



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

***Ανάπτυξη Πρότυπου Προσομοίωσης
Μίας Αυτοματοποιημένης Παραγωγικής Διαδικασίας
Πλήρωσης Φιαλών
Με Ολοκληρωμένο Ηλεκτρονικό Σύστημα Ελέγχου***

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αθηνά Δ. Κασίμη

Επιβλέποντες:

Μαρία-Παρασκευή Ιωαννίδου, Καθηγήτρια Ε. Μ. Πολυτεχνείου

Ευθύμιος Καραλής, Ηλεκτρολόγος Μηχανικός κ' Μηχανικός Υπολογιστών, Ερευνητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2014



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΑΞΕΩΝ
ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΑΠΟΦΑΣΕΩΝ

***Ανάπτυξη Πρότυπου Προσομοίωσης
Μίας Αυτοματοποιημένης Παραγωγικής Διαδικασίας
Πλήρωσης Φιαλών
Με Ολοκληρωμένο Ηλεκτρονικό Σύστημα Ελέγχου***

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Αθηνά Δ. Κασίμη

Επιβλέποντες:

Μαρία-Παρασκευή Ιωαννίδου, Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

Ευθύμιος Καραλής, Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών, Ερευνητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 17^η Οκτωβρίου 2014.

Μαρία Ιωαννίδου,
Καθηγήτρια

Νικόλαος Θεοδώρου,
Καθηγητής

Παναγιώτης Τσαραμπάρης,
Λέκτορας

Αθήνα, Οκτώβριος 2014

.....
Κασίμη Δ. Αθηνά

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π.

Copyright © Κασίμη Δ. Αθηνά, 2014.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

«Ανάπτυξη μοντέλου προσομοίωσης μίας αυτοματοποιημένης παραγωγικής διαδικασίας πλήρωσης φιαλών με ολοκληρωμένο ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου.»

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελείται από επτά ενότητες οι οποίες αναφέρονται σε όλους τους επιστημονικούς και τεχνολογικούς τομείς που είναι απαραίτητοι, προκειμένου ο μη εξειδικευμένος αναγνώστης να έχει τη δυνατότητα να αντιληφθεί, να παρακολουθήσει και να αξιολογήσει όλο το περιεχόμενο του μοντέλου προσομοίωσης, να κατανοήσει τις προοπτικές καθώς και τα πεδία εφαρμογής του.

Η πρώτη ενότητα ξεκινά με την ανάπτυξη του σκοπού της διπλωματικής εργασίας. Στη συνέχεια τοποθετεί το πλαίσιο λειτουργίας του μοντέλου μέσω του προσδιορισμού του βιομηχανικού περιβάλλοντος στο οποίο λειτουργούν παρόμοια συστήματα, και κάνοντας μια ιστορική αναδρομή κατά την οποία περιγράφεται διεξοδικά η εξέλιξη των τεχνολογιών των συστημάτων ελέγχου καταλήγει στην αναγκαιότητα αξιοποίησής τους σε όλο το φάσμα των βιομηχανικών εφαρμογών.

Η δεύτερη ενότητα αναπτύσσει το θεωρητικό υπόβαθρο όλων των δομικών παραμέτρων του μοντέλου. Ειδικότερα, αναλύει τους αυτοματισμούς, τις έννοιες των μικροελεγκτών - και πιο συγκεκριμένα της πλακέτας Arduino ως μέσου ελέγχου - τους αισθητήρες και άλλα ηλεκτρονικά μέσα που είναι απαραίτητα για τη λειτουργία του. Επιπλέον κάνει μια γενική περιγραφή των συνιστωσών του μηχανολογικού εξοπλισμού που χρησιμοποιείται σε παρόμοιες εφαρμογές, καθώς και των αρχών λειτουργίας του. Σ' αυτή την ενότητα, ο αναγνώστης εξοικειώνεται με έννοιες, ορολογίες και αρχές λειτουργίας της κατασκευής που θα ακολουθήσει.

Η τρίτη ενότητα «ξεδιπλώνει» το μοντέλο: Πιο συγκεκριμένα υπεισέρχεται σε όλες τις λεπτομέρειες τόσο τις λειτουργικές, διαστασιολογικές, κατασκευαστικές μηχανολογικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού, όσο και του τρόπου συσχέτισης του μηχανολογικού εξοπλισμού με τον αντίστοιχο ηλεκτρονικό.

Στην τέταρτη ενότητα γίνεται μια διεξοδική περιγραφή – βήμα βήμα – όλης της συγκεκριμένης παραγωγικής διεργασίας πλήρωσης φυαλών, καθώς και του λογισμικού που την προσδιορίζει.

Στην πέμπτη ενότητα γίνεται μια αξιολόγηση του μοντέλου, αναδεικνύονται τα πλεονεκτήματα και εντοπίζονται αδυναμίες και τέλος παρατίθενται προτάσεις για βελτιώσεις και καλύτερες προοπτικές λειτουργίας, ως βάση για περαιτέρω έρευνα και ανάπτυξη.

Η έκτη ενότητα περιέχει τη βιβλιογραφία και τις πηγές που χρησιμοποιήθηκαν για εκπόνηση της εργασίας.

Η έβδομη ενότητα περιλαμβάνει παράρτημα με πίνακες και λοιπά θεωρητικά στοιχεία, όπου μπορεί κανείς να ανατρέξει για λεπτομερέστερη ενημέρωση.

Λέξεις κλειδιά

Μοντέλο προσομοίωσης, εμφιάλωση, αυτόματο σύστημα, σύστημα ελέγχου, μικροελεγκτής, Arduino, ταινιόδρομος, δεξαμενή, αντλία, κινητήρας, μετάδοση κίνησης, αισθητήρες, γραφικό περιβάλλον.

Abstract

"Development of a simulation model of an automated production process related to filling bottles with integrated electronic control system."

This thesis consists of seven sections which refer to all scientific and technological fields that are necessary in order for the non-specialist reader to be able to get familiarized, monitor and evaluate the entire contents of the simulation model to understand the perspectives and fields of application.

The first section begins with the development of the scope of this thesis. Then place the operation context of the model by defining the industrial environment in which similar systems operate, and proceeding to a historical detailed reference going through the development of technologies of control systems, concludes justifying the need of exploiting them to the full spectrum of industrial applications.

The second section develops the theoretical background of all structural parameters of the model. In particular, it analyzes the automation concepts microcontrollers - and more specifically the Arduino board as a means of control - sensors and other electronic instruments necessary for its operation. Furthermore makes a general description of the components of the machinery used in similar applications, and the principles of operation. In this section, the reader is familiar with concepts, terminology and operating principles of construction to follow.

The third section "unfolding" model: In particular going into all the details both functional, dimensional, construction machinery and electronic equipment, and the way mechanization correlation with corresponding electronic.

The fourth section is a detailed description - step by step - all the specific production process of filling bottles and the software identifies.

The next section is a review of the model, highlighting the strengths and weaknesses are identified and finally recommendations for improvements and better prospects in operation, as a basis for further research and development.

The sixth section contains the literature and sources used for elaborating the work.

The seventh section contains an annex with tables and other theoretical elements, which can be consulted for more detailed information.

Keywords

Model simulation, bottling, automated process, control systems, microcontroller, Arduino, belt conveyor, tank, pump, motor engine, transmission, sensors, graphical interface.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την Καθηγήτριά μου Κα. Μαρία-Παρασκευή Ιωαννίδου για την αμέριστη υποστήριξή της: Για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντας μου την διεκπεραίωση της παρούσας εργασίας, για την άριστη συνεργασία μας κατά τη διάρκεια επεξεργασίας του όλου εγχειρήματος, μέχρι την επιτυχημένη ολοκλήρωσή του, αλλά και τη διαθεσιμότητά της σε φάσεις δυσχερειών επεξεργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τα κοντινά μου πρόσωπα, για τη διαρκή στήριξη και εμψύχωσή που μου παρείχαν καθόλη τη διάρκεια της προσπάθειάς μου, συμβάλλοντας αποφασιστικά στην επίτευξη αυτού του αρκετά προκλητικού για τα δεδομένα μου στόχου.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα διδακτορικό Καραλή Ευθύμιο για την άριστη συνεργασία μας κατά τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής και τη συμβολή του στην ορθή εκπλήρωσή της.

Περιεχόμενα

Περίληψη	5
Λέξεις κλειδιά	6
Abstract	7
Keywords	8
Ευχαριστίες	9
Περιεχόμενα	10
Πίνακας Εικόνων	12
1. Εισαγωγή	15
1.1. Σκοπός της Διπλωματικής	15
1.2. Αυτοματοποίηση στη Βιομηχανία	15
1.3. Συστήματα Ελέγχου Ηλεκτρικών Μηχανών	17
2. Θεωρητικό υπόβαθρο	21
2.1. Αυτοματισμός	21
2.2. Αναπτυξιακές Πλακέτες	23
2.2.1. Μικροελεγκτές	23
2.2.2. Η Πλακέτα Arduino	28
2.3. Αισθητήρες.....	40
2.3.1. Τι είναι αισθητήρες.....	40
2.3.2. Χαρακτηριστικά των αισθητήρων	41
2.3.3. Είδη αισθητήρων	43
2.3.4. Είδη μονάδων εξόδου	43
2.4. Ηλεκτρονόμος, Ρελέ (Relay)	43
2.4.1. Ορισμός	43
2.4.2. Λειτουργία	44
2.5. Αντλίες.....	46
2.5.1. Ιστορικά Στοιχεία	46
2.5.2. Τύποι Αντλιών.....	46
2.5.3. Αρχή λειτουργίας αντλιών	46
2.6. Ηλεκτρικοί Κινητήρες	47
2.6.1. Αρχή λειτουργίας ηλεκτρικών κινητήρων.....	48

2.6.2. Είδη ηλεκτρικών κινητήρων.....	49
2.7. Τρόποι Μετάδοσης Κίνησης.....	55
2.7.1. Τύποι γραναζιών.....	56
2.7.2. Κιβώτια Ταχυτήτων.....	57
2.8. Οριζόντιες Μεταφορές	58
2.8.1. Μεταφορικές ταινίες (Ταινιόδρομοι)	59
2.8.2. Ιμάντες	61
3. Κατασκευή του Συστήματος	64
3.1. Ανάλυση – Σχεδιασμός.....	64
3.1.1. Η Αρχική Ιδέα.....	64
3.1.2. Λεπτομερής Περιγραφή Συνιστωσών	65
3.2. Το κύκλωμα – Συνδεσμολογία	86
4. Λειτουργία του Συστήματος	88
4.1. Λεπτομερής Περιγραφή	88
4.2. Το Σύστημα.....	89
4.3. Λογισμικό (Software)	96
4.3.1. Λογισμικό Arduino	96
4.3.2. Λογισμικό Γραφικού Περιβάλλοντος	99
5. Αξιολόγηση – Συμπεράσματα - Προτάσεις	105
6. Βιβλιογραφία	108
7. Παράρτημα	110
A. Πίνακες για τον υπολογισμό δυνάμεων στον ταινιόδρομο	110
B. Datasheets.....	119

Πίνακας Εικόνων

Εικόνα 1 Αυτοματοποίηση της γραμμής συσκευασίας σε βιομηχανία Ζυθοποιίας ...	17
Εικόνα 2 Δυνατότητες λειτουργίας ενός συστήματος κινήσεως.....	19
Εικόνα 3 Ελεγχόμενο Ηλεκτρικό Σύστημα	20
Εικόνα 4 Αυτοματοποίηση μονάδας αφαλάτωσης	22
Εικόνα 5 μικροελεγκτής	Error! Bookmark not defined.
Εικόνα 6 Πλακέτα Arduino.....	28
Εικόνα 7 Lilypad Arduino.....	29
Εικόνα 8 Εκδόσεις Arduino	30
Εικόνα 9 Η ανατομία μίας πλακέτας Arduino.....	32
Εικόνα 10 Τρόποι Τροφοδοσίας του Arduino	34
Εικόνα 11 Arduino IDE.....	35
Εικόνα 12 Σύνδεση με τον υπολογιστή.....	36
Εικόνα 13 ρελέ 12V	43
Εικόνα 14 Κυκλωμα λειτουργίας ρελέ	45
Εικόνα 15 Αρχή λειτουργίας φυγοκεντρικής αντλίας	47
Εικόνα 16 Αντλία θετικής εκτόπισης με λοβούς.....	47
Εικόνα 17 Αρχή λειτουργίας ηλεκτρικού κινητήρα	49
Εικόνα 18 Εσωτερική δομή ηλεκτρικού κινητήρα.....	51
Εικόνα 19 Γρανάζια	56
Εικόνα 20 Κιβώτιο Ταχυτήτων	58
Εικόνα 21 Μεταφορική Ταινία.....	59
Εικόνα 22 Ταινιόδρομος για μεταφορά αντικειμένων σε βιομηχανία.....	59
Εικόνα 23 Ταινιόδρομος Γενικού Τύπου.....	60
Εικόνα 24 Ταινιόδρομος Μαζικού Τύπου	60
Εικόνα 25 Κινητήριος Ραουλόδρομος.....	61
Εικόνα 26 Τραπεζοειδής Ιμάντας.....	62
Εικόνα 27 Επίπεδοι Ιμάντες.....	62
Εικόνα 28 Διατομή ελαστικού ενσύρματου ιμάντα.....	63

Εικόνα 29 Arduino UNO	66
Εικόνα 30 Ο Ταινιόδρομος	67
Εικόνα 31 Ράουλα στην έξοδο του συστήματος	69
Εικόνα 32 Ρουλεμάν	70
Εικόνα 33 Coupler	71
Εικόνα 34 Ο Κινητήρας με τη βάση του	72
Εικόνα 35 Ηλεκτρική Αντλία 12V	75
Εικόνα 36 Η δεξαμενή	75
Εικόνα 37 Ο σωλήνας προέκτασης σταθεροποιήθηκε σε ένα ειδικά διαμορφωμένο πλαίσιο	76
Εικόνα 38 Ρελέ 2 καναλιών	77
Εικόνα 39 Είσοδοι-Έξοδοι ρελέ 2 καναλιών	77
Εικόνα 40 Συνδεσμολογία τροφοδοτικό-ρελε-φορτίο	78
Εικόνα 41 Συνδεσμολογία ρελέ με Arduino	78
Εικόνα 42 εμπρός όψη φωτοαντίστασης	79
Εικόνα 43 πλάγια όψη φωτοαντίστασης	79
Εικόνα 44 κύκλωμα	79
Εικόνα 45 Συνδεσμολογία φωτοαντίστασης με Arduino	80
Εικόνα 46 Κόκκινο Laser	81
Εικόνα 47 άνω όψη αισθητήρα	81
Εικόνα 48 πλάγια όψη αισθητήρα	81
Εικόνα 49 pins του αισθητήρα	81
Εικόνα 50 συνδεσμολογία	81
Εικόνα 51 Εύρος υπερύχων	82
Εικόνα 52 Christian Doppler	82
Εικόνα 53 Σχηματική αναπαράσταση φαινομένου Doppler	82
Εικόνα 54 Παλμός από τον μικροελεγκτή και Ηχώ Αισθητηρίου	83
Εικόνα 55 Ριπές παλμών Εκπομπής	84
Εικόνα 56 Συνδεσμολογία με Arduino	84
Εικόνα 57 Ο "cm1" μετρά τη στάθμη του δοχείου	85
Εικόνα 58 Ο "cm2" μετρά τη στάθμη της δεξαμενής	86

Εικόνα 59 Το κύκλωμα	87
Εικόνα 60 Το κύκλωμα και η βάση του	87
Εικόνα 61 Κάτοψη του συστήματος σε AutoCad	88
Εικόνα 62 Γραφικό περιβάλλον στην αρχική κατάσταση	90
Εικόνα 63 Το laser έχει τροφοδοτηθεί με 5V και στοχεύει στη φωτοαντίσταση.....	90
Εικόνα 64 Τα ρελέ του κινητήρα και της αντλίας μας ενημερώνουν ότι βρίσκονται εκτός λειτουργίας	91
Εικόνα 65 Γραφικό περιβάλλον κατά την έναρξη λειτουργίας του συστήματος	91
Εικόνα 66 Ένα δοχείο τοποθετείται πάνω στον ταινιόδρομο	92
Εικόνα 67 Το δοχείο ακινητοποιείται στο σημείο που είναι προγραμματισμένη να γίνει η πλήρωσή του	93
Εικόνα 68 Το δοχείο γεμίζει με νερό μέσω της δεξαμενής	93
Εικόνα 69 Η οθόνη του υπολογιστή κατά την πλήρωση του τρίτου δοχείου	94
Εικόνα 70 Το δοχείο μεταφέρεται στην έξοδο του συστήματος	95
Εικόνα 71 Ο χρήστης ενημερώνεται με σχετικό μήνυμα για το χαμηλό επίπεδο στάθμης της δεξαμενής	96

1. Εισαγωγή

1.1. Σκοπός της Διπλωματικής

Η παρούσα διπλωματική έχει σαν αντικείμενο την ανάπτυξη ενός μοντέλου προσομοίωσης μίας παραγωγικής διαδικασίας εμφιάλωσης. Μέσα από αυτή τη διαδικασία δίνεται η ευκαιρία να εντρυφήσει κανείς στη σύγχρονη τεχνολογία των αυτοματισμών.

Ειδικότερα η προσομοίωση αφορά στη διαδικασία της πλήρωσης φιαλών. Στο πλαίσιο αυτής της απόπειρας:

- Μελετώνται αισθητήρες, ως προς τις θεωρητικές αρχές λειτουργίας τους και στη συνέχεια γίνεται υλοποίηση της χρήσης τους σε μια μικρογραφία της ως άνω βιομηχανικής εγκατάστασης.
- Αξιοποιούνται οι δυνατότητες των αισθητήρων για συλλογή πληροφοριών και κατάλληλη επεξεργασία αυτών.
- Αναπτύσσεται υποσύστημα ελέγχου μηχανών συνεχούς ρεύματος, μέσω Πληροφοριακού Συστήματος, και πιο συγκεκριμένα γίνεται χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή καθώς και μικροελεγκτή με αντίστοιχα λογισμικά.

Απόσταγμα αυτής της προσπάθειας είναι η κατασκευή μιας πρότυπης μικρογραφίας βιομηχανοποιημένης παραγωγικής διαδικασίας με πραγματικές απαιτήσεις. Υπό την έννοια αυτή, η συγκεκριμένη απόπειρα, μπορεί να αποτελέσει βάση, είτε για περαιτέρω βελτιστοποιήσεις, είτε για περαιτέρω διερεύνηση τεχνολογικής ανάπτυξης σε επιστημονικό ή παραγωγικό επίπεδο.

1.2. Αυτοματοποίηση στη Βιομηχανία

Η αυτοματοποίηση μιας βιομηχανικής παραγωγικής διαδικασίας αποτελεί σήμερα ένα πολύ ελκυστικό αντικείμενο ηλεκτρολογικού ενδιαφέροντος, επειδή συνδυάζει κατά ιδανικό τρόπο όλες τις αρχές και μεθόδους του κλασικού Αυτομάτου Ελέγχου με την τεχνολογία μικροϋπολογιστών. Η εισαγωγή της τεχνολογίας μικροϋπολογιστών στη βιομηχανική παραγωγή σε συνδυασμό με την ανάπτυξη της Ρομποτικής είχε σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός ιδιαίτερου επιστημονικού πεδίου, γνωστού υπό τον αγγλικό όρο "Automation and Robotics".

Στο πλαίσιο της προσπάθειας για βελτίωση της ανταγωνιστικότητας, η βιομηχανία ενσωματώνει νέες μεθόδους και τεχνολογίες που συμβάλλουν (α) στη μείωση του

κόστους παραγωγής και (β) στη βελτίωση της ασφάλειας και ποιότητας των προϊόντων. Η υιοθέτηση ρομποτικών συστημάτων γίνεται κυρίως στο πλαίσιο της αυτοματοποίησης των διαδικασιών στα τελικά στάδια της παραγωγής και συσκευασίας.

Στην ελληνική βιομηχανία, τα πρώτα συστήματα εγκαταστάθηκαν στις αρχές της δεκαετίας του 1990. Έκτοτε με την έκρηξη στην τεχνολογική ανάπτυξη και σε συνδυασμό με την επιτάχυνση της βιομηχανοποίησης, ο αριθμός τους αυξάνεται συνεχώς, προσφέροντας πολλαπλά οφέλη, μεταξύ των οποίων συγκαταλέγονται ενδεικτικά και όχι περιοριστικά τα ακόλουθα:

- να μειώνουν σημαντικά το κόστος παραγωγής
- να διατηρούν υψηλές ταχύτητες παραγωγής με ασφαλή χειρισμό των προϊόντων
- να προσαρμόζονται εύκολα στις διακυμάνσεις της ζήτησης
- να αποκτούν ευελιξία κατά τη διαχείριση πολλών διαφορετικών συσκευασιών
- να ελαχιστοποιούν το ανθρώπινο σφάλμα
- να βελτιώνουν τις συνθήκες εργασίας (ασφάλεια εργαζομένων, ασθένειες λόγω ανύψωσης βάρους)
- να εναρμονίζονται με τους κανονισμούς ασφαλείας με βάση εγχώρια και διεθνή standards
- να διασφαλίζουν την ποιότητα των προϊόντων καθώς και αυξημένα επίπεδα υγιεινής στην παραγωγική διαδικασία του τελικού προϊόντος προς διάθεση.

Η αυτοματοποίηση στη βιομηχανία παρέχει ταχύτητα και ακρίβεια κινήσεως, μειώνει σημαντικά τους νεκρούς χρόνους, εξασφαλίζει αυξημένους σταθερούς και προβλέψιμους ρυθμούς παραγωγής, επιτυγχάνοντας έτσι την εύρυθμη λειτουργία της. Παραμένει ανεπηρέαστη από παραμέτρους δυσλειτουργίας αντίστοιχων «χειροκίνητων», μεταξύ των οποίων συγκαταλέγονται ενδεικτικά και όχι περιοριστικά η ανθρώπινη κόπωση, οι δυσμενείς και επικίνδυνες συνθήκες εργασίας καθώς και η προκύπτουσα απ' αυτά διακύμανση ποιότητας παραγόμενων προϊόντων. Η παρεχόμενη δυνατότητα αδιάλειπτης λειτουργίας, διασφαλίζει κάλυψη εποχιακών εξάρσεων ή μη προγραμματισμένων παραγγελιών.

Τα βιομηχανικά ρομπότ είναι μηχανισμοί που μπορούν να κινηθούν σε οποιοδήποτε σημείο του χώρου εργασίας τους υπό τον έλεγχο προγράμματος Η/Υ. Επομένως παρέχουν εξαιρετική ευελιξία για χειρισμό διαφορετικών προϊόντων ενώ απαιτούνται ελάχιστες ρυθμίσεις σε περιφερειακό εξοπλισμό κατά την αλλαγή από το ένα προϊόν στο άλλο. Το χαρακτηριστικό αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο σήμερα

που η ποικιλία των προϊόντων είναι μεγάλη, οι παρτίδες παραγωγής είναι σχετικά μικρές και εναλλάσσονται συχνά. Επίσης δεδομένου ότι δεν υπάρχουν πολλές ρυθμίσεις, αποτρέπεται απώλεια (φύρα) προϊόντος μέχρι να ρυθμιστεί σωστά η μηχανή κατά την εναλλαγή.



Εικόνα 1 Αυτοματοποίηση της γραμμής συσκευασίας σε βιομηχανία Ζυθοποιίας

1.3. Συστήματα Ελέγχου Ηλεκτρικών Μηχανών

Όπως είναι ευρέως γνωστό, η χρήση των ηλεκτρικών μηχανών παρέχει την πλέον άνετη δυνατότητα κίνησης. Ωστόσο, μέχρι το 1950, τεχνολογικοί περιορισμοί των συστημάτων ελέγχου των ηλεκτρικών μηχανών, εμπόδισαν την εφαρμογή τους σε ευρεία κλίμακα. Έτσι, τα συστήματα ηλεκτρικής κινήσεως είχαν εφαρμογή σε λίγες μόνον περιοχές της τεχνολογίας και κυρίως τις εργαλειομηχανές και τη μεταλλουργία.

Ωστόσο, η πρόσφατη ραγδαία εξέλιξη των ηλεκτρονικών ισχύος, καθώς και των ψηφιακών συστημάτων και των μικροεπεξεργαστών, επέτρεψαν την ανάπτυξη μοντέρνων τεχνικών ελέγχου, με αποτέλεσμα την ταχύτατη εξέλιξη της περιοχής των ελεγχόμενων ηλεκτρικών συστημάτων κινήσεως.

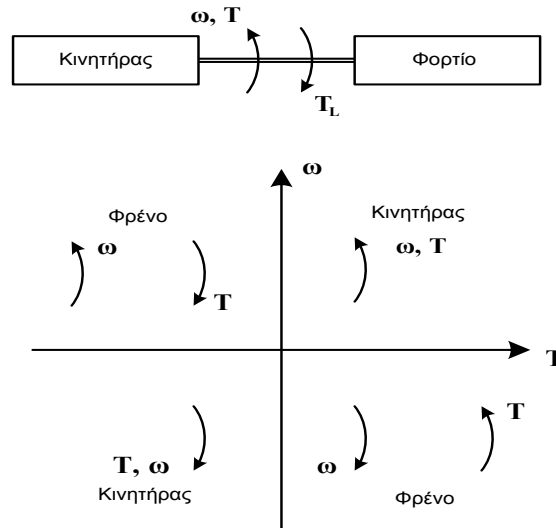
Ο έλεγχος ενός συστήματος κινήσεως είναι απαραίτητος όταν υπάρχουν συχνές μεταβολές των μεγεθών της ροπής και της ισχύος του φορτίου για να αποφεύγεται

η υπερφόρτιση του κινητήρα, η αστάθεια του συστήματος, η υπερθέρμανση και η υπερβολική κατανάλωση ενέργειας. Εξάλλου, η οικονομία στην κατανάλωση ενέργειας και η αύξηση του βαθμού αποδόσεως με τον έλεγχο, επιτρέπουν τη χρήση κινητήρων χαμηλότερης ονομαστικής ισχύος.

Αν δε σκεφτεί κανείς ότι τη σημερινή εποχή το 65% περίπου της ηλεκτρικής ενέργειας κάθε χώρας καταναλώνεται από τα συστήματα κινήσεως, αντιλαμβάνεται εύκολα την ευρύτητα και την κοινωνική και οικονομική σημασία της περιοχής αυτής.

Η προτίμηση των ηλεκτρικών συστημάτων κίνησης οφείλεται στα πλεονεκτήματά τους, σε σχέση με άλλα συστήματα κινήσεως (μηχανικά, υδραυλικά, κτλ.). Η επιλογή αυτή εξηγείται από τα εξής πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν τα συστήματα αυτά:

1. Συστήματα κινήσεως υπάρχουν για ευρεία περιοχή ισχύος: από ισχύ μικρότερη του 1W (ηλεκτρονικά ρολόγια) μέχρι ισχύ μεγαλύτερη των 100MW (αντλίες σε υδροηλεκτρικούς σταθμούς).
2. Τα συστήματα αυτά παρέχουν ευρεία περιοχή ταχυτήτων: από 0 μέχρι 100.000 ΣΑΛ (φυγόκεντρες) και ευρεία περιοχή ροπών από 0 μέχρι 1.000.000 Nm (για μύλους τσιμέντου).
3. Προσαρμόζονται σε διάφορες λειτουργικές καταστάσεις όπως: σε κλειστά, χωρίς αερισμό, σε υγρά, σε εκρηκτικά, σε ραδιενεργά περιβάλλοντα. Επίσης δεν χρειάζονται καύσιμα, δεν εκπέμπουν καυσαέρια και ο θόρυβος που δημιουργούν είναι χαμηλότερος από άλλα συστήματα.
4. Τα συστήματα κινήσεως μπορούν να φορτιστούν αμέσως, δεν χρειάζονται προθέρμανση, έχουν χαμηλές απώλειες, υψηλή απόδοση και έχουν τη δυνατότητα προσωρινής υπερφόρτισης χωρίς αρνητικές συνέπειες.
5. Τα συστήματα κινήσεως είναι ελεγχόμενα, οι χαρακτηριστικές μόνιμης κατάστασης μπορούν να αλλάξουν εάν χρειάζεται και έχουν καλή δυναμική επίδοση η οποία επιτυγχάνεται με ηλεκτρονικό έλεγχο. Επίσης, μπορούν να λειτουργήσουν στα τέσσερα τεταρτημόρια του επιπέδου ροπής-ταχύτητας. Όταν βρίσκονται στο δεύτερο ή στο τέταρτο τεταρτημόριο (φρενάρισμα) τροφοδοτούν με ηλεκτρική ισχύ το δίκτυο.



Εικόνα 2 Δυνατότητες λειτουργίας ενός συστήματος κινήσεως.

ω – γωνιακή ταχύτητα περιστροφής

T – ροπή κινήσεως

T_L – ροπή φορτίου

6. Κατασκευάζονται σε μεγάλη ποικιλία σχεδίων κατά εφαρμογή όπως γραμμικοί κινητήρες για οχήματα, βηματικοί κινητήρες, σερβοκινητήρες, κ.α.

Βέβαια, τα ηλεκτρικά συστήματα κινήσεως παρουσιάζουν και μειονεκτήματα, μερικά από τα οποία αναφέρονται στη συνέχεια:

1. Η εξάρτηση από την ηλεκτρική πηγή τροφοδότησης δημιουργεί δυσκολίες και κυρίως στα ηλεκτρικά οχήματα. Έτσι, μία πηγή ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να βρίσκεται πάντα μέσα στο όχημα.
2. Ο εμφανιζόμενος μαγνητικός κορεσμός καθώς και η ανάγκη ψύξης - φαινόμενα άμεσα συναρτημένα με τη λειτουργία τους - αποτελούν την κύρια αιτία χαμηλότερου λόγου ισχύος προς βάρος μηχανής σε σχέση με τα αντίστοιχα υδραυλικά συστήματα κινήσεως.

Ένα ελεγχόμενο ηλεκτρικό σύστημα κινήσεως αποτελείται από περισσότερες ηλεκτρικές μονάδες:

- έναν ηλεκτρικό κινητήρα
- ένα μετατροπέα ισχύος
- ένα μηχανικό φορτίο και
- μία μονάδα ελέγχου



Εικόνα 3 Ελεγχόμενο Ηλεκτρικό Σύστημα

- I. Ο ηλεκτρικός κινητήρας είναι η συσκευή η οποία επιτελεί την ηλεκτρομηχανική μετατροπή της ενέργειας. Οι μεταβλητές εισόδου των μοντέλων των κινητήρων που θα χρησιμοποιηθούν είναι ηλεκτρικές τάσεις και ρεύματα και οι μεταβλητές εξόδου είναι η μηχανική γωνιακή ταχύτητα, η μηχανική ροπή και η μηχανική ισχύς.
- II. Ο μετατροπέας ισχύος τροφοδοτεί τον κινητήρα. Ο ρόλος του είναι να μετατρέπει την τάση και συχνότητα του δικτύου σε τάση και συχνότητα, κατάλληλες για τον κινητήρα και για τη μέθοδο ρυθμίσεως. Εφαρμογές μετατροπών ισχύος αποτελούν ο ανορθωτής, ο μετατροπέας συχνότητας, ο ρυθμιστής τάσεως κ.α.
- III. Υπάρχουν πολλά είδη μηχανικών φορτίων τα οποία προσδιορίζονται κάθε φορά από την αντίστοιχη εφαρμογή.
- IV. Η μονάδα ελέγχου ρυθμίζει όλο το σύστημα. Συνδέεται με ειδικά στοιχεία μετρήσεων φυσικών μεγεθών, εισάγει τα δεδομένα από τις μετρήσεις αυτές στην κεντρική μονάδα επεξεργασίας, υλοποιεί διάφορες τεχνικές ελέγχου χρησιμοποιώντας ρυθμιστές και τέλος κατευθύνει το μετατροπέα ισχύος ώστε να παράγει στην έξοδο την επιθυμητή κυματομορφή τάσεως ελέγχοντας με τον τρόπο αυτό το σύστημα κινήσεως.

Η περιοχή των ελεγχόμενων συστημάτων κινήσεως περιλαμβάνει μαθηματικά μοντέλα, τεχνικές ρυθμίσεως και σχεδίαση ρυθμιστών για συστήματα κινήσεως τόσο συνεχούς όσο και εναλασσόμενου ρεύματος. Έτσι συγκεντρώνει γνώσεις από διάφορους επιστημονικούς τομείς όπως: μηχανική, ηλεκτρικές μηχανές, συστήματα αυτόματου ελέγχου, ψηφιακά συστήματα και υπολογιστές.

2. Θεωρητικό υπόβαθρο

2.1. Αυτοματισμός

Ο αυτοματισμός (ή αυτοματοποίηση) αφορά δύο έννοιες σχετιζόμενες μεταξύ τους. Αρχικά, σημαίνει την τυποποίηση μίας διαδικασίας μέσω της εύρεσης καλώς ορισμένων βημάτων τα οποία πρέπει να ακολουθηθούν για να παραχθεί κάποιο επιθυμητό αποτέλεσμα. Έτσι ο αυτοματισμός δεν είναι τίποτα άλλο παρά η εύρεση ενός αλγόριθμου για την επίλυση ενός προβλήματος, ή η κατασκευή ενός αυτόνομου μηχανισμού που εκτελεί αυτόν τον αλγόριθμο για κάποια είσοδο χωρίς ανθρώπινη παρέμβαση και χειροκίνητων μέσων.

Η έννοια του αυτοματισμού επαναπροσδιορίστηκε μέσα από τη μηχανολογία και την ηλεκτρολογία κατά τον 20ο αιώνα, ως ένα πεδίο της επιστήμης μηχανικού ασχολούμενο με τον έλεγχο διεργασιών και τη διατήρησή τους σε καθορισμένη κατάσταση (αυτόματος έλεγχος). Παραδείγματος χάριν ο αυτοματισμός στοχεύει στη διατήρηση σε σταθερά επίπεδα της θερμοκρασίας ενός θερμοστάτη, της πορείας ενός αεροπλάνου, της ταχύτητας ενός αυτοκινήτου κλπ.

Οι μηχανικοί σχεδίασης συστημάτων ελέγχου ασχολούνται με την κατανόηση και τον έλεγχο διαφόρων τμημάτων από το περιβάλλον τους, τα οποία συχνά επονομάζονται “συστήματα”, με σκοπό να παρέχουν χρήσιμα και οικονομικά προϊόντα στην κοινωνία.

Τα συστήματα αυτόματου ελέγχου χρησιμοποιούνται κατά βάση για (1) την αύξηση της παραγωγικότητας και (2) τη βελτίωση της απόδοσης μίας διάταξης ή ενός συστήματος. Επίσης, ο αυτοματισμός χρησιμοποιείται για την αύξηση της παραγωγικότητας καθώς επίσης και την εξασφάλιση προϊόντων υψηλής ποιότητας. Ως αυτοματισμός αναφέρεται γενικά η αυτόματη λειτουργία ή ο έλεγχος μιας οποιοδήποτε διεργασίας, διάταξης ή και συστήματος. Έτσι ο αυτόματος έλεγχος των μηχανών και των διαφόρων διεργασιών γενικότερα, χρησιμοποιείται με σκοπό να παρέχει ένα προϊόν εντός προκαθορισμένων ορίων ανοχής, εξασφαλίζοντας το υψηλότερο δυνατό επίπεδο ακριβείας.

Ο αυτοματισμός στηρίζεται εννοιολογικά στη θεωρία ελέγχου και στους μηχανισμούς ανάδρασης, γι’ αυτό και αποτέλεσε μία κύρια αφετηρία της κυβερνητικής. Σε αντίθεση με την τελευταία όμως, ο αυτοματισμός έχει έναν αυστηρά εφαρμοσμένο χαρακτήρα και στην πράξη αξιοποιεί ποικιλία

εξειδικευμένων προϊόντων ηλεκτρονικής και τεχνολογίας πληροφοριών (π.χ. μικροελεγκτές, συστήματα πραγματικού χρόνου, τεχνολογίες CAx). Η σημασία του αυτοματισμού είναι μεγάλη στη βιομηχανία, όπου μειώνει σημαντικά την ανάγκη για ανθρώπινη παρέμβαση (π.χ. σε τηλεμετρίες, αυτόματο έλεγχο γραμμών παραγωγής κλπ).

Εξειδικευμένοι υπολογιστές υψηλής αντοχής, οι προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές (PLC), χρησιμοποιούνται για να συγχρονίσουν τη ροή εισόδων από φυσικούς αισθητήρες με τη ροή εντολών προς συσκευές εξόδου (π.χ. βραχίονες). Η αναδραστική και ντετερμινιστική λειτουργία του συστήματος οδηγεί σε αυστηρά ελεγχόμενες διεργασίες, κατάλληλες για χρήση σε βιομηχανικές μονάδες.

Ο αυτοματισμός ερευνά τη συμπεριφορά δυναμικών συστημάτων μοντελοποιώντας τα με τα μεθοδολογικά και μαθηματικά εργαλεία της επεξεργασίας σήματος. Έτσι μεταχειρίζεται τα συστήματα ως μαύρα κουτιά με είσοδο και έξοδο. Ως είσοδος θεωρείται ένα σήμα, αναλογικό ή ψηφιακό, συλλεγόμενο από κάποιο σημείο του συστήματος. Τα ενδιάμεσα κουτιά αναπαριστούν τις διάφορες διαταράξεις που επηρεάζουν το σήμα, όπως τριβές στους ενεργοποιητές, αποτέλεσμα των στοιχείων του ελέγχου που παρεμβάλλονται, τους ελεγκτές.

