* 1. **Загальний огляд компонентів системи**

Так як метою даного дипломного проекту є створення власного аналога моніторингової системи роботи ФЕС, необхідно зазначити певні технічні вимоги щодо розробки наступної. Насамперед, до таких вимог відносяться:

1. можливість роботи з обладнанням різних виробників;
2. портативність обладнання системи;
3. енергоефективність роботи системи;
4. можливість експорту даних для їх подальшого використання у технічному аналізі режимів роботи станції;
5. доступність використаних матеріалів на ринку України;
6. простота у використанні інтерфейсу програми для можливості роботи з ним персоналу без спеціальної підготовки;
7. відносно невелика вартість компонентів системи.

Для забезпечення належного виконання поставлених вимог, розроблена модель складається з чотирьох функціональних блоків, що дозволило спростити як процес розробки системи, так і подальшу експлуатацію окремих її елементів, дає змогу виконувати ремонт обладнання не порушуючи функціювання системи в цілому та легко розширювати існуючий функціонал системи, шляхом інтеграції в неї нових блоків. Отже, розглянемо дану модель більш детально.

Перший блок – блок метеоспостережень, розташований безпосередньо на об’єкті дослідження і призначений для зчитування даних з метеодатчиків та їх передачі по радіозв’язку в блок обробки інформації. Другий блок є блоком зняття електричних даних, здійснює регулярні опитування інвертора для зняття електричних показників станції й аналогічно першому транслює їх до третього блоку системи. До функціоналу третього блоку, що є блоком обробки інформації, відноситься отримання пакетів даних від фізично віддалених об’єктів дослідження, їх ідентифікації, первинної обробки та подальшої передачі на сервер. Четвертий блок – блок програмного забезпечення, що включає в себе REST-сервер, базу даних та клієнтський додаток.

* 1. **Розробка блоку метеоспостережень**

В основі роботи блоку метеоспостережень приймаємо мікроконтролер ATMega328, що обумовлено простотою використання та доступністю даного типу контролеру. Характеристики розглянутого мікроконтролера наведені у табл. 2.2.1. Для спрощення експлуатації мікроконтролера ATMega328 в розробленій схемі використовуються готові друковані плати марки Arduino серії Nano (рис. 2.2.1.).

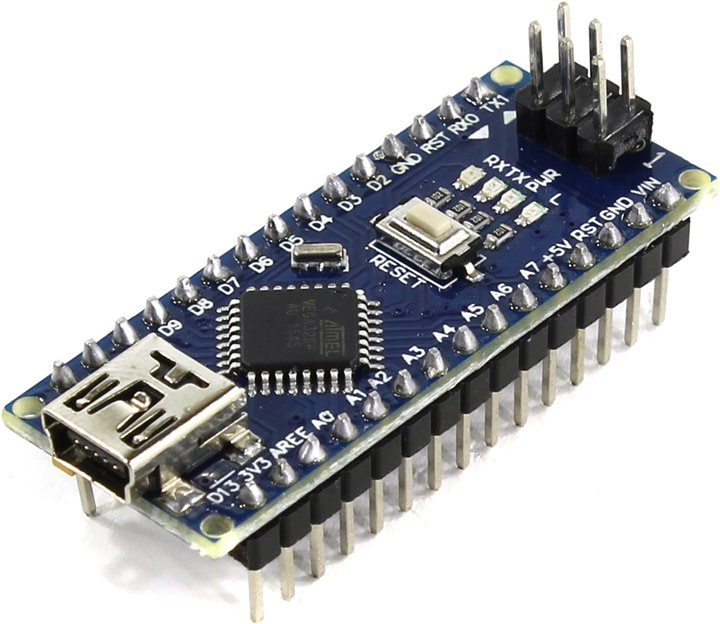
**Таблиця 2.2.1.** – Характеристики мікроконтролера ATMega328

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Параметр** | **Значення** | **Параметр** | **Значення** |
| Тактова частота | 0-20 МГц | Flash-пам'ять | 32 кб |
| SRAM-пам’ять | 2 кб | EEPROM-пам’ять | 1 кб |
| Напруга живлення | 1,8-5,5 В | Струм в режимі роботи | 0,2 мА |
| Загальна кількість портів | 23 | Струм в режимі сну | 0,75 мкА |
| Кількість ШИМ виходів | 6 | Кількість каналів АЦП | 6 |
| Кількість апаратних USART | 1 | Кількість апаратних SPI | 1 |

Як вже зазначалося вище, блок метеоспостережень розташований безпосередньо на об’єкті дослідження, тобто фотоелектричного модуля, і призначений для зчитування даних з метеодатчиків та передачі отриманої інформації по радіозв’язку в блок обробки інформації. Він складається з декількох цифрових метеодатчиків, плати Arduino Nano та радіомодуля nRF24L01. Цикл роботи даного блоку умовно можна поділити на декілька етапів:

1. дані, що знімають датчики, оцифровуються та передаються на мікроконтролер з певним інтервалом;
2. мікроконтролер формує пакет з отриманих даних, підписує його та передає на радіомодуль;
3. радіомодуль транслює пакети даних у зарезервований канал.

