών διατάξεων που φέρει.

- 1) Οθόνη LCD 4x20 με τάση λειτουργίας 5V.
- 2) Αναλογικό μπλοκ διακοπών με τάση λειτουργίας 5V.
- 3) Arduino Mega 2560 με τάση λειτουργίας 12V.
- 4) Driver TB6600 με τάση εισόδου 5V και 28V με ρεύμα εξόδου 4A.
- 5) Driver A4988 με τάσεις εισόδου 5V και 12V ρεύμα εξόδου 1A.
- 6) Buzzer 5V.
- 7) Υποδοχή για μελλοντική αναβάθμισης του μηχανήματος.

Διαδικασία κατασκευής πλακετών

Οι πλακέτες κατασκευάστηκαν με την ακόλουθη μέθοδο: Αρχικά τυπώθηκαν τα σχέδια πάνω σε γυαλιστερό χαρτί από εκτυπωτή toner και στη συνέχεια κόπηκαν κομμάτια πλακέτας στις διαστάσεις των τυπωμένων σχεδίων. Έπειτα ακολούθησε η προετοιμασία για το σιδέρωμα, που περιελάμβανε το τρίψιμο με χοντρό γυαλόχαρτο, ώστε να δημιουργηθούν αυλακώσεις στην επιφάνεια του χαλκού. Αυτό βοηθάει το toner στη καλύτερη προσκόλληση του στην πλακέτα. Ακολούθησε σχολαστικός καθαρισμός πρώτα με σαπούνι και μετά με οινόπνευμα. Εφόσον στέγνωσαν καλά και οι δυο πλακέτες συνεχίσαμε με το σιδέρωμα τους. Οι πλακέτες παρέμειναν σε θερμοκρασία δωματίου για αρκετή ώρα, ώστε να κρυώσουν με φυσικό τρόπο. Μετά σειρά είχε η διαδικασία αφαίρεσης του χαρτιού από πάνω τους, αφού προηγουμένως είχαν τοποθετηθεί για αρκετές ώρες μέσα σε δοχείο που περιείχε νερό, σαπούνι και λίγη ποσότητα λαδιού. Προτελευταίο στάδιο της κατασκευής ήταν η αποχάλκωση με κατάλληλα χημικά υγρά (υδροχλωρικό οξύ και περιντρόλ). Τέλος έγινε ο έλεγχος για τυχόν βραχυκυκλώματα και διακοπές στο κύκλωμα, ενώ ακολούθησε το τρύπημα, η τοποθέτηση και η συγκόλληση των εξαρτημάτων.

4.4 Κινητήρες

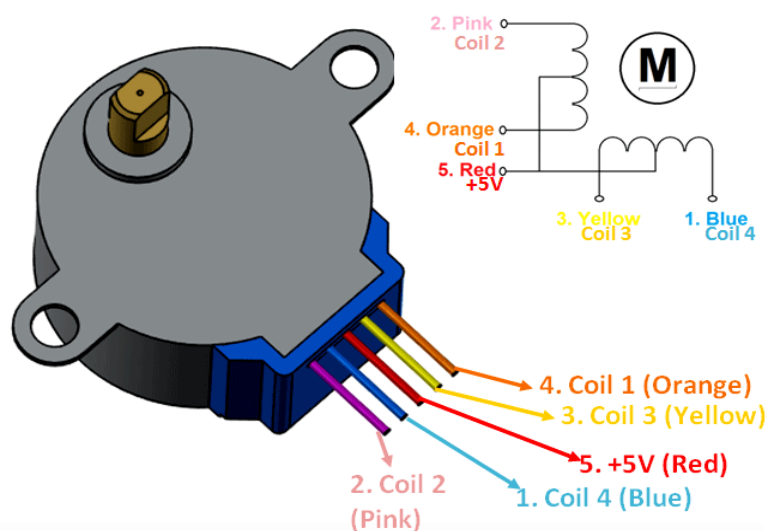


Σχήμα 4.12 Κινητήρας NEMA17 και NEMA23

Ο βασικός βηματικός κινητήρας είναι ο NEMA23 23HS45-4204S με φυσικές διαστάσεις 113x57x57mm και διατομή άξονα 8mm. Η μέγιστη τάση λειτουργίας του είναι 48V και το ονομαστικό ρεύμα ανά φάση 4,2A. Κάθε πηνίο έχει αντίσταση 0,9Ω και αυτεπαγωγή 3,8mH. Σε κάθε βήμα η μετατόπιση του ρότορα είναι 1,8 μοίρες. Τα άκρα των πηνίων διακρίνονται στο σχήμα 4.12.

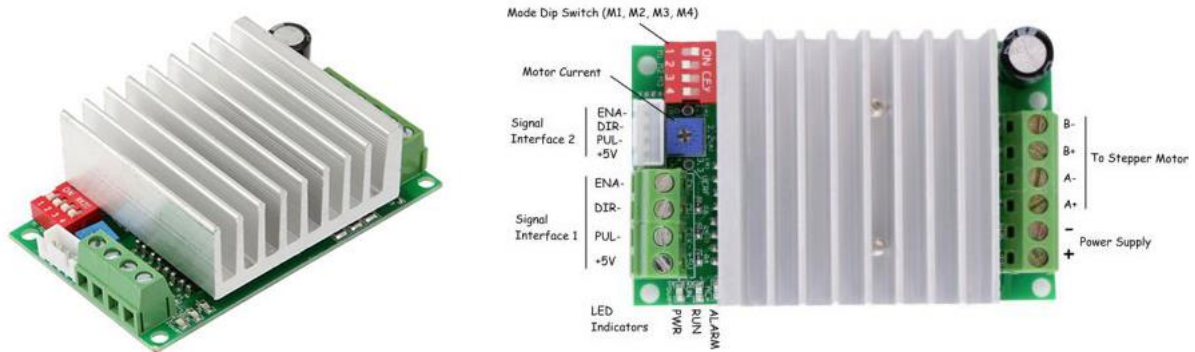
Ο βηματικός κινητήρας της κεφαλής είναι ο NEMA17 JK42HS48-1684-08AF με φυσικές διαστάσεις 50x50x45mm και διατομή άξονα 4,5mm. Η μέγιστη τάση λειτουργίας είναι 12V με ρεύμα 0,4A ανά φάση. Κάθε πηνίο έχει αντίσταση 30Ω με αυτεπαγωγή 23mH. Κάθε βήμα φέρει μετατόπιση 1,8 μοίρες. Τα άκρα των πηνίων διακρίνονται στο σχήμα 4.12.

Δυο ακόμη βηματικοί κινητήρες που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι 28BYJ-48 με φυσικές διαστάσεις 28x30mm και διατομή άξονα 4.5mm. Η τάση λειτουργίας ορίζεται στα 5V με ρεύμα εξόδου 100mA. Κάθε πηνίο έχει αντίσταση 50Ω. Σε κάθε βήμα η μετατόπιση είναι 1,64 μοίρες. Στο σχήμα 4.13 διακρίνεται ο κινητήρας.



Σχήμα 4.13 Κινητήρας 28BYJ-48

4.5 Drivers κινητήρων

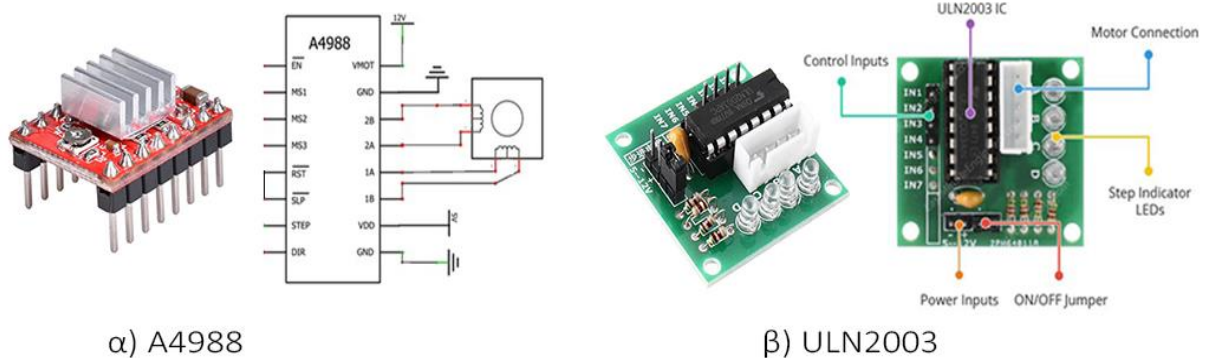


Σχήμα 4.14 Driver TB660 v1.2

Το driver TB6600 v1.2 χρησιμοποιήθηκε για να οδηγήσει τον κινητήρα NEMA23 23HS45-4204S. Οι φυσικές διαστάσεις είναι 81x50x29mm. Η μέγιστη τάση λειτουργίας είναι 50V με μέγιστο ρεύμα 4,5A. Στο σχήμα 4.14 φαίνεται η πλακέτα καθώς και οι είσοδοι-έξοδοι της.

Το A4988 είναι το driver για τον κινητήρα NEMA17 με φυσικές διαστάσεις 15,5x20,5mm. Δέχεται δύο τάσεις, μία 5V και μια μέγιστη τάση 35V για να οδηγήσει τον κινητήρα. Το μέγιστο ρεύμα που μπορεί να προσφέρει ανά φάση είναι 2A. Στα αριστερά του σχήματος 4.15(α) διακρίνεται η πλακέτα καθώς και οι είσοδοι-έξοδοι της.

Το ULN2003A είναι το driver του 28BYJ-48 με φυσικές διαστάσεις 34x36x16mm. Η μέγιστη τάση είναι 5V και το μέγιστο ρεύμα 0,5A. Στο σχήμα 4.15(β) βρίσκεται η υπόψη πλακέτα καθώς και οι είσοδοι-έξοδοι της.



