

Висновки. 1. Вперше було проведено аналіз використання методів лінійної апроксимації та кубічних сплайнів.

2. Якщо порівняти значення табл. 3 і табл. 5, то стає очевидно, що метод кубічних сплайнів удвічі точніше апроксимує задану функцію.

3. Як видно з результатів у табл. 5, точність падає ближче до точки напруги холостого ходу. Проте це несуттєво, тому що ФМ, як правило, працює в околицях перегину вольт-амперної кривої, де ми маємо високу точність.

4. При збільшенні кількості значень вольт-амперної кривої збільшується точність апроксимації. Проте при використанні методу кубічних сплайнів значно зростає час обробки даних комп'ютером. Це виникає тому, що збільшується кількість рівнянь у СЛАР.

1. Бєкіров Е.А. Автономні джерела електроживлення на базі сонячних батарей. – Сімферополь: ВД "АРИАЛ". – 2011. – 483 с.

2. Лук'янов С.О. Числові методи в інформатиці. – Київ: НТУУ "КПІ", 2007. – 137 с.

УДК 621.316

Д.В.Бондаренко, канд.техн.наук (Інститут відновлюваної енергетики НАН України, Київ)

Інтелектуальні цифрові фотоелектричні системи

В роботі викладено ідею та реалізацію інтелектуальних фотоелектричних систем. Показані можливі режими роботи та описані різні варіанти побудови таких систем. Викладено принцип та підхід до побудови універсальної інтелектуальної системи, яка базується на мікроконтролерах, що збирають та обробляють інформацію і віддають команди. Підібрана узагальнена елементна база для побудови такої системи та окреслений можливий комунікаційний протокол.

Ключові слова: інтелектуальні цифрові фотоелектричні системи, режими роботи фотоелектричних систем, мікроконтролер у фотоенергетиці.

В работе изложена идея и реализация интеллектуальных фотоэлектрических систем. Показаны возможные режимы работы и описаны разные варианты построения таких систем. Изложен принцип и подход к построению универсальной интеллектуальной системы, которая базируется на микроконтроллерах, которые собирают и обрабатывают информацию и отдают команды. Подобрана обобщенная элементная база для построения такой системы и очерчен возможный коммуникационный протокол.

Ключевые слова: интеллектуальные цифровые фотоэлектрические системы, режимы работы фотоэлектрических систем, микроконтроллер в фотоэнергетике.

Вступ. Розвиток відновлюваних джерел енергії, їх застосування в побуті та на виробництві спонукає до розвитку та вдосконалення систем, елементом живлення яких є такі джерела. Одним із напрямків такого розвитку є побудова систем з інтелектуальним керуванням розподілення електричної енергії від джерела до споживача з накопиченням в акумуляторах.

1. Інтелектуальні контролери заряду. Таким чином, першим рішенням, яке можна прийняти, є рух у напрямку побудови інтелектуальних контролерів заряду, які на основі внесених у них алгоритмів будуть виконувати розподілення енер-

гії серед навантаження. У процесі роботи такий контролер повинен мати наступну інформацію: струм із фотоелемента (або фотобатареї); робочу напругу на фотоелементі; струм із акумулятора при розряді, струм в акумулятор при заряді; напругу на акумуляторі; струм, який споживає кожен із підключених споживачів; напругу, яка падає на споживачеві. Базуючись на проведених вимірах цих даних, контролер приймає рішення про заряд або розряд акумулятора, про відключення або підключення споживачів. Алгоритм роботи встановлюється заздалегідь: статично або в ході роботи автоматично коректується завдяки

системі зворотного зв'язку (в такому разі можна говорити про систему із самонавчанням). Можна описати деякі режими роботи:

1. Максимальна потужність генерації. В такому випадку згенерована енергія розподіляється між усіма споживачами і в разі потреби подається для заряду акумулятора.

2. Часткова генерація.

2.1. Максимальне збереження заряду. Відбувається відключення частини споживачів для нормального функціонування інших та збереження заряду в акумуляторі.

2.2. Максимальне споживання. Всі споживачі залишаються підключеними, а енергія підводиться як з фотоелемента, так і з акумулятора.

2.3. Поповнення заряду акумулятора. Майже всі споживачі відключаються, а енергія з фотоелемента в першу чергу надається для заряду акумулятора.

3. Тимчасова відсутність генерації.

