



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **137519** (13) **U**  
(51) МПК (2019.01)  
**H02J 3/00**  
**H02M 3/06** (2006.01)  
**H02M 3/44** (2006.01)

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ  
ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ ТА  
СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА  
УКРАЇНИ

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

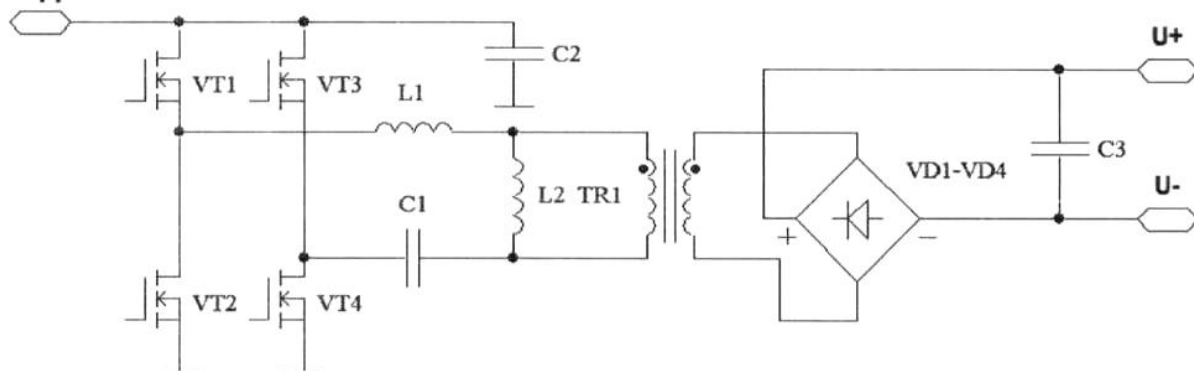
(21) Номер заявки: <b>u 2019 03750</b>	(72) Винахідник(и): <b>Зайцев Роман Валентинович (UA), Кіріченко Михайло Валерійович (UA), Дроздов Антон Миколайович (UA), Хрипунов Геннадій Семенович (UA), Мінакова Ксенія Олександрівна (UA)</b>
(22) Дата подання заявки: <b>11.04.2019</b>	
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>25.10.2019</b>	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>25.10.2019, Бюл.№ 20</b>	(73) Власник(и): <b>НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ", вул. Кирпичова, 2, м. Харків, 61002 (UA)</b>

## (54) СИСТЕМА ВІДБОРУ ПОТУЖНОСТІ НА ОСНОВІ ПІДВИЩУВАЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ДЛЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ

### (57) Реферат:

Система відбору потужності фотоелектричної станції складається з елементів, що здійснюють відбір потужності від ФЕМ і елемента для перетворення постійного струму, що генерується ФЕМ у електроенергію промислової частоти. Відбір потужності від ФЕМ здійснюється набором підвищувальних перетворювачів, які збільшують генеровану ФЕМ постійну напругу до значень 600-700В, підвищувальні перетворювачі виконані за резонансною схемою з цифровим керуванням реалізацією алгоритму стеження за точкою максимальної потужності ФЕМ під керуванням мікроконтролера та об'єднані в інформаційну мережу для моніторингу параметрів ФЕМ і самодіагностики, підвищувальні перетворювачі скомутовані паралельно для забезпечення можливості безперебійної роботи системи в разі відмови одного або декількох ФЕМ, а для перетворення генерованої ФЕМ постійної напруги, в електроенергію промислової частоти масив послідовно з'єднаних мікроінверторів замінений на потужний інвертор промислового класу з можливістю зовнішнього керування.

**Umppt**



Фиг. 1

UA 137519 U



Корисна модель належить до галузі перетворення сонячної енергії та спрямована на підвищення ефективності перетворення електричної енергії, що генерується фотоелектричними станціями в електроенергію промислової частоти, збільшення генерованої ФЕС потужності і підвищення ефективності витрачання дорогих ресурсів.

