

ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΣΥΛΛΟΓΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΣΤΡΟΒΙΛΟΜΗΧΑΝΩΝ

Ε. Μπάτσου¹, Κ. Τσίρκας¹, Σ. Ψωμά¹, Α. Τουρλιδάκης²

¹Τμήμα Μηχανικών Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών,

²Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας Κοζάνη

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάζεται ένα πρότυπο σύστημα αυτοποιημένου ελέγχου και συλλογής δεδομένων DAQ (Data Acquisition) χαμηλού κόστους, το οποίο δημιουργήθηκε για μετρήσεις τιμών διαφορικής πίεσης σε στροβιλομηχανές. Η συσκευή αυτή βασίζεται στον συνδυασμό κατάλληλων κινητήρων, ηλεκτρονικών συστημάτων, αισθητήρων, καθώς και λογισμικού, προκειμένου να αυτοματοποιηθεί η διαδικασία μετρήσεων σε πειράματα που χρησιμοποιείται σωλήνας pitot για τη μέτρηση πίεσης. Ως κεντρική μονάδα επεξεργασίας χρησιμοποιείται το Raspberry Pi 3. Επίσης, υποστηρίζονται πολλές λειτουργίες ώστε η χρήση της συσκευής να είναι πιο φιλική στον χρήστη, όπως η απομακρυσμένη σύνδεση, διαδικασίες αποφυγής λαθών χειρισμού και λειτουργία speech synthesizer. Η συσκευή μπορεί εύκολα να μετατραπεί για τη λήψη και συλλογή μετρήσεων άλλων ρευστομηχανικών παραμέτρων ενώ λόγω της απλότητας και του χαμηλού της κόστους μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε συστοιχία (cluster) πολλαπλών μονάδων για λήψη ταυτόχρονων πολλαπλών μετρήσεων από απόσταση.

Λέξεις κλειδιά: DAQ, pitot tube, Raspberry Pi 3, ADC, pressure sensor, universal motor, stepper motor, turbomachinery flows, remote access

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην παρούσα εργασία, παρουσιάζεται ένα πρότυπο σύστημα ελέγχου και συλλογής δεδομένων DAQ, το οποίο δημιουργήθηκε για μετρήσεις τιμών διαφορικής πίεσης σε στροβιλομηχανές. Η συσκευή αυτή ελέγχει τη διεύθυνση ενός σωλήνα pitot κάθετα στο εσωτερικό της στροβιλομηχανής στον οριζόντιο άξονα για λήψη μετρήσεων σε διαφορετικά σημεία, καθώς και την περιστροφή γύρω από τον άξονά του για τον εντοπισμό σε κάθε πείραμα της κατεύθυνσης του ρευστού/αέρα μέσω του προσδιορισμού της θέσης μέγιστης πίεσης.

Ο σωλήνας pitot αποτελεί μια από τις πιο συνηθισμένες πρακτικές εφαρμογές του νόμου Bernoulli για μέτρηση της πίεσης και της ταχύτητας ασυμπίεστων ρευστών. Η αυτοματοποιημένη διαδικασία της περιστροφής του γίνεται με τη βοήθεια ενός ειδικού διαφορικού αισθητήρα πίεσης, στον οποίο καταλήγουν οι αγωγοί του. Ο ίδιος αυτός αισθητήρας χρησιμοποιείται για τη συλλογή των δεδομένων της διαφορικής πίεσης, των οποίων ο αριθμός δειγματοληψίας, η χρονική διάρκεια, καθώς και άλλοι παράμετροι μπορούν να καθοριστούν από τον χρήστη.

Στην κατασκευή χρησιμοποιήθηκε διάταξη δύο αξόνων, οι οποίοι σχηματίζουν ένα καρτεσιανό σύστημα (Σχήμα 1). Οι δύο άξονες είναι συνδεδεμένοι κατά τέτοιο τρόπο, ώστε να επιτρέπεται η

ζητούμενη οριζόντια κίνηση για τη διείδυση του σωλήνα pitot. Η οριζόντια κίνηση και η περιστροφή επιτυγχάνονται μέσω κατάλληλου λογισμικού που υλοποιήθηκε σε γλώσσα Python. Ως κεντρικός υπολογιστής του συστήματος χρησιμοποιείται το Raspberry Pi 3, ο οποίος έχει μέγεθος λίγο μεγαλύτερο από πιστωτική κάρτα και είναι ενσωματωμένος πάνω στη συσκευή.

Το λογισμικό παρέχει τη δυνατότητα στον χρήστη να επιλέγει είτε αυτοματοποιημένες διαδικασίες μετρήσεων, είτε πλήρως χειροκίνητες ρυθμίσεις, τόσο στον τομέα των κινητήρων που χρησιμοποιούνται, όσο και του αισθητήρα πίεσεων. Ο κινητήρας περιστροφής του σωλήνα pitot που χρησιμοποιήθηκε είναι τύπου stepper (βηματικός), ενώ για την κίνηση της διείδυσης του στη στροβιλομηχανή επιλέχθηκε τύπος Universal 230 V AC. Ο κινητήρας Universal συνδέεται με το Raspberry με τη χρήση ενισχυτών και relays, ενώ ο βηματικός κινητήρας (stepper) με motor driver. Στη συσκευή υπάρχουν και διάφορα άλλα βοηθητικά τμήματα, όπως έλεγχος εκτροχιασμού, συστήματα ψύξης των ηλεκτρονικών τμημάτων και σύστημα σύνθεσης ομιλίας (speech synthesizer). Για την αξιοποίηση του αναλογικού σήματος του αισθητήρα πίεσης από το Raspberry, τοποθετήθηκε κατάλληλος μετατροπέας του αναλογικού σήματος σε ψηφιακό. Ο χρήστης έχει επίσης τη δυνατότητα του απομακρυσμένου ελέγχου της συσκευής, είτε μέσω Ethernet ή Wi-Fi.