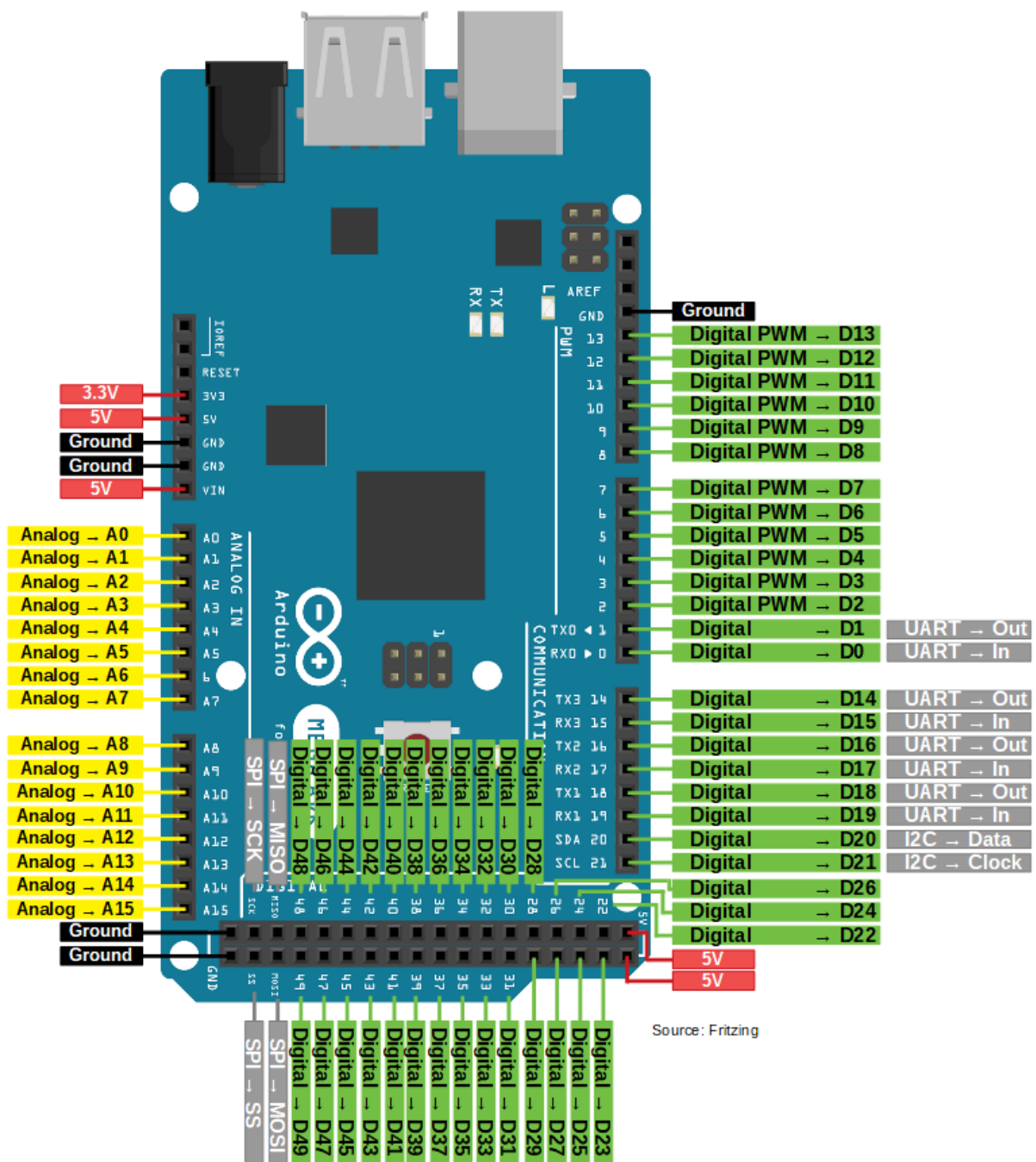
α) A4988

β) ULN2003

Σχήμα 4.15 α) Driver A4988 β) ULN2003

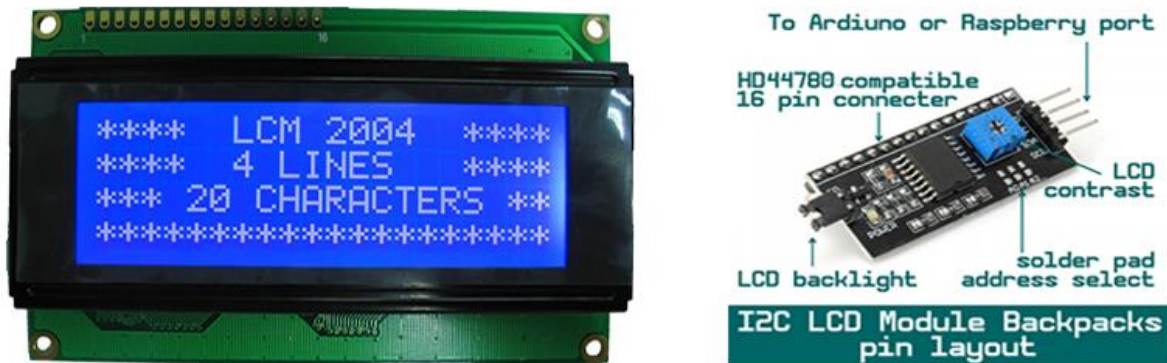
4.6 Το Arduino

Η αναπτυξιακή πλακέτα που χρησιμοποιήσαμε είναι το Arduino Mega 2560. Οι φυσικές διαστάσεις της είναι 101,6x53,34mm. Διαθέτει τέσσερις εξόδους των 5V, μια των 3,3V και πέντε γειώσεις. Φέρει 16 αναλογικές εισόδους-εξόδους και 54 ψηφιακές εισόδους-εξόδους. Από τις 54 οι 15 μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εξοδοι PWM. Για τη σύνδεση σε θόνη με i2c module χρησιμοποιούνται τα pin 20 και 21 (SDA και SCL αντίστοιχα). Η τροφοδοσία της πλακέτας γίνεται από DC πηγή 6-20V. Στο σχήμα 4.16 διακρίνονται όλα τα απαραίτητα χαρακτηριστικά του arduino mega.



Σχήμα 4.16 Arduino Mega 2560

4.7 Οθόνη και πληκτρολόγιο



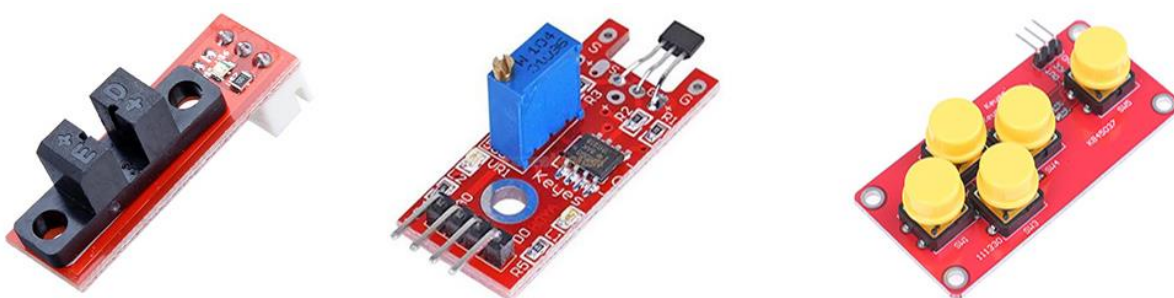
Σχήμα 4.17 Οθόνη LCD 20x4 και i2C LCD Module

Η οθόνη που χρησιμοποιήσαμε είναι η LCD2004 με 20x4 χαρακτήρες και φυσικές διαστάσεις 98x60mm. Η τάση λειτουργίας είναι 5V και το μέγιστο ρεύμα 3mA. Έχει ενσωματωμένο i2C LCD Module. Στο σχήμα 4.17 φαίνεται η οθόνη και το i2C LCD Module με τα pinout.

Το πληκτρολόγιο (Σχήμα 4.18) στην κατασκευή μας είναι το Analog 5 Button Module, με τάση εισόδου 5V και αναλογική έξοδο. Οι φυσικές διαστάσεις του είναι 68x33mm.

4.8 Αισθητήρες

Και οι δύο μαγνητικοί διακόπτες KY-024 και ο οπτικός Optical Endstop Switch λειτουργούν με τον ίδιο τρόπο και τροφοδοτούνται από συνεχή τάση 5V. Χρησιμοποιούμε τη ψηφιακή τους έξοδο η οποία μας δίνει 0 όσο ο διακόπτης είναι ανοιχτός και 1 (δηλαδή 5V) όταν ο διακόπτης κλείσει. Και τα δύο είδη διακοπών διακρίνονται στο σχήμα 4.18.



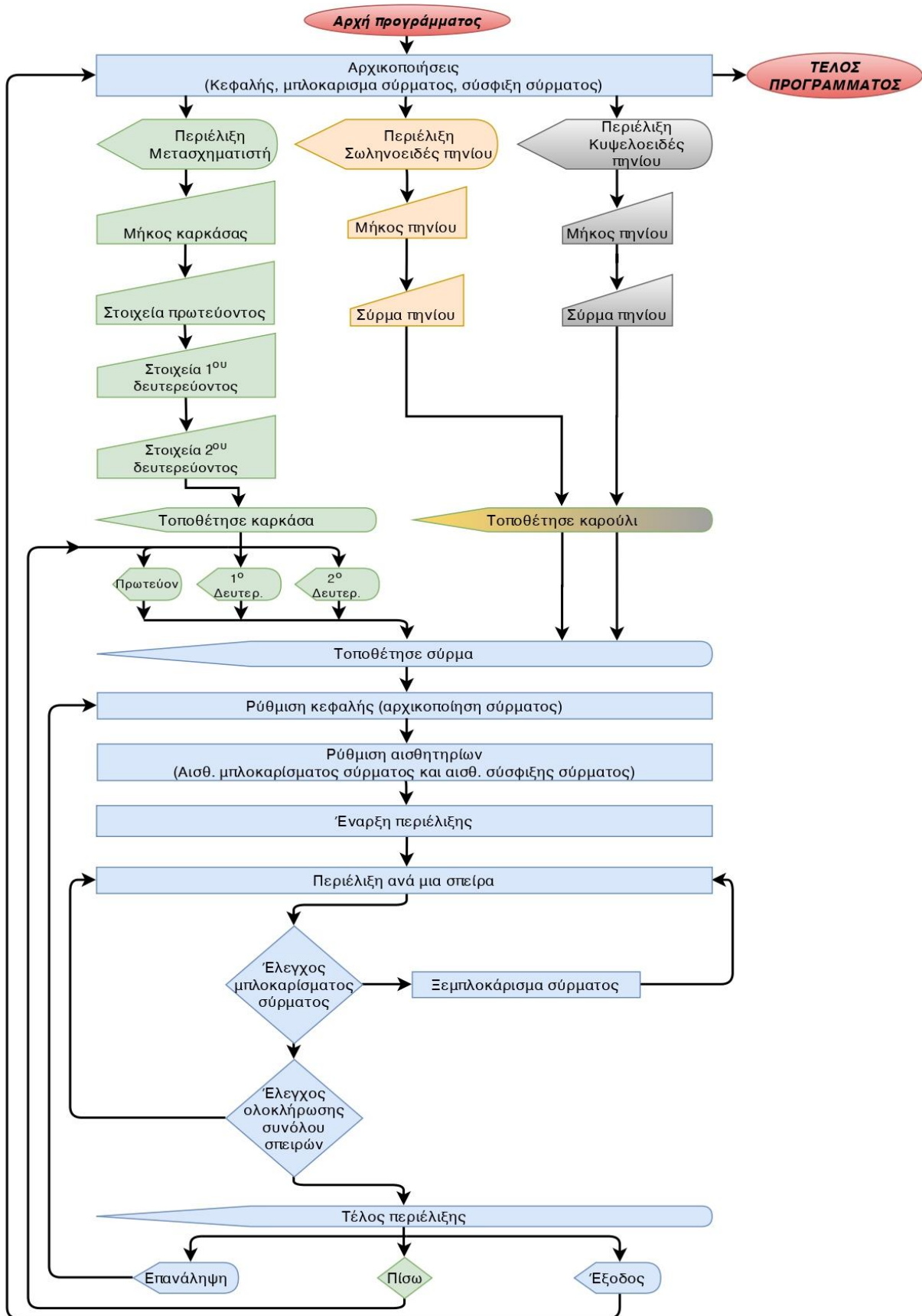
Optical Endstop Switch

KY-024

Analog 5 Button Module

Σχήμα 4.18 Αριστερά ο οπτικός διακόπτης, στο κέντρο ο μαγνητικός διακόπτης και δεξιά το πληκτρολόγιο

4.9 Πρόγραμμα



Σχήμα 4.19 Διάγραμμα ροής του λογισμικού

Το διάγραμμα ροής αναπαριστά τη σειρά με την οποία εκτελούνται οι εντολές του προγράμματος. Θέτοντας σε λειτουργία το μηχάνημα ο επεξεργαστής εκκινεί και στην αρχή του προγράμματος και εμφανίζεται στην οθόνη το μήνυμα WELCOME. Ταυτόχρονα η κεφαλή κινείται προς την αρχική της θέση μέχρι να ενεργοποιήσει τον αισθητήρα της αρχικοποίησης. Στη συνέχεια με την ίδια διαδικασία αρχικοποιεί το σύστημα της σύσφιξης του σύρματος και το σύστημα μπλοκαρίσματος του σύρματος. Με το πέρας των διεργασιών αυτών σβήνει από την οθόνη το μήνυμα WELCOME και εμφανίζεται το κύριο μενού του προγράμματος.

Το κύριο μενού περιλαμβάνει τις τρεις επιλογές περιέλιξης: ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΤΗΣ, ΣΩΛΗΝΟΕΙΔΕΣ ΠΗΝΙΟ, ΚΥΨΕΛΟΕΙΔΕΣ ΠΗΝΙΟ. Πατώντας τα κουμπιά πάνω-κάτω μετακινείται ο κέρσορας δείχνοντας το προς επιλογή πρόγραμμα. Πατώντας το κουμπί OK και ενώ ο κέρσορας βρίσκεται στη επιλογή του Μ/Σ, εμφανίζονται διαδοχικά νέα παράθυρα στα οποία ο χειριστής δηλώνει τα στοιχεία των επιμέρους πηνίων. Τα παράθυρα με τη σειρά είναι: (Μήκος Καρκάσας, Σπείρες Πρωτεύοντος, Διατομή Σύρματος Πρωτεύοντος, Σπείρες 1ου Δευτερεύοντος, Διατομή Σύρματος 1ου Δευτερεύοντος, Σπείρες 2ου Δευτερεύοντος, Διατομή Σύρματος 2ου Δευτερεύοντος). Στη συνέχεια εμφανίζεται μια νέα καρτέλα όπου ζητάει να τοποθετήσει την καρκάσα και έπειτα μια επόμενη όπου ζητάει να επιλέξει ποιο τύλιγμα θέλει να κατασκευάσει. Μετά από αυτό του υπενθυμίζει με μήνυμα στην οθόνη τι σύρμα πρέπει να τοποθετήσει. Αφού το τοποθετήσει και πατώντας το κουμπί OK το πρόγραμμα τον οδηγεί στην αρχικοποίηση της κεφαλής, όπου χειροκίνητα (πατώντας τα κουμπιά δεξιά-αριστερά) ευθυγραμμίζει το σύρμα με την αρχή της καρκάσας. Πατώντας και πάλι το κουμπί OK ρυθμίζονται αυτόματα η σύσφιξη του σύρματος, η θέση του αισθητήρα κοψίματος και αρχίζει η περιέλιξη. Ανά μια σπείρα περιέλιξης γίνεται έλεγχος αν έχει μπλοκάρει το σύρμα καθώς και αν έχει ολοκληρωθεί το σύνολο των προς περιέλιξη σπειρών. Αν το σύρμα έχει μπλοκάρει τότε διακόπτεται η περιέλιξη, στην οθόνη εμφανίζεται το μήνυμα ΜΠΛΟΚΑΡΙΣΜΑ ΣΥΡΜΑΤΟΣ και ταυτόχρονα ενεργοποιείται η ηχητική σήμανση έως ότου ο χειριστής ξεμπλοκάρει το σύρμα. Στη συνέχεια πατώντας το κουμπί OK η περιέλιξη και ο έλεγχος συνεχίζεται έως ότου ολοκληρωθεί η περιέλιξη και το σύρμα δεν έχει μπλοκάρει ξανά. Με το τέλος της περιέλιξης, ενεργοποιείται η ηχητική σήμανση και εμφανίζεται η επιλογή πίσω (η συγκεκριμένη επιλογή αφορά μόνο το μετασχηματιστή) όπου οδηγεί στο παράθυρο ΕΠΙΛΕΞΕ ΤΥΛΙΓΜΑ. Από εκεί υπάρχουν δύο επιλογές, η επιλογή ίδιου ή άλλου τυλίγματος προς περιέλιξη, με πρώτο στάδιο τη ρύθμιση της κεφαλής και η δυνατότητα της εξόδου από το πρόγραμμα με την επιστροφή στο αρχικό μενού. Επιλέγοντας την έξοδο γίνεται ο μηδενισμός των επιμέρους μεταβλητών που χρησιμοποιήθηκαν στο πρόγραμμα και όλα τα μηχανικά συστήματα παίρνουν τις αρχικές τους θέσεις, ώστε το πρόγραμμα να είναι έτοιμο για την επόμενη περιέλιξη. Αξίζει να σημειωθεί πως το μενού του Μ/Σ προγραμματίστηκε ώστε να περιέχει το πρωτεύον και 2 δευτερεύοντα τυλίγματα. Επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθούν δυο δευτερεύοντα καθώς πολλοί Μ/Σ φέρουν παραπάνω από ένα δευτερεύον τυλίγμα. Η ιδιότητα αυτή δίνει την ευελιξία στο χειριστή να επιλέξει κάθε φορά πιο από τα τρία τμήματα του Μ/Σ επιθυμεί να κατασκευάσει. Έστω ότι ο χειριστής επιθυμεί να κατασκευάσει πέντε Μ/Σ με τα ίδια χαρακτηριστικά. Δίνοντας τα στοιχεία μια φορά μπορεί αρχικά τοποθετώντας το σύρμα του πρωτεύοντος να περιέλιξη τα πρωτεύοντα για όλους τους Μ/Σ. Στη συνέχεια τοποθετώντας το σύρμα για το 1ο δευτερεύον να γίνει η περιέλιξη όλων των ίδιων πηνίων και ομοίως για το 2ο δευτερεύον.