Αυτά τα αποτελέσματα συνήθως αναπαριστάνονται με μαθηματικές συναρτήσεις, τις συναρτήσεις μεταφοράς. Μία συνάρτηση μεταφοράς προσδιορίζει ένα σύστημα και τον τρόπο που μεταβάλλει κάθε σήμα εισόδου. Η έξοδος του συστήματος ονομάζεται αναφορά και ανταποκρίνεται στην τιμή του σήματος κατόπιν ενεργοποίησης των προηγούμενων συναρτήσεων μεταφοράς σε αυτήν. Όταν μια ή περισσότερες μεταβλητές εξόδου ενός συστήματος πρέπει να ακολουθήσουν την τιμή κάποιας αναφοράς που μεταβάλλεται με τον χρόνο, χρειάζεται να προστεθεί ένας ελεγκτής που να χειρίζεται τις τιμές των σημάτων εισόδου έως ότου επιτευχθεί η επιθυμητή έξοδος.



Εικόνα 4 Αυτοματοποίηση μονάδας αφαλάτωσης

2.2. Αναπτυξιακές Πλακέτες

Οι αναπτυξιακές πλακέτες είναι τυπωμένα κυκλώματα που περιέχουν έναν μικροεπεξεργαστή και την ελάχιστη λογική υποστήριξη που απαιτείται έτσι ώστε να μπορεί ένας μηχανικός να εξοικειωθεί με το μικροεπεξεργαστή της πλακέτας και να τον προγραμματίσει. Εξυπηρετεί επίσης τους χρήστες του μικροεπεξεργαστή έτσι ώστε να δημιουργούν πρωτότυπες και καινοτόμες εφαρμογές σε προϊόντα.

Σε αντίθεση με ένα σύστημα γενικής χρήσης, όπως είναι ο οικιακός υπολογιστής, συνήθως μία πλακέτα ανάπτυξης περιέχει λίγο ή καθόλου υλικό αφιερωμένο σε μια διεπαφή χρήστη. Περιέχει κάποια πρόβλεψη για να αποδεχθεί και να εκτελέσει ένα πρόγραμμα που παρέχει ο χρήστης, είτε μέσω σειριακής θύρας USB, είτε προγραμματίζοντας μία κάποιας μορφής προγραμματιζόμενη μνήμη (ROM).

2.2.1. Μικροελεγκτές

Ο μικροελεγκτής (*microcontroller*) είναι ένας τύπος επεξεργαστή, ουσιαστικά μία παραλλαγή μικροεπεξεργαστή, ο οποίος μπορεί να λειτουργήσει με ελάχιστα εξωτερικά εξαρτήματα, λόγω των πολλών ενσωματωμένων υποσυστημάτων που διαθέτει. Χρησιμοποιείται ευρύτατα σε όλα τα ενσωματωμένα συστήματα (*embedded systems*) ελέγχου χαμηλού και μεσαίου κόστους, όπως αυτά που χρησιμοποιούνται σε αυτοματισμούς, ηλεκτρονικά καταναλωτικά προϊόντα (από ψηφιακές φωτογραφικές μηχανές έως παιχνίδια), ηλεκτρικές συσκευές και κάθε είδους αυτοκινούμενα τροχοφόρα οχήματα.



Εικόνα 5 μικροελεγκτής

2.2.1.1. Διαφορές από τον μικροεπεξεργαστή

Στους σύγχρονους μικροεπεξεργαστές για μη ενσωματωμένα συστήματα (π.χ. τους μικροεπεξεργαστές των προσωπικών υπολογιστών), δίνεται έμφαση στην υπολογιστική ισχύ. Η ευελιξία ανάπτυξης διαφορετικών εφαρμογών είναι μεγάλη, καθώς η λειτουργικότητα του τελικού συστήματος καθορίζεται από τα εξωτερικά περιφερειακά τα οποία διασυνδέονται με την κεντρική μονάδα (μικροεπεξεργαστή), η οποία δεν είναι εξειδικευμένη. Αντίθετα, στους μικροεπεξεργαστές για ενσωματωμένα συστήματα (μικροελεγκτές), οι οποίοι έχουν μικρότερες ή και μηδαμινές δυνατότητες συνεργασίας με εξωτερικά περιφερειακά, αυτού του είδους, η ευελιξία είναι περιορισμένη, καθώς και η υπολογιστική ισχύς. Οι

μικροελεγκτές δίνουν έμφαση στο μικρό αριθμό ολοκληρωμένων κυκλωμάτων που απαιτείται για τη λειτουργία μιας συσκευής, το χαμηλό κόστος και την εξειδίκευση.

Αναλυτικά, τα πλεονεκτήματα των μικροελεγκτών είναι:

- Αυτονομία, μέσω της ενσωμάτωσης σύνθετων περιφερειακών υποσυστημάτων όπως μνήμες και θύρες επικοινωνίας. Έτσι πολλοί μικροελεγκτές δεν χρειάζονται κανένα άλλο ολοκληρωμένο κύκλωμα για να λειτουργήσουν.
- Η ενσωμάτωση περιφερειακών σημαίνει ευκολότερη υλοποίηση εφαρμογών λόγω των απλούστερων διασυνδέσεων. Επίσης, οδηγεί σε χαμηλότερη κατανάλωση ισχύος, μεγιστοποιώντας τη φορητότητα, ελαχιστοποιώντας συγχρόνως το κόστος της συσκευής στην οποία ενσωματώνεται ο μικροελεγκτής.
- Χαμηλό κόστος.
- Μεγαλύτερη αξιοπιστία - και πάλι λόγω των λιγότερων διασυνδέσεων.
- Μειωμένες εκπομπές ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών και μειωμένη ευαισθησία σε αντίστοιχες παρεμβολές από άλλες ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συσκευές. Το πλεονέκτημα αυτό προκύπτει από το μικρότερο αριθμό και μήκος εξωτερικών διασυνδέσεων καθώς και τις χαμηλότερες ταχύτητες λειτουργίας.
- Περισσότεροι διαθέσιμοι ακροδέκτες για ψηφιακές εισόδους-εξόδους (για δεδομένο μέγεθος ολοκληρωμένου κυκλώματος), λόγω της μη δέσμευσής τους για τη σύνδεση εξωτερικών περιφερειακών.
- Μικρό μέγεθος συνολικού υπολογιστικού συστήματος.

Η βασική αρχιτεκτονική των μικροελεγκτών δε διαφέρει από αυτή των κοινών μικροεπεξεργαστών, αν και στους πρώτους απαντάται συχνά η αρχιτεκτονική μνήμης τύπου Harvard, η οποία χρησιμοποιεί διαφορετικές αρτηρίες σύνδεσης της μνήμης προγράμματος και της μνήμης δεδομένων (πχ τις σειρές AVR από την Atmel και PIC από την Microchip). Στους κοινούς μικροεπεξεργαστές συνηθίζεται η ενιαία διάταξη μνήμης τύπου φον Νόιμαν.

2.2.1.2. Συνήθη υποσυστήματα

Στον μικροεπεξεργαστή, το ολοκληρωμένο κύκλωμα που τον αποτελεί περιέχει μόνο τη *Λογική και Αριθμητική Μονάδα* (ALU), στοιχειώδεις καταχωρητές (registers), προσωρινή μνήμη RAM πολύ υψηλής ταχύτητας (cache memory) και, κάποιες φορές, ελεγκτή μνήμης (memory controller). Όμως, για τη λειτουργία ενός πλήρους ενσωματωμένου υπολογιστικού συστήματος, απαιτούνται πολλά εξωτερικά υποσυστήματα και περιφερειακά. Τέτοια είναι:

- Κύκλωμα συνδετικής λογικής (glue logic) για τη σύνδεση των εξωτερικών μνημών και άλλων περιφερειακών παράλληλης σύνδεσης στην αρτηρία δεδομένων (bus) του επεξεργαστή.
- Μνήμη προγράμματος (τύπου ROM, FLASH, EPROM κλπ) η οποία περιέχει το λογισμικό του συστήματος. Σε κάποια μοντέλα, είναι δυνατή η επίτευξη κλειδώματος αυτής της μνήμης, μετά την εγγραφή της, ώστε να προστατευτεί το περιεχόμενό της από αντιγραφή.
- Μεγάλο μέγεθος μνήμης RAM.
- Μόνιμη μνήμη αποθήκευσης παραμέτρων λειτουργίας (τύπου EEPROM ή NVRAM) η οποία να μπορεί να εγγράφεται στον πυρήνα του μικροελεγκτή. Αυτή η μνήμη έχει, έναντι της FLASH, το πλεονέκτημα της δυνατότητας διαγραφής και εγγραφής οποιουδήποτε μεμονωμένου byte.
- Κύκλωμα αρχικοποίησης (reset).
- Διαχειριστή αιτήσεων διακοπής (interrupt request controller) από τα περιφερειακά.
- Κύκλωμα επιτήρησης τροφοδοσίας (brown-out detection) το οποίο παρακολουθεί την τροφοδοσία και αρχικοποιεί ολόκληρο το σύστημα όταν αυτή πέσει κάτω από τα ανεκτά όρια, προλαμβάνοντας έτσι την αλλοίωση των δεδομένων.
- Κύκλωμα επιτήρησης λειτουργίας (watchdog timer) το οποίο αρχικοποιεί το σύστημα, αν αυτό εμφανίσει σημάδια δυσλειτουργίας λόγω κολλήματος (hang).
- Τοπικό ταλαντωτή για την παροχή παλμών χρονισμού (clock).
- Έναν ή περισσότερους χρονιστές-απαριθμητές υψηλής ταχύτητας (hardware timer-counter) για τη δημιουργία καθυστερήσεων, μέτρηση διάρκειας γεγονότων, απαρίθμηση γεγονότων και άλλων λειτουργιών ακριβούς χρονισμού.
- Ρολόι πραγματικού χρόνου (Real Time Clock, RTC) το οποίο τροφοδοτείται από ανεξάρτητη μπαταρία και γι αυτό πρέπει να έχει πολύ χαμηλή κατανάλωση ρεύματος.
- Σειρά ανεξάρτητων ψηφιακών εισόδων και εξόδων (Parallel Input-Output, PIO).

Γενικά, όλες οι οικογένειες μικροελεγκτών ενσωματώνουν τα περισσότερα από τα παραπάνω περιφερειακά, με διαφοροποιήσεις κυρίως στην ύπαρξη ή μη εσωτερικής μνήμης προγράμματος και στο είδος της. Έτσι, υπάρχουν:

- Μικροελεγκτές χωρίς μνήμη προγράμματος, οι οποίοι χαρακτηρίζονται ως *ROM-less*. Αυτοί παρέχουν πάντοτε μια παράλληλη αρτηρία (bus) δεδομένων, πάνω στην οποία συνδέονται εξωτερικές μνήμες προγράμματος και RAM. Τέτοιοι τύποι μικροελεγκτών προορίζονται για πιο ισχυρά υπολογιστικά συστήματα ελέγχου, με μεγαλύτερες απαιτήσεις μνήμης.

- Μικροελεγκτές με μνήμη ROM, η οποία κατασκευάζεται με το λογισμικό της (Mask ROM) ή γράφεται μόνο μια φορά (One Time Programmable, OTP). Παρέχουν τη δυνατότητα πολύ χαμηλού κόστους, όταν αγοράζονται σε πολύ μεγάλες ποσότητες.
- Μικροελεγκτές με μνήμη FLASH, οι οποία μπορεί συνήθως να προγραμματιστεί πολλές φορές. Αυτή είναι η πιο διαδεδομένη κατηγορία. Συχνά ο προγραμματισμός της μνήμης μπορεί να γίνει ακόμη και πάνω στο κύκλωμα της ίδιας της ενσωματωμένης (embedded) εφαρμογής (δυνατότητα In Circuit Programming, ISP). Αυτοί οι μικροελεγκτές έχουν ουσιαστικά αντικαταστήσει τους παλαιότερους τύπους EPROM που έσβηναν με υπεριώδη ακτινοβολία (από το ειδικό τζαμάκι).

Ανάλογα με την εφαρμογή για την οποία προορίζεται ένας μικροελεγκτής, μπορεί να περιέχει και:

- Μία ή περισσότερες ασύγχρονες σειριακές θύρες επικοινωνίας (Universal Asynchronous Receiver Transmitter, UART).
- Σύγχρονες σειριακές θύρες επικοινωνίας (πχ I²C, SPI, Ethernet).
- Ολόκληρα υποσυστήματα για την άμεση υποστήριξη από υλικολογισμικό (firmware) των πιο σύνθετων πρωτοκόλλων επικοινωνίας όπως CAN, HDLC, ISDN, ADSL.
- Μονάδα άμεσης εκτέλεσης πράξεων κινητής υποδιαστολής (Floating Point Processing Unit, FPU), η οποία είναι πάντοτε πιο γρήγορη από την ALU του επεξεργαστή. Τέτοιες μονάδες χαρακτηρίζουν τους μικροελεγκτές με δυνατότητες ψηφιακής επεξεργασίας σήματος (Digital Signal Processing, DSP). Τα τελευταία χρόνια, με την ευρύτατη διάδοση των φορητών συσκευών ήχου και εικόνας, παρατηρείται μια τάση σύγκλισης των μικροελεγκτών με τους DSP.^[4]
- Περισσότερες από μία εισόδους για μετατροπή αναλογικού σήματος σε ψηφιακό (Analog to Digital converter, ADC).
- Μετατροπέα ψηφιακού σε αναλογικό σήμα (Digital to Analog converter, DAC).
- Ελεγκτή οθόνης υγρών κρυστάλλων (Liquid Crystal Display, LCD).
- Υποσύστημα προγραμματισμού πάνω στο κύκλωμα (τύπου ISP, βλ. παραπάνω). Χάρη σε αυτό το κύκλωμα, είναι δυνατός ο επαναπρογραμματισμός (αναβάθμιση λογισμικού) της εφαρμογής, συνδέοντας στη συσκευή μια εξωτερική συσκευή προγραμματισμού (συνήθως σε θύρα UART RS-232) ή ακόμη και από το διαδίκτυο. Αυτή η δυνατότητα απαιτεί την προϋπαρξη λογισμικού υποδοχής (bootstrap) μέσα στη μνήμη προγράμματος και επομένως δεν μπορεί να γίνει σε τελείως άδεια μνήμη προγράμματος.

- Υποσύστημα προγραμματισμού (τύπου ISP) και διάγνωσης (συνήθως είναι το καθιερωμένο πρότυπο JTAG). Χάρη σε αυτό, είναι δυνατός ο προγραμματισμός της μνήμης προγράμματος χωρίς να προαπαιτείται κάποιο πρόγραμμα υποδοχής. Γι αυτό το λόγο, είναι ιδιαίτερα χρήσιμο στον αρχικό προγραμματισμό, π.χ. κατά τη συναρμολόγηση, ή σε περίπτωση σφάλματος (bug) στο λογισμικό υποδοχής το οποίο να καθιστά αδύνατη την κανονική αναβάθμιση.

2.2.1.3. Γλώσσες προγραμματισμού και εργαλεία ανάπτυξης

Η επιτυχία μιας οικογένειας μικροελεγκτών καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τη διαθεσιμότητα και την ευχρηστία των σχετικών εργαλείων ανάπτυξης, όπως μεταφραστές από γλώσσες υψηλού επιπέδου σε γλώσσα κατανοητή από τον μικροελεγκτή (assembly), προγραμματιστές της εσωτερικής μνήμης και εργαλεία εκσφαλμάτωσης (debuggers). Στους μικροελεγκτές, τα εργαλεία αυτά δεν αποτελούνται ποτέ μόνο από λογισμικό, καθώς δεν υπάρχει τυποποιημένος τρόπος επικοινωνίας με αυτούς. Στον τομέα των εργαλείων ανάπτυξης, δραστηριοποιούνται όχι μόνο οι ίδιοι οι κατασκευαστές μικροελεγκτών αλλά και εξειδικευμένες εταιρείες.

Η πιο διαδεδομένη γλώσσα προγραμματισμού των μικροελεγκτών είναι η C, η C++ και οι παραλλαγές τους. Σε τμήματα του λογισμικού όπου απαιτείται ταχύτητα ή μικρό μέγεθος χρησιμοποιούμενης μνήμης, μπορεί να χρησιμοποιείται η Assembly. Όμως οι μεγαλύτερες απαιτήσεις σε λειτουργικότητα και η ευκολία προγραμματισμού της C έναντι της assembly, σε συνδυασμό με την επάρκεια μνήμης των σύγχρονων μικροελεγκτών, έχουν γενικά εκτοπίσει την Assembly από τις περισσότερες εφαρμογές.

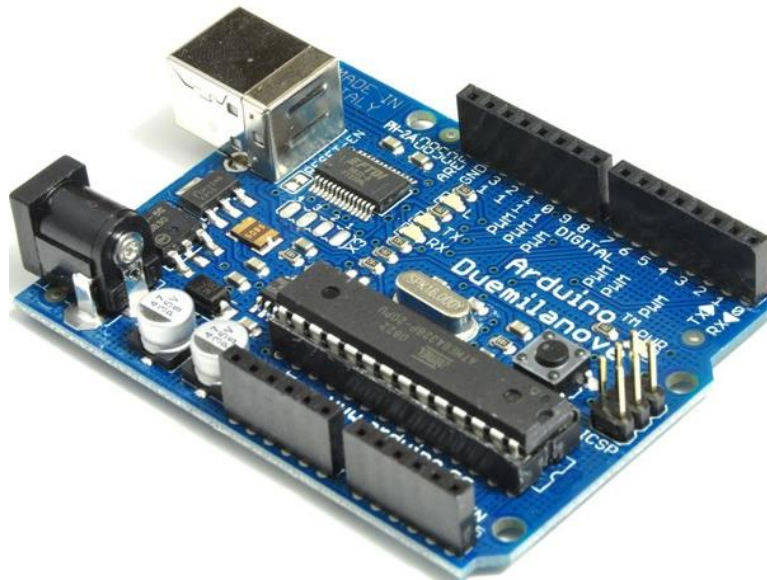
2.2.1.4. Κατασκευαστές

Μερικοί από τους γνωστότερους κατασκευαστές μικροελεγκτών είναι οι

- ARM (δεν κατασκευάζει αλλά παραχωρεί δικαιώματα χρήσης του πυρήνα)
- Atmel
- Epson
- Freescale Semiconductor (πρώην Motorola)
- Hitachi
- Maxim (μετά την εξαγορά της Dallas)
- Microchip
- NEC
- Toshiba
- Texas Instruments

2.2.2. Η Πλακέτα Arduino

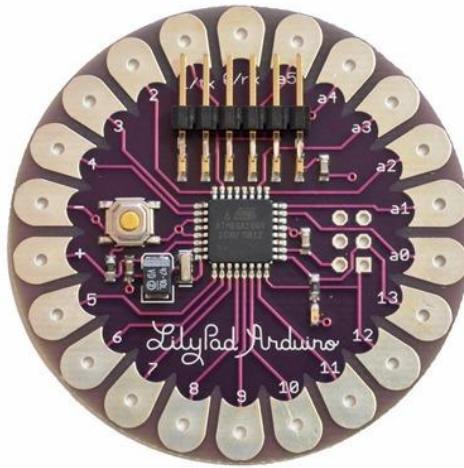
Όπως την περιγράφει ο δημιουργός της, η Arduino είναι μια «ανοικτού κώδικα» πλατφόρμα «πρωτοτυποποίησης» ηλεκτρονικών βασισμένη σε ευέλικτο και εύκολο στη χρήση hardware και software που απευθύνεται σεοποιονδήποτε έχει λίγη προγραμματιστική εμπειρία, στοιχειώδεις γνώσεις ηλεκτρονικών και ενδιαφέρεται να δημιουργήσει διαδραστικά αντικείμενα ή περιβάλλοντα.



Εικόνα 6 Πλακέτα Arduino

Στην ουσία, πρόκειται για ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα που βασίζεται στον μικροελεγκτή ATmega της Atmel και του οποίου όλα τα σχέδια, καθώς και το software που χρειάζεται για τη λειτουργία του, διανέμονται ελεύθερα και δωρεάν ώστε να μπορεί να κατασκευαστεί από τον καθένα (απ' όπου και ο περίεργος -για hardware- χαρακτηρισμός «ανοικτού κώδικα»). Αφού κατασκευαστεί, μπορεί να συμπεριφερθεί σαν ένας μικροσκοπικός υπολογιστής, αφού ο χρήστης μπορεί να συνδέσει επάνω του πολλαπλές μονάδες εισόδου/εξόδου και να προγραμματίσει τον μικροελεγκτή να δέχεται δεδομένα από τις μονάδες εισόδου, να τα επεξεργάζεται και να στέλνει κατάλληλες εντολές στις μονάδες εξόδου. Μάλιστα κάποιος θα μπορούσε να ισχυριστεί - και θα ήταν ένας αρκετά πετυχημένος παραλληλισμός - ότι λειτουργικά το Arduino μοιάζει πολύ με το NXT Brick των Lego Mindstorms NXT. Άλλωστε η ρομποτική είναι μια από τις πολλές εφαρμογές στις οποίες η πλακέτα Arduino διαπρέπει.

Η Arduino βέβαια, δεν αποτελεί ούτε τον μοναδικό, ούτε και τον καλύτερο δυνατό τρόπο για τη δημιουργία μιας οποιασδήποτε διαδραστικής ηλεκτρονικής συσκευής. Όμως το κύριο πλεονέκτημά της είναι η τεράστια κοινότητα που την υποστηρίζει και η οποία κοινότητα έχει δημιουργήσει, συντηρεί και επεκτείνει μια ανάλογου μεγέθους online γνωσιακή βάση.



Εικόνα 7 LilyPad Arduino

Υπάρχει μία πληθώρα από διαφορετικές εκδόσεις στις οποίες κυκλοφορεί, επίσης και ανεπίσημες. Από τις επίσημες εκδόσεις αναφέρονται οι εξής: Duemilanove, Diecimila, Nano, Mega, Bluetooth, LilyPad, Mini, Mini USB, Pro, Pro Mini, Serial και Serial SS από τις οποίες όμως συνιστάται κυρίως η αγορά της Arduino Duemilanove ή τουλάχιστον των Diecimila ή Mega επειδή διαθέτουν υποδοχή USB και είναι συμβατές με τα shield.

2.2.2.1. Μικροελεγκτής - η καρδιά της Arduino

Η Arduino βασίζεται στον ATmega328, έναν 8-bit RISC μικροελεγκτή, τον οποίο χρονίζει στα 16MHz. Ο ATmega328 διαθέτει ενσωματωμένη μνήμη τριών τύπων:

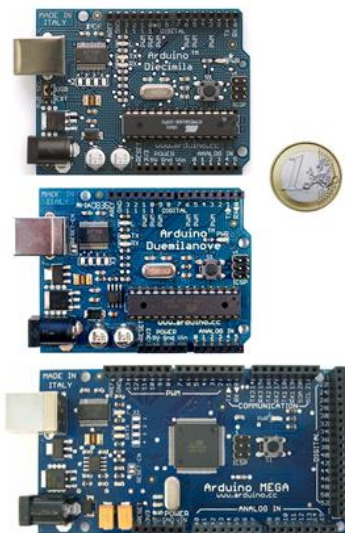
- 2Kb μνήμης SRAM που είναι η ωφέλιμη μνήμη την οποία έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσουν τα προγράμματα του χρήστη για να αποθηκεύουν μεταβλητές, πίνακες κ.λπ. κατά το runtime. Όπως και σε έναν υπολογιστή, αυτή η μνήμη χάνει τα δεδομένα της όταν η παροχή ρεύματος στην Arduino σταματήσει ή αν γίνει reset.
- 1Kb μνήμης EEPROM η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για «ωμή» εγγραφή/ανάγνωση δεδομένων (χωρίς datatype) ανά byte από τα προγράμματα του χρήστη κατά το runtime. Σε αντίθεση με την SRAM, η EEPROM δεν χάνει τα περιεχόμενά της με απώλεια τροφοδοσίας ή reset οπότε αποτελεί το ανάλογο του σκληρού δίσκου.
- 32Kb μνήμης Flash, από τα οποία τα 2Kb χρησιμοποιούνται από το firmware της Arduino που έχει εγκαταστήσει ήδη ο κατασκευαστής της. Το

firmware αυτό που στην ορολογία της Arduino ονομάζεται bootloader είναι αναγκαίο για την εγκατάσταση των δημιουργούμενων προγραμμάτων στον μικροελεγκτή μέσω της θύρας USB, χωρίς δηλαδή να χρειάζεται εξωτερικός hardware programmer. Τα υπόλοιπα 30Kb της μνήμης Flash χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση αυτών ακριβώς των προγραμμάτων, αφού πρώτα μεταγλωττιστούν στον υπολογιστή. Η μνήμη Flash, όπως και η EEPROM δε χάνει τα περιεχόμενά της με απώλεια τροφοδοσίας ή reset. Επίσης, ενώ η μνήμη Flash υπό κανονικές συνθήκες δεν προορίζεται για χρήση runtime μέσα από τα προγράμματά της, λόγω της μικρής συνολικής μνήμης που είναι διαθέσιμη σε αυτά (2Kb SRAM + 1Kb EEPROM), έχει σχεδιαστεί μια βιβλιοθήκη που επιτρέπει τη χρήση όσου χώρου περισσεύει (30Kb μείον το μέγεθος του κάθε προγράμματος σε μεταγλωττισμένη μορφή).

2.2.2.2. Διαφορές στις προτεινόμενες εκδόσεις της πλακέτας Arduino (ή για απλούστευση «του Arduino»)

Το Arduino Diecimila έχει ουσιαστικά δύο βασικές διαφορές με το Duemilanove:

- Βασίζεται στον μικροελεγκτή ATmega168, ο οποίος διαθέτει ακριβώς τη μισή μνήμη από τον ATmega328, δηλαδή 1Kb SRAM, 512bytes EEPROM και 16Kb Flash (14 ελεύθερα λόγω του bootloader).
- Δεν επιλέγει αυτόματα μεταξύ της εξωτερικής τροφοδοσίας και της τροφοδοσίας μέσω της θύρας USB. Το Diecimila διαθέτει ειδικό jumper με το οποίο μπορεί κανείς να επιλέξει χειροκίνητα την πηγή τροφοδοσίας.



Εικόνα 8 Εκδόσεις Arduino

Το Arduino Mega είναι η πιο εξελιγμένη έκδοση με τον μικροελεγκτή ATmega1280 και με αρκετά μεγαλύτερο μέγεθος. Οι διαφορές του από το Duemilanove είναι:

- Τετραπλάσια μνήμη (8Kb SRAM, 4Kb EEPROM, 128Kb Flash).
- 40 επιπλέον ψηφιακά pin εισόδου/εξόδου (σύνολο 54)

- 10 επιπλέον pin αναλογικής εισόδου (σύνολο 16)
- Υποστήριξη ψευδοαναλογικής εξόδου PWM σε 8 ακόμα ψηφιακά pin (σύνολο 14 PWM pin)
- Υποστήριξη εξωτερικού interrupt σε 4 ακόμα ψηφιακά pin (σύνολο 6 interrupt)
- 3 επιπλέον σειριακά interface (σύνολο 4) από τα οποία το ένα προωθείται στον ελεγκτή Serial-Over-USB όπως στο Duemilanove για σύνδεση με τον υπολογιστή.

Σημειώνεται ότι το Arduino Mega είναι συμβατό με τα περισσότερα shield που έχουν κυκλοφορήσει για το Arduino αλλά όχι με το Ethernet Shield, το οποίο είναι ένα αρκετά σημαντικό μειονέκτημα για όσους θέλουν να φτιάξουν εφαρμογές με πρόσβαση στο internet ή σε κάποιο άλλο δίκτυο.

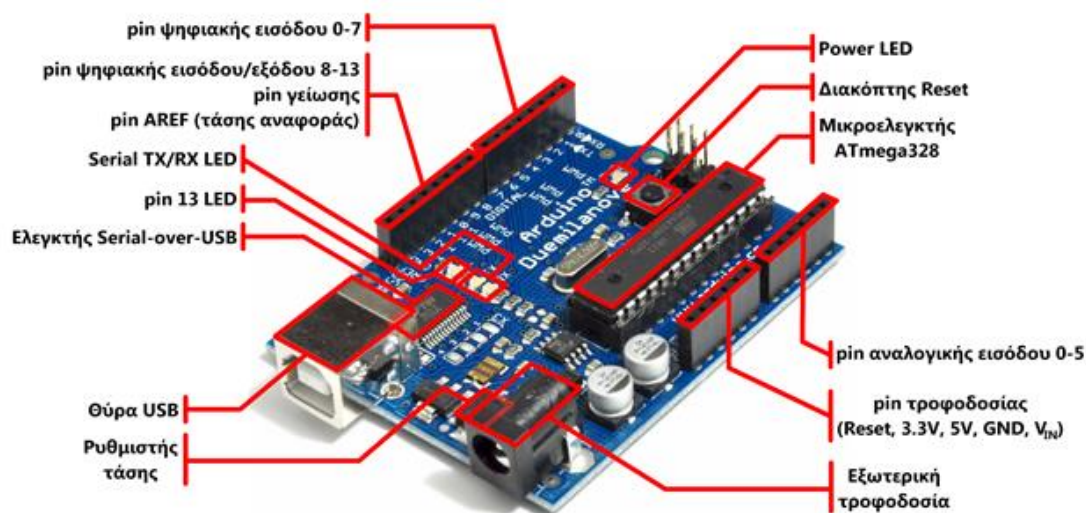
Από τις ανεπίσημες εκδόσεις, το Freeduino 1.16 και το Seeeduino βασίζονται στο Diecimila οπότε ισχύουν οι ίδιες διαφορές που έχει αυτό με το Duemilanove. Το Freeduino είναι ακριβής κλώνος του Diecimila, ενώ το Seeeduino είναι μια βελτιωμένη έκδοση του Diecimila με κύρια διαφορά την προσθήκη 2 επιπλέον pin αναλογικής εισόδου.

2.2.2.3. *Είσοδοι - Έξοδοι*

Καταρχήν το Arduino διαθέτει σειριακό interface. Ο μικροελεγκτής ATmega υποστηρίζει σειριακή επικοινωνία, την οποία το Arduino προωθεί μέσα από έναν ελεγκτή Serial-over-USB ώστε να συνδέεται με τον υπολογιστή μέσω USB. Η σύνδεση αυτή χρησιμοποιείται για τη μεταφορά των προγραμμάτων που σχεδιάζονται από τον υπολογιστή στο Arduino αλλά και για αμφίδρομη επικοινωνία του Arduino με τον υπολογιστή μέσα από το πρόγραμμα την ώρα που εκτελείται.

Επιπλέον, στην πάνω πλευρά του Arduino βρίσκονται 14 θηλυκά pin, αριθμημένα από 0 ως 13, που μπορούν να λειτουργήσουν ως ψηφιακές εισοδοι και έξοδοι. Λειτουργούν στα 5V και καθένα μπορεί να παρέχει ή να δεχτεί το πολύ 40mA. Ως ψηφιακή έξοδος, ένα από αυτά τα pin μπορεί να τεθεί από το πρόγραμμα του χρήστη σε κατάσταση HIGH ή LOW, οπότε το Arduino θα ξέρει αν πρέπει να διοχετεύσει ή όχι ρεύμα στο συγκεκριμένο pin. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί λόγω χάρη κανείς να ανάψει και να σβήσει ένα LED που έχει συνδέσει στο συγκεκριμένο pin. Αν πάλι ρυθμιστεί ένα από αυτά τα pin ως ψηφιακή είσοδος μέσα από το τρεχον πρόγραμμα, μπορεί με την κατάλληλη εντολή να διαβαστεί η κατάστασή του (HIGH ή LOW) ανάλογα με το αν η εξωτερική συσκευή που έχει συνδεθεί σε αυτό το

pin διοχετεύει ή όχι ρεύμα στο pin (με αυτόν τον τρόπο λόγω χάρη μπορεί να «διαβάζει» κανείς την κατάσταση ενός διακόπτη).



Μερικά από αυτά τα 14 pin, εκτός από ψηφιακές είσοδοι/έξοδοι διαθέτουν και δεύτερη λειτουργία. Συγκεκριμένα:

- Τα pin 0 και 1 λειτουργούν ως RX και TX της σειριακής όταν το τρέχον πρόγραμμα ενεργοποιεί την σειριακή θύρα. Έτσι, όταν λόγω χάρη το πρόγραμμα στέλνει δεδομένα στη σειριακή, αυτά προωθούνται και στην θύρα USB μέσω του ελεγκτή Serial-Over-USB αλλά και στο pin 0 για να τα διαβάσει ενδεχομένως μια άλλη συσκευή (π.χ. ένα δεύτερο Arduino στο δικό του pin 1). Αυτό φυσικά σημαίνει ότι αν στο πρόγραμμα ενεργοποιηθεί το σειριακό interface, χάνονται 2 ψηφιακές είσοδοι/έξοδοι.
- Τα pin 2 και 3 λειτουργούν και ως εξωτερικά interrupt (interrupt 0 και 1 αντίστοιχα). Με άλλα λόγια, μπορεί ο χρήστης να τα ρυθμίσει μέσα από το πρόγραμμά του ώστε να λειτουργούν αποκλειστικά ως ψηφιακές είσοδοι στις οποίες όταν συμβαίνουν συγκεκριμένες αλλαγές, η κανονική ροή του προγράμματος σταματάει *άμεσα* και εκτελείται μια συγκεκριμένη συνάρτηση. Τα εξωτερικά interrupt είναι ιδιαίτερα χρήσιμα σε εφαρμογές που απαιτούν συγχρονισμό μεγάλης ακρίβειας.
- Τα pin 3, 5, 6, 9, 10 και 11 μπορούν να λειτουργήσουν και ως ψευδοαναλογικές έξοδοι με το σύστημα PWM (Pulse Width Modulation), δηλαδή το ίδιο σύστημα που διαθέτουν οι μητρικές των υπολογιστών για

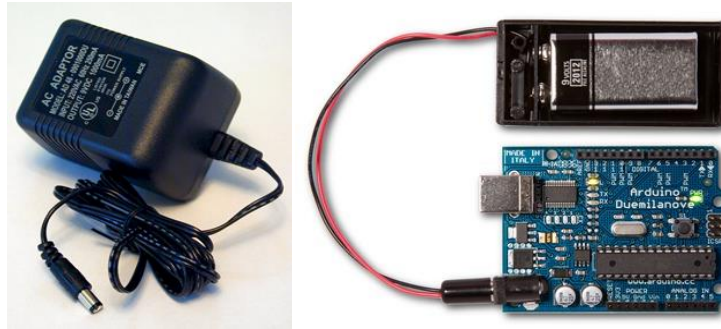
να ελέγχουν τις ταχύτητες των ανεμιστήρων. Έτσι, μπορεί να συνδεθεί λόγου χάρη ένα LED σε κάποιο από αυτά τα pin και να ελέγχεται πλήρως η φωτεινότητά του με ανάλυση 8bit (256 καταστάσεις από 0-σβηστό ως 255-πλήρως αναμμένο) αντί να υπάρχει απλά η δυνατότητα αναμμένο-σβηστό που παρέχουν οι υπόλοιπες ψηφιακές έξοδοι. Είναι σημαντικό να γίνει κατανοητό ότι το PWM δεν είναι πραγματικά αναλογικό σύστημα και ότι θέτοντας στην έξοδο την τιμή 127, δεν σημαίνει ότι η έξοδος θα δίνει 2.5V αντί της κανονικής τιμής των 5V, αλλά ότι θα δίνει έναν παλμό που θα εναλλάσσεται με μεγάλη συχνότητα και για ίσους χρόνους μεταξύ των τιμών 0 και 5V.

Στην κάτω πλευρά του Arduino, με τη σήμανση ANALOG IN, βρίσκεται μια ακόμη σειρά από 6 pin, αριθμημένα από το 0 ως το 5. Το καθένα από αυτά λειτουργεί ως αναλογική είσοδος κάνοντας χρήση του ADC (Analog to Digital Converter) που είναι ενσωματωμένο στον μικροελεγκτή. Για παράδειγμα, μπορεί να τροφοδοτηθεί ένα από αυτά με μια τάση η οποία μπορεί να κυμαίνεται με ένα ποτενσιόμετρο από 0V ως μια τάση αναφοράς V_{ref} η οποία, αν δεν γίνει κάποια αλλαγή είναι προρυθμισμένη στα 5V. Τότε, μέσα από το πρόγραμμά του κάθε χρήστης μπορεί να «διαβάσει» την τιμή του pin ως ένα ακέραιο αριθμό ανάλυσης 10-bit, από 0 (όταν η τάση στο pin είναι 0V) μέχρι 1023 (όταν η τάση στο pin είναι 5V). Η τάση αναφοράς μπορεί να ρυθμιστεί με μια εντολή στο 1.1V, ή σε όποια τάση είναι επιθυμητή (μεταξύ 2 και 5V) τροφοδοτώντας εξωτερικά με αυτή την τάση το pin με την σήμανση AREF που βρίσκεται στην απέναντι πλευρά της πλακέτας. Έτσι, αν τροφοδοτηθεί το pin AREF με 3.3V και στη συνέχεια δοκιμάσει κανείς να διαβάσει κάποιο pin αναλογικής εισόδου στο οποίο εφαρμόζεται τάση 1.65V, το Arduino θα του επιστρέψει την τιμή 512.

Τέλος, καθένα από τα 6 αυτά pin, με κατάλληλη εντολή μέσα από το πρόγραμμα, μπορεί να μετατραπεί σε ψηφιακό pin εισόδου/εξόδου όπως τα 14 που βρίσκονται στην απέναντι πλευρά και τα οποία περιγράφηκαν παραπάνω. Σε αυτή την περίπτωση τα pin μετονομάζονται από 0~5 σε 14~19 αντίστοιχα.

