



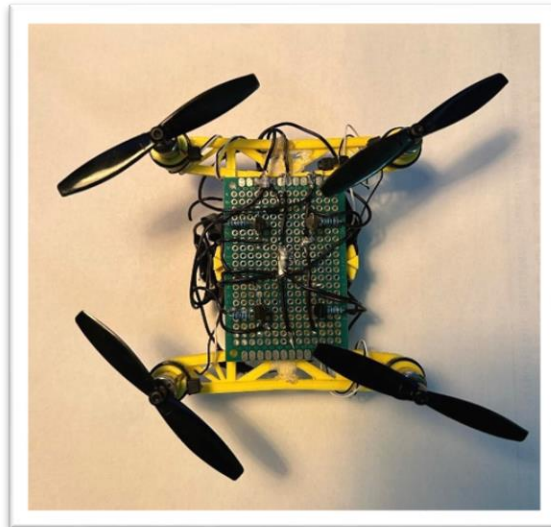
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

ΘΕΜΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

"Μελέτη και κατασκευή mini-Drone για εκπαιδευτική χρήση."



ΟΝΟΜΑ ΦΟΙΤΗΤΗ:

ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΠΑΝΑΓΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

ΑΒΡΑΑΜ ΧΑΤΖΟΠΟΥΛΟΣ

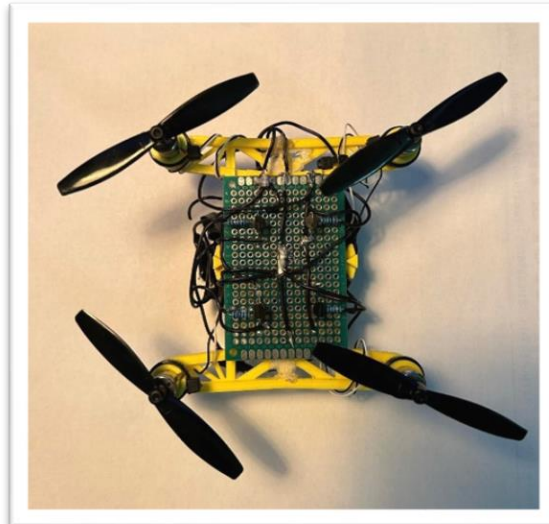
ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΝΙΟΣ, 2024



UNIVERSITY OF WEST ATTICA
SCHOOL OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL DESIGN
AND PRODUCTION ENGINEERING

DIPLOMA THESIS

"DESIGN AND CONSTRUCTION OF mini-DRONE FOR EDUCATIONAL USE."



STUDENT NAME:

NIKOLAS PANAGIS

SUPERVISOR:

ABRAAM XATZOPOULOS

ATHENS, JUNE 2024

Η παρούσα διπλωματική εργασία εγκρίθηκε ομόφωνα από την τριμελή εξεταστική επιτροπή, η οποία ορίστηκε από την Γ.Σ. του Τμήματος Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής, σύμφωνα με το νόμο και τον εγκεκριμένο Οδηγό Σπουδών του τμήματος.

Επιβλέπων: Χατζόπουλος Αβραάμ
Επίκουρος Καθηγητής

Επιτροπή Αξιολόγησης:

.....

Χατζόπουλος Αβραάμ
Επίκουρος Καθηγητής

.....

Δρόσος Χρήστος
Επίκουρος Καθηγητής

.....

Σκλαβούνου Ελένη Ορσαλία
Λέκτορας Εφαρμογών


ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Νικόλαος Παναγής του Γεωργίου, με αριθμό μητρώου 47079 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανικών Βιομηχανικής Σχεδίασης και Παραγωγής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής/διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών:



Νικόλαος Παναγής

Για την διεκπεραίωση της συγκεκριμένης πτυχιακής εργασίας, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή μου για την άψογη συνεργασία και την συμβολή του στην ολοκλήρωση και παρουσιαστής πτυχιακής μου εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ξεκινώντας με την εργασία με τίτλο «Μελέτη και κατασκευή mini Drone για εκπαιδευτική χρήση», έγινε μία ανασκόπηση σχετικά με τις πληροφορίες που μπορεί να αντληθούν μέσω του διαδικτύου. Παρατηρήθηκε πως υπάρχουν διάφορα project με διάφορες τροποποιήσεις, συνήθως με ολοκληρωμένες ηλεκτρικές κατασκευές όπως speed control, κλπ. Στην συνέχεια, ξεκίνησε μία υλοποίηση με την μελέτη & κατασκευή του σκελετού. Ύστερα προστέθηκε και ο ηλεκτρικός εξοπλισμός του hardware, με N-Mosfet, Arduino Uno και στην συνέχεια με Nano για μείωση του βάρους. Χρησιμοποιώντας Corless ηλεκτρικούς κινητήρες σε όλες τις κατασκευές.

Στόχος της πτυχιακής αυτής ήταν η εκμάθηση του αντικειμένου και η υλοποίηση ενός project για εκπαιδευτική χρήση σε άλλα άτομα, έτσι ώστε να μπορέσουν να καταλάβουν τον τρόπο λειτουργίας και χρήσης.

Στο πειραματικό κομμάτι, αγοράστηκαν κάποια εξαρτήματα, όπως μοτέρ, N-mosfet, καλώδια, αντιστάσεις, κλπ. Στην συνέχεια, ακολουθήθηκε ένα συγκεκριμένο σχέδιο ηλεκτρικό με βάση τις συνδεσμολογίες. Αφού εκτυπώθηκε ο σκελετός, κολλήθηκαν τα εξαρτήματα στην πλακέτα, συνδέθηκαν και δόθηκε σε λειτουργία.

Κατασκευάστηκαν διάφορα drone, με τον μέσο όρο να μην λειτουργούν σωστά. Έχουν βρεθεί τα προβλήματα σχεδόν στις περισσότερες στιγμές της πτυχιακής. Υπήρχε σε κάθε drone, εξέλιξη από το προηγούμενο και διόρθωση των προβλημάτων.

Συμπερασματικά, έχει περάσει από όλα τα στάδια της πτυχιακής εργασίας το drone σαν κατασκευή και μελέτη. Με τις βελτιώσεις που έχουν πραγματοποιηθεί, μπορέσαμε να φτάσουμε σε αυτό το σημείο.

ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

Quadcopter, Drone, Arduino, UAV

ABSTRACT

Starting with the project entitled "Design and construction of a mini Drone for educational use", a review was made on the information that can be obtained through the internet. It was observed that there are various projects with different modifications, usually with complete electrical structures such as speed control, etc. Then, an implementation was started with the design & construction of the frame. Then the electrical hardware was added, with N-Mosfet, Arduino Uno and then Nano to reduce the weight. Using Corless electric motors throughout the builds.

The aim of this thesis was to learn the subject and to implement a project for educational use for other people, so that they could understand how to operate and use it.

In the experimental part, some components such as motors, N-mosfet, cables, resistors, etc. were purchased. Then, a specific electrical plan was followed based on the wiring diagrams. After the skeleton was printed, the components were soldered to the board, connected and commissioned.

Several drones were built, with the average one not working properly. Problems were found at almost most times in the thesis. There was on each drone, progression from the previous one and correction of problems.

In conclusion, the drone has passed through all stages of the thesis as a construction and study. With the improvements that have been made, we have been able to get to this point.

KEYWORDS

Quadcopter, Drone, Arduino, UAV

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

| | |
|---|------|
| ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ | iv |
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ..... | vi |
| ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ..... | vi |
| ABSTRACT | vii |
| KEYWORDS | vii |
| ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ | viii |
| ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ | x |
| ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ | xi |
| ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ..... | xiii |
| ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ..... | xiv |
| ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... | 1 |
| ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ..... | 3 |
| Ορισμοί και τα Drone σε γενικές γραμμές | 3 |
| Ιστορική αναδρομή..... | 4 |
| Θεωρητικό μοντέλο ενός drone..... | 9 |
| Μαθηματικό μοντέλο..... | 10 |
| Εξαρτήματα ενός drone..... | 11 |
| Είδη των drone..... | 15 |
| Χρήση & εφαρμογές των drone στην καθημερινότητα..... | 16 |
| ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΥΛΙΚΟΥ ΜΕΡΟΥΣ (HARDWARE) | 17 |
| Λειτουργικά Μέρη Κατασκευής | 17 |
| Ηλεκτρικοί κινητήρες..... | 17 |
| Σχέδιο και κατασκευή σκελετού | 20 |
| Έλικες..... | 22 |
| Μικροελεγκτής..... | 24 |
| Μπαταρία..... | 25 |
| Speed control..... | 27 |
| Ηλεκτρονικό κύκλωμα..... | 33 |
| Λίστα υλικών..... | 35 |
| Οικονομικός προϋπολογισμός..... | 36 |
| ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΣΥΓΓΡΑΦΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ (SOFTWARE) | 38 |

| | |
|-----------------------------|----|
| Διάγραμμα Ροής..... | 38 |
| Γλώσσα Προγραμματισμού..... | 41 |
| Κώδικας προγράμματος | 42 |
| ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ | 45 |
| ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ..... | 46 |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ..... | 47 |

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Στο σημείο αυτό θα αναφερθούν όλοι οι πίνακες με αριθμητική σειρά που έχουν αναλυθεί στο κείμενο για την επεξήγηση των στοιχείων στο πειραματικό κομμάτι.

| | |
|---|----|
| Πίνακας 1: Ανάλυση μέτρησης πτώσης τάσης στο ηλεκτρικό κύκλωμα πριν την αλλαγή..... | 32 |
| Πίνακας 2: Ανάλυση μέτρησης πτώσης τάσης ύστερα απο την αλλαγή καλωδίων..... | 32 |
| Πίνακας 3: Υπολογισμός εξόδων που χρειάστηκε για την αγορά των υλικών. | 37 |

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Σε αυτό το σημείο θα αναφέρονται με αριθμητική σειρά όλες οι εικόνες - φωτογραφίες που έχουν χρησιμοποιηθεί στο κείμενο για την βοήθεια της κατανόησης της πτυχιακής εργασίας, με αριθμητική σειρά. Δηλαδή:

| | |
|---|----|
| Εικόνα 1: Bug Kettering, 1917 (QUAN, 2017)..... | 5 |
| Εικόνα 2: Το αυτόματο αεροπλάνο Hewitt Sperry που δημιουργήθηκε από τον Elmer Sperry το 1918, (QUAN, 2017)..... | 6 |
| Εικόνα 3: Fairey Queen, 1920, (QUAN, 2017)..... | 6 |
| Εικόνα 4: De Havilland Queen Bee, 1930, (KODGIRWAR, 2014). | 7 |
| Εικόνα 5: The Radioplane Target Drone RP-1, 1935, (KODGIRWAR, 2014). | 7 |
| Εικόνα 6: Dji Phantom, 2013, (Hejduk M, 2015). | 8 |
| Εικόνα 7: Η ανάλυση δυνάμεων σε ένα Drone. | 9 |
| Εικόνα 8: Ανάλυση δυνάμεων σε ένα drone με μοίρες ώστε να αποδοθούν οι εξισώσεις των τύπων, (LUUKKONEN, 2011). | 10 |
| Εικόνα 9: Κατηγορίες drone με βάσει τον αριθμό των μοτέρ που χειρίζονται, (Piotrowski P., 2015)..... | 12 |
| Εικόνα 10: Τρόπος μέτρησης χωρίς υπολογισμούς για τι βάρος μπορεί ένα drone να έλξει, 2024. | 18 |
| Εικόνα 11: Τρόπος μετρήσεις του thrust σε ένα brusless κινητήρα με μεγαλύτερη δύναμη, 2024. | 19 |
| Εικόνα 13: Τύπος έλικα που θα χρησιμοποιηθεί κατά την διάρκεια υλοποίησης..... | 20 |
| Εικόνα 14: Σχέδιο σκελετού εργασίας. | 21 |
| Εικόνα 15:Δοκιμαστικά σχετικά με τον σκελετό και τα ηλεκτρονικά μέρη. | 22 |
| Εικόνα 16: Ένα δείγμα από τον τύπο που χρησιμοποιήθηκε. | 23 |
| Εικόνα 17: Ένα δείγμα από τον τύπο που χρησιμοποιήθηκε με 3 φύλλα. | 23 |
| Εικόνα 18: Arduino Uno. | 24 |
| Εικόνα 19: Ο μικροελεγκτής ESP32. | 25 |
| Εικόνα 20: Δοκιμή του μικροελεγκτή Arduino Nano στο πειραματικό κομμάτι..... | 25 |
| Εικόνα 21: Λεπτομέρειες σχετικά με την επιλογή της μπαταρίας. | 26 |
| Εικόνα 22: Θήκες για τις μπαταρίες..... | 27 |
| Εικόνα 23: Πρότυπο συνδεσμολογία speed control που ακολουθήθηκε στην εργασία. | 28 |
| Εικόνα 24: Πρότυπο σχέδιο speed control με την υλοποίηση του προγράμματος Easyeda.com. | 28 |
| Εικόνα 25: Δοκιμές χειροκίνητου speed control με μεταβλητή αντίσταση. | 29 |
| Εικόνα 26: Κατασκευή πλακέτας για χρήση speed control σε δύο κινητήρες. | 30 |
| Εικόνα 27: Δοκιμή πλακέτας και έλεγχός λειτουργίας. | 30 |
| Εικόνα 28: Πλακέτα όπου έχει ενσωματωμένα τα speed control του πρώτου drone..... | 31 |
| Εικόνα 29: Πλακέτα του δεύτερου πιο εξελιγμένου drone. | 31 |
| Εικόνα 30: Ηλεκτρονικό κύκλωμα speed control. | 33 |
| Εικόνα 31: Ηλεκτρονικό κύκλωμα μικροελεγκτή..... | 34 |
| Εικόνα 32:Τρόπος συνδεσμολογίας των εξαρτημάτων σε φυσική μορφή του μικροελεγκτή. | 34 |

| | |
|---|----|
| Εικόνα 33: Ηλεκτρονικό κύκλωμα του αισθητήριου MPU 6050..... | 35 |
| Εικόνα 34: Διάγραμμα Ροής λειτουργίας του drone το πρώτο μέρος. | 39 |
| Εικόνα 35: Διάγραμμα Ροής λειτουργίας του drone το δεύτερο μέρος..... | 40 |

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

Οι παρακάτω συντομογραφίες με την σημασία τους αναφέρονται στην συνέχεια της πτυχιακής εργασίας. Χρησιμοποιούνται στην εργασία για την περιγραφή τους.

| | |
|--------|--|
| UAV | Αεροσκάφος (Drone) χωρίς την ανάγκη χειριστή. |
| MEA | Μη Επανδρωμένα Οχήματα. |
| UAS | Περιλαμβάνει όλες τις συσκευές drone. |
| RPAS | Νομοθεσία σχετικά για χρήση προληπτική σε κάθε συσκευή drone να υπάρχει ένας επιβλέπωντας πιλότος εδάφους. |
| ESC | Electronic Speed Control. |
| ΣμηΕΑ | Σύστημα μη επανδρωμένων αεροσκαφών. |
| BVLOS | Πέραν οπτικής επαφής. |
| BEC | Battery Eliminator Circuits. |
| VTOL | Ένα μη επανδρωμένο αεροσκάφος VTOL αναφέρεται σε ένα UAV όπου μπορεί να πετάξει όπως ένα ελικόπτερο με όλες τις λειτουργίες αυτού όπως προσγείωση και απογείωση. |
| Thrust | Μέγιστη στατική ώθηση που παράγει ένα μοτέρ. |

ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ

Σε αυτήν την σελίδα θα αναφερθούν διάφοροι όροι όπου η μετάφραση τους δεν μπορεί να γίνει με πλήρη σημασία από την ελληνική γλώσσα για παράδειγμα στην αγγλική, κλπ. Παρακάτω βρίσκονται οι όροι ή λέξεις με την σημασία τους που δίνεται είτε με μία λέξη είτε με μία έκφραση.

Feedback

Ο τρόπος με τον οποίο παίρνεις από μια εφαρμογή είτε ένα αντικείμενο κάποια στοιχεία για τον τρόπο λειτουργία τους.

Speed Control

Ένα κύκλωμα από ηλεκτρικά εξαρτήματα όπου βοηθάει τα μοτέρ να αυξομειώνουν τις ταχύτητες του με έλεγχο από τον χειριστή.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει μία γενική ανάλυση της εργασίας, ποιοι είναι οι σκοποί της και πως θα διαχειριστεί παρακάτω το θέμα της πτυχιακής. Παρακάτω, θα αναπτυχθεί το θεωρητικό υπόβαθρο της εργασίας που αναφέρεται στα τετρακόπτερα (drones), το ιστορικό αυτών, θα γίνουν κάποιες αναλύσεις στις φυσικές αρχές και στο μαθηματικό μοντέλο. Ύστερα θα αναλυθούν τα κομμάτια που απαρτίζεται ένα drone και οι εφαρμογές που υπάρχουν στο σήμερα και οι χρήσεις τους.

Στην εργασία που έχουμε να αντιμετωπίσουμε, υπάρχουν διάφορα προβλήματα. Η αρχική ιδέα έχει να αντιμετωπίσει το πρόβλημα της υλοποίησης του drone, δηλαδή να γίνει το θεωρητικό κομμάτι πράξη και να μπορέσει το drone σαν κατασκευή να πετάξει με όλο το σύνολο των εξαρτημάτων. Αρχικά, η υλοποίηση του σκελετού σε συνδυασμό με την επιλογή των μοτέρ και το σύνολο των ηλεκτρικών εξαρτημάτων με τα speed control, Arduino Nano, κλπ, χρειάζεται μία ισορροπία με το βάρος του drone σε συνδυασμό με την σωστή επιλογή εξαρτημάτων, μπαταριών και όλων των εξαρτημάτων. Ένας άλλος ορισμός προβλήματος είναι η σωστή καταγραφή των μετρήσεων έτσι ώστε η τιμές των μετρήσεων κατά την διάρκεια λειτουργίας του drone, να είναι ακριβείας για να μπορέσει να υπάρξει ένα feedback για να μπορέσει να ελεγχθεί η άρτια και σωστή λειτουργία του drone καθόλα την διάρκεια λειτουργίας αυτού.

Στην συνέχεια, θα γίνει μία σύντομη περιγραφή της σειράς που επιλέχθηκε για την υλοποίηση των παραπάνω προβλημάτων που θα αναλυθούν εκτενώς στην εργασία αυτή. Τόσο στο θεωρητικό μέρος, όσο και στο πειραματικό. Δηλαδή:

- 1) Έρευνα μέσω διαδικτύου – ανασκόπηση διάφορων πειραματικών drone για εκπαιδευτική χρήση.
- 2) Έλεγχος και μελέτη των προδιαγραφών του drone για να είναι λειτουργικό.
- 3) Αγορά εξοπλισμού και εξαρτημάτων σύμφωνα με την μελέτη.
- 4) Σχεδίαση και εκτύπωση σκελετού και μελέτη και υλοποίηση σχεδιαγραμμάτων ηλεκτρονικών εξαρτημάτων.
- 5) Κατασκευή πρωτότυπου drone – Έλεγχος.
- 6) Μελέτη και υλοποίηση κώδικα drone (software).
- 7) Σύνθεση όλων των πραγμάτων για την υλοποίηση τους.
- 8) Αναλυτικά όλα τα βήματα συναρμολόγησης.
- 9) Πειραματισμοί – Μελέτες περιπτώσεων – Αποτελέσματα – Συμπεράσματα.

