TECHNICAL UNIVERSITY OF CRETE

SCHOOL OF ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING

Application of micro-computers / micro-controllers to control systems

Author
Petros Trakkidis

Thesis committee
Kanellos Fotios, Associate Professor (Supervisor, E.C.E)
Ipsakis Dimitrios, Assistant Professor (P.E.M)
Bekiaris-Liberis Nikolaos, Assistant Professor (E.C.E)

Chania, February 2022

ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

Εφαρμογή μικρο-υπολογιστών / μικρο-ελεγκτών

σε συστήματα αυτόματου ελέγχου

Συγγραφέας
Πέτρος Τρακκίδης

Εξεταστική Επιτροπή
Κανέλλος Φώτιος, Αναπληρωτής Καθηγητής (Επιβλέπων, Η.Μ.Μ.Υ)
Ιψάκης Δημήτριος, Επίκουρος Καθηγητής (Μ.Π.Δ)
Μπεκιάρης - Λυμπέρης Νικόλαος, Επίκουρος Καθηγητής (Η.Μ.Μ.Υ)

Χανιά, Φεβρουάριος 2022

Περιεχόμενα

Λεξικό όρων – Ακρωνύμια

AC: Alternating Current

ADC: Analog to Digital Converter

ALU: Arithmetic and Logic Unit

CISC: Complex Instruction Set Computer

CPU: Central Processing Unit

CVBS: Composite Video Baseband Signal

CW: Clockwise

CCW: Counter Clockwise

DAC: Digital to Analog Converter

DC: Direct Current

DIY: Do It Yourself

DSI: Display Serial Interface

EEPROM: Electronically Erasable Programmable Read-Only Memory

EPROM: Erasable Programmable Read-Only Memory

GND: Ground

GPIO: General Purpose Input/Output

HDMI: High-Definition Multimedia Interface

HIGH: Digital 1 on output

I/O: Input/Output

IDE: Integrated Development Environment

LCD: Liquid Crystal Display

LED: Light Emitting Diode

LOW: Digital 0 on output

MCU: MicroController Unit

PCB: Printed Circuit Board

PCI-ex: Peripheral Component Interconnect-Express

PCS: Process Control System

PPR: Pulses Per Revolution

PROM: Programmable Read-Only Memory

PWM: Pulse Width Modulation

RAM: Random Access Memory

RISC: Reduced Instruction Set Computer

ROM: Read-Only Memory

RPM: Revolutions Per Minute

SBC: Single-Board Computer

SCADA: Supervisory Control And Data Acquisition

SOC: System On a Chip

USB: Universal Serial Bus

VDC: Volts of Direct Current(V)

Vin: Input Voltage(V)

Περίληψη

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία αφορά την εφαρμογή των μικρο-υπολογιστών/ μικρό-ελεγκτών σε συστήματα αυτόματου ελέγχου. Για την συγγραφή και μελέτη της εργασίας, διερευνήθηκε και αξιοποιήθηκε ο μικρο-υπολογιστής Arduino, ενώ πραγματοποιήθηκαν οι εφαρμογές του σε δυο Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου τα οποία ήταν, έλεγχος των στροφών και έλεγχος θέσης ενός κινητήρα DC. Η ανάπτυξη του θέματος γίνεται σε πέντε κεφάλαια.

Το πρώτο κεφάλαιο αποτελεί την εισαγωγή της εργασίας. Αρχικά αναλύεται η έννοια και η χρησιμότητα του αυτοματισμού επιβεβαιώνοντας την ωφελιμότητα της χρήσης του για τον άνθρωπο, τόσο στην καθημερινότητα του, όσο και στην προσπάθεια του να επιτύχει το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα με το λιγότερο κόστος. Έπειτα, ακολουθεί ανάλυση της πλατφόρμας Arduino, η οποία αποτελεί το αντικείμενο της εργασίας, και η συνεισφορά της παρούσας εργασίας για την κατανόηση των συστημάτων ελέγχου από μηχανικούς και όχι μόνο.

Το δεύτερο κεφάλαιο αφορά την βιβλιογραφική ανασκόπηση μελετώντας τους μικρό-υπολογιστές ή αλλιώς μικρό-ελεγκτές. Δίνεται έμφαση στα συστήματα αυτόματου ελέγχου ενώ γίνεται επισήμανση των δυνατοτήτων της πλατφόρμας Arduino στα συστήματα αυτόματου ελέγχου. Τέλος, αναλύονται τόσο τα λειτουργικά αλλά και τα περιφερειακά στοιχεία της πλατφόρμας.

Το τρίτο κεφάλαιο της εργασίας περιλαμβάνει την πρώτη εφαρμογή που πραγματοποιήθηκε για σκοπούς συγγραφής της εργασίας και αφορά τον έλεγχο των στροφών ενός κινητήρα DC.

Το τέταρτο κεφάλαιο περιλαμβάνει την δεύτερη εφαρμογή που πραγματοποιήθηκε και αφορά πείραμα του συστήματος κλειστού βρόχου για τον ακριβή έλεγχο της περιστροφής ενός αντικειμένου με τη χρήση κινητήρα DC.

Για τα κεφάλαια 3 και 4 διενεργούνται κάποιες προσομοιώσεις με σκοπό την εύρεση του καταλληλότερου ελεγκτή για το κάθε πείραμα αντίστοιχα. Παρουσιάζονται συγκρίσεις

μεταξύ των αποτελεσμάτων, και ο τρόπος με τον οποίο καταλήγουμε στον έλεγχο του συστήματος. Τονιζεται, πως οι δυσκολίες επίτευξης ελέγχου στο σύστημα στροφών οφείλονται σε στην τροφοδοσία του κινητήρα.

Τέλος, στο πέμπτο κεφάλαιο αναγράφονται τα συμπεράσματα της παρούσας πτυχιακής εργασίας τα οποία προέκυψαν από τις προηγούμενες εφαρμογές ενώ ταυτόχρονα προτείνονται μελλοντικά βήματα ώστε να επιτευχθεί η ενίσχυση και η αναβάθμιση της ανάπτυξης συστημάτων ελέγχου με την χρήση της πλατφόρμας Arduino.

Abstract

This Thesis concerns the application of micro-computers / micro-controllers in automatic control systems. For its writing, the Arduino microcomputer was investigated and utilized, while its applications were carried out in two Automatic Control Systems, which were speed control and position control of a DC motor. The development of the subject is done in five chapters.

The first chapter is the introduction of the work. Initially, the concept and usefulness of automation are analyzed, confirming the usefulness of its use for humans, both in their daily lives and in their effort to achieve the best possible result at the lowest cost. This is followed by an analysis of the Arduino platform, which is the subject of the work, and the contribution of the present work to the understanding of control systems by engineers and more.

The second chapter deals with the literature review by studying micro-computers or micro-controllers. Emphasis is placed on automatic systems while the capabilities of the Arduino platform in automatic control systems are highlighted. Finally, both the functional and the peripheral elements of the platform are analyzed.

The third chapter of the work includes the first application made for the purpose of writing the work and concerns the control of the speed of a DC motor.

The fourth chapter includes the second application that was carried out and concerns the closed loop system for the precise control of the rotation of an object using a DC motor.

For chapters 3 and 4 some simulations are performed in order to find the most suitable controller for each experiment respectively. Comparisons are made between the results, and the way in which we find the best solution. It is highlighted, that the control of the DC motor speed experienced difficulties due to motor power supply.

Finally, the fifth chapter lists the conclusions of this dissertation which emerged from previous applications while at the same time proposing future steps to complete the improvement and upgrade of the development of control systems using the Arduino platform.

Κεφάλαιο 1

1. Εισαγωγή

1.1 Γενικά – Εισαγωγικά Στοιχεία

Ο αυτοματισμός ασχολείται με την αυτόματη παραγωγή «αγαθών» ή την κατασκευή τους. Τα βήματα προς την αυτοματοποίηση διαμορφώνουν την ιστορία της αύξησης της αποδοτικότητας της παραγωγής, καθώς και της παραγωγικότητας της εργασίας. Ήταν περίπου τέσσερα εκατομμύρια χρόνια πριν όταν εμφανίστηκε η ανθρωπότητα στη γη. Από τότε τα ανθρώπινα όντα κατασκεύασαν «εργαλεία» και τα χρησιμοποιούσαν για παραγωγικές δραστηριότητες, διαφέροντας έτσι από τα άλλα ζώα. Έτσι, το πρώτο βήμα στην ιστορία της αύξησης της παραγωγικής αποδοτικότητας είναι η γέννηση και η χρήση εργαλείων. Το δεύτερο βήμα σε αυτή την ιστορία είναι η αντικατάσταση της ανθρώπινης σωματικής εργασίας από «μηχανές». Ένα μηχάνημα αποτελείται από τρία εξαρτήματα: α) τον κύριο κινητήρα που μετατρέπει ένα είδος ενέργειας σε μηχανική ενέργεια, β) το πομπό που μεταδίδει κινητήρια δύναμη στον χώρο εργασίας και γ) τη μονάδα κατεργασίας που διεξάγει τις μηχανικές εργασίες (Hitomi, 1994).

Όταν ο D.S. Harder επινόησε τον «αυτοματισμό» το 1936, ενώ εργαζόταν στην General Motors Corporation, τον εννοούσε ως τη μεταφορά τμημάτων εργασίας μεταξύ των μηχανών σε μια διαδικασία παραγωγής, χωρίς την συμμετοχή της ανθρώπινης λειτουργίας. Το 1946 ίδρυσε το Τμήμα Αυτοματισμών όταν ήταν αντιπρόεδρος της Ford Motor Company. Μετά τον πόλεμο, ένας σύμβουλος διαχείρισης, ο J. Diebold, έγραψε δύο βιβλία για τον αυτοματισμό. Στο βιβλίο του που δημοσιεύθηκε το 1952 όρισε τον αυτοματισμό ως την αυτόματη λειτουργία ή την διαδικασία αυτόματης κατασκευής απτών αγαθών. Το 1955 ανέφερε ότι ο αυτοματισμός είχε δύο έννοιες: (i) αυτόματη ρύθμιση μέσω ανάδρασης και (ii) ενσωμάτωση πολλών μηχανών (Hitomi, 1994). Εκτός από τον Diebold, ο J.B. Bright παρουσίασε τα στάδια ανάπτυξης της μηχανοποίησης και του αυτοματισμού και ο D.F. O Drucker αναγνώρισε τον αυτοματισμό ως ένα εννοιολογικό σύστημα πέρα από την τεχνολογία.

Αυτές οι τρεις θεωρίες είναι χαρακτηριστικές στην κατανόηση της έννοιας του αυτοματισμού. Ο αυτοματισμός μπορεί να θεωρηθεί η συντομογραφία της «αυτοματοποίησης» ή της «αυτόματης λειτουργίας». Η «μηχανοποίηση» είναι η αντικατάσταση της ανθρώπινης σωματικής εργασίας από μηχανές, αλλά ο έλεγχος αυτής της λειτουργίας της μηχανής πραγματοποιείται από ανθρώπους χειριστές. Ωστόσο, ο «αυτοματισμός» αντικαθιστά επίσης αυτήν την ενέργεια ελέγχου από τις μηχανές. Δηλαδή, ο αυτοματισμός ως η αντικατάσταση τόσο των φυσικών όσο και των ψυχικών δραστηριοτήτων του ανθρώπου από μηχανές (Hitomi, 1994).

Ο αυτοματισμός βρίσκει το δρόμο του σε πολλά σημεία της καθημερινής ζωής. Αυτό εκδηλώνεται με τις αυξανόμενες ευκαιρίες για τους τελικούς χρήστες να μεταφορτώνουν τις αποφάσεις τους στις οικιακές τους συσκευές, να παραδίδουν τον έλεγχο στα αυτοκίνητά τους, να μπαίνουν σε αυτοματοποιημένα τρένα ή να πηγαίνουν για ψώνια σε καταστήματα με αυτόματους πωλητές και ταμείο. Υποστηριζόμενες από τεχνητή νοημοσύνη, οι αναδυόμενες αυτοματοποιημένες υπηρεσίες πλησιάζουν προς τις ανθρώπινες γνωστικές λειτουργίες, καθώς ενσωματώνουν την ανάλυση και τις αποφάσεις που βασίζονται στην επεξεργασία μεγάλων συνόλων πληροφοριών. Εν αναμονή του ευρύτερου αντίκτυπου που θα έχουν αυτές οι αναδυόμενες τεχνολογίες στη σφαίρα της ζωής μας, είναι απαραίτητη μια στοχαστική και συστηματική εξέταση που θα αξιοποιήσει πλήρως τις δυνατότητές τους όσον αφορά την εμπειρία χρήστη.

Ενώ υπάρχει μακρά παράδοση έρευνας ανθρώπινων παραγόντων στον αυτοματισμό, οι μελετητές έχουν επικεντρωθεί εδώ και πολύ καιρό σε εξαιρετικά εξειδικευμένες επαγγελματικές εργασίες για εκπαιδευμένο προσωπικό, όπως χειριστές κέντρων ελέγχου ή πιλότους. Με τις τεχνολογικές καινοτομίες και τις νέες περιπτώσεις χρήσης σε τομείς όπως οι μεταφορές, ο οικιακός αυτοματισμός και το λιανικό εμπόριο, ο στόχος του σχεδιασμού

αυτοματισμών για έναν ευρύτερο πληθυσμό έχει γίνει πιο σημαντικός. Αυτή η μετάβαση της τεχνολογίας αυτοματισμού προς την καθημερινή ζωή έχει φέρει έτσι την εμπειρία των «αφελών χρηστών» στο επίκεντρο της προσοχής (Fröhlich et al, 2020).
Η ανθρώπινη εμπειρία γενικά, καθώς και η εμπειρία του χρήστη είναι ένα εξαιρετικά περίπλοκο και μπερδεμένο φαινόμενο. Έτσι, πολλοί μελετητές από διαφορετικά πεδία και ερευνητικές παραδόσεις έχουν εξερευνήσει και εννοιολογήσει τις διάφορες πτυχές και το ευρύ φάσμα των εμπειριών με την τεχνολογία σε διαφορετικά πλαίσια και τομείς εφαρμογών, όπως: σιωπηρή αλληλεπίδραση, ενσωμάτωση περιβάλλοντος, αποσύνδεση, αντιληπτή προσαρμογή συστήματος, υποκατάστατες εμπειρίες, παρεμβάσεις και τελικοί χρήστες ως προγραμματιστές (Fröhlich et al, 2020).

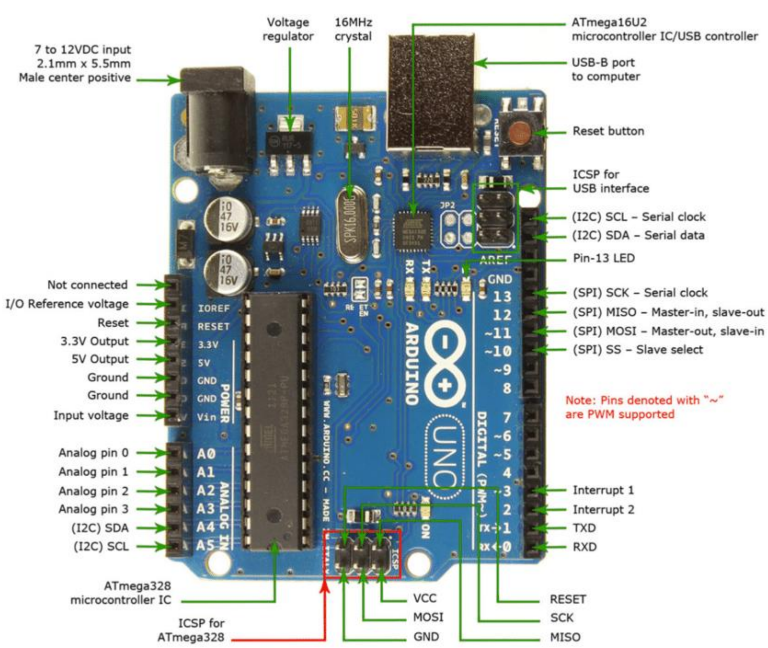
Η συμβίωση με τέτοια συστήματα απαιτεί από τους ανθρώπους να εμπιστεύονται την ήρεμη, συχνά απαρατήρητη, κατανεμημένη λειτουργία και προσαρμογή του συστήματος, αλλά μπορεί επίσης να απαιτούν απότομες χειρωνακτικές παρεμβάσεις και ενημερωμένες δραστηριότητες προσαρμογής. Ενώ έχουν προταθεί σημαντικές θεωρητικές έννοιες για σχετικές πτυχές, απαιτείται μια πιο ολοκληρωμένη εννοιολογική πλαισίωση για να κατανοηθούν οι ποιότητες της καθημερινής εμπειρίας αυτοματισμού στο σύνολό τους και οι διάφορες τους εκφάνσεις (Fröhlich et al, 2020).

Τα συστήματα υποδομής ζωτικής σημασίας περιλαμβάνουν κρίσιμες φυσικές διεργασίες. Αυτές οι διαδικασίες ελέγχονται από συστήματα αυτοματισμού που συνδυάζουν ανθρώπους, υπολογιστές, επικοινωνίες και διαδικασίες. Τα συστήματα αυτοματισμού χρησιμοποιούνται για να αυξήσουν την αποτελεσματικότητα του ελέγχου διεργασιών ανταλλάσσοντας το υψηλό κόστος προσωπικού με το χαμηλό κόστος του συστήματος υπολογιστή. Συμβάλλουν επίσης στη βελτίωση της απόδοσης εκμεταλλευόμενοι τον ταχύτερο έλεγχο υπολογιστή αντί για τους χρόνους αντίδρασης των ανθρώπων. Αυτά τα συστήματα αυτοματισμού αναφέρονται συχνά ως συστήματα ελέγχου διεργασιών (PCS) ή συστήματα εποπτικού ελέγχου και συλλογής δεδομένων (SCADA), και η ευρεία χρήση τέτοιων συστημάτων τα καθιστά κρίσιμα για την ασφαλή, αξιόπιστη και αποτελεσματική λειτουργία πολλών φυσικών διεργασιών. Η λειτουργία αυτόματων συστημάτων γίνεται όλο και πιο περίπλοκη στο σημερινό απελευθερωμένο περιβάλλον. Η διατήρηση αξιόπιστης υπηρεσίας εξαρτάται από ολοένα και πιο εξελιγμένους αλγόριθμους ελέγχου και προστασίας, καθώς και από τον εξοπλισμό αυτοματισμού. Ταυτόχρονα, δοκιμάζονται τα όρια συστήματος και συσκευής. Τα διασυνδεδεμένα εξαρτημένα συστήματα δημιουργούν νέες κατηγορίες σχέσεων, τόσο φυσικές όσο και οικονομικές. Η αυξημένη ανάπτυξη συστημάτων προστασίας που έχουν σχεδιαστεί για να επιτρέπουν την αυξημένη φόρτωση συσκευών και την λειτουργία σε παροδικά και στατικά όρια του συστήματος αυξάνει την πιθανότητα ασταθών λειτουργιών που προκύπτουν από τυπικά ερεθίσματα. Ο σύνθετος έλεγχος επιδεινώνει αυτά τα ζητήματα (Berg & Stamp, 2005).

1.2 Αντικείμενο της Εργασίας

Το Arduino είναι μια πλατφόρμα ανοιχτού κώδικα που χρησιμοποιείται για την κατασκευή και τον προγραμματισμό ηλεκτρονικών εφαρμογών. Μπορεί να λαμβάνει και να στέλνει πληροφορίες στις περισσότερες συσκευές, ακόμη και μέσω του Διαδικτύου. Χρησιμοποιεί την επονομαζόμενη πλακέτα κυκλώματος Arduino UNO (ή παραλλαγές αυτής) και ένα πρόγραμμα λογισμικού (Απλοποιημένη C ++) για τον προγραμματισμό της πλακέτας. Στη σύγχρονη εποχή, το Arduino χρησιμοποιείται πολύ στον προγραμματισμό μικροελεγκτών, λόγω της φιλικής προς το χρήστη λειτουργίας καθώς και εύχρηστης ρύθμισής του. Όπως κάθε μικροελεγκτή, το Arduino είναι μια πλακέτα κυκλώματος με τσιπ που μπορεί να προγραμματιστεί για να κάνει πολλές εργασίες. Ειδικότερα, στέλνει πληροφορίες από το πρόγραμμα υπολογιστή στον μικροελεγκτή Arduino και τέλος, στο συγκεκριμένο κύκλωμα ή μηχανή μέσω πολλαπλών κυκλωμάτων και με βάση την εκτέλεση μιας συγκεκριμένης εντολής. Ένα Arduino μπορεί να βοηθήσει στην ανάγνωση πληροφοριών από συσκευές εισόδου όπως π.χ. Αισθητήρες, Κεραία, Περικοπή (ποτενσιόμετρο) κ.λπ. και μπορεί επίσης να στείλει πληροφορίες σε συσκευές εξόδου όπως LED, ηχεία, οθόνη LCD, κινητήρα DC κ.λπ. (Badamasi, 2014).