2.2.2.4. Τροφοδοσία

Το Arduino μπορεί να τροφοδοτηθεί με ρεύμα είτε από τον υπολογιστή μέσω της σύνδεσης USB, είτε από εξωτερική τροφοδοσία που παρέχεται μέσω μιας υποδοχής φικς των 2.1mm (θετικός πόλος στο κέντρο) και βρίσκεται στην κάτω-αριστερή γωνία του Arduino.



Εικόνα 10 Τρόποι Τροφοδοσίας του Arduino

Για να μην υπάρχουν προβλήματα, η εξωτερική τροφοδοσία πρέπει να είναι από 7 ως 12V και μπορεί να προέρχεται από ένα κοινό μετασχηματιστή του εμπορίου, από μπαταρίες ή οποιαδήποτε άλλη πηγή DC.

Δίπλα από τα pin αναλογικής εισόδου, υπάρχει μια ακόμα συστοιχία από 6 pin με την σήμανση POWER. Η λειτουργία του καθενός έχει ως εξής:

- Το πρώτο, με την ένδειξη RESET, όταν γειωθεί (σε οποιοδήποτε από τα 3 pin με την ένδειξη GND που υπάρχουν στο Arduino) έχει ως αποτέλεσμα την επανεκκίνηση του Arduino.
- Το δεύτερο, με την ένδειξη 3.3V, μπορεί να τροφοδοτήσει τα εξαρτήματά σας με τάση 3.3V. Η τάση αυτή δεν προέρχεται από την εξωτερική τροφοδοσία αλλά παράγεται από τον ελεγκτή Serial-over-USB και έτσι η μέγιστη ένταση που μπορεί να παρέχει είναι μόλις 50mA.
- Το τρίτο, με την ένδειξη 5V, μπορεί να τροφοδοτήσει τα διάφορα εξαρτήματα με τάση 5V. Ανάλογα με τον τρόπο τροφοδοσίας του ίδιου του Arduino, η τάση αυτή προέρχεται είτε άμεσα από την θύρα USB (που ούτως ή άλλως λειτουργεί στα 5V), είτε από την εξωτερική τροφοδοσία αφού αυτή περάσει από ένα ρυθμιστή τάσης για να την «φέρει» στα 5V.
- Το τέταρτο και το πέμπτο pin, με την ένδειξη GND, είναι φυσικά γειώσεις.
- Το έκτο και τελευταίο pin, με την ένδειξη Vin έχει διπλό ρόλο. Σε συνδυασμό με το pin γείωσης δίπλα του, μπορεί να λειτουργήσει ως μέθοδος εξωτερικής τροφοδοσίας του Arduino, στην περίπτωση που δεν

βολεύει να χρησιμοποιηθεί η υποδοχή του φιν των 2.1mm. Αν όμως υπάρχει ήδη συνδεδεμένη εξωτερική τροφοδοσία μέσω του φιν, μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτό το pin για να τροφοδοτήσει εξαρτήματα με την πλήρη τάση της εξωτερικής τροφοδοσίας (7~12V), πριν αυτή περάσει από τον ρυθμιστή τάσης όπως γίνεται με το pin των 5V.

2.2.2.5. Ενσωματωμένα κουμπιά και LED

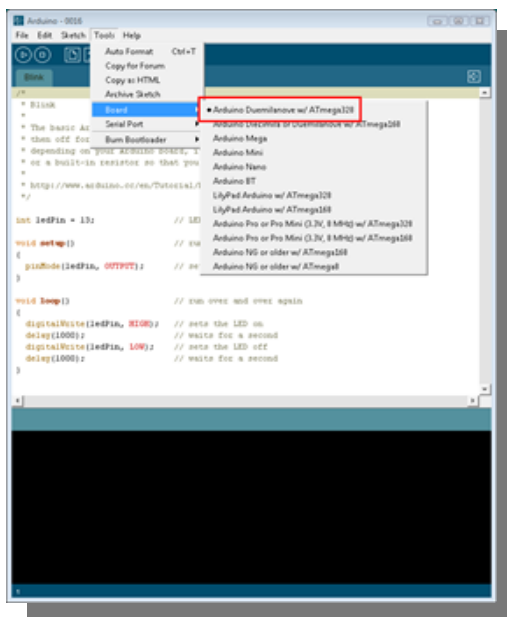
Πάνω στην πλακέτα του Arduino υπάρχει ένας διακόπτης micro-switch και 4 μικροσκοπικά LED επιφανειακής στήριξης. Η λειτουργία του διακόπτη (που έχει την σήμανση RESET) και του ενός LED με την σήμανση POWER είναι μάλλον προφανής.

Τα δύο LED με τις σημάνσεις TX και RX, χρησιμοποιούνται ως ένδειξη λειτουργίας του σειριακού interface, καθώς ανάβουν όταν το Arduino στέλνει ή λαμβάνει (αντίστοιχα) δεδομένα μέσω USB. Σημειώνεται ότι τα LED αυτά ελέγχονται από τον ελεγκτή Serial-over-USB και συνεπώς δε λειτουργούν όταν η σειριακή επικοινωνία γίνεται αποκλειστικά μέσω των ψηφιακών pin 0 και 1. Τέλος, υπάρχει το LED με την σήμανση L.

2.2.2.6. Arduino IDE και σύνδεση με τον υπολογιστή

Το Arduino IDE είναι βασισμένο σε Java και συγκεκριμένα παρέχει:

- ένα πρακτικό περιβάλλον για τη συγγραφή των προγραμμάτων (τα οποία ονομάζονται sketch στην ορολογία του Arduino) με συντακτική χρωματική σήμανση,
- αρκετά έτοιμα παραδείγματα,
- μερικές έτοιμες βιβλιοθήκες για επέκταση της γλώσσας και για να μπορεί ο χρήστης να χειρίζεται εύκολα μέσα από τον κώδικά του τα εξαρτήματα που συνδέει στο



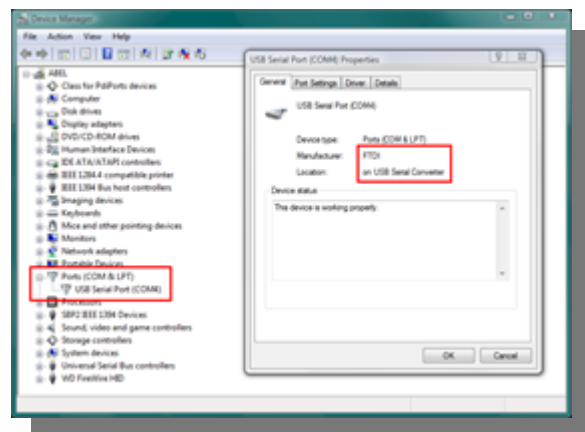
Εικόνα 11 Arduino IDE

Arduino,

- τον compiler για τη μεταγλώττιση των sketch,
- ένα serial monitor που παρακολουθεί τις επικοινωνίες της θύρας USB, αναλαμβάνει να στείλει αλφαριθμητικά στοιχεία της επιλογής του χρήστη στο Arduino και είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για το debugging των sketch του,
- την επιλογή να ανεβάσει κανείς το μεταγλωττισμένο sketch στο Arduino.

Για τα δύο τελευταία χαρακτηριστικά βέβαια, το Arduino πρέπει να έχει συνδεθεί σε μια από τις θύρες USB του υπολογιστή και, λόγω του ελεγκτή Serial-over-USB, θα πρέπει να αναγνωριστεί από το εκάστοτε λειτουργικό σύστημα ως εικονική σειριακή θύρα.

Για τη σύνδεση είναι απαραίτητο ένα καλώδιο USB από Type A σε Type B, όπως αυτό των εκτυπωτών. Για την αναγνώριση από το λειτουργικό θα πρέπει να έχει εγκατασταθεί ο οδηγός του FTDI chip (δηλαδή του ελεγκτή Serial-over-USB) ο οποίος υπάρχει στο φάκελο drivers του Arduino IDE και ο οποίος έχει κατεβαστεί από την επίσημη ιστοσελίδα του Arduino.



Εικόνα 12 Σύνδεση με τον υπολογιστή

Αν όλα έχουν γίνει σωστά, το κεντρικό παράθυρο του Arduino IDE θα εμφανιστεί όταν εκτελεστεί και στο μενού Tools → Serial Port θα πρέπει να εμφανίζεται η εικονική σειριακή θύρα (συνήθως COM# για τα Windows, /dev/ttyusbserial## για το MacOS και /dev/ttyusb## για το Linux). Επιλέγεται αυτή η εικονική θύρα και στη συνέχεια γίνεται επιλογή του τύπου του χρησιμοποιούμενου Arduino (π.χ. Arduino Duemilanove w/ ATmega328) από το μενού Tools → Board. Το Arduino είναι πλέον έτοιμο να δεχτεί τα sketch μας.

2.2.2.7. Γλώσσα προγραμματισμού

Η γλώσσα του Arduino βασίζεται στη γλώσσα Wiring, μια παραλλαγή C/C++ για μικροελεγκτές αρχιτεκτονικής AVR όπως ο ATmega, και υποστηρίζει όλες τις βασικές δομές της C καθώς και μερικά χαρακτηριστικά της C++. Για compiler χρησιμοποιείται ο AVR gcc και ως βασική βιβλιοθήκη C χρησιμοποιείται η AVR libc. Εξ αιτίας της καταγωγής της από τη C – και ως εκ τούτου της συνάφειάς της με αυτή

- στη γλώσσα του Arduino μπορεί κανείς να χρησιμοποιήσει ουσιαστικά τις ίδιες βασικές εντολές και συναρτήσεις, με την ίδια σύνταξη, τους ίδιους τύπους δεδομένων και τους ίδιους τελεστές με αυτούς της C. Πέρα από αυτές όμως, υπάρχουν κάποιες ειδικές εντολές, συναρτήσεις και σταθερές που βοηθούν στη διαχείριση του ειδικού hardware του Arduino. Οι πιο σημαντικές από αυτές επεξηγούνται στο πίνακα που ακολουθεί:

Όρισμα	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	-	(<i>pin, mode</i>)	Καθορίζει αν το συγκεκριμένο ψηφιακό <i>pin</i> θα είναι <i>pin</i> εισόδου ή <i>pin</i> εξόδου ανάλογα με την τιμή που δίνεται στην παράμετρο <i>mode</i> (INPUT ή OUTPUT αντίστοιχα).
digitalWrite	Εντολή	-	(<i>pin, pinstatus</i>)	Θέτει την κατάσταση <i>pinstatus</i> (HIGH ή LOW) στο συγκεκριμένο ψηφιακό <i>pin</i> .
digitalRead	Συνάρτηση	Int	(<i>pin</i>)	Επιστρέφει την κατάσταση του συγκεκριμένου ψηφιακού <i>pin</i> (0 για LOW και 1 για HIGH) εφόσον αυτό είναι <i>pin</i> εισόδου.
analogReference	Εντολή	-	(<i>type</i>)	Δέχεται τις τιμές DEFAULT, INTERNAL ή EXTERNAL στην παράμετρο <i>type</i> για να

				καθορίσει την τάση αναφοράς (V_{ref}) 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 έως 1023, ανάλογα με την τάση που τροφοδοτείται το συγκεκριμένο pin αναλογικής εισόδου στην κλίμακα 0 ως V_{ref} .
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. Πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι λόγω του τύπου μεταβλητής (unsigned long δηλ. 32bit) θα γίνει overflow σε 2^{32} ms δηλαδή περίπου σε 50 μέρες, οπότε ο μετρητής 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}). Σημειώνεται ότι παρά την προσωρινή παύση, συναρτήσεις των οποίων η εκτέλεση ενεργοποιείται από interrupt θα εκτελεστούν κανονικά κατά τη διάρκεια μιας delay.

attachInterrupt	Εντολή	-	(interrupt,function,triggermode)	Θέτει σε λειτουργία το συγκεκριμένο <i>interrupt</i> , ώστε να ενεργοποιεί την συνάρτηση <i>function</i> , κάθε φορά που ικανοποιείται η συνθήκη που ορίζεται από την παράμετρο <i>triggermode</i> :
				• 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 <i>interrupt</i> .
noInterrupts	Εντολή	-	()	Σταματά προσωρινά την λειτουργία όλων των interrupt
Interrupts	Εντολή	-	()	Επαναφέρει την λειτουργία των interrupt

				που διακόπηκε προσωρινά από μια εντολή <code>noInterrupts</code> .
<code>Serial.begin</code>	Μέθοδος κλάσης	-	<code>(datarate)</code>	Θέτει τον ρυθμό μεταφοράς δεδομένων του σειριακού interface (σε baud)
<code>Serial.println</code>	Μέθοδος κλάσης	-	<code>(data)</code>	Διοχετεύει τα δεδομένα <i>data</i> για αποστολή μέσω του σειριακού interface. Η παράμετρος <i>data</i> μπορεί να είναι είτε αριθμός είτε αλφαριθμητικό.

Επιπλέον, στη γλώσσα του Arduino κάθε πρόγραμμα αποτελείται από δύο βασικές ρουτίνες ώστε να έχει την γενική δομή:

// Ενσωματώσεις βιβλιοθηκών, δηλώσεις μεταβλητών...

```
void setup()
{
  // ...
}
```

```
void loop()
{
  // ...
}
```

// Υπόλοιπες συναρτήσεις...

Η βασική ρουτίνα `setup()` εκτελείται μια φορά μόνο κατά την εκκίνηση του προγράμματος ενώ η βασική ρουτίνα `loop()` περιέχει τον βασικό κορμό του προγράμματος και η εκτέλεσή της επαναλαμβάνεται συνέχεια σαν ένας βρόγχος `while(true)`.

Αν και πρόκειται μόνο για τις πιο βασικές λειτουργίες της γλώσσας του Arduino, με αυτές και με λίγες βασικές γνώσεις C μπορεί κανείς να δημιουργήσει το sketch ακόμα και για κάποιο αρκετά περίπλοκο project.

2.3. Αισθητήρες

2.3.1. Τι είναι αισθητήρες

Με τον όρο αισθητήρες περιγράφονται όλες εκείνες οι συσκευές που μετρούν μια φυσική ποσότητα και τη μετατρέπουν σε ηλεκτρικό -συνήθως- σήμα. Στη

βιβλιογραφία εμφανίζονται πολλοί τρόποι κατηγοριοποίησης των αισθητήρων, τρεις από τους οποίους αναφέρονται στη συνέχεια. Ο πρώτος αφορά το τι μπορεί να μετρήσει ένας αισθητήρας με πιο σημαντική διάκριση αυτή μεταξύ των φυσικών και χημικών αισθητήρων. Οι φυσικοί αισθητήρες ελέγχουν φυσικά μεγέθη όπως θέση, μάζα, ρεύμα, χρόνο και σχετικά τους μεγέθη ενώ οι χημικοί ελέγχουν την παρουσία διαφορετικών αερίων σε συγκεκριμένη ατμόσφαιρα. Ο δεύτερος τρόπος σχετίζεται με τα υλικά στις φυσικές ιδιότητες των οποίων βασίζεται η λειτουργία του αισθητήρα, με κύριες κατηγορίες τους αισθητήρες με αγωγή, ημιαγωγή, διηλεκτρικά, μαγνητικά και υπεραγωγή υλικά. Τέλος ο τρίτος τρόπος κατηγοριοποίησης αναφέρεται στη χρήση του αισθητήρα, με σημαντικότερες κατηγορίες τους βιομηχανικούς, ιατρικούς, στρατιωτικούς, περιβαλλοντικούς αισθητήρες καθώς και τους αισθητήρες μεταφοράς και αυτοματισμού.

2.3.2. Χαρακτηριστικά των αισθητήρων

Αυτές οι διατάξεις που περιγράφηκαν αποτελούν τις πιο ευρέως διαδεδομένες συσκευές που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση της μετατόπισης. Το φαινόμενο στο οποίο βασίζεται η λειτουργία κάθε αισθητήρα καθορίζει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα που εμφανίζει αυτός απέναντι στις υπόλοιπες αισθητήριες διατάξεις. Για την επιλογή του κατάλληλου οργάνου για μια συγκεκριμένη εφαρμογή, σημασία έχει η γνώση των χαρακτηριστικών του αισθητήρα τα οποία αποτυπώνουν την απόδοση και τη συμπεριφορά του κατά τη διάρκεια των μετρήσεων. Τα σημαντικότερα από αυτά τα χαρακτηριστικά για τα γεωτεχνικά όργανα περιγράφονται στη συνέχεια.

- **Συμβατότητα**

Η συμβατότητα είναι ένα μέγεθος που περιγράφει κατά πόσον η εγκατάσταση του οργάνου θα επηρεάσει την τιμή της παραμέτρου που πρόκειται να μετρήσει. Ιδανικό από άποψη συμβατότητας θεωρείται ένα όργανο που δεν την επηρεάζει καθόλου.

- **Εύρος λειτουργίας**

Το εύρος λειτουργίας ενός αισθητήρα ορίζεται από τα όρια, εντός των οποίων μπορεί να λειτουργεί αξιόπιστα. Συνήθως, εκφράζεται με την ελάχιστη και τη μέγιστη τιμή που μπορεί να μετρήσει. Επιπλέον, ως εύρος λειτουργίας αναφέρεται το θερμοκρασιακό εύρος, το εύρος τιμών πίεσης ή το εύρος τιμών υγρασίας, υπονοώντας την περιοχή τιμών θερμοκρασίας, πίεσης ή υγρασίας αντίστοιχα, στην οποία είναι δυνατή η χρήση του αισθητήρα.

- **Αβεβαιότητα**
- **Ακρίβεια**

Η ακρίβεια ενός αισθητήρα καθορίζεται από το μέγιστο σφάλμα που μπορεί να περιέχεται στην ένδειξή του. Στην πράξη όλες οι συσκευές παράγουν σφάλμα στις μετρήσεις τους και το ζητούμενο είναι αυτό το σφάλμα να είναι το μικρότερο δυνατό. Η ακρίβεια δίνεται συνήθως ως ποσοστό του εύρους λειτουργίας του αισθητήρα.

- **Επαναληψιμότητα**

Επαναληψιμότητα ονομάζεται ο βαθμός στον οποίο μια συσκευή παρέχει το ίδιο αποτέλεσμα τροφοδοτούμενη με την ίδια είσοδο σε διαφορετικές χρονικές στιγμές.

- **Διακριτότητα**

Η διακριτότητα ή διακριτική ικανότητα ενός αισθητήρα καθορίζεται από το μικρότερο διάστημα που μπορεί να μετρηθεί από αυτόν. Όσο μεγαλύτερη διακριτότητα διαθέτει μία αισθητήρια διάταξη, τόσο μικρότερο βήμα μετράει.

- **Ευαισθησία**

Η ευαισθησία ενός οργάνου είναι η ελάχιστη μεταβολή της εισόδου του που είναι σε θέση να δώσει μεταβολή στην έξοδό του.

- **Υστέρηση**

Η υστέρηση προκαλεί διαφορές στην έξοδο ενός αισθητήρα όταν η κατεύθυνση μεταβολής της εισόδου αντιστραφεί. Έτσι, προκύπτει σφάλμα και επηρεάζεται η ακρίβεια της συσκευής.

- **Θόρυβος**

Θόρυβος δημιουργείται κατά τη διάρκεια μιας μέτρησης από εξωτερικούς παράγοντες, όπως γεινίαση με πηγές τάσης υψηλής συχνότητας, πηγές εκπομπής ήχου κ.α. Η βάση λειτουργίας κάθε αισθητήρα καθορίζει κατά πόσον επηρεάζεται η ακρίβειά του και η διακριτότητά του λόγω θορύβου.

- **Διαστάσεις**

Οι διαστάσεις ενός αισθητήρα αναφέρονται στο μέγεθός του.

- **Γραμμικότητα**

Γραμμικότητα ονομάζεται ο βαθμός στον οποίο η γραφική παράσταση της εξόδου ως προς την είσοδο του αισθητήρα προσεγγίζει μια ευθεία γραμμή. Ένας

αισθητήρας μπορεί να είναι γραμμικός για μια περιοχή τιμών. Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται δεν μπορούν συνήθως να συνδυάσουν όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά σε ικανοποιητικά επίπεδα για το χρήστη. Για παράδειγμα, ένας αισθητήρας μπορεί να διαθέτει μεγάλη ακρίβεια και ευαισθησία, αλλά να έχει υψηλό κόστος.

2.3.3. Είδη αισθητήρων

Ορισμένα από τα είδη αισθητήρων που χρησιμοποιούνται ευρέως παραθέτονται παρακάτω:

- Επαφής
- Υπερύθρων
- Υπερήχων
- Φωτός - Χρωμάτων
- Θερμοκρασίας
- Ήχου (μικρόφωνα)
- Άλλοι αισθητήρες: πίεσης, επιταχυνσιόμετρα, γυροσκόπια, πυξίδες κτλ.

2.3.4. Είδη μονάδων εξόδου

Η χρήση αισθητήρων παρέχει ένα σύνολο πληροφοριών το οποίο παριστάνεται ανάλογα με την εκάστοτε εφαρμογή σε ειδικές μονάδες εξόδου, μερικές από τις οποίες είναι οι εξής:

- Φωτεινές λυχνίες - οθόνες
- Βομβητές
- Μεγάφωνα

2.4. Ηλεκτρονόμος, Ρελέ (Relay)

2.4.1. Ορισμός

Ο ηλεκτρονόμος, ρελέ (*relay*) ή ρελές είναι ένας ηλεκτρικός διακόπτης που ανοίγει και κλείνει ένα ηλεκτρικό κύκλωμα κάτω από τον έλεγχο ενός άλλου ηλεκτρικού κυκλώματος. Στην αρχική μορφή του, ένας



Εικόνα 13 ρελέ 12V

ηλεκτρομαγνήτης ενεργοποιούσε το διακόπτη, με το άνοιγμα ή κλείσιμο μιας ή περισσότερων επαφών. Εφευρέθηκε από τον Τζόζεφ Χένρυ το 1835. Επειδή ένας ηλεκτρονόμος είναι ικανός να ελέγχει ένα κύκλωμα εξόδου υψηλότερης ισχύος από το κύκλωμα εισόδου, μπορεί να θεωρηθεί, γενικά, μια μορφή ηλεκτρικού ενισχυτή.

Κάθε επαφή ενός ηλεκτρονόμου μπορεί να είναι, ανάλογα με τον τύπο της, *Κανονικά-Ανοικτή* (*Normally Open, NO*), *Κανονικά-Κλειστή* (*Normally Closed, NC*) ή *Μεταγωγική* (*change-over*).

- Μια επαφή **Κανονικά-Ανοικτή** συνδέει το κύκλωμα όταν ο ηλεκτρονόμος ενεργοποιείται. Το κύκλωμα αποσυνδέεται όταν ο ηλεκτρονόμος είναι ανενεργός. Μια τέτοια επαφή καλείται επίσης *Επαφή Μορφής Α* ή επαφή "*make*". Η επαφή μορφής Α είναι ιδανική για εφαρμογές που απαιτούν την ενεργοποίηση μιας πηγής υψηλής τάσης από απόσταση.
- Μια επαφή **Κανονικά-Κλειστή** αποσυνδέει το κύκλωμα όταν ο ηλεκτρονόμος ενεργοποιείται. Το κύκλωμα συνδέεται όταν ο ηλεκτρονόμος είναι ανενεργός. Μια τέτοια επαφή καλείται επίσης *Επαφή Μορφής Β* ή επαφή "*break*". Η επαφή μορφής Β είναι ιδανική για εφαρμογές που απαιτούν το κύκλωμα να παραμένει κλειστό (ενεργό) μέχρι ο ηλεκτρονόμος να ενεργοποιηθεί.
- Μια επαφή **Μεταγωγική** μπορεί να ελέγχει δύο κυκλώματα. Ισοδυναμεί με μια επαφή κανονικά-ανοικτή και μια επαφή κανονικά-κλειστή που έχουν ένα κοινό ακροδέκτη. Μια τέτοια επαφή καλείται επίσης *Επαφή Μορφής C*.

Συνήθως ένας ηλεκτρονόμος αποτελείται από περισσότερες από μία ελεγχόμενες επαφές. Οι επαφές χωρίζονται σε κύριες και βοηθητικές. Οι κύριες διαρρέονται συχνά από ισχυρότερα ρεύματα και έτσι είναι αυτές που διακόπτουν το κύριο κυκλώμα και συνήθως είναι **Κανονικά-Ανοικτές**. Οι βοηθητικές έχουν όπως υποδεικνύει και το όνομά τους, επικουρικό χαρακτήρα και ο ρόλος τους είναι να βοηθούν στον έλεγχο των αυτοματισμών (που είναι ο κύριος τομέας χρήσης των ηλεκτρονόμων). Για παράδειγμα βοηθούν στην ενεργοποίηση/απενεργοποίηση βοηθητικών κυκλωμάτων όπως είναι οι ενδεικτικές λυχνίες.

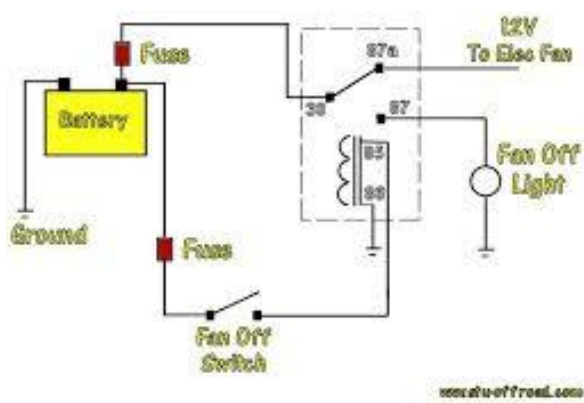
2.4.2. Λειτουργία

Όταν ηλεκτρικό ρεύμα διαρρέει το πηνίο του ηλεκτρονόμου, το παραγόμενο μαγνητικό πεδίο έλκει έναν οπλισμό που είναι μηχανικά συνδεδεμένος σε μια κινούμενη επαφή. Έτσι, η κινούμενη επαφή είτε συνδέεται με μια σταθερή επαφή είτε αποσυνδέεται από τη σταθερή επαφή. Μόλις το ηλεκτρικό ρεύμα στο πηνίο διακοπεί, ο οπλισμός επιστέφει στη θέση ηρεμίας του εξαιτίας μιας δύναμης επαναφοράς, που είναι ίση με το ήμισυ της μαγνητικής. Η δύναμη επαναφοράς παρέχεται συνήθως από ένα ελατήριο, αλλά και η βαρύτητα χρησιμοποιείται συχνά σε βιομηχανικούς εκκινητές μηχανών. Η μεταβολή της μαγνητικής ροής στο πηνίο

γεννά ένα ηλεκτρικό ρεύμα, το λεγόμενο "επαγωγικό", που έχει αντίθετη φορά από εκείνο που παρέχεται στο πηνίο. Για τη λειτουργία του πηνίου και τη μετακίνηση των επαφών απαιτείται σχετικά μεγάλη ένταση ηλεκτρικού ρεύματος, αλλά - μόλις ο οπλισμός κλείσει - το ηλεκτρικό ρεύμα που απαιτείται για να κρατήσει τον οπλισμό κλειστό είναι ένα μικρό κλάσμα του αρχικού, τυπικά το $\frac{1}{10}$. Οι ηλεκτρονόμοι κατασκευάζονται για να λειτουργούν γρήγορα. Σε μια εφαρμογή χαμηλής τάσης, αυτό γίνεται για τη μείωση του θορύβου. Σε μια εφαρμογή υψηλής τάσης ή υψηλής έντασης ρεύματος, αυτό γίνεται για τη μείωση των σπινθηρισμών (ηλεκτρικών εκφορτίσεων μορφής τόξου).

Εάν το πηνίο διεγείρεται με συνεχές (DC) ρεύμα, ανεξάρτητα από το ηλεκτρικό ρεύμα που ρέει διαμέσου των επαφών, μια δίοδος μπαίνει συνήθως παράλληλα με το πηνίο. Όταν το πηνίο διεγείρεται, αποκαθίσταται ένα μαγνητικό πεδίο. Όταν το πηνίο αποδιεγείρεται, το καταρρέον μαγνητικό πεδίο δημιουργεί μια αιχμή ηλεκτρικού ρεύματος που θα μπορούσε να βλάψει το υπόλοιπο κύκλωμα. Αν το πηνίο διεγείρεται με εναλλασσόμενο (AC) ρεύμα, ένα μικρό χάλκινο δαχτυλίδι πτυχώνεται στο άκρο του σωληνοειδούς πηνίου. Το εναλλασσόμενο ρεύμα μηδενίζεται 100 φορές το δευτερόλεπτο. Σε κάθε χρονική στιγμή μηδενισμού, δεν υπάρχει καμιά μαγνητική δύναμη που να συγκρατεί τις επαφές κλειστές. Το μικρό χάλκινο δαχτυλίδι παρέχει ένα μικρό ρεύμα εκτός φάσεως που καλείται *shadow role* (σκιώδης πόλος). Το άθροισμα του εναλλασσόμενου ρεύματος και του *shadow role* εξασφαλίζει τη συγκράτηση του οπλισμού στη θέση εμπλοκής σε όλες τις χρονικές στιγμές.

Σε αναλογία με τις λειτουργίες της πρωτότυπης ηλεκτρομαγνητικής συσκευής, ένας ηλεκτρονόμος στερεάς κατάστασης κατασκευάζεται με ένα θυρίστορ ή άλλη συσκευή διακοπής στερεάς κατάστασης. Για να επιτευχθεί ηλεκτρική απομόνωση, χρησιμοποιείται μια δίοδος φωτοεκπομπής LED με ένα φωτοτρανζίστορ.



Εικόνα 14 Κυκλωμα λειτουργίας ρελέ

2.5. Αντλίες

Η αντλία είναι ένα είδος μηχανής που χρησιμοποιείται για τη μετακίνηση υγρών. Οι αντλίες γενικά επιτυγχάνουν κίνηση του υγρού μέσω μηχανικής δράσης. Συνήθως οι αντλίες χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά ποσότητας υγρού από μία υψομετρική στάθμη σε άλλη που βρίσκεται υψηλότερα ή από ένα χώρο χαμηλής πίεσεως σε άλλο υψηλής πίεσεως. Υπάρχουν όμως περιπτώσεις όπου οι αντλίες χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά υγρών από υψηλότερη στάθμη σε χαμηλότερη, όταν ο σωλήνας μεταφοράς είναι μεγάλου μήκους ή όταν η υδραυλική αντίσταση μέσα στο σωλήνα είναι πολύ μεγάλη. Οι αντλίες τοποθετούνται πάντοτε μεταξύ των σημείων παραλαβής και αποστολής του υγρού και η μεταφορά του οφείλεται στη δημιουργία διαφοράς πίεσεως στις δύο πλευρές του κινούμενου στοιχείου της αντλίας (έμβολο ή περιστρεφόμενος δρομέας). Η εξέλιξη και ευρεία εφαρμογή των διαφόρων υδροδυναμικών και υδροστατικών συστημάτων οφείλεται κυρίως στο μεγάλο εύρος συνθηκών λειτουργίας των αντλιών, οι οποίες είναι δυνατόν να μεταφέρουν όλα τα ρευστά και ακόμη να μεταβάλλουν τη στατική κατάστασή τους. Σε ορισμένες περιπτώσεις οι αντλίες χρησιμοποιούνται και για τη μεταφορά στερεών.

2.5.1. Ιστορικά Στοιχεία

Ο αρχαιότερος τύπος αντλίας είναι ο Κοχλίας του Αρχιμήδη, που χρησιμοποιήθηκε για το πότισμα των Κρεμαστών Κήπων της Βαβυλώνας τον 7ο αιώνα π.Χ. και περιγράφηκε αναλυτικότερα από τον Αρχιμήδη τον 3ο αιώνα π.Χ.

Οι αντλίες για την άντληση του νερού επινοήθηκαν πριν από τις κινητήριες μηχανές. Τα βασικά εξαρτήματα των αντλιών αυτών ήταν δοχεία, τα οποία βυθίζονταν μέσα στο νερό και στη συνέχεια ανυψώνονταν με τη βοήθεια απλών μηχανών.

2.5.2. Τύποι Αντλιών

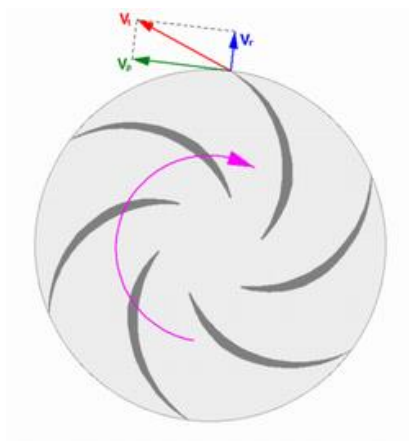
Οι κυριότεροι/συνηθέστεροι τύποι αντλιών είναι οι φυγοκεντρικές αντλίες και οι αντλίες θετικής εκτόπισης. Οι φυγοκεντρικές μπορεί να είναι αξονικές, ακτινικές ή μικτού τύπου. Επίσης διακρίνονται σε διάφορους τύπους ανάλογα με τον αριθμό των διαδοχικών περωτών, τη μέθοδο στεγανοποίησης μεταξύ άξονα και κελύφους, και πολλά άλλα στοιχεία της κατασκευαστικής διαμόρφωσης. Κάποιοι συνηθισμένοι τύποι αντλιών θετικής εκτόπισης είναι: παλινδρομική με έμβολα, περιστροφική με λοβούς, περιστροφική με γρανάζια.

2.5.3. Αρχή λειτουργίας αντλιών

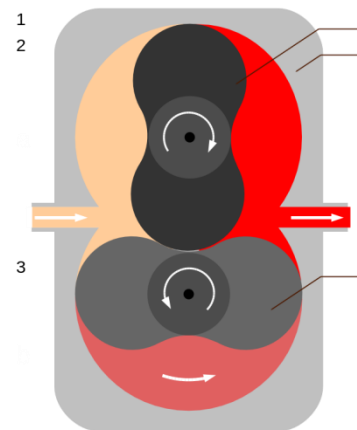
Στις λεγόμενες αντλίες θετικής εκτόπισης το ρευστό αναγκάζεται σε κίνηση με απευθείας μηχανική δράση κάποιου μηχανισμού (π.χ. έμβολο), και επιτυγχάνεται σταθερή παροχή όγκου. Στις φυγοκεντρικές αντλίες τα πτερύγια του ρότορα

(πτερωτή) μεταβάλλουν το πεδίο ροής προσδίδοντας περιστροφή στο υγρό. Κατόπιν η αυξημένη δυναμική πίεση μετατρέπεται σε στατική πίεση στο στάτορα. Για την επίτευξη αποδεκτής υδροδυναμικής απόδοσης κατά τη λειτουργία της αντλίας είναι αναγκαία κατάλληλη γεωμετρία/σχεδίαση των πτερυγίων του ρότορα και στάτορα, ανάλογα με τη περιοχή παροχών και πιέσεων για την οποία προορίζεται.

Οι αντλίες δημιουργούν ροή (παροχή) του υγρού και λόγω της αντίστασης ροής δημιουργείται η πίεση.



Εικόνα 15 Αρχή λειτουργίας φυγοκεντρικής αντλίας



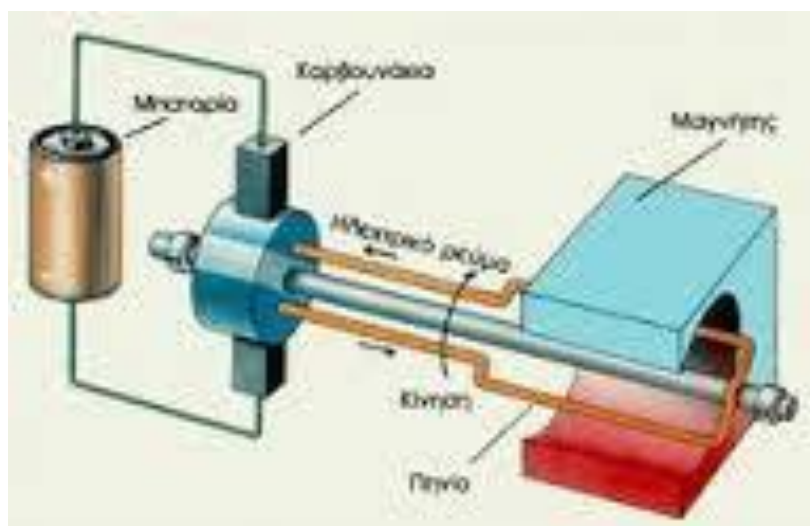
Εικόνα 16 Αντλία θετικής εκτόπισης με λοβούς

2.6. Ηλεκτρικοί Κινητήρες

Οι ηλεκτρικοί κινητήρες αποτελούν μια κατηγορία στρεφόμενων ηλεκτρικών μηχανών. Το βασικό στοιχείο μιας στρεφόμενης ηλεκτρικής μηχανής είναι η μετατροπή ενέργειας από ηλεκτρική σε μηχανική μορφή και αντίστροφα. Υπάρχουν τρεις τρόποι λειτουργίας των ηλεκτρικών μηχανών. Η λειτουργία τους σαν κινητήρες, σαν γεννήτριες και σαν πέδες. Στους κινητήρες αξιοποιείται το φαινόμενο της ηλεκτρομαγνητικής επαγωγής. Όταν ένας αγωγός που διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα βρεθεί μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο τότε στον αγωγό αυτό ασκείται από το μαγνητικό πεδίο μια δύναμη που τείνει να τον κινήσει. Η δύναμη αυτή είναι ανάλογη με την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος, την ένταση του μαγνητικού πεδίου, αλλά και το μήκος του αγωγού. Σημειώνεται πως η φορά της ασκούμενης στον αγωγό δύναμης αντιστρέφεται είτε αν αλλάξει η φορά του ρεύματος, είτε αν αντιστραφεί η πολικότητα του μαγνητικού πεδίου.

