

# **DISPOZITIV PENTRU STABILIZAREA TACÂMURILOR**

**Candidat: Lucian-Călin Ghinescu**

**Coordonator științific: Conf. Dr. Ing. Lucian Prodan**

Sesiunea: Iunie 2023

## REZUMAT

Lucrarea propune proiectarea, implementarea și testarea unui dispozitiv de stabilizare a tacâmurilor pentru persoanele afectate de boli neurodegenerative precum Parkinson, tremurul esențial dar și cele a căror mobilitate este scăzută.

Datorită numărului în creștere al persoanelor afectate de aceste boli ce reduc mobilitatea mâinilor și face o activitate obișnuită, precum luarea unei mese, o activitate ce implică un efort considerabil, e problematică sau care poate conduce la anxietate.

Dispozitivul asigură amortizarea tremuraturii prin combinarea datelor obținute de la senzorul IMU (unitatea de măsurare inerțială) pentru a stabili modul de acționare al motoarelor.

În realizarea dispozitivului s-au folosit tehnologii relativ noi în piața industrială, cum ar fi motoarele brushless în curent continuu, encodere capacitive dar și algoritmi de tip FOC (Field Oriented Control).

Acest dispozitiv este ușor de utilizat, ceea ce reprezintă un aspect important pentru că se adresează în special persoanelor vârstnice sau celor ce au dificultăți în mobilitatea mâinii.

Acest dispozitiv a fost testat, iar în urma testelor s-a constatat că funcționează corespunzător.

## CUPRINS

1. INTRODUCERE.....	4
1.1 Context .....	4
1.2 Descrierea proiectului.....	5
1.3 Structura lucrării .....	5
2. SPECIFICAȚIILE DISPOZITIVULUI.....	6
2.1 Analiza domeniului.....	6
2.2 Lista specificațiilor sistemului dezvoltat	
3. ARHITECTURA DISPOZITIVULUI.....	8
4. IMPLEMENTAREA DISPOZITIVULUI.....	10
5. TESTAREA DISPOZITIVULUI	
6. CONCLUZII	
BIBLIOGRAFIE	
Anexe - Declarația de autenticitate a lucrării de finalizare a studiilor	

## 1. INTRODUCERE

### 1.1 Context

Pornind de la citatul:

„ Sănătatea este sufletul ce animă toate bucuriile vieții, ce se estompează și e lipsită de gust fără aceasta.”

Care aparține filosofului Seneca și cu scopul de a ajuta la rezolvarea unei probleme din sistemul medical, care ar putea îmbunătăți chiar starea de sănătate a oamenilor, am ales să mă documentez despre situația bolnavilor de Parkinson din România.

**Boala Parkinson** este o tulburare neurodegenerativă și este principala cauză de dizabilitate. Aceasta afectează tot mai mulți oameni în zilele noastre, de exemplu în anul 2016 s-au înregistrat la nivel mondial un număr de 2,4 ori mai mare decât în anul 1990 [1]. O altă boală, ușor diferită, dar cu simptome asemănătoare este **tremurul esențial** (spre deosebire de Parkinson, acesta apare la ambele membre, persoana nu suferă de rigiditate, etc.). Acest tremurat nu are o cauză cunoscută, are o distribuție bimodală ( la 20 respectiv 60 de ani ), este adesea transmis prin arborele genealogic și se estimează că aproximativ 0.9% din populația globului este afectată de el [1].

Conform articolului [2] și a CNAS în România anului 2021 erau înregistrați aproximativ 72 000 de pacienți suferinzi de Parkinson.

Majoritatea pacienților suferinzi de aceste maladii întâmpină numeroase dificultăți în activitățile de zi cu zi. Pentru acestea utilizarea tacâmurilor poate reprezenta un lucru problematic și poate conduce la anxietate și chiar depresie.

Pentru a contracara efectele tremuratului și pentru a aduce un plus de mobilitate am ales să dezvolt un dispozitiv ce își propune stabilizarea tacâmurilor și a ustensilelor asemănătoare.

### 1.2 Descrierea proiectului

După cum am descris anterior, dispozitivul dezvoltat are ca scop reducerea efectului tremuratului mâinii în timpul folosirii tacâmurilor. Având în vedere cele discutate în sub-capitolul anterior acest dispozitiv ar putea reduce anxietatea pacienților.

Datorită progreselor permanente ale tehnologiilor *hardware* și *software*, am reușit să creez un dispozitiv pentru stabilizarea tacâmurilor. În cadrul dispozitivului am folosit motoare de precizie și durabile fără perii ele fiind printre tehnologiile de vîrf din zilele noastre. Dar utilizarea și controlul acestor tipuri de motoare atrage după sine și adăugarea unei complexități crescute, fiind nevoie de utilizarea unor algoritmi de tip *field oriented control* și monitorizarea cu o precizie ridicată a poziției motoarelor prin diferiți senzori de tip encoder. Acești senzori folosiți în cadrul proiectului sunt de tip capacitiv, o tehnologie

relativ nouă în piață, care asigură o precizie sporită motoarelor dar și o rezistență îmbunătățită în condiții de praf, vibrații și șocuri.

Dispozitivul combină datele obținute de la accelerometru și giroscop, le filtrează și obține unghiul față de poziția inițială pentru axele  $O_x$  și  $O_y$ , datele privind accelerația unghiulară și unghiul de rotație prelevate cu ajutorul giroscopului, influențează în cea mai mare măsură rezultatul final. Aceste date sunt integrate și un bias mic în măsurarea lor poate conduce la o deviere severă a unghiului calculat, făcând ca aceste date să fie utile doar în cazul mișcării continue, în cazul staționar fiind mai relevante datele obținute prin accelerometru.

Astfel dispozitivul își propune să stabilizeze cu un grad cât mai mare tacâmurile.

### 1.3 Structura lucrării

Lucrarea este structurată în 6 capitole: *Introducere*, *Specificațiile dispozitivului*, *Arhitectura dispozitivului*, *Implementarea dispozitivului*, *Testarea dispozitivului* și *Concluzii*.

În capitolul *Introducere* s-au prezentat aspectele generale ale domeniului abordat, dar și descrierea lucrării și obiectivele propuse.

În capitolul *Specificațiile dispozitivului* s-au prezentat aspecte teoretice orientate pe necesitatea specificațiilor în dezvoltarea unui produs, analiza domeniului prin prezentarea dispozitivelor asemănătoare dar și specificațiile dispozitivului dezvoltat de mine.

În cadrul capitolului *Arhitectura dispozitivului* s-au prezentat arhitectura generală a dispozitivului.

În capitolul *Implementarea sistemului* s-au prezentat etapele necesare realizării proiectului din punct de vedere practic. ( resurse hardware, software dar și conectarea componentelor ).

În cadrul capitolului *Testarea dispozitivului* s-au prezentat testele efectuate asupra dispozitivului.

În capitolul *Concluzii* s-au prezentat rezultatele obținute și posibile direcții de dezvoltare ulterioară.

## 2. SPECIFICAȚIILE DISPOZITIVULUI

Specificațiile unui sistem reprezintă descrierea a ceea ce ar trebui să facă sistemul, mai exact funcționalitățile și serviciile pe care acesta le oferă și constrângerile asupra funcționării acestuia [3].

Specificațiile unui sistem se pot clasifica în specificații funcționale și specificații nonfuncționale [3]:

- Specificațiile funcționale se referă la funcționalitățile pe care sistemul ar trebui să le ofere și cum ar trebui să reacționeze sistemul la anumite situații. De asemenea, specificațiile funcționale precizează în mod explicit ce nu ar trebui să facă sistemul dezvoltat.
- Specificațiile non-funcționale reprezintă constrângerile asupra serviciilor sau funcționalităților oferite de sistem.