5 Використання високоефективної системи відбору потужності (СВП) є необхідною умовою для забезпечення генерації максимальної електричної потужності фотоелектричною станцією (ФЕС), окрім використання високоефективних фотоелектричних модулів (ФЕМ). Найважливішим елементом оптимізації конструктивного рішення СВП, що дозволяє підвищити ефективність ФЕС і за сукупністю енергетичних і економічних показників досягти її конкурентоспроможності  
10 на внутрішньому і світовому ринку є мінімізація втрат постійної напруги, що генерується в процесі експлуатації ФЕМ, для її подальшої високоефективної передачі і перетворення в електроенергію промислової частоти.

3 Попередніх розробок відомий винахід [1], що являє собою СВП, до складу якої входить підключений до ФЕМ інвертор, оснащений електронним блоком керування, що забезпечує  
15 діагностику модуля інвертора і можливість підключення до шини даних для віддаленого моніторингу статусу сонячного інвертора на комунікаційну шину, і керування його роботою. Це дозволяє об'єднувати декілька окремих геліоустановок в єдину мережу для забезпечення ефективної роботи та оперативного усунення пошкоджень.

Недоліком є відсутність реалізації алгоритму стеження за робочою точкою ФЕМ (так званого МРРТ алгоритму), що істотно знижує загальну ефективність роботи ФЕМ та необхідність  
20 додаткової синхронізації по фазі змінного струму, що генерується кількома інверторами, з'єднаними в єдину мережу. Розсинхронізація по фазі змінного струму при подачі його в загальну енергосистему може привести до серйозних пошкоджень як генеруючого, так і мережевого обладнання. Використання додаткового синхронізуючого обладнання також  
25 призводить до втрат електроенергії та зростання вартості системи в цілому.

Відома також конструкція [2], яка являє собою елемент СВП, а саме підвищуючий перетворювач постійного струму з декількома входами, який здатний на диверсифікацію  
потужності між різними джерелами енергії з різними вольт-амперними характеристиками. Такий перетворювач підключається на вихід ФЕМ і забезпечує на вході інвертора напругу на рівні 600-  
30 700 В, що дозволяє істотно знизити втрати в провідниках при передачі енергії від ФЕМ до інвертора.

Недоліком є відсутність електронного керування, що знижує ефективність перетворювача і не дозволяє об'єднати кілька подібних перетворювачів в єдину мережу для реалізації  
віддаленого керування. Також до недоліків можна віднести необхідність використання  
35 додаткового контролера для реалізації МРРТ-алгоритму.

Також відомо рішення [3], у якому до складу СВП включений високоефективний підвищуючий перетворювач безтрансформаторної конструкції, що працює в резонансному  
режимі, підключається на вихід ФЕМ, та забезпечує на вході інвертора напругу 600-700 В і мінімізацію втрат на передачу електроенергії усередині СВП. Особливістю зазначеного  
40 перетворювача є безтрансформаторне схемотехнічне рішення, що забезпечує при мінімальних масогабаритних параметрах високу ефективність перетворення.

Недоліком є необхідність використання додаткового контролера для реалізації МРРТ алгоритму відбору потужності від ФЕМ, що, як уже зазначалося, знижує ефективність системи в  
цілому, ускладнює і збільшує вартість конструкції ФЕС. Особливості схемотехнічного рішення,  
45 хоча і забезпечують високу ефективність роботи через відсутність мікроконтролерного керування, ускладнюють об'єднання декількох приладів в єдину інформаційно-керуючу мережу.

Також раніше було розроблено конструктивне рішення [4], що представляє собою максимально спрощений варіант СВП, в якому в модуль сонячної батареї інтегрований інвертор  
(т. зв. мікроінвертор), який безпосередньо здійснює перетворення постійного струму в змінний і  
50 забезпечує на виході ФЕМ струм промислової частоти. Таке розташування інвертора мінімізує втрати електроенергії в провідниках всередині СВП і полегшує реалізацію алгоритму МРРТ, а також забезпечує компактність і малу масу ФЕС, що полегшує установку сонячних батарей на дахах будинків.

Недоліком зазначеного рішення є порівняно невисока ефективність мікроінвертора, що не перевищує зазвичай 93-94 %, в той час як ефективність потужних інверторів промислового  
55 класу, що застосовуються в складі СВП традиційної конструкції може досягати 98 %. Також при використанні в складі ФЕС більш ніж одного генеруючого ФЕМ може виникати проблема узгодження фаз змінного струму, що генерується декількома мікроінверторами.