Ακόμα, μπορούμε ενώνοντας σε σειρά τα δυο δευτερεύοντα τυλίγματα, να δημιουργήσουμε ένα δευτερεύον με μεσαία λήψη.

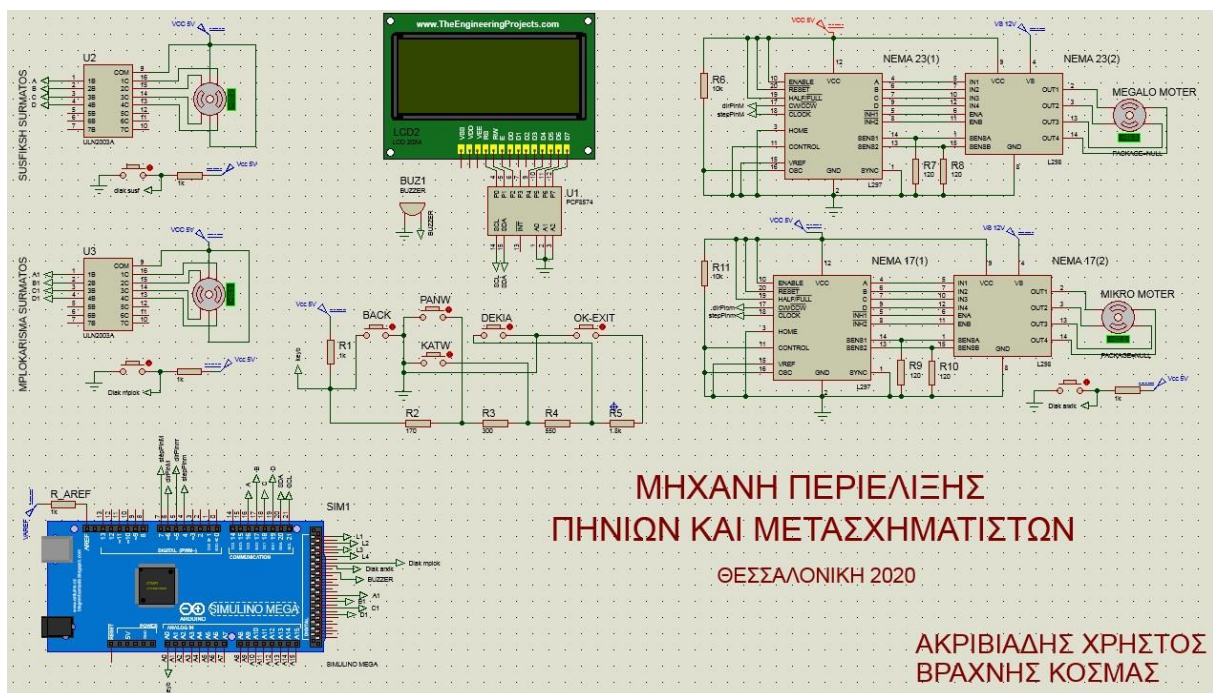
Όταν ο κέρσορας βρεθεί στο ΣΩΛΗΝΟΕΙΔΕΣ ΠΗΝΙΟ και πατηθεί το OK, όπως και πριν ανοίγουν διαδοχικά καρτέλες που ζητούν από το χειριστή να δώσει τα στοιχεία του πηνίου (Μήκος καρουλιού, σπείρες, διατομή σύρματος). Στη συνέχεια ζητάει από το χρήστη να τοποθετήσει το καρούλι και το σύρμα, για να γίνει η περιέλιξη. Κατά τη διάρκεια της περιέλιξης, με την ίδια διαδικασία όπως και στο

μετασηματιστή γίνεται ο έλεγχος των αισθητηρίων. Όταν τα σύνολο των σπειρών φτάσει τον αριθμό που δόθηκε στην αρχή και χωρίς το σύρμα να έχει κοπεί, ολοκληρώνεται η περιέλιξη. Έτσι εμφανίζεται στην οθόνη η επιλογή της επανάληψης ή της εξόδου, ενώ ταυτόχρονα ηχεί το BUZZER. Η επανάληψη εκτελεί την περιέλιξη από την αρχή, ενώ η έξοδος επιστρέφει το πρόγραμμα στην αρχή, αφού πρώτα αρχικοποιηθούν όλα τα συστήματα.

Όταν επιλεγθεί να γίνει περιέλιξη ΚΥΨΕΛΟΕΙΔΟΥΣ ΠΗΝΙΟΥ, ακολουθείται η ίδια διαδικασία με το σωληνοειδές πηνίο και η μόνη διαφορά είναι ο τρόπος που περιελίσσεται το σύρμα πάνω στο καρούλι. (Η περιέλιξη γίνεται ώστε η κάθε σπείρα να διέρχεται από το κέντρο και από την περιφέρεια του καρουλιού).

4.10 Τελικό κύκλωμα, προσομοίωση και κατασκευή

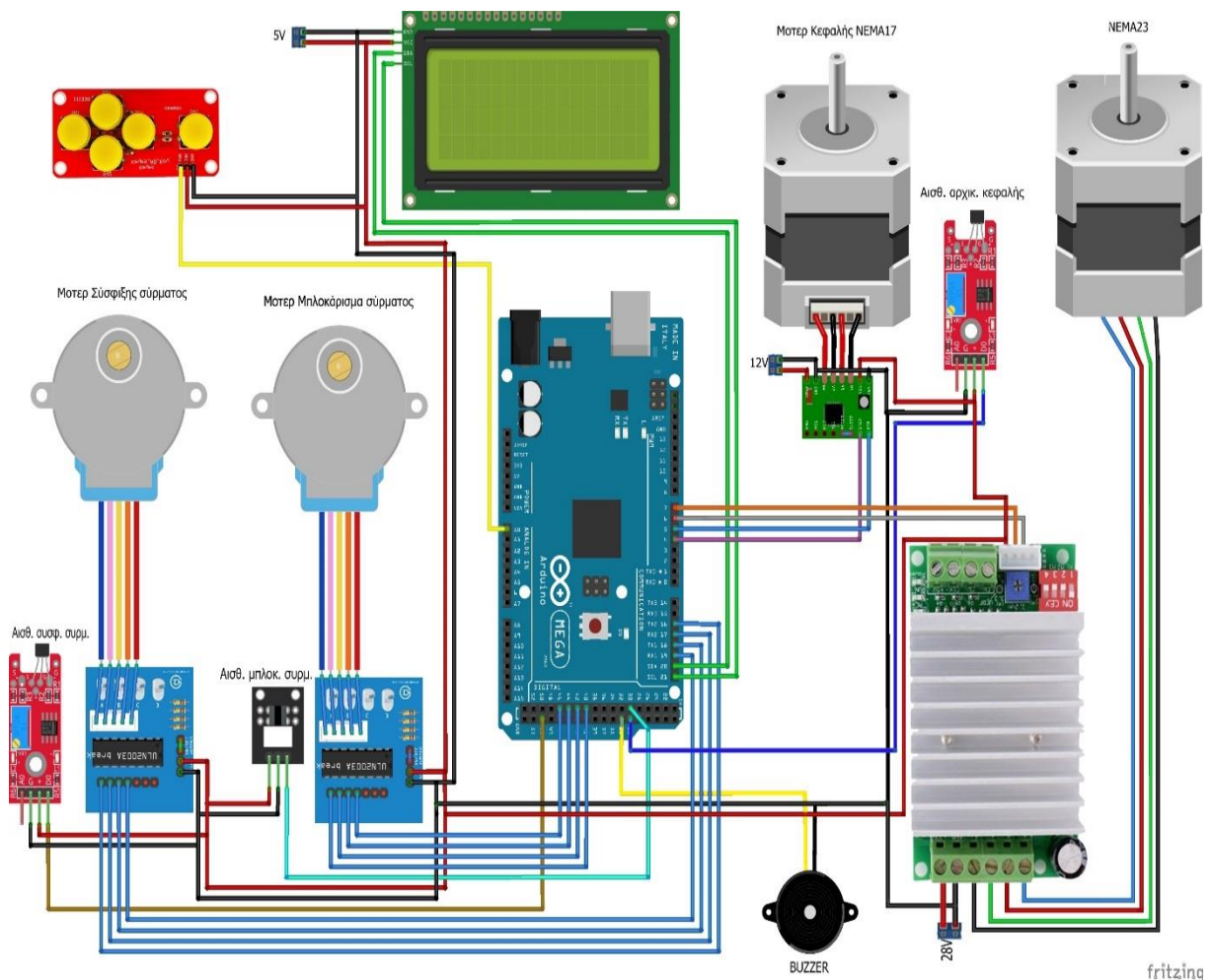
Για την προσομοίωση και τη σχεδίαση των πλακετών χρησιμοποιήσαμε το ηλεκτρονικό πρόγραμμα κυκλωμάτων Proteus. Αρχικά έγινε η πλήρης σχεδίαση των κυκλωμάτων και στη συνέχεια ακολούθησε η προσομοίωση τους. Διαλέξαμε το συγκεκριμένο λογισμικό διότι μας δίνει τη δυνατότητα παίρνοντας τη βιβλιοθήκη του Arduino και φορτώνοντας τον κώδικα που είχαμε ήδη γράψει, να δούμε κατά πόσο ανταποκρίνεται ο κώδικας σε αυτό που θέλαμε να κατασκευάσουμε και να διορθώσουμε τυχόν λάθη. Μετά από σειρά διορθώσεων όλα λειτούργησαν όπως τα είχαμε προβλέψει και το επόμενο βήμα ήταν η σχεδίαση των πλακετών. Σχεδιάστηκαν δύο πλακέτες, το τροφοδοτικό καθώς και η μητρική πλακέτα που περιλαμβάνει, την πλακέτα Arduino, τα drivers, το buzzer, και τις εισόδους-εξόδους. Οι συνδέσεις μεταξύ των επιμέρους εξαρτημάτων στη μητρική πλακέτα, έγιναν με αγωγούς. Εν συνεχεία ακολούθησε το τύπωμα και η διαδικασία τοποθέτησης και συγκόλλησης των εξαρτημάτων. Μετά το πέρας της διαδικασίας αυτής, έγινε έλεγχος για την ορθή λειτουργία των κυκλωμάτων και τοποθετήθηκαν οι κατασκευασμένες πλακέτες στο σασί της κατασκευής. Τέλος, τοποθετήθηκαν στην κατασκευή και τα υπόλοιπα ηλεκτρονικά και μηχανικά μέρη. Ακολούθησε η ρύθμιση των αισθητήρων και η επιλογή των παραμέτρων του προγράμματος, ώστε να λειτουργούν ορθά σε συνεργασία με τα μηχανικά μέρη της κατασκευής.



Σχήμα 4.20 Προσομοίωση ηλεκτρονικού σχεδίου στο πρόγραμμα Proteus

Το σχήμα 4.20 αποτελεί στιγμιότυπο από το πρόγραμμα Proteus. Με το συγκεκριμένο πρόγραμμα έγινε η προσομοίωση των κυκλωμάτων και η σχεδίαση των πλακετών. Στο πρόγραμμα προσομοιώσαμε τους οπτικούς και μαγνητικούς αισθητήρες της κατασκευής ως μηχανικούς διακόπτες, καθώς θεωρητικά η λειτουργία τους είναι η ίδια, πράγμα που μας διευκόλυνε στην προσομοίωση. Για την προσομοίωση των driver των μοτέρ της κεφαλής και του κεντρικού μοτέρ, σχεδιάστηκαν διαφορετικά κυκλώματα από τα πραγματικά, διότι οι βιβλιοθήκες του προγράμματος δεν διέθεταν τα πραγματικά. Ωστόσο τα χαρακτηριστικά τους παρέμειναν ακριβώς τα ίδια. Στα άλλα δυο μοτέρ, της σύσφιξης του σύρματος και του μπλοκαρίσματος του σύρματος, χρησιμοποιήθηκε ακριβώς το ίδιο driver, καθώς υπήρχε διαθέσιμο στη βιβλιοθήκη. Επίσης η θόνη και το Arduino χρησιμοποιήθηκαν και πάλι τα ίδια με αυτά που χρησιμοποιούμε στην κατασκευή. Ως πληκτρολόγιο, καθώς δεν υπήρχε έτοιμο, σχεδιάστηκε κύκλωμα με βάση τα χαρακτηριστικά που ορίζει ο κατασκευαστής.

