

# **SISTEM PENTRU STUDIUL RENTABILITAȚII IMPLEMENTARII METODELOR DE EFICIENTIZARE A PRODUCȚIEI DE ENERGIE ÎN SISTEMELE FOTOVOLTAICE**

**Candidat: Arnăutu Dumitru-Florin**

**Coordonator științific: Conf.dr.ing. Adrian Korodi**

**Sesiunea: Septembrie 2023**

Internal

# CUPRINS

## Table of Contents

CUPRINS.....	2
<b>1 Introducere .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1 Contextul actual.....</b>	<b>3</b>
<b>2 Considerații teoretice și practice .....</b>	<b>6</b>
<b>2.1 Echipamente hardware .....</b>	<b>6</b>
2.1.1 Placa de dezvoltare ESP32.....	6
2.1.2 Clona a plăcii de dezvoltare Arduino Mega2560.....	7
2.1.3 Senzorii de temperatură BMP280 și AHT21 .....	8
2.1.4 Senzorii pentru măsurarea curentului INA219 .....	9
2.1.5 Punctele H.....	11
2.1.6 Coborâtor de tensiune XL4015.....	12
2.1.7 Modul microSD .....	13
2.1.8 Module de control încărcare solară PWM , RBL-30A .....	13
2.1.9 Panouri solare 20W .....	14
2.1.10 Actuatori liniari .....	15
2.1.11 Modul SENZOR 3 AXE ADXL345.....	16
2.1.13 TRANSLATOR NIVEL LOGIC I2C IIC BIDIRECTIONAL 8 CANALE 3.3V 5V TXS0108E.....	16
<b>2.2 Echipamente software .....</b>	<b>19</b>
2.2.1 Arduino IDE.....	19
2.2.2 GitHub .....	20
2.2.3 Limbajul de programare C++ în Arduino IDE .....	22
2.2.4 I2C .....	24
<b>3 Arhitectura Sistemului .....</b>	<b>26</b>
3.1 Diagrama de stări .....	26
3.2 Schema structurii sistemului .....	27
3.3 Schema structurii sistemului .....	28
<b>4. Codul de la baza proiectului .....</b>	<b>30</b>
<b>5. Rezultatele Obținute.....</b>	<b>37</b>
<b>6. Concluzii și direcții de dezvoltare .....</b>	<b>38</b>
<b>6.1 Concluzii.....</b>	<b>38</b>

<b>6.2 Direcții de dezvoltare</b> .....	39
<b>FIGURI ȘI TABELE</b> .....	40
<b>BIBLIOGRAFIE</b> .....	41

# 1 Introducere

## 1.1 Contextul actual

La momentul de față, în contextul producției de energie verde s-au făcut numeroase studii, rezultatele obținute fiind mult prea influențate de factori particulari.

Un studiu[1] realizat în 2017 pentru a fi prezentat în fața unei comisii ce s-a adunat pentru a discuta despre una din metodele de eficientizare a producției de energie solară prin modificarea poziției panourilor dintr-un parc fotovoltaic a constatat chiar că această metodă este nefezabilă, producția de energie în cadrul parcului fotovoltaic scăzând randamentul anual de la 3.3% la 2.3%.

Randamentul anual se exprimă procentual și reprezintă raportul dintre cantitatea de energie produsă de instalația fotovoltaică și totalul energiei la care este expusă instalația, scăderea randamentului unei instalații mobile se poate atribui chiar utilizării mecanismelor pentru poziționarea panourilor ce la randul lor consumă o parte din energia produsă.

În figura de mai jos se prezintă comparația dintre instalația mobilă și instalația fixă pe durata a 4 luni din cadrul experimentului realizat pe baza căruia s-au întocmit concluziile din cadrul experimentului.

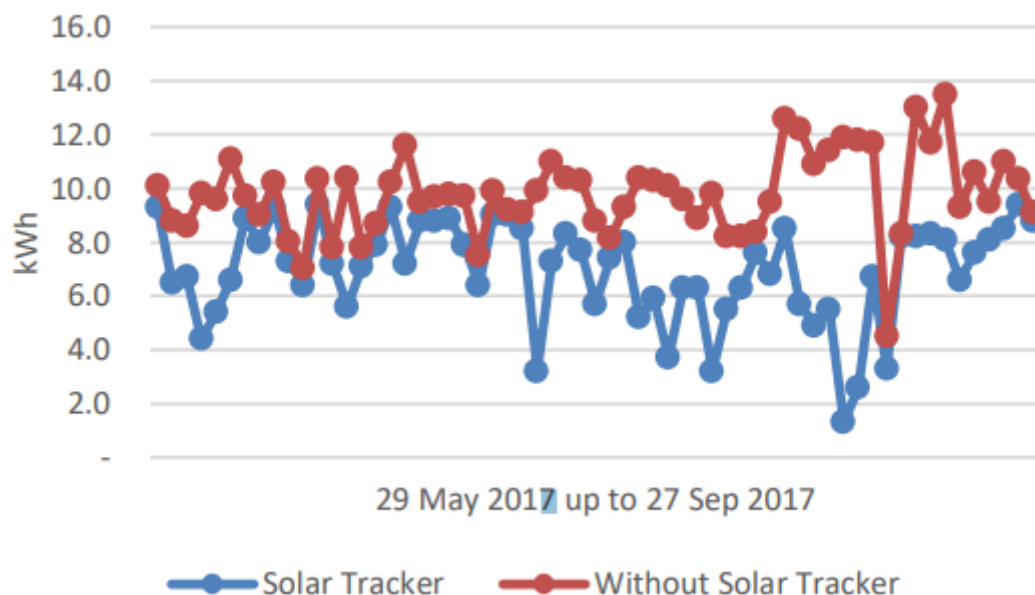
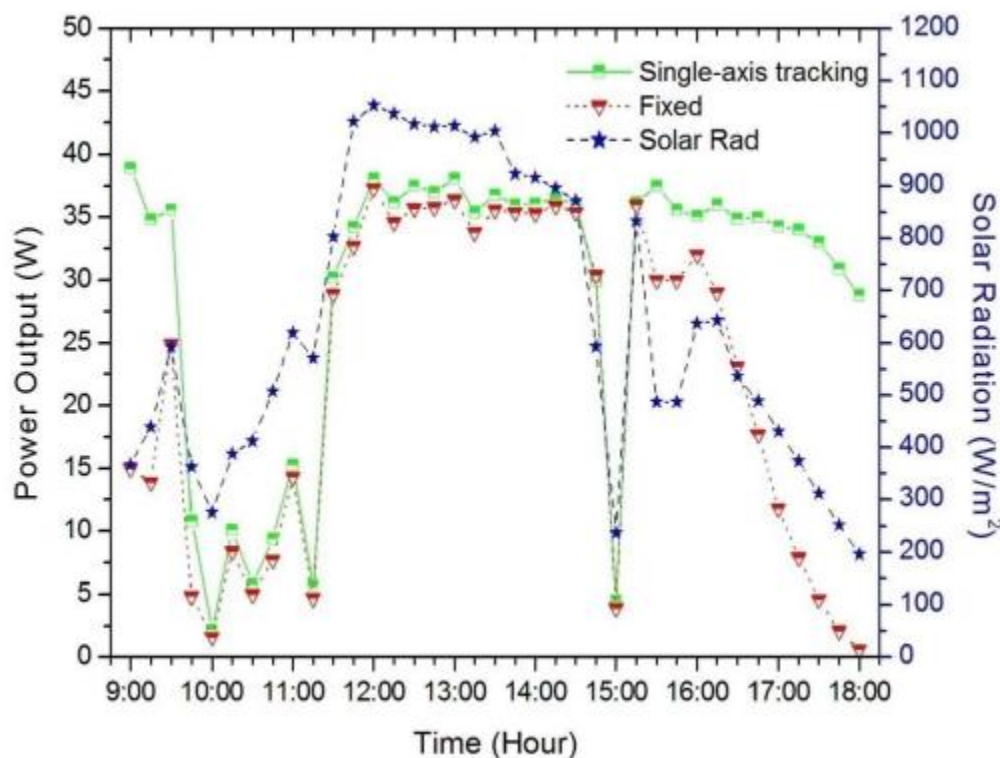


Fig. 1.1-1 Grafic comparație instalație fixă și mobilă

Un alt studiu [2] realizat în coasta de est a Maleziei a venit cu rezultate mai promitatoare, în cadrul acestuia văzându-se clar avantajul montării panourilor solare pe un cadru mobil. În mod normal panourile fixe au o perioadă destul de restrânsă de câteva ore când vor produce maximumul



de energie posibil, atunci când lumina solară produce un unghi cât mai apropiat de 90 de grade față de suprafața panourilor.

În graficul de mai jos se poate observa creșterea eficienței panourilor la începutul zilei și la sfârșitul acesteia la nivelul panourilor montate pe cadru mobil.

Fig. 1.1-2 Grafic de comparație între panouri fixe și mobile

## 1.2 Tema lucrării

Această lucrare de licență are drept scop crearea unui sistem ce poate ajuta la determinarea eficienței și rentabilității instalării diverselor echipamente în instalațiile fotovoltaice pentru a spori eficiența acestora.

În urma cercetării diverselor studii publicate ce nu se limitează doar la cele menționate în contextul acestei lucrări am ajuns la concluzia că dezvoltarea unui sistem, a unui punct de plecare pentru studiul rentabilității multiplelor metode de eficientizare a randamentului instalațiilor fotovoltaice este un proiect ce îmi va pune la încercare aptitudinile, permitându-mi să aplic cunoștințele și abilitățile capătate pe durata celor 3 ani de studiu din facultate.

### **1.3 Structura lucrării**

Lucrare de licență structurată în 6 secțiuni. După introducerea ce prezintă contextul actual și scopul proiectului.

Capitolul 2 prezintă elementele hardware și software folosite în realizarea sistemului.

Capitolul 3 prezintă arhitectura sistemului, modulele atât software și hardware de la nivelul sistemului împreună cu modul de interacțiune de la nivelul acestora .

Capitolul 4 explică implementarea proiectului.

Capitolul 5 arată rezultatele obținute în teste, scenariile de utilizare.

Capitolul 6 prezintă concluziile din cadrul proiectului și direcțiile de dezvoltare .

## 2 Considerații teoretice și practice

### 2.1 Echipamente hardware

#### 2.1.1 Placa de dezvoltare ESP32

Placa de dezvoltare WiFi bazată pe ESP32 [3], un circuit integrat care conține module GPIO, I<sup>2</sup>C, I<sup>2</sup>S, PWM, SDIO, SPI, UART și ADC toate pe o singură placă și facil de utilizat cu sintaxa gen Arduino pentru acces la hardware. În figura 2.1.1-1 se poate observa placa de dezvoltare.

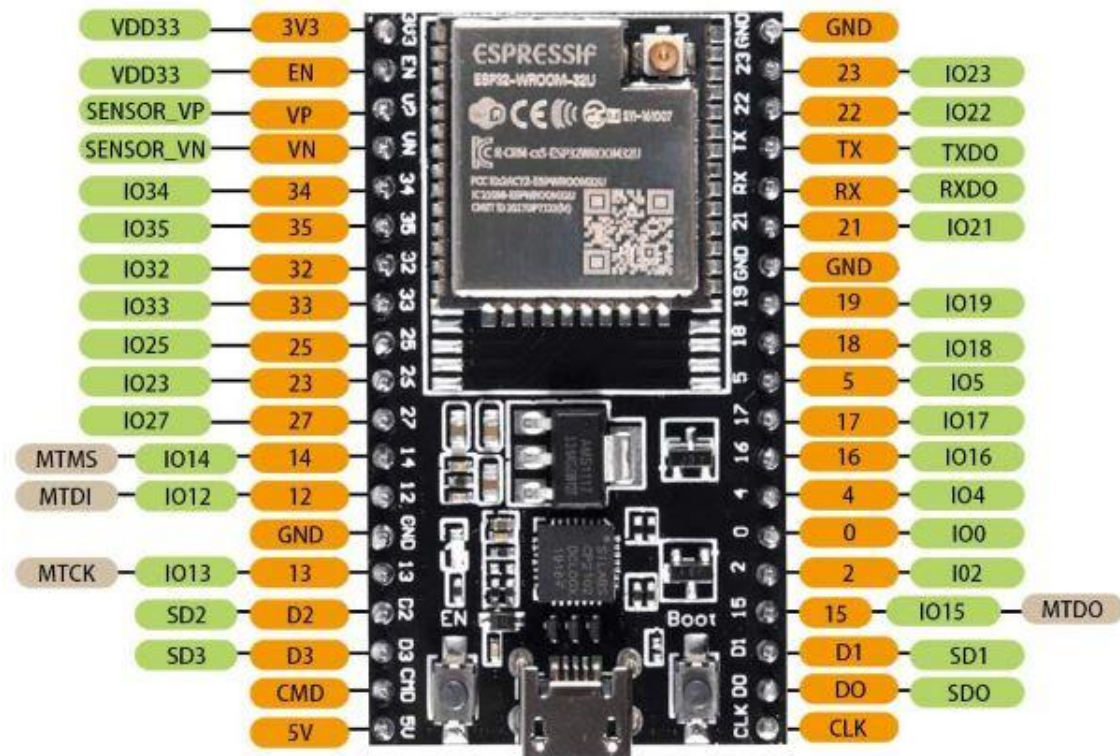


Fig. 2.1.1-1 Pinout-ul microcontroller-ului esp32

#### Caracteristici tehnice:

- Tensiune de alimentare: 3.3V
- Driver: CP2102
- Wi-Fi Direct (P2P), soft-AP , Bluetooth
- Consum current: 10uA – 170 mA
- Memorie flash: 4 MB
- Protocol TCP/IP
- Procesor: dual-core Xtensa® 32-bit LX6

Wireless model: 802.11 b/g/n ( până la 150Mb/s)

### 2.1.2 Clona a plăcii de dezvoltare Arduino Mega2560

Placa de dezvoltare construită după schemele publice ale celebrei plăci ArduinoMega [4], fundația ce se ocupă de dezvoltarea platformei Arduino încurajează crearea și comercializarea plăcilor după propriile scheme, aceștia le fac publice în mod intenționat pentru a spori contribuția utilizatorilor în dezvoltarea viitoarelor modele, în prețul unei plăci originale se regăsește și o “taxă” folosită în dezvoltarea proiectului Arduino, “misiunea” fundației este: “enable anyone to enhance their lives through accessible electronics and digital technologies” (să pună la dispoziție oricui mijloacele electronice necesare pentru a-și îmbunătăți viața).