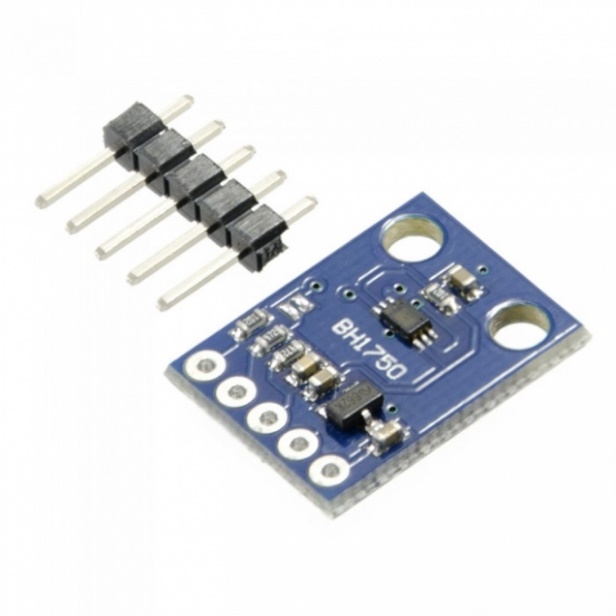
Отже, у першому етапі циклу роботи блока метеоспостережень, взаємодія йде між цифровими метеодатчиками та мікроконтролером ATMega328. До метеодатчиків, що наявні у базовій комплектації розробленої системи, відносяться: цифровий датчик температури DS18B20 (рис. 2.2.2. – а) та цифровий датчик освітленості GY-302 (рис. 2.2.2. – б). Обидва датчики встановлюються безпосередньо на поверхні фотомодуля і взаємодіють з мікроконтролером за визначеним алгоритмом. Передача даних з датчика освітленості виконується за допомогою інтерфейсу I2C, що є послідовною шиною даних для зв'язку інтегральних схем. В той час, як передача даних з датчика температури виконується через двонапрямлену шину зв’язку – публічний інтерфейс 1-Wire.



**Рисунок 2.2.1.** – Друкована плата марки Arduino серії Nano.



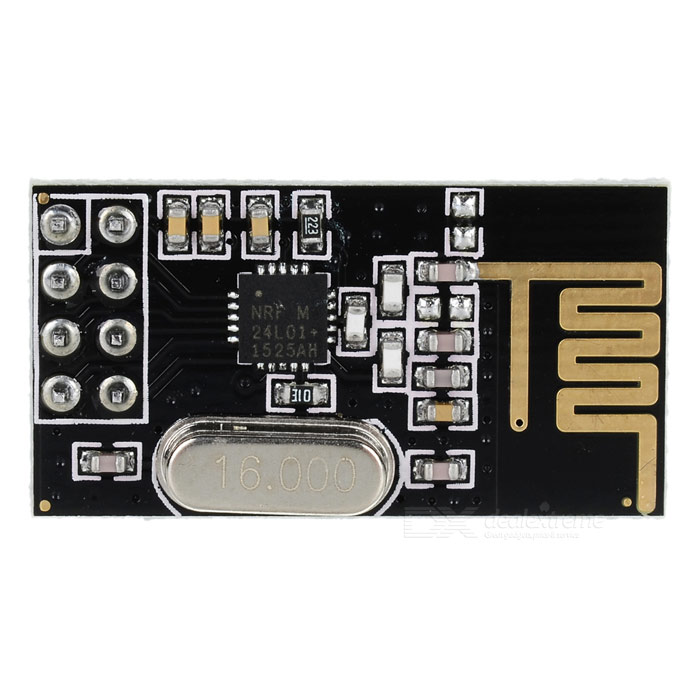
а)



б)

**Рисунок 2.2.2.** – Метеодатчики: а) цифровий датчик температури DS18B20; б) цифровий датчик освітленості GY-302.

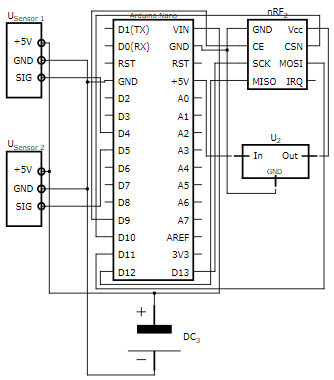
У другому етапі мікроконтролер спочатку виконує первинну обробку інформаційних потоків, тобто формує пакети даних: ідентифікує значення з кожного датчика, підписує їх відміткою часу та здійснює кодування пакету у зручний для передачі формат. Далі за допомогою шини SPI, що по суті є синхронним послідовним повнодуплексним стандартом передачі даних, виконується відправка підготовлених пакетів до радіомодуля nRF24L01, який зображений на рисунку 2.2.3.



**Рисунок 2.2.3.** – Радіомодуль nRF24L01

Третій етап є завершальним етапом циклу роботи блоку метеоспостережень і реалізовує зв’язок останнього з блоком обробки інформації. В ході роботи даного етапу радіомодуль nRF24L01 транслює отримані пакети даних у заздалегідь зарезервований канал. Живлення радіомодуля виконується з п’яти вольтового виходу плати Arduino Nano через регулятор напруги 3,3 В AMS1117.