### 2.1 Analiza domeniului

Pentru a reliefa caracteristicile produsului dezvoltat de mine, „**EasyEat**”, am ales să îl compar cu alte produse asemănătoare: **Gyenno Spoon** și **Lifeware Steady**. Acestea sunt în topul preferințelor utilizatorilor privind ustensilele pentru anularea tremurăturii, conform site-ului „Medical News Today - 5 of the best Parkinson’s spoons 2022” [4].

Principalele caracteristici pentru Gyenno Spoon (Figura 2.1) [5]:

- Stabilizare 360
- Amortizarea a 85% din tremuratură a mâinii
- Detectare a mișcărilor voluntare ale mâinii
- Pornire și oprire automată
- Greutate : 130g
- Baterie reîncărcabilă și înlocuibilă
- Durată utilizare cu o singură încărcare: 180 de minute
- Garanție: 6 luni
- Preț: 200 \$

Principalele caracteristici ale Lifeware Steady ( Figura 2.2 ) [6]:

- Scăderea cu 70% a tremuraturii mâinii
- Detectarea mișcărilor voluntare și a tremuraturii
- Greutate: 100g
- Baterie reîncărcabilă
- Durată baterie: 60 de minute
- Garanție: 12 luni
- Preț: 195\$



Figura 2.1 : Gyenno Spoon [5]



Figura 2.2 : Liftware Steady [6]

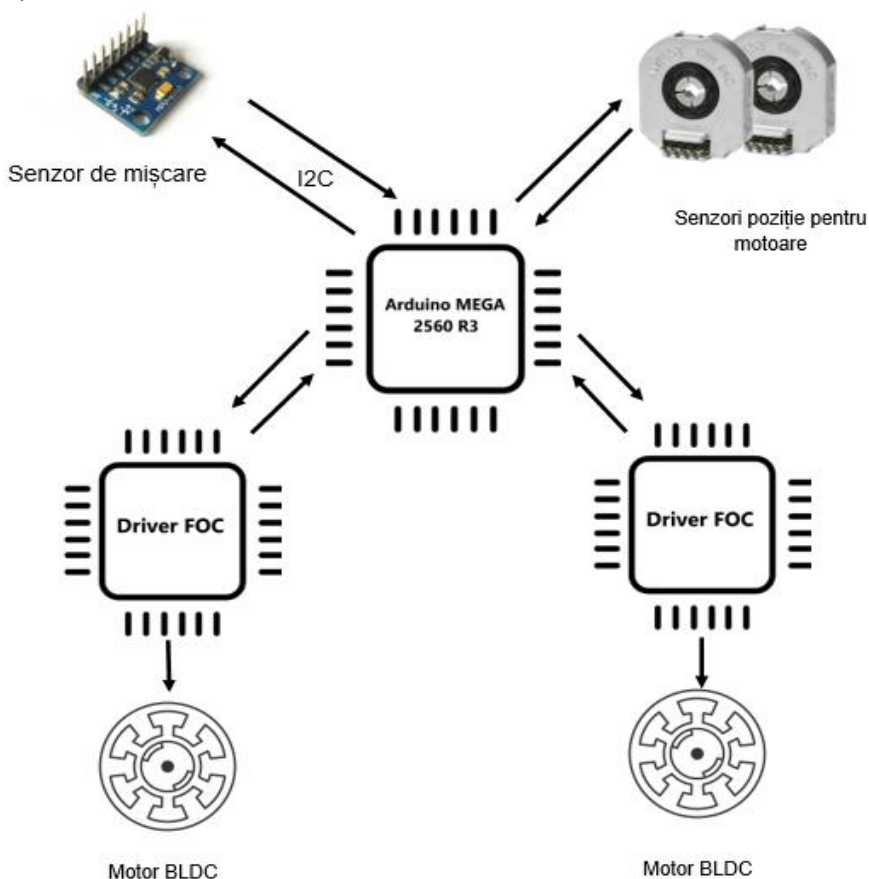
În tabelul 2.1 am realizat compararea dispozitivului anti-tremurat „ EasyEat ” cu cele două produse din topul oferit de Medical News Today.

**Tabel 2. 1 Analiza comparativă între produsul dezvoltat de mine și alte 2 asemănătoare**

<b>Caracteristici și funcționalități</b>	<b>Gyenno Spoon</b>	<b>Liftware Steady</b>	<b>EasyEat</b>
Amortizarea tremurăturii %	85%	70%	- O să calculez
Detectarea mișcărilor voluntare	x	x	-
Baterie reîncărcabilă	x	x	-
Greutate	130g	100g	450g
Preț	200\$	195\$	-

### 3. ARHITECTURA DISPOZITIVULUI

Acest capitol propune schema arhitecturii generale a dispozitivului: prezentarea componentelor și schema interconectării acestora.



*Figura 3.1 Schema generală a dispozitivului*

Dispozitivul conține 5 elemente principale: motoarele prin care poziționează tacâmul, drivele motoarelor, microcontroler, senzorul de mișcare și senzorii de poziție pentru motoare.

Senzorul de mișcare IMU furnizează, prin intermediul interfeței seriale I<sup>2</sup>C, date legate de viteza unghiulară și accelerația pe cele trei axe microcontrolerului. Acesta din urmă, determinând poziția și orientarea tacâmului.

Senzorii de poziție ai motoarelor, înregistrează date privind poziția și viteza motoarelor și le furnizează microcontrolerului.

Microcontrolerul combină datele primite de la senzori și printr-un algoritm de stabilizare obține comenzile necesare pentru amortizare și le transmite driverelor motoarelor.

Drivele de tip FOC primesc comenzile de la microcontroler și le furnizează prin algoritmul de control de tip FOC (Field Oriented Control) motoarelor de tip brushless.



Procesul de stabilizare a tacâmului este descris în următoarea figură:

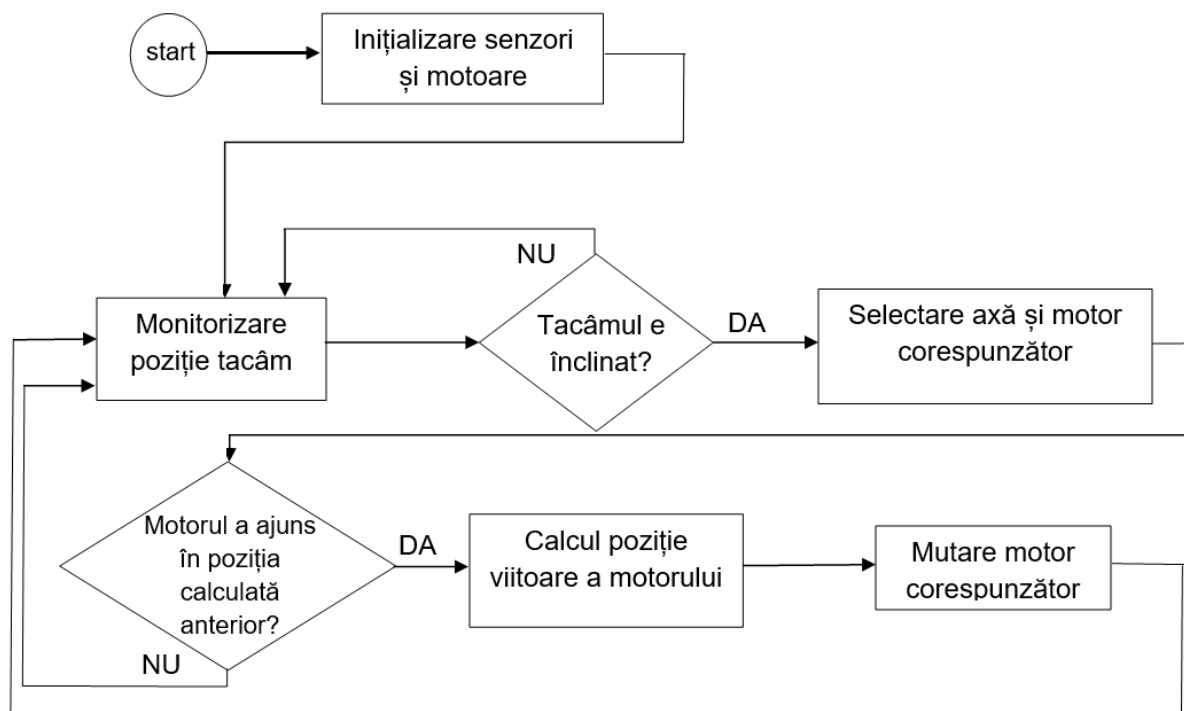


Figura 3.2 Diagrama de evenimente a sistemului de stabilizare

Conform Figurii 3.2, procesul de stabilizare începe prin inițializarea motoarelor și a senzorilor pentru obținerea datelor inițiale legate de poziție și înclinare. După acest pas, se monitorizează înclinarea tacâmului și în cazul detectării unei diferențe față de poziția inițială se selectează axa pentru care se va realiza stabilizarea. În continuare se verifică dacă motorul nu este încă în mișcare (nu a ajuns încă în poziția calculată într-un pas anterior) iar în caz afirmativ se calculează poziția necesară pentru a putea aduce tacâmul în poziția inițială și se trimite comanda la motor.

## 4. IMPLEMENTAREA DISPOZITIVULUI

Acest capitol va descrie etapele realizării proiectului din punct de vedere practic. Se vor prezenta atât resursele hardware cât și cele software ale dispozitivului, dar și modul de interconectare al acestora.

EasyEat este un dispozitiv ce ajută la stabilizarea tacâmurilor, el fiind de dimensiuni medii lucru ce face ca portabilitatea sa să fie limitată.

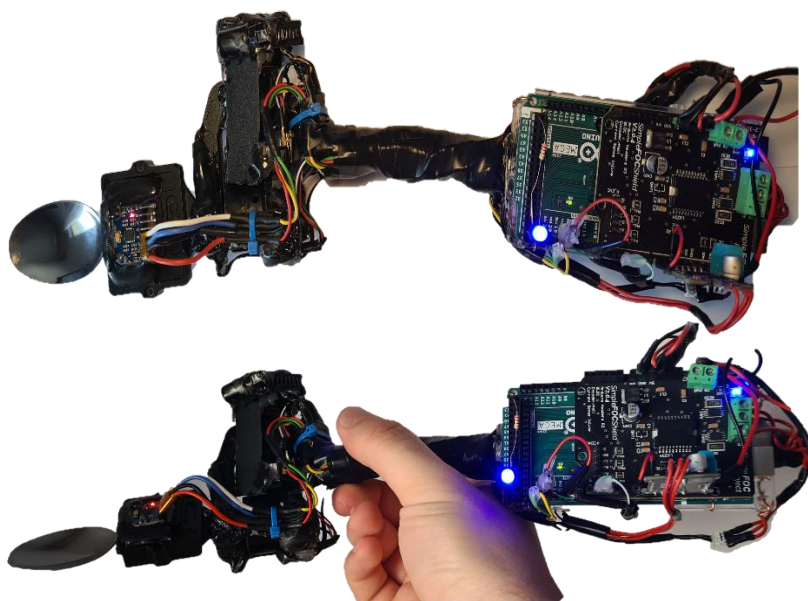


Figura 4.1: Dispozitivul EasyEat

### 4.1 Resurse hardware

#### Arduino MEGA Rev3

Pentru a implementa dispozitivul anti-tremurat, am ales să folosesc sistemul cu microcontroler Arduino MEGA Rev3, deoarece este o placa de dezvoltare de dimensiuni mici și accesibilă. El are un preț redus și asigură performanța necesară realizării proiectului.

Arduino este o platformă de prototipare electronică open-source înființată în anul 2005. Ea a fost creată cu scopul de a fi o platformă accesibilă și ușor de utilizat. Datorită arhitecturii sale modulare și a numărului mare de biblioteci, a devenit populară în comunitatea DIY, permițând crearea de proiecte complexe la un cost mic.

Arduino MEGA R3 (sau REV3) este unul dintre cele mai utilizate modele de microcontrolere oferite de Arduino, el regăsindu-se pe scară largă în proiecte de robotică, IoT și automatizare. El este dispozitivul utilizat în proiectul de față. Arduino MEGA este

bazat pe microcontrolerul pe 8 biți ATmega2560 din familia AVR de la Atmel și rulează la o frecvență de clock de 16MHz. Deține 54 pini de intrare/ieșire ( 15 din aceștia putând fi utilizați ca ieșiri PWM ), 16 intrări analogice, un oscillator de quartz ce rulează la 16 MHz și interfețe USB și I2C. De asemenea, el pune la dispoziție 256 KB de memorie flash ( 8 KB fiind destinați pentru bootloader), 8 KB de SRAM și 4 KB de EEPROM. Memoria flash este utilizată pentru stocarea programului ( codului sursă ) încărcat pe placă, SRAM-ul este destinat stocării variabilelor și a altor date temporare generate în timpul execuției și EEPROM-ul este utilizat cu scopul de a păstra date chiar și după ce placa a fost deconectată de la sursă sau a fost resetată. Pe lângă pinii obișnuiți de I/O, placa de dezvoltare mai pune la dispoziție și 6 pini pentru întreruperile de tip hardware.

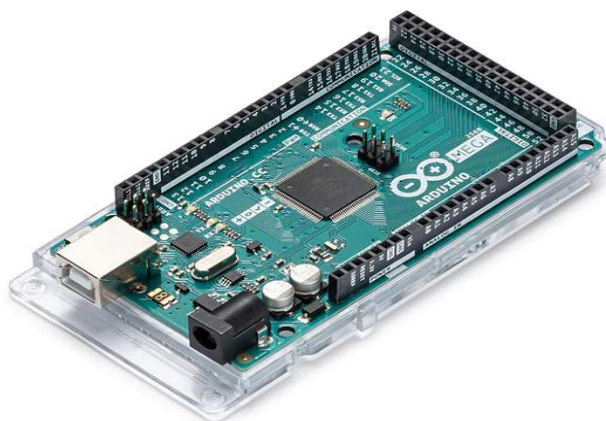


Figura 4.2: Arduino MEGA [7]

### MPU6050

Este un circuit integrat ce combină un giroscop cu 3 axe și un accelerometru pe 3 axe formând un MPU ( Unitate de Procesare a Mișcării ). Este utilizat în diverse aplicații precum drone, senzori de mișcare și roboți.

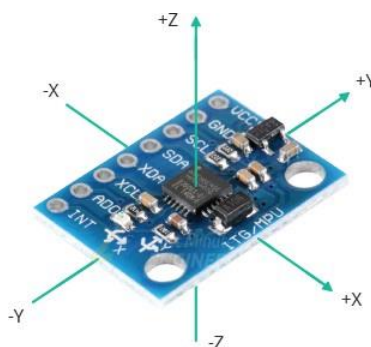


Figura 4.3: Senzor MPU6050 [8]

Dispozitivul utilizează tehnologie microelectromecanică (MEMS) pentru a măsura viteza unghiulară și accelerația pe cele trei axe. Giroscopul detectează schimbările în mișcarea de rotație ( Roll – rotire în jurul axei Ox, Pitch – rotire în jurul axei Oy și Yaw – rotire în jurul axei Oz) pe când accelerometrul măsoară accelerarea liniară pe orice

direcție. Combinând datele de la acești senzori, el oferă informații despre orientarea și mișcarea dispozitivului.

