



ΙΟΝΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΗΣ ΤΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΨΗΦΙΑΚΩΝ ΜΕΣΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ

«ΑΝΟΙΧΤΗ ΟΠΤΙΚΟ-ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΠΛΑΤΦΟΡΜΑ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΝΑΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΕΙΚΟΝΩΝ-ΠΟΛΥΜΕΣΩΝ ΜΕΣΩ ΧΕΙΡΟΝΟΜΙΩΝ»



Μεταπτυχιακός Φοιτητής: Κιόσης Κωνσταντίνος

Επιβλέπον Καθηγητής: Φλώρος Άγγελος

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Όταν η τεχνολογία συνάντησε την τέχνη, ένα από τα αποτελέσματα της ήταν η δημιουργία μια τεράστιας μουσικής βιομηχανίας ραγδαία αναπτυσσόμενης. Με το πέρασμα στην ψηφιακή εποχή και την τεράστια εξέλιξη στους μικροεπεξεργαστές, πολλοί καλλιτέχνες στράφηκαν στην ηλεκτρονική μουσική. Όταν ο ήχος συνδιάζεται με κινούμενη εικόνα δημιουργούν ένα νέο πεδίο έκφρασης, δημιουργίας και επικοινωνίας, την Οπτικοακουστική Τέχνη. Ολόκληρη η μουσική τεχνολογία και τα οπτικοακουστικά μέσα άρχισαν να εξελίσσονται με γοργούς ρυθμούς προσφέροντας στους μουσικούς και στις αναζητήσεις της σύγχρονης καλλιτεχνικής σκηνης μεγαλύτερο εύρος δημιουργικότητας και επεξεργασίας, περισσότερη ευελιξία, άνεση και ασφάλεια.

Το Τμήμα Τεχνών Ήχου και Εικόνας έχει δώσει τη δυνατότητα στους σπουδαστές του να σκέφτονται παράλληλα πρακτικά και δημιουργικά, μέσω των γνώσεων και των πολλών ερεθισμάτων που τους παρέχει. Ο συνδυασμός όλων αυτών των ερεθισμάτων και κίνητρων από τους διαφορετικούς κλάδους, όπως των διαδραστικών εγκαταστάσεων, της τέχνης του ήχου και διαφόρων άλλων οδήγησε στην δημιουργία της ιδέας αυτής της διπλωματικής εργασίας που προτείνεται σε αυτό το έγγραφο.

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία παρουσιάζεται η κατασκευή ενός φωτοευαίσθητου ηλεκτρονικού μουσικού οργάνου με δέσμες Laser. Οι δέσμες δημιουργούνται από μία πηγή Laser μέσω βηματικού μοτέρ. Ο αριθμός των δεσμών, η ταχύτητα απόκρισης και η ευαισθησία των φωτοαντιστάσεων καθορίζονται και ελέγχονται από τον ανοιχτό κώδικα ενός μικροελεγκτή (Arduino), όπου με την ταχύτατη εξέλιξη τους αποτελεί ένα πανίσχυρο εργαλείο για απλές και πολύπλοκες μουσικές εφαρμογές. Πρόκειται για μια ανοιχτή πλατφόρμα (διάταξη) μουσικής δημιουργίας μέσω οπτικό-ηλεκτρονικών διεπαφών (αισθητήρων). Εκμεταλλεύεται την κινησιολογία του ανθρώπου όπου μέσω των δεσμών laser και του μικροελεγκτή, δημιουργεί ή αναπαράγει πληθώρα μουσικών αρθρώσεων σαν ένας πραγματικός γενικός ελεγκτής MIDI. Επίσης, δίνεται η ελευθερία στον δημιουργό να επιλεγεί όποιο μουσικό όργανο επιθυμεί. Επιπλέον οι αρθρώσεις μπορούν να περιλαμβάνουν ηχοτοπία, δηλαδή σύνολο ήχων που παράγονται σε ένα οικοσύστημα, είτε ανθρωπογενών (μουσική, ανθρώπινη συμπεριφορά, ήχοι που παράγονται από τα μέσα μεταφοράς, τις βιομηχανίες, κ.α.) είτε φυσικών (όπως ήχοι ζώων, καιρικών και γεωλογικών φαινομένων, κ.α.). Το σύστημα μας έχει το πλεονέκτημα επέκτασης με επιπλέον αισθητήρες προσφέροντας πολύ μεγαλύτερη διαδραστικότητα.

Κατόπιν πολλών πειραματισμών, εναλλαγών και δοκιμών τόσο στον ηλεκτρονικό σχεδιασμό όσο και στον κώδικα του Arduino το τελικό αποτέλεσμα ήταν πολύ ικανοποιητικό

με υψηλές αποκρίσεις. Η ευκολία με την οποία δημιουργείται και αναπαράγεται η μουσική, μέσω της διάταξή μας, θα μπορούσε να την καταστήσει ως ένα εργαλείο εκμάθησης και ψυχαγωγίας για ανθρώπους κάθε ηλικίας (κυρίως παιδιά) που δεν απαιτεί μουσική γνώση, καθώς και ίσως ως ένα εργαλείο μουσικοθεραπείας λόγω του ότι συνδυάζει διαφορετικές μορφές έκφρασης όπως είναι η κίνηση, ο λόγος και η μουσική ή ηχητική δημιουργία, μέσω του μουσικού αυτοσχεδιασμού

Ο τίτλος της διπλωματικής εργασίας που προτείνετε είναι : “Ανοιχτή οπτικό-ηλεκτρονική πλατφόρμα δημιουργίας και αναπαραγωγής ήχων μέσω χειρονομιών”.

Τα πεδία έρευνας που θα κινηθεί αυτή η διπλωματική εργασία είναι οι διαδραστικές εγκαταστάσεις και η τέχνη του ήχου.

Abstract

When technology and art coalesced, one of its results was the creation of a huge rapidly growing music industry. With the passage to the digital age and the huge evolution of microprocessors, many artists turned to electronic music. When sound is combined with animation, they create a new field of expression, creation and communication, audiovisual art. Music technology and audiovisual media began to evolve rapidly, offering musicians a greater range of creativity and processing, more flexibility, comfort and security.

The department of audio and visual arts has enabled its students to think practically and creatively, through the knowledge and the many stimuli it provides them. The combination of all these stimuli and motivations from the different disciplines, such as interactive installations, sound art and various others led to the creation of the idea of this thesis proposed in this paper.

In this thesis, the construction of a photosensitive electronic musical instrument with laser beams, is presented. The beams are created from a laser source via a stepper motor. The number of beams, the speed of response and the sensitivity of photoresistors are determined and controlled by an open source microcontroller (Arduino), which with its rapid evolution is a powerful tool for simple and complex musical applications. It is an open platform (layout) of music creation through optical-electronic interfaces (sensors). It takes advantage of human kinesiology where through laser beams and the microcontroller, it creates or reproduces a plethora of musical articulations like a real general MIDI controller. Also, the creator may choose any musical instrument. In addition, articulations can include soundscapes, i.e. sounds produced in an ecosystem, either anthropogenic (music, human behavior, sounds produced by means of transport, industries etc.) or natural (such as sounds of animals, weather and geological phenomena etc.). Our system has the option to be expanded with additional sensors offering much greater interactivity.

After much experimentation, alternation and testing in both electronic design and the code of the Arduino the final result was very satisfactory with high responses. The ease with which music is created and reproduced, through our layout, could make it a learning and entertaining tool for people of all ages (especially children) that does not require musical knowledge, as well as perhaps a music therapy tool due to the fact that it combines different forms of expression such as movement, speech and music or sound creation, through musical improvisation.

The suggested title for this dissertation is: “Open visual-electronic platform for creating and reproducing sounds through gestures”.

The fields of research that this thesis will analyze are interactive installations and the art of sound.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	8
1.1	Μουσικά όργανα	9
1.2	Ηλεκτρονικά μουσικά όργανα	9
1.3	Ο αναλογικός συνθετητής (Analogue Synthesizer)	10
1.4	Ο Ψηφιακός συνθετητής (DigitalSynthesizer)	11
1.5	Υπολογιστική (Αλγοριθμική) μουσική	12
1.6	Σύγχρονα μουσικά ηλεκτρονικά όργανα.....	13
2	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	14
2.1	LASER HARP - ΕΙΣΑΓΩΓΗ	14
2.2	Είδη Laser harp	15
3	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3	19
3.1	ΤΟ LASER	19
3.2	Οι ιδιότητες των ακτινών Laser	24
3.2.1	Η μονοχρωματικότητα.....	25
3.2.2	Η Κατευθυντικότητα	27
3.2.3	Η Λαμπρότητα	29
3.2.4	Η συμφωνία	30
3.3	Τύποι laser και βασικές παράμετροι.....	32
4	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4.....	35
4.1	ΒΗΜΑΤΙΚΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ (STEPPINGMOTOR).....	35
4.2	Κατασκευή βηματικού κινητήρα	36
4.3	Είδη Βηματικών κινητήρων	36
4.3.1	Βηματικός κινητήρας μόνιμου μαγνήτη.....	37
4.3.2	Βηματικοί κινητήρες μεταβλητής μαγνητικής αντίδρασης	38
4.3.3	Υβριδικοί βηματικοί κινητήρες.....	38
4.4	Αρχή λειτουργίας.....	39
4.5	Λειτουργία «μισού» βήματος.....	41
4.6	Χαρακτηριστικές λειτουργίες.....	43
4.7	Χαρακτηριστικά μεγέθη	45
4.8	Έλεγχος Βηματικού Κινητήρα	46
4.9	Έλεγχος ανοικτού βρόγχου	47
4.10	Έλεγχος κλειστού βρόγχου	47
4.11	Μεθοδολογίες λειτουργίας	48

4.12	Πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα.....	53
4.13	Οδηγός αναγνώρισης βηματικού κινητήρα	54
4.14	Χαρακτηριστικά - Τάση - ρεύμα λειτουργίας.....	58
5	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5.....	60
5.1	ARDUINO.....	60
5.2	Εκδόσεις υπολογιστικής πλατφόρμας Arduino.....	61
5.3	Arduino Uno -Αναλυτική περιγραφή.....	66
5.4	Μονάδες επέκτασης υπολογιστικής πλατφόρμας Arduino («Arduino Shields»)	70
5.5	Το περιβάλλον προγραμματισμού ARDUINO IDE	70
5.6	Η «γλώσσα» της υπολογιστικής πλατφόρμας Arduino.....	72
5.7	Βιβλιοθήκες της υπολογιστικής πλατφόρμας Arduino	77
	• Βιβλιοθήκη βηματικών κινητήρων τύπου «STEPPER».....	77
5.8	Εφαρμογές της πλατφόρμας Arduino	79
6	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6.....	82
6.1	Ολόγραμμα	82
6.2	Τύποι ολογραμμάτων	83
7	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7.....	87
7.1	Αποτύπωση Συνδεσμολογίας.....	87
8		92
9	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8.....	93
8.1	MIDIInterface	93
8.2	Resolume Arena 6.....	93
8.3	LOGIC PRO X.....	95
10	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9.....	97
9.1	Κατασκευή	97
11	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10.....	101
10.1	Μελλοντικές Εργασίες.....	101
12	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11.....	102
11.1	Συμπεράσματα	102
13	ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12.....	103
12.1	Προβλήματα	103
14	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	104

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 Μουσικά όργανα

Τα μουσικά όργανα διαθέτουν χαρακτηριστικά που είναι κοινά μεταξύ τους. Ένας ή σπανιότερα περισσότεροι παίκτες, αλληλοεπιδρά με μέρος του υλικού του οργάνου, τη διεπαφή του, με τρόπο ώστε να παράγεται ο επιθυμητός ήχος. Ο μηχανισμός παραγωγής και ενίσχυσης του ήχου αφορούν στην τεχνολογία του μουσικού οργάνου. Συνήθως, περιλαμβάνουν μια ηχητική πηγή που παράγει το ηχητικό σήμα και ένα ηχείο που το ενισχύει. Η τεχνική και οι επιλογές στη χρήση του οργάνου αφορούν στην ικανότητα και στην εκφραστικότητα του οργανοπαίκτη. Η μεταξύ τους επικοινωνία καθορίζεται από την υλική διεπαφή του μουσικού οργάνου με τον οργανοπαίκτη. Συνήθη παραδείγματα διεπαφών είναι η χορδή, το πλήκτρο και το επιστόμιο.

Όταν η τεχνολογία συνάντησε την τέχνη, ένα από τα αποτελέσματα της ήταν η δημιουργία μια τεράστιας μουσικής βιομηχανίας ραγδαία αναπτυσσόμενης. Αφού τα υπάρχοντα μουσικά μέσα είχαν πλέον εξαντλήσει τις δυνατότητες τους, καινούρια όργανα έπρεπε να δημιουργηθούν για την ανάπτυξη μιας νέας εκφραστικής γλώσσας που θα προσέφερε νέες μορφοποιητικές και ηχοχρωματικές δυνατότητες. Με το πέρασμα στην ψηφιακή εποχή και την τεράστια εξέλιξη στους μικροεπεξεργαστές, πολλοί καλλιτέχνες στράφηκαν στην ηλεκτρονική μουσική. Ολόκληρη η μουσική τεχνολογία άρχισε να εξελίσσεται με γοργούς ρυθμούς προσφέροντας στους μουσικούς μεγαλύτερο εύρος δημιουργικότητας και επεξεργασίας, περισσότερη ευελιξία, άνεση και ασφάλεια.

1.2 Ηλεκτρονικά μουσικά όργανα

Ένα μουσικό όργανο χαρακτηρίζεται ηλεκτρονικό, όταν μέσα στη διαδικασία παραγωγής ήχου εμπλέκεται κάποιο ηλεκτρονικό κύκλωμα και/ ή κάποια ψηφιακή συσκευή. Το ηχητικό σήμα που παράγεται από μια τέτοια διάταξη, άγεται στην είσοδο ενός ενισχυτή που οδηγεί σε ένα ηχείο. Τα ηλεκτρονικά μουσικά όργανα είναι ένα υποσύνολο των μουσικών οργάνων, διαθέτουν ως εκ τούτου τα χαρακτηριστικά που είναι κοινά μεταξύ αυτών και αναφέρθηκαν συνοπτικά παραπάνω. Καθένα όμως από αυτά διαφέρει σε σχέση με τα παραδοσιακά μουσικά όργανα ως προς την υλοποίηση (Εικόνα 2.1).



Εικόνα 3.2: Modular Synthesizer

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι συνθετητές αρχικά, ήταν μονοφωνικά όργανα. Ελάχιστες υλοποιήσεις μπορούσαν να παράγουν διφωνίες, όπως π.χ. το MoodSonicSix. Για να επιτευχθεί πολυφωνία έπρεπε να συνδυαστεί το κύκλωμα του συνθετητή με τα κυκλώματα ενός οργάνου, όπως για παράδειγμα στο MoodPolymoog. Το 1977 εμφανίζεται ο πρώτος συνθετητής που είχε στην "καρδιά" του μικροελεγκτή και παράλληλα συνδύαζε μικρό βάθος σε προσιτή τιμή (Εικόνα 2.3). Ήταν το SequentialCircuitsProphet-5 που έδωσε ώθηση προς μια νέα γενιά συνθετητών.



Εικόνα 3.3: Ο Ρόμπερτ Άρθουρ Μουγκ (RobertArthurMoog) και το Moogsynthesizer

1.4 Ο Ψηφιακός συνθετητής (DigitalSynthesizer)

Τη δεκαετία του 1980 κάνει την εμφάνισή του ο ψηφιακός συνθετητής. Ο ψηφιακός συνθετητής παράγει ήχο μέσω της ψηφιακής επεξεργασίας σήματος (DigitalSignalProcessing). Εδώ τα αναλογικά ηλεκτρονικά κυκλώματα δίνουν τη θέση τους σε έναν μικροελεγκτή ο οποίος μπορεί να "τρέχει" αλγορίθμους. Δηλαδή στο ρόλο του συνθετητή υπάρχει ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής. Ο ψηφιακός συνθετητής αρχικά ήταν ικανός να επιτύχει σύνθεση συχνοτικής διαμόρφωσης (FMFrequencyModulation), μια μορφή

ηχοχρωματικής σύνθεσης ασταθούς με τον αναλογικό συνθετητή. Επιπλέον, ήταν ικανός και για Additivesynthesis, ενώ καθώς οι ταχύτητες των μικροελεγκτών αυξάνονταν (και αυξάνονται) έγινε δυνατή η χρήση άλλων τύπων, όπως PhysicalModelling και WavetableSynthesis.

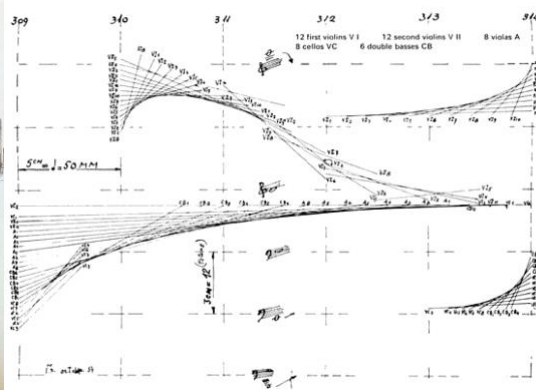
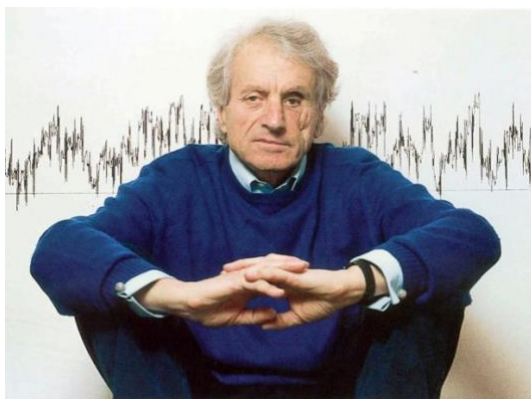
Ο ψηφιακός συνθετητής εμφανίστηκε σταδιακά με αύξουσα ποιότητα και φθίνον κόστος. Έτσι σταδιακά υπέρσχυσε του αναλογικού. Παρ' όλα αυτά η προτίμηση πολλών καλλιτεχνών στον αναλογικό ήχο οδήγησε και οδηγεί στη δημιουργία ψηφιακών συνθετητών που προσεγγίζουν τον αναλογικό ήχο (Εικόνα 2.4).



Εικόνα 3.4: O Digital Synthesizer Yamaha Dx7

1.5 Υπολογιστική (Αλγοριθμική) μουσική

Παράλληλα με τις παραπάνω εξελίξεις, ήδη από τη δεκαετία του 1950 αναπτύσσεται η τάση της αλγοριθμικής μουσικής σύνθεσης με πρωτοπόρο τον Ιωάννη Ξενάκη (Εικόνα 2.5). Ο Ξενάκης ξεκίνησε το ρεύμα που ονομάστηκε στοχαστική μουσική, αξιοποιώντας στοχαστικά μαθηματικά μοντέλα, για να παράξει τις παραμέτρους μιας μουσικής σύνθεσης. Επιχείρησε αρχικά στο χαρτί, στο έργο του Metastasis(1953-1954), όμως αργότερα στράφηκε σε χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή. Αυτό το ρεύμα εξελίσσεται μέχρι σήμερα. Η δημιουργία ειδικού λογισμικού όπως το Max, αλλά και ειδικές γλώσσες προγραμματισμού όπως η Csound, βασισμένη στη γλώσσα προγραμματισμού C, χρησιμοποιούνται τόσο για σύνθεση όσο και για αυτοσχεδιασμό.



Εικόνα 3.5: α) Ιάννη Ξενάκη, β) το χειρόγραφο του συνθέτη στο *Metastaseis*

1.6 Σύγχρονα μουσικά ηλεκτρονικά όργανα

Η τεχνολογική πρόοδος, η συνεχής εξέλιξη όλων των παραπάνω οργάνων και ρευμάτων, η εύκολη πρόσβαση στην υπάρχουσα γνώση και τεχνολογία από ένα διευρυνόμενο φάσμα μουσικών οδηγεί στο σήμερα. Βέβαια, η περιγραφή των συγχρόνων τάσεων κινδυνεύει σοβαρά να αποτύχει, γι αυτό καλύτερα ας αποκληθεί εκτίμηση των σύγχρονων τάσεων στα μουσικά ηλεκτρονικά όργανα (Εικόνα 2.7). Παρακάτω θα επισημανθούν κάποιες βασικές παρατηρήσεις στο τι συμβαίνει ή τείνει να συμβεί σήμερα:

- Αξιοποιούνται περισσότερες παραδοσιακές μορφές διεπαφή μουσικού-οργάνου.
- Εμφανίζονται νέες διεπαφές αναπαραγωγής ήχου.
- Οι μικροελεγκτές γίνονται όλο και πιο αποδοτικοί, με αποτέλεσμα όλες οι τάσεις που αναπτύχθηκαν στις προηγούμενες δεκαετίες να επανέρχονται όχι μόνο για να επανασυστηθούν, αλλά κυρίως για να επαναπροσδιοριστούν
- Οι μικροελεγκτές και τα υπόλοιπα ηλεκτρονικά μέρη γίνονται όλο και πιο προσιτά, το ίδιο και η γνώση πάνω σε αυτά, με αποτέλεσμα να ανθεί η DIY (DoItYourself) τάση, η οποία προσθέτει τη διάσταση της συλλογικής δημιουργικότητας στην επινόηση ηλεκτρονικών οργάνων.

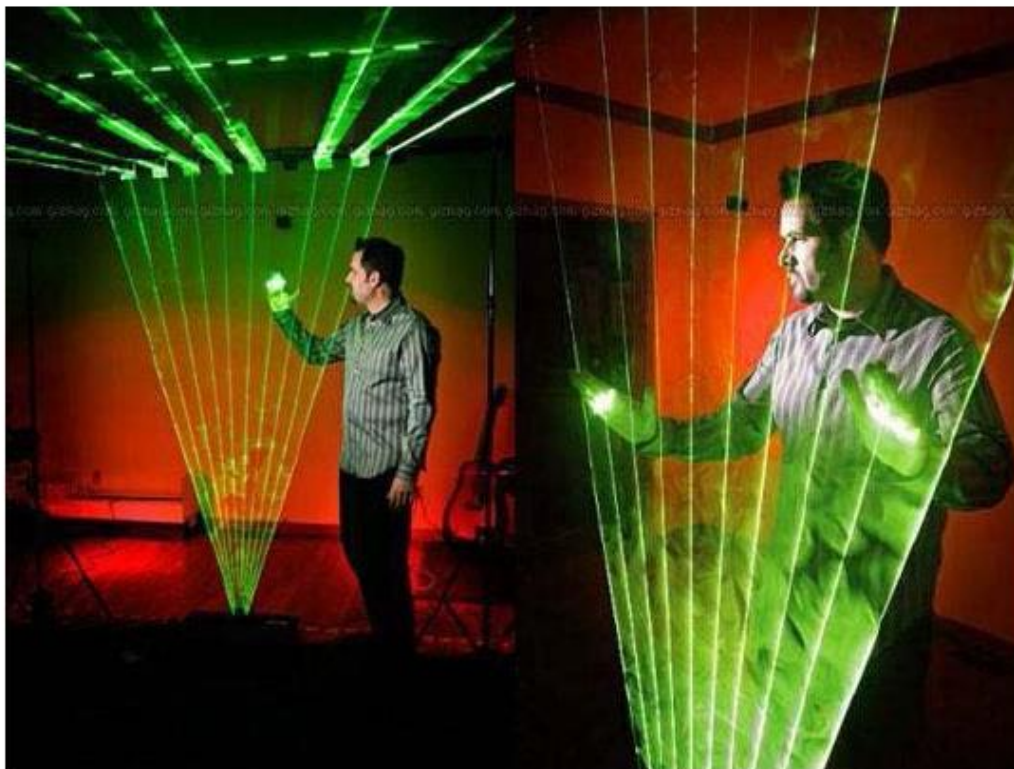


Εικόνα 3.6: Διάφορα σύγχρονα μουσικά ηλεκτρονικά όργανα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

2.1 LASER HARP - ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Laser harp είναι μια ηλεκτρονική μουσική διεπαφή χρήστη και ακτινών λέιζερ. Πρόκειται για ένα όργανο που προβάλλει δέσμες λέιζερ και ο μουσικός παράγει ήχους εμποδίζοντας τις δέσμες που θυμίζουν το παίξιμο μιας άρπας. (Εικόνα 6.1)



Εικόνα 4.1: Laser harp

Δύο άνθρωποι ισχυρίζονται ότι είναι ο εφευρέτης της Laser harp: ο Geoffrey Rose και ο Bernard Szajner. Ο Geoffrey Rose έλαβε προσωρινό δίπλωμα ευρεσιτεχνίας από το βρετανικό γραφείο διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας το 1975/6. Ο Bernard Szajner έχει ένα δίπλωμα ευρεσιτεχνίας (αυτό σημαίνει ότι το Γραφείο Διπλωμάτων Ευρεσιτεχνίας του Παρισιού ποτέ δεν βρήκαν στοιχεία μιας άλλης εφευρέτης του ίδιου / παρόμοιο μέσο πριν από αυτόν). (Δίπλωμα ευρεσιτεχνίας: FR2502823 (A1) Date de priority: 1981-03-27). Η Laser harp έχει χρησιμοποιηθεί για διάφορους σκοπούς, συμπεριλαμβανομένων των εγκαταστάσεων σύγχρονης τέχνης και άλλων εκθεμάτων.

Η Laser Harp έγινε διάσημη και διαδόθηκε από τον Γάλλο μουσικό, συνθέτη, εκτελεστή και παραγωγό Jean Michel Jarre και αποτελεί χαρακτηριστικό γνώρισμα όλων σχεδόν των συναυλιών του από το 1981. (Εικόνα 6.2)



Εικόνα 4.2: Ο Jean Michel Jarre παίζει με laser harp σε συναυλία του

Ο βρετανικός ηλεκτρονικός μουσικός Little Boots χρησιμοποίησε ένα παρόμοιο όργανο σε συναυλίες καθώς οι Yan Terrien και Rune Foshaug. Η βρετανική μπάντα ηλεκτρικής τζαζ 1201-Alarm διαθέτει μια λέιζερ άρπα ως κύρια πτυχή της ζωντανής εκπομπής τους.

2.2 Είδη Laser harp

Διάφοροι μηχανικοί συνεχίζουν να τροποποιούν τη Laser Harp για να αλλάξουν χρώματα και να αυξήσουν την ευαισθησία κατά την αναπαραγωγή. Υπάρχουν διαφορετικά μοντέλα και σχέδια σχεδίων Laser Harp,

❖ Με πλαίσιο

Συχνά δημιουργείται για να μοιάζει με μια άρπα με χορδές, χρησιμοποιεί μια σειρά φωτοδιόδων ή φωτοαντιστάσεων μέσα στο άνω ή κάτω τμήμα του πλαισίου για να ανιχνεύσει το μπλοκάρισμα των ακτίνων λέιζερ. Η πλαισιωμένη άρπα που κατασκευάστηκε από τον Geoffrey Rose το 1975/6 ήταν ένα οκταγωνικό σχήμα με μια μήτρα μήκους 5 X 5 ακτίνων λέιζερ. Τα λέιζερ μπορούν να τοποθετηθούν στον «λαιμό» ή στην πάνω πλευρά της άρπα, που λάμπει κάτω ή στο σώμα, που λάμπει. (Εικόνα 6.3)

Τυπικά, τα λέιζερ που χρησιμοποιούνται είναι πολύ χαμηλής ισχύος 5 mW κόκκινα ή πράσινα λέιζερ, τα οποία θεωρούνται ασφαλή για δημόσια αλληλεπίδραση από το FDA. Οποιοσδήποτε αριθμός ακτίνων λέιζερ μπορεί να διαταχθεί σε αυτόν τον τύπο Laser Harp, από

λίγα ένα ή δύο, μέχρι 32 ή περισσότερα, ανάλογα με την ικανότητα του ελεγκτή MIDI και του λογισμικού που χρησιμοποιείται. Αυτό το στυλ του Laser Harp μπορεί να δημιουργηθεί σε οποιοδήποτε μέγεθος. Σε αυτό το σχέδιο, δημιουργείται μόνο μια αναλογική ενεργοποίηση DC (on / off) από το σπάσιμο της δέσμης (και το κύκλωμα συνεχούς ρεύματος που παράγεται από την ακτίνα που φωτίζει τον οπτικό αισθητήρα), επαρκή για να ενεργοποιήσει οποιοδήποτε αριθμό συμβάντων διαφορετικά) όπως καθορίζεται από τον εν λόγω αναλυτή δεδομένων / λογισμικό. Στον ελεγκτή MIDI, αυτή η αναλογική διακοπή ρεύματος DC μετατρέπεται σε ψηφιακό σήμα, το οποίο στη συνέχεια χρησιμοποιείται για να ενεργοποιήσει πολλά πιθανά συμβάντα ή ενέργειες. Ορισμένο λογισμικό έρχεται εξοπλισμένο με πλήρεις επεξεργαστές αρχείων και συνθέτες αρχείων και μπορεί επίσης να ενεργοποιήσει βίντεο και ακόμα εικόνες μέσω μονάδων προβολής.



Εικόνα 4.3: Laser harp με πλαίσιο

❖ **Ανοιχτή (δέσμες στο άπειρο)**

Αυτό το στυλ της Laser harp είναι γενικά κατασκευασμένο χρησιμοποιώντας ένα μόνο Laser, χωρίζοντας τη δέσμη του σε μια σειρά δεσμών παράλληλα ή διάταξη βεντάλιας. (Εικόνα 6.4) Η αναπαραγωγή του πραγματικού ήχου γίνεται συνήθως με τη σύνδεση της Laser harp σε συσκευή σύνθεσης, δειγματολήπτη ή υπολογιστή.

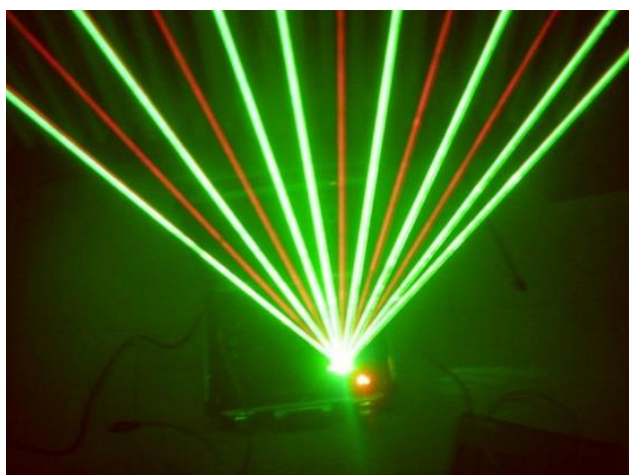
Αυτός ο σχεδιασμός χωρίς πλαίσιο είναι πιο περίπλοκος από το στυλ με πλαίσιο, στηριζόμενος στο να ανακλά το φως πίσω σε μία μόνο φωτοδίοδο. Οι βεντάλια των ακτίνων λέιζερ είναι στην πραγματικότητα μια ενιαία δέσμη που έχει σαρωθεί σε ένα μοτίβο βεντάλιας. Με την αντιστοίχιση του χρονισμού της ανακλώμενης δέσμης, το όργανο μπορεί να καθορίσει ποια δέσμη μπλοκάρει και ακούγεται η αντίστοιχη συχνότητα.



Εικόνα 4.4 Laser harp ανοιχτού τύπου

❖ Δίχρωμη ή και έγχρωμη

Το 2008, ο Maurizio Carelli, ένας Ιταλός προγραμματιστής και ηλεκτρονικός μηχανικός, είχε την ιδέα μιας δίχρωμης (κόκκινη / πράσινη) Laser harp (Εικόνα 6.5α). Αυτή η συσκευή διαθέτει ρυθμιζόμενη πλήρη οκτάβα με πράσινες δέσμες για οποιαδήποτε διατονική νότα και κόκκινες για οποιαδήποτε χρωματική νότα για πλήρη διατονική και χρωματική κλίμακα. Με αυτόν τον τρόπο κάθε μουσικός μπορεί εύκολα να παίξει μια λείζερ άρπα, πλήρως πολυφωνική. Αυτό το μηχανήμα έγινε η πρώτη φορητή αμφίδρομη λείζερ λείζερ και εξακολουθεί να παράγεται. Κατά το δεύτερο εξάμηνο του 2010, η Carelli σχεδίασε επίσης μια πλήρης έγχρωμο Laser harp ελεγκτής ILDA (Εικόνα 6.5β).



α



β

❖ **Ανοιχτή με αναγνώριση εικόνας**

Η Laser harp με αναγνώρισης εικόνας είναι επίσης και χωρίς πλαίσιο, αλλά χρησιμοποιεί μια φωτογραφική μηχανή USB υψηλής ταχύτητας συνδεδεμένη σε φορητό υπολογιστή, αντί για φωτοδίοδο για να ανιχνεύσει το ανακλώμενο φως από το χέρι που σπάζει τη δέσμη. Η ψηφιακή εικόνα αναλύεται από το λογισμικό του υπολογιστή για να προσδιορίσει ποια δέσμη είναι σπασμένη και να στείλει το κατάλληλο σήμα MIDI πίσω στη συσκευή σύνθεσης, η οποία είναι υπεύθυνη για τη δημιουργία του ήχου. Ο υπολογιστής ελέγχει επίσης τον προβολέα λέιζερ μέσω ενός ελεγκτή λέιζερ ILDA USB (Εικόνα 6.6).

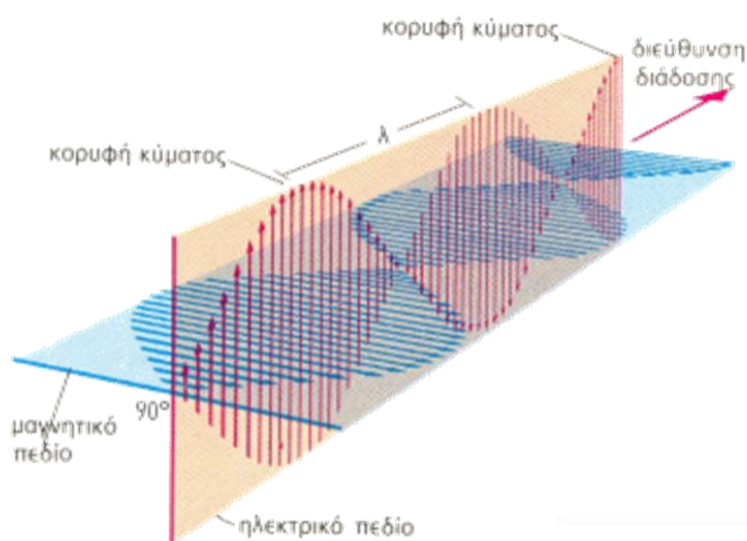


Εικόνα 4.6: Συσκευή Laser harp με αναγνώριση εικόνας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

3.1 TO LASER

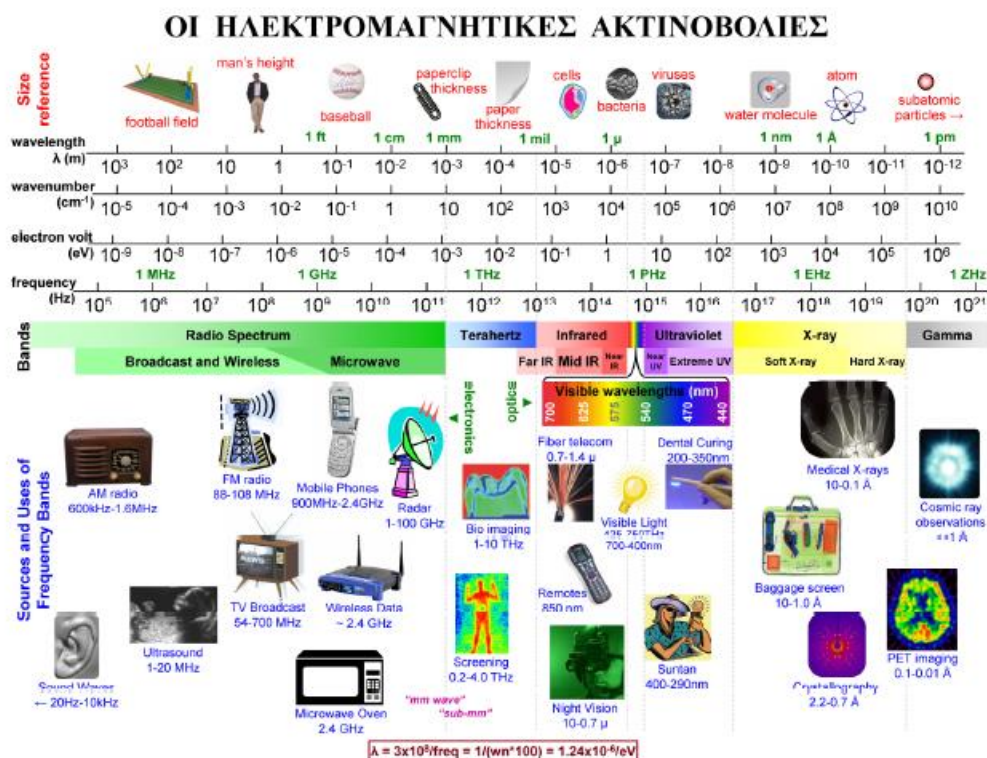
Η λέξη λέιζερ είναι η ελληνική εκδοχή της αγγλικής λέξης Laser, η οποία με την σειρά της έχει σχηματιστεί από τα αρχικά των λέξεων **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation, που σημαίνει: ενίσχυση φωτός μέσω εξαναγκασμένης εκπομπής ακτινοβολίας. Είναι προφανές, από το όνομα, ότι πρόκειται για φως, δηλαδή ηλεκτρομαγνητικό κύμα, ενώ η ανάπτυξη της συντομογραφίας «LASER», αναδεικνύει την έμφαση που δίνετε στον ιδιαίτερο τρόπο παραγωγής αυτού του φωτός, δηλαδή στην εξαναγκασμένη εκπομπή ακτινοβολίας. Ο όρος «λείζερ» χρησιμοποιείται τόσο για τη διάταξη, τη συσκευή δηλαδή που παράγει τις ακτίνες λέιζερ, όσο και για την ίδια την ακτινοβολία λέιζερ. Την οποία παράγει η συσκευή. Όντας ηλεκτρομαγνητικό κύμα, μια ακτινοβολία λέιζερ, έχει δυο συνιστώσες: το ηλεκτρικό και το μαγνητικό πεδίο, όπως φαίνεται παραστατικά στην Εικόνα 3.1. Το σημαντικότερο όμως, ίσως, όλων των χαρακτηριστικών των ακτινών λέιζερ, είναι ότι σε αντίθεση με όλα τα άλλα είδη φυσικού ή τεχνικού φωτός που είναι γνωστά, οι ακτίνες λέιζερ είναι αποτέλεσμα εξαναγκασμένης εκπομπής και όχι αυθόρμητης εκπομπής.