Οι συνδέσεις των επιμέρους μερών του πλήρους κυκλώματος, εικονίζονται στο σχήμα 4.21.



Σχήμα 4.21 Διάγραμμα συνδέσεων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Παίρνοντας την απόφαση να κατασκευάσουμε τη συσκευή αυτή, έγιναν πολλές θεωρητικές μελέτες και συζητήθηκαν μεταξύ μας διάφορα ζητήματα. Το πρώτο και κύριο που καθόρισε κατά πολύ την έκβαση της κατασκευής, ήταν το οικονομικό. Το δεύτερο και εξίσου σημαντικό ήταν το κατά πόσο όλα αυτά που είχαμε σκεφτεί και σχεδιάσει να κάνουμε, θα μπορούσαμε να τα υλοποιήσουμε στην πράξη. Εφόσον καταλήξαμε στα τελικά σχέδια, συγκεντρώσαμε τα υλικά της κατασκευής και έγινε η συναρμολόγησή τους. Κατά τη διάρκεια της συναρμολόγησης υπήρξαν κάποιες τροποποιήσεις των αρχικών σχεδίων γιατί δημιουργήθηκαν ζητήματα που αρχικά δεν ήταν εμφανή και έπρεπε να επιλυθούν. Το αποτέλεσμα της κατασκευής μας αφήνει μια μεγάλη αίσθηση ικανοποίησης καθώς ότι είχαμε σκεφθεί να υλοποιήσουμε το φέραμε εις πέρας σε πολύ μεγάλο βαθμό. Η ιδέα ήταν μια πλήρως αυτοματοποιημένη μηχανή περιέλιξης. Το ζητούμενο ήταν δίνοντας τα στοιχεία του πηνίου (αριθμός σπειρών και διατομή σύρματος) όλη η διαδικασία να γίνεται αυτόματα. Πλέον, όλες οι παράμετροι που επηρεάζουν τη σωστή περιέλιξη του πηνίου ρυθμίζονται αυτόματα, κάτι που κάνει τον όλο χειρισμό του μηχανήματος πιο εύκολο στο χρήστη.

Κατά τη διάρκεια εκπόνησης της πτυχιακής μας εργασίας βρεθήκαμε αντιμέτωποι με πάρα πολλές προκλήσεις. Οι προκλήσεις αυτές είχαν να κάνουν κυρίως με το κομμάτι του προγραμματισμού αλλά και την πιο μεθοδευμένη ενασχόλησή μας με τα μηχανολογικά μέρη. Πιο αναλυτικά, στο πρώτο στάδιο που ήταν η σχεδίαση του μηχανήματος, βρεθήκαμε αντιμέτωποι με την πρόκληση που λέγεται SolidWorks. Κληθήκαμε να σχεδιάσουμε κομμάτια της κατασκευής με ένα καινούριο για εμάς πρόγραμμα, κάτι που επέφερε αρκετές ώρες μελέτης και εξάσκησης πάνω στο πρόγραμμα. Αυτό μας έφερε αντιμέτωπους και με τον 3D εκτυπωτή, που δεν είχαμε χρησιμοποιήσει μέχρι πρότινος και έτσι αφιερώσαμε χρόνο και στο συγκεκριμένο κομμάτι. Στη συνέχεια η επόμενη μεγάλη πρόκληση ήταν ο προγραμματισμός. Με τον προγραμματισμό της αναπτυξιακής πλακέτας Arduino αποκομίσαμε πολλές γνώσεις, καθώς ήταν η πρώτη φορά που προγραμματίσαμε μια τέτοια πλακέτα. Έπρεπε λοιπόν να μελετήσουμε τις εντολές που χρησιμοποιεί η συγκεκριμένη γλώσσα, καθώς και τον τρόπο με τον οποίο έπρεπε να συνδεθούν τα επιμέρους ηλεκτρονικά κομμάτια με αυτή, ώστε να επικοινωνούν σωστά μεταξύ τους.

Σε όλη τη διάρκεια της ενασχόλησης μας με την κατασκευή παρατηρούσαμε συνεχώς τι θα μπορούσε να αλλάξει ώστε το μηχανήμα να γίνει πιο αποδοτικό. Φθάνοντας λοιπόν στο τέλος, καταλήξαμε πως μπορούν να γίνουν κάποιες βελτιώσεις, με σκοπό την αναβάθμισή του, με πιο σημαντική να είναι η ταχύτητα περιέλιξης. Συγκριτικά με παρόμοιες μηχανές που κυκλοφορούν στην αγορά, η διαφορά στην ταχύτητα είναι εμφανής. Αυτό οφείλεται κατά βάση στις ελλειπείς γνώσεις προγραμματισμού που διαθέτουμε καθώς και στην ταχύτητας κίνησης της κεφαλής. Για την κίνηση της κεφαλής χρησιμοποιείται μια μετρική ντίζα M5 με βήμα 1mm. Το χαρακτηριστικό αυτό έχει ως αποτέλεσμα η κεφαλή να μετακινείται 1mm για κάθε πλήρη κύκλο του μοτέρ. Η αντικατάσταση αυτής με μια ντίζα με αραιό τραπεζοειδές πάσο ή ντίζα τύπου κοχλία, θα βελτιώσει κατά πολύ την κίνηση της. Αυτό προκύπτει διότι με λιγότερα βήματα η κεφαλή θα καλύπτει μεγαλύτερη απόσταση. Αυτό σε συνδυασμό με κατάλληλη τροποποίηση του κώδικα, θα μπορούσε να βελτιώσει σημαντικά την ταχύτητα περιέλιξης του μηχανήματος και αυτομάτως να το αναβαθμίσει. Ως προς τα μηχανικά μέρη, ακόμα μια βελτίωση είναι η τοποθέτηση ρουλεμάν στις τροχαλίες που κινούν το σύρμα, έτσι ώστε να επιτευχθεί η αποφυγή φθοράς του πλαστικού με την πάροδο του χρόνου.

Η επόμενη βελτίωση που θα αυξήσει τον χρόνο ζωής της κεφαλής είναι η αντικατάσταση όλων των πλαστικών κομματιών με μεταλλικά μέρη. Τα τμήματα της κεφαλής σχεδιάστηκαν και τυπώθηκαν σε 3D εκτυπωτή. Παρόλο ότι είναι πλαστικά, συνθέτουν μια στιβαρή κατασκευή με πολύ καλές αντοχές σε μικρές διατομές σύρματος, μέχρι 0,7mm. Όταν η μηχανή επρόκειτο να λειτουργήσει σε μαζική περιέλιξη με σύρματα μεγαλύτερα του 0,7mm καλό θα ήταν η κεφαλή να αποτελείται εξ ολοκλήρου από μεταλλικά μέρη. Συμπεράναμε τα παραπάνω, καθώς στα πειράματα που εκτελέσαμε με σύρματα μεγαλύτερα των 0,7mm, παρατηρήσαμε μηχανικές καταπονήσεις στα πλαστικά μέρη.

Μια ακόμη αναβάθμιση που θα μπορούσε να υλοποιηθεί, είναι η αντικατάσταση της καλωδιοταινίας που συνδέει την κεφαλή με την μητρική πλακέτα. Στη θέση αυτής μπορεί να τοποθετηθούν ψήκτρες, για τη μεταφορά ηλεκτρικής ενέργειας και ένα σύστημα RF που θα εξασφαλίζει την αμφίδρομη επικοινωνία μεταξύ του επεξεργαστή και της κεφαλής.

Τέλος στις βελτιώσεις μπορεί να προστεθεί και η ανακατασκευή του συστήματος βοηθητικής στήριξης της καρκάσας-καρουλιού ως αυτόνομο σύστημα, ακολουθώντας τη λογική του μπλοκ της κεφαλής. Το μπλοκ αυτό όντας αυτόνομο θα μπορεί να ευθυγραμμιστεί με ακρίβεια. Η τυχόν επισκευή του θα καθίσταται πολύ πιο εύκολη καθώς θα μπορεί να αποσπάται κι έτσι οι διεργασίες που θα χρειαστεί να εκτελούνται δεν θα επηρεάζουν την υπόλοιπη κατασκευή.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βιβλία

- [1] “Ιορδάνης Ν. Κιοσκερίδης”, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΙΣΧΥΟΣ, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, Θεσσαλονίκη 2008 ISBN: 978-960-418-158-2
- [2] “Ιορδάνης Ν. Κιοσκερίδης”, ΑΝΑΝΕΩΣΙΜΕΣ ΠΗΓΕΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ και Εφαρμογές των Ηλεκτρονικών Ισχύος 2η Έκδοση, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, Θεσσαλονίκη 2019 ISBN: 978-960-418-852-9
- [3] “Παπαβραμίδου Π.” “Παπακώστας Δ.”, ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΕΣ ΕΞΕΡΕΥΝΗΣΕΙΣ, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, Θεσσαλονίκη 2009 ISBN: 978-960-418-177-3
- [4] “Παπάζογλου Π. ” “Λιωνής Σπ. Π. ”, ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΜΕ ΤΟ Arduino 2η Έκδοση, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, Θεσσαλονίκη 2017 ISBN: 978-960-418-550-4
- [5] “Albert Malvino & David J. Bates”, Ηλεκτρονική Αρχές και Εφαρμογές 7η Έκδοση , Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, Θεσσαλονίκη 2014 ISBN: 978-960-418-410-1
- [6] “Cadartifex”, SOLIDWORKS 2016 A Power Guide for Beginners and Intermediate Users 3rd Edition, Createspace Independent Publishing Platform, United States 2016 ISBN: 978-153-072-381-2
- [7] “Μαλατέστας Παντελής Β.”, ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, Θεσσαλονίκη 2013 ISBN: 960-418-163-7
- [8] “Λουτρίδης Ι. Σπυρίδων”, ΗΛΕΚΤΡΟΤΕΧΝΙΑ ΓΙΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΟΥΣ, Εκδόσεις ΙΩΝ, 2011 ISBN: 978-960-508-020-4
- [9] “Haberle Gregor” “Haberle Heinz”, Μετασηματιστές και Ηλεκτρικές Μηχανές, Ευρωπαϊκές Τεχνολογικές Εκδόσεις - ΕΤΕ , 1994 ISBN: 960-331-072-7
- [10] “Μαλατέστας Π.” “Τερζή Μ.”, ΗΛΕΚΤΡΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ 2^η Έκδοση, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, 2020 ISBN: 978-960-418-860-4
- [11] “Μαλατέστας Π.”, ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΚΙΝΗΣΗ 4^η Έκδοση, Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, 2014 ISBN: 978-960-418-524-5
- [12] “Ρήγας Δ.”, ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ , Εκδόσεις ΤΖΙΟΛΑ, 1999 ISBN: 978-960-721-936-7