În figura 2.1.2-1 se poate observa clona plăcii Mega2560.

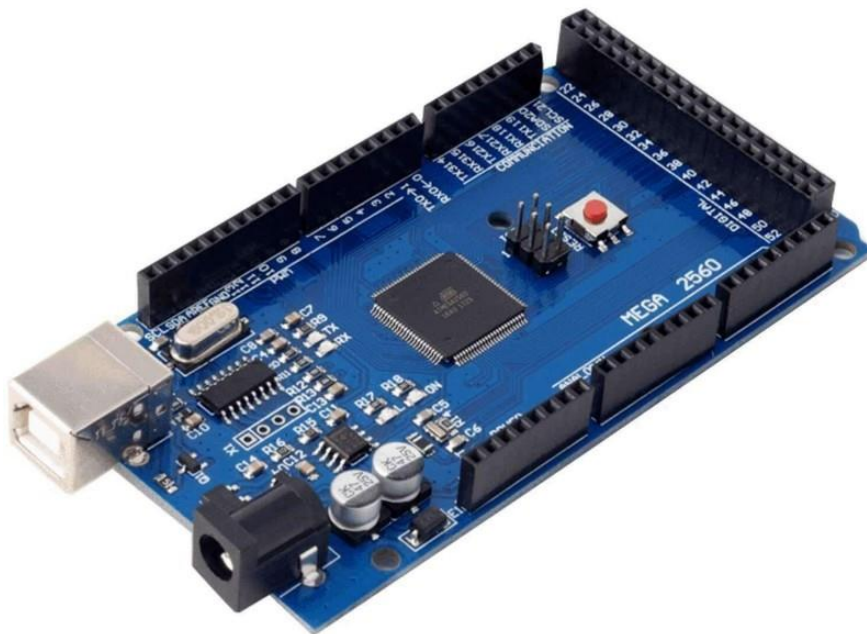


Fig. 2.1.2-1 ATmega2560

- Driver: CH340
- Tensiune de lucru: 5V
- Tensiune de intrare (recomandat): 7-12V
- Pini digitali: 54 (14 PWM output)
- Pini analogici: 16
- Curent de ieșire: 40 mA
- Flash Memory: 256 KB, 8 KB pentru bootloader
- SRAM: 8 KB
- EEPROM: 4 KB
- Clock: 16 MHz



### 2.1.3 Senzorii de temperatură BMP280 și AHT21

Cei 2 senzori (BMP280 [5] și AHT21 [6]) au fost adăugați în proiect pentru a extinde gama de date colectate și pentru a monitoriza temperatura din cutia de control, aceștia folosesc tot magistrala de date I2C, adăugarea acestora presupunând efort minim, iar alegerea celor 2 modele diferite oferă o redundanță sporită în colectarea datelor.

Optându-se pentru o cutie din plastic cu capac transparent, aceasta fiind umplută cu componente ce disipă căldură am constatat că este absolut necesară o îmbunătățire a răcirii sistemului, temperatura maximă măsurată cu senzorii fiind de 75°C, prag la care presupun că sistemul a suferit avarii ale modulelor de măsură a curentului INA219 (2 din 4 module au fost avariate iremediabil).

În figurile 2.1.3-1 și 2.1.3-2 se pot observa senzorii BMP280, respectiv AHT21.

Fig. 2.1.3-1 BMP280



Tensiune de alimentare: 3.3V DC

Protocol de comunicare: I<sup>2</sup>C

Adrese I<sup>2</sup>C: 0x77(default - jumper deschis) sau 0x76(jumper închis)

Tip conectori I<sup>2</sup>C 3V3: SH 4P

Pitch conectori I<sup>2</sup>C 3V3: 1mm





Fig. 2.1.3-2. AHT21

Tensiune de alimentare: 3.3V DC

Temperatura măsurată: -40°C ~ 120°C

Umiditate: 0~100 %RH

Protocol de comunicare: I<sup>2</sup>C

Adresa I<sup>2</sup>C: 0x38

Tip conectori I<sup>2</sup>C 3V3: SH 4P

Pitch conectori I<sup>2</sup>C 3V3: 1mm

#### 2.1.4 Senzorii pentru măsurarea curentului INA219

4 senzori INA219 [7] cu adresa configurabilă prin lipirea a 2 perechi de pini aflați pe acestia, alesi chiar datorită faptului că suporta legarea a 4 senzori cu 4 adrese diferite pe aceeași magistrală I<sup>2</sup>C acestia au generat un număr de probleme și obstacole ce au necesitat modificări majore asupra sistemului, plecând de la rezistența shunt de .1Ω ce este subdimensionată pentru puterea disipată în aceasta, conform specificațiilor acest senzor poate măsura o intensitate a curentului de până la 3.2A, în cadrul rezistenței de .1 ohm, această intensitate va genera o cadere de tensiune conform legii  $I=U/R$  de .32V ( $3.2A=U/.1$ ), prin rezistor trecând 3.2A cu o cadere de .32V va rezulta o putere disipată în energie termică de 1.024W ( $P=U*I \rightarrow P=.32V*3.2A$ ), după atingerea unei temperaturi excesive rezistorii de .1ohm au capatat valori noi, necesitând înlocuirea, am optat pentru rezistori de .1Ω dar capabili să disipeze 5W (mult peste cei ~1W ce îi va atinge sistemul).

O nouă problemă ridicată de acești senzori, în urma unei supraîncălziri a sistemului însuși integrele INA219 au fost afectate, din 4 numai 2 mai raportează valori corecte, unul fiind complet inaccesibil pe linia de I<sup>2</sup>C, iar celălalt raportând valori constante de 320mV pe rezistența de shunt cu tensiunea circuitului la 0V, caracteristicile senzorilor detaliază temperaturi de operare cuprinse între -40 și 125 °C, și de stocare până la 150°C, există posibilitatea avarierii acestora în timpul înlocuirii rezistorilor de .1ohm, însă defectul nu a fost sesizabil imediat după reparație.

În figura 2.1.4-1 se poate observa în colțul din dreapta-sus un modul nou, în partea stângă unul avariât iar în colțul din dreapta jos module INA219 cu rezistori shunt noi.

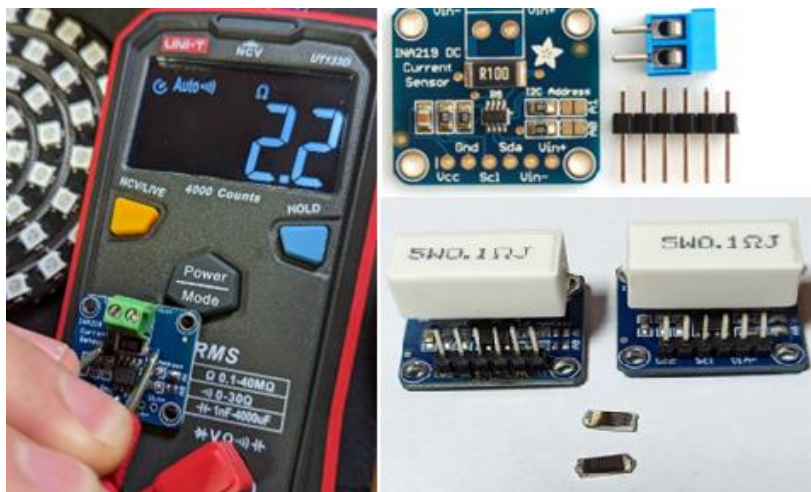


Fig. 2.1.4-1 Senzor de curent bidirectional INA219

Rezistor pentru măsurarea curentului de 0.1 ohmi, 2 W, 1%;

Poate măsura curenți ce dau o cădere de tensiune de maxim 26V;

Poate măsura curenți de  $\pm 3.2\text{A}$  cu rezoluție de  $\pm 0.8\text{ mA}$ ;

Folosește adresele I2C 0x40, 0x41, 0x44, 0x45 selectabile prin jumperi;

Tensiune de alimentare: 3V - 5.5V.

### 2.1.5 Puntea H

2 punte H de mare putere, bazate pe integratul BTS7960 [8] (fig. 2.1.5-1) au fost folosite pentru a controla cele 2 motoare liniare ce directionează cadrul mobil prezent în proiect, acestea se controlează în mod clasic folosind semnale digitale și PWM. Acestea nu au prezentat dificultăți de integrare în sistem, acest fapt se atribuie simplității ce stă la baza operației unor astfel de module.

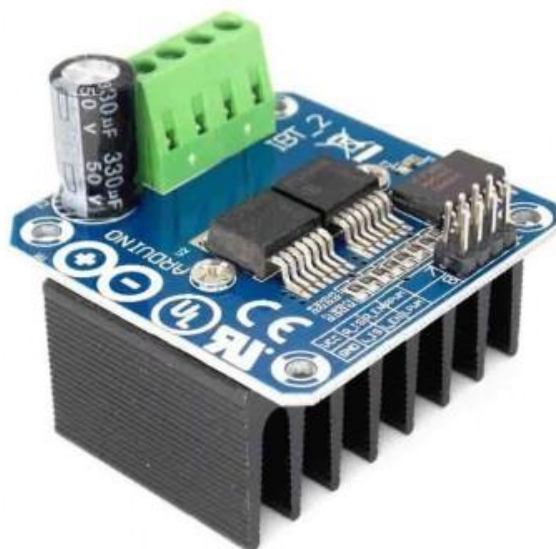


Fig. 2.1.5-1 Punte H de putere BTS7960

Tensiune alimentare: 5.5 - 27V

Tensiune logica: 5V

Protectie temperatura: Da

Protectie supra-tensiune: Da

Protectie curent: Da

Protectie scurt-circuit

Semnal: PWM sau 5V

Frecventa PWM: pana la 25KHz

Dimensiuni mm: 40 x 50 x 12mm

### 2.1.6 Coborător de tensiune XL4015

Un modul step down (fig. 2.1.6-1) bazat pe XL4015 [9] pentru coborârea tensiunii de la 12V( uneori chiar și 14V) provenite din circuitul realizat de panoul fotovoltaic la valori mai ușor de gestionat , la bordul plăcilor de dezvoltare (Mega și ESP32) se regăsesc regulatoare de tipul AMS1117 de 5V respectiv 3.3V , acestea disipând o cantitate considerabilă de energie pentru a reduce tensiunea la valorile specificate, am optat în coborârea mai eficientă într-un pas intermediar a tensiunii folosind acest modul din 2 motive :

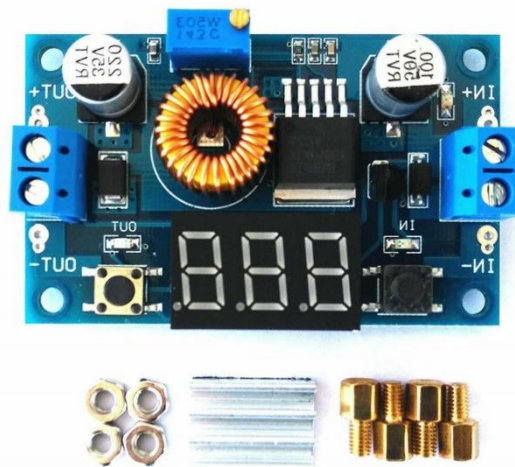


Fig. 2.1.6-1 Coborător de tensiune XL4015

- 1) Regulatoarele AMS1117 disipă multă căldură punându-le în pericol atât funcționalitatea acestora cât și componentele ce depind de tensiunile stabile generate de ele
- 2) Pentru a beneficia de puterea maximă la tensiunile stabile de 5V , respectiv 3.3 V , acestea se vor alimenta cât mai aproape de tensiunea finală+ căderea de tensiune din acestea (1V, maxim 1.3V). astfel XL4015 este setat să convertească cei 11.5V din acumulator ( tensiunea minimă, sub această tensiune acumulatorul poate fi avariat dacă se continuă descărcarea) în 6.5V.

Tensiune intrare: 5 - 36VDC

Tensiune iesire: 1.25 - 32VDC, reglabila

Curent: între 0 și 5 Ah

### 2.1.7 Modul microSD

Modul microSD [10] (fig 2.1.7-1) folosit pentru colectarea datelor preluate de sistem :cantitatea de energie produsa , temperatura si umiditatea din cutia de control.