Εικόνα 5.1: Το ηλεκτρομαγνητικό κύμα

Ένας απλός ορισμός του λέιζερ, είναι ότι πρόκειται για μια διάταξη η οποία παράγει ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, η οποία λέγεται επίσης λέιζερ, και η οποία χαρακτηρίζεται από ορισμένες ιδιαίτερες και μοναδικές ιδιότητες που δεν απαντώνται ούτε συχνά, ούτε στη φύση (σαν αποτέλεσμα αυθόρμητων φυσικών διεργασιών). Οι ιδιότητες αυτές είναι: η μονοχρωματικότητα, η κατευθυντικότητα, η λαμπρότητα και η συμφωνία. Οι ιδιότητες αυτές θα εξεταστούν με μεγαλύτερη λεπτομέρεια στη συνέχεια. Μια ακτινοβολία λέιζερ είναι

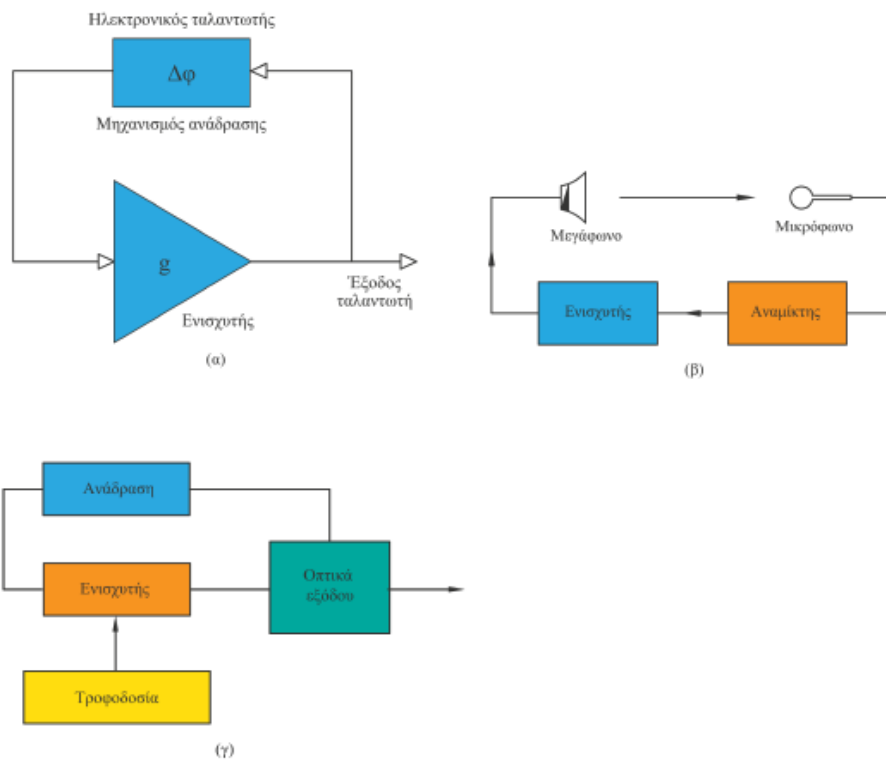
δυνατόν να βρίσκεται στην ορατή περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, ή στο υπεριώδες ή στο υπέρυθρο ή σε άλλη περιοχή, ενώ σε κάποιες ειδικές περιπτώσεις μπορεί να βρίσκεται στην περιοχή του υπεριώδους κενού, των ακτίνων Χ, κλπ.. Στο επάνω μέρος της Εικόνας 3.2 απεικονίζεται το φάσμα των ηλεκτρομαγνητικών ακτινοβολιών ταξινομημένων με βάση το μήκος κύματος (σε nm), τον αντίστοιχο αντίστροφο κυματάριθμο (σε cm^{-1}), την ενέργεια (σε eV) και την συχνότητα (σε Hz), μαζί με τις εμπειρικές ονομασίες των ακτινοβολιών αυτών. Στην ίδια εικόνα, στο κάτω μέρος, απεικονίζονται σχηματικά, οι διαδικασίες εκείνες με τις οποίες είναι συνδεδεμένη η παραγωγή των ακτινοβολιών αυτών καθώς και κάποια αντιπροσωπευτική χρήση/εφαρμογή τους.



Εικόνα 5.2: Το φάσμα των ηλεκτρομαγνητικών ακτινοβολιών.

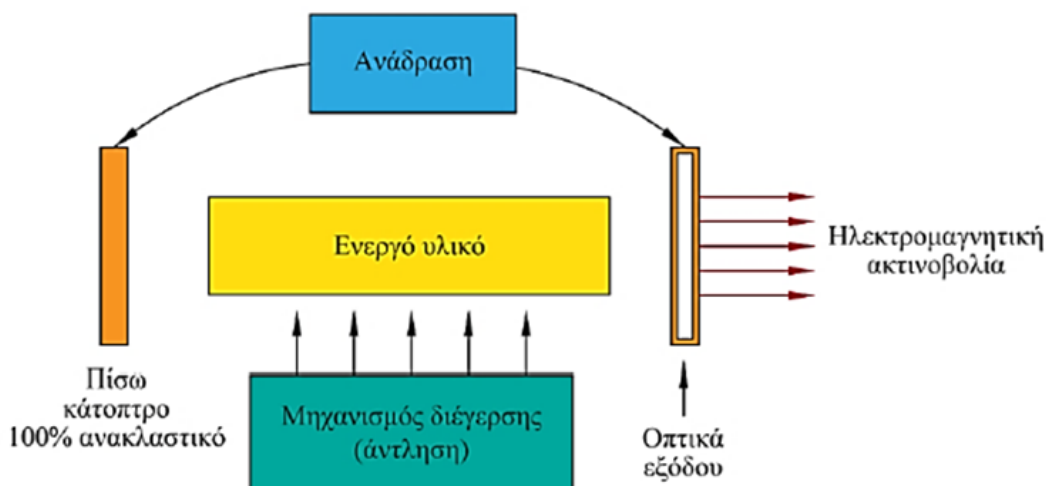
Συχνά, για την απλούστευση της περιγραφής μιας διάταξης παραγωγής ακτινοβολιών λέιζερ, χρησιμοποιείται το παράδειγμα του ηλεκτρικού ταλαντωτή που φαίνεται στην Εικόνα 3.3 (α), το οποίο μπορεί να υποστηρίξει κάποιες περιοδικές διαδικασίες, χωρίς τη βοήθεια κάποιου εξωτερικού μηχανισμού διέγερσης, όπως για παράδειγμα συμβαίνει σ' ένα σύστημα ενίσχυσης ακουστικών κυμάτων αποτελούμενο από ένα μικρόφωνο, έναν ενισχυτή και ένα μεγάφωνο (όπως σχηματικά δείχνεται στην Εικόνα 3.3(β)). Στο απλό αυτό σύστημα, όταν το μικρόφωνο τοποθετηθεί απέναντι από το μεγάφωνο, δημιουργείται ένα κλειστό κύκλωμα και ακούγεται ένα σφύριγμα από το μεγάφωνο. Το σφύριγμα αυτό παράγεται αυθόρμητα, χωρίς τη χρήση κάποιας εξωτερικής πηγής διέγερσης. Ο εσωτερικός θόρυβος (που είναι θερμικής φύσης στη περίπτωση αυτή) του ηλεκτρικού κυκλώματος μεταφέρεται στο μεγάφωνο, το

οποίο το μετατρέπει σε ακουστική ταλάντωση και έτσι συλλέγεται από το μικρόφωνο, ενισχύεται από τον ενισχυτή και τροφοδοτεί εκ νέου το μεγάφωνο απ' όπου επανεκπέμπεται, ώστε όλη η διαδικασία να επαναληφθεί. Η περιοδική αυτή διαδικασία ονομάζεται θετική ανάδραση και μπορεί να επαναλαμβάνεται πολλές φορές, έως ότου ένα δυνατό σφύριγμα να ακουστεί από το μεγάφωνο. Στην γλώσσα των ηλεκτρονικών, ένας τέτοιος ταλαντωτής αποτελείται εν γένει από τα ακόλουθα τέσσερα μέρη: τον ενισχυτή, την θετική ανάδραση (που είναι σε συντονισμό), τον μηχανισμό εξόδου και την πηγή ισχύος, τα οποία δείχνει σχηματικά η Εικόνα 3.3(γ).



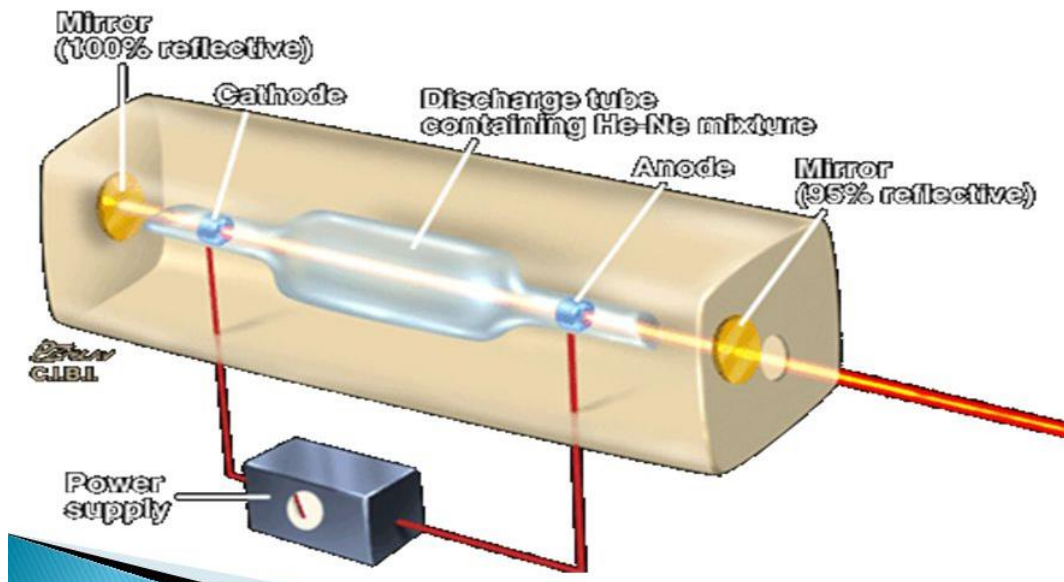
Εικόνα 5.3: Το ηλεκτρικό ανάλογο του λέιζερ.

Κατ' αναλογία προς τον ηλεκτρικό ταλαντωτή, μια τυπική, συμβατική διάταξη λέιζερ αποτελείται αντίστοιχα από τα παρακάτω μέρη, όπως σχηματικά δείχνει η Εικόνα 3.4: το ενεργό υλικό (που παίζει το ρόλο του (οπτικού) ενισχυτή), την οπτική ανάδραση (ή οπτική κοιλότητα), τον μηχανισμό εξόδου των ακτινών λέιζερ και την πηγή διέγερσης ή άντλησης η οποία προσφέρει την απαραίτητη ενέργεια.



Εικόνα 5.4: Σχηματική περιγραφή λέιζερ.

Το ενεργό υλικό ενός λέιζερ μπορεί να αποτελείται από άτομα ή μόρια, μπορεί να είναι υγρό, στερεό ή αέριο, ενώ από πλευράς ηλεκτρικών ιδιοτήτων μπορεί να είναι αγωγίμο ή διηλεκτρικό, ηλεκτρικά ουδέτερο ή φορτισμένο. Ο συνδυασμός του ενεργού υλικού, μέσω της ατομικής δομής του (δηλ. των δυνατών ατομικών/μοριακών μεταβάσεων μεταξύ των ενεργειακών επιπέδων), και της οπτικής κοιλότητας του λέιζερ καθορίζουν το μήκος κύματος εκπομπής της διάταξης λέιζερ. Ο μηχανισμός ανάδρασης (ή οπτική κοιλότητα), αποτελείται, εν γένει, από δύο κάτοπτρα, μεταξύ των οποίων τοποθετείται το ενεργό υλικό. Συνήθως, το ένα από τα κάτοπτρα είναι πλήρως ανακλαστικό (~100%), ενώ το άλλο είναι μερικώς ανακλαστικό (~90-99%) να ανάλογα με τον τύπο του λέιζερ και το είδος της οπτικής κοιλότητας. Σε κάθε περίπτωση, τα φωτόνια της αρχικά δημιουργούμενης εξαναγκασμένης εκπομπής, εκτελούν πολλά διαδοχικά ταξίδια μεταξύ των κατόπτρων της οπτικής κοιλότητας, διασχίζοντας σε κάθε διαδρομή το ενεργό υλικό και πολλαπλασιαζόμενο. Όταν η δέσμη αυτή της εξαναγκασμένης εκπομπής, η οποία έχει ενισχυθεί εντός της κοιλότητας, αποκτήσει ικανή ενέργεια, εγκαταλείπει την οπτική κοιλότητα εξερχόμενη από την πλευρά του ημιπερατού κατόπτρου της κοιλότητας. Το μέρος της ακτινοβολίας που διαφεύγει, εξερχόμενο της οπτικής κοιλότητας είναι η δέσμη (ή ακτίνες) λέιζερ (Εικόνα 3.5).



Εικόνα 5.5: Αρχή λειτουργίας του Laser

Η γεωμετρία της οπτικής κοιλότητας συντελεί εκτός των άλλων, στο να επιζήσουν και να πολλαπλασιαστούν μόνο όσα φωτόνια ταξιδεύουν στον οπτικό άξονα της διάταξης, γεγονός το οποίο (μαζί με την ιδιότητα της συμφωνίας έχει ως συνέπεια την αυξημένη κατευθυντικότητα των ακτινών λέιζερ. Μια επιπλέον λειτουργία της οπτικής κοιλότητας είναι ότι δια μέσου των γεωμετρικών της χαρακτηριστικών, μπορεί να επιλέγει ορισμένους μόνο τρόπους ταλάντωσης, από τους άπειρους που υποστηρίζει μια οπτική κοιλότητα. Μάλιστα, αυτοί είναι οι μοναδικοί τρόποι ταλάντωσης οι οποίοι θα επιζήσουν και θα ενισχυθούν περαιτέρω. Η λειτουργία αυτή της οπτικής κοιλότητας συντελεί στη βελτίωση της μονοχρωματικότητας της ακτινοβολίας λέιζερ. Μαζί με τον μηχανισμό ανάδρασης, του οποίου είναι συχνά μέρος, απαντάται και ο μηχανισμός εξόδου των ακτινών λέιζερ, ο οποίος αποτελείται από κατάλληλα οπτικά εξαρτήματα που σκοπό έχουν να ρυθμίζουν την πόλωση της εξερχόμενης δέσμης, το ποσοστό της ακτινοβολίας που θα διαφύγει της κοιλότητας, κλπ.

Τέλος, ο μηχανισμός διέγερσης (ή άντλησης) του ενεργού υλικού είναι υπεύθυνος για την παροχή της απαιτούμενης ενέργειας στο ενεργό υλικό για την επίτευξη της αναστροφής πληθυσμών και τη δημιουργία της εξαναγκασμένης εκπομπής. Η διέγερση ή άντληση επιτυγχάνεται, συνήθως, με έναν από τους παρακάτω τρόπους :

- Με οπτική άντληση, δηλ. μέσω διέγερσης με φως είτε από ισχυρές λυχνίες ηλεκτρικής εκκένωσης σε αέριο χαμηλής ή υψηλής πίεσης (π.χ. Xe, Kr, He, κ.α.) ή από άλλα λέιζερ (π.χ. λέιζερ διεγερμένων διμερών ή excimer λέιζερ, λέιζερ αζώτου (N₂), λέιζερ ιόντων αργού (Ar), λέιζερ Nd: YAG, λέιζερ Ti: sapphire, κλπ.),
- Με ηλεκτρική διέγερση, όπως για παράδειγμα με ηλεκτρική εκκένωση εντός του ενεργού υλικού (όπως π.χ. συμβαίνει στα λέιζερ διεγερμένων διμερών),

- Με κρούσεις με ηλεκτρόνια ή ιόντα ή διεγερμένα άτομα, (π.χ. λέιζερ He-Ne, λέιζερ CO₂),
- Με μηχανική διέγερση, όπου η απαραίτητη ενέργεια είναι αποτέλεσμα κάποιας χημικής αντίδρασης που λαμβάνει χώρα στην κοιλότητα (π.χ. Oxygen- Iodine Laser, HF-Hydrogen Fluoride Laser, κλπ.)
- Με απ' ευθείας διέγερση μέσω διέλευσης ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από το ενεργό υλικό, όπως συμβαίνει παράδειγμα στην περίπτωση των διοδικών Laser.
- Με μερικούς άλλους τρόπους, λιγότερο συνηθισμένους, όπως για παράδειγμα οι πυρηνικές εκρήξεις, η ηλιακή ενέργεια, κλπ.

3.2 Οι ιδιότητες των ακτινών Laser

Όταν γίνεται αναφορά στις μοναδικές και καταπληκτικές ιδιότητες των ακτινών λέιζερ, συνήθως αυτή αφορά τη μονοχρωματικότητα, την κατευθυντικότητα και τη λαμπρότητα που τις χαρακτηρίζουν. Αυτό όμως μπορεί να οδηγήσει σε παρανόηση του τι είναι ακριβώς η ακτινοβολία του λέιζερ και θα εξαχθούν λάθος συμπεράσματα. Έτσι, για παράδειγμα, αν το φως ενός πυρακτωμένου σώματος περάσει από κατάλληλο φίλτρο ή/και από ένα μονοχρωμάτορα, είναι δυνατόν να μειωθεί το φασματικό του εύρος σε σημαντικό βαθμό. Στην περίπτωση αυτή δηλαδή, η μονοχρωματικότητα του διερχόμενου φωτός εξαρτάται από το πόσο στενή είναι η φασματική απόκριση του φίλτρου. Αν επιπλέον, με χρήση κατάλληλου συστήματος φακών, συγκεντρωθούν και παραλληλισθούν μεταξύ τους οι φωτεινές ακτίνες, το φως αυτό αποκτά επιπλέον κατευθυντικότητα και λαμπρότητα (τουλάχιστον στην εστία του συγκεντρωτικού φακού). Παρ' όλα αυτά όμως, δεν θα πρόκειται για ακτινοβολία λέιζερ. Το φυσικό φως (π.χ. του ήλιου ή άλλων ουρανίων σωμάτων) καθώς και αυτό των τεχνητών φωτεινών πηγών (π.χ. ηλεκτρικές εκκενώσεις, λυχνίες πυράκτωσης, LED, κ.α.) περιέχει πολλά διαφορετικά μήκη κύματος, διαδίδεται, εν γένει, προς όλες τις κατευθύνσεις γύρο από τη φωτεινή πηγή σε μια στερεά γωνία 4π , και ταυτόχρονα χαρακτηρίζεται από έλλειψη υψηλού βαθμού αλληλοσυσχέτισης φάσης, πλάτους, συχνότητα κ.α. μεταξύ των κυμάτων τα οποία εκπέμπονται ακόμα και από την ίδια πηγή. Σε αντίθεση με άλλα συμβατικά είδη φωτός, οι ακτίνες λέιζερ έχουν επιπλέον μια μοναδική ιδιότητα, η οποία εκφράζει τον βαθμό αλληλοσυσχέτισης μεταξύ των προαναφερθέντων χαρακτηριστικών: τη συμφωνία. Η ιδιότητα της συμφωνίας όμως δεν είναι τόσο προφανής όσο οι άλλες ιδιότητες των ακτινοβολιών λέιζερ. Με απλά λόγια, η συμφωνία μπορεί να περιγραφεί σαν την κατάσταση εκείνη κατά την οποία οι διακυμάνσεις (fluctuations) των σχετικών φάσεων και των πλατών των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων που απαρτίζουν μια δέσμη ακτινών λέιζερ, είναι πολύ μικρές, χωρίς βέβαια να

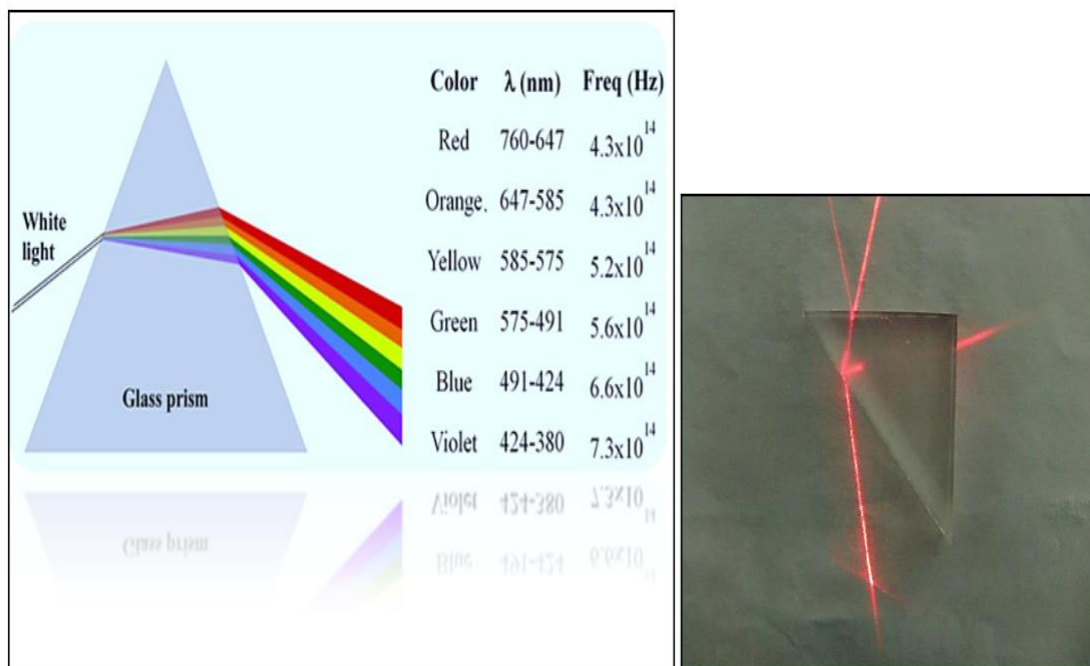
μπορούν να γίνουν μικρότερες από ένα ελάχιστο όριο, που επιβάλλει η αρχή της απροσδιοριστίας (του Heisenberg).

Για την καλύτερη κατανόηση της έννοιας της συμφωνίας, συχνά γίνεται επίκληση του ακόλουθου ιδεατού πειράματος. Αν θεωρηθεί μια ακτινοβολία με εύρος συχνοτήτων $\Delta\omega$ να περνά από ένα διάφραγμα το οποίο ανοιγοκλείνει με τέτοιο ρυθμό, ώστε να επιτρέπει τη διέλευση της ακτινοβολίας για ένα χρονικό διάστημα μικρότερο (ή το πολύ ίσο) του τ_c : $\tau_c = 1/\Delta\omega$, τότε μπορεί να μετρηθεί ο αριθμός N των φωτονίων του φωτεινού παλμού. Αν αυτό επαναληφθεί πάρα πολλές φορές, και ο αριθμός N είναι ως επί το πλείστον σταθερός, τότε πρόκειται για ακτινοβολία υψηλού βαθμού συμφωνίας. Αν πάλι παρουσιάζονται ισχυρές διακυμάνσεις στη μέτρηση του αριθμού των φωτονίων N , τότε η ακτινοβολία χαρακτηρίζεται από χαμηλό βαθμό συμφωνίας. Ο χρόνος τ_c ονομάζεται χρόνος συσχέτισης (correlation time). Η μεθοδολογία αυτή επιτρέπει τη διάκριση μιας ακτινοβολίας λέιζερ από άλλες μη σύμφωνες ή χαμηλού βαθμού συμφωνίας. Στα επόμενα, η έννοια της συμφωνίας θα συζητηθεί διεξοδικότερα και θα παρουσιαστούν οι κλασσική προσέγγιση και αυτή που βασίζεται στη στατιστική οπτική.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω, το λέιζερ μπορεί να οριστεί ως τη διάταξη εκείνη η οποία εκπέμπει ακτινοβολία η οποία χαρακτηρίζεται από μονοχρωματικότητα, κατευθυντικότητα, λαμπρότητα, και ταυτόχρονα υψηλό βαθμό συμφωνίας.

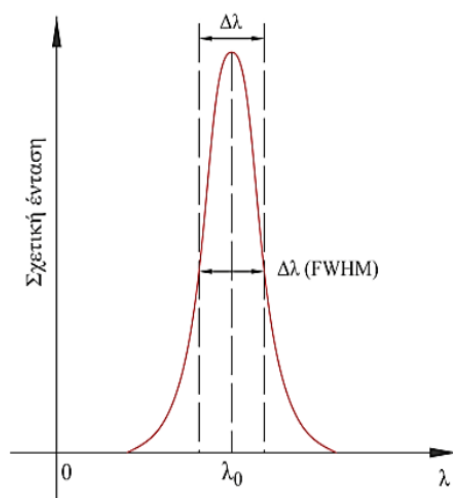
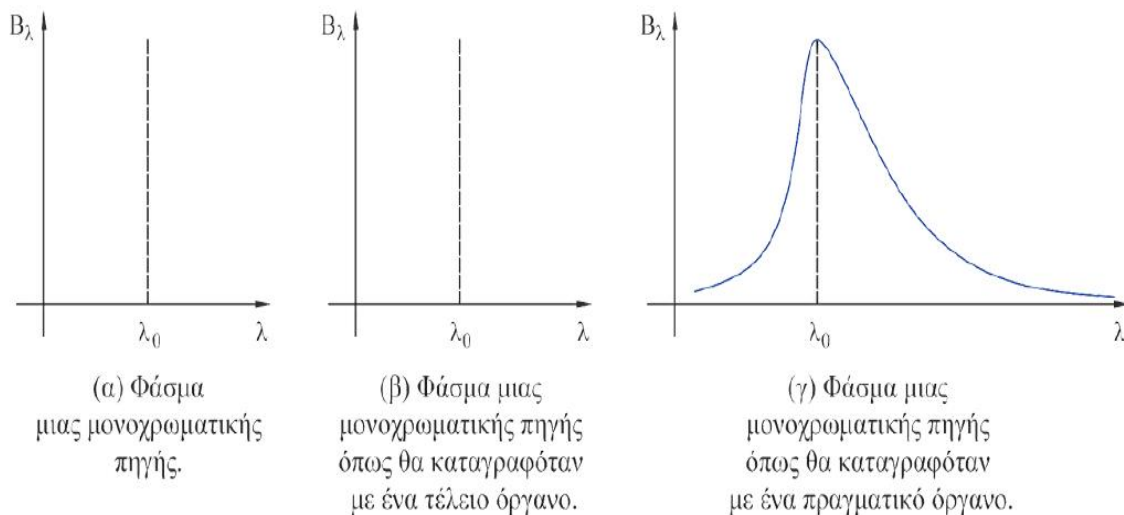
3.2.1 Η μονοχρωματικότητα

Είναι γνωστό, ότι αν το φως του ήλιου ή μιας λυχνίας πυράκτωσης ή μιας λυχνίας ηλεκτρικής εκκένωσης σε αέριο (π.χ. λυχνίες φθορισμού Υδραργύρου (Hg), νατρίου (Na), κλπ) περάσει από ένα πρίσμα, βλ. αριστερό σχήμα της Εικόνας 3.6), τότε αναλύεται στα διάφορα χρώματα (μήκη κύματος, συχνότητες) που περιέχει. Αν το πείραμα επαναληφθεί με ακτίνες λέιζερ, τότε, το αναλυμένο φως αποτελείται από ένα μόνο μήκος κύματος (χρώμα) (βλ. δεξιό σχήμα Εικόνας 3.6).



Εικόνα 5.6: Ανάλυση λευκού φωτός και μονοχρωματικού φωτός με πρίσμα.

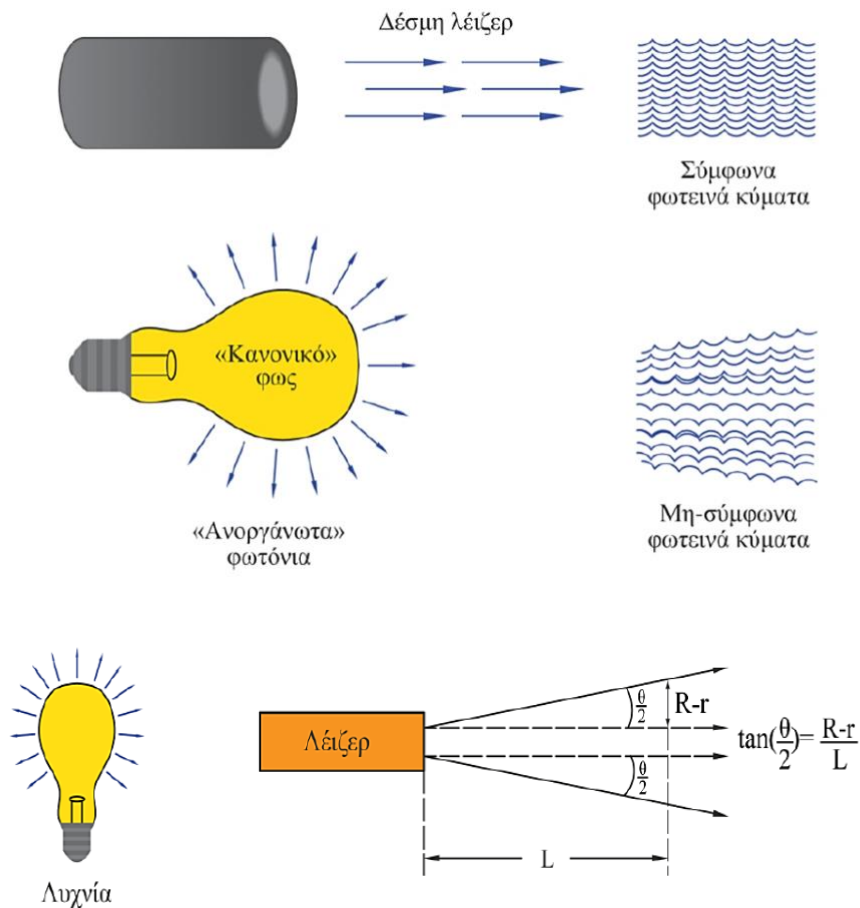
Αν το πρίσμα αντικατασταθεί από ένα όργανο με μεγαλύτερες αναλυτικές δυνατότητες, όπως για παράδειγμα από ένα μονοχρωμάτορα ή φασματογράφο, τότε είναι δυνατόν να γίνει και η καταγραφή της κατανομής της έντασης των φασματικών γραμμών (για τις πηγές βέβαια που εκπέμπουν γραμμικό φάσμα και όχι συνεχές). Δηλαδή, να μετρηθεί το φάσμα μιας ακτινοβολίας. Το πλάτος μιας τέτοιας κατανομής έντασης μιας φασματικής γραμμής, μετρημένο στο μισό του ύψους της κατανομής (Full Width Half Maximum, FWHM) χαρακτηρίζει τη μονοχρωματικότητα ή ισοδύναμα το φασματικό εύρος (bandwidth) της ακτινοβολίας. Για παράδειγμα στην Εικόνα 3.7, δείχνεται το φασματικό εύρος μιας φασματικής γραμμής, καθώς και μερικά παραδείγματα μέτρησης της εκπομπής φωτός από μονοχρωματική πηγή με ένα πραγματικό και με ένα ιδανικό όργανο (π.χ. μονοχρωμάτορα). Γενικά, όσο στενότερη (φασματικά) είναι η κατανομή της έντασης μιας ακτινοβολίας γύρω από το κεντρικό μήκος κύματος, τόσο περισσότερο μονοχρωματική θα είναι η ακτινοβολία. Οι ακτινοβολίες λέιζερ χαρακτηρίζονται γενικά από εξαιρετικά στενές κατανομές έντασης. Δηλαδή, πρόκειται για μονοχρωματικές ακτινοβολίες. Ιδανικά, η κατανομή της έντασης μιας ακτινοβολίας λέιζερ, θα ήταν συνάρτηση δ (Dirac). Στο πραγματικό κόσμο όμως, υπάρχει ένα ελάχιστο για το πόσο μπορεί να γίνει το ελάχιστο εύρος μιας τέτοιας φασματικής κατανομής.



Εικόνα 5.7: Φασματικό εύρος μιας ακτινοβολίας.

3.2.2 Η Κατευθυντικότητα

Σε αντίθεση με άλλα είδη φωτός, που δεν οφείλονται σε εξαναγκασμένη εκπομπή ακτινοβολίας, οι ακτίνες λέιζερ διαδίδονται προς μια κατεύθυνση διατηρώντας ιδιαίτερα μικρή γωνιακή διασπορά, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.8. Χαρακτηρίζονται δηλαδή από σημαντική κατευθυντικότητα. Ειδικότερα, όσο μικρότερη είναι η γωνιακή απόκλιση, τόσο μεγαλύτερη είναι η κατευθυντικότητα της δέσμης των ακτινών λέιζερ. Ο τύπος και η ποιότητα των κατόπτρων της κοιλότητας, καθώς και ο τρόπος άντλησης του λέιζερ, καθορίζουν σε σημαντικό βαθμό την κατευθυντικότητα μιας δέσμης λέιζερ.



Εικόνα 5.8: Κατευθυντικότητα και Γωνιακή απόκλιση της δέσμης λέιζερ

Για την ποσοτικοποίηση του βαθμού κατευθυντικότητας, συνήθως χρησιμοποιείται η τιμή της γωνίας θ (βλ. Εικόνα 3.8), εκφρασμένη σε mrad. Θυμίζοντας ότι $360^\circ = 2\pi$ rads ή $1 \text{ mrad} = 0.057^\circ$ ή $1 \text{ rad} = 57.30^\circ$. Σ' ένα τυπικό λέιζερ, η απόκλιση της δέσμης είναι $\sim 1 \text{ mrad}$, γεγονός που ισοδυναμεί με πρακτικά παράλληλη δέσμη. Άμεση συνέπεια αυτού είναι ότι μια δέσμη λέιζερ να μπορεί να διαδοθεί σε πολύ μεγάλες αποστάσεις, με σχετικά μικρή εξασθένιση εξ αιτίας της μικρής γωνιακής διασποράς. Γενικά, διακρίνονται δυο περιπτώσεις για τη μέτρηση της απόκλισης μιας δέσμης λέιζερ: πολύ μακριά και πολύ κοντά στη πηγή. Έτσι, αν η διάμετρος μιας δέσμης είναι $2r$ στην έξοδο του λέιζερ και $2R$ σε απόσταση L από αυτό, τότε η απόκλιση της στην πρώτη περίπτωση υπολογίζεται από την σχέση: $\tan(\theta/2) = (R-r)/L \approx \theta/2$, όπου η γωνία θ εκφράζεται σε mrad, ενώ στη δεύτερη περίπτωση όπου $2R \gg 2r$, η γωνία θ υπολογίζεται από τον υπολογισμό της εφαπτόμενης της, μετρώντας την ακτίνα της δέσμης R και διαιρώντας τη με την απόσταση L . Έτσι, για παράδειγμα, μια δέσμη λέιζερ με απόκλιση 1 mrad , μετά από διάδοση 10 m , σχηματίζει (πάνω σε μια οθόνη) ένα κυκλικό αποτύπωμα, διαμέτρου 10 mm .

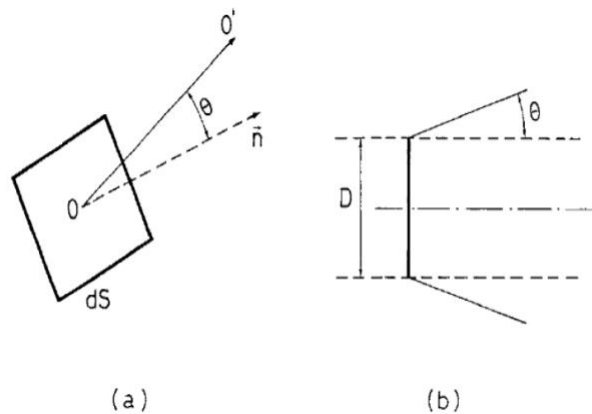
Γενικότερα, η κατευθυντικότητα μιας δέσμης λέιζερ, είναι άμεσα συνδεδεμένη με τη μεταφορά και εναπόθεση ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας σε απόσταση από την πηγή. Έτσι, για παράδειγμα, ενώ η εξασθένιση της εκπεμπόμενης ενέργειας αν μονάδα επιφάνειας μιας

λυχνίας πυράκτωσης μειώνεται σύμφωνα με τη σχέση $1/r^2$, στην περίπτωση των πηγών λέιζερ, η μεταφερόμενη από τη δέσμη ενέργεια, σε πρώτη προσέγγιση τουλάχιστον, δεν εξαρτάται ή εξαρτάται λίγο από την απόσταση.