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α: ΚΩΔΙΚΑΣ

```
//KWDIKAS MHXANHS PERIELIKSHS
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,20,4); // 0x27 Dieuthunsh arduino mega
// Dhlwsh statherwn timwn stis metavlhtes
#define stepPinM 7 // Megalo moter podaraki 8 arduino (vhma) CLK
#define dirPinM 6 // Megalo moter podaraki 10 arduino (kateuthinsh)
#define stepPinm 5 // mikro moter podaraki 2 arduino (vhma)
#define dirPinm 4 // mikro moter podaraki 5 arduino (kateuthinsh)
#define kuklos 200 // Mia plhrh peristrifh tw n 2 moter 200 vhmata
#define taxitita 13 // Xronos gia ta delay tw n moter
#define diakoptis 31 // Podaraki 7 diakoptis arxikopoihshs //allagh apo int se
define
#define keyb A0 // Podaraki A0 plhktrologio //allagh apo int se define
#define buzz 33 // Podaraki 3 buzzer
#define aisth_kops 29 // Podaraki A1 aisthithras kopsimatos surmatos
#define tax 2000
#define Pin1 16
#define Pin2 17
#define Pin3 18
#define Pin4 19
#define Pin5 40
#define Pin6 42
#define Pin7 44
#define Pin8 46
//-----PERIELHKSH-----
----//
int start=0; // Metavlith gia thn enarksi perielhkshs
int g=0; // Prakseis gia ta vhmata
int t=0; // Prakseis gia ta vhmata
int z=0; // Prakseis gia ta vhmata
int i=1; // Metavlith gia for
int a=0; // Metavlith gia for
int speires_up=0; // Counter pou metraei poses speires exoun ginei (posous plhreis kuklous ekane to
megalo moter)
int mhkos_karkasas=0; // Mhkos karkasas se mm
int speires=0; // To sunolo tw n speirwn
float diatomh_sur=0; // Diatomi surmatos
int speires_p=0; // Speires prwteuontos
float diatomh_sur_p=0; // Diatomh surmatos prwteuontos
int speires_d1=0; // Speires 1ou deutereuontos
float diatomh_sur_d1=0; // Diatomh surmatos 1ou deutereuontos
int speires_d2=0; // Speires 2ou deutereuontos
float diatomh_sur_d2=0; // Diatomh surmatos 2ou deutereuontos
int strofes_m_m=0; // Strofes mikrou moter
```

```

float sunol_epif=0; // Sunolikh epifaneia perielikshs
int vhmata_m_m=0; // Sunolika vhmata mikrou moter
int vhmata_M_M=0; // Sunolika vhmata Megalou moter
int vhmata_m_m_C=0; // Counter gia vhmata mikrou moter
int counter_M_M=0; // Counter Megalou moter, ana 100 tou counter dinei kai 1 vhma sto Megalo moter
int counter_m_m=0; // Counter mikrou moter, sugkrinei ton counter me to z kai dinei kathe fora 1
vhma sto mikro moter
int counter_vhmata_M_M=0;
int counter_allagh=0;//
int mar=0; // Metavlth pou summetexei sthn perielhksh
int allagh_k; // Metavlth gia thn allagh katheuthinshs
int dir=1; // Metavlth gia thn fora katheuthinshs (deksiostrofa h aristerostrofa)
int s=1; // Metavlth sthn if arxikopoihs ths kefalhs prin thn perielhksh
int val_diakopti=0; // Fortwnei thn timh tou diakoptis
float val_aisth_kops=0; // Fortwnei thn timh tou aist_kops
int block=0; // Metavlth gia ton aisthtira kopsimatos
//----- O8ONH -----
-----
int start1=0; // Metavlth gia tis kuries while tou programmatos
int menu=1; // Metavlth gia to kurio menu meta to welcome
int menu_1=0; // Deixnei se pio apo ta 3 vasika menu einai afou exei prwta epilexthei
int blinkk=0; // Metavlth gia to velaki
int coil=1; // Metavlth gia menu M/S (Prwteuon, 1o deutereuon, 2o deutereuon)
int printcoil=0; // Metavlth gia na deixnei to eidos ths perielikshs tou M/S
int volt_keyb=0; // Fortwnei thn timh tou keyb
int sel=0; // Metavlth gia tis selides pou emfanizontai sthn othonh
int timi=0; // Fortwnei tis times pou dinoume apo ta koumpia panw katw
int timi1=0; // Fortwnei thn timh "timh" kai apo edw tupwnoume ta noumera gia na mhn peirazoume
thn thn arxikh metavlth timh
float timi2=0; // Fortwnei thn timh1*0.1
int aristera=0; // Metavlth gia ta koumpia
int deksia=0; // Metavlth gia ta koumpia
int panw=0; // Metavlth gia ta koumpia
int katw=0; // Metavlth gia ta koumpia
int ok=0; // Metavlth gia ta koumpia
int select_coil_met=1;
int k=0;
int susf1=0;
int susf2=0;
int susf3=0;
int susfiksh=0;
int strofes_susf=0;
int e=0;
int mprosta=0;
int pisw=0;
int kosmas=0;
int counter_surm=0;

```



```

digitalWrite(Pin8, LOW);
delayMicroseconds(tax);

digitalWrite(Pin5, HIGH); //C
digitalWrite(Pin6, LOW);
digitalWrite(Pin7, LOW);
digitalWrite(Pin8, HIGH);
delayMicroseconds(tax);

digitalWrite(Pin5, LOW);
digitalWrite(Pin6, LOW); //B
digitalWrite(Pin7, HIGH);
digitalWrite(Pin8, HIGH);
delayMicroseconds(tax);

digitalWrite(Pin5, LOW);
digitalWrite(Pin6, HIGH);
digitalWrite(Pin7, HIGH); //A
digitalWrite(Pin8, LOW);
delayMicroseconds(tax);
}
while(val_aisth_kops==LOW);
digitalWrite(Pin6, LOW);
digitalWrite(Pin7, LOW);

start1++; // Kane to start==1 gia na vgei apo thn While1
}
while(start1<50)//While 2 DIALEKSTE
PERIELHKSH////////////////////////////////////// //While 2
DIALEKSTE PERIELHKSH
{
while(start1==1) /// Tupwnei to ARXIKO MENU Dialekse Perielhksh 1 fora
{
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("DIALEKSE PERIELHKSH");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Metasxhmatisths");
lcd.setCursor(0,2);
lcd.print("Swlhnoeides phnio");
lcd.setCursor(0,3);
lcd.print("Kypseloeides phnio");
//////// ARXHKOPOISH-MHDENISMOS TIMWN //////////
mhkos_karkasas=0; speires_p=0; diatomh_sur_p=0; speires_d1=0; diatomh_sur_d1=0;
speires_d2=0; diatomh_sur_d2=0; timi2=0; select_coil_met=0;
timi1=0; menu_1=0; coil=1; volt_keyb=0; menu=1; sel=0; timi=0; blinkk=0; printcoil=0; i=0;
block=0; susfiksh=0; susf1=0; susf2=0; susf3=0;

```

```

    strofes_susf=0; mprosta=0; pisw=0; counter_surm=0; counter_st=0; panw_surm=0; start1++;
    delay(500);
}
while(blinkk<1) // Mpainei me mhden kai trexei to blinkk mia fora
{
    volt_keyb=analogRead(keyb); // Diavazei to plhktrologio
    if(volt_keyb<20) // An patithei to aristera
    { aristera++; } // Counter aristera pou auksanei kata 1
    if(aristera==1) // An ginei to aristera 1
    { start1=1; select_coil_met=0; aristera=0; menu=1; }
    if((volt_keyb>=90)&&(volt_keyb<=220)) // An patithei to panw
    {
        panw=1; // Fortwse sto panw ton arithmo 1
        menu--; // Counter menu-1 apo thn timh pou eixe
    }
    if((volt_keyb>=250)&&(volt_keyb<=490)) // An patithei to katw
    {
        katw=1; // Fortwse sto katw ton arithmo 1
        menu++; // Counter menu pou auksanei kata 1
        katw=0; // Counter katw=0
    }
    if(menu==4) // An to menu ginei 4
    {
        menu=1; //Fortwse sto menu ton arithmo 1
    }
    if(menu==0) // An to menu ginei 4
    {
        menu=3; // Fortwse sto menu ton arithmo 3
    }
    lcd.setCursor(18,menu);
    lcd.print("<-"); // Velaki
    delay(350);
    lcd.setCursor(18,menu);
    lcd.print(" "); // Svinei to velaki
    delay(350);
    if((volt_keyb>=650)&&(volt_keyb<=950)) // An patithei to ok
    { ok++; // Counter ok pou auksanei kata 1 }
    if(ok==1) // An to ok ginei 1
    { blinkk=1; // Fortwse sto blinkk ton arithmo 1
    }
}
if((ok==1)&&(menu==1)) // menu_1=1 -- upomenu 1 exei patithei o METASXHMATISTHS
{
    ok=0; // mhdenise ton kataxwrhth ok gia na parei kainouria timh molis vgei apo thn if //-----
-----
    menu=0; // mhdenise ton kataxwrhth menu gia na parei kainouria timh molis vgei apo thn if
    lcd.clear();
}

```

```

    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("--METASXHMATISTHS--"); // An patithei to ok kai
eimai sto menu=1
    delay (2000); // Tha paw sthn selida 2
    lcd.clear();
    start1= 101; // Kane to start1=101 gia na vgei apo thn while 1 tou arxikou menu
    sel=2; // Kane to sel=2
    menu=5; // Kane to menu=5
    menu_1=1; // Kane to menu_1=1
} //-----
if((ok==1)&&(menu==2)) // menu_1=2 -- upomenu 2 exei patithei to SWLHNOEIDES PHNIO
{
    ok=0;
    menu=0;
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("-SWLHNOEIDES PHNIO-");
    delay (2000);
    lcd.clear();
    start1=101;
    sel=16;
    menu=5;
    menu_1=2;
}
if((ok==1)&&(menu==3)) // menu_1=3 -- upomenu 3 exei patithei to KYPSELOEIDES PHNIO
{
    ok=0;
    menu=0;
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("-KYPSELOEIDES PHNIO-");
    delay (2000);
    lcd.clear();
    start1=101;
    sel=16;
    menu=5;
    menu_1=3;
}
}
while((start1>100)&&(start1<130))//While 3 times gia thn
perielhksh//////////////////////////////////// //While 3 times gia thn perielhksh
{
    volt_keyb=analogRead(keyb);
    delay (100);
    if(volt_keyb<10) // An patithei to aristera
    { aristera++; }
    else if((volt_keyb>=90)&&(volt_keyb<=220)) // An patithei to panw

```

```

{ panw=1; }
else if((volt_keyb>=250)&&(volt_keyb<=490)) // An patithei to katw
{ katw=1; }
else if((volt_keyb>=650)&&(volt_keyb<=950)) // An patithei to ok
{ ok++; }
if(panw==1)
{ timi++; panw=0; }
if(katw==1)
{ timi--; katw=0; }
if(timi<0)
{ timi=0; }
if((sel==7) || (sel==11) || (sel==15) || (sel==21) || (sel==27)) // Se autēs tis selides thelw na exw
dekadikous //-----
{
if (timi!=timi1) // To timi1 exei arxikh timh MHDEN(0). Kathe fora pou h timi einai diaforetikh h
ish apo to 0 mpainei mesa sthn if kai tupwnei
{ timi1=timi; timi2=(timi*0.1); // Metatroph se dekadiko
lcd.setCursor(6,2); lcd.print(" "); lcd.setCursor(6,2); lcd.print(timi2); delay(50); }
// Twpenei ta noumera apo to
} //
plhktrologio sunexeia
if((sel==3) || (sel==5) || (sel==9) || (sel==13) || (sel==17) || (sel==19)) // Se autēs tis selides thelw
akeraious arithmous
{ if (timi!=timi1) // To timi1 exei arxikh timh 0. Kathe fora pou h timi einai diaforetikh h ish apo
to 0 mpainei mesa sthn if kai tupwnei
{ timi1=timi; lcd.setCursor(6,2); lcd.print(" "); lcd.setCursor(6,2); lcd.print(timi1);
delay(50); }
} //-----
-----

if(((sel==7) || (sel==11) || (sel==15) || (sel==21)) && (timi>=10)) ////////////////////////////////////////////////////
auto giati to kanoume?
{ timi=10; }
//////////////////////////////////////_Entoles BACK KAI
OK_//////////////////////////////////////
// ENTOLES OK

kai apothikeush timwn //
if((ok==1)&&(sel==3)) // M/S
{ mhkos_karkasas=timi; // M/S To mhkos_karkasas pairnei thn timh pou exei h metavlth timi
timi=0; // Mhdenizw thn metavlth timh gia na einai etoimh(mhden) gia thn epomenh fora pou tha
thn xrhsimopoihsu }
if((ok==1)&&(sel==5)) // M/S sel== h anamonth ths selida 2 |tupwnetai mia fora h sel==4 kai meta
menei sthn anamonth sel==5|
{ speires_p=timi; timi=0; }
if((ok==1)&&(sel==7)) // M/S
{ diatomh_sur_p=timi; timi=0; }
if((ok==1)&&(sel==9)) // M/S
{ speires_d1=timi; timi=0; }

```

```

if((ok==1)&&(sel==11)) // M/S
{ diatomh_sur_d1=timi; timi=0; }
if((ok==1)&&(sel==13)) // M/S
{ speires_d2=timi; timi=0; }
if((ok==1)&&(sel==15)) // M/S Teleutaia selida gia M/S kai allazw While apo Diatomh surmatos
2ou deutereuontos paw Topothethste karkasa
{ diatomh_sur_d2=timi; sel=22; start1=140; timi=0; ok=0; }
if((ok==1)&&(sel==17)) // Kups+swlhn
{ mhkos_karkasas=timi; timi=0; }
if((ok==1)&&(sel==19)) // Kups+swlhn
{ speires_p=timi; timi=0; }
if((ok==1)&&(sel==21)) // Kups+swlhn Teleutaia selida gia Kups+swlhn kai allazw While gia na
paw na epivevaiwsw ta noumera pou edwsa
{ diatomh_sur_p=timi; timi=0; sel=24; start1=140; ok=0; volt_keyb=1023; }
if((ok==1)&&(sel!=15)) // trexei gia oles tis selides ektos apo tin 15
////////////////////////////////////// NA DW TI KANEI
{ sel=sel+1; start1++; ok=0; }
if((aristera==1)&&(menu==5)) // An patithei to back kai eimai sto menu_1 (METASXHM,
SWLHN, KYPSEL) me gurnaei sto arxiko menu DIALEKSE PERIELHKSH
{ start1=1; aristera=0; menu=6; }
if ((aristera==1)&&(menu==6)&&(sel==17)) // An patithei to back kai eimai se swlhn h kupsel kai
sthn 1h selida Mhkos Phniou me gurnaei sto arxiko menu DIALEKSE PERIELHKSH
{ start1=1; aristera=0; }
if((aristera==1)&&(menu>5)&&(sel!=17)) //////////////////////////////////////// NA
DW TI KANEI
{ //kanei piso gia menu megalitero apo 5 periptoseis
sel=(sel-3); aristera=0; }
////////////////////////////////////// SELIDES
//////////////////////////////////////
if(sel==2)////////////////////////////////////// M/S
{ timi=mhkos_karkasas; //////////////////////////////////////// mhpws den xreiazetai edw auto?
lcd.clear(); lcd.setCursor(0,0); lcd.print("Mhkos karkasas"); lcd.setCursor(13,2);
lcd.print("mm"); lcd.setCursor(0,3); lcd.print("BACK OK");
sel++; menu=5; timi1=-1; //////////////////////////////////////// giati timi-1?
delay(300); }
if(sel==4)////////////////////////////////////// M/S
{ menu=6; timi=speires_p; lcd.clear (); lcd.setCursor(0,0); lcd.print("Speires
prwteuontos"); lcd.setCursor(0,3);
lcd.print("BACK OK"); sel++; timi1=-1; delay(300); }
if(sel==6)////////////////////////////////////// M/S
{ timi=diatomh_sur_p; lcd.clear (); lcd.setCursor(0,0); lcd.print("Diatomh surm. prwt.");
lcd.setCursor(13,2); lcd.print("mm");
lcd.setCursor(0,3); lcd.print("BACK OK"); sel++; timi1=-1; delay(300); }
if(sel==8)////////////////////////////////////// M/S
{ timi=speires_d1; lcd.clear (); lcd.setCursor(0,0); lcd.print("Speires 1ou deuter.");
lcd.setCursor(0,3); lcd.print("BACK OK");
sel++; timi1=-1; delay(300); }
if(sel==10)////////////////////////////////////// M/S