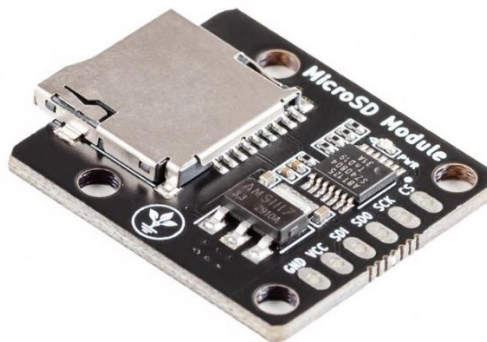


Fig. 2.1.7-1 Modul microSD

Dimensiuni card microSD acceptate: 2GB ~ 32GB

Tensiune de alimentare: 3.3V sau 5V DC

Protocol de comunicare: SPI

### 2.1.8 Module de control incarcare solara PWM , RBL-30A

Module RBL-30A [11] (fig. 2.1.8-1) folosite pentru controlul incarcarii acumulatorilor plumb acid AGM folositi in proiect , acest modul a fost ales datorita costurilor reduse si functionalitatilor multiple.

Un dezavantaj al acestor module fata de un modul ce foloseste MPPT (maximum power point tracking) este ca nu poate profita de toata energia produsa de panou , pentru functionarea acestuia el necesita o tensiune de intrare de la panou mai mare decat cea a acumulatorului, un modul MPPT dispune de un convertor DC-DC de tip boost ce ridica in mod dinamic tensiunea livrata de panou peste cea a acumulatorului.



Fig. 2.1.8-1 Modul de control încărcare solară PWM

Model: RBL-30A

Tensiune baterie: 12 -24VDC

Curent descărcare: 10A maxim

Putere maximă: 360W la 12V, 720W la 24V

Tensiune panou maximă: 48V pentru baterie de 24V, 24V pentru baterie de 12V

Egalizare: 14.4V (Plumb Acid Sigilată), 14.2V (Baterie cu gel), 14.6V (baterie Plumb Acid nesigilată)

Tensiune absorbție: 13.7V default, reglabilă

Oprire descărcare: 10.7V default, reglabilă

Reconectare la încărcare: 13V

Consum curent propriu modul: <10mA

Temperatura operare: -35 - +60 grade C

Protecții: Scurt circuit, circuit deschis, protecție inversă, protecție supra-sarcină

Protecție Curent Invers: Mosfet Dual

Dimensiuni mm: 133.5 x 70 x 35mm

### 2.1.9 Panouri solare 20W

Panouri fotovoltaice [12] (fig. 2.1.9-1) monocristaline de 20W, rama de aluminiu, sticlă de protecție securizată și cabluri de conectare atașate.



Fig. 2.1.9-1 Panou solar

Putere maximă: 20W

Voltaj circuit deschis: 22.3V



SISTEM PENTRU STUDIUL RENTABILITĂȚII IMPLEMENTĂRII METODELOR DE EFICIENTIZARE A PRODUCȚIEI DE ENERGIE  
ÎN SISTEMELE FOTOVOLTAICE

Voltaj maxim circuit închis: 18V

Curent de scurtcircuit: 1.2A

Curent maxim de lucru: 1.11A

Dimensiuni: 450\*340\*20 mm

Greutate 1.55Kg

### 2.1.10 Actuatore liniare

2 actuatore liniare [13] (fig. 2.1.10-1) sunt folosite pentru a facilita mișcarea de rotație în jurul axelor X și Y.



Fig. 2.1.10-1 Actuatore liniare

Cursa actuatorului: 100mm

Tensiune alimentare: 12V

Forță maximă: 1100N

Viteză de acțiune: 13mm/s

Regim utilizare recomandat : 10% (10 secunde utilizare , 90 secunde idle)

### 2.1.11 Modul SENZOR 3 AXE ADXL345

Modul accelerometru pe 3 axe [14] (fig. 2.1.11-1) pentru determinarea poziției panoului solar, această abordare pune bazele unei implementări mult mai tehnice a poziționării panoului, în cazul actual va fi folosit pentru a reseta poziția panoului de la o zi la alta și protecția împotriva grindinei.

Dat fiind faptul că modulul va îndeplini funcții critice s-a ales protejarea lui prin acoperirea cu lipici termică în lipsa unei metode de protecție mai adecvate, motoarele liniare nu au puncte de oprire reglabile, cadrul mobil își va atinge limitele de mișcare înaintea motoarelor, valori hardcodate ale înclinării panoului vor fi stabilite ca măsură de protecție pentru a preveni avariile motoarelor sau a cadrului.

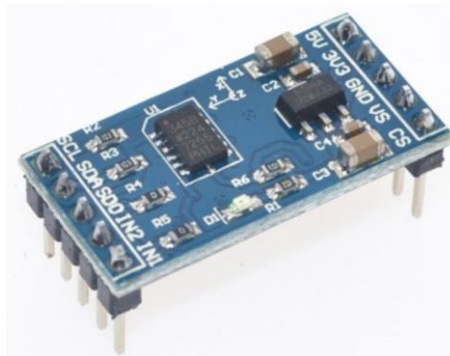


Fig. 2.1.11-1 Senzor ADXL345

Tensiune alimentare: 3.3 - 5VDC

Integrat: ADXL345

Integrat putere: RT9161

Interfata: I2C, SPI

Dimensiuni mm: 28 x 14mm

### 2.1.13 TRANSLATOR NIVEL LOGIC I2C IIC BIDIRECTIONAL 8 CANALE 3.3V 5V TXS0108E

Modul bazat pe integratul TXS0108E [15] (fig. 2.1.13-1) ce permite trecerea de la nivelul logic de 3.3V la 5V, folosit în principal pentru protejarea componentelor mai sensibile aflate pe magistrala de I2C, în proiect se regăsesc atât componente ce funcționează la nivel logic de 5V cum ar fi: ADXL345 și ADS1015, acestea beneficiind chiar de voltajul mai mare ele aflându-se la o distanță mai mare de controller.

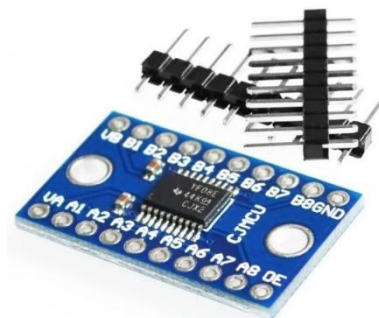


Fig. 2.1.13-1 Translator nivel logic

- nivelul logic de 5V: INA219,ADXL345,Mega2560
- nivel logic de 3.3V : AHT21,BMP280,ecranul OLED, ESP32
- VCCA se conectează la sursa 3.3V
- VCCB se conectează la sursa 5V
- GND se conectează în comun la cele 2 surse de 3.3 și 5V
- Când Ax are input TTL 3.3V, Bx are output TTL 5V
- Când Bx are input TTL 5V, Ax are output TTL 3.3V
- NU necesită control de direcție

Pentru aceasta am creat un ansamblu format din:

- 2 panouri fotovoltaice de 20W, unul montat într-un cadru fix iar cel de-al doilea panou pe un cadru mobil pe 2 axe , acesta ținând să creeze un unghi de 90 de grade între panou și razele soarelui constant.
- 2 acumulatori de tip AGM ,12V 9.1Ah 109Wh ,aceștia vor ajuta sistemul să facă față cererilor de energie ce depășesc capacitatea panourilor și vor alimenta sistemul când energia solară este indisponibilă.
- 2 controlere PWM pentru încărcarea acumulatorilor și protecția acestora
- Arduino Mega 2560 pentru colectarea de date de la diverși senzori analogici și digitali, controlul deciziilor logice din cadrul ansamblului și acționarea diverselor actuatori.
- un modul ESP32 pentru funcționalitățile de colectare de date și conectarea la internet a proiectului (îmbunătățirea conectivității proiectului folosind acest modul)
- coborâtor de tensiune liniar reglabil ( pentru a nu suprasolicita regulatoarele de tensiune de pe arduino și ESP , acestea având pierderi semnificative de energie la tensiuni ridicate )

- 2 punți H de mare putere pentru controlul motoarelor liniare de pe cadrul mobil.
- 2 senzori de temperatură ,BMP280 ( temperatură + presiune atmosferică) si AHT21 ( temperatură + umiditate aer)
- un stabilizator de tensiune bazat pe LM7805 ( 5V, 1.5A) folosit pentru alimentarea cu 5V a componentelor sensibile si ce pot induce perturbații ale tensiunii in sistem , ex.: releu , leduri )
- 2 ventilatoare cu turbină(12V, 130mA) pentru racirea componentelor (in mod special punțile H si stabilizatorul de tensiune LM7805)
- 2 module pentru măsurarea cantității de energie produse de panouri
- un modul microSD pentru colectarea de date.

Drept urmare am obținut un sistem ce poate fi adaptat, dimensionat conform nevoilor,ușor de menținut si îmbunătățit cu piese ușor de obținut.

## 2.2 Echipamente software

### 2.2.1 Arduino IDE

Mediu de programare Arduino IDE [16] (integrated development environment) ajută la scrierea ușoară a codului și încărcarea acestuia în plăcile de dezvoltare, gândit pentru a fi folosit împreună cu plăcile din gama Arduino, el nu se limitează la acestea, codul de la baza programului fiind open source s-au integrat librării ce permit programarea a mai multor plăci de dezvoltare existente pe piață.

Arduino IDE pune la dispoziție unele ce facilitează integrarea de librării foarte ușoară, realizând chiar și o distincție între librăriile pentru programarea plăcilor de dezvoltare (fig. 2.2.1-1) și librăriile pentru integrarea modulelor în proiecte (fig. 2.2.1-2), astfel reducând riscul de a lua versiuni vechi de librării sau programe malicioase în încercarea de a procura resursele necesare integrării modulelor în proiectele personale dezvoltate de pasionați de electronica de pe întreg globul.