3.2.3 Η Λαμπρότητα

Η λαμπρότητα (brightness) μιας ακτινοβολίας λέιζερ, μπορεί να είναι πολύ μεγάλη, πολύ μεγαλύτερη ακόμη και από την λαμπρότητα του ήλιου.

Ως λαμπρότητα μιας πηγής ΗΜ κυμάτων ορίζουμε την ισχύ που εκπέμπεται ανά μονάδα επιφάνειας ανά μονάδα στερεάς γωνίας. Έστω στοιχειώδης επιφάνεια dS στο σημείο O της πηγής (βλ σχήμα στην Εικόνα 3.9(a)).



Εικόνα 5.9: (α) Λαμπρότητα πηγής ΗΜ κυμάτων στο σημείο O . (β) Λαμπρότητα δέσμης λέιζερ διαμέτρου D και γωνιακής απόκλισης θ .

Η ισχύς dP που εκπέμπεται από την dS σε στερεά γωνία $d\Omega$ γύρω από την διεύθυνση OO' μπορεί να γραφεί ως

$$dP = B \cos \theta \, dS d\Omega$$

όπου θ είναι η γωνία μεταξύ της ευθείας παρατήρησης OO' και της καθέτου στην επιφάνειας n . Ο παράγοντας $\cos \theta$ υπεισέρχεται λόγω της παρατήρησης της ευθείας OO' και άρα της προβολής του n στην OO' . Η ποσότητα B καλείται λαμπρότητα της πηγής στο σημείο O στην κατεύθυνση OO' . Η B γενικά εξαρτάται από τις πολικές συντεταγμένες θ και ϕ . Στην περίπτωση που είναι σταθερή, τότε λέμε πως η πηγή είναι ισοτροπική.

Έστω τώρα δέσμη λέιζερ ισχύος P , διαμέτρου D και γωνιακής εκτροπής θ (βλ. Εικόνα 3.9(b)). Εφόσον η γωνία θ είναι πολύ μικρή έχουμε $\cos \theta \cong 1$.

Η λαμπρότητα είναι ίσως η πιο σημαντική παράμετρος – ιδιότητα της δέσμης laser αλλά και γενικά οποιαδήποτε πηγή φωτός. Μια δέσμη laser ακόμη και μέτριας ισχύος έχει λαμπρότητα πολλές τάξεις μεγέθους από οποιαδήποτε άλλη πηγή φωτός. Ο βασικός λόγος είναι η υψηλή κατευθυντικότητα.

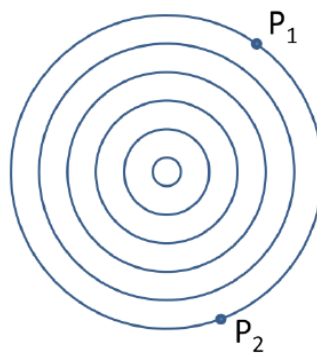
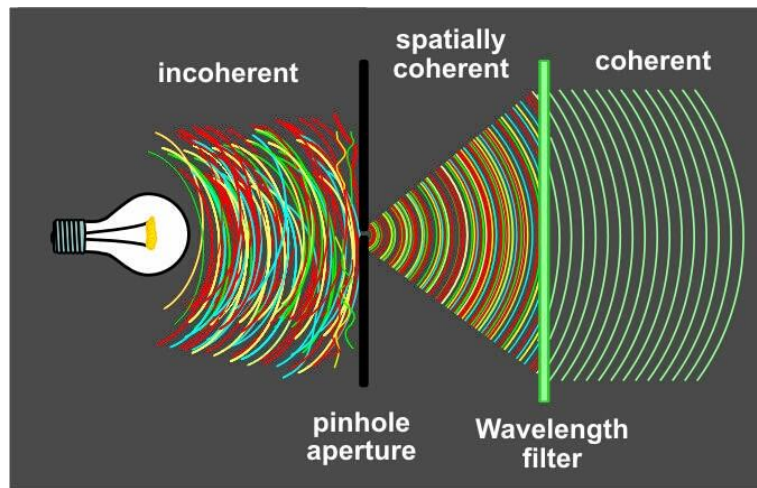
3.2.4 Η συμφωνία

Η συμφωνία ή/και ο βαθμός συμφωνίας μεταξύ δύο ή περισσότερων κυμάτων, σχετίζονται με τη μεταβολή, δηλαδή τη διακύμανση της σχετικής φάσης των κυμάτων. Ο έλεγχος της ύπαρξης συμφωνίας ή κάποιου βαθμού συμφωνίας συνήθως επιτυγχάνεται μέσω της μέτρησης και επεξεργασίας του σχεδίου της συμβολής τους, δηλαδή του ονομαζόμενου συμβολογράμματος. Έτσι, η δημιουργία, η σχετική ευκρίνειά τους, η φωτεινότητα και η διάταξη τους στον χώρο, καθώς και τα εν γένει χαρακτηριστικά τους εξαρτώνται από τις σχετικές φάσεις των συμβαλλόντων κυμάτων. Ανάλογα με το βαθμό συμφωνίας, το συμβολόγραμμα, αλλάζει. Αν τα κύματα έχουν σταθερή διαφορά φάσεων (δηλ. 0 ή $\neq 0$) τότε ονομάζονται σύμφωνα, ενώ αν η σχετική τους φάση αλλάζει τότε χαρακτηρίζονται ως μερικώς σύμφωνα ή ασύμφωνα.

Για κάθε HM κύμα μπορούμε να ορίσουμε σε πρώτη προσέγγιση τις έννοιες τις χωρικής και χρονικής συμφωνίας.

Χωρική συμφωνία: Έστω δυο σημεία P_1 και P_2 στο χώρο που την χρονική στιγμή $t_0=0$ βρίσκονται στο ίδιο μέτωπο ενός HM κύματος, κι έστω $E_1(t)$ και $E_2(t)$ τα αντίστοιχα ηλεκτρικά πεδία (βλ. Εικόνα 3.10). Εξ' ορισμού η διαφορά φάσης των δυο σημείων είναι μηδέν.

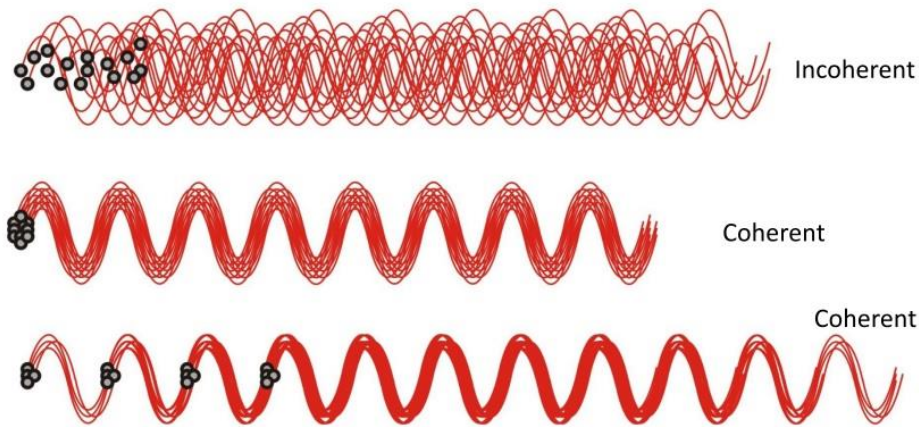
1. Εάν η διαφορά φάσης των δυο σημείων παραμένει μηδέν για κάθε χρονική στιγμή $t > 0$ τότε λέμε πως υπάρχει τέλεια συμφωνία μεταξύ των δύο σημείων.
2. Εάν η διαφορά φάσης δυο οποιοδήποτε σημείων του μετώπου κύματος παραμένει μηδέν για κάθε χρονική στιγμή $t > 0$, τότε λέμε πως υπάρχει τέλεια χωρική συμφωνία (perfectspatialcoherence).
3. Στην πράξη για να συμβαίνει το b τα σημεία P_1 και P_2 πρέπει να βρίσκονται «σχετικά κοντά» και τότε μιλάμε για μερική χωρική συμφωνία (partialspatialcoherence). Σε αυτή την περίπτωση μπορούμε να ορίσουμε την επιφάνεια συμφωνίας και το χαρακτηριστικό μήκος συμφωνίας που αντιστοιχεί στην επιφάνεια αυτή.



Εικόνα 5.10: α) Διαφορά χωρικής ασυμφωνίας και χωρικής συμφωνίας φωτός β) Μέτωπα σφαιρικών επίπεδων κυμάτων.

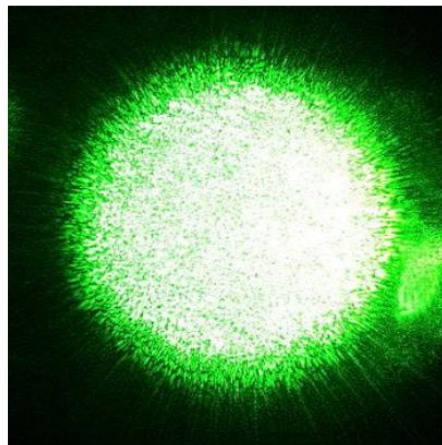
Χρονική συμφωνία: Έστω ηλεκτρικό πεδίο ΗΜ κύματος $E(t)$ σε σταθερό σημείο στο χώρο.

1. Εάν για δεδομένη χρονική καθυστέρηση τ_0 η διαφορά φάσης μεταξύ $E(t)$ και $E(t+\tau_0)$ παραμένει σταθερό για κάθε t , τότε λέμε πως έχουμε χρονική συμφωνία για το διάστημα τ_0 (μερική χρονική συμφωνία –partialspatialcoherence). Ο χρόνος τ_0 λέγεται χρόνος συμφωνίας. Η περίπτωση αυτή φαίνεται στην Εικόνα 3.11.
2. Εάν αυτό συμβαίνει για κάθε τ_0 τότε λέμε πως έχουμε τέλεια χρονική συμφωνίας (perfectspatialcoherence). Από την Εικόνα 3.11 φαίνεται πως η χρονική συμφωνία και η μονοχρωματικότητα είναι άρρηκτα συνδεδεμένες. Μάλιστα θα δείξουμε ότι για στάσιμα ΗΜ κύματα με χρόνο συμφωνίας τ_0 το εύρος συχνότητας $\Delta\nu$ δίνεται από την σχέση $\Delta\nu \cong 1/\tau_0$.



Εικόνα 5.11: α) Διαφορά χρονικής ασυμφωνίας και χρονικής συμφωνίας φωτός

Αξίζει στο σημείο αυτό να αναφέρουμε μια πολύ γνωστή ιδιότητα των δεσμών laser που είναι αποτέλεσμα της χωροχρονικής συμφωνίας. Πρόκειται για την λεγόμενη κοκκίωση (speckle) η οποία παρατηρείται όταν ανακλάται μια δέσμη laser από μια μη λεία επιφάνεια. Η ανάκλασή της (παρατηρούμαι βέβαια σε γωνία διαφορετική αυτής της γωνίας πρόσπτωσης) παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.12.



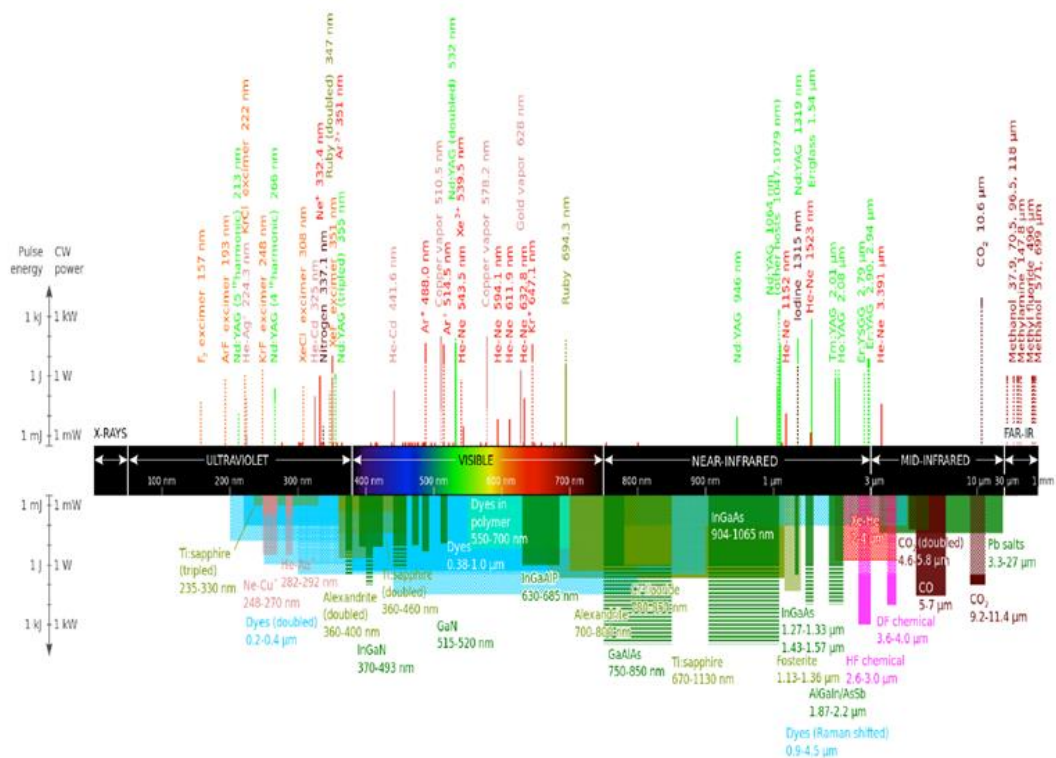
Εικόνα 5.12: Κοκκίωση δέσμης λέιζερ

Η κοκκίωση είναι αποτέλεσμα της συμβολής πολλών κυμάτων ίδιας συχνότητας διαφορετικών όμως πλατών και φάσεων. Έτσι όταν μια μη λεία επιφάνεια φωτίζεται από μια δέσμη laser κάθε σημείο της γίνεται δευτερεύουσα πηγή κυμάτων και η συμβολή τους σε μακρινή απόσταση θα αποτελείται από τα κύματα όλων των σημείων. Επομένως όταν η επιφάνεια δεν είναι λεία τα επί μέρους κύματα θα διαφέρουν τόσο σε φάση όσο και σε πλάτος με αποτέλεσμα η ένταση της συμβολής να παρουσιάζει μια τυχαία τοπική αυξομείωση που είναι ακριβώς το φαινόμενο της κοκκίωσης.

3.3 Τύποι laser και βασικές παράμετροι

Τα διάφορα συστήματα laser μπορούν (ακαδημαϊκά κυρίως) να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με:

- Το ενεργό υλικό (ενισχυτής)
 - Laser στερεάς κατάστασης
 - Laser υγρών
 - Laser αερίων
 - Laser ελευθέρων ηλεκτρονίων
- Το μήκος κύματος
 - Laser υπέρυθρης ακτινοβολίας
 - Laser ορατής ακτινοβολίας
 - Laser υπεριώδους ακτινοβολίας
 - Laser ακτινών X
- Τη χρονική διάρκεια
 - Laser συνεχούς (CW laser)
 - Ns laser
 - Ps laser
 - Fs laser
- Τη ζημιά που προκαλεί η δέσμη laser στο μάτι ή/και το δέρμα
 - CLASS I
 - CLASS II
 - CLASS IIIa
 - CLASS IIIb
 - CLASS IV



Εικόνα 5.13: Διάφορα είδη λέιζερ

Όνομα	Σύμβολο	Σχέση	(Τυπική) μονάδα μέτρησης
Μήκος κύματος	λ		nm
Συχνότητα	f, ν		10^{14} Hz
Διάρκεια παλμού *	$\Delta\tau$		ns, ps, fs
Ρυθμός επανάληψης*	R		Hz, kHz
Ενέργεια	E		μJoule , mJoule
Ενέργεια ανά παλμό*	E_p	E/R	(μJoule , mJoule)/pulse
Ισχύς	P	$E_p / \Delta\tau$	mWatt, Watt
Ένταση	I	P/A^{**}	Watt/cm^2
Ροή	F	I / hf	# φωτονίων / (cm^2 s)

Πίνακας 1: Βασικές παράμετροι τυπικών συστημάτων λέιζερ που απαντώνται στα εργαστήρια ατομικής Μοριακής και Οπτικής Φυσικής.

* Ισχύει για παλμικά λέιζερ.

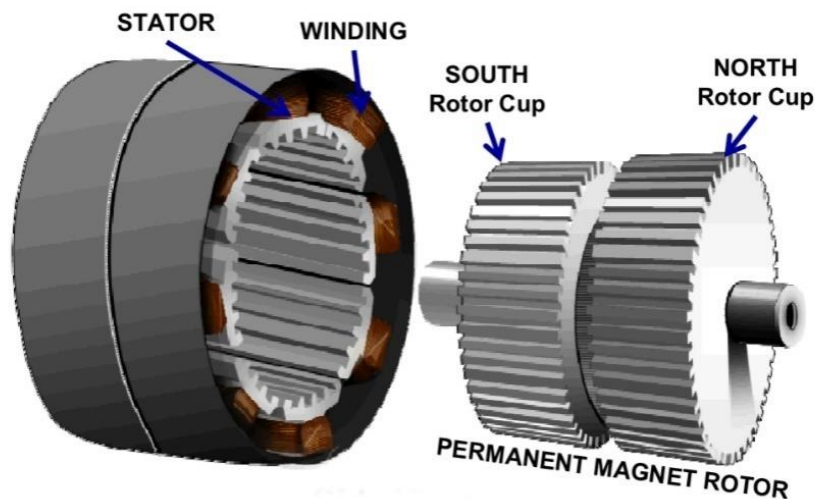
** Α είναι η επιφάνεια της δέσμης στο σημείο μέτρησης της έντασης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

4.1 ΒΗΜΑΤΙΚΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑΣ (STEPPINGMOTOR)

Ο Βηματικός κινητήρας ή κινητήρας σταδιακών βημάτων (steppingmotor), είναι ένας κινητήρας επαγωγής, ο οποίος τροφοδοτείται από ένα μικρό κύκλωμα, χρησιμοποιεί δηλαδή ηλεκτρικούς παλμούς για την κίνησή του. Είναι μια ηλεκτρομηχανική συσκευή, η οποία όταν ενεργοποιείται ηλεκτρικά, περιστρέφεται με διακριτή κίνηση βημάτων κατά μια ιδιαίτερη γωνία κάθε φορά (γωνία βημάτων). Αφού ο άξονας περιστραφεί κατά ένα βήμα, σταματά μέχρι να πάρει την επόμενη εντολή οδήγησης. Μια γενική παράσταση της δομής και λειτουργίας ενός βηματικού κινητήρα φαίνεται στην Εικόνα 4.1.

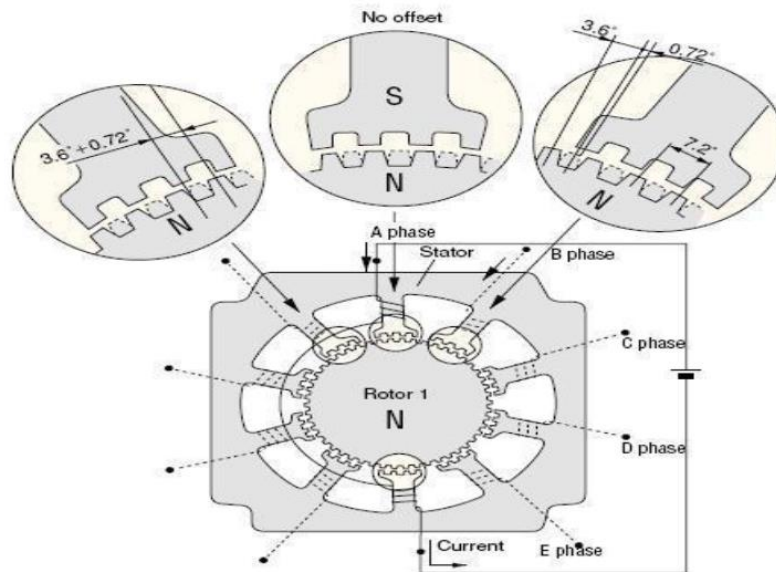
Θα πρέπει να αναφέρουμε ότι η γωνία βημάτων είναι ανάλογη προς τον αριθμό των δοντιών του στροφέα (δρομέα). Οι βηματικοί κινητήρες σε σύγκριση με άλλους τύπους μηχανών, έχουν το πλεονέκτημα ότι μπορούν να περιστραφούν μέσω των ελεγχόμενων γωνιών της περιστροφής (=βήματα), με μεταβολή των παλμών εντολής από ένα κύκλωμα «οδηγό». Όταν έχει εφαρμοστεί ένας ορισμένος αριθμός παλμών, ο άξονας θα έχει περιστραφεί κατά μια ορισμένη γωνία. Έτσι ένας βηματικός κινητήρας εκθέτει τις άριστες λειτουργικές ιδιότητες όπως είναι: η γρήγορη έναρξη και παύση, και γενικά η ακριβής οδήγηση δηλαδή η ελέγξιμη ταχύτητα ή θέση, σαν απάντηση στους παλμούς βημάτων εισαγωγής που εφαρμόζονται συνήθως από ένα κατάλληλο κύκλωμα ελέγχου.



Εικόνα 6.1: Απεικόνιση βηματικού κινητήρα

4.2 Κατασκευή βηματικού κινητήρα

Η κατασκευή των βηματικών κινητήρων είναι απλή. Ο στάτης είναι το μόνο τμήμα της μηχανής που φέρει τυλίγματα τα οποία περιελίσσονται στον πυρήνα των πόλων οι οποίοι είναι σε ζεύγη και προεξέχουν (έκτυποι). Σε κάθε ζεύγος τα τυλίγματα του κάθε πόλου είναι σε σειρά και περιελιγμένα κατά τρόπο έτσι ώστε το ένα να δρα σαν βόρειος και το άλλο σαν νότιος πόλος. Ο ρότορας είναι είτε ένας μόνιμος μαγνήτης είτε, στην περίπτωση των μηχανών μεταβλητής μαγνητικής αντίδρασης, ένας οδοντωτός κύλινδρος μαλακού μαγνητικού υλικού όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχέδιο.



Εικόνα 6.2: Λεπτομερής απεικόνιση βηματικού κινητήρα.

Σε γενικές γραμμές μπορούμε να πούμε ότι ο βηματικός κινητήρας είναι παρόμοιος με έναν κινητήρα συνεχούς ρεύματος μόνιμων μαγνητών. Το μαγνητικό υλικό του πυρήνα του στάτη και του δρομέα είναι σε φύλλα ή και ενιαίο, από μαλακό σιδηρομαγνητικό υλικό. Τα μαγνητικά αυτά υλικά πρέπει να παρουσιάζουν υψηλή μαγνητική διαπερατότητα ώστε να δημιουργούν υψηλή μαγνητική ροή, ακόμα κι αν εφαρμόζεται μια χαμηλή ηλεκτρική τάση. Σε πολλές περιπτώσεις ο πυρήνας του στάτη και ο πυρήνας του δρομέα αποτελούνται από ελάσματα συνήθως κράματος χάλυβα με πυρίτιο (Εικόνα 4.2).

4.3 Είδη Βηματικών κινητήρων

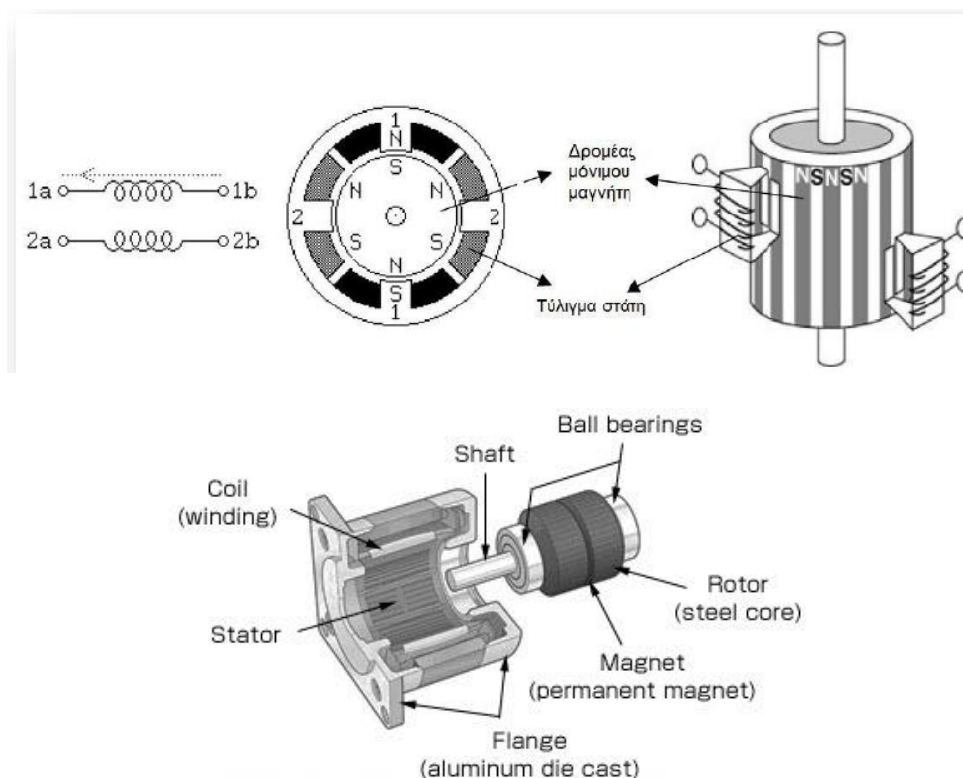
Η κατασκευή του στάτη με όλα τα είδη των βηματικών κινητήρων είναι κοινή. Ο στάτης αποτελείται από μία συστοιχία ατσάλινων ελασμάτων (συνήθως κράμα χάλυβα με πυρίτιο) με προεξέχοντα τμήματα στα οποία είναι ισομερώς καταναμεμένα τα πεδία των πόλων, συνήθως δύο, τριών ή περισσότερων ζευγών πόλων. Σε κάθε ζεύγος ο ένας πόλος δρα σαν βόρειος και

το άλλο σαν νότιος πόλος.Ανάλογα με την κατασκευή του δρομέα, διακρίνουμε τα παρακάτω είδη των βηματικών κινητήρων:

- **Βηματικός κινητήρας μόνιμου μαγνήτη** - permanent magnet stepping motor (PM).
- **Βηματικός κινητήρας μεταβλητής μαγνητικής αντίδρασης**—variable reluctance stepper motor (VR).
- **Υβριδικός βηματικός κινητήρας**—hybrid stepping motor (HP).

4.3.1 Βηματικός κινητήρας μόνιμου μαγνήτη

Οι Βηματικοί κινητήρες που στο δρομέα φέρουν ένα μόνιμο μαγνήτη καλούνται Βηματικοί κινητήρες μόνιμου μαγνήτη (Εικόνα 4.3). Ο ρότορας είναι ένας συμπαγής κύλινδρος με «τμήματα» μόνιμων μαγνητών σε εναλλαγή, δηλαδή μια συστοιχία συνήθως δύο, τεσσάρων, έξι ή οκτώ πόλων με εναλλαγή (βόρειος-νότιος). Έτσι η περιστροφή του ρότορα επιτυγχάνεται με την εναλλαγή του ρεύματος στα τυλίγματα του στάτη αλλάζοντας δηλαδή τη φορά του μαγνητικού πεδίου. Ο ρότορας περιστρέφεται σε συγχρονισμό με την συχνότητα εναλλαγής των παλμών, ελέγχοντας το μαγνητικό πεδίο το οποίο σχηματίζεται στα τυλίγματα του στάτη.



Εικόνα 6.3: Βηματικός κινητήρας μόνιμου μαγνήτη

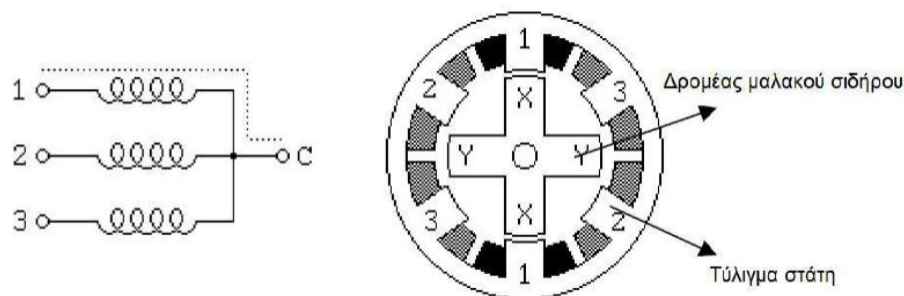
Η κατασκευή βέβαια τέτοιου είδους κινητήρα καταλήγει συνήθως σε μεγάλες γωνίες βηματισμού - κίνησης. Πρέπει να αναφέρουμε ότι ο βηματικός κινητήρας μόνιμου μαγνήτη είναι ένας κινητήρας χαμηλής ροπής, χαμηλής ταχύτητας και φυσικά χαμηλού κόστους ο οποίος βρίσκει εφαρμογή σε διάφορα πεδία, για παράδειγμα στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Για τους παραπάνω λόγους, οι κινητήρες μόνιμου μαγνήτη αποτελούν μια

ιδανική επιλογή για τις μη βιομηχανικές εφαρμογές. Είναι οι πλέον χρησιμοποιούμενοι σε εκτυπωτές και γενικά σε μηχανές γραφείου.

4.3.2 Βηματικοί κινητήρες μεταβλητής μαγνητικής αντίδρασης

Είναι οι πλέον διαδεδομένοι και τους συναντάμε στις περισσότερες εφαρμογές. Οι βηματικοί κινητήρες μεταβλητής μαγνητικής αντίδρασης κατασκευάζονται με ένα «τμήμα» δρομέα ή με πολλαπλά τμήματα δρομέα προσαρμοσμένα στην ίδια άτρακτο με τον βόρειο και τον νότιο πόλο να εναλλάσσονται, όπως χαρακτηριστικά φαίνεται και στην παρακάτω Εικόνα 5.4. Με την αύξηση των τμημάτων επιτυγχάνεται η βελτίωση της αποδιδόμενης ροπής, η υψηλή συχνότητα παλμών και το μικρό ή μεσαίο γωνιακό βήμα. Τα υλικά του δρομέα και του στάτη πρέπει να παρουσιάζουν υψηλή διαπερατότητα ώστε να δημιουργούν υψηλή μαγνητική ροή, ακόμη και αν εφαρμόζεται μια χαμηλή ηλεκτρική τάση. Συχνά ο δρομέας είναι μη ελασματοποιημένος.

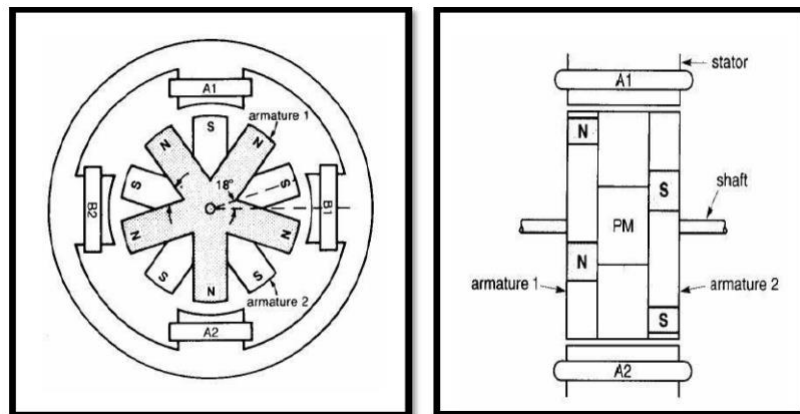
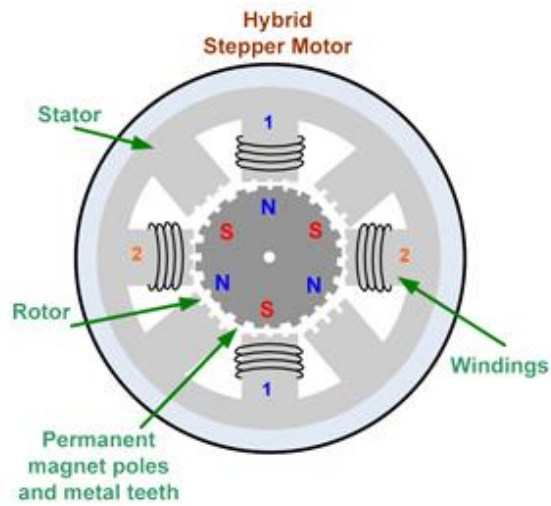
Ο δρομέας αναγκάζεται να περιστραφεί από τη διέγερση του τυλίγματος του κατάλληλου έκτυπου πόλου του στάτη έτσι ώστε κάποιο ζεύγος πόλων να ευθυγραμμιστεί με τους έκτυπους πόλους του ενεργοποιημένου τυλίγματος. Στόχος είναι η ελαχιστοποίηση της μαγνητικής αντίστασης στη διαδρομή της μαγνητικής ροής.



Εικόνα 6.4: Βηματικός κινητήρας μεταβλητής μαγνητικής αντίδρασης.

4.3.3 Υβριδικοί βηματικοί κινητήρες

Οι υβριδικοί βηματικοί κινητήρες συνδυάζουν τα κύρια χαρακτηριστικά των προαναφερόμενων κινητήρων. Ο δρομέας αποτελείται, όπως και στους βηματικούς κινητήρες μόνιμου μαγνήτη, από μόνιμους μαγνήτες σε μορφή κυλίνδρου. Στα άκρα των μαγνητών, προσαρμόζονται τμήματα με μορφή οδοντωτών τροχών. Λόγω του ενδιάμεσου μαγνήτη αυτά μετατρέπονται σε βόρειο και σε νότιο πόλο εναλλάξ (Εικόνα 4.5).



Εικόνα 6.5: Υβριδικός βηματικός κινητήρας

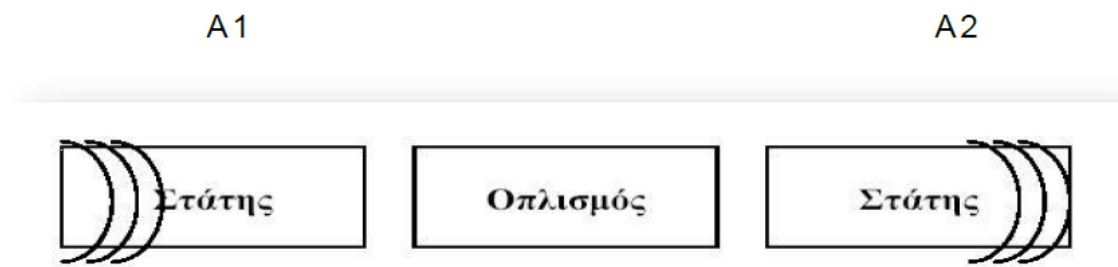
4.4 Αρχή λειτουργίας

Η χαρακτηριστική συμπεριφορά ενός βηματικού κινητήρα βρίσκεται στην «βηματική» περιστροφή του άξονά του. Ένα γωνιακό βήμα εκτελείται κάθε φορά που μια εντολή εκτελείται, δηλαδή εφαρμόζεται ένας παλμός στον στάτη. Η κατασκευή του βηματικού κινητήρα δηλαδή ο αριθμός των πόλων, ορίζει τον ακριβή αριθμό των γωνιακών βημάτων που απαιτούνται για μια πλήρη στροφή του άξονα. Έτσι προκύπτει η χρήση του σε εφαρμογές κίνησης στην περιοχή των συστημάτων αυτόματου ελέγχου.

Η λειτουργία των βηματικών κινητήρων στηρίζεται στην βασική αρχή του μαγνητισμού: ομώνυμοι μαγνητικοί πόλοι απωθούνται ενώ ετερόνυμοι μαγνητικοί πόλοι έλκονται. Όπως φαίνεται και στην βασική αναπαράσταση στην παρακάτω εικόνα, ο στάτης είναι οι δυο ηλεκτρομαγνήτες A1 και A2 ενώ ο δρομέας είναι ένας μόνιμος μαγνήτης δηλαδή έχει καθορισμένη και σταθερή φορά μαγνητικού πεδίου.

Όταν η πολικότητα του ρεύματος που διαρρέει το τύλιγμα του στάτη είναι τέτοια ώστε ο πόλος A1 να είναι ο Βόρειος πόλος και ο πόλος A2 να είναι Νότιος, δηλαδή η φορά του μαγνητικού πεδίου B να είναι A1A2 τότε, ο δρομέας υφίσταται την επίδραση ροπής και

περιστρέφεται από μια τυχαία θέση προς τα δεξιά ή προς τα αριστερά (ανάλογα με τη θέση του βόρειου και νότιου πόλου στον οπλισμό)μέχρι να βρει την κατάσταση ισορροπίας δηλαδή την ευθυγράμμιση των μαγνητικών πεδίων στάτη και δρομέα (βήμα λειτουργίας - γωνία περιστροφής).