Найбільш близьким аналогом [5] є конструкція СВП, заснована на масиві послідовно  
60 з'єднаних мікроінверторів, об'єднаних загальною шиною змінного струму для послідовної

комутації мікроінверторів, і керованих зовнішнім контролером, що забезпечує контроль робочих параметрів мікроінверторів і узгодження фаз генеруемого змінного струму для його передачі в громадську енергомережу. Недоліком прототипу є ускладнене схемотехнічне рішення СВП, в якому в силу використання мікроінверторів необхідно використовувати зовнішній керуючий

5 прилад для узгодження фаз змінного струму, а також невисоку ефективність мікроінверторів (93-94 %) є порівнянні з інверторами промислового класу. Також послідовне з'єднання мікроінверторів не дозволяє відключити ФЕМ або мікроінвертор у разі пошкодження або відмови без істотного втручання в електросхему ФЕС, що ускладнює реалізацію зовнішнього

10 віддаленого керування.  
В основу корисної моделі поставлена задача, яка полягає в підвищенні ефективності перетворення електричної енергії, що генерується фотоелектричними станціями в електроенергію промислової частоти, збільшенні генерованої ФЕС потужності і підвищення ефективності витрачання дорогих ресурсів.

15 Поставлена задача вирішується за рахунок використання для відбору потужності від ФЕМ паралельно скомутованих підвищувальних перетворювачів, що збільшують генеровану ФЕМ постійну напругу до значень 600-700 В, мають ефективність не менше 96 % і виконані за резонансною схемою з реалізацією за рахунок цифрового керування алгоритмів самодіагностики, контролю стану ФЕМ та алгоритму стеження за точкою максимальної

20 потужності ФЕМ, з можливістю включення ФЕС в інформаційну мережу для моніторингу параметрів ФЕМ та перетворювачів, а для перетворення постійної напруги генерованої ФЕМ в електроенергію промислової частоти використовується потужний інвертор промислового класу з можливістю зовнішнього керування.

Запропонована система відбору потужності фотоелектричної станції має такі відмінні риси:

25 для відбору потужності від ФЕМ використовуються підвищувальні перетворювачі, що збільшують генеровану ФЕМ постійну напругу до значень 600-700В і знижують втрати на передачу електроенергії між елементами СВП в 9,7 рази;

підвищувальні перетворювачі виконані за резонансною схемою з цифровим керуванням і мають ефективність не менше 96 %;

30 в підвищувальних перетворювачах реалізовано алгоритм стеження за точкою максимальної потужності ФЕМ під керуванням мікроконтролера, що збільшує ефективність відбору потужності ФЕМ на 25 % і об'єднання в інформаційну мережу для моніторингу параметрів ФЕМ і самодіагностики;

паралельна комутація підвищувальних перетворювачів до інвертора забезпечує можливість безперебійної роботи системи при відмові одного або декількох ФЕМ;

35 для перетворення постійної напруги, генерованої ФЕМ в електроенергію промислової частоти масив послідовно з'єднаних мікроінверторів замінений на потужний інвертор промислового класу з можливістю зовнішнього керування.

40 Використання в складі СВП перетворювача, що забезпечує підвищення генерованої ФЕМ постійної напруги для подальшої вискоефективної передачі і перетворення представляється перспективним шляхом підвищення ефективності системи відбору потужності. При цьому, оскільки в залежності від денної зміни сонячного випромінювання змінюється і генерована ФЕМ електрична потужність, то конструктивне рішення підвищувального перетворювача та СВП має розроблятися з урахуванням всього діапазону генерованої електричної потужності.

45 Використання слабкоконцентрованого сонячного випромінювання також є додатковим аргументом на користь оснащення кожного ФЕМ підвищувальним перетворювачем, оскільки робочий струм ФЕМ при потужності випромінювання 1700 Вт/м<sup>2</sup> досягає 13 А, майже в два рази перевищуючи аналогічну величину при потужності випромінювання 1000 Вт/м<sup>2</sup>, що в разі СВП традиційної конструкції спричинить додаткові втрати у з'єднувальних кабелях, або призведе до необхідності істотних витрат на оснащення ФЕС кабелями збільшеного перерізу.