2.6.1. Αρχή λειτουργίας ηλεκτρικών κινητήρων

Κατά τη λειτουργία μιας ηλεκτρικής μηχανής σαν κινητήρα παρέχεται ηλεκτρική ενέργεια στο κύριο τύλιγμα της μηχανής, που λέγεται τύλιγμα τυμπάνου και αποδίδεται μηχανική ενέργεια εξόδου πάνω σε μια περιστρεφόμενη άτρακτο. Μια εξωτερικά επιβαλλόμενη ηλεκτρική τάση v οδηγεί ένα ρεύμα i μέσα στο τύλιγμα τυμπάνου ενάντια σε μια εσωτερικά επαγόμενη αντιηλεκτρεγερτική δύναμη e . Το τύλιγμα τυμπάνου γίνεται έτσι ικανό να απορροφά ηλεκτρική ενέργεια με ρυθμό $e \times i$. Το πεδίο ζεύξεως ασκεί μια στιγμιαία ηλεκτρομαγνητική ροπή $T_{πεδ}$ πάνω στο περιστρεφόμενο μέλος της μηχανής που λέγεται δρομέας (ρότορας). Αν ο δρομέας στρέφεται με γωνιακή ταχύτητα ω τότε η στιγμιαία ισχύς εξόδου που αποδίδεται στην άτρακτο θα είναι $T_{πεδ} \times \omega$. Η εξωτερικά εφαρμοζόμενη ροπή φορτίου $T_{εξ}$ δρα με φορά αντίστροφη από εκείνη της περιστροφής και καθιστά το φορτίο ικανό ν' απορροφά μηχανική ενέργεια. Ισχύει προφανώς ότι: $T_{πεδ} - T_{εξ} = J \times d\omega/dt$ Όπου J είναι η ροπή αδρανείας του δρομέα και του μηχανικού του φορτίου (η κίνηση του οποίου είναι ο τελικός σκοπός της ύπαρξης του κινητήρα). Όταν $T_{πεδ} = T_{εξ}$ τότε $d\omega/dt = 0$ και η μηχανή περιστρέφεται με σταθερή γωνιακή ταχύτητα. Στη μόνιμη κατάσταση λειτουργίας έχουμε ότι: $(\omega \times T_{πεδ})$ μέση τιμή = $(e \times i)$ μέση τιμή. Δεδομένου ότι στο τύλιγμα τυμπάνου αναπτύσσεται μια ΗΕΔ (ηλεκτρεγερτική δύναμη), χρειαζόμαστε ένα μαγνητικό πεδίο διεγέρσεως που συνηθέστατα (εκτός από την περίπτωση μόνιμου μαγνήτη στις μικρές μηχανές), στην πράξη παρέχεται από τυλίγματα διεγέρσεως ή τυλίγματα πεδίου. Στη μόνιμη λειτουργία των συνηθών μηχανών της πράξης, οι οποίες έχουν χωριστά τροφοδοτούμενο τύλιγμα διέγερσης, η μέση τιμή της ισχύος που τροφοδοτεί το τύλιγμα αυτό δαπανάται υπό μορφή θερμότητας. Κατά τη λειτουργία μιας ηλεκτρικής μηχανής ως γεννήτριας, παρέχεται ηλεκτρική ενέργεια στην άτρακτο της ηλεκτρικής μηχανής από μια πρωτεύουσα κινητήρια μηχανή (prime mover) και η ηλεκτρική ενέργεια εξόδου είναι διαθέσιμη στους ακροδέκτες του τυλίγματος τυμπάνου. Η πρωτεύουσα κινητήρια μηχανή μπορεί να είναι για παράδειγμα, είτε ένας ατμοστρόβιλος σ' ένα θερμικό σταθμό παραγωγής, είτε ένας υδροστρόβιλος σε έναν υδροηλεκτρικό σταθμό παραγωγής, είτε μια εμβολοφόρα μηχανή εσωτερικής καύσεως σ' ένα απομονωμένο ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος. Τέλος κατά τη λειτουργία μιας ηλεκτρικής μηχανής ως πέδης, η μηχανή τροφοδοτείται και με μηχανική και με ηλεκτρική ενέργεια. Η ολική ενέργεια εισόδου χάνεται μέσα στη μηχανή με μορφή απωλειών και έτσι η μηχανή λειτουργεί ως πέδη και φρενάρι.



Εικόνα 17 Αρχή λειτουργίας ηλεκτρικού κινητήρα

2.6.2. Είδη ηλεκτρικών κινητήρων

Γενικά, υπάρχουν τρεις μεγάλες κατηγορίες ηλεκτρικών κινητήρων:

2.6.2.1. Κινητήρες εναλλασσομένου ρεύματος (AC)

Αυτού του τύπου οι κινητήρες τροφοδοτούνται από το μονοφασικό ή το τριφασικό δίκτυο εναλλασσόμενης τάσης με συχνότητα 50 Hz. Οι ηλεκτρικές μηχανές εναλλασσόμενου ρεύματος είναι οι συνηθέστερα χρησιμοποιούμενες στην πράξη καλύπτοντας ένα ευρύτατο φάσμα εφαρμογών. Υπάρχουν πολλά είδη μηχανών εναλλασσομένου ρεύματος με διαφορετικά χαρακτηριστικά και τρόπους λειτουργίας. Διακρίνονται σε μονοφασικές, διφασικές, τριφασικές και πολυφασικές, ανάλογα με τον αριθμό των εναλλασσόμενων ημιτονοειδών τάσεων τροφοδοσίας. Επίσης διακρίνονται σε σύγχρονες και ασύγχρονες αναλόγως με την ταχύτητα περιστροφής τους κατά την κανονική λειτουργία. Στην πλειοψηφία των πρακτικών εφαρμογών μεγάλης ισχύος χρησιμοποιούνται τριφασικές μηχανές που δέχονται συμμετρική τριφασική ημιτονοειδή τροφοδοσία. Όπως είναι ευνόητο, η διαφορά φάσεως των τάσεων τροφοδοσίας στην περίπτωση αυτή είναι 120° ηλεκτρικές μοίρες. Στη συνέχεια αναλύονται σε συντομία οι πιο σημαντικοί τύποι σύγχρονων και ασύγχρονων μηχανών (κυρίως γίνεται αναφορά στις τριφασικές μηχανές):

- **Σύγχρονες Μηχανές:**

Οι σύγχρονες μηχανές, όπως φανερώνει και το όνομά τους περιστρέφονται με τη σύγχρονη ταχύτητα στην ονομαστική τους λειτουργία. Η λειτουργία τους στηρίζεται στην αλληλεπίδραση δύο πεδίων: του πεδίου διεγέρσεως και του πεδίου

τυμπάνου. Το πεδίο τυμπάνου δημιουργείται συνήθως από τριφασικά σταθερά τυλίγματα που βρίσκονται στον στάτη και δημιουργούν ένα ομοιόμορφα στρεφόμενο και ημιτονοειδώς κατανομημένο στο στάτη μαγνητικό πεδίο. Το πεδίο διεγέρσεως βρίσκεται συνήθως στο δρομέα, χωρίς όμως αυτό να είναι απαραίτητο. Συνήθως είναι ένας ηλεκτρομαγνήτης (τύλιγμα διεγέρσεως ή τύλιγμα πεδίου) ο οποίος τροφοδοτείται με συνεχή τάση μέσω ψηκτρών. Όμως με τη μεγάλη έρευνα και τις τελευταίες προόδους που έχουν συντελεστεί στην τεχνολογία των υλικών, έχουν προκύψει μόνιμοι μαγνήτες με μεγάλη παραμένουσα μαγνήτιση (μέχρι 1,2T) και υψηλή συνέχουσα δύναμη (μέχρι 1000kA/m), όπως λ.χ. τα κράματα Νεοδυμίου-Σιδήρου-Βορίου που τοποθετούνται επιφανειακά στο δρομέα. Τα υλικά αυτά έδωσαν τη δυνατότητα αντικατάστασης του ηλεκτρομαγνήτη που συνήθως απαιτούσε τροφοδοσία με ψήκτρες με κάποιον μόνιμο μαγνήτη, ο οποίος δεν έχει ανάγκη ηλεκτρικής τροφοδοσίας. Οι κινητήρες αυτοί ονομάζονται σύγχρονοι κινητήρες μόνιμων μαγνητών και έχουν συγκεντρώσει μεγάλο ερευνητικό ενδιαφέρον, ενώ ήδη χρησιμοποιούνται σε πρακτικές εφαρμογές με πολύ καλά αποτελέσματα. Είναι πιο απλοί και αξιόπιστοι και εμφανίζουν μικρότερες απώλειες (άρα και καλύτερη απόδοση) από τους αντίστοιχους σύγχρονους κινητήρες τυλιγμένου δρομέα. Ένα άλλο είδος σύγχρονων κινητήρων που παρουσιάζει ενδιαφέρον, για ειδικές όμως εφαρμογές ηλεκτρικής κίνησης είναι οι σύγχρονοι κινητήρες μεταβλητής μαγνητικής αντίστασης. Στο στάτη τους υπάρχουν και πάλι τα τριφασικά τυλίγματα των σύγχρονων κινητήρων που περιγράφηκαν παραπάνω. Ο δρομέας τους όμως που αποτελείται είτε από μόνιμους μαγνήτες είτε από ηλεκτρομαγνήτες, κατασκευάζεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να παρουσιάζει μικρό διάκενο κατά τον ευθύ άξονα (d) και μεγάλο κατά τον εγκάρσιο άξονα (q) (δηλαδή μικρή και μεγάλη μαγνητική αντίσταση αντίστοιχα). Η ύπαρξη μεταβλητού διακένου και συνακόλουθα μεταβλητής μαγνητικής επαγωγής, οδηγεί στην ανάπτυξη δυνάμεων που στρέφουν το δρομέα προς τη θέση ελάχιστης μαγνητικής ενέργειας. Αυτή είναι η αρχή λειτουργίας των κινητήρων αυτών. Όπως προαναφέρθηκε προορίζονται για ειδικές εφαρμογές.

- **Ασύγχρονες Μηχανές:**

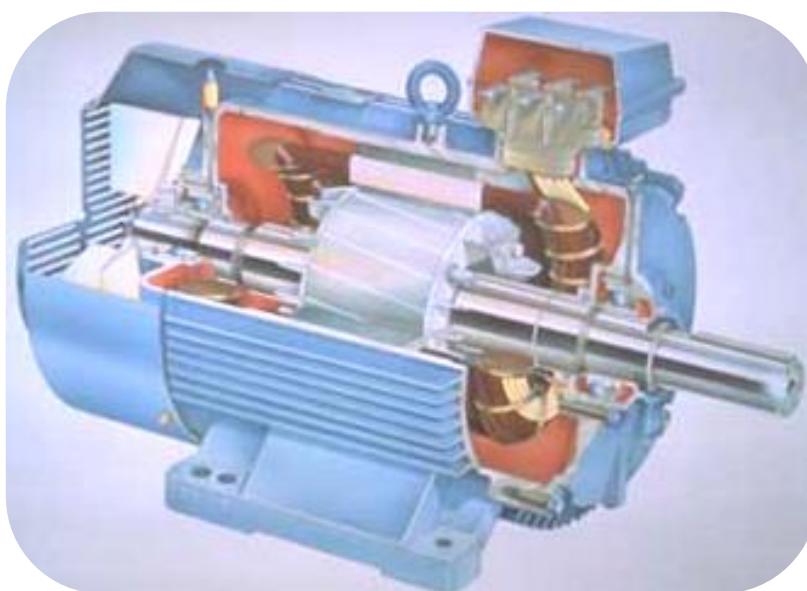
Οι ασύγχρονες μηχανές ή μηχανές επαγωγής, όπως φανερώνει και το όνομά τους στρέφονται γενικά με ταχύτητα διαφορετική από τη σύγχρονη στην ονομαστική τους λειτουργία. Ο στάτης των μηχανών αυτών είναι ίδιος με το στάτη των σύγχρονων μηχανών και διαθέτει τριφασικά σταθερά τυλίγματα που δημιουργούν ένα ομοιόμορφα στρεφόμενο και ημιτονοειδώς κατανομημένο στο στάτη μαγνητικό πεδίο. Το πεδίο αυτό στρέφεται με τη σύγχρονη ταχύτητα. Για τη διαμόρφωση του δρομέα των ασύγχρονων μηχανών υπάρχουν δύο δυνατότητες: Είτε ο τυλιγμένος δρομέας, ο οποίος διαθέτει τριφασικό τύλιγμα όμοιο με του στάτη και δίνει τη δυνατότητα σύνδεσης με κάποιο εξωτερικό ηλεκτρικό κύκλωμα μέσω ψηκτρών, είτε ο δρομέας τύπου κλωβού που είναι και η συνηθέστερη επιλογή. Ο δρομέας τύπου

κλωβού αποτελείται από έναν κλωβό από αγώγιμο υλικό και συνίσταται από διαμήκειες ράβδους που ενώνονται με δύο μεταλλικούς δακτυλίους στα άκρα τους. Δεν απαιτεί καμία εξωτερική τροφοδοσία ενώ στις ράβδους του αναπτύσσονται ρεύματα εξ επαγωγής με πολύ μικρή συχνότητα (εξ' ου και η ονομασία κινητήρας επαγωγής). Και τα δύο παραπάνω είδη κινητήρων, όπως αναφέρθηκε, εμφανίζουν γενικά ασύγχρονη λειτουργία. Αν παρατηρήσει κανείς το δρομέα μιας ασύγχρονης μηχανής σε σχέση με το σύγχρονα στρεφόμενο πεδίο, θα διαπιστώσει ότι ο δρομέας ολισθαίνει ελαφρώς ως προς αυτό, λόγω της διαφοράς στην ταχύτητα περιστροφής. Ορίζεται λοιπόν ένα νέο μέγεθος, η ανά μονάδα ολίσθηση που συμβολίζεται με s και δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$S = \frac{\omega_s - \omega}{\omega_s}$$

όπου ω_s η σύγχρονη κυκλική συχνότητα και ω η πραγματική κυκλική συχνότητα περιστροφής της μηχανής. Όπως είναι φανερό η ολίσθηση μπορεί να πάρει και αρνητικές τιμές (για λειτουργία γεννήτριας) ενώ τυπικές τιμές της είναι 0,01-0,05αμ.

Οι ασύγχρονοι κινητήρες εναλλασσομένου ρεύματος ή κινητήρες επαγωγής παρουσιάζουν σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως υψηλή αξιοπιστία και απόδοση, μεγάλη διάρκεια ζωής χωρίς ιδιαίτερες ανάγκες συντήρησης και μικρό βάρος και όγκο. Όλα αυτά τα χαρακτηριστικά σε συνδυασμό με τους μοντέρνους αντιστροφείς και τις προηγμένες τεχνικές ελέγχου, τους καθιστούν ιδανική επιλογή για τα περισσότερα συστήματα ηλεκτρικής κίνησης. Ήδη υπάρχει η τάση αντικατάστασης των κινητήρων συνεχούς ρεύματος σε βιομηχανικό επίπεδο από τους πιο οικονομικούς και αξιόπιστους κινητήρες επαγωγής, ενώ το ενδιαφέρον και για νέες εφαρμογές είναι αυξημένο.



Εικόνα 18 Εσωτερική δομή ηλεκτρικού κινητήρα

2.6.2.2. *Κινητήρες συνεχούς ρεύματος (DC)*

Οι ηλεκτρικές μηχανές συνεχούς ρεύματος ιστορικά προηγούνται των μηχανών εναλλασσόμενου ρεύματος. Η δυνατότητα που παρέχουν για εύκολο έλεγχο ταχύτητας και ροπής τις είχε καταστήσει για δεκαετίες τη μοναδική επιλογή για συστήματα ηλεκτρικής κίνησης που απαιτούσαν μεταβλητή ταχύτητα λειτουργίας. Η ευκολία του ελέγχου έγκειται στο ότι γενικά σε μια μηχανή συνεχούς ρεύματος η ταχύτητα περιστροφής είναι ανάλογη της εφαρμοζόμενης τάσης στο τύμπανο και η αναπτυσσόμενη ροπή είναι ανάλογη του ρεύματος τυμπάνου (αυτό ισχύει επακριβώς μόνο για τους κινητήρες συνεχούς ξένης διέγερσης). Συνεπώς, όπως ήδη θα είναι φανερό, είναι αρκετά απλός ο έλεγχος ενός τέτοιου κινητήρα (λ.χ. μέσω ενός μετατροπέα συνεχούς σε συνεχές – DC to DC Converter). Οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος έχουν χρησιμοποιηθεί για πάρα πολλά χρόνια σε συστήματα ηλεκτρικής κίνησης και θεωρούνταν αναντικατάστατοι σε εφαρμογές μεταβλητής ταχύτητας περιστροφής. Μόνο τα τελευταία είκοσι χρόνια δόθηκε η δυνατότητα αντικατάστασής τους από τους ασύγχρονους κινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος (κινητήρες επαγωγής) που οδηγούνται με προηγμένες τεχνικές ελέγχου.

Η λειτουργία του κλασσικού ηλεκτρικού κινητήρα συνεχούς ρεύματος βασίζεται στην αλληλεπίδραση δύο μαγνητικών πεδίων. Το πρώτο πεδίο δημιουργείται από μόνιμους μαγνήτες (διέγερση) που βρίσκονται συνήθως σταθερά προσαρμοσμένοι στο στάτη της μηχανής. Το δεύτερο πεδίο δημιουργείται στο δρομέα της μηχανής από το περιστρεφόμενο τύλιγμα τυμπάνου, που συνιστά έναν ηλεκτρομαγνήτη. Βασικό ρόλο στη λειτουργία της μηχανής συνεχούς ρεύματος παίζει ο συλλέκτης. Ο ρόλος του συλλέκτη είναι να αντιστρέφει τη φορά του ηλεκτρικού ρεύματος τυμπάνου δύο φορές σε κάθε κύκλο, έτσι ώστε να αντιστρέφεται η πολικότητα του ηλεκτρομαγνήτη τυμπάνου την κατάλληλη χρονική στιγμή (όταν οι δύο αντίθετοι μαγνητικοί πόλοι βρίσκονται απέναντι) και τελικά να αλληλεπιδρούν εις το διηνεκές μαγνητικά τα δύο πεδία. Αυτό είναι αναγκαίο, αφού το τύλιγμα τυμπάνου είναι περιστρεφόμενο και χωρίς το συλλέκτη η μηχανή θα σταματούσε άμεσα την πρώτη φορά που δύο αντίθετοι πόλοι θα βρίσκονταν απέναντι.

Υπάρχει επίσης η δυνατότητα η μηχανή συνεχούς ρεύματος να μη διαθέτει μόνιμους μαγνήτες στο στάτη αλλά τύλιγμα ηλεκτρομαγνήτη (ως διέγερση), που αποτελεί και τη συνηθέστερη πρακτική. Η μηχανή αυτή ονομάζεται μηχανή συνεχούς ρεύματος με τύλιγμα πεδίου. Έτσι, μεταβάλλοντας το ρεύμα που διέρχεται από τον ηλεκτρομαγνήτη (που ονομάζεται εναλλακτικά τύλιγμα πεδίου ή τύλιγμα διεγέρσεως) μπορεί να μεταβληθεί η χαρακτηριστική ταχύτητας-ροπής του κινητήρα. Ανάλογα με τον τρόπο τροφοδοσίας του τυλίγματος διέγερσης, υπάρχουν οι εξής κατηγορίες μηχανών συνεχούς ρεύματος με τύλιγμα πεδίου:

- **Ξένης Διέγερσης:**

Το τύλιγμα πεδίου τροφοδοτείται από ανεξάρτητη πηγή τάσης/ρεύματος δίνοντας τη δυνατότητα για πολύ εύκολο έλεγχο του πεδίου διέγερσης.

- **Διέγερσης σε Σειρά:**

Το τύλιγμα πεδίου τροφοδοτείται σε σειρά με το τύλιγμα τυμπάνου δίνοντας τη δυνατότητα για κατασκευή κινητήρων υψηλής ροπής σε μικρές ταχύτητες.

- **Παράλληλης Διέγερσης:**

Το τύλιγμα πεδίου τροφοδοτείται παράλληλα με το τύλιγμα τυμπάνου δίνοντας τη δυνατότητα για κατασκευή κινητήρων υψηλών ταχυτήτων.

- **Σύνθετης Διέγερσης:**

Το τύλιγμα πεδίου τροφοδοτείται εν μέρει σε σειρά και εν μέρει παράλληλα με το τύλιγμα τυμπάνου δίνοντας τη δυνατότητα για κατασκευή κινητήρων περίπου σταθερής ταχύτητας παρά τις μεταβολές της ροπής.

Τέλος υπάρχει η δυνατότητα μειώνοντας το ρεύμα του τυλίγματος πεδίου - άρα και την ένταση του μαγνητικού πεδίου που αυτό προκαλεί - έτσι ώστε να υπάρξει μετάβαση σε λειτουργία «εξασθένισης πεδίου». Η κατάσταση αυτή επιτρέπει την επίτευξη υψηλότερων ταχυτήτων από την ονομαστική με ανάλογη μείωση της ικανότητας ανάπτυξης ροπής, φυσικά.

Οι μηχανές συνεχούς ρεύματος παρουσιάζουν και αρκετά σημαντικά μειονεκτήματα όπως, ανάγκη τακτικής συντήρησης του συλλέκτη, σχετικά μεγάλο βάρος του δρομέα, σχετικά χαμηλή μέγιστη ταχύτητα λόγω μηχανικής καταπόνησης του συλλέκτη και υψηλό κόστος κατασκευής. Γι' αυτούς τους λόγους είναι επιθυμητή η αντικατάστασή τους, όπου αυτό είναι φυσικά δυνατόν, με τους πιο αξιόπιστους και εύρωστους ασύγχρονους κινητήρες εναλλασσομένου ρεύματος.

2.6.2.3. Ειδικό Ηλεκτρικό Κινητήρες

Οι ειδικοί ηλεκτρικοί κινητήρες είναι κινητήρες ακριβείας οι οποίοι τροφοδοτούνται από ηλεκτρονικό κύκλωμα. Οι πιο γνωστοί είναι οι βηματικοί κινητήρες για εφαρμογές ελέγχου θέσης και οι κινητήρες συνεχούς ρεύματος χωρίς ψήκτρες για εφαρμογές ελέγχου της ταχύτητας.

Στην κατηγορία των ειδικών κινητήρων κατατάσσονται οι κινητήρες χαμηλής ισχύος για εφαρμογές γενικής χρήσης και για εφαρμογές υψηλής ακρίβειας όπως:

- γενικοί κινητήρες (universal)
- βηματικοί κινητήρες

- σερβοκινητήρες
- πιεζοηλεκτρικοί κινητήρες
- κινητήρες υπερηχητικού κύματος
- κινητήρες πλαστικοποιημένου μαγνήτη, κ.α.

Στη διεθνή βιβλιογραφία αναφέρονται ως small electric motors ή special electric motors.

Η εξέλιξη των ηλεκτρονικών, των ψηφιακών συστημάτων και των μικροεπεξεργαστών, επέτρεψε την ανάπτυξη μοντέρνων τεχνικών ελέγχου, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη της περιοχής των ελεγχόμενων συστημάτων ειδικών ηλεκτρικών κινητήρων.

Γενικά, ο έλεγχος ενός συστήματος ηλεκτρικής κίνησης είναι απαραίτητος όταν υπάρχουν συχνές μεταβολές των μεγεθών της ροπής, της ταχύτητας και της ισχύος του φορτίου ώστε να αποφεύγεται η υπερφόρτιση του κινητήρα, η αστάθεια του συστήματος, η υπερθέρμανση και η υπερβολική κατανάλωση ενέργειας. Εξάλλου, η οικονομία στην κατανάλωση ενέργειας και η αύξηση του βαθμού απόδοσης με τον έλεγχο, επιτρέπουν τη χρήση κινητήρων χαμηλότερης ονομαστικής ισχύος.

Η προτίμηση των συστημάτων ειδικών ηλεκτρικών κινητήρων οφείλεται στα πλεονεκτήματά τους, σε σχέση με άλλα συστήματα κίνησης όπως τα μηχανικά ή τα υδραυλικά. Η επιλογή αυτή εξηγείται από τα εξής πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν τα συστήματα αυτά:

- Συστήματα ειδικών ηλεκτρικών κινητήρων υπάρχουν για ευρεία περιοχή ισχύος: από ισχύ μικρότερη του 1W (ηλεκτρονικά ρολόγια) μέχρι ισχύ μερικών ίππων.
- Τα συστήματα αυτά προσφέρουν ευρεία περιοχή ταχυτήτων: από μηδέν μέχρι 100.000 ΣΑΛ.
- Προσαρμόζονται σε διάφορες λειτουργικές καταστάσεις όπως: σε κλειστά, χωρίς αερισμό, σε υγρά, σε εκρηκτικά, σε ραδιενεργά περιβάλλοντα. Επίσης δε χρειάζονται καύσιμα, δεν εκπέμπουν καυσαέρια και ο θόρυβος που δημιουργούν είναι χαμηλότερος από άλλα συστήματα.
- Τα συστήματα κίνησης μπορούν να φορτιστούν αμέσως, δε χρειάζονται προθέρμανση, έχουν χαμηλές απώλειες, υψηλή απόδοση και έχουν τη δυνατότητα προσωρινής υπερφόρτισης.
- Τα συστήματα κίνησης είναι ελεγχόμενα, οι χαρακτηριστικές μόνιμης κατάστασης μπορούν να αλλάζουν εάν χρειάζεται και έχουν καλή δυναμική επίδοση η οποία επιτυγχάνεται με ηλεκτρονικό έλεγχο.
- Κατασκευάζονται σε μεγάλη ποικιλία σχεδίων κατά εφαρμογή.

Βέβαια, τα ηλεκτρικά συστήματα κίνησης παρουσιάζουν και μειονεκτήματα, μερικά από τα οποία αναφέρονται στη συνέχεια:

- Η εξάρτηση από την ηλεκτρική πηγή τροφοδότησης δημιουργεί δυσκολίες προ παντός στα αυτοκίνητα. Έτσι, μία πηγή ηλεκτρικής ενέργειας πρέπει να βρίσκεται πάντα μέσα στο αυτοκίνητο.
- Η ύπαρξη του φαινομένου του μαγνητικού κορεσμού και η ανάγκη ψύξης είναι η αιτία για την οποία έχουν χαμηλότερο λόγο ισχύος προς βάρος μηχανής από τα υδραυλικά συστήματα κίνησης. Αυτό είναι σημαντικό στα συστήματα ελέγχου θέσης στα αεροπλάνα.

2.7. Τρόποι Μετάδοσης Κίνησης

Η μετάδοση ισχύος σε μια βιομηχανική εγκατάσταση συνιστά μια διαδικασία πολλών σταδίων αλλά και πολλαπλών μετατροπών. Για παράδειγμα η ευθύγραμμη κίνηση ενός ιμάντα προκύπτει από τη μετατροπή της περιστροφικής κίνησης του κινητήριου μοτέρ σε ευθύγραμμη κίνηση, ωστόσο η μετατροπή αυτή πραγματοποιείται σε περισσότερα από ένα στάδια. Οι πολλαπλές αυτές μετατροπές αφορούν διάφορες παραμέτρους της κίνησης και διαμορφώνουν έναν τελικό συντελεστή ισχύος του εκάστοτε μηχανισμού μετάδοσης κίνησης. Το πρώτο στάδιο μιας τυπικής διαδικασίας μετάδοσης ισχύος είναι η μείωση (ή σπανιότατα η αύξηση) των στροφών του κινητήριου μοτέρ που συνδυάζεται συχνά με την αλλαγή του άξονα περιστροφής της μεταδιδόμενης κίνησης. Αυτή η πρώτη μετατροπή της κίνησης που παράγεται από την ενέργεια που μεταδίδει ένας κινητήρας στον άξονά του γίνεται από τους μειωτήρες στροφών.

Ο άξονας περιστροφής της κίνησης που μεταδίδει ο μειωτήρας μπορεί να είναι παράλληλος, τεμνόμενος ή ασύμβατος με τον άξονα του κινητήρα. Η μετάδοση της κίνησης γίνεται με γρανάζια. Τα γρανάζια σαν μηχανισμός αλλαγής των στροφών εξασφαλίζουν μεγάλη ασφάλεια λειτουργίας, ακριβή σχέση μετάδοσης, δυνατότητα υπερφόρτισης, μεγάλη διάρκεια ζωής και μεγάλο βαθμό απόδοσης. Μέσα στο κέλυφος ενός μειωτήρα μπορούν να είναι προσαρμοσμένοι πολλοί οδοντωτοί τροχοί διαφόρων τύπων. Οι συνήθεις τύποι γραναζιών που αξιοποιούνται στην κατασκευή των μειωτήρων είναι οι μετωπικοί οδοντωτοί τροχοί, οι κωνικοί οδοντωτοί τροχοί, οι κοχλιωτοί οδοντωτοί τροχοί και το σύστημα ατέρμονα κοχλία – οδοντωτού τροχού.

2.7.1. Τύποι γραναζιών



Εικόνα 19 Γρανάζια

2.7.1.1. Μετωπικοί οδοντωτοί τροχοί

Τα γρανάζια αυτού του τύπου μεταδίδουν την κίνηση μεταξύ παραλλήλων αξόνων. Η αρχική μεταλλική επιφάνεια από την κατεργασία της οποίας προκύπτουν τα μετωπικά γρανάζια έχει κυλινδρική μορφή. Τα δόντια των γραναζιών μπορούν να είναι είτε παράλληλα, είτε κεκλιμένα προς τον άξονα τους, είτε να σχηματίζουν μεταξύ τους γωνία. Τα παράλληλα τοποθετημένα γρανάζια μπορούν να είναι σε επαφή είτε εξωτερικά είτε εσωτερικά (δηλαδή το ένα να είναι μέσα στο άλλο), ενώ η κεκλιμένη οδόντωση μπορεί να είναι είτε απλή είτε διπλή. Τα γρανάζια με κεκλιμένα ή ελικοειδή δόντια υπερτερούν των γραναζιών με ευθέα δόντια διότι έχουν μεγαλύτερη αντοχή και προκαλούν λιγότερο θόρυβο κατά τη λειτουργία τους.

2.7.1.2. Κωνικοί οδοντωτοί τροχοί

Τα κωνικά γρανάζια χρησιμοποιούνται για μεταδόσεις κίνησης σε άξονες είτε τεμνόμενους, είτε ασύμβατους. Η αρχική μεταλλική επιφάνεια από την κατεργασία της οποίας προκύπτουν τα κωνικά γρανάζια έχει μορφή κόλουρου κώνου. Στα γρανάζια που μεταδίδουν κινήσεις μεταξύ αξόνων οι οποίοι τέμνονται υπό τυχούσα γωνία τα δόντια τους είναι είτε ευθέα, είτε ελικοειδή. Ωστόσο σε αρκετές περιπτώσεις χρησιμοποιούνται κωνικά γρανάζια με δόντια που έχουν καμπύλη μορφή, είτε αυτά είναι τόξα κύκλου είτε τμήματα σπειροειδών καμπυλών. Στα γρανάζια που μεταδίδουν κινήσεις μεταξύ αξόνων οι οποίοι είναι ασύμβατοι, τα δόντια τους είναι ελικοειδή. Χρησιμοποιούνται πάντως για τη μετάδοση της κίνησης σε ασύμβατους άξονες οι οποίοι έχουν μικρή σχετικά μεταξύ τους απόσταση. Τα κωνικά γρανάζια που μεταδίδουν κίνηση σε ασύμβατους άξονες έχουν μικρότερο βαθμό απόδοσης από εκείνα που μεταδίδουν κίνηση σε τεμνόμενους άξονες διότι κατά τη λειτουργία τους αναπτύσσονται επ' αυτών αυξημένες δυνάμεις τριβής

ολίσθησης. Για τη μετάδοση των κινήσεων σε ασύμβατους άξονες χρησιμοποιούνται και τα κοχλιωτά γρανάζια. Ωστόσο αυτά βρίσκουν κυρίως εφαρμογή σε μικρές σχετικά φορτίσεις αλλά και μικρότερες σχέσεις μετάδοσης.

2.7.1.3. Οδοντωτός κανόνας

Ο οδοντωτός κανόνας συνιστά ένα γρανάζι το οποίο προέκυψε από την κατεργασία μιας μεταλλικής επιφάνειας που είχε μορφή διαμήκους ράβδου. Τα δόντια του δεν είναι διαταγμένα επί κύκλου, αλλά επί ευθείας. Επιτυγχάνει μια μετάδοση κίνησης «μετωπικού τύπου» και καταφέρνει να μετατρέπει την περιστροφική κίνηση σε ευθύγραμμη και το αντίστροφο.

2.7.1.4. Σύστημα ατέρμονα – κορώνας

Μια άλλη διάταξη μετάδοσης κίνησης μεταξύ ασύμβατων αξόνων με κάθετες μεταξύ τους διευθύνσεις είναι το σύστημα ατέρμονα κοχλία – γραναζιού. Εδώ έχουμε έναν ατέρμονα κοχλία που φέρει κεκλιμένα δόντια και λειτουργεί σαν γρανάζι. Ο άξονας του ατέρμονα εφάπτεται στην περιφέρεια του γραναζιού στο οποίο μεταδίδεται η κίνηση. Αυτός ο τύπος μετάδοσης κίνησης έχει μικρό σχετικά βαθμό απόδοσης, αλλά προσφέρει το πλεονέκτημα της αθόρυβης λειτουργίας γιατί επιτυγχάνει απορρόφηση των δονήσεων.

2.7.1.5. Επικυκλική οδόντωση

Στη διάταξη αυτού του τύπου που προσομοιάζει στο πλανητικό σύστημα έχουμε ένα κεντρικό γρανάζι που καταλαμβάνει τη θέση του ήλιου και μια σειρά γραναζιών πλανητών που συνδέονται με τα δόντια του κεντρικού γραναζιού. Η πλανητική διάταξη προσφέρει τη δυνατότητα για μετάδοση μεγάλης ισχύος καθώς επίσης και για μεγάλες σχέσεις μετάδοσης. Οι πλανητικές οδοντώσεις έχουν λίγο μεγαλύτερο κόστος από τις άλλες γιατί περιλαμβάνουν μεγαλύτερο αριθμό γραναζιών, έχουν όμως παράλληλα το πλεονέκτημα ότι συχνά καταλαμβάνουν μικρό χώρο και έχουν μεγάλο βαθμό απόδοσης.

2.7.2. Κιβώτια Ταχυτήτων

Τα κιβώτια ταχυτήτων ονομάζονται έτσι γιατί ουσιαστικά μοιάζουν με «κουτιά που περιέχουν γρανάζια». Σκοπός τους είναι να μεταφέρουν την ισχύ από τον συμπλέκτη στο διαφορικό και από εκεί στους τροχούς και να δημιουργούν μεταβλητή σχέση μετάδοσης με εμπλοκή γραναζιών διαφορετικής διαμέτρου ή με διαφορετικό αριθμό οδοντώσεων ώστε οι στροφές ανά λεπτό (rpm) του κινητήρα να διατηρούνται κοντά στην ωφέλιμη περιοχή.

Μεγαλύτερη διάμετρος σημαίνει μικρότερη ταχύτητα αλλά μεγαλύτερη στρεπτική ροπή, δηλαδή «...ότι χάνουμε σε ταχύτητα το κερδίζουμε σε δύναμη». Με λίγα λόγια τα κιβώτια μεταβάλουν την ροπή στρέψης και την ελκτική δύναμη του κινητήρα, απομονώνουν την κίνηση (νεκρά) και φυσικά προσφέρουν δυνατότητα οπισθοπορείας (όπισθεν). Χωρίζονται σε πέντε μεγάλες κατηγορίες: στα μηχανικά κιβώτια (τα γνωστά χειροκίνητα), στα κλασικά αυτόματα, στα «ρομποτικά», στα «διπλοσύνπλεκτα» και στα τύπου CVT.



Εικόνα 20 Κιβώτιο Ταχυτήτων

2.8. Οριζόντιες Μεταφορές

Οι μεταφορές αντικειμένων και προϊόντων διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες, στις οριζόντιες μεταφορές και στην ανύψωση φορτίων. Για την πρώτη περίπτωση χρησιμοποιούνται μεταφορικές ταινίες και αλυσίδες. Για τη δεύτερη περίπτωση χρησιμοποιείται παρόμοιος εξοπλισμός, αλλά ο σχεδιασμός των μεταφορικών διατάξεων είναι πιο σύνθετος.

Οι ιμάντες και οι αλυσίδες αποτελούν τα βασικότερα στοιχεία μηχανών που επιτυγχάνουν μετάδοση των κινήσεων με έλξη. Παράλληλα η δυνατότητα των ιμάντων και των αλυσίδων να μετατρέπουν την περιστροφική κίνηση των κινητηρίων ατράκτων σε μεταφορική κίνηση τους έχει καταστήσει κύριους φορείς των μεταφορικών διατάξεων.