```

```

    { timi=diatomh_sur_d1; lcd.clear (); lcd.setCursor(0,0); lcd.print("Diat. surm 1ou deut.");
lcd.setCursor(13,2); lcd.print("mm"); lcd.setCursor(0,3);
    lcd.print("BACK      OK"); sel++; timi1=-1; delay(300); }
    if(sel==12)//////////////////////////////////// M/S
    { timi=speires_d2; lcd.clear (); lcd.setCursor(0,0); lcd.print("Speires 2ou deuter.");
lcd.setCursor(0,3); lcd.print("BACK      OK");
    sel++; timi1=-1; delay(300); }
    if(sel==14)//////////////////////////////////// M/S
    { volt_keyb=1023; menu=6; timi=diatomh_sur_d2; lcd.clear (); lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Diat. surm 2ou deut."); lcd.setCursor(13,2);
    lcd.print("mm"); lcd.setCursor(0,3); lcd.print("BACK      OK"); sel++; timi1=-1;
delay(300); }
    if(sel==16)//////////////////////////////////// SWLHNOEIDES KAI KYPSELOEIDES
    { timi=mhkos_karkasas; lcd.clear (); lcd.setCursor(0,0); lcd.print("Mhkos Phniou");
lcd.setCursor(13,2); lcd.print("mm"); lcd.setCursor(0,3);
    lcd.print("BACK      OK"); sel++; timi1=-1; delay(300); }
    if(sel==18)//////////////////////////////////// SWLHNOEIDES KAI KYPSELOEIDES
    { menu=6; timi=speires_p; lcd.clear (); lcd.setCursor(0,0); lcd.print("Speires Phniou");
lcd.setCursor(0,3); lcd.print("BACK      OK");
    sel++; timi1=-1; delay(300); }
    if(sel==20)//////////////////////////////////// SWLHNOEIDES KAI KYPSELOEIDES
    { menu=6; timi=diatomh_sur_p; lcd.clear (); lcd.setCursor(0,0); lcd.print("Diatomi
surm. phniou"); lcd.setCursor(13,2); lcd.print("mm"); lcd.setCursor(0,3);
    lcd.print("BACK      OK"); sel++; timi1=-1; delay(300); } }
while((start1>139)&&(start1<150))//While 4 Topothethsh karkasa-karouli
surma//////////////////////////////////// //While 4 Topothethsh karkasa-karouli surma
{ volt_keyb=analogRead(keyb); delay(200); volt_keyb=analogRead(keyb);
if((volt_keyb>=90)&&(volt_keyb<=220)) // An patithei to panw
    { panw=1; }
    if((volt_keyb>=250)&&(volt_keyb<=490)) // An patithei to katw
    { katw=1; }
    if(volt_keyb<20) // ENTOLES BACK
    { aristera=1; }
    delay(100);
    if((aristera==1)&&(sel==27)&&(menu_1==1)) // Apo topothethste surma me paei Diatomh
surmatos 2ou deutereuontos
    { k=0; start1=141; select_coil_met=0; menu_1=1; sel=28; mar=0; printcoil=0;
menu=6; aristera=0; volt_keyb=1023; }
    if((aristera==1)&&(menu==8)&&(sel==27)&&((menu_1==2)||(menu_1==3))) // Apo topothethste
surma me paei Diatomh surmatos phniou
    { sel=20; start1=107; // Me paei While 3
    menu=6; aristera=0; volt_keyb=1023; }
    if((aristera==1)&&(menu_1==1)&&(sel==23)) // Apo topothethste karkasa me paei topothethste
surma 2ou deutereuontos
    { sel=14; start1=107; // Me paei While 3
    menu=6; select_coil_met=1; aristera=0; volt_keyb=1023; }
    if((aristera==1)&&(menu==8)&&((menu_1==2)||(menu_1==3))) // Me paei se Diatomh surmatos
phniou mallon apo topothethste surma ////////////////////////////////// na tsekarw

```

```

{ sel=20; // Diatomh surmatos phniou
start1=101; // Me paei While 3
menu=5; aristera=0; volt_keyb=1023; }
if((volt_keyb>=650)&&(volt_keyb<=950)) // ENTOLES OK
{ ok=1; }
if((ok==1)&&(sel==23)&&(menu_1==1)) // Apo topothethste karkasa me paei se SELECT COIL
{ sel=28; // SELECT COIL
menu=7; ok=0; volt_keyb=1023; select_coil_met=0; // Gia na mpw sthn while }
if(((ok==1)&&(sel==25))&&((menu_1==2) || (menu_1==3))) // Apo topothethste karouli me paei
topothethste surma
{ sel=26; ok=0; volt_keyb=1023; }
if(((ok==1)&&(sel==27))&&((menu_1==2) || (menu_1==3))) // Eimai se swlhn h kypsel kai apo
topothethste surma me paei sthn arxikopoihsh ths kefallhs prin thn perielhksh
{ speires=speires_p; diatomh_sur=(diatomh_sur_p/10);
if(diatomh_sur==0.1)
{ mprosta=1; panw_surm=90;}
if(diatomh_sur==0.2)
{ mprosta=1;//5 panw_surm=95; //0.2 }
if(diatomh_sur==0.3)
{ mprosta=1;//5 panw_surm=125; //0.3 }
if(diatomh_sur==0.4)
{ mprosta=1; //7 panw_surm=170; //0.4 }
if(diatomh_sur==0.5)
{ mprosta=1; //7 panw_surm=190; //0.5 }
if(diatomh_sur==0.6)
{ mprosta=1; panw_surm=145; //0.6 }
if(diatomh_sur==0.7)
{ mprosta=1; panw_surm=150; //0.7 }
if(diatomh_sur==0.8)
{ mprosta=1; panw_surm=180; //0.8 }
if(diatomh_sur==0.9)
{ mprosta=1; panw_surm=190; //0.9 }
if(diatomh_sur==1)
{ mprosta=1; panw_surm=220; //1 }
while(strofes_susf<mprosta) // mprosta strofes
{ strofes_susf++;susfiksh=1;
while(susfiksh==1)
{ volt_keyb=1023; lcd.clear (); lcd.setCursor(5,1); lcd.print("SUSFIKSH");
lcd.setCursor(5,2); lcd.print("MPROSTA"); susfiksh=2; }
while(susf3<510)
{ susf3++;
digitalWrite(Pin1, LOW);
digitalWrite(Pin2, HIGH);
digitalWrite(Pin3, HIGH); //A
digitalWrite(Pin4, LOW);
delayMicroseconds(tax);

```

```

digitalWrite(Pin1, LOW);
digitalWrite(Pin2, LOW); //B
digitalWrite(Pin3, HIGH);
digitalWrite(Pin4, HIGH);
delayMicroseconds(tax);

digitalWrite(Pin1, HIGH); //C
digitalWrite(Pin2, LOW);
digitalWrite(Pin3, LOW);
digitalWrite(Pin4, HIGH);
delayMicroseconds(tax);

digitalWrite(Pin1, HIGH); //D
digitalWrite(Pin2, HIGH);
digitalWrite(Pin3, LOW);
digitalWrite(Pin4, LOW);
delayMicroseconds(tax);
}
susf3=0;
digitalWrite(Pin1, LOW); //D
digitalWrite(Pin2, LOW);
}
strofes_susf=0;
while(counter_surm<panw_surm) // panw
{
counter_surm++;
digitalWrite(Pin5, LOW);
digitalWrite(Pin6, HIGH);
digitalWrite(Pin7, HIGH); //A
digitalWrite(Pin8, LOW);
delayMicroseconds(tax);

digitalWrite(Pin5, LOW);
digitalWrite(Pin6, LOW); //B
digitalWrite(Pin7, HIGH);
digitalWrite(Pin8, HIGH);
delayMicroseconds(tax);

digitalWrite(Pin5, HIGH); //C
digitalWrite(Pin6, LOW);
digitalWrite(Pin7, LOW);
digitalWrite(Pin8, HIGH);
delayMicroseconds(tax);

digitalWrite(Pin5, HIGH); //D
digitalWrite(Pin6, HIGH);
digitalWrite(Pin7, LOW);

```

```

digitalWrite(Pin8, LOW);
delayMicroseconds(tax);
}
counter_surm=0;
panw_surm=0;
digitalWrite(Pin5, LOW); //D
digitalWrite(Pin6, LOW);
start1=800; // Gia na vgw apo thn While 4
start=1; // Gia na mpw sthn while ths perielhkshs
mar=1; // Gia na mpw sthn arxikopoihsh ths kefalhs
ok=0;
}
if((ok==1)&&(sel==27)&&(menu_1==1)&&(mprosta==pisw)) // Eimai sto M/S kai apo
topothethste surma me paei sthn arxikopoihsh ths kefalhs prin thn perielhksh
{
start1=800; // Gia na vgw apo thn While 4
start=1; // Gia na mpw sthn while ths perielhkshs
mar=1; // Gia na mpw sthn arxikopoihsh ths kefalhs
ok=0;
}
if((ok==1)&&(sel==27)&&(menu_1==1)&&(mprosta!=pisw)) // Eimai sto M/S kai apo
topothethste surma me paei sthn arxikopoihsh ths kefalhs prin thn perielhksh
{
while(strofes_susf<mprosta) // mprossta strofes
{ strofes_susf++; susfiksh=1;
while(susfiksh==1)
{ volt_keyb=1023; lcd.clear (); lcd.setCursor(5,1); lcd.print("SUSFIKSH");
lcd.setCursor(5,2); lcd.print("AMPROSTA"); susfiksh=2; }
while(susf3<510)
{
susf3++;
digitalWrite(Pin1, LOW);
digitalWrite(Pin2, HIGH);
digitalWrite(Pin3, HIGH); //A
digitalWrite(Pin4, LOW);
elayMicroseconds(tax);

digitalWrite(Pin1, LOW);
digitalWrite(Pin2, LOW); //B
digitalWrite(Pin3, HIGH);
digitalWrite(Pin4, HIGH);
delayMicroseconds(tax);

digitalWrite(Pin1, HIGH); //C
digitalWrite(Pin2, LOW);
digitalWrite(Pin3, LOW);
digitalWrite(Pin4, HIGH);

```

```

delayMicroseconds(tax);

digitalWrite(Pin1, HIGH); //D
digitalWrite(Pin2, HIGH);
digitalWrite(Pin3, LOW);
digitalWrite(Pin4, LOW);
delayMicroseconds(tax);
}
digitalWrite(Pin1, LOW); //D
digitalWrite(Pin2, LOW);
susf3=0;
}
strofes_susf=0; counter_surm=0; while(counter_surm<panw_surm) // panw
{
counter_surm++;
digitalWrite(Pin5, LOW);
digitalWrite(Pin6, HIGH);
digitalWrite(Pin7, HIGH); //A
digitalWrite(Pin8, LOW);
delayMicroseconds(tax);

digitalWrite(Pin5, LOW);
digitalWrite(Pin6, LOW); //B
digitalWrite(Pin7, HIGH);
digitalWrite(Pin8, HIGH);
delayMicroseconds(tax);

digitalWrite(Pin5, HIGH); //C
digitalWrite(Pin6, LOW);
digitalWrite(Pin7, LOW);
digitalWrite(Pin8, HIGH);
delayMicroseconds(tax);

digitalWrite(Pin5, HIGH); //D
digitalWrite(Pin6, HIGH);
digitalWrite(Pin7, LOW);
digitalWrite(Pin8, LOW);
delayMicroseconds(tax);
}
counter_surm=0; panw_surm=0;
digitalWrite(Pin5, LOW); //D
digitalWrite(Pin6, LOW);
start1=800; // Gia na vgw apo thn While 4
start=1; // Gia na mpw sthn while ths perielhkshs
mar=1; // Gia na mpw sthn arxikopoihsh ths kefalhs
ok=0;}
if(sel==22) // Topothethste karkasa