Όσο αναφορά το πειραματικό κομμάτι, θα γίνει μία ανάλυση γενική σχετικά με τα πράγματα που συλλέχτηκαν για την πτυχιακή εργασία, και τον τρόπο που επιλέχθηκαν, με αναλύσεις και διάφορες τεκμηριωμένες απαντήσεις. Στην συνέχεια, θα γίνει ανάλυση της μεθοδολογίας συναρμολόγησης και το πως υλοποιήθηκε η εργασία γύρω από το drone. Με τις πρώτες δοκιμές να εμφανίζουν τα μελανά σημεία του drone, για να μπορέσουν να εντοπιστούν και να αναλυθούν τα προβλήματα αυτού.

Θα ακολουθήσουν κάποιες φωτογραφίες με την συναρμολόγηση της κατασκευής του drone και ύστερα κάποιοι πίνακες με αναλυτικά στοιχεία σχετικά με τα feedback της πτήσης. Όλα αυτά θα συμβούν για την ολική και πλήρη κατανόηση της εργασίας και του τρόπου υλοποίησής της σε άλλα άτομα που θα ήθελαν να ασχοληθούν με κάτι αντίστοιχο.

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Ορισμοί και τα Drone σε γενικές γραμμές

Μη επανδρωμένα οχήματα αέρος, ΜΕΑ ή drones ονομάζεται κάθε είδος ιπτάμενων οχημάτων όπου δεν υπάρχει χειριστής στην άτρακτό τους, αλλά λειτουργούν αυτόνομα είτε μέσω τηλεκατεύθυνσης. Οι παραπάνω ονομασίες αναφέρονται κατά κύριο λόγο στους ορισμούς που κατά καιρούς έχουν δοθεί και καταγραφεί για την περιγραφή των οχημάτων αυτών. Λόγου χάρη, ο όρος που αναγράφεται παραπάνω, UAV περιγράφει τα αεροσκάφη που δεν διαθέτουν χειριστή. Ο όρος UAS περιλαμβάνει όλες τις χρήσεις και τους χειρισμούς οι οποίες χρησιμοποιούνται προκειμένου το μη επανδρωμένο αεροσκάφος ή drone να απαρτίζεται ως ολοκληρωμένο σύστημα. Τέλος, ο όρος RPAS καθιερώθηκε σύμφωνα με την νομοθεσία και με την ανάγκη όλες οι πτήσεις μη επανδρωμένων αεροσκαφών να έχουν τουλάχιστον έναν επιβλέποντα πιλότο στο έδαφος για την ασφάλεια της πτήσης. (Γεωργίου, Κ. & Παπαδόπουλος, Α., 2018).

Τα drone συνήθως έχουν τη μορφή μικρού αεροπλάνου ή ελικοπτέρου όπου κατέχουν έναν ή περισσότερους κινητήρες και έλικες αντίστοιχα, οι οποίοι χειρίζονται από ένα ολοκληρωμένο σύστημα συγκεκριμένα για το κάθε drone και σε κάποιες περιπτώσεις υπάρχει ο χειρισμός από κάποιον χειριστή μέσω εδάφους.

Ο τρόπος πτήση ενός drone μπορεί να λειτουργεί με διάφορους βαθμούς αυτονομίας : είτε με την καθοδήγηση μέσω τηλεχειριστηρίου από ανθρώπινο χειριστή, είτε αυτόνομα από ενσωματωμένους υπολογιστές που μπορεί να αναφέρονται ως αυτόματος πιλότος. Ένα UAV ορίζεται ως "μηχανοκίνητο, εναέριο όχημα που δεν μεταφέρει ανθρώπινο χειριστή, χρησιμοποιεί αεροδυναμικές δυνάμεις για να παρέχει την ωφέλιμη ανύψωση στο εκάστοτε όχημα, μπορεί να πετάξει αυτόνομα ή να προηγηθεί εξ αποστάσεως, μπορεί να είναι δαπανηρό ή ανακτήσιμο και μπορεί να φέρει θανατηφόρο ή μη θανατηφόρο ωφέλιμο φορτίο".

Ο όρος drone ή σε άλλα λόγια τετρακόπτερο που χρησιμοποιείται γενικότερα από το κοινό, επινοήθηκε σε σχέση με τις αρχές της εξ' αποστάσεως πτήσης στόχου με αεροσκάφη που χρησιμοποιούνται για την πρακτική βολής των όπλων ενός θωρηκτού, και ο όρος συναντάτε για πρώτη φορά με τη δεκαετία του 1920 και το 1930. (Γεωργίου, Κ. & Παπαδόπουλος, Α., 2018).

Η λέξη drone είναι αγγλική και σημαίνει βόμβος ή βούισμα, το βασικό χαρακτηριστικό των κηφήνων (αρσενικές μέλισσες). Η επίσημη ονομασία τους είναι στα ελληνικά ΣμηΕΑ (Συστήματα μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών) και είναι πολύ πιο σύνθετες και εξελιγμένες συσκευές από τα τηλεκατευθυνόμενα διότι ενσωματώνουν σύγχρονες τεχνολογίες πτήσης και ελέγχου από τον χειριστή τους. Αναφερόμαστε σε αεροσκάφη που ελέγχονται από απόσταση αλλά μπορούν να πετάξουν και αυτόνομα με τη βοήθεια αισθητήρων και GPS που διαθέτουν.

Με άλλα λόγια, τα αυτόνομα αεροσκάφη απογειώνονται, εκτελούν αποστολές και προσγειώνονται χωρίς καμία ανθρώπινη παρέμβαση. Έτσι, ένα αυτόνομο drone αποτελεί τύπο UAV, αλλά ένα UAV δεν είναι απαραίτητα αυτόνομο drone (ROGERS, 2012). Δεδομένου ότι τα αυτόνομα drones δεν χειρίζονται από ανθρώπους, ένα σύστημα ελέγχου εδάφους ή λογισμικό διαχείρισης

επικοινωνιών παίζει κρίσιμο ρόλο στη λειτουργία τους. Πέρα από το λογισμικό, τα drones αξιοποιούν επίσης μια σειρά από προηγμένες τεχνολογίες που τους επιτρέπουν να ολοκληρώνουν τις αποστολές τους χωρίς ανθρώπινη επέμβαση, όπως υπολογιστικό νέφος, όραση υπολογιστή, τεχνητή νοημοσύνη, μηχανική μάθηση, βαθιά μάθηση και θερμικούς αισθητήρες (ROGERS, 2012).

Σε αντίθεση με τα επανδρωμένα αεροσκάφη, τα τετρακόπτερα ξεκίνησαν να χρησιμοποιούνται για να εξυπηρετούν διάφορες ανάγκες του ανθρώπου. Αν και τα drones προήλθαν κυρίως από τον στρατιωτικό τομέα, σήμερα έχουν εξελιχθεί και βρήκαν εφαρμογές σε πολλούς άλλους τομείς. Αυτοί περιλαμβάνουν την αεροφωτογράφιση, την παράδοση προϊόντων, τη γεωργία, την αστυνόμευση και την παρακολούθηση, τις επιθεωρήσεις υποδομών, την επιστημονική έρευνα, το λαθρεμπόριο, ακόμα και τους αγώνες drone FPV.

Τα τελευταία χρόνια, τα αυτόνομα drone έχουν αρχίσει να αλλάζουν διάφορες εμπορικές βιομηχανίες, καθώς μπορούν να πετούν πέρα από το οπτικό πεδίο (BVLOS), αυξάνοντας την παραγωγικότητα, μειώνοντας τα κόστη και τους κινδύνους, διασφαλίζοντας την ασφάλεια του χώρου και τη συμμόρφωση με τους κανονισμούς, και προστατεύοντας το ανθρώπινο δυναμικό κατά τις πανδημίες. Επιπλέον, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για καταναλωτικές αποστολές, όπως η παράδοση πακέτων, όπως αποδεικνύεται από το Amazon Prime Air, καθώς και για κρίσιμες παραδόσεις ιατρικών προμηθειών. Το Drone-in-a-Box (DIB) είναι ένα αυτόνομο drone που εκτελεί μια προγραμματισμένη λίστα αποστολών σε διάφορες περιοχές και επιστρέφει σε ένα αυτόνομο κιβώτιο προσγείωσης που χρησιμεύει και ως βάση φόρτισης του drone. Σύμφωνα με νέους κανονισμούς που ισχύουν από την 1η Ιουνίου 2019, η καναδική κυβέρνηση υιοθέτησε τον όρο RPAS (Remotely Piloted Aircraft System), ο όρος αναφέρεται σε "ένα σύνολο διαμορφώσιμων στοιχείων που περιλαμβάνουν έναν απομακρυσμένο χειριστή αεροσκάφους, τον σταθμό ελέγχου του, τον σύνδεσμο εντολών και ελέγχου, καθώς και άλλα απαραίτητα στοιχεία κατά την πτήση". Η σχέση μεταξύ UAV και τηλεχειριζόμενων αεροσκαφών είναι περίπλοκη. Τα UAV μπορεί να περιλαμβάνουν ή όχι μοντέλα αεροσκαφών. Σε κάποιες περιοχές, ο όρος καθορίζεται από το μέγεθος ή το βάρος. Ωστόσο, η Ομοσπονδιακή Διοίκηση Αεροπορίας των ΗΠΑ θεωρεί κάθε μη επανδρωμένο ιπτάμενο σκάφος ως UAV, ανεξάρτητα από το μέγεθος. Για ψυχαγωγικούς σκοπούς, ένα drone είναι ένα μοντέλο αεροσκάφους με δυνατότητες βίντεο πρώτου προσώπου, αυτόνομες λειτουργίες ή και τα δύο (BERNI, 2008).

Ιστορική αναδρομή

Κάποιοι θα θεωρήσουν ότι τα αυτόματα αεροσκάφη είναι αποτέλεσμα της σύγχρονης τεχνολογικής ανάπτυξης. Παρ' όλα αυτά, η ιστορία της ανάπτυξης τους εκτείνεται σε δεκαετίες και δεν έχει ολοκληρωθεί ακόμα. Όσον αφορά τα περισσότερα τεχνικά ευρήματα, τα αεροσκάφη αυτά προέρχονται από τον τομέα της στρατιωτικής βιομηχανίας. Η ανάγκη για ανάπτυξη ιπτάμενων οχημάτων χωρίς πιλότο αυξάνεται από τον 19ο αιώνα.

Οι στρατιωτικές δυνάμεις διαφόρων χωρών ήταν οι πρώτες που χρησιμοποίησαν drones για πολεμικούς σκοπούς. Ο αυστριακός στρατός ήταν ο πρώτος που ανέπτυξε αυτές τις συσκευές για

μάχη. Το 1849, οι Αυστριακοί επιτέθηκαν στη Βενετία και την Ιταλία με μη επανδρωμένα αερόστατα γεμάτα εκρηκτικά. Κάποια από αυτά λειτούργησαν όπως αναμενόταν, ενώ ο άνεμος επέστρεψε τα υπόλοιπα πίσω στην αυστριακή επικράτεια. Αν και δεν ήταν τόσο προηγμένα τεχνολογικά όσο τα σημερινά drones, έδειξαν τις δυνατότητες αυτής της τεχνολογίας.

Ο αμερικανικός στρατός δεν άργησε να μετατρέψει τα αεροπλάνα Standard E-1 σε drones. Ένα από τα πρώτα τέτοια drones ήταν το Larynx UAV, ένα μικρό μη επανδρωμένο αεροσκάφος που είχε τη δυνατότητα να απογειώνεται από πολεμικά πλοία (Γεωργίου, Κ. & Παπαδόπουλος, Α., 2018).

Η δημιουργία των πρώτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών χρονολογείται από την αρχή του 19ου αιώνα, συγκεκριμένα κατά την διάρκεια του Α΄ παγκόσμιου πολέμου. Ο πρώτος εναέριος στόχος που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο Ruston Proctor με τεχνικές ραδιοελέγχου το 1916. Τον Νοέμβριο του 1917, ένα αυτόματο αεροπλάνο απογειώθηκε για λογαριασμό των Ηνωμένων Πολιτειών, όπου οδήγησε τον στρατό στην κατασκευή του πρώτου διπλάνου με δύο φτερά δηλαδή. Γνωστό και ως Bug Kettering.

Το Kettering Bug ήταν μια πειραματική μη επανδρωμένη εναέρια τορπίλη, πρόδρομος των σημερινών πυραύλων Κρουζ. Ήταν ικανή να πλήξει επίγειους στόχους σε απόσταση έως 121 χλμ. από το σημείο εκτόξευσης, ενώ ταξίδευε με ταχύτητα 80 χλμ. την ώρα. Αν και η επαναστατική τεχνολογία του Bug είχε επιτυχία, δεν ήταν αρκετό κατά την διάρκεια του πολέμου.



Εικόνα 1: Bug Kettering, 1917 (QUAN, 2017).

Το αυτοματοποιημένο αεροπλάνο Hewitt Sperry, που αναπτύχθηκε από τον Elmer Sperry της εταιρείας Sperry Gyroscope, ήταν η πρώτη έκδοση της σημερινής εναέριας τορπίλης.

Μετά τον πρώτο παγκόσμιο πόλεμο εκτοξεύτηκαν οι πρώτοι πύραυλοι, μεταξύ τους και ο Larynx, ένας κατευθυνόμενος πύραυλος που έχει την δυνατότητα να εκτοξευτεί από πολεμικό πλοίο, με αυτόματο πιλότο. Δοκιμάστηκε από το Βρετανικό Βασιλικό Ναυτικό το 1927 και το 1929.



Εικόνα 2: Το αυτόματο αεροπλάνο Hewitt Sperry που δημιουργήθηκε από τον Elmer Sperry το 1918, (QUAN, 2017).

Το 1931 οι Βρετανοί ανέπτυξαν ένα ραδιοελεγχόμενο αεροσκάφος στόχο, το “Fairy Queen” κατασκευάζοντας τρία αεροσκάφη στόχους, ένα από αυτά ήταν και το “DH.82B Queen Bee”. (Smith, J. & Johnson, R., 2020).



Εικόνα 3: Fairey Queen, 1920, (QUAN, 2017).



Εικόνα 4: De Havilland Queen Bee, 1930, (KODGIRWAR, 2014).

Το 1936 χρησιμοποιήθηκε ο όρος drone για να περιγράψει τα ραδιοελεγχόμενα αεροσκάφη στόχους.

Άλλα αυτοματοποιημένα αεροσκάφη, που αναπτύχθηκαν από τον αμερικανικό και βρετανικό στρατό, ακολούθησαν σύντομα. Η πρώτη μεγάλης κλίμακας παραγωγή ενός drone ειδικού σκοπού ήταν αποτέλεσμα της εργασίας του Reginald Denny, ενός επιτυχημένου ηθοποιού του Χόλιγουντ. Ο ίδιος κατέληξε στο συμπέρασμα ότι υπήρχε μεγάλη ζήτηση ραδιοελεγχόμενων αεροσκαφών, τα οποία θα ήταν ιδανικά για εκπαίδευση αντιαεροπορικών πυρών. Έτσι το 1935 σκέφτηκε ένα πρωτότυπο drone στόχο όπου ονομάστηκε RP-1. (BARNHART, 2011).



Εικόνα 5: The Radioplane Target Drone RP-1, 1935, (KODGIRWAR, 2014).

Ο ίδιος ανέπτυξε και τον έλεγχο ενός τέτοιου σκάφους, όπου συνέχισε το ενδιαφέρον του για τετρακόπτερα και δημιούργησε τις βιομηχανίες Reginald Denny.

Ύστερα από την ίδρυση της εταιρίας, κατασκεύασε μια σειρά βελτιωμένων αεροσκαφών RP-3 και RP-4, περίπου 15000 Radio Aircraft. Τα αεροσκάφη OQ-2 πωλήθηκαν για στρατιωτική χρήση κατά την διάρκεια του Β παγκοσμίου πολέμου. Την ίδια περίοδο εμφανίστηκαν τα πρώτα όπλα με συστήματα τηλεχειρισμού. Ο Fritz X είναι επίσης ο εμπνευστής των σύγχρονων αντίπλοιων πυραύλων. Μια από τις σημαντικότερες καινοτομίες στη στρατιωτική χρήση των drone, είναι το MQ-1 Predator, που εμφανίστηκε το 1995. Το Predator παρέχει την δυνατότητα απομακρυσμένου ελέγχου μέσω δορυφορικού αναμεταδότη, ενώ φτάνει σε αποστάσεις έως και 460 μίλια.

Ο στρατός των ΗΠΑ πειραματίστηκε με αυτά τα drone και δημιούργησε μια ποικιλία εναέριων τορπιλών. Αυτά τα αεροσκάφη ήταν επίσης ικανά να συλλέγουν ραδιενεργά δεδομένα.

Η εμπορική χρήση αυτόματων οχημάτων θα έπρεπε να περιμένει μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 2000, όταν επαγγελματίες και κατασκευαστές άρχισαν να ανακαλύπτουν ότι αυτές οι συσκευές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για διάφορους σκοπούς.

Το 2013 η DJI Phantom πέτυχε μια σημαντική ανακάλυψη επειδή είχε ήδη τις παραμέτρους και την τεχνολογία για να μπορέσει να εξελίξει τον χειρισμό της πτήσης των Drone χωρίς καμία ειδική εκπαίδευση.

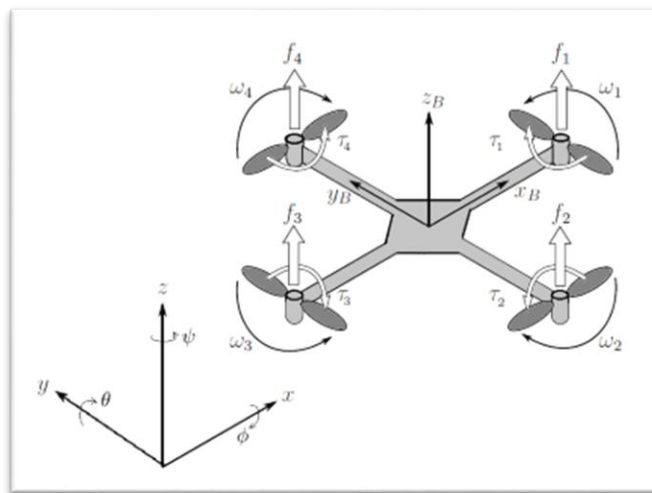


Εικόνα 6: Dji Phantom, 2013, (Hejduk M, 2015).

Έκτοτε η ανάπτυξη των drone προχωρά σταθερά, με τις χρήσεις να εκτείνονται πολύ πέρα από τις στρατιωτικές εφαρμογές, όπως χρήση για βιομηχανικούς σκοπούς και έτσι γίνονται όλο και περισσότερο διαθέσιμες, σε ερασιτέχνες για ψυχαγωγικούς σκοπούς (MAGISTRETTI, 2019).

Θεωρητικό μοντέλο ενός drone.

Τα drones συνήθως είναι εξοπλισμένα με τέσσερους κινητήρες ή ρότορες (ηλεκτρικά μοτέρ), με δύο περιστρεφόμενους δεξιόστροφα και άλλους δύο αριστερόστροφα. Αυτοί οι τέσσερις κινητήρες παράγουν αντίστροφη κίνηση από την κατεύθυνση του drone, δημιουργώντας ταυτόχρονα ροπή και ανύψωση γύρω από τον άξονα περιστροφής τους. Η ρύθμιση των drones επιτυγχάνεται αλλάζοντας την ταχύτητα των ρότορων, οι οποίοι ελέγχονται άμεσα από το σύστημα πτήσης. Αυτή η δυνατότητα επιτρέπει την πλήρη απουσία ελέγχου της γωνίας κλίσης (cyclic control), που απαιτείται στα συμβατικά ελικόπτερα, καθώς τα προβλήματα που προκαλούνται από την ροπή εξισορροπούνται με τη χρήση αντίστροφης περιστροφής. Τέλος, η κατασκευή μικρότερων ρότορων είναι πιο απλή και οικονομική, βοηθώντας στην αξιόπιστη και αποτελεσματική λειτουργία των drones.