50 За результатами комп'ютерного моделювання показано, що найкращими схемотехнічними рішеннями є мостовий резонансний перетворювач і трикаскадний паралельно-послідовний перетворювач, що містить два резонансних перетворювача і знижуючо-підвищувальний перетворювач. Дані схемотехнічні рішення забезпечать найвищий ККД у всьому діапазоні робочих вхідних параметрів, а також простоту реалізації системи керування транзисторами, включаючи можливість застосування спеціалізованих інтегральних мікросхем. Високе значення

55 ККД зводить до мінімуму труднощі реалізації охолодження перетворювача. Вибір максимальної вхідної потужності і вхідної напруги перетворювача, що відповідають параметрам одного ФЕМ є оптимальним, оскільки дозволяє застосовувати спеціалізовані інтегральні мікросхеми і дешеві транзистори, які використовуються в автомобільній і комп'ютерній техніці, а також легко

60 дозволяє організувати охолодження силових компонентів. Іншим позитивним моментом роботи

перетворювача на один ФЕМ є більш повне використання потужності світлового потоку і можливість віддаленого моніторингу стану кожного ФЕМ.

Суть корисної моделі пояснюється кресленнями:

на фіг. 1 показана схема мостового резонансного LLC перетворювача4

5 на фіг. 2 приведена функціональна електрична схема пропонованого підвищувального перетворювача;

на фіг. 3 зображена узагальнена блок-схема пропонованої СВП;

10 на фіг. 4 наведено залежності розрахованої величини втрат потужності (а) і ККД (б) СВП ФЕС з використанням підвищувальних перетворювачів (суцільна лінія) у порівнянні з СВП ФЕС без підвищувальних перетворювачів (пунктирна лінія).

Приклад реалізації, запропонованої корисної моделі.

15 З огляду на широкий діапазон коефіцієнта передачі підвищувального перетворювача в робочих діапазонах вхідних і вихідних напруг, більшу кількість активних і пасивних компонентів при реалізації трикаскадного паралельно-последовного перетворювача, вибір схемотехнічного рішення регульованого мостового резонансного перетворювача (фіг. 1) є оптимальним за співвідношенням вартості реалізації, числа компонентів і технічних характеристик перетворювача.

20 Відповідно до функціональної схеми (фіг. 2), запропоноване рішення підвищувального перетворювача реалізується в такий спосіб. Напряга фотоелектричного модуля надходить на вхід підвищувального перетворювача. Формування параметрів перетворювача і перемикання транзисторів здійснюється за допомогою цифрового мікроконтролера МК. Сигнали керування на затвори транзисторів VT1-VT4 надходять з МК через драйвери Др.1 - Др.4. Транзистори в межах кожного плеча моста перемикаються синхронно. Живлення драйверів і мікроконтролера здійснюється через стабілізований понижуючий перетворювач постійної напруги власних потреб (ВП). МК вимірює вихідний струм ФЕМ за допомогою шунта R3 і підсилювача, а вихідну напругу ФЕМ через дільник на резисторах R1-R2. МК на виходах Г1 і Г2 формує два протифазних меандри для перемикання транзисторів з необхідною частотою і час затримки між перемиканнями діагоналей моста ("мертвий" час). Напряга середньої точки напівмоста транзисторів VT1 і VT2 використовується при визначенні адаптивного "мертвого" часу (мінімального достатнього) для максимальної ефективності перетворювача та через дільник на резисторах R4 і R5 надходить в компаратор Комп. МК. Додаткова обмотка трансформатора N3, підключена до випрямного мосту VD1, слугує для контролю вихідної напруги і, спільно з сигналом напруги середньої точки напівмоста, бере участь в алгоритмі детектування наближення до ємнісного характеру струму резонансного LLC ланцюга. Детектування наближення до ємнісного характеру струму резонансного ланцюга вкрай необхідно при запуску перетворювача, а також при відносно різких змінах величини напруги на виході перетворювача - мережі постійного струму 600 В - 700 В.

35 Резонансний LLC ланцюг утворений дроселем L1, конденсатором С1 і трансформатором Т1. Резонансна індуктивність включає в себе індуктивність дроселя L1 та індуктивність розсіювання трансформатора Т1. Вихідна напруга з трансформатора надходить на випрямляч, утворений діодним мостом VD2 і конденсатором С3. Вихідна напруга випрямляча є вихідною напругою перетворювача.