Η αυτοματοποίηση της διαδικασίας μετρήσεων καθιστά ευκολότερη και γρηγορότερη την καταγραφή χιλιάδων δεδομένων, ώστε ο ερευνητής να έχει τη δυνατότητα να εξάγει ασφαλή συμπεράσματα. Σημαντικό πλεονέκτημα της συσκευής είναι η ευκολία στην επεκτασιμότητα, όπου μπορεί να προστεθούν επιπλέον αισθητήρες, καθώς και να τροποποιηθεί ο κώδικας λογισμικού σε περιπτώσεις αλλαγών στη διεξαγωγή του πειράματος.

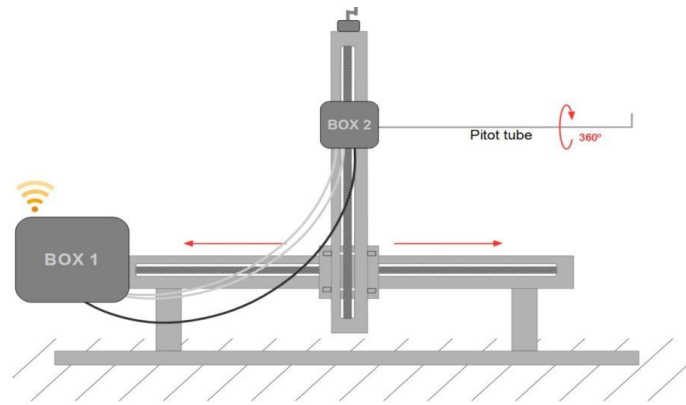
ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΥΛΙΚΟΥ ΜΕΡΟΥΣ

Στην ενότητα αυτή θα παρουσιαστεί ο τρόπος μελέτης και υλοποίησης του hardware της πρότυπης κατασκευής. Αρχικά θα μελετηθεί η οριζόντια κίνηση του pitot για την εισχώρησή του στην αεροσήραγγα, και στη συνέχεια θα αναλυθούν τα βήματα που ακολουθήθηκαν για το σύστημα λήψης των τιμών πίεσης, καθώς και τον συνδυασμό του με το σύστημα περιστροφής του pitot για εύρεση της κατεύθυνσης της ροής.

Για λόγους απλότητας και λειτουργικότητας της παραπάνω βάσης, επιλέχθηκε η κίνηση στον οριζόντιο άξονα να πραγματοποιείται με ηλεκτρικό κινητήρα και να ελέγχεται ηλεκτρονικά μέσω του μικρό-υπολογιστή Raspberry Pi 3, ενώ αυτή στον κατακόρυφο άξονα γίνεται με χειροκίνητο τρόπο. Η βάση αυτή έχει ως σκοπό να λαμβάνει μετρήσεις από στροβιλομηχανές, οι οποίες στο εσωτερικό τους είναι απόλυτα συμμετρικές. Η κίνηση στον κατακόρυφο άξονα y γίνεται μόνο μια φορά, δηλαδή κατά την αρχική τοποθέτηση της ράβδου μετρήσεων pitot στη στροβιλομηχανή. Η κίνηση της βάσης στον κατακόρυφο άξονα με τη χρήση κινητήρα και Raspberry μπορεί να πραγματοποιηθεί με τον ίδιο ακριβώς τρόπο.

Η βάση δημιουργήθηκε με σκοπό την κίνηση σε δύο άξονες. Είναι αρκετά ογκώδης, αλλά το βάρος της δεν ξεπερνά τα 50 kg. Στο Σχήμα 1 παρουσιάζεται η διάταξη μετατόπισης του σωλήνα pitot. Το Box 1 περιλαμβάνει κυρίως τα συστήματα που αφορούν το Raspberry, τον έλεγχο κίνησης του κινητήρα universal, συστήματα αποφυγής εκτροχιασμού, συστήματα ψύξης και σύστημα μετρήσεων πίεσης, ενώ το Box 2 τον βηματικό κινητήρα.