Εικόνα 7: Η ανάλυση δυνάμεων σε ένα Drone.

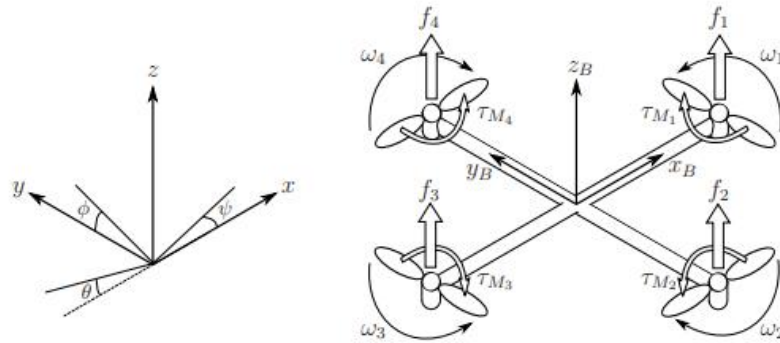
Συνεπώς, όταν διαθέτουμε ένα drone με τέσσερους ρότορες και τους καθορίζουμε ώστε δύο να περιστρέφονται δεξιόστροφα και δύο αριστερόστροφα, η ροπή εκτροπής γύρω από τον άξονα είναι μηδενική. Αυτό σημαίνει ότι σχεδιαστικά δεν απαιτείται ο πέμπτος ρότορας ουράς που χρησιμοποιούν τα συμβατικά ελικόπτερα. Αποτέλεσμα αυτής της σχεδίασης είναι ο χαρακτηριστικός ήχος που εκπέμπουν τα drones, ο οποίος οφείλεται στην ανισορροπία των αεροδυναμικών δυνάμεων.

Σε περίπτωση που η ώθηση στους τρεις ρότορες είναι ισορροπημένη, το drone θα παραμένει σε κατάσταση ισορροπίας, αιωρούμενο ή ρυθμίζοντας το ύψος του. Για να μετακινηθεί προς κάποια κατεύθυνση, αυξάνουμε την ώθηση στον έναν ρότορα ενώ ταυτόχρονα μειώνουμε την ώθηση στον αντίστοιχο αντίστροφο ρότορα.

Συνοπτικά, τα βασικά εξαρτήματα ενός drone αποτελούνται από τις έλικες, τους κινητήρες και το πλαίσιο στο οποίο είναι τοποθετημένοι (Smith, J. & Johnson, R., 2020).

Μαθηματικό μοντέλο.

Η δομή του drone παρουσιάζεται στο Σχήμα 1, συμπεριλαμβανομένων των αντίστοιχων γωνιακών ταχυτήτων, ροπών και δυνάμεων που δημιουργούνται από τους τέσσερις ρότορες (αριθμημένοι από το 1 έως το 4).



Εικόνα 8: Ανάλυση δυνάμεων σε ένα drone με μίρες ώστε να αποδοθούν οι εξισώσεις των τύπων, (LUUKKONEN, 2011).

Η απόλυτη γραμμική θέση ενός drone ορίζεται στο αδρανειακό σύστημα συντεταγμένων (x, y, z) . Η στάση του, δηλαδή η γωνιακή του θέση, περιγράφεται στο αδρανειακό πλαίσιο με τρεις γωνίες τύπου Euler. Η γωνία κλίσης θ καθορίζει την περιστροφή γύρω από τον άξονα y . Η γωνία κύλισης ϕ καθορίζει την περιστροφή γύρω από τον άξονα x , ενώ η γωνία yaw ψ καθορίζει την περιστροφή γύρω από τον άξονα z . Το διάνυσμα \mathbf{q} περιλαμβάνει τα διανύσματα γραμμικής και γωνιακής θέσης του drone στο αδρανειακό σύστημα αναφοράς. (Luukkonen, 2011).

$$\xi = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}, \quad \eta = \begin{bmatrix} \phi \\ \theta \\ \psi \end{bmatrix}, \quad \mathbf{q} = \begin{bmatrix} \xi \\ \eta \end{bmatrix}.$$

Η αρχή του πλαισίου σώματος βρίσκεται στο κέντρο μάζας του drone. Στο σώμα πλαίσιο, οι γραμμικές ταχύτητες καθορίζονται από το \mathbf{V}_B και οι γωνιακές ταχύτητες από το \mathbf{v} .

$$\mathbf{V}_B = \begin{bmatrix} v_{x,B} \\ v_{y,B} \\ v_{z,B} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{v} = \begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix}.$$

Ο πίνακας περιστροφής από το σύστημα σώματος στο αδρανειακό σύστημα είναι:

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} C_\psi C_\theta & C_\psi S_\theta S_\phi - S_\psi C_\phi & C_\psi S_\theta C_\phi + S_\psi S_\phi \\ S_\psi C_\theta & S_\psi S_\theta S_\phi + C_\psi C_\phi & S_\psi S_\theta C_\phi - C_\psi S_\phi \\ -S_\theta & C_\theta S_\phi & C_\theta C_\phi \end{bmatrix},$$

Στην οποία $Sx = \sin(x)$ και $Cx = \cos(x)$. Ο πίνακας περιστροφής \mathbf{R} είναι ορθογώνιος συνεπώς $\mathbf{R}^{-1} = \mathbf{R}^T$ που είναι ο πίνακας περιστροφής από το αδρανειακό σύστημα στο σύστημα του σώματος. (LUUKKONEN, 2011).

Εξαρτήματα ενός drone.

› Πλαίσιο

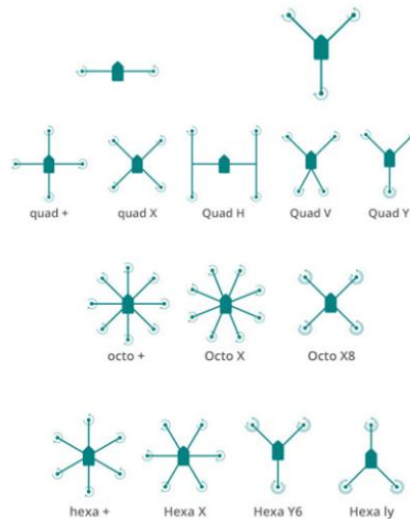
Το βασικό στοιχείο ενός μη επανδρωμένου αεροσκάφους είναι το πλαίσιο, το οποίο πρέπει να είναι μέγιστο φως. Η ταξινόμηση της κατασκευής του πλαισίου βασίζεται κυρίως στον αριθμό των βραχιόνων. Οι πιθανές λύσεις κατασκευής πλαισίων παρουσιάζονται στο παρακάτω σχήμα, λόγω του αριθμού των βραχιόνων και των κινητήρων που χρησιμοποιούνται τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη μπορούν να χωριστούν σε:

1. Δικόπτερα - δύο κινητήρες,
2. Τρικόπτερα - τρεις κινητήρες,

3. Τετρακόπτερα - τέσσερις κινητήρες,

4. Εξακόπτερα - έξι κινητήρες,

5. Οκτοκόπτερα - οκτώ κινητήρες.



Εικόνα 9: Κατηγορίες drone με βάση τον αριθμό των μοτέρ που χειρίζονται, (Piotrowski P., 2015).

Είναι γενικά αναγνωρισμένο ότι η κατασκευή με περισσότερους βραχίονες επιτρέπει πιο σταθερή πτήση.

› Έλικες και κινητήρας.

Τα επόμενα εξαρτήματα ενός μη επανδρωμένου αεροσκάφους είναι ο κινητήρας και οι έλικες. Αποτελούν το κύριο σύστημα πρόωσης ενός μη επανδρωμένου αεροσκάφους και υπόκεινται στα υψηλότερα φορτία, επομένως η αντοχή τους είναι πολύ μεγάλη, σημαντικός. Οι έλικες μεταβάλλουν μια ροπή (που προέρχεται από τον κινητήρα) σε έργο που χρησιμοποιείται για την ανύψωση του οχήματος στον αέρα (Piotrowski P., 2015). Λόγω των ελίκων συστήματος σε σχέση με την κατεύθυνση της πτήσης μπορεί να χωριστεί σε τους ακόλουθους τύπους:

1. Διάταξη +

Ο ένας είναι ο προπορευόμενος έλικας (τουλάχιστον τέσσερις έλικες),

2. Διάταξη X

Η πιο συνηθισμένη κατασκευή, στην οποία δύο έλικες (με ζυγό αριθμό ελίκων),

3. Διάταξη Y

Τρεις βραχίονες στοιβαγμένοι στο Y, όπου ένας ή δύο βραχίονες μπορούν να προηγούνται,

4. Διάταξη V

Πολύ σπάνια διάταξη στην οποία δύο έλικες οδηγούν σε τεντωμένους βραχίονες,

5. Διάταξη H

Πολύ σπάνια διάταξη όπου η κατασκευή βασίζεται σε σχήμα H με δύο έλικες να οδηγούν.

Σε κάθε μία από τις προαναφερθείσες κατασκευές μπορούν να τοποθετηθούν διπλές προπέλες (στην κορυφή και στο κάτω μέρος), οι οποίες σημαντικά αυξάνει σημαντικά την αντοχή του μη επανδρωμένου αεροσκάφους και δεν απαιτεί την προσθήκη άλλου βραχίονα. Οι διπλοί έλικες που τοποθετούνται σε μικρότερο αριθμό βραχίονες αυξάνει την αντοχή ενός μη επανδρωμένου αεροσκάφους επιτρέποντας μεγαλύτερη ανυψωτική ικανότητα και την ασφάλιση του παράλληλου κινητήρα σε περίπτωση βλάβης. Έτσι, το ίδιο το βάρος του πολυκοπτότερου μειώνεται, το κόστος των υλικών μειώνεται και το μη επανδρωμένο αεροσκάφος μπορεί να μεταφέρει μεγαλύτερο φορτίο. Τα διπλά έλικες περιστρέφονται σε αντίθετες κατευθύνσεις, εξισορροπώντας η μία την άλλη τη δύναμη αδράνειας. Τα φτερά των μη επανδρωμένων αεροσκαφών μπορούν να διαιρεθούν επίσης σε προσαρμοσμένες για περιστροφή:

1. Δεξιόστροφα (CW),
2. Αριστερόστροφα (CCW).

Τα φτερά είναι κατασκευασμένα από ανθρακόνημα, πλαστικό ή αλουμίνιο και είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους με πλαστικοποίηση (που χρησιμοποιείται επίσης για τη στερέωση του μη επανδρωμένου αεροσκάφους άκρων), γεγονός που εξασφαλίζει βέλτιστες επιδόσεις μεταξύ του βάρους ολόκληρης της κατασκευής και της μηχανικής ανθεκτικότητας (Piotrowski P., 2015) λόγω του ότι ο κινητήρας και οι έλικες πρέπει να αντικαθίστανται ως προς την κατανάλωσή τους, το πραγματοποιούνται περιοδικές προληπτικές επιθεωρήσεις. Το μέγεθος των πτερύγων είναι πολύ σημαντικό. Όσο μεγαλύτερη είναι η διάμετρος, τόσο μικρότερη είναι η ταχύτητα, η οποία συμβάλλει στη μείωση της πτητικότητας του μη επανδρωμένου αεροσκάφους. Όσο μεγαλύτερα είναι τα πτερύγια των πτερύγων, τόσο μεγαλύτερη είναι η αεροδυναμική άωση που δημιουργείται, επίσης η πίεση που ασκείται στο πλήρη της έλικας αυξάνεται επίσης και οι δυνάμεις που παραμορφώνουν τις έλικες είναι γίνονται μεγαλύτερες. Όσο μεγαλύτερα είναι τα πτερύγια της έλικας τόσο ισχυρότερα πρέπει επίσης να είναι ο κινητήρας για να αντιμετωπίσει τη ροπή, η οποία απαιτείται για την πρόωση των ελίκων, σε κίνηση. Επιπλέον, είναι σημαντικό να εξισορροπείται κάθε έλικα πριν από τη χρήση για να ελαχιστοποιηθούν οι δονήσεις που δημιουργούνται από την άνιση λειτουργία του συστήματος. Είναι πολύ σημαντικό να επιλέγονται ο κινητήρας και οι έλικες με τέτοιο τρόπο ώστε τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη θα μπορούσαν για όσο το δυνατόν μεγαλύτερο χρονικό διάστημα να ανυψώσουν ένα δεδομένο φορτίο. (KARDASZ, 2016).

› Η δύναμη ενός μη επανδρωμένου αεροσκάφους.

Ο χρόνος παραμονής του αντικειμένου που πετάει εξαρτάται τόσο από τον τύπο της μονάδας κίνησης όσο και από τον τύπο της τροφοδοσίας ρεύματος. (Bogusz P, 2015). Ένα drone

τροφοδοτείται από μπαταρίες, γεγονός που αποτελεί το σημαντικότερο μειονέκτημα, επειδή εξαντλείται μετά από 15 λεπτά πτήσης, προκαλώντας μείωση του drone στο έδαφος. Σε γενικές γραμμές, οι μπαταρίες είναι τα σύνολα δύο ή περισσότερων βολταϊκών κυψελών του ίδιου τύπου, που παρέχουν ρεύμα που είναι ισχυρότερο από ό,τι ένα μεμονωμένο κύτταρο. Αυτές μπορούν να χωριστούν σε μπαταρίες μιας χρήσης και ηλεκτρικούς συσσωρευτές που μπορούν να αποφορτιστούν και να φορτιστούν πολλές φορές. Στο τις μπαταρίες και τους συσσωρευτές συμβαίνουν πολύπλοκες χημικές αντιδράσεις σε στις οποίες, ανάλογα με τον τύπο της μπαταρίας συμμετέχουν πολλές χημικές στοιχεία. Ως αποτέλεσμα των χημικών αντιδράσεων η χημική ενέργεια που περιέχεται στις ενεργές ουσίες τους μετατρέπεται σε ηλεκτρική ενέργεια. Οι μπαταρίες ορίζονται ως χημικές πηγές ρεύματος. (Smith, J. & Johnson, R., 2020).

› Το ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου και η επικοινωνία.

Το σύστημα ελέγχου είναι υπεύθυνο για την πτήση του drone προς τα πάνω, προς τα κάτω, περιστρέφεται, για την αντίδρασή του στις αναδυόμενες δυνάμεις και για τη σταθερότητά του. Τα περισσότερα των συστημάτων ελέγχου είναι εξοπλισμένα με το ίδιο σύνολο αισθητήρων με διαφορά στην ταχύτητα των υπολογισμών και στους αλγόριθμους που χρησιμοποιούνται. Το σύστημα ελέγχου αποτελείται από (Aejduk M, 2015):

1. Ελεγκτή πτήσης, υπεύθυνο για τις δυνατότητες ελέγχου της μηχανής,
2. ESC (Electronic Speed Control) -η μονάδα που είναι υπεύθυνη για τον κινητήρα στροφές ανά λεπτό,
3. Πλάκα τροφοδοσίας, που διαχωρίζει την παροχή ρεύματος για τους ρυθμιστές και τους κινητήρες,
4. Μονάδα Sim, η οποία επιτρέπει τη μετάδοση δεδομένων τηλεμετρίας,
5. Κάμερα προσέγγισης - στοιχείο του συστήματος κατά της σύγκρουσης,
6. Το αριθμητικό πληκτρολόγιο για την εισαγωγή των κωδικών PIN του πελάτη.

Οι κινητήρες των ελεγκτών χρησιμοποιούνται για να εξασφαλίσουν τη μέγιστη απόδοση και το υψηλότερο επίπεδο ασφάλειας αποτυχίας. Οι ελεγκτές ESC πρέπει να επιλέγονται, έτσι ώστε οι παράμετροι τους να αντιστοιχούν στη μέγιστη κατανάλωση ρεύματος των του κινητήρα, γεγονός που πρέπει να εξασφαλίζει τις μέγιστες παραμέτρους των κινητήρων. Μερικοί ελεγκτές ESC διαθέτουν πρόσθετη έξοδο τύπου BEC (Battery Eliminator Circuits), έτσι είναι δυνατή η τροφοδοσία του συστήματος ελέγχου με τάση και ρεύμα, συνήθως 5V, 2A (Bardley Th, 2013). Αυτό παρέχει καλές συνθήκες εργασίας του συστήματος ελέγχου.

Είδη των drone.

Οι τύποι drones ταξινομούνται με βάση τον σχεδιασμό και τον τρόπο πτήσης που έχουν σχεδιαστεί. Έτσι μπορούμε να ξεχωρίσουμε τέσσερις βασικούς τύπους drone:

1. Πολυκόπτερα (Multi-Rotor Drones),
2. Σταθερής πτέρυγας (Fixed-Wing Drones),
3. Drones με έναν ρότορα (Single-Rotor Drones),
4. Υβριδικά Drone VTOL (Fixed-Wing Hybrid VTOL).

Πολυκόπτερα (Multi-Rotor Drones): Τα UAVs οχήματα που κατατάσσονται σε αυτήν την κατηγορία, είναι drones με πολλαπλούς ρότορες με περιστρεφόμενους έλικες. Τα πιο συνηθισμένα είναι αυτά με τέσσερις ρότορες (quadcopters) ή με έξι ρότορες (hexcopters). Αποτελούν από τις πιο φθηνές και ευκολότερες επιλογές και επομένως ιδανικά για αεροφωτογράφιση και επιτήρηση. Ονομάζονται πολυκόπτερα διότι έχουν περισσότερους κινητήρες, όπως τρεις ρότορες (τρικόπτερα), τέσσερις ρότορες (τετρακόπτερα), έξι ρότορες (εξακόπτερα) και οκτώ ρότορες (οκτακόπτερα) μεταξύ άλλων. Όπου τα τετρακόπτερα είναι τα πιο δημοφιλή drones. (Piotrowski P, 2015).

Σταθερής πτέρυγας (Fixed-Wing Drones): Τα UAVs σταθερής πτέρυγας έχουν μια δομή με σταθερά φτερά, που παρέχουν ανύψωση και σταθερότητα, βασισμένη σε κινητήρες και προπέλες ώστε να παράγουν ισχύ προς τα εμπρός. Τα μη επανδρωμένα αεροσκάφη σταθερής πτέρυγας μπορούν να πετάξουν περισσότερη ώρα και να καλύψουν μεγαλύτερη εμβέλεια από άλλους τύπους drone, καθιστώντας τα έτσι κατάλληλα για αποστολές όπως εναέρια χαρτογράφηση, τοπογραφία και επιτήρηση. Ωστόσο, απαιτούν μεγαλύτερο χώρο απογείωσης και προσγείωσης σε σύγκριση με άλλους τύπους drone. (Piotrowski P, 2015).

Drones με ένα ρότορα (Single-Rotor Drones): Τα drones ενός ρότορα, γνωστά και ως ελικόπτερα με έναν ρότορα, είναι μη επανδρωμένα οχήματα που τροφοδοτούνται από ένα μόνο πτερύγιο ρότορα. Είναι λειτουργικά παρόμοια με τα συμβατικά ελικόπτερα αλλά σε μικρότερο μέγεθος και χρησιμοποιούνται συνήθως για τηλεπισκόπηση ή εναέρια επιτήρηση. Ο σχεδιασμός ενός single rotor drone επιτρέπει μεγαλύτερη ανύψωση και έλεγχο σε σύγκριση με τα πολυκόπτερα drone. Καθιστώντας, τα UAVs ενός ρότορα κατάλληλα για την μεταφορά βαρύτερων φορτίων ή για πτήση σε αντίξοες καιρικές συνθήκες. (Piotrowski P, 2015).

