

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СМАРТ-СИСТЕМИ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ З ВЕРТИКАЛЬНОЮ ВІССЮ ОБЕРТАННЯ

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СМАРТ-СИСТЕМИ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ З ГОРИЗОНТАЛЬНОЮ ВІССЮ ОБЕРТАННЯ

Виконали студенти:

В.В. Марчук

В.В. Горенюк

Керівник:

д.т.н., проф. О.Б. Мокін

кафедра

ВЕТЕСК

Актуальність застосування ВЕУ:

- використання відновлюваних джерел енергії;
- відсутність шкідливих викидів у атмосферу;
- короткі терміни введення в експлуатацію;
- не потребують постійного обслуговування.



Метою роботи є покращення експлуаційних показників вітроенергетичної установки за рахунок розроблення смарт-системи моніторингу її параметрів.

Об'єктом дослідження магістерської кваліфікаційної роботи є вітроенергетична установка з горизонтальною (вертикальною)віссю обертання.

Предметом дослідження є процеси, що протікають в електротехнічному комплексі вітроенергетичної установки.

Задачі, які потрібно вирішити в ході роботи:

- аналіз існуючих типів ВЕУ;
- розрахунок вітроколеса;
- вибір генеруючого пристрою;
- вибір силових елементів;
- розробка смарт-системи ВЕУ;
- розробка структурної та принципової схем ВЕУ;
- моделювання ВЕУ;
- техніко-економічне обґрунтування.

кафедра

ВЕТЕСК

Розрахунок вітроколеса з горизонтальною віссю обертання

Розрахунок діаметра вітроколеса:

$$D_P = \sqrt{\frac{8 \cdot N}{C \cdot \rho \cdot V^3 \cdot \pi \cdot \eta_{ел} \cdot \eta_{мех}}}$$

де N – номінальна потужність ($N = 25000$ Вт);

$\eta_{ел}$ – ККД електричний ($\eta_{ел} = 0.9$);

$\eta_{мех}$ – ККД механічний ($\eta_{мех} = 0.97$);

ρ – густина повітря ($\rho = 1.23$ кг/м³);

V – швидкість вітру ($V = 10.5$ м/с);

$V_{пор}$ – швидкість вітру при пориві ($V_{пор} = 25$ м/с);

Z_R – заданий коефіцієнт швидкохідності в робочі точці ($Z_R = 4$);

K - коефіцієнт використання енергії вітру ($K = 0.376$)

$$D_P = \sqrt{\frac{8 \cdot 25000}{0.379 \cdot 1.23 \cdot 10.5^3 \cdot 3.14 \cdot 0.9 \cdot 0.97}} = 12 \text{ метрів}$$

Розрахунок вітроколеса з вертикальною віссю обертання

Вихідні дані для розрахунку вітроенергетичної установки (ВЕУ) з вертикальною віссю обертання:

- діаметр ротора ВЕУ $D_{\text{ВУ}} = 6$ м;
- висота лопаті ВЕУ $H_{\text{л}} = 12.5$ м;
- робоча (номінальна) швидкість , $U_p = 10,5$ м/с.

Площа проекції ротора на площу, яка перпендикулярна до напрямку повітряного потоку:

$$S = H \cdot D = 6 \cdot 12.5 = 75 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Визначимо силу $F_{\text{рез}}$, яка діє на ротор:

$$F_{\text{рез}} = \chi \cdot S \cdot \frac{\rho \cdot V^2}{2} = 0.665 \cdot 75 \cdot \frac{1.29 \cdot 10.5^2}{2} = 3.547 \text{ (кН)}$$

Робоча потужність ВЕУ визначається так:

$$N = \xi_{\text{max}} \cdot S \cdot \frac{\rho \cdot V^3}{2} = 0.36 \cdot 75 \cdot \frac{1.29 \cdot 10.5^3}{2} = 20.16 \text{ (кВт)}.$$

Генератор

В якості генеруючого пристрою обраний синхронний генератор на постійних магнітах

Переваги:

- проста конструкція;
- має велику перевантажувальну здатність;
- не споживає намагнічувальний струм.