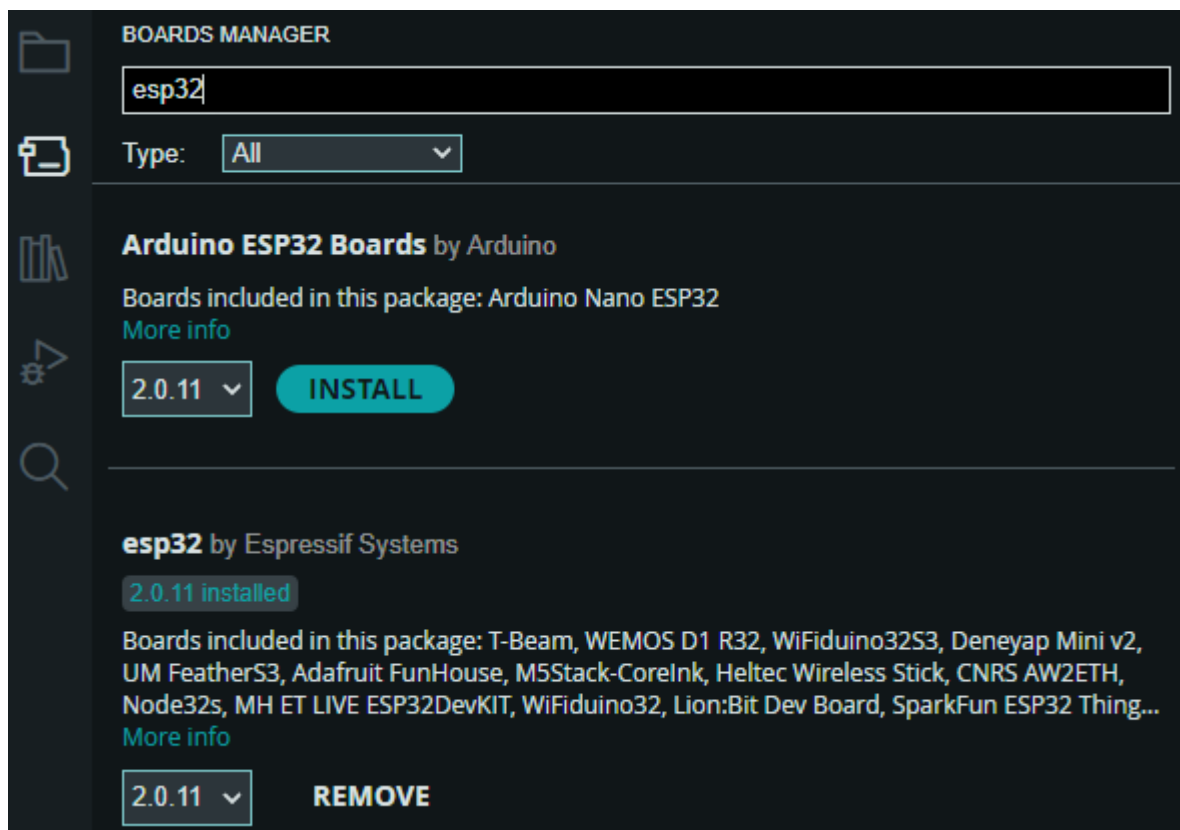


Fig. 2.2.1-1 Meniul pentru managementul plăcilor de dezvoltare

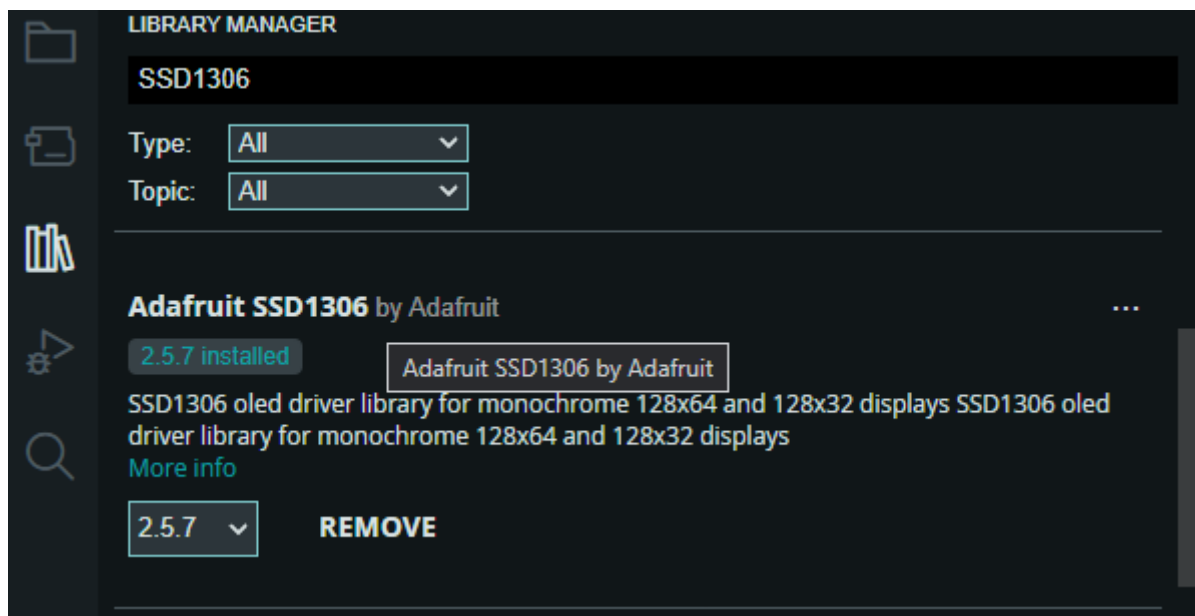


Fig. 2.2.1-2 Meniul pentru managementul librariilor

## 2.2.2 GitHub

GitHub [17] este o platforma ce gazduieste partea digitala a proiectelor si permite controlul detaliat al versiunilor realizate , colaborarea intre multiple entitati la realizarea proiectelor de ampoare fara a necesita contact fizic intre aceste entitati .

Unul dintre cele mai mari avantaje ale platformei este controlul versiunii si contributia sa majora in procesul de integrare si tetare continua , ajungand sa contribuie si la procesul de esec rapid ce presupune descoperirea in fazele incipiente ale problemelor existente.

Un aspect important este conceptul de “branch” ( ramura) , acesta presupune vizualizarea proiectului in module interconectate , ce pot fi dezvoltate separat si unite intr-o entitate principala (main) la data livrării proiectelor (fig. 2.2.2-1) .

Alt aspect important este modul in care schimbarile se implementeaza in cadrul unui proiect, cu fiecare noua schimbare se creza o noua ramura (fig. 2.2.2-2) ce este dezvoltata si testata separat de proiectul principal , dupa finalizarea implementarii si testarii unei functionalitati ea este imbinata cu ramura principala.

Printre cele mai importante comenzi din git se numara :

- git init – initializeaza un fisier local de gestiune ce va fi sincronizat cu un server pentru a urmări schimbarile efectuate asupra unui set de fisiere
- git clone- aduce fisiere stocate intr-un repository aflat la o locatie la distanta
- git add – adauga fisiere noi in sistemul de urmarire a schimbarilor la nivel local
- git commit- adauga fisiere noi in sistemul de urmarire a schimbarilor pe serverul aflat la distanta accesibil tuturor participantilor la proiect
- git merge – imbina schimbarile facute cu ramura principala



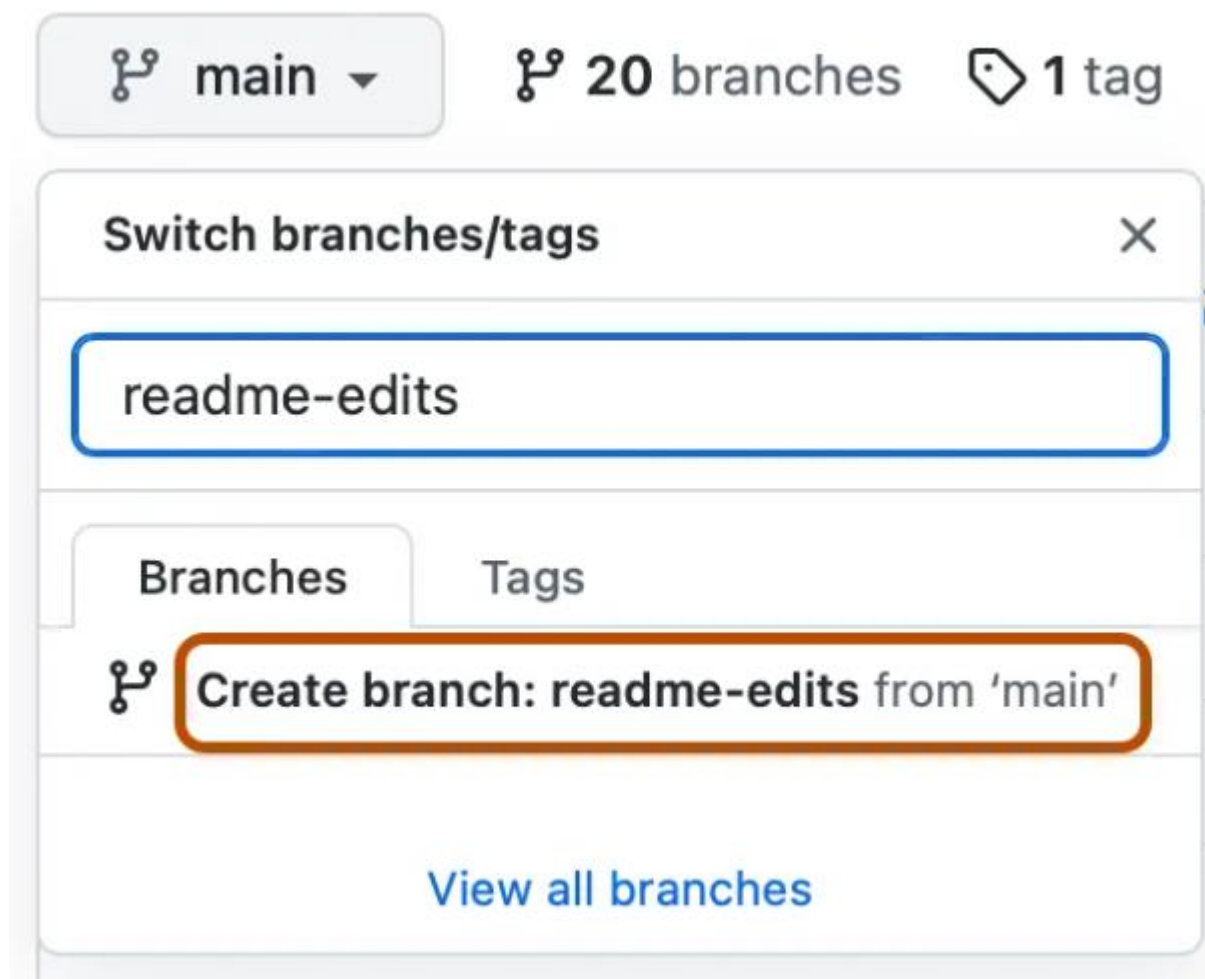


Fig. 2.2.2-1 Management-ul branch-urilor in git

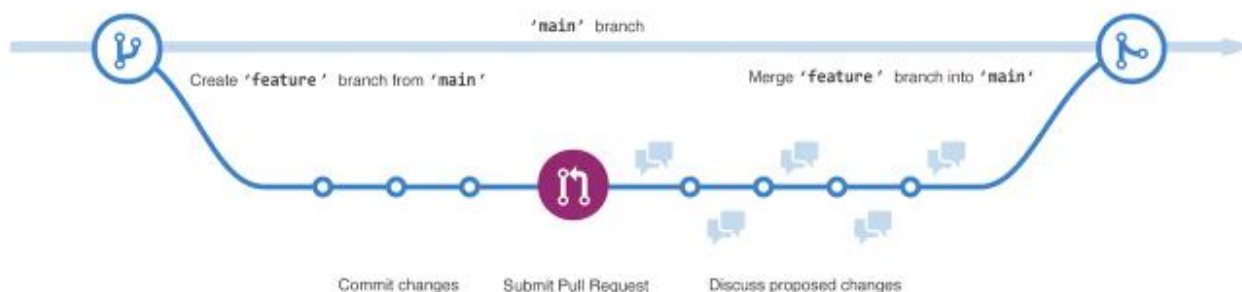


Fig. 2.2.2-2 Procesul de dezvoltare si integrare in Git

### 2.2.3 Limbajul de programare C++ în Arduino IDE

Limbajul C++ este creația lui Bjarne Stroustrup și reprezintă o extensie a limbajului C care permite programarea pe obiecte. Dezvoltarea acestuia a început în 1979, cu denumirea inițială de "C cu obiecte" acesta a ajuns să capete mult mai multe funcționalități pe lângă programarea orientată pe obiecte, ajungând să fie redenumit ulterior C++ făcând referire la operatorul de incrementare ++ acesta este un mod unic de a spune că C++ este o revizie incrementală a lui C.

Structura generală a unui program C++:

- un program C++ este constituit din funcții, una dintre aceste funcții este funcția principală, denumită main()

```
int main()
{
    cout<<"Hello World";

    return 0;
}
```

- main() este o funcție specială, care trebuie să apară obligatoriu o singură dată în orice program C++
- execuția oricărui program începe cu funcția main()
- o funcție este constituită din antet și corp antetul funcției conține numele funcției, tipul rezultatului pe care îl calculează funcția și o listă de parametri prin care funcția comunică cu exteriorul ei, încadrată între paranteze rotunde
- corpul funcției conține declarații și instrucțiuni care specifică prelucrările realizate de funcția respectivă

Instrucțiunea return este utilizată pentru a încheia execuția unei funcții și a returna valoarea expresiei specificate în instrucțiunea return ca valoare a funcției.

Vocabularul limbajului C++ este format din:

- setul de caractere
- identificatori
- cuvinte cheie
- comentarii
- separatori

Programarea C++ în Arduino Studio IDE este puțin diferită față de programarea C++ clasică. Diferența între cele două este că în Arduino Studio IDE nu mai avem funcția main, aceasta fiind înlocuită de două funcții: setup și loop.

Funcția setup se execută mereu prima și aceasta se execută doar o dată, la începutul programului, în schimb funcția loop se execută după funcția setup, însă aceasta se reapelează pe ea însăși la infinit.

De obicei în funcția setup se fac inițializările de variabile, clase, componente, etc., iar în funcția loop se execută codul care se dorește să fie executat mai mult de o singură dată.[3]

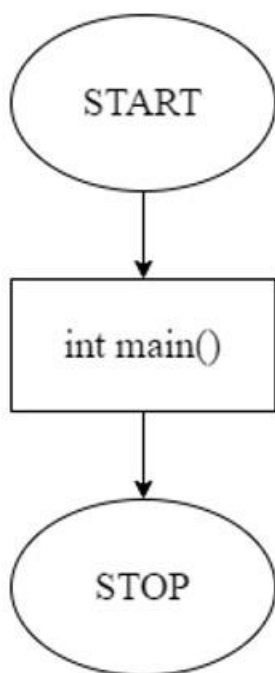


Fig. 2.2.3-1 Structura programului C++

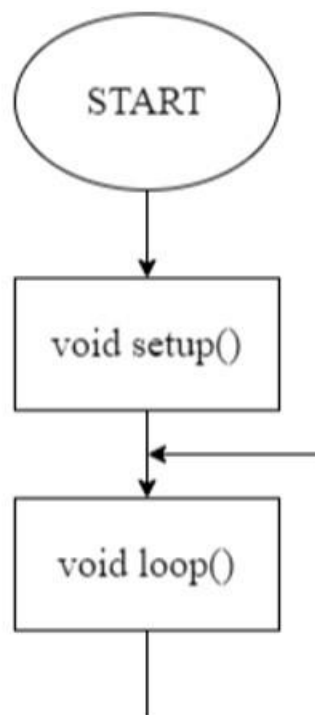


Fig. 2.2.3-2 Structura programului în Arduino IDE

#### 2.2.4 I2C

Comunicarea prin interfața I2C [18] este o opțiune eficientă pentru transmiterea de date între 2 microcontrolere, aceasta este și foarte practică punând la dispoziție o lățime de bandă de până la 3.4mb/s în modul de mare viteză, în cadrul acestui proiect s-a evitat folosirea unei viteze de transfer aproape de plafonul maxim pentru sporirea distanței la care este posibilă realizarea unei conexiuni stabile pe linia de comunicație.

Din cauza conductorilor folosiți în cadrul liniei de I2C odată cu creșterea lungimii acestora apare și efectul de inductor ce se opune schimbărilor de câmp electromagnetic, în mod normal semnalele digitale pot călători pe distanțe de ordinul zecilor de metri dar în cadrul unei linii I2C starea acestei linii se schimbă de la HIGH la LOW chiar și de 400.000 de ori pe secundă astfel chiar și cea mai mică forță reactivă (în cazul acesta inducția din cabluri) poate perturba interpretarea semnalelor între dispozitivul Master și Slave-urile acestuia.