Εικόνα 6.6: Λειτουργία αναπαράστασης βηματικού κινητήρα

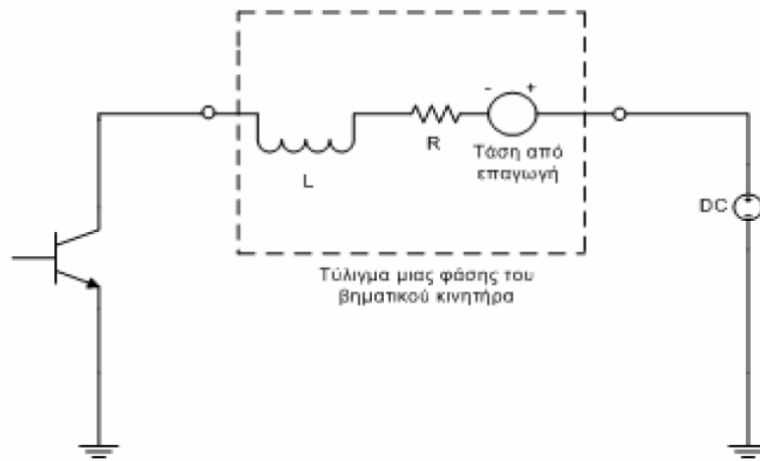
Γίνεται φανερό ότι η διάταξη των πηνίων του στάτη (αριθμός φάσεων) και ο αριθμός των δοντιών του δρομέα θα καθορίσουν την γωνία περιστροφής (γ) που αντιστοιχεί σε κάθε βήμα λειτουργίας

$$\gamma = 2\pi / (p \cdot N) \text{ σε ακτίνια}$$

όπου p = ο αριθμός δοντιών ρότορα και N = ο αριθμός φάσεων του στάτη

Οι Βηματικοί κινητήρες είναι ικανοί να χειριστούν γωνία βήματος από 90° έως και $0,72^\circ$. Η φορά περιστροφής εξαρτάται από την πολικότητα της παλμοδότησης των τυλιγμάτων του στάτη.

Η λειτουργία βέβαια του βηματικού κινητήρα δηλαδή η ταχύτητά του εξαρτάται από την διαμόρφωση των παλμών της πηγής που τον τροφοδοτεί (Εικόνα 4.6). Οι παλμοί που έχουν την ωρολογιακή φορά θεωρούνται ότι είναι θετικοί (+), ενώ θεωρούνται αρνητικοί (-) αυτοί που έχουν την αντί-ωρολογιακή φορά. Έτσι, ανά πάσα στιγμή, ο συνολικός αριθμός των παλμών είναι γνωστός, επομένως, ο συνολικός αριθμός περιστροφών του άξονα είναι γνωστός με ακρίβεια ενός βήματος. Το ισοδύναμο κύκλωμα ενός βηματικού κινητήρα φαίνεται στην Εικόνα 4.7. Το ισοδύναμο κύκλωμα της κάθε φάσης του στάτη είναι ένα πηνίο σε σειρά με μια αντίσταση. Κατά τη λειτουργία του κινητήρα εμφανίζεται τάση από επαγωγή (ΗΕΔ) στο τύλιγμα που επάγεται λόγω της περιστροφής του δρομέα.

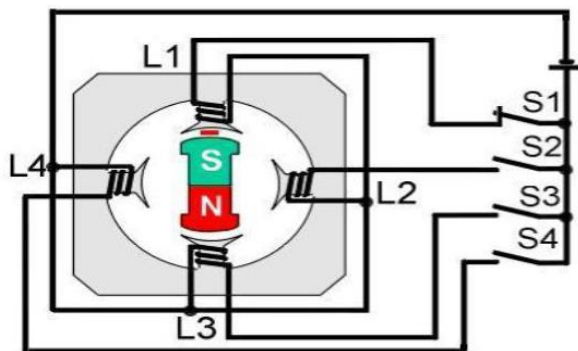


Εικόνα 6.7: Το ισοδύναμο κύκλωμα μιας φάσης βηματικού κινητήρα

4.5 Λειτουργία «μισού» βήματος

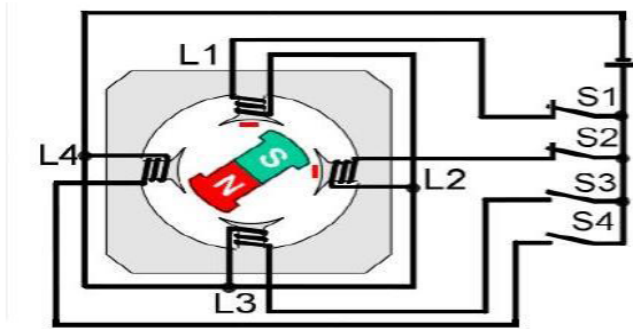
Η επικρατέστερη χρήση του βηματικού κινητήρα είναι η μετατροπή της ψηφιακής εισόδου σε μηχανική κίνηση. Όταν ένα ψηφιακό σήμα παλμού εισάγεται στο βηματικό κινητήρα, ο στροφέας του περιστρέφεται κατά μια σταθερή γωνία, δηλαδή μια γνωστή βηματική γωνία ή γωνία βήματος. Η δυνατότητα ενδιάμεσου βηματισμού, π.χ. μισού βήματος είναι σημαντική λειτουργική ικανότητα ενός βηματικού κινητήρα ιδίως στον ψηφιακό τομέα. Στην αλληλουχία σχημάτων που ακολουθεί, βλέπουμε μια καλύτερη αναπαράσταση της περιστροφής του δρομέα ενός μονοπολικού βηματικού κινητήρα με βηματισμό μισού βήματος. Η λειτουργία αυτή σημαίνει ότι ενεργοποιούνται δυο ηλεκτρομαγνήτες ταυτόχρονα για να πετύχουμε τα ενδιάμεσα βήματα (Εικόνα 4.8).

Εναρξη



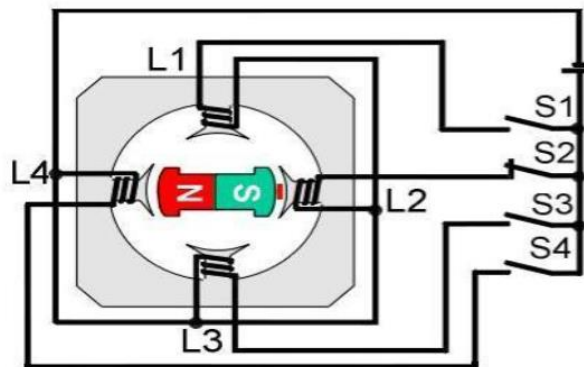
	L1	L2	L3	L4
0	1	0	0	0
1	1	1	0	0
2	0	1	0	0
3	0	1	1	0
4	0	0	1	0
5	0	0	1	1
6	0	0	0	1
7	1	0	0	1

1° βήμα



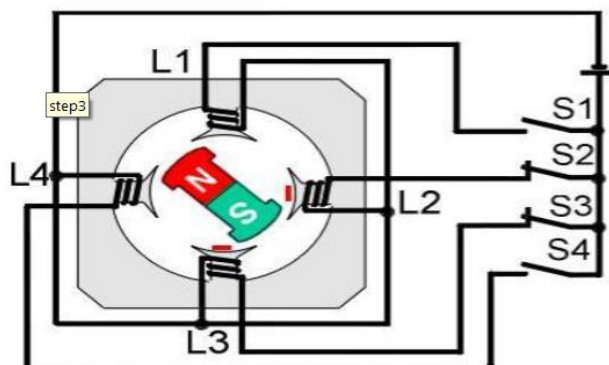
	L1	L2	L3	L4
0	1	0	0	0
1	1	1	0	0
2	0	1	0	0
3	0	1	1	0
4	0	0	1	0
5	0	0	1	1
6	0	0	0	1
7	1	0	0	1

2° βήμα



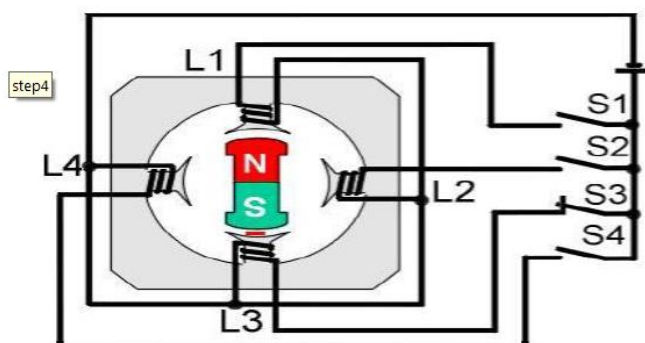
	L1	L2	L3	L4
0	1	0	0	0
1	1	1	0	0
2	0	1	0	0
3	0	1	1	0
4	0	0	1	0
5	0	0	1	1
6	0	0	0	1
7	1	0	0	1

3° βήμα



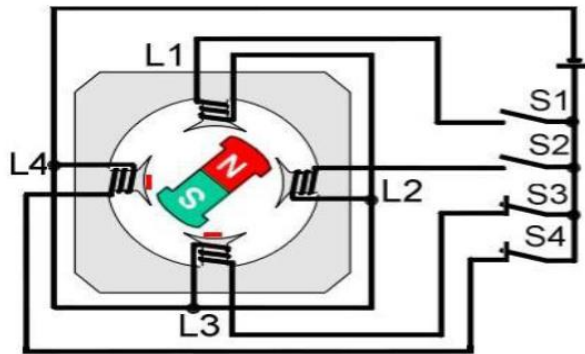
	L1	L2	L3	L4
0	1	0	0	0
1	1	1	0	0
2	0	1	0	0
3	0	1	1	0
4	0	0	1	0
5	0	0	1	1
6	0	0	0	1
7	1	0	0	1

4° βήμα



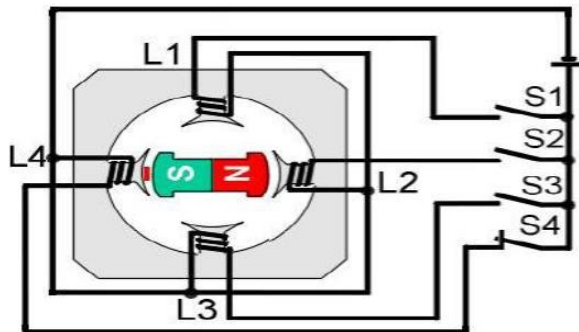
	L1	L2	L3	L4
0	1	0	0	0
1	1	1	0	0
2	0	1	0	0
3	0	1	1	0
4	0	0	1	0
5	0	0	1	1
6	0	0	0	1
7	1	0	0	1

5° βήμα



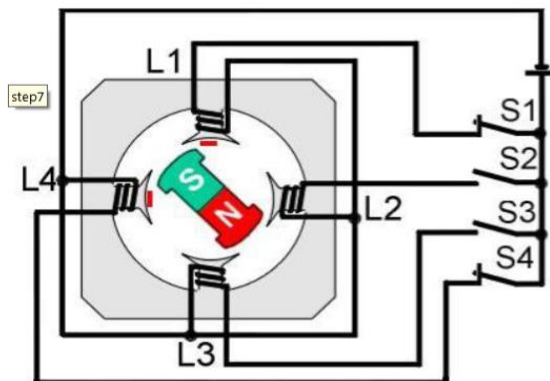
	L1	L2	L3	L4
0	1	0	0	0
1	1	1	0	0
2	0	1	0	0
3	0	1	1	0
4	0	0	1	0
5	0	0	1	1
6	0	0	0	1
7	1	0	0	1

6° βήμα



	L1	L2	L3	L4
0	1	0	0	0
1	1	1	0	0
2	0	1	0	0
3	0	1	1	0
4	0	0	1	0
5	0	0	1	1
6	0	0	0	1
7	1	0	0	1

7° βήμα - τέλος



	L1	L2	L3	L4
0	1	0	0	0
1	1	1	0	0
2	0	1	0	0
3	0	1	1	0
4	0	0	1	0
5	0	0	1	1
6	0	0	0	1
7	1	0	0	1

Εικόνα 6.8: Αναπαράσταση της περιστροφής του δρομέα ενός μονοπολικού βηματικού κινητήρα σε λειτουργία «μισού» βήματος

4.6 Χαρακτηριστικές λειτουργίες

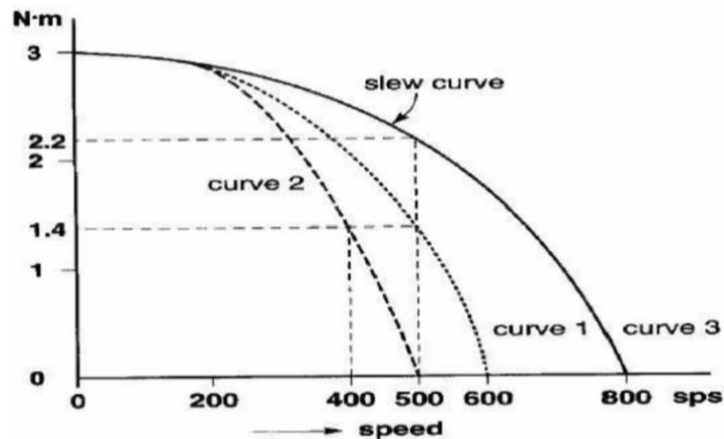
Πρόκειται για τη χαρακτηριστική ροπής - ταχύτητας του βηματικού κινητήρα. Διακρίνουμε δυο λειτουργικές καταστάσεις και κατά συνέπεια δυο χαρακτηριστικές καμπύλες:

- Τη λειτουργική κατάσταση εκκίνησης - ακινητοποίησης (start-stopmode).
- Τη λειτουργική κατάσταση συνεχούς περιστροφικής κίνησης χωρίς διακριτούς χρόνους εκκίνησης και ακινητοποίησης (Slewmode).

Στην Εικόνα 4.9 απεικονίζονται οι χαρακτηριστικές ροπής - ταχύτητας για τις δυο αυτές λειτουργικές καταστάσεις. Παρατηρούμε ότι σε κάθε κατάσταση η ροπή μειώνεται με αύξηση

των στροφών. η χαρακτηριστική 1 αντιστοιχεί στην κατάσταση εκκίνησης - ακινητοποίησης, η καμπύλη 2 είναι για την ίδια κατάσταση λειτουργίας αλλά με αυξημένη φόρτιση του κινητήρα. Η καμπύλη 3 είναι η κατάσταση συνεχούς περιστροφικής κίνησης. Σημειώνεται επίσης ότι η ροπή σε έναν βηματικό κινητήρα είναι ανάλογη του ρεύματος του στάτη για τις τιμές περίπου μέχρι την ονομαστική του τιμή (γραμμική περιοχή) και αυξάνεται λίγο για μεγαλύτερες τιμές του ρεύματος (περιοχή κορεσμού).

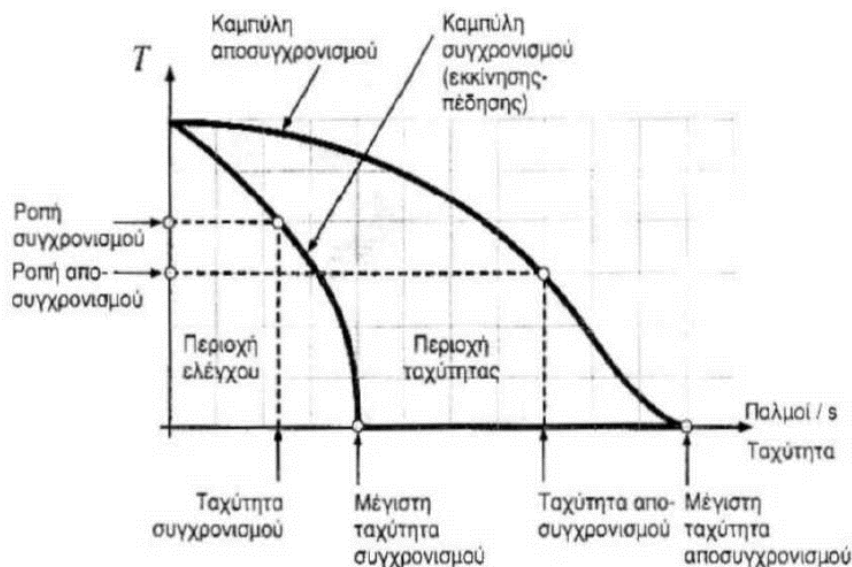
Για την επιτάχυνση ή την επιβράδυνση είναι απαραίτητη η αύξηση ή η μείωση αντίστοιχα της συχνότητας της παλμοδότησης. Η κατάσταση αυτή ονομάζεται οδήγηση με ράμπα.



Εικόνα 6.9: Χαρακτηριστική ροπής-ταχύτητας του βηματικού κινητήρα

Υπάρχει ένα ανώτατο όριο στην συχνότητα των παλμών της τάσης του στάτη, ώστε ο δρομέας να μπορεί να ακολουθεί με ακρίβεια τους παλμούς. Όταν ξεπεραστεί το όριο αυτό, ο κινητήρας χάνει βήματα (αποσυγχρονίζεται). Στην περίπτωση αυτή είναι απαραίτητο να σταματάει το ένα βήμα πριν προχωρήσει στο επόμενο βήμα, επειδή μόνο έτσι ο κινητήρας διατηρεί τον συγχρονισμό του. Στην Εικόνα 4.10 αποτυπώνεται η χαρακτηριστική ροπής-ταχύτητας των βηματικών κινητήρων περιλαμβάνει δυο καμπύλες, την καμπύλη συγχρονισμού (εκκίνησης-πέδησης) και την καμπύλη αποσυγχρονισμού. Αυτές χωρίζουν το διάγραμμα ροπής-ταχύτητας σε δυο περιοχές.

- Στην πρώτη εκτός από το σημείο λειτουργίας/συγχρονισμού ορίζεται και η περιοχή ελέγχου, όπως ο κινητήρας μπορεί να εκκινήσει, να σταματήσει, ή να αλλάξει φορά με ένα μόνο παλμό. Στην περιοχή αυτή, ο κινητήρας μπορεί να εργάζεται σαν διάταξη ελέγχου θέσης ανοιχτού βρόχου.



Εικόνα 6.10: Χαρακτηριστικές ροπής-ταχύτητας για βηματικούς κινητήρες

4.7 Χαρακτηριστικά μεγέθη

Τα χαρακτηριστικά που χαρακτηρίζουν τους βηματικούς κινητήρες είναι:

➤ Ταχύτητα

Η ταχύτητα βηματισμού εκφράζεται σε βήματα ανά δευτερόλεπτο, ΒΑΔ (stepspersecond - sps). Μπορεί να εκφράζεται και σε βήματα ανά λεπτό - ΒΑΛ (stepsperminute - spm). Ο μέγιστος αριθμός ΒΑΔ εξαρτάται (αντιστρόφως ανάλογα) από την ροπή του φορτίου και την αδράνεια του συστήματος.

➤ Ροπή

Μετρίεται σε Nm (Newtonmeters). Είναι η ροπή που παράγει ο κινητήρας στις διάφορες ταχύτητες περιστροφής του. Η μέγιστη τιμή ροπής κάθε κινητήρα, που ονομάζεται ροπή ακινητοποίησης, είναι η ροπή που παράγει όταν το φορτίο που αντιμετωπίζει είναι τόσο μεγάλο, ώστε να τον ακινητοποιεί. Η ροπή που αναπτύσσεται όταν ο δρομέας μετακινείται κατά ένα βήμα ονομάζεται ροπή μετακίνησης (pull-overtorque).

➤ Τάση λειτουργίας

Μετρίεται σε Volts και είναι η τιμή που πρέπει να έχει την τάση τροφοδοσίας ώστε ο κινητήρας να λειτουργεί σωστά. Όπως αναφέρθηκε υπάρχει ένα ανώτατο όριο στη συχνότητα των παλμών της τάσης ώστε ο δρομέας να μπορεί να ακολουθεί με ακρίβεια τους παλμούς, δηλαδή να συγχρονίζεται. Όταν ξεπεραστεί το όριο αυτό, ο κινητήρας χάνει βήματα δηλαδή αποσυγχρονίζεται και κρίνεται απαραίτητο να σταματάει το ένα βήμα πριν προχωρήσει στο επόμενο βήμα για να διατηρήσει τον συγχρονισμό του.

➤ Ένταση του ρεύματος

Μετριέται σε Amps και είναι η ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον κινητήρα όταν αυτός λειτουργεί. Η ένταση αυτή είναι ανάλογη του φορτίου του κινητήρα. Η ελάχιστη τιμή της αντιστοιχεί στην ελεύθερη «περιστροφή» του κινητήρα (χωρίς φορτίο). Εάν ο κινητήρας έχει φορτίο η τιμή αυτή αυξάνεται. Για κάποια τιμή του φορτίου ο κινητήρας σταματά να περιστρέφεται, λόγω της μεγάλης αντίστασης, οπότε και η τιμή της έντασης του ρεύματος μεγιστοποιείται. Η μέγιστη αυτή τιμή είναι ένα από τα σημαντικά χαρακτηριστικά του κινητήρα που πρέπει να είναι γνωστό για τη σωστή επιλογή της τροφοδοσίας του. Όταν ο κινητήρας σταματάει, χρειάζεται να παραμένει ένα ρεύμα στο τελευταίο τύλιγμα που έχει διεγερθεί, έτσι ώστε ο δρομέας να κρατηθεί σταθερός στην θέση του.

4.8 Έλεγχος Βηματικού Κινητήρα

Όπως προαναφέρθηκε οι βηματικοί κινητήρες διαφέρουν από τους γνωστούς τύπους κινητήρων (DC και AC) στο ότι τροφοδοτούνται με παλμούς και παράγουν ηλεκτρική κίνηση. Ο άξονας τους όμως δεν παράγει μια συνεχή περιστροφική κίνηση, αλλά περιστρέφεται κατά μια ορισμένη γωνία κάθε φορά που δέχεται ένα παλμό. Δηλαδή μετατρέπει τους ψηφιακούς παλμούς σε μηχανικό μέγεθος-θέση αξόνων. Η περιστροφή του κινητήρα έχει μια άμεση σχέση με τον αριθμό παλμών εισόδου, άρα η ταχύτητά του συσχετίζεται με την ταχύτητα των παλμών.

Οι βηματικοί κινητήρες είναι απλοί, στιβαροί, αξιόπιστοι και χρησιμοποιούνται για ανοικτούς ή κλειστούς ελεγχόμενους βρόχους συστημάτων ελέγχου. Λόγω της ευκολίας χρήσης και τις απλές ανάγκες ελέγχου και τον ακριβή έλεγχο, οι βηματικοί χρησιμοποιούνται συχνά σε εφαρμογές μέτρησης και ελέγχου. Με έναν βηματικό κινητήρα είναι δυνατός ο έλεγχος της ταχύτητας και της θέσης μετακίνησης του φορτίου όπως θα αναλυθεί στην συνέχεια.

Οι βηματικοί είναι κινητήρες υψηλής ακρίβειας παρουσιάζοντας σφάλμα γωνίας θέσης χαμηλότερο από 5% χωρίς αυτό να είναι αθροιστικό με τον αριθμό των περιστροφών. Επειδή ο κινητήρας στρέφεται μόνο κατά διακριτά γωνιακά βήματα, ο δρομέας επιταχύνεται και επιβραδύνεται συνεχώς, ακόμη και όταν φαίνεται να περιστρέφεται με "σταθερή" ταχύτητα. Στην πραγματικότητα η ταχύτητα δεν είναι σταθερή, αλλά μεταβάλλεται παλμικά. Τελικά ένα σύστημα ελέγχου που βασίζεται σε βηματικό κινητήρα έχει μερικά πλεονεκτήματα όπως:

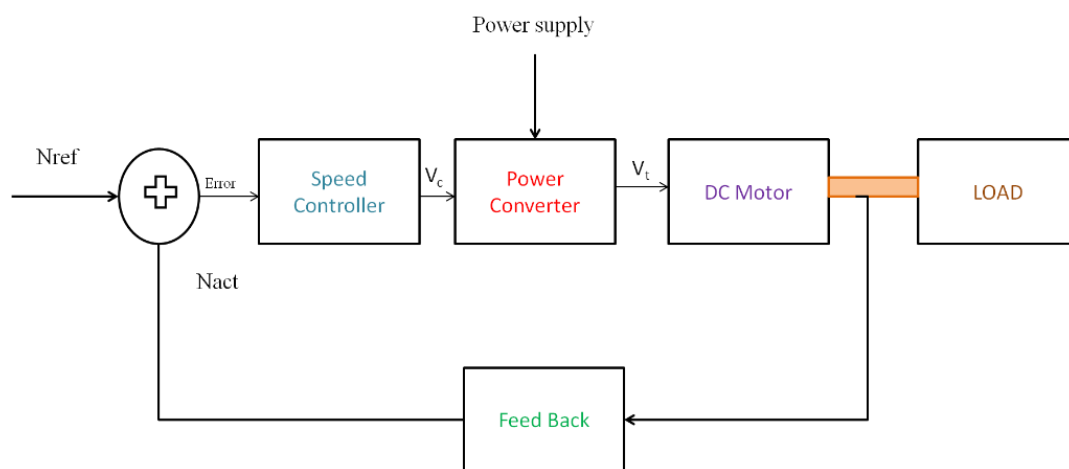
- Δεν απαιτείται ανάδραση για τον έλεγχο ταχύτητας ή για τον έλεγχο θέσης.
- Το σφάλμα θέσης δεν είναι αθροιστικό.
- Οι βηματικοί κινητήρες είναι συμβατοί με ψηφιακό εξοπλισμό των ηλεκτρονικών υπολογιστών.

4.9 Έλεγχος ανοικτού βρόγχου

Η μέθοδος ανοικτού βρόγχου χρησιμοποιείται συχνά για τον έλεγχο των βηματικών κινητήρων. Μετρώντας τον αριθμό και τις εναλλαγές των παλμών που αποστέλλονται από τον ελεγκτή προς τον κινητήρα, μπορεί να υπολογιστεί η θέση του κάθε χρονική στιγμή. Δεν χρειάζεται δηλαδή να υπάρχει ανάδραση πληροφορίας από κάποιον αισθητήρα θέσης προς τον ελεγκτή, κάτι που είναι απαραίτητο στον έλεγχο κλειστού βρόγχου. Με απλά λόγια ορισμένος αριθμός βημάτων θα έχει σαν αποτέλεσμα ο άξονας του βηματικού κινητήρα να περιστραφεί σε μια συγκεκριμένη γωνία, χωρίς κάποια ανατροφοδότηση πληροφορίας από τον άξονα. Έτσι ξεκινώντας από μια θέση μπορούμε, μετρώντας τον αριθμό και τις εναλλαγές των παλμών, να υπολογίσουμε τη θέση του συστήματος σε κάθε χρονική στιγμή.

4.10 Έλεγχος κλειστού βρόγχου

Ο έλεγχος συνιστάται στη ρύθμιση της ταχύτητας και της θέσης του κινητήρα. Η ρύθμιση αυτή βασίζεται σε ένα σήμα ανάδρασης (feedback). Στην Εικόνα 4.11 φαίνεται η δομή ενός ολοκληρωμένου διαγράμματος ελέγχου ταχύτητας με ενός βηματικού και όχι μόνο κινητήρα. Το σύστημα αυτό δίνει την δυνατότητα ελέγχου της θέσης αλλά και της ταχύτητας του κινητήρα.



Εικόνα 6.11: Δομή συστήματος ελέγχου ταχύτητας κλειστού βρόγχου (close loop velocity system)

Τα βασικά μέρη του κλειστού συστήματος ελέγχου είναι:

Ελεγκτής - controller

Καθορίζει τη λειτουργία του κινητήρα θέτοντας τις παραμέτρους λειτουργίας όπως ταχύτητα, κατεύθυνση, απόσταση, ρυθμός επιτάχυνσης, επιβράδυνσης. Τη λειτουργία του ελέγχου μπορεί να αναλάβει ο κεντρικός Η/Υ αυτόματα ή μέσω περιφερειακών μονάδων εξυπηρέτησης.

PowerConverter

Μεταφέρει την απαραίτητη ενέργεια για την λειτουργία του κινητήρα ανάλογα με τα σήματα χαμηλής ισχύος που δέχεται από τον ελεγκτή.

Feedbackloop

Η λειτουργία ανάδρασης αποσκοπεί στον συνεχή έλεγχο των εντολών θέσης και ταχύτητας που δίνονται προς τον κινητήρα, ο οποίος προκύπτει από την σύγκριση της παρούσας και επιθυμητής κατάστασης βάσει ενός αλγορίθμου ελέγχου, και δίδει τις εντολές στο drive του PowerConverter.

4.11 Μεθοδολογίες λειτουργίας

Αφορά τις διάφορες συνδεσμολογίες των τυλιγμάτων του στάτη για την επίτευξη των επιθυμητών χαρακτηριστικών λειτουργίας (ροπή, ταχύτητα, φορά περιστροφής) σε συνδυασμό βέβαια και με την ταχύτητα ενεργοποίησης των τυλιγμάτων αυτών (βηματικός ρυθμός). Συχνά αναφέρεται και σαν μεθοδολογία οδήγησης όρος ο οποίος θα χρησιμοποιηθεί και στην συνέχεια.

Οι τρόποι οδήγησης που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι οι εξής:

- Οδήγηση R-L
- Μονοπολική οδήγηση
- Διπολική οδήγηση
- Οδήγηση κατατμητού

Οι βηματικοί κινητήρες που διατίθενται στην αγορά ξεχωρίζουν αρχικά από το πλήθος των ακροδεκτών που βγαίνουν από αυτούς.

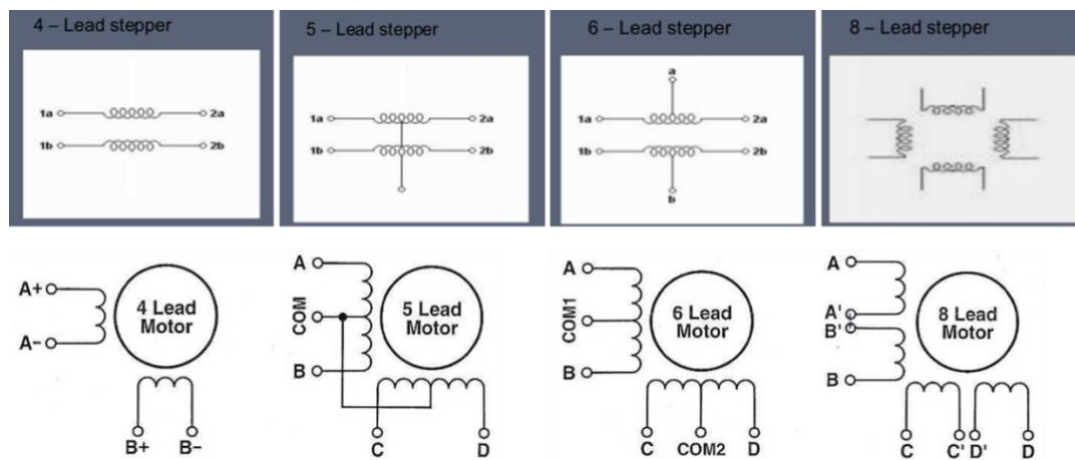
Η βασική κατασκευή ή διαφορετικά ο βασικός τύπος του βηματικού κινητήρα περιλαμβάνει δυο τυλίγματα όπως χαρακτηριστικά δείχνει η Εικόνα 4.12.α (4- leadmotor). Στο σχήμα αυτό, ο κινητήρας τεσσάρων εξωτερικών ακροδεκτών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για διπολική λειτουργία. Για την λειτουργία αυτή θα πρέπει το ρεύμα να ρέει εναλλασσόμενα στα τυλίγματα δηλαδή το τύλιγμα απαιτεί δυο συνδέσεις. Συνεπώς το ηλεκτρονικό κύκλωμα οδήγησης θα πρέπει να αντιστρέφει την τάση του κάθε τυλίγματος συνεχώς. Ένα τέτοιο κύκλωμα επιτυγχάνεται με 4 τρανζίστορ σε συνδεσμολογία γέφυρας.

Στην επόμενη Εικόνα 4.11.β ο βηματικός κινητήρας διαθέτει 5 ακροδέκτες και εσωτερικά βραχυκυκλωμένες μεταξύ τους τις μεσαίες λήψεις των τυλιγμάτων. Ο κινητήρας αυτός μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μονοπολική λειτουργία. Στην περίπτωση αυτή η μεσαία λήψη συνδέεται στο θετικό δυναμικό της πηγής τροφοδοσίας. Ανάλογα με πια επαφή (αρχή ή τέλος) των τυλιγμάτων συνδεθούν με την γείωση έχουμε ρεύμα στο αντίστοιχο μισό του τυλίγματος.

Συνεπώς το ηλεκτρονικό κύκλωμα που απαιτείται για την οδήγηση είναι απλό και επαρκούν δύο τρανζίστορ.

Με 6 ακροδέκτες (Εικόνα 4.12.γ) επιτυγχάνουμε: μονοπολική λειτουργία του βηματικού κινητήρα αν οι μεσαίες συνδεθούν μεταξύ τους (5 ακροδέκτες), διπολική λειτουργία αν οι μεσαίες λήψεις παραμείνουν ασύνδετες, οπότε οι δύο περιελίξεις των τυλιγμάτων συνδέονται σε σειρά.

Στην περίπτωση των 8 (Εικόνα 4.12.δ) ακροδεκτών μπορεί να έχουμε μονοπολική λειτουργία με την δημιουργία μεσαίας λήψης σε κάθε τύλιγμα. Αν οι δύο περιελίξεις του κάθε τυλίγματος συνδεθούν σε σειρά ή παράλληλα, δημιουργούνται δύο ζεύγη ακροδεκτών ένα για κάθε τύλιγμα οπότε ο κινητήρας μπορεί να οδηγηθεί διπολικά.

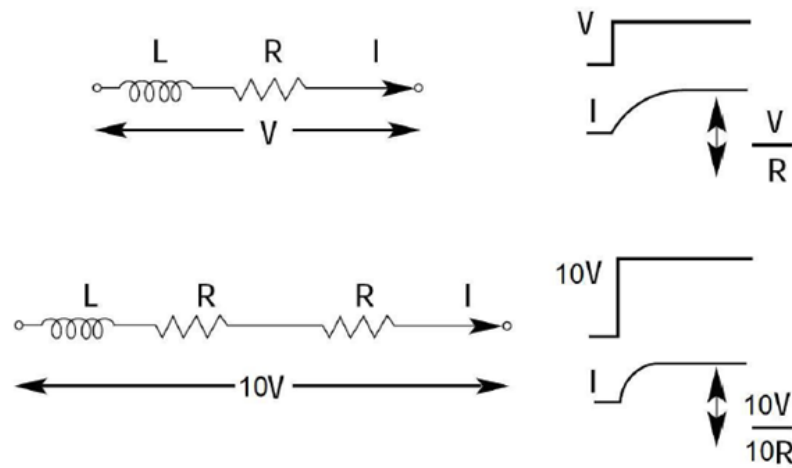


Εικόνα 6.12: Βασικές συνδεσμολογίες βηματικών κινητήρων με (4,5,6 και 8) καλώδια

• Οδήγηση R-L

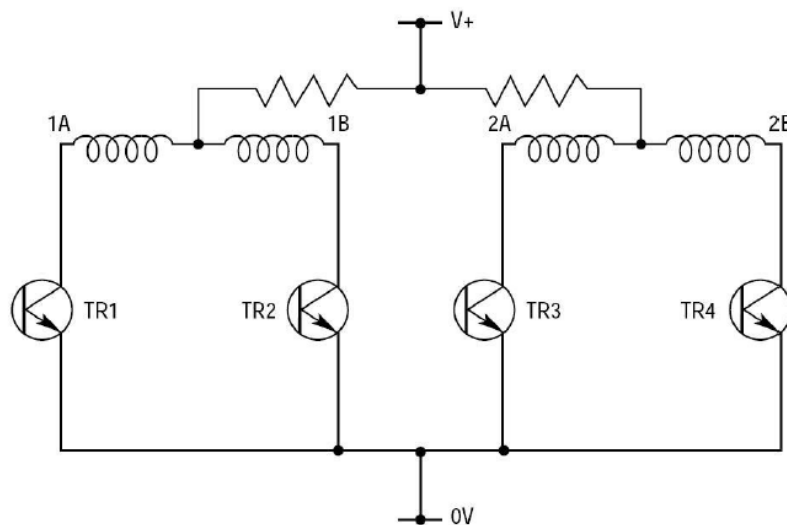
Η λειτουργία/οδήγηση R-L, είναι η πιο απλή μορφή διασύνδεσης του κυκλώματος ισχύος και φαίνεται στην Εικόνα 4.13 και χρησιμοποιείται αποκλειστικά για χαμηλές ισχύς.

Το κύκλωμα ισχύος περιλαμβάνει μία αντίσταση σε σειρά συνδεδεμένη με το κάθε τύλιγμα του στάτη. Αν χρησιμοποιήσουμε παλμό με εφαρμοζόμενη τάση (τάση τροφοδοσίας) 10 φορές την ονομαστική τάση της μηχανής, προσθέτοντας σε σειρά αντίσταση $9R$, το ρεύμα θα φθάσει στο $1/10$ του αρχικού χρόνου χωρίς να επηρεάζεται η μέγιστη τιμή. Έτσι θα πάρουμε "άμεση" περιστροφή του κινητήρα (γρήγορη απόκριση). Όπως σε παρόμοιες μεθοδολογίες (προσθήκη αντίστασης σε σειρά με το τύλιγμα) υπάρχει τίμημα για την γρήγορη αυτή απόκριση. Οι επιπλέον αντιστάσεις που συνδέονται στα τυλίγματα του στάτη σημαίνουν αυξημένες απώλειες στο κύκλωμα (χαμηλή απόδοση). Επιπλέον απαιτείται τροφοδοτικό μεγαλύτερης ισχύος. Για τους λόγους αυτούς η οδήγηση R-L χρησιμοποιείται μόνο σε εφαρμογές χαμηλής ισχύος, για να πετύχουμε γρήγορη/άμεση απόκριση στην περιστροφή του δρομέα.