El este construit pentru a comunica prin interfața I2C, permițându-i conectarea cu un microcontroler. Conține un procesor de semnal digital (DSP) destinat procesării datelor primite de la giroscop și accelerometru și regulatoare și stabilizatoare de tensiune ( în mod normal el alimentându-se al 3,3V ). Pe lângă senzorii utilizați în detectarea poziției și a orientării, el mai conține și un senzor de temperatură destinat măsurării de temperaturi din intervalul  $-40 \rightarrow 85$  °C cu o precizie de  $\pm 1$  °C.

Pentru lucrul cu acest senzor, am utilizat biblioteca MPU6050\_light dedicată Arduino.

### **Motoare BLDC DYS GM2210**

Pentru dispozitivul dezvoltat precizia și finețea în mișcare reprezintă un factor important.



*Figura 4.4: Motor DYS GM2210 [9]*

Din cauza acestor factori, am ales să utilizez motoare fără perii ( brushless ). Acestea reprezintă o variantă modernă de motoare electrice ce oferă o serie de avantaje față de celelalte tipuri de motoare convenționale (cu perii de exemplu). Conform [10] printre avantajele motoarelor BLDC se numără:

- Eficiența ridicată: datorată faptului că a fost eliminată frecarea generată de perii și că nu produc scântei electrice ce ar putea afecta motorul
- Durabilitatea ridicată: nu necesită înlocuirea periilor sau curățarea contactelor
- Performanță mai bună la viteze mari
- Control precis al poziției
- Dimensiuni și greutate redusă

Dar totodată, utilizarea acestor motoare necesită și drivere mai performante și mai complexe .

În cadrul proiectului am utilizat două motoare BLDC DYS 2210, specificațiile acestora asigurând funcționarea corectă a dispozitivului. Acestea au 14 poli, o greutate de 44,2 g și cuplu maxim de 3800 g.

Motoarele BLDC sunt tot mai folosite în zilele noastre, piața acestora valorând în zilele noastre, conform [18], aproximativ 15 miliarde de dolari.

Aceste motoare sunt alcătuite din două părți: rotor și stator. În funcție de poziția rotorului ele se diferențiază în *outrunner* (cele folosite în acest dispozitiv) și *inrunner*..

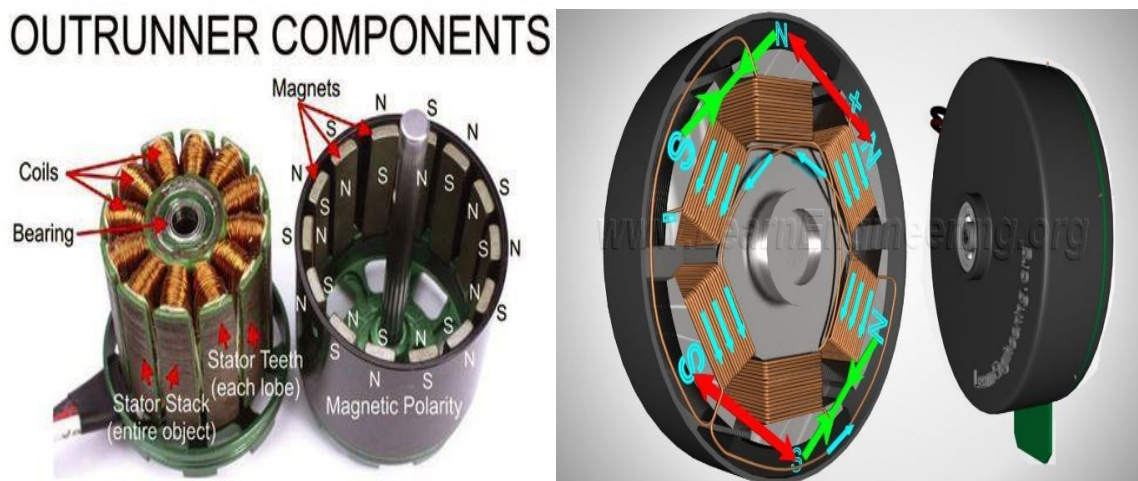


Figura 4.13 Componentele unui motor BLDC [18] și principiul de funcționare [19]

Rotorul unui astfel de motor conține magneți permanenți iar statorul conține bobinele bobinele ce vor genera câmpul magnetic necesar rotirii acestor motoare. Rotorul acestui motor încearcă să se alinieze câmpului magnetic creat de bobinele statorului iar când acesta se apropie de poziția potrivită, câmpul magnetic este rotit cu un pas înainte astfel rotorul va „fugi” după câmpul magnetic aflat în continuă mișcare.

Pentru a stabili ce bobină și timpul la care se va energiza, un motor BLDC are nevoie de controler electronic, un sensor care să determine poziția rotorului. Cu datele obținute de la sensor controlerul decide ce bobină o să fie energizată .

Controlerul electronic poate avea diferite variante și tehnici de control bazate pe cerințele motorului. O aplicație comună în zilele noastre pentru aceste motoare sunt dronele. În acest caz controlerul electronic este unul de tip *ESC* – electronic speed controller, el fiind capabil să controleze viteza și direcția unui asemenea motor. O altă întrebuințare a acestor motoare sunt gimbal-urile și dispozitivele de control al camerelor în industria video. De obicei, în aceste tipuri de aplicații se folosește un controler special ce implementează o tehnică avansată de control denumită *control vectorial al câmpului magnetic* (Field-Oriented Control – FOC).

### SimpleFOC driver

Pentru comanda motoarelor am folosit drivere de tip open-source SimpleFOCShield v2.0.4 și varianta miniaturizată SimpleFOCMINI v1.0. Aceste drivere împreună cu biblioteca Arduino dedicată *SimpleFOC* controlează un motor de tip BLDC după un algoritm de tip FOC ( Field Oriented Control ). Controlul motorului pe baza acestui algoritm asigurând o precizie ridicată în poziționare, operare foarte lină și un comportament foarte receptiv și dinamic.



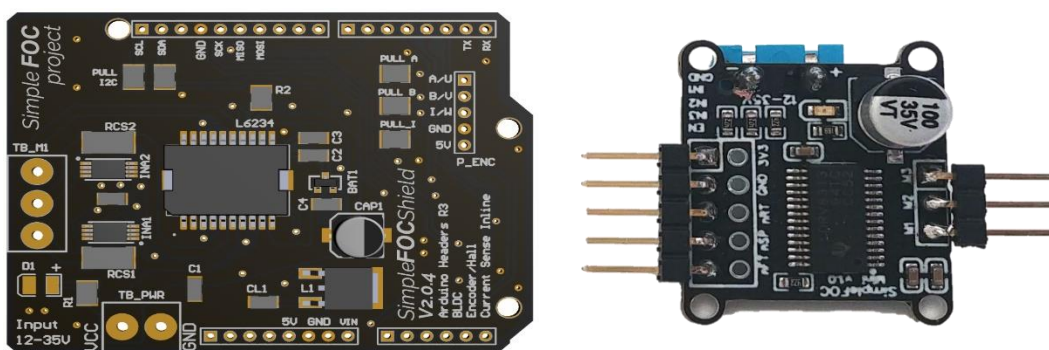


Figura 4.5: SimpleFOCShield și SimpleFOCMini [10]

Driverul SimpleFOCShield include un regulator și un stabilizator de tensiune la 8V lucru ce permite alimentarea plăcii Arduino Mega de la sursa de tensiune de 12 V.