Вихідні дані для вибору генераторів

Параметри	ВЕУ ВО	ВЕУ ГО
Номінальна потужність	$P_H = 20 \text{ кВт}$	$P_H = 25 \text{ кВт}$
Номінальна лінійна напруга	$U_H = 400 \text{ В}$	$U_H = 400 \text{ В}$
Номінальна частота обертання	$n_H = 150 \text{ мин}^{-1}$	$n_H = 1500 \text{ мин}^{-1}$
Частота	$f = 50 \text{ Гц}$	$f = 50 \text{ Гц}$
Коефіцієнт потужності	$\cos\phi_H = 1$	$\cos\phi_H = 1$
Кількість фаз	$m = 3$	$m = 3$
Охолодження	повітряне, самовентиляція	повітряне, самовентиляція

Вибір генераторів

Розрахунок номінальних параметрів:

1. Номінальна фазна напруга (при з'єднанні обмотки статора в зірку Y)

$$U_{\text{нф}} = \frac{U_{\text{н}}}{\sqrt{3}}.$$

2. Номінальна повна потужність:

$$S_{\text{н}} = \frac{P_{\text{н}} \cdot 10^3}{\cos \phi_{\text{н}}}.$$

3. Номінальний фазний струм:

$$I_{\text{нф}} = \frac{S_{\text{н}}}{\sqrt{3}U_{\text{н}}}.$$

4. Число пар полюсів :

$$p = \frac{60f}{n_{\text{н}}}.$$

Вибираємо генератори, які мають наступні параметри:

Параметри	NH-20K-150	ГС-25
Номінальна потужність, кВт	20	25
Номінальна частота обертання, об/хв	150	1500
Номінальна напруга, В	400	400
Номінальний струм, А	28,87	45
Клас ізоляції	F	F
Діапазон швидкостей, об/хв	0-200	0-1500
Тип	горизонтальний	горизонтальний
Вага, кг	610	150

Параметри контролерів заряду:

Контролер заряду 26KW-360Vdc



Контролер заряду WWS200A-360

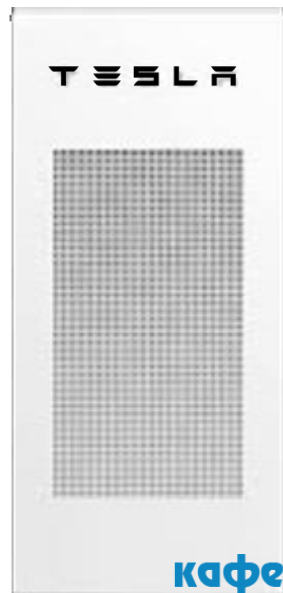


Параметри контролерів заряду:

Контролер заряду	26KW-360Vdc	WWS200A-360
Ном. потужність вітрогенератора	20 кВт	20 кВт
Максимальна потужність вітроколеса	40кВт	30кВт
Ном. потужність сонячних батарей	6кВт	6кВт
Номінальна напруга АКБ	360 В	360 В
Функції	Випрямляч, керування зарядом	Випрямляч, керування зарядом
3-фазна напруга вітрогенератора	435 В	420 В
Максимальний струм зарядки	80 А	180 А
Робоча температура	-30 – +60 ⁰ С	-20 – +55 ⁰ С
Ступінь захисту	IP20	IP20
Спосіб охолодження	Примусове повітряне охолодження	Примусове повітряне охолодження
Інтерфейс зв'язку	Rs485/usb/gprs/ethernet	Rs232/Rs485/usb/ethernet
Розмір контролера	560*460*950 мм	250*410*420 мм
Вага контролера	53 кг	30 кг

Параметри акумуляторної батареї Tesla Powerwall:

- модель 10 кВт·год
- напруга – 350-450В
- максимальна потужність – 3.3 кВт
- номінальний струм – 5 А
- максимальний струм – 8.5 А
- коефіцієнт корисної дії – 92.5%



Параметри акумуляторної батареї Tesla PowerPack

- модель 100 кВт·год
- напруга – 350-450В
- максимальна потужність – 50 кВт
- вбудований інвертор
- робоча температура – від -20 до +50°C
- коефіцієнт корисної дії – 92.5%

Параметри двонаправленого інвертора Tesla Motors :

- Номінальна потужність 250 кВА
- Максимальна потужність – 250 кВт (при $\cos\phi = 1$)
- Коефіцієнт потужності – 0-1 (випередження та відставання)
- Максимальний коефіцієнт корисної дії – 96%



Важливим питанням у вітроенергетиці відносно ефективності є спостереження і контроль процесу експлуатації вітроенергетичних установок. Корегування та утримання роботи установки в нормальному режимі, а також передчасне попередження аварійних ситуацій дозволить подовжити їх експлуатаційній період та зекономити кошти на ремонт чи заміну елементів ВЕУ, що вийшли з ладу.