Схематичне зображення описаної вище схеми наведене на рисунку 2.2.4. Код прошивки мікроконтролера наведений у додатку 1.



**Рисунок 2.2.3.** – Принципова схеми блоку метеоспостережень.

* 1. **Розробка блоку зняття електричних даних**

Зібранні моніторинговою системою дані можна умовно поділити на метеорологічні та електричні. До електричних даних відносяться сила струму, напруга, активна та реактивна потужності, частота. Для інтеграції системи збору електричних даних у запропоновану моніторингову систему існує два основні шляхи:

1. використання зовнішньої гальванічної розв’язки з власними вимірювальними пристроями, з подальшою інтеграцією їх вимірювань у розроблену систему;
2. використання вбудованої в інвертор системи моніторингу електричних показників.

Обидва із запропонованих варіантів мають як свої переваги, так і недоліки. Перевагами першого варіанта є не прив’язаність до конкретного бренду/виробника інверторів, можливість зекономити на виборі інвертора, можливість передачі даних за допомогою широкого вибору протоколів зв’язку. До його недоліків можна віднести: складність установки та обслуговування даного обладнання, необхідність побудови власних транзитних ліній передачі даних та електричного живлення обладнання, вимоги до метрологічної точності кожного використаного вимірювального приладу окремо. Перевагами другого варіанта є певна метрологічна точність виміряних даних (інвертор обов’язково підлягає метрологічній оцінці), простота установки та обслуговування. До його недоліків можна віднести: обмеження щодо використання тільки з конкретним брендом/виробником інверторів, дороговизна, обмежена кількість протоколів зв’язку, що підтримуються.

Отже, розглянувши тенденції вибору електричного обладнання ФЕС на сучасному ринку України та враховуючи всі переваги та недоліки вищезгаданих варіантів реалізації системи збору електричних даних щодо роботи ФЕС у ході експертної оцінки було обрано другий варіант, тобто використання вбудованої в інвертор системи моніторингу електричних показників. Розглянувши ряд представлених інверторів, що поставляються дистриб’юторами фотоелектричного обладнання на ринок України та мають у наявності можливість інтеграції вбудованої системи моніторингу, для подальшого розгляду обираємо інвертор бренду Fronius серії ECO 25.0-3-S (рис. 2.3.1.). Даний вибір обумовлений, насамперед, популярністю виробника, задовільним відношення ціни до якості обраного обладнання, стандартизованого набору функціональності, що представляє інтегрована система моніторингу показників інвертора, що спрощує подальшу інтеграцію систем інших виробників. Параметри інвертора Fronius ECO 25.0-3-S наведені у таблиці 2.3.1.

