

Ерохов В. Ю.,
Дружинін А. О.,
Ерохова О. В.

ПОБУДОВА ГІБРИДНИХ АВТОНОМНИХ І РЕЗЕРВНИХ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ДЛЯ СКЛАДНИХ ГЕЛІОСИСТЕМ

Показана перспективність дослідження різних типів мікроконтролерних блоків для фотоелектричних перетворювачів. Було досліджено і розроблено найбільш ефективну модель мікроконтролерного блоку побудови гібридної автономної і резервної системи електропостачання з використанням широтно-імпульсної модуляції (ШИМ), а також стеженням за точкою максимальної потужності (MPPT) сонячної батареї, яка використовується у складних геліосистемах для налагодження її максимальної продуктивності.

Ключові слова: мікроконтролерний блок, сонячний елемент, автономна система електропостачання, фотоелектричний перетворювач.

1. Вступ

В наш час потреби людства в енергії непинно ростуть. Однак, вже в найближчі десятиріччя виробники енергії зіткнуться з нестачею природного палива (нафти, газу, вугілля), а також з такими проблемами, як катастрофічне забруднення навколишнього середовища, до якого приводить спалювання цього палива, а також потенційна небезпека ядерної енергетики. Отже, постає необхідність одержання дешевої енергії з використанням відновлювальних джерел живлення при мінімальному впливі на навколишнє середовище [1]. Тому вже зараз широкого розвитку набуває так звана «нетрадиційна» або «чиста» енергетика, яка використовує практично невичерпні ресурси [2].

В даний час для виготовлення фотоелектричних перетворювачів (ФЕП) сонячної енергії застосовуються різні напівпровідникові матеріали, а для наземних фотоелектричних систем (terrestrial PV) в більшому кремнії. Так як сонячні батареї повинні займати досить великі площі, вартість кремнію, застосованого в якості підкладок для ФЕП, повинна бути досить низькою. У зв'язку з цим розвиток технології виробництва кремнію для потреб фотовольтаїки привів до одержання спеціальної марки кремнію для наземних сонячних елементів (SE), що одержав назву «Terrestrial SolarGrade» — «TSG», або просто «сонячний».

На даний час доведено, що гібридні системи електропостачання з використанням відновлюваних джерел енергії є економічно обґрунтованим рішенням проблеми електрифікації не тільки в сільській місцевості та в інших районах, де мережа централізованого електропостачання видалена, ненадійна або її прокладка дорога, а також навіть в великих містах. Все це пов'язано з підняттям цін на газ і інші джерела опалення домів. Можна приводити приклади таких міст як Берлін і інші, де люди з початку 2000 років масово почали встановлювати фотоелектричні системи для своїх власних потреб.

У більшості випадків при побудові фотоелектричних систем використовується конфігурація із з'єднанням

різних джерел енергії на стороні постійного струму. Проте останнім часом, після появи надійних і відносно дешевих моделей мережних інверторів, які використовують мікропроцесори, а в більшій степені 8-р і 16-р мікроконтролери, застосовує з'єднання різних джерел енергії змінного струму. Це забезпечує не тільки більшу гнучкість, але і високу ефективність використання енергії різних джерел за рахунок зменшення втрат в системі. Можливо використати різні технологічні наробки, чи об'єднати їх між собою, забезпечивши суттєве підняття ефективності фотоелектричної системи, чому власне і присвячена ця робота.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Система енергопостачання на сонячних батареях здається дуже простою. Як і в більшості інших систем електропостачання від автономних джерел, в ній всього 4 основних компоненти — самі фотоелектричні панелі, акумулятори, контролер заряду і інвертор, що перетворює низьковольтний постійний струм до побутового стандарту ~ 220 В. Проте всі елементи повинні бути узгоджені між собою [3]. І якщо компоненти, загальні для всіх подібних систем (інвертор, акумулятори, дрони) можуть розглядатися окремо, то в цій роботі будуть розглянуті компоненти, специфічні саме для фотоелектричних систем — сонячних панелей [4, 5] і контролерів для них [6]. Але, звичайно, розглядається найголовніше питання — вибір потужності сонячних батарей або, який результат можна очікувати від сонячних батарей тієї чи іншої номінальної потужності [7].

У сучасних системах контролер заряду стоїть між сонячною батареєю і акумуляторами. Його головне завдання — це унормувати напругу, що виробляється сонячними панелями, до напруги, необхідної для заряду акумуляторів з урахуванням їх поточного стану, в тому числі відключачи їх від сонячних панелей при повній зарядці щоб уникнути перезаряду.