Εικόνα 6.13: Αρχή οδήγησης λειτουργίας R-L

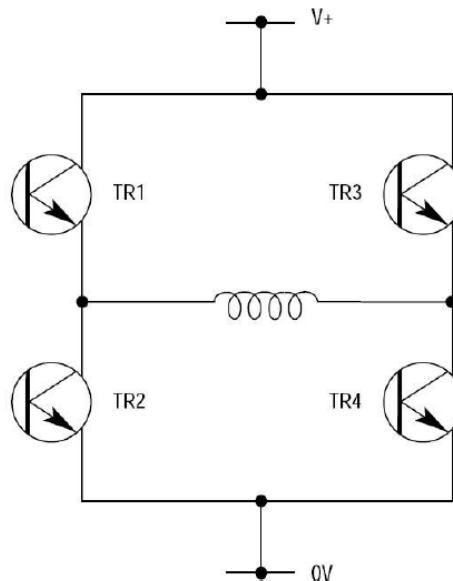
Ονομάζεται μονοπολική διάταξη γιατί το ρεύμα του στάτη λόγω δομής του κυκλώματος διατηρεί μόνο μια φορά. Είναι η πιο απλή μορφή κυκλώματος ισχύος, απαιτεί όμως κινητήρες που έχουν τύλιγμα στάτη με διπλή σπείρα τυλίγματος σε κάθε πόλο οπότε η μη εναλλαγή του ρεύματος πραγματοποιείται με την μεταφορά του στο δεύτερο τύλιγμα, δηλαδή τύλιγμα με μεσαία λήψη. Η τάση τροφοδοσίας εφαρμόζεται μεταξύ της μεσαίας λήψης και ενός από τους ελεύθερους ακροδέκτες του τυλίγματος. Το ρεύμα καθορίζεται από την αντίσταση των τυλιγμάτων και από την τάση τροφοδοσίας, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.14. Η φορά περιστροφής του δρομέα εξαρτάται από το ποιος ακροδέκτης συνδέεται με την τροφοδοσία.



Η μονοπολική οδήγηση μπορεί να πραγματοποιηθεί με τρεις μεθόδους: μονής φάσης (simplephase ή wave), διπλής φάσης (two - phase) και μισού βήματος (half - step).

- **Διπολικής οδήγησης ή διπλής φάσης**

Για να πετύχουμε καλύτερα αποτελέσματα (ροπή, ταχύτητα) χρησιμοποιείται η μέθοδος της διπολικής οδήγησης σε σχήμα γέφυρας. Στην περίπτωση αυτή, τα τυλίγματα του στάτη δεν χρειάζεται να έχουν μεσαία λήψη (Εικόνα 4.15). Για να αλλάξει η φορά περιστροφής αρκεί να αλλάξει φορά το ρεύμα και στις δύο φάσεις. Η μέθοδος αυτή οδήγησης παράγει μεγαλύτερη ροπή, ιδίως στις χαμηλές ταχύτητες, αλλά ηλεκτρονικά είναι περισσότερο πολύπλοκες.



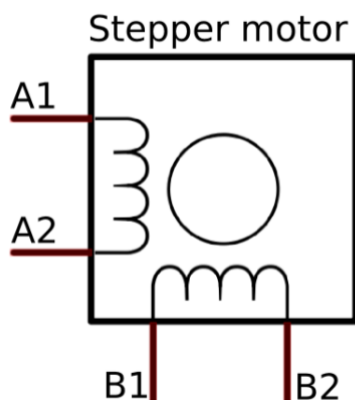
Εικόνα 6.15: Διπολική οδήγηση βηματικού κινητήρα

Η διπολική κίνηση μπορεί να πραγματοποιηθεί με τρεις μεθόδους: μονής φάσης (simplephase ή wave), διπλής φάσης (two - phase) και μισού βήματος (half - step).

Παράδειγμα διπολικής οδήγησης διπλής φάσης

Η διπολική οδήγηση διπλής φάσης είναι η μέθοδος οδήγησης που χρησιμοποιείται συχνότερα. Για παράδειγμα στους οδηγούς εύκαμπτων δίσκων (floppydrives) χρησιμοποιείται για χρόνια.

Στην οδήγηση διπλής φάσης το κύκλωμα ενεργοποιεί ταυτόχρονα και τα δυο ξεχωριστά τυλίγματα του στάτη, με αποτέλεσμα ο μόνιμος μαγνήτης του δρομέα να ακινητοποιείται σε μια θέση ανάμεσα στα 2 ενεργοποιημένα τυλίγματα. Αν ονομάσουμε τα άκρα των δυο τυλιγμάτων A1-A2, B1-B2 όπως στην Εικόνα 4.16, τότε προκειμένου να στρέφουμε τον κινητήρα κατά ένα βήμα τη φορά προς μία κατεύθυνση, θα πρέπει να τροφοδοτούμε τα τυλίγματα όπως φαίνεται στον παρακάτω Πίνακα 1.



Εικόνα 6.16: Διπολική οδήγηση διπλής φάσης

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: Σύνδεση ακροδεκτών τυλιγμάτων A1-A2 & B1-B2

Αριθμόςβήματος	A1	A2	B1	B2
1	-	+	-	+
2	-	+	+	-
3	+	-	+	-
4	+	-	-	+

Σημείωση: Με - συμβολίζουμε τον αρνητικό ακροδέκτη (π.χ. GND) και με + το θετικό (π.χ. V_{cc}).

Ο παραπάνω Πίνακας 1 μας δείχνει πως πρέπει να πολωθούν τα τυλίγματα προκειμένου να έχουμε οδήγηση διπλής φάσης. Όπως παρατηρούμε σε κάθε βήμα είναι πολωμένα και τα δύο τυλίγματα. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μετά από τέσσερα βήματα. Έτσι αν θέλουμε να περιστρέφουμε τον κινητήρα συνεχώς προς μια κατεύθυνση θα πρέπει να ακολουθούμε το προηγούμενο μοτίβο ανελλιπώς. Τώρα αν ακολουθήσουμε ακριβώς την αντίστροφη αλληλουχία ακροδεκτών τότε ο κινητήρας περιστρέφεται αντίστροφα. Αν μετά από έναν παλμό (step) βρισκόμαστε στην κατάσταση όπου A1=-, A2 = +, B1= - και B2= +τότε απλά αλλάζοντας την πολικότητα των B1 και B2 (διατηρώντας την πολικότητα των A1 και A2) ο κινητήρας μας θα εκτελέσει ένα βήμα προς μια κατεύθυνση. Αν όμως αλλάξουμε την πολικότητα των A1 και A2 (διατηρώντας τώρα την πολικότητα των B1 και B2) ο κινητήρας θα εκτελέσει ένα βήμα προς την αντίθετη κατεύθυνση κ.ο.κ

Αν προσέξουμε καλά τον πίνακα 1 θα διαπιστώσουμε ότι κάθε φορά το A2 είναι αντίθετο του A1, όπως και το B2 αντίθετο του B1. Αυτό σημαίνει ότι δεν έχουμε τέσσερις διαφορετικές καταστάσεις αλλά δύο. Επειδή όλα τα FlipFlop παρέχουν και την συμπληρωματική έξοδο συνεπάγεται ότι αρκούν μόνο δύο FlipFlop για την υλοποίηση του κυκλώματος. Αντικαθιστώντας τα σύμβολα - και + με της δυαδικής λογικής 0 και 1 προκύπτει ο επόμενος πίνακας (Πίνακας 2) ακολουθίας παλμών A και B αντίστοιχα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2: Ακολουθία παλμών

Αριθμόςβήματος	A	B
1	0	0
2	0	1
3	1	1
4	1	0

4.12 Πλεονεκτήματα-μειονεκτήματα

Τα πλεονεκτήματα των βηματικών κινητήρων είναι:

- Έχουν εξαιρετική απόκριση στην εκκίνησή τους. Επίσης δεν απαιτείται μηχανικό φρένο για την επιβράδυνση τους.
- Ο βηματικός κινητήρας όταν βρίσκεται σε κατάσταση ακινησίας ασκεί μαγνητική δύναμη στο ρότορα, που δεν τον επιτρέπει να περιστραφεί ελεύθερα (εφόσον τα πηνία τροφοδοτούνται με ρεύμα) Εικόνα 4.17. Έτσι, σε αντίθεση με τους κινητήρες συνεχούς ρεύματος, δεν χρειάζονται φρένα για να μένουν ακίνητοι.
- Η απόκριση του κινητήρα σε εισερχόμενους ψηφιακούς παλμούς δίνει την δυνατότητα ελέγχου Ανοικτού Βρόγχου (OpenLoopOperation) με μεγάλη ακρίβεια, κάνοντας τον κινητήρα ευκολότερα και φθηνότερο ελέγξιμο. Για τον έλεγχο ανοικτού βρόχου δεν χρειάζεται να υπάρχει ανάδραση πληροφορίας στο σύστημα ελέγχου για τη θέση του συστήματος, κάτι που είναι απαραίτητο στον έλεγχο κλειστού βρόχου. Αυτό σημαίνει ότι αποφεύγονται έξοδα για ακριβούς αισθητήρες θέσης και συσκευές ανάδρασης. Η θέση του συστήματος μπορεί εύκολα να υπολογιστεί σε κάθε στιγμή αν κρατούνται ως δεδομένα οι εισερχόμενοι παλμοί στον κινητήρα. Έτσι ξεκινώντας από μια θέση μπορεί, μετρώντας τον αριθμό και τις εναλλαγές των παλμών, μπορεί να υπολογιστεί η θέση του συστήματος σε κάθε χρονική στιγμή.
- Οι μετακινήσεις είναι ακριβείς καθώς ο βηματικός κινητήρας έχει ακρίβεια έως και 5% σε κάθε βήμα. Δηλαδή μεγάλη ακρίβεια θέσης χωρίς συσσωρευτική απόκλιση.
- Ο βηματικός κινητήρας μπορεί να επιτύχει πολύ χαμηλές ταχύτητες περιστροφής.
- Είναι πολύ αξιόπιστος καθώς για την λειτουργία του δεν απαιτούνται κινούμενες ηλεκτρικές επαφές όπως στον κινητήρα συνεχούς ρεύματος. Επομένως η ζωή του κινητήρα εξαρτάται μόνο από τη ζωή του εδράνου κύλισης.
- Στις μικρές ταχύτητες περιστροφής, αλλά και κατά την εκκίνησή του παράγει μεγάλες τιμές ροπής.
- Είναι εύκολη η διασύνδεση και ο έλεγχος του από μικροεπεξεργαστή, σε αντίθεση με του κινητήρες DC.



Εικόνα 6.17: Βηματικός κινητήρας

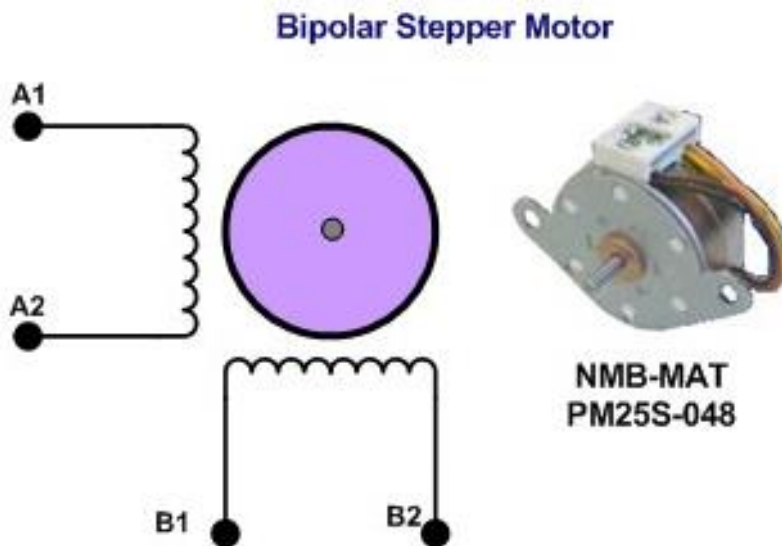
Τα μειονεκτήματα ενός βηματικού κινητήρα είναι τα ακόλουθα:

- Δεν είναι εύκολη η λειτουργία του σε υψηλές ταχύτητες.
- Η λειτουργία του κινητήρα μπορεί να είναι ιδιαίτερα θορυβώδης ειδικά εάν αυτός δεν ελέγχεται σωστά.
- Κατά την μετακίνηση φορτίων μεγάλης μάζας μπορεί να μην σταματήσει ακαριαία ο κινητήρας, λόγω της αυξημένης αδράνειας.
- Είναι σχετικά αδύναμος για το μέγεθος του. Η ύπαρξη του φαινομένου του μαγνητικού κορεσμού και η ανάγκη ψύξης είναι η αιτία για την οποία έχουν χαμηλό λόγο ισχύος προς βάρος μηχανής.

4.13 Οδηγός αναγνώρισης βηματικού κινητήρα

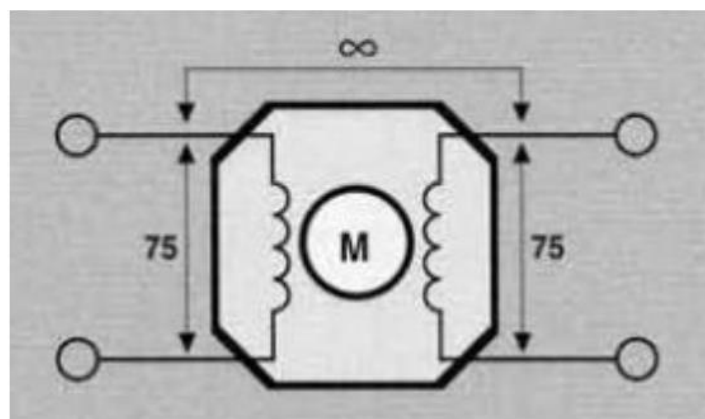
- **Διπολικός κινητήρας**

Ένας διπολικός κινητήρας (Εικόνα 4.18) διαθέτει τυλίγματα στα οποία το ρεύμα ρέει προς τη μία κατεύθυνση και στην συνέχεια προς την αντίθετη κατεύθυνση δηλαδή εναλλασσόμενα. Αυτή η ροή ρεύματος δημιουργεί ένα μαγνητικό πεδίο το οποίο επίσης αλλάζει κατεύθυνση με αποτέλεσμα την περιστροφή του κινητήρα.



Εικόνα 6.18: Διπολικός κινητήρας

Το τύλιγμα ενός διπολικού κινητήρα απαιτεί δύο συνδέσεις και το κύκλωμα οδήγησης θα πρέπει να έχει τη δυνατότητα να περιστρέφει συνεχώς την εφαρμοζόμενη τάση. Για τον σκοπό αυτόν, απαιτείται ένα κύκλωμα με τέσσερα τρανζίστορ σε συνδεσμολογία γέφυρας. Είναι γνωστό ότι ένας βηματικός κινητήρας διαθέτει δύο τουλάχιστον τυλίγματα στάτη. Έτσι, όταν ένας βηματικός κινητήρας διαθέτει τέσσερις ακροδέκτες είναι σχεδόν σίγουρο ότι είναι διπολικός. Ο έλεγχος των τυλιγμάτων και οι απαραίτητες συνδέσεις στην περίπτωση αυτή φαίνεται στην Εικόνα 4.19. Το ένα τύλιγμα συνδέεται στους δύο ακροδέκτες εξόδου π.χ. Α, Β του τροφοδοτικού - γέφυρα και το άλλο στους άλλους δύο C, D. Η αντιμετάθεση των συνδέσεων σε ένα (πρώτο) από τα δύο τυλίγματα έχει σαν αποτέλεσμα την αλλαγή φοράς περιστροφής του κινητήρα.

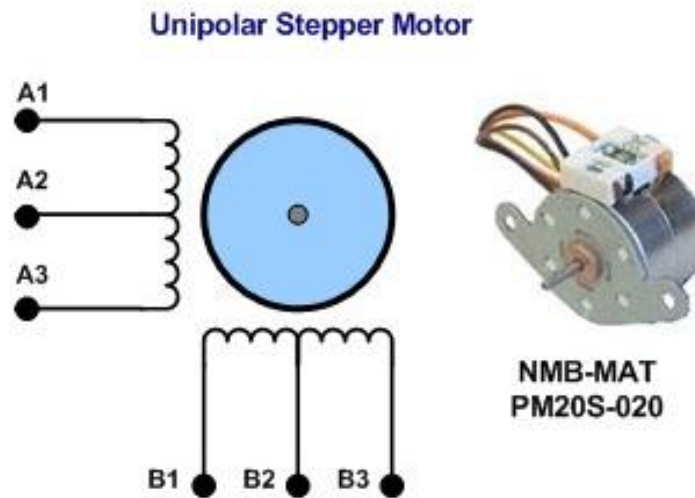


Εικόνα 6.19: Οι συνδέσεις του διπολικού κινητήρα

- **Μονοπολικός κινητήρας**

Ένας μονοπολικός κινητήρας διαθέτει τυλίγματα με μεσαία λήψη όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.20. Το τύλιγμα αυτό απαιτεί τρεις συνδέσεις. Η μεσαία λήψη θα πρέπει να συνδεθεί

στη γραμμή του θετικού δυναμικού της τάσης τροφοδοσίας. Αν ο ακροδέκτης αρχής του τυλίγματος συνδεθεί με την γείωση του τροφοδοτικού και η επαφή του τέρματος μείνει ανοιχτή τότε θα υπάρξει ροή ρεύματος στο πρώτο μισό του τυλίγματος.



Εικόνα 6.20: Μονοπολικός κινητήρας

Αν η επαφή τέρματος συνδεθεί στη γείωση (με ανοιχτή την επαφή αρχής) τότε θα υπάρξει ροή ρεύματος στο δεύτερο μισό του τυλίγματος. Η ροή του ρεύματος στο δεύτερο μισό του τυλίγματος θα έχει αντίθετη φορά και έτσι το μαγνητικό πεδίο που δημιουργείται θα είναι επίσης αντίθετο (ανεστραμμένο). Έτσι το κύκλωμα λειτουργίας/οδήγησης του κινητήρα θα είναι απλό και για την απαιτούμενη λειτουργία θα συνδέεται κάθε φορά η γείωση του τροφοδοτικού με την αρχή ή το τέλος του τυλίγματος.

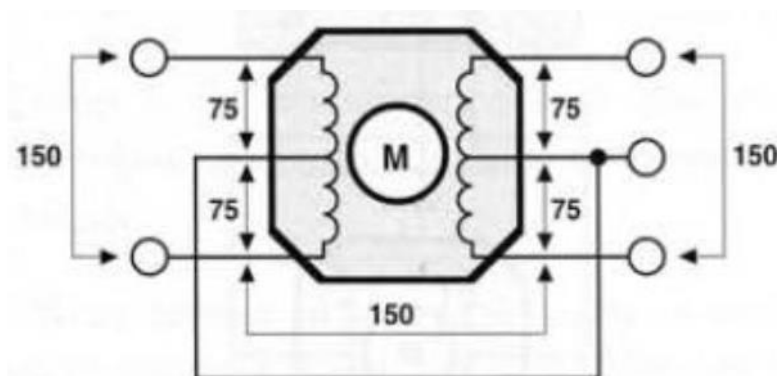
Όταν ένας βηματικός κινητήρας διαθέτει πέντε (κοινή μεσαία λήψη και για τα δυο τυλίγματα) ή έξι ακροδέκτες είναι σχεδόν σίγουρο ότι είναι μονοπολικός. Σε περίπτωση κινητήρα με περισσότερες ακροδέκτες, δεν είναι δυνατή η αναγνώρισή του αμέσως. Είναι απαραίτητο να ανοιχθεί το κάλυμμα του κινητήρα και να διαπιστωθεί το είδος του από τις εσωτερικές ηλεκτρικές του συνδέσεις.

Έχοντας προσδιορίσει τον τύπο του κινητήρα, στην συνέχεια θα πρέπει να βρεθεί ποιοι ακροδέκτες ανήκουν σε κάθε τύλιγμα. Με την βοήθεια ενός πολυμέτρου μετράμε την αντίσταση μεταξύ των ακροδεκτών και συντάσσουμε μια λίστα με τα αντίστοιχα αποτελέσματα. Είναι γνωστό ότι: η αντίσταση που εμφανίζεται μεταξύ των επαφών αρχής και τέρματος ενός τυλίγματος είναι χαμηλή, η αντίσταση ανάμεσα στην μεσαία λήψη και σε ένα από τα άκρα ενός τυλίγματος θα έχει την μισή τιμή σε σχέση με εκείνη που μετρήθηκε σε ολόκληρο το τύλιγμα. Μεταξύ διαφορετικών τυλιγμάτων θα πρέπει να μετρηθεί άπειρη αντίσταση ή τουλάχιστον μερικά ΜΩ. Με τον τρόπο αυτό γενικά είναι δυνατόν να προσδιορίσουμε ποιες συνδέσεις ανήκουν σε κάθε ένα από τα υπάρχοντα τυλίγματα.

Όταν ένας μονοπολικός κινητήρας διαθέτει μια μεσαία λήψη κοινή και για τα δυο τυλίγματα (5 συνολικά ακροδέκτες) τότε είναι αδύνατο να προσδιορίσουμε την αντιστοιχία ακροδεκτών και τυλιγμάτων. Στην περίπτωση αυτή, ο ακροδέκτης που αντιστοιχεί στη μεσαία λήψη, θα παρουσιάζει την ίδια τιμή αντίστασης σε σχέση με όλους τους άλλους ακροδέκτες.

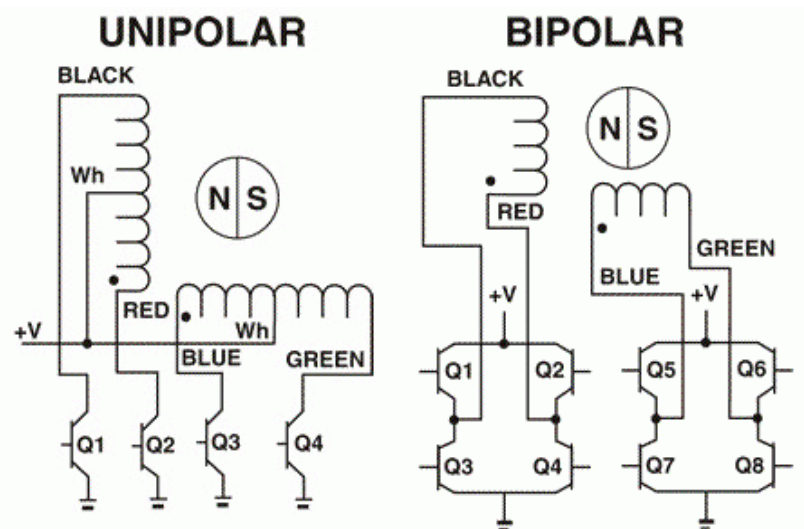
Όσον αφορά την τροφοδοσία του κινητήρα μέσω γέφυρας με ακροδέκτες εξόδου (A,B) και (C,D) στην περίπτωση μονοπολικού κινητήρα 6 ακροδεκτών οι μεσαίες λήψεις συνδέονται στον θετικό ακροδέκτη της τάσης τροφοδοσίας της γέφυρας και τα άκρα των τυλιγμάτων στα αντίστοιχα ζεύγη ακροδεκτών εξόδου της γέφυρας (A,B) και (C,D) αντίστοιχα. Η αντιμετάθεση της σύνδεσης των ακροδεκτών A και B αντιστρέφει τη φορά περιστροφής του κινητήρα. Για την εναλλαγή των συνδέσεων θα πρέπει πρώτα να αποσυνδέεται η τάση τροφοδοσίας της γέφυρας.

Στη περίπτωση μονοπολικού βηματικού κινητήρα 5 επαφών είναι φανερό ότι ο θετικός ακροδέκτης της τάσης τροφοδοσίας συνδέεται στον κοινό ακροδέκτη της μεσαίας λήψης των τυλιγμάτων και οι υπόλοιποι ακροδέκτες όπως παρακάτω (Εικόνα 4.21). Η αυθαίρετη σύνδεση των ακρών των υπολοίπων τυλιγμάτων στους ακροδέκτες A,B και C,D μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την κανονική λειτουργία του κινητήρα ή την λειτουργία με δονήσεις που είναι μια μη κανονική λειτουργία.



Εικόνα 6.21: Οι συνδέσεις του μονοπολικού κινητήρα

Στην παρακάτω Εικόνα 4.22 αποτυπώνεται μια συγκριτική απεικόνιση οδήγησης μονοπολικού και διπολικού βηματικού κινητήρα

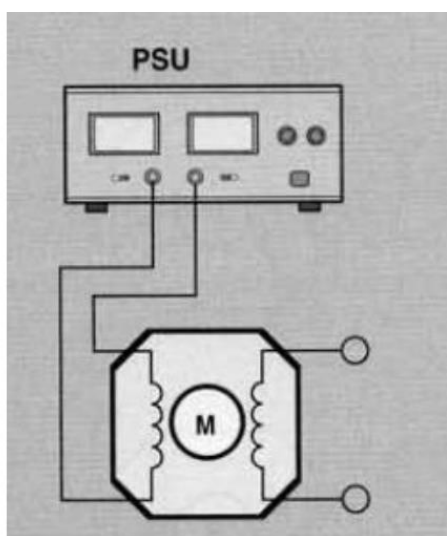


Εικόνα 6.22: Συγκριτική απεικόνιση οδήγησης μονοπολικού και διπολικού βηματικού κινητήρα

4.14 Χαρακτηριστικά - Τάση - ρεύμα λειτουργίας

Συνήθως αναγράφεται στην πινακίδα του κινητήρα. Αν δεν αναγράφεται υπάρχει τρόπος να προσδιορίσουμε την τάση λειτουργίας του έμμεσα όπως θα αναπτύξουμε στην συνέχεια. Αρχικά είναι πιθανό να γνωρίζουμε την τιμή της τάσης τροφοδοσίας του κυκλώματος από το οποίο «προήλθε» ή προορίζεται ο βηματικός κινητήρας που εξετάζουμε. Για παράδειγμα ένας βηματικός κινητήρας από έναν τυπικό οδηγό δισκέτας (floppydrive) λειτουργεί είτε σε 5 είτε σε 12 Volt. Αν ωστόσο δεν υπάρχει καμία πληροφόρηση για την ακριβή τιμή της τάσης τροφοδοσίας, τότε μπορεί να γίνει μια εκτίμηση με τη βοήθεια της παρακάτω μεθόδου.

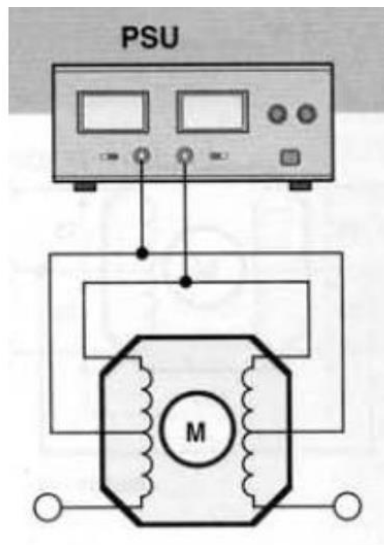
Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή συνδέουμε τον βηματικό κινητήρα σε ένα τροφοδοτικό μεταβλητής τάσης. Στη περίπτωση διπολικού κινητήρα συνδέουμε ένα τύλιγμά του στο τροφοδοτικό μεταβλητής τάσης όπως φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί (Εικόνα 4.23).



Εικόνα 6.23: Μέτρηση της μέγιστης επιτρεπόμενης τάσης λειτουργίας σε διπολικό κινητήρα

Στην περίπτωση μονοπολικού κινητήρα συνδέουμε και τα δυο τυλίγματα στο τροφοδοτικό μεταβλητής τάσης όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.24. Ρυθμίζουμε την τάση του τροφοδοτικού σε μερικά volts και περιμένουμε για μερικά λεπτά. Αγγίζουμε τον κινητήρα για να αισθανθούμε αν έχει αυξηθεί η θερμοκρασία του. Αν όχι, αυξάνουμε περαιτέρω την τάση του τροφοδοτικού και μετά από μερικά λεπτά ξανά ελέγχουμε την θερμοκρασία του κινητήρα. Επαναλαμβάνουμε την παραπάνω διαδικασία μέχρι η θερμοκρασία του κινητήρα οριακά να μην επιτρέπει να αγγιχθεί. Η τιμή της τάσης αυτής θα αποτελεί μια ικανοποιητική εκτίμηση της μέγιστης επιτρεπόμενης τάσης λειτουργίας για τον συγκεκριμένο κινητήρα.

Ο υπολογισμός του ρεύματος μπορεί να γίνει κατευθείαν με μέτρηση από την παραπάνω διαδικασία ή να προκύψει από την διαίρεση της τάσης με την ωμική αντίσταση του τυλίγματος.



Εικόνα 6.24: Μέτρηση της μέγιστης επιτρεπόμενης τάσης λειτουργίας σε μονοπολικό κινητήρα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

5.1 ARDUINO

Το Arduino είναι μια ηλεκτρονική πλατφόρμα ανοιχτού κώδικα και σχεδιασμού που βασίζεται σε εύχρηστο υλικό και λογισμικό (Εικόνα 6.1). Αποτελείται από ένα προγραμματιζόμενο κύκλωμα, που αναφέρεται ως μικροελεγκτής (MCU), με έναν αριθμό πυλών (pins), ως είσοδοι/έξοδοι (I/O) για τη σύνδεση με το φυσικό κόσμο. Ο μικροελεγκτής του προγραμματίζεται μέσα από το περιβάλλον ανάπτυξης κώδικα IDE χρησιμοποιώντας τη γλώσσα προγραμματισμού wiring, η οποία είναι μια απλοποιημένη έκδοση της C/C++ που περιλαμβάνει ένα σύνολο βιβλιοθηκών επίσης στη C++ διευκολύνοντας την εκμάθηση του προγράμματος. Το λογισμικό είναι ανοιχτού κώδικα και επιτρέπει την ανάπτυξη ενός υπολογιστικού συστήματος που θα ελέγχει άλλες συσκευές (Πάλλας & Ορφανάκης, 2016α). Επιπλέον, δεν χρειάζεται ξεχωριστό κομμάτι υλικού, για να φορτώσει έναν κώδικα στο board, καθώς χρησιμοποιεί καλώδιο USB. Η πλατφόρμα Arduino έχει γίνει αρκετά δημοφιλής με ανθρώπους που ξεκινούν απλά με ηλεκτρονικά. Είναι εύκολη στη χρήση για αρχάριους, αλλά και αρκετά ευέλικτη για προχωρημένους χρήστες.



Εικόνα 7.1: Λογότυπο της εταιρίας

Οι ιδρυτές ο Massimo Banzi και David Cueartielles ξεκίνησαν να παράγουν το 2005 πλακέτες Arduino σε ένα μικρό εργοστάσιο στη Ιβρέα (<https://www.arduino.cc>, 2021). Αρχικά, δημιουργήθηκε ως ένα εκπαιδευτικό εργαλείο, που απευθυνόταν σε φοιτητές χωρίς ιστορικό ηλεκτρονικών και προγραμματισμού. Όταν έγινε ευρύτερα γνωστό άρχισε να αλλάζει για να προσαρμοστεί στις νέες ανάγκες και προκλήσεις, διαφοροποιώντας την προσφορά του από απλές κάρτες 8-bit σε προϊόντα για εφαρμογές φορητές, IoT, 3D εκτυπώσεις και ενσωματωμένα περιβάλλοντα. Όλες οι πλακέτες Arduino είναι ανοιχτού κώδικα, επιτρέποντας στους χρήστες να τις κατασκευάζουν ανεξάρτητα και να τις προσαρμόζουν στις ιδιαίτερες ανάγκες τους.

Το Arduino μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ανάπτυξη διαδραστικών αυτοματοποιημένων συστημάτων, ικανών να δεχθούν ως εισόδους μια πληθώρα αισθητήριων οργάνων, αλλά και

διαφόρων συσκευών εξόδου, που είναι ικανές να ελέγχουν άλλες συσκευές. Η πολύ μεγάλη ποικιλία των συμβατών αισθητήρων για το Arduino που διατίθενται στο εμπόριο μπορεί εύκολα να τον κάνουν να λειτουργεί ως ένας ελεγκτής (controller). Οι εφαρμογές που ενσωματώνουν το Arduino στη μουσική τεχνολογία πληθαίνουν ραγδαία χάρη στην απλή και προσβάσιμη εμπειρία του χρήστη.

Βασικά Πλεονεκτήματα πλατφόρμας Arduino:

- Οικονομική: Οι πλακέτες του Arduino είναι εξαιρετικά φθηνές σε σχέση με άλλες πλατφόρμες μικροελεγκτών. Ειδικά δε μπορεί με τα σχηματικά που κυκλοφορούν στο Internet να κατασκευάσει κάποιος την φθηνότερη έκδοση ενός Arduino. Ωστόσο ακόμα και αν προμηθευτεί την έτοιμη (μονταρισμένη πλακέτα) αυτή θα κοστίσει το μέγιστο 50 Euro.
- Απλό, ξεκάθαρο προγραμματιστικό περιβάλλον. Το περιβάλλον προγραμματισμού ενός Arduino ενδείκνυται για αρχάριους, αλλά είναι ταυτόχρονα και ευέλικτο και για πιο προχωρημένους χρήστες.
- Μεταφέρσιμη: Σε σχέση με τις υπάρχουσες πλατφόρμες στο εμπόριο η πλατφόρμα Arduino παρέχει πλήρη μεταφερσιμότητα με αποτέλεσμα να μπορεί να προγραμματιστεί στα περισσότερα λειτουργικά συστήματα.
- Επεκτάσιμη: Το υλικό και το λογισμικό της πλατφόρμας Arduino είναι ανοιχτά και ελεύθερα για όλους. Καθημερινά, χιλιάδες υποστηρικτές του ελεύθερου λογισμικού αναπτύσσουν διάφορες βιβλιοθήκες για την υποστήριξη της πλατφόρμας. Παράλληλα, τόσο η αρχιτεκτονική όσο και το υλικό της πλατφόρμας εξελίσσονται συνεχώς.

5.2 Εκδόσεις υπολογιστικής πλατφόρμας Arduino

➤ Υπολογιστική πλατφόρμα Arduino Mini

Το Arduino Mini (Εικόνα 5.3) είναι η πιο μικρή σε μέγεθος έκδοση που χρησιμοποιεί τον Atmega 328 έχει 14 ψηφιακές θύρες εισόδου και εξόδου (I/O) εκ των οποίων οι έξι μπορούν να παράγουν P.W.M., 8 αναλογικές θύρες, 16MHz ταλαντωτή κρυστάλλου και κουμπί «reset».



Εικόνα 7.2: Arduino Mini

➤ Υπολογιστική πλατφόρμα Arduino Pro Mini

Το Arduino Pro Mini (Εικόνα 5.4) χρησιμοποιεί τον Atmega 168 έχει 14 ψηφιακές θύρες εισόδου και εξόδου (I/O) εκ των οποίων οι 6 μπορούν να παράγουν P.W.M., 6 αναλογικές θύρες και η βασική του διαφορά με τον Pro πέρα του ότι είναι μεγαλύτερος είναι ότι έχει προ-συγκολλημένες θύρες (Pin). Σχεδιάστηκε και παράγεται από την εταιρία «Spark Fun Electronics».



Εικόνα 7.3: Arduino Pro Mini

➤ Υπολογιστική πλατφόρμα Arduino Micro

Το Arduino Micro χρησιμοποιεί τον Atmega 32u4 (Εικόνα 5.5) έχει 20 ψηφιακές θύρες εισόδου και εξόδου (I/O) εκ των οποίων οι 7 μπορούν να παράγουν P.W.M., 12 αναλογικές θύρες, 16MHz ταλαντωτή κρυστάλλου, κουμπί «reset» κεφαλή «ICSP». Το βασικό του πλεονέκτημα είναι το ενσωματωμένο («built-in») usb με το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πληκτρολόγιο και ποντίκι. Ο σχεδιασμός και η παραγωγή του γίνεται σε συνεργασία με την εταιρία «Adafruit».



Εικόνα 7.4: Arduino Micro

➤ Υπολογιστική πλατφόρμα Arduino Nano

Το Arduino Nano χρησιμοποιεί τον Atmega328 (Εικόνα 5.6) ουσιαστικά βασίζεται στο Arduino Duemilanove με τη διαφορά ότι είναι μικρότερος σε μέγεθος και στην απώλεια εξωτερικής τροφοδοσίας. Επίσης συνδέεται μέσω Mini-BUSB και σχεδιάστηκε και παράγεται από την εταιρία «Gravitech».



Εικόνα 7.5: Arduino Nano

➤ Υπολογιστική πλατφόρμα Arduino Frio

Το Arduino Frio (Εικόνα 5.7) χρησιμοποιεί τον Atmega 328P η τροφοδοσία του γίνεται με 3.3V και δουλεύει στα 8 MHz έχει 14 ψηφιακές θύρες εισόδου και εξόδου (I/O) εκ των οποίων οι 6 μπορούν να παράγουν P.W.M., καθώς και 8 αναλογικές θύρες. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα του σε σχέση με τις υπόλοιπες εκδόσεις είναι ότι σχεδιάστηκε για εφαρμογές που χρησιμοποιούν ασύρματα πρωτόκολλα επικοινωνίας γι αυτό και έχει ενσωματωμένη θύρα για μπαταρία και υποδοχή «usb-to-Xbee».