2.8.1. Μεταφορικές ταινίες (Ταινιόδρομοι)

2.8.1.1. Χρήσεις - Εφαρμογές

Οι ταινιόδρομοι χρησιμοποιούνται στην αυτοματοποιημένη παραγωγή και την αποθήκευση και τους συναντάμε σε διάφορους τομείς όπως στην βιομηχανία τροφίμων, στην ξυλουργία, στην χαρτοποιία, στην υφαντουργεία, στη γεωργία, στα πλαστικά, στα αεροδρόμια και ταχυδρομεία και γενικά όπου απαιτείται μεταφορά ημικατεργασμένων ή έτοιμων αγαθών. Θεωρείται σύστημα αποταμίευσης εργασίας που επιτρέπει στους μεγάλους όγκους να κινηθούν πιο γρήγορα και επιτρέπει στις επιχειρήσεις να στείλει ή να λάβει μεγάλες ποσότητες στο μικρότερο χρονικό διάστημα και με τη λιγότερη δαπάνη εργασίας.



Εικόνα 21 Μεταφορική Ταινία



Εικόνα 22 Ταινιόδρομος για μεταφορά αντικειμένων σε βιομηχανία

2.8.1.2. Δομή ταινιόδρομου

Ένας ταινιόδρομος αποτελείται από δύο τροχαλίες, με ένα συνεχή βρόγχο του υλικού και τον ιμάντα που περιστρέφεται για αυτές. Η τροχαλία που τροφοδοτείται ονομάζεται τροχαλία κίνησης ενώ η άλλη ονομάζεται ενδιάμεσος τροχός μετάδοσης κίνησης. Ο ιμάντας αποτελείται από ένα ή περισσότερα στρώματα υλικού. Οι περισσότεροι ιμάντες αποτελούνται από δύο στρώματα υλικού. Ένα κατώτερο στρώμα υλικού ώστε να παρέχουν τη γραμμική δύναμη και τη μορφή, το οποίο ονομάζεται σφάγιο και από ένα στρώμα πλεονάσματος για την κάλυψή του. Το σφάγιο αποτελείται από ένα βαμβάκι ή έναν πλαστικό ιστό ή ένα πλέγμα και το στρώμα πλεονάσματος αποτελείται από λαστιχένιες ή πλαστικές ενώσεις που εξαρτώνται από την χρήση του ιμάντα .

2.8.1.3. Κατηγορίες ταινιόδρομων

Υπάρχουν δύο κύριες κατηγορίες ταινιόδρομων, οι γενικού υλικού όπως εκείνοι που μεταφέρουν τα κιβώτια ή τις παλέτες κατά μήκος σε μια βιομηχανία ή ένα εργοστάσιο και οι μαζικού υλικού οι οποίοι μεταφέρουν γεωργικά υλικά, βιομηχανικά υλικά, μεταλλεύματα και πολλά άλλα.



Εικόνα 23 Ταινιόδρομος Γενικού Τύπου



Εικόνα 24 Ταινιόδρομος Μαζικού Τύπου

- **Ευέλικτοι ταινιόδρομοι**

Το υλικό με το οποίο κατασκευάζονται οι ευέλικτοι ταινιόδρομοι είναι βασισμένο στο αλουμίνιο ή τον ανοξείδωτο χάλυβα, τα ράουλα του έχουν χαμηλό συντελεστή ολίσθησης τα οποία καθοδηγούν μια πλαστική εύκαμπτη αλυσίδα. Τα προϊόντα μεταφέρονται εύκολα και με ασφάλεια πάνω στον ταινιόδρομο είτε πάνω σε παλέτες.

- **Πνευματικοί ταινιόδρομοι**

Οι πνευματικοί ταινιόδρομοι είναι είτε συστήματα μεταφοράς μιας φάσης είτε συστήματα διπλής φάσης. Τα συστήματα μεταφοράς μιας φάσης ωθούν απλά τα αντικείμενα από ένα σημείο εισόδου σε ένα σημείο εξόδου μέσω των ραούλων και μέσω της πίεσης του αέρα που επιτρέπει την πρόσθετη κάθετη μεταβλητότητα. Τα συστήματα μεταφοράς διπλής φάσης χρησιμοποιούν την πίεση του αέρα για να εισέλθουν ή να εξέλθουν τα αντικείμενα από τον ταινιόδρομο.



Εικόνα 25 Κινητήριος Ραουλόδρομος

- **Δονούμενοι ταινιόδρομοι**

Οι δονούμενοι ταινιόδρομοι χρησιμοποιούνται για τη μεταφορά, τη διαλογή και τη διανομή σε μεγάλο εύρος προϊόντων και βιομηχανιών . Η λειτουργία αυτού του τύπου των μεταφορέων αποτελείται από ένα απλό κινητήρα ο οποίος αιωρείται και ισορροπεί σε ένα σύστημα οδηγών που έχει σαν αποτέλεσμα το σύνολο του κινητήρα να παραμένει ακίνητο χωρίς να επηρεάζεται από τις δονήσεις που προέρχονται από τα ταλαντευόμενα μέρη του συνόλου.

Αυτά τα συστήματα μεταφοράς μπορούν να αντικαταστήσουν τις μεταφορικές ταινίες και παρουσιάζουν τα εξής πλεονεκτήματα:

- Τα υλικά δεν κολλάνε και δεν σημειώνονται απώλειες
- Δυνατότητα μεγάλων διαδρομών δόνησης, γεγονός που προσφέρει την δυνατότητα μεταφοράς δύσκολων προϊόντων.
- Δυνατότητα δοσομετρητή με εγκατάσταση μετατροπέα συχνότητας.
- Στο τέλος της παραγωγής, ο δονούμενος μεταφορέας καθαρίζεται πιο εύκολα.

Οι δονούμενοι μεταφορείς χαρίζουν υψηλά επίπεδα υγιεινής και μεγάλη ασφάλεια προϊόντος καθώς είναι πλήρως ανοξείδωτοι

2.8.2. Ιμάντες

Ιμάντες χρησιμοποιούνται τόσο για τη μετάδοση ισχύος όσο και για την μεταφορά υλικών (μεταφορικές ταινίες).

Στην τεχνολογία των ιμάντων μια πολύ σημαντική παράμετρος είναι ο τρόπος οδήγησης κι εμπλοκής του ιμάντα. Αναφορικά με τη διατομή των ιμάντων, η οποία παίζει καθοριστικό ρόλο στον τρόπο οδήγησης κι εμπλοκής του ιμάντα, δύο είναι οι βασικές κατηγορίες ιμάντων, οι επίπεδοι και οι τραπεζοειδείς. Οι επίπεδοι πεπλατυσμένοι ιμάντες χρησιμοποιούνται σε βαρύτερες κινήσεις.

Στις ελαφρότερες κινήσεις, οι επίπεδοι πεπλατυσμένοι ιμάντες έχουν εκτοπισθεί από τους τραπεζοειδείς ιμάντες. Οι τραπεζοειδείς ιμάντες έχουν τριπλάσια ικανότητα μεταβίβασης από τους επίπεδους για την ίδια δύναμη τάνυσης. Επίσης ξεκινάνε "απαλότερα" και ολισθαίνουν λιγότερο ως καθόλου. Είναι χαρακτηριστικό ότι συναντούν ευρεία εφαρμογή στην κατασκευή εργαλειομηχανών και αυτοκινήτων. Εκτός όμως από τη διατομή των ιμάντων και τον τρόπο εμπλοκής τους, πολύ σημαντικές παράμετροι λειτουργίας των διατάξεων των ιμάντων είναι τα υλικά κατασκευής και οι τρόποι τάνυσης.



Εικόνα 26 Τραπεζοειδής Ιμάντας



Εικόνα 27 Επίπεδοι Ιμάντες

2.8.2.1. Τάνυση των ιμάντων

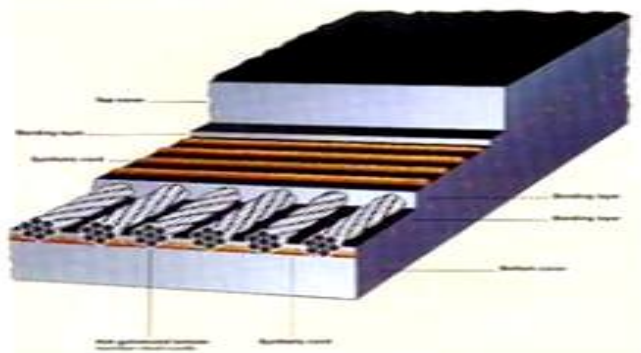
Τάνυση των ιμάντων καλείται η διαδικασία του τεντώματος των ιμάντων η οποία είναι απαραίτητη για τη σωστή λειτουργία του ταινιοδρόμου. Στα συστήματα μετάδοσης κίνησης και μεταφοράς φορτίων με ιμάντες η πλευρά έλκοντος κλάδου του ιμάντα μεταξύ των δύο τροχαλιών καλείται ιμάντας φορτίου ενώ η πλευρά ελκόμενου κλάδου του ιμάντα καλείται ελεύθερος ιμάντας. Για να επιτευχθεί η απαιτούμενη τάνυση του ιμάντα αξιοποιούνται:

- Η κίνηση δια του ιδίου βάρους σε οριζόντια θέση κίνησης.
- Η λειτουργία της επιμήκυνσης όταν το μη τεταμένο μήκος του ιμάντα είναι μικρότερο από το μήκος λειτουργίας του.

- Η τάνυση με αύξηση της απόστασης των αξόνων.
- Η χρησιμοποίηση μιας τροχαλίας τάνυσης που φορτίζεται με βάρος ή ελατήριο.
- Η χρησιμοποίηση διατάξεων αυτοτάνυσης.

2.8.2.2. Υλικά κατασκευής

Αναφορικά με την κατασκευή των ιμάντων οι σπουδαιότερες αξιώσεις που προβάλλονται σχετικά με τα υλικά κατασκευής τους είναι η καλή προσκόλληση (πρόσφυση) μεταξύ ιμάντων και τροχαλιών, πράγμα που προϋποθέτει μεγάλο συντελεστή τριβής, μεγάλη αντίσταση σε εφελκυσμό, μεγάλη ελαστικότητα με ελάχιστη διαρκή διαστολή, εναλλασσόμενη αντοχή σε κάμψη, απάθεια έναντι ατμοσφαιρικών επιδράσεων, αλλά και απέναντι σε υλικά όπως λάδια και δραστικές χημικές ουσίες. Τα τελευταία χρόνια υπάρχουν ιμάντες που κατασκευάζονται από συνθετικές ύλες, ή ακόμα και από πολλαπλά στρώματα και οι οποίοι συνδυάζουν πολλές από τις απαιτούμενες ιδιότητες.



Εικόνα 28 Διατομή ελαστικού ενσύρματου ιμάντα

3. Κατασκευή του Συστήματος

3.1. Ανάλυση – Σχεδιασμός

3.1.1. Η Αρχική Ιδέα

Το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής είναι η κατασκευή ενός μοντέλου προσομοίωσης μέρους της παραγωγικής διαδικασίας εμφιάλωσης και ειδικότερα της διαδικασίας πλήρωσης των φιαλών. Το μοντέλο αυτό αποτυπώνει όλες τις φάσεις της συγκεκριμένης διαδικασίας και αποτελείται από τα εξής τμήματα:

- Έναν ταινιόδρομο
- Μία δεξαμενή (νερού)
- Έναν κινητήρα συνεχούς ρεύματος
- Μία ηλεκτρική αντλία
- Έναν μικροελεγκτή και συγκεκριμένα μία πλακέτα Arduino
- Αισθητήρες κίνησης και απόστασης

Η ιδέα, οι αρχές και οι προϋποθέσεις της κατασκευής είναι οι παρακάτω:

- Ένα δοχείο (φιάλη) τοποθετείται πάνω στον ταινιόδρομο.
- Το δοχείο μεταφέρεται μέσω της μεταφορικής ταινίας στο σημείο όπου βρίσκεται η δεξαμενή.
- Κατάλληλος αισθητήρας ο οποίος διεγείρεται με μία δέσμη laser έχει τοποθετηθεί στο σημείο αυτό έτσι ώστε να γίνει αντιληπτή η διέλευση του δοχείου.
- Η μεταφορική ταινία ακινητοποιείται και το δοχείο βρίσκεται στο σημείο όπου θα πραγματοποιηθεί η διαδικασία της πλήρωσης.
- Το δοχείο γεμίζει με υγρό μέσω μίας ηλεκτρικής αντλίας που είναι τοποθετημένη στο εσωτερικό της δεξαμενής.
- Ένας αισθητήρας υπερήχων, που έχει τοποθετηθεί σε σημείο της κατασκευής ακριβώς πάνω από τη θέση που βρίσκεται ακινητοποιημένο το δοχείο, μετρά τη στάθμη του υγρού της φιάλης έτσι ώστε να διακοπεί η μεταφορά του υγρού από τη δεξαμενή σε αυτήν στο επιθυμητό επίπεδο και να αποφευχθεί τυχόν ανεπιθύμητη υπερχειλίση.
- Παράλληλα, ένας δεύτερος αντίστοιχος αισθητήρας, που βρίσκεται στο άνω τοίχωμα της δεξαμενής, μετρά τη στάθμη της έτσι ώστε να γίνεται έλεγχος

ανά πάσα στιγμή κατά πόσο η δεξαμενή δύναται να τροφοδοτήσει με υγρό το σύστημα.

- Μόλις πραγματοποιηθεί η πλήρωση του δοχείου, αυτό μεταφέρεται μέσω της μεταφορικής ταινίας στο σημείο αποθήκευσης και παραλαβής που βρίσκεται στην έξοδο του συστήματος.
- Όλα τα τμήματα της παραπάνω διαδικασίας ελέγχονται από μία πλακέτα Arduino η οποία είναι συνδεδεμένη με έναν Ηλεκτρονικό Υπολογιστή στον οποίο αποτυπώνεται η πορεία της διαδικασίας, το επίπεδο της παραγωγής, η κατάσταση του συστήματος και κυρίως γίνεται ο γενικότερος έλεγχος.

Το σύστημα αυτό μπορεί να υπηρετήσει μία σύγχρονη παραγωγική διαδικασία εμφιάλωσης χωρίς την ανθρώπινη παρουσία στο χώρο της παραγωγής.

Κατά τη διάρκεια της υλοποίησης του συστήματος, σε όλες τις φάσεις κατασκευής διαπιστώθηκε η ύπαρξη πολλών τεχνικών επιλογών με ευρύτατο φάσμα τεχνολογικών ή οικονομικών λύσεων. Είναι εντυπωσιακό το πόσο οι αρχικές αποφάσεις επηρεάζουν τις μετέπειτα τεχνικές επιλογές και λύσεις κατά την πορεία υλοποίησης. Κάθε επιλογή ορίζει αυτόματα μία διαδικασία που πρέπει να ακολουθηθεί με άλλες απαιτήσεις μηχανολογικές, ηλεκτρονικές, ηλεκτρολογικές, λογισμικού και τέλος οικονομικές, επηρεάζοντας την ποιότητα και το κόστος της κατασκευής.

Η δαιδαλώδης δυνατότητα εναλλακτικών προοπτικών καταδεικνύει ότι το αντικείμενο που έχει επιλεγεί είναι ένα τεχνολογικό πεδίο προς έρευνα και αναζήτηση με πολλές κατασκευαστικές δυνατότητες αλλά και μεγάλο φάσμα εφαρμογών.

Η τρέχουσα πρόταση διατυπώνεται έτσι ώστε οι προδιαγραφές, οι προϋποθέσεις και οι απαιτήσεις να διαμορφώνουν συνθήκες πραγματικής εφαρμογής.

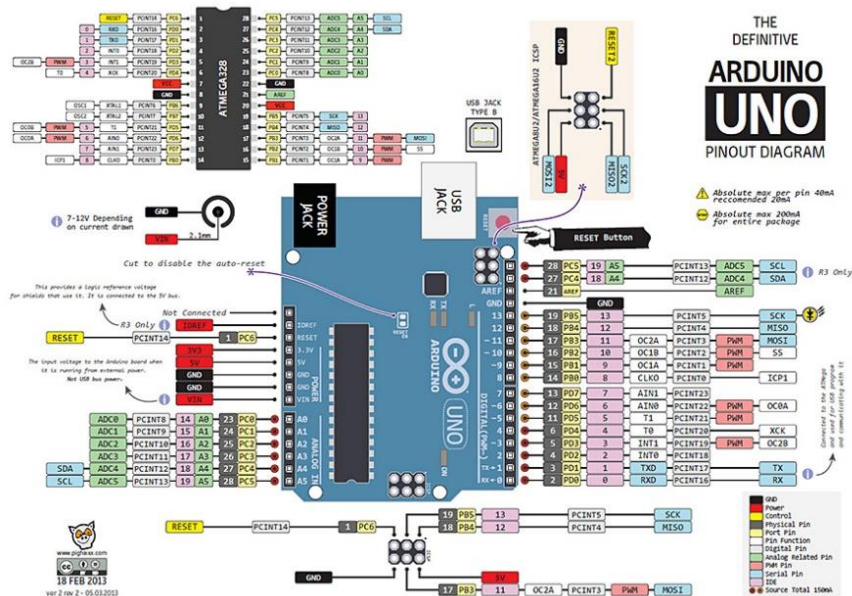
3.1.2. Λεπτομερής Περιγραφή Συνιστωσών

3.1.2.1. Arduino Uno

Στην παρούσα διπλωματική, λαμβάνοντας υπόψη τις ανάγκες της υλοποίησης του μοντέλου καθώς επίσης και τα οικονομικά κριτήρια που προκύπτουν, επιλέχτηκε η χρήση της πλακέτας Arduino Uno. Το Arduino Uno είναι μία πλακέτα μικροελεγκτή με βάση τον ATmega328. Διαθέτει 14 ψηφιακές ακίδες εισόδου / εξόδου (εκ των οποίων 6 είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν ως έξοδοι PWM), 6 αναλογικές εισόδους, ένα κεραμικό αντηχείο 16 MHz, μια σύνδεση USB για σύνδεση Η/Υ, υποδοχή τροφοδοσίας, μια κεφαλίδα ICSP, και ένα κουμπί reset. Περιέχει όλα όσα

χρειάζονται για τη στήριξη του μικροελεγκτή, αρκεί να γίνει η κατάλληλη σύνδεση τροφοδοσίας. Για να λειτουργήσει η πλακέτα, θα πρέπει να τροφοδοτηθεί με ρεύμα με έναν από τους ακόλουθους τρόπους:

1. Να συνδεθεί σε έναν υπολογιστή με καλώδιο USB
2. Να συνδεθεί σε ρεύμα με έναν μετατροπέα AC-to-DC ή
3. Να τροφοδοτηθεί από μία μπαταρία.



Εικόνα 29 Arduino UNO

3.1.2.1.1. Χαρακτηριστικά του Arduino Uno:

Μικροελεγκτής	ATmega328
Τάση λειτουργίας	5V
Τάση εισόδου (συνιστάται)	7-12V
Τάση εισόδου (όρια)	6-20V
Digital I / O Pins	14 (εκ των οποίων 6 παρέχει έξοδο PWM)
Αναλογικά Pins εισόδου	6
Συνεχές ρεύμα ανά I / O Pin	40 mA
DC ρεύμα για 3.3V Pin	50 mA

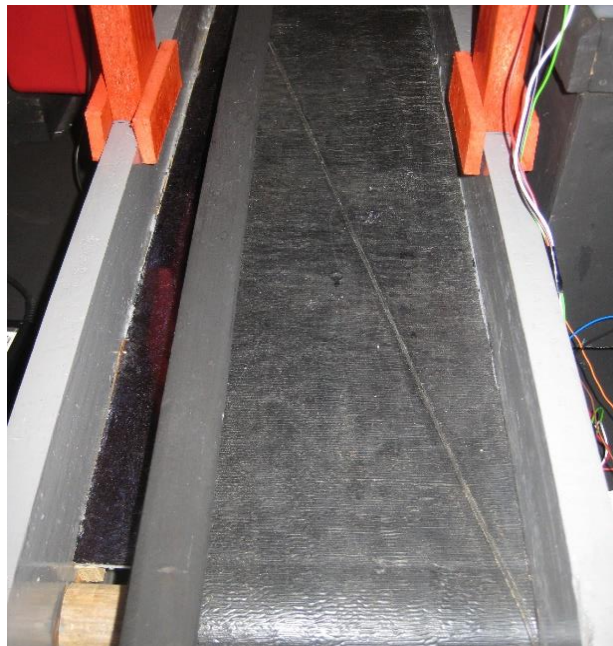
Flash Memory	32 KB (ATmega328) εκ των οποίων 0,5 KB χρησιμοποιούνται από bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Ταχύτητα ρολογιού	16 MHz

3.1.2.2. Έλεγχος του Arduino και Γραφικό Περιβάλλον

Ο έλεγχος της πλακέτας Arduino γίνεται εικονικά σε ένα γραφικό περιβάλλον που κατασκευάστηκε ειδικά για το σκοπό αυτό (tailor made) μέσω της βιβλιοθήκης Qt Gui. Πιο συγκεκριμένα η βιβλιοθήκη αυτή περιέχει όλο το απαραίτητο λογισμικό για τη δημιουργία γραφικών για σειριακές συνδέσεις. Έτσι ο υπολογιστής μπορεί μέσω της σειριακής θύρας USB να δέχεται και να στέλνει πληροφορίες σχετικά με τα διάφορα τμήματα του συστήματός μας που ελέγχονται από την πλακέτα Arduino (αισθητήρες, αντλία, κινητήρας κ.λ.π), να τα επεξεργάζεται και να τα αποτυπώνει γραφικά.

3.1.2.3. Ο Ταινιόδρομος

Βασικό δομικό στοιχείο του υλοποιούμενου μοντέλου αποτελεί η μεταφορική ταινία ή αλλιώς ταινιόδρομος.



Εικόνα 30 Ο Ταινιόδρομος

3.1.2.3.1. Δομικά στοιχεία του ταινιοδρόμου

Ο ταινιοδρόμος που κατασκευάστηκε αποτελείται από τα εξής τμήματα:

- **Ένα ξύλινο πλαίσιο:**

Κατασκευάστηκε ένα παραλληλόγραμμο ξύλινο πλαίσιο, το οποίο αφενός συγκρατεί την κατασκευή, αφετέρου αποτελεί τη βάση για τη στήριξη όλων των άλλων δομικών στοιχείων του μοντέλου. Το πλαίσιο αυτό αποτελείται από δύο τμήματα: α) τη μεταφορική ταινία (ταινιοδρόμο) και β) την έξοδο του συστήματος όπου και καταλήγουν τα δοχεία που έχουν ολοκληρώσει την παραγωγική διαδικασία της πλήρωσής τους και είναι έτοιμα είτε προς διάθεση, είτε προς μεταφορά σε επόμενο στάδιο της διαδικασίας εμφιάλωσης. Σε ότι αφορά το τμήμα του ταινιοδρόμου, στο πλαίσιο έχουν προσαρμοστεί σε ειδικά διαμορφωμένες εσοχές οι άξονες των τυμπάνων με τα αντίστοιχα ρουλεμάν τους. Πραγματοποιήθηκε η απαιτούμενη τάνυση του ιμάντα με τη βοήθεια κοχλίας, ενώ κατά μήκος του έχει τοποθετηθεί ένα κομμάτι πλεξιγκλάς (plexiglass) για τη συγκράτηση της μεταφορικής ταινίας και την αποτροπή φαινομένων ολίσθησής της ή διαφυγής, εδάφια τα οποία θα αναλυθούν παρακάτω. Σε ότι αφορά την έξοδο του συστήματος, η οποία βρίσκεται στο πέρας του ταινιοδρόμου, έχουν τοποθετηθεί ράουλα (κατάλληλοι κινούμενοι κύλινδροι) σε κοντινή απόσταση μεταξύ τους, έτσι ώστε να γίνεται μεταφορά των δοχείων προς την έξοδο χωρίς την παρουσία μεταφορικής ταινίας ή ηλεκτρικού μέσου κίνησης και έτσι να δημιουργείται χώρος διέλευσης επόμενων δοχείων.

- **Δύο τύμπανα κίνησης:**

Ο ταινιοδρόμος διαθέτει δύο τύμπανα: α) το κινητήριο τύμπανο και το οπίσθιο τύμπανο (ουρά). Τα τύμπανα αυτά κατασκευάστηκαν από δύο ξύλινους κυλίνδρους και δύο μεταλικούς άξονες προσαρμοσμένους στο κέντρο και κατά μήκος των κυλίνδρων αυτών. Στην εξωτερική επιφάνειά τους έγινε κατάλληλη επεξεργασία του ξύλου με σκοπό να δημιουργηθεί μία τραχιά επιφάνεια έτσι ώστε να δημιουργείται τριβή μεταξύ των τυμπάνων και του ιμάντα κατά την κίνηση του ταινιοδρόμου και να αποφεύγεται έτσι ολίσθηση μεταξύ των δύο υλικών.

- **Ιμάντας:**

Ο ιμάντας που επιλέχθηκε για την υλοποίηση του συγκεκριμένου μοντέλου είναι ένας επίπεδος πεπλατισμένος ιμάντας. Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε τμήμα – και ειδικότερα η άνω στρώση ιμάντα με υφασμάτινη εσωτερική επένδυση – ιμάντα που χρησιμοποιείται στα ορυχεία λιγνίτη, αφού πρώτα υπέστη ειδική επεξεργασία προκειμένου να ελαττωθεί το πάχος του και να αποκτήσει την

επιθυμητή ελαστικότητα. Λαμβάνοντας υπόψη το μέγεθος της κατασκευής, χρησιμοποιήθηκε ιμάντας διαστάσεων 150x15 cm (μήκος x πλάτος), η ένωση του οποίου πραγματοποιήθηκε με κόλληση. Σημειώνεται ότι γενικότερα, για τις κολλήσεις ιμάντων χρησιμοποιείται η μέθοδος βουλκανισμού.

- **Εφτά Ράουλα:**

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω το πλαίσιο του συστήματος αποτελείται από δύο μέρη: τον ταινιόδρομο και την έξοδο του συστήματος. Στην έξοδο του συστήματος, μετά το πέρας της μεταφορικής ταινίας, έχουν τοποθετηθεί έξι διαδοχικοί κύλινδροι (ράουλα), οι οποίοι τοποθετήθηκαν σε ειδικές εσωχές στα πλαϊνά του πλαισίου, επιτυγχάνοντας έτσι την ελεύθερη περιστροφική κίνησή τους. Έτσι, όταν μία φιάλη ολοκληρώσει το στάδιο της πλήρωσής της, αυτή μεταφέρεται στην έξοδο του συστήματος. Η ύπαρξη των ραούλων στο τμήμα αυτό είναι διπλή. Αφενός λειτουργούν ως στηρίγματα και συγκρατούν τη φιάλη, αφετέρου, η ελεύθερη περιστροφή τους μεταφέρει το κινούμενο δοχείο από το ένα ράουλο στο επόμενο μέχρι τον τελικό του προορισμό όπου και θα γίνει η περισυλλογή του.



Εικόνα 31 Ράουλα στην έξοδο του συστήματος

- **Τέσσερα ρουλεμάν:**

Τα ρουλεμάν είναι γνωστά στη μηχανολογία ως έδρανα. Έδρανα υπάρχουν δύο ειδών, τα έδρανα ολίσθησης και τα έδρανα κύλισης. Τα έδρανα εν γένει χρησιμεύουν σαν «υποδοχείς» των αξόνων και των ατράκτων και λιπαίνονται για να διατηρούνται όσο το δυνατόν πιο χαμηλά οι απώλειες τριβών και οι θερμοκρασίες. Για τα ρουλεμάν, αυτό που παίζει ρόλο είναι η τριβή κύλισης καθώς και η τριβή κυλινδραρίσματος. Η τριβή κύλισης εμφανίζεται όταν δύο ελαστικά σώματα κυλίσουν το



Εικόνα 32 Ρουλεμάν

ένα πάνω στο άλλο. Δια μέσου της ελαστικής παραμόρφωσης δημιουργείται από το θεωρητικό σημείο επαφής ή τη γραμμή επαφής μια επιφανειακή επαφή, η οποία μάλιστα στην ελεύθερη κύλιση δύο σωμάτων μεταξύ τροχιών οδήγησης δίνει ένα ποσοστό ολίσθησης. Η τριβή κύλισης εμφανίζεται όταν δύο σώματα κυλίσουν το ένα επί του άλλου, όπου υφίστανται εν μέρει και κύλιση και ολίσθηση σύμφωνα με τους βασικούς νόμους της μηχανικής. Τα ρουλεμάν με σφαιρίδια, με κυλινδρίσκους και με βελόνες λέγονται κυλινδροτριβείς. Στην παρούσα εφαρμογή χρησιμοποιήθηκαν τέτοια ρουλεμάν. Οι κυλινδροτριβείς αποτελούνται από τους κυλιόμενους δακτύλιους ή τους κυλιόμενους δίσκους, τα σώματα κύλισης - τα οποία μπορούν να είναι σφαιρικά, κυλινδρικά, κωνοειδή ή βαρελοειδή και συνήθως μάλιστα να καλύπτονται από έναν κλωβό. Ο κλωβός εμποδίζει μια αμοιβαία επαφή των σωμάτων κύλισης.

Τα δακτυλιοειδή έδρανα έχουν έναν εσωτερικό κι έναν εξωτερικό δακτύλιο ανάμεσα στους οποίους περιστρέφονται τα σώματα κύλισης. Τα σώματα κύλισης και οι τροχιές κύλισης έχουν σκληρυνθεί, τροχισθεί και λειανθεί. Για την κατασκευή των κλωβών χρησιμοποιείται συνήθως χαλυβδολαμαρίνα και σπανιότερα ορείχαλκος, ελαφρύ μέταλλο ή συνθετική ύλη.

Τα τέσσερα ρουλεμάν τοποθετήθηκαν κατά ζεύγη στα άκρα των δύο τυμπάνων και συγκεκριμένα πάνω στους άξονές τους και σφηνώθηκαν σε ειδικές εσοχές στα πλαινά του πλαισίου της κατασκευής. Κατ' αυτόν τον τρόπο, τα τύμπανα έχουν τη δυνατότητα να περιστρέφονται ελεύθερα χωρίς να αναπτύσσονται μεγάλες τριβές όπως θα συνέβαινε σε αντίθετη περίπτωση κατά την άμεση επαφή τους με τα παϊνά του πλαισίου. Επίσης διευκολύνεται η περιστροφή τους καθώς και η ολική κίνηση του ιμάντα δεδομένου ότι τα ρουλεμάν απορροφούν τη φόρτιση του συστήματος.

- **Κομμάτι Πλεξιγκλάς για τη συγκράτηση του ιμάντα:**

Στο πρώτο τμήμα του πλαισίου της κατασκευής, στο τμήμα της μεταφορικής ταινίας δηλαδή, τοποθετήθηκε μεταξύ των δύο τυμπάνων κίνησης ένα κομμάτι

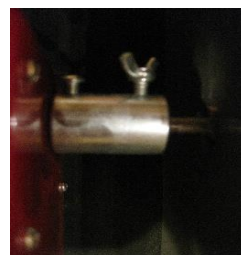
πλεξιγκλας, ως μέσο οριζοντίωσης, έτσι ώστε να συγκρατείται ο ιμάντας κατά τη φόρτισή του με βάρος από τη διέλευση των φιαλών και να παραμένει καθ'όλη τη διάρκεια της διαδικασίας επίπεδος. Το μέσο οριζοντίωσης προστατεύει τον ιμάντα από πλάγιες εκφυγές.

- **Έναν κινητήρα συνεχούς ρεύματος:**

Για να μπορέσει η μεταφορική ταινία που κατασκευάστηκε να αποκτήσει κίνηση, επιλέχθηκε ένας κινητήρας συνεχούς ρεύματος 12V. Πιο συγκεκριμένα λαμβάνοντας υπόψη τις ανάγκες της υλοποίησης του μοντέλου καθώς επίσης και τα οικονομικά κριτήρια που προκύπτουν επιλέχτηκε να χρησιμοποιηθεί ένα μοτέρ σούβλας δύο ταχυτήτων, ένα κινητήριο σύστημα το οποίο θα αναλυθεί παρακάτω.

- **Ζεύκτη (Coupler) για τη στήριξη του κινητήρα:**

Για να μπορέσει να γίνει η σύνδεση του κινητήρα με το κινητήριο τύμπανο, και συγκεκριμένα με τον άξονά του, χρησιμοποιήθηκε ένας ζεύκτης (coupler) ο οποίος από τη μία πλευρά του στηρίχθηκε στην έσοδο του κινητήρα και από την άλλη, με τη βοήθεια ενός κοχλίου προσαρμόστηκε και σταθεροποιήθηκε πάνω στον κινητήριο άξονα.



Εικόνα 33 Coupler

- **Βάση κινητήρα:**

Κατά τη σύνδεση του κινητήρα με το κινητήριο τύμπανο, που πραγματοποιήθηκε όπως αναφέρθηκε παραπάνω με τη βοήθεια του ζεύκτη, αυτός κατέληξε να αιωρείται στο εξωτερικό μέρος της κατασκευής με αποτέλεσμα να φορτίζεται περαιτέρω το κινητήριο σύστημα, τόσο από το σημαντικό βάρος του κινητήρα, όσο και από τυχόν μετατοπίσεις του κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του. Για να αποφευχθεί η επιπλέον φόρτιση αυτή, η οποία θα μπορούσε να δημιουργήσει προβλήματα στο σύστημα και κατά συνέπεια μεγάλη φθορά, κατασκευάστηκε μία ξύλινη βάση για τον κινητήρα έτσι ώστε να παραμένει σταθερός και το βάρος του να μετατοπίζεται φορτίζοντας τη βάση αυτή καθ' αυτή και όχι το σύστημα κίνησης του ταινιοδρόμου.



Εικόνα 34 Ο Κινητήρας με τη βάση του

3.1.2.3.2. Δυνάμεις στον ταινιόδρομο: Κινητήρια δύναμη και δύναμη τάνυσης

Η κινητήρια δύναμη στην ταινία αποτελεί και την πλέον καθοριστική για τον προσδιορισμό πολλών κατασκευαστικών παραμέτρων του μοντέλου και κυρίως για τη διαστασιολόγησή της. Άλλως λέγεται δύναμη αναδίπλωσης(F_u) στο κινητήριο τύμπανο της κατασκευής.

Ο τύπος που τη διέπει όπως προκύπτει από σχετικούς πίνακες είναι ο ακόλουθος:

$$F_u = C \cdot f \cdot L \cdot [L_A (G_{RO} + G_{RU}) + L_A (2G_B \cdot \cos\delta + L \cdot G_G \cdot \cos\delta)] + G_G \cdot H + F_{u \text{ zus}} \text{ [kp]}$$

Όπου

F_u	Συνισταμένη Δύναμη ή άλλως δύναμη αναδίπλωσης	0,224 kp or 2,197 N
$F_{u \text{ zus}}$	Επιπρόσθετη δύναμη που συνδέεται με ανηφορικό ή κατηφορικό ταινιόδρομο	$\emptyset$
C	Συντελεστής μήκους (diagram1)*	1,9
f	Τριβή ραούλων επιστροφής (table2)*	0,017
L_A	Απόσταση μεταξύ κέντρων τυμπάνων [m]	0,85
L	Συνολικό μήκος ταινιοδρόμου δηλ. Άνω τμήματος ή κάτω τμήματος αυτού	0,95

G_G	Βάρος του προς μεταφορά υλικού ανηγμένο ανά μέτρο ταινίας [kg/m] (table C.2)	0,96
G_{RO}	Βάρος των κινητηρίων ραούλων ανηγμένων ανά μέτρο ταινίας	0,75
G_{RU}	Βάρος των ραούλων επιστροφής ανηγμένων ανά μέτρο ταινίας	0,75
G_B	Βάρος ταινίας ανηγμένο ανά μέτρο ταινιοδρόμου	2,0
$\cos\delta$	Όπου δ η γωνία κλίσης (ανηφορικού ή κατηφορικού ταινιοδρόμου). Γενικά $=1$ όσον αφορά για $\delta \leq 20$, $\cos\delta \geq 0.94$ ενώ η μέγιστη αστάθεια παρουσιάζεται σε κλίση 6%	1
H	Υψομετρική διαφορά μεταξύ σημείων μεταφόρτωσης	$\emptyset$
L_{SP}	Διαδρομή ταινίας τάνυσης [m]	0,14

Η τιμή που προέκυψε, έλαβε υπόψη της την ελάχιστη μεταφερόμενη μάζα, δηλαδή ένα δοχείο προς πλήρωση. Για το λόγο αυτό, για την επιλογή του κινητήρα έπρεπε να ληφθεί υπόψη ελαφρά υπερδιαστασιολόγηση.

Μετά τον προσδιορισμό της δύναμης αναδίπλωσης F_u , θα πρέπει να προσδιοριστεί η δύναμη τάνυσης T_2 , ώστε τελικά να προκύψει η δύναμη προτάνυσης η οποία απαιτείται για να μεταφέρεται η δύναμη αναδίπλωσης F_u στο κάτω μέρος του κινητηρίου τυμπάνου. Για την περίπτωση του συγκεκριμένου τύπου ταινιοδρόμου του παρόντος μοντέλου, ο οποίος λειτουργεί ως μη κεκλιμένος, η δύναμη τάνυσης εμφανίζει την ελάχιστη τιμή της.

$$T_2 = F_{uA} * 1 / (e^{\mu\alpha} - 1)$$

Όπου:

T_2	Δύναμη τάνυσης	0,139 Nt
F_{uA}	$F_u * A$ όπου A συντελεστής εκκίνησης ($A=1,4$ με βάση τον τύπο του χρησιμοποιούμενου κινητήρα)	3,076
μ	Συντελεστής τριβής μεταξύ ταινίας και επιφάνειας τυμπάνου (table 8)	0,25

A	Τόξο μεταξύ ταινίας και κινητηρίου τυμπάνου $=\alpha$ μοιρες* $2\pi/360$	$A=180^\circ$
E	Βάση Νεπερίων λογαρίθμων	2,71828

Όπως αναφέρθηκε και στο θεωρητικό τμήμα της παρούσας εργασίας, η τάνυση του ιμάντα σε έναν ταινιόδρομο αποτελεί μία απαραίτητη διαδικασία για την εύρυθμη λειτουργία του και για την πραγματοποίησή της χρησιμοποιήθηκε κοχλίας, όπως προαναφέρθηκε.