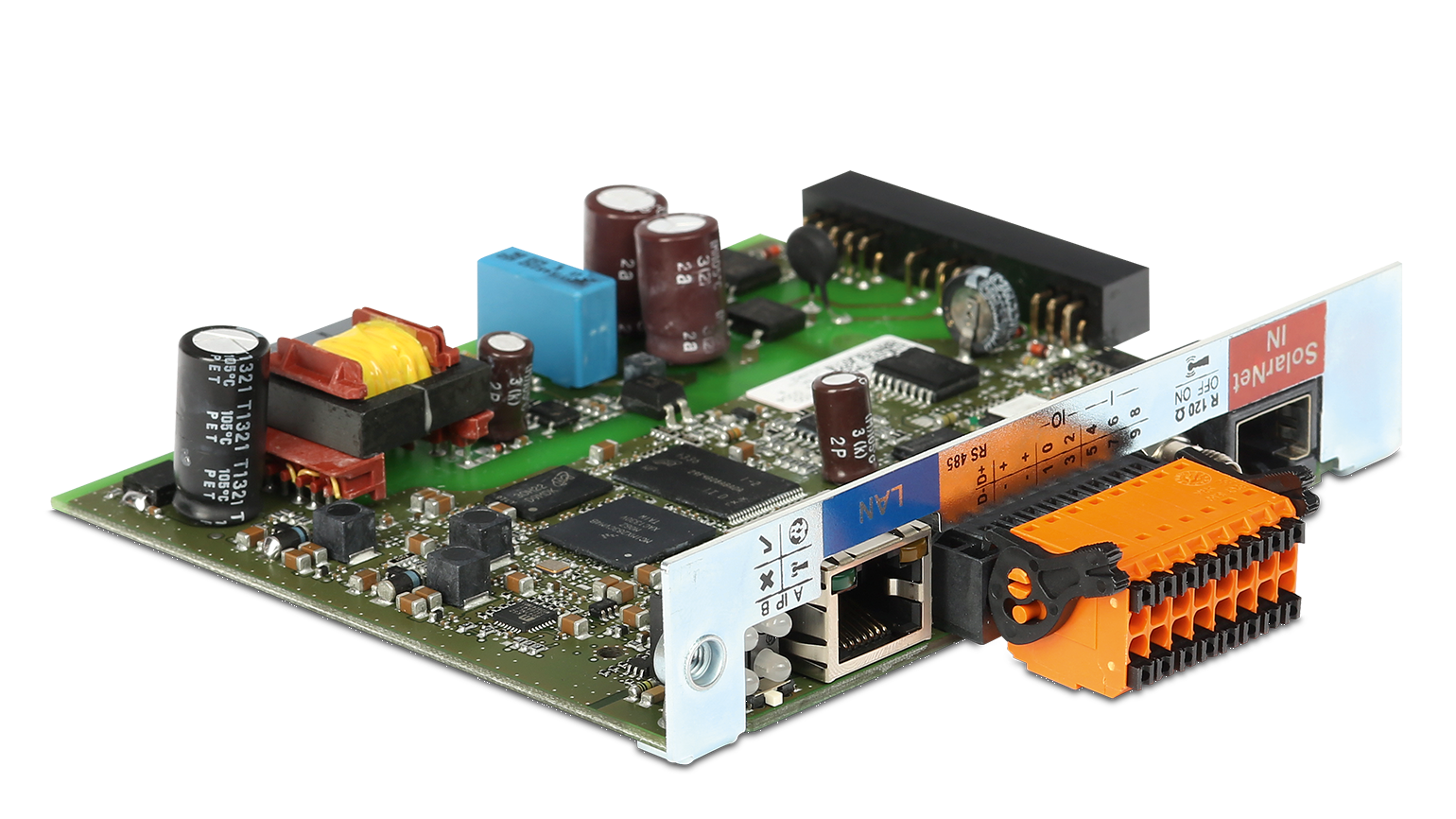


**Рисунок 2.3.1.** – Інвертор Fronius ECO 25.0-3-S.

**Таблиця 2.3.1. –** Номінальні параметри інвертора Fronius ECO 25.0-3-S.

|  |  |
| --- | --- |
| **Параметр** | **Значення** |
| Вага | 35,7 кг |
| Розміри | 72.5 x 51 x 22.5 см |
| Номінальна потужність | 27 кВт |
| Кількість фаз | 3 |
| Кількість MPPT виходів | 1 |
| Інтерфейси підключення | RS-485, WiFI, Ethernet |
| Ступінь захисту від вологи | IP 66 |

До даної моделі інвертора обираємо наступну внутрішню моніторингову систему – Fronius Datamaneger 2.0 (рис. 2.3.2.). Fronius Datamanager 2.0 – мережевий реєстратор даних, який поєднує у собі функціональність Fronius Com Card, реєстратора даних Fronius Web, Fronius Power Control Card і Fronius Modbus Card. Даний реєстратор має вигляд друкованої плати та монтується усередині інвертора.