3.1. Максимальне споживання. Всі споживачі залишаються підключеними, а енергія підводиться з акумулятора.

3.2. Ощадливе споживання. Частина споживачів відключається або переводиться в режим зниженого енергоспоживання.

3.3. Максимальне збереження заряду. Відбувається відключення майже всіх споживачів для нормального функціонування важливих споживачів протягом максимального терміну.

4. Тривала відсутність генерації.

4.1. Максимальне збереження заряду. Відбувається відключення майже всіх споживачів для нормального функціонування важливих споживачів.

4.2. Аварійний режим. Залишаються підключеними тільки критично важливі споживачі з мінімальним споживанням електроенергії.

5. Поповнення заряду акумулятора. В такому випадку частина споживачів буде підключена тільки при повній або частковій зарядці акумулятора (такий режим доцільний при тривалій відсутності генерації).

Отже, при програмуванні контролера заряду

за наведеним алгоритмом ми можемо охопити весь спектр режимів роботи автономної системи, яка живиться від відновлюваного джерела енергії. При цьому контролер повинен мати декілька керованих виходів, до яких підключається навантаження різного класу надійності електроживлення.

Для реалізації таких систем підбирається певна елементна база. Так, головним елементом є однокристальний мікроконтролер з керованими аналоговими та цифровими входами і виходами. Мікропрограма контролера повинна мати зовнішнє керування для оперативного встановлення необхідних режимів або запису алгоритму без "перепрошивки" контролера. Зараз існує безліч подібних контролерів, наприклад, *Atmega8* компанії *Atmel* або аналоги інших компаній. Розглядаючи мікроконтролер *Atmega8*, ми бачимо, що він має 24 аналого-цифрових входів/виходів, які можуть бути запрограмовані у довільний спосіб [1, 2].

Для отримання значення струмів генерації та споживання, струмів розряду та заряду акумулятора доцільно використовувати детектор струму (амперметр), який буде на виході формувати значущу напругу в залежності від значення струму, що протікає через нього (наприклад, ACS712 компанії *Allegro MicroSystems*). В свою чергу, значуща напруга з амперметра поступає на вхід АЦП контролера для перетворення в цифровий вигляд.

Для отримання значення напруг можливе безпосереднє підключення джерела та акумулятора до аналогових входів мікроконтролера (які також настроєні як АЦП), на яких буде проводитися вимірювання.

Треба зазначити, що для комутації навантаження навантажувальна здатність контролера по виходах є замалою, тому необхідно використовувати механічні реле або керовані польові транзистори. А оскільки нам потрібно керувати декількома лініями живлення навантаження, то доцільно використовувати багатоканальні пристрої керування потужним навантаженням.

Таким чином, була зібрана макетна модель, яка представлена схемою на рис. 1.