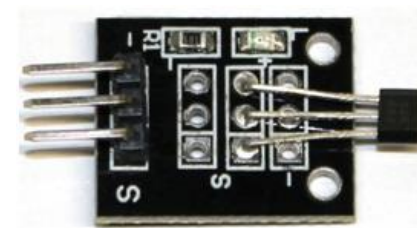
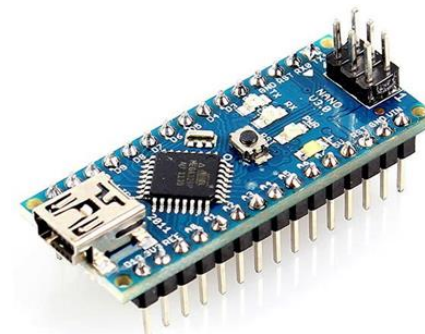
Під час експлуатації вітроенергетичної установки потрібно контролювати ряд параметрів для забезпечення стійкого та безпечного режиму роботи всієї системи. Дану задачу виконує смарт-система ВЕУ, яка вимірює ключові параметри та передає оператору. Отже, потрібно вимірювати такі параметри ВЕУ:

- швидкість вітру;
- швидкість обертання вітроколеса;
- напругу на затискачах генератора;
- струм, що споживається;
- потужність, що виробляється.