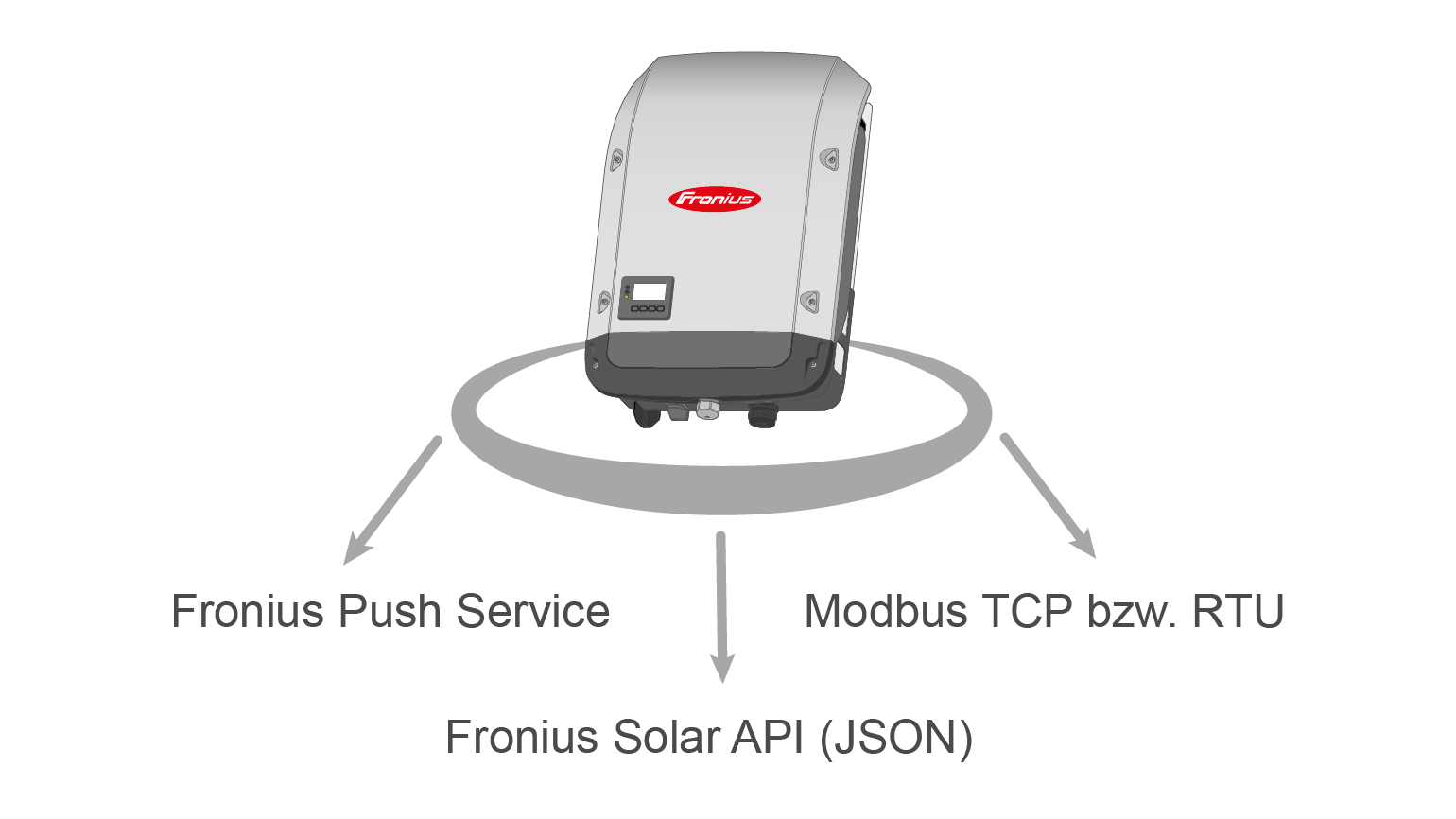


**Рисунок 2.3.2.** – Мережевий реєстратор даних Fronius Datamanager 2.0

Встановивши даний реєстратор ми маємо можливість використовувати будь-який з трьох інтерфейсів зв’язку:

1. RS-485 (англ. Recommended Standard 485), EIA-485 (англ. Electronic Industries Alliance 485) – стандарт передачі даних двопровідним напівдуплексним багатоточковим послідовним каналом зв'язку. У стандарті для передачі і прийому даних часто використовується одна і та ж вита пара дротів. Передача даних здійснюється за допомогою диференціальних сигналів. Різниця напруги однієї полярності між провідниками означає логічну одиницю, різниця іншої полярності – нуль. Стандарт не нормує формат інформаційних кадрів і протокол обміну. Найчастіше для передачі байтів даних використовуються ті ж фрейми, що і в інтерфейсі RS-232: стартовий біт, біти даних, біт паритету (якщо потрібно), стоповий біт.
2. Ethernet – сімейство протоколів стандарту IEEE 802.3 – це найпопулярніший стандарт серед кабельних комп'ютерних мереж, що працюють на фізичному та канальному рівні мережевої моделі OSI. Ethernet тісно пов'язаний з моделлю TCP/IP, оскільки у переважній більшості випадків служить для передачі IP-пакетів.
3. WiFi – загальновживана назва для стандарту IEEE 802.11 передачі цифрових потоків даних по радіоканалах. Дальність передавання інформації залежить від потужності передавача (яка в окремих моделях обладнання регулюються програмно), наявності та характеристики перешкод, типу антени.

Мережевий реєстратор Fronius Datamanager 2.0 має можливість передавати дані по кожному з приведених вище інтерфейсів використовуючи наступні технології (рис. 2.3.3.): Modbus (TCP, RTU), HTTP API, push service (HTTP, FTP).



**Рисунок 2.3.3.** – Протоколи передачі даних мережевим реєстратором Fronius Datamanager 2.0

Для зручності інтеграції даного мережевого реєстратора у розроблену моніторингову систему скористаємося публічним інтерфейсом Ethernet для отримання даних за допомогою HTTP API, що реалізоване по типу REST-сервісу. REST (англ. Representational State Transfer) – підхід до архітектури мережевих протоколів, які забезпечують доступ до інформаційних ресурсів, в основі якого закладені умови кешування даних, не залежність від мережевого прошарку та відсутність зберігання інформації про стан між парами «запит-відповідь». В даний час єдиним способом взаємодії з цим API є створення HTTP-запиту для певного CGI. Реалізоване API у Fronius Datamaneger 2.0 практично розділяє запити на два види: запити даних знятих в реальному часі та запити архівних даних. Запити даних в реальному часі отримуються безпосередньо з внутрішніх пристроїв інвертора, тому їх можна використовувати тільки тоді, коли інвертор підключений та не знаходиться у стані очікування. Зняті дані передаються у форматі JSON, що по суті є текстовим форматом обміну даними.

Так як друковані плати марки Arduino, що використовуються у запропонованій моніторинговій системі, не мають вбудованого інтерфейсу Ethernet, який необхідний для обраного способу підключення мережевого реєстратора Fronius Datamanager 2.0, скористаємося розширювальною платою W5100 Ethernet Shield (рис. 2.3.4.). Спілкування між Arduino і розширювальною платою побудовано за допомогою шини SPI, послідовному периферійному інтерфейсі, що є синхронним послідовним повнодуплексним стандартом передачі даних.

Отже, до технічної бази виконання блоку зняття електричних даних ФЕС входять: друкована плата марки Arduino серії UNO (спільна для блоку зняття електричних даних і блоку обробки інформації), розширювальна плата W5100 Ethernet Shield та мережевий реєстратор Fronius Datamanager 2.0, інтегрований у інвертор Fronius ECO 25.0-3-S. Розглянемо алгоритм взаємодії між ними.