В даній роботі розглянута можливість застосування «інтелектуальних» мікроконтролерів в якості керуючих елементів контролерним блоком побудови ефективної моделі мікроконтролерного блоку гібридної автономної і резервної системи електропостачання з використанням як широтно-імпульсної модуляції (ШІМ), так і стеженням за точкою максимальної потужності (МРРТ) сонячної батареї, яка використовується у складних геліосистемах для налагодження його максимальної продуктивності.

3. Об'єкт, ціль та задачі дослідження

Об'єкт дослідження — гібридна автономна і резервна система електропостачання з використанням відновлюваних джерел енергії в вигляді фотоелектричних панелей, акумуляторів, контролера заряду і інвертора, що перетворює низьковольтний постійний струм 12–24 В до побутового стандарту ~220 В, котра використовується в складних геліосистемах (при умовах нестабільного освітлення — розташуваннях фотоелектричних панелей одночасно на даху і стінах, а також їх розташуваннях на схід-захід і подібне).

Метою роботи було дослідження і розробка найбільш ефективної моделі мікроконтролерного блоку побудови гібридної автономної і резервної системи електропостачання з використанням як широтно-імпульсної модуляції (ШІМ), так і стеженням за точкою максимальної потужності (МРРТ) сонячної батареї, яка використовується у складних геліосистемах для налагодження її максимальної продуктивності.

Для досягнення поставленої мети ставилися наступні завдання:

1. Найпершим кроком для збільшення вироблення енергії сонячними батареями без додавання сонячних панелей є оптимізування (заміна) сонячного контролера.

2. Провести огляд контролерів з застосуванням різних технологій, в першу чергу з використанням технології широтно-імпульсної модуляції (ШІМ).

3. Для збільшення вироблення електроенергії і використання технології стеженням за точкою максимальної потужності (МРРТ) сонячної батареї, на основі використання передових та сучасних контролерів розроблявся контролерний блок, що дозволить у більшості випадків у складних геліосистемах налагодити їх максимальну продуктивність.

4. Розглянута можливість застосування «інтелектуальних» мікроконтролерів в якості керуючих елементів контролерним блоком побудови ефективної моделі мікроконтролерного блоку.

4. Вибір встановлення сумарної потужності сонячних панелей для автономної системи енергопостачання

Зазвичай немає сенсу вибирати сумарну потужність панелей фотоперетворювачів більше потужності інвертора. Проте, таке перевищення може бути виправдане за наявності потужного постійного навантаження і потужного блоку акумуляторів або в розрахунок на тривалі періоди похмурої погоди. Сумарна потужність сонячних панелей може істотно перевершувати як потужність інвертора, так і потужність, необхідну для зарядки акумуляторів, є їх розміщення на протилежних стінах будинку або схилах даху, якщо вони орієнтовані

на захід і схід — тоді потужність кожного поля сонячних батарей (східного і західного) може досягати 80 % від повної необхідної потужності системи, а потужність сонячних панелей, підключених до одного контролера, може перевищувати його номінальну потужність майже у півтора рази. Прямі сонячні промені не можуть одночасно висвітлювати дві протилежні стіни або скати даху, а потужність, що виробляється батареєю за відсутності прямого засвічення, падає раз на 10 (щоб уникнути перевантаження контролера беремо її з двократним запасом, звідси і виходять 80 %, а не 90 %). Так, така система буде дорожче, ніж «моноблочна» система з тією ж робочою потужністю але з єдиним полем сонячних панелей, орієнтованими на південь. У чому ж перевага такої «спліт-системи» над «моноблочною»?

У період довгих днів, коли Сонце сходить на схід або навіть північному сході, а заходить на заході чи північному заході, одне з полів «спліт-системи» завжди буде освітлено Сонцем і тому зможе видавати хорошу потужність. Лише опівдні сонячні промені будуть ковзати по обох полях сонячних панелей, але в цей час сонячне світло максимальне, і сприймається обома панелями, розсіювання випромінювання досить істотно. У той же час орієнтований на південь «моноблок» дає потужний максимум вироблення в середині дня, але вранці і ввечері його вироблення обумовлено лише розсіяним світлом і тому є мінімальне.