40 Відстеження точки максимальної потужності ФЕМ (MPPT) здійснюється мікроконтролером за алгоритмом "Збурення і спостереження".

45 Мікроконтролер обчислює вхідну потужність перетворювача, далі на невелику величину змінює вхідний опір зміною частоти комутації транзисторів, внаслідок чого змінюється вхідна напруга і обчислює потужність, якщо потужність збільшується - контролер продовжує змінювати напругу в цьому ж напрямку, поки потужність не перестане збільшуватися. Цифрове керування перетворювачем дозволяє реалізувати алгоритм відстеження точки максимальної потужності "Збурення і спостереження", формування адаптивного "мертвого" часу, детектування струму ємнісного характеру в навантаженні моста. За допомогою МК стає можливою реалізація інформаційної кабельної або бездротової мережі, наприклад RS-485 або ZigBee, для моніторингу параметрів ФЕМ та перетворювачів, надання оперативної інформації про несправності і т.д.

55 Застосування регульованого мостового резонансного підвищувального перетворювача дозволяє досягти високих значень ефективності перетворення до 95,8 %. Високе значення ефективності одержується за рахунок застосування цифрового керування підвищувальним перетворювачем і відкриває широкі можливості для створення алгоритмів керування, що забезпечують надійність і ефективність перетворення, швидке і точне знаходження точки максимальної потужності.

60

Використання в складі СВП розроблених підвищувальних перетворювачів, які дозволять знизити величини струмів, що протікають в більшій частині СВП, і відповідно, пропорційно до квадрату струму істотно знизити втрати потужності при її передачі між елементами СВП. У разі побудови СВП із застосуванням підвищувальних перетворювачів, систему буде розділено на наступні ділянки (Фіг. 3), на яких будуть спостерігатися втрати у СВП:

- ділянку кабельного з'єднання ФЕМ та підвищувального перетворювача ( $P_{\text{втр. ФЕМ-DC}}$ );
- безпосередньо підвищувальний перетворювач ( $P_{\text{втр. DC}}$ );
- ділянку кабельного з'єднання підвищувального перетворювача і інвертора ( $P_{\text{втр. DC-ІНВ}}$ );
- інвертор ( $P_{\text{втр. -ІНВ}}$ ).

Втрати в підвищувальному перетворювачі розраховувалися виходячи з розрахованого ККД такого приладу, що становить 95,8 %. Показано, що втрати на ділянках СВП зростають із ростом струму ФЕМ, однак величини втрат значно менші, що пов'язано з меншими значеннями струмів на ділянці після підвищувального перетворювача. Сумарні втрати потужності  $P_{\text{етр. сум}}$  і ККД СВП із застосуванням підвищувальних перетворювачів наведені на фіг. 4 в порівнянні з аналогічними параметрами, отриманими для СВП без застосування підвищувальних перетворювачів. За результатами проведених розрахунків СВП можна зробити висновок, що використання в такій системі підвищувальних перетворювачів дозволяє значно знизити втрати потужності в СВП і, отже, підвищити ККД системи. Зазначене призведе до додаткового зростання корисної потужності, що віддається споживачу через інвертор. Сумарні втрати потужності в такій СВП (фіг. 4) при потужності випромінювання 1700 Вт/м<sup>2</sup> складуть 644,6 Вт, що на порядок менше 6180,8 Вт, характерних для системи без підвищувальних DC-DC перетворювачів. Це призведе до зростання ККД СВП, який збільшиться від 71,0 % до значення 92,5 %. Варто також відзначити, що ККД залишається майже незмінним при широкому діапазоні освітленості ФЕМ, яка буде змінюватися в залежності від погодних і сезонних умов.

Практична ефективність пропонованої корисної моделі - системи відбору потужності на основі підвищувальних перетворювачів, перевірена в серії експериментів. Також проведений розрахунок системи відбору потужності фотоелектричної станції фотоелектричної станції із застосуванням розроблених підвищувальних перетворювачів показав, що ККД такої системи в широкому діапазоні освітленості ФЕМ знаходиться на рівні 92 %, що значно більше, ніж для класичних систем відбору потужності, ефективність яких знаходиться на рівні 70 %.