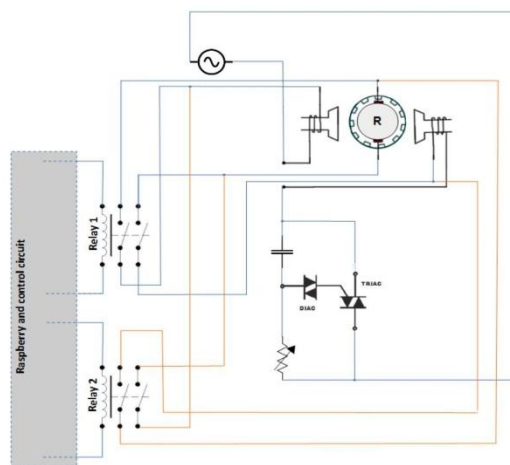
Το κύριο μέρος είναι κατασκευασμένο από υψηλής ποιότητας αλουμίνιο, ενώ υπάρχουν και ορισμένα εξαρτήματα τα οποία είναι φτιαγμένα από κράματα μετάλλων, όπως ο άξονας μετάδοσης της κίνησης. Πρόκειται για μια στιβαρή κατασκευή, με μεγάλη αδράνεια κατά την μετακίνησή της που δεν απαιτεί στερέωση στο δάπεδο/επίπεδο κατά την λειτουργία της.



Σχήμα 1 Πειραματική διάταξη μετατόπισης του σωλήνα pitot

Στην ανάπτυξη της πρότυπης κατασκευής επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί κινητήρας τύπου universal, και όχι βηματικός κινητήρας. Οι απαιτήσεις στην περιστροφή του άξονα της βάσης, καθώς και οι ανάγκες για λειτουργία της συσκευής και χωρίς την χρήση του Raspberry, μπορούσαν να καλυφθούν μόνο με ένα τέτοιο κινητήρα. Ο συγκεκριμένος κινητήρας που χρησιμοποιήθηκε είναι κατασκευασμένος για μηχανική αλλαγή περιστροφής του δρομέα (ομοίως με εργαλείο τύπου δραπάνου). Η εργοστασιακή του λειτουργία απαιτούσε τη μετακίνηση των ψηκτρών. Καταργώντας τμήμα της περιστροφικής στεφάνης, αλλά ταυτόχρονα προσθέτοντας μονωμένα χάλκινα καλώδια και relays επιτεύχθηκε η αλλαγή στην φορά περιστροφής με ηλεκτρονικό τρόπο.

Στο Σχήμα 2 παρουσιάζεται η ακριβής λειτουργία της αλλαγής περιστροφής με relays. Τα δύο relays είναι κατασκευασμένα ώστε να ανοίγουν και να κλείνουν το AC κύκλωμα, όταν ασκηθεί σε αυτά τάση 5V DC.

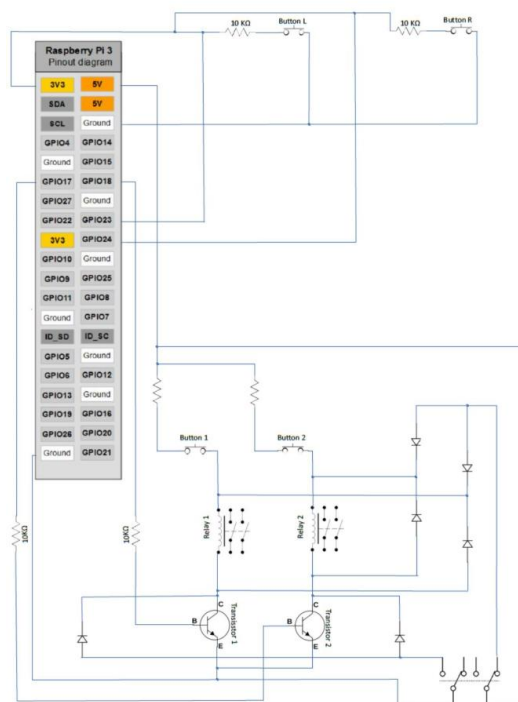


Σχήμα 2 Διάγραμμα αλλαγής φοράς περιστροφής κινητήρα με χρήση relays

Το κάθε relay μπορεί να κλείνει ταυτόχρονα δύο ξεχωριστά κυκλώματα. Ουσιαστικά, αυτή η ταυτόχρονη λειτουργία μπορεί να προσομοιωθεί με το άνοιγμα-κλείσιμο τεσσάρων χειροκίνητων διακοπών ανά δύο. Το μπλε χρώμα των καλωδίων αφορά τις δύο ηλεκτρικές γραμμές που ενεργοποιούνται από το relay 1, και το πορτοκαλί χρώμα από το relay 2. Η τάση που τροφοδοτείται το κύκλωμα AC είναι 220V. Η χρήση των κυκλωμάτων Diac-Triac χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της τάσης, ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή ταχύτητα περιστροφής του δρομέα. Πιο συγκεκριμένα, όταν απαιτείται αριστερόστροφη περιστροφή του κινητήρα, τότε αρκεί να ενεργοποιηθεί το relay 1, με την προϋπόθεση ότι το relay 2 είναι απενεργοποιημένο. Για την κίνηση δεξιόστροφα ακολουθείται ακριβώς το αντίθετο.

Στο Σχήμα 3 παρουσιάζεται ο έλεγχος του κινητήρα με τη χρήση τόσο της μονάδας ελέγχου Raspberry, όσο και με απλά κομβία. Στην περίπτωση των δυο κομβίων, το Raspberry παρέχει απλά μια σταθερή τάση 5V DC, ομοίως δηλαδή με το να υπάρχει μια μπαταρία 5V.