Тим часом саме в цей час добре було б зарядити акумулятори на ніч або після ночі. У похмуру погоду хмари розсіюють світло, і його однаково успішно сприймають обидва поля сонячних панелей, так що загальне вироблення «спліт-системи» перевершує «моноблок» прямо пропорційно сумарної потужності їх панелей (але саме вироблення досить мале, що виключає небезпеку перевантаження контролера заряду). Лише в короткі сонячні зимові дні орієнтований на південь «моноблок» за денною нормою вироблення буде перевершувати цю «спліт-систему». Якщо ж орієнтувати поля сонячних панелей не на протилежні сторони (схід і захід), а на суміжні південний схід і південний захід, то і взимку ця система буде поза конкуренцією.

Таким чином, запропонований варіант забезпечує в порівнянні з традиційною орієнтацією батарей тільки на південь набагато більшу і більш рівномірну добову вироблення, причому можливості всіх сонячних панелей використовуються по максимуму в найбільш енергодефіцитні похмурі дні. До того ж усе обладнання крім панелей розраховано на істотно меншу пікову потужність, ніж сумарна потужність сонячних батарей, а значить, воно дешевше і компактніше.

5. Вибір контролера заряду для сонячної батареї з різними типами застосування

У сучасних системах контролер заряду стоїть між сонячною батареєю і акумуляторами. Його головне завдання — це унормувати напругу, що виробляється сонячними панелями, до напруги, необхідної для заряду акумуляторів з урахуванням їх поточного стану, в тому числі відключаючи їх від сонячних панелей при повній зарядці, щоб уникнути перезаряду (зазвичай перезаряд запобігається по напрузі, але не по струму).

Дешеві моделі контролерів заряду для регулювання напруги на навантаженні зазвичай використовують

широко-імпульсну модуляцію (ШІМ), — по суті просто або підключаючи, або відключаючи сонячні батареї від акумуляторів, підтримуючи на акумуляторах потрібну напругу (рис. 1). Але самі «розвинуті» моделі здатні навіть «підтягти» [8] до необхідного рівня занадто низьку напругу, що виробляється сонячними панелями при слабкому освітленні за рахунок зменшення струму (рис. 2).

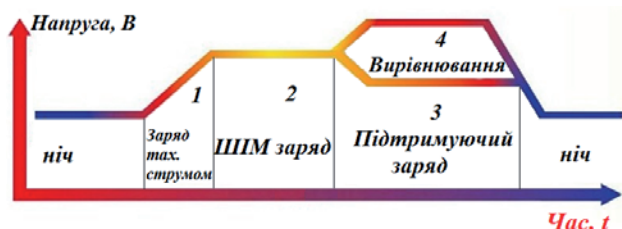


Рис. 1. Графік процесу заряду акумуляторної батареї, контрольованої ШІМ контролером

При правильному виборі сонячних панелей великої необхідності в підвищенні напруги немає. Набагато важливіше можливість знизити відносно високе «оптимальне» значення напруги фотоелектричної батареї, відповідне максимально виробленої потужності, до нижнього рівня, необхідного для зарядки акумуляторів, перетворивши надлишок напруги в додатковий струм і забезпечивши повне використання номінальної потужності батареї. При прямій комутації виходу фотоелектричних панелей на акумулятори через неоптимальне навантаження напруга може «просідати» нижче оптимуму на $15 \div 40\%$, і втрати потужності в цьому випадку можуть перевищити 25% .

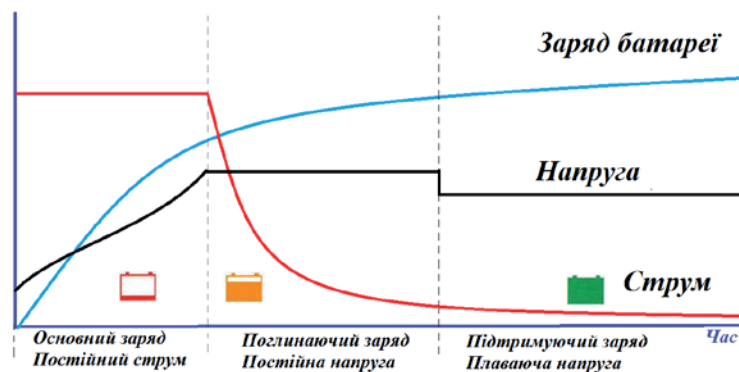


Рис. 2. Графік широтно-імпульсної модуляції (ШІМ)

Технологію, що запобігає таким втратам, деякі виробники сонячних контролерів називають МРРТ (Maximum Power Point Tracking) — відстеження точки максимальної потужності [9]. Вона полягає в постійному вимірі вироблюваного панелями струму та напруги в забезпеченні їх оптимального співвідношення, яке залежить і від часу доби і від поточної ситуації на небі (сонце або хмари). Це дозволяє досягти оптимального використання потужності батарей практично у всіх режимах роботи і зменшити втрати до 3% . Однак вартість таких сонячних контролерів істотно перевищує вартість найпростіших моделей, розрахованих на той же струм навантаження. Крім того, при однаковому