3.1.2.4. Σύστημα Κίνησης

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, για την κίνηση του ταινιοδρόμου χρησιμοποιήθηκε ένας κινητήρας 12V συνεχούς ρεύματος. Πιο συγκεκριμένα επιλέχθηκε η χρήση ενός μοτέρ σουβλας 2 ταχυτήτων τύπου M3. Ο κινητήρας αυτός μπορεί να λειτουργήσει είτε ως κινητήρας εναλλασσόμενου ρεύματος τάσης 230V και συχνότητας 50Hz, είτε ως κινητήρας συνεχούς ρεύματος τάσης 12V όπως και χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εφαρμογή. Έχει ταχύτητα περιστροφής 10 στρ/1m και δύναμη περιστροφής 5.5Nm. Όπως αναπτύχθηκε λεπτομερώς και σε προηγούμενο κεφάλαιο, για να μπορέσει να γίνει η μετάδοση ισχύος του κινητηρίου μοτέρ στο σύστημα και να ελέγχεται η ταχύτητά του, απαραίτητη προϋπόθεση είναι η μείωση των στροφών του που συνδυάζεται με την αλλαγή του άξονα περιστροφής της μεταδιδόμενης κίνησης. Αυτή η μετάδοση της κίνησης γίνεται με κατάλληλα γρανάζια διαφόρων τύπων που είναι τοποθετημένα στο κινητήριο σύστημα, τα οποία ουσιαστικά λειτουργούν ως κιβώτιο ταχυτήτων. Τα γρανάζια αυτά, ως μηχανισμός αλλαγής στροφών, εξασφαλίζουν μεγάλη ασφάλεια λειτουργίας, ακριβή σχέση μετάδοσης, δυνατότητα υπερφόρτισης, μεγάλη διάρκεια ζωής και μεγάλο βαθμό απόδοσης.

Το κινητήριο σύστημα τροφοδοτείται με συνεχή τάση 12V μέσω ενός σταθεροποιημένου τροφοδοτικού ρυθμιζόμενης εξόδου πολυπάλκ (PWM) 1400mA το οποίο έχει συνδεθεί με ένα ρελέ, το οποίο λειτουργεί ως διακόπτης και ελέγχεται μέσω της πλακέτας Arduino. Έτσι με κατάλληλο προγραμματισμό που έχει γίνει στο Arduino, επιτρέπεται ή όχι η διέλευση ρεύματος από το τροφοδοτικό στον κινητήρα, ελέγχεται δηλαδή μέσω αυτού και κατ'επέκταση μέσω του ρελέ η κίνηση ή όχι του ταινιοδρόμου.

3.1.2.5. Η Δεξαμενή

Σε μία βιομηχανία εμφιάλωσης, κατά το στάδιο της πλήρωσης των φιαλών απαραίτητη προϋπόθεση είναι η ύπαρξη μίας δεξαμενής η οποία περιέχει αρχικά το προς μεταφορά υγρό. Η δεξαμενή αυτή μπορεί με κάποιον ειδικό μηχανισμό που διαθέτει να τροφοδοτεί με το εκάστοτε υγρό το δίκτυο. Στην παρούσα διπλωματική η δεξαμενή κατασκευάστηκε από ένα πλαστικό δοχείο και τοποθετήθηκε σε μία υπερυψωμένη βάση έτσι ώστε να δημιουργείται το κατάλληλο υψομετρικό μεταξύ σημείου άντλησης υγρού και σημείου ακινητοποίησης του προς πλήρωση δοχείου ώστε να επιτυγχάνεται/διευκολύνεται η διαδικασία πλήρωσης.



Εικόνα 35 Ηλεκτρική Αντλία 12V

Στο εσωτερικό της δεξαμενής σταθεροποιήθηκε μία ηλεκτρική αντλία 12V, τύπου 3M και ισχύος 4.2W, η οποία διαθέτει δύο άκρα. Από το ένα άκρο (αναρρόφηση) μπορεί να τραβάει νερό από τη δεξαμενή και από το άλλο άκρο (κατάθλιψη), στο οποίο προσαρμόστηκε ένας πλαστικός σωλήνας προέκτασης, να το διοχετεύει στο δίκτυο. Η αντλία με τη σειρά της συδέθηκε με ένα ρελέ, το οποίο παίζει το ρόλο του διακόπτη και το οποίο ελέγχεται από την πλακέτα Arduino. Έτσι με κατάλληλο προγραμματισμό που έχει γίνει στο μικροελεγκτή, το ρελέ επιτρέπει ή όχι τη λειτουργία της ηλεκτρικής αντλίας, ορίζει δηλαδή το πότε αυτή θα αντλεί υγρό από τη δεξαμενή για το ξεκίνημα και τον τερματισμό ου γεμίσματος των δοχείων.



Εικόνα 36 Η δεξαμενή

Η τροφοδοσία της αντλίας πραγματοποιήθηκε με ένα σταθεροποιημένο τροφοδοτικό ρυθμιζόμενης εξόδου πολυπάλ (PWM) 1000mA.

Ο σωλήνας προέκτασης από τη μεριά του, προσαρμόστηκε και σταθεροποιήθηκε σε ένα ειδικά διαμορφωμένο για το σκοπό αυτό πλαίσιο που έχει τοποθετηθεί στα πλαϊνά τοιχώματα του ταινιοδρόμου. Το πλαίσιο αυτό που οπτικά έχει τη μορφή ενός Π, υποστηρίζει τη συγκράτηση του πλαστικού σωλήνα της δεξαμενής σε σταθερό σημείο πάνω από τη μεταφορική ταινία, όπου και είναι προγραμματισμένη να γίνει η πλήρωση των φιαλών.

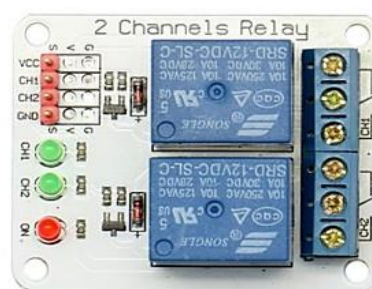


Εικόνα 37 Ο σωλήνας προέκτασης σταθεροποιήθηκε σε ένα ειδικά διαμορφωμένο πλαίσιο

3.1.2.6. Relay Module - 2 Channel



Εικόνα 38 Ρελέ 2 καναλιών

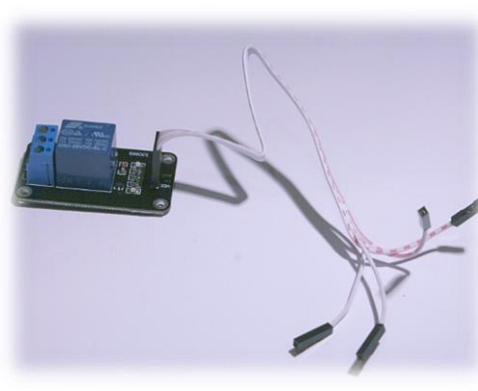
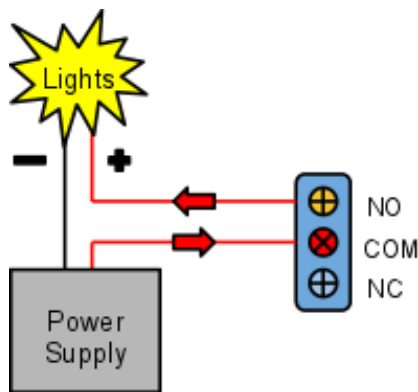


Εικόνα 39 Είσοδοι-Εξοδοι ρελέ 2 καναλιών

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, τόσο ο κινητήρας όσο και η αντλία τροφοδοτούνται μέσω εξωτερικών τροφοδοτικών ώστε να τεθούν σε λειτουργία. Για να μπορέσει να γίνει ο έλεγχος της λειτουργίας τους, συνδέονται πρώτα με ένα διπλό ρελέ το οποίο λειτουργεί ως διακόπτης. Το διπλό αυτό κανάλι συνδέεται από τη μία πλευρά με τα τροφοδοτικά και τα αντίστοιχα φορτία και δημιουργεί κύκλωμα μεταξύ τους και από την άλλη πλευρά με την πλακέτα Arduino από όπου και γίνεται ο αντίστοιχος έλεγχος της λειτουργίας του. Έτσι αν για παράδειγμα τεθεί από το Arduino η τιμή HIGH στο πρώτο κανάλι (R1) τότε ο διακόπτης του ρελέ κλείνει και έτσι τροφοδοτείται με ρεύμα ο κινητήρας, ενώ αν τεθεί η τιμή LOW τότε ο διακόπτης ανοίγει, έχουμε ανοιχτοκύκλωμα και διακόπτεται η παροχή ρεύματος στον κινητήρα. Αντίστοιχα λειτουργεί και το δεύτερο κανάλι (R2) που συνδέει την αντλία με το αντίστοιχο τροφοδοτικό της και το Arduino.

Χαρακτηριστικά:

- 5V SONGLE ρελέ 250V 10A
- Είσοδος αποτελεσματική σε χαμηλό επίπεδο
- Σήμα εισόδου
- Τροφοδοσία γείωσης (GND)
- Τροφοδοσία σήματος VCC
- IN1, IN2 γραμμή
- JD-VCC ρελέ παροχής ρεύματος



Εικόνα 40 Συνδεσμολογία τροφοδοτικό-ρελε-φορτίο Εικόνα 41 Συνδεσμολογία ρελέ με Arduino

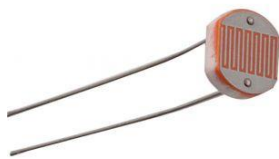
3.1.2.7. Αισθητήρες

Όπως αναπτύχθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο με τον όρο αισθητήρες περιγράφονται όλες εκείνες οι συσκευές που μετρούν μια φυσική ποσότητα και τη μετατρέπουν σε ηλεκτρικό -συνήθως- σήμα. Οι αισθητήρες χαρακτηρίζονται από κάποιες ιδιότητες ανάλογα με το φαινόμενο στο οποίο βασίζεται η λειτουργία τους, ιδιότητες οι οποίες καθορίζουν τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που εμφανίζουν αυτοί απέναντι στις υπόλοιπες αισθητήριες διατάξεις. Κάθε αισθητήρας δεν μπορεί συνήθως να συνδυάσει όλα τα χαρακτηριστικά σε ικανοποιητικά επίπεδα για το χρήστη. Για παράδειγμα, ένας αισθητήρας μπορεί να διαθέτει μεγάλη ακρίβεια και ευαισθησία, αλλά να έχει υψηλό κόστος. Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω, για την παρούσα διπλωματική έγινε μία επιλογή από αισθητήρες, τα χαρακτηριστικά των οποίων παρατίθενται παρακάτω.

3.1.2.7.1. Φωτοαντίσταση-Laser

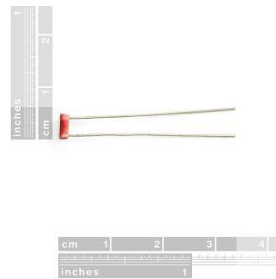
Α) Για τη Μετατόπιση χρησιμοποιήθηκε η εξής διάταξη:

Φωτοαντίσταση (Photo Resistor LDR 5mm)



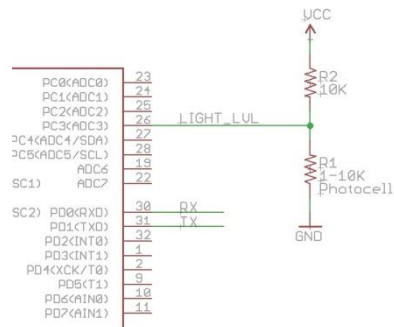
Εικόνα 42

εμπρός όψη φωτοαντίστασης



Εικόνα 43

πλάγια όψη φωτοαντίστασης



Εικόνα 44

κύκλωμα

Αυτός είναι ένας πολύ μικρός αισθητήρας φωτός (ονομάζεται επίσης φωτοανιχνευτής, φωτοαντίσταση, CdS ή φωτοαγωγίμο κύτταρο). Ένα φωτοκύτταρο αλλάζει αντίσταση ανάλογα με την ποσότητα του φωτός στην οποία είναι εκτεθειμένος. Αυτοί οι μικροί αισθητήρες ενεργοποιούνται από το έντονο φως του περιβάλλοντος (όταν το φως στο δωμάτιο ανάβει, εκτελεί λειτουργία).

Χαρακτηριστικά:

- Αντίσταση φωτός: 10k Ohm
- Αντίσταση σκοταδιού: 20k Ohm
- Μέγιστη τάση: 150V
- Μέγιστη ισχύς: 100 mW

Διαστάσεις:

- 2 x 4 x 5mm
- 4 χιλιοστά μεταξύ των άκρων
- 31 χιλιοστά μήκος αγωγού

Η φωτοαντίσταση αλλάζει την αντίστασή της με το φως, ώστε να παρέχεται η δυνατότητα μέτρησης της συγκεκριμένης αλλαγής, χρησιμοποιώντας μία από τις αναλογικές θήρες του Arduino. Αλλά για να υλοποιηθεί αυτό, απαιτείται

χρειαζόμαστε μια σταθερή αντίσταση έτσι ώστε να χρησιμοποιηθεί για τη σύγκριση (εδώ χρησιμοποιήθηκε αντίσταση 10K). Αυτό αποτελεί έναν διαιρέτη τάσης, ο οποίος ειδικότερα διαιρεί τα 5V μεταξύ της LDR και του αντιστάτη. Στη συνέχεια, μετράται η τάση στην LDR χρησιμοποιώντας το αναλογικό «διάβασε» του Arduino (analogRead) και προκύπτει η τιμή που ενδιαφέρει. Το ποσό των 5V που παίρνει το κάθε μέρος είναι ανάλογο με την αντοχή του.

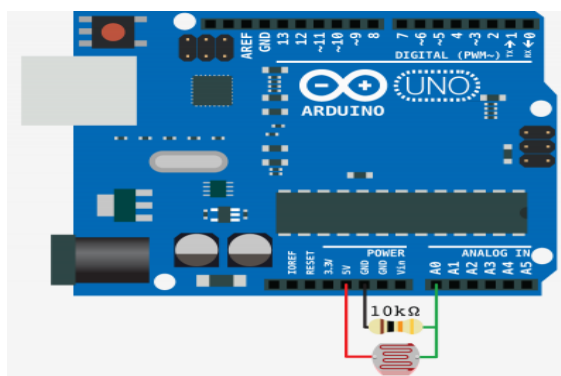
Με το analogRead του Arduino των 5V (το μέγιστό του) θα διαβάσει 1023, και των 0V θα διαβάσει 0.

Έτσι, αν η LDR και η αντίσταση έχουν την ίδια τιμή, η 5V χωρίζεται ομοιόμορφα δηλαδή 2.5V σε κάθε μέρος. (AnalogRead 512)

Αλλά αν η LDR δέχεται μία δέσμη μόνο φωτός και διαβάζει μόνο 1K αντίστασης, η αντίσταση 10K πρόκειται να απορροφήσει 10 φορές περισσότερη τάση από τα εν λόγω 5V. Έτσι, η LDR θα πάρει μόνο 0.45 V (analogRead 92).

Και αν βρίσκεται σε ένα σκοτεινό δωμάτιο, η LDR μπορεί να είναι 40K ως αντίσταση, έτσι η LDR θα απορροφήσει 4 φορές περισσότερη τάση από τα εν λόγω 5V από την αντίσταση 10K. Έτσι, η LDR θα πάρει 4V (analogRead 818).

Η συνδεσμολογία που χρησιμοποιήθηκε για τη σύνδεση με το arduino φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:

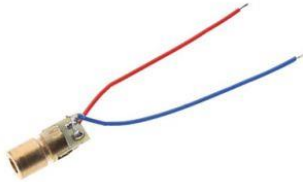


Εικόνα 45 Συνδεσμολογία φωτοαντίστασης με Arduino

Στην παρούσα διπλωματική ο συγκεκριμένος αισθητήρας χρησιμοποιήθηκε ως οπτικός αισθητήρας μετατόπισης. Οι οπτικοί αισθητήρες ή οπτοαισθητήρες αποτελούνται από μία πηγή και έναν ανιχνευτή φωτός. Ως πηγή φωτός χρησιμοποιήθηκε μία πηγή laser ενώ ως ανιχνευτής φωτός, η φωτοαντίσταση που αναλύθηκε παραπάνω. Το laser τοποθετήθηκε απέναντι από τη φωτοαντίσταση έτσι ώστε να μπορεί να εντοπίζεται η διέλευση κάποιου αντικειμένου το οποίο παρεμβάλλεται μεταξύ τους. Η διαδικασία με την οποία επιτυγχάνεται αυτό είναι η εξής: η πηγή φωτός εκπέμπει ορατό κόκκινο φως (ή και υπέρυθρο σε άλλες περιπτώσεις) το οποίο λαμβάνει ο ανιχνευτής που έχει τοποθετηθεί απέναντι. Αν

παρεμβληθεί κάποιο αντικείμενο, η λήψη της δέσμης φωτός διακόπτεται, επομένως και αλλάζει η τιμή του analogread του Arduino, και με τον τρόπο αυτό διαπιστώνεται η ύπαρξη του αντικειμένου.

Laser



Εικόνα 46 Κόκκινο Laser

Χαρακτηριστικά:

- 650nm
- 5mW
- 3-3.5V
- Red

3.1.2.7.2. Αισθητήρας Υπερήχων

Β) Για τη μέτρηση της Απόστασης (στάθμης υγρού) χρησιμοποιήθηκε η εξής διάταξη:

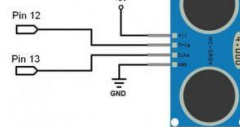
Αισθητήρας Υπερήχων - Ranging Detector 2 - 400cm



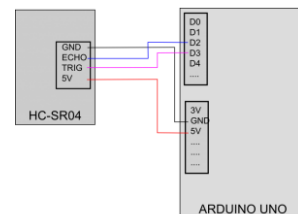
Εικόνα 47



Εικόνα 48



Εικόνα 49

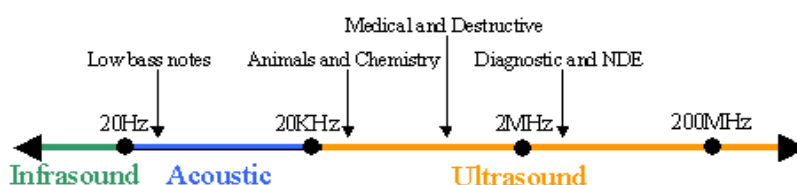


Εικόνα 50

άνω όψη αισθητήρα πλάγια όψη αισθητήρα pins του αισθητήρα συνδεσμολογία

Τι είναι υπέρηχος:

Ως υπέρηχος καθορίζεται εκείνο το κύμα του οποίου η συχνότητα είναι υψηλότερη από τη μέγιστη συχνότητα του φάσματος ανθρώπινης ακοής: Το ανθρώπινο αυτί έχει τη δυνατότητα να αντιλαμβάνεται ήχους με συχνότητες από 20Hz έως και 20kHz ενώ οι υπέρηχοι που αποστέλλει ο αισθητήρας είναι συχνότητας 40kHz

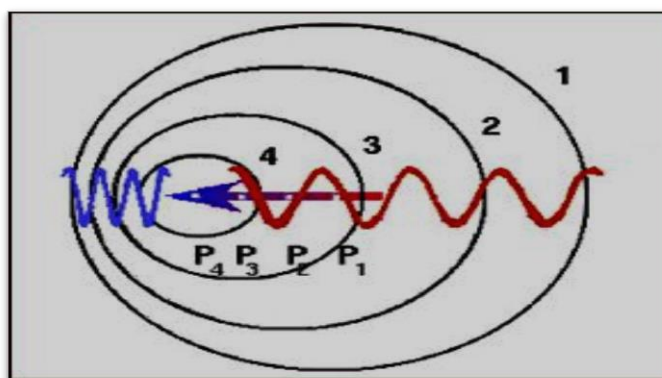


Εικόνα 51 Εύρος υπερύχων

Οι αισθητήρες υπερήχων (ultrasonic sensors) λειτουργούν βάσει του φαινομένου Doppler.



Εικόνα 52 Christian Doppler



Εικόνα 53 Σχηματική αναπαράσταση φαινομένου Doppler

Το φαινόμενο Ντόπλερ στηρίζεται στην παρατηρούμενη αλλαγή στη συχνότητα και το μήκος κύματος ενός κύματος από παρατηρητή που βρίσκεται σε σχετική κίνηση με την πηγή των κυμάτων.

Ο Αισθητήρας Υπερήχων:

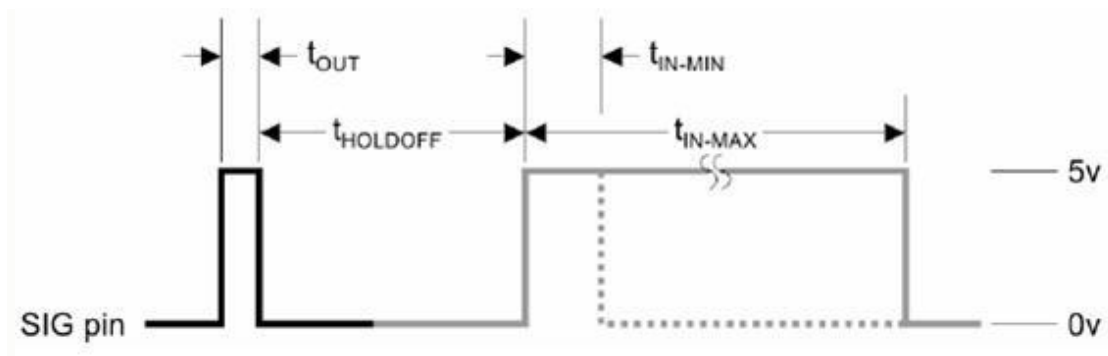
Οι αισθητήρες υπερήχων στην ίδια αρχή λειτουργίας των ραντάρ και των σόναρ. Εκτιμούν την απόσταση ενός στόχου λαμβάνοντας υπόψη τους την αντανάκλαση ενός ραδιοκύματος ή ενός ηχητικού σήματος πάνω στο στόχο. Δημιουργούν υψηλής συχνότητας κύματα και χρησιμοποιώντας το επιστρεφόμενο σήμα καθορίζουν την απόσταση ή ακόμα και την ταχύτητα του στόχου. Για να το επιτύχουν αυτό χρησιμοποιούν τον χρόνο που χρειάστηκε το σήμα για να καλύψει την απόσταση από τον αισθητήρα στο αντικείμενο και πίσω. Εφαρμογές τους εντοπίζονται σε ένα

μεγάλο εύρος τεχνολογιών από την μέτρηση της διεύθυνσης και της ταχύτητας του ανέμου έως και την απεικονιστική ιατρική.

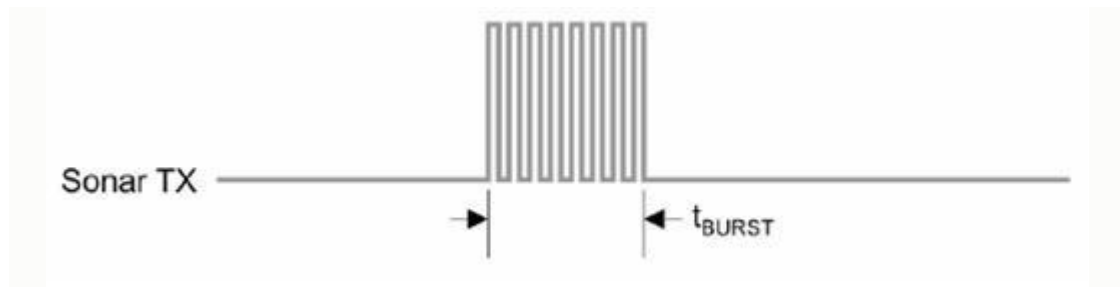
Ο συγκεκριμένος αισθητήρας που χρησιμοποιήθηκε στη διπλωματική, ο SR04, μπορεί να υπολογίσει απόσταση που κυμαίνεται από 2εκ. έως 400εκ. με ακρίβεια ενός εκατοστού. Πιο συγκεκριμένα η αρχή λειτουργίας του έχει ως εξής: από την πηγή του κύματος γίνεται αποστολή ενός υπερήχου στο χώρο. Όλα τα σώματα έχουν την ιδιότητα να αντανακλούν τους ήχους που προσπίπτουν πάνω τους. Έτσι αν υπάρχει κάποιο αντικείμενο, η ηχώ του υπερήχου που στάλθηκε, επιστρέφει προς τον αισθητήρα, γίνεται δε αισθητή μέσω ενός μικροφώνου.

Γνωρίζοντας το πόσο χρόνο διαρκεί η διαδρομή του υπερήχου, από την μετάδοσή του έως και την λήψη του από το μικρόφωνο, μπορεί κανείς να υπολογίσει πόση απόσταση διέσχισε ο υπέρηχος και διαιρώντας με το δύο επιστρέφεται η τιμή της απόστασης του αισθητήρα από το αντικείμενο. Όπως φαίνεται και στην εικόνα, ο αισθητήρας στέλνει έναν υπέρηχο. Ο ήχος αυτός μεταδίδεται στο χώρο και στα δεξιά προσπίπτει πάνω σε ένα κυλινδρικό αντικείμενο. Αυτό με τη σειρά του αντανακλά τον υπέρηχο προς όλες τις κατευθύνσεις αλλά και προς την κατεύθυνση του αισθητήρα ο οποίος, μέσω του ενσωματωμένου μικροφώνου τον αντιλαμβάνεται.

Βασική αρχή λειτουργίας ενός αισθητήρα υπερήχων είναι η ακόλουθη: Ένας παλμός υπερήχων μεταδίδεται σε χρόνο μηδέν (0), ο οποίος προσπίπτει και αντανακλάται από ένα αντικείμενο. Ο αισθητήρας λαμβάνει αυτό το σήμα και το μετατρέπει σε ηλεκτρικό (σήμα). Ο επόμενος παλμός μπορεί να μεταδοθεί αφού ο πρώτος παλμός χαθεί. Αυτό το χρονικό διάστημα ονομάζεται περίοδος του κύκλου. Η προτεινόμενη περίοδος ενός κύκλου δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 50 ms. Εάν ένας παλμός υπερήχων πλάτους 10μs αποσταλεί στη δίοδο σήματος (signal pin), η μονάδα υπερήχων θα αποστείλει οχτώ σήματα υπερήχων συχνότητας 40kHz και θα εντοπίσει την ηχώ που επιστρέφει. Η απόσταση που καταγράφεται είναι ανάλογη του πλάτους του κύματος που επιστρέφει στον αισθητήρα και υπολογίζεται όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Σε περίπτωση που ο παλμός που εκπέμπεται δεν συναντήσει εμπόδιο, το output pin θα εμφανίσει σήμα 38ms.



Εικόνα 54 Παλμός από τον μικροελεγκτή και Ηχώ Αισθητηρίου



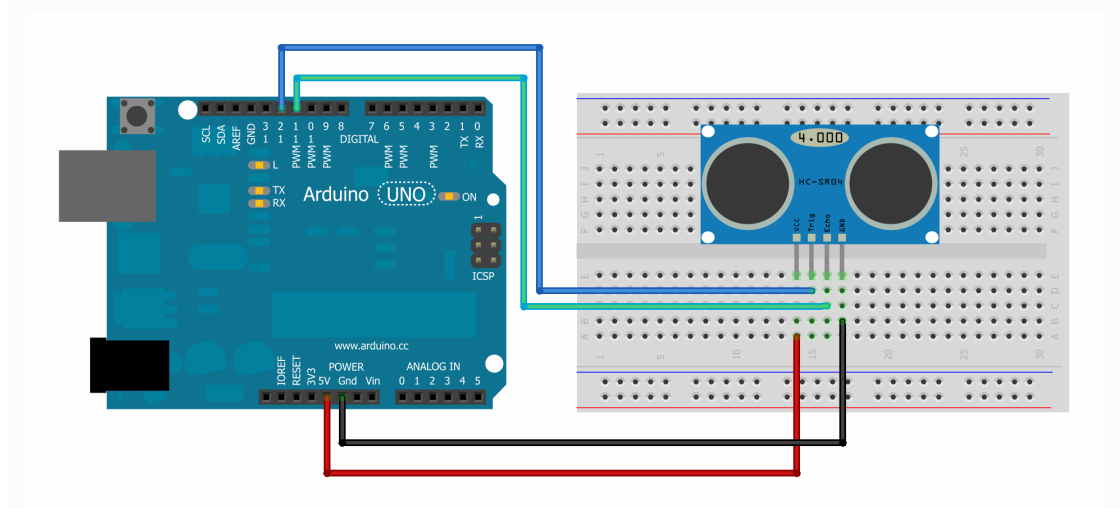
Εικόνα 55 Ριπές παλμών Εκπομπής

Ο αισθητήρας αποτελείται απο πομπό (Trigger) και δέκτη (Echo) υπερήχων καθώς και από ηλεκτρονικό κύκλωμα. Τα αξιώματα για την ορθή λειτουργία του είναι :

1. Χρησιμοποίηση παλμού ο οποίος να έχει τουλάχιστον 10 μ s διάρκεια.
2. Το εξάρτημα αυτόματα στέλνει 8 παλπούς συχνότητας 40kHz και ανιχνεύει αν υπάρχει παλμός που επέστρεψε.
3. Η απόσταση που λαμβάνεται υπόψιν, σχετίζεται άμεσα με το χρόνο που απαιτείται, για την αποστολή και λήψη του σήματος. Εξαρτάται βεβαίως απο την ταχύτητα του ήχου που ανέρχεται στα 340 m/s.

Η τάση λειτουργίας του εξαρτήματος είναι 5V και παρέχεται απο το μικροελεγκτή. Το ρεύμα λειτουργίας είναι 15mA και η συχνότητα λειτουργίας είναι 40 Hz. Η γωνία μέτρησης που επιτυγχάνει είναι οι 15 μοίρες. Οι διαστάσεις του εξαρτήματος είναι (45*20*15mm).

Η συνδεσμολογία που χρησιμοποιήθηκε για τη σύνδεση με τον Arduino φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



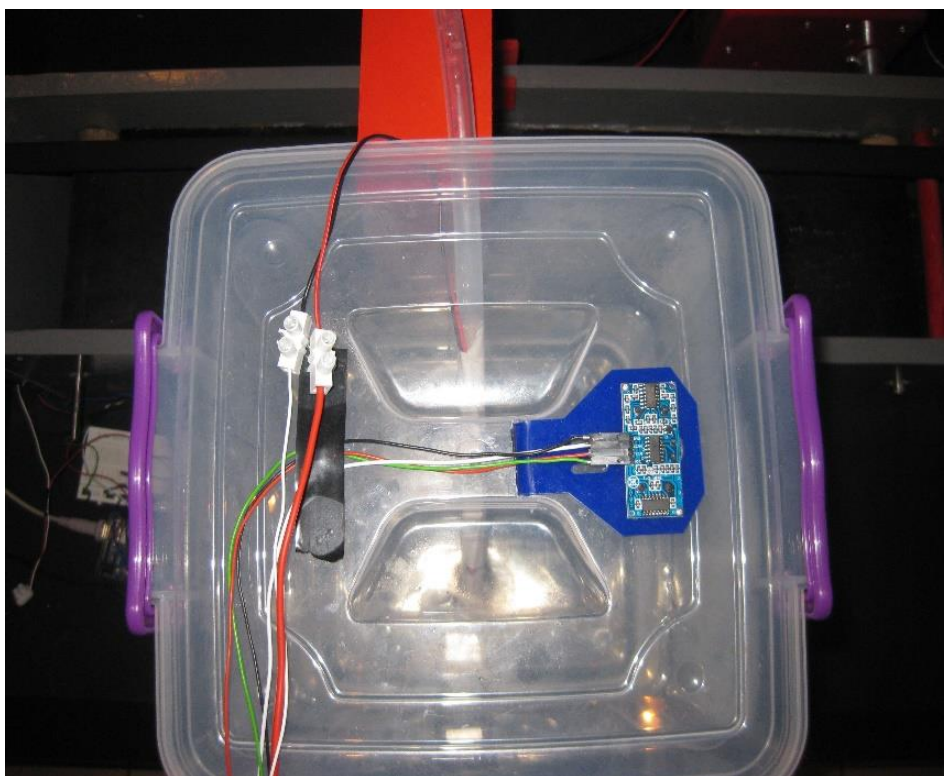
Εικόνα 56 Συνδεσμολογία με Arduino

Για τη συγκεκριμένη διπλωματική χρησιμοποιήθηκαν δύο τέτοιοι αισθητήρες υπερήχων. Ο πρώτος χρησιμοποιήθηκε για τη μέτρηση της στάθμης των δοχείων κατά τη διαδικασία του γεμίσματός τους και ο δεύτερος για τη μέτρηση της στάθμης της δεξαμενής που τροφοδοτεί με υγρό τα δοχεία.

Πιο συγκεκριμένα, ο πρώτος αισθητήρας τοποθετήθηκε σε μία βάση και σταθεροποιήθηκε στο πλαίσιο που βρίσκεται πάνω από το σημείο ακινητοποίησης του προς πλήρωση δοχείου. Ο ρόλος του είναι να μετρά τη στάθμη του υγρού του δοχείου που γεμίζει, έτσι ώστε να υφίσταται η δυνατότητα διάκρισης του χρόνου που απαιτήθηκε για την ολοκλήρωση της διαδικασίας πλήρωσής του οπότε να διακόπτεται η μεταφορά υγρού από τη δεξαμενή σε αυτό. Ο δεύτερος αισθητήρας από την άλλη τοποθετήθηκε σε μία αντίστοιχη βάση και σταθεροποιήθηκε στο άνω τοίχωμα της δεξαμενής. Ο ρόλος του είναι να μετρά τη στάθμη του υγρού της δεξαμενής έτσι ώστε να πληροφορεί ανά πάσα στιγμή για το περιεχόμενό της και να προβαίνει ο χρήστης σε τυχόν διαδικασία συμπλήρωσης υγρού σε αυτήν αν διαπιστωθεί ότι αυτό έχει ελαττωθεί σημαντικά και κινδυνεύει το σύστημα πλήρωσης.