Το Arduino, ως εκ τούτου, είναι μια πλατφόρμα ανάπτυξης μικροελεγκτών σε συνδυασμό με μια διαισθητική γλώσσα προγραμματισμού που μπορεί να αναπτυχθεί χρησιμοποιώντας το λογισμικό ολοκληρωμένου περιβάλλοντος ανάπτυξης Arduino (IDE). Εξοπλίζοντας το Arduino με αισθητήρες, ενεργοποιητές, φώτα, ηχεία, μονάδες πρόσθετων (που ονομάζονται ασπίδες-shields) και άλλα ολοκληρωμένα κυκλώματα, μπορεί να μετατρέψει το Arduino σε προγραμματιζόμενο «εγκέφαλο» για σχεδόν οποιοδήποτε σύστημα ελέγχου (Albatish et al, 2018). Η πλατφόρμα Arduino χρησιμοποιείται πλέον ευρέως από τους ανθρώπους. Σε αντίθεση με τις περισσότερες προηγούμενες πλακέτες κυκλωμάτων με δυνατότητα προγραμματισμού, το Arduino δεν έχει ξεχωριστό κομμάτι υλικού για τη μεταφόρτωση νέου κώδικα στην πλακέτα. Μπορεί απλά να γίνει χρήση ενός καλωδίου USB για να ανέβει και το λογισμικό του Arduino χρησιμοποιεί μια απλοποιημένη έκδοση C++ που διευκολύνει την εκμάθηση προγραμματισμού και παρέχει ένα ευκολότερο περιβάλλον που παρακάμπτει τις λειτουργίες του μικροελεγκτή σε ένα πιο προσιτό πακέτο. Μια πλακέτα Arduino μπορεί να ταξινομηθεί σε δύο μέρη: 1) Υλικό: Το υλικό της πλακέτας Arduino αποτελείται από πολλά στοιχεία που συνδυάζονται για να λειτουργήσει, 2) Λογισμικό (Το Arduino IDE): Το λογισμικό είναι ένα σύνολο οδηγιών που ενημερώνει το υλικό για τι πρέπει και πώς πρέπει να γίνει (Batamasi, 2014).



Εικόνα 1: Arduino - Περιγραφή πλακέτας

Το Arduino παρέχει το πλαίσιο εκμάθησης ηλεκτρονικών και κατανόησης και δημιουργίας ηλεκτρονικών συσκευών. Το Arduino Uno μπορεί να παρακολουθεί ένα περιβάλλον με αισθητήρες, να οδηγεί πίνακες μηνυμάτων LED, να δημιουργεί μοτίβα ήχου και φωτός, να παίρνει και να εμφανίζει ψηφιακές φωτογραφίες, να επικοινωνεί μέσω Bluetooth ή ασύρματα με άλλες ηλεκτρονικές συσκευές, να επικοινωνεί μέσω Wi-Fi στο Διαδίκτυο και να καταγράφει δεδομένα για τη διαδρομή, την ταχύτητα και το υψόμετρο ενός ταξιδιού με GPS (Cameron et al, 2019).

Ο υπολογιστής με έναν αριθμό τυπικών ασπίδων και αισθητήρων μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δομικό στοιχείο για την ταχεία ανάπτυξη δικτύου ευφυών συσκευών με ανίχνευση, έλεγχο και πρόσβαση στο Διαδίκτυο. Η οικογένεια πλακών Arduino με υψηλή δημοτικότητα και μεγάλο αριθμό πωληθέντων μονάδων με ανοιχτή πρόσβαση, αξιοπιστία, στιβαρότητα, τυπικές συνδέσεις και χαμηλές τιμές, διαθέτει μεγάλες δυνατότητες υλοποίησης αυτόνομων συστημάτων μέτρησης και ελέγχου από απόσταση διαφόρων επιπέδων πολυπλοκότητας. Καθώς οι πλακέτες Arduino μπορούν να λειτουργούν ανεξάρτητα, συνιστούν πλήρεις μικρές πλατφόρμες υπολογιστών που μπορούν να εκτελέσουν διάφορες εργασίες που απαιτούν κάποιο είδος αλληλεπίδρασης με τον εξωτερικό κόσμο. Οι πλακέτες Arduino μπορούν να χρησιμοποιηθούν και να προγραμματιστούν με διάφορους τρόπους και μπορούν να τακτοποιηθούν σε διάφορους συνδυασμούς σχηματίζοντας μερικές τυπικές αρχιτεκτονικές υλοποίησης.

Οι πλακέτες Arduino μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διάφορες εργασίες που απαιτούν αλληλεπίδραση με το περιβάλλον. Λόγω των μικρών διαστάσεων, της χαμηλής κατανάλωσης ενέργειας, του σημαντικού υπολογιστικού δυναμικού, της ικανότητας ανάγνωσης και παραγωγής αναλογικών και ψηφιακών σημάτων, κατοχής συνδέσεων δικτύου, αυτές οι πλατφόρμες είναι βολικές υπολογιστικές πλατφόρμες για παρακολούθηση περιβάλλοντος και έλεγχο τεχνητών συστημάτων. Καθώς το περιβάλλον είναι πολύπλοκο, χαρακτηρίζεται από πολλές φυσικές ποσότητες, ενώ η ανάπτυξη αντίστοιχων εφαρμογών παρακολούθησης και ελέγχου απαιτεί επαρκή σχεδιασμό με την ευρύτερη έννοια που αποτελείται από τυπικές φάσεις σχεδιασμού λογισμικού ή φάσεις κύκλου ζωής λογισμικού (Matijevi & Cvjetkovic, 2016).

1.3 Συνεισφορά της Εργασίας

Η παρούσα μελέτη πραγματοποιήθηκε με σκοπό να συνεισφέρει στην βιβλιογραφία εξυπηρετώντας άτομα όπου σκοπεύουν να έρθουν σε επαφή μέσω της εκμάθησης της ηλεκτρολογίας, της ηλεκτρονικής και του προγραμματισμού. Ταυτόχρονα, επιδιώκει να διευκολύνει την μελέτη ατόμων οι οποίοι ασχολούνται με τους προαναφερθέντες κλάδους και επιθυμούν πιο συγκεκριμένα να μελετήσουν ή και να κατασκευάσουν συστήματα αυτομάτου ελέγχου βασισμένα σε μικρο-ελεγκτές/ μικρό-υπολογιστές όπως το Arduino.

Ειδικότερα, προτείνεται η χρήση της συγκεκριμένης πλατφόρμας καθώς αποτελεί μια οικονομική λύση προς τους χρήστες όπου προτίθενται να την προμηθευτούν. Παράλληλα, το Arduino είναι μια πλακέτα ανοικτού κώδικα, ενώ υπάρχει πληθώρα βοηθημάτων και φόρουμ στο διαδίκτυο για την ανάπτυξη οποιουδήποτε συστήματος και ειδικότερα συστημάτων αυτόματου ελέγχου.

Κεφάλαιο 2

2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

2.1 Μικρο-υπολογιστές / Μικρο-ελεγκτές

Η σημερινή τεχνολογία δύναται να παρέχει αυτόνομα συστήματα που μπορούν να κάνουν όλες τις απαραίτητες διαδικασίες από μόνα τους χωρίς κανένα πρόσθετο υλικό. Οι εκ των προτέρων γνωστοί ως μικροελεγκτές έχουν γίνει μικροϋπολογιστές που είναι επίσης γνωστοί ως υπολογιστές μονής πλακέτας (SBC). Χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές από ισχυρή βιομηχανική συσκευή έως απλή οικιακή συσκευή. Στη σημερινή αγορά, υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί μικροελεγκτές με διαφορετική δομή και δυνατότητες. Επομένως, η κατανόηση των εννοιών που σχετίζονται με τους μικροελεγκτές είναι πραγματικά σημαντική για την επιλογή και τον σχεδιασμό μίας εφαρμογής.. Στα πλαίσια αυτά, η διπλωματική αυτή εργασία παρουσιάζει τις βασικές έννοιες των μικροελεγκτών και αποκαλύπτει τη βάση της δομής τους.

Από τις αρχές της δεκαετίας του 1970 μέχρι και σήμερα, οι μικροελεγκτές και οι μικροϋπολογιστές έχουν αναπτυχθεί ραγδαία. Παρόλο που έχουν ήδη τη λειτουργικότητα μόνο μιας αριθμομηχανής, είναι πλέον μικροϋπολογιστές με ένα τσιπ (SOC) που μπορεί να εκτελεί κάθε είδους λειτουργία σε όλα τα ηλεκτρονικά συστήματα. Οι μικροελεγκτές με κορυφαίους επεξεργαστές 8 και 16 bit προτιμώνται συχνά λόγω του χαμηλού κόστους και της ευκολίας στην εφαρμογή τους. Αυτά τα συστήματα, τα οποία μπορούν να καλύψουν κάθε είδους ανάγκη για μεγάλο χρονικό διάστημα, έχουν τώρα ικανότητα επεξεργασίας 32 και 64 bit.

Με την πάροδο του χρόνου, πολλές εταιρείες έχουν εισαγάγει στις διεθνείς αγορές μικροελεγκτές με διαφορετικά χαρακτηριστικά. Ειδικότερα, τα τελευταία χρόνια έχουν εισαχθεί στην αγορά μικροελεγκτές 64-bit και έχουν προτιμηθεί για πολλές εφαρμογές σε

μικροελεγκτές σχεδιασμένους σε μία κάρτα (MCU). Η επιλογή ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, η παροχή κατάλληλων υπολογιστικών λογισμικών για τη λειτουργία αυτών των κυκλωμάτων και η πολυπλοκότητα των σταδίων προγραμματισμού οδήγησαν τους χρήστες, στον σχεδιασμό μικροϋπολογιστών σε αυτήν την ενιαία κάρτα. Αυτές οι κάρτες ανάπτυξης εφαρμογών, οι οποίες παρέχουν τις απαραίτητες προϋποθέσεις για τη λειτουργία και τον προγραμματισμό του μικροελεγκτή, μπορούν να εκτελέσουν πολλές λειτουργίες από μόνες τους μέσω εσωτερικού υλικού.
Οι μικροϋπολογιστές, από την άλλη πλευρά, έχουν περισσότερους πόρους συστήματος και διεπαφές, ώστε να μπορούν να εκτελούν πολλαπλές λειτουργίες πιο εντατικά. Στα πανεπιστήμια όλα τα μαθήματα με αυτοματοποίηση, ρομποτική, επικοινωνία και περιεχόμενο ελέγχου αναφέρονται σε αυτά τα συστήματα που βασίζονται στους μικροελεγκτές. Διάφορες κάρτες ανάπτυξης εφαρμογών μικροελεγκτών και μικροϋπολογιστές χρησιμοποιούνται στις εφαρμογές που εκτελούνται από τους μαθητές, φοιτητές και διδακτικό προσωπικό. Οι έννοιες του μικροελεγκτή και του μικροϋπολογιστή συχνά αναμειγνύονται. Ενώ κάθε μικροελεγκτής έχει έναν μικροϋπολογιστή στο κέντρο, δεν είναι κάθε μικροϋπολογιστής και ένας μικροελεγκτής. Οι μικροεπεξεργαστές είναι προγραμματιζόμενα ολοκληρωμένα κυκλώματα που μπορούν να εκτελέσουν μαθηματικές και λογικές πράξεις σε ψηφιακές εισόδους. Βασικά, αποτελούνται από ένα μόνο τσιπ που περιέχει τις περιοχές καταχώρισης που απαιτούνται για τις λειτουργίες τους. Παράλληλα, αποτελούνται και από τις μονάδες εισόδου / εξόδου και τις διαδρομές δεδομένων που παρέχουν την επικοινωνία μεταξύ τους, καθώς και τη δομή που βασίζεται σε τρανζίστορ (Osborne, 1980: 12).

Η γενική δομή του μικροελεγκτή περιλαμβάνει διαφορετικές μονάδες όπως το ALU (Arithmetic Logic Unit) όπου εκτελούνται αριθμητικές και λογικές πράξεις, μονάδες μνήμης (Accumulator) όπου καταγράφονται τα αποτελέσματα αυτών των λειτουργιών και μονάδες εγγραφής (Registers) όπου καταγράφονται σημαντικές πληροφορίες. Ειδικότερα χρησιμοποιούνται τρεις διαφορετικοί τρόποι επικοινωνίας δεδομένων, διεύθυνσης πληροφοριών και εντολών ελέγχου μεταξύ αυτών των μονάδων (Hall, 1994: 15).

Μικροελεγκτές

Ο μικροελεγκτής είναι ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα Που περιέχει μικροεπεξεργαστή μονάδες μνήμης και διεπαφές εισόδου-εξόδου, αναλογική σε ψηφιακή μετατροπή (ADC), διαμόρφωση πλάτους παλμού (PWM) και διάφορες μονάδες ελέγχου και επικοινωνίας. Εκτός από την αριθμητική-λογική μονάδα (ALU), ειδικούς καταχωρητές (Registers), μονάδα ελέγχου επεξεργαστή και πυρήνα επεξεργαστή, ο μικροελεγκτής διαθέτει μονάδες μνήμης με ειδικές λειτουργίες μπορούν να χωριστούν σε σταθερές και προσωρινές μνήμες. Η μνήμη τυχαίας πρόσβασης (RAM) αποθηκεύει τις πληροφορίες που χρειάζεται ο επεξεργαστής κατά τη λειτουργία του, ενώ οι μνήμες ROM, PROM, EPROM και EEPROM, οι οποίες δεν αλλάζουν το περιεχόμενο, αποθηκεύουν πληροφορίες όπως το σύνολο εντολών, το πρόγραμμα και τα δεδομένα του προγράμματος, αρκεί να μην επαναπρογραμματίζονται. Η είσοδος και η έξοδος είναι ειδικές περιοχές εγγραφής που επιτρέπουν στον μικροελεγκτή να λαμβάνει δεδομένα από εξωτερικές μονάδες και να στέλνει δεδομένα (Gridling and Weiss, 2007: 11-35).

Οι πιο χρησιμοποιούμενες κάρτες μικροελεγκτή και ανάπτυξης εφαρμογών θα εξεταστούν σε αυτήν την ενότητα. Οι μικροελεγκτές 8 και 16 bit με αρχιτεκτονική RISC και ορισμένες πλακέτες ανάπτυξης εφαρμογών με αρχιτεκτονική CISC 32 bit θα εξεταστούν και θα συγκριθούν σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά τους. Όποιος αρχίσει να ασχολείται με μικροελεγκτές, σίγουρα θα αρχίσει να χρησιμοποιεί μικροελεγκτές PIC ή ATMEL. Εκτός από την απλότητα και το χαμηλό κόστος τους, διαθέτουν επίσης πολλούς μεταγλωττιστές (compilers) και γλώσσες προγραμματισμού. Αυτές οι εταιρείες, οι οποίες παράγουν πολλούς μικροελεγκτές 8 και 16 bit για πολλά χρόνια, παράγουν επίσης πολύ ισχυρότερους μικροελεγκτές 32 bit σήμερα. Με την πάροδο του χρόνου, πολλές εταιρείες παρείχαν διαφορετικά περιβάλλοντα ανάπτυξης λογισμικού με κάρτες ανάπτυξης προγραμμάτων για αυτούς τους μικροελεγκτές. Πολλές εμπορικές εταιρείες και μη κερδοσκοπικοί οργανισμοί έχουν δημιουργήσει το δικό τους περιβάλλον ανάπτυξης και το έχουν παρουσιάσει στους χρήστες με χαμηλό κόστος όπως η Intel και η ARM. Παρόλο που οι μικροελεγκτές 64-bit δεν φαίνεται να είναι ακόμη διαθέσιμοι στους τελικούς χρήστες, κάθε μικροελεγκτής 64-bit που κατασκευάζεται σήμερα μπορεί να θεωρηθεί ως ένας μικροελεγκτής ενσωματωμένος σε έναν μικροελεγκτή ή ένα μόνο τσιπ επειδή περιέχει διάφορα υλικά.

Μικροϋπολογιστές

Ο όρος μικροϋπολογιστής χρησιμοποιείται για να περιγράψει ένα σύστημα που περιλαμβάνει τουλάχιστον τα παρακάτω: μικροεπεξεργαστή, μνήμη προγράμματος, μνήμη δεδομένων και μονάδα εισόδου - εξόδου (I/O). Ορισμένα συστήματα μικροϋπολογιστών περιλαμβάνουν πρόσθετα στοιχεία όπως χρονοδιακόπτες, μετρητές, μονάδες επεξεργασίας διακοπών, μετατροπείς αναλογικού σε ψηφιακό, μονάδες σειριακής επικοινωνίας, μονάδες USB κ.ο.κ. Έτσι, ένα σύστημα μικροϋπολογιστή μπορεί να είναι οτιδήποτε, από ένα μεγάλο σύστημα που διαθέτει σκληρούς δίσκους, πληκτρολόγιο, οθόνη, δισκέτες και εκτυπωτές έως έναν ενσωματωμένο ελεγκτή με ένα τσιπ. Ο μικροϋπολογιστής είναι ένας υπολογιστής με κεντρική μονάδα επεξεργασίας (CPU) ως μικροεπεξεργαστή. Σχεδιασμένος για ατομική χρήση, ένας μικροϋπολογιστής είναι μικρότερος από έναν κεντρικό υπολογιστή ή έναν μικρό υπολογιστή. Ο όρος μικροϋπολογιστής δεν χρησιμοποιείται τόσο συχνά όσο κατά τη δεκαετία 1970-1980, καθώς αναφερόμαστε τώρα στους μικροϋπολογιστές ως απλά, υπολογιστές ή προσωπικούς υπολογιστές (Η / Υ) (Susa & Beltrao, 2021).

Τα συστήματα υπολογιστών μίας κάρτας (SBC) χρησιμοποιούνται σε πολλές εφαρμογές όπως έλεγχος, αυτοματοποίηση, επεξεργασία σήματος. Αυτά τα συστήματα, τα οποία μπορούν να τρέχουν ταυτόχρονα πολλαπλά συστήματα με ισχυρό επεξεργαστή και μεγάλη χωρητικότητα μνήμης, μπορούν να προγραμματιστούν μέσω διαφορετικών πλατφόρμων (ή με άλλα λόγια λογισμικών) και ακόμη και να λειτουργήσουν το λειτουργικό σύστημα. Τα χρησιμοποιούμε εδώ και πολύ καιρό, από τους πρώτους υπολογιστές έως την δημιουργία των μίνι υπολογιστών οι οποίοι συνδέονται με την τηλεόραση και ακόμη και με κονσόλες παιχνιδιών. Οι υπολογιστές με μία κάρτα που προκύπτουν από τη διαδικασία ανάπτυξης συστημάτων υπολογιστών στους οποίους μπορεί να έχει πρόσβαση ο καθένας τα τελευταία χρόνια προτιμώνται πλέον για πολλές εφαρμογές (Susa & Beltrao, 2021).

Οι μικροϋπολογιστές ενός τσιπ χάρη στις διαφορετικές δυνατότητες επεξεργαστή και μνήμης καθώς και στις διαφορετικές διεπαφές που διαθέτουν (Ethernet, HDMI, DSI, CVBS, PCI-ex κ.λπ.), χρησιμοποιούνται επίσης σε ηλεκτρονικές εφαρμογές γενικής χρήσης εισόδους και εξόδους (GPIO). Αυτές οι κάρτες, που μπορούν να συνδεθούν εσωτερικά ενσύρματα ή ασύρματα, έχουν επιλογές ασύρματης επικοινωνίας όπως το Bluetooth και υποστηρίζουν βιομηχανικά πρότυπα επικοινωνίας. Είναι πολύ εύκολα στη χρήση λόγω του χαμηλού κόστους και της ευρείας υποστήριξης λογισμικού. Τα τελευταία χρόνια, ο αριθμός των εφαρμογών που αναπτύχθηκαν με τη χρήση μικροελεγκτών αυξήθηκε ραγδαία. Μια ποικιλία καρτών ανάπτυξης μικροελεγκτών χρησιμοποιείται ευρέως. Αυτά τα συστήματα, αυξάνονται σε σημασία λόγω του μεγάλου αριθμού υλικών και της μεγάλης υποστήριξης λογισμικού. Ωστόσο, όταν υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι μικροελεγκτών και καρτών ανάπτυξης εφαρμογών στην αγορά, παρατηρείται ότι οι ενδιαφερόμενοι δυσκολεύονται από πού να ξεκινήσουν. Επιπλέον, δεν είναι εξοικειωμένοι με τις βασικές έννοιες των μικροεπεξεργαστών και των μικροελεγκτών και, επομένως συναντούν δυσκολίες στην επιλογή του απαραίτητου υλικού για την ανάγνωση και την εφαρμογή τεχνικών εγγράφων. Οι ταχέως εξελισσόμενες τεχνολογίες μικροελεγκτών γίνονται πλέον ενσωματωμένα συστήματα που μπορούν να κάνουν όλη τη δουλειά ταυτόχρονα με τα συστήματα υπολογιστών με μία κάρτα. Πολλά από αυτά τα συστήματα, τα οποία είναι ανοιχτού κώδικα, γίνονται όλο και πιο δημοφιλή. Linux, Android και Windows, καθώς και τα δικά τους λειτουργικά συστήματα, συστήματα αυτοματισμού και ελέγχου, καθώς και η επεξεργασία εικόνας και σήματος μπορούν να εκτελέσουν πολλές λειτουργίες (Susa & Beltrao, 2021).