номінальному струмі навантаження сумарна номінальна потужність панелей, що підключаються до контролера з МРРТ, звичайно помітно менше сумарної потужності фотоелектричних панелей, що підключаються до дешевих контролерів з ШІМ-регулюванням — якраз на величину втрат, що компенсуються МРРТ, тобто до 25% і більше. У результаті в сонячний день контролер з МРРТ повністю використовує потужність своїх сонячних батарей, на відміну від ШІМ-контролера, де використовується лише частина енергетичного потенціалу підключених до нього панелей. Зате в умовах щільної хмарності контролер з ШІМ-модуляцією може видавати в навантаження більший струм порівняно з МРРТ завдяки повнішому використанню, більшої, повної потужності підключених до нього сонячних панелей; в сутінках ж МРРТ — контролер знову може бути оптимальнішим, якщо в контролері передбачена можливість «підтягування» занадто низької напруги, але такі періоди зазвичай дуже короточасні. Тому, якщо орієнтуватися на хмарну погоду і враховувати той факт, що робочий струм контролерів дуже обмежений, може виявитися вигідніше придбати декілька додаткових сонячних панелей і використовувати ШІМ-контролери заряду, заощадивши на контролерах МРРТ, — при тому струм, який віддається в навантаження буде відносно стабільний у більш широкому діапазоні освітленості за рахунок підвищених втрат при яскравому сонці. З іншого боку, коли струми відносно невеликі (особливо при невеликому числі сонячних панелей), використання контролерів МРРТ безумовно переважає [10].

В якості додаткової опції багато контролерів мають спеціальний вихід для низьковольтного навантаження, автоматично відключаючись при дуже великому розряді акумуляторів. Однак, якщо не передбачається пряме підключення низьковольтних споживачів, це не потрібно, оскільки практично всі сучасні інвертори роблять те ж саме для всієї підключеної до них потужності, в той час як потужність контролерів заряду дуже обмежена.

6. Схема одночасного підключення декількох контролерів заряду

Така схема має деякі незручності, але іноді цілком прийнятна. Подібне об'єднання може звести нанівещь всі переваги контролерів з МРРТ та «інтелектуальних» контролерів [11], що міняють режим заряду по мірі зарядки акумулятора.

При підключенні панелей до контролера треба стежити, щоб їх сумарний максимальний струм не перевищував $80 \div 90\%$ від номінального струму контролера. Наприклад, для 10-амперного ШІМ-контролера сумарний струм повинен становити не більше $8 \div 9$ А. Цей запас необхідний для того, щоб контролер міг витримати надлишкове вироблення, наприклад, в ясний зимовий день, коли білий сніг, відмінно відображає світло, сприяє сильному освітленню сонячних батарей порівняно з розрахунковою, а помірний мороз трохи підвищує їх ККД. Таким чином, до одного 10-амперного контролеру з ШІМ можна підключити сонячні панелі на 24 В сумарною потужністю 300 Вт, а на 12 В — всього 150 Вт. Для контролерів з МРРТ, що перетворюють «надлишок» напруги в додатковий

струм, необхідний запас по номінальному струму може бути ще більше і сумарний струм батарей може бути обмежений аж до $60 \div 75$ % від струму, що віддається контролером в навантаження, тобто потужність сонячних панелей, що підключаються до 10-амперного контролеру з МРРТ, не повинна перевищувати $220 \div 240$ Вт при 24 В і бути вдвічі менше при 12 В. Зазвичай виробники контролерів вказують допустиму сумарну потужність або номінальний сумарний струм сонячних панелей, які до них підключаються.

6.1. Контролери заряду акумуляторів від фотоелектричної батареї з широтно-імпульсною модуляцією струму заряду — ШІМ контролери. Найпростіші контролери просто відключають джерело енергії (сонячну батарею) при досягненні напруги на акумуляторній батареї (АБ) приблизно 14,4 В (для АБ номінальною напругою 12 В). При зниженні напруги на АБ до приблизно 12,5–13 В знову підключається сонячна батарея і заряд поновлюється. При цьому максимальний рівень зарядженості АБ становить 60–70 %. При регулярному недозаряджуванні відбувається сульфатація пластин і різке скорочення терміну служби АБ.