Για τον έλεγχο των relays μέσω Raspberry, έπρεπε να χρησιμοποιηθούν transistors, τα οποία βοηθούν στην αξιοποίηση των 3.3V DC που παρέχουν οι ελεγχόμενοι έξοδοι της συσκευής (GPIOs). Τα relays απαιτούν ρεύμα τουλάχιστον 50mA για να λειτουργήσουν, το οποίο είναι τεράστιο σε σχέση με αυτό που μπορούν να δώσουν τα GPIOs. Ο μόνος τρόπος για να πετύχουμε έναν διακόπτη με τη χρήση του Raspberry είναι να αξιοποιήσουμε το on/off που προσφέρουν αυτές οι ελεγχόμενοι έξοδοι. Οπότε πρέπει να μετατραπεί το σήμα εξόδου 3.3V DC και 2mA, σε 5V DC και τουλάχιστον 50mA.



Σχήμα 3 Έλεγχος κινητήρα

Είναι γνωστό ότι το pin 2 παρέχει τροφοδοσία 5V DC με μέγιστο ρεύμα 750mA. Αν το ρεύμα εξόδου (GPIO17,GPIO18) οδηγηθεί στην βάση ενός transistor, τότε συνδέοντας στον συλλέκτη την σταθερή τάση Vdc (pin 2), καθώς και το relay, μπορεί να γίνει αξιοποίηση των 5V. Οπότε, για τον έλεγχο των relays, αρκεί να αλλάξουν οι καταστάσεις των GPIOs. Σύμφωνα με το Σχήμα 3, όταν το GPIO18 είναι σε κατάσταση on, τότε το relay 1 είναι ενεργοποιημένο. Ομοίως και για το relay 2, με αξιοποίηση του GPIO17.

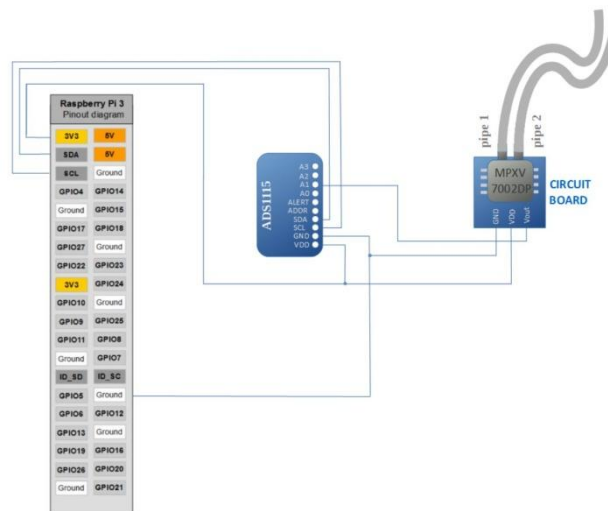
Τα παραπάνω αναφέρονται στην περίπτωση που ο έλεγχος ένας κίνησης γίνεται με την χρήση των GPIOs. Αν ο χρήστης επιθυμεί ο έλεγχος να γίνεται από τον ίδιο μέσω κομβίων στο Box 1, δεν απαιτείται η χρήση των transistors. Αυτό συμβαίνει διότι σε αυτή την περίπτωση το Raspberry χρησιμοποιείται απλά για να τροφοδοτεί τα relays με ρεύμα. Το πρόβλημα που καλούνται να λύσουν τα transistor είναι η έλλειψη του απαραίτητου ρεύματος για να ενεργοποιηθούν τα relays.

Ο διακόπτης DPDT χρησιμοποιείται για να επιλέξει ο χρήστης εάν επιθυμεί να χρησιμοποιεί μόνο τα buttons, είτε την αυτοματοποιημένη λειτουργία μέσω Raspberry. Η επιλογή του διακόπτη έγινε και για να αποφευχθεί τυχόν κακόβουλη ενέργεια μέσω απομακρυσμένης σύνδεσης του Raspberry.

Ένας ήδη αναφέρθηκε, τα relays δεν μπορούν να λειτουργήσουν κάτω από 50Ma, και τα GPIOs δεν μπορούν να παρέχουν αυτή την τιμή. Ένας το pin 2 του Raspberry μπορεί να παρέχει μέγιστη τιμή έως και 750Ma. Συνεπώς, εκμεταλλευόμενος αυτή τη δυνατότητα, και χρησιμοποιώντας ταυτόχρονα 2 κομβία, ο χρήστης μπορεί να ελέγχει ανεξάρτητα τη βάση, ακόμη και όταν το Raspberry είναι απενεργοποιημένο, μιας και το pin 2 παρέχει πάντοτε σταθερά 5V παροχή ισχύος, ένας ακριβώς μια μπαταρία dc.

Η ανάγκη για αποφυγή ένας ατυχήματος από εκτροχιασμό ένας βάσης, οδήγησε στην ιδέα ένας τοποθέτησης δύο αυτοσχέδιων αισθητήρων, που βασίζονται σε μικρά κομβία (buttons). Δηλαδή, όταν το κύριο κινούμενο μέρος ένας βάσης (άξονας y) φτάνει ένας ακραίες θέσεις, στέλνεται σήμα στο Raspberry Pi για απενεργοποίηση του κάθε relay. Έτσι, αποφεύγεται η κίνηση εκτός των καθορισμένων και επιτρεπόμενων θέσεων.