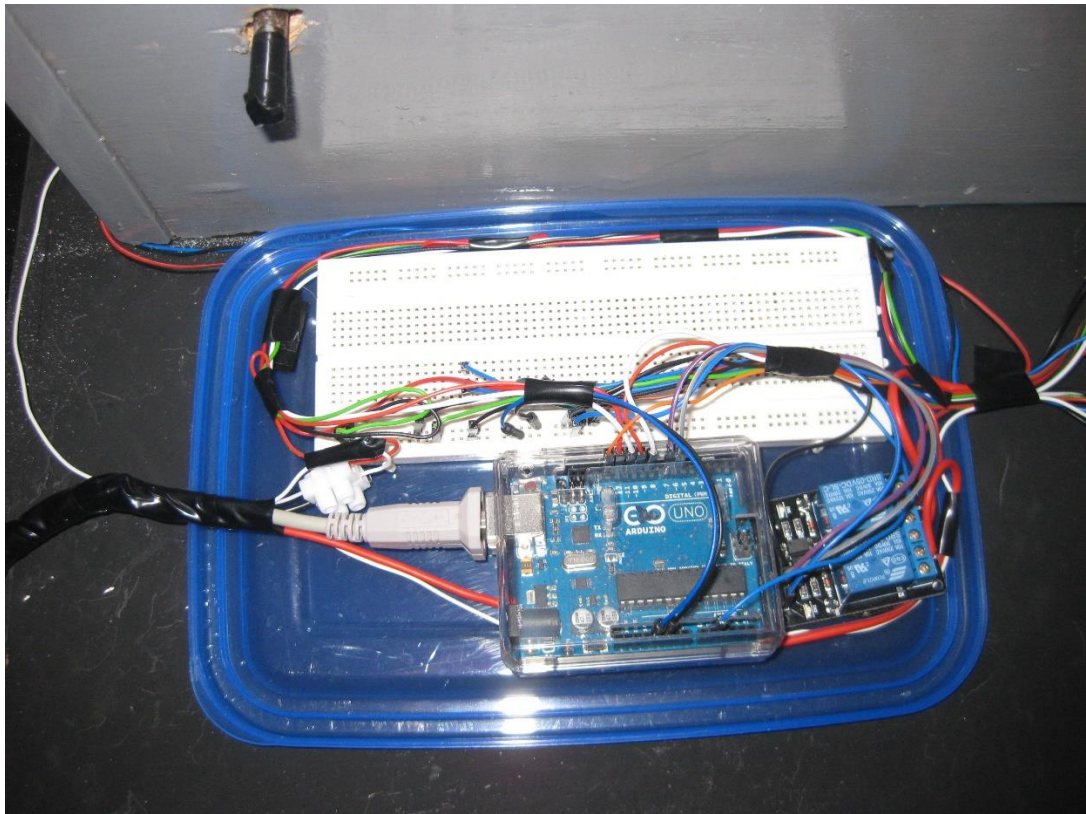
Εικόνα 57 Ο "cm1" μετρά τη στάθμη του δοχείου



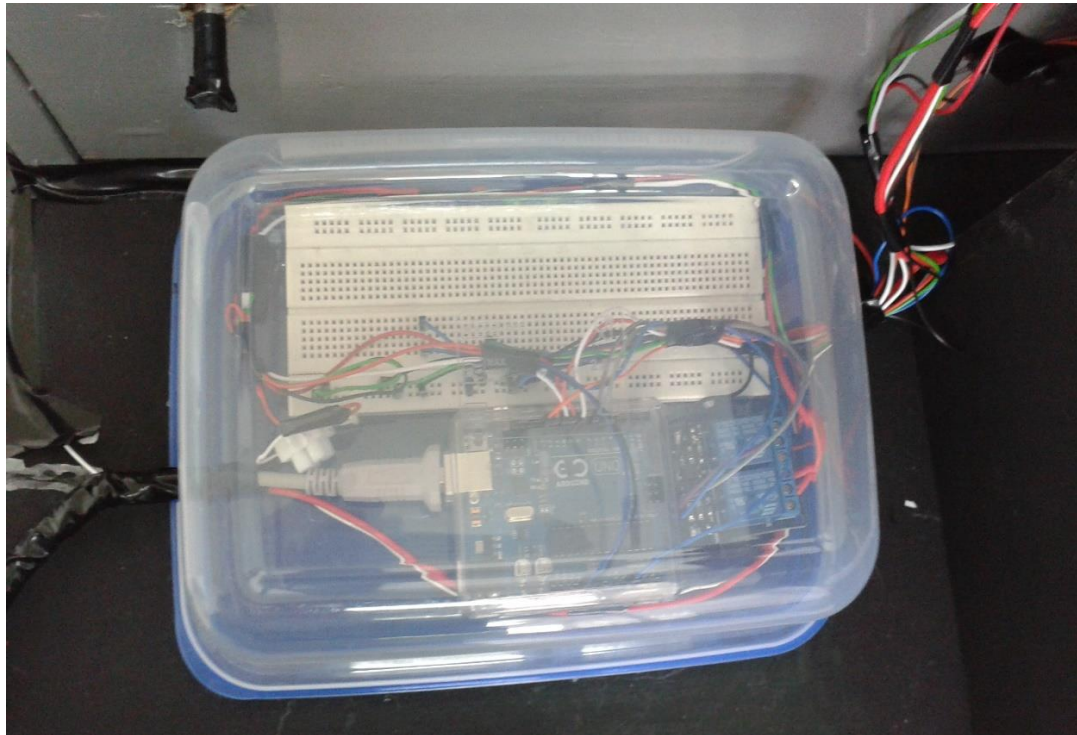
Εικόνα 58 Ο "cm2" μετρά τη στάθμη της δεξαμενής

3.2. Το κύκλωμα – Συνδεσμολογία

Η συνδεσμολογία των αισθητήρων και των άλλων ηλεκτρονικών στοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν για το κύκλωμα του συστήματος πραγματοποιήθηκε σε μία βάση breadboard. Το ολικό κύκλωμα επομένως αποτελείται από τους αισθητήρες, τα ηλεκτρονικά μέσα, ένα ρελέ δύο καναλιών, την πλακέτα Arduino UNO, ένα breadboard και τα καλώδια που τα συνδέουν μεταξύ τους. Η συνδεσμολογία του κάθε τμήματος ξεχωριστά έχει αναλυθεί παραπάνω. Το κύκλωμα τοποθετήθηκε σε μία βάση με αποσπώμενο κάλυμμα, το οποίο προστατεύει τα ηλεκτρονικά στοιχεία ώστε να μην είναι εκτεθειμένα και έχει τη δυνατότητα να αφαιρείται για τυχόν τροποποιήσεις ή διορθώσεις των συνδέσεων σε περίπτωση μη εύρυθμης λειτουργίας του συστήματος.



Εικόνα 59 Το κύκλωμα

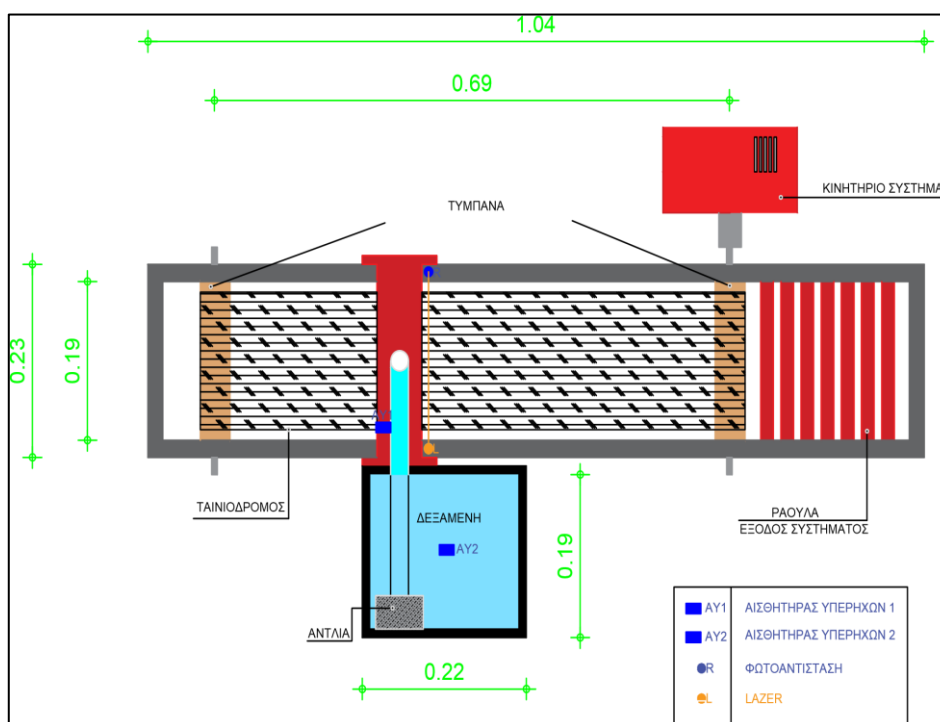


Εικόνα 60 Το κύκλωμα και η βάση του

4. Λειτουργία του Συστήματος

4.1. Λεπτομερής Περιγραφή

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενα κεφάλαια αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής είναι ο έλεγχος μέσω Ηλεκτρονικού Υπολογιστή ενός συστήματος προσομοίωσης μίας βιομηχανικής μονάδας παραγωγής εμφιάλωσης και συγκεκριμένα ο έλεγχος της παραγωγικής διαδικασίας της πλήρωσης των φιαλών.



Εικόνα 61 Κάτοψη του συστήματος σε AutoCad

Το σύστημα αυτό ελέγχεται από το χρήστη από ένα εικονικό περιβάλλον που έχει προγραμματιστεί κατάλληλα για το συγκεκριμένο σκοπό από όπου δίνεται η εντολή για την εκκίνηση καθώς και τον τερματισμό της διαδικασίας. Παράλληλα ελέγχεται η παραγωγή, τόσο σε ποσότητα, όσο και σε ποιότητα, ελέγχεται δηλαδή κατά πόσο έχει διεξαχθεί σύμφωνα με το σχεδιασμό παραγωγικής διαδικασίας (σε επιθυμητή ποσότητα) η πλήρωση της κάθε φιάλης και καταμετράται η συνολική παραγωγή. Τέλος παρουσιάζεται σε ποσοστιαία κλίμακα η στάθμη της δεξαμενής από όπου τροφοδοτείται με νερό το δίκτυο. Έτσι σε περίπτωση χαμηλής ποσότητας υγρού στη δεξαμενή, ο χρήστης ενημερώνεται έγκαιρα, με σχετικό μήνυμα που εμφανίζεται στην οθόνη του για το χαμηλό επίπεδο του περιεχομένου της δεξαμενής, έτσι ώστε

να πραγματοποιηθεί η σχετική διαδικασία αναπλήρωσης του υγρού σε αυτήν και να καθίσταται διαρκώς δυνατή η πλήρωση των δοχείων της σειράς παραγωγής.

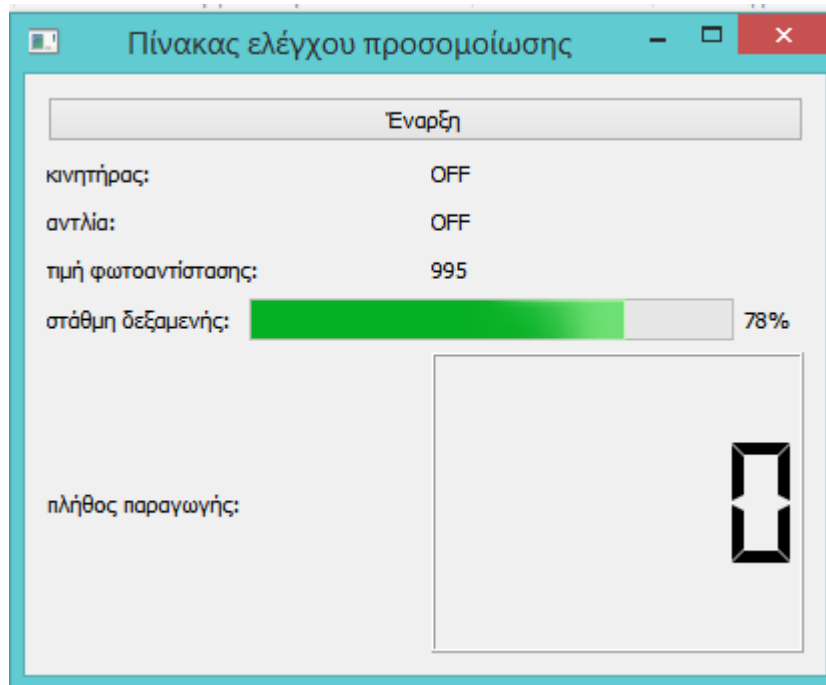
Καθ' όλη τη διάρκεια της λειτουργίας του συστήματος, ο χρήστης μπορεί να παρακολουθεί μέσω του προγράμματος που αναφέρθηκε παραπάνω σε τι φάση της διαδικασίας βρίσκεται η παραγωγή και να γίνεται ο αντίστοιχος έλεγχος.

4.2. Το Σύστημα

Το σύστημα που κατασκευάστηκε για τη συγκεκριμένη εφαρμογή, το οποίο θα αναλυθεί παρακάτω, ελέγχεται σε δύο επίπεδα. Σε πρώτη φάση το σύστημα ελέγχεται μέσω της πλακέτας Arduino η οποία έχει προγραμματιστεί κατάλληλα ώστε να συντονίζονται όλες οι λειτουργίες του. Ελέγχει τη λειτουργία των αισθητήρων, του κινητήρα και της αντλίας και ορίζει το χρόνο της έναρξης, της διάρκειας και της παύσης παροχής ρεύματος σε κάθε επιμέρους τμήμα. Σε δεύτερη φάση το σύστημα ελέγχεται εποπτικά μέσω του υπολογιστή σε ειδικά διαμορφωμένο γραφικό περιβάλλον, οικείο στο χρήστη. Στη φάση αυτή γίνεται ο κεντρικός έλεγχος του συστήματος και παρακολουθείται συνολικά η παραγωγική διαδικασία.

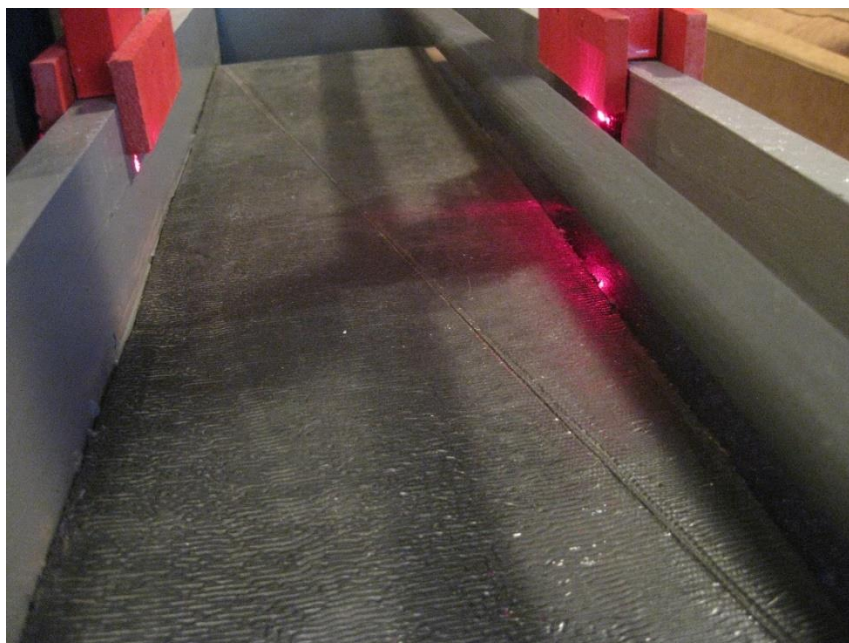
Παρακάτω παρατίθεται βήμα βήμα η λειτουργία του συστήματος:

Αρχικά συνδέεται το Arduino με το PC μέσω της σειριακής σύνδεσης USB και ενεργοποιούνται τα τροφοδοτικά που πρόκειται να τροφοδοτήσουν με ρεύμα την αντλία και το κινητήριο σύστημα. Στη συνέχεια φορτώνεται στη μνήμη του Arduino το πρόγραμμα που διαμορφώθηκε για την συγκεκριμένη περίπτωση (tailor made software) και περιέχει το σύνολο των εντολών που θα πραγματοποιήσει ώστε να λειτουργήσει σωστά το σύστημα. Από το PC επιλέγεται το εικονίδιο με την ονομασία "gui". Με την ενεργοποίησή του γίνεται μεταφορά στο περιβάλλον που ελέγχει κεντρικά την εφαρμογή.



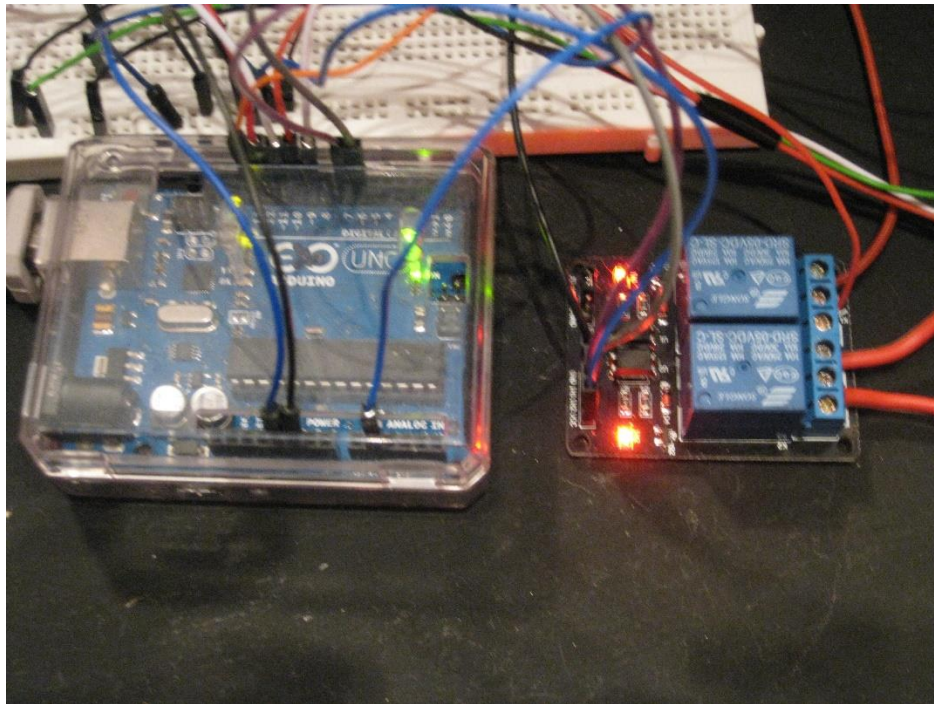
Εικόνα 62 Γραφικό περιβάλλον στην αρχική κατάσταση

Στην οθόνη του Υπολογιστή εμφανίζεται ένα πεδίο επιλογής “Έναρξη”. Το laser που βρίσκεται στο πλαίσιο του ταινιοδρόμου έχει τροφοδοτηθεί με 5V και η δέσμη του στοχεύει στη φωτοαντίσταση που είναι τοποθετημένη αντιδιαμετρικά στο απέναντι πλαϊνό της μεταφορικής ταινίας.



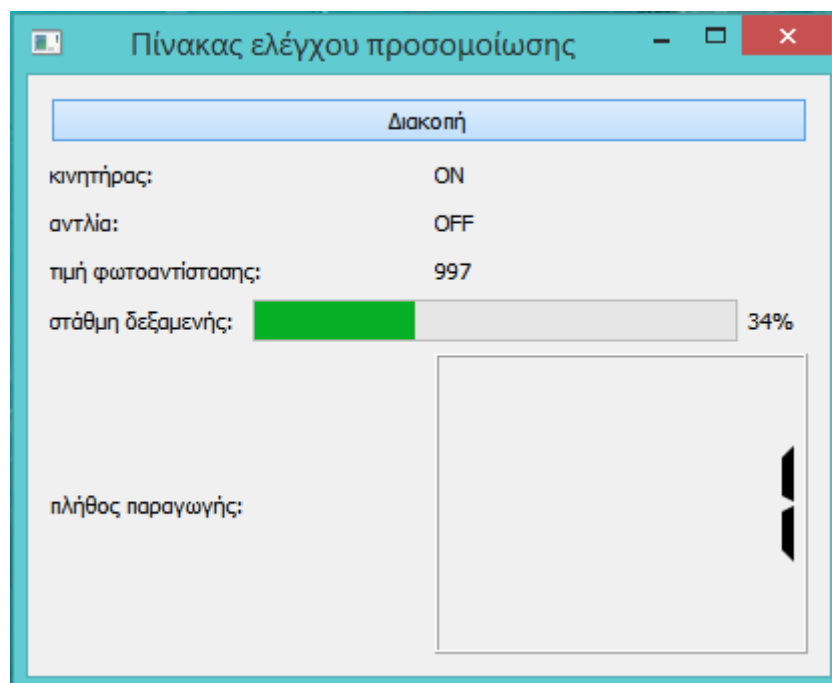
Εικόνα 63 Το laser έχει τροφοδοτηθεί με 5V και στοχεύει στη φωτοαντίσταση

Τα δύο ρελέ που ελέγχουν τον κινητήρα και την αντλία αντίστοιχα έχουν από ένα κόκκινο λαμπάκι αναμμένο που πληροφορούν το χρήστη ότι τόσο ο κινητήρας όσο και η αντλία είναι απενεργοποιημένα.



Εικόνα 64 Τα ρελέ του κινητήρα και της αντλίας μας ενημερώνουν ότι βρίσκονται εκτός λειτουργίας

Με το πάτημα του πεδίου έναρξης στην οθόνη, ο κινητήρας τροφοδοτείται με τάση 12V, το λαμπάκι του ρελέ του σβήνει και αυτός τίθεται σε λειτουργία.



Εικόνα 65 Γραφικό περιβάλλον κατά την έναρξη λειτουργίας του συστήματος

Ο χρήστης τοποθετεί ένα δοχείο πάνω στον ταινιόδρομο και αυτό κινείται μέσω της μεταφορικής ταινίας. Όταν το δοχείο διέρχεται από τη δέσμη του laser, αυτή διακόπτεται και η τιμή που διαβάζει η φωτοαντίσταση μεταβάλλεται αισθητά. Με τον τρόπο αυτό γίνεται αντιληπτή η διέλευση του δοχείου από το σημείο όπου είναι προγραμματισμένη να πραγματοποιηθεί η διαδικασία της πλήρωσής του. Ο κινητήρας απενεργοποιείται και στη συνέχεια τροφοδοτείται με ρεύμα η αντλία, η οποία τραβάει νερό από τη δεξαμενή και μέσω ενός πλαστικού σωλήνα που είναι συνδεδεμένος στην κατάθλιψη, μεταφέρει το νερό στο άλλο άκρο του σωλήνα το οποίο καταλήγει πάνω από το ακινητοποιημένο δοχείο σε μία σχετική απόσταση από αυτό.



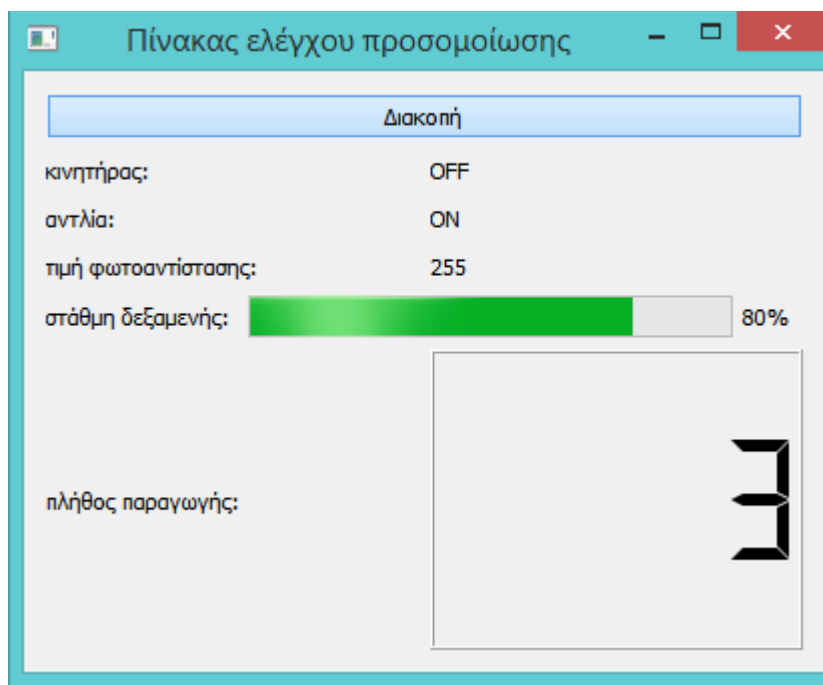
Εικόνα 66 Ένα δοχείο τοποθετείται πάνω στον ταινιόδρομο



Εικόνα 67 Το δοχείο ακινητοποιείται στο σημείο που είναι προγραμματισμένη να γίνει η πλήρωσή του



Εικόνα 68 Το δοχείο γεμίζει με νερό μέσω της δεξαμενής



Εικόνα 69 Η οθόνη του υπολογιστή κατά την πλήρωση του τρίτου δοχείου

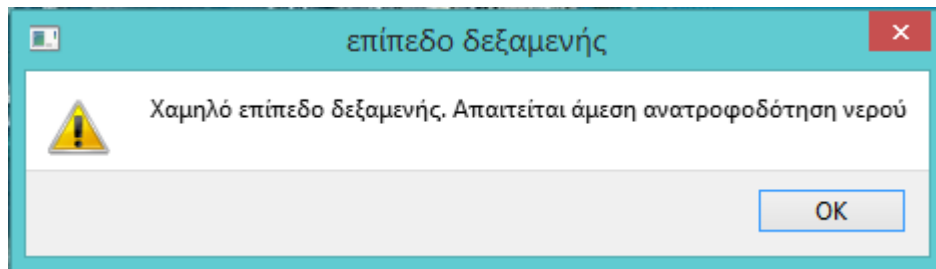
Παράλληλα ένας αισθητήρας υπερήχων “cm1” μετράει τη στάθμη του δοχείου και όταν αυτή φτάσει στο επιθυμητό επίπεδο δίνεται εντολή στην αντλία να σταματήσει. Η μεταφορά του υγρού από τη δεξαμενή στο δοχείο διακόπτεται και στη συνέχεια ο κινητήρας τίθεται ξανά σε λειτουργία.

Το δοχείο έχει ολοκληρώσει τη διαδικασία της πλήρωσης και μεταφέρεται στην έξοδο του συστήματος. Το σύστημα είναι έτοιμο να δεχτεί νέο δοχείο και να επαναλάβει τη διαδικασία.



Εικόνα 70 Το δοχείο μεταφέρεται στην έξοδο του συστήματος

Καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας που περιγράφηκε παραπάνω, ο χρήστης μπορεί να παρακολουθεί στην οθόνη του υπολογιστή το μοντέλο και τη λειτουργία του. Μπορεί να ελέγχει εποπτικά το στάδιο στο οποίο βρίσκεται η διαδικασία, δηλαδή τότε ο κινητήρας και η αντλία βρίσκονται σε λειτουργία και τότε όχι και τέλος τις τιμές της φωτοδιόδου έτσι ώστε να γνωρίζει τότε βρίσκεται δοχείο στο σημείο που είναι προγραμματισμένη να γίνει η διαδικασία πλήρωσης. Επίσης μπορεί να παρακολουθεί την παραγωγή, το πλήθος δηλαδή των δοχείων που έχουν τελέσει την πλήρωσή τους, το οποίο εμφανίζεται σε έναν μετρητή ο οποίος αυξάνει κατά 1 όταν ολοκληρωθεί το γέμισμα της εκάστοτε φιάλης. Τέλος, παρουσιάζεται σε μία μπάρα, το ποσοστό υγρού που βρίσκεται στη δεξαμενή. Ο αισθητήρας υπερήχων που βρίσκεται στο πάνω τοίχωμα της δεξαμενής "cm2" μετρά τη στάθμη της και οι μετρήσεις αυτές αποτυπώνονται γραφικά και εικονικά σε μία ποσοστιαία κλίμακα στην οθόνη. Σε περίπτωση ελάττωσης του περιεχομένου της σε ποσοστό μικρότερο του 10% της συνολικής χωρητικότητάς της, στην οθόνη του υπολογιστή εμφανίζεται σχετικό μήνυμα που ειδοποιεί το χρήστη για την ανάγκη επανατροφοδότησης της δεξαμενής με νερό.



Εικόνα 71 Ο χρήστης ενημερώνεται με σχετικό μήνυμα για το χαμηλό επίπεδο στάθμης της δεξαμενής

Κατά τη διάλκεια της λειτουργίας του συστήματος, στην οθόνη του υπολογιστή υπάρχει ένα πεδίο επιλογής "Διακοπή" το οποίο αν επιλεγεί θέτει ανά πάσα στιγμή το σύστημα εκτός λειτουργίας. Έτσι, η λειτουργία του συστήματος μπορεί να τερματιστεί από το χρήστη με το πάτημα ενός κουμπιού σε περίπτωση μη εύρυθμης λειτουργίας του ώστε να προβεί στις κατάλληλες διεργασίες αποκατάστασής του.

4.3. Λογισμικό (Software)

4.3.1. Λογισμικό Arduino

Για την ανάπτυξη του προγράμματος του μικροελεγκτή του ARDUINO αξιοποιήθηκε το ελεύθερο λογισμικό της εταιρείας. Ο χρήστης εφόσον έχει πρόσβαση στο επίσημο site του Arduino, έχει τη δυνατότητα να εξασφαλίσει την τελευταία έκδοση του Arduino IDE, για καθένα από τα τρία δημοφιλέστερα λειτουργικά συστήματα Windows, Mac OS X, Linux: 32 bit & 64 bit καθώς και τον source κώδικα αυτών των προγραμμάτων.

Ο κώδικας που αναπτύχθηκε είναι ο παρακάτω:

```
//Ορίζουμε με αριθμούς τα τμήματα του συστήματος που μας ενδιαφέρουν
για την επικοινωνία του Arduino με τον υπολογιστή
#define CMD_TANK 1
#define CMD_COUNT 2
#define CMD_LASER 3
#define CMD_MOTOR 4
#define CMD_PUMP 5

//Αρχικοποίηση μεταβλητών
int laser=13;
int val_photo;

int trigPin1 = 12;
int echoPin1 = 11;

int trigPin2 = 10;
int echoPin2 = 9;
```

```

int pump=7;
int motor=6;

int started = 0;

/*
  Αρχικοποίηση του συστήματος:
  κινητήρας, αντλία, laser απενεργοποιημένα
*/
void setup()
{
  //Ορισμός baud rate στα 9600
  Serial.begin(9600);

  //Ορισμός laser pin ως έξοδος
  pinMode( laser, OUTPUT );
  digitalWrite(laser, LOW);

  //Ορισμός των pin του αισθητήρα υπερήχων διαδρόμου
  pinMode(trigPin1, OUTPUT);
  pinMode(echoPin1, INPUT);

  //Ορισμός των pin του αισθητήρα υπερήχων δεξαμενής
  pinMode(trigPin2, OUTPUT);
  pinMode(echoPin2, INPUT);

  pinMode(pump, OUTPUT);
  pinMode(motor, OUTPUT);
  digitalWrite(motor, LOW);
  digitalWrite(pump, LOW);
}

//Κεντρική επανάληψη του προγράμματος
void loop()
{
  long duration1,duration2,duration;
  float cm1,cm2;

  digitalWrite(laser, HIGH);

  //Λήψη τιμών από τους εγκατεστημένους αισθητήρες
  val_photo=analogRead(A1);

  digitalWrite(trigPin2, LOW);
  delayMicroseconds(2);
  digitalWrite(trigPin2, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trigPin2, LOW);
  duration2 = pulseIn(echoPin2, HIGH);
  cm2 = microsecondsToCentimeters(duration2);
  delay(200);

  //Έναρξη-Διακοπή κινητήρα βάση εντολής που λαμβάνεται από τον
  υπολογιστή
  if (Serial.available()) {
    started = Serial.read();
    digitalWrite(motor, started ? HIGH : LOW);
  }

  //Αποστολή της τιμής της δεξαμενής μέσω της σειριακής θύρας
  Serial.print(CMD_TANK);

```

```

Serial.print(" ");
Serial.println(cm2);

//Αποστολή της τιμής της φωτοαντίστασης μέσω της σειριακής θύρας
Serial.print(CMD_LASER);
Serial.print(" ");
Serial.println(val_photo);

//Αποστολή της τιμής του κινητήρα μέσω της σειριακής θύρας
Serial.print(CMD_MOTOR);
Serial.print(" ");
Serial.println(started);

//Αν δεν έχει δοθεί εντολή έναρξης, παράβλεψη του υπόλοιπου
προγράμματος
if (!started) {
    return;
}

//Αν περάσει δοχείο μπροστά από το laser τότε απενεργοποιείται ο
κινητήρας και ενεργοποιείται η αντλία μέχρι να γεμίσει το δοχείο
if (val_photo<800)
{
    digitalWrite(motor, LOW);
    Serial.print(CMD_MOTOR);
    Serial.print(" ");
    Serial.println(0);

    delay(2000);

    digitalWrite(trigPin1, LOW);
    delayMicroseconds(2);
    digitalWrite(trigPin1, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(trigPin1, LOW);
    duration = pulseIn(echoPin1, HIGH);
    cm1 = microsecondsToCentimeters(duration);

    delay(100);
    while (cm1>16) {

        digitalWrite(pump, HIGH);

        //Αποστολή ON (1) για την τιμή της αντλίας μέσω της σειριακής
        θύρας
        Serial.print(CMD_PUMP);
        Serial.print(" ");
        Serial.println(1);

        //Λήψη τιμών από τους εγκατεστημένους αισθητήρες υπερήχων
        digitalWrite(trigPin1, LOW);
        delayMicroseconds(2);
        digitalWrite(trigPin1, HIGH);
        delayMicroseconds(10);
        digitalWrite(trigPin1, LOW);
        duration = pulseIn(echoPin1, HIGH);
        cm1 = microsecondsToCentimeters(duration);
        delay(200);

        digitalWrite(trigPin2, LOW);
        delayMicroseconds(2);

```

```

    digitalWrite(trigPin2, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(trigPin2, LOW);
    duration2 = pulseIn(echoPin2, HIGH);
    cm2 = microsecondsToCentimeters(duration2);
    delay(200);

    //Αποστολή της τιμής της στάθμης της δεξαμενής μέσω της
σειριακής θύρας
    Serial.print(CMD_TANK);
    Serial.print(" ");
    Serial.println(cm2);
}

//Αποστολή ON (1) για την τιμή της αντλίας μέσω της σειριακής
θύρας
    Serial.print(CMD_COUNT);
    Serial.print(" ");
    Serial.println(1);

    digitalWrite(pump, LOW);

//Αποστολή OFF (0) για την τιμή της αντλίας μέσω της σειριακής
θύρας
    Serial.print(CMD_PUMP);
    Serial.print(" ");
    Serial.println(0);

//Αναμονή 3 δευτερολέπτων ώστε να μεταφερθεί όλο το νερό του
σωλήνα μετάδοσης στο δοχείο
    delay(3000);

//Αποστολή της τιμής του κινητήρα μέσω της σειριακής θύρας
    digitalWrite(motor, started ? HIGH : LOW);
    Serial.print(CMD_MOTOR);
    Serial.print(" ");
    Serial.println(started);

//Αναμονή 7 δευτερολέπτων ώστε να φύγει το δοχείο από το οπτικό
πεδίο του laser
    delay(7000);
}
}

float microsecondsToCentimeters(long microseconds)
{
    return (microseconds*0.034029)/2;
}

```

4.3.2. Λογισμικό Γραφικού Περιβάλλοντος

main.cpp:

```

#include "widget.h"
#include <QApplication>

```

```

int main(int argc, char *argv[])
{
    QApplication a(argc, argv);
    Widget w;
    w.setWindowTitle("Πίνακας ελέγχου προσομοίωσης");
    w.show();

    return a.exec();
}

```

widget.h:

```

#ifndef WIDGET_H
#define WIDGET_H

#define CMD_TANK 1
#define CMD_COUNT 2
#define CMD_LASER 3
#define CMD_MOTOR 4
#define CMD_PUMP 5

#include <QtWidgets>
#include <QtGui>
#include <QtSerialPort>
#include <QProgressBar>

namespace Ui {
class Widget;
}

class Widget : public QWidget
{
    Q_OBJECT

public:
    explicit Widget(QWidget *parent = 0);
    ~Widget();

    void initSerialPort();

public slots:
    void transmit(bool value);
    void read();

private:
    Ui::Widget *ui;
    QVBoxLayout *main_layout;
    QPushButton *button;
    QProgressBar *bar;
    QLCDNumber *lcd;
    QLabel *motor;
    QLabel *pump;
    QLabel *photosensor;

    QSerialPort *serial;
};

#endif // WIDGET_H

```

widget.cpp:

```
#include "widget.h"
#include "ui_widget.h"

//Αρχικοποίηση πίνακα αποθήκευσης εντολών του arduino
QString *readBuf = new QString("");
//Αρχικοποίηση μεταβλητής που ενεργοποιεί/απενεργοποιεί τις
ειδοποιήσεις για τη στάθμη της δεξαμενής
bool pumpAlert = true;

//Συνάρτηση έναρξης
Widget::Widget(QWidget *parent) :
    QWidget(parent),
    ui(new Ui::Widget)
{
    //Αρχικοποίηση της σειριακής θύρας
    initSerialPort();

    //Δημιουργία κουμπιού Έναρξης/Διακοπής
    button = new QPushButton("Έναρξη", this);
    button->setCheckable(true);

    //Δημιουργία μπάρας ένδειξης δεξαμενής
    bar = new QProgressBar(this);
    bar->setOrientation( Qt::Horizontal);
    bar->setRange(0,100);
    QLabel *bar_label = new QLabel("στάθμη δεξαμενής: ");
    bar_label->setMaximumHeight(18);
    QHBoxLayout *bar_layout = new QHBoxLayout();
    bar_layout->addWidget(bar_label);
    bar_layout->addWidget(bar);

    //Δημιουργία μετρητή παραγωγής
    lcd = new QLCDNumber(this);
    lcd->setSegmentStyle(QLCDNumber::Flat);
    QLabel *lcd_label = new QLabel("πλήθος παραγωγής: ");
    lcd_label->setMaximumHeight(18);
    QHBoxLayout *lcd_layout = new QHBoxLayout();
    lcd_layout->addWidget(lcd_label);
    lcd_layout->addWidget(lcd);

    //Δημιουργία κειμένου ένδειξης κινητήρα
    motor = new QLabel("OFF");
    motor->setMaximumHeight(18);
    QLabel *motor_label = new QLabel("κινητήρας: ");
    motor_label->setMaximumHeight(18);
    QHBoxLayout *motor_layout = new QHBoxLayout();
    motor_layout->addWidget(motor_label);
    motor_layout->addWidget(motor);

    //Δημιουργία κειμένου ένδειξης αντλίας
    pump = new QLabel("OFF");
    pump->setMaximumHeight(18);
    QLabel *pump_label = new QLabel("αντλία: ");
    pump_label->setMaximumHeight(18);
    QHBoxLayout *pump_layout = new QHBoxLayout();
    pump_layout->addWidget(pump_label);
```

```

pump_layout->addWidget(pump);

//Δημιουργία κειμένου ένδειξης φωτοαντίστασης
photosensor = new QLabel("0");
photosensor->setMaximumHeight(18);
QLabel *photosensor_label = new QLabel("τιμή φωτοαντίστασης: ");
photosensor_label->setMaximumHeight(18);
QHBoxLayout *photosensor_layout = new QHBoxLayout();
photosensor_layout->addWidget(photosensor_label);
photosensor_layout->addWidget(photosensor);

//Προσθήκη των στοιχείων που δημιουργήθηκαν στο κεντρικό παράθυρο
του γραφικού
main_layout = new QVBoxLayout(this);
main_layout->addWidget(button);
main_layout->addLayout(motor_layout);
main_layout->addLayout(pump_layout);
main_layout->addLayout(photosensor_layout);
main_layout->addLayout(bar_layout);
main_layout->addLayout(lcd_layout);

this->setLayout(main_layout);

//Σύνδεση κουμπιού Έναρξης/Διακοπής με τη μέθοδο transmit
connect(button, SIGNAL(toggled(bool)), this,
SLOT(transmit(bool)));

//Σύνδεση εισερχόμενων δεδομένων από τη σειριακή θύρα με τη
μέθοδο read
connect(serial, SIGNAL(readyRead()), this, SLOT(read()));

ui->setupUi(this);
}

void Widget::initSerialPort()
{
    //Δημιουργία νέας σειριακής σύνδεσης
    serial = new QSerialPort(this);

    //Έλεγχος των διαθέσιμων σειριακών σειρών του υπολογιστή
    foreach (const QSerialPortInfo &info,
QSerialPortInfo::availablePorts()) {
        if (!info.portName().compare("Arduino Uno")) {
            //Εάν στη σειριακή θύρα δεν είναι συνδεδεμένο το Arduino,
δοκιμάζουμε τις επόμενες
            continue;
        }

        qDebug() << "Name      : " << info.portName();
        qDebug() << "Description : " << info.description();
        qDebug() << "Manufacturer: " << info.manufacturer();

        //Βρέθηκε θύρα με συνδεδεμένο Arduino
        serial->setPort(info);
        break;
    }

    //Άνοιγμα της θύρας.
    if (!serial->open(QIODevice::ReadWrite)) {
        //Εμφάνιση μηνύματος λάθος σε περίπτωση αποτυχίας

```

```

        QMessageBox::warning(this, "serial connection error", serial->errorString());
        return;
    }

    //Ορισμός παραμέτρων της θύρας
    serial->setBaudRate(9600);
    serial->setFlowControl(QSerialPort::NoFlowControl);
    serial->setParity(QSerialPort::NoParity);
    serial->setDataBits(QSerialPort::Data8);
    serial->setStopBits(QSerialPort::OneStop);
    serial->putChar(0);
}

//Συνάρτηση αποστολής δεδομένων στο Arduino (σύνδεση με κουμπί Έναρξης/Διακοπής)
void Widget::transmit(bool value)
{
    //Αλλάγή της ένδειξης του κουμπιού
    button->setText(value ? "Διακοπή" : "Έναρξη");

    if (!serial->isOpen()) {
        //Εάν η σειριακή θύρα δεν έχει ανοίξει επιτυχώς, παράκαμψη της εκτέλεσης αποστολής
        return;
    }

    qDebug() << "Sending      : " << value;

    //Αποστολή true/false (1: Έναξη, 0: Διακοπή)
    serial->putChar(value);
}

//Συνάρτηση λήψης δεδομένων από το Arduino
void Widget::read()
{
    //Λήψη όλων των διαθέσιμων δεδομένων
    QByteArray arr = serial->readAll();
    if (arr.isNull() || arr.isEmpty()) {
        //Εάν δεν υπάρχει τίποτα διαθέσιμο, παράκαμψη της υπόλοιπης συνάρτησης
        return;
    }

    //Χωρισμός δεδομένων σε γραμμές (εντολές)
    readBuf->append(arr.data());
    QStringList commands = readBuf->split("\r\n");
    if (readBuf->data()[readBuf->length() - 1] != '\n') {
        readBuf = new QString(commands.last().data());
        commands.removeLast();
    } else {
        readBuf = new QString("");
    }

    //Έλεγχος κάθε απεσταλμένης εντολής
    foreach (const QString &str, commands) {

        //Χωρισμός της εντολής σε ζεύγος αναγνωριστικού-τιμής
        QStringList sp = str.split(" ");
        if (sp.length() < 2) {
            continue;
        }
    }
}

```

```

    }
    qDebug() << "cmd:" << sp[0] << "val:" << sp[1];

    if (sp[0].toInt() == CMD_TANK) { //To αναγνωριστικό αφορά τη
    στάθμη της δεξαμενής
        int percent = (25 - sp[1].toDouble()) * 4;
        //Ανανέωση της τιμής της μπάρας στο γραφικό
        bar->setValue(percent);
        if (percent <= 10) {
            if (pumpAlert) {
                QMessageBox::warning(this, "επίπεδο δεξαμενής",
                "Χαμηλό επίπεδο δεξαμενής. Απαιτείται άμεση ανατροφοδότηση νερού");
                pumpAlert = false;
            }
        } else if (percent >= 15){
            pumpAlert = true;
        }
    } else if (sp[0].toInt() == CMD_COUNT) { //To αναγνωριστικό
    αφορά το μετρητή παραγωγής
        //Ανανέωση της τιμής του μετρητή στο γραφικό
        lcd->display(lcd->value() + 1);
    } else if (sp[0].toInt() == CMD_MOTOR) { //To αναγνωριστικό
    αφορά τον κινητήρα
        //Ανανέωση της τιμής του κινητήρα στο γραφικό
        motor->setText(sp[1].toInt() ? "ON" : "OFF");
    } else if (sp[0].toInt() == CMD_PUMP) { //To αναγνωριστικό
    αφορά την αντλία
        //Ανανέωση της τιμής της αντλίας στο γραφικό
        pump->setText(sp[1].toInt() ? "ON" : "OFF");
    } else if (sp[0].toInt() == CMD_LASER) { //To αναγνωριστικό
    αφορά τη φωτοαντίσταση
        //Ανανέωση της τιμής της φωτοαντίστασης στο γραφικό
        photosensor->setText(sp[1]);
    }
    }
}

//Συνάρτηση εξόδου
Widget::~Widget()
{
    delete ui;
    //Κλείσιμο της σειριακής θύρας
    serial->close();
}

```

5. Αξιολόγηση – Συμπεράσματα - Προτάσεις

Ο αυτοματισμός, ή αλλιώς Επιστήμη του Ελέγχου, είναι ένα πεδίο της επιστήμης και της τεχνολογίας διαρκώς αναπτυσσόμενο και προοδεύον. Το αντικείμενό του είναι γενικό και πολύπλευρο και για το λόγο αυτό αναδεικνύονται πολυάριθμες εφαρμογές του τόσο στην καθημερινή ζωή όσο και στη βιομηχανία.