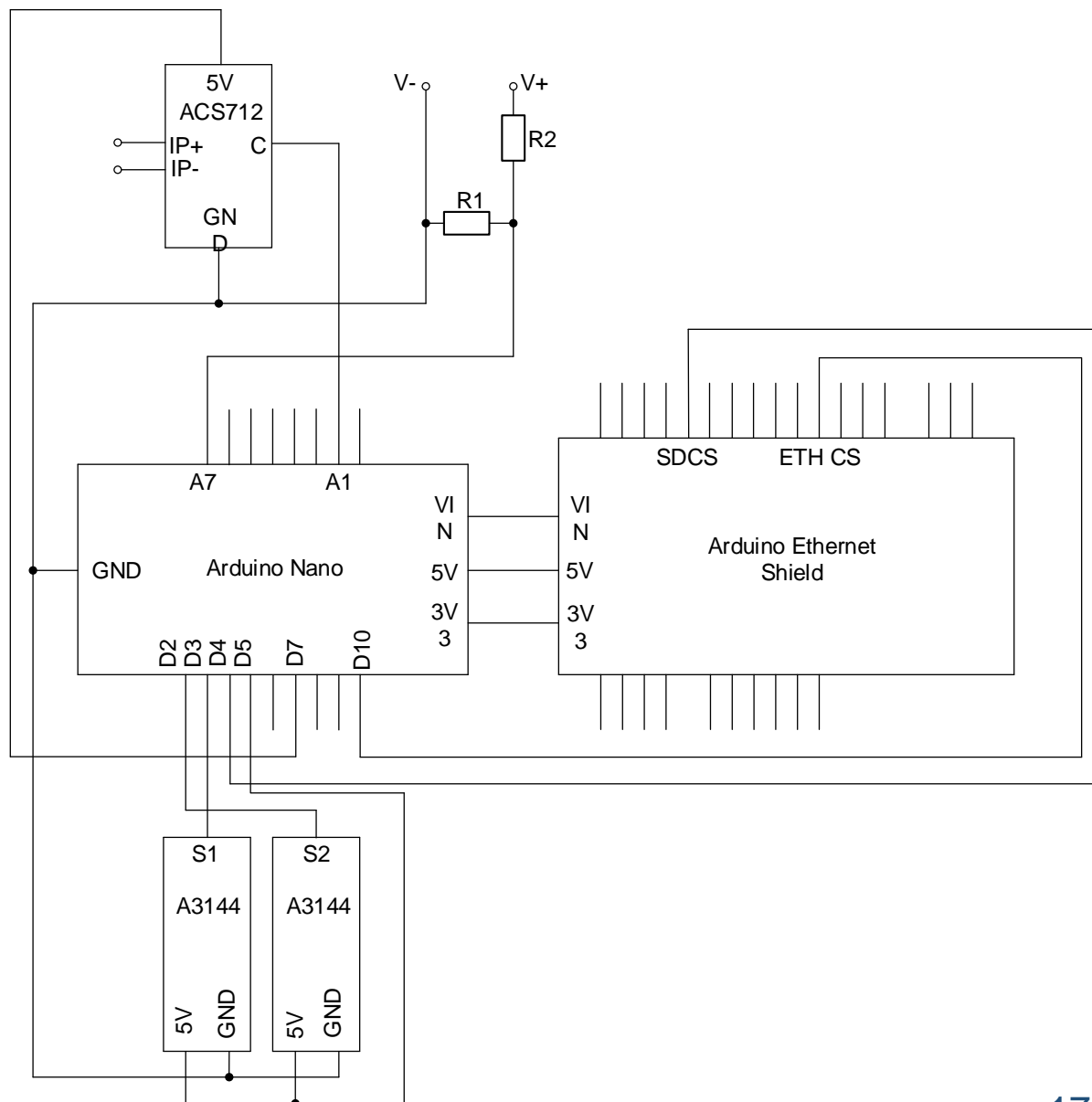


Для реалізації цієї системи, обрано такі елементи:

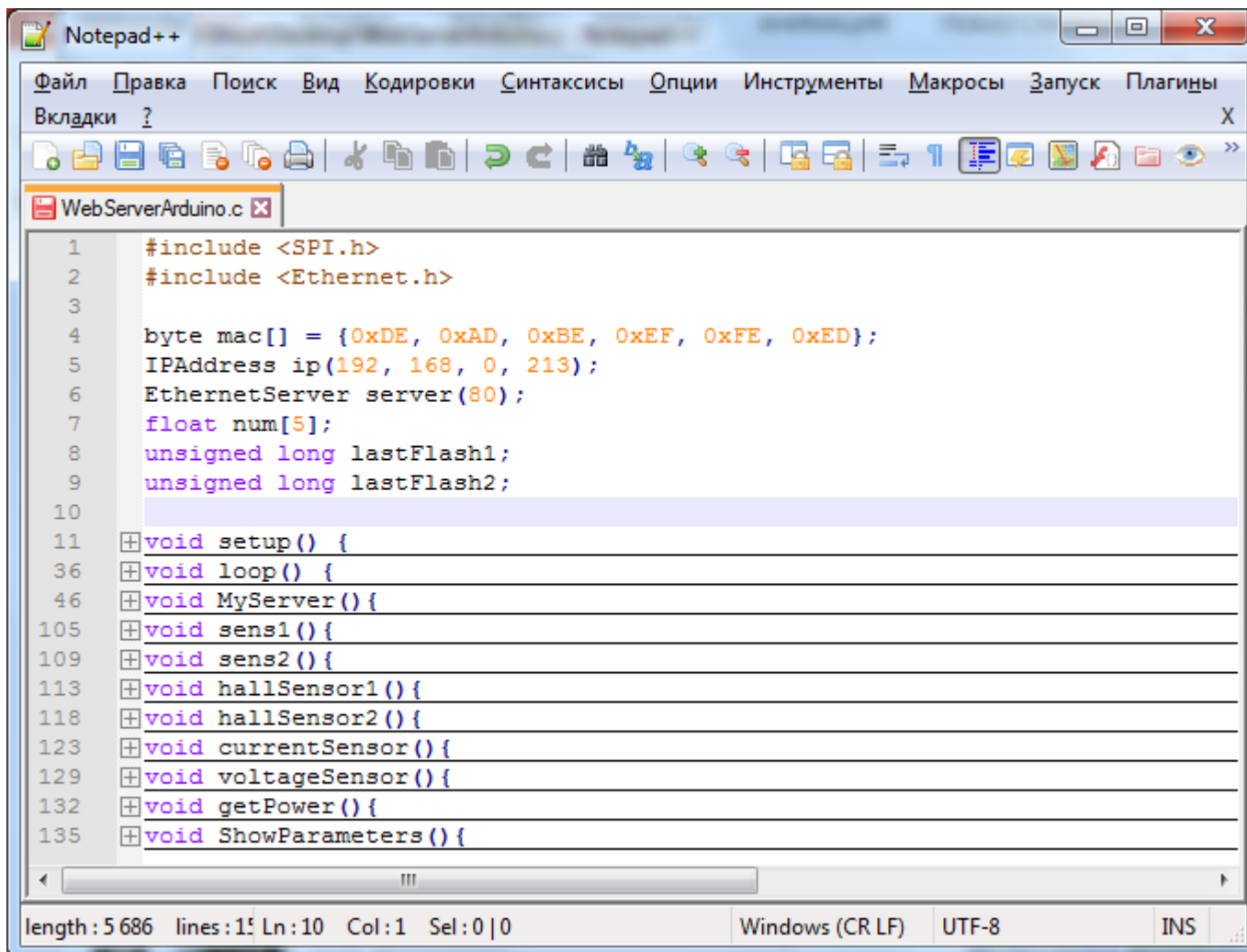
- Arduino Nano V3.0 – ядро системи;
- сенсор Холла А3144, для вимірювання швидкості вітру і швидкості обертання вітроколеса;
- Ethernet Shield W5100 – модуль передачі даних;
- сенсор струму ASC712 30A GY-712;
- подільник напруги.