Protocolul de comunicare I2C [18] (Inter-Integrated Circuit) este un protocol serial sincron folosit pentru comunicația între circuite integrate (ICs) pe o placă de bază (board) sau între plăci de bază. Protocolul I2C utilizează două linii pentru comunicație:

- SDA (Serial Data): Aceasta este linia de date serială bidirecțională pe care informațiile sunt transmise în forma serială între dispozitivele conectate. Linia SDA este controlată de dispozitivul master, care inițiază și controlează comunicația.

- SCL (Serial Clock): Aceasta este linia de ceas folosită pentru a sincroniza transferul datelor între dispozitivele conectate. Semnalele de pe linia SCL sunt controlate de dispozitivul master și sunt utilizate pentru a sincroniza transferul de biți pe linia SDA.

Datorită faptului că adresele I2C sunt în mod normal pe 7 biți, într-o rețea se pot conecta până la 128 de dispozitive, dar unele adrese sunt rezervate coborând numărul de adrese disponibile sub 128.

O mențiune importantă este existența integratelor cu adrese I2C pe 10 biți, ducând astfel numărul de componente suportate într-o rețea aproape de 1024, teoretic.

Protocolul funcționează într-un mod simplu, liniile SDA și SCL sunt ținute la nivel high de către rezistori de pull up, cu valori normale între 4.7 și 10k ohm, atunci când un dispozitiv dorește să înceapă comunicația acesta trage prima dată linia de SDA în jos, urmand să traga apoi linia de SCL în jos. Pentru oprirea comunicației, în momentul când linia de clock (SCL) se află pe HIGH, linia de date (SDA) este trasa tot pe high de către dispozitivul ce dorește oprirea comunicației, din acest motiv standardul I2C impune ca tranzițiile să fie efectuate pe linia de date doar când linia de clock este la nivel LOW comportament vizibil în figura 2.2.4-2.

În figura 2.2.4-1 se poate observa comportamentul celor 2 linii la începutul și la sfârșitul transmisiei de date între 2 dispozitive.

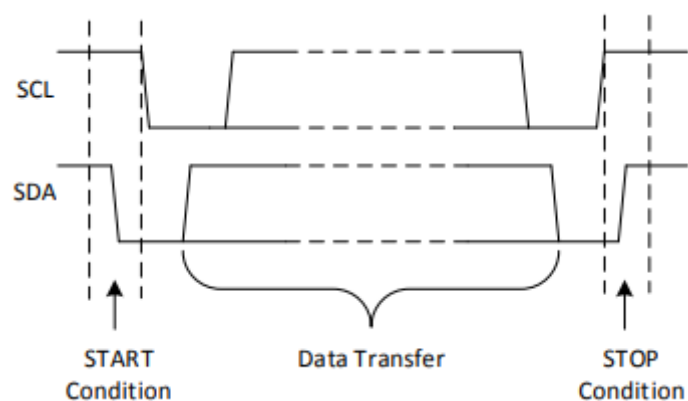


Fig. 2.2.4-1 Tranzitiile la inceputul si sfarsutul comunicatiei in I2C

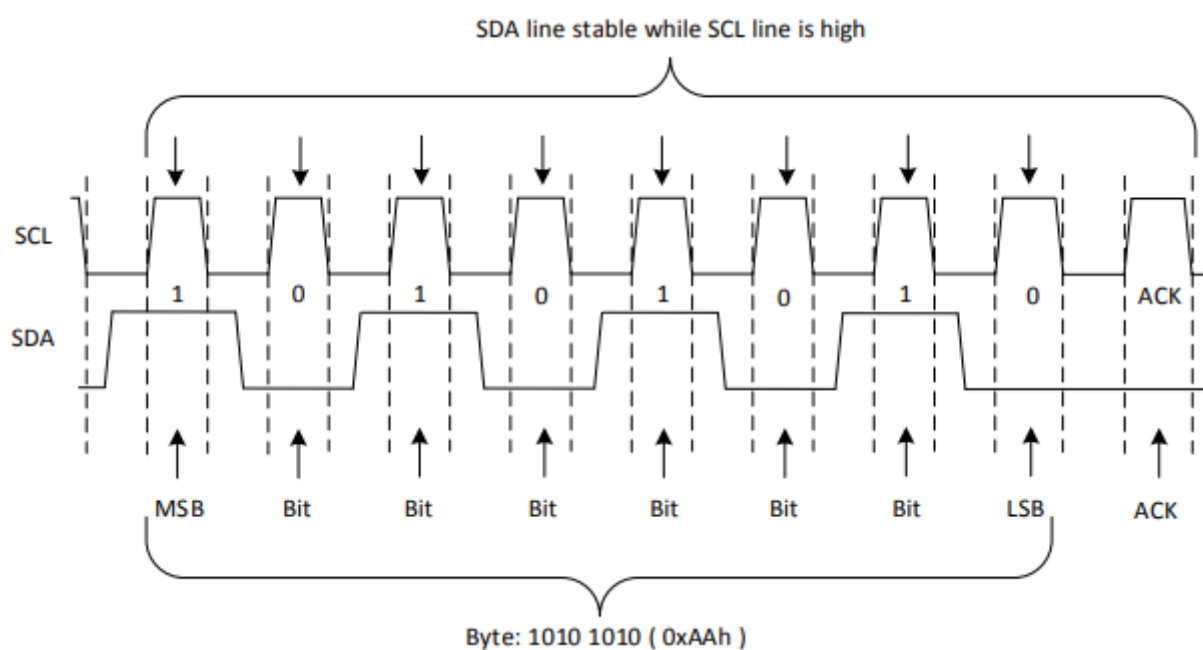


Fig. 2.2.4-1 Transmisie de date prin I2C

## 3 Arhitectura Sistemului

### 3.1 Diagrama de stări

O diagrama de stare [19] constă în stări, tranziții între acestea și evenimentele ce cauzează tranzițiile, diagramele sunt folosite pentru a ilustra comportamentul dinamic al sistemului.

Elementele importante ale unei diagrame de stare sunt :

- Stările – reprezintă statusul sistemului într-un moment și loc specific
- Evenimentele – semnalează momentul când o tranziție trebuie să aibă loc
- Tranzițiile – semnifică acțiunea de a schimba starea curentă

În figura 3.1-1 se pot observa stările prin care trece sistemul în timpul funcționării normale, acestea descriu în linii mari comportamentul sistemului atunci când diversi parametri sunt atinși, predominant fiind vorba de apelul funcțiilor recurente din interiorul buclei infinite (functia loop) din arduino.

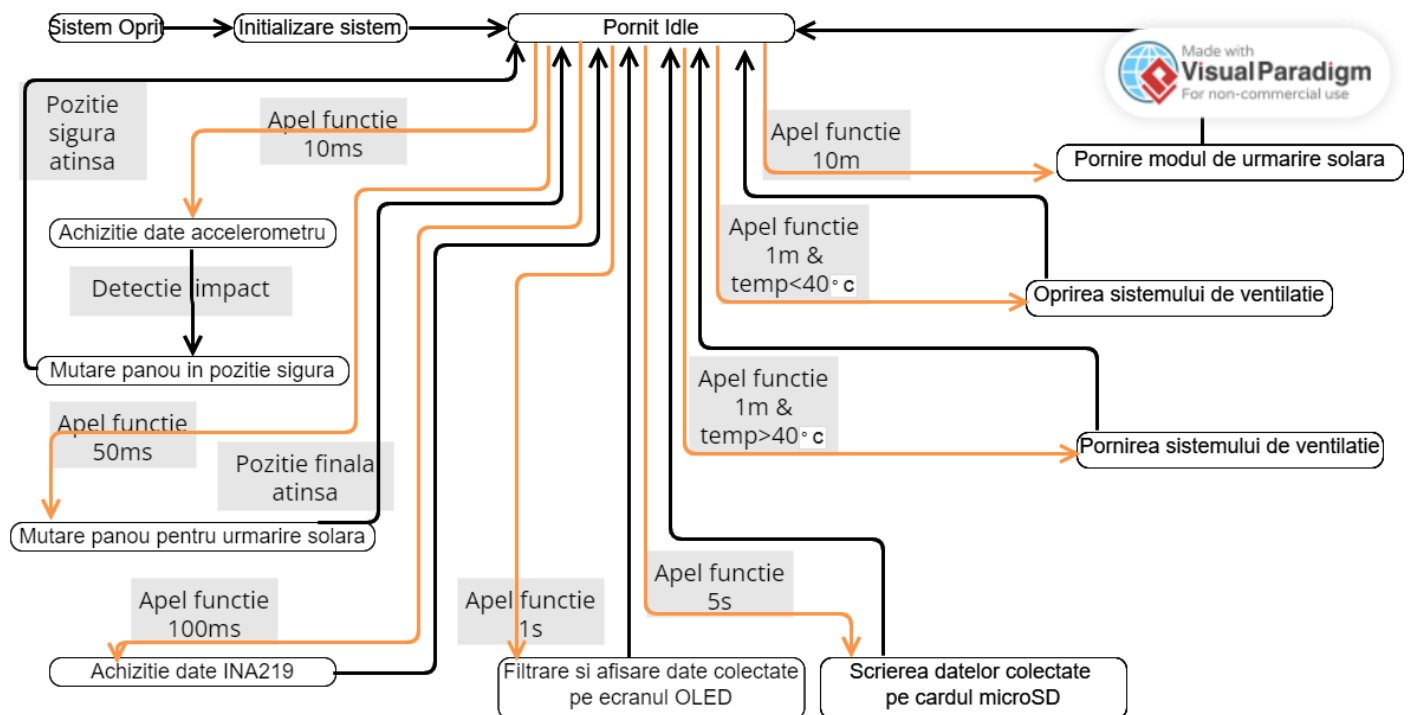


Fig. 3.1-1 Diagrama de stări



### 3.2 Schema structurii sistemului

Figura 3.2-1 [20] prezintă schema structurii Hardware și Software, împreună cu interacțiunea dintre diversele module.