2.2 Συστήματα Αυτόματου Ελέγχου

Ο αυτοματισμός έχει πολλούς διαφορετικούς ορισμούς. Αν και αυτοί οι ορισμοί είναι εννοιολογικά παρόμοιοι, τονίζουν τις διαφορετικές πτυχές του αυτοματισμού. Ορισμένοι ορισμοί επικεντρώνονται στη μεταφορά λειτουργιών από έναν χειριστή σε ένα αυτοματοποιημένο σύστημα: *«Μια συσκευή ή σύστημα που επιτυγχάνει (εν μέρει ή πλήρως) μια λειτουργία που είχε εκτελεστεί προηγουμένως (εν μέρει ή πλήρως) από έναν* *χειριστή»* (Susa & Beltrao, 2021). Είναι σαφές ότι ο αυτοματισμός περιλαμβάνει την κατανομή της λειτουργίας από έναν άνθρωπο σε ένα αυτοματοποιημένο σύστημα. Άλλοι ορισμοί είναι πιο συγκεκριμένοι και καθορίζουν τις εργασίες και τις λειτουργίες που μεταφέρονται πραγματικά από τον άνθρωπο στον αυτοματισμό. Οι Moray, Inagaki & Itoh (2000), για παράδειγμα, ορίζουν τον αυτοματισμό ως εξής: *«Ο αυτοματισμός είναι κάθε ενέργεια ανίχνευσης, επεξεργασίας πληροφοριών, λήψης αποφάσεων ή ελέγχου που θα μπορούσε να εκτελεστεί από ανθρώπους, αλλά στην πραγματικότητα εκτελείται από μηχανή»*. Ο Sheridan (2002) υποστηρίζει ότι ολόκληρο το εύρος του αυτοματισμού αντιπροσωπεύεται καλύτερα από τη λειτουργία που εκτελεί. Ο αυτοματισμός αναφέρεται: 1) στη μηχανοποίηση και ενσωμάτωση της ανίχνευσης περιβαλλοντικών μεταβλητών (με τεχνητούς αισθητήρες), 2) επεξεργασία δεδομένων και λήψη αποφάσεων (από υπολογιστές) και 3) μηχανική δράση (από κινητήρες ή συσκευές που ασκούν δυνάμεις στο περιβάλλον) ή *«δράση πληροφόρησης»* μέσω κοινοποίησης επεξεργασμένων πληροφοριών σε άτομα.

Ο αυτοματισμός μπορεί να κατηγοριοποιηθεί, ως το σύνολο των δυνάμεων στο περιβάλλον (π.χ. μοχλοί που ελέγχουν φυσικές διεργασίες). Αυτή η μορφή αυτοματισμού ονομάζεται εκτελεστικός ή ελεγχόμενος αυτοματισμός. (Dougherty, 2003).

Όσον αφορά την άσκηση ελέγχου στο περιβάλλον, οι απλές μορφές αυτοματισμού συχνά περιλαμβάνουν αυτές που σχετίζονται με τον έλεγχο της διαδικασίας. Μια εξέχουσα μορφή αυτοματισμού περιλαμβάνει τον έλεγχο των φυσικών διεργασιών. Η δημιουργία χαρτιού ή ηλεκτρικού ρεύματος, για παράδειγμα, περιλαμβάνει τη ροή προϊόντων μέσω διαδικασιών παραγωγής ή μεταφοράς. Ακόμα και σε αυτόν τον τύπο αυτοματισμού, ωστόσο, εξακολουθούν να υπάρχουν διαφορετικά επίπεδα αυτοματισμού που απαιτούν διαφορετικά επίπεδα ανθρώπινου ελέγχου. Ο εποπτικός έλεγχος αυτού του αυτοματισμού μπορεί να κυμαίνεται από τη διαχείριση χειροκίνητου ελέγχου, τη διαχείριση του αυτόματου ελέγχου, έως και τη διαχείριση πολλαπλών επιπέδων αυτόματου ελέγχου (Llinas, Bisantz et al., 1998).

Μια άλλη λειτουργία του αυτοματισμού είναι η παρουσίαση πληροφοριών στους ανθρώπους. Αυτός ο εκτελεστικός ή αυτοματοποιημένος έλεγχος βοηθά έναν χειριστή στην επίλυση προβλημάτων και στη λήψη αποφάσεων. Τα βοηθήματα απόφασης συνδέονται με τεχνητούς αισθητήρες στο περιβάλλον και έχουν το ρόλο να λαμβάνουν πληροφορίες, να τις ενσωματώνουν με άλλες μορφές πληροφοριών και να παρουσιάζουν την καλύτερη απόφαση που πρέπει να ληφθεί από τον χειριστή. Οι μετρητές καυσίμου, τα ταχύμετρα και τα ρολόγια, και σε πιο πολύπλοκο επίπεδο, συστήματα ειδικών και βοηθήματα αποφάσεων (Dougherty, 2003) είναι παραδείγματα αυτής της μορφής αυτοματισμού. Σε κάθε μία από αυτές τις ευρείες κατηγορίες, τα αυτοματοποιημένα συστήματα εκτελούν ένα πλήρες φάσμα εργασιών, από πολύ απλές έως και πιο πολύπλοκες. Αυτοί οι δύο τύποι αυτοματισμού απαντώνται συχνότερα στη βιβλιογραφία. Ένας τρίτος τύπος, πολύ λιγότερο συχνός, είναι ο αυτοματισμός που υπάρχει αποκλειστικά με σκοπό τη διαχείριση άλλων αυτοματισμών (Dougherty, 2003), όπως τα συστήματα διαχείρισης πτήσεων.

Όπως εύστοχα έχουν σημειώσει οι Parasumaran και Riley (1997): *«Όταν η ανακατανομή μιας λειτουργίας από άνθρωπο σε μηχανή είναι πλήρης και μόνιμη, τότε η λειτουργία θα τείνει να θεωρείται απλώς ως λειτουργία μηχανής, όχι ως αυτοματισμός ... ο σημερινός αυτοματισμός θα μπορούσε κάλλιστα να είναι η αυριανή μηχανή ».* Καθώς μια συνάρτηση χρησιμοποιείται και γίνεται αποδεκτή ως μέρος ενός συστήματος, μπορεί να ενσωματωθεί όλο και περισσότερο (και απρόσκοπτα) στο σύστημα και να γίνει απλώς μια λειτουργία μηχανής (Parasumaran & Riley, 1997). Εν ολίγοις, ο αυτοματισμός είναι η μεταφορά καθηκόντων που συνήθως εκτελούνται από τον άνθρωπο σε ένα σύνολο τεχνολογικών στοιχείων. Ένα αυτοματοποιημένο σύστημα αποτελείται από δύο μέρη (Moray, Inagaki & Itoh, 2000):

✓Λειτουργία: Μέρος που σχηματίζεται από στοιχεία που δρουν απευθείας στο μηχάνημα και το κάνουν να εκτελεί τις επιθυμητές λειτουργίες. Αυτά τα στοιχεία ονομάζονται ενεργοποιητές και μερικά παραδείγματα είναι οι κινητήρες, οι κύλινδροι ή οι φωτοδιόδοι.

✓ Έλεγχος: Ο εγκέφαλος του συστήματος, που κανονικά αποτελείται από ένα προγραμματιζόμενο αυτόματο μέρος, ικανό να επικοινωνεί με όλα τα συστατικά του τμήματος λειτουργίας.

Η ενσωμάτωση του ελέγχου στο σύστημα αυτοματισμού επιτρέπει την ανάπτυξη μιας διαδικασίας, μέσω του ορισμού ορισμένων μεταβλητών που κάνουν αυτές ή άλλες μεταβλητές να ενεργήσουν με τον επιθυμητό τρόπο. Αν και γενικότερα εικάζεται ότι συνιστά μια πρόσφατη τεχνολογία που αυτή τη στιγμή βρίσκεται σε πλήρη ανάπτυξη, ο αυτοματισμός χρονολογείται από την αρχαιότητα. Παρά το γεγονός ότι προγενέστεροι της αυτοματοποίησης, όπως το άγαλμα Osiris της αρχαίας Αιγύπτου, ο στροφαλοφόρος άξονας και τα μηχανικά ρολόγια του μηχανικού Al-Jazari (1260) ή οι αυτοματισμοί σχεδιασμένοι από τον Leonardo Da Vinci (1452-1519), η βιομηχανική επανάσταση θεωρείται ως η μεγαλύτερη τεχνολογική, κοινωνικο-οικονομική και πολιτιστική αλλαγή στην ιστορία.

Ο αυτοματισμός του σπιτιού ή τα έξυπνα σπίτια μπορούν να περιγραφούν ως εισαγωγή τεχνολογίας στο περιβάλλον του σπιτιού για να παρέχουν άνεση, ασφάλεια και ενεργειακή απόδοση στους ενοίκους του. Υπάρχουν πολλά άλλα έργα που γίνονται στον αυτοματισμό του σπιτιού σε διαφορετικές χώρες. Είναι όλα διαφορετικά μεταξύ τους σε σχέδια, χαρακτηριστικά, συσκευές, στοιχεία και αλγόριθμους. Σχεδιάστηκαν σύμφωνα με συγκεκριμένες ανάγκες και διαθεσιμότητα εξαρτημάτων στις αντίστοιχες περιοχές. Μερικά από αυτά είναι φθηνά. Μερικά από αυτά είναι πολύ ακριβά. Η διαθεσιμότητα τόσο του υλικού όσο και του λογισμικού είναι απαραίτητη για να λειτουργήσει. Μετά από μια μακρά αναζήτηση, βρέθηκαν πολλά έργα τα οποία χρησιμοποιούν Arduino και αναφέρονται σε τεχνολογίες σπιτιού. Αναζητώντας ας πούμε έργα για σκοπούς ασφάλειας, βρέθηκαν εφαρμογές οι οποίες ανταποκρίνονται στις ανάγκες ασφάλειας ενός γκαράζ. Αυτά γίνονται κυρίως στις δυτικές χώρες. Πολλά έργα γίνονται μόνο για λόγους ασφαλείας με Arduino ή Raspberry Pi. Και πάλι, τα έργα γίνονται μόνο για τον έλεγχο των οικιακών συσκευών χρησιμοποιώντας Arduino ή Raspberry Pi. Υπάρχουν λίγα έργα στη μονάδα αναγνώρισης δακτυλικών αποτυπωμάτων για ισχυρά ζητήματα ασφάλειας στο σπίτι. Ένα από τα έργα χρησιμοποιεί, για παράδειγμα, βιομετρική μέθοδο για το ηλεκτρονικό διαβατήριο επόμενης γενιάς (Kelly et al., 2001).

2.3 Δυνατότητες Arduino στα συστήματα αυτομάτου ελέγχου – Ιστορικά Στοιχεία

Το Arduino είναι μια ηλεκτρονική πλατφόρμα ανοιχτού κώδικα που βασίζεται σε εύχρηστο μικρο-εξοπλισμό και λογισμικό που χρησιμοποιείται για την κατασκευή έργων ηλεκτρονικής. Όλες οι πλακέτες Arduino έχουν ένα κοινό στοιχείο που είναι ο μικροελεγκτής (αναλύθηκε σε προηγούμενες ενότητες). Με το Arduino, μπορούν να σχεδιαστούν και να δημιουργηθούν εφαρμογές που μπορούν να αλληλοεπιδράσουν με το περιβάλλον. Οι πλακέτα Arduino αποτελούν ένα εργαλείο ελέγχου ηλεκτρονικών. Είναι σε θέση να διαβάζουν εισόδους με τον ενσωματωμένο μικροελεγκτή τους (π.χ. φως σε έναν αισθητήρα, ένα αντικείμενο κοντά σε έναν αισθητήρα) και να το μετατρέπουν σε έξοδο (Dougherty, 2003).

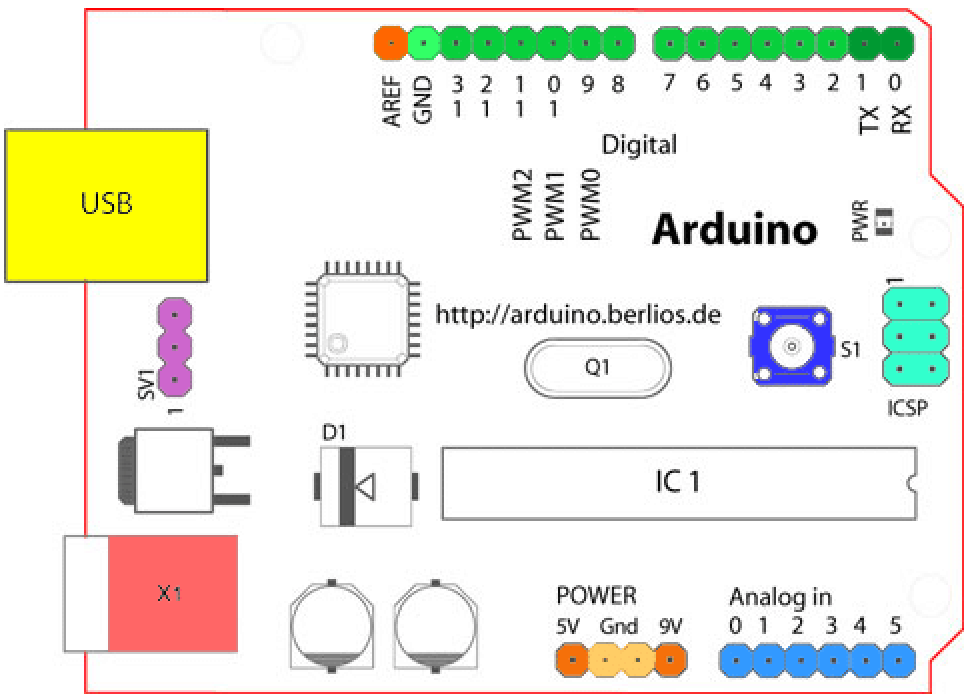
Με το Arduino, οι κατασκευαστές και οι ηλεκτρολόγοι/ηλεκτρονικοί μπορούν εύκολα να πρωτοτυπήσουν τα προϊόντα τους και να ζωντανέψουν τις ιδέες τους. Ένα Arduino βασίζεται σε έναν μικροελεγκτή που είναι ένας απλός εύχρηστος υπολογιστής, σχεδιασμένος για αρχάριους να τρέχουν 1 πρόγραμμα τη φορά, ξανά και ξανά. Το Raspberry Pi είναι ένας υπολογιστής μονής πλακέτας που βασίζεται σε μικροεπεξεργαστή και λειτουργεί ως υπολογιστής γενικής χρήσης. Είναι σε θέση να τρέξει διάφορα λειτουργικά συστήματα όπως Windows και Linux. Το Raspberry Pi είναι σε θέση να εκτελεί πολλά προγράμματα και είναι πιο περίπλοκο στη χρήση σε σύγκριση με το Arduino (Craft, 2013).

Η πλακέτα Arduino μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή πολλών διαφορετικών ηλεκτρονικών εφαρμογών. Εκτός από το κύριο τσιπ μικροελεγκτή, ένας μικροελεγκτής θα απαιτήσει πολλά διαφορετικά μέρη για να λειτουργήσει. Αυτό που κάνει το Arduino είναι ότι παίρνει όλα τα βασικά συστατικά ενός μικροελεγκτή και το σχεδιάζει με πολύ απλό τρόπο στη λειτουργία ενός τεμαχίου PCB. Αυτό κάνει τις πλακέτες Arduino φιλόξενες για όλους τους αρχάριους (Nayar & Puri, 2016).

Οι πλακέτες Arduino δημιουργήθηκαν αρχικά το 2005 από τον Massimo Benzi του Ινστιτούτου IVRAE για την ανάγκη εκμάθησης Η / Υ και ηλεκτρονικών από τους μαθητές. Μέχρι τότε η απόκτηση πλακέτας μικροελεγκτή ήταν δαπανηρή και δεν προσέφερε επαρκή υποστήριξη. Χρόνια αργότερα πραγματοποιήθηκε η τεχνολογία DIY, η οποία προσέφερε υποστήριξη στους μαθητές. Αργότερα, άλλοι ερευνητές εντάχθηκαν στο έργο, πρώτα ο Hernando Barragán, φοιτητής του Πανεπιστημίου της Κολομβίας, ο οποίος συνέβαλε με τον David Mellis, άλλο ερευνητή του Ινστιτούτου IVRAE, στην ανάπτυξη ενός περιβάλλοντος για τον προγραμματισμό του επεξεργαστή αυτής της πλακέτας. Με την πάροδο του χρόνου ενσωματώθηκαν στην ομάδα του Arduino ο David Curtielles, ο οποίος βοήθησε στην αποδυνάμωση της διεπαφής υλικού προσθέτοντας τους απαραίτητους μικροελεγκτές για να ενσωματώσουν την υποστήριξη και τη μνήμη στη γλώσσα προγραμματισμού για να χειριστούν εύκολα την πλατφόρμα, και τον Tom Igoe που έκανε την πλακέτα πιο ισχυρή μέσω της εισαγωγής θυρών USB για σύνδεση με υπολογιστές. Ξεκίνησαν τη δωρεάν διανομή στις σχολές ηλεκτρονικών, υπολογιστών (Kondaveeti et al, 2021). Αργότερα ο δημοσιογράφος Gianluca Martino τους βοήθησε να προωθήσουν το μοντέλο τους μέχρι που ο Natan Sadle προσφέρθηκε να εισαγάγει τις πλακέτες στη μαζική παραγωγή. Οι πλακέτες Arduino εντάχθηκαν τελικά ως νούμερο ένα εργαλεία εκμάθησης για την ανάπτυξη αυτόματων συστημάτων ελέγχου (Dougherty, 2003).

2.4 Λειτουργικά και Περιφερειακά στοιχεία Arduino

Το Arduino περιλαμβάνει τόσο φυσική προγραμματιζόμενη πλακέτα κυκλώματος (κοινώς γνωστή ως μικροελεγκτή) όσο και λογισμικό προγραμματισμού ή IDE (Integrated Development Environment) που μπορεί να εκτελεστεί σε υπολογιστή, που χρησιμοποιείται για τη σύνθεση και μεταφόρτωση του κώδικα στην πλακέτα κυκλώματος. Μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας τη γλώσσα προγραμματισμού Arduino (με βάση την καλωδίωση) και το λογισμικό Arduino (IDE), με βάση την επεξεργασία. Σε αντίθεση με άλλες προγραμματιζόμενες πλακέτες κυκλωμάτων, το Arduino δεν απαιτεί διαφορετικό εξοπλισμό για να ανεβάσει κώδικα στην πλακέτα κυκλώματος. Μπορεί ουσιαστικά να χρησιμοποιήσει μια σύνδεση USB. Επίσης, το Arduino IDE χρησιμοποιεί μια αναδιαταγμένη απόδοση του C ++, καθιστώντας απλούστερο τον τρόπο προγραμματισμού. Με μια λέξη, το Arduino κάνει τις λειτουργίες του μικροελεγκτή σε ένα πιο προσβάσιμο πακέτο για αρχάριους χρήστες. Το Uno είναι μια από τις πιο διαδεδομένες πλακέτες στην οικογένεια Arduino και μια εξαιρετική επιλογή για αρχάριους (Karvinen et al, 2014).