Розроблено схему електричну принципову



Загальна структура програми



The image shows a Notepad++ window with a single tab titled 'WebServerArduino.c'. The code is written in C++ and includes several preprocessor directives and variable declarations at the top. Below these are several function definitions, each preceded by a '+' icon in the editor, indicating they are collapsed. The status bar at the bottom shows the file length as 5686 bytes, 1 line, and the cursor is at line 10, column 1.

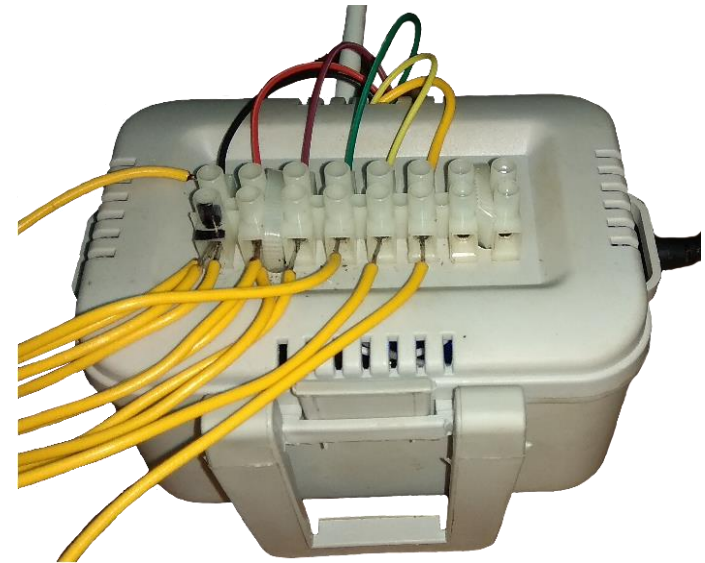
```
1  #include <SPI.h>
2  #include <Ethernet.h>
3
4  byte mac[] = {0xDE, 0xAD, 0xBE, 0xEF, 0xFE, 0xED};
5  IPAddress ip(192, 168, 0, 213);
6  EthernetServer server(80);
7  float num[5];
8  unsigned long lastFlash1;
9  unsigned long lastFlash2;
10
11  +void setup() {
36  +void loop() {
46  +void MyServer() {
105  +void sens1() {
109  +void sens2() {
113  +void hallSensor1() {
118  +void hallSensor2() {
123  +void currentSensor() {
129  +void voltageSensor() {
132  +void getPower() {
135  +void ShowParameters() {
```