З певним інтервалом часу Arduino формує HTTP-запит до Fronius Datamanager 2.0 за даними занятими з інвертора у реальному часі. Запити до HTTP API потребують наявністі веб-клієнта, що у реалізованій схемі будується на базі Arduino, з використанням стандартної бібліотеки «Ethernet.h» та плати W5100 Ethernet Shield, що по суті відіграє роль модулятора у даній схемі. Так, як HTTP API запропоноване в обраному мережевому реєстраторі реалізоване по типу локального REST-сервера, для комунікації з ним використовуються звичайні GET HTTP/1.1 запити. Усі публічні методи, що підтримує даний мережевий реєстратор наведені у документації до нього – «Fronius Solar API V1». Наведемо приклад запиту, що має повернути дані зняті з внутрішніх вимірювальних приладів інвертора у реальному часі:

GET /solar\_api/v1/GetMeterRealtimeData.cgi HTTP/1.1

Host: 169.254.0.180



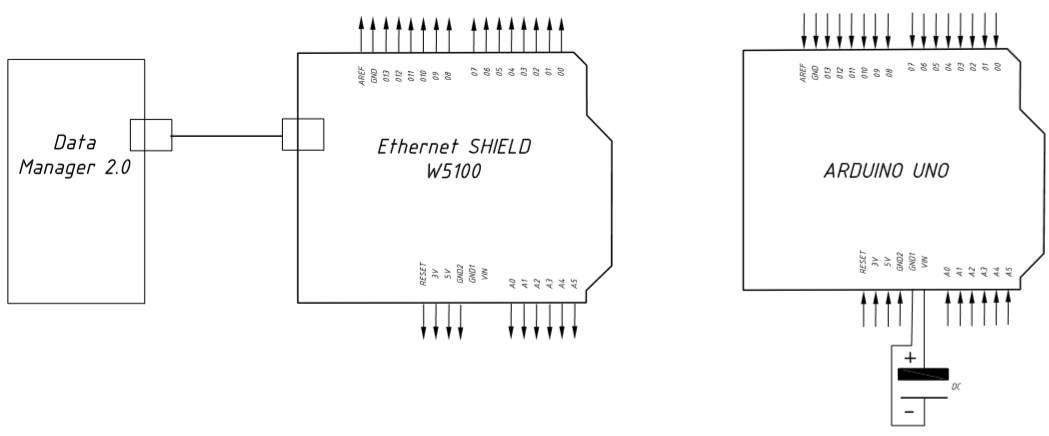
**Рисунок 2.3.4.** – Розширювальна плата W5100 Ethernet Shield

У відповідь на даний запит мережевий реєстратор формує і надсилає JSON файл, у якому наведені наступні параметри:

1. відмітка часу коли був отриманий запит;
2. дійсне значення величини активної потужності кожної фази;
3. дійсне значення сумарної активної потужності;
4. дійсне значення величини реактивної потужності кожної фази;
5. дійсне значення сумарної реактивної потужності;
6. дійсне значення величини змінного струму кожної фази;
7. дійсне значення величини змінної напруги кожної фази;
8. дійсне значення величини змінної напруги між фазами (АВ, ВС, СА);
9. дійсне значення коефіцієнта потужності кожної фази.

Після декодування та ідентифікації отриманих даних, мікроконтролер передає їх у блок обробки інформації.

Схематичне зображення описаної вище схеми наведене на рисунку 2.3.4. Код прошивки мікроконтролера наведений у додатку 2.



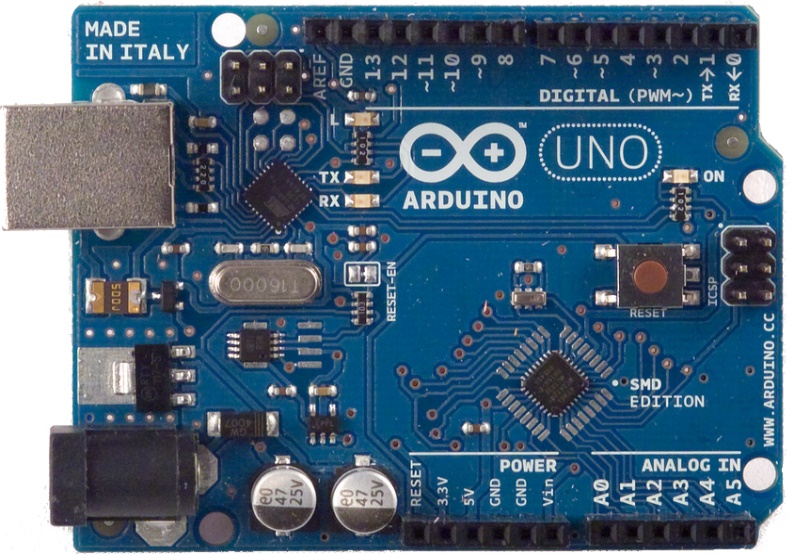
**Рисунок 2.3.4.** – Принципова схема блоку збору електричних даних.