Εικόνα 2: Κοινά στοιχεία των πλακετών Arduino

Υπάρχουν διαφορετικοί τύποι Arduino για διαφορετικούς σκοπούς. Όλες όμως οι πλακέτες έχουν την πλειοψηφία των ακόλουθων συστατικών από κοινού. Ξεκινώντας δεξιόστροφα από το επάνω κέντρο της εικόνας 2 (Nayar & Puri, 2016):

❖ *Αναλογική καρφίτσα αναφοράς (πορτοκαλί)*

- *ψηφιακό έδαφος (ανοιχτό πράσινο)*
- *ψηφιακές ακίδες 2-13 (πράσινο)*
- *ψηφιακές ακίδες 0-1/Σειριακή είσοδος/έξοδος-TX/RX (σκούρο πράσινο) - Αυτές οι ακίδες δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ψηφιακή είσοδο/έξοδο (digitalRead και digitalWrite) εάν χρησιμοποιείται επίσης σειριακή επικοινωνία (π.χ. Serial.begin).*
- *Κουμπί Επαναφοράς-S1 (σκούρο μπλε)*
- *Σειριακός προγραμματιστής σε κύκλωμα (τιρκουάζ)*
- *Αναλογικό σε ακίδες 0-5 (γαλάζιο)*
- *Καρφίτσες τροφοδοσίας και γείωσης (ισχύς: πορτοκαλί, βάσεις: ανοιχτό πορτοκαλί)*
- *Εξωτερική τροφοδοσία Σε (9-12VDC) - X1 (ροζ)*
- *Εναλλαγή εξωτερικής τροφοδοσίας και τροφοδοσίας USB - SV1 (μοβ)*
- *USB (χρησιμοποιείται για τη μεταφόρτωση κώδικα στην πλακέτα και για σειριακή επικοινωνία μεταξύ πλακέτα και υπολογιστή. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την τροφοδοσία της πλακέτας) (κίτρινο).*

Οι ψηφιακές ακίδες σε μια πλακέτα Arduino μπορούν να χρησιμοποιηθούν για είσοδο και έξοδο γενικής χρήσης μέσω των εντολών pinMode (), digitalRead () και digitalWrite (). Κάθε πείρος διαθέτει εσωτερική αντίσταση έλξης, η οποία μπορεί να ενεργοποιηθεί και να απενεργοποιηθεί χρησιμοποιώντας το digitalWrite () (με τιμή HIGH ή LOW, αντίστοιχα) όταν ο πείρος έχει διαμορφωθεί ως είσοδος (Kondaveeti et al, 2021).

- *Σειρά: 0 (RX) και 1 (TX). Χρησιμοποιείται για τη λήψη σειριακών δεδομένων (RX) και μετάδοσης (TX) TTL.*

- *Εξωτερικές διακοπές: 2 και 3. Αυτές οι ακίδες μπορούν να διαμορφωθούν ώστε να ενεργοποιούν μια διακοπή σε χαμηλή τιμή, ανερχόμενη ή πτωτική άκρη ή αλλαγή στην τιμή.*

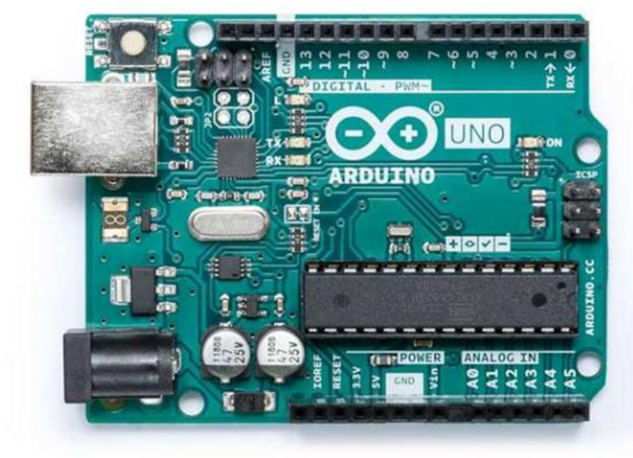
- *PWM: 3, 5, 6, 9, 10 και 11. Παρέχει έξοδο PWM 8-bit με τη λειτουργία analogWrite (). Σε πλακέτες με ATmega8, η έξοδος PWM είναι διαθέσιμη μόνο στις ακίδες 9, 10 και 11.*

Οι αναλογικές ακίδες εισόδου υποστηρίζουν μετατροπή 10-bit αναλογικής σε ψηφιακή (ADC) χρησιμοποιώντας τη λειτουργία analogRead (). Οι περισσότερες από τις αναλογικές εισόδους μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν ως ψηφιακές ακίδες: η αναλογική είσοδος 0 ως ψηφιακή ακίδα 14 μέσω της αναλογικής εισόδου 5 ως ψηφιακή ακίδα 19.

Περιγραφή εξαρτημάτων

- ✓ Arduino UNO

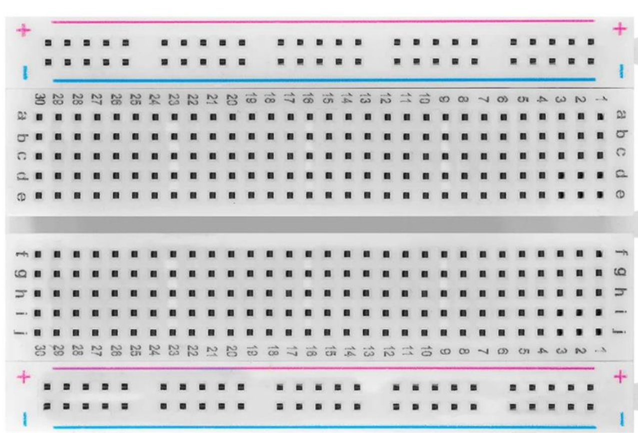
Το Uno είναι ένας από τους πιο δημοφιλείς πλακέτες Arduino. Αποτελείται από 14 ψηφιακούς ακροδέκτες I/O, όπου οι 6 ακίδες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως PWM (έξοδοι διαμόρφωσης πλάτους παλμού), 6 αναλογικές εισόδους, κουμπί επαναφοράς, πρίζα, σύνδεση USB και άλλα. Περιλαμβάνει όλα όσα απαιτούνται για τη συγκράτηση του μικροελεγκτή. Απλά συνδέετε το σε υπολογιστή με τη βοήθεια καλωδίου USB και χρειάζεται για την εκκίνηση με έναν προσαρμογέα ή μπαταρία AC-to-DC.



Εικόνα 3: Arduino UNO

- ✓ Breadboard

Αυτή η πλακέτα είναι μια κατασκευαστική βάση για την δημιουργία πρωτότυπων ηλεκτρονικών. Στη δεκαετία του 1970, η πλακέτα χωρίς κόλληση (γνωστή και ως ένας πίνακας τερματικών συστοιχιών) έγινε διαθέσιμη και στις μέρες μας ο όρος "breadboard" χρησιμοποιείται συνήθως για να αναφερθεί σε αυτή (το breadboard δεν απαιτεί συγκόλληση και είναι επαναχρησιμοποιήσιμο). Αυτό το καθιστά εύκολο στη χρήση για τη δημιουργία προσωρινών πρωτοτύπων και τον πειραματισμό με το σχεδιασμό κυκλωμάτων. Για το λόγο αυτό, τα breadboard είναι επίσης δημοφιλείς στους μαθητές και στην τεχνολογική εκπαίδευση, ενώ μια ποικιλία ηλεκτρονικών συστημάτων μπορεί να πρωτοτυπηθεί χρησιμοποιώντας breadboard, από μικρά αναλογικά και ψηφιακά κυκλώματα έως ολοκληρωμένες κεντρικές μονάδες επεξεργασίας (CPU).


Εικόνα 4: Breadboard

- ✓ DC Motor

Ο κινητήρας DC είναι οποιαδήποτε κατηγορία περιστροφικών ηλεκτρικών μηχανών που μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια συνεχούς ρεύματος σε μηχανική. Οι πιο συνηθισμένοι τύποι βασίζονται στις δυνάμεις που παράγονται από τα μαγνητικά πεδία. Σχεδόν όλοι οι τύποι κινητήρων DC έχουν κάποιον εσωτερικό μηχανισμό, είτε ηλεκτρομηχανικούς είτε ηλεκτρονικούς, για να αλλάζουν περιοδικά την κατεύθυνση της ροής ρεύματος σε μέρος του κινητήρα. Η ταχύτητα ενός κινητήρα DC μπορεί να ελεγχθεί σε μεγάλο εύρος, χρησιμοποιώντας είτε μεταβλητή τάση τροφοδοσίας είτε αλλάζοντας την ένταση του ρεύματος στις περιελίξεις πεδίου. Μικροί κινητήρες DC χρησιμοποιούνται σε εργαλεία, παιχνίδια και συσκευές. Ο DCκινητήρας μπορεί να λειτουργεί με συνεχές ρεύμα και αποτελεί έναν ελαφρύ κινητήρα που χρησιμοποιείται για φορητά ηλεκτρικά εργαλεία και συσκευές.

Εικόνα 5: DC motor

- ✓ Βοηθητικό μοτέρ - Servomotor

Το βοηθητικό μοτέρ αποτελεί έναν περιστροφικό ή γραμμικό ενεργοποιητή. Μπορεί να ελέγξει με ακρίβεια τη γωνιακή ή γραμμική θέση, την ταχύτητα και την επιτάχυνση. Αποτελείται από έναν κατάλληλο κινητήρα συνδεδεμένο με έναν αισθητήρα για ανάδραση θέσης. Απαιτεί επίσης έναν σχετικά εξελιγμένο ελεγκτή σχεδιασμένο ειδικά για χρήση με σερβοκινητήρες.

Εικόνα 6: Servomotor

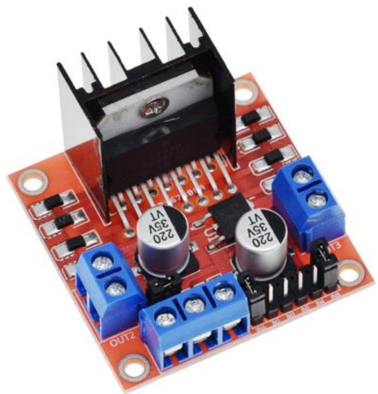
- ✓ Τρανζίστορ

Ένα τρανζίστορ είναι μια συσκευή ημιαγωγών που χρησιμοποιείται για την ενίσχυση ή την αλλαγή ηλεκτρονικών σημάτων και ηλεκτρικής ισχύος. Αποτελείται από υλικό ημιαγωγών συνήθως με τουλάχιστον τρεις ακροδέκτες για σύνδεση σε εξωτερικό κύκλωμα. Μια τάση ή ρεύμα που εφαρμόζεται σε ένα ζεύγος ακροδεκτών του τρανζίστορ ελέγχει το ρεύμα μέσω ενός άλλου ζεύγους ακροδεκτών. Επειδή η ελεγχόμενη ισχύς (εξόδου) μπορεί να είναι μεγαλύτερη από την ισχύ ελέγχου (εισόδου), ένα τρανζίστορ μπορεί να ενισχύσει ένα σήμα. Σήμερα, ορισμένα τρανζίστορ συσκευάζονται μεμονωμένα, αλλά πολλά άλλα βρίσκονται ενσωματωμένα σε ολοκληρωμένα κυκλώματα.

Εικόνα 7: Transistor

- ✓ Γέφυρα Η

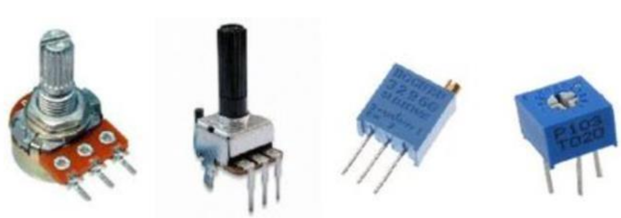
Μια γέφυρα είναι ένα ολοκληρωμένο κύκλωμα (IC) που αλλάζει την πολικότητα μιας τάσης που εφαρμόζεται σε ένα φορτίο. Αυτά τα κυκλώματα χρησιμοποιούνται συχνά στη ρομποτική και άλλες εφαρμογές για να επιτρέψουν στους κινητήρες DC να λειτουργούν προς τα εμπρός ή προς τα πίσω. Οι περισσότεροι μετατροπείς DC-σε-AC (μετατροπείς ισχύος), οι περισσότεροι μετατροπείς AC/AC, ο μετατροπέας DC-σε-DC, οι περισσότεροι ελεγκτές κινητήρα και πολλά άλλα είδη ηλεκτρονικών ισχύος χρησιμοποιούν γέφυρες Η. Συγκεκριμένα, ένας διπολικός βηματικός κινητήρας οδηγείται σχεδόν πάντα από έναν ελεγκτή κινητήρα που περιέχει δύο γέφυρες Η.



Εικόνα 8: H-Bridge

- ✓ Ποτενσιόμετρο

Το ποτενσιόμετρο είναι μια τρισδιάστατη αντίσταση με συρόμενη ή περιστρεφόμενη επαφή που σχηματίζει ρυθμιζόμενο διαχωριστή τάσης. Εάν χρησιμοποιούνται μόνο δύο ακροδέκτες, το ένα άκρο και ο ολισθητής (wiper), λειτουργεί ως μεταβλητή αντίστασης ή ρεοστάτης. Το όργανο μέτρησης που ονομάζεται ποτενσιόμετρο είναι ουσιαστικά ένας καταμεριστής τάσης που χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του ηλεκτρικού δυναμικού (τάση).



Εικόνα 9: Potentiometers

✓ Εξωτερική πηγή ενέργειας

Για αυτόνομη λειτουργία, η πλακέτα τροφοδοτείται από μπαταρία και όχι μέσω σύνδεσης USB στον υπολογιστή. Ενώ η εξωτερική τάση μπορεί να είναι οπουδήποτε στην περιοχή από 6 έως 24 V, μια τυπική μπαταρία 9 V είναι βολική. Ενώ είναι εφικτό να μπλοκαριστούν τα καλώδια μιας μπαταρίας στις συνδέσεις Vin και Gnd στην πλακέτα, είναι καλύτερα να συνδεθούν τα καλώδια της μπαταρίας σε ένα βύσμα τροφοδοσίας DC και να γίνει σύνδεση στην υποδοχή τροφοδοσίας στην πλακέτα.

Εικόνα 10: 9V Battery

✓ Λογισμικό Arduino

Το λογισμικό Arduino ανοιχτού κώδικα (IDE) διευκολύνει την εγγραφή κώδικα και τη μεταφόρτωσή του στην πλακέτα. Το περιβάλλον είναι γραμμένο σε Java και βασίζεται σε επεξεργασία και άλλο λογισμικό ανοιχτού κώδικα. Αυτό το λογισμικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί με οποιανδήποτε πλακέτα Arduino.

Εικόνα 11: Arduino IDE

Κεφάλαιο 3

3. Εφαρμογή 1: Έλεγχος στροφών ενός DC κινητήρα

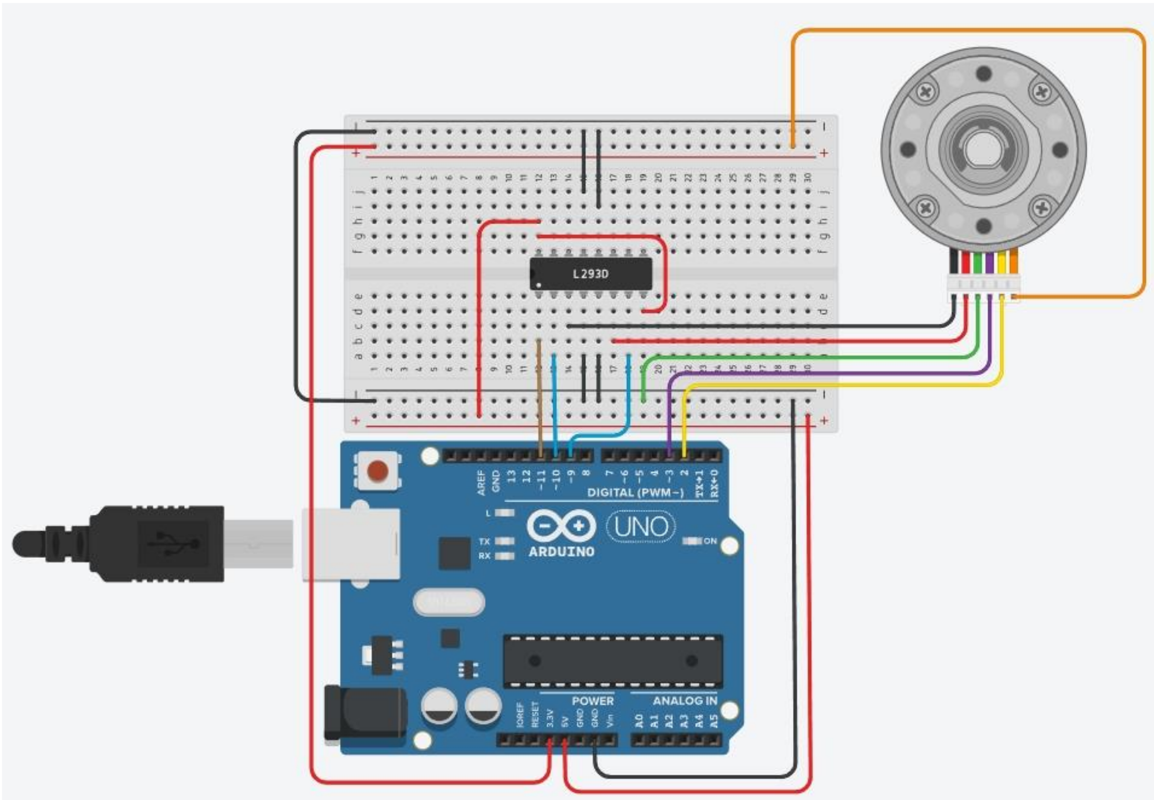
3.1 Εισαγωγή

Στο τρίτο κεφάλαιο θα παρουσιαστεί το πείραμα του συστήματος κλειστού βρόχου για τον έλεγχο των στροφών ενός DC κινητήρα. Για την υλοποίηση της συγκεκριμένης λειτουργίας χρησιμοποιείται Arduino προγραμματισμένο ως ένας PID ελεγκτής. Παρακάτω θα αναλυθούν όλα τα εξαρτήματα που χρειάστηκαν για το σύστημα και θα παρουσιαστούν όλες οι βασικές αρχές λειτουργίας που είναι απαραίτητες για την σύσταση του συστήματος.
Στο τέλος, παρουσιάζονται οι αποκρίσεις του συστήματος που προέκυψαν κατά την ρύθμιση των παραμέτρων του ελεγκτή με την χρήση της δοκιμής και σφάλματος.

3.2 Υλικά - εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν

- Arduino Mega2560 R3
- Motor Driver L293D
- DC Motor 5-12V
- Encoder 30ppr 3.3V
- Breadboard
- Jumper Wires and Female-to-male Dupont Wires

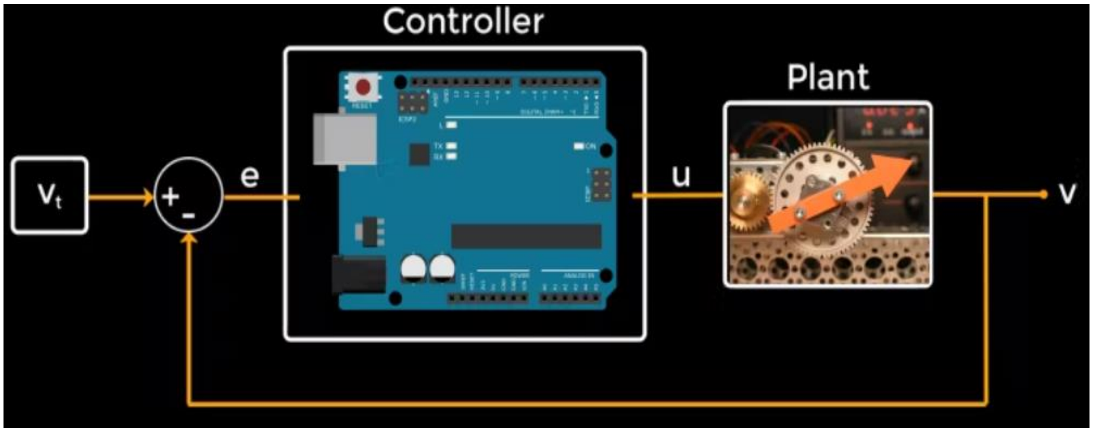
3.3 Συνδεσμολογία Συστήματος



Εικόνα 12: Συνδεσμολογία-Διάταξη Συστήματος

3.4 Περιγραφή του συστήματος

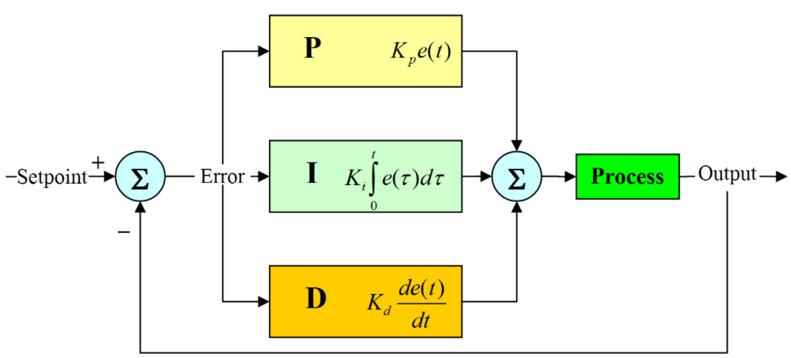
Αρχικά, συνδέθηκαν όλα τα επι μέρους εξαρτήματα μεταξύ τους κατάλληλα, έχοντας μελετήσει το διάγραμμα ξεχωριστά κάθε εξαρτήματος. Ακολούθως, το Arduino έχει προγραμματιστεί κατάλληλα ώστε να συμπεριφέρεται σαν ένας PID ελεγκτής (Παράρτημα 1). Το σύστημα λαμβάνει ως είσοδο μια επιθυμητή ταχύτητα σε RPM με την οποία θα περιστρέφεται ο DC κινητήρας. Καθώς περιστρέφεται ο κινητήρας, το σύστημα παίρνει ανατροφοδότηση από τον περιστροφικό κωδικοποιητή για την ταχύτητα την οποία έχει την συγκεκριμένη στιγμή. Αφού φτάσει στην επιθυμητή ταχύτητα προσπαθεί να την διατηρήσει. Εάν υπάρξει οποιαδήποτε εξωτερική παρεμβολή (π.χ. διαταραχή) προσπαθεί να την διορθώσει. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την συνεχή διατήρηση της επιθυμητής ταχύτητας ανεξαρτήτου παρεμβολής. Στην εικόνα πιο κάτω φαίνεται το διάγραμμα βαθμίδων του συγκεκριμένου συστήματος.