```

```

{
  menu=7;
  lcd.clear ();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Topothethste");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("karkasa");
  lcd.setCursor(0,3);
  lcd.print("BACK      OK");
  sel++;
  select_coil_met=1;
  volt_keyb=1023;
  delay(300);
}
if(sel==24) // Topothethste karouli
{
  menu=8;
  lcd.clear ();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Topothethste");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("karouli");
  lcd.setCursor(0,3);
  lcd.print("BACK      OK");
  sel++;
  delay(300);
}
if((sel==26)&&(mprosta!=pisw)&&(menu_1==1))
{
  while(strofes_susf<pisw){
strofes_susf++; susfiksh=1;
while(susfiksh==1)
  {
    volt_keyb=1023;
    lcd.clear ();
    lcd.setCursor(5,1);
    lcd.print("SUSFIKSH");
    lcd.setCursor(5,2);
    lcd.print("PISW");
    susfiksh=2;
  }
while(susf3<510) // pisw strofes
{
  susf3++;
  digitalWrite(Pin1, HIGH); //D
  digitalWrite(Pin2, HIGH);
  digitalWrite(Pin3, LOW);
}
}

```

```

digitalWrite(Pin4, LOW);
  delayMicroseconds(tax);

      digitalWrite(Pin1, HIGH); //C
digitalWrite(Pin2, LOW);
digitalWrite(Pin3, LOW);
digitalWrite(Pin4, HIGH);
  delayMicroseconds(tax);

digitalWrite(Pin1, LOW);
digitalWrite(Pin2, LOW); //B
digitalWrite(Pin3, HIGH);
digitalWrite(Pin4, HIGH);
  delayMicroseconds(tax);

digitalWrite(Pin1, LOW);
digitalWrite(Pin2, HIGH);
digitalWrite(Pin3, HIGH); //A
digitalWrite(Pin4, LOW);
  delayMicroseconds(tax);
}
susf3=0;
digitalWrite(Pin2, LOW);
  digitalWrite(Pin3, LOW);
}
  val_aisth_kops=digitalRead(aisth_kops);
  while(val_aisth_kops==LOW) // katw
  {
val_aisth_kops=digitalRead(aisth_kops);
digitalWrite(Pin5, HIGH); //D
digitalWrite(Pin6, HIGH);
digitalWrite(Pin7, LOW);
digitalWrite(Pin8, LOW);
  delayMicroseconds(tax);

digitalWrite(Pin5, HIGH); //C
digitalWrite(Pin6, LOW);
digitalWrite(Pin7, LOW);
digitalWrite(Pin8, HIGH);
  delayMicroseconds(tax);

digitalWrite(Pin5, LOW);
digitalWrite(Pin6, LOW); //B
digitalWrite(Pin7, HIGH);
digitalWrite(Pin8, HIGH);

```

```

delayMicroseconds(tax);

digitalWrite(Pin5, LOW);
digitalWrite(Pin6, HIGH);
digitalWrite(Pin7, HIGH); //A
digitalWrite(Pin8, LOW);
delayMicroseconds(tax);
}
digitalWrite(Pin6, LOW);
digitalWrite(Pin7, LOW);
}
if(sel==26) // Topothethste surma
{
  lcd.clear ();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Topothethste surma");
  lcd.setCursor(13,2);//
  lcd.print("mm");
  lcd.setCursor(6,2);//17
  lcd.print(timi2);
  lcd.setCursor(0,3);
  lcd.print("BACK      OK");
  sel++;
  ok=0;
  volt_keyb=1023;
  delay(300);
}
////////////////////////////////////
////////////////////////////////////
while((select_coil_met <1)&&(menu_1==1))
{
  while(sel==28) // Ypomenu gia SELECT COIL apo M/S trexei mia fora
  {
    menu=8;
    lcd.clear ();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("SELECT COIL");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print(" Prwteuon");
    lcd.setCursor(0,2);
    lcd.print(" 1o deutereuon");
    lcd.setCursor(0,3);
    lcd.print("EXIT   v   OK");
    sel=29;
    delay(300);
  }
}

```

```

while((coil==3)&&(sel==29)) //otan coil==3 & einai stin sel ==28=1 alazei yposelida
//////////exw 2 sel=29 kai anamonh kai selida mhpws einai lathos?
{
ok=0;
volt_keyb=1023;
lcd.clear (); //tiponei 2 uposelida selisa 2 DEUT
lcd.setCursor(0,0); // trexei mono mia fora
lcd.print("SELECT COIL");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(" 2o deutereuon");
lcd.setCursor(0,3);
lcd.print("EXIT OK");
sel=30;
coil=1; //PAEI STIN GRAMH 1
delay(300);
}
lcd.setCursor(15,coil);
lcd.print("<-");
delay(300);
lcd.setCursor(15,coil);
lcd.print(" ");
volt_keyb=analogRead(keyb);
delay(300);
volt_keyb=analogRead(keyb);
if((volt_keyb>=90)&&(volt_keyb<=220)) // An patithei to panw
{ panw=1; }
if((volt_keyb>=250)&&(volt_keyb<=490)) // An patithei to katw
{ katw=1; }
if(volt_keyb<20) // ENTOLES BACK
{ aristera=1; }
if((volt_keyb>=650)&&(volt_keyb<=950)) // An patithei to ok
{ ok=1; }

if((katw==1)&&(coil<3)&&(sel==29))//////////if((katw==1)&&(coil
<3&&(sel==29))) to diortwsa
{ coil++; //max coil==3 0,1,2
katw=0; }
if((panw==1)&&(coil>1))
{ coil--; panw=0; }
if((coil==1)&&(sel==30)&&(panw==1)) // Otan einai stin 2 uposelida kai patithei to panw paei
sthn 1 uposelida 1 sel 28
{ sel=28; // to diorthwsa
if(((coil==1)&&(sel==30))&&((volt_keyb>=130)&&(volt_keyb<=150)))
coil=2; // 3 grami panw=0; }
if((ok==1)&&(sel==29)&&(coil==1)&&(menu_1==1)) // OK Prwteuon M/S
//////////
+++++
```

```

{          sel=26;          timi2=(diatomh_sur_p/10);          speires=speires_p;
diatomh_sur=(diatomh_sur_p/10);  start1=143;  start=0;  mar=0;  ok=0;  select_coil_met=1;
printcoil=1;
if(diatomh_sur==0.1)
{  mprosta=1; //thelei 5  panw_surm=90; //0.1  }
if(diatomh_sur==0.2)
{  mprosta=1;  panw_surm=95; //0.2  }
if(diatomh_sur==0.3)
{  mprosta=1;  panw_surm=125; //0.3  }
if(diatomh_sur==0.4)
{  mprosta=1;  panw_surm=170; //0.4  }
if(diatomh_sur==0.5)
{  mprosta=1;  panw_surm=190; //0.5  }
if(diatomh_sur==0.6)
{  mprosta=1;  panw_surm=145; //0.6  }
if(diatomh_sur==0.7)
{  mprosta=1;  panw_surm=150; //0.7  }
if(diatomh_sur==0.8)
{  mprosta=1;  panw_surm=180; //0.8  }
if(diatomh_sur==0.9)
{  mprosta=1;  panw_surm=190; //0.9  }
if(diatomh_sur==1)
{  mprosta=1;  panw_surm=220; //1  }
}
if((ok==1)&&(sel==29)&&(coil==2)&&(menu_1==1)) // OK lo deutereuon M/S
+++++
+++++
{          sel=26;          timi2=(diatomh_sur_d1/10);          speires=speires_d1;
diatomh_sur=(diatomh_sur_d1/10);  start1=143;  start=0;  mar=0;  ok=0;
select_coil_met=1;  printcoil=2;
if(diatomh_sur==0.1)
{  mprosta=1; //thelei 5  panw_surm=90; //0.1  }
if(diatomh_sur==0.2)
{  mprosta=1; //5  panw_surm=95; //0.2  }
if(diatomh_sur==0.3)
{  mprosta=1; //5  panw_surm=125; //0.3  }
if(diatomh_sur==0.4)
{  mprosta=1;  panw_surm=170; //0.4  }
if(diatomh_sur==0.5)
{  mprosta=1;  panw_surm=190; //0.5  }
if(diatomh_sur==0.6)
{  mprosta=1;  panw_surm=145; //0.6  }
if(diatomh_sur==0.7)
{  mprosta=1;  panw_surm=150; //0.7  }
if(diatomh_sur==0.8)
{  mprosta=1;  panw_surm=180; //0.8  }
if(diatomh_sur==0.9)

```

```

    {   mprosta=1;   panw_surm=190; //0.9   }
if(diatomh_sur==1)
{   mprosta=1;   panw_surm=220; //1   }
}
if((ok==1)&&(sel==30)&&(coil==1)&&(menu_1==1)) // OK 2o deutereuon M/S
+++++
+++++
{   sel=26;   timi2=(diatomh_sur_d2/10);   speires=speires_d2;
diatomh_sur=(diatomh_sur_d2/10);   start1=143;   start=0;   mar=0;   ok=0;
select_coil_met=1;   printcoil=3;   if(diatomh_sur==0.1)
{   mprosta=1; //thelei 5
panw_surm=90; //0.1   }
if(diatomh_sur==0.2)
{   mprosta=1;   panw_surm=95; //0.2   }
if(diatomh_sur==0.3)
{   mprosta=1;   panw_surm=125; //0.3   }
if(diatomh_sur==0.4)
{   mprosta=1;   panw_surm=170; //0.4   }
if(diatomh_sur==0.5)
{   mprosta=1;   panw_surm=190; //0.5   }
if(diatomh_sur==0.6)
{   mprosta=1;   panw_surm=145; //0.6   }
if(diatomh_sur==0.7)
{   mprosta=1;   panw_surm=150; //0.7   }
if(diatomh_sur==0.8)
{   mprosta=1;   panw_surm=180; //0.8   }
if(diatomh_sur==0.9)
{   mprosta=1;   panw_surm=190; //0.9   }
if(diatomh_sur==1)
{   mprosta=1;   panw_surm=220; //1   } }
////////////////////////////////////
if((volt_keyb<=30)&&(select_coil_met <1)) // Aristera exit gurnaei sto arxiko menu While 2
{
while(strofes_susf<pisw)
{
strofes_susf++; susfiksh=1;
while(susfiksh==1)
{
volt_keyb=1023;
lcd.clear ();
lcd.setCursor(5,1);
lcd.print("SUSFIKSH");
lcd.setCursor(8,2);
lcd.print("pisw");
susfiksh=2;
}
while(susf3<510) // pisw strofes

```

```

{
  susf3++;
  digitalWrite(Pin1, HIGH); //D
  digitalWrite(Pin2, HIGH);
  digitalWrite(Pin3, LOW);
  digitalWrite(Pin4, LOW);
  delayMicroseconds(tax);

  digitalWrite(Pin1, HIGH); //C
  digitalWrite(Pin2, LOW);
  digitalWrite(Pin3, LOW);
  digitalWrite(Pin4, HIGH);
  delayMicroseconds(tax);

  digitalWrite(Pin1, LOW);
  digitalWrite(Pin2, LOW); //B
  digitalWrite(Pin3, HIGH);
  digitalWrite(Pin4, HIGH);
  delayMicroseconds(tax);

  digitalWrite(Pin1, LOW);
  digitalWrite(Pin2, HIGH);
  digitalWrite(Pin3, HIGH); //A
  digitalWrite(Pin4, LOW);
  delayMicroseconds(tax);
}
susf3=0;
digitalWrite(Pin2, LOW);
digitalWrite(Pin3, LOW); //A
}
val_aisth_kops=digitalRead(aisth_kops);
while(val_aisth_kops==LOW) // katw
{
  val_aisth_kops=digitalRead(aisth_kops);
  digitalWrite(Pin5, HIGH); //D
  digitalWrite(Pin6, HIGH);
  digitalWrite(Pin7, LOW);
  digitalWrite(Pin8, LOW);
  delayMicroseconds(tax);

  digitalWrite(Pin5, HIGH); //C
  digitalWrite(Pin6, LOW);
  digitalWrite(Pin7, LOW);
  digitalWrite(Pin8, HIGH);
  delayMicroseconds(tax);

  digitalWrite(Pin5, LOW);

```

```

digitalWrite(Pin6, LOW); //B
digitalWrite(Pin7, HIGH);
digitalWrite(Pin8, HIGH);
delayMicroseconds(tax);

digitalWrite(Pin5, LOW);
digitalWrite(Pin6, HIGH);
digitalWrite(Pin7, HIGH); //A
digitalWrite(Pin8, LOW);
delayMicroseconds(tax);
}
digitalWrite(Pin6, LOW);
digitalWrite(Pin7, LOW);
    start1=1; // Gia na paei sto prwto menu while(start1<50)
    select_coil_met=1; // Gia na vgei apo thn while select_coil_met<1
    volt_keyb=1023;
    delay(200);
}
}
}
    digitalWrite(dirPinM, HIGH); // An?ee? oinU eaoayeioco IaaUeio iioYn
    digitalWrite(dirPinm, HIGH); // An?ee? oinU eaoayeioco ieeniy iioYn
while((mar==1)&&(sel==27))
{
    mar=2;
    start=0;
    lcd.clear ();
    lcd.setCursor(2,1);
    lcd.print("<-ARXIKOPOIHSH->");
    delay(100);
    //start=1;
}
while(mar==2) // arxikopoihsh kefalhs prin thn perieliksh
{
    volt_keyb=analogRead(keyb); val_diakopti=digitalRead(diakoptis);
    if(((volt_keyb>=0)&&(volt_keyb<=30))&&(val_diakopti==LOW)) // Paei aristera h kefalh
    {
        digitalWrite(dirPinm, HIGH);
        digitalWrite(stepPinm, LOW);
        delayMicroseconds(600);
        digitalWrite(stepPinm, HIGH);
        delayMicroseconds(600);
        volt_keyb=1023;
    }
    if((volt_keyb>=495)&&(volt_keyb<=600)) // Paei deksia h kefalh
    {
        digitalWrite(dirPinm, LOW);