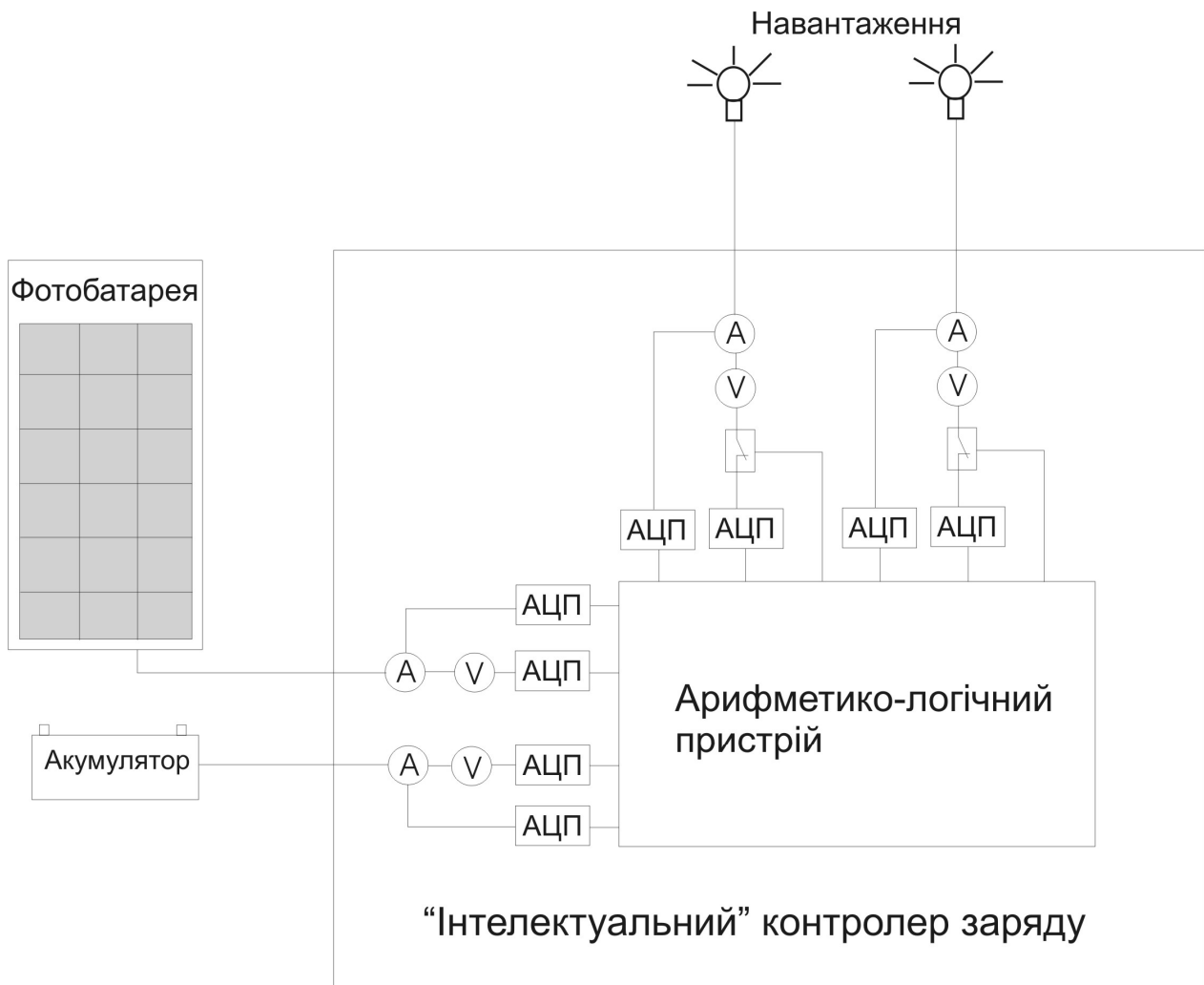


Рис. 1.

2. Контролер заряду, який керує навантаженням. Розглядаючи режими роботи системи при частковій або повній відсутності генерації, можна реалізувати сценарій, при якому навантаження за заданим алгоритмом його роботи зменшує споживання самостійно. Наприклад, електронний прилад може відключити певні другорядні функції, освітлювач – зменшити яскравість, відеокамера може відключити інфрачервоне підсвічування, IP-відеокамера зменшує обчислення при кодуванні відеопотоку, передавальні пристрої зменшують потужність радіосигналу або кількість каналів.

Крім того, багато електронних пристроїв ма-

ють вбудований штатний режим зниженого енергоспоживання, який запускається по команді ззовні.

Таким чином, наш контролер заряду повинен у разі потреби за заданим алгоритмом передати інформацію керування на пристрій, який є споживачем, і зменшити або збільшити (при відновленні генерації) енергоспоживання.

Описаний вище мікроконтролер може це робити за допомогою вбудованих виходів або за допомогою інтерфейсу UART стандартними командами [3].

Для групового керування такими пристроями можна створити шину даних та підключити всі пристрої з однаковим інтерфейсом (рис. 2).

