



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **107542** (13) **C2**
(51) МПК (2015.01)
H02J 7/35 (2006.01)
H02M 7/493 (2007.01)
G05F 5/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(21)	Номер заявки:	а 2014 00687	(73)	Власник(и): ТОВАРИСТВО З ОБМЕЖЕНОЮ ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ "ТЕХІНВЕСТ-ЕКО", вул. Окружна, 11, смт Ворзель, Київська обл., 08296 (UA)
(22)	Дата подання заявки:	24.01.2014	(74)	Представник: Боровик Петро Антонович, реєстр. №166
(24)	Дата, з якої є чинними права на винахід:	12.01.2015	(56)	Перелік документів, взятих до уваги експертизою: UA 51651 C2, 16.12.2002 RU 2195754 C2, 27.12.2002 US 7709727 B2, 04.05.2010 US 7456523 B2, 25.11.2008 US 8400134 B2, 19.03.2013 GB 2211679 A, 05.07.1989 EP 2075895 A2, 01.07.2009 US 8253274 B2, 28.08.2012 UA 69239 U, 25.04.2012 UA 10269 U, 15.11.2005 US 4718233, 12.01.1988. US 4703621, 03.11.1987 Крюков К.В. Использование фотоэлектрических преобразователей в системах электроснабжения / К.В. Крюков, В.В. Сазонов, А.А. Кваснюк // Повышение надежности и эффективности эксплуатации электрических станций и энергетических систем. Труды конф., МЭИ. - М., 2010. [Інтернет-публікація], URL: http://www.energosovet.ru/stat/nie_762.htm (Знайдено 25.07.2014)
(41)	Публікація відомостей про заявку:	12.05.2014, Бюл.№ 9		
(46)	Публікація відомостей про видачу патенту:	12.01.2015, Бюл.№ 1		
(72)	