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία ήταν μία ευκαιρία για απόκτηση γνώσης και αναζήτηση δυνατοτήτων ή και προοπτικών στη σύγχρονη τεχνολογία του αυτόματου ελέγχου. Συγκεκριμένα, είχε ως αντικείμενο την ανάπτυξη ενός αυτοματοποιημένου μοντέλου προσομοίωσης μίας παραγωγικής διαδικασίας εμφιάλωσης και ειδικότερα του σταδίου της πλήρωσης των φιαλών. Πάντοτε επιδεχόμενο προσθήκης και βελτιώσεων, το παραπάνω σύστημα κατασκευάστηκε ως μία πρότυπη μικρογραφία μιας βιομηχανοποιημένης παραγωγικής διαδικασίας με πραγματικές απαιτήσεις, χρησιμοποιώντας κατάλληλους αισθητήρες, μηχανές συνεχούς ρεύματος και ένα ειδικά διαμορφωμένο γι' αυτές τις λειτουργίες σύστημα ελέγχου.

Κατά την υλοποίηση του παραπάνω μοντέλου παρουσιάστηκαν αρκετά και ποικίλα προβλήματα, για ορισμένα εκ των οποίων μπόρεσαν να εντοπιστούν οι αιτίες τους και στη συνέχεια να αντιμετωπιστούν κατάλληλα, αλλά και κάποια εκ φύσεως δεν υπήρξε δυνατότητα να επιλυθούν, διαμορφώνοντας κατ' αυτό τον τρόπο αδυναμίες λειτουργικότητας ή και αποδοτικότητας.

Αρχικά τα πρώτα προβλήματα ήταν στο σχεδιασμό και τη διαστασιολόγηση: η μορφή της κατασκευής συνολικά, καθώς και των επιμέρους τμημάτων που την απαρτίζουν. Ένας αρχικός προβληματισμός ήταν λοιπόν η κατασκευή του ταινιοδρόμου τόσο σε επίπεδο μηχανολογικού σχεδιασμού και αντοχής υλικών, όσο και σε επίπεδο παραγωγικής ροής. Πραγματοποιήθηκε λοιπόν μελέτη για

- την επιλογή των υλικών που θα απάρτιζαν την κατασκευή του πλαισίου του,
- των τυμπάνων του καθώς και του τρόπου προσαρμογής τους στο πλαίσιο ώστε να επιτυγχάνεται η κίνησή τους,
- του τύπου ιμάντα της μεταφορικής ταινίας καθώς και του τρόπου τάνυσής του και τέλος,
- της επιλογής του κινητήρα που θα κινούσε το παραπάνω σύστημα.

Η κατασκευή υπέστη διάφορες τροποποιήσεις κατά την πορεία της μέχρι να φτάσει στην τελική της μορφή, καθώς έπρεπε σε συνεργασία με όλα τα παραπάνω να ληφθούν υπόψη και οικονομικοί παράγοντες που θα συνέβαλαν στη βιωσιμότητα της όλης κατασκευής του συστήματος.

Στη συνέχεια έπρεπε να μελετηθεί η κατασκευή της δεξαμενής και του τρόπου μεταφοράς του υγρού από αυτή στο σύστημα.

Μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής, σειρά πήρε η επιλογή του ηλεκτρονικού εξοπλισμού για την οποία επίσης θα έπρεπε να συνυπολογιστεί τόσο το κόστος όσο και το τελικό αποτέλεσμα. Ειδικότερα, πόσοι αισθητήρες έπρεπε να χρησιμοποιηθούν και τι τύποι αυτών ώστε να μπορέσει να υλοποιήσει το σύστημα το επιθυμητό αποτέλεσμα και τέλος τα σημεία που θα τοποθετούνταν καθώς και η διάταξη αυτών.

Επίσης σημειώνεται ότι παρουσιάστηκαν δυσκολίες συνυφασμένες με τη χρήση του Arduino για την εξαγωγή των μετρήσεων στην κάρτα SD, καθώς ο μικροελεγκτής Arduino UNO έχει περιορισμένες δυνατότητες κυρίως όσον αφορά στη μνήμη του. Αντιμετωπίστηκε πρόβλημα υπερφόρτωσης μεταβλητών και γι αυτό το λόγο χρησιμοποιήθηκαν τεχνάσματα στον κώδικα προκειμένου να παρακαμφθεί η αδυναμία.

Άλλης φύσης πρόβλημα ήταν ο συσχετισμός και η ηλεκτρονική διαχείριση δεδομένων υπό την έννοια της διαμόρφωσης του κατάλληλου λογισμικού (software) που θα έπρεπε να υλοποιηθεί για τη συγκεκριμένη κατασκευή του μοντέλου, καθώς και για την απεικόνιση των μετρήσεων από αυτό ώστε να γίνεται ο έλεγχός του όλου συστήματος από το χρήστη. Για το σκοπό αυτό, επιλέχθηκε το λειτουργικό Arduino για την υλοποίηση της λειτουργίας του συστήματος και η βιβλιοθήκη Qt Gui για το γραφικό περιβάλλον του χρήστη.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω το κατασκευασθέν μοντέλο στηρίχθηκε σε πραγματικά δεδομένα, με το μικρότερο κατά το δυνατόν οικονομικό προϋπολογισμό καθώς και το υπάρχον υλικοτεχνικό δυναμικό ώστε τελικά να είναι εφικτή και βιώσιμη η όλη κατασκευή στο πλαίσιο του αρχικού σκοπού, δηλαδή της δημιουργίας πρότυπης κατασκευής (μοντέλου). Με αυτήν την προοπτική, σαφώς το μοντέλο της προσομοίωσης – ως πραγματική πλέον βιομηχανοποιημένη κατασκευή - έχει περαιτέρω περιθώρια βελτίωσης: Αν για παράδειγμα χρησιμοποιηθούν ακριβέστεροι αισθητήρες, οι οποίοι θα ανεβάζουν και το κόστος αισθητά, το σύστημα θα παρουσιάζει σαφώς μεγαλύτερη σταθερότητα. Επίσης αξιοποίηση καλύτερου λειτουργικού, θα βελτιώσει την επεξεργασία των δεδομένων που λαμβάνονται από τους αισθητήρες, επιτυγχάνοντας μεγαλύτερες ταχύτητες και πιο άμεσο αποτέλεσμα σε ότι αφορά την όλη λειτουργία του συστήματος, παράμετροι που καθορίζουν αποδοτικότητα και αποτελεσματικότητα.

Επιπλέον επισημαίνεται ότι για τη δημιουργία του συγκεκριμένου λογισμικού αξιοποιήθηκαν οι γνωστικές δυνατότητες της γράφουσας και επιμελούμενης/προτείνουσας της κατασκευής. Η περαιτέρω επεξεργασία του από εξειδικευμένο άτομο IS/IT (αναλυτή-προγραμματιστή), αναμένεται ότι θα δώσει βελτιωμένα αποτελέσματα τόσο σε επίπεδο ποιότητας όσο και δυνατοτήτων.

Τα παραπάνω βεβαίως θα πρέπει να αποτελούν κάθε φορά αντικείμενα οικονομοτεχνικών μελετών ανάλογα με την περίπτωση της πρόθεσης υλοποίησης μιας συναφούς βιομηχανικής κατασκευής, συσχετίζοντας τα κόστη και τις λοιπές κατασκευαστικές παραμέτρους.

Πέραν των αδυναμιών όμως, το μοντέλο παρουσιάζει και σημαντικά πλεονεκτήματα μεταξύ των οποίων συγκαταλέγονται τα ακόλουθα:

- Το εκτιμώμενο χαμηλό κόστος κατασκευής
- Η πληθώρα εφαρμογών που μπορεί να υπηρετήσει
- Η δυνατότητα προσαρμογής σε απαιτήσεις με απλή τροποποίηση των παραμέτρων του λογισμικού, δεδομένου ότι το Arduino είναι ανοικτού κώδικα
- Το σημαντικότερο πλεονέκτημα όμως είναι η δυνατότητα περαιτέρω αξιοποίησής του θεωρώντας το ως βάση. Στο πλαίσιο αυτό, προτείνεται να αποτελέσει απαρχή για τις ακόλουθες προοπτικές:
 - Περαιτέρω έρευνα στη Σχολή (π.χ. βελτιστοποίηση ευστάθειας Συστήματος, ανάλυση ΣΑΕ, λογισμική ανάπτυξη κλπ)

- Επέκταση της συγκεκριμένης βιομηχανοποιημένης λειτουργίας και σε άλλες διαδικασίες αυτοματοποίησης. Ειδικότερα αναφέρονται ενδεικτικά και όχι περιοριστικά οι εξής: αυτόματη τοποθέτηση και συλλογή δοχείων, αντικατάσταση δοχείων από άλλα υλικά συσκευασίας (πχ φιάλες, κονσέρβες, κυτία διάφορα) και ανάπτυξη παράλληλου συστήματος εμφιάλωσης/κονσερβοποίησης, μαζική συσκευασία (εγκιβώτιση)
- Ποιοτικός έλεγχος καθώς και ανάπτυξη συστημάτων ολικής ποιότητας (total quality management).

6. Βιβλιογραφία

1. Arduino UNO, <http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUno> (10/7/2014)
2. ARDUINO, <http://www.arduino.cc/> (10/7/2014)
3. Calculations of Conveyor Belts CLOUTH Industrie Gummi, Clouth Gummiwerke AG,
4. Conveyor Belting, CLOUTH Industrie Gummi, Clouth Gummiwerke AG
5. Dhananjay V. Gadre: ' Programming and Customizing the AVR Microcontroller', (McGraw-Hill Comp. Inc, 2001)
6. Handbook of Modern Sensors, Jacob Fraden, Springer 2010
7. http://en.wikipedia.org/wiki/Ultrasonic_sensor
8. <http://el.wikipedia.org/wiki/Αυτοματισμός>
9. <http://el.wikipedia.org/wiki/Μικροελεγκτής>
10. http://en.wikipedia.org/wiki/Christian_Doppler
11. http://en.wikipedia.org/wiki/Doppler_effect
12. http://en.wikipedia.org/wiki/Microprocessor_development_board
13. http://en.wikipedia.org/wiki/Ultrasonic_sensor
14. <http://en.wikipedia.org/wiki/Ultrasound>
15. <http://grobotronics.com>
16. <http://qt-project.org/>
17. <http://users.ece.utexas.edu/~valvano/Datasheets/HCSR04b.pdf>
18. http://www.education.rec.ri.cmu.edu/previews/nxt_products/robotics_eng_vol_1/preview/content/reference/helpers/ultrasonic.htm
19. <http://www.instructables.com/id/Control-your-arduino-from-your-PC-with-the-Qt-Gui/>
20. <http://www.metal.ntua.gr/uploads/4701/1180/chap7.pdf>
21. <http://www.sml.ee.upatras.gr/Courses/IndustrialAutomation/IndustrialAutomation.aspx>
22. <http://www.zenon.gr/el/articles/126-the-greek-food-industry-invests-in-the-end-of-line-automation.html>
23. Introduction to Microprocessors and Microcontrollers, John CrispElsevier, 2004
24. Αισθητήρες, μικροελεγκτές και συστήματα συλλογής δεδομένων. Αργυρίου, Αθανάσιος Α. N.p. Oct. 2004. Web. 14 Oct. 2014.
<http://www.hep.upatras.gr/class/ais_mik_sis_sil_ded.html>
25. Ανάπτυξη Μοντέλου Ρομποτικού Οχήματος Σταθερής Τροχιάς, για Αποθήκη Κέντρου Διανομής Λιανεμπορίου ή Υπηρεσιών Logistics, Διπλ.Εργασία Αναστάσιος Ι. Γκρέμος, Θεσσαλονίκη Σεπτέμβριος 2013
26. Αντλίες, Κωνσταντίνος Β. Ακριτίδης, εκδόσεις Γιαχούλη-Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη 1988

27. Βιομηχανικοί αυτοματισμοί και προγραμματιζόμενοι λογικοί ελεγκτές PLC /Γ. Κρανάς, Ε. Δασκαλοπούλου. - 5η έκδ. - Αθήνα : Ίων, 2001
28. Εισαγωγή στο Arduino, <http://deltahacker.gr/2009/08/01/arduino-intro/>
29. Εισαγωγή στους Αυτοματισμούς, Ed. ΠΛΑΤΩΝ. Demokritos, n.d. Web. 08 Oct. 2014, <http://imm.demokritos.gr/platon.html>
30. Ηλεκτρικές Μηχανές DC-AC, Stephen J. Chapman, Εκδόσεις Τζιόλα 2003
31. Ηλεκτρικές Μηχανές Τόμος Β, Ιωάννης Α. Τεγόπουλος, Εκδόσεις Συμμετρία, 1991
32. Ηλεκτρικές Μηχανές (n.d.): n. pag. Vournoulakis, Ioannis, Web. 12 Oct. 2014.
33. Ηλεκτρικές Μηχανές, Ed. Marinakis, n.d. Web. 12 Oct. 2014. http://users.sch.gr/imarinakis/electrics_machines.htm
34. Μελέτη Συστήματος Αυτόματης Διαλογής Δεμάτων Για Εφαρμογή Express Logistics, Διπλ. Εργασία Αλκιβιάδης Ρωμαίος, Αθήνα Σεπτέμβριος 2007
35. Μετάδοση Ισχύος - Τεχνικά Άρθρα / Κίνηση & Μεταφορά, n.d. Web. 12 Oct. 2014. <http://www.metadosi-ischios.gr/article.php?ID=100> (10/7/2014)
36. Μικροηλεκτρονικά Κυκλώματα , Sendra/Smith, Πρώτη έκδοση
37. ΜΙ-μετάδοση ισχύος ΤΟ ΠΕΡΙΟΔΙΚΟ ΓΙΑ ΤΟ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΞΟΠΛΙΣΜΟ ΤΗΣ ΣΥΓΧΡΟΝΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ /(Τεχνοεκδοτική, 2012)
38. Ολοκληρωμένη Ηλεκτρονική, J.Millman/Χ.Χαλκιάς, Εκδόσεις Συμμετρία, 1990
39. Σύγχρονα συστήματα αυτόματου ελέγχου / Richard C. Dorf, Robert H. Bishop · επιμέλεια Τρ. Ποιμενίδης · μετάφραση Άγγελος Δ. Δημητριάδης. - Θεσσαλονίκη : Τζιόλα, 2003
40. Σύγχρονες τεχνολογίες παλετοποίησης, Μίνα Θεοδώρου. N.p., n.d. Web. 12 Oct. 2014. <http://www.theodorougroun.com/el/arthra/19-modern-palletizing-technologies>.
41. Σύγχρονοι βιομηχανικοί αυτοματισμοί : Ηλεκτρολογικό σχέδιο & PLC /Ν. Α. Πανταζής. - 1η έκδ. – Αθήνα : Ελληνικές Τεχνολογικές Εκδόσεις, 1995.
42. Συστήματα Ελέγχου Ηλεκτρικών Μηχανών, Μαρία Γ. Ιωαννίδου, ΕΜΠ, Αθήνα 2003
43. ΤΑΥΤΟΧΡΟΝΟΣ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΜΕ ΑΥΤΟΝΟΜΟ ΟΧΗΜΑ, Διπλ. Εργασία ΠΕΡΡΩΤΗΣ ΛΕΩΝΙΔΑΣ, ΧΑΝΗΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ , ΧΙΟΝΑΚΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ, ΑΙΓΑΛΕΩ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2013
44. Ψηφιακή Σχεδίαση, Morris Mano, (εκδόσεις Παπασωτηρίου, 2005)

7. Παράρτημα

Α. Πίνακες για τον υπολογισμό δυνάμεων στον ταινιόδρομο

Pulley friction lagging			Friction value μ	Single pulley drive α				Two pulley drive α						k_1 k_2
Steel	Rubber*	Ceramics*		180°	200°	220°	240°	340°	360°	380°	400°	420°	440°	
very wet	—	—	0,10	3,71	3,39	3,14	2,92	2,23	2,14	2,06	1,99	1,92	1,87	k_1
dirty	—	—		2,71	2,39	2,14	1,92	1,23	1,14	1,06	0,99	0,92	0,87	k_2
wet	—	—	0,15	2,66	2,45	2,28	2,14	1,70	1,65	1,59	1,54	1,50	1,46	k_1
dirty	—	—		1,66	1,45	1,18	1,14	0,70	0,64	0,59	0,54	0,50	0,46	k_2
wet	—	—	0,20	2,14	1,99	1,87	1,76	1,44	1,40	1,36	1,33	1,30	1,27	k_1
				1,14	0,99	0,87	0,76	0,44	0,40	0,36	0,33	0,30	0,27	k_2
moist	very wet	—	0,25	1,84	1,72	1,62	1,54	1,29	1,26	1,24	1,21	1,19	1,17	k_1
	dirty			0,84	0,72	0,62	0,54	0,29	0,26	0,24	0,21	0,19	0,17	k_2
dirty	wet	wet	0,30	1,64	1,54	1,46	1,40	1,20	1,18	1,16	1,14	1,12	1,11	k_1
	dirty	very dirty		0,64	0,54	0,46	0,40	0,20	0,18	0,16	0,14	0,12	0,11	k_2
dry	wet	wet	0,35	1,50	1,42	1,35	1,30	1,14	1,24	1,11	1,10			k_1
		dirty		0,50	0,42	0,35	0,30	0,14	0,24	0,11	0,10			k_2
clean	dirty	moist	0,40	1,40	1,33	1,27	1,23	1,10	1,09	1,08				k_1
		wet		0,40	0,33	0,27	0,23	0,10	0,09	0,08				k_2
	dry	dirty	0,45	1,32	1,26	1,22	1,18	1,07						k_1
				0,32	0,26	0,22	0,18	0,07						k_2
	clean	dry	0,50	1,26	1,21	1,17	1,14							k_1
				0,26	0,21	0,17	0,14							k_2
		clean	0,55	1,22	1,17	1,14	1,11							k_1
				0,22	0,17	0,14	0,11							k_2

* grooved

69

Table 8 Tight side factor k_1 [-] and slack side factor k_2 [-] dependent upon μ [-] and α [°]

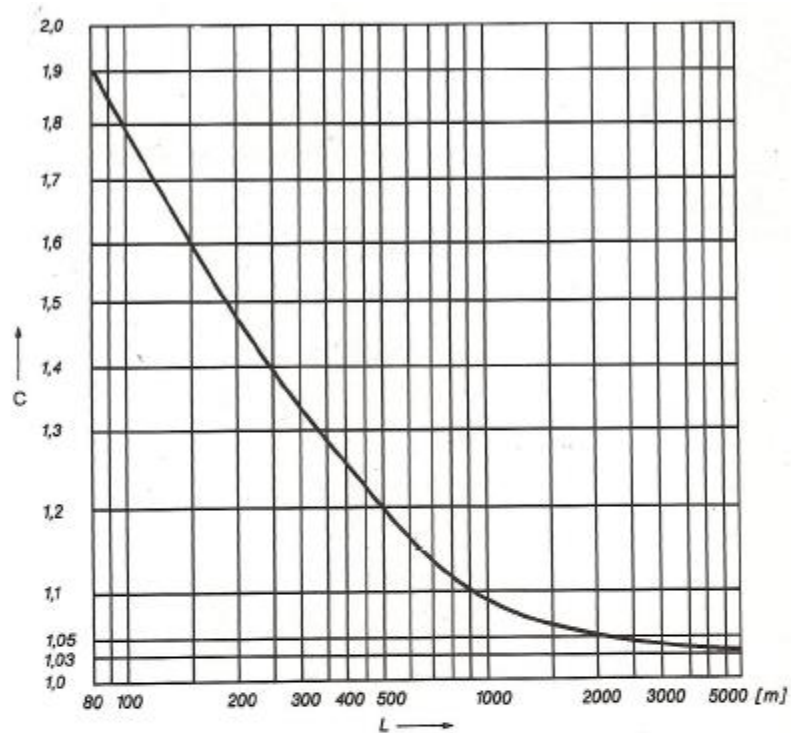


Diagram 1 Coefficient of length depending on the length of the conveyor L [m]
acc. to Vierling

1. according to Vierling:

$f = 0,017$ well aligned conveyors with smoothly running idlers and material with low internal friction

$f = 0,020$ standard value for normal conveyors and normal material to be conveyed

$f = 0,023 - 0,027$ for unfavourable operating conditions, dusty operation, material with strong internal friction occasional overloading

Depending on the speed, the above mentioned values can be corrected as follows:

$v =$ 6 5 4 3 [m/s]
correction: + 10% ± 0% - 10% - 15%

Depending on the idler diameters the following corrections will have to be made:

Normal range of idler diameter 89–194 mm: no correction

For each higher step of diameter exceeding the value of 194 mm a 10% reduction of the f -value is permissible.

Depending on the outdoor temperature t [°C] the aforementioned value f , valid to approx. 20° C changes as follows:

$$f_t = f_{20^\circ} \cdot \left(\frac{1}{6} \cdot C_t + \frac{5}{6} \right);$$

C_t standing for

$t:$	+ 20°	+ 10°	± 0°	— 10°	— 20°	— 25°	— 30° C
$C_t:$	1.0	1.1	1.4	2.0	2.7	3.2	3.8

2. Friction value f according to DIN 22101
(application no longer recommended)

$f = 0,025$ for antifriction bearings

$f = 0,05$ for friction bearings

Table 2 Idler friction values f

Belt width B	$G_{RO} + G_{RU}$
300	4,0
400	6,0
500	8,0
650	12,0
800	17,0
1000	24,0
1200	34,0
1400	44,0
1600	55,0
1800	68,0
2000	82,0
2200	96,0
2400	112,0
2600	127,0
2800	142,0
3000	159,0

Table 7.2 empirical values for $G_{RO} + G_{RU}$ [kg/m] depending on the belt width B [mm]

Fig. 43

Cross section of the Clouth durabelt

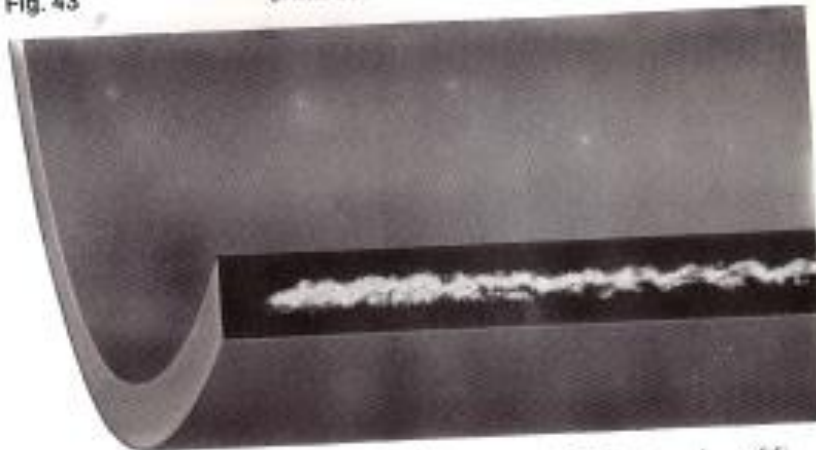


Fig. 44 The Clouth durabelt operating in a gravel pit.



1. according to Vierling:

$f = 0,017$ well aligned conveyors with smoothly running idlers and material with low internal friction

$f = 0,020$ standard value for normal conveyors and normal material to be conveyed

$f = 0,023 - 0,027$ for unfavourable operating conditions, dusty operation, material with strong internal friction occasional overloading

Depending on the speed, the above mentioned values can be corrected as follows:

$v =$	6	5	4	3	[m/s]
correction:	+ 10%	± 0%	- 10%	- 15%	

Depending on the idler diameters the following corrections will have to be made:

Normal range of idler diameter 89–194 mm: no correction

For each higher step of diameter exceeding the value of 194 mm a 10% reduction of the f -value is permissible.

Depending on the outdoor temperature t [°C] the aforementioned value f , valid to approx. 20° C changes as follows:

$$f_t = f_{20^\circ} \cdot \left(\frac{1}{6} \cdot C_t + \frac{5}{6} \right);$$

C_t standing for

$t:$	+ 20°	+ 10°	± 0°	— 10°	— 20°	— 25°	— 30° C
$C_t:$	1.0	1.1	1.4	2.0	2.7	3.2	3.8

2. Friction value f according to DIN 22101
(application no longer recommended)

$f = 0,025$ for antifriction bearings

$f = 0,05$ for friction bearings

Table 2 Idler friction values f

Table 3

Materials		γ [t/m ³]
	Pit coal, Ruhr	0,8 – 0,87
	Pit coal, Saar	0,72 – 0,8
	Egg-shaped briquette	0,85
	Pressed coal	1,0 – 1,1
Coke	Mine coke	0,50 – 0,55
	Gas coke	0,35 – 0,45
	Coke ash	0,6 – 0,85
Mine Waste	Mine filling	1,2 – 1,6
	Washed dirt, coarse	1,3 – 1,4
	Washed dirt, fine	1,4 – 1,6
	Middlings	1,2 – 1,25
	Assorted mine waste	1,35 – 1,5
	Slurry mine waste	1,5
Lignite	Lignite, air-dried	0,65
	Lignite as excavated	0,7 – 0,78
	Lignite briquette	0,65 – 0,8
Peat	Black peat, air-dried	0,35 – 0,6
	White peat, air-dried	0,15 – 0,3
	Pressed peat	0,3
	Peat litter	0,23
Slags	Blast-furnace slag	1,5
	Blast-furnace slag, granulated	1,0 – 1,1
	Coal slag	1,0
	Ash	0,9
	Slag stone	1,4
Cement	Cement, loose	1,2
	Cement, vibrated	1,9
	Portland cement	1,1 – 1,3
	Slag cement	0,9 – 1,0
	Cement, hardcore of bricks	2,0
Mortar	Plaster	1,2
	Lime mortar	1,7
	Lime cement mortar	1,9
	Cement mortar	2,1
	Lime	1,7 – 1,8
	Lime, caustic	1,0
Natural products	Oats	0,43 – 0,60
	Rye	0,68 – 0,79
	Wheat	0,76
	Beet	0,65 – 0,75

Table 3 Bulk density γ of various materials

Materials		γ [t/m³]
Earths	Earth, dry	1,6
	Earth, as excavated, moist	1,8
	Earth, wet	2,1
	Natural earth, moist	1,7
	Loose earth, dry	1,4
	Loose earth, moist	1,6
	Loose earth, wet saturated	1,9
	Clay soil, dry	1,5
	Clay soil, moist as excavated	1,55
	Clay, dry	1,6
	Clay, moist as excavated	1,8
	Clay, wet	2,0
	Clay	1,8 - 2,0
	Sand	Sand, dry
Sand, moist		1,8
Sand, wet, saturated		2,0
Gravel	Gravel, dry	1,7 - 1,8
	Gravel, moist	1,8
Earthy, sandy overburden with gravel etc.		1,5 - 1,7
Ore and stones	Basaltic rock	1,6
	Lime stone	1,5 - 1,9
	Rubble	1,8
	Phosphate	1,2
	Porphyry	1,4 - 1,45
	Pyrite	2,0 - 2,5
	Mine ore	1,6 - 3,5
	Fine ore	1,7
	Bauxite	1,2
Salts	Potash salt, general	1,4
	Potash salt	1,1 - 1,6
	Rock salt, common salt, potash	0,7 - 1,6
	Rock salt, crushed, fine	1,0
Coals	Run of mine coal	0,9 - 1,0
	Raw coal	0,85 - 0,95
	Raw fine coal	0,8 - 0,9
	Washed coal	0,8 - 0,9
	Coal dust	0,5 - 0,6
	Sludge	1,2 - 1,25

Table 3

	Materials	γ [t/m ³]
	Sugar beet	0,60 – 0,67
	Raw sugar	0,78 – 0,87
	Wood cut in logs	0,4
Miscellaneous	Wall bricks	1,8
	Pumice sand	0,7
	Porous brick	1,1
	Moulding sand	1,2 – 1,65
	Oil sand	1,5

Bulk materials:

Pit coal (fine, dusty) filter ash
 Cement clinker
 Raw salt (fine) residual salt (moist)
 Grain, chalk, crushed lime stone
 Pit coal (coarse crushed)
 Coke, ore (sharp edged)
 Raw salt (coarse)
 Concentrate of phosphate, gravel
 Raw lignite, (moist),

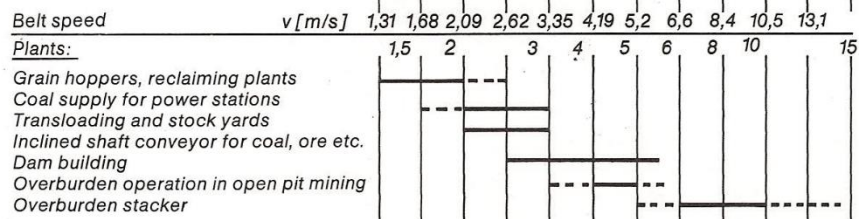
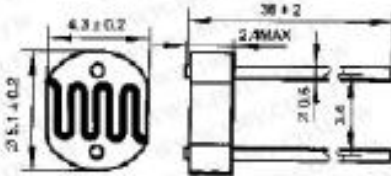


Fig. 3

Usual belt speeds for some kinds of material and belt conveyors according to Vierling

B. Datasheets

CdS PHOTOCONDUCTIVE CELLS		GL5528
		▲ Epoxy encapsulated ▲ Quick response ▲ Small size ▲ High sensitivity ▲ Reliable performance ▲ Good characteristic of spectrum
Light Resistance at 10Lux (at 25℃) 8—20KΩ Dark Resistance at 0 Lux 1.0MΩ(min) Gamma value at 100-10Lux 0.7 Power Dissipation(at 25℃) 100mW Max Voltage (at 25℃) 150V Spectral Response peak (at 25℃) 540nm Ambient Temperature Range: - 30~+70℃	Outline 	

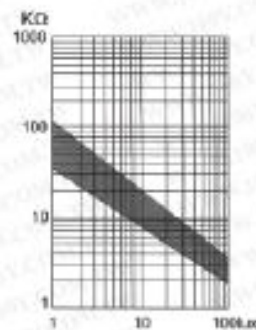
Measuring Conditions

1. Light Resistance:
measured at 10 lux with standard light A (2854k color temperature) and 2h pre-illumination at 400-600 lux prior to testing.
2. Dark Resistance:
measured 10 seconds after pulsed 10 lux.
3. Gamma Characteristic:
between 10 lux and 100 lux and given by

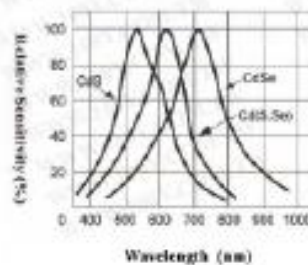
$$T = \frac{\log(R_{10}/R_{100})}{\log(100/10)} = \log(R_{10}/R_{100})$$

R_{10} , R_{100} cell resistance at 10 lux and 100 lux.
The error of T is ± 0.1 .
4. Pmax:
Max. power dissipation at ambient temperature of 25℃.
5. Vmax:
Max. voltage in darkness that may be applied to the cell continuously.

Illuminance Vs. Photo Resistance



Spectral Response



Ultrasonic Ranging Module HC - SR04

Product features:

Ultrasonic ranging module HC - SR04 provides 2cm - 400cm non-contact measurement function, the ranging accuracy can reach to 3mm. The modules includes ultrasonic transmitters, receiver and control circuit. The basic principle of work:

- (1) Using IO trigger for at least 10us high level signal,
 - (2) The Module automatically sends eight 40 kHz and detect whether there is a pulse signal back.
 - (3) IF the signal back, through high level , time of high output IO duration is the time from sending ultrasonic to returning.
- Test distance = (high level time×velocity of sound (340M/S) / 2,

Wire connecting direct as following:

- 5V Supply
- Trigger Pulse Input
- Echo Pulse Output
- 0V Ground

Electric Parameter

Working Voltage	DC 5 V
Working Current	15mA
Working Frequency	40Hz
Max Range	4m
Min Range	2cm
MeasuringAngle	15 degree
Trigger Input Signal	10uS TTL pulse
Echo Output Signal	Input TTL lever signal and the range in proportion
Dimension	45*20*15mm