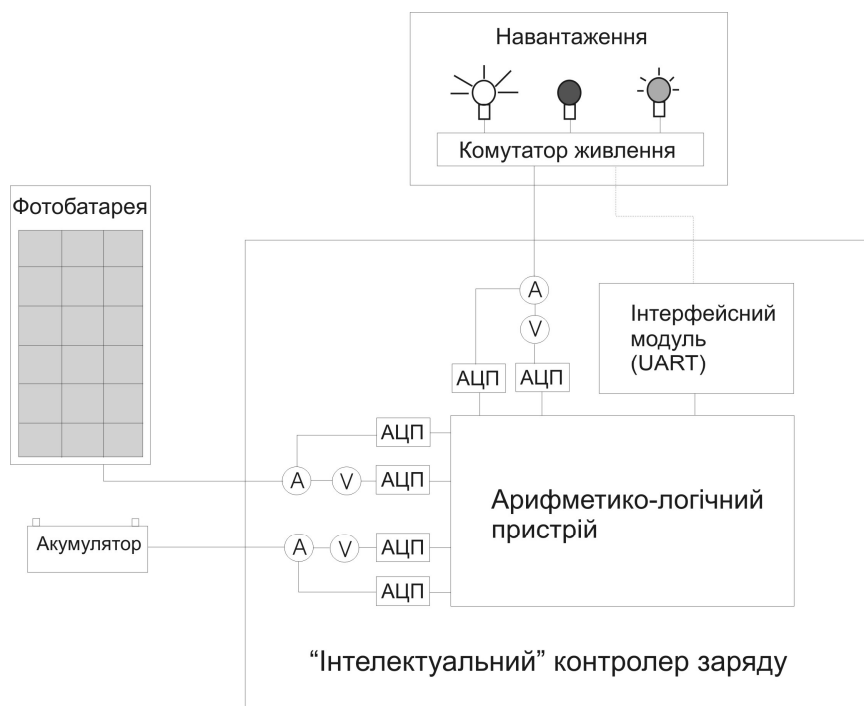


Рис. 2.

3. Інтелектуальні фотоелементи та акумулятори. Крім навантаження було б цікаво і доцільно отримувати інформацію про струми і напруги на фотоелементі та акумуляторі безпосередньо з цих джерел у контролер.

Це можна реалізувати, вбудувавши пристрій моніторингу або моніторингу/керування безпосередньо в акумулятор або фотобатарею (рис. 3).

Такий пристрій моніторингу буде перетво-

рювати значення струму та напруги в цифровий вигляд і передавати інформаційним каналом в контролер заряду, де і буде оброблятися уже як інформація, отримана безпосередньо з генератора або акумулятора. Крім того, цим каналом можна реалізувати зворотній зв'язок для фотобатареї, для її керування. Наприклад, для керування трекінговою системою або для включення байпаса при затінненні.

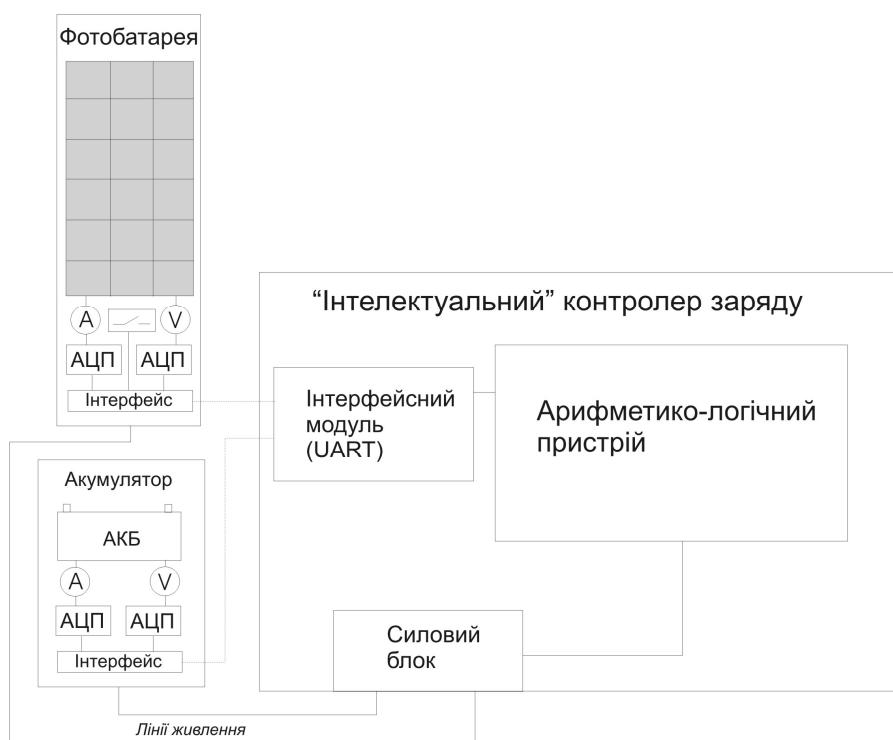


Рис. 3.

4. Універсальна інтелектуальна система.