Більш розвинуті контролери на завершальній стадії заряду використовують так звану широтно-імпульсну модуляцію (ШІМ) струму заряду (PWM — power wide modulation). При цьому можливий заряд АБ до 100 %.

Процес заряду акумуляторної батареї, контролюваною ШІМ контролером, складається з 4 стадій:

1. Заряд максимальним струмом: на цій стадії батарея отримує весь струм, який здатні видати сонячні модулі. При цьому плавно починає зростати напруга на АКБ.

2. ШІМ заряд: коли напруга на АБ досягає певного рівня, контролер починає підтримувати постійну напругу, зменшуючи зарядний струм за допомогою ШІМ. Така дія дозволяє запобігти перегріву і газоутворення в акумуляторі, а також провести повний заряд. Струм поступово зменшується в міру заряду акумуляторної батареї.

3. Вирівнювання: багато батарей з рідким електролітом покращують свою роботу при періодичному заряді до газоутворення, при цьому вирівнюються напруги на різних банках АБ і відбувається очищення пластин і перемішування електроліту.

4. Підтримуючий заряд: коли АБ повністю заряджена, зарядна напруга зменшується для запобігання подальшого нагріву або газоутворення в батареї. АБ підтримується в зарядженому стані (stand by).

До таких контролерів відносяться контролери, що випускаються одним з лідерів сонячних контролерів заряду — Канадською компанією Xantrex. Контролери Xantrex випускаються із струмом від 35 А до 60 А і на напруги 12 В і 24 В, різного ступеня складності. Усі контролери Xantrex мають ШІМ струму заряду. Існує спеціальний виносний дисплей, підключивши який можна бачити напругу АКБ, зарядний струм, потужність, вироблені ампергодини. Усі контролери мають функцію визначення ступеня зарядженості акумулятора, що дозволяє вибирати режими роботи під конкретний акумулятор, тим самим істотно продовжуючи термін його служби.

Аналогічні контролери випускає також EPSolar (Китай). Ця молода компанія розробила сонячні контролери, із найбільш затребуваними параметрами. Відмінною особливістю є висока якість виробництва, застосування найсучаснішої елементної бази, наявність ряду додаткових (порівняно з контролерами Xantrex) функцій.

Особливий інтерес представляють контролери з таймерами на включення і виключення нічного освітлення. Усі контролери мають ШІМ струму заряду. За ступенем надійності ці контролери не поступаються Канадським контролерам Xantrex при набагато меншій ціні.

6.2. МРРТ контролери для управління зарядом акумуляторної батареї від сонячної панелі. Для збільшення вироблення енергії сонячними батареями без додавання сонячних панелей, потрібно замінити сонячний контролер на контролер зі стеженням за точкою максимальної потужності (ТММ) сонячної батареї. Такий контролер дозволить у більшості випадків збільшити вироблення електроенергії порівняно з ШІМ контролерами.

МРРТ контролери (Maximum power point tracker (MPPT)) — слідкування за точкою максимальної потужності (ТММ) є останнім поколінням контролерів заряду з поліпшеною технологією перетворення енергії, отриманої сонячними батареями. Ці контролери автоматично вибирають потрібне співвідношення напруги й сили струму, які видає сонячні модулі. Даний клас контролерів знімає більш високу напругу з сонячних батарей і перетворює її в найбільш підходящу напругу необхідну для заряду АКБ. При розсіяному світлі, коли вихідна напруга з сонячних модулів нижче напруги АКБ і як наслідок відсутності заряду, МРРТ контролер збільшує цю напругу і зарядка акумуляторів все одно відбувається.

Використання МРРТ контролерів дає можливість більш повно використовувати потенціал сонячних батарей і наслідок знімати на 15–30 % більше електроенергії в порівнянні з іншими контролерами!

Власне ідея МРРТ контролерів була запропонована ще більше десяти років тому, проте вартість їх досі була висока і виконання надто складне. Сьогодні широкий розвиток мікропроцесорної техніки та їх компонентів в вигляді мікроконтролерного застосування дає надію, що в недалекому майбутньому всі пристойні контролери будуть з функцією МРРТ. Зараз пропонуються МРРТ контролери з поліпшеною схематехнікою, надійними електронними компонентами і з мікропроцесорним управлінням.

У звичайних контролерах сонячна батарея підключається до акумулятора безпосередньо і напруга їх стає однакою. У дійсності ж стандартна вихідна напруга сонячної батареї часто відрізняється від напруги на АКБ. Для звичайного 12 В акумулятора необхідно подавати на клему напруга 14,4 В протягом 2–4 годин. Ця стадія має назву — стадія абсорбції (насичення) (рис. 3).