Υβριδικά Drone VTOL (Fixed-Wing Hybrid Drone): Τα υβριδικά drone VTOL συνδυάζουν τα πλεονεκτήματα των σταθερών φτερών και ρότορα, τα οποία επιτρέπουν την κάθετη απογείωση,

εξαλείφοντας τα μειονεκτήματα των σταθερών πτερύγων drone και συνεχίζουν μεταβαίνοντας στην πτήση όπως τα σταθερά πτέρυγας drone. Για την επιλογή του υβριδικού UAV VTOL θα πρέπει να ληφθούν υπόψη μια σειρά από διαφορετικά χαρακτηριστικά όπως η απόδοση συστήματος, η αυτονομία και η χωρητικότητα της μπαταρίας (Piotrowski P, 2015).

Χρήση & εφαρμογές των drone στην καθημερινότητα.

Σήμερα, οι μη επανδρωμένοι αεροστάτες (UAVs) έχουν εκτεταμένη εφαρμογή εκτός από τις στρατιωτικές χρήσεις, σε διάφορους τομείς:

Στη δασοκομία και τη γεωργία, μπορούν να βοηθήσουν τους παραγωγούς να λαμβάνουν κρίσιμες αποφάσεις με υψηλή αξιοπιστία. Για παράδειγμα, μπορούν να εντοπίζουν προβλήματα σε καλλιέργειες χρησιμοποιώντας πολυφασματικούς αισθητήρες (Berni, 2008).

Στην αρχαιολογία και την πολιτιστική κληρονομιά, η συλλογή εικόνων από χαμηλό ύψος μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία τρισδιάστατων μοντέλων αρχαιολογικών χώρων και δομών, όπως στην ανακατασκευή του θόλου του καθεδρικού ναού στο Μιλάνο (Li, 2011).

Στην τοπογραφία, την πολεοδομία και τη χωροταξία, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία ακριβών ψηφιακών μοντέλων επιφάνειας, τη σχεδίαση πόλεων και την παρακολούθηση τους, καθώς και για κτηματολογικές εφαρμογές και την ανίχνευση παράνομων κατασκευών (Manyoky, 2011).

Για περιβαλλοντικές εφαρμογές, μπορούν να παρακολουθούν το έδαφος και τους υδατικούς πόρους με στόχο την προστασία του περιβάλλοντος, όπως στη μελέτη της τηλεπισκόπησης κατολισθήσεων ή την παραγωγή τοπογραφικών χαρτών σε περιοχές με ακραία καιρικά φαινόμενα (Isola I, 2013).

Στη συγκοινωνιολογία, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση της κυκλοφορίας, την εκτίμηση των χρονικών αποστάσεων και την επίβλεψη έργων κατασκευής υποδομών, όπως στην κατασκευή σιδηροδρόμου (Karas, 2015).

Αυτές οι εφαρμογές αποδεικνύουν ότι οι UAVs προσφέρουν σημαντικά οφέλη σε πολλούς τομείς εκτός από τη στρατιωτική χρήση, επιτρέποντας ακριβέστερη και αποτελεσματικότερη παρακολούθηση και διαχείριση πόρων και υποδομών.

ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΥΛΙΚΟΥ ΜΕΡΟΥΣ (HARDWARE)

Στην σχεδίαση και στην κατασκευή του drone θα χρησιμοποιηθούν διάφορα εξαρτήματα και τρόποι μεθοδολογίας, όπου θα καταγραφούν για την ορθή υλοποίηση του project. Παρακάτω θα αναλυθούν διάφορα τομείς επεξεργασία με αναφορές στην επιλογή του κάθε εξαρτήματος και τον τρόπο λειτουργία τους, στο πρακτικό κομμάτι. Διότι η ανάλυση η θεωρητική αναφέρθηκε στο παραπάνω κεφάλαιο. Παρακάτω επιγραμματικά οι αναφορές που θα γίνουν:

- Ανάλυση των λειτουργικών μερών,
- Ηλεκτρικό κύκλωμα,
- Σχέδιο πλακέτας,
- Λίστα υλικών,
- Οικονομικός προϋπολογισμός.

Λειτουργικά Μέρη Κατασκευής

Ξεκινώντας με τα λειτουργικά μέρη, τα drone έχουν διάφορα κομμάτια που συνδέονται και σε συνδυασμό με τον προγραμματισμό μπορούν να επιτύχουν την πτήση αυτού. Ένα από τα πιο σημαντικά λειτουργικά μέρη σε ένα drone αναφέρονται παρακάτω:

- Ηλεκτρικοί κινητήρες (4 συνήθως σε αριθμό),
- Σκελετός,
- Έλικες,
- Μικροελεγκτής,
- Μπαταρίες,
- Speed control.

Όλα τα παραπάνω κομμάτια μπορούν να αναλυθούν με πολύ διαφορετικό τρόπο, αφού το κάθε ένα συμβάλει σε διαφορετική λειτουργία σε ένα drone.

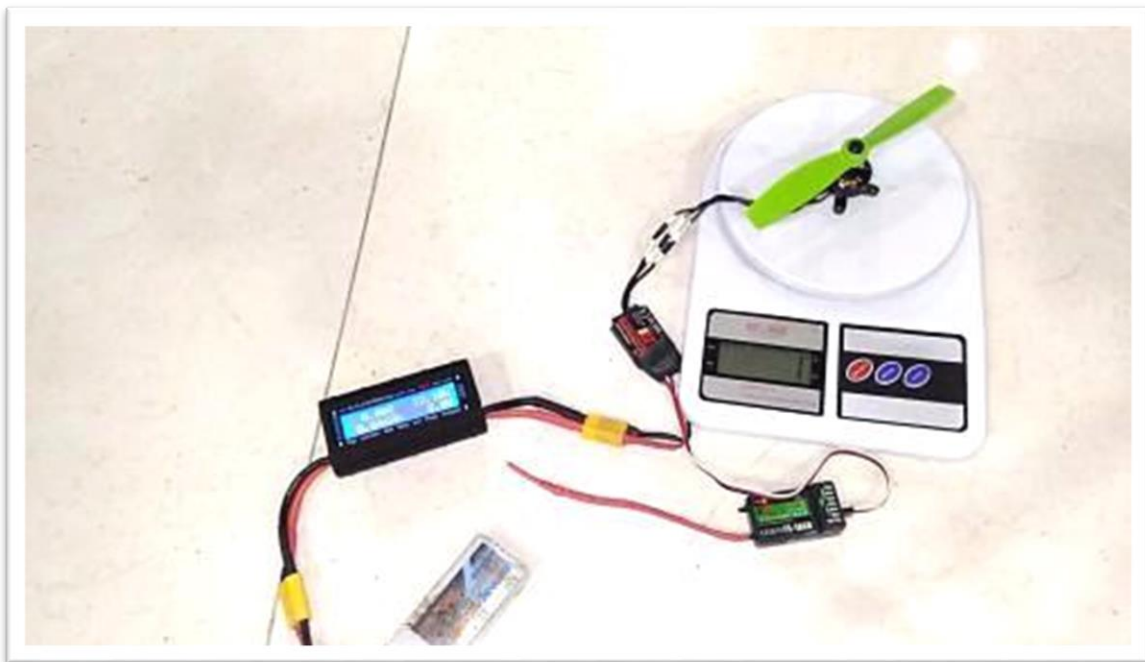
Ηλεκτρικοί κινητήρες

Υπάρχουν διάφοροι τύποι ηλεκτρικών μοτέρ. Συνήθως, οι brushless κινητήρες κατηγοριοποιούνται σε εναλλασσόμενου και συνεχούς ρεύματος, χωρίς κάποιο είδος ψύξης. Το πιο πιθανό να συναντηθεί σε κάποιο mini drone, κινητήρες συνεχούς ρεύματος, διότι παρουσιάζουν πλεονέκτημα βάρους και δεν χρειάζονται περεταίρω εξαρτήματα για το ρεύμα τους. Επίσης, είναι ευκολότεροι στην χρήση και στο μέγεθος. Στην εργασία αυτή, θα χρησιμοποιηθεί μέγεθος μοτέρ 8,5mm x 20mm με βάση την έρευνα αγοράς που έγινε στο διαδίκτυο και εκεί βασίστηκε και η σχεδίαση του σκελετού. Παρακάτω θα αναλυθεί στο κομμάτι σχεδίασης του σκελετού.

Οι κινητήρες αυτοί επιλέχθηκαν με συγκεκριμένο τρόπο. Με βάση την μέγιστη στατική ώθηση (thrust) που παρουσιάζει κάθε κινητήρας μεμονωμένα. Δηλαδή, πόσο βάρος μπορούν να κρατήσουν οι κινητήρες στον αέρα ή βασικά πόσο βαρύ μπορεί να είναι το drone. Πρέπει να

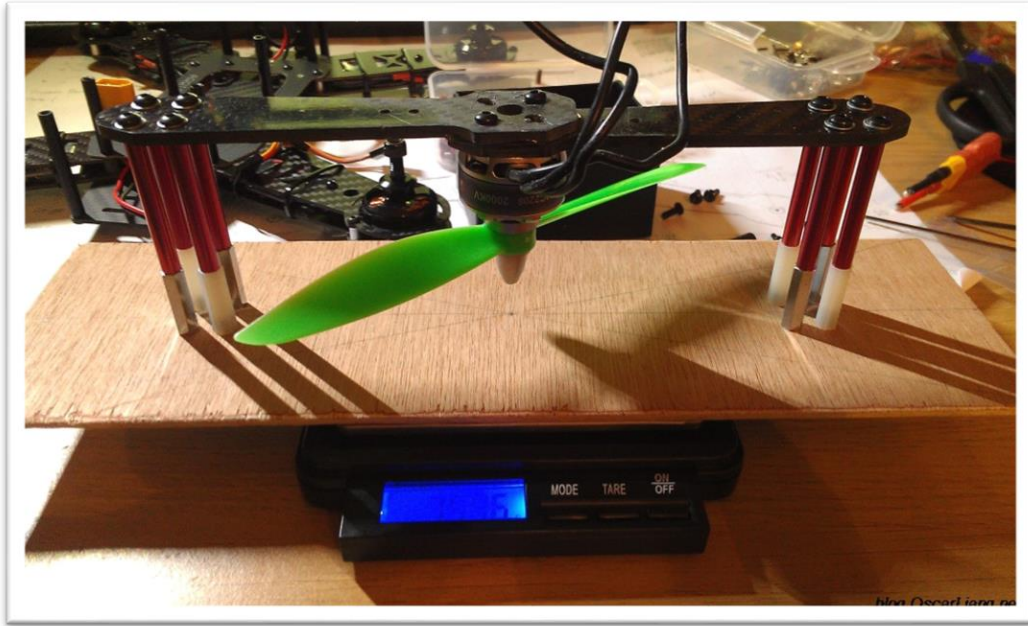
καθοριστεί ο τύπος του έλικα και συχνά παρέχεται καμπύλη ώσης έναντι ρεύματος (που ονομάζεται καμπύλη επιδόσεων).

Σύμφωνα με έρευνες που έγιναν πριν την αγορά των κινητήρων, οι συγκεκριμένοι που χρησιμοποιήθηκαν κινέζικης προέλευσης αναφέρανε πως μπορούν να σηκώσουν έως και 40 γρ. ανά τεμάχιο. Σύμφωνα με διάφορα project και το data sheet. Στην πράξη σημαίνει πως, βάζοντας τον κινητήρα σε μία ζυγαριά συνδεδεμένο με ρεύμα μέσω μπαταρίας και έχοντας έλικα. Το νούμερο που εμφανίζεται στην ζυγαριά είναι και το thrust του κινητήρα. Υπολογίζεται με βάση το μισό (50%), άρα για παράδειγμα έχουμε 40γρ. σε ένα κινητήρα σημαίνει πως μπορεί να σηκώσει έως και 20γρ. βάρος.



Εικόνα 10: Τρόπος μέτρησης χωρίς υπολογισμούς για τι βάρος μπορεί ένα drone να έλξει, 2024.

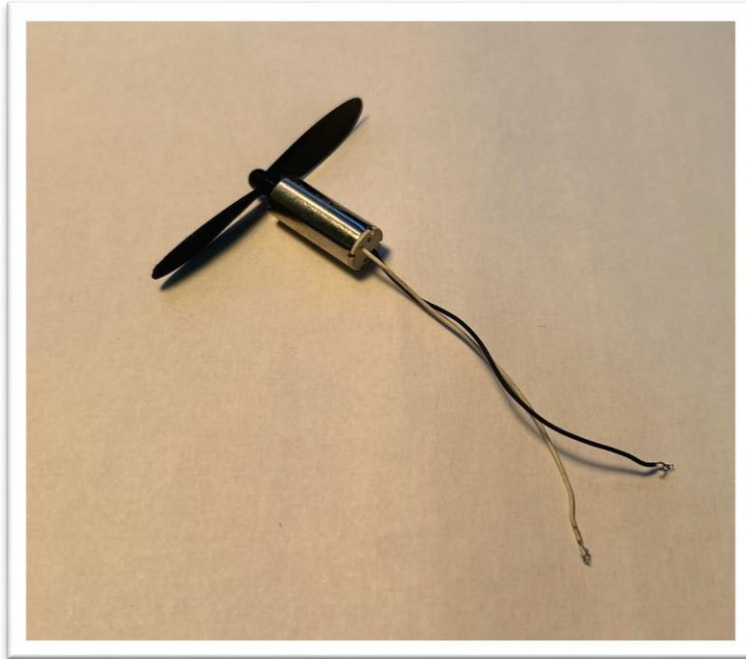
Όπως φαίνεται και στην παραπάνω φωτογραφία, με τον απλό τρόπο μπορείς να μετρήσεις τους κινητήρες. Σε μεγαλύτερου μεγέθους κινητήρες με περισσότερη δύναμη, επειδή ανεβαίνει το επίπεδο της επικινδυνότητας υπάρχουν τρόποι όπως στην εικόνα παρακάτω:



Εικόνα 11: Τρόπος μετρήσεις του thrust σε ένα brushless κινητήρα με μεγαλύτερη δύναμη, 2024.

Το βάρος ενός κινητήρα, το οποίο προστίθεται στο συνολικό βάρος του drone. Οι κινητήρες που έχουμε επιλέξει ζυγίζουν περίπου 5g ανά κινητήρα.

Οι κινητήρες για να μπορέσει να ανταπεξέλθει στο βάρος του σκελετού χρειάζονται και τους αντίστοιχους έλικες. Δυστυχώς δεν υπάρχουν πολλές προδιαγραφές για τόσο μικρούς σε μέγεθος έλικες με 1mm άξονα χωρίς κάποια βίδα τοποθέτησης. Επομένως, όπως θα δείτε και παρακάτω θα χρησιμοποιηθούν έλικες μεγέθους 55mm μήκους ή διαμέτρου με δύο πτερύγια.



Εικόνα 12: Τύπος έλικας που θα χρησιμοποιηθεί κατά την διάρκεια υλοποίησης.

Κατά την διάρκεια δοκιμών, παρουσιάστηκαν διάφορα προβλήματα, και δοκιμάστηκαν διάφοροι έλικες με δύο έως και τρία πτερύγια. Για να βελτιωθεί ο αριθμός γραμμαρίων του thrust κάθε κινητήρα. Παρακάτω υπάρχει η ανάλυση σχετικά με τις διαφορές τους και τις ιδιότητες που έχουν συγκριτικά με την δοκιμή τους στο πρακτικό κομμάτι της εργασίας.

Σχέδιο και κατασκευή σκελετού

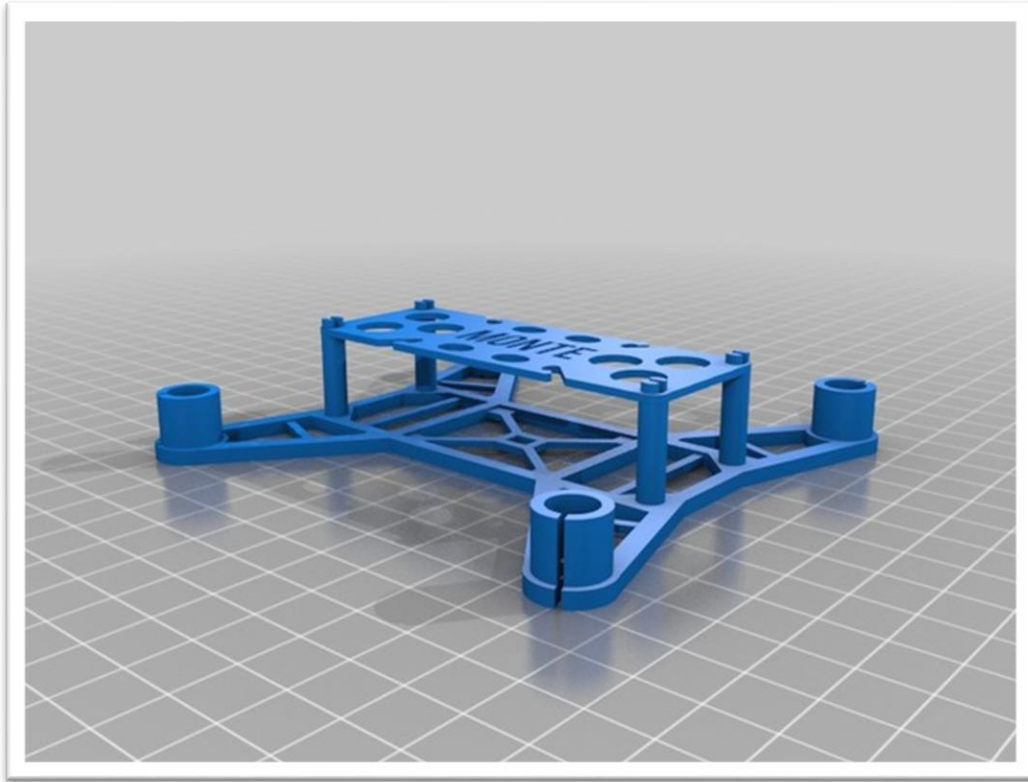
Όταν πρέπει να διαλεχθεί το πλαίσιο για ένα drone, πρέπει να υπάρχουν κάποια στάδια μελέτης και ελέγχου για να μπορέσει το σχέδιο σε 3d μορφή να εφαρμόζει και στην πτήση.

Όσο πιο ελαφρύ είναι το πλαίσιο, τόσο πιο εύκολα θα μπορεί το drone να ανυψωθεί. Το βάρος είναι σημαντικός παράγοντας όπως και η ανθεκτικότητα του. Λόγω συχνών πτώσεων, πρέπει να είναι φτιαγμένο ανθεκτικά και με συγκεκριμένο υλικό.

Επίσης, ένα drone πρέπει να είναι ανθεκτικό στους κραδασμούς και στην καταπόνηση για να διατηρηθεί η σταθερότητα του drone, καθώς οι κινητήρες δημιουργούν πολλές δονήσεις. Επιπλέον, βοηθά στη μείωση του θορύβου που καταγράφεται από το επιταχυνσιόμετρο.

Υπάρχουν διάφορα υλικά κατασκευής για το σκελετό ενός drone, όπως το ανθρακόνημα, πλαστικά τύπου abs και pla, debron κ.α.

Παρακάτω στην φωτογραφία είναι η επιλογή που έχει γίνει σχετικά με το σχέδιο του σκελετού.