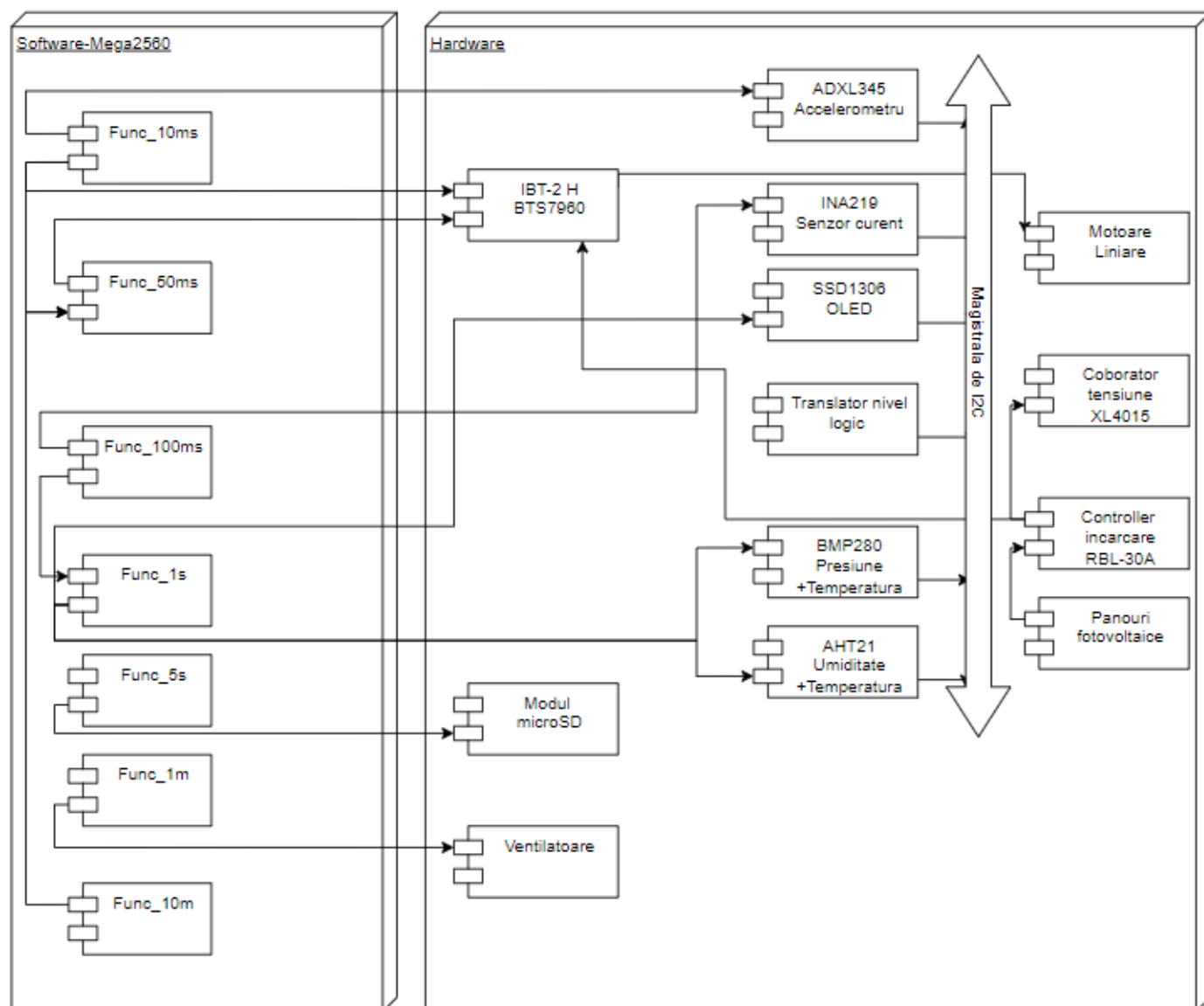


Fig. 3.2-1 Diagrama module

### 3.3 Schema structurii sistemului

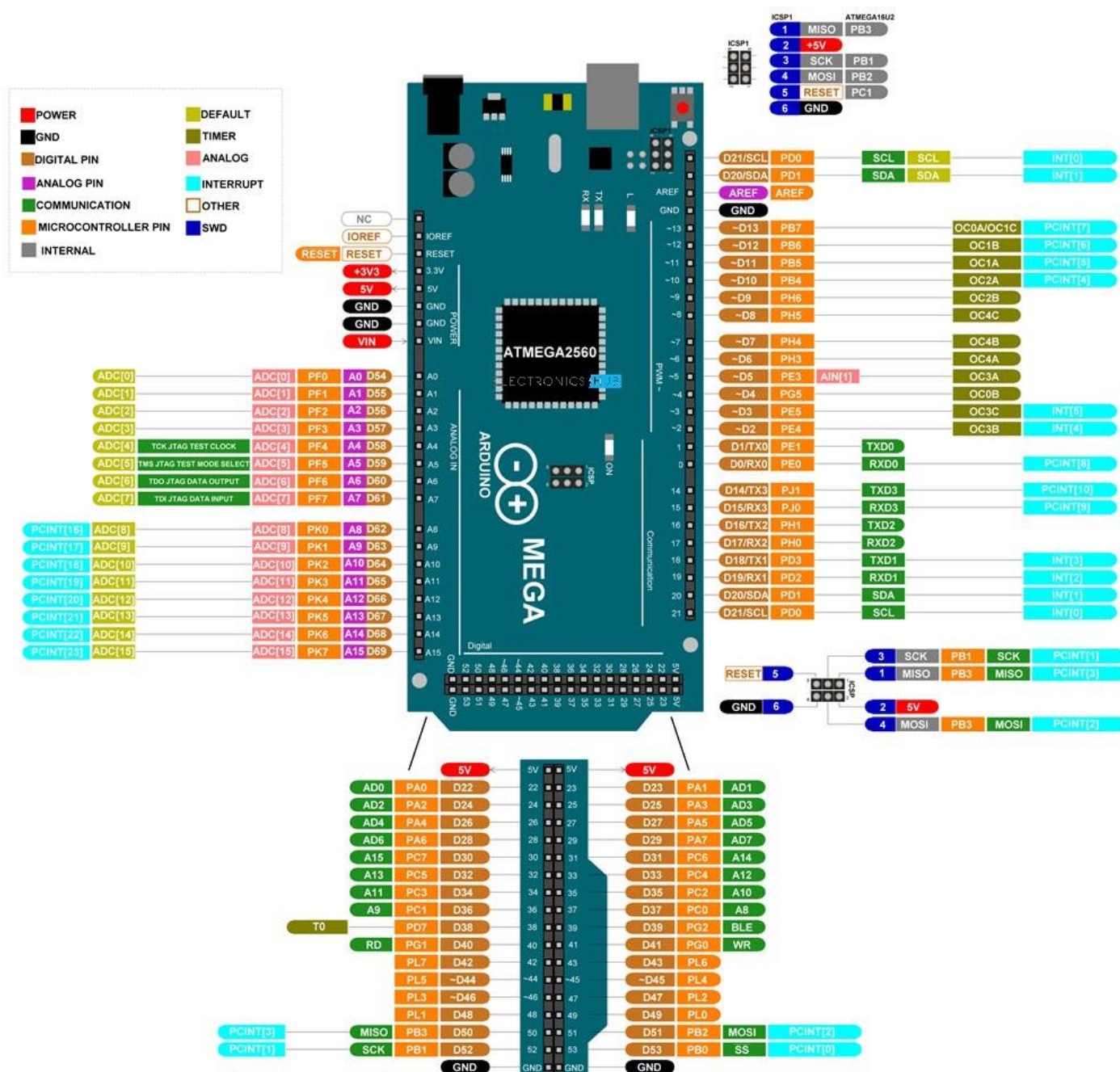
Figura 3.3-1 conține conexiunile din proiect. Am ales această metodă în avantajul unei scheme electrice complete datorită limitărilor formatarei acestei lucrări, consider că varianta aleasă este mai potrivită pentru contextul acestui document.

Figura 3.3-2 funcționează ca și completare a datelor din tabelul din fig. 3.3-1.

Pin	Tip Semnal	Componenta	Referință	Direcție	ValMin	ValMax	Min	Max	Scop	Conectat la	Pinul
53	Digital	Mega 2560	CS	Iesire	0V	5V	LOW	HIGH	Colectare date	Modul microSD	CS
52	Digital	Mega 2560	CLK	Iesire	0V	5V	LOW	HIGH	Colectare date	Modul microSD	SCK
51	Digital	Mega 2560	MOSI	Iesire	0V	5V	LOW	HIGH	Colectare date	Modul microSD	SDI
50	Digital	Mega 2560	MISO	Intrare	0V	5V	LOW	HIGH	Colectare date	Modul microSD	SDO
A8	Analogic	Mega 2560	-	Intrare	0V	5V	0	1023	Urmărire Soare	Fotorezistor	-
A9	Analogic	Mega 2560	-	Intrare	0V	5V	0	1023	Urmărire Soare	Fotorezistor	-
A10	Analogic	Mega 2560	-	Intrare	0V	5V	0	1023	Urmărire Soare	Fotorezistor	-
A11	Analogic	Mega 2560	-	Intrare	0V	5V	0	1023	Urmărire Soare	Fotorezistor	-
23	Digital	Mega 2560	-	Iesire	0V	5V	LOW	HIGH	-	Releu	IN
24	Digital	Mega 2560	-	Iesire	0V	5V	LOW	HIGH	Răcire (Ventilator)	Releu	IN
25	Digital	Mega 2560	-	Iesire	0V	5V	LOW	HIGH	Răcire (Ventilator)	Releu	IN
26	Digital	Mega 2560	-	Iesire	0V	5V	LOW	HIGH	-	Releu	IN
4	Digital	Mega 2560	-	Iesire	0V	5V	LOW	HIGH	Poziționare Panou	Punte H 1	L_EN
5	Digital	Mega 2560	-	Iesire	0V	5V	LOW	HIGH	Poziționare Panou	Punte H 1	R_EN
6	PWM	Mega 2560	-	Iesire	0V	5V	0	255	Poziționare Panou	Punte H 1	R_PWM
7	PWM	Mega 2560	-	Iesire	0V	5V	0	255	Poziționare Panou	Punte H 1	L_PWM
8	Digital	Mega 2560	-	Iesire	0V	5V	LOW	HIGH	Poziționare Panou	Punte H 2	L_EN
9	Digital	Mega 2560	-	Iesire	0V	5V	LOW	HIGH	Poziționare Panou	Punte H 2	R_EN
10	PWM	Mega 2560	-	Iesire	0V	5V	0	255	Poziționare Panou	Punte H 2	R_PWM
11	PWM	Mega 2560	-	Iesire	0V	5V	0	255	Poziționare Panou	Punte H 2	L_PWM
13	Digital	Mega 2560	-	Intrare	0V	5V	LOW	HIGH	Configurație Debug	OLED	Comutator
SDA	Digital	Mega 2560	-	Intrare/Iesire	0V	5V	LOW	HIGH	Transmisie Date	Magistrală I2C	-
SCL	Digital	Mega 2561	-	Iesire	0V	5V	LOW	HIGH	Semnal de clock	Magistrală I2C	-

Fig. 3.3-1 Conexiuni sistem la nivel logic

SISTEM PENTRU STUDIUL RENTABILITĂȚII IMPLEMENTĂRII METODELOR DE EFICIENTIZARE A PRODUCȚIEI DE ENERGIE  
IN SISTEMLA FOTOVOLTAICE



## 4. Codul de la baza proiectului

Pentru implementarea sistemului, am fractionat codul în mai multe fișiere, la baza regulii de împărțire a codului fiind programarea în timp real, întreg sistemul bazându-se pe acest concept prin care nu există timpi în care microcontroller-ul să aștepte rezultate.

```
#include <Wire.h> // bibliotecă ce facilitează comunicarea prin I2C
#include <Adafruit_INA219.h>
#include <Adafruit_Sensor.h>
#include "Adafruit_BMP280.h"
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>
#include <Adafruit_AHTX0.h>
#include <Adafruit_ADXL345_U.h>
```

**Wire.h** este o bibliotecă ce facilitează comunicarea prin I2C

**Adafruit\_INA219.h** pentru colectarea datelor de la senzorii de intensitate

**Adafruit\_Sensor.h** folosită pentru senzorii AHT21/BMP280

**Adafruit\_BMP280.h** folosită pentru controlul BMP280

**SPI.h** protocolul SPI este folosit doar pentru modulul microSD

**SD.h** bibliotecă folosită pentru a scrie pe cardul microSD

**Adafruit\_GFX.h** ajută la poziționarea textului pe ecranul OLED

**Adafruit\_SSD1306.h** pentru controlul ecranului OLED

**Adafruit\_AHTX0.h** pentru prelucrarea datelor provenite de la AHT21

**Adafruit\_ADXL345\_U.h** pentru prelucrarea datelor provenite de la accelerometru

În interiorul buclei ce rulează în mod repetat după inițializarea, microcontroller-ului se află numai apelurile către funcțiile recurente și codul aferent apelării acestora la intervale regulate de timp, există posibilitatea ca o sarcină de lucru să interfereze cu apelul acestora (ex. în interiorul funcției cu recurență la 10ms, codul rulat să țină microcontroller-ul ocupat pentru 15ms, caz în care apelul următoarei funcții se va face o dată la 15ms în loc de 10ms), acest comportament a fost realizat prin plasarea codului ce este costisitor din punct de vedere al timpului de execuție în funcții cu recurență mai scăzută.

```
void loop(void)
{
    actual_time=millis();
    if(actual_time-prev_time_10ms>=task_10ms){    func_10ms();
        prev_time_10ms=actual_time;
```

SISTEM PENTRU STUDIUL RENTABILITATII IMPLEMENTARII METODELOR DE EFICIENTIZARE A PRODUCTIEI DE ENERGIE  
IN SISTEMLILE FOTOVOLTAICE

```
    }  
    if(actual_time-prev_time_50ms>=task_50ms){    func_50ms();  
        prev_time_50ms=actual_time;  
    }  
    if(actual_time-  
prev_time_100ms>=task_100ms){    func_100ms();  
        prev_time_100ms=actual_time;  
    }  
    if(actual_time-prev_time_1s>=task_1s){    func_1s();  
        prev_time_1s=actual_time;  
    }  
    if(actual_time-prev_time_5s>=task_5s){    func_5s();  
        prev_time_5s=actual_time;  
    }  
    if(actual_time-prev_time_1m>=task_1m){    func_1m();  
        prev_time_1m=actual_time;  
    }  
    if(actual_time-prev_time_10m>=task_10m){    func_10m();  
        prev_time_10m=actual_time;  
    }  
    if(actual_time-prev_time_1h>=task_1h){    func_1h();  
        prev_time_1h=actual_time;  
    }  
}
```

Un prim exemplu de cod folosit in evenimente recurente este cel pentru determinarea impactului in cazul grindinei ce poate distruge panourile , folosind datele de la senzorul ADXL345 sistemul poate detrmna in cazul unui impact schimbarea brusca a valorilor vectorilor de acceleratie masurati de senzori , caz in care un indicator ( impactDetectat) va fi activat , punand sistemul intr-o stare de alarma , repositionand panoul astfel in cat orice impact cu bucatile de gheata sa fie la un unghi cat mai mic , micșorand astfel sansele avarierii panourilor.

```
void func_10ms()  
{  
total_X=0;  
total_Y=0;  
total_Z=0;  
for(int i=0;i<10;i++){  
    total_X=total_X+achizitii_X[i];  
    total_Y=total_Y+achizitii_Y[i];  
    total_Z=total_Z+achizitii_Z[i];  
}  
  
sensors_event_t event;  
accel.getEvent(&event);  
X_out = event.acceleration.x;  
Y_out = event.acceleration.y;  
Z_out = event.acceleration.z;  
achizitii_X[indexSample_ADXL]=X_out;  
achizitii_Y[indexSample_ADXL]=Y_out;  
achizitii_Z[indexSample_ADXL]=Z_out;  
if(pozFinala){  
    if(X_out-2.0>total_X/10.0 || X_out+2.0<total_X/10.0 ||
```

SISTEM PENTRU STUDIUL RENTABILITATII IMPLEMENTARII METODELOR DE EFICIENTIZARE A PRODUCTIEI DE ENERGIE

IN SISTEMLILE FOTOVOLTAICE

```
Y_out-2.0>total_Y/10.0 || Y_out+2.0<total_Y/10.0 ||  
Z_out-2.0>total_Z/10.0 || Z_out+2.0<total_Z/10.0)  
{ impactDetectat=true; }  
}  
if(indexSample_ADXL<9){ indexSample_ADXL=indexSample_ADXL  
+1;  
}else{ indexSample_ADXL=0; }  
if(impactDetectat){  
    digitalWrite(motor1Ren,HIGH);  
    analogWrite(motor1R_PWM,0);  
    digitalWrite(motor1Len,HIGH);  
    analogWrite(motor1L_PWM,225);  
}  
}
```

Datele colectate sunt prelucrate tinand cont de abaterea de la medie a ultimelor 10 valori citite , in cazul unei erori mai mare de  $2\text{m/s}^2$  , se vor lua masurile necesare protejarii panourilor.