Таким чином, використання заявленої корисної моделі дозволяє підвищити ефективність роботи фотоелектричної станції, збільшуючи генеровану нею потужність і підвищуючи ефективність витрачання дорогих ресурсів.

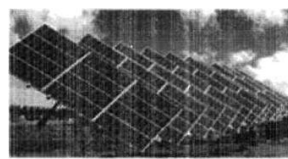
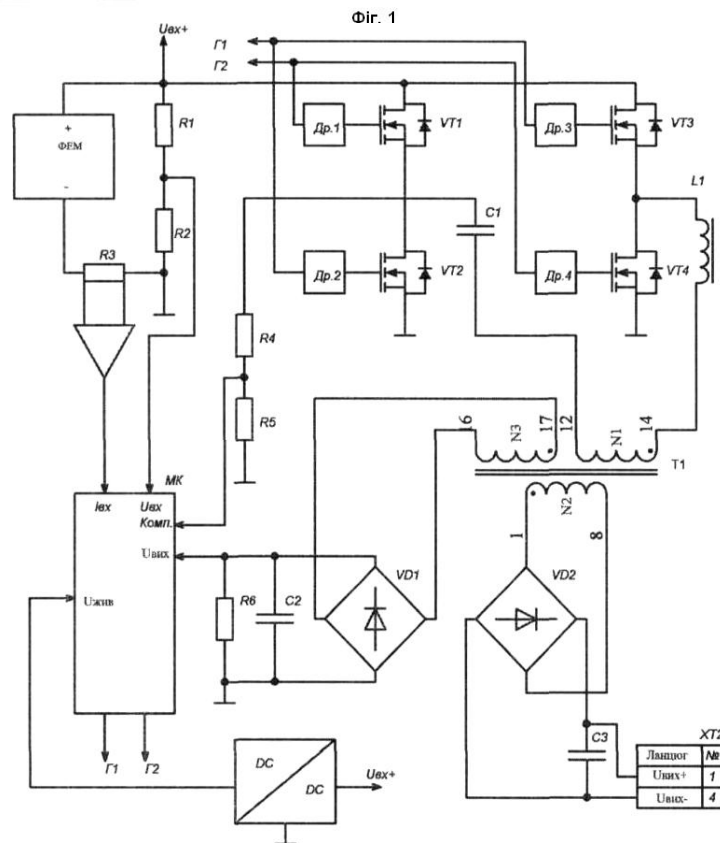
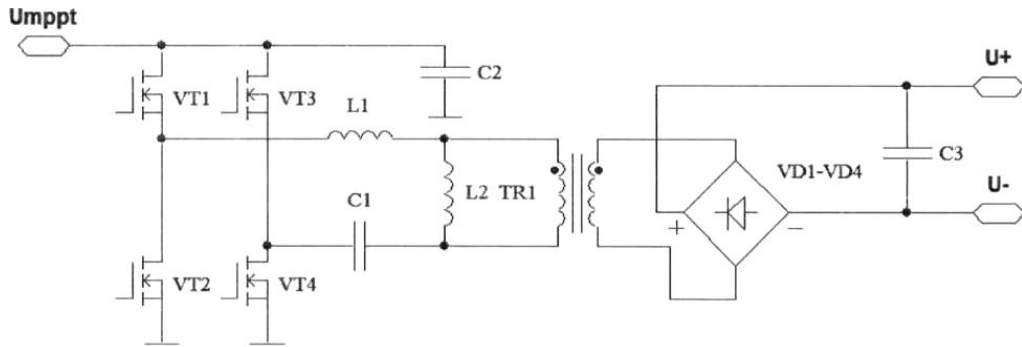
Джерела інформації:

1. Пат. US 2007/0252716 A1, США, МПК G08B 21/00; H02J 3/38; H02M 7/00; H02M 7/44; H02N6/00. Solar Inverter and Photovoltaic Installation Comprising Several Solar Inverters / R. Burger. - № 11/597765; Заявлено 05.25.2005; Опубл. 11.01.2007.
2. Пат. US 8,853,888 B2, США, МПК H02J 1/00; H02M 1/10; H02M 3/158 6/00. Multiple-input DC-DC converter / A. Khaligh. - № 12/337129; Заявлено 12.17.2008; Опубл. 10.07.2014.
3. Пат. US 8,138,638 B2, США, МПК G05F 3/06. DC/DC converter / R. Mallwitz, P. Zacharias, B. Engel. - № 12/498513; Заявлено 07.07.2009; Опубл. 03.20.2012.
4. Пат. EP 2899880 A1, ЄС, МПК H02S 40/32. Solar cell module having an integral inverter. - № 15000057; Заявлено 01.13.2005; Опубл. 07.29.2015.
5. Пат. US 2014/0084695 A1, США, МПК H02J 3/00. Serially connected micro-inverter system having concertina output voltage control/ M. Fornage. - № 14/032808; Заявлено 09.20.2013; Опубл. 03.27.2014.

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Система відбору потужності фотоелектричної станції, яка складається з елементів, що здійснюють відбір потужності від ФЕМ і елемента для перетворення постійного струму, що генерується ФЕМ у електроенергію промислової частоти, яка **відрізняється** тим, що відбір потужності від ФЕМ здійснюється набором підвищувальних перетворювачів, які збільшують генеровану ФЕМ постійну напругу до значень 600-700В, підвищувальні перетворювачі виконані за резонансною схемою з цифровим керуванням реалізацією алгоритму стеження за точкою максимальної потужності ФЕМ під керуванням мікроконтролера та об'єднані в інформаційну мережу для моніторингу параметрів ФЕМ і самодіагностики, підвищувальні перетворювачі скомпоновані паралельно для забезпечення можливості безперебійної роботи системи в разі відмови одного або декількох ФЕМ, а для перетворення генерованої ФЕМ постійної напруги, в

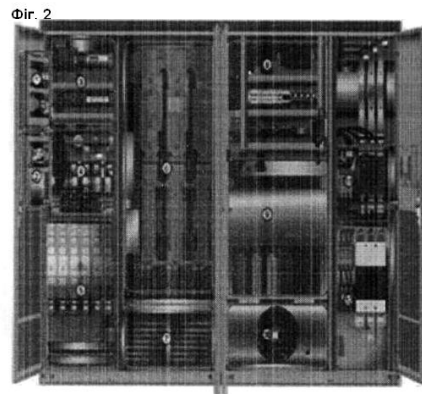
електроенергію промислової частоти масив послідовно з'єднаних мікроінверторів замінений на потужний інвертор промислового класу з можливістю зовнішнього керування.



Фотомодуль

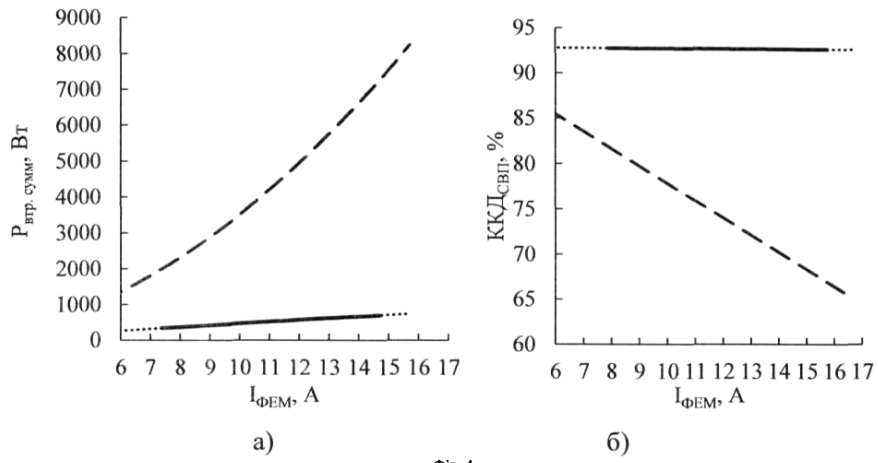


Підвищувальний перетворювач



Інвертор

Фіг. 3



Фіг. 4

---

Комп'ютерна верстка В. Мацело

---

Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України,  
вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

---

ДП "Український інститут інтелектуальної власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601