### ENCODER CUI AMT 103

Este un encoder incremental modular, cu ajutorul căruia se poate monitoriza mișcarea, poziția sau viteza unui obiect sau a unei părți a unui sistem. Acesta generează semnale electrice (digitale) care indică schimbările de poziție sau mișcare în timp real. Ei sunt utilizați într-o varietate largă de aplicații, cum ar fi roboții industriali, CNC (Computer Numerical Control), imprimante 3D etc. Există mai multe tipuri de encodere: *encoderele optice* ce folosesc un fascicul de lumină și un senzor pentru a converti mișcarea în semnale electrice; *encoderele magnetice* ce utilizează câmpuri magnetice pentru a detecta și a măsura mișcarea. Dar cele două tipuri prezintă o serie de dezavantaje: sensibilitatea la praf, la vibrații și șocuri (cele optice), rezoluție și acuratețe limitată și sensibilitate la temperatură (cele magnetice).



Figura 4.6: Encoder rotativ CUI AMT 103 [13]

Acest tip de encoder folosește o tehnologie, relativ nouă în piața industrială, codificarea capacitivă (patentată de către CUI Devices). Ea combină avantajele celor două tipuri de encodere descrise anterior, asigurând și un consum de curent mai mic, acest lucru fiind benefic în special în aplicațiile în care energia este asigurată printr-o baterie [13]. Un alt beneficiu al acestei tehnologii este faptul că rezoluția este programabilă.

Encoderul capacitiv, conform [14], este alcătuit din trei componente principale: rotorul, un transmițător staționar și un receptor staționar. Rotorul este gravat cu după un model sinusoidal și în funcție de viteza de rotire, semnalul de înaltă frecvență emis de transmițător este modulat într-un mod predictibil. Receptorul detectează schimbările în

capacitivitate-reactanță și folosind un algoritm de demodulație, le transpune în incremente de rotație.

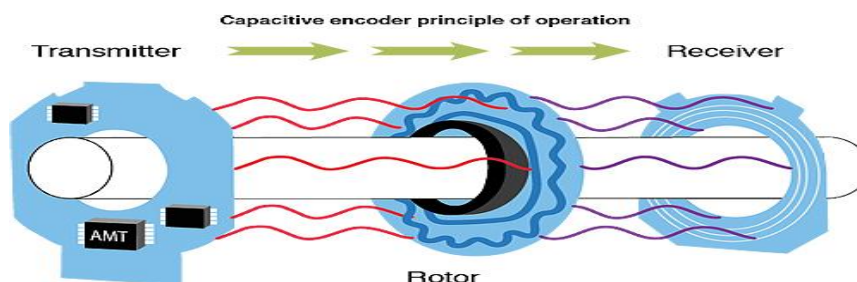


Figura 4.7: Mod de funcționare encoder capacitiv [13]

## Led

Pentru procesul de inițializare al senzorilor și motoarelor, am folosit un led pentru a marca finalul acestui proces.

## 4.2 Conectarea componentelor

Pentru implementarea dispozitivului de stabilizare, componenta principală este reprezentată de către microcontrolerul Arduino Mega 2560 Rev3. La acest microcontroler fiind conectate mai multe componente: senzorul IMU, două encodere, două drivere FOC de control pentru cele două motoare dar și un led.

Acest microcontroler are următoarea configurație a pinilor:

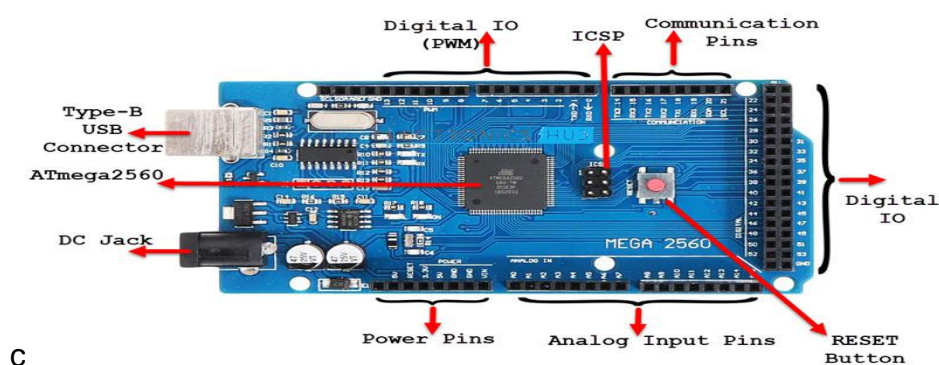
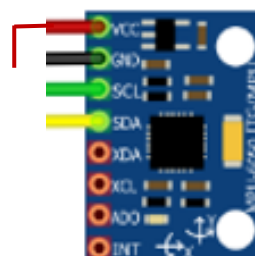


Figura 4.8: Configurație pini Arduino Mega [15]

Senzorul MPU6050 utilizează 4 pini ai microcontrolerului: alimentare 3.3V și GND, și se conectează la unul din cele 2 grupuri destinate comunicației I<sup>2</sup>C, în cazul de față pinul 20 SDA și pinul 21 SCL. Pinul SDA asigură transmiterea datelor în mod serial, iar pinul SCL sincronizează comunicația dintre cele două dispozitive



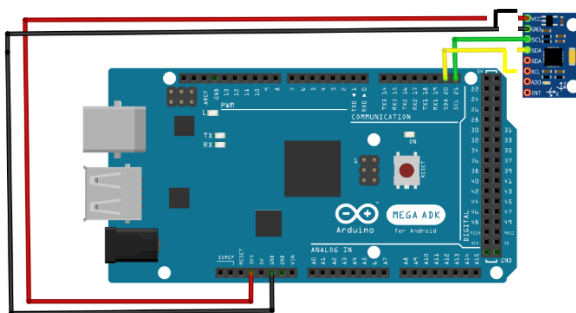


Figura 4.9: Schema de conectare a senzorului MPU6050 la Arduino Mega

Encoderile *AMT103-V* utilizează împreună 6 pini: alimentare 5V și GND, encoderul destinat motorului corespunzător axei Oy folosește pinii digitali 2 și 3, iar cel de al doilea se folosește de pini de comunicație 18 și 19. Pini 2, 3, 18 și 19 au o caracteristică necesară lucrului cu aceste encoderile, ei sunt destinați lucrului cu întreruperi externe. Întreruperile externe asigură gestionarea evenimentelor externe în timp real dar și economisirea timpului de procesare, acesta putând executa codul principal fără să mai verifice starea unor evenimente.