```

```

digitalWrite(stepPinm, LOW);
delayMicroseconds(600);
digitalWrite(stepPinm, HIGH);
delayMicroseconds(600);
volt_keyb=1023;
}
if(((volt_keyb>=650)&&(volt_keyb<=950))&&(mar==2)) // OK
////////////////////////////////////
{
volt_keyb=analogRead(keyb); delay (200); volt_keyb=analogRead(keyb); }
if(((volt_keyb>=650)&&(volt_keyb<=950))&&(mar==2)) // OK
//////////////////////////////////// -----
{ volt_keyb=1023; susfiksh=1; mar=4; }
}
while(mar==4) // An paththei to ok tuligei
{
volt_keyb=1023;
lcd.clear ();
lcd.setCursor(5,1);
lcd.print("PERIELHKSH");
lcd.setCursor(8,2);
lcd.print("N= ");
start=1;
mar=5;
}
while(start==1)// While 5
PERIELHKSH////////////////////////////////////
//While 5 PERIELHKSH
{
while(mar==5)//////////////////////////////////// kanei midenismo metabliton // kanei prakseis mia fora kai
sinexizei gia na tiliksei
{
speires_up=0; // Metraei speires gia tin endiksi

g=(kuklos*diatomh_sur); // Anamia strofi toyb megaloy (200 bimata)to mikro tha kanei g bimata
t=(kuklos/g); // Ana posa vhmata tou Megalou moter tha kanei ena vhma to mikro
z=(t*100); // To pollaplasiazw me *100 gia na mporw na diavasw mexri kai 2 dekadika
pou vgazei h diairesis kai na mhn exw counter pou tha metraei dekadika
allagh_k=((mHKos_karkasas*100)/(diatomh_sur*100)); // ta kanW epi 10 gia na min parv dekadika
meta tin dieresi
digitalWrite(dirPinm,LOW);
mar=6;}
val_aisth_kops=digitalRead(aisth_kops); // diabazei ton aisthitira gia to kocimo
while((i<speires)&&(val_aisth_kops==LOW)) // Trexei gia oses speires exoume dwsei kai oso o
diakopths arxikopoihs den einai pathmenos
{
i++;
}
}

```

```

speires_up++;
counter_allagh++; // metraei gia tin alagi kateuthnsis
lcd.setCursor(10,2);
lcd.print(speires_up);
counter_M_M=0; // metraei gia na dosei bima sto megalo moter// molis dosei bima midenizei
counter_m_m=0; // metraei gia na dosei bima sto megalo moter// molis dosei bima midenizei
if (a==20000)
{   a=0;   }
while (a<20000) // Trexei mia plhrh peristrofh (200 vhmata) *100 gia na mporoun na trexoun oi
counter me akaireous kai oxi me dekadikous arithmous
{ a++;
  if(counter_st==1)
  {   counter_st=0;
    val_aisth_kops=digitalRead(aisth_kops); // Diakopths mplokarismatos surmatos
    if(val_aisth_kops==HIGH) // An mplokarei stamataei kai vgainei eksw apo thn While 5
    { start=0; mar=6; block=1; a=20002;   }
    }
    if(counter_M_M==100) // Gia kathe ena noumero to Megalo moter kanei 1 vhma
    {   digitalWrite(stepPinM, HIGH);   }
    if(counter_m_m==z) // Analoga ta (surma, karkasa, speires) to mikro moter tha kanei 1 vhma
otan to Megalo moter kanei enan arithmo vhmatawn
    {   digitalWrite(stepPinm, HIGH);   }
    delayMicroseconds(taxitita);
    if(counter_M_M==100)           //kanei 1 bima
    {
    digitalWrite(stepPinM, LOW);
    counter_M_M=0;
    counter_vhmata_M_M;           // metraei gia thn allagh kateuthnsis
    counter_st++;
    }
    if(counter_m_m==z)
    {
    digitalWrite(stepPinm, LOW);
    counter_m_m=0;           //metraei gia tin metatopish tis kefalhs
    }
    delayMicroseconds(taxitita);
    counter_M_M++; // metraei gia na dosei bima sto megalo moter// molis dosei bima midenizei
    counter_m_m++; // metraei gia na dosei bima sto megalo moter// molis dosei bima midenizei
    if((counter_allagh==allagh_k)&&(dir==0)) // Allagh kateuthunshs kefalhs (deksiostrofa)
    {   counter_allagh=0;   digitalWrite(dirPinm,LOW); //enalagi katastasis
      dir=1;   }
    if(( counter_allagh==allagh_k)&&(dir==1)) // Allagh kateuthunshs kefalhs (aristerostrofa)
    {   counter_allagh=0;   digitalWrite(dirPinm,HIGH); //enalagi katastasis
      dir=0;   }
    } // telionontas exei kanei 1 kyklo to megalo moter kai to mikro antistixa bimata
} // BGENONTAS APO EDW EXEI TELIOSEI H PERIELIKSH
start=0; // Telos perielhkshs

```

```

    mar=6;
    if(speires_up==speires) // OTAN EXW TELIOSEWEI THN PERIELIKSI XORIS
    DIAKOPH //SETAREI STIS ARXIKES KATASTASEIS
    {
        i=0; // TO i einai stin katametrish ton spirwn //
    while((i<speires)&&(val_aisth_kops==1))
        counter_allagh=0; // metra spires kai otan ginei == allagi allazei kateythinsi kai
        meta midenizei //edw ton midenizoyme gia na jekina tin epomeni perieliksi me 0
        digitalWrite(dirPinm,HIGH); // meta to telos perieliksis einoyme tin arxikh kateuthinsi
        dir=1; // meta to telos perieliksis einoyme tin arxikh kateuthinsi
    } }
while((mar==6)&&(start==0))// While 6 TELOS
PERIELHKSHS////////////////////////////////////// //While 6
TELOS PERIELHKSHS
{
    if (block==1) // Otan mplokarei o diakopths surmatos
    {
        lcd.clear ();
        lcd.setCursor(1,0);
        lcd.print("mplokarisma");
        lcd.setCursor(1,2);
        lcd.print("Speires N=");
        lcd.setCursor(11,2);
        lcd.print(speires_up);
        lcd.setCursor(18,3);
        lcd.print("OK");
        block=2;
        delay(300);
    }
    if(((menu_1==2)||((menu_1==3)&&(k==0)&&(block==0)))
    {
        lcd.clear ();
        lcd.setCursor(1,0);
        lcd.print("TELOS PERIELHKSHS");
        lcd.setCursor(4,1);
        lcd.print("Sunolo speirwn");
        lcd.setCursor(8,2);
        lcd.print("N=");
        lcd.setCursor(11,2);
        lcd.print(speires);
        lcd.setCursor(0,3);
        lcd.print("REPEAT");
        lcd.setCursor(16,3);
        lcd.print("EXIT");
        k=1;
        delay(300);
    }
}

```

```

if ((menu_1==1)&&(k==0)&&(printcoil==1)&&(block==0))
{
  lcd.clear ();
  lcd.setCursor(1,0);
  lcd.print("TELOS PERIELHKSHS");
  lcd.setCursor(4,1);
  lcd.print("Prwteuontos");
  lcd.setCursor(0,2);
  lcd.print("Speires N=");
  lcd.setCursor(10,2);
  lcd.print(speires);
  lcd.setCursor(0,3);
  lcd.print("BACK");
  k=1;
  delay(300);
  pisw=mprosta;
  mprosta=0;
  strofes_susf=0;
}
if ((menu_1==1)&&(k==0)&&(printcoil==2)&&(block==0))
{
  lcd.clear ();
  lcd.setCursor(1,0);
  lcd.print("TELOS PERIELHKSHS");
  lcd.setCursor(4,1);
  lcd.print("1o deutereuon");
  lcd.setCursor(1,2);
  lcd.print("Speires N=");
  lcd.setCursor(11,2);
  lcd.print(speires);
  lcd.setCursor(0,3);
  lcd.print("BACK");
  k=1;
  delay(300);
  pisw=mprosta;   mprosta=0;   strofes_susf=0;
}
if ((menu_1==1)&&(k==0)&&(printcoil==3)&&(block==0))
{
  lcd.clear ();
  lcd.setCursor(1,0);
  lcd.print("TELOS PERIELHKSHS");
  lcd.setCursor(4,1);
  lcd.print("2o deutereuon");
  lcd.setCursor(1,2);
  lcd.print("Speires N=");
  lcd.setCursor(11,2);
  lcd.print(speires);
}

```

```

    lcd.setCursor(0,3);
    lcd.print("BACK");
    k=1;
    delay(300);
    pisw=mprosta;    mprosta=0;    strofes_susf=0;
    }
    if(((volt_keyb>=650)&&(volt_keyb<=950))&&((menu_1==2)||(menu_1==3))&&(block==0))
//dexia exit
    {
    strofes_susf=0;
    lcd.clear ();
    lcd.setCursor(5,1);
    lcd.print("WAIT...");
    while(strofes_susf<mprosta)
    {
    strofes_susf++;

    while(susf3<510)
    {
    susf3++;
    digitalWrite(Pin1, HIGH); //D
    digitalWrite(Pin2, HIGH);
    digitalWrite(Pin3, LOW);
    digitalWrite(Pin4, LOW);
    delayMicroseconds(tax);

    digitalWrite(Pin1, HIGH); //C
    digitalWrite(Pin2, LOW);
    digitalWrite(Pin3, LOW);
    digitalWrite(Pin4, HIGH);
    delayMicroseconds(tax);

    digitalWrite(Pin1, LOW);
    digitalWrite(Pin2, LOW); //B
    digitalWrite(Pin3, HIGH);
    digitalWrite(Pin4, HIGH);
    delayMicroseconds(tax);

    digitalWrite(Pin1, LOW);
    digitalWrite(Pin2, HIGH);
    digitalWrite(Pin3, HIGH); //A
    digitalWrite(Pin4, LOW);
    delayMicroseconds(tax);
    }
    digitalWrite(Pin2, LOW);
    digitalWrite(Pin3, LOW); //A
    susf3=0;

```

```

}
val_aisth_kops=digitalRead(aisth_kops);
while(val_aisth_kops==LOW) // katw
{
val_aisth_kops=digitalRead(aisth_kops);
digitalWrite(Pin5, HIGH); //D
digitalWrite(Pin6, HIGH);
digitalWrite(Pin7, LOW);
digitalWrite(Pin8, LOW);
delayMicroseconds(tax);

digitalWrite(Pin5, HIGH); //C
digitalWrite(Pin6, LOW);
digitalWrite(Pin7, LOW);
digitalWrite(Pin8, HIGH);
delayMicroseconds(tax);

digitalWrite(Pin5, LOW);
digitalWrite(Pin6, LOW); //B
digitalWrite(Pin7, HIGH);
digitalWrite(Pin8, HIGH);
delayMicroseconds(tax);

digitalWrite(Pin5, LOW);
digitalWrite(Pin6, HIGH);
digitalWrite(Pin7, HIGH); //A
digitalWrite(Pin8, LOW);
delayMicroseconds(tax);
}
digitalWrite(Pin6, LOW);
digitalWrite(Pin7, LOW);
k=0; start=1; mar=1; volt_keyb=1023;
}
val_aisth_kops=digitalRead(aisth_kops);
if(((volt_keyb>=650)&&(volt_keyb<=950))&&(val_aisth_kops==LOW)&&(block==2)) // Otan
ksemplokarei o diakopths sunexizei h perieljksh giati start=1
{
val_aisth_kops=digitalRead(aisth_kops);// kai val_aisth_kops=1 kai i++ den exei mhdenisei
start=1; mar=20; volt_keyb=1023; block=0; a=0;
lcd.clear ();
lcd.setCursor(5,1);
lcd.print("PERIELHKSH");
lcd.setCursor(8,2);
lcd.print("N= ");
}
if ((volt_keyb<=10)&&((menu_1==2)||((menu_1==3)))) // Repeat apo Swlhnoeidh kai kypselweidh
{ k=0; start=1; mar=1; counter_allagh=0; volt_keyb=1023; delay(100); }

```

```
    if((volt_keyb<=10)&&(menu_1==1)) // back apo M/S
    {
        k=0;    start1=141;    select_coil_met=0;    sel=28;    mar=0;    printcoil=0;
strofes_susf=0;    }
        volt_keyb=1023;
        volt_keyb=analogRead(keyb);
        digitalWrite(buzz, HIGH); // Otan teleiwsei h perielhksh xtupaei to buzzer mexri o xeirhsths na
kanei repeat h exit
        delay(200);
        volt_keyb=analogRead(keyb);
        digitalWrite(buzz, LOW);
        delay(200);
    }
} // Telos loop
```