Datorita importante protejarii panourilor, aceasta bucata de cod beneficiaza de cel mai mult timp de executie , ea fiind rulata de 100 de ori pe secunda pentru a actiona la primul impact .

Urmatoarea rutina ce se executa este cea de 50ms , aceasta are ca rol pozitionarea panoului mobil , tintind crearea unui unghi de 90 de grade cu razele soarelui , folosind valori provenite de la un ansamblu de fotorezistori in cadrul rutinei motoarele liniare sunt controlate cu ajutorul punctilor H existente in proiect , ce la randul lor sunt controlate folosind semnale digitale si PWM , pentru o miscare mai lina si controlata, factorul de umplere nu este setat la 100% (255) , am ales valoarea de 225 ( ~88%) pentru a alimenta motoarele cu aproximativ 10.5V , ele fiind supradimensionate pentru dimensiunile ansamblului).

```
void func_50ms()  
{  
    //=====urmarire solara  
    punct1=analogRead(adcl); punct2=analogRead(adc2); punct3=a  
nalogRead(adc3);  
    punct4=analogRead(adc4);  
    if(!pozFinala && !impactDetectat){  
        //control M2  
        if(punct1>900 ){  
            digitalWrite(motor2Ren,HIGH);        analogWrite(motor2R_P  
WM,0);  
            digitalWrite(motor2Len,HIGH);        analogWrite(motor2L_P  
WM,0);  
            pozFinala=true;  
        }else if(punct4<900){  
            digitalWrite(motor2Ren,HIGH);        analogWrite(motor2R_P  
WM,225);  
            digitalWrite(motor2Len,HIGH);        analogWrite(motor2L_P  
WM,0);  
        }else if (punct3<900) {  
            digitalWrite(motor2Ren,HIGH);        analogWrite(motor2R_P  
WM,0);  
            digitalWrite(motor2Len,HIGH);        analogWrite(motor2L_P  
WM,225);  
        }else{
```



SISTEM PENTRU STUDIUL RENTABILITATII IMPLEMENTARII METODELOR DE EFICIENTIZARE A PRODUCTIEI DE ENERGIE

IN SISTEMLILE FOTOVOLTAICE

```
        digitalWrite (motor2Ren, HIGH);          analogWrite (motor2R_P
WM, 0);
        digitalWrite (motor2Len, HIGH);          analogWrite (motor2L_P
WM, 0);
    }

    if (punct1 > 900 ) {
        digitalWrite (motor1Ren, HIGH);          analogWrite (motor1R_P
WM, 0);
        digitalWrite (motor1Len, HIGH);          analogWrite (motor1L_P
WM, 0);
        pozFinala = true;
    } else if (punct3 < 900) {
        digitalWrite (motor1Ren, HIGH);          analogWrite (motor1R_P
WM, 225);
        digitalWrite (motor1Len, HIGH);          analogWrite (motor1L_P
WM, 0);
    } else if (punct2 < 900) {
        digitalWrite (motor1Ren, HIGH);          analogWrite (motor1R_P
WM, 0);
        digitalWrite (motor1Len, HIGH);          analogWrite (motor1L_P
WM, 225);
    } else {
        digitalWrite (motor1Ren, HIGH);          analogWrite (motor1R_P
WM, 0);
        digitalWrite (motor1Len, HIGH);          analogWrite (motor1L_P
WM, 0);
    }
}

}
```

Rutina de 100ms, in cadrul acesteia se abordeaza masurarea productiei de energie de la cele 2 panouri solare , aici se face colectarea datelor neprelucrate , intensitatea si tensiunea curentului.

In aceasta functie se mai creeaza si o animatie in coltul din dreapta al ecranului OLED, aceasta servind ca indicator pentru functionarea corecta a codului .

```
void func_100ms ()
{

    //=====
    =====INA219
    shuntvoltage_0x40 = ina219_0x40.getShuntVoltage_mV();
    busvoltage_0x40 = ina219_0x40.getBusVoltage_V();
    current_mA_0x40 = ina219_0x40.getCurrent_mA();
    power_mW_0x40 =
current_mA_0x40*busvoltage_0x40;//ina219_0x40.getPower_mW();
    loadvoltage_0x40 = busvoltage_0x40 + (shuntvoltage_0x40 /
1000);

    shuntvoltage_0x44 = ina219_0x44.getShuntVoltage_mV();
```

SISTEM PENTRU STUDIUL RENTABILITATII IMPLEMENTARII METODELOR DE EFICIENTIZARE A PRODUCTIEI DE ENERGIE

IN SISTEMELE FOTOVOLTAICE

```
busvoltage_0x44 = ina219_0x44.getBusVoltage_V();
current_mA_0x44 = ina219_0x44.getCurrent_mA();
power_mW_0x44 =
busvoltage_0x44*current_mA_0x44;//ina219_0x44.getPower_mW();
loadvoltage_0x44 = busvoltage_0x44 + (shuntvoltage_0x44 /
1000);

achizitii_0x44_mA[indexSample]=fabs(current_mA_0x44);
achizitii_0x44_mW[indexSample]=power_mW_0x44;
achizitii_0x44_V[indexSample] =busvoltage_0x44;
achizitii_0x40_mA[indexSample]=fabs(current_mA_0x40);
achizitii_0x40_mW[indexSample]=power_mW_0x40;
achizitii_0x40_V[indexSample] =busvoltage_0x40;

if(indexSample<9){
    indexSample=indexSample+1;
}else{
    indexSample=0;
}
//=====
=====INA219
//=====desenez un cerc
pe OLED , feedback la rularea codului
display.fillCircle(62+cursor,60,2,WHITE);
display.display();
if(cursor<64){
    cursor=cursor+8;
}else{
    cursor=0;
}
}
```

In cadrul rutinei de 1s au loc atat filtrarea datelor provenite de la senzorii INA219,preluarea datelor de la senzorii de temperatura AHT21 si BMP280, cat si afisarea parametrilor sistemului pe ecranul OLED.

Filtrarea datelor se face prin obtinerea unei medii a 10 valori colectate in rutina de 100ms , pe ecranul OLED afisandu-se valorile filtrate, afisarea fiecărei valori colectate facand urmarirea ecranului foarte dificila , astfel afisand mediile se pastreaza o rata de improspatare a datelor pe ecran de o secunda.

```
void func_1s()
{
    pressure = bmp.readPressure();
    temperature = bmp.readTemperature()-1.0;
    aht.getEvent(&humidity, &temp);

    total_0x40_mA=0;
    total_0x40_mW=0;
    total_0x40_V =0;
    total_0x44_mA=0;
    total_0x44_mW=0;
    total_0x44_V =0;
    for(int i=0;i<10;i++){
        total_0x40_mA=total_0x40_mA+achizitii_0x40_mA[i];
```

SISTEM PENTRU STUDIUL RENTABILITATII IMPLEMENTARII METODELOR DE EFICIENTIZARE A PRODUCTIEI DE ENERGIE  
IN SISTEMELE FOTOVOLTAICE

```
        total_0x40_mW=total_0x40_mW+achizitii_0x40_mW[i];
        total_0x40_V =total_0x40_V+achizitii_0x40_V[i];
        total_0x44_mA=total_0x44_mA+achizitii_0x44_mA[i];
        total_0x44_mW=total_0x44_mW+achizitii_0x44_mW[i];
        total_0x44_V =total_0x44_V+achizitii_0x44_V[i];
    }
    display.clearDisplay();
    display.setTextSize(1);
    display.setCursor(0 ,0 );display.print("MCU_0x44:");
    display.setCursor(0 ,8 );display.print(round(total_0x44_
mW/10));
    display.setCursor(40 ,8 );display.print("mW");
    display.setCursor(0 ,16
);display.print(total_0x44_mA/10.0);
    display.setCursor(40 ,16 );display.print("mA");
    display.setCursor(0 ,24
);display.print(total_0x44_V/10.0);
    display.setCursor(40 ,24 );display.print("V");

    display.setCursor(0 ,32 );display.print("X.Y_0x40:");
    display.setCursor(0 ,40
);display.print(round(total_0x40_mW/10));
    display.setCursor(40 ,40 );display.print("mW");
    display.setCursor(0 ,48
);display.print(total_0x40_mA/10.0);
    display.setCursor(40 ,48 );display.print("mA");
    display.setCursor(0 ,56
);display.print(total_0x40_V/10.0);
    display.setCursor(40 ,56 );display.print("V");

    display.setCursor(60 ,0 );display.print("Presiune:");
    display.setCursor(60 ,8 );display.print(pressure);
    display.setCursor(115,8 );display.print("Pa");

    display.setCursor(60 ,16 );display.print("Temp:");
    display.setCursor(60 ,24 );display.print("T1:");
    display.setCursor(80 ,24 );display.print(temperature);
    display.setCursor(118,24 );display.print("C");
    display.setCursor(60 ,32 );display.print("T2:");
    display.setCursor(80 ,32 );display.print(temp.temperature);
    display.setCursor(118,32 );display.print("C");

    display.setCursor(60 ,40 );display.print("Umiditate:");
    display.setCursor(60 ,48
);display.print(humidity.relative_humidity);
    display.setCursor(118,48 );display.print("%");

    display.display();
    cursor=0;
}
```

SISTEM PENTRU STUDIUL RENTABILITĂȚII IMPLEMENTĂRII METODELOR DE EFICIENTIZARE A PRODUCȚIEI DE ENERGIE  
IN SISTEMLILE FOTOVOLTAICE

În cadrul rutinei de 5 secunde se colectează datele sistemului pe cardul microSD , pentru a face mai ușoară prelucrarea acestora sunt scrise fără unități de măsură, aranjate în grupuri cu linii goale între ele , pot fi prelucrate ulterior pentru a obține grafice ale producției de energie corespunzătoare fiecărui panou, variației de temperatură , presiune și umiditate din cutia de control .

```
void func_5s()
{

    if (!SD.begin(pinCS))
    {
        //Serial.println("SD card initialization failed");
    }

    myfile = SD.open("Date.txt", FILE_WRITE);
    if (myfile)
    {
        myfile.println(round(total_0x44_mW/10));
        myfile.println(total_0x44_mA/10.0);
        myfile.println(total_0x44_V/10.0);
        myfile.println(round(total_0x40_mW/10));
        myfile.println(total_0x40_mA/10.0);
        myfile.println(total_0x40_V/10.0);
        myfile.println(pressure);
        myfile.println(temperature);
        myfile.println(temp.temperature);
        myfile.println(humidity.relative_humidity);
        myfile.println();
        myfile.println();
        myfile.close();
    } else
    {
        //Serial.println("error opening the text file!");
    }
}
```

O dată la un minut temperatura măsurată este folosită pentru a porni sau opri ventilatoarele.

```
void func_1m()
{
    if(temperature>40.00){
        digitalWrite(pinReleuVentIna219,HIGH);
        digitalWrite(pinReleuVentESP,HIGH);
    }else {
        digitalWrite(pinReleuVentIna219,LOW);
        digitalWrite(pinReleuVentESP,LOW);
    }
}
```

Ultima rutină folosită este cea de 10 minute, în cadrul acesteia se reactivează urmărirea solară pentru a repositiona panoul , soarele avansează pe cer cu viteză de 2.5 grade o dată la 10 minute , am considerat că o corecție a poziției panoului în acest interval ar fi potrivită .

```
void func_10m()
{
    pozFinala=false;// soarele își schimbă unghiul cu 15 grade pe
    ora, deci 2.5 grade o dată la 10 minute
}
```

## 5. Rezultatele Obținute

În urma unui rulaj de o zi în data de 02.09.2023 am optat pentru a exporta datele colectate din Mega 2560 în cardul micro SD o dată la 5 minute prin alterarea temporizatorului de la funcția de 10 minute din proiect, exportul datelor la 5 secunde ar fi generat o cantitate de date ce depășește capacitățile laptopului folosit în prelucrarea datelor.

Am reușit să prelucrez grafice pe durate maxime de o oră cu rata de achiziție a datelor la 5 secunde (720 de achiziții de date/oră), limitând achiziția de date la 5 minute (12 achiziții/oră) am generat graficul comparativ din figura 5-1.

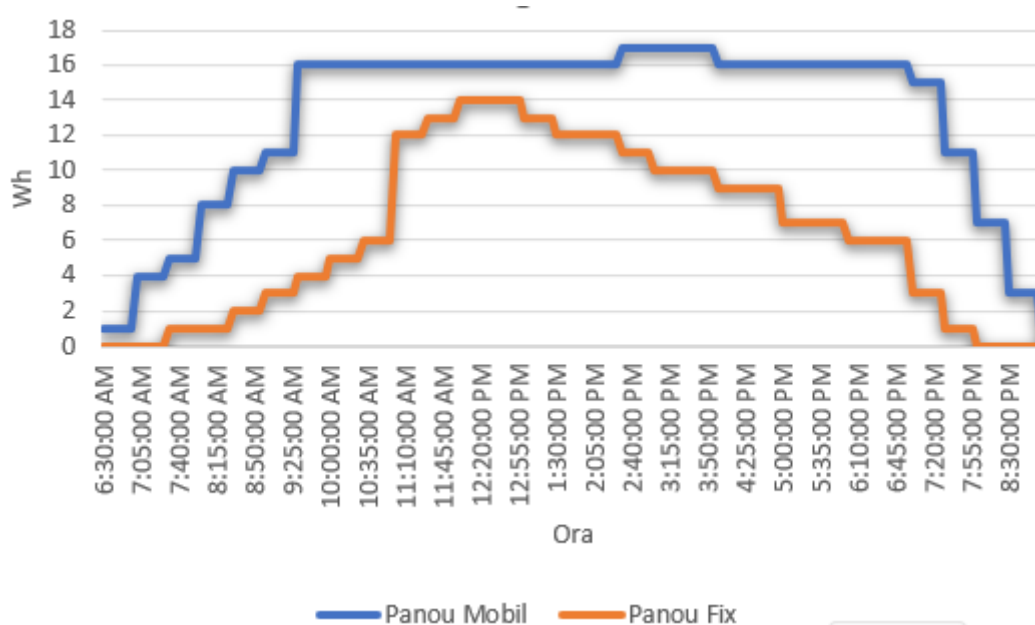


Fig. 5-1 Rezultate Experiment 1

Experimentul 2 a avut loc ziua următoare, când condițiile meteo nefavorabile (cer înorat și ploaie) au arătat punctele slabe ale sistemului, valorile din modulul software ce se ocupa cu achiziția datelor de pe fotorezistori au fost setate într-o zi cu cer senin, valorile de la nivelul fotorezistorilor din data de 2.09.2023 au împiedicat panoul mobil să plece din poziția inițială în care aștepta răsăritul. Generând astfel rezultatele din graficul 5-2.