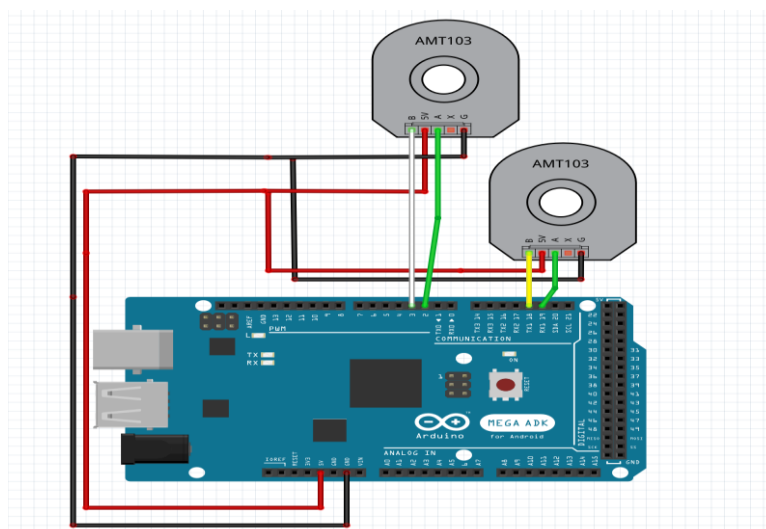


Figura 4.9: Schema de conectare a encoderilor AMT la Arduino Mega

Cele două drivere FOC ocupă 12 pini dintre care: 6 pini PWM (pulse width modulation), 4 pini digitali și 2 pini de alimentare. Primul shield, *SimpleFOCShield v2.0.4* ocupă 5 pini digitali PWM: 4, 5, 6, 8 și 9 dar capacitatea de modulare a lății semnalului este folosită doar de pinii 5, 6 și 9, pinul 8 fiind utilizat cu rol de enable iar pinul 4 fiind setat pe 0 (LOW). Pe lângă acești pini, acest driver ocupă și pinul de Vin și un pin de masă (prin care se realizează alimentarea microcontrolerului). Cel de al doilea driver, *SimpleFOCMini*, este de o dimensiune mai mică lucru ce se reflectă și în numărul scăzut de pini digitali: 3 dintre aceștia fiind utilizați ca PWM (10,11,12) iar pinul 7 având rolul de enable și pinul 13 fiind setat pe 0. Acestea sunt alimentate de la o sursă de 12V, iar



legătura cu motoarele BLDC se face prin intermediul celor 3 ieșiri, L1, L2 și L3 corespunzătoare celor trei faze ale motorului.

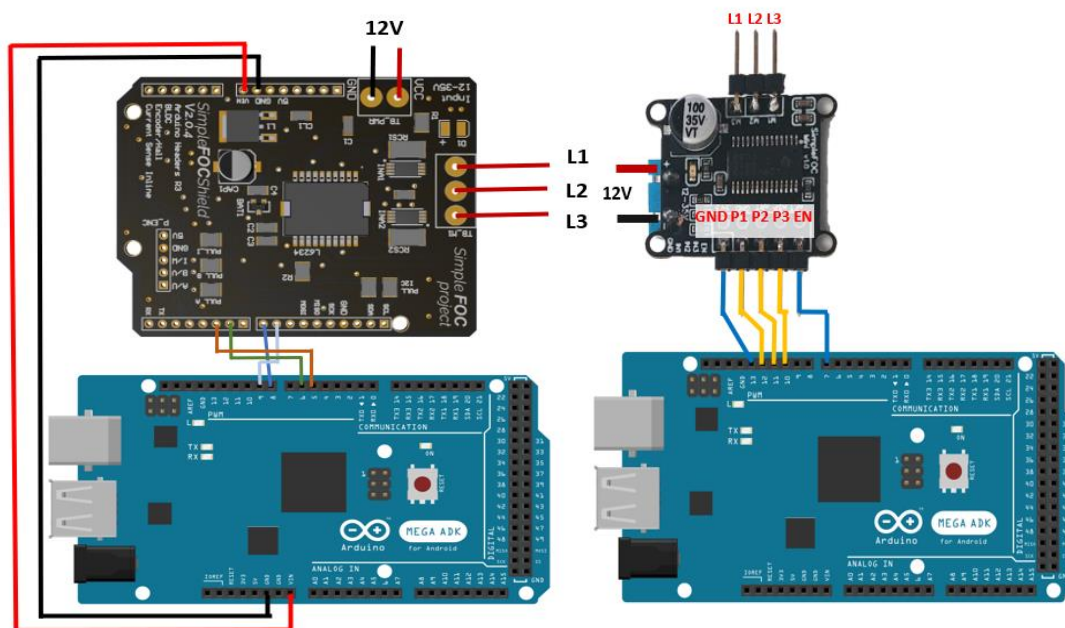


Figura 4.10 Schema conectării driverelor FOC și a motoarelor BLDC

### 4.3 Software embedded

Pentru programarea microcontrolerului Arduino Mega am utilizat un subset al libajului C++, denumit *Arduino programming language*. În cadrul acestui proiect am utilizat diferite biblioteci, cele mai importante fiind:

- MPU6050\_light : este o bibliotecă Arduino destinată comunicației cu un senzor de tip MPU6050. Aduce rezultatele măsurătorilor priviind : accelerația, giroscopice și temperatura. Unghiurile inițiale ale dispozitivului sunt calculate din datele brute obținute iar unghiurile de înclinare sunt calculate cu ajutorul unui filtru complementar dintre datele giroscopice și acelerometrice, obținând o acuratețe bună a estimării.
- SimpleFOC : etse o bibliotecă open-source pentru prima dată apărută în 2019, ea fiind îmbunătățită și actualizată constant. Ea este destinată controlului precis al motoarelor în buclă închisă, utilizând senzori de poziție. O parte din caracteristicile ei sunt: controlul flexibil al motoarelor folosind diverse metode ( controlul PID, controlul cu câmp magnetic virtual), suportul pentru diferite tipuri de motoare (brushless, motoare liniare, pas cu pas,etc.)

Codul a fost editat și compilat utilizând mediul de dezvoltare Arduino IDE 2.0

#### Obținerea datelor de la MPU6050

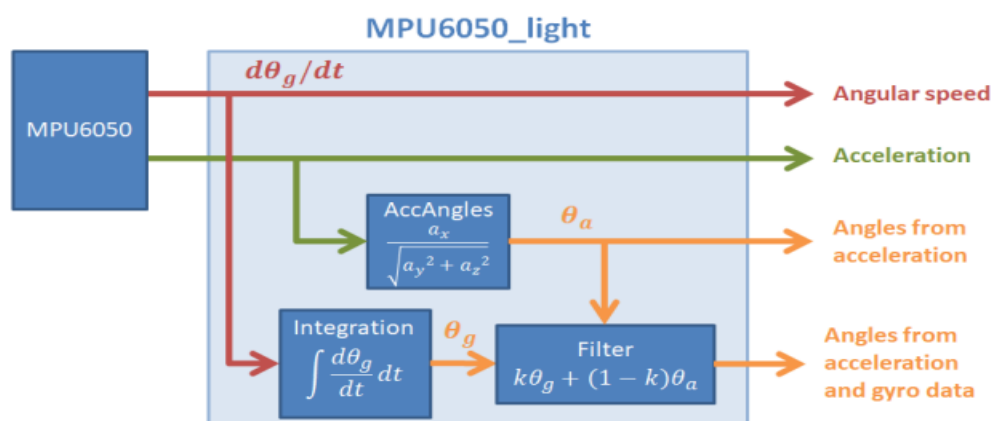
Conexiunea și inițializarea senzorului IMU este realizată astfel:

```
Wire.begin();
byte status = mpu.begin();
```

```
while(status!=0){ } // stop everything if could not connect to MPU6050
Serial.println(F("Calculating offsets, do not move MPU6050"));
delay(1000);
mpu.calcOffsets(true,true); // gyroscope and accelero
Serial.println("Done!\n");
```

Senzorul IMU furnizează trei viteze unghiulare și trei accelerații liniare corespunzătoare axelor sistemului cartezian Ox, Oy și Oz. El este de tip capacitiv, folosind variațiile capacității electrice dintre două plane de metal paralele datorate mișcării.

Biblioteca MPU6050\_light pune la dispoziție, pe lângă valorile referitoare la accelerație și viteză unghiulară, și două moduri de obținere a unghiurilor: folosind datele accelerometrice sau prin combinarea rezultatelor obținute din datele giroscopice cu cele accelerometrice printr-un filtru complementar.