Η λειτουργία των buttons βασίζεται στην σύνδεσή ένας με τα GPIO 23 και GPIO 24. Τα δύο αυτά GPIOs λειτουργούν ως είσοδοι, με δύο καταστάσεις λειτουργίας, on και off. Η τροφοδοσία των δύο αισθητήρων εκτροχιασμού παρέχεται από το Raspberry Pi, και συγκεκριμένα από το pin 3.3V power supply. Συνεπώς, χρησιμοποιείται και το pin 8 ως γείωση.



Σχήμα 4 Σύνδεση αισθητήρα πίεσης

Για τη μέτρηση των τιμών πίεσης (Σχήμα 4) χρησιμοποιήθηκε ο ολοκληρωμένος αισθητήρα πίεσης σε τσιπ ένας σειράς MPXV7002. Η σειρά αυτή των πιεζοκρυστάλλων είναι τύπου state-of-the-art μονολιθικού πυριτίου και είναι σχεδιασμένη για να καλύπτει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών, και πιο συγκεκριμένα αυτές που χρησιμοποιούν μικροελεγκτή ή μικροεπεξεργαστή με εισόδους A/D (Analog/Digital). Ο αισθητήρας συνδυάζει προηγμένες τεχνικές μικρομηχανικής, επιμετάλλωσης και διπολική επεξεργασία για την ακριβή παραγωγή, ένας υψηλού επιπέδου αναλογικού σήματος εξόδου το οποίο είναι ανάλογο ένας ασκούμενης πίεσης. Η τάση εξόδου κυμαίνεται από 0.5 ως 4.5V.

Για το κύκλωμα χρησιμοποιήθηκε ένας μετατροπέας (ADC) από αναλογικό σε ψηφιακό σήμα. Μετά από σχετική έρευνα επιλέχθηκε ο ADS1115, καθώς είναι συμβατός με το Raspberry Pi και χρησιμοποιεί τον διάυλο επικοινωνίας I2C. Ο ADS1115 είναι 12-bit ADC και έχει 4 κανάλια. Έχει προγραμματιστικό κέρδος από $\frac{2}{3}$ ως 16 φορές, ώστε να γίνεται ενίσχυση των μικρών σημάτων παρέχοντας μεγαλύτερη ακρίβεια. Απαιτεί τάση από 2V ως 5V κάτι που τον χρήζει ιδανικό για επεξεργαστές με 3.3V ως 5V (όπως είναι το Raspberry Pi).

Η σύνδεση του MPXV7002 με το ADC έγινε ως εξής:

- Vs συνδέεται στο VDD του ADS1115
- GND συνδέεται στο GND του ADS1115
- Vout συνδέεται στο A1 του ADS1115

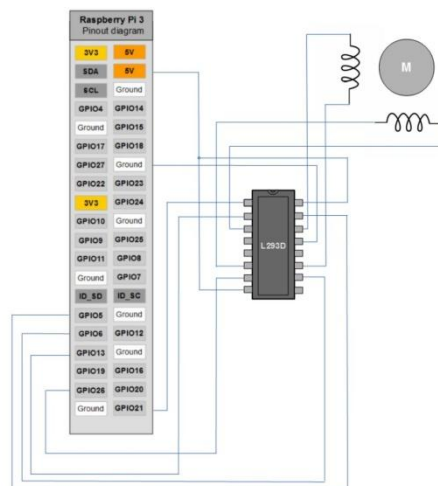
Στον αισθητήρα καταλήγουν δύο αγωγοί οι οποίοι συνδέονται με τον σωλήνα pitot που εισέρχεται ή εξέρχεται στην αεροσήραγγα, και είναι στηριγμένοι στον κάθετο άξονα y του συστήματός μας, μέσα στο Box 2. Μια ενδιαφέρουσα προσθήκη στο σύστημα συλλογής δεδομένων είναι η δυνατότητα της περιστροφής του σωλήνα pitot γύρω από τον άξονά του, ώστε σε συνδυασμό με τον αισθητήρα πίεσης που υπάρχει στο σύστημα, να υπολογίζεται η κατεύθυνση της ροής η οποία αντιστοιχεί στη θέση της μέγιστης μετρούμενης τιμής πίεσης. Παρέχεται δηλαδή η δυνατότητα της αυτοματοποιημένης διαδικασίας περιστροφής του σωλήνα pitot προς τη διεύθυνση και τη φορά του υγρού ή του αέρα.

Η αυτοματοποιημένη περιστροφή μπορεί να υλοποιηθεί με τη χρήση του μικροϋπολογιστή Raspberry Pi 3 και ενός βηματικού κινητήρα. Αξιοποιώντας την ύπαρξη του αισθητήρα πίεσης, το Raspberry μπορεί να περιστρέφει τον κινητήρα μέχρι η εμπρόσθια μικρή οπή του σωλήνα pitot να στραφεί κάθετα στην κατεύθυνση της ροής. Εκτελείται περιστροφική σάρωση για εύρεση της μέγιστης τιμής πίεσης, εντοπισμός της θέσης της μέγιστης πίεσης, καθώς και μετάβαση στη θέση αυτή για συνέχιση των μετρήσεων.