length: 5686 lines: 1 Ln: 10 Col: 1 Sel: 0 | 0 Windows (CR LF) UTF-8 INS

Перевірка працездатності системи



Лабораторна ВЕУ

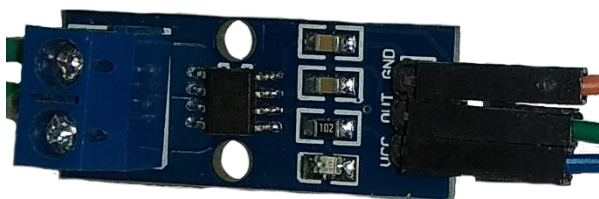


Вигляд скомп'юнованої системи

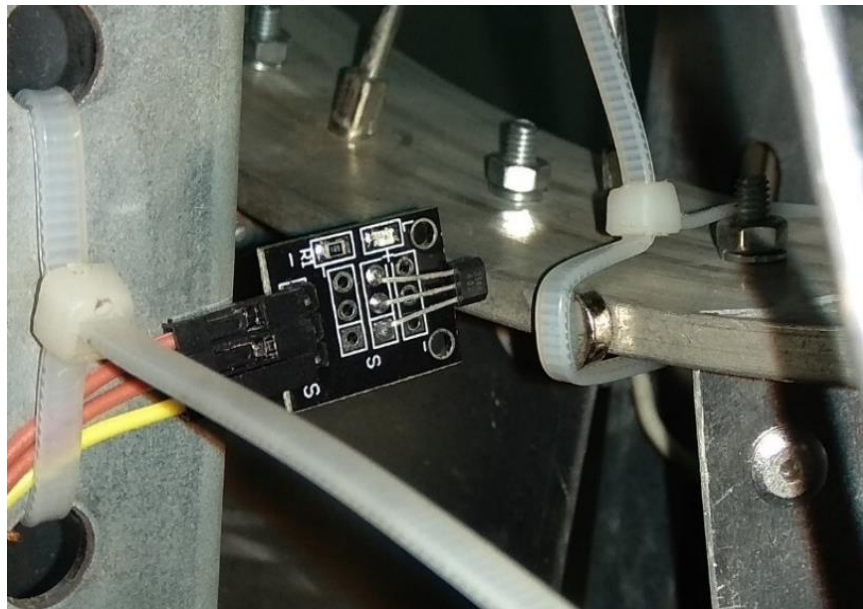
Перевірка працездатності системи



Сенсор швидкості вітру

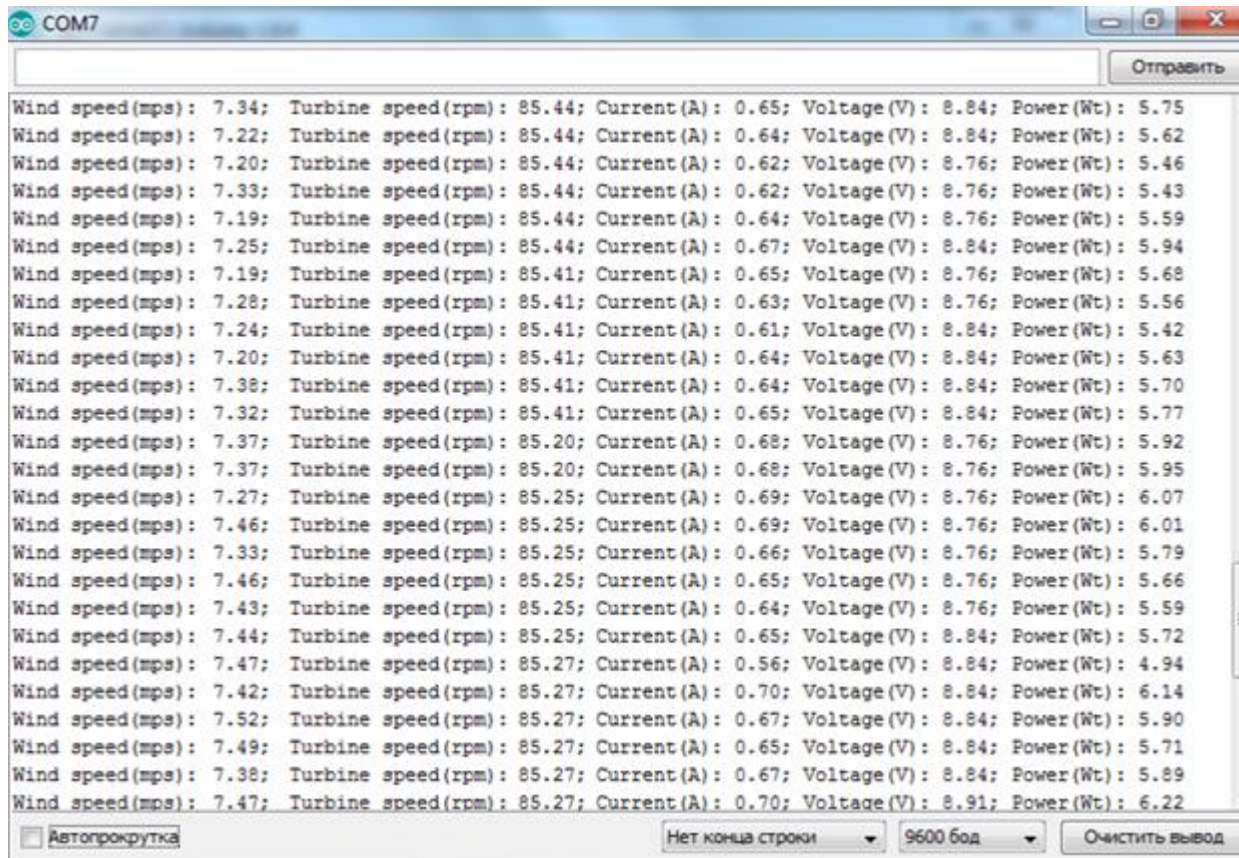


Сенсор струму



Сенсор частоти обертання
вітроколеса

Перевірка працездатності системи



The screenshot shows a terminal window titled 'COM7' with a 'Отправить' (Send) button at the top right. The main area contains a continuous stream of data lines, each representing a set of sensor readings. The data is as follows:

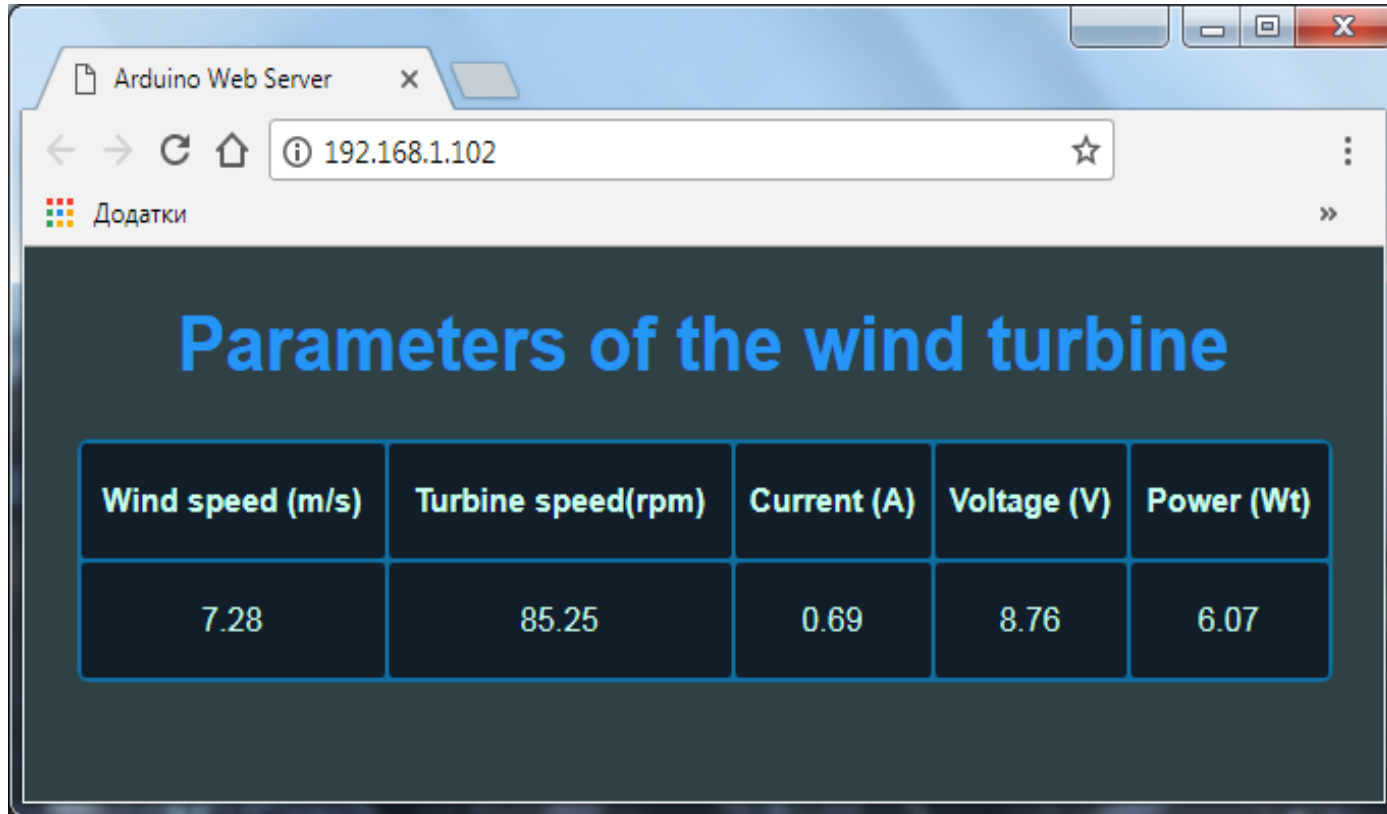
Wind speed (mps)	Turbine speed (rpm)	Current (A)	Voltage (V)	Power (Wt)
7.34	85.44	0.65	8.84	5.75
7.22	85.44	0.64	8.84	5.62
7.20	85.44	0.62	8.76	5.46
7.33	85.44	0.62	8.76	5.43
7.19	85.44	0.64	8.76	5.59
7.25	85.44	0.67	8.84	5.94
7.19	85.41	0.65	8.76	5.68
7.28	85.41	0.63	8.76	5.56
7.24	85.41	0.61	8.84	5.42
7.20	85.41	0.64	8.84	5.63
7.38	85.41	0.64	8.84	5.70
7.32	85.41	0.65	8.84	5.77
7.37	85.20	0.68	8.76	5.92
7.37	85.20	0.68	8.76	5.95
7.27	85.25	0.69	8.76	6.07
7.46	85.25	0.69	8.76	6.01
7.33	85.25	0.66	8.76	5.79
7.46	85.25	0.65	8.76	5.66
7.43	85.25	0.64	8.76	5.59
7.44	85.25	0.65	8.84	5.72
7.47	85.27	0.56	8.84	4.94
7.42	85.27	0.70	8.84	6.14
7.52	85.27	0.67	8.84	5.90
7.49	85.27	0.65	8.84	5.71
7.38	85.27	0.67	8.84	5.89
7.47	85.27	0.70	8.91	6.22

At the bottom of the window, there is a 'Автопрокрутка' (Autoscroll) checkbox, a 'Нет конца строки' (No line ending) dropdown menu, a '9600 бод' (9600 baud) dropdown menu, and a 'Очистить вывод' (Clear output) button.

Відображення масиву значень параметрів через

монітор порта

Перевірка працездатності системи



The screenshot shows a web browser window with the title 'Arduino Web Server' and the address bar containing '192.168.1.102'. The main content area displays the title 'Parameters of the wind turbine' in blue text. Below the title is a table with the following data:

Wind speed (m/s)	Turbine speed (rpm)	Current (A)	Voltage (V)	Power (Wt)
7.28	85.25	0.69	8.76	6.07

Відображення переданої інформації веб сторінки у
браузері Google Chrome

Висновки:

1. Розроблена смарт-система може використовуватися для модернізації вже існуючих та діючих ВЕУ. Застосування даної системи зменшує час простою ВЕУ тому, що ремонтна бригада дізнається про поломку майже миттєво і має змогу провести ремонтні роботи в найкоротший період часу. Термін окупності самої смарт-системи є невеликим за рахунок того, що зменшується термін простою установки. Це, в свою чергу, збільшує прибуток від роботи ВЕУ.
2. Вагомим фактором на користь використання Arduino, в якості смарт-системи, є те, що інформація знаходиться у відкритому доступі та існує велика кількість цієї інформації з описом побудови найрізноманітніших систем на її базі, що суттєво спрощує їх розробку і дає великі можливості для їх покращення (розширення функціоналу тощо).

Дякуємо за увагу!