Εικόνα 13: Διάγραμμα βαθμίδων συστήματος

3.5 Αναλυτική Περιγραφή του Ελεγκτή του Πειράματος.

Στην αρχή, ορίζεται η επιθυμητή ταχύτητα του κινητήρα. Στην συνέχεια μέσω του αλγορίθμου του PID ελεγκτή υπολογίζεται και παρέχεται στον κινητήρα το κατάλληλο σήμα PWM (σήμα – ισχύς). Το σήμα αυτό υπολογίζεται με βάση το σφάλμα που εισάγεται στον ελεγκτή. Ειδικότερα, ο ελεγκτής είναι ένας PID ελεγκτής που καθορίζεται από τις παραμέτρους kP, kI και kD αντίστοιχα. Αμέσως, ο αποκωδικοποιητής δίνει την ανατροφοδότηση και συγκρίνεται με το επιθυμητό αποτέλεσμα. Εάν προκύψει κάποιο σφάλμα τότε ο αλγόριθμος του ελεγκτή ρυθμίζει το σήμα εξόδου προς τον κινητήρα, για την μείωση και εξάλειψη του σφάλματος. Στην εικόνα 14 φαίνεται ένα απλοποιημένο σύστηματα ελέγχου με ανατροφοδότηση και PID ελεγκτή.

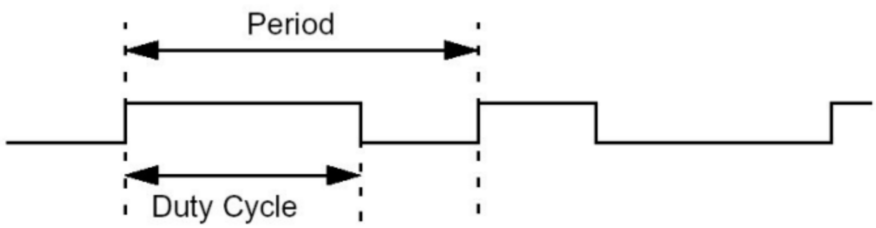


Εικόνα 14: Διάγραμμα βαθμίδων PID ελεγκτή.

3.6 Αρχές λειτουργείας

Σήμα PWM

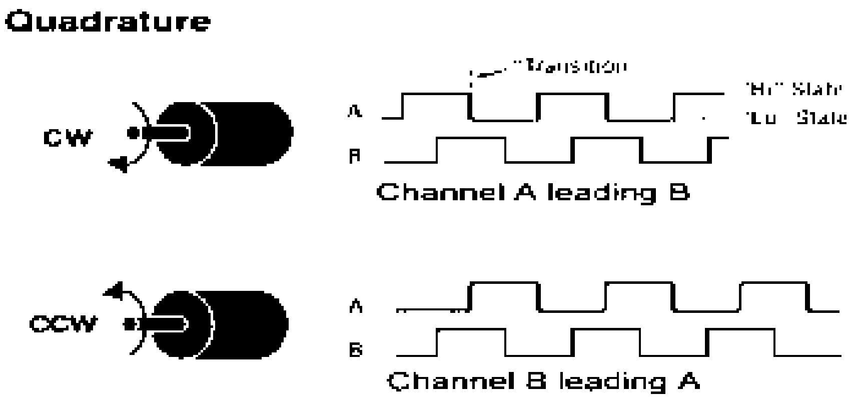
Ένα σήμα PWM είναι στην ουσία μια κυμματομορφή τετραγωνικών παλμών σταθερής συχνότητας. Αποτελείται από δυο μέρη, το HIGH που σημαίνει ότι το σήμα έχει την μέγιστη τιμή του και το LOW όπου το σήμα έχει την ελάχιστη τιμή του (μηδέν). Το μέρος HIGH ονομάζεται Duty cycle, μετριέται σε μονάδες χρόνου είτε σε ποσοστό επί της περιόδου. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται ο έλεγχος της ισχύος που δίνεται σε ένα φορτίο.



Εικόνα 15: Κυμματομορφή PWM.

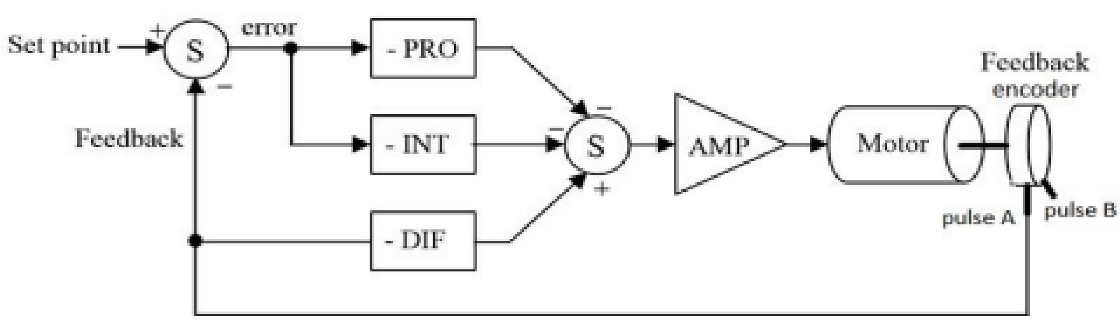
Αποκωδικοποίηση Αυξητικού Περιστροφικού Κωδικοποιητή

Η έξοδος ενός περιστροφικού κωδικοποιητή σχηματίζεται από δύο παλμικά σήματα που είναι 90º εκτός φάσης. Ο αριθμός των παλμών συσχετίζεται με τον αριθμό των θυρίδων που καλύπτει ο δίσκος του κωδικοποιητή σε μία πλήρη περιστροφή. Η κύρια ιδέα του ελέγχου θέσης είναι ότι από την αρχική (μηδέν) θέση μας πρέπει να μετρήσουμε τον αριθμό υποδοχών που θα καλύψει ο δίσκος είτε σε κατεύθυνση CW είτε CCW, δηλαδή, δεξιόστροφα ή αριστερόστροφα. Το πλήθος θα μειωθεί αν ο δίσκος αντιστρέφει την κατεύθυνση του. Για παράδειγμα, εάν ο κινητήρας άρχισε να κινείται δεξιόστροφα και μετρούσε 5 παλμούς (5 υποδοχές), μετά για να επιστρέψει στην αρχική του θέση πρέπει να μετακινηθεί 5 μετρήσεις αριστερόστροφα, ώστε να καταλήξει εκεί που ξεκίνησε. Θα χρησιμοποιήσουμε τον παλμό A και τον παλμό B για παρακολούθηση θέσης και ανίχνευση κατεύθυνσης, καθώς και ένα μετρητή που θα αυξάνεται ή θα μειώνεται ανάλογα με τη κατεύθυνση του κινητήρα. Πρώτα, ελέγχονται πόσοι παλμοί χρειάζονται για μια πλήρη στροφή του κινητήρα, και εφαρμόζεται ένα κύκλωμα ανίχνευσης κατεύθυνσης χρησιμοποιώντας ένα χρονισμένο αποκωδικοποιητή τετραγωνισμού για να προσδιοριστεί εάν ο κινητήρας κινείται σε κατεύθυνση CW ή CCW. Ένας παλμός στην κατεύθυνση CW αναγκάζει τον μετρητή να μετρήσει προς τα πάνω, ενώ ένας παλμός στην κατεύθυνση CCW αναγκάζει τον μετρητή να μετρήσει προς τα κάτω.



Εικόνα 16: Κυμματομορφή αποκωδικοποιητή

Χρήση του PID ελεγκτή ως ελεγκτή θέσης.



Εικόνα 17: Διάγραμμα Βαθμίδων PID ελεγκτή στροφών

Το πρώτο πράγμα που πρέπει να παρατηρήσει κάποιος σε έναν PID ελεγκτή είναι πως πρόκειται για μια παράλληλη διαδικασία. Υπολογίζονται οι όροι P, I και D ανεξάρτητα και στη συνέχεια προστίθενται στον αθροιστή. Η είσοδος σε αυτόν τον βρόχο είναι το σημείο ρύθμισης όπου στη δική μας εφαρμογή χρησιμοποιείται ως μηδενική θέση το 0 VDC. Η έξοδος είναι ένα σήμα το οποίο θα χρησιμοποιήσουμε για να ελέγξουμε τη ταχύτητα του κινητήρα προς την κατάλληλη κατεύθυνση, όπως καθορίζεται από τον κωδικοποιητή.

Θα εξετάσουμε τώρα καθένα εκ των όρων PID ανεξάρτητα για να δούμε πώς σχετίζονται. Στο αριστερό άκρο του σχήματος, βλέπουμε μια αθροιστική διασταύρωση ή σύγκριση. Η διαφορά μεταξύ του σημείου ρύθμισης και της ανατροφοδότησης είναι το σφάλμα του συστήματος. Εάν η μετρούμενη θέση του κινητήρα είναι θετική από εκεί που θα έπρεπε να είναι, το σφάλμα θα είναι αρνητικό (δηλαδή απαιτείται αρνητική διόρθωση). Ομοίως, εάν η θέση είναι αρνητική, τότε απαιτείται θετική διόρθωση.

Χαρακτηριστικά Αναλογικής λειτουργίας

Το σύστημα θα προσπαθήσει να διορθώσει το σφάλμα στρέφοντας τον κινητήρα σε μια κατεύθυνση που αντιτίθεται στο σφάλμα με κατάλληλη ταχύτητα. Η ένταση της διόρθωσης καθορίζεται από το αναλογικό κέρδος. Αν δεν υπάρχει λάθος, δεν υπάρχει αναλογική κίνηση.

Χαρακτηριστικά Ολοκληρωτικής λειτουργίας

Η ολοκλήρωση του σφάλματος παρέχει στη συνέχεια ένα σήμα διόρθωσης στον κινητήρα.

Το τμήμα ολοκλήρωσης συσσωρεύει το σφάλμα. Ένα μικρό λάθος μπορεί να προκαλέσει μεγάλη διόρθωση με την πάροδο του χρόνου. Καθώς το σφάλμα συσσωρεύεται, ο κινητήρας αναγκάζεται να διορθώσει το σφάλμα. Ο ολοκληρωτής θα υπερβεί το σημείο ρύθμισης.

Χαρακτηριστικά Διαφορικής λειτουργίας

Όταν ο κινητήρας αρχίσει να περιστρέφεται, η ταχύτητά του θα αυξάνεται ή θα μειώνεται.

Αν έχουμε ταχύτητα που αλλάζει με την πάροδο του χρόνου, έχουμε ράμπα. Η κλίση αυτής της ράμπας αλλάζει ανάλογα με τη ταχύτητα του κινητήρα. Εάν ο κινητήρας κινείται γρήγορα, η κλίση είναι μεγάλη. Κατά συνέπεια, η έξοδος του του παραγώγου θα είναι επίσης υψηλή.

Ο διαφοριστής θα έχει υψηλή τάση εξόδου όταν ο κινητήρας κινείται γρήγορα και χαμηλή τάση όταν ο κινητήρας κινείται αργά. Αυτό το σήμα εφαρμόζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να επιβραδύνει τον κινητήρα. Εάν ο κινητήρας δεν κινείται, ο διαφοριστής έχει 0 τάση εξόδου. Επομένως, μετρά μόνο την ταχύτητα τη στιγμή που κινείται ο κινητήρας και δεν ενδιαφέρεται για το σημείο ρύθμισης.

Επίδραση των παραμέτρων PID στην απόκριση του συστήματος

Αυξάνοντας τους παραμέτρους PID:

Πίνακας 1: Επιδράσεις Παραμέτρων PID

	kP	kI	kD
Χρόνος Ανόδου	μείωση	μείωση	αύξηση
Υπέρβαση	αύξηση	αύξηση	μείωση
Χρόνος διευθέτησης	μικρή αλλαγή	αύξηση	μείωση
Σφάλμα σταθερής κατάστασης	μείωση	εξάλειψη	καμία αλλαγή

3.7 Προσομοίωση *και Σύγκριση*

Στη συγκεκριμένη υποενότητα θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα του συστήματος κλειστού βρόχου για τον έλεγχο στροφών του κινητήρα DC. Οι προσομοιώσεις θα αφορούν διάφορους συνδυασμούς των παραμέτρων kP, kI και kD. Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, για την ρύθμιση των παραμέτρων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος δοκιμή και σφάλμα, έτσι, στο τέλος θα επιλεγεί ο συνδυασμός με το καλύτερο αποτέλεσμα. Σε κάθε συνδυασμό θα φαίνεται η απόκριση του συστήματος κατά την εκκίνηση και σε κάποιες παρεμβολές που έγιναν με το χέρι πάνω στον κινητήρα.

Όλες οι προσομοιώσεις θα παρουσιαστούν μέσα από διαγράμματα του Serial Plotter του Arduino IDE στο πεδίο του χρόνου.

Ο Y άξονας των παρακάτω προσομοιώσεων απεικονίζει την ταχύτητα του κινητήρα μετρημένο σε στροφές ανά λεπτό(rpm), ενώ ο X άξονας απεικονίζει τον χρόνο μετρημένο σε χιλιοστά δευτερολέπτου(ms).

Με μπλε χρώμα είναι η απόκριση του συστήματος και το σημείο ρύθμισης είναι στις 1000 στροφές ανά λεπτό.

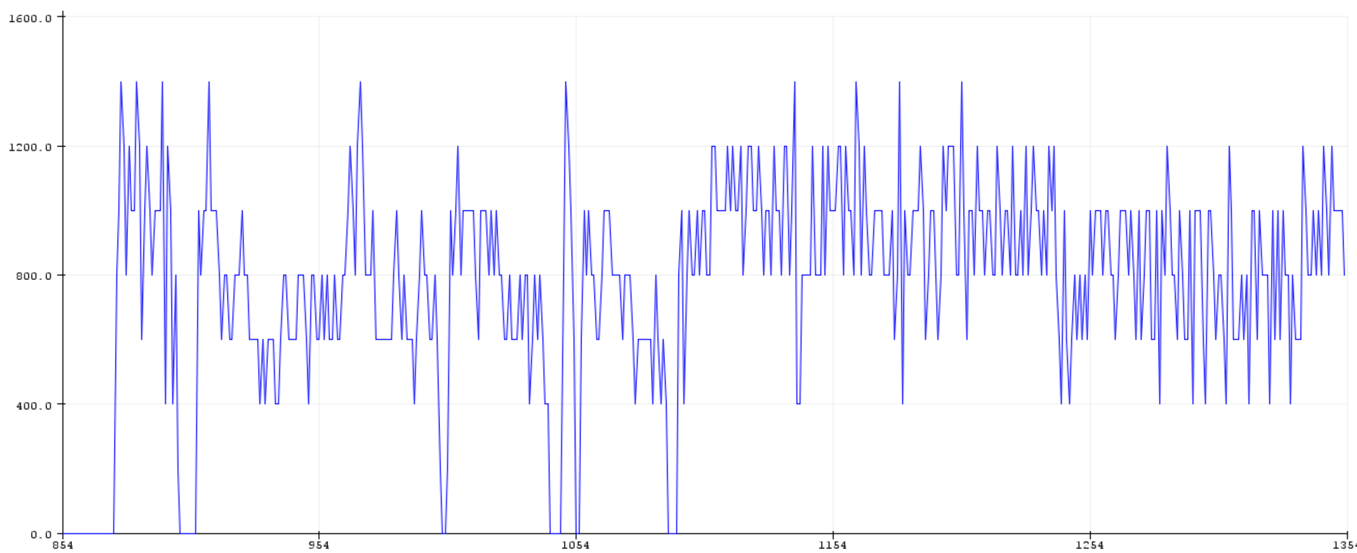
Λόγω της μη επαρκούς ισχύος που προσφέρεται στον κινητήρα λόγω του εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκε παρατηρούνται αποκλίσεις ως προς τη ρύθμιση ταχύτητας κατά τις προσομοιώσεις.

- Πρώτη Προσομοίωση

kP = 5

kI = 0.001

kD = 0.001



Διάγραμμα 1: Απόκριση πρώτης προσομοίωσης για τον ελεγκτή στροφών

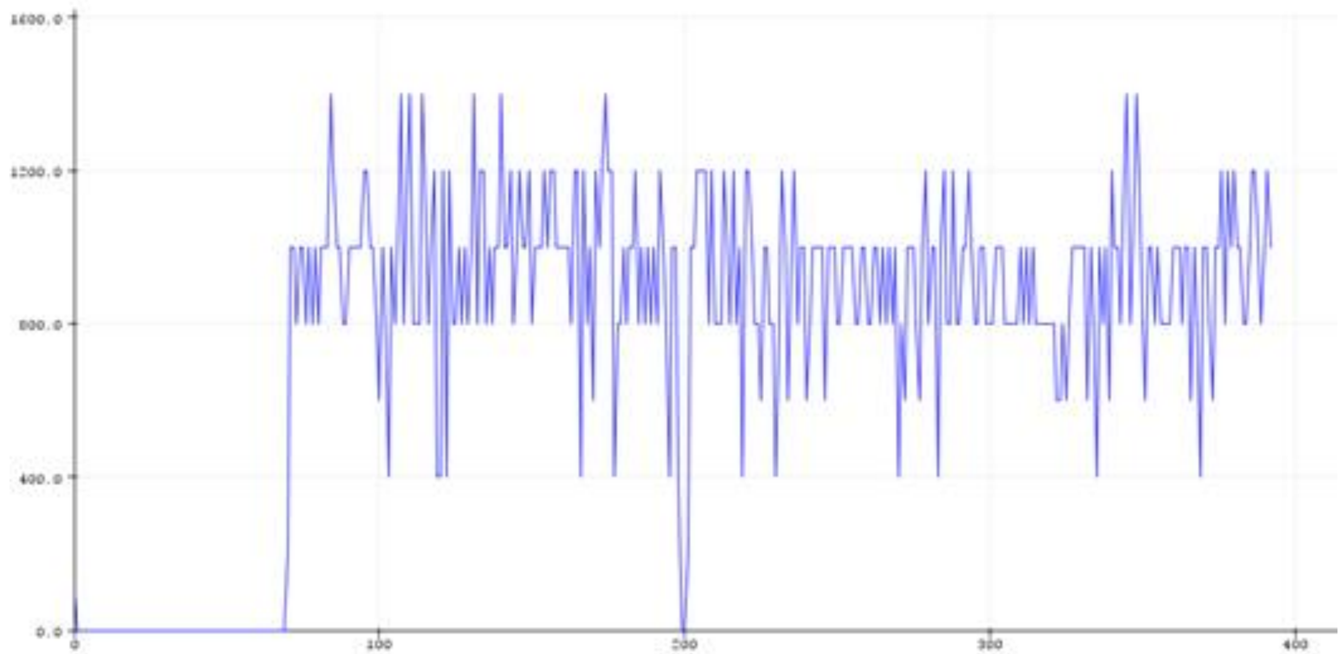
Από το διάγραμμα 1 παρατηρείται ότι ο ελεγκτής αρχικά παρουσιάζει δυσκολία επίτευξη του σημείου ρύθμισης λόγω του χαμηλού kP, ενώ αργότερα παρατηρούνται μεγάλες και ασταθείς ταλαντώσεις κοντά στο σημείο ρύθμισης λόγω χαμηλού kI και kD. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 1 έχουμε ασταθή έλεγχο ταχύτητας λόγω προβληματικής τροφοδοσίας του κινητήρα.