Але, на жаль, ще немає такого різноманіття керування пристроїв з однаковими уніфікованими інтерфейсами та протоколами. Тому створення універсального цифрового інтерфейсу і протоколу для взаємодії пристроїв з відновлюваними джерелами енергії та їх впровадження є актуальним і доцільним завданням для розвитку техніки.

Базуючись на вищевикладеному, вибудовується схема, в якій є:

- джерела живлення із вбудованим контролером, який вимірює електричні параметри генерації, а також керує режимами генерації джерела;
- акумулятори енергії із вбудованим контролером, який вимірює електричні параметри при накопиченні та витраті енергії;
- споживачі із вбудованими контролерами, які можуть змінювати режим споживання за зовнішньою командою;
- головний контролер, який за заданим алгоритмом здійснює керування всією системою за допомогою інтерфейсу та протоколу, що їх об'єднує.

Побудова даних пристроїв не є складною задачею, але потребує системного підходу.

Наприклад, пропонується, щоб лінія зв'язку між пристроями була суміщена з лінією передачі енергії, тобто по двопровідниковій лінії передавалась як електроенергія, так і інформація при існуванні загального "мінуса" або "землі". Крім того, лінія зв'язку повинна мати структуру шини для паралельного підключення пристроїв. По можливості, повинна бути максимально можлива дальність передачі сигналу, оскільки при побудові сонячних ферм відстані можуть бути значними. При цьому направленість розробки на використання в автономних пристроях є першочерговою.

Також доцільно, щоб інформація, яка розповсюджувалась би лініями зв'язку, мала вигляд пакету і містила адрес вимірювального пристрою. Таким чином, можливе об'єднання великої кількості генераторів та акумуляторів у розподілену систему з інформацією по кожному її вузлу.

Крім того, споживання даних пристроїв повинне бути мінімальним, щоб не зменшити переваги такої системи при її використанні.

Розглядаючи відомі інтерфейси, треба зазначити, що "закорочування" лінії на масу, навіть короткочасне, як це робить *OneWire* [4], в даному випадку недопустиме, тому що буде втрачатись генерована потужність і генератор буде працювати в аварійному режимі короткого замикання. Один із варіантів реалізації електричної складової інтерфейсу виглядає наступним чином: "логічний нуль" – це максимум напруги генерації на фотоелементі, що відповідає напрузі холостого ходу, а "логічна одиниця" – це напруга, яка перевищує напругу холостого ходу на певне значення. Чим більша різниця, тим більш протяжною може бути лінія зв'язку, але менш енергоефективним буде інтерфейс.

Перевагою *OneWire* є те, що цей інтерфейс має також логічний протокол, тобто не треба реалізовувати окремо електричну та логічну частини. Всі пристрої з чіпом *DallasSemiconductor* мають фіксований 64-бітний адрес, за допомогою якого пакети адресуються між пристроями. Це спрощує поєднання різних пристроїв від різних виробників в одну систему.

Схожим є інтерфейс I2C [5], який є двопробним і двонаправленим (одна лінія – дані, інша – тактові імпульси). Цей інтерфейс є базовим для багатьох пристроїв, які обмінюються даними з мікроконтролером. Також є більш швидкий та надійний інтерфейс SPI [6], він є чотиріпровідним та однонаправленим. Але ці два інтерфейси дуже важко або неможливо сумістити з лінією живлення для одночасного використання в якості як інформаційного, так і енергетичного каналу.

Більш гнучким та перспективним рішенням є сплітер на чіпі *SIG60 Yamar electronics Ltd* [7] у поєднанні з простим мікроконтролером з інтерфейсом UART, наприклад, *ATmega8* або *ATtiny*. *SIG60* виконує функцію накладення інформаційного каналу на лінію живлення 12 вольт шляхом модуляції та демодуляції сигналу від UART на певну несучу. Такий підхід дає можливість мультиплексування інформаційних каналів на одній лінії зв'язку шляхом вибору різних несучих частот. Тобто на одній лінії живлення можна створити декілька незалежних інформаційних систем, оскільки цей шлях здається найбільш перспективним. Схема підключення наведена на рис. 4.