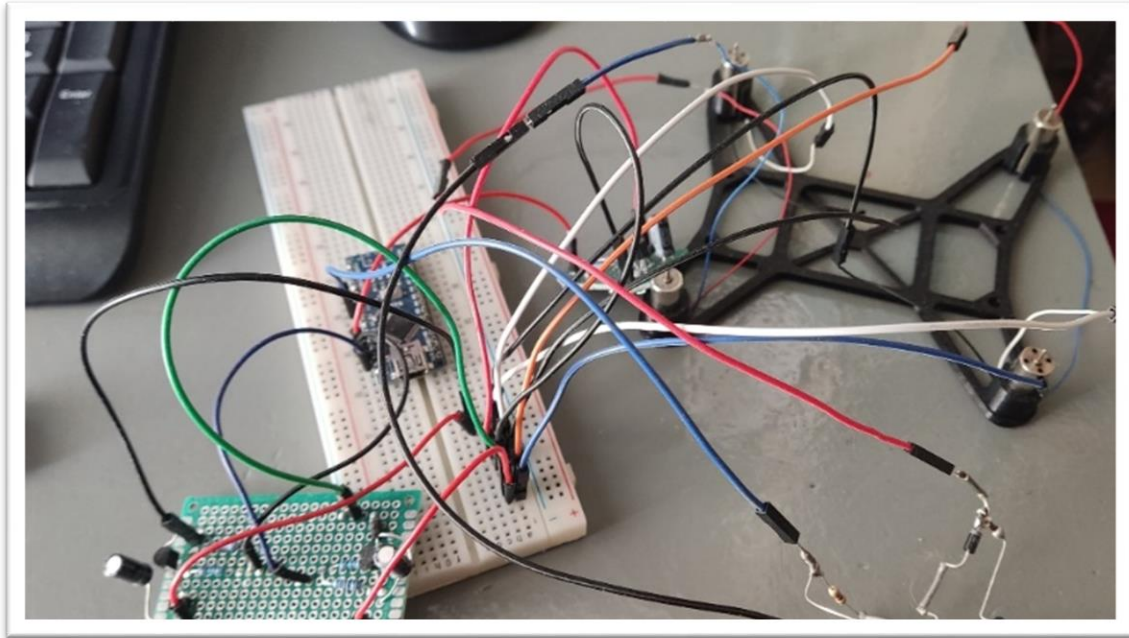
Εικόνα 13: Σχέδιο σκελετού εργασίας.

Επειδή το επάνω κομμάτι της κατασκευής κατά την εκτύπωση υπήρξε ελαττωματικό, ο σκελετός θα υλοποιηθεί μόνο με το κάτω μέρος. Για να επιτευχθεί και το θέμα βάρους.

Κατασκευάστηκε από pla με 20% πυκνότητα σε εκτυπωτή ender 3 Pro. Χρειάστηκαν 2 ώρες για την εκτύπωση.

Στο πειραματικό κομμάτι, επειδή κατά την κατασκευή του drone όπως στην παρακάτω φωτογραφία υπήρχαν κάποια προβλήματα σχετικά με το βάρος και το μέγεθος. Οι κινητήρες παρουσιάζουν λιγότερο thrust από ότι αναγράφει ο κατασκευαστής και σε συνδυασμό με το drone που ζύγισε 102γρ. αναγκαστικά βρέθηκε άλλη λύση με μικρότερο σε μέγεθος σκελετό όπου τυπώθηκε και σε συνδυασμό με τα ηλεκτρολογικά ζυγίζει 60γρ.

Παρακάτω φαίνεται μία δοκιμή και μελέτη σχετικά με την πρώτη εκτύπωση του σκελετού.



Εικόνα 14: Δοκιμαστικά σχετικά με τον σκελετό και τα ηλεκτρονικά μέρη.

Έλικες

Οι έλικες μεταφέρουν την ενέργεια από τους κινητήρες και δημιουργούν την άνοση για να πετάξει το drone. Τότε αυτοί διαφοροποιούνται ανάλογα με:

- Το μήκος τους στο οποίο μετράτε ως η ακτίνα πολλαπλασιασμένη με το 2,
- Τον αριθμό των φύλλων που κατέχουν, συνήθως αποτελούνται από 2 αλλά υπάρχουν και άλλοι τύποι,
- Το σχήμα της έλικας,
- Γωνία συστροφής όπου ισχύει ότι όσο πιο απότομη είναι η γωνία τόσο πιο μεγαλύτερη ώθηση μπορεί να παρέχει στο σύστημα του drone.

Στην συγκεκριμένη εργασία δοκιμάστηκαν διάφοροι τύποι έλικα. Διότι όπως αναφέρθηκε παραπάνω, υπήρξε το πρόβλημα με το χαμηλό thrust που παρείχαν οι κινητήρες. Επομένως δοκιμάστηκαν διάφοροι τύποι έλικας για να αποφευχθεί το γεγονός επιρροής αυτής. Παρακάτω υπάρχουν κάποιες φωτογραφίες με παραδείγματα. Όλες οι έλικες που χρησιμοποιήθηκαν έχουν μήκος 55mm και μήκος τρύπα άξονα 1mm με 1,5mm.

Επίσης δεν υπάρχει η δυνατότητα χρήσης μεγαλύτερων σε μήκος έλικα διότι παρέχει μεγαλύτερη ώθηση, επομένως δημιουργεί θέμα ηλεκτρονικό στο μοτέρ με συνδυασμό όπου μειώνει τις στροφές του κινητήρα και την τάση. Άρα πιο μικρό περιθώριο πτήσης (μεγαλύτερη κατανάλωση μπαταρίας) και περισσότερα Amber.



Εικόνα 15: Ένα δείγμα από τον τύπο που χρησιμοποιήθηκε.



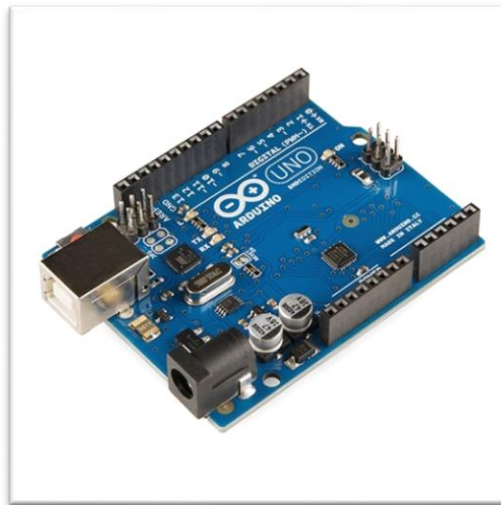
Εικόνα 16: Ένα δείγμα από τον τύπο που χρησιμοποιήθηκε με 3 φύλλα.

Με βάση το πρακτικό κομμάτι, στους συγκεκριμένους κινητήρες δεν παρατηρήθηκε κάποια διαφορά σχετικά με εκείνους που έχουν δύο και σε εκείνους που έχουν 3 φύλλα. Αυτό συμβαίνει

διότι οι κινητήρες είναι πολύστροφοι, δηλαδή μπορούν να φτάσουν τις 45.000rpm όμως το μέγεθος του έλικα που μπορούν να δεχθούν δεν μπορεί να έχει μεγάλες διαφορές στην ώθηση του αέρα.

Μικροελεγκτής

Στην επιλογή του μικροελεγκτή υπήρχαν διάφορες επιλογές. Προτιμήθηκε η επιλογή του Arduino Uno στην αρχή των πειραματικών δοκιμών διότι είναι εύκολο στην χρήση και υπήρξε περισσότερη εξοικείωση στο συγκεκριμένο. Υπήρξε ανάγκη υποδοχών PWM για την επιλογή των speed control σε κάθε κινητήρα.

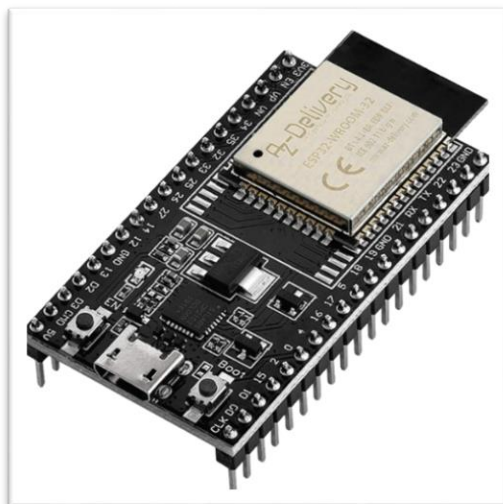


Εικόνα 17: Arduino Uno.

Όμως επειδή λόγω βάρους το αρχικό drone ζύγιζε 102γρ., αναγκαστικά επιλέχθηκε η μονάδα Arduino Nano, διότι παρουσιάζει παρόμοια χαρακτηριστικά με το Arduino Uno όμως είναι πιο ελαφρύ.

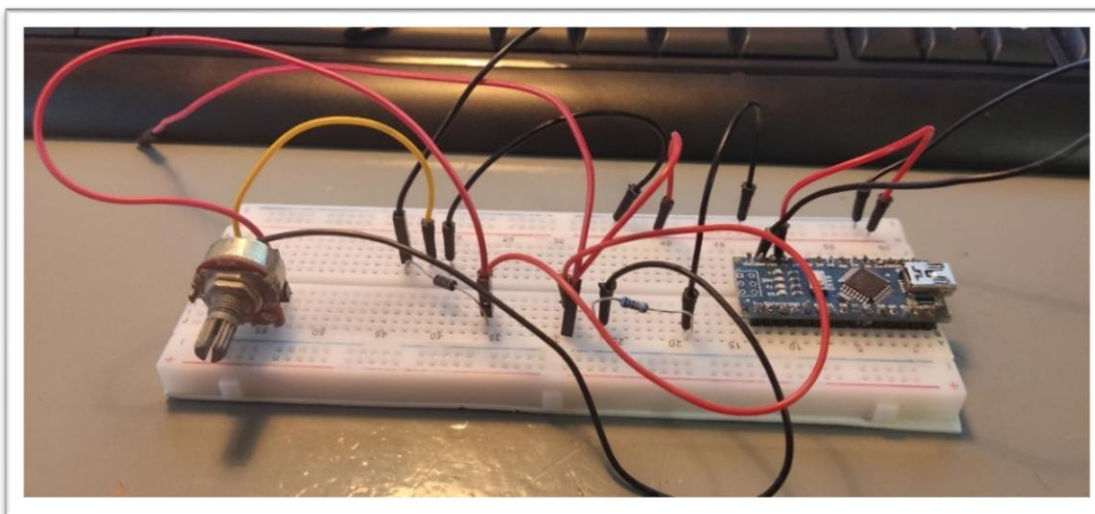
Συγκριτικά με τα Arduino, υπάρχουν και άλλοι μικροελεγκτές οι οποίοι έχουν μονάδες επικοινωνίας ενσωματωμένους ενώ τα Arduino δεν παρέχουν κάποια. Αρχικά, ξεκίνησε το πειραματικό κομμάτι με την ενσωμάτωση γυροσκοπίου (MPU 6050) και μονάδας επικοινωνίας (HC-06). Βέβαια, στην πορεία διαπιστώθηκαν κάποια προβλήματα πτώσης τάσης όπου ευθυνόντουσαν τα καλώδια διότι είχαν χρησιμοποιηθεί απλά καλώδια, ενώ χρειαζόταν μονόκλιωνα καλώδια. Με αποτέλεσμα να μην λειτουργούν σωστά τα αισθητήρια αυτά. Η χρήση τους θα γίνει δηλαδή κατευθείαν από τον μικροελεγκτή.

Μπορεί επίσης, να χρησιμοποιηθεί και ο μικροελεγκτής ESP 32, όπου παρουσιάζει μονάδες επικοινωνίας από μόνος του. Διαθέτει πολλές υπομονάδες, όπου έχουν ενσωματωμένα σε αυτό BLE, Bluetooth, Wifi καθιστώντας το εξαιρετική επιλογή.



Εικόνα 18: Ο μικροελεγκτής ESP32.

Τελικά, θα χρησιμοποιηθεί το Arduino Nano, λόγω βάρους και επιλογών. Όσοι αναφορά τα αισθητήρια, λόγω των προβλημάτων που θα παρουσιαστούν παρακάτω στην εργασία αναλυτικά, θα χρησιμοποιηθούν ξεχωριστά με την βοήθεια της συνδεσμολογίας.



Εικόνα 19: Δοκιμή του μικροελεγκτή Arduino Nano στο πειραματικό κομμάτι.

Μπαταρία


Η επιλογή της μπαταρίας είναι πολύ σημαντικό κομμάτι του drone, διότι αν τοποθετηθεί λάθος στοιχείο τότε δεν θα μπορέσουν οι κινητήρες να τραβήξουν το αντίστοιχο ρεύμα που χρειάζονται. Με αποτέλεσμα, να υπάρξει πτώση τάσης και να υπολειφθούν τα ηλεκτρικά κομμάτια.

Υπάρχουν διάφορα κριτήρια στο κομμάτι επιλογής κατάλληλης μπαταρίας. Παρακάτω κάποιοι από αυτούς:

- **Τύπος:** Υπάρχουν διάφοροι τύποι μπαταριών, όπως li-po, li-on, κ.α.
- **Χωρητικότητα:** Η χωρητικότητα μετριέται σε mAh ή Wh, καθορίζει πόση ενέργεια αποθηκεύεται στο εσωτερικό στοιχείο μίας μπαταρίας ανεξαρτήτου τύπου. Δηλαδή, όσο μεγαλύτερη σε χωρητικότητα η μπαταρία, το drone θα πετάει περισσότερη ώρα με μία πλήρη φόρτιση της μπαταρίας.
- **Μέγιστη επιτρεπόμενη εκφόρτιση & μέση ταχύτητα εκφόρτισης:** η πρώτη καθορίζει τα ρεύματα αιχμής π.χ. πότε το drone αρχίζει να επιταχύνει, ενώ το δεύτερο καθορίζει το ρεύμα κανονικής λειτουργίας π.χ. το τετρακόπτερο διατηρείται σταθερό στον αέρα. Υπάρχει συχνά ένας εμπειρικός κανόνας ότι ο πολλαπλασιασμός της χωρητικότητας και ο ρυθμός εκφόρτωσης θα δώσει το ρεύμα που μπορούν να παρέχουν οι μπαταρίες.
- **Βάρος:** Οι μπαταρίες μεγαλύτερης χωρητικότητας έχουν περισσότερο βάρος, επομένως πρέπει να υπάρξει μία ισορροπία σχετικά με τον χρόνο πτήσης και στην απόδοση για την ορθή λειτουργία του drone.

Στην περίπτωση μας, οι κινητήρες καταναλώνουν λιγότερο ρεύμα από τα ηλεκτρονικά, επομένως κατά τον υπολογισμό του απαιτούμενου ρυθμού εκφόρτισης χρειάζεται μόνο να προσέχουμε τα ρεύματα του κινητήρα. Συνολικά, το μέγιστο ρεύμα του φορτίου είναι: $2,75A * 4 = 11A$.


Παρόλα αυτά, επιλέχθηκαν δύο μπαταρίες τύπου 18650 με 3,7v και 3.200mAh και 6A. Έγινε συνδυασμός σε παράλληλη σειρά.



**** INR18650MH1 3200mAh - 6A**
★★★★★ 7 Review(s) | Add Your Review

Additional Information

| | |
|-----------------------|---------------|
| EAN / GTIN | 8438493098525 |
| Weight - g | 48 |
| Brand | ** |
| Model | INR18650MH1 |
| Size | 18650 |
| Battery chemistry | Li-ion |
| Voltage | 3.6V |
| Min. capacity - mAh | 3,100.00 |
| Typ. capacity - mAh | 3,200.00 |
| Battery version | Flat top |
| Discharge current - A | 6.00 |
| Circuit protection | Unprotected |
| Height - mm | 65.15 |
| Diameter - mm | 18.41 |



Εικόνα 20: Λεπτομέρειες σχετικά με την επιλογή της μπαταρίας.

Φτιάχτηκαν και δυο θήκες για τις μπαταρίες με την βοήθεια του 3d εκτυπωτή. Για να επιτευχθεί η εύκολη λειτουργία στην χρήση.



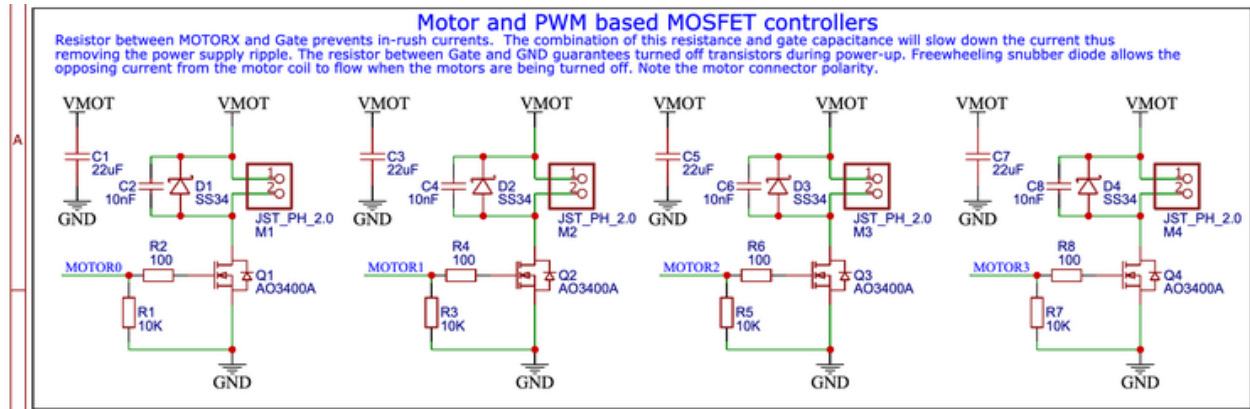
Εικόνα 21: Θήκες για τις μπαταρίες.

Επειδή υπήρξε πρόβλημα, σχετικά με την επιλογή που είχα κάνει στις μπαταρίες. Γι' αυτό τον λόγο το trust σε κάθε κινητήρα δεν υπερβαίνει τα 20γρ. Επομένως επιλέχθηκαν πάλι 18650 με λιγότερα mAh αλλά περισσότερα A.

Speed control

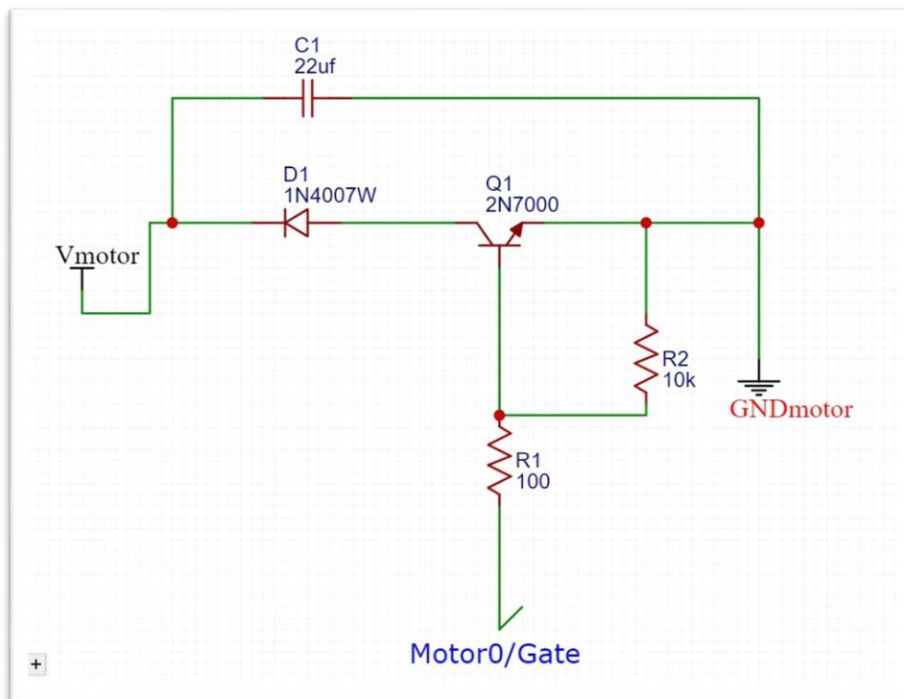
Αρχικά, για να κατασκευαστεί κάποιο speed control για τους κινητήρες που θα χρησιμοποιηθούν στο drone, αποτελείται από διάφορα εξαρτήματα ηλεκτρονικά. Όπως channel n-Mosfet, αντιστάσεις, διόδους, καλώδια μονόκλωνα. Όλα αυτά συνδέονται από ένα κύκλωμα σε μία πλακέτα με την βοήθεια κόλλησης (κολλητήρι) και συνδυάζουν ένα ηλεκτρονικό σύστημα που με την σωστή μελέτη βοηθούν στην σωστή εναλλαγή ταχυτήτων στους κινητήρες του drone.