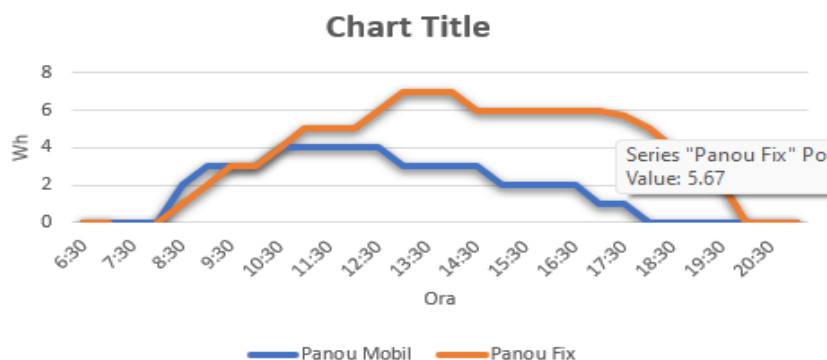


Fig. 5-2 Rezultate Experiment 2

## 6. Concluzii și direcții de dezvoltare

### 6.1 Concluzii

Sistemul realizat a trecut prin mai multe implementări decât am prevăzut, pornindu-se de la ideea de bază ce presupunea urmărirea soarelui folosind un panou fotovoltaic s-a ajuns la forma actuală ce nu se limitează la o singură funcționalitate, plecând de la o idee cu scopul implementării acestora pe instalațiile fotovoltaice de mici dimensiuni am ajuns la un spațiu de testare pentru funcționalități noi, cu direcții de dezvoltare multiple.

Facând posibilă testarea și compararea rezultatelor obținute într-o multitudine de situații plecând de la simpla comparare simultană a producției energetice a unui panou fix și unul mobil, diferite tipuri de panouri, diferite tipuri de controlere pentru sistemele fotovoltaice, etc.

La realizarea proiectului am întâmpinat și unele probleme, care totuși au fost rezolvate. Câteva dintre problemele întâmpinate sunt:

- senzorii INA219 necesită înlocuirea cu componente mai robuste, sunt predispuși defectiunilor
- lipsa de experiență de lucru cu ESP32 ce a introdus delay-uri și întârzierea livrării unui proiect funcțional, livrarea funcționalităților bazate pe acesta fiind amânate

În cadrul proiectului există și un număr considerabil de implementări reușite la nivel hardware cât și software printre care se afla:

- Sistemul funcționează pe baza unui sistem de operare în timp real, în cadrul acestuia codul rulându-se în mod continuu, fără întârzieri, permițând astfel plăcii de dezvoltare Mega 2560 să furnizeze un flux de date cu o precizie acceptabilă timp de peste 30 de zile fără a necesita intervenții
- Implementarea funcționalității de detecție și protecție în cazul căderilor de grindină de dimensiuni mari.
- Modulul de urmărire solară, ce permite sistemului să găsească poziția soarelui relativ la acesta.
- Modulul de poziționare a panoului mobil, un angrenaj destul de complex considerând faptul că el realizează mișcarea pe 2 axe.
- Realizarea unei magistrale de comunicație aproape de limitele maxime sugerate în specificațiile protocolului I2C pentru distanțe de comunicație între module.

## 6.2 Direcții de dezvoltare

Există diverse direcții de dezvoltare care pot fi aplicate acestui proiect. Cele mai consistente ar fi:

1) Înlocuirea modulelor de control al încărcării PWM cu unele MPPT ce permit o analiză mai detaliată a graficului de energie produsă și studiul producției de energie chiar și pe timpul nopții ( luna poate servi ca un reflector) , modulele actuale făcând imposibilă extragerea de energie din panou când aceasta se apropie de limita inferioară, făcând astfel dificilă chiar și atingerea unei concluzii cu privire la eficiența adăugată de urmărirea solară .

2) Renunțarea la folosirea fotorezistorilor, implementarea unui algoritm de poziționare bazat pe data, ora, orientare, latitudine și longitudine cu ajutorul ADXL345 și a unor senzori adiționali, aceasta îmbunătățire ar putea facilita montarea panourilor pe platforme tractabile pentru rulote spre exemplu, făcând operațiunea de poziționare 100% automatizată după parcarea vehiculului.

3) Implementarea funcționalității de protecție împotriva grindinei într-un modul mai integrabil în sistemele existente pe piață , un accelerometru ce se lipește pe panou, conectat la o cutie de control ce poate suprascrive comenzile venite de la cutiile de comandă a sistemelor mobile existente pe piață.



## FIGURI ȘI TABELE

Figura 1. Tracker solar pentru panouri solare fotovoltaice [1].....	4
Figura 2. Micro calculator tracker complet poziționar dual motor [2].....	4
Figura 3. Structura programului C++.....	6
Figura 4. Structura programului în Arduino IDE.....	6
Figura 5. Pinout-ul microcontroller-ului esp32.....	8
Figura 6. ATmega2560.....	9
Figura 7. BMP280.....	10
Figura 8. AHT21.....	11
Figura 9. Senzor de curent bidirecțional INA219.....	12
Figura 10. Punte H de putere BTS7960.....	13
Figura 11. Coborător de tensiune XL4015.....	14
Figura 12. Modul microSD.....	15
Figura 13. Modul de control încărcare solară PWM.....	15
Figura 14. Panou solar.....	16
Figura 15. Actuator liniar.....	17
Figura 16. Senzor ADXL345.....	18
Figura 17. Translator nivel logic.....	19
Figura 18. Pinout Mega2560.....	27

## BIBLIOGRAFIE

- [1] <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/709/1/012003/meta> Accesat în 20 August 2023
- [2] <https://core.ac.uk/download/pdf/159179631.pdf> Accesat în 20 August 2023
- [3] <https://www.sigmanortec.ro/placa-dezvoltare-esp32-cu-wifi-si-bluetooth> Accesat în 20 August 2023
- [4] <https://www.sigmanortec.ro/Placa-dezvoltare-Mega-2560-R3-cablu-usb-compatibil-ARDUINO-p125149866> Accesat în 20 August 2023
- [5] [https://www.sigmanortec.ro/Senzor-BMP280-presiune-atmosferica-temperatura-p125704124?fast\\_search=fs](https://www.sigmanortec.ro/Senzor-BMP280-presiune-atmosferica-temperatura-p125704124?fast_search=fs) Accesat în 22 August 2023
- [6] <https://ardushop.ro/ro/home/2510-modul-senzor-umiditate-si-temperatura-aht21-groundstudio.html> Accesat în 22 August 2023
- [7] <https://www.sigmanortec.ro/Senzor-monitor-curent-tensiune-bidirectional-INA219-p136254418> Accesat în 22 August 2023
- [8] <https://www.sigmanortec.ro/punte-h-de-putere-driver-motor-bts7960-43a> Accesat în 22 August 2023
- [9] [https://www.sigmanortec.ro/Modul-coborator-tensiune-XL4015-5-36VDC-5A-75W-cu-display-p158469512?fast\\_search=fs](https://www.sigmanortec.ro/Modul-coborator-tensiune-XL4015-5-36VDC-5A-75W-cu-display-p158469512?fast_search=fs) Accesat în 23 August 2023
- [10] [https://www.sigmanortec.ro/Modul-MicroSD-p126079625?fast\\_search=fs](https://www.sigmanortec.ro/Modul-MicroSD-p126079625?fast_search=fs) Accesat în 23 August 2023
- [11] [https://www.sigmanortec.ro/modul-control-incarcare-solara-pwm-rbl-30a-versiune-hq?fast\\_search=fs](https://www.sigmanortec.ro/modul-control-incarcare-solara-pwm-rbl-30a-versiune-hq?fast_search=fs) Accesat în 23 August 2023
- [12] <https://brecknergermany.ro/panouri-solare/panou-solar-20w-460x350x40mm-monocristalin-cu-regulator-de-incarcare-10a-12-24v-cablu-1900-mm-breckner-germany.html> Accesat în 23 August 2023
- [13] [https://www.amazon.com/gp/product/B0B1P88CJB/ref=ppx\\_yo\\_dt\\_b\\_asin\\_title\\_o00\\_s0?ie=UTF8&psc=1](https://www.amazon.com/gp/product/B0B1P88CJB/ref=ppx_yo_dt_b_asin_title_o00_s0?ie=UTF8&psc=1) Accesat în 23 August 2023
- [14] <https://www.sigmanortec.ro/modul-accelerometru-adxl345-i2cspi-33-5v> Accesat în 23 August 2023
- [15] [https://www.sigmanortec.ro/Modul-Translator-nivel-logic-I2C-IIC-bidirectional-8-canale-3-3V-5V-TXS0108E-p136254032?fast\\_search=fs](https://www.sigmanortec.ro/Modul-Translator-nivel-logic-I2C-IIC-bidirectional-8-canale-3-3V-5V-TXS0108E-p136254032?fast_search=fs) Accesat în 23 August 2023
- [16] <https://docs.arduino.cc/learn/starting-guide/the-arduino-software-ide> Accesat în 1 Septembrie 2023

[17] <https://docs.github.com/en/get-started/quickstart/hello-world> Accesat în 1 Septembrie 2023

[18] [https://www.ti.com/lit/an/slva704/slva704.pdf?ts=1693966525765&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F](https://www.ti.com/lit/an/slva704/slva704.pdf?ts=1693966525765&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F) Accesat în 1 Septembrie 2023

[19] <https://www.visual-paradigm.com/guide/uml-unified-modeling-language/about-state-diagrams/> Accesat în 26 August 2023

[20] <https://app.diagrams.net/> Accesat în 3 Septembrie 2023

**DECLARAȚIE DE AUTENTICITATE A  
LUCRĂRII DE FINALIZARE A STUDIILOR\***

Subsemnatul Arnautu Dumitru-Florin

legitimă cu CARTEA DE IDENTITATE seria GZ nr. 836580,

CNP 5000722181091,

autorul lucrării SISTEM PENTRU STUDIUL RENTABILITĂȚII IMPLEMENTĂRII METODELOR DE  
EFICIENTIZAREA PRODUCȚIEI DE ENERGIE IN SISTEMELE FOTOVOLTAICE

elaborată în vederea susținerii examenului de finalizare a studiilor de  
LICENȚĂ organizat de către Facultatea DE  
AUTOMATICA SI CALCULATOARE din cadrul Universității Politehnica Timișoara, sesiunea  
SEPTEMBRIE a anului universitar 2022-2023, coordonator Conf.dr.ing. Adrian Korodi,  
luând în considerare art. 34 din *Regulamentul privind organizarea și desfășurarea examenelor de  
licență/diplomă și disertație*, aprobat prin HS nr. 109/14.05.2020 și cunoscând faptul că în cazul  
constatării ulterioare a unor declarații false, voi suporta sancțiunea administrativă prevăzută de art. 146  
din Legea nr. 1/2011 – legea educației naționale și anume anularea diplomei de studii, declar pe proprie  
răspundere, că:

- această lucrare este rezultatul propriei activități intelectuale;
- lucrarea nu conține texte, date sau elemente de grafică din alte lucrări sau din alte surse fără ca acestea să nu fie citate, inclusiv situația în care sursa o reprezintă o altă lucrare/alte lucrări ale subsemnatului;
- sursele bibliografice au fost folosite cu respectarea legislației române și a convențiilor internaționale privind drepturile de autor;
- această lucrare nu a mai fost prezentată în fața unei alte comisii de examen/prezentată public/publicată de licență/diplomă/disertație;
- În elaborarea lucrării nu am utilizat instrumente specifice inteligenței artificiale (IA)<sup>1</sup>.

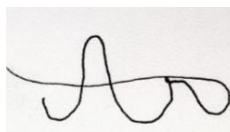
Declar că sunt de acord ca lucrarea să fie verificată prin orice modalitate legală pentru confirmarea originalității, consimțind inclusiv la introducerea conținutului său într-o bază de date în acest scop.

Timișoara,

Data

03/09/2023

Semnătura



\*Declarația se completează de student, se semnează olograf de acesta și se inserează în lucrarea de finalizare a studiilor, la sfârșitul lucrării, ca parte integrantă.

<sup>1</sup> Se va păstra una dintre variante: 1 - s-a utilizat IA și se menționează sursa 2 – nu s-a utilizat IA