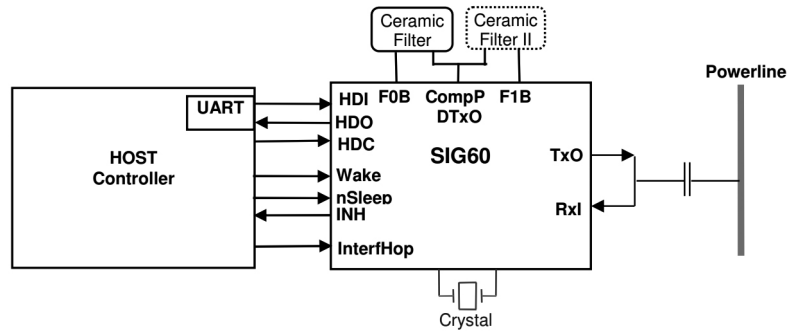


Рис. 4.

Отже, вбудовані контролери у фотобатареях, акумуляторах і навантаженнях будуть складатися з амперметра, вольтметра, силового реле (у разі потреби), аналого-цифрового перетворювача (АЦП), інтерфейсу та сплітера. Інтерфейс буде передавати упорядковані дані з АЦП в лінію згідно з узгодженим протоколом. А сплітер буде об'єднувати лінію даних із лінією живлення.

Хост-контролером на рис. 4 може виступати або контролер *ATmega8*, або контролер *ATtiny*.

Вони об'єднують у собі АЦП, інтерфейс та арифметико-логічний пристрій (АЛП). Тобто одночасно будуть оцифровувати значення напруг та струмів або видавати команди на свої порти, обробляти їх в АЛП та надсилати певним протоколом через інтерфейс. SIG60 буде об'єднувати інформаційну та силову частини і транслювати інформацію в лінію до головного контролера, який може бути окремим пристроєм або суміщений з контролером заряду.

Загальна схема наведена на рис. 5.