Figură 4.11 Prezentare generală a datelor accesibile prin biblioteca MPU6050\_light [16]

Unghiul de înclinare, spre exemplu în raport cu axa Ox, este obținut prin integrarea datelor giroscopice  $\dot{\theta}_x$  pe un interval scurt de tip  $\delta t$  astfel:

$$\theta_x(t + \delta t) \approx \theta_x(t) + \dot{\theta}_x \cdot \delta t \quad (1)$$

Unghiurile de înclinare pe Ox și Oy pot fi obținute și din măsurătorile accelerațiilor conform următoarelor formule:

$$\tan(\phi_x) = \text{sgn}(a_z) \frac{a_y}{\sqrt{a_x^2 + a_z^2}} \quad (2)$$

$$\tan(\phi_y) = \frac{a_x}{\sqrt{a_y^2 + a_z^2}} \quad (3)$$

Valorile obținute prin intermediul accelerometrului sunt relevante și au o precizie cât mai bună în cazul mișcărilor lente (o frecvență mică) iar cele calculate cu ajutorul giroscopului prezintă precizie în cazul mișcărilor cu o viteză mărită.

Dar cele două tehnici prezintă și o serie de dezavantaje descrise în continuare. Pe de o parte, unghiul obținut din valorile accelerometrice este predispus la erori datorită

imperfecțiunilor senzorului sau a unei mici erori de calibrare (eroare de offset) dar și erori cauzate de o accelerație neuniformă (mișcări bruște, vibrații). Pe cealaltă parte unghiul obținut prin măsurarea și integrarea valorilor accelerației unghiulare este susceptibilă la erori datorate fluctuațiilor de temperatură, derivei (viteza unghiulară înregistrată se schimbă în timp, chiar dacă în realitate nu există o mișcare a senzorului).

Aceste date sunt combinate utilizând un filtru complementar obținând cea mai bună precizie de estimare a unghiului de înclinare. Datorită mișcărilor neliniare și a vibrațiilor asociate tremurăturii, am ales unghiul final să fie obținut din contopirea rezultatelor, giroscopul având o pondere de 90% din rezultatul final.

După ce am inițializat motoarele, inițializăm senzorul IMU prin stabilirea punctului la care se dorește stabilizarea dispozitivului în felul următor:

```
int c=50;
while(c > 0){
    c--;
    mpu.update();
    Input_roll = mpu.getAngleX();
    Input_pitch = mpu.getAngleY();
    delay(20);
}
Setpoint_roll = Input_roll;
Setpoint_pitch = Input_pitch;
```

Apelăm de 50 de ori senzorul pentru a obține un unghi precis, datorită integrării accelerației unghiulare și salvăm rezultatele obținute.

În urma configurării și inițializării IMU am obținut conform graficelor de mai jos oscilații pentru măsurarea unghiului roll ( $\pm 0.04$  grade) și pitch ( $\pm 0.03$  grade)

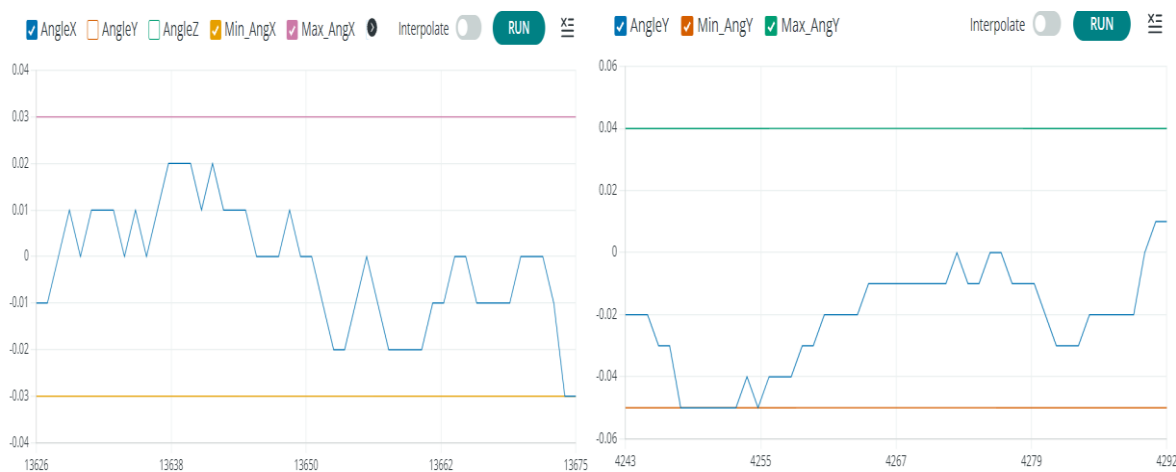


Figura 4.12 Oscilații unghi Roll și Pitch

### Inițializarea și obținerea datelor necesare de la encodere 1pg

Pentru lucrul cu senzorii de poziție, în cadrul proiectului s-a folosit bibliotecă SimpleFOC. Ea definește clasa ce modelează acest tip de encoder și inițializarea celor două encodere este descrisă în porțiunea de cod de mai jos:

```
Encoder encoder = Encoder(18, 19, 2048);  
Encoder encoder2 = Encoder(2, 3, 2048);
```

Primul sensor, *encoder*, este destinat monitorizării primului motor (motorul corespunzător compensării pe axa Ox) iar cel de al doilea motorului ce manevrează brațul (stabilizarea pe axa Oy). Pentru inițializarea unui encoder avem nevoie de 2 pini ce suportă întreruperile hardware externe (în cazul nostru fiind rămași nealocați doar pinii 2, 3, 28 și 19) corespunzătoare celor două canale A și B ale senzorului, ele înregistrând apariția și direcția mișcării.

Prin aceste 2 semnale, conform [17], se pot obține 4 stări posibile:

- *Înainte*: semnalul de pe canalul A este recepționat înaintea semnalului de pe canalul B ( rotație în sensul acelor de ceasornic). O astfel de secvență este următoarea: A=0, B=0, A=1, B=0, A=1, B=1, A=0, B=1, A=0, B=0.
- *Înapoi*: semnalul de pe canalul B este recepționat înaintea semnalului de pe canalul A (sens contrar acelor de ceasornic).
- *Salt*: ambele semnale sunt active simultan, fapt ce indică o stare fixă sau foarte lentă.
- *Erori*: atunci când secvența semnalelor A și B este incorectă sau există erori în semnale.

Cel de al treilea parametru reprezintă numărul de impulsuri per rotație (PPR). Encoderele pot să lucreze în modul *Quadrature*, mod în care PPR este cvadruplat prin detectarea fiecărei modificări a semnalelor A și B, dar în cazul unei valori PPR mari, modul *Quadrature* devine prea complex pentru capabilitățile unei platforme de dezvoltare de tip Arduino.

Pe lângă inițializarea celor două encodere, este nevoie și de definirea a două funcții ce vor implementa rutinile de tratare ale canalelor:

```
encoder.init();  
encoder.enableInterrupts(doA, doB);  
encoder2.init();  
encoder2.enableInterrupts(doA2, doB2);  
// interrupt routine intialisation  
void doA(){encoder.handleA();}  
void doB(){encoder.handleB();}  
void doA2(){encoder2.handleA();}  
void doB2(){encoder2.handleB();}
```

Biblioteca SimpleFOC mai pune la dispoziție și două funcții pentru lucrul în timp real cu acești senzori: *getVelocity()* – returnează viteza exprimată în radiani/secundă; *getAngle()* – returnează unghiul (radiani) la care se află motorul față de poziția inițială.

## Control cu L298N 1-2 pg

Ca primă încercare de control al unui motor BLDC și pentru exemplificare am abordat crearea unui control de tip ESC utilizând un driver L298N. Cu ajutorul acestui driver puteam comanda care din cele trei bobine să o energizez și astfel să creez un câmp magnetic rotativ.