Εικόνα 7.6: Arduino Frio

➤ Υπολογιστική πλατφόρμα Arduino Pro

Το Arduino Pro (Εικόνα 5.8) χρησιμοποιεί τον Atmega 328 ή Atmega 168 η τροφοδοσία του γίνεται με 3.3V ή 5V, δουλεύει στα 8 MHz ή στα 16MHz ανάλογα με την έκδοση, έχει 14 ψηφιακές θύρες εισόδου και εξόδου (I/O) εκ των οποίων οι 6 μπορούν να παράγουν P.W.M., καθώς και 6 αναλογικές θύρες. Σχεδιάστηκε για σταθερές εφαρμογές για αυτό και οι υποδοχές του δεν είναι συγκολλημένες. Σχεδιάστηκε και παράγεται από την εταιρία «Spark Fun Electronics».



Εικόνα 7.7: Arduino Pro

➤ Υπολογιστική πλατφόρμα Arduino Leonardo

Το Arduino Leonardo χρησιμοποιεί τον Atmega 32u4 (Εικόνα 5.9) έχει 20 ψηφιακές θύρες εισόδου και εξόδου (I/O) εκ των οποίων οι 7 μπορούν να παράγουν P.W.M., 12 αναλογικές θύρες, 16MHz ταλαντωτή κρυστάλλου και κουμπί «reset». Επίσης, έχει ενσωματωμένο («built-in») usb με το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πληκτρολόγιο και ποντίκι.



Εικόνα 7.8: Arduino Leonardo

➤ Υπολογιστική πλατφόρμα Arduino Due

Το Arduino Due (Εικόνα 5.10) χρησιμοποιεί τον ATMEL SAM3X8E ARM Cortex-M3 CPU και είναι η πρώτη υπολογιστική πλατφόρμα Arduino που έχει ARM πυρήνα 32-bit μικροελεγκτή. Έχει 54 ψηφιακές θύρες εισόδου και εξόδου (I/O) εκ των οποίων οι 12 μπορούν να παράγουν P.W.M. και άλλες δυο θύρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για «12C» επικοινωνία, 12 αναλογικές θύρες, 84MHz ταλαντωτή κρυστάλλου, κουμπί «reset», 4 σειριακές θύρες για «hardware micro-usb», δυο θύρες μετατροπής ψηφιακού σήματος σε αναλογικό, «SPI» και «JTAG» κεφαλή, ενώ τροφοδοτείται μόνο με 3.3V.



Εικόνα 7.9: Arduino Due

➤ Υπολογιστική πλατφόρμα Arduino Mega 2560

Το Arduino Mega 2560 (Εικόνα 5.11) είναι η πιο ισχυρή και πιο πρόσφατη υπολογιστική πλατφόρμα Arduino με πάρα πολλές δυνατότητες και είναι η αναβάθμιση του Arduino Mega. Χρησιμοποιεί τον Atmega 2560 μικροελεγκτή της ATMEL. Έχει 54 ψηφιακές θύρες εισόδου και εξόδου (I/O) εκ των οποίων οι 15 μπορούν να παράγουν «8-bit» P.W.M. και άλλες δυο θύρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για «12C» επικοινωνία καθώς και 6 εξωτερικά interrupt, 16 αναλογικές θύρες, 16 MHz ταλαντωτή κρυστάλλου, κουμπί «reset», 4 σειριακές θύρες για «hardware» κεφαλή και 4 θύρες «SPI» για την σύνδεση με άλλα περιφερειακά ή πλακέτες.



Εικόνα 7.10: Arduino Mega 2560

➤ Υπολογιστική πλατφόρμα Arduino ADK

Το Arduino ADK (Εικόνα 5.12) είναι ουσιαστικά ακριβώς η ίδια υπολογιστική πλατφόρμα με τον Arduino Mega 2560 με την σημαντική διαφορά ότι η διασύνδεση «usb» γίνεται από τον ελεγκτή «MAX3421EIC» και επιτρέπει στην υπολογιστική πλατφόρμα να επικοινωνήσει και να αλληλοεπιδρά με οποιαδήποτε συσκευή έχει θύρα «usb» για παράδειγμα κινητά τηλέφωνα, φωτογραφικές μηχανές, πληκτρολόγια, ποντίκια, παιχνιδιομηχανές κ.α.



Εικόνα 7.11: Arduino ADK

➤ Υπολογιστική πλατφόρμα Arduino Ethernet

Το Arduino Ethernet (Εικόνα 5.13) χρησιμοποιεί τον Atmega 328 έχει 14 ψηφιακές θύρες εισόδου και εξόδου (I/O) εκ των οποίων οι 4 μπορούν να παράγουν P.W.M., 6 αναλογικές θύρες, 16 MHz ταλαντωτή κρυστάλλου και κουμπί «reset». Κύριο χαρακτηριστικό του η απουσία σειριακής θύρας για «usb» όπου αντικαθίσταται με ένα «Ethernet» ελεγκτή της «Wiznet» απ' όπου γίνεται και η εξωτερική σύνδεση του με οποιοδήποτε δίκτυο. Επίσης έχει ενσωματωμένο ένα αναγνώστη καρτών «micro-SD» για την αποθήκευση αρχείων.



Εικόνα 7.12: Arduino Ethernet

➤ Υπολογιστική πλατφόρμα Arduino BT

Το Arduino BT (Εικόνα 5.14) χρησιμοποιεί τον Atmega 328 μικροελεγκτή της ATMEL. Έχει 14 ψηφιακές θύρες εισόδου και εξόδου (I/O) εκ των οποίων οι 6 μπορούν να παράγουν P.W.M. και άλλη μια θύρα για επαναφορά του Bluetooth, 6 αναλογικές θύρες και 16 MHz ταλαντωτή. Το πιο σημαντικό αυτής της υπολογιστικής πλατφόρμας Arduino είναι το «Bluetooth chip WT11» της «Bluegiga», το οποίο επιτρέπει την ασύρματη επικοινωνία της πλατφόρμας μέσω «Bluetooth» με οποιαδήποτε συσκευή χρησιμοποιεί την αντίστοιχη τεχνολογία εκτός ακουστικά και συσκευές ήχου.



Εικόνα 7.13: Arduino BT

➤ Υπολογιστική πλατφόρμα Arduino Lilypad Usb

Η πιο μοντέρνα έκδοση της υπολογιστικής πλατφόρμας Arduino (Εικόνα 5.15), σχεδιασμένη να ράβεται εύκολα πάνω σε ρούχα αλλά και εξοπλισμένη με τον Atmega 32u4 έχει όλα τα χαρακτηριστικά και τις δυνατότητες των άλλων εκδόσεων όπως ενσωματωμένο (built-in) usb με το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως πληκτρολόγιο και ποντίκι συγκεκριμένη έκδοση έχει δυνατότητα σύνδεσης με usb σε αντίθεση με το Lilypad simple, Lilypad simple Pad και το Lilypad που είναι και η βασική έκδοση της συγκεκριμένης σειράς.



Εικόνα 7.14: Arduino Lilypad Usb

➤ Υπολογιστική πλατφόρμα Arduino Esplora

Η συγκεκριμένη υπολογιστική πλατφόρμα Arduino βασίζεται πάνω στο Arduino Leonardo (Εικόνα 5.16) και έχει το μοναδικό ως τώρα πλεονέκτημα, σε σχέση με τις υπόλοιπες, να έχει ενσωματωμένα και έτοιμα για χρήση διάφορους αισθητήρες, χειριστήρια διακόπτες, LED, μικρόφωνο, κ.α. Απευθύνεται βασικά σε χρήστες που δεν είναι αρκετά εξοικειωμένοι με τα ηλεκτρολογικά και ηλεκτρονικά κυκλώματα.

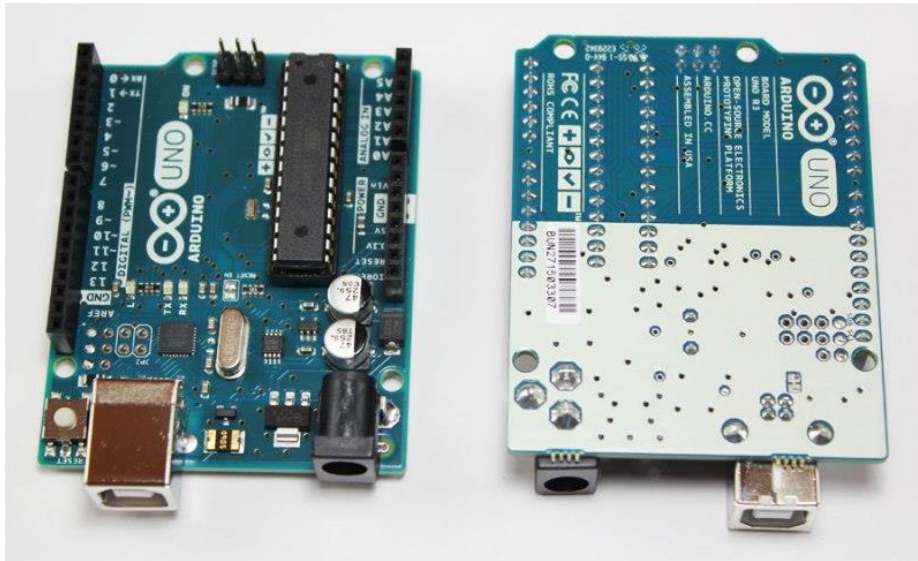


Εικόνα 7.15: Arduino Esplora

5.3 Arduino Uno -Αναλυτική περιγραφή

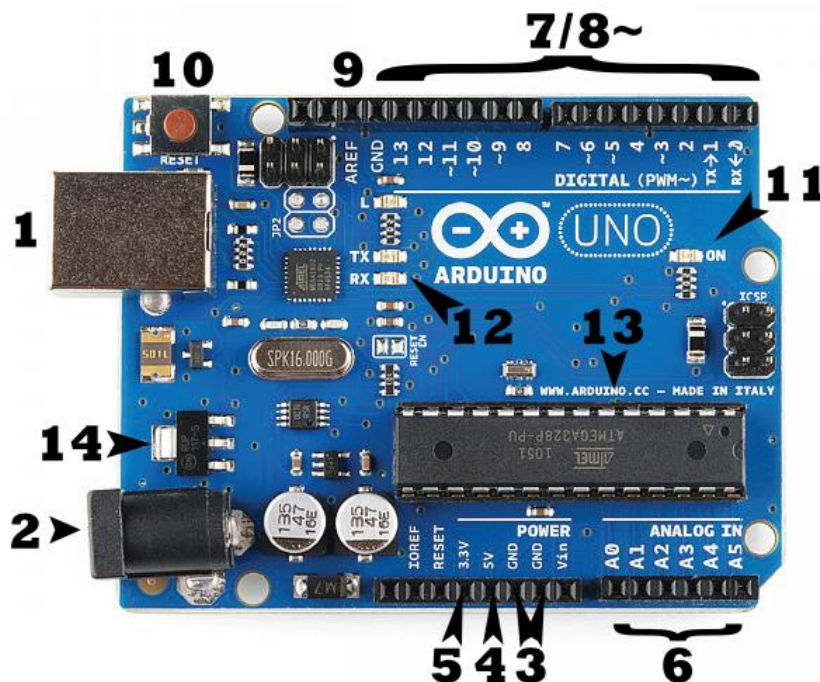
Η δημοφιλέστερη έκδοση του Arduino είναι η Duemilanove/Uno (Εικόνα 5.17) που βασίζεται στο ολοκληρωμένο Atmega 328, έναν 8-bitsRISC μικροελεγκτή, ο οποίος χρονίζει στα 16 MHz. Εμείς θα ασχοληθούμε συγκεκριμένα με την έκδοση Uno που στα Ιταλικά σημαίνει «ένα» και όπως αναφέρουν οι κατασκευαστές του μαζί με «1.0» είναι οι εκδόσεις αναφοράς για τις υπόλοιπες εκδόσεις. Όλες οι πλακέτες περιλαμβάνουν ένα γραμμικό ρυθμιστή τάσης κρυσταλλικό ταλαντωτή bootloader, έτσι ώστε να μην χρειάζεται εξωτερικός προγραμματιστής. 5V και έναν 16MHz (ή κεραμικό αντηχητή σε κάποιες παραλλαγές). Ο

μικροελεγκτής είναι από κατασκευής προγραμματισμένος με ένα bootloader, έτσι ώστε να μην χρειάζεται εξωτερικός προγραμματιστής.



Εικόνα 7.16: Οι δυο όψεις του ArduinoUno

Το Arduino Uno διαθέτει 14 ψηφιακά pins (Εικόνα 5.18) τα οποία μπορούν να οριστούν είτε σαν είσοδοι ,είτε σαν έξοδοι. Από τα 14 αυτά ψηφιακά pins κάποια εκτός από την λειτουργία I/O έχουν και άλλες επιπρόσθετες λειτουργίες :



Εικόνα 7.17: Θύρες εισόδου και εξόδου της υπολογιστικής πλατφόρμας ArduinoUno

Ισχύς (υποδοχή USB / κάννη)

Κάθε πίνακας Arduino χρειάζεται έναν τρόπο σύνδεσης με μια πηγή ενέργειας. Το ArduinoUNO μπορεί να τροφοδοτηθεί από ένα καλώδιο USB που προέρχεται από τον

υπολογιστή ή από ένα τροφοδοτικό. Στην εικόνα παραπάνω, η σύνδεση USB φέρει ετικέτα (1) και η υποδοχή του κυλίνδρου φέρει ετικέτα (2). Η σύνδεση USB είναι επίσης ο τρόπος με τον οποίο θα φορτωθεί ο κώδικας στον πίνακα Arduino.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: ΔΕΝ πρέπει να χρησιμοποιείται τροφοδοσία ισχύος μεγαλύτερη από 20 Volt, διότι θα καταστραφεί το Arduino. Η συνιστάμενη τάση για τα περισσότερα μοντέλα Arduino κυμαίνεται μεταξύ 6 και 12 Volt.

Πείροι (5V, 3.3V, GND, αναλογικό, ψηφιακό, PWM, AREF)

Οι καρφίτσες στο Arduino είναι τα μέρη όπου συνδέονται τα καλώδια για να κατασκευαστεί ένα κύκλωμα (πιθανώς σε συνδυασμό με ένα breadboard και μερικά καλώδια). Έχουν συνήθως μαύρες πλακέτες "κεφαλίδες" που επιτρέπουν να συνδεθεί απλά ένα καλώδιο δεξιά στο board. Έχει πολλά διαφορετικά είδη καρφίτσες, καθένα από τα οποία φέρει ετικέτα στον πίνακα και χρησιμοποιείται για διάφορες λειτουργίες.

- GND (3): Υπάρχουν αρκετές καρφίτσες GND στο Arduino, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη γείωση του κυκλώματος.
- 5V(4) & 3.3V(5): Ο 5V ακροδέκτης παρέχει 5 Volt ισχύος και ο 3.3V ακροδέκτης τροφοδοτεί 3.3Volt ισχύος. Τα περισσότερα από τα απλά εξαρτήματα που χρησιμοποιούνται με το Arduino τρέχουν ευτυχώς μακριά από 5 ή 3.3 Volt.
- Αναλογική(6): Η περιοχή των ακίδων κάτω από την ετικέτα 'AnalogIn' (A0 έως A5 στο UNO) είναι ακίδες AnalogIn. Αυτές οι καρφίτσες μπορούν να διαβάσουν το σήμα από έναν αναλογικό αισθητήρα και να μετατρέψουν σε ψηφιακή τιμή που μπορούμε να διαβάσουμε.
- Ψηφιακό(7): Πέρα από της αναλογικές ακίδες υπάρχουν οι ψηφιακοί ακροδέκτες (0 έως 13 στο UNO). Αυτές οι καρφίτσες μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο για ψηφιακή είσοδο όσο και για ψηφιακή έξοδο (όπως τροφοδοσίας LED).
- PWM(8): Δίπλα σε μερικές από τις ψηφιακές ακίδες (3, 5, 6, 9, 10 και 11 στο UNO), υπάρχει το tilde (~). Αυτές οι ακίδες λειτουργούν ως κανονικές ψηφιακές ακίδες, αλλά μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για κάτι που ονομάζεται Pulse-Width Modulation(PWM). Αυτές οι ακίδες είναι σε θέση να προσομοιώνουν την αναλογική έξοδο.
- AREF(9): Υποστηρίζει αναλογική αναφορά. Τις περισσότερες φορές αφήνουμε αυτή την καρφίτσα μόνη της. Χρησιμοποιείται μερικές φορές για να ρυθμίσουμε μια τάση αναφοράς (μεταξύ 0 και 5 Volt) ως το ανώτερο όριο για τις ακίδες αναλογικής εισόδου.

Κουμπί επαναφοράς

Το Arduino διαθέτει κουμπί επαναφοράς (10). Πατώντας το, συνδέεται προσωρινά ο ακροδέκτης επαναφοράς στη γείωση και επανεκκινεί οποιονδήποτε κωδικό που έχει φορτωθεί

στο Arduino. Αυτό μπορεί να είναι πολύ χρήσιμο εάν ο κωδικός δεν επαναλαμβάνεται, αλλά δοκιμάζετε πολλές φορές.

Δείκτης LED ενέργειας

Ακριβώς κάτω και δεξιά της λέξης "UNO" του κυκλώματος. υπάρχει μια μικρή LED δίπλα στη λέξη 'ON' (11). Αυτή η λυχνία LED πρέπει να ανάβει κάθε φορά που συνδέεται το Arduino σε πηγή ενέργειας. Αν αυτό το φως δεν ανάψει, υπάρχει μια πιθανότητα κάτι να πάει στραβά. Θα πρέπει να ξανά ελέγξουμε το κύκλωμά μας.

LED TXRX

Το TX είναι σύντομο για τη μετάδοση, το RX είναι σύντομο για λήψη. Αυτά τα σημάδια εμφανίζονται πολύ λίγο στην ηλεκτρονική για να υποδείξουν τους ακροδέκτες που είναι υπεύθυνοι για σειριακή επικοινωνία. Υπάρχουν δύο θέσεις στο ArduinoUNO όπου εμφανίζονται τα TX και RX - μία φορά με ψηφιακούς ακροδέκτες 0 και 1, και μία δεύτερη φορά δίπλα στις ενδεικτικές λυχνίες TX και RX (12).

Κύρια IC

Το μαύρο πράγμα με όλα τα μεταλλικά πόδια είναι ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα (13). Ας πούμε ότι είναι σαν το μυαλό του Arduino . Το κύριο IC στο Arduino είναι ελαφρώς διαφορετικό από τον τύπο του σκάφους στον τύπο του σκάφους, αλλά είναι συνήθως από τη γραμμή ATmega των IC από την εταιρία ATMEL. Αυτό μπορεί να είναι σημαντικό, καθώς μπορεί να χρειαστεί να γνωρίζουμε τον τύπο του IC (μαζί με τον τύπο του πίνακα) πριν φορτώσουμε ένα νέο πρόγραμμα από το λογισμικό Arduino. Αυτές οι πληροφορίες μπορούν συνήθως να βρεθούν γραπτώς στην πάνω πλευρά του IC. Για περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τις διαφορές του IC, μπορούμε να βρούμε διαβάζοντας τα δελτία δεδομένων.

Ρυθμιστής τάσης

Ο ρυθμιστής τάσης (14) δεν είναι στην πραγματικότητα κάτι στο οποίο μπορούμε (ή πρέπει) να αλληλοεπιδράσουμε στο Arduino. Είναι δυνητικά χρήσιμο να γνωρίζουμε τον λόγο που είναι εκεί. Ο ρυθμιστής τάσης κάνει ακριβώς αυτό που λέει - ελέγχει την ποσότητα τάσης που αφήνεται στον πίνακα Arduino. Δηλαδή, μπορεί να σβήσει μια επιπλέον τάση που μπορεί να βλάψει το κύκλωμα. Φυσικά, έχει τα όριά του, οπότε δεν πρέπει να συνδέουμε το Arduino με τίποτα μεγαλύτερο από 20 βολτ.

5.4 Μονάδες επέκτασης υπολογιστικής πλατφόρμας Arduino («Arduino Shields»)

Πέραν όμως της μεγάλης ποικιλίας των υπολογιστικών πλατφορμών Arduino, υπάρχει και μία μεγάλη ποικιλία από πλακέτες οι οποίες μπορούν να προσαρμοστούν και να συνδεθούν με την υπολογιστική πλατφόρμα Arduino, με σκοπό την προέκταση των δυνατοτήτων τους, οι οποίες ονομάζονται «shields» (Εικόνα 5.19). Κάποιες από αυτές είναι οι εξής:

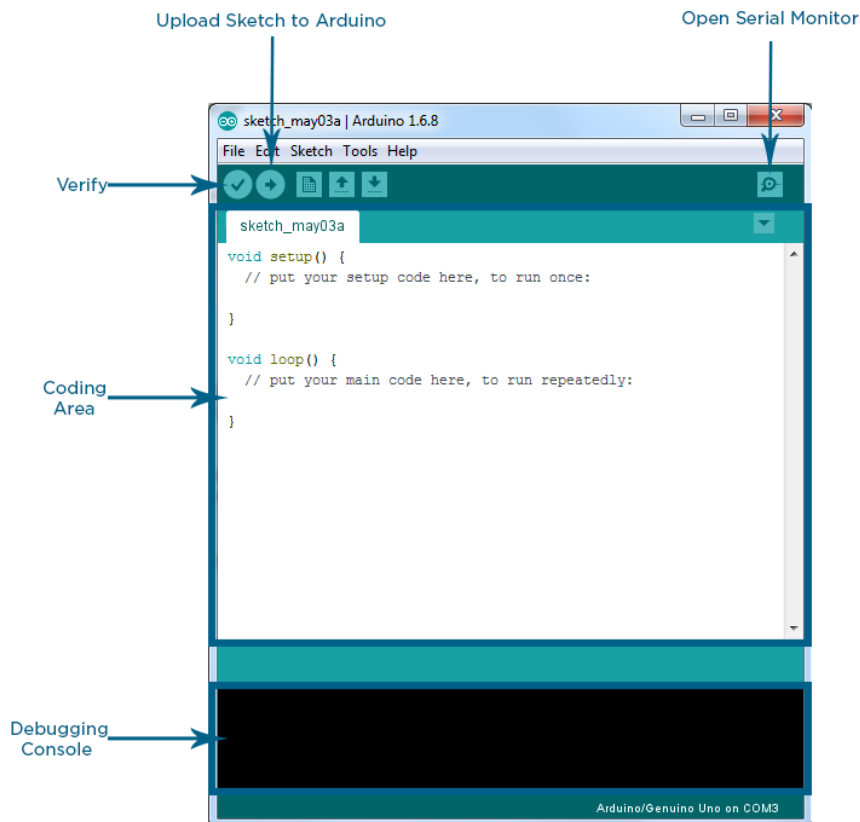
- **Arduino GSM Shield:** Συνδέει το Arduino με το internet μέσω GPRS ασύρματου δικτύου.
- **Arduino Ethernet Shield:** Συνδέει το Arduino με το internet μέσω καλωδίου ethernet.
- **Arduino WIFI Shield:** Συνδέει το Arduino με το internet ασύρματα.
- **Arduino WIFI SD Shield:** Συνδέει το Arduino με άλλη συσκευή όπως το Xbee της DIGI ή οποιοδήποτε άλλο παρόμοιο chip ασύρματα μέχρι και σε απόσταση 100 m.
- **Arduino Motor Shield:** Το Arduino μπορεί να ελέγξει ως και 2 κινητήρες ελέγχοντας την ταχύτητα και την κατεύθυνση του ανεξάρτητα στο καθένα.



Εικόνα 7.18: Διάφορες μονάδες επέκτασης υπολογιστικής πλατφόρμας Arduino

5.5 Το περιβάλλον προγραμματισμού ARDUINO IDE

Το περιβάλλον προγραμματισμού του ArduinoIDE (Εικόνα 6.19) είναι υπερβολικά απλό σε σχέση με αντίστοιχα περιβάλλοντα ανάπτυξης όπως το Eclipse, το Xcode και το Visual Studio, περιέχει έναν κειμενογράφο («editor»), έναν μεταγλωττιστή («compiler»), ένα («loader») και μια σειριακή οθόνη («serial monitor») παρόλα αυτά δεν περιέχει προχωρημένες λειτουργίες όπως αποσφαλμάτωση («debugging»).



Εικόνα 7.19: Απεικόνιση του Arduino IDE

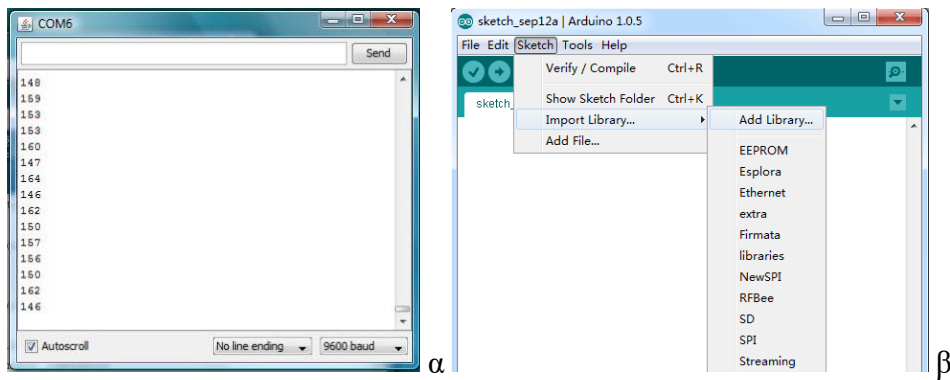
Στο ArduinoIDE υπάρχουν οι επιλογές του compile δηλαδή της μεταγλώττισης του κώδικα, του «upload» δηλαδή της φόρτισης του κώδικα και οι επιλογές «new», «open», «save» με τις οποίες ο χρήστης μπορεί να δημιουργήσει, ανοίξει ή να σώσει ένα «σχέδιο». Μέσα στο μενού υπάρχουν οι επιλογές για την σειριακή θύρα («serialport») με την οποία επικοινωνεί το Arduino με τον Η/Υ και η καρτέλα επιλογής της υπολογιστικής πλατφόρμας Arduino που χρησιμοποιεί κάθε φορά («board»).

Το ArduinoIDE, όπως και οτιδήποτε σχετίζεται με την υπολογιστική πλατφόρμα Arduino, είναι «freeware» λογισμικό, ώστε να βοηθάει τόσο στη χρήση του αφού υποστηρίζεται σε όλα τα διαθέσιμα λειτουργικά Η/Υ Windows, MACOS, Linux, όσο και στην ανάπτυξή του μέσω διαδικτύου με σκοπό την απλούστευση του περιβάλλοντος και τη φιλικότητα προς τον χρήστη.

Άλλες επιλογές του ArduinoIDE είναι το «ArchiveSketch», το οποίο μετατρέπει την εφαρμογή που αναπτύσσεται σε ένα αρχείο «zip» και το αποθηκεύει, η επιλογή εμφάνισης του «SerialMonitor», όπου βλέπουμε σε ένα παράθυρο τα δεδομένα και το «ImportLibrary» με το οποίο ανεβάζει ο χρήστης μια συγκεκριμένη βιβλιοθήκη είτε έτοιμη από την ομάδα του Arduino είτε μια δική του (Εικόνα 5.21). Αρκετές από αυτές βρίσκονται προεγκατεστημένες στο περιβάλλον προγραμματισμού ArduinoIDE και κάποιες από τις πιο σημαντικές είναι:

- ❖ LiquidCrystal: εφαρμόζεται από τον έλεγχο επιδείξεων υγρών κρυστάλλων.
- ❖ Servo: εφαρμόζεται για τον έλεγχο Servo κινητήρων.

- ❖ Stepper: εφαρμόζεται για τον έλεγχο Stepper κινητήρων.
- ❖ Wire: η διεπαφή δύο καλωδίων (TWI/I2C) έχει την δυνατότητα αποστολής και λήψης δεδομένων εκτός των συσκευών και των αισθητηρίων.



Εικόνα 7.20: Απεικόνιση α) του Serial Monitor και β) του Import Library

5.6 Η «γλώσσα» της υπολογιστικής πλατφόρμας Arduino

Στην «γλώσσα» του Arduino το κάθε πρόγραμμα ακολουθεί μια συγκεκριμένη δομή καθώς και συγκεκριμένες συναρτήσεις που βασίζονται στην γλώσσα προγραμματισμού «C» ή στη «C++», και με τη χρήση της βιβλιοθήκης «Wiring» γίνεται εφικτός ο προγραμματισμός της κάθε υπολογιστικής πλατφόρμας.

- **Βασική δομή του κώδικα**

Ένα τυπικό πρόγραμμα Arduino έχει την παρακάτω δομή:

```
//δήλωση μεταβλητών
void setup ()
{
  //αρχικοποιήσεις
}
void loop ()
{
  //Κώδικας
}
```

Στηρίζεται στις δυο βασικές συναρτήσεις setup() και loop() ο ρόλος των οποίων παρουσιάζεται παρακάτω:

- **setup():** Μέσα στην συνάρτηση αυτή καθορίζουμε τις μεταβλητές που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα, τις θύρες εισόδου και εξόδου και τις βιβλιοθήκες που πρόκειται να χρησιμοποιήσουμε. Η setup() καλείται μια φορά, όταν το sketch ξεκινά ή όποτε κάνει επαναφορά (reset) η πλατφόρμα Arduino

- **loop():** Η συνάρτηση αυτή αποτελεί τον κύριο ατέρμονα βρόγγο του κώδικά μας στον οποίο γράφουμε το κύριο πρόγραμμα. Η συνάρτηση loop() καλείται ξανά και ξανά επιτρέποντας έτσι στο πρόγραμμα να ανταποκριθεί σε εξωτερικά ερεθίσματα

- **Δομές ελέγχου (Control Structures)**

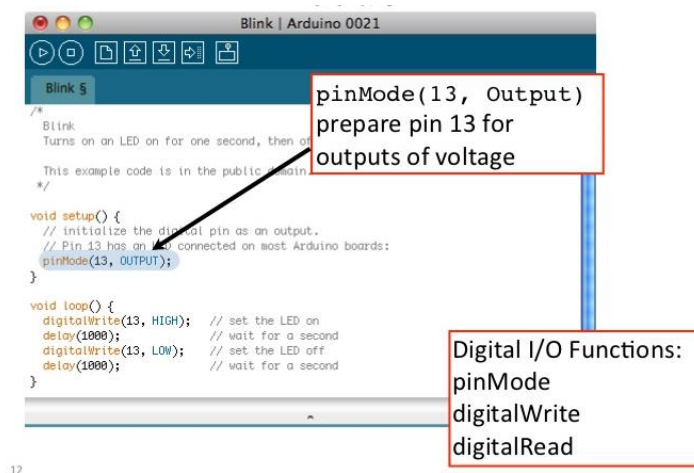
Οι δομές ελέγχου («control Structures») είναι συναρτήσεις οι οποίες χρησιμοποιούνται σε διάφορες γλώσσες προγραμματισμού και μας βοηθούν να κάνουμε τους απαραίτητους ελέγχους στον κώδικά μας για το αν μια κατάσταση είναι αληθής ή ψευδής και ανάλογα να δώσουμε την κατάλληλη εντολή για τις επικείμενες ενέργειες μέσα στο πρόγραμμα.

- **if:** συνάρτηση που χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με έναν τελεστή σύγκρισης, ελέγχει αν μια συγκεκριμένη κατάσταση έχει επιτευχθεί, όπως μιας εισόδου εάν είναι πάνω από ένα ορισμένο αριθμό και ανάλογα εάν είναι, ακολουθείται μια συγκεκριμένη ενέργεια, αλλιώς μια διαφορετική.
- **if/else:** συνάρτηση που μοιάζει με την «if» με την διαφορά ότι επιτρέπει μεγαλύτερο έλεγχο της ροής του κώδικα, επιτρέποντας πολλαπλές δοκιμές.
- **While():** βρόγγος που εκτελείται συνεχώς και απείρως, έως ότου η έκφραση μέσα στην παρένθεση γίνει ψευδής.

- **Μεταβλητές της υπολογιστικής πλατφόρμας Arduino**

Οι σταθερές είναι προκαθορισμένες μεταβλητές στη «γλώσσα» του Arduino και χρησιμοποιούνται για να απλοποιήσουν τα προγράμματα και διακρίνονται σε λογικά επίπεδα, αληθή και ψευδή (σταθερές Boolean) και συνήθως συμβολίζονται με «0» για ψευδή και «1» για αληθή. Κάθε ψηφιακή θύρα του Arduino μπορεί να δεχθεί δυο πιθανές τιμές, «HIGH» ή «LOW» δηλαδή ελέγχουμε μια είσοδο ή έξοδο ανάλογα αν περνά ή όχι ρεύμα από την θύρα που έχουμε δηλώσει. Η κάθε θύρα του Arduino μπορεί να δηλωθεί είτε ως είσοδος είτε ως έξοδος πράγμα που αλλάζει την ηλεκτρική συμπεριφορά της θύρας. Στον κώδικα χρησιμοποιούνται διάφορες μεταβλητές από άλλες γλώσσες προγραμματισμού, από τις πιο συνήθεις είναι οι ακέραιες σταθερές («Integer constants») είναι οι αριθμοί που χρησιμοποιούνται απευθείας σε ένα πρόγραμμα, όπως το 123. Από προεπιλογή, οι αριθμοί αυτοί συμβολίζονται με το «int».. Κάποιες βασικές συναρτήσεις που χρησιμοποιούνται στη σύνταξη ενός απλού κώδικα την υπολογιστικής πλατφόρμας Arduino είναι οι εξής:

- **PinMode():** κάθε θύρα μπορεί να δηλωθεί είτε ως είσοδος είτε ως έξοδος και συντάσσεται PinMode(αριθμός θύρας, HIGH/LOW)
- **DigitalWrite():** κάθε ψηφιακή θύρα μπορεί να δεχθεί δυο πιθανές τιμές, «HIGH» ή «LOW» και συντάσσεται digitalWrite(αριθμός θύρας, HIGH/LOW)
- **DigitalRead():** «διαβάζει» την τιμή από μια ψηφιακή θύρα και συντάσσεται DigitalRead(αριθμός θύρας)



Εικόνα 7.21: Βασικές συναρτήσεις της υπολογιστικής πλατφόρμας Arduino

Στο παρακάτω πίνακα αναγράφονται οι πιο σημαντικές εντολές, συναρτήσεις και σταθερές που βοηθούν για την διαχείριση του ειδικού hardware του Arduino.