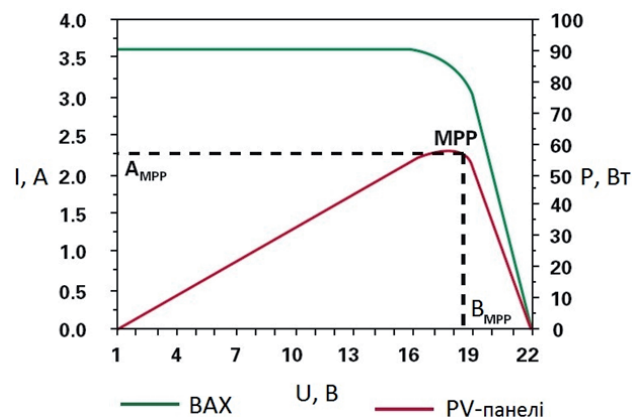


Рис. 3. Графік зміни потужності

MPPT контролер проводить моніторинг струму і напруги на сонячній батареї, робить обчислення і визначає, при яких значеннях струму і напруги, потужність сонячної батареї максимальна. Блок управління стежить, в якій стадії заряду знаходиться АКБ (наповнення, насичення, вирівнювання, підтримка) і на підставі показників змінює струм, що подається на АКБ. Всі оброблені дані можуть виводитися на дисплей (за наявності) та зберігатися.

Якщо взяти до уваги стандартну вольт-амперну характеристику PV-панелі, то можна побачити, що отримана електроенергія може бути збільшена, якщо контролер заряду відстежуватиме точку максимальної потужності сонячного модуля.

Існує кілька способів обчислення точки максимальної потужності. Як правило, контролер поступово зменшує напругу від точки холостого ходу до напруги на АКБ. У проміжку між цими значеннями і знаходиться точка максимальної потужності.

Освітленість, температура модуля, різномірності використовуваних модулів, і т. д. — це ряд факторів, які впливають на положення точки максимальної потужності. Пристрій через певні інтервали часу відхиляється від знайденої точки в обидві сторони, і якщо при цьому потужність збільшується, то прилад переключиться на роботу в новій точці. Втрати енергії на пошук ТММ дуже незначні порівняно з тією додатковою енергією, яку отримують при використанні MPPT контролера.

За допомогою безперервного перетворення напруг контролер підтримує різну напругу на вході і виході. Це нагадує роботу безступінчастої коробки передач в автомобілі, яка підтримує оптимальні оберти двигуна при різній швидкості руху автомобіля.

Переваги, які отримуються при використанні MPPT контролерів складно оцінити. Основними чинниками, що впливають на додаткове вироблення енергії, є температура і рівень заряду АКБ. Найбільший приріст буде помітний при низьких температурах панелі і розряджених акумуляторах.

Типовий MPPT контролер постійно відстежує струм і напругу на сонячній батареї (рис. 4), перемножує їх значення і визначає пару струм-напруга, при яких потужність СБ буде максимальною. Вбудований процесор також стежить, на якій стадії заряду знаходиться акумулятор (наповнення, насичення, вирівнювання, підтримка) і на підставі цього визначає, який струм повинен подаватися в акумулятор. Одночасно процесор може давати команди на індикацію параметрів на табло (за наявності), зберігання даних, і т. п.

Точка максимальної потужності може обчислюватися різними способами. У простому випадку контролер послідовно знижує напругу від точки холостого ходу до напруги на акумуляторі. Точка максимальної потужності буде знаходитися десь в проміжку між цими значеннями.

Стан ТММ залежить від декількох параметрів — від освітленості модуля, температури, різномірності використовуваних модулів і т. д. Контролер періодично намагається трохи «відійти» від знайденої на попередній стадії точки в обидві сторони, і якщо потужності при цьому збільшується, то він переходить на роботу в цій точці.