* 1. **Розробка блоку обробки інформації**

Блок обробки інформації є одним з основних блоків розробленої системи, забезпечує можливість масштабування, надаючи змогу легко інтегрувати в систему як нові датчики, так і нові об’єкти дослідження (наприклад, акумуляторні батареї). До основної функціональності даного блоку належать:

1. збір даних – отримання пакетів даних від фізично віддалених об’єктів дослідження;
2. ідентифікація пакетів даних – визначення до якого параметру системи належать ті чи інші отримані показники;
3. первина обробка даних – приведення отриманих з різних віддалених датчиків показників до одних одиниць міжнародної системи CI;
4. перекодування інформації – переведення отриманих пакетів даних у зручний для подальшої передачі формат;
5. передача інформації – подальша передача даних на логуючий сервер.

Аналогічно блоку метеоспостережень в основі роботи блоку обробки інформації приймаємо мікроконтролер ATMega328 з єдиною відмінністю у тому, що замість друкованої плати Arduino Nano використаємо друковану плату Arduino Uno (рис. 2.4.1.). Дане рішення обумовлено більшою кількістю цифрових та аналогових входів та виходів, більшою оперативною пам’яттю мікроконтролера, що використаний у даній серії плат.



**Рисунок 2.4.1.** – Друкована плата марки Arduino серії Uno.

Для забезпечення зв’язку з фізично віддаленими об’єктами дослідження, як вже вказувалося раніше, використовується радіомодуль nRF24L01, в той час як забезпечення зв’язку із сервером виконується за допомогою GSM-модуля на базі чіпа фірми SIMCom Wireless Solutions серії SIM800c (рис. 2.4.2.). Варто зауважити, що так як блок збору електричних даних і блок обробки інформації використовують спільний мікроконтролер, немає необхідності будувати канал зв’язку для отримання знятих даних щодо електричних параметрів роботи системи. Розглянутий блок використовує два публічні інтерфейси зв’язку:

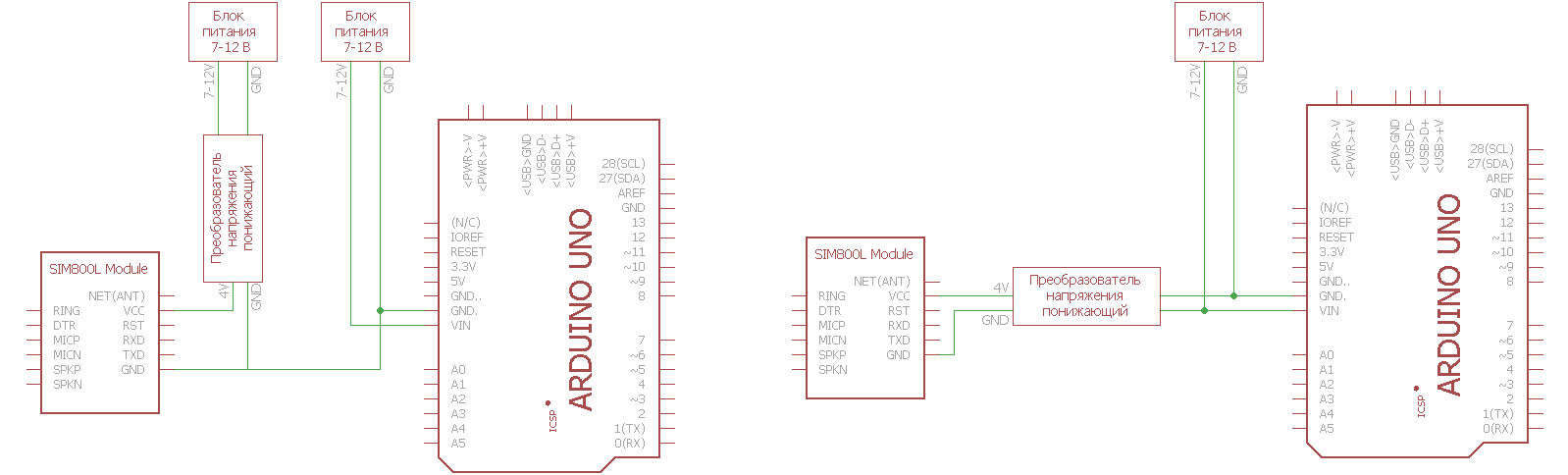
1. SPI – використовується для зв’язку з радіомодулем nRF24L01;
2. UART – для використовується для зв’язку з GSM-модулем SIM800c.