În codul de mai jos este realizată rotirea unui motor BLDC la o viteză de aproximativ 12.5 rad/s în direcția setată.

```
int speed = 7;
void loop(){
    if(direction == 1 ){
        digitalWrite(phase1, HIGH); delay(speed);
        digitalWrite(phase3, LOW); delay(speed);
        digitalWrite(phase2, HIGH); delay(speed);
        digitalWrite(phase1, LOW); delay(speed);
        digitalWrite(phase3, HIGH); delay(speed);
        digitalWrite(phase2, LOW); delay(speed);
    }
    else{
        digitalWrite(phase2, HIGH); delay(speed);
        digitalWrite(phase3, LOW); delay(speed);
        digitalWrite(phase1, HIGH); delay(speed);
        digitalWrite(phase2, LOW); delay(speed);
        digitalWrite(phase3, HIGH); delay(speed);
        digitalWrite(phase1, LOW); delay(speed);
    }
}
```

Codul descris mai sus utilizează metoda celor „6 pași de comunicare” în care o bobină este încărcată pozitiv cu rolul de a atrage spre ea rotorul iar cea de dinaintea ei este încărcată negativ pentru a „împinge” rotorul spre următoarea bobină, între acestea fiind setată o întârziere pentru a permite rotorului să ajungă în apropierea bobine.

Folosind aceeași configurație hardware, am realizat și o funcție ce permite mutarea motorului BLDC pas cu pas, 14 pași fiind maximul pe care l-am atins fără utilizarea controlului PWM. Aceasta este descrisă în următorul paragraf:

```
void rotateMotor(){
    contor=contor+1;
    if(direction == 1){
        if(contor % 2 == 0){
            digitalWrite(phase1, HIGH); delay(speed);
            digitalWrite(phase3, LOW); delay(speed);
            digitalWrite(phase2, HIGH); delay(speed);
        }
        else{
            digitalWrite(phase1, LOW); delay(speed);
            digitalWrite(phase3, HIGH); delay(speed);
            digitalWrite(phase2, LOW); delay(speed);
        }
    }
}
```

```
else{  
    if(contor%2==0){  
  
        digitalWrite(phase1, LOW); delay(speed);  
        digitalWrite(phase2, HIGH); delay(speed);  
        digitalWrite(phase3, LOW); delay(speed);  
    }  
    else{  
        digitalWrite(phase1, HIGH); delay(speed);  
        digitalWrite(phase2, LOW); delay(speed);  
        digitalWrite(phase3, HIGH); delay(speed);  
    }  
}
```

Datorită numărului mic de pași, 14, dispozitivul reacționează doar la o înclinare mai mare sau egală de 25,7 grade față de poziția inițială. Acest număr mic de pași este inefficient pentru cerințele dispozitivului, fapt ce a condus la optarea unei metode de control de tip FOC și al unui hardware ce permite implementarea sa.

### **Principiul de functionare al algoritmului FOC 2-3 pg**







**Control cu SimpleFOCShield 1-2 pg**



**Cod aflare PP motor  $\frac{1}{2}$  pg**

**Controlul unghiului&vitezei motoarelor utilizând regulatoare de tip PID 3/4 pg**





### **Algoritmul de compensare al tremuraturii 3 pg**







## **5. TESTAREA SISTEMULUI**

**1-2 pg**





## 6. CONCLUZII

1 pg.





## BIBLIOGRAFIE

- [1] Song, P., Zhang, Y., Zha, M., Yang, Q., Ye, X., Yi, Q., & Rudan, I. (2021). „The global prevalence of essential tremor, with emphasis on age and sex: A meta-analysis. *Journal of global health*”, 11, 04028.  
<https://doi.org/10.7189/jogh.11.04028>
- [2] Rosca, E. C., Tudor, R., Cornea, A., & Simu, M. (2021). Parkinson's Disease in Romania: A Scoping Review. *Brain sciences*, 11(6), 709. -  
<https://doi.org/10.3390/brainsci11060709>
- [3] I. Sommerville, „ Software Engineering,” England: Addison-Wesley, vol. 9th ed. Harlow, 2010.
- [4] „ Medical News Today- 5 of the best Parkinson’s spoons ” 6 Martie 2023 [Interactiv]. Available:  
<https://www.medicalnewstoday.com/articles/parkinsons-spoons> .
- [5] „Gyenno Spoon” 6 Martie 2023 [ Intercativ ] . Available  
<https://www.gyenno.com/spoon-en> .
- [6] „Lifeware Steady Starter Kit ” 7 Martie 2023 [ Interactiv ]. Available:  
<https://store.liftware.com/products/lifeware-starter-kit> .
- [7] „Arduino MEGA Rev3” 13 Martie 2023 [ Interactiv ]. Available:  
<https://store.arduino.cc/products/arduino-mega-2560-rev3>
- [8] „MPU6050 Accel-Gyro Arduino Tutorial” 13 Martie 2023 [ Interactiv ]. Available:  
<https://lastminuteengineers.com/mpu6050-accel-gyro-arduino-tutorial/>
- [9] „GM2210 Gimbal Motor” 15 Martie 2023 [ Interactiv ]. Available:  
<http://www.dys.hk/product/GM2210.html>
- [10] Yedamale, Padmaraja. "Brushless DC (BLDC) motor fundamentals." *Microchip Technology Inc* 20.1 (2003): 3-15.
- [11] „SimpleFOC Shiled” 18 Martie 2023 [ Interactiv ]. Available:  
[https://simplefoc.com/simplefoc\\_shield\\_product\\_v2](https://simplefoc.com/simplefoc_shield_product_v2)
- [12] „AMT 103-V”, 25 Martie 2023 [Interactiv]. Available:  
<https://www.cuidevices.com/product/motion-and-control/rotary-encoders/incremental/modular/amt103-v>
- [13] „ What are capacitive encoders and where are they suitable?”, 26 Martie 2023 [Interactiv]. Available: <https://www.motioncontroltips.com/faq-what-are-capacitive-encoders-and-where-are-they-suitable/>
- [14] „Capacitive, magnetic and optical encoders coparing the technologies”, 28 Martie 2023 [Interactiv], Available: <https://www.cuidevices.com/blog/capacitive-magnetic-and-optical-encoders-comparing-the-technologies>
- [15] „Arduino Mega Board Layout”, 18 Aprilie 2023 [Interactiv], Available:  
<https://www.electronicshub.org/wp-content/uploads/2021/01/Arduino-Mega-Board-Layout.jpg>



- [16] Romain JL Fetick , „MPU6050\_light library documentation”, Ianuarie 2021
- [17] „Encoder setup”, 24 Aprilie 2023 [Interactiv], Available:  
<https://docs.simplefoc.com/encoder>
- [18] Deepak, M & Arul david, Ranjeev & Verma, Rajesh & Sathyasekar, K. & Barnawi, Abdulwasa & Bharatiraja, C. & MIHET-POPA, Lucian. (2022). A Review of BLDC Motor: State of Art, Advanced Control Techniques, and Applications.
- [19] „Brushless DC motors” 25 Aprilie 2023 [Interactiv], Available:  
<https://www.lesics.com/brushless-dc-motor.html>

Ultima pagină a lucrării de licență/diplomă/disertație trebuie să conțină „Declarația de originalitate a lucrării de finalizare a studiilor”, completată olograf, în conformitate cu cerințele UPT. Declarația se descarcă de pe adresa de web:

[DECLARAȚIE DE AUTENTICITATE A \(upt.ro\)](http://upt.ro)