Επιλέχθηκε σχετικά ένα απλό μοντέλο speed control, αφού το ζητούμενο της εργασίας ήταν η κατασκευή κάθε σχεδόν επιμέρους εξαρτήματος της κατασκευής. Το σχέδιο προήρθε από μία αναζήτηση στο διαδίκτυο βάση κανόνα, στα περισσότερα project χρησιμοποιούν την παρακάτω μεθοδολογία.



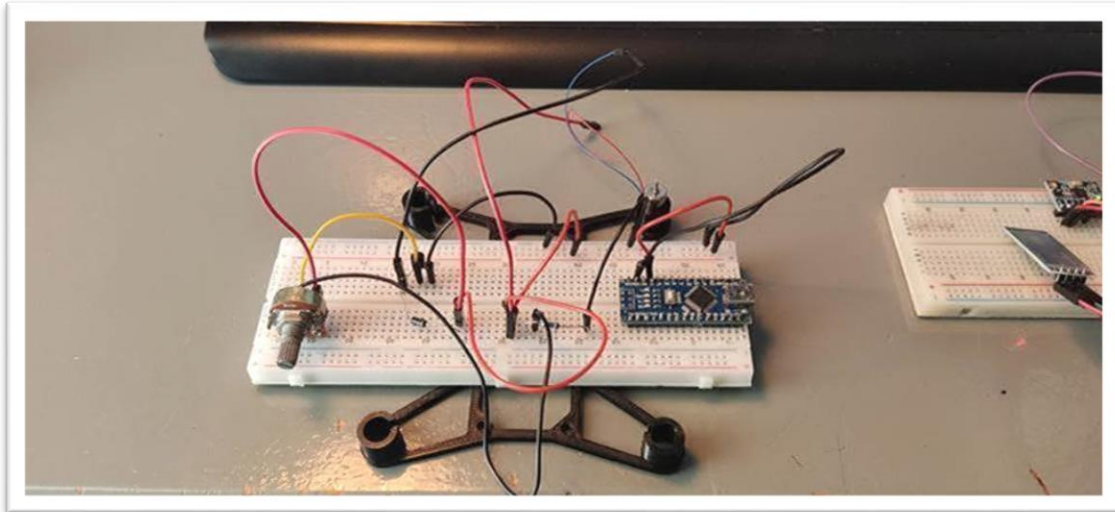
Εικόνα 22: Πρότυπο συνδεσμολογία speed control που ακολουθήθηκε στην εργασία.

Σύμφωνα με την παραπάνω συνδεσμολογία, έγιναν κάποιες τροποποιήσεις όπου βόλευαν την πιο απλή υλοποίηση της πτυχιακής, αφού κάποια εξαρτήματα δεν ήταν διαθέσιμα από το εξωτερικό και είχαν μεγάλο. Και στον τρόπο υλοποίησης παρακάτω το πιο απλό σχέδιο που υλοποίησα για τα speed control με την βοήθεια του σχεδιαστικού προγράμματος Easyeda.com. Για την πιο ορθή χρήση της παροχής (μπαταρίας), δεν πρέπει τα καλώδια να ξεπερνούν ένα συγκεκριμένο αριθμό σε μήκος διότι αυξάνεται η εσωτερική αντίστασή των καλωδίων με αποτέλεσμα οι μπαταρίες να μην μπορούν να αποδώσουν σωστά.



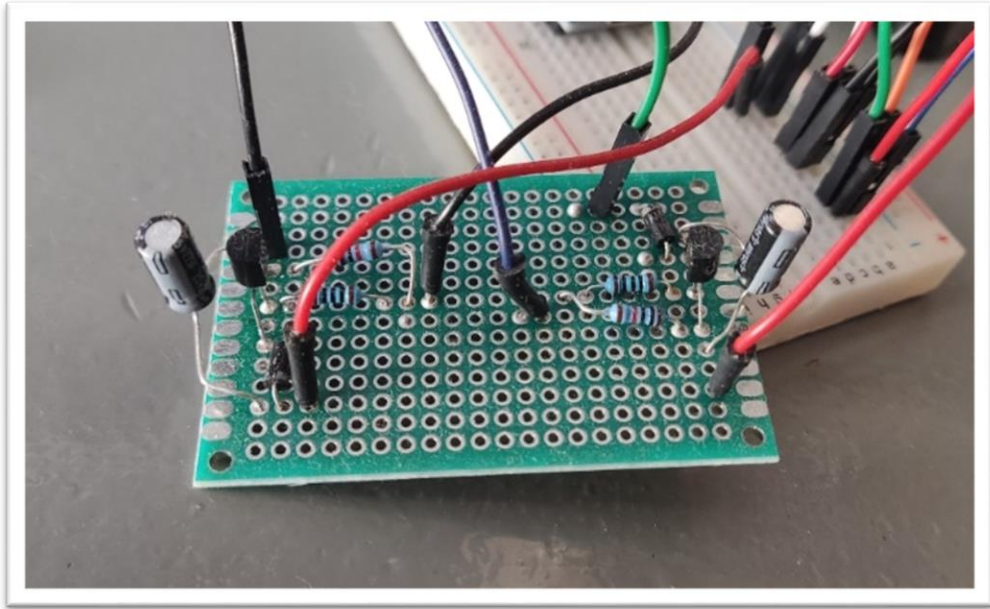
Εικόνα 23: Πρότυπο σχέδιο speed control με την υλοποίηση του προγράμματος Easyeda.com.

Βάση της παραπάνω συνδεσμολογίας, ακολουθήθηκε παρόμοιο σχέδιο και στο πειραματικό κομμάτι με κάποιες τροποποιήσεις. Όμως, όλα ξεκίνησαν φτιάχνοντας ένα χειροκίνητο speed control με την χρήση 10K Ohm μεταβλητής αντίστασης και με συνδυασμό συγκεκριμένο, με την βοήθεια του breadboard έγιναν οι αρχικές δοκιμές.

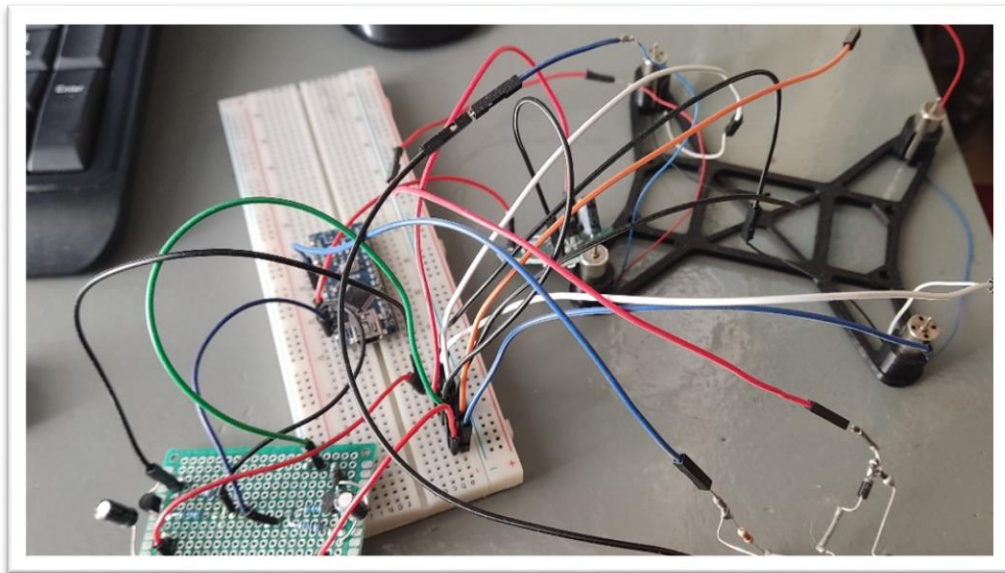


Εικόνα 24: Δοκιμές χειροκίνητου speed control με μεταβλητή αντίσταση.

Αφού δοκιμάστηκαν οι κινητήρες, στην συνέχεια ακολουθώντας το παραπάνω πρότυπο (Βλέπε εικόνα 23) φτιάχτηκε η πρώτη πλακέτα. Σε πειραματικό στάδιο πάντα, διότι υπήρξαν προβλήματα στην επικοινωνία του Arduino Uno με τα ηλεκτρολογικά. Επιλύθηκαν τα βασικά προβλήματα, όμως είχε χρησιμοποιηθεί λάθος τύπος καλωδίου και η πτώση τάσης ήταν πολύ υψηλή. Παρακάτω υπάρχουν κάποιες φωτογραφίες της υλοποίησης.



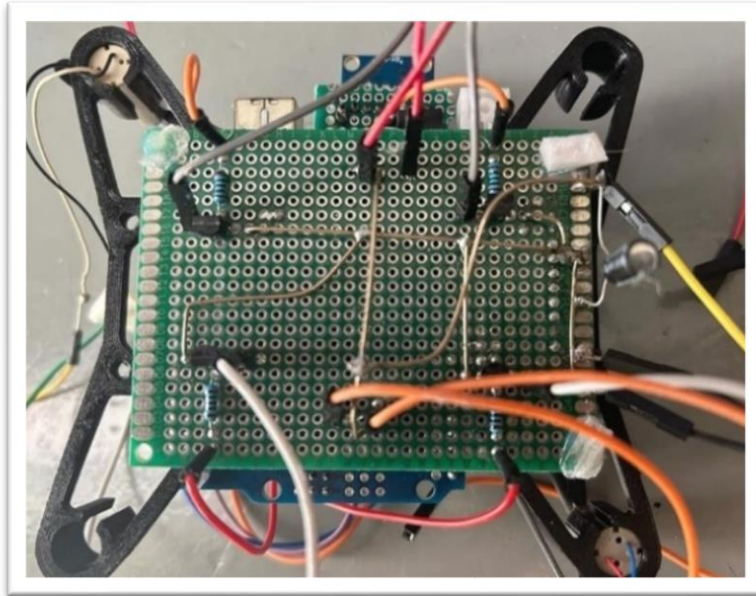
Εικόνα 25: Κατασκευή πλακέτας για χρήση speed control σε δύο κινητήρες.



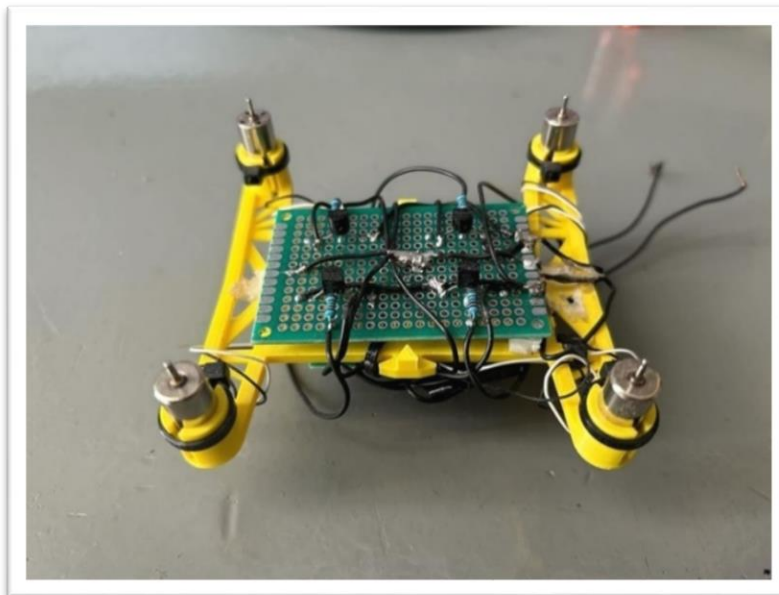
Εικόνα 26: Δοκιμή πλακέτας και έλεγχος λειτουργίας.

Ύστερα από διάφορες δοκιμές, η πλακέτα του drone με τα speed control μοιάζει όπως στις παρακάτω φωτογραφίες. Στην πρώτη φωτογραφία φαίνεται το πρώτο drone το οποίο λόγω βάρους δεν μπορεί να πετάξει σε συνδυασμό με άλλα προβλήματα που είχε. Στην δεύτερη φωτογραφία, περιγράφεται το επόμενο drone όπου έχει μικρότερη πλακέτα με την ίδια συνδεσμολογία. Έχει

μικρότερο ελεγκτή και γενικότερα εμφανίζεται πιο μικρό σε όγκο και σε βάρος. Με τους ίδιους κινητήρες και με τα ίδια ηλεκτρονικά, με την μόνη διαφορά την χρήση των μονόκλωνων καλωδίων. Αφού υπήρχε μεγάλο πρόβλημα με την πτώση τάσης όπως αναφέρθηκε, παρακάτω θα αναλυθεί στον πίνακα.



Εικόνα 27: Πλακέτα όπου έχει ενσωματωμένα τα speed control του πρώτου drone.



Εικόνα 28: Πλακέτα του δεύτερου πιο εξελιγμένου drone.

Υπήρξε στο πειραματικό κομμάτι μεγάλο θέμα με την πτώση τάσης. Αρχικά υπήρξε στο κύκλωμα από τα καλώδια και στην συνέχεια αφού αλλάχθηκαν παρατηρήθηκε πως οφείλεται και από τα N-mosfet των speed control.

| a/a | Από τις μπαταρίες. (Αρχικό) | Στην πλακέτα. (από τις μπαταρίες) | Στα corless μοτέρ. |
|------------|--------------------------------|--------------------------------------|--------------------|
| Μετρήσεις | 3,94v | 1,9 – 2,5 v | 0.45 – 0.70 v |

Πίνακας 1: Ανάλυση μέτρησης πτώσης τάσης στο ηλεκτρικό κύκλωμα πριν την αλλαγή.

Στην περίπτωση αυτή, μετράμε την πτώση τάσης πριν γίνει κάποια αλλαγή στο σχέδιο και στην κατασκευή, όπως δηλαδή φαίνεται το drone (Εικόνα 28). Μόλις έγινε η αλλαγή στα καλώδια έγινε ξανά μια μέτρηση και παρατηρήθηκε πως το αρχικό πρόβλημα προέρχεται από τα N-mosfet που χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με την μπαταρία. Βέβαια η περαιτέρω ανάλυση και επεξήγηση θα γίνει στα αποτελέσματα.

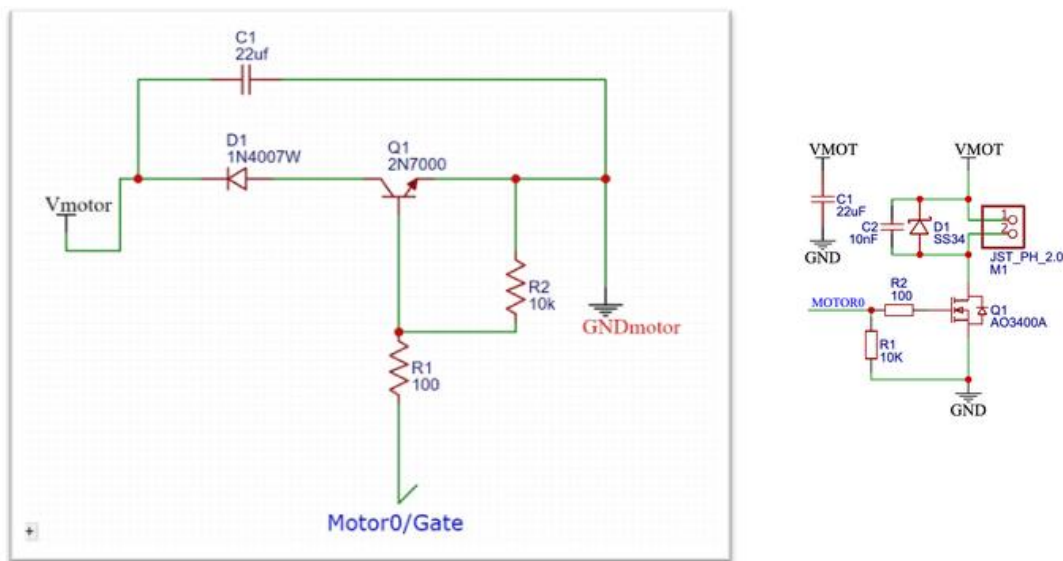
| a/a | Από τις μπαταρίες. (Αρχικό) | Στην πλακέτα. (από τις μπαταρίες) | Στα corless μοτέρ. |
|------------|--------------------------------|--------------------------------------|--------------------|
| Μετρήσεις | 3,89volt | 2,2 - 3.2 volt | 1,15volt max speed |

Πίνακας 2: Ανάλυση μέτρησης πτώσης τάσης ύστερα απο την αλλαγή καλωδίων.

Ηλεκτρονικό κύκλωμα

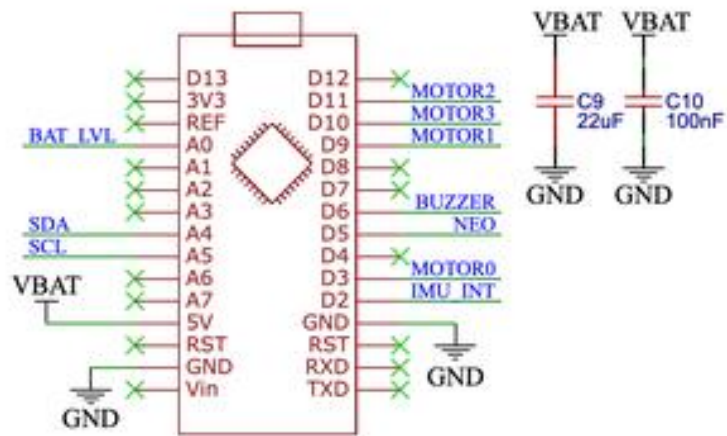
Στο ηλεκτρονικό κύκλωμα θα παρουσιαστεί το σχέδιο της κατασκευής όπως αναφέρθηκε και παραπάνω πρόχειρα. Θα αναλυθεί περαιτέρω με λεπτομέρειες στο θέμα. Ξεκινώντας, το κύκλωμα αυτό αποτελείται από διάφορα επιμέρους ηλεκτρονικά, τα οποία αναγράφονται στις παρακάτω φωτογραφίες.

Αρχικά, οι κινητήρες για να λειτουργήσουν χρειάζονται το κύκλωμα των speed control σε συνδυασμό με τις θήρες PWM του Arduino Nano όπως αναφέρθηκε παραπάνω. Αντίστοιχα ο μικροελεγκτής συνδέεται με όλα τα ηλεκτρονικά κυκλώματα όπως speed control, αισθητήρες, τροφοδοσία μπαταρίας, κλπ. Αναλυτικά, θα πρέπει να αναφερθούν όπως φαίνεται παρακάτω.