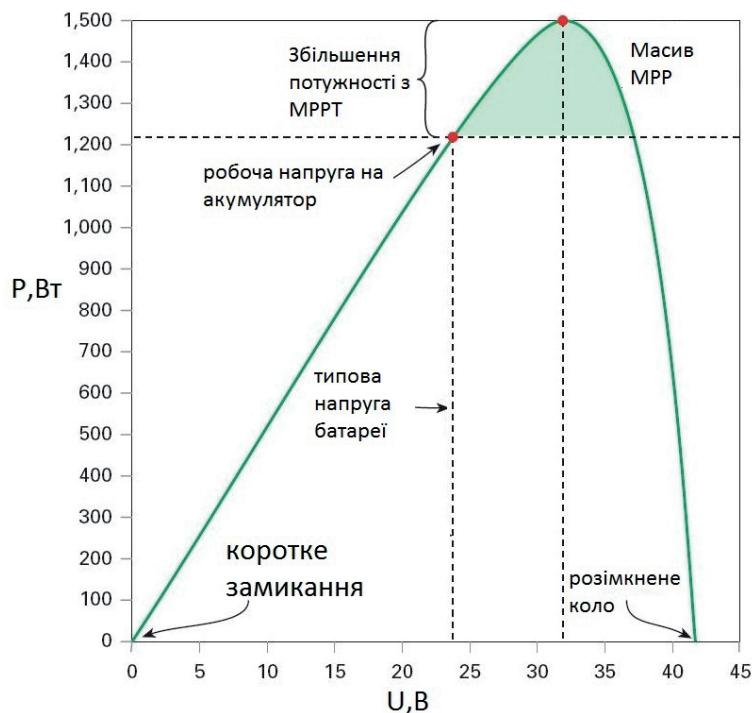


Рис. 4. Графік відстеження точки максимальної потужності

Теоретично, при пошуку ТММ втрачається небагато енергії, але ця втрата дуже незначна порівняно з додатковою енергією, яку забезпечує MPPT контролер.

7. Висновки

Сьогоднішній інтерес до альтернативної енергетики (і в першу чергу фотоелектрики) виявляється доволі значний, а розвиток потенційних можливостей її застосування в майбутньому є доволі великий. Особливо привабливим напрямом є застосування «інтелектуальних» мікроконтролерних блоків управління зарядом акумуляторної батареї в фотоелектричній системі отримання енергії. Мікроконтролери з технологією MPPT слідкування за точкою максимальної потужності демонструють суттєві переваги над іншими видами контролерних блоків, як наприклад мікроконтролер малої потужності MPT612 з 32-бітним RISC-процесором ARM7TDMI-S. Всі промислові розробки подібного виду проводяться за межами України, «сонячні» контролери переважно експортуються із азіатських країн, таких як Китай, Тайвань, Південна Корея. А набагато дорожчі екземпляри експортуються різними фірмами Канади.

Отже на основі проведеної роботи та дослідження можна зробити такі висновки:

1. Розвиток фотоелектричних перетворювачів потребує розвитку технічних засобів, які зможуть на високому рівні обслуговувати сонячні панелі.
2. Із швидкістю розвитку також ростуть електрофізичні параметри, такі як напруга та струм, а це приводить до того, що нові системи сонячних панелей потребують потужніших контролерів з різними технічними можливостями.
3. Розроблено економічний мікроконтролерний блок управління зарядом для автономних систем з функцією слідкування за максимальною точкою потужності. Цей блок також можна оптимізувати для управління зарядом, який направляється безпосередньо в користувацьку мережу з сонячних електростанцій державного значення.