- Δεύτερη Προσομοίωση

kP = 50

kI = 0.001

kD = 0.001



Διάγραμμα 2: Απόκριση δεύτερης προσομοίωσης για τον ελεγκτή στροφών

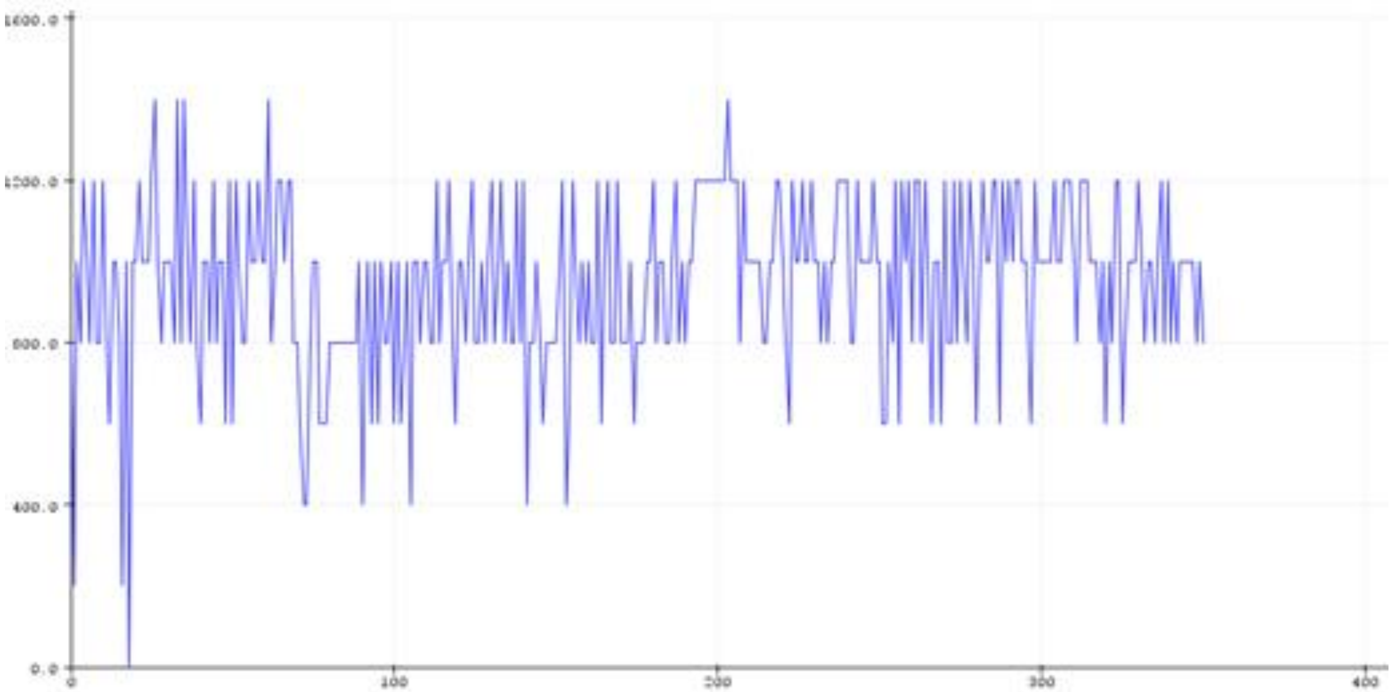
Από το διάγραμμα 2 παρατηρείται ότι ο ελεγκτής λόγω της αύξησης του kP σε σχέση με την προηγούμενη προσομοίωση παρουσιάζει λίγο καλύτερη αρχική απόκριση κοντά στο σημείο ρύθμισης. Οι μεγάλες και ασταθείς ταλαντώσεις συνεχίζουν να υφίστανται. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 2 έχουμε ασταθή έλεγχο ταχύτητας λόγω προβληματικής τροφοδοσίας του κινητήρα.

- Τρίτη Προσομοίωση

kP = 500

kI = 1

kD = 0.001



Διάγραμμα 3: Απόκριση τρίτης προσομοίωσης για τον ελεγκτή στροφών

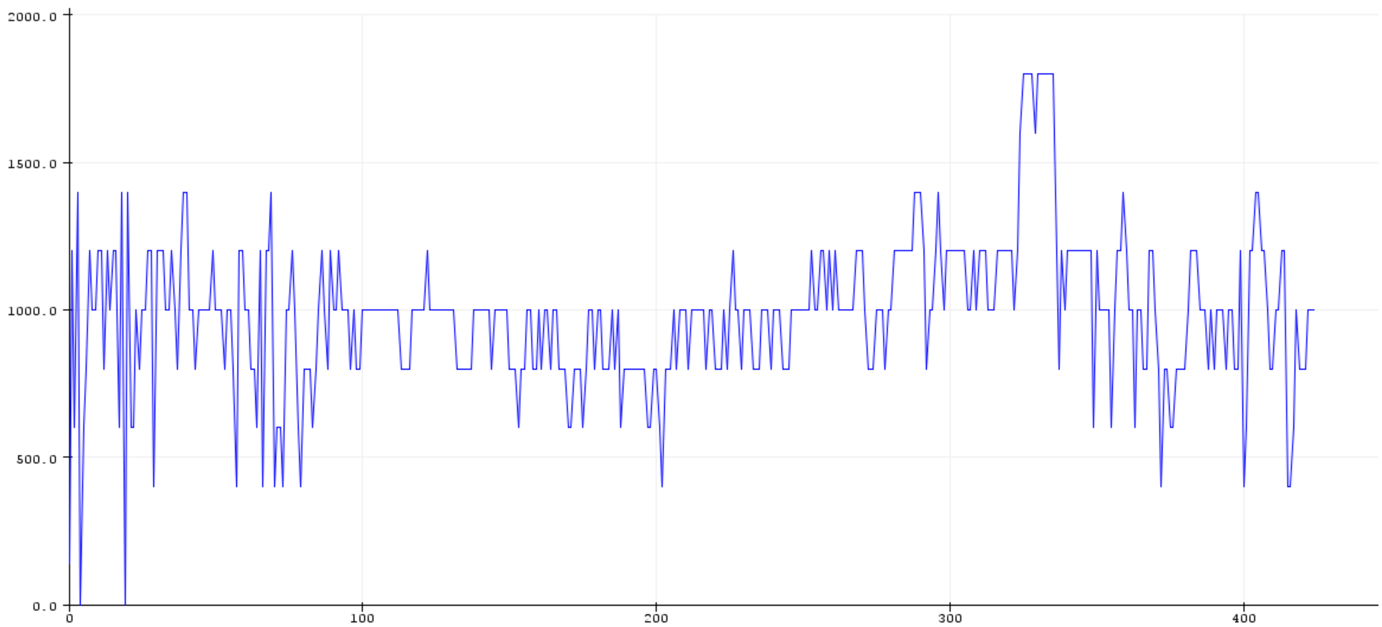
Από το διάγραμμα 3 παρατηρείται ότι ο ελεγκτής είναι σε αυτή την περίπτωση πιο κοντά στο σημείο ρύθμισης σε όλα τα στάδια του με λιγότερο ασταθείς ταλαντώσεις. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 3 εξακολουθούμε να έχουμε ασταθή έλεγχο ταχύτητας και σε αυτή την περίπτωση λόγω προβληματικής τροφοδοσίας του κινητήρα.

- Τέταρτη Προσομοίωση

kP = 500

kI = 100

kD = 10



Διάγραμμα 4: Απόκριση τέταρτης προσομοίωσης για τον ελεγκτή στροφών

Από το διάγραμμα 4 παρατηρείται μειωμένος χρόνος ανόδου κατά το σημείο ρύθμισης αλλά και μειωμένος χρόνος διευθέτησης λόγω του υψηλού kI και kD. Όπως φαίνεται στο διάγραμμα 4 εξακολουθούμε να έχουμε ασταθή έλεγχο ταχύτητας και σε αυτή την περίπτωση λόγω προβληματικής τροφοδοσίας του κινητήρα αλλά με καλύτερα δυναμικά χαρακτηριστικά.

- Πέμπτη Προσομοίωση

kP = 500

kI = 20

kD = 2

Διάγραμμα 5: Απόκριση πέμπτης προσομοίωσης για τον ελεγκτή στροφών

Από το διάγραμμα 5 παρατηρείται ότι έχουμε σχετικά καλή υπέρβαση στο σημείο ρύθμισης, με πολύ μικρό χρόνο ανόδου, μικρό χρόνο διευθέτησης. Οι ταλαντώσεις και ένα το σφάλμα μόνιμης κατάστασης παραμένουν. Ο συγκεκριμένος συνδυασμός των παραμέτρων του συγκεκριμένου ελεγκτή είναι ο πιο βέλτιστος, παρ’ όλ’ αυτά υπάρχουν τα προβλήματα αστάθειας που οφείλονται στη τροφοδοσία του κινητήρα.

Κεφάλαιο 4

4. Εφαρμογή 2: Έλεγχος ακριβής περιστροφής ενός αντικειμένου

4.1 Εισαγωγή

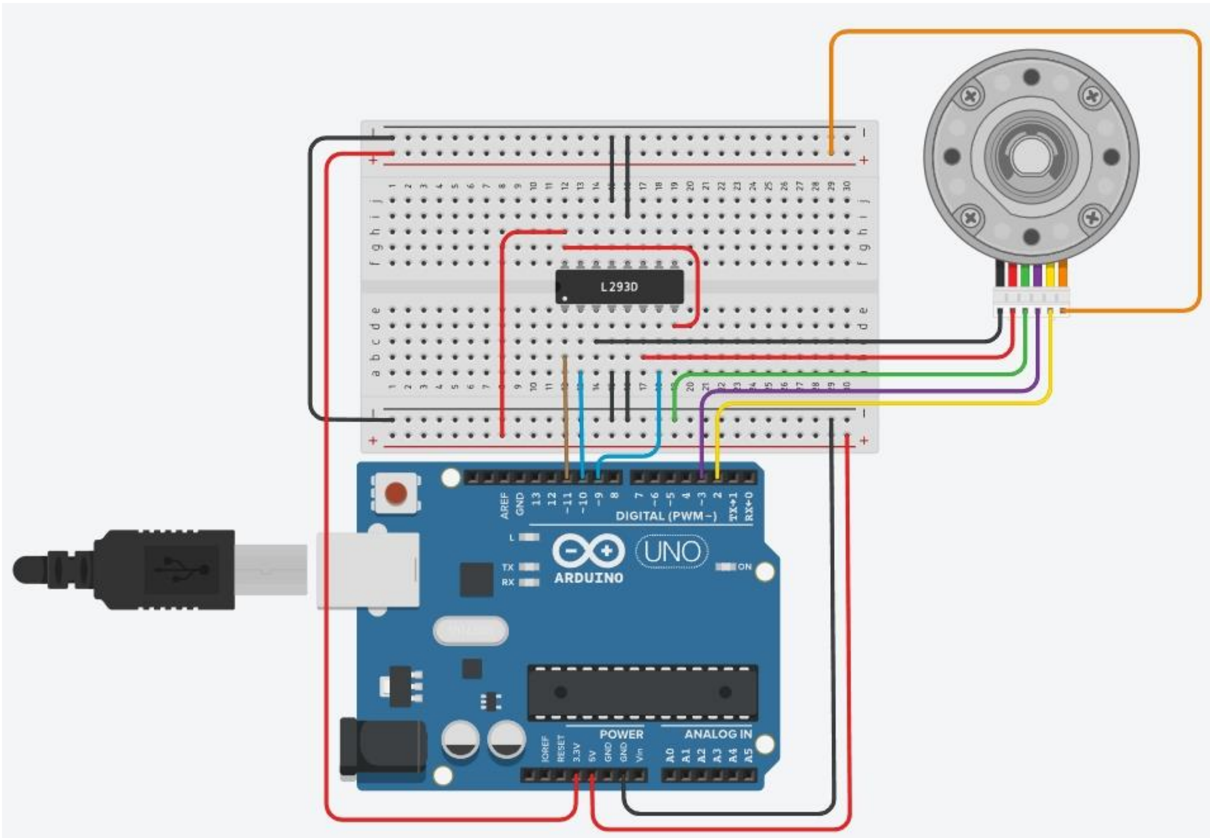
Στο παρόν κεφάλαιο θα παρουσιαστεί το πείραμα του συστήματος κλειστού βρόχου για τον ακριβή έλεγχο περιστροφής ενός αντικειμένου με την χρήση DC κινητήρα.

Πιο συγκεκριμένα θα προσομοιώσουμε την πιο πάνω λειτουργία με ένα Arduino προγραμματίζοντας το ως ένα PID ελεγκτή. Πιο κάτω αναλύονται όλες οι βασικές αρχές λειτουργίας που είναι απαραίτητες για τη διεξαγωγή του πειράματος. Στο τέλος παρουσιάζονται οι αποκρίσεις του συστήματος που προέκυψαν κατά την ρύθμιση των παραμέτρων του ελεγκτή με την χρήση της μεθόδου Δοκιμή και σφάλμα.

4.2 Υλικά - εξαρτήματα που χρησιμοποιήθηκαν

- Arduino Mega2560 R3
- Motor Driver L293D
- DC Motor 5-12V
- Encoder 30ppr 3.3V
- Breadboard
- Jumper Wires and Female-to-male Dupont Wires

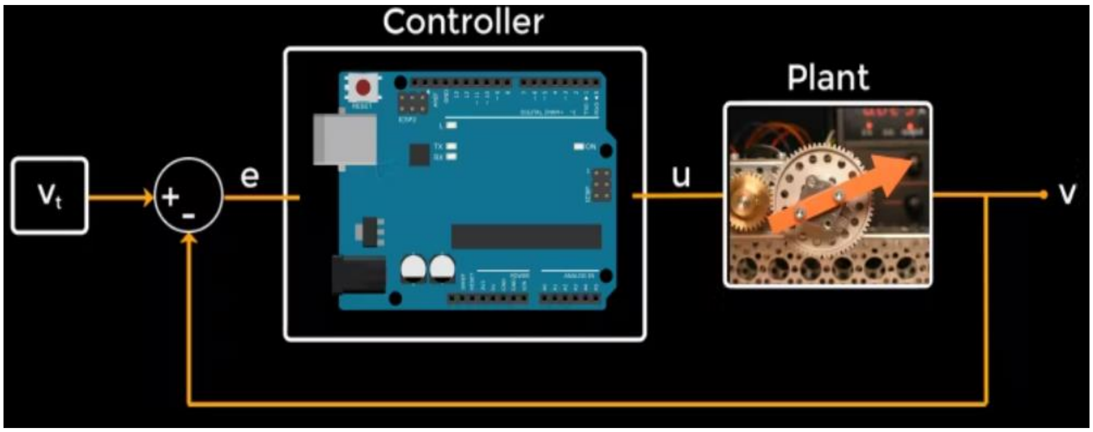
4.3 Συνδεσμολογία Συστήματος



Εικόνα 18: Συνδεσμολογία-Διάταξη Συστήματος

4.4 Περιγραφή του συστήματος

Αρχικά, συνδέθηκαν όλα τα επιμέρους εξαρτήματα μεταξύ τους κατάλληλα, έχοντας μελετήσει το διάγραμμα ξεχωριστά κάθε εξαρτήματος. Ακολούθως το Arduino έχει προγραμματιστεί κατάλληλα ώστε να συμπεριφέρεται σαν ένας PID ελεγκτής (Παράρτημα 2). Το σύστημα λαμβάνει ως είσοδο μια επιθυμητή θέση που θα περιστρέψει το αντικείμενο ο DC κινητήρας. Καθώς περιστρέφεται ο κινητήρας, το σύστημα παίρνει ανατροφοδότηση από τον περιστροφικό κωδικοποιητή για την θέση στην οποία βρίσκεται την συγκεκριμένη στιγμή. Αφού φτάσει στην επιθυμητή θέση προσπαθεί να την διατηρήσει, δηλαδή, εάν υπάρξει οποιαδήποτε εξωτερική παρεμβολή (διαταραχή) προσπαθεί να την διορθώσει. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την συνεχή διατήρηση της επιθυμητής θέσης ανεξαρτήτου παρεμβολής. Στην εικόνα πιο κάτω φαίνεται το διάγραμμα βαθμίδων του συγκεκριμένου συστήματος.



Εικόνα 19: Διάγραμμα βαθμίδων συστήματος

4.5 Αναλυτική Περιγραφή του Ελεγκτή του Πειράματος.

Πρωτίστως, ορίζεται η θέση περιστροφής. Στην συνέχεια μέσω του αλγορίθμου του PID ελεγκτή υπολογίζεται και παρέχεται στον κινητήρα το κατάλληλο PWM σήμα – ισχύς. Το σήμα αυτό υπολογίζεται βάσει τον χρόνο και το σφάλμα από τις τρεις λειτουργείες του ελεγκτή P,I και D οι οποίες ρυθμίζονται από τις παραμέτρους kP, kI και kD αντίστοιχα. Αμέσως ο αποκωδικοποιητής δίνει την ανατροφοδότηση και συγκρίνεται με το επιθυμητό αποτέλεσμα, εάν προκύψει κάποιο σφάλμα τότε ο αλγόριθμος του ελεγκτή ρυθμίζει το σήμα εξόδου προς τον κινητήρα, για την μείωση και εξάλειψη του σφάλματος.

4.6 Αρχές λειτουργείας

Οι αρχές λειτουργίας για την εφαρμογή του ελεγκτή θέσης είναι ίδιες όπως και στην αντίστοιχη υποενότητα του 3ου κεφαλαίου.

4.7 Προσομοίωση *και Σύγκριση*

Στη συγκεκριμένη υποενότητα θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα του συστήματος κλειστού βρόχου για τον έλεγχο θέσης/κλίσης του κινητήρα DC. Οι προσομοιώσεις θα αφορούν διάφορους συνδυασμούς των παραμέτρων kP, kI και kD. Όπως αναφέρθηκε πιο πάνω, για την ρύθμιση των παραμέτρων χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος με Δοκιμή και σφάλμα, έτσι, στο τέλος θα επιλεγεί ο συνδυασμός με το καλύτερο αποτέλεσμα. Σε κάθε συνδυασμό θα φαίνεται η απόκριση του συστήματος κατά την εκκίνηση και σε κάποιες παρεμβολές που έγιναν με το χέρι πάνω στον κινητήρα.
Όλες οι προσομοιώσεις θα παρουσιαστούν μέσα από διαγράμματα του Serial Plotter του Arduino IDE στο πεδίο του χρόνου.

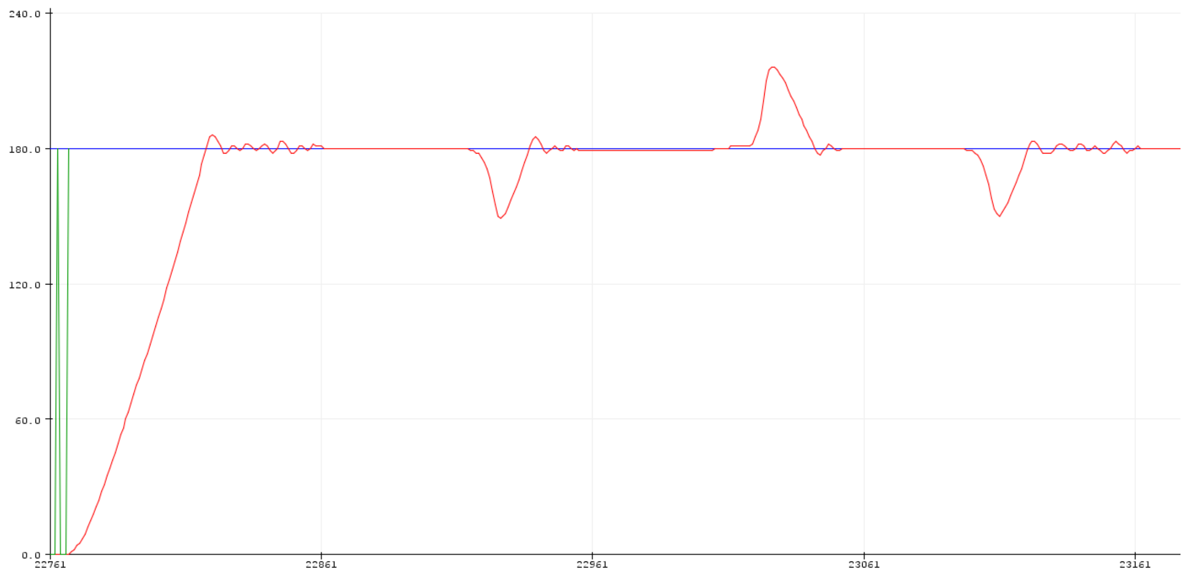
O Y άξονας των παρακάτω προσομοιώσεων απεικονίζει την θέση του κινητήρα μετρημένο σε μοίρες(deg), ενώ ο X άξονας απεικονίζει τον χρόνο μετρημένο σε χιλιοστά δευτερολέπτου(ms).
Με κόκκινο χρώμα είναι η απόκριση του συστήματος, ενώ με μπλε είναι το σημείο ρύθμισης στις 180 μοίρες.