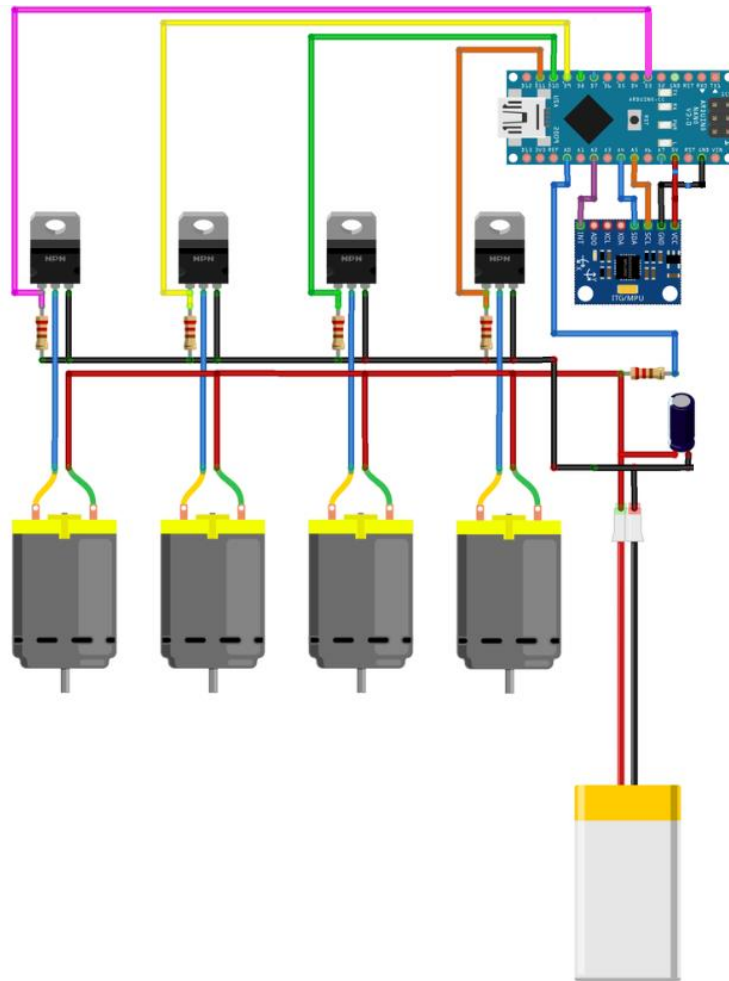


Εικόνα 29: Ηλεκτρονικό κύκλωμα speed control.

Φαίνεται αναλυτικά τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα που έχουν χρησιμοποιηθεί στην υλοποίηση. Βάση πειραμάτων, αυτό το σχέδιο έχει ακολουθηθεί από την εργασία. Όμως συνδυάζεται με τις πύλες όπου επικοινωνεί ο μικροελεγκτής Arduino Nano και με την βοήθεια των θηρών PWM όπου υπάρχουν το συγκεκριμένο σχέδιο. Υπάρχουν και άλλες συνδεσμολογίες που ελέγχονται από τον μικροελεγκτή όπως για παράδειγμα η συνδεσμολογία του αισθητήρα Mpu 6050 του γυροσκοπίου, των κινητήρων, της παροχής ενέργειας από την μπαταρία και πιο αναλυτικά φαίνονται στην Εικόνα 31 & 32, στο σχέδιο και στην φυσική μορφή του σχεδίου.



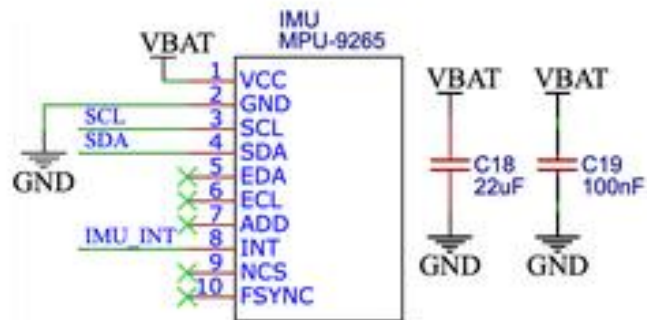
Εικόνα 30: Ηλεκτρονικό κύκλωμα μικροελεγκτή.



Εικόνα 31: Τρόπος συνδεσμολογίας των εξαρτημάτων σε φυσική μορφή του μικροελεγκτή.

Εφόσον αναλύθηκε το σχέδιο του μικροελεγκτή, στην φυσική μορφή για να γίνει πιο κατανοητό, παρακάτω γίνεται η ανάλυση από τον αισθητήρα γυροσκοπίου Mpu 6050. Οι είσοδοι που δέχεται και η επικοινωνία με τον μικροελεγκτή σε συνδυασμό με την τροφοδοσία απευθείας από την μπαταρία. Κάποια project στο διαδίκτυο που έγινε η αναζήτηση, παρουσίαζαν διαφορετική μπαταρία για τους αισθητήρες και διαφορετική για τους κινητήρες.

Στην συγκεκριμένη εργασία θα εφαρμοστεί μία μπαταρία παροχή για όλο το σύστημα του drone.



Εικόνα 32: Ηλεκτρονικό κύκλωμα του αισθητήριου MPU 6050

Τέλος, υπήρχε στο αρχικό σχέδιο και η εισαγωγή τρόπο επικοινωνίας ασύρματα του drone. Όμως, επειδή παρουσιάστηκαν διάφορα επιμέρους προβλήματα, γι' αυτό τον λόγο δεν θα γίνει αναφορά του ηλεκτρονικού κυκλώματος. Αφού η επικοινωνία θα γίνεται απευθείας από τον κώδικα και τις μεταβλητές στις τιμές που θα αλλάζουν.

Λίστα υλικών

Στην λίστα υλικών θα αναγράφονται όλα τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία αυτή. Όπως έχουν αναφερθεί παραπάνω με τον τρόπο επιλογής που συνέβη στο κάθε εξάρτημα. Επιλέχθηκαν διάφορα υλικά, κάποια χρησιμοποιήθηκαν και δεν εφάρμοσαν σωστά στις προδιαγραφές της κατασκευής, έτσι αντικαταστάθηκαν με άλλα που ταιριάζανε καλύτερα στην κατασκευή του drone. Άρα, παρακάτω υπάρχει η αναφορά στα υλικά.

- **Κινητήρες:** Οι κινητήρες που επιλέχθηκαν είναι Coreless Motor 8,5mm x 20mm, επιλέχθηκαν 8 τεμάχια.
- **Υλικά για τον σκελετό:** Επιλέχθηκε το υλικό Pla της Creality 3D διότι είναι οικονομικό σε συνδυασμό με την εύκολη εκτύπωση του υλικού.
- **Καλώδια:** Αρχικά χρησιμοποιήθηκαν απλά καλώδια κατασκευής για Arduino όμως υπήρχε μεγάλη πτώση τάσης και για την διόρθωση του προβλήματος έγινε αγορά μονόκλωνου καλωδίου 1 x 0,14mm.
- **Μικροελεγκτής:** Στην επιλογή του μικροελεγκτή επιλέχθηκε ο Arduino Uno όμως στην συνέχεια λόγω εξοικονόμησης βάρους επιλέχθηκε ο Arduino Nano.
- **Μπαταρία:** Ένα πολύ σημαντικό εξάρτημα στην ολοκλήρωση της κατασκευής. Επιλέχθηκαν 2 μπαταρίες τύπου 18650.
- **N-mosfet:** Για την επίτευξη της σωστής λειτουργίας των speed control επιλέχθηκε στην αρχή το τρανζίστορ 2N7002 και στην συνέχεια.
- **Μπυ 6050:** Ένα αισθητήρα γυροσκοπίου όπου χρησιμοποιήθηκε στο πρώτο σκέλος της κατασκευής του drone.
- **Αντιστάσεις:** Χρησιμοποιήθηκαν αντιστάσεις απλού τύπου με τιμές 100Ω και 10Κω.
- **Πλακέτες:** Χρησιμοποιήθηκαν πλακέτες διάτρητες μεγέθους 30x70mm και 40x60mm.
- **Εργαλεία:** Για την επίτευξη της πτυχιακής χρησιμοποιήθηκαν εργαλεία όπως κολλητήρι, κόλληση (καλαί), δερματικά καλωδίων, εκτυπωτής 3d της Creality ender 3 Pro.
- **Breadboard:** Στα πειράματα χρησιμοποιήθηκαν 2 breadboard.

Οικονομικός προϋπολογισμός

Στην ανάλυση του οικονομικού προϋπολογισμού υπάρχουν διάφορα πράγματα που θα υπολογιστούν. Σχετικά με τις τελικές επιλογές υλικών που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία. Ο προϋπολογισμός που θα αναλυθεί θα εμβαθύνει στον συνολικό κόστος των εξαρτημάτων αλλά και στο πιο οικονομικό και συμφέρον κομμάτι επιλογής. Γιατί, επιλέχθηκαν και αγοράστηκαν κάποια εξαρτήματα τα οποία δεν βοήθησαν στο κομμάτι το πειραματικό και έτσι αντικαταστάθηκαν.

Παρακάτω υπάρχει ένας πίνακας που θα αναλυθεί το οικονομικό κόστος κάθε εξαρτήματος.

| α/α | Υλικά που χρησ/καν. | Τμχ. | Κόστος αγοράς. |
|------------------|---------------------|--------|----------------|
| 1 | Κινητήρες 8 τμχ. | 8 | 8 x 2,11 € |
| 2 | Μπαταρίες 2τμχ. | 2 | 2 x 6 € |
| 3 | Arduino Uno & Nano. | 1 & 1 | 7 € + 8 € |
| 4 | Μονόκλιωνα καλώδια. | 1 | 1,5 € |
| 5 | N – mosfet 8 τμχ. | 8 | 8 x 0,8 € |
| 6 | Αντιστάσεις κλπ ηλ. | 1 | 2 € |
| 7 | Pla υλικό χρήσης. | 1 | 5 € |
| 8 | Υλικό κόλλησης. | 1 | 2 € |
| 9 | Πλακέτες διάτρητες. | 6 | 3,6 € |
| 10 | Έλικες διάφορα τμχ. | 4 x 4* | 15 € σύνολο |
| 11 | Breadboard. | 2 | 2 x 2,7 € |
| 12 | Δεματικά & διάφορα. | 1 | 3 € |
| 13 | Mpu 6050 | 1 | 3,5 € |
| Συνολικό κόστος: | | | 91,28 € |

Πίνακας 3: Υπολογισμός εξόδων που χρειάστηκε για την αγορά των υλικών.

* Ειδική σημείωση του πίνακα: Τα τεμάχια που αγοράστηκαν είναι 4 όπου το κάθε τεμάχιο περιέχει 4 έλικες. Επομένως αυτό εννοείται στην συγκεκριμένη στήλη του πίνακα εξόδων.

Παραπάνω φαίνεται ο πίνακας με τα αναλυτικά στοιχεία που ξοδεύτηκαν για την πτυχιακή αυτή. Τα έξοδα καλύφθηκαν από εμένα, και οι αγορές έγιναν είτε από καταστήματα μέσω διαδικτύου είτε από αγορά εντός Αθηνών. Οι τιμές επιλέχθηκαν σύμφωνα με τις χαμηλότερες του διαδικτύου. Υπάρχει πιθανότητα μελλοντικά να υπάρξουν διαφορές.

Μία οικονομική πρόταση όπου μπορεί να γίνει είναι η επιλογή αγοράς συγκεκριμένων υλικών. Στην περίπτωση αυτή, θα χρειαστεί να δαπανηθεί ένα ποσό των 60 € με 70 € για την άμεση αγορά όλων των απαραίτητων υλικών που χρειάζεται για την υλοποίηση της κατασκευής της πτυχιακής εργασίας.

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΣΥΓΓΡΑΦΗ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟΥ (SOFTWARE)

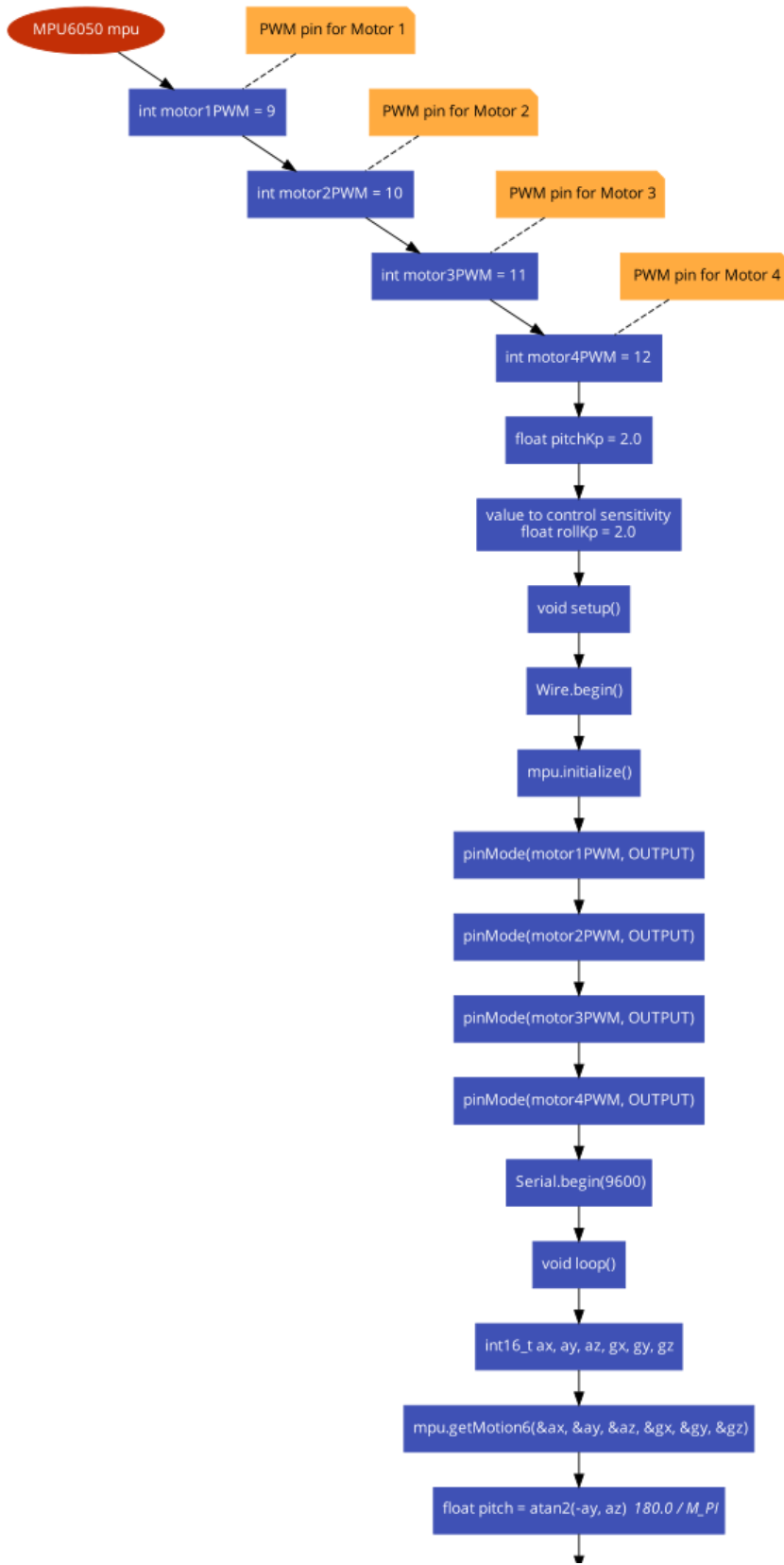
Στο κεφάλαιο αυτό θα αναλυθεί το λογισμικό κομμάτι (Software) της κατασκευής του drone, δηλαδή του κώδικα και του τρόπου υλοποίησης του προγράμματος. Θα γίνει επεξήγηση του τρόπου γραφής και θα αναλυθεί σε δύο κομμάτια, στο κομμάτι του διαγράμματος ροής του μικροελεγκτή και στο κώδικα του προγράμματος του μικροελεγκτή.

Διάγραμμα Ροής

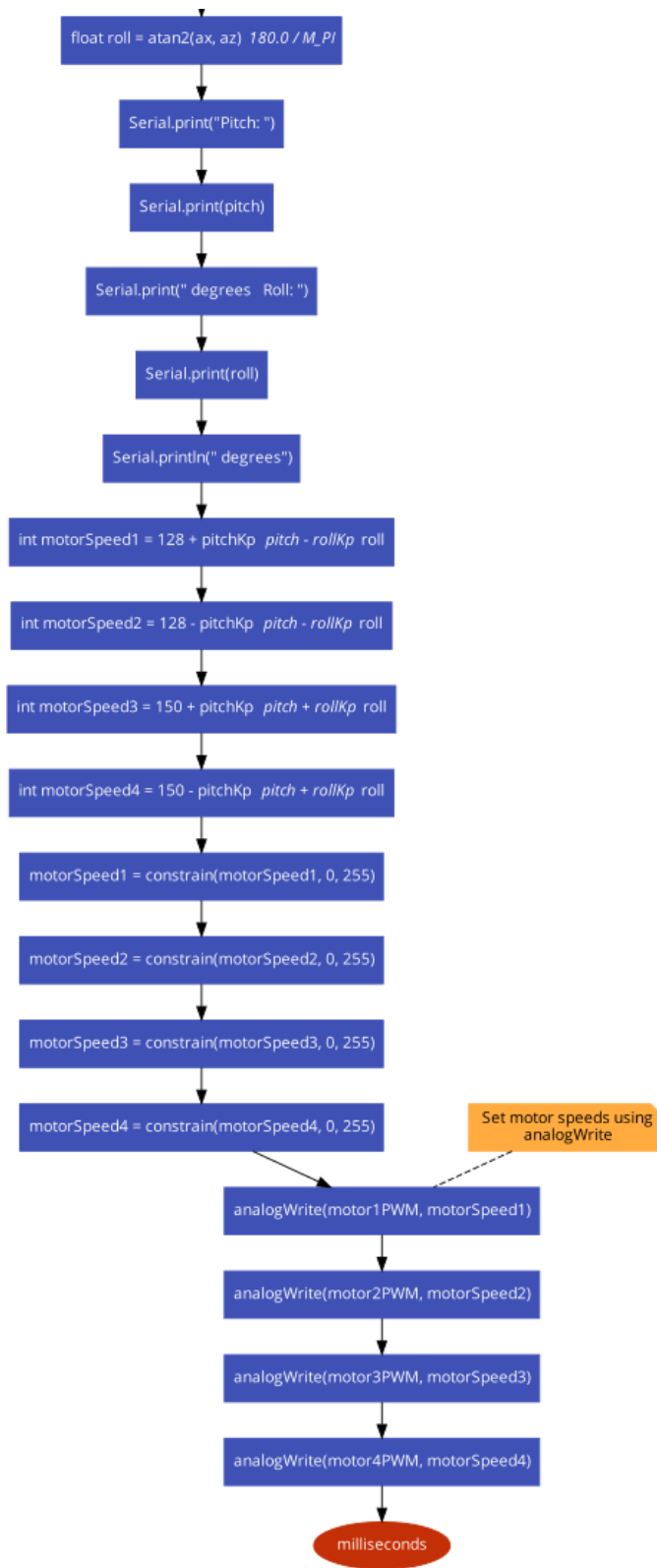
Το διάγραμμα ροής ή με άλλα λόγια flow chart αποτυπώνει την βασική δομή του τρόπου σκέψης του μικροελεγκτή. Είναι ένας τύπος διαγράμματος που αναπαριστά έναν αλγόριθμο είτε μια ολόκληρη διαδικασία. Με την βοήθεια των συμβόλων μπορεί ο αναγνώστης να αντιληφθεί τον τρόπο σκέψης με τα σύμβολα έναρξης και λήξης, στάδια επεξεργασίας κλπ.