Література

1. Huang, Y. M. Porous Silicon Based Solar Cells [Text] / Y. M. Huang, Q. L. Ma, M. Meng, B. G. Zhai // Materials Science Forum. — 2010. — Vol. 663–665. — P. 836–839. doi:10.4028/www.scientific.net/msf.663-665.836
2. Yerokhov, V. Yu. Porous coating of silicon substrate for solar energy converter [Text] / V. Yu. Yerokhov // Book of Abstracts of International Conference SolPol. — Warsaw, Poland, September 2008. — P. 23.
3. Shimishu, T. A novel high performance utility-interactive photovoltaic inverter system [Text] / T. Shimishu, O. Hashimoto, G. Kimura // IEEE Transaction on Industrial Electronics. — 2003. — Vol. 18, № 2. — P. 704–711. doi:10.1109/tpel.2003.809375
4. Спосіб одержання поверхневої мультитекстури [Електронний ресурс]: Патент України № 36642, МПК H01L 31/05 / Єрохов В. Ю., Селемонавічус А. А.; Національний університет «Львівська політехніка». — № a200713213, заявл. 27.11.2007; опубл. 10.11.2008, Бюл. № 21. — Режим доступу: \www/URL: http://uapatents.com/3-36642-sposib-oderzhannya-poverkhnevomultiteksturi.html
5. Спосіб одержання поверхневої функціональної нанотекстури [Електронний ресурс]: Патент України № 92962, МПК H01L 31/05 / Єрохов В. Ю., Дружинін А. О.; Національний університет «Львівська політехніка». — № a200902952, заявл. 30.03.2009; опубл. 27.12.2010, Бюл. № 24. — Режим доступу: \www/URL: http://uapatents.com/4-92962-sposib-oderzhannya-poverkhnevo-funkcionalno-nanoteksturi.html
6. Shmilovich, D. On the control of the photovoltaic maximum power point tracker via output parameters [Text] / D. Shmilovich // IEE Proceeding, Electric Power Application. — 2005. — Vol. 152, № 2. — P. 239–248. doi:10.1049/ip-cpa:20040978
7. Salas, V. DC current injection onto the network from PV onverter of <5kW for low-voltage small grid-connected PV systems [Text] / V. Salas, M. Alonso-Abella, E. Olias, F. Chenlo, A. Barrado // Solar Enegy Materials And Solar Cells. — 2007. — Vol. 91, № 9. — P. 801–806. doi:10.1016/j.solmat.2006.12.016
8. Salas, V. Analysis of the maximum power point tracking in the photovoltaic grid inverter of 5kW [Text] / V. Salas, M. Alonso-Abella, F. Chenlo, E. Olias // Renewable Energy. — 2009. — Vol. 34, № 11. — P. 2366–2372. doi:10.1016/j.renene.2009.03.012
9. Sera, D. Improved MPPT algorithms for rapidly changing environmental conditions [Text] / D. Sera, T. Kerekes, R. Teodorescu, F. Blaabjerg // Proceeding of IEEE International Symposium of Industrial Electronics. — 2006. — Vol. 2. — P. 1420–1425. doi: 10.1109/isie.2006.295680
10. Solodovnic, E. V. Power Controller Design for Maximum Power Tracking in Solar Installations [Text] / E. V. Solodovnik, S. Liu, R. A. Dougal // IEEE Transaction on Power Electronics. — 2004. — Vol. 19, № 5. — P. 1295–1304. doi:10.1109/tpel.2004.833457
11. Roman, E. Intelligent PV Module for Grid-Connected PV Systems [Text] / E. Roman, R. Alonso, P. Ibanez, S. Elor-duizaparietxe, D. Goitia // IEEE Transaction for Industrial Electronics. — 2006. — Vol. 53, № 4. — P. 1066–1073. doi:10.1109/tie.2006.878327

КОНСТРУИРОВАНИЕ ГИБРИДНЫХ АВТОНОМНЫХ И РЕЗЕРВНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ДЛЯ СЛОЖНЫХ ГЕЛИОСИСТЕМ

Показана перспективность исследования разных типов микроконтролерных блоков для фотоэлектрических преобразователей. Было исследовано и разработано наиболее эффективную модель микроконтролерного блока построения гибридной автономной и резервной системы электроснабжения с использованием широтно-импульсной модуляции (ШИМ), а также слежением за точкой максимальной мощности (МРРТ) солнечной батареи, которая используется в сложных гелиосистемах для налаживания ее максимальной производительности.

Ключевые слова: микроконтролерный блок, солнечный элемент, автономная система электропитания, фотоэлектрический преобразователь.

Єрохов Валерій Юрійович, доктор технічних наук, доцент, кафедра напівпровідникової електроніки, Національний університет «Львівська політехніка», Україна, e-mail: verohov@polynet.lviv.ua. Дружинін Анатолій Олександрович, доктор технічних наук, професор, кафедра напівпровідникової електроніки, Національний університет «Львівська політехніка», Україна, e-mail: druzh@polynet.lviv.ua.

Єрохова Ольга Валеріївна, аспірант, Інститут прикладних проблем математики і механіки ім. Підстригача, Національна академія наук України, Львів, Україна, e-mail: mlleolga@gmail.com.

Єрохов Валерій Юрьевич, доктор технических наук, доцент, кафедра полупроводниковой электроники, Национальный университет «Львовская политехника», Украина.

Дружинин Анатолий Александрович, доктор технических наук, профессор, кафедра полупроводниковой электроники, Национальный университет «Львовская политехника», Украина.

Єрохова Ольга Валеріївна, аспірант, Інститут прикладних проблем математики і механіки ім. Підстригача, Національна академія наук України, Львів, Україна.

Yerokhov Valerij, Lviv Polytechnic National University, Ukraine, e-mail: verohov@polynet.lviv.ua.

Druzhynin Anatoliy, Lviv Polytechnic National University, Ukraine, e-mail: druzh@polynet.lviv.ua.

Ierokhova Olga, Pidstryhach Institute for Applied Problems of Mechanics and Mathematics, National Academy of Sciences of Ukraine, Lviv, Ukraine, e-mail: mlleolga@gmail.com