- ### Πρώτη Προσομοίωση

kP = 10000

kI = 2

kD = 0.0001



Διάγραμμα 6: Απόκριση πρώτης προσομοίωσης για τον ελεγκτή θέσης

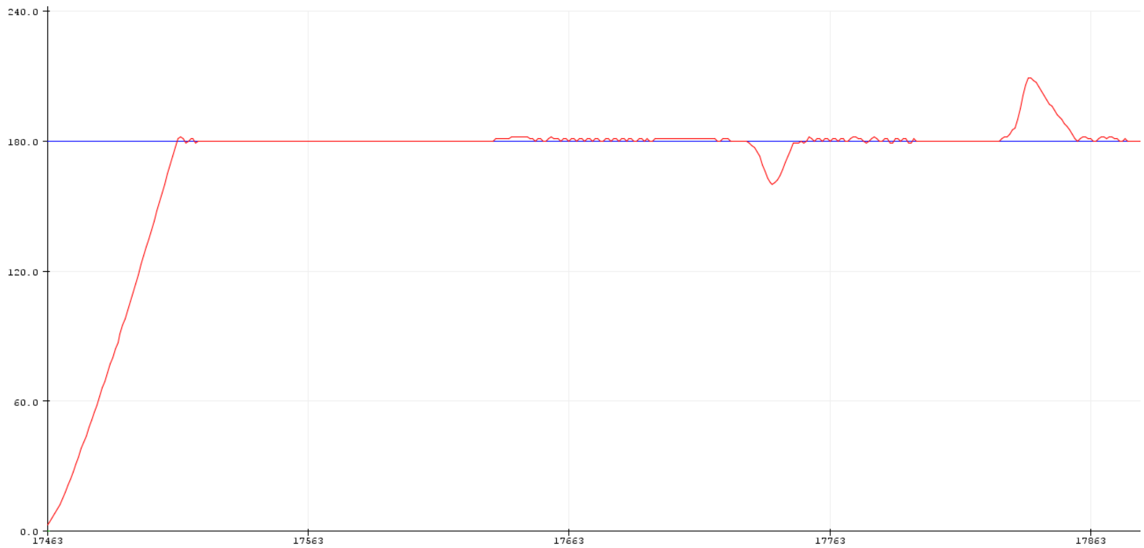
Από το διάγραμμα 6 παρατηρείται μεγάλη υπέρβαση στην εκκίνηση προς το σημείο ρύθμισης λόγω του μεγάλου kP και πολλές και μεγάλες ταλαντώσεις μέχρι την επιθυμητή θέση. Ο χρόνος διευθέτησης παρατηρείται ότι είναι επίσης μεγάλος.

- Δεύτερη Προσομοίωση

kP = 1000

kI = 2

kD = 10



Διάγραμμα 7: Απόκριση δεύτερης προσομοίωσης για τον ελεγκτή θέσης

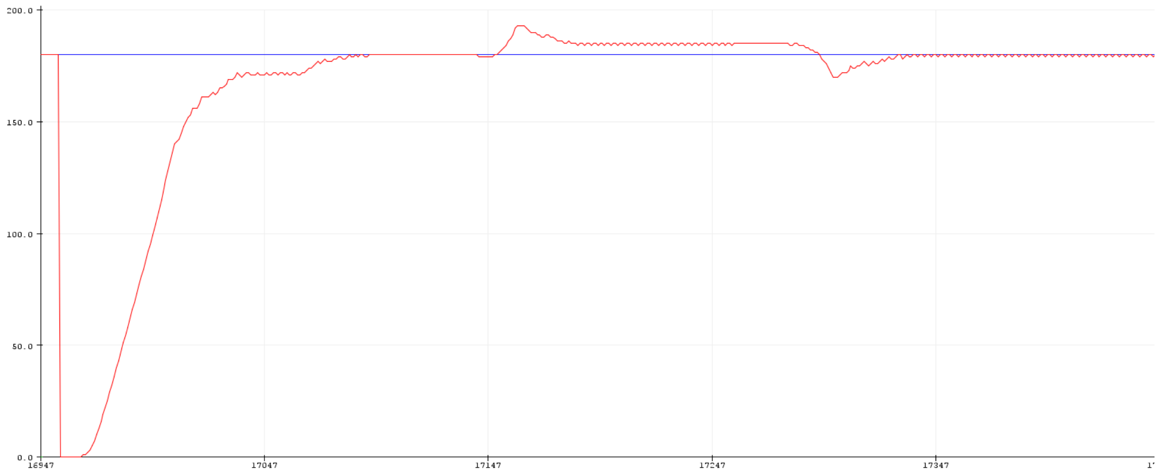
Από το διάγραμμα 7 παρατηρείται μειωμένη υπερύψωση κατά την εκκίνηση σε σχέση με το διάγραμμα 6 που οφείλεται στην μείωση του kP και πολλές αλλά μικρές επακόλουθες ταλαντώσεις. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται ''δόνηση'' και οφείλεται στο μεγάλο kD.

- ## Τρίτη Προσομοίωση

kP = 100

kI = 2

kD = 10



Διάγραμμα 8: Απόκριση τρίτης προσομοίωσης για τον ελεγκτή θέσης

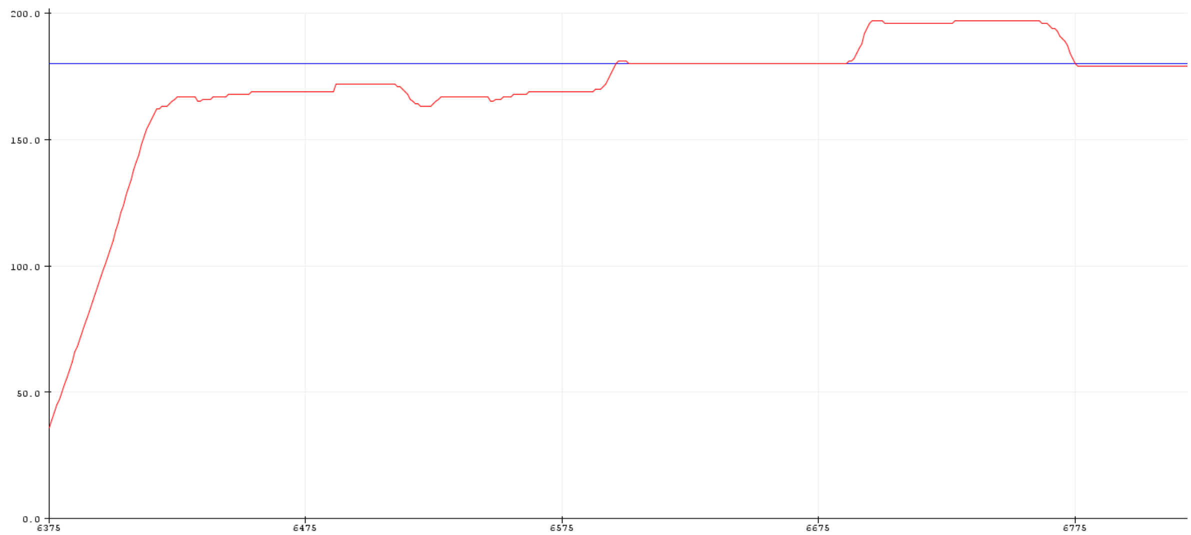
Από το διάγραμμα 8 παρατηρείται ότι λόγω του χαμηλού kP σε συνδυασμό με το υψηλό kD προκύπτει πολύ μεγάλη απόκλιση από το σημείο ρύθμισης κατά την εκκίνηση και μόνιμες ταλαντώσεις – ''δονήσεις'' κατά τις εξωτερικές παρεμβολές.

- **Τέταρτη Προσομοίωση**

kP = 10

kI = 200

kD = 0.5



Διάγραμμα 9: Απόκριση τέταρτης προσομοίωσης για τον ελεγκτή θέσης

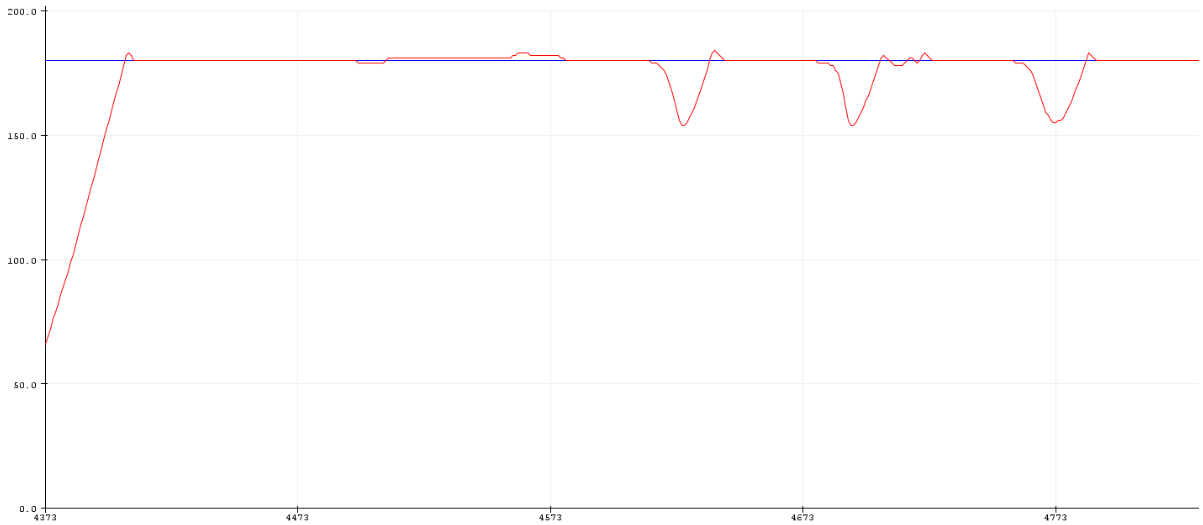
Από το διάγραμμα 9 παρατηρείται ότι λόγω του χαμηλού kP σε συνδυασμό με το υψηλό kI, ο χρόνος διευθέτησης προς το σημείο ρύθμισης είναι πολύ υψηλός με πολύ μικρές ταλαντώσεις.

- **Πέμπτη Προσομοίωση**

kP = 1000

kI = 200

kD = 0.5



Διάγραμμα 10: Απόκριση πέμπτης προσομοίωσης για τον ελεγκτή θέσης

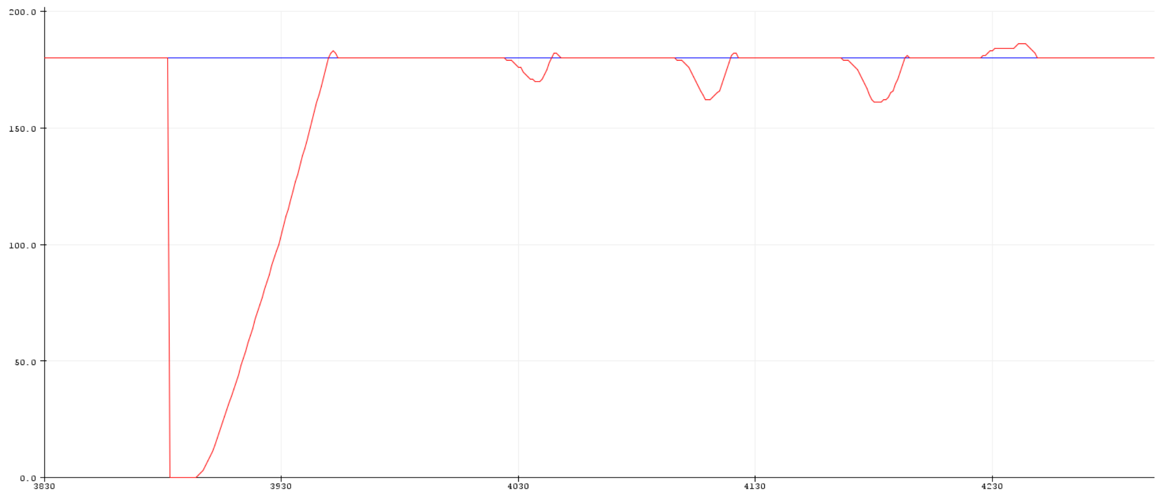
Από το διάγραμμα 10 παρατηρείται ότι μειώνονται αισθητά οι ταλαντώσεις στο σημείο ρύθμισης κατά την εκκίνηση αλλά και κατά τις εξωτερικές παρεμβολές. Παρ’ όλ’ αυτά παρατηρείται σχετικά υψηλή υπερύψωση.

- ## Έκτη Προσομοίωση

kP = 100

kI = 20

kD = 0.5



Διάγραμμα 11: Απόκριση έκτης προσομοίωσης για τον ελεγκτή θέσης

Από το διάγραμμα 11 είναι εμφανές ότι ο συνδυασμός αυτός των παραμέτρων είναι ο πιο βέλτιστος από τις παραπάνω προσομοιώσεις. Σε αυτή τη ρύθμιση μειώθηκαν το kP και το kI από την προηγούμενη περίπτωση. Έτσι έχουμε μια απόκριση με ένα σχετικά μικρό χρόνο ανόδου, με την μικρότερη δυνατή υπερύψωση, χωρίς καθόλου επακόλουθες ταλαντώσεις.

Κεφάλαιο 5

5. Συμπεράσματα

Συνοπτικά, στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε αναφορά στους μικρό-υπολογιστές / μικρό-ελεγκτές και της χρήσης τους σε συστήματα ελέγχου. Επιπλέον παρουσιάστηκε μια μορφή του αυτοματισμού, τα συστήματα αυτομάτου ελέγχου.

Ακολούθησαν δύο πειράματα τα οποία κατασκευάστηκαν για τους σκοπούς της εργασίας και διαπίστωσης ότι ένα Arduino αφού τύχει κατάλληλου προγραμματισμού μπορεί να λειτουργήσει ως ένας PID ελεγκτής για οποιοδήποτε σύστημα αυτομάτου ελέγχου.

Σε κάθε πείραμα κατασκευάστηκε ο αντίστοιχος ελεγκτής με τη χρήση Arduino και των εξαρτημάτων που ήταν απαραίτητα για την διεξαγωγή τους. Ακολούθως, έγιναν διάφορες προσομοιώσεις στο κάθε πείραμα για διαφορετικές τιμές στις παραμέτρους του κάθε ελεγκτή αντίστοιχα, για την εύρεση του καταλληλότερου ελεγκτή βάσει των αποκρίσεων του με δοκιμή και σφάλμα.

Αξιοποιώντας το Arduino στα πειράματα καταφέραμε να αποδείξουμε ότι όντως με ελάχιστα διαθέσιμα εξαρτήματα κατορθώνουμε να προσομοιώσουμε δυο απλά συστήματα ελέγχου, παρόλο που παρατηρηθήκαν κάποια μικρά σφάλματα λόγω του εξοπλισμού. Στην περίπτωση μας αφορά τα εξής συστήματα: Έλεγχος στροφών και έλεγχος θέσης περιστροφής ενός κινητήρα. Με τα συγκεκριμένα πειράματα μπορεί ο αναγνώστης να κατανοήσει με ευκολία την έννοια των συστημάτων κλειστού βρόχου και των συστημάτων αυτομάτου ελέγχου ευρύτερα με τη βοήθεια του Arduino.

5.1 Μελλοντικά Βήματα

Μελλοντική επέκταση της παρούσας διπλωματικής θα μπορούσε να είναι:

- Η εφαρμογή του Arduino σε πολυπλοκότερα συστήματα αυτομάτου ελέγχου
- Περεταίρω εμβάθυνση στα διάφορα είδη ελεγκτών και στη μαθηματική ανάλυση τους
- Δημιουργία νέων προσομοιώσεων με διαφορετικές μεθόδους ρύθμισης των παραμέτρων του ελεγκτή

Κεφάλαιο 6

6. Βιβλιογραφία

Albatish, I., Mosa, M. J., & Abu-Naser, S. S. (2018). ARDUINO Tutor: An Intelligent Tutoring System for Training on ARDUINO.

Badamasi, Y. A. (2014, September). The working principle of an Arduino. In *2014 11th international conference on electronics, computer and computation (ICECCO)* (pp. 1-4). IEEE.

Beningo, J. 10 Step to Selecting a Microcontroller. ARM Embedded Communities. 12 Jan 2014.https://community.arm.com/iot/embedded/b/embedded-blog/posts/10-steps-to-selecting-a-microcontroller, 11 February 2017.

Berg, M., & Stamp, J. (2005). A reference model for control and automation systems in electric power. *Sandia National Laboratories*.

Cameron, N., Cameron, N., & Pao. (2019). *Arduino Applied*. Apress.

Craft, B. (2013). *Arduino projects for dummies*. John Wiley & Sons.

Dougherty, E. R., & Lotufo, R. A. (2003). *Hands-on morphological image processing* (Vol. 59). SPIE press.

Douglas W. Jones, A Minimal CISC; Part of the Computer Architecture on-line Collection. University of Iowa Department of Computer Science.http://homepage.divms.uiowa.edu/~jones/arch/cisc/, 02 January 2017.

Gridling, G. ve Weiss B. Introduction to Microcontrollers. Course 182.64-74.Vienna University of Technology.Institute of Computer Engineering. 26 February 2007.

Güven, Y., Coşgun, E., Kocaoğlu, S., Gezici, H., & Yılmazlar, E. (2017). Understanding the concept of microcontroller based systems to choose the best hardware for applications.

Hall, V. D. (1994). MikroişlemcilerveSayısalSistemler.MEB Publications, Eskişehir, Turkey.

Hitomi, K. (1994). Automation—its concept and a short history. *Technovation*, *14*(2), 121-128.

Karvinen, T., Karvinen, K., & Valtokari, V. (2014). *Make: sensors: a hands-on primer for monitoring the real world with Arduino and raspberry pi*. Maker Media, Inc..

Kelly, M. J. (2001). Computer-aided photograph matching in studies using individual identification: an example from Serengeti cheetahs. *Journal of Mammalogy*, *82*(2), 440-449.

Kondaveeti, H. K., Kumaravelu, N. K., Vanambathina, S. D., Mathe, S. E., & Vappangi, S. (2021). A systematic literature review on prototyping with Arduino: Applications, challenges, advantages, and limitations. *Computer Science Review*, *40*, 100364.

Llinas, J., Bisantz, A., Drury, C., Seong, Y., & Jian, J. Y. (1998). *Studies and analyses of aided adversarial decision making. phase 2: Research on human trust in automation*. STATE UNIV OF NEW YORK AT BUFFALO CENTER OF MULTISOURCE INFORMATION FUSION.

M.D. Godfrey and D.F. Hendry, "The Computer as von Neumann Planned It," IEEE Annals of the History of Computing, Vol. 15, No. 1, 1993, pp. 11-21. [2].

Matijevic, M., & Cvjetkovic, V. (2016, February). Overview of architectures with Arduino boards as building blocks for data acquisition and control systems. In *2016 13th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV)* (pp. 56-63). IEEE.

Moray, N., Inagaki, T., & Itoh, M. (2000). Adaptive automation, trust, and self-confidence in fault management of time-critical tasks. *Journal of experimental psychology: Applied*, *6*(1), 44.

Nayyar, A., & Puri, V. (2016, March). A review of Arduino board's, Lilypad's & Arduino shields. In *2016 3rd international conference on computing for sustainable global development (INDIACom)* (pp. 1485-1492). IEEE.

Osborne, Adam (1980). An Introduction to Microcomputers.Volume 1: Basic Concepts (2nd ed.). Berkeley, California: OsborneMcGraw Hill. ISBN 0-931988-34-9.

Parasuraman, R., & Riley, V. (1997). Humans and automation: Use, misuse, disuse, abuse. *Human factors*, *39*(2), 230-253.