Ορισμός	Είδος	Τύπος	Παράμετροι	Περιγραφή
LOW	Σταθερά	int	-	Έχει την τιμή 0 και είναι αντίστοιχη του λογικού false
HIGH	Σταθερά	int	-	Έχει την τιμή 1 και είναι αντίστοιχη του λογικού true
INPUT	Σταθερά	int	-	Έχει την τιμή 0 και είναι αντίστοιχη του λογικού false
OUTPUT	Σταθερά	int	-	Έχει την τιμή 1 και είναι αντίστοιχη του λογικού true
pinMode	Εντολή	-	(pin, mode)	Καθορίζει αν το συγκεκριμένο ψηφιακό pin θα είναι pin εισόδου ή pin εξόδου ανάλογα με την τιμή που δίνεται στην παράμετρο mode (input ή output αντίστοιχα)
digitalWrite	Εντολή	-	(pin, pinstatus)	Θέτει την κατάσταση pinstatus (HIGH ή LOW) στο συγκεκριμένο ψηφιακό pin.
digitalRead	Συνάρτηση	Int	(pin)	Επιστρέφει την κατάσταση του συγκεκριμένου ψηφιακού pin (0 για LOW και 1 για HIGH) εφόσον αυτό είναι pin εισόδου.
analogReference	Εντολή	-	(type)	Δέχεται τις τιμές DEFAULT, INTERNAL ή EXTERNAL στην

				παράμετρο type για να καθορίσει την τάση αναφοράς (Vref) των αναλογικών εισόδων (5V, 1.1V ή η εξωτερική τάση με την οποία τροφοδοτείται το pin AREF αντίστοιχα)
analogRead	Συνάρτηση	int	(pin)	Επιστρέφει έναν ακέραιο από 0 ως 1023, ανάλογα με την τάση που τροφοδοτείται το συγκεκριμένο pin αναλογικής εισόδου στην κλίμακα 0 ως Vref.
analogWrite	Εντολή	-	(pin, value)	Θέτει το συγκεκριμένο ψηφιακό pin σε κατάσταση ψευδοαναλογικής εξόδου (PWM). Η παράμετρος value καθορίζει το πλάτος του παλμού σε σχέση με την περίοδο του παραγόμενου σήματος στην κλίμακα από 0 ως 255 (π.χ. με value 127, το πλάτος του παλμού είναι ίσο με μισή περίοδο).
millis	Συνάρτηση	Unsigned long	()	Μετρητής που επιστρέφει το χρονικό διάστημα σε ms από την στιγμή που άρχισε η εκτέλεση του προγράμματος. Λάβετε υπόψη ότι λόγω του τύπου μεταβλητής (unsigned long δηλ. 32bit) θα γίνει overflow σε 2^{32} ms δηλαδή περίπου σε 50 μέρες, οπότε ο μμετρητής θα ξεκινήσει πάλι από το μηδέν.
delay	Εντολή	-	(time)	Σταματά προσωρινά την ροή του προγράμματος για time ms. Η παράμετρος time είναι unsigned long (από 0 ως 2^{32}). Σημειώστε ότι παρά την προσωρινή παύση,

				συναρτήσεις των οποίων η εκτέλεση ενεργοποιείται από interrupt θα εκτελεστούν κανονικά κατά την διάρκεια μιας delay.
attachInterrupt	Εντολή	-	(interrupt, function, triggermode)	Θέτει σε λειτουργία το συγκεκριμένο interrupt, ώστε να ενεργοποιεί την συνάρτηση function, κάθε φορά που ικανοποιείται η συνθήκη που ορίζεται από την παράμετρο triggermode: • LOW (ενεργοποίηση όταν η κατάσταση του pin που αντιστοιχεί στο συγκεκριμένο interrupt γίνει LOW) • RISING (όταν από LOW γίνει HIGH) • FALLING (όταν από HIGH γίνει LOW) • CHANGE (όταν αλλάξει κατάσταση γενικά)
detachInterrupt	Εντολή	-	(interrupt)	Απενεργοποιεί το συγκεκριμένο interrupt.
noInterrupts	Εντολή	-	()	Σταματά προσωρινά όλη την λειτουργία των interrupt.
interrupts	Εντολή	-	()	Επαναφέρει την λειτουργία των interrupt που διακόπηκε προσωρινά από μια εντολή noInterrupts.
Serial.begin	Μέθοδος κλάσης	-	(datarate)	Θέτει τον ρυθμό μεταφοράς δεδομένων του σειριακού interface (σε baud).
Serial.println	Μέθοδος κλάσης	-	(data)	Διοχετεύει τα δεδομένα data για αποστολή μέσω του σειριακού interface. Η παράμετρος

5.7 Βιβλιοθήκες της υπολογιστικής πλατφόρμας Arduino

Όλες οι βιβλιοθήκες της υπολογιστικής πλατφόρμας Arduino βρίσκονται στο διαδίκτυο και μπορεί να τις κατεβάσει ο καθένας ελεύθερα και σκοπός του είναι η ευκολία στην χρήση διάφορων παρελκόμενων μαζί τους. Το περιβάλλον Arduino (IDE) μπορεί να επεκταθεί με τη χρήση βιβλιοθηκών, ακριβώς όπως οι περισσότερες πλατφόρμες προγραμματισμού, αφού οι βιβλιοθήκες παρέχουν επιπλέον λειτουργίες για τη χρήση σε σχέδια όπου χωρίς αυτές η δημιουργία τους θα ήταν περίπλοκη. Μια σειρά από βιβλιοθήκες υπάρχουν προεγκατεστημένες, και είναι πολύ εύκολο να τις κατεβάσετε και να τις επεξεργαστείτε ή ακόμα και να δημιουργήσετε τη δική σας.

• Βιβλιοθήκη βηματικών κινητήρων τύπου «STEPPER»

Όπως αναφέραμε στο **Κεφάλαιο 4**, υπάρχουν δύο είδη βηματικών κινητήρων τύπου «Stepper», οι μονοπολικοί («Unipolar») και οι διπολικοί («Bipolar»), όπως οι προηγούμενες βιβλιοθήκες έτσι και η βιβλιοθήκη αυτών των κινητήρων υπάρχει προεγκατεστημένη στο περιβάλλον προγραμματισμού του Arduino (IDE). Η βιβλιοθήκη και για τους δυο τύπους κινητήρων είναι ίδια με μοναδική διαφορά τα τέσσερα καλώδια σύνδεσης που χρησιμοποιεί ο διπολικός κινητήρας σε αντίθεση με τα έξι που χρησιμοποιεί ο μονοπολικός. Για τη σωστή χρήση της βιβλιοθήκης ακολουθούμε την εξής διαδικασία:

- Δηλώνουμε την βιβλιοθήκη στην αρχή του κώδικα ως `#include<stepper.h>`
- Ορίζουμε τα βήματα (steps) του κινητήρα και τις θύρες που συνδέουμε τον κινητήρα στη υπολογιστική πλατφόρμα Arduino πριν την συνάρτηση `setup()`

Π.χ. για τον μονοπολικό: `Stepper(steps, pin1, pin2)`

Π.χ. για τον διπολικό: `Stepper(steps, pin1, pin2, pin3, pin4)`

- Ορίζουμε μέσα στην συνάρτηση `setup()` την ταχύτητα κίνησης του κινητήρα σε στροφές ανά λεπτό (rpm) π.χ. `setSpeed(rpm)`
- Τέλος στην συνάρτηση `loop()` δίνουμε την επιθυμητή τιμή βημάτων ώστε να κινηθεί ο κινητήρας (για θετική τιμή ο κινητήρας στρέφεται αντίθετα από ότι για αρνητική τιμή), π.χ. `step(steps)` π.χ. `Stepper: step(100)` ώστε ο κινητήρας να κάνει 100 βήματα [1,2].

Ενδεικτικό παράδειγμα ενός κώδικα που περιστρέφει ένα βηματικό κινητήρα, αρχικά 100 βήματα προς μια κατεύθυνση, έπειτα 100 βήματα προς την αντίθετη κατεύθυνση και

απευθύνεται και σε μονοπολικούς και σε διπολικούς βηματικούς κινητήρες. Χρησιμοποιεί την βιβλιοθήκη των κινητήρων «Stepper» που είναι προεγκατεστημένοι στο ArduinoIDE.

```
Stepper myStepper(motorSteps, motorPin1,motorPin2,motorPin3,motorPin4);

//δήλωση των PIN που συνδέεται ο Stepper στον Arduino(τα
motorPin3,motorPin4 απευθύνονται για μονοπολικούς βηματικούς κινητήρες)

#include <Stepper.h>//δήλωση της βιβλιοθήκης Stepper

#define motorSteps 200 //τιμή των βημάτων ανάλογα με τον κινητήρα

#define motorPin1 8//καθορισμός του PIN 1 του κινητήρα στο PIN 8 του
Arduino

#define motorPin2 9//καθορισμός του PIN 2 του κινητήρα στο PIN 9 του
Arduino

#define motorPin3 10//καθορισμός του PIN 3 του κινητήρα στο PIN 10 του
Arduino(για μονοπολικούς βηματικούς κινητήρες)

#define motorPin4 11//καθορισμός του PIN 4 του κινητήρα στο PIN 11 του
Arduino(για μονοπολικούς βηματικούς κινητήρες)

#define ledPin 13//δήλωση του LED 13

Stepper myStepper(motorSteps, motorPin1,motorPin2);//ρύθμιση της
βιβλιοθήκης Stepper

void setup() {

myStepper.setSpeed(60);//δήλωση της ταχύτητας του κινητήρα στις 60rpm

Serial.begin(9600);//εκκίνηση της σειριακής επικοινωνίας

pinMode(ledPin, OUTPUT);// δήλωση του LED 13 ως έξοδο

blink(3); }//αναβοσβήνει το LED

void loop() {

Serial.println("Forward");//εκτύπωση μηνύματος στη σειριακή οθόνη

myStepper.step(100);//δήλωση των θετικών επιθυμητών βημάτων

delay(500);

Serial.println("Backward");// εκτύπωση μηνύματος στη σειριακή οθόνη

myStepper.step(-100);// δήλωση των αρνητικών επιθυμητών βημάτων

delay(500); }
```

```
void blink(int howManyTimes) {

int i;//δήλωση της μεταβλητής int

for (i=0; i< howManyTimes; i++) { //βρόγχος ελέγχου for

digitalWrite(ledPin, HIGH);//δήλωση του LED HIGH

delay(200);

digitalWrite(ledPin, LOW); // δήλωση του LED LOW

delay(200);

}}
```

5.8 Εφαρμογές της πλατφόρμας Arduino

ΣΤΟΝ ΜΟΝΤΕΛΙΣΜΟ

Μια άλλη διαδεδομένη εφαρμογή του Arduino κυρίως ανάμεσα στους φίλους του μοντελισμού είναι η κατασκευή τηλεκατευθυνόμενου οχήματος. Για την κατασκευή του απαιτείται ένας μικροελεγκτής που θα είναι υπεύθυνος για τον έλεγχο του οχήματος και ένα σύστημα για την ασύρματη επικοινωνία του Arduino με τη συσκευή που θα το τηλεκατευθύνει. Η δουλεία του μικροελεγκτή είναι να ελέγχει τους απαραίτητους κινητήρες και σερβοκινητήρες οι οποίοι τροφοδοτούνται από μια πηγή ρεύματος (συνήθως μπαταρία) για την κατεύθυνση του οχήματος. Η τηλεκατεύθυνση μπορεί να εφαρμοστεί σε οποιαδήποτε μορφή "σκάφους" (αυτοκίνητο, πλοίο, αεροπλάνο,...) (Εικόνες 5.24, 5.25)



Εικόνα 7.22: Εφαρμογές Arduino στο μοντελισμό



Εικόνα 7.23: Μη επανδρωμένα κατασκοπευτικά αεροσκάφη («Unmanned Aerial Vehicle Spyplane»)

ΣΤΟ ΣΠΙΤΙ

Το Arduino μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να διευκολύνει τον τρόπο διαβίωσης των ανθρώπων μέσα στο σπίτι. Αυτό επιτυγχάνεται με διάφορες κατασκευές, όπως:

- Συναγερμός : ο ελεγκτής μπορεί να συνδυαστεί με μια ποικιλία αισθητήρων με σκοπό να λειτουργεί ως ένας συναγερμός σπιτιού. Αυτό μπορεί να γίνει ανιχνεύοντας την κίνηση, ελέγχοντας συγκεκριμένες πόρτες και παράθυρα ακόμη και την θερμοκρασία σε

περίπτωση πυρκαγιάς. Ενώ με ένα κατάλληλο πρόγραμμα στον υπολογιστή έχει την δυνατότητα ακόμη και να ενημερώνει απομακρυσμένα τους υπεύθυνους του κτιρίου.



Εικόνα 7.24: Οικιακός συναγερμός με Arduino

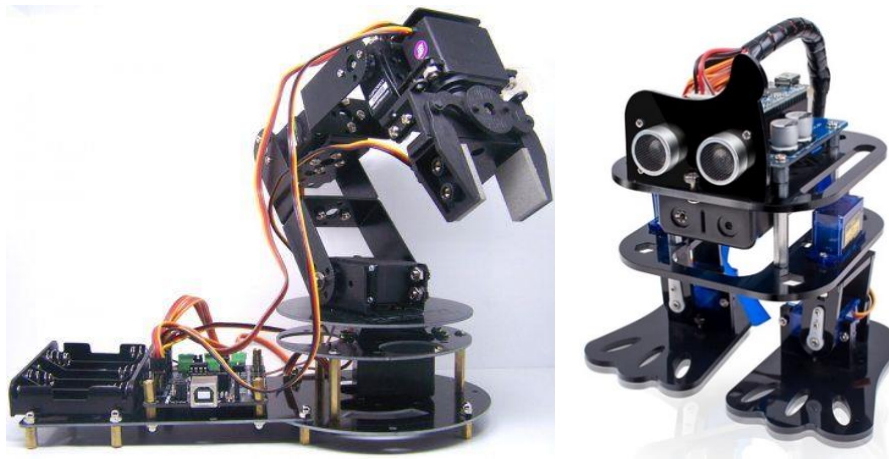
- Αυτοματισμούς: ο ελεγκτής μπορεί να συνδυαστεί με μια ποικιλία αισθητήρων με σκοπό να λειτουργεί ως ένας controller για διάφορες λειτουργίες του σπιτιού. Μπορεί να ανοιγοκλείνει φώτα, παράθυρα, οικιακές συσκευές, κλιματισμό, κ. α. Ενώ με ένα κατάλληλο πρόγραμμα στον υπολογιστή έχει την δυνατότητα ακόμη και να ενημερώνει απομακρυσμένα τους υπεύθυνους του κτιρίου.



Εικόνα 7.25: Αυτοματισμοί λειτουργιών του σπιτιού με Arduino

ΣΤΗΝ ΡΟΜΠΟΤΙΚΗ

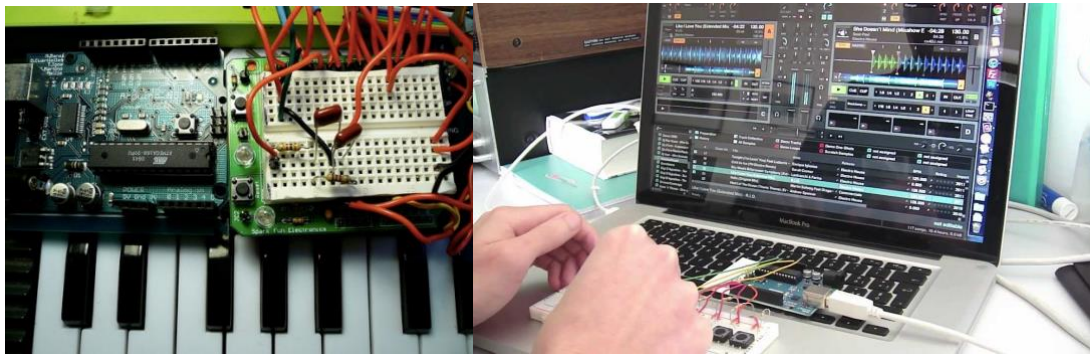
Η μεγάλη ποικιλία των συμβατών αισθητήρων για το Arduino που διατίθενται στο εμπόριο κάνουν τον σχεδιασμό ρομποτικών συστημάτων πολύ ενδιαφέρον, αφού με μια ασύρματη επικοινωνία του Arduino με έναν υπολογιστή, μπορεί να αυξήσει τις δυνατότητες των ρομπότ σε πολύ μεγάλο βαθμό.



Εικόνα 7.26: Εφαρμογές Arduino στην ρομποτική

ΣΤΗΝ ΜΟΥΣΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ

Η μεγάλη ποικιλία των συμβατών αισθητήρων για το Arduino που διατίθενται στο εμπόριο κάνουν τον σχεδιασμό ηλεκτρονικών μουσικών οργάνων και ελεγκτών πολύ ενδιαφέρον.



Εικόνα 7.27: Εφαρμογές Arduino στην Μουσική τεχνολογία

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

6.1 Ολόγραμμα

Η ολογραφία είναι μια φωτογραφική τεχνική τρισδιάστατης απεικόνισης αντικειμένων. Η ονομασία της προέρχεται από την σύνθεση των λέξεων «Όλος» και «Γραφή». Ουσιαστικά η τεχνική αυτή επιτρέπει στο ανακλώμενο, από το αντικείμενο, φως, να καταγράφεται καταλλήλως, ώστε αργότερα να αναδομείται όλη η τρισδιάστατη πληροφορία του αντικειμένου. Όταν τοποθετηθεί έμπροσθεν της αναδομούμενης δέσμης ένα σύστημα απεικόνισης (είτε μια κάμερα ή το ανθρώπινο μάτι), δημιουργείται μια απεικόνιση του αντικειμένου χωρίς το αντικείμενο να είναι παρόν (Holography Ostrovsky, 1972). Η εικόνα του αντικειμένου αλλάζει καθώς το μάτι του παρατηρητή αλλάζει θέση και προσανατολισμό, με ακριβώς τον ίδιο τρόπο σαν να ήταν το αντικείμενο παρόν, έτσι το αντικείμενο παρουσιάζεται τρισδιάστατο. Συνοψίζοντας Ολόγραμμα είναι το αποτύπωμα που προκύπτει σε θερμοπλαστικό, σε φωτογραφικό φιλμ ή σε οποιοδήποτε άλλο κατάλληλο υλικό, χωρίς την χρήση φωτογραφικού φακού, από αντικείμενο που φωτίζεται από μονοχρωματική και σύμφωνη ακτινοβολία, όπως π.χ. οι ακτίνες laser.

Το ολόγραμμα ιστορικά χρονολογείτε στα μέσα του 20ου αιώνα και συγκεκριμένα στις αρχές του 1950, με κύριο εφευρέτη τον Ουγγροεβραίο επιστήμονα Ντένις Γκάμπορ. Η τεχνική όμως που πρότεινε ήταν πρωτοφανής για εκείνη την εποχή και προαπαιτούσε εξοπλισμό που ακόμη δεν ήταν ακόμη διαθέσιμος μιας και τα λειζερ δεν είχαν ανακαλυφθεί ακόμα. Ο Γκάμπορ τιμήθηκε με βραβείο νομπέλ το 1971 για αυτή του την ανακάλυψη (να γραψω κατι για τεχνολογια?). Επί της ουσίας το ολόγραμμα ορίζεται ως η απεικόνιση τρισδιάστατων εικόνων όπου επιταχύνεται με της κατάλληλες συσκευές, έχοντας πάντα σαν κύρια προϋπόθεση τον κατάλληλο φωτισμό, έτσι μπορούν να δημιουργηθούν ψευδαισθησιακές τρισδιάστατες εικόνες (Πέπη Ρηγοπούλου, 2018(Θ)). Υπάρχουν πολλοί τρόποι για την απεικόνιση ενός ολογράμματος, παρόλα αυτά είναι συνηθισμένο τα ολογράμματα να ταξινομούνται σε δύο γενικές κατηγορίες ανάλογα με τον όγκο τους. Έτσι ταξινομούνται στα λεπτά και στα παχιά ολογράμματα (Hana Uršič, 2004(ΚΣ)). Επιπρόσθετα τα ολογράμματα κατατάσσονται και σε κατηγορίες ανάλογα με το πώς παράγονται έτσι υπάρχουν πέντε ειδών, τα ολογράμματα μετάδοσης, τα ολογράμματα ανάκλασης, τα ανάγλυφα ολογράμματα, τα ολογράμματα υπολογιστών και τέλος τα ολογράμματα ουράνιου τόξου (Prof. Elias N. Glytsis, 2018). Γενικά όμως τα ολογράμματα μετάδοσης και τα ολογράμματα ανάκλασης αποτελούν τους κύριους τύπους ολογραμμάτων, έτσι συμπεραίνεται πως οι

υπόλοιποι τύποι αποτελούν στην πραγματικότητα παραλλαγές ή υβρίδια αυτών των τύπων (Alec Jeong & Dr. Tung H. Jeong, 2005).

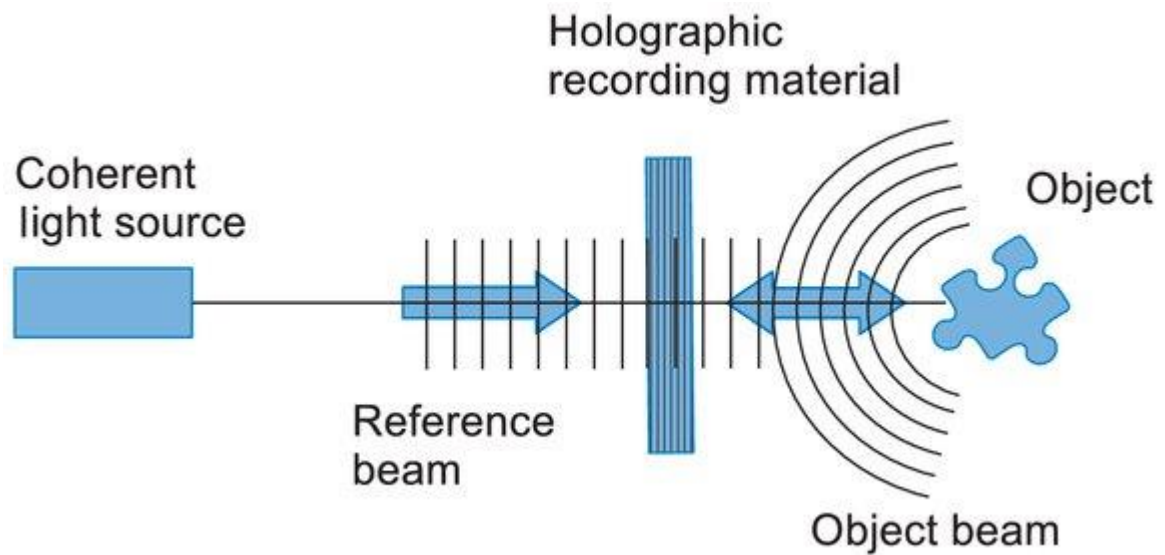
6.2 Τύποι ολογραμμάτων

➤ Ολόγραμμα μετάδοσης

Για να δημιουργηθεί ένα ολόγραμμα μετάδοσης χρειάζεται ένα συνεχές φως από λέιζερ. Αυτό το φως χωρίζεται και δημιουργεί δυο διαφορετικές δέσμες οι οποίες προσπίπτουν η σε έναν καθρέφτη ώστε να γίνει η αντανάκλαση ή σε κάποιο πολύ λεπτό υλικό όπως μια ταινία και τέλος καταλήγει πάνω στο αντικείμενο και έπειτα πάλι στην επιφάνεια που γίνεται η αντανάκλαση. Ο θεατής βλέπει τον ανακλώμενο ολόγραμμα μπροστά από την επιφάνεια αντανάκλασης και έτσι του δημιουργείτε η αίσθηση ότι βλέπει κάτι τρισδιάστατο (C.R. Nave, 2006).

➤ Ολόγραμμα ανάκλασης

Το ολόγραμμα ανάκλασης είναι ορατό χρησιμοποιώντας μια πηγή φωτός και συγκεκριμένα λευκό φως, παρ όλα αυτά τα ολογράμματα εξακολουθούν να δημιουργούνται με την δέσμη του λέιζερ, η δομή τους όμως τα κάνει να είναι ορατά και με ποιο συνηθισμένες πηγές φωτός όπως το φως που προέρχεται από τον ήλιο ή κάποια πηγή φωτός που είναι προς τις λευκές αποχρώσεις. Κατασκευαστικά στο ολόγραμμα ανάκλασης η πηγή φωτός είναι από την μπροστινή πλευρά των ολογραμμάτων έτσι αυτά αντανακλώνται από την πίσω πλευρά της ταινίας που χρησιμοποιείται. Ένας εύκολος τρόπος κατασκευής και κατανόησης του ολογράμματος ανάκλασης είναι να τοποθετηθεί ο φακός του κινητού μπροστά από την ταινία. Κρατώντας με το ένα χέρι τον φακό και με το άλλο την ταινία με το ολόγραμμα, θα πρέπει το φως να είναι μερικά εκατοστά πάνω από την ταινία και να την φωτίζει υπό γωνιά και έτσι θα δημιουργηθεί το ολόγραμμα (Liti Holographics, 2019).



➤ **Ανάγλυφα ολογράμματα**

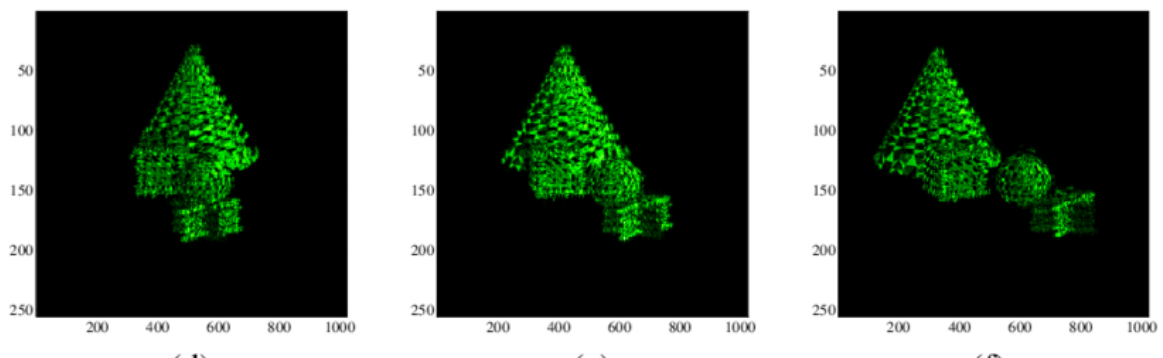
Τα ανάγλυφα ολογράμματα είναι η κατηγορία η οποία εμφανίζεται πάνω σε πιστωτικές κάρτες (Prof. Elias N. Glytsis, 2018). Ακόμη τα ανάγλυφα ολογράμματα χρησιμοποιούνται σε αντικείμενα τα οποία πρέπει να υποδουλώνουν την γνησιότητα τους όπως χρήματα και διαβατήρια. Το αρχικό σχέδιο καταγράφεται σε ένα υλικό ευαίσθητο στο φως, καθώς αναπτύσσεται το ολόγραμμα στην επιφάνεια του δημιουργούνται αυλακώσεις και γι αυτό τον λόγο τοποθετείται ένα λεπτό στρώμα νικελίου το οποίο μετά αφαιρείται. Τέλος τοποθετείται μια λεπτή στρώση μέταλλου με αποτέλεσμα να έχει περισσότερες ανακλάσεις.

Συμπερασματικά τα ανάγλυφα ολογράμματα είναι ένας συνδυασμός πολλών τύπων ολογραμμάτων (Alec Jeong, Dr. Tung H. Jeong, 2005).



➤ Ολογράμματα υπολογιστών

Τα ολογράμματα υπολογιστών στηρίζονται στα μαθηματικά μοντέλα για να δημιουργηθούν (Prof. Elias N. Glytsis, 2018). Συγκεκριμένα τα ολογράμματα υπολογιστών βασίζονται στην επεξεργασία σήματος του Fourier. Χρησιμοποιεί το πλάτος καθώς και την κωδικοποίηση φάσης ώστε να μπορέσει να προβληθεί η εικόνα αλλά και να γίνει κατανοητό μέσα από τα μάτια του ανθρώπου. Τα ολογράμματα υπολογιστών μπορεί να προσφέρει στην βιοιατρική απεικόνιση (όπως την καρδιακή απεικόνιση) πράγμα που μπορεί να επωφελείσει την ιατρική (Kyoji Matsushima, 2020).



➤ Ολογράμματα ουράνιου τόξου

Τα ολογράμματα ουράνιου τόξου έχουν την ιδιότητα να εμφανίζουν την ίδια εικόνα με διαφορετικά χρώματα ανάλογα με την γωνιά θέασης (Prof. Elias N. Glytsis, 2018). Αναλυτικότερα αυτό βασίζεται στην αποσύνθεση του φωτός, η αντανάκλαση δηλαδή του λευκού φωτός μέσα από ένα περίβλημα περίθλασης δημιουργεί ένα ουράνιο τόξο. Παρ όλα αυτά αν ο θεατής αλλάξει ελάχιστα την γωνιά θέασης του με τα μάτια τότε παρατηρείται ότι

τα χρώματα αλλάζουν. Το αρχικό χρώμα που παρατηρείτε έχει να κάνει με την γωνιά που προσπίπτει το λευκό φως καθώς και την γωνιά θέασης αλλά και την περίοδο. Αν μεταβληθεί η περίοδος ο θεατής είναι σε θέση να αντικρίσει τρεις ταυτόχρονα διαφορετικές τοποθεσίες χρωμάτων. Έτσι η ιδιότητες αυτές αποτελούν τις βασικές αρχές των ολογραμμάτων ουράνιου τόξου (An. Firsov, Alexander Firsov, Bernd Löchel, A. Erko, A.Svintson, Sergey Zaitsev, 2014).



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

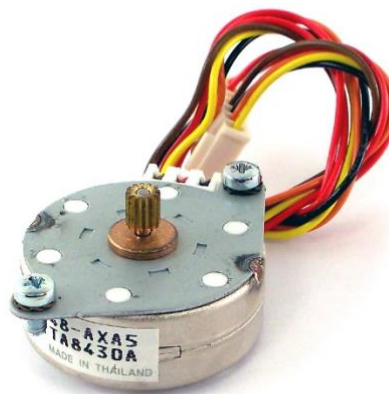
7.1 Αποτύπωση Συνδεσμολογίας

Ένα από τα πιο σημαντικά υλικά που χρησιμοποιήσαμε στην κατασκευή μας είναι το λέιζερ (Εικόνα 8.1), το οποίο είναι συνεχές περίπου 200mW και 12 V τροφοδοσία.



Εικόνα 9.1: Το λέιζερ της διάταξής μας.

Η δέσμη του λέιζερ κατευθύνεται σε έναν καθρέφτη επιφάνειας 2cmx 3.5cm και ανακλάται. Ο καθρέφτης είναι τοποθετημένος σε ένα βηματικό μοτέρ (Εικόνα 8.2) το οποίο έχει βήμα 7,5 μοίρες (48 βήματα ανά κύκλο).



Εικόνα 9.2: Το stepper motor που χρησιμοποιήθηκε.

Το βηματικό μοτέρ ελέγχεται από ένα ολοκληρωμένο το uln2803 (Εικόνα 8.3) το οποίο τροφοδοτείται με 12 V και δέχεται εντολές από τον μικρό ελεγκτή. Μέσω του ολοκληρωμένου επιλέγεται το μοτέρ να πάλλεται πολύ γρήγορα μέσα σε γωνία 37,5 μοιρών και ενδιάμεσα να κάνει 5 στάσεις διάρκειας 15msec.



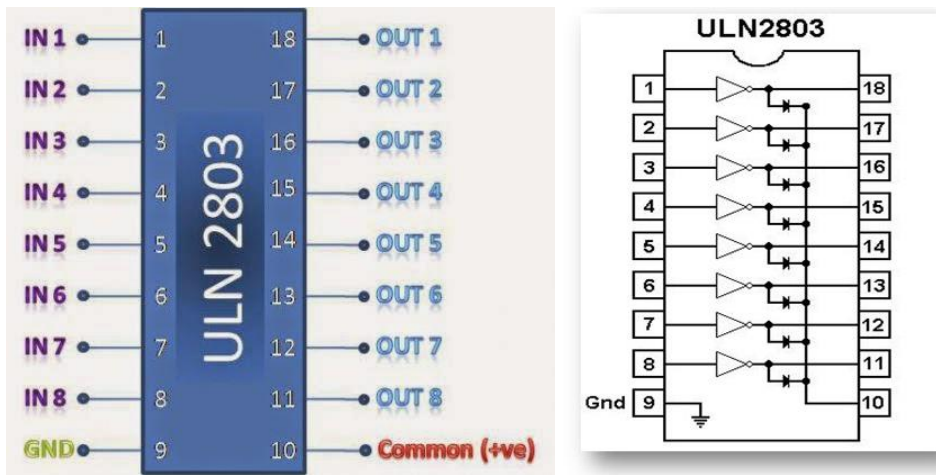
Εικόνα 9.3:Το uln2803 που χρησιμοποιήθηκε.

Το ολοκληρωμένο κύκλωμα «ULN2803» χρησιμοποιείται για την οδήγηση των πηνίων του βηματικού κινητήρα παρέχοντας το απαραίτητο ρεύμα. Το ULN2803A περιέχει μια σειρά από τρανζίστορ 50 V, 500 mA Darlington. Αποτελείται από οκτώ ζεύγη NPN Darlington που διαθέτουν εξόδους υψηλής τάσης με κοινές διόδους καθόδου για τη μεταγωγή επαγωγικών φορτίων. Η ονομαστική τιμή του συλλέκτη κάθε ζεύγους Darlington είναι 500 mA. Τα ζεύγη Darlington μπορούν να συνδεθούν παράλληλα για υψηλότερη ικανότητα ρεύματος. Γενικά, μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για διασύνδεση με ένα βηματικό μοτέρ, όπου ο κινητήρας απαιτεί υψηλές βαθμολογίες οι οποίες δεν μπορούν να παρέχονται από άλλες συσκευές διασύνδεσης.

Βασικές προδιαγραφές:

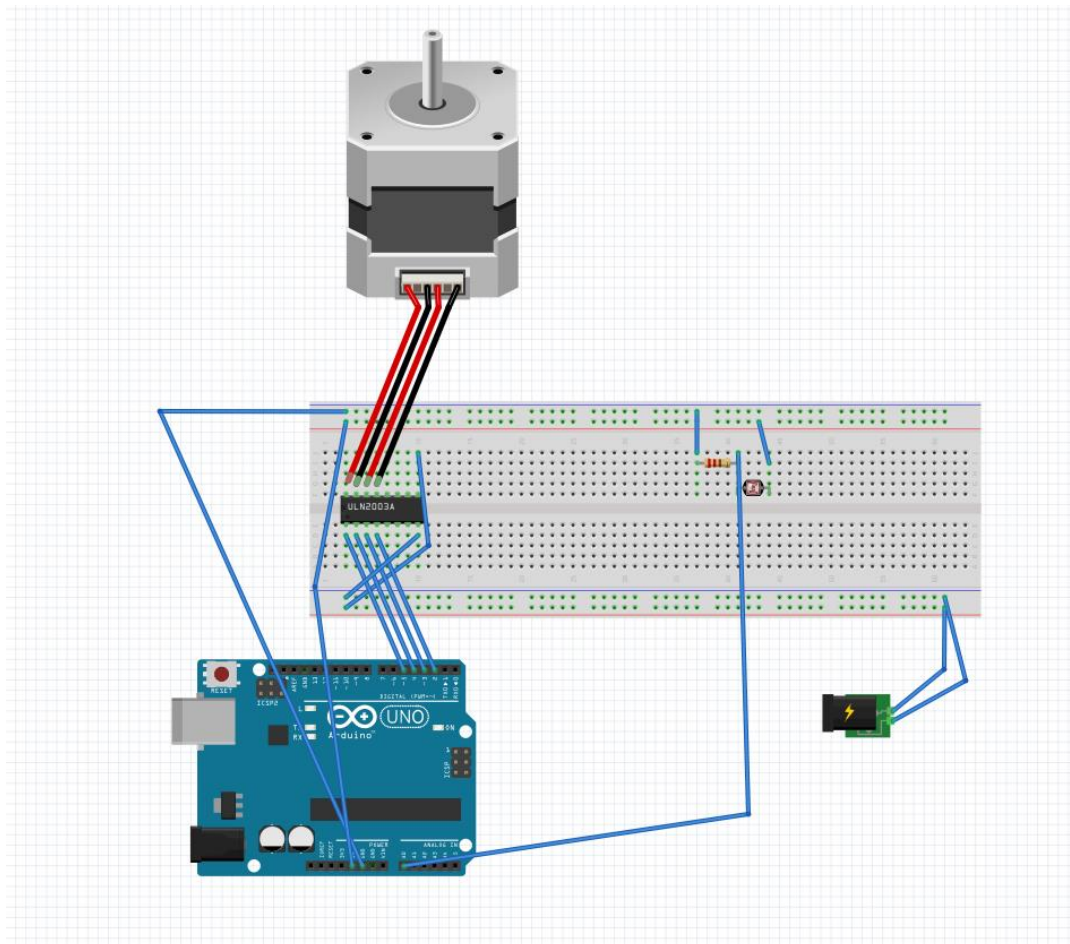
- Ονομαστικό ρεύμα συλλέκτη 500 mA (μία έξοδος)
- Έξοδος 50 V (υπάρχει έκδοση που υποστηρίζει έξοδο 100 V)
- Περιλαμβάνει διάδοος flyback εξόδου
- Είσοδοι συμβατές με TTL και 5-V CMOS λογική

Ο τρόπος συνδεσμολογίας του ολοκληρωμένου κυκλώματος «ULN2803» με τον κινητήρα φαίνεται στην Εικόνα 8.4.