Συνεπώς για την περιστροφική σάρωση του σωλήνα pitot, απαιτείται η χρήση ενός βηματικού κινητήρα 5V, καθώς και ενός ολοκληρωμένου κυκλώματος motor driver, όπως το L293D. Επίσης, επειδή η περιστροφή του σωλήνα pitot θα πρέπει να περιλαμβάνει πολλές περιστροφές μικρού βήματος, αν επιλεγεί κινητήρας με λίγα βήματα ανά περιστροφή, θα πρέπει να επιλεγεί κατάλληλος μειωτήρας στροφών (reduction gear box) το οποίο θα μετατρέπει το σχετικά μεγάλο βήμα του κινητήρα stepper σε πολύ μικρή περιστροφή του σωλήνα pitot.

Για να γίνει πιο κατανοητό, αρκεί να σκεφτούμε ένα ρολόι τοίχου, όπου ο δείκτης των δευτερολέπτων εκτελεί 60 βήματα για να καλύψει τις 360 μοίρες του κύκλου του ρολογιού. Συνεπώς $360/60=6$ μοίρες ανά βήμα. Αν χρησιμοποιηθεί ένας βηματικός κινητήρας 8 βημάτων, τότε ο σωλήνας pitot θα περιστρέφεται με βήμα 45 μοιρών (διότι $360/8=45$). Αντιθέτως, αν χρησιμοποιηθεί ένας μειωτήρας με λόγο μείωσης 1:64, τότε θα υπάρχει δυνατότητα για $8*64=512$ βήματα ανά περιστροφή. Δηλαδή περιστροφή με βήμα $360/512=0.7$ μοιρών. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε βηματικός κινητήρας με ενσωματωμένο τον μειωτήρα στροφών.

Παρακάτω φαίνεται η συνδεσμολογία που χρησιμοποιήθηκε ώστε να μπορεί ο βηματικός κινητήρας να ελέγχεται μέσω του Raspberry Pi 3.



Σχήμα 5 Έλεγχος βηματικού κινητήρα

ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ

Το λογισμικό είναι υλοποιημένο στην Python και τρέχει στο Raspberry Pi 3. Αρχικά, με αυτό ο χρήστης έχει την δυνατότητα να κινεί τον κινητήρα universal δεξιόστροφα και αριστερόστροφα. Συγκεκριμένα, μπορεί να επιλέξει ανάμεσα σε δύο επιλογές, «manual» ή «auto». Στην πρώτη επιλογή, πατώντας “a” πραγματοποιείται κίνηση προς τα αριστερά ενώ πατώντας “l” προς τα δεξιά. Στη δεύτερη επιλογή, ο χρήστης καλείται να πληκτρολογήσει ακριβώς την απόσταση σε εκατοστά που θέλει να κινήσει τον άξονα. Για κίνηση προς τα δεξιά πληκτρολογεί θετική τιμή, ενώ προς τα αριστερά αρνητική. Η δεύτερη επιλογή παρέχει και έλεγχο των ορίων μετακίνησης του άξονα, όπου σε περίπτωση λανθασμένης μετατόπισης, ο κινητήρας θα λειτουργήσει μέχρι το επιτρεπτό όριο, αλλά και το σύστημα θα προειδοποιήσει ηχητικά και οπτικά τον χρήστη για τις επιλογές του. Το πρόγραμμα παρέχει κάποιες εύχρηστες λειτουργίες όπως την έξοδο από την κατάσταση κίνησης με το πάτημα ενός πλήκτρου (σε περίπτωση κάποιας έκτακτης ανάγκης), την απευθείας αλλαγή φοράς κίνησης του κινητήρα (δηλαδή ο χρήστης δεν χρειάζεται να πατάει “enter”), αλλά και βοηθητικά μηνύματα στην οθόνη. Για τις ηχητικές εντολές (speech synthesizer) προστέθηκαν στον κώδικα οι TTS μηχανές Espeak και festival.

Ένα πολύ σημαντικό τμήμα του λογισμικού αποτελεί η αυτόματη καταμέτρηση της πίεσης, η εμφάνιση των αποτελεσμάτων στην οθόνη, το ηχητικό άκουσμα αυτών, όπως επίσης και η καταγραφή των μετρήσεων σε ένα αρχείο. Για να ληφθούν οι μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν στο πρόγραμμα αρκετές βιβλιοθήκες με την σημαντικότερη ίσως να είναι η Adafruit, η οποία συνδέει τον αισθητήρα MPXV7002 με τον μετατροπέα ψηφιακού σε αναλογικό σήμα ADC.

Για τη συλλογή δεδομένων πίεσης, ο χρήστης έχει δύο επιλογές. Είτε εισάγει τον χρόνο δειγματοληψίας, είτε λαμβάνει μετρήσεις με βάση έναν προκαθορισμένο ρυθμό, όπου σε αυτή τη περίπτωση τα αποτελέσματα των τιμών της πίεσης δίνονται και ηχητικά. Στην οθόνη εμφανίζονται, σε πραγματικό χρόνο, οι τιμές της διαφορικής πίεσης, σύμφωνα με τον επιλεγμένο τρόπο δειγματοληψίας, ενώ ταυτόχρονα καταγράφονται σε ένα αρχείο για μετέπειτα επεξεργασία.