Στο παρακάτω διάγραμμα ροής έγινε ανάλυση του απλού κώδικα που χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση του drone. Περιέχει μόνο τις εντολές διαχείρισης των κινητήρων και δεν χειρίζεται κάποιο αισθητήρα. Αυτό θα συμβεί, διότι η λογική είναι στο ίδιο βαθμό, απλά μπορεί κάποιος να προσθέσει παραμέτρους στο σύστημα. Για να μπορέσει η διαδικασία να γίνει πιο κατανοητή στον αναγνώστη.

Για την παρακάτω απεικόνιση χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Visio για να επιτευχθεί.



Εικόνα 33: Διάγραμμα Ροής λειτουργίας του drone το πρώτο μέρος.



Εικόνα 34: Διάγραμμα Ροής λειτουργίας του drone το δεύτερο μέρος.

Γλώσσα Προγραμματισμού

Οι κώδικες που θα αναλυθούν στην εργασία έχουν γραφεί σε γλώσσα προγραμματισμού C++, μέσο του προγράμματος Arduino Studio. Θα αναπτυχθούν διάφορα κομμάτια και θα αναλυθούν περαιτέρω για τον μικροελεγκτή, τους αισθητήρες που διαθέτει κατασκευή, και τον τρόπο συγγραφής και ελέγχου και την διαδικασία επίσης.

Στα σύγχρονα συστήματα μικροελεγκτών χρησιμοποιείται η γλώσσα C, σε συνάρτηση με τα ευρέως αποδεκτά πρότυπα όπως ANSI-C, C99 ή C11. Επιπλέον, η βασική γλώσσα προγραμματισμού συνοδεύεται από πολλές κλήσεις βιβλιοθήκης για την αξιοποίηση των εξειδικευμένων κυκλωμάτων και δυνατοτήτων του μικροελεγκτή. Συχνά εμπλουτίζεται και με στοιχεία αντικειμενοστραφούς προγραμματισμού, όπως η γλώσσα C++ (π.χ. το σύστημα Arduino). Τυπικά παραδείγματα είναι τα περιβάλλοντα ανάπτυξης εφαρμογών για μικροελεγκτές τύπου AVR, PIC, ST, και άλλα παρόμοια συστήματα.

Στην αρχή του κώδικα της εργασίας παρουσιάζονται κάποια σχόλια με συγκεκριμένη δομή, για να μπορέσει κάποιος αναγνώστης να έχει μία αρχή και την κατανόηση για το τί πρόκειται ο κώδικας αυτός.

```
/*  
*Purpose  
* Motor speed control program using MPU6050 for tilt and rotation detection.  
* The program uses the MPU6050 sensor to read motion data and adjusts the speed.  
* of four motors accordingly to maintain the balance of a drone.  
* Hardware  
* Included libraries:  
* - Wire.h: Used for I2C communication.  
* - MPU6050.h: Used for interacting with the MPU6050 sensor.  
* References  
* Author: [Nikolas Panagis]  
* Date: [18/06/2024]  
***/
```

Σαν τη γενική περιγραφή η επικεφαλίδα βοηθάει στην γενική ιδέα που ακολουθείται στον κώδικα και τις βιβλιοθήκες που χρησιμοποιούνται. Το πρόγραμμα χρησιμοποιεί τον αισθητήρα MPU 6050 για να διαβάσει δεδομένα σχετικά με την κλίση (pitch) και την περιστροφή (roll) και στη συνέχεια προσαρμόζει την ταχύτητα τεσσάρων μοτέρ για να διατηρήσει την ισορροπία. Όπως ξεκινάει για την αναφορά του αισθητήρα MPU 6050 όπου υπάρχει η δημιουργία ενός αντικειμένου για την διαχείριση αυτού.

Στις βιβλιοθήκες περιλαμβάνει τις βιβλιοθήκες `Wire.h` για επικοινωνία I2C και `MPU6050.h` για την αλληλεπίδραση με τον αισθητήρα και αντίστροφα.

Στην διαχείριση των κινητήρων και στις ρυθμίσεις αυτών ο κώδικας καθορίζει τις εξόδους PWM για τα τέσσερα μοτέρ και χρησιμοποιεί απλό αναλογικό έλεγχο (P) για να ρυθμίσει τις ταχύτητες των μοτέρ βάσει των μετρήσεων του αισθητήρα.

Ονόματα

Παρακάτω υπάρχει μία σειρά από τα ονόματα των αντικειμένων που έχουν χρησιμοποιηθεί στην συγκεκριμένη εργασία.

```
int motor1PWM = 9; // PWM pin for Motor 1
int motor2PWM = 10; // PWM pin for Motor 2
int motor3PWM = 11; // PWM pin for Motor 3
int motor4PWM = 12; // PWM pin for Motor 4
```

Κώδικας προγράμματος

Αυτός ο κώδικας αποτελεί ένα πρόγραμμα ελέγχου ταχύτητας κινητήρων με χρήση του αισθητήρα MPU6050 για ανίχνευση κλίσης και περιστροφής. Ο κώδικας σχεδιάστηκε για να χρησιμοποιείται σε ένα drone ή άλλη εφαρμογή που απαιτεί τη διατήρηση ισορροπίας με βάση την κλίση του οχήματος.

Κατά την εκτέλεση, ο κώδικας διαβάζει τις μετρήσεις από τον αισθητήρα MPU6050, υπολογίζει τις γωνίες pitch και roll, και στη συνέχεια ρυθμίζει τις ταχύτητες των τεσσάρων κινητήρων του drone. Οι ταχύτητες αυτές ρυθμίζονται χρησιμοποιώντας την αναλογική έξοδο (PWM) για να ελέγξουν τις αντίστοιχες ταχύτητες των κινητήρων.

Οι παράμετροι pitchKp και rollKp είναι παράγοντες αναλογικού ελέγχου (proportional control gains) που ρυθμίζουν την ευαισθησία της αντίδρασης του κώδικα στην κλίση και την περιστροφή του drone, επιτρέποντας την ακριβή διατήρηση της ισορροπίας.

Η επικοινωνία με τον αισθητήρα γίνεται μέσω της διαδικασίας initialize() της κλάσης MPU6050, ενώ η επικοινωνία με τον υπολογιστή ή άλλες συσκευές γίνεται μέσω της σειριακής θύρας με τη χρήση της Serial.begin(9600).

Τον κώδικα επιπλέον του χειρισμού των αισθητήρων, κάνει επίσης χρήση της αναλογικής έξοδου PWM για να ελέγξει την ταχύτητα των κινητήρων, διατηρώντας το drone στην ισορροπία του.


```

#include <Wire.h>
#include <MPU6050.h>

// Create an MPU6050 object
MPU6050 mpu;

// Define PWM pins for the four motors
int motor1PWM = 9; // PWM pin for Motor 1
int motor2PWM = 10; // PWM pin for Motor 2
int motor3PWM = 11; // PWM pin for Motor 3
int motor4PWM = 12; // PWM pin for Motor 4

// Proportional control gains for pitch and roll
float pitchKp = 2.0; // Adjust this value to control sensitivity
float rollKp = 2.0; // Adjust this value to control sensitivity

void setup() {
  Wire.begin(); // Start I2C communication
  mpu.initialize(); // Initialize the MPU6050
  pinMode(motor1PWM, OUTPUT); // Set pin as output
  pinMode(motor2PWM, OUTPUT); // Set pin as output
  pinMode(motor3PWM, OUTPUT); // Set pin as output
  pinMode(motor4PWM, OUTPUT); // Set pin as output

  Serial.begin(9600); // Start serial communication at 9600 bps
}

void loop() {
  // Read sensor data
  int16_t ax, ay, az, gx, gy, gz;
  mpu.getMotion6(&ax, &ay, &az, &gx, &gy, &gz);

  // Calculate pitch and roll
  float pitch = atan2(-ay, az) * 180.0 / M_PI; // Calculate pitch in degrees
  float roll = atan2(ax, az) * 180.0 / M_PI; // Calculate roll in degrees

  // Send sensor measurements to the serial monitor
  Serial.print("Pitch: ");
  Serial.print(pitch);

```

```

Serial.print(" degrees Roll: ");
Serial.print(roll);
Serial.println(" degrees");

// Calculate motor speed adjustments based on sensor data
int motorSpeed1 = 128 + pitchKp * pitch - rollKp * roll;
int motorSpeed2 = 128 - pitchKp * pitch - rollKp * roll;
int motorSpeed3 = 150 + pitchKp * pitch + rollKp * roll;
int motorSpeed4 = 150 - pitchKp * pitch + rollKp * roll;

// Ensure motor speeds stay within a safe range (0-255)
motorSpeed1 = constrain(motorSpeed1, 0, 255);
motorSpeed2 = constrain(motorSpeed2, 0, 255);
motorSpeed3 = constrain(motorSpeed3, 0, 255);
motorSpeed4 = constrain(motorSpeed4, 0, 255);

// Set motor speeds using analogWrite
analogWrite(motor1PWM, motorSpeed1);
analogWrite(motor2PWM, motorSpeed2);
analogWrite(motor3PWM, motorSpeed3);
analogWrite(motor4PWM, motorSpeed4);
}

```

Η επικοινωνία με τον αισθητήρα γίνεται μέσω της σειριακής θύρας (Serial), ενώ οι μετρήσεις των γωνιών pitch και roll εμφανίζονται στην κονσόλα για παρακολούθηση και ανάλυση. Ο κώδικας ενημερώνει τις ταχύτητες των κινητήρων κάθε 20 milliseconds (ή άλλο διάστημα που ορίζεται από τον χειριστή), εξασφαλίζοντας ομαλή και σταθερή λειτουργία διαχείρισης του drone.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Σε γενικές γραμμές ξεκίνησε μία ακολουθία όπου έγιναν αλλαγές σε διάφορα ηλεκτρονικά μέρη της κατασκευής του drone και του λογισμικού. Κατά την πάροδο του χρόνου και σε συνδυασμό με την δοκιμή διάφορων πειραμάτων. Ο αρχικός στόχος της εργασίας ήταν η υλοποίηση ενός drone για εκπαιδευτική χρήση.

Η υλοποίηση συνέβη σε συνδυασμό με την ανάλυση και τον υπολογισμό διαφόρων πραγμάτων από την απόκλιση που παρουσιάζει το θεωρητικό με το πειραματικό κομμάτι. Επομένως, με τις γνώσεις που αντλήθηκαν από το project αυτό σαφώς υπήρχαν και κάποιες αστοχίες.

Στην πτήση του drone, όλα τα χαρακτηριστικά των εξαρτημάτων είναι σωστά συνδυασμένα, και με τον προγραμματισμό όμως υπήρξε πρόβλημα σχετικά με τα N – mosfet στα speed control. Δηλαδή, όπως έχει αναφερθεί παρουσιάζαν πτώση τάσης διότι έγινε λάθος επιλογή στην αρχή. Με βάση αναζήτησης στο διαδίκτυο, εντοπίστηκαν διάφορες επιλογές όπου συγκεκριμένα χρειαζόταν το $V_{gs(on)}$ δηλαδή (Threshold Voltage) να μην ξεπερνάει το 1 Volt διότι αυτό σημαίνει πως το Ρεύμα που τα διαπερνάει δεν πρέπει να ξεπερνάει τα 3 – 2,75A. Όλα αυτά υπολογίζονται με βάση την εσωτερική αντίσταση που παρέχει το τρανζίστορ στην πλήρη τροφοδοσία του. Δηλαδή το $R_{ds(on)}$ το οποίο δεν πρέπει να ξεπερνάει την τιμή των 0,04Ω. Στην επιλογή του mosfet 2N7002 η τιμή $R_{ds(on)}$ είναι 1,2Ω επομένως παρουσιάζει μεγάλη εσωτερική αντίσταση.

Μεγάλο θέμα υπήρξε και με τα καλώδια που επιλέχθηκαν στην αρχή της εργασίας, διότι και αυτά παρείχαν μεγάλη εσωτερική αντίσταση. Με την βοήθεια του επιβλέποντα καθηγητή διορθώθηκε το συγκεκριμένο πρόβλημα.

Σε συνδυασμό με τις μπαταρίες οι οποίες έχουν συνδεθεί παράλληλα και η κάθε μπαταρία έχει 6A, δεν μπορούν να υποστηρίξουν το φορτίου που ζητάτε από τους κινητήρες.

Αυτοί είναι οι βασικοί λόγοι που το drone τείνει να πετάξει και δεν συμβαίνει. Εφόσον λειτουργούν οι κινητήρες στον βαθμό αυτό, δεν μπορούν να γυρίσουν στον επιτρεπτό όριο που χρειάζεται άρα δεν παράγουν τόσο thrust, επομένως τα 60γρ. που ζυγίζει η κατασκευή είναι αρκετό βάρος για τους κινητήρες. Δηλαδή, αν η κατασκευή αυτή ζύγιζε 40γρ., θα μπορούσε το drone να πετάει σε ικανοποιητικό βαθμό για την ολοκλήρωσή της πτυχιακής εργασίας.

Όλα τα παραπάνω στοιχεία συγκεντρώθηκαν και μελετήθηκαν μεμονωμένα διότι κάθε φορά υπήρξε και διαφορετικό πρόβλημα αντιμετώπισης. Με την βοήθεια των μετρήσεων πάντα, μπόρεσε να γίνει αυτή η γνωστοποίηση των αποτελεσμάτων αυτών

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε ο τρόπος επιλογής και υλοποίησης των υλικών για να δημιουργηθεί ένα σύστημα, μία κατασκευή drone για την εκπαιδευτική χρήση. Παραπάνω έχουν αναλυθεί όλα τα στάδια μελέτης και κατασκευής της εργασίας. Στην διάρκεια του πειραματικού μέρους αντιμετωπίστηκαν διάφορα προβλήματα και σε κάποια άλλα βρέθηκε η λύση θεωρητικά και αναγράφηκε στα συμπεράσματα.

Τα παραπάνω μέρη βοήθησαν στην κατανόηση του αποτελέσματος και στην συνειδητοποίηση αυτού, έτσι ώστε να υπάρχει μία σειρά εκμάθησης. Αφού η εργασία αυτή έχει ως ρόλο της εκπαιδευτική χρήση.

Υλοποιώντας το πειραματικό κομμάτι και κατά την διάρκεια της κατασκευής του drone παρατηρήθηκε ότι ένα από τα δυσκολότερα κομμάτια είναι η επιλογή των σωστών υλικών και η ορθή τοποθέτηση αυτών με την σωστή διαχείριση και εγγραφή του κώδικα πάνω στα στοιχεία που έχουν επιλεχθεί. Αυτό συνέβη, ύστερα από την μελέτη σε κάθε ένα επιμέρους κομμάτι που απαρτίζεται η πτυχιακή εργασία.

Υπήρξαν διάφορα πράγματα πάνω στο κομμάτι της εκπόνησης της πτυχιακής, κάποια με θετικό και άλλα με αρνητικό πρόσημο. Όπως για παράδειγμα η καθυστέρηση αντιμετώπισης του προβλήματος της πτώσης τάσης από τα καλώδια διότι υπήρχαν και άλλα προβλήματα. Η επιλογή των κινητήρων και διάφορων ακόμα υλικών ανήκει για παράδειγμα στο θετικό πρόσημο. Γι' αυτό αναλύεται ο τρόπος επιλογής στο κομμάτι των υλικών και αντίστοιχα και η μεθοδολογία υλοποίησης, για να προβληθεί ο τρόπος σκέψης και διεκπεραίωσης της εργασίας από εμένα. Υπάρχουν σημεία που θα μπορούσε να συμβεί κάποια τροποποίηση όπως πιο μεγάλοι κινητήρες σε ισχύ, άρα με κάποια διαφορετικά εξαρτήματα διότι η ένταση αυξάνεται, θα υπήρχε πιο εύκολη διαχείριση. Διότι κάποια προβλήματα που συναντήθηκαν ήταν το μέγεθος του drone, το βάρος και το οικονομικό πλαίσιο.

Τέλος, μία σημαντική και ενδιαφέρουσα μελέτη στο θέμα της κατασκευής είναι η μελέτη και υλοποίηση προγράμματος πτήσης του drone με αυτόματα συστήματα, χειροποίητη τηλεκατεύθυνση και αυτόματου πλοηγού. Παρέχουν διάφορα προγράμματα που χρειάζονται συγκεκριμένο προγραμματισμό μέσω διαδικτύου που μπορεί να συμβεί σε κάποια αντίστοιχη κατασκευή. Στην εργασία αυτή δεν υπήρχε ο χρόνος για να μπορέσει να γίνει ανάλυση στο κομμάτι αυτό.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Στο κεφάλαιο αυτό αναφέρονται όλες οι βιβλιογραφικές παραπομπές που χρησιμοποιήθηκαν στην εκάστοτε εργασία.

- [1] Berni, j. (2008). Remote sensing of vegetation from UAV platforms using lightweight multispectral. Inter-Commission WG I/V.
- [2] Li, Z. (2011). Photogrammetric recording of ancient buildings by using. Zurich.
- [3] Manyoky. (2011). Unmanned aerial. Zurich.
- [4] Isola I. (2013). UAV-Based Imaging for Environmental Sustainability. Nigeria: FIG Working Week.
- [5] Karas, J. (2015). Mapping road and bridge damage in the Czech Republic. Czech Republic: GIM International.
- [6] LUUKKONEN, Teppo. Modelling and control of quadcopter. *Independent research project in applied mathematics, Espoo*, 2011, 22.22.
- [7] KARDASZ, Piotr, et al. Drones and possibilities of their using. *J. Civ. Environ. Eng*, 2016, 6.3: 1-7.
- [8] JAVAID, Mohd, et al. Exploring contributions of drones towards Industry 4.0. *Industrial Robot: the international journal of robotics research and application*, 2022, 49.3: 476-490.
- [9] Piotrowski P, Witkowski T, Piotrowski R (2015) Unmanned remote-controlled flying unit. *Measurement Automation and Robotics* 19: 49-55.
- [10] Bogusz P, Korkosz M, Wygonik P, Dudek M, Lis B (2015) Analysis of the impact of a supply source for the properties brushless DC motor with permanent magnets designed to drive a flying unmanned camera. *Overview Electrotechnical* 5.
- [11] Hejduk M (2015) The use of unmanned aerial vehicles - drones supply courier. Thesis Inzynierska. Wroclaw.
- [12] Bardley TH, Moffitt BA, Fuller TF, Mavris D, Parekh D (2013) Design studies for hydrogen fuel cell powered unmanned aerial vehicles. Am Institute of Aeronautics and Astronautics.
- [13] MAGISTRETTI, Stefano; DELL'ERA, Claudio. Unveiling opportunities afforded by emerging technologies: evidences from the drone industry. *Technology Analysis & Strategic Management*, 2019, 31.5: 606-623.

- [14] Barnhart, R. K., Shappee, E., & Marshall, D. M. (2011). *Introduction to Unmanned Aircraft Systems*. CRC Press.
- [15] Rogers, J. (2012). *Rise of the Drones: The Evolution of Unmanned Aerial Warfare*. New Internationalist.
- [16] QUAN, Quan. *Introduction to multicopter design and control*. Singapore: Springer, 2017.
- [17] KODGIRWAR, V. P., et al. Design of control system for quadcopter using Complementary Filter and PID controller. *International Journal of Engineering Research, Technology (IJERT)*, 2014.
- [18] Γεωργίου, Κ. & Παπαδόπουλος, Α. (2018). *Τεχνολογία Drone: Βασικές Αρχές και Εφαρμογές*. Αθήνα: Εκδόσεις Τεχνολογία.
- [19] Smith, J. & Johnson, R. (2020). *Unmanned Aerial Vehicles: Innovations and Applications*. New York: TechPress.