Εικόνα 9.4: Ο τρόπος συνδεσμολογίας του ολοκληρωμένου κυκλώματος «ULN2803

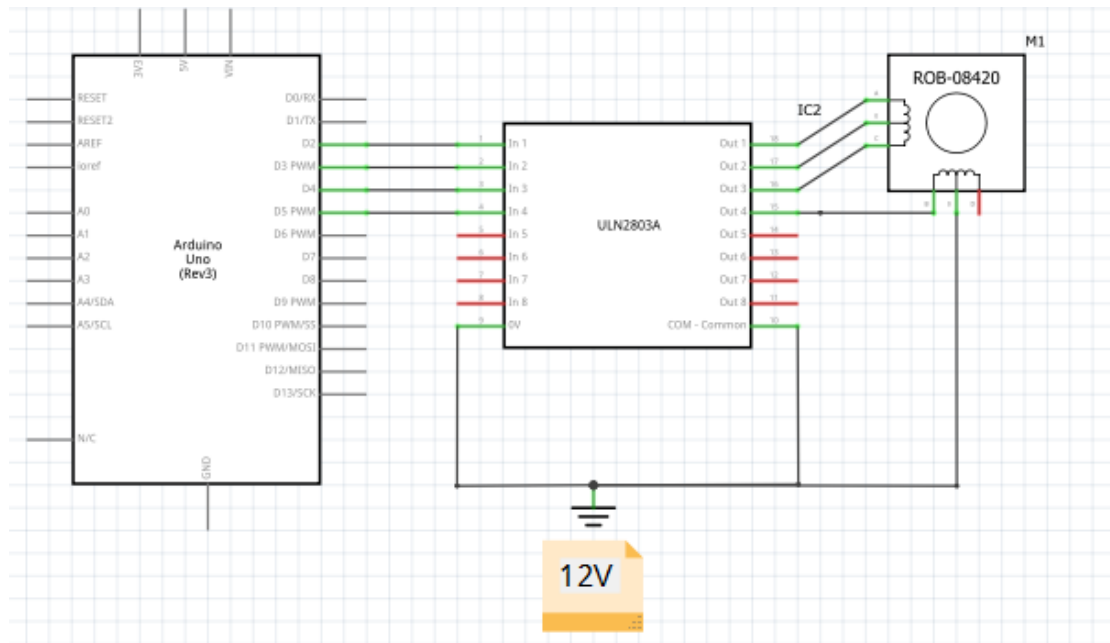
Στην Εικόνα 8.5 φαίνεται η συνδεσμολογία της κατασκευής. Επιλέξαμε να γίνει στο πρόγραμμα fritzing



Εικόνα 9.5: Αποτύπωση συνδεσμολογίας (πρόγραμμα fritzing)

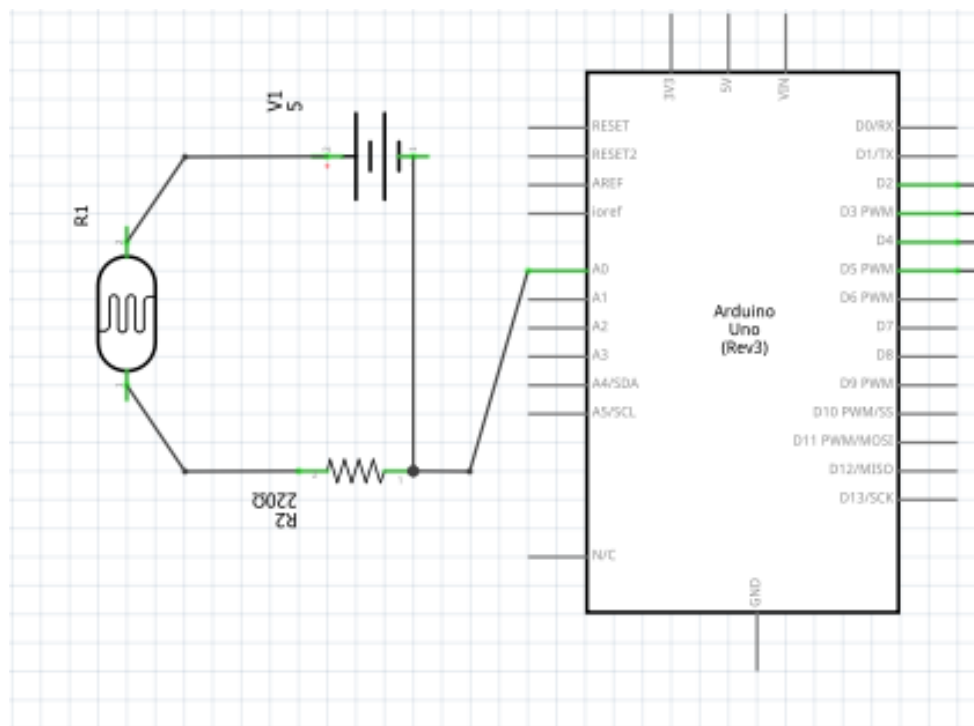
Ανακόπτοντας μια δέσμη με ένα αδιάφανο μέσο (π.χ. το χέρι μας), η ανάκλαση του φωτός από το μέσο ανιχνεύεται από μια φωτοανίσταση η οποία είναι συνδεδεμένη με τον μικροελεγκτή. Ο μικροελεγκτής, μπορεί να αναγνωρίσει ποια δέσμη έχει ανακοπεί τη

συγκεκριμένη στιγμή συντονίζοντας, μέσω εντολών, λείζερ, βηματικό μοτέρ και φωτοαντίσταση. Η κάθε δέσμη λείζερ δίνει διαφορετικά ηλεκτρικά σήματα-εντολές στον μικροελεγκτή. Ο αριθμός των δεσμών, η ταχύτητας απόκρισης και η ευαισθησία των αντιστάσεων καθορίζονται και ελέγχονται από τον ανοιχτό κώδικα του μικροελεγκτή.



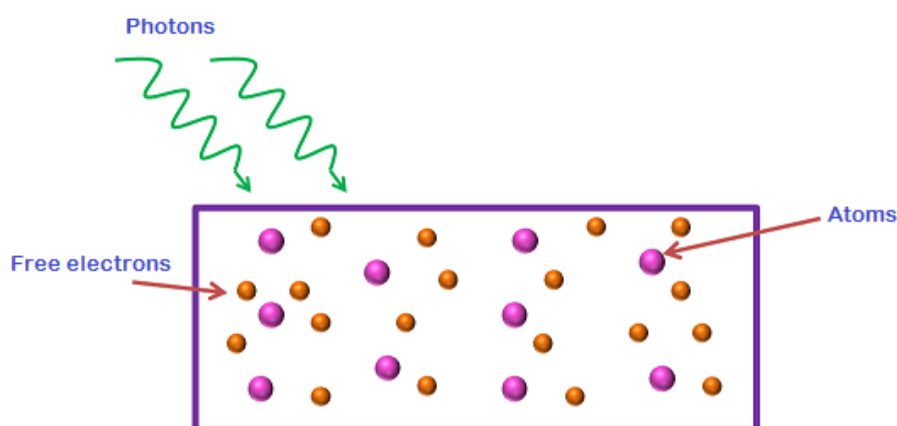
Εικόνα 9.6: Σχεδίαση σύνδεσης ULN με Step motor και Arduino.

Όπως βλέπουμε και στην Εικόνα 8.6, στο κύκλωμα τοποθετήσαμε μια φωτοαντίσταση η οποία συνδέεται σε σειρά με την αντίσταση και καταλήγει στο pin A0 του Arduino. Η φωτοαντίσταση είναι μια μεταβλητή αντίσταση η τιμή της οποίας αλλάζει ανάλογα με το φως που πέφτει πάνω σε αυτή. Τη φωτοαντίσταση τη συναντάμε σε κυκλώματα τα οποία θέλουν με κάποιο τρόπο να αναγνωρίσουν αν το περιβάλλον είναι φωτεινό ή σκοτεινό. Η λειτουργία της φωτοαντίστασης βασίζεται στη μεταβολή της τιμής της, ανάλογα με την ένταση του φωτός που πέφτει πάνω της. Σε απόλυτο σκοτάδι η αντίσταση είναι μέγιστη. Εφαρμόζοντας όμως τάση στα άκρα της, εμφανίζεται ένα ρεύμα που οφείλεται κυρίως σε θερμική λειτουργία (ρεύμα σκότους). Με την αύξηση της έντασης του φωτός, η αντίσταση του υλικού μικραίνει και επιτρέπει τη δημιουργία μεγάλων ρευμάτων.



Εικόνα 9.7: Σύνδεση Arduino με κύκλωμα.

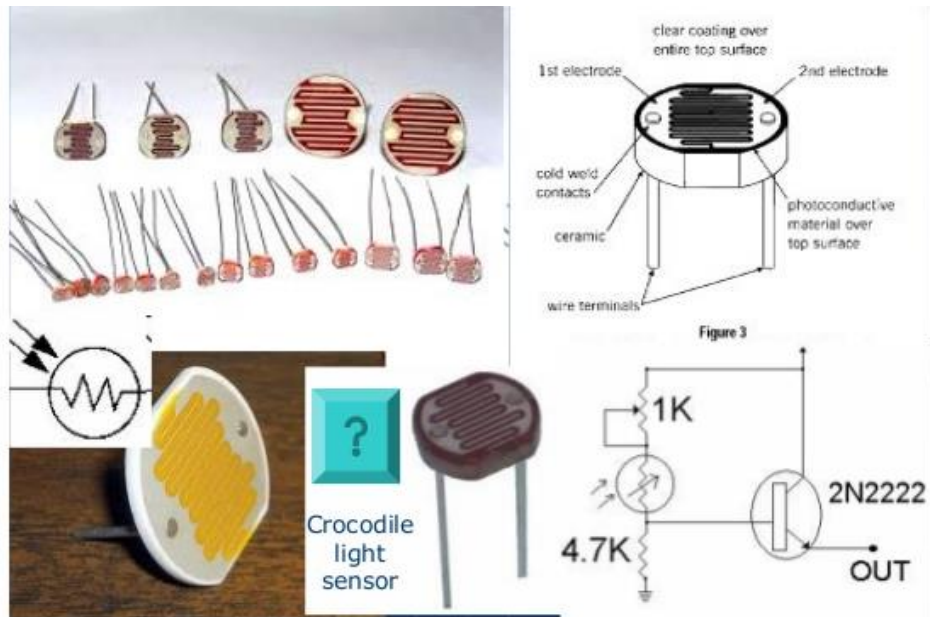
Μια φωτοαντίσταση φτιάχνεται από υψηλής αντίστασης ημιαγωγούς. Αν πέσει φως στην συσκευή, με αρκετά υψηλή συχνότητα, τότε φωτόνια απορροφούνται από τον ημιαγωγό και δεσμευμένα ηλεκτρόνια αποκτούν αρκετή ενέργεια, ώστε να αποσπαστούν από τα άτομα που τα δεσμεύουν (Εικόνα 8.8). Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια που δημιουργούνται άγουν ρεύμα και αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση της αντίστασης. Στο σκοτάδι, ένας φωτοαντιστάκτης μπορεί να έχει αντίσταση τόσο υψηλή όσο αρκετές Megohms ($M\Omega$), ενώ στο φως, ένας φωτοαντιστάκτης μπορεί να έχει αντίσταση τόσο χαμηλή όσο μερικές εκατοντάδες ohms.



Εικόνα 9.8: Αρχή λειτουργίας φωτοαντίστασης.

Υπάρχουν δυο τύποι φωτοαντιστάσεων (Εικόνα 8.9) ανάλογα με τους ημιαγωγούς που χρησιμοποιούνται. Ο πρώτος τύπος είναι οι ενδογενείς και ο δεύτερος είναι φωτοαντιστάσεις με ημιαγωγούς που έχουν προσμίξεις. Στον πρώτο τύπο φωτοαντίστασης τα ηλεκτρόνια

προκειμένου να αποδεσμευτούν χρειάζονται αρκετή ενέργεια ενώ στον δεύτερο λιγότερη. Έτσι η δεύτερη κατηγορία φωτοαντιστάσεων μπορεί να επηρεάζεται και από φως χαμηλότερων συχνοτήτων. Με τις φωτοαντιστάσεις είναι εφικτή η κατασκευή αισθητήρων φωτός.



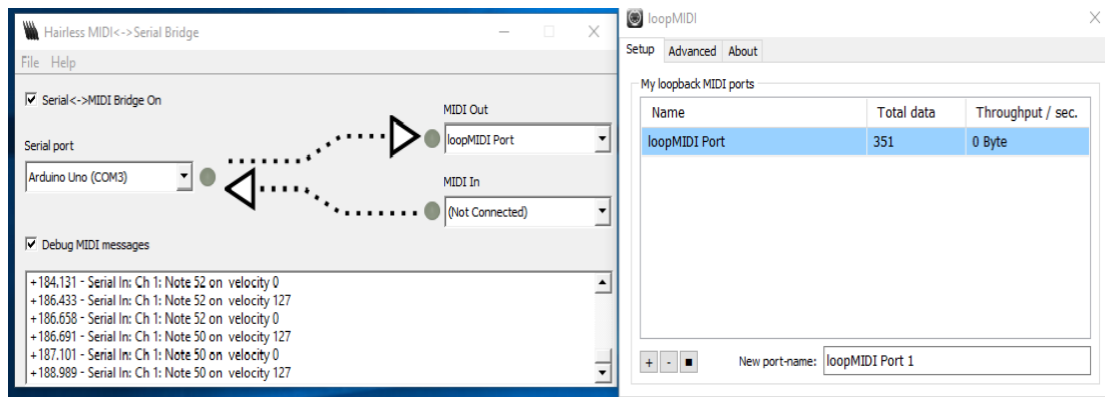
Εικόνα 9.9: Γενικά για φωτοαντίσταση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

8.1 MIDIInterface

Για την λειτουργία της κατασκευή μας, εκτός από τον κώδικα που είναι ένα από τα απαραίτητα στοιχεία, βασικό ρόλο παίζει και η επεξεργασία των εντολών. Έχουμε λοιπόν το Arduinoόπου στέλνει εντολές MIDI μέσω της σειριακής θύρας στον υπολογιστή. Έτσι χρησιμοποιούμε το HairlessMidiserial για να μετατρέψει το σειριακό σε MIDI. Θα πρέπει να το ρυθμίσουμε σε 9600 baudόπου είναι η ταχύτητα που χρησιμοποιούμε στον κώδικα του Arduino.

Στην συνέχεια να μπορέσουμε να ενημερώσουμε τις εφαρμογές για τη νέα εικονική θύρα MIDIχρησιμοποιούμε το HairlessMidi.



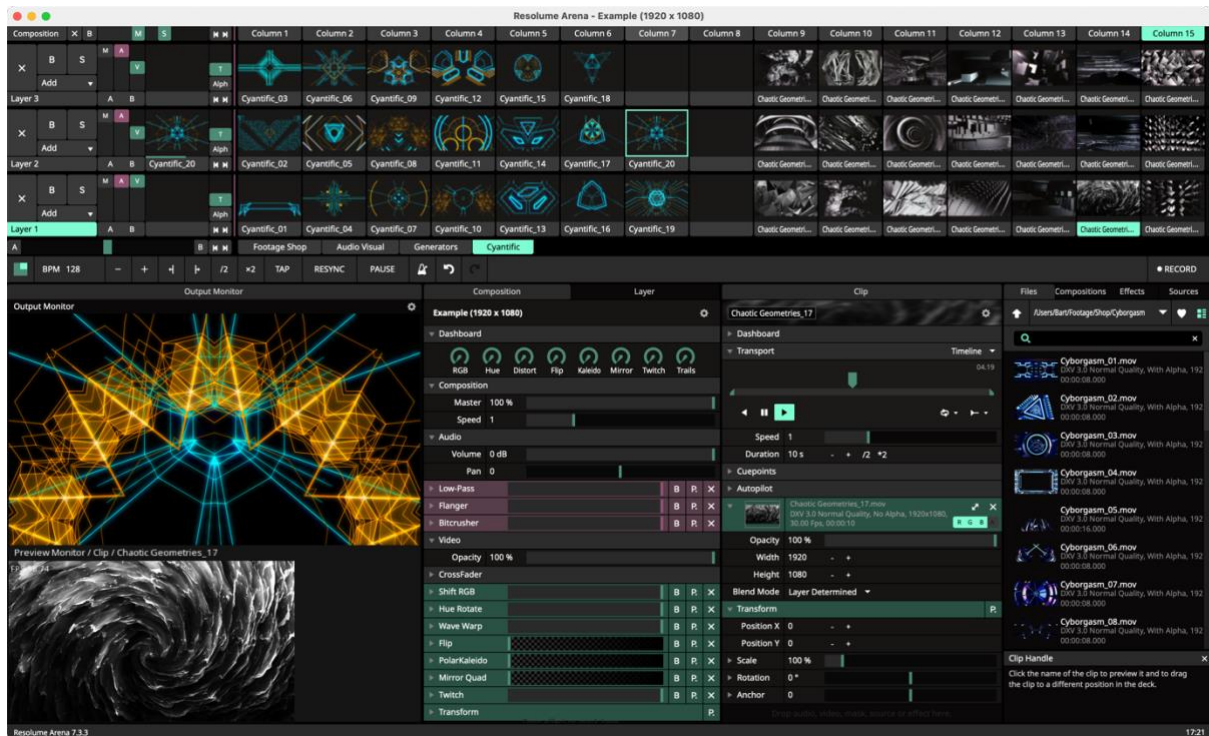
Εικόνα 11.1: Απεικόνιση HairlessMidi και LoopMidi.

Όπως παρατηρούμε στην Εικόνα 10.1 στο πρόγραμμα loopMidi έχουμε ορίσει ένα όνομα το οποίο το επιλέγουμε σαν MIDIOut στο HairlessMidi. Επιλέγουμε serialportστο HairlessMidi ArduinoUno.

Για να σιγουρευτούμε ότι λειτουργεί σωστά, δοκιμάζουμε κλείνοντας μια δέσμη από την κατασκευή μας. Αν εμφανιστούν τα αντίστοιχα μηνύματα στο κάτω μέρος του παραθύρου του HairlessMidi είμαστε έτοιμοι να προχωρήσουμε στο επόμενο βήμα που είναι η σύνδεση ενός προγράμματος που ασχολείται με Midiώστε να έχουμε και ήχο εκτός από την εικόνα. Εμείς επιλέξαμε το LogicPro X.

8.2 Resolume Arena 6

Το resolume arena 6 είναι ένα software για ζωντανή μίξη βίντεο. Η Resolume ιδρύθηκε το 2001 στη Χάγη της Ολλανδίας. Είναι μια μικρή ομάδα και αφοσιωμένη στο δημιουργημά τους. Το οπτικό στοιχείο της ερμηνείας γίνεται ολοένα και πιο σημαντικό, ιδιαίτερα μεταξύ εκείνων των παραγωγών που τείνουν να εμφανίζονται ζωντανά με όχι πολύ περισσότερο από έναν φορητό υπολογιστή. Ο καλός προγραμματισμός για μια ζωντανή εκπομπή σημαίνει να εισάγει γραφικά στην ίδια τη διαδικασία παραγωγής αυτό ήταν και το ζητούμενο μας σε αυτή την εργασία. Το resolume arena 6 ήταν αυτό που χρειαζομασταν για να πετυχουμε τον σκοπο μας.



Περιέχει τις παρακάτω ενότητες για την προβολή τον βίντεο και ήχων.

1. Live video mixing
2. Audio visual playback
3. Projection mapping
4. Live composite & effects

Στο δικό μας project χρησιμοποιήσαμε 2 από αυτές, την ζωντανή μίξη βίντεο και την χαρτογράφηση προβολής.

Το Resolume διαθέτει λειτουργία στήλης για εκκίνηση κλιπ βίντεο και ήχου σε επίπεδα και εφέ μετάβασης, ενδείξεις φωτισμού και πολλά άλλα. Έτσι, μια στήλη εκκινεί κάθετα, αντί για οριζόντια, όπως οι σκηνές και μπορεί να φωτίσει μια ολόκληρη αρένα με πλήρη απόδοση 360 μοιρών φωτός, ήχου ή ήχου και βίντεο. Επίσης, τα κλιπ μπορούν να ενεργοποιηθούν εκτός των στηλών και με τυχαία σειρά. Έτσι, η εικαστική τέχνη δεν είναι μόνο υποπροϊόν του Resolume, είναι εγγενής από αυτό.

8.3 LOGIC PRO X

Ένα άλλο software που αποφασήσαμε να χρησιμοποιήσουμε για audio editing είναι το (DAWS) logic pro X. Το logic είναι ένα από τα πιο γνωστά DAW στην αγορά. Η ιστορία του ξεκινάει μερικά χρόνια πριν που η Emagic προσπάθησε να εισβάλει στον κόσμο των μουσικών εφαρμογών. Η γερμανική εταιρεία παραγωγής ήχου κυκλοφόρησε εφαρμογές για παραγωγή ήχου, επεξεργασία και σύνθεση μουσικής από την εποχή του Atari ST και του Commodore 64. Όταν χρησιμοποιούνταν αυτές οι πλατφόρμες, η εμβληματική εφαρμογή ονομαζόταν Creator και μετά Notator. Τελικά η εταιρεία απέρριψε το παρατσούκλι «C-Lab» και έγινε Emagic. Το Notator Logic εμφανίστηκε στη σκηνή στις αρχές της δεκαετίας του 1990 και δεν ήρθε στο Mac μέχρι την έκδοση 1.6 το 1993 αν και ήταν δύσκολο να τρέξει επειδή χρειαζόταν έναν τεράστιο σκληρό δίσκο 600 MB. Το Logic συνέχισε να αναπτύσσεται ως μια εφαρμογή πολλαπλών πλατφορμών διαθέσιμη τόσο σε Mac όσο και σε PC μέχρι περίπου την έκδοση 5.5.1 - από εκεί και πέρα, έγινε μόνο για Mac.

Όταν η Logic άρχισε να μαζεύει κοινό στις πρώτες μέρες του Macintosh, η ορμή χτίστηκε αρκετά γρήγορα. Βλέπετε, το Logic ήταν μια από τις πρώτες σημαντικές εφαρμογές DAW που περιελάμβανε μια σουίτα οργάνων. Τα Pro Tools και το (Digital) Performer, τα δύο μεγαλύτερα «όπλα» εκείνη την εποχή, χρησιμοποιήθηκαν σίγουρα πιο ευρέως - αλλά υπήρχε μια ατάκα. Χρειαζόταν ένα πληκτρολόγιο MIDI με ήχους στο εσωτερικό του για να γίνει το οτιδήποτε εκτός της εγγραφής ήχου με ένα μικρόφωνο.

Η λογική άλλαξε όλα αυτά προσφέροντας μια τεράστια σουίτα ήχων από το EXS24 (το καθολικό δειγματολήπτη) έως διάφορα όργανα σουίτας EV, για οργανικά και ρετρό πλήκτρα. Για πρώτη φορά σε μια μεγάλη εμπορική κυκλοφορία, μπορούσες να αγοράσεις ένα πρόγραμμα και από προεπιλογή είχε έναν τόνο οργάνων που το συνοδεύουν. Το θεωρούμε αυτονόητο τώρα, αλλά ήταν μια πραγματικά «διατάραξη της βιομηχανίας» που συνέβη τότε.

Η Apple αγόρασε το Emagic το 2002 και με την (κάπως εμμονική) εστίασή της στην απλότητα, αποκάλυψε το GarageBand το 2004. Ήταν εύκολο να δεις το «DNA» της Logic σε όλο το GarageBand.

Το Logic 7 μας έφερε την ενοποιημένη οθόνη Global Tracks. Αυτό διευκόλυνε πολύ την προσαρμογή του ρυθμού, της υπογραφής πλήκτρων, των υπογραφών χρόνου και των δεικτών σε ένα έργο.

Όταν αποκαλύφθηκε το Logic 8, τα ενσωματωμένα εφέ έδωσαν πραγματικά πολλή αγάπη. Παρουσιάστηκε το Delay Designer, όπως και τα μενού κεφαλίδων των πρόσθετων που μας έδωσαν τη δυνατότητα να συγκρίνουμε τις ρυθμίσεις με προηγούμενες τροποποιήσεις. Εισήχθη το Match EQ, μαζί με τη μοντελοποίηση σε επίπεδο κυκλώματος για τα πρόσθετα συμπίεστή. Αργά αλλά σταθερά, η ανάγκη για αγορά εξωτερικών σουιτών εφέ συρρικνώθηκε καθώς το Logic Pro άρχισε πραγματικά να περιλαμβάνει έναν τόνο εργαλείων μίξης επαγγελματικού επιπέδου.

Η πτώση χαρακτηριστικών του Logic 9 ήταν απλώς τεράστια. Κατά τη διάρκεια των ετών «έκδοση 9» είδαμε την εισαγωγή του Flex Time. Η διόρθωση χρόνου και τόνου ήταν προσιτή

και χρησιμοποιήσιμη για τον μέσο χρήστη του οικιακού στούντιο χωρίς εξωτερικές βοηθητικές εφαρμογές.

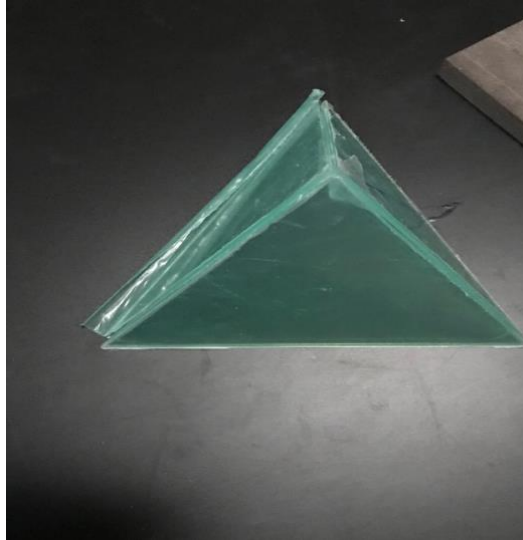
Με το Logic Pro X (2013), η Apple έχει ωθήσει πραγματικά το Logic ως «οικοσύστημα».

Το logic Pro X είναι η αρχή και το τέλος στο project μας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9

9.1 Κατασκευή

Το αρχικό προσχέδιο της πυραμίδας έγινε σε μικρογραφία ύψους 10cm ενώ πλατος 15cm. Στη θέση των τηλεοράσεων τοποθετήθηκε ένα tablet.



Εικόνα 9.1: Προσχέδιο πυραμίδας από γυαλί

Στη θέση των τηλεοράσεων τοποθετήθηκε ένα tablet.

Αφού το προσχέδιο λειτούργησε προχωρήσαμε την κανονική κατασκευή με τις κανονικές διαστάσεις. Το project παρουσιάζει μια αλληλεπίδραση μεταξύ δύο ή τριών ατόμων. Μέσα στο δωμάτιο παρασυστάσης υπήρχε μια τριγωνική ανάποδη πυραμίδα. Το πλάτος της οποίας είναι τριών μέτρα ενώ το ύψος της δύο μέτρα. Το υλικό της είναι από τζάμι. Σε κάθε πλευρά της πυραμίδας τοποθετήθηκε μια τηλεόραση 55 ιντς και με κλίση προς την πυραμίδα 30 μοίρες. Η μοίρες αυτές ήταν αναγκαίες ώστε το αντικείμενο που προβάλεται στην πυραμίδα να είναι αντικειμενικό σε μέγεθος και διαστάσεις. Η τρεις τηλεοράσεις είναι της Samsung και είναι το ίδιο μοντέλο επίσης έχουν γίνει καλλυμπρείσον και στις τρεις ώστε το μαύρο να είναι πραγματικό και όχι προς το γκρί. Η πυραμίδα όπως και οι τηλεοράσεις ήταν τοποθετημένες πάνω σε μια σκηνή που είχαμε φτιάξει ύψους 1,20 μέτρα.



Εικόνα 9.2: Πυραμίδα πραγματικό μέγεθος

Αυτό συνέβει ώστε ο θεατής να μην μπορεί να δει απευθείας τις τηλεοράσεις. Κατω από κάθε πλευρά της πυραμίδας υπήρχε από ένα ηχείο που η κατεύθυνση του καθενός κοιτούσε την κάθε αρπα, καθώς επίσης και ένα subwoofer στο κέντρο ακριβώς κάτω από την πυραμίδα. Το σύστημα περιλαμβάνει τρεις αρπες λείζερ από της οποίες η μια ήταν το μάστερ. Και η τρεις άρπες είχαν από 5 δέσμες οι οποίες επέλεγαν τι θα προβάλετε στην πυραμίδα και τι ήχο θα παίζει από κάθε δέσμη.



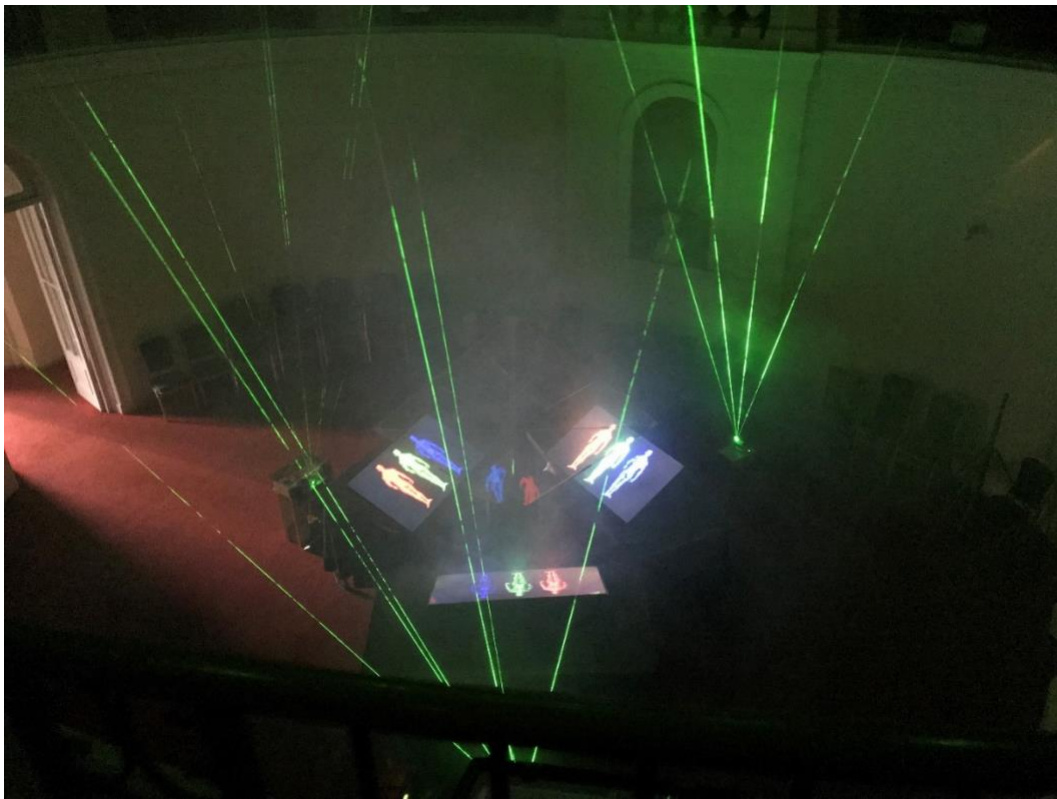
Εικόνα 9.3: Στο ταβάνι πατηρούμε τις δέσμες του κάθε λείζερ

Στην άρπα που ορίστηκε ως μάστερ ήταν τοποθετημένα τέσσερα touch button φτιαγμένα απο επίχρυσο υλικό και λειτουργούν ως πυκνοτικοί αισθητήρες. Οι αισθητήρες άλλαζαν τα samples που παίζει σε εικόνα και ήχο αυτόχρονα. Η αλλαγή αυτή πραγματοποιείται και στις τρεις άρπες λείζερ. Με αποτέλεσμα όποιος έλεγχε τηνάρπα μαστερ επέλεγε ποιιά πέντε samples θα παίξουν στις πέντε δέσμες από τις άλλες δυο άρπες. Στο κέντρο του συστήματος υπάρχει ένα mac mini με επεξεργαστή I7 και 16GB ram το οποίο κάνει όλη τη δουλεία της επεξεργασίας. Τα software που χρησιμοποιούνται είναι τρία διαφορετικά και λειτουργούν ταυτόχρονα. Αυτά είναι το arena 6, το Logic pro X και το hairless midi.

Οι άρπες είναι συνδεδεμένες πάνω mac mini με usb ενώ η τρεις οθόνες με hdmi.



Εικόνα 9.4: Τελική μορφή, παρουσίαση εργασίας



Εικόνα 9.5: Παρατηρούμε τις δέσμες των κάθε λέιζερ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10

10.1 Μελλοντικές Εργασίες

Η συγκεκριμένη κατασκευή έχει την δυνατότητα περαιτέρω εξέλιξης τόσο στο κατασκευαστικό κομμάτι όσο και στην χρησιμότητα του. Στην συνέχεια θα αναφερθούν κάποια παραδείγματα για εξέλιξη στο κατασκευαστικό μέρος.

- Προσθήκη περισσότερων αισθητήρων φωτός: με αυτή την προσθήκη δίνουμε την δυνατότητα στον εκτελεστή να χρησιμοποιήσει και τα δύο του χέρια.
- Προσθήκη αισθητήρα ταχύτητας.
- Προσθήκη αισθητήρα απόστασης.
- Προσθήκη αισθητήρων τάσης.
- Προσθήκη κουμπιών.
- Προσθήκη περισσότερων λείζερ.
- Προσθήκη φωτογραφικής μηχανής.
- Προσθήκη μικροφώνων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11

11.1 Συμπεράσματα

- Κατασκευάσαμε ένα φωτοευαίσθητο ηλεκτρονικό μουσικό όργανο με δέσμες Laser (Laser harp ανοιχτού τύπου). Πρόκειται για μια ανοιχτή πλατφόρμα (διάταξη) μουσικής δημιουργίας μέσω οπτικό-ηλεκτρονικών διεπαφών (αισθητήρων).
- Δημιουργήσαμε τον κατάλληλο κώδικα στο μικροελεγκτή (Arduino) για τον συγχρονισμό των οπτικό-ηλεκτρονικών διεπαφών καθώς και για τον καθορισμό του αριθμού των δεσμών, της ταχύτητα απόκρισης και της ευαισθησίας του βηματικού μοτέρ και των φωτοαντιστάσεων.
- Κατόπιν πολλών πειραματισμών, εναλλαγών και δοκιμών τόσο στον ηλεκτρονικό σχεδιασμό όσο και στον κώδικα του Arduino το τελικό αποτέλεσμα ήταν πολύ ικανοποιητικό με υψηλές αποκρίσεις
- Έχει την δυνατότητα να δημιουργεί και να αναπαράγει ήχους και γενικά μουσικές αρθρώσεις σαν ένας πραγματικός γενικός ελεγκτής MIDI.
- Δίνει την ελευθερία στον δημιουργό να επιλεγεί όποιο μουσικό όργανο επιθυμεί.
- Οι αρθρώσεις μπορούν να περιλαμβάνουν ηχοτοπία, δηλαδή σύνολο ήχων που παράγονται σε ένα οικοσύστημα, είτε ανθρωπογενών (μουσική, ανθρώπινη συμπεριφορά, ήχοι που παράγονται από τα μέσα μεταφοράς, τις βιομηχανίες, κ.α.) είτε φυσικών (όπως ήχοι ζώων, καιρικών και γεωλογικών φαινομένων, κ.α.)
- Εκμεταλλεύεται την κινησιολογία του ανθρώπου
- Η ευκολία με την οποία δημιουργείται και αναπαράγεται η μουσική, μέσω της διάταξή μας, θα μπορούσε να την καταστήσει ως ένα εργαλείο εκμάθησης και ψυχαγωγίας για ανθρώπους κάθε ηλικίας (κυρίως παιδιά) που δεν απαιτεί μουσική γνώση, καθώς και ίσως ως ένα εργαλείο μουσικοθεραπείας λόγω του ότι συνδυάζει διαφορετικές μορφές έκφρασης όπως είναι η κίνηση, ο λόγος και η μουσική ή ηχητική δημιουργία, μέσω του μουσικού αυτοσχεδιασμού
- Το σύστημα μας έχει το πλεονέκτημα επέκτασης με επιπλέον αισθητήρες προσφέροντας πολύ μεγαλύτερη διαδραστικότητα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12

12.1 Προβλήματα

Κατά την προσπάθεια να βρούμε το κατάλληλο step motor το οποίο να κάνει καλύτερη και γρηγορότερη κίνηση δημιουργήθηκε πρόβλημα με το ολοκληρωμένο. Στην αρχή χρησιμοποιήσαμε το j5363 step motor και κήκε το ολοκληρωμένο ATMEGA2004. Επομένως καταλήξαμε στο NMB PM35s-048-TKB5 LOTNO. TC9417A step motor και το μοντέλο του ολοκληρωμένο uln2803.

Η πρώτη δοκιμή της κατασκευής έγινε με ένα Laser μικρής ισχύς. Παρατηρήσαμε ότι οι δέσμες δεν ήταν τόσο εμφανές και έτσι επιλέξαμε ένα Laser με μεγαλύτερη ισχύς. Το λέιζερ που χρησιμοποιείται για την παρουσίαση της εργασίας είναι το zeus με μήκος κύματος 532nm και ισχύς περίπου 200mW.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- https://www.efsyn.gr/stiles/triti-matia/157117_ologramma (Πέπη Ρηγοπούλου, 2018)
- http://mafija.fmf.uni-lj.si/seminar/files/2004_2005/Holography.pdf (Hana Uršič, 2004)
- http://users.ntua.gr/eglytsis/OptEng/Holography_p.pdf (Prof. Elias N. Glytsis, 2018)
- <https://www.integraf.com/resources/articles/a-how-to-make-transmission-holograms> (Alec Jeong&Dr. Tung H. jeong, 2005)
- <http://www.litiholo.com/blog/2020/02/28/reflection-holograms-viewing-holograms-in-sunlight-or-with-a-smartphone/> (Liti Holographics,2019)
- https://www.researchgate.net/publication/268156325_Fabrication_of_digital_rainbow_holograms_and_3-D_imaging_using_SEM_based_e-beam_lithography (An. Firsov, Alexander Firsov, Bernd Löchel, A. Erko, A.Svintson, Sergey Zaitsev, 2014)
- <http://hydrogen.physik.uni-wuppertal.de/hyperphysics/hyperphysics/hbase/optmod/holog2.html#c2> (C.R. Nave,2006)
- <https://www.integraf.com/resources/articles/a-main-types-of-holograms/> (Alec Jeong, Dr. Tung H. Jeong, 2005)
- https://www.osa-opn.org/home/book_reviews/2020/0720/introduction_to_computer_holography/ (Kyoji Matsushima,2020)
1. <http://www.robotpark.com/Stepper-Motors>
 2. <http://ilektroaytomatismoi.blogspot.gr/2016/10/stepper-motor.html>
 3. https://en.wikipedia.org/wiki/Stepper_motor
 4. <https://learn.adafruit.com/all-about-stepper-motors/what-is-a-stepper-motor>
 5. <http://howtomechatronics.com/how-it-works/electrical-engineering/stepper-motor/>
 6. <https://www.circuitspecialists.com/blog/unipolar-stepper-motor-vs-bipolar-stepper-motors/>
 7. http://www.globalspec.com/learnmore/motion_controls/controls_drives/stepper_motor_drives
 8. <https://learn.sparkfun.com/tutorials/motors-and-selecting-the-right-one/stepper-motors---simply-precise>
 9. <https://www.youtube.com/watch?v=TWMai3oimM>
 10. <https://www.youtube.com/watch?v=Qc8zcst2blU>
 11. <https://www.youtube.com/watch?v=dmk6zIkj7WM>