Τέλος, το λογισμικό συνδυάζει τον βηματικό κινητήρα με τον αισθητήρα πίεσης, αναγνωρίζοντας έτσι την κατεύθυνση της ροής όπου η πίεση εμφανίζει τη μέγιστη τιμή της, και εμφανίζοντας στον χρήστη την ακριβή γωνία (σε μοίρες) της κατεύθυνσης αυτής. Αξιοποιώντας την ύπαρξη του αισθητήρα, το Raspberry μπορεί να περιστρέφει τον κινητήρα μέχρι η εμπρόσθια οπή του σωλήνα pitot να στραφεί κάθετα στη ροή. Έτσι εκτελείται σάρωση για εύρεση της μέγιστης πίεσης, εντοπισμό της θέσης της μέγιστης πίεσης, καθώς και μετάβαση στην θέση αυτή για συνέχιση των μετρήσεων.

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΣΕ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής, δοκιμάστηκε η λειτουργία του συστήματος σε πραγματικές συνθήκες. Η στροβιλομηχανή, στην οποία πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις, αποτελείται από 5 κύρια τμήματα:

- Ακροφύσιο εισόδου σχεδιασμένο με βάση το πρότυπο BS 848-1:1997
- Αεραγωγός εισόδου μήκους 2400mm, με εγκάρσιες, διαμήκειες τομές και θέσεις απόληψης πίεσης για πραγματοποίηση μετρήσεων
- Αξονικός φυσητήρας
- Αεραγωγός εξόδου με μήκους 1900mm με διαμήκειες τομές και θέσεις απόληψης πίεσης για πραγματοποίηση μετρήσεων
- Μηχανισμός ρύθμισης παροχής με χρήση τεσσάρων κωνικών πτερυγίων



Εικόνα 6 Η στροβιλομηχανή

Ο έλεγχος της στροβιλομηχανής αυτής αποτελείται από 5 κύρια τμήματα:

- Σύστημα ηλεκτρονικού υπολογιστή
- Σύστημα αδιάλειπτης τροφοδοσίας 1kVA πραγματικού ημιτόνου
- Panel χειρισμού και ελέγχου αποτελούμενο από κομβία, ενδεικτικές λυχνίες και όργανα ενδείξεων και χειρισμού
- Ηλεκτρολογικό υλικό ισχύος
- Υλικά αυτοματισμού για τη λήψη και διαχείριση των σημάτων της εγκατάστασης

Ο κινητήρας της στροβιλομηχανής λειτουργεί μόνιμα σε κατάσταση Open Loop, που σημαίνει ότι οι στροφές του κινητήρα υπολογίζονται με μαθηματικά μοντέλα λαμβάνοντας υπόψη κρίσιμες εσωτερικές μεταβλητές του Inverter, οι οποίες μεταβάλλονται σε πραγματικό χρόνο.



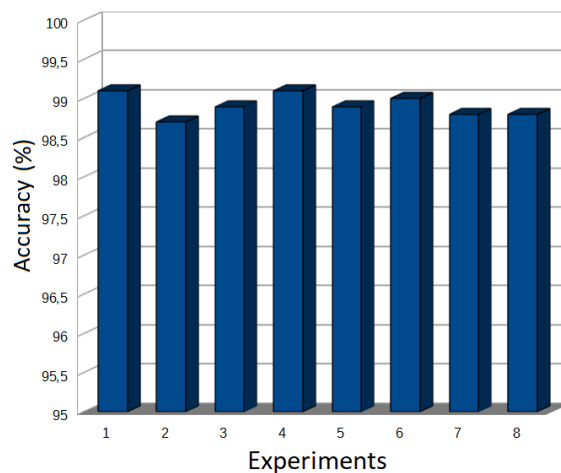
Εικόνα 7 Πειραματική διάταξη αεροσήραγγας

Σε ό,τι αφορά στην κίνηση του βηματικού κινητήρα, επιλέχθηκε βήμα 11,25 μοιρών ώστε να καλυφθεί σάρωση 15 σημείων αριστερά και 15 σημείων δεξιά. Με την επιλογή των παραπάνω μοιρών επιτυγχάνεται ακριβές βήμα $128/8=16$ βημάτων, διότι ο κινητήρας είναι 512 βημάτων.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

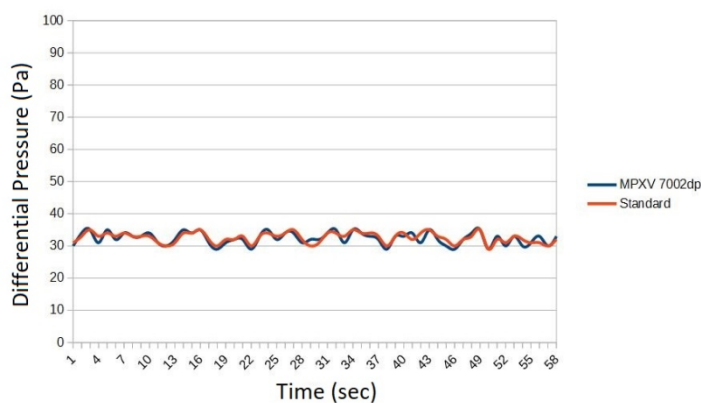
Για να διαπιστωθεί την ορθή λειτουργία του πρότυπου συστήματος, λήφθηκαν μετρήσεις για α) τον ακριβή έλεγχο της κίνησης μεταξύ σημείων επάνω στον οριζόντιο άξονα β) την ακρίβεια του αισθητήρα πίεσης σε σχέση με αξιόπιστο φορητό μετρητικό όργανο και γ) την αυτοματοποιημένη διαδικασία περιστροφής του σωλήνα pitot προς την φορά του αέρα.