**Рисунок 2.4.1.** – GSM-модуль SIM800c

Так як використана у блоці зняття електричних параметрів розширювальна плата W5100 Ethernet Shield для зв’язку з мікроконтролером також використовує послідовний інтерфейс SPI, для спільного використання даного інтерфейсу з радіомодулем nRF24L01 існує два варіанти: використання можливості апаратного переривання, чи використання програмного аналогу SPI шині, тобто побудови даного інтерфейсу на будь-яких інших виходах Arduino окрім тих, що приймають участь у апаратному SPI. З точки зору ефективності використання мікроконтролера перший варіант є більш оптимальним, але в той же час з точки зору швидкості розробки даний варіант дуже сильно програє другому. Отже, так як для підтримки обраних публічних інтерфейсів зв’язку кількості виходів Arduino Uno предостатньо, зупинимось на останньому варіанті. Для його реалізації скористаємося стандартною бібліотекою «SoftSPI.h», що входить у пакет Arduino IDE. Також, так як код прошивки мікроконтролера для комунікації з радіомодулем використовує бібліотеку «RF24.h», необхідно внести до неї певні зміни, адже дана бібліотека зав’язана на використання апаратного SPI. Усі зміни вихідного коду бібліотеки «RF24.h» наведені у додатку Х.

Для зв’язку блоку обробки інформації з сервером, як вже вказувалося раніше, використовується GSM-модуль SIM800c. Даний модуль має деякі особливості стосовно його експлуатації. Так як робоча напруга даного приладу становить 4.2-4.5 В, а споживаний струм у пікові моменти роботи може досягати значення у 2 А – це робить неможливим його живлення від Arduino, яка у свою чергу живиться напряму від логічного виходу плати Fronius Datamanager 2.0 вбудованої в інвертор. Тому для забезпечення належного живлення даного приладу, використаємо наступну схему підключення модуля:



**Рисунок 2.4.2.** – Схема живлення GSM-модуля SIM800c.

У якості перетворювача використаємо понижуючий конвертор напруги MP1584 (рис. 2.4.3.). Характеристики даного приладу наведені в таблиці 2.4.1.

**Таблиця 2.4.1.** – Характеристики понижуючого конвертора напруги MP1584

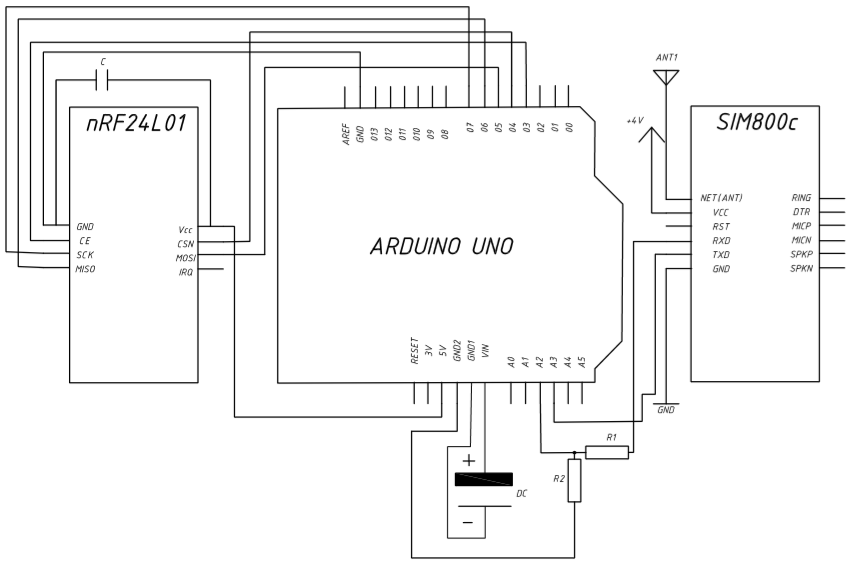
|  |  |
| --- | --- |
| **Параметр** | **Значення** |
| Вхідний діапазон напруг | 4.5 - 28 В |
| Вихідний діапазон напруг | 0.8 - 20 В |
| Максимальний вихідний струм | 3 А |
| Коефіцієнт корисної дії | до 96% |
| Пульсації на виході | до 30 мВ |
| Частота переключення | 1 МГц |
| Робочий діапазон температур | -45-85 °C |
| Розміри | 22 x 17 x 4 мм |



**Рисунок 2.4.3.** – Понижуючий конвертор напруги MP1584

Отже, щойно була описана апаратна структура блоку обробки інформації, тепер розглянемо алгоритм роботи системи. Першим етапом циклу роботи блоку обробки інформації є отримання пакетів даних з фізично віддалених об’єктів дослідження – передача даних з блоку метеоспостережень виконується по радіорв’язку, передача даних з блоку зняття електричних параметрів виконується через SPI-шину. Далі система перевіряє ідентифікатори пакетів даних, що повинні відповідати ідентифікаторам датчиків у системі. Наступним етапом циклу роботи системи є підготовка інформації до передачі на сервер. Вході підготовки виконуються наступні дії: приведення ідентифікованих показників до відповідних одиниць міжнародної системи CI, перекодування пакетів даних у формат JSON – текстовий формат передачі даних. Завершаючим етапом роботи циклу блока обробки інформації є передача підготовленої JSON-строки на сервер за допомогою POST HTTP/1.1 запиту.

Схематичне зображення описаної вище схеми наведене на рисунку 2.4.4. Код прошивки мікроконтролера наведений у додатку 3.



**Рисунок 2.4.4.** – Принципова схема блоку обробки інформації.

* 1. **Розробка блоку програмного забезпечення**
  2. **Результати розробки**