Sousa, S., & Beltrão, G. (2021, August). Factors Influencing Trust Assessment in Technology. In *IFIP Conference on Human-Computer Interaction* (pp. 416-420). Springer, Cham.

Παραρτήματα

Παράρτημα 1

<u>Κώδικας Ακριβής περιστροφή ενός αντικειμένου</u>

```
#define encoder_a 2
#define encoder_b 3
#define pwm_signal 11
#define motor_forward 10
#define motor_backward 9

int position = 0;
long previous_time = 0;
float eprev = 0;
float integral = 0;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(encoder_a,INPUT);
  pinMode(encoder_b,INPUT);
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(encoder_a),readEncoder,RISING);
  Serial.println("target position");
}

void loop() {

  int target =180 ;

  float kp =50;
  float ki = 2;
  float kd = 0.1;

  long current_time = micros();
  float dt = ((float)(current_time - previous_time))/( 1.0e6 );
  previous_time = current_time;

  int error = position-target;
  float derivative = (error-eprev)/(dt);
  float integral = integral + error*dt;

  float control_signal = kp*error + kd*derivative + ki*integral;

  float motor_power = fabs(control_signal);
  if( motor_power > 255 ){
```

```
    motor_power = 255;
  }

  int direction = 1;
  if(control_signal<0){
    direction = -1;
  }

  motorSignal(direction,motor_power,pwm_signal,motor_backward,motor_forward);

  eprev = error;

  Serial.print(target);
  Serial.print(" ");
  Serial.print(position);
  Serial.println();
}

void motorSignal(int direction, int power_Value, int pwm, int in1, int in2){
  analogWrite(pwm,power_Value);
  if(direction == 1){
    digitalWrite(in1,HIGH);
    digitalWrite(in2,LOW);
  }
  else if(direction == -1){
    digitalWrite(in1,LOW);
    digitalWrite(in2,HIGH);
  }
  else{
    digitalWrite(in1,LOW);
    digitalWrite(in2,LOW);
  }
}

void readEncoder(){
  int b = digitalRead(encoder_b);
  if(b > 0){
    position++;
  }
  else{
    position--;
  }
}
```

Παράρτημα 2

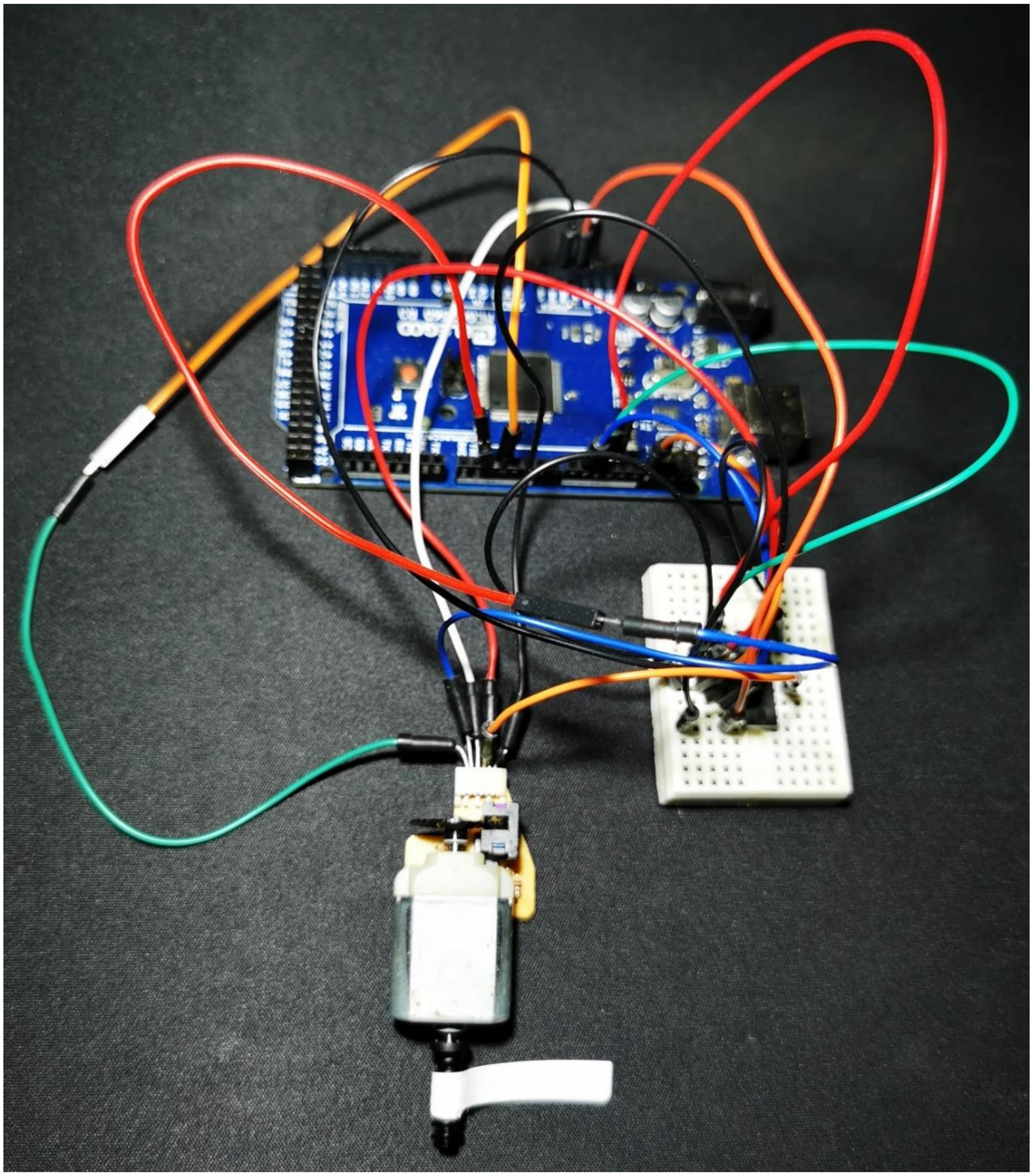
Κώδικας ελέγχου στροφών ενός κινητήρα

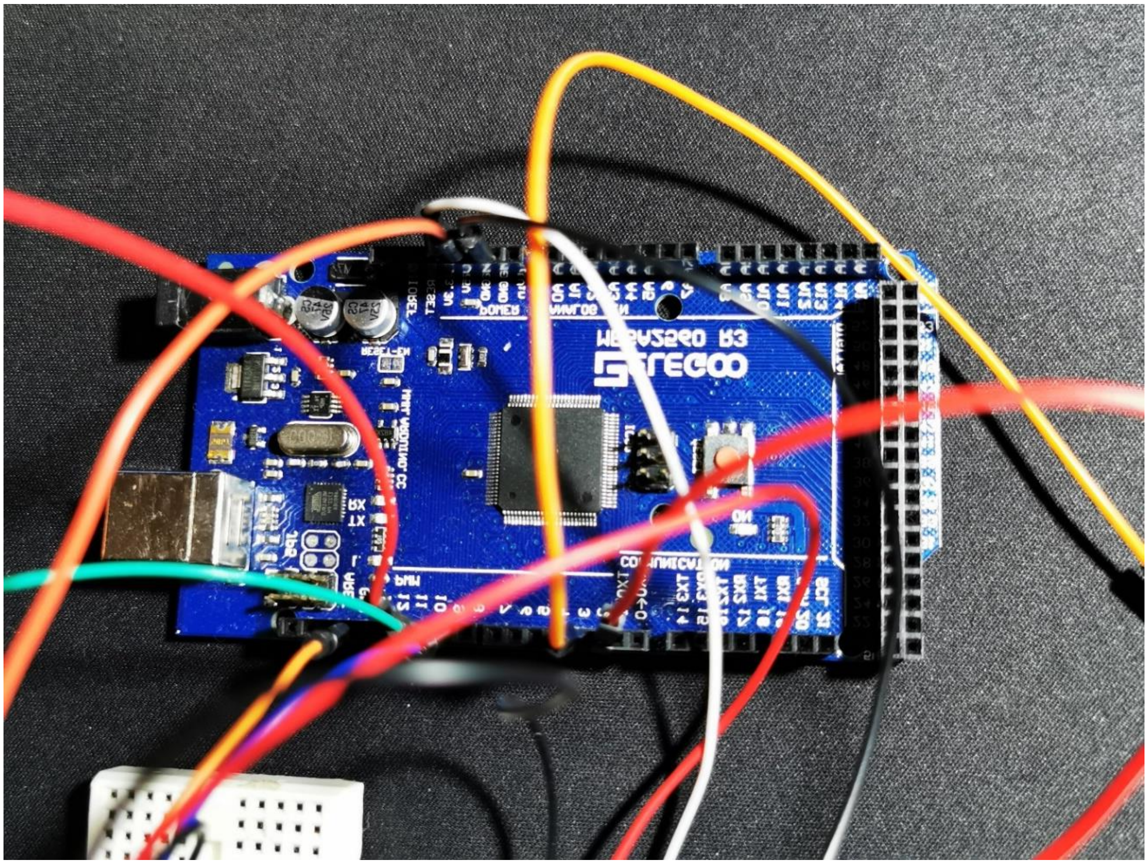
```
#define encoder_a 2
#define encoder_b 3
#define pwm_signal 11
#define motor_forward 10
#define motor_backward 9

int encoder = 0;
int m_direction = 0;
double actual_speed = 0;
double set_speed = 0;
double e_speed = 0;
double e_speed_pre = 0;
double e_speed_sum = 0;
double pwm_pulse = 0;
double kp = 0;
double ki = 0;
double kd = 0;
int timer1_counter;
boolean motor_start;

void setup() {
  pinMode(encoder_a, INPUT); pinMode(encoder_b, INPUT);
  pinMode(motor_forward, OUTPUT); pinMode(motor_backward, OUTPUT);
  pinMode(pwm_signal, OUTPUT);
  attachInterrupt(digitalPinToInterrupt(encoder_a), detect_a, RISING);
  Serial.begin(9600);

  noInterrupts();
  TCCR1A = 0;
  TCCR1B = 0;
  timer1_counter = 59286; // (34286<-0.5sec , 59286<-0.1sec)
  TCNT1 = timer1_counter;
  TCCR1B |= (1 << CS12);
  TIMSK1 |= (1 << TOIE1);
  interrupts();

  digitalWrite(motor_forward, 1);
  motor_start = true;
```

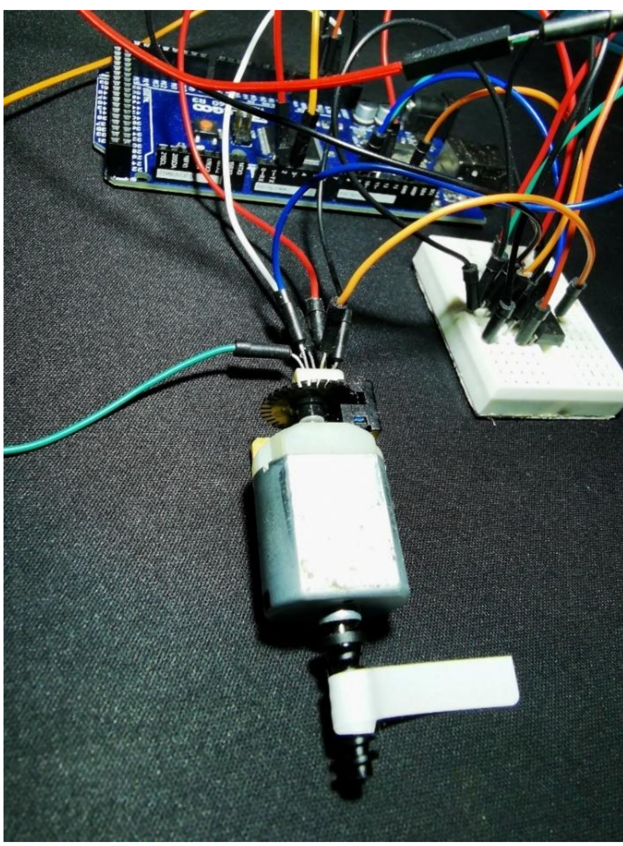
```
set_speed = 5000 ;
  kp = 5;
  ki = 2;
  kd = 0.2;
}

void loop() {
  Serial.println(actual_speed);
  delay(1000);
}

void detect_a() {
  encoder += 1;
  m_direction = digitalRead(encoder_b);
}
ISR(TIMER1_OVF_vect) // interrupt every 0.1sec
{
  TCNT1 = timer1_counter;
   actual_speed = 600.0 * (encoder / 30.0) / 0.1 ;//30->encoder pulses per
round, 0.1->sampling rate, *600->to get rpm
  encoder = 0;

  e_speed = set_speed - actual_speed;
  pwm_pulse = e_speed * kp + e_speed_sum * ki + (e_speed - e_speed_pre) * kd;
  e_speed_pre = e_speed;
  e_speed_sum += e_speed;

  if (pwm_pulse <255 & pwm_pulse >0) {
    analogWrite(pwm_signal, pwm_pulse);
  }
  else {
    if (pwm_pulse > 255) {
      analogWrite(pwm_signal, 255);
    }
    else {
      analogWrite(pwm_signal, 0);
    }
  }
}
```

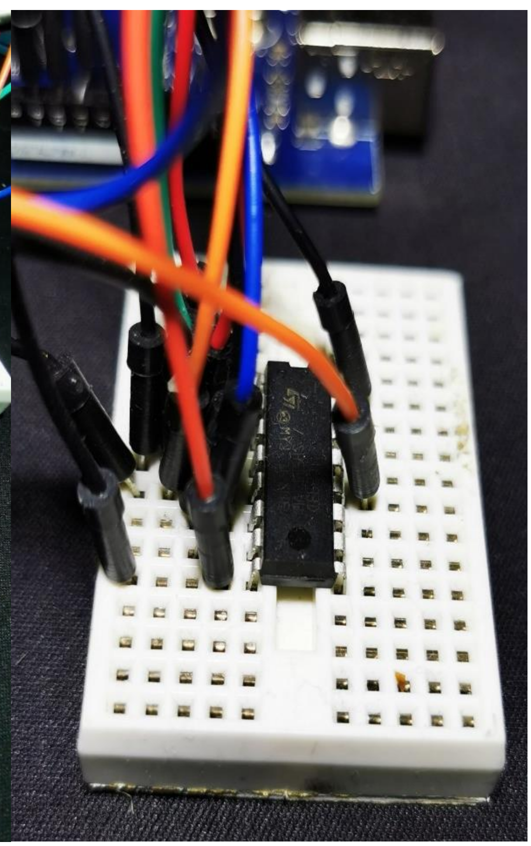
Παράρτημα 3

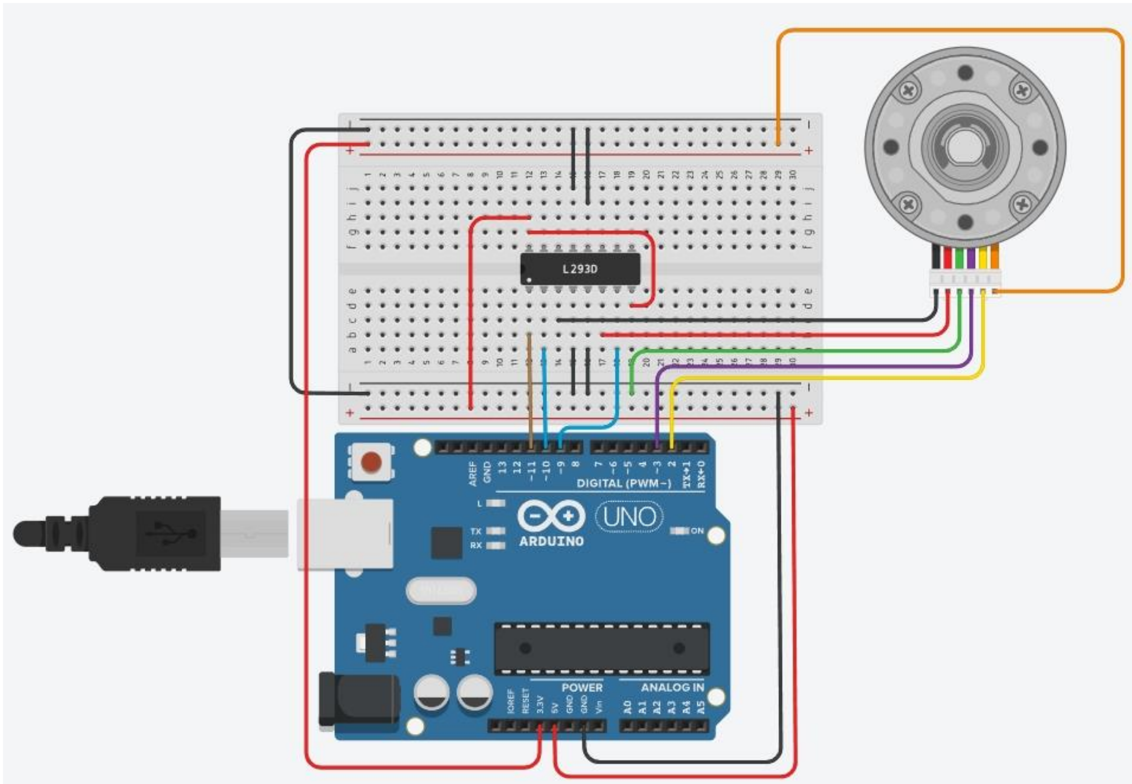
<u>Φωτογραφίες από πραγματική διάταξη του κυκλώματος πειραμάτων.</u>

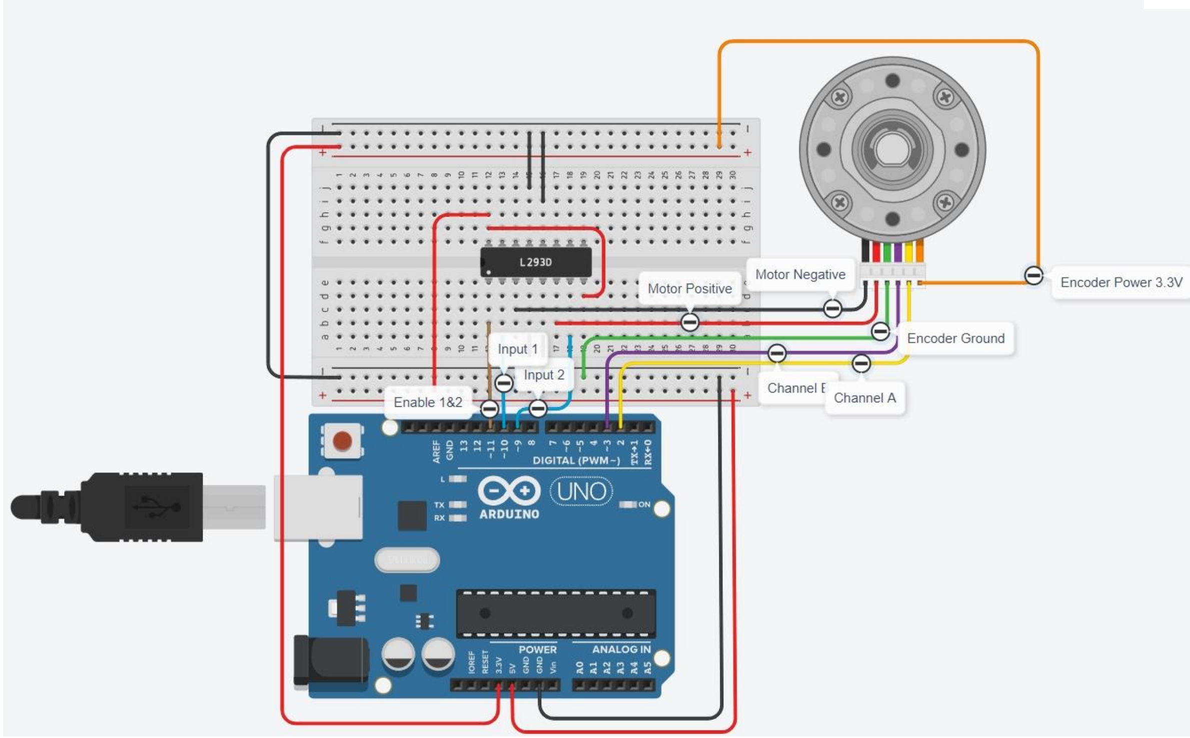









L293D
ARDUINO
UNO
DIGITAL (PWM ~)
POWER
ANALOG IN


Motor Positive
Motor Negative
Encoder Power 3.3V
Encoder Ground
Channel A
Input 1
Input 2
Enable 1&2
L293D
ARDUINO
UNO
DIGITAL (PWM ~)
POWER
ANALOG IN