Παρέχοντας κατάλληλες εντολές για την κίνηση του κινητήρα universal, ο σωλήνας pitot κινείται μέσα στην στροβιλομηχανή, συνδεδεμένος με δύο μικρούς εύκαμπτους σωλήνες, οι οποίοι οδηγούν στον αισθητήρα MPXV 7002dp. Το Raspberry Pi 3 αποτελεί την μονάδα ελέγχου και συλλογής των μετρήσεων. Τόσο ο έλεγχος της βάσης x-y, όσο και ο έλεγχος της διαδικασίας συλλογής μετρήσεων πίεσης, πραγματοποιήθηκαν και με χρήση απομακρυσμένης σύνδεσης. Στο Σχήμα 8 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δοκιμών της ορθής κίνησης μεταξύ σημείων, με απόσταση $d=10\text{cm}$.



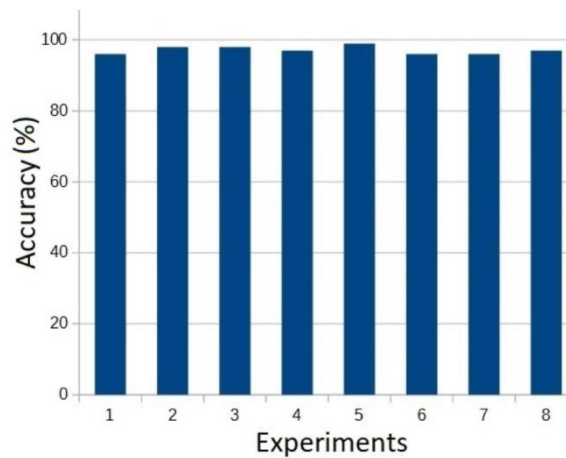
Σχήμα 8 Ακρίβεια αξονικής μετατόπισης

Το σύστημα συλλογής δεδομένων πίεσης αξιολογήθηκε με βάση την ταυτόχρονη λήψη δεδομένων από αξιόπιστο μετρητικό όργανο που διατίθεται στο εμπόριο. Στο Σχήμα 9 παρουσιάζεται η σύγκριση των μετρήσεων πίεσης από το παρόν σύστημα σε σχέση με αυτές που συλλέχθηκαν από το εμπορικό όργανο για την αξιολόγηση της απόδοσης του συστήματος πίεσης στις τιμές 30-40 Pa.



Σχήμα 9 Σύγκριση μετρήσεων πίεσης

Στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται η ακρίβεια χρησιμοποιώντας τον βηματικό κινητήρα. Όπως εύκολα γίνεται αντιληπτό, το ποσοστό επιτυχίας είναι σχεδόν 100%, συνεπώς ο χρήστης μπορεί αξιόπιστα να χρησιμοποιεί το πρότυπο μετρητικό σύστημα που κατασκευάστηκε.



Σχήμα 10 Ακρίβεια μετρήσεων πίεσης

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία παρουσιάστηκε η σχεδίαση, ανάπτυξη και επαλήθευση λειτουργίας μιας πρότυπης κατασκευής που αποτελεί μια ολοκληρωμένη μηχανή ελέγχου και συλλογής δεδομένων. Συνδυάζει σε μία μόνο συσκευή τον έλεγχο βάσης x-y με κινητήρα AC 230V τύπου universal, την προστασία της από εκτροχιασμό, ένα ενσωματωμένο σύστημα μετατροπής και συλλογής δεδομένων πίεσης, τη δυνατότητα αυτοματοποιημένης διαδικασίας περιστροφής του σωλήνα pitot προς τη διεύθυνση και τη φορά του ρευστού, την υποστήριξη απομακρυσμένης σύνδεσης, το speech synthesizer, και όλα αυτά ελεγχόμενα από τον οικονομικό μικρό-επεξεργαστή Raspberry Pi 3.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Atharva Kaluskar, Kshitij Avalaskar, Het Gandhi (2015). "Web-Controlled Surveillance Robot with A Robotic Arm." International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering.
2. D. K. Krishna Kumari, Arvind Kumar, Sagar Narang (2012). "Physical Implementation and Control of Multi-Axis Motion Control System using LABVIEW." International Conference on Innovations in Electrical and Electronics Engineering.
3. Fabian Kaup, Philip Gottschling, David Hausheer (2014). "PowerPi: Measuring and Modeling the Power Consumption of the Raspberry Pi." IEEE Conference on Local Computer Networks.
4. Abu Farzan Mitul, Fida Hasan Md Rafi, Md. Manirul Islam, Mohiuddin Ahmad (2015). "Microcontroller Based Automatic Control Home Appliances." International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology.
5. Suman Khakurel, Ajay Kumar Ojha, Sumeet Shrestha (2010). "Mobile Controlled Robots for Regulating DC Motors and their Domestic Applications." International Journal of Scientific & Engineering Research.
6. Sudha Ramasamy, Karthikesh R. , Manikandan P. (2013). "Development of Stepper motor based Two DOF Robotic Arm Transferring Liquid using Peristaltic Pump." International Journal of Engineering and Technology.