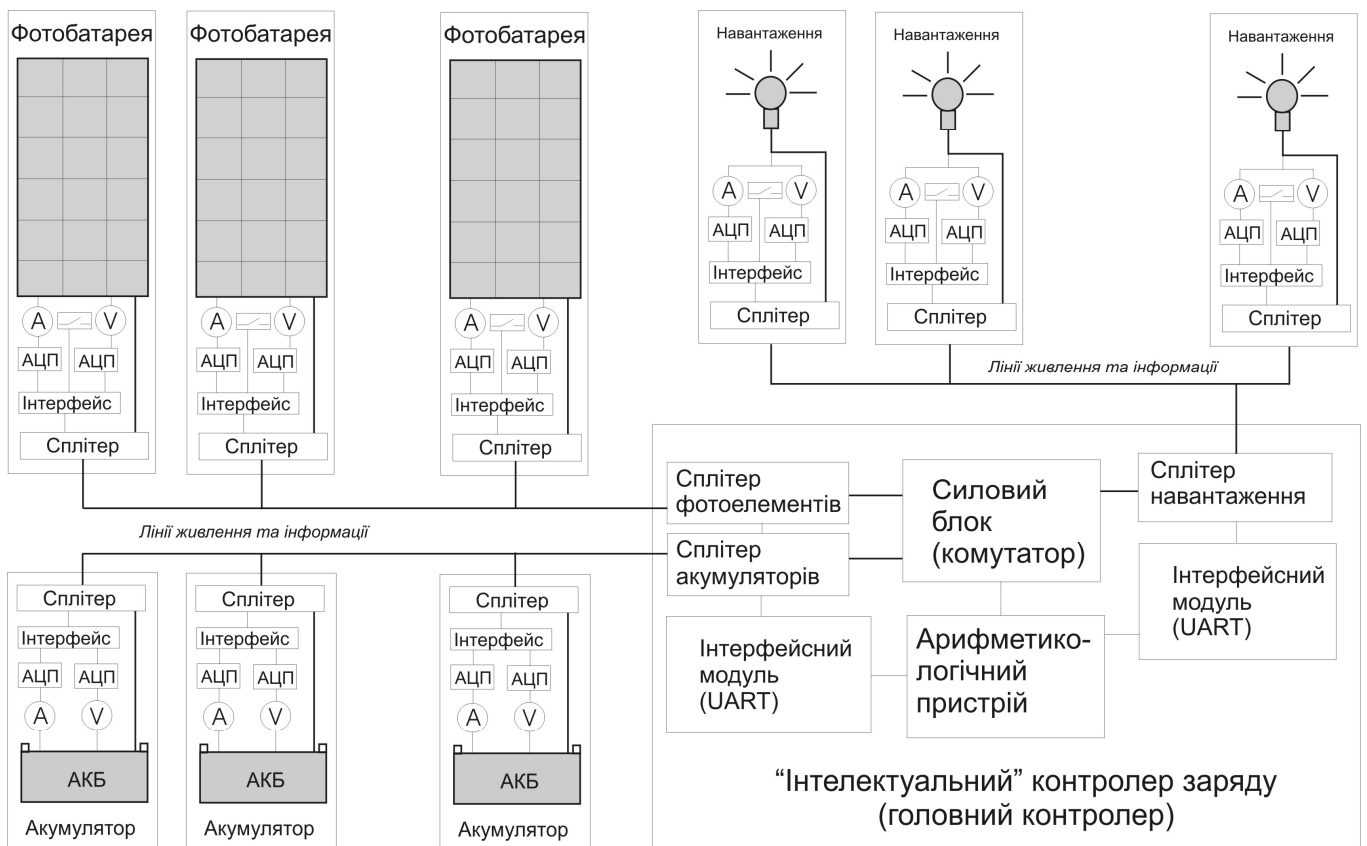


Рис. 5.

5. Комунікаційний протокол. Протокол обміну даними між контролерами повинен складатися з команд зчитування та запису даних з елементів системи та команд на керування елементами системи. Так, фотобатарей та акумулятори повинні заносити в пам'ять головного контролера дані про їх напруги та струми, акумулятор повинен записувати дані про напрямок струму (режим заряду або розряду). З іншого боку, головний контролер повинен видавати команди керування на навантаження та інші системи, які керуються. Таким чином, отримуючи дані та здійснюючи керування системою, головний контролер може вибирати режими згідно алгоритмів, описаних у першій частині, з метою найбільш оптимального функціонування системи.

Треба зазначити, що для джерел живлення, зокрема, для акумуляторів, зараз існує два протоколи – це *SMBus* та *PMBus* [8, 9]. Хоча вони і є вже стандартними в силовій електроніці, але базуються на шині I2C. А цей факт ускладнює розробку пристроїв, які передають інформацію по двопровідній лінії 12 В. Єдиним рішенням є чип *Power Line Communication Modem MAX2990* [10],

але він має велике енергоспоживання та значну вартість, що робить розробку неефективною для масового використання.

Висновки. Уніфікувавши логічну та апаратну частини і створивши протокол, ми можемо започаткувати цілий клас пристроїв – "розумні" (smart) фотоелектричні пристрої або елементи таких систем, які будуть здатні до самоорганізації та самоконтролю незалежно від конфігурації систем. Запропонований підхід завдяки універсальності та потенціалу буде корисним для розвитку як малих автономних систем, так і великих мережевих фотоелектричних систем.

1. <http://www.atmel.com/ru/ru/devices/ATMEGA8.aspx>
2. https://en.wikipedia.org/wiki/Atmel_AVR
3. <https://uk.wikipedia.org/wiki/UART>
4. <https://en.wikipedia.org/wiki/I-Wire>
5. <https://uk.wikipedia.org/wiki/I2C>
6. https://uk.wikipedia.org/wiki/Serial_Peripheral_Interface
7. <http://yamar.com/product/sig60/>
8. https://en.wikipedia.org/wiki/System_Management_Bus
9. https://en.wikipedia.org/wiki/Power_Management_Bus
10. <https://www.maximintegrated.com/en/products/comms/powerline-communications/MAX2990.html/>

МІЖНАРОДНИЙ ІНВЕСТИЦІЙНИЙ БІЗНЕС-ФОРУМ З ПИТАНЬ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТА ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

ІХ МІЖНАРОДНА СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВИСТАВКА

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ. ВІДНОВЛЮВАНА ЕНЕРГЕТИКА - 2016

АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ, ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ, ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ

8-10
листопада



МІЖНАРОДНИЙ ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР
Україна, Київ, Броварський пр-т, 15
М "Лівобережна"
☎ +38 044 201-11-66, 206-87-86
e-mail: energo@iec-expo.com.ua
www.iec-expo.com.ua, www.tech-expo.com.ua

Технічний партнер: *RenMedia*

ОРГАНІЗАТОР:
Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України

СПІВОРГАНІЗАТОР:
Міжнародний виставковий центр

ГАЛУЗЕВИЙ ПАРТНЕР:
Українська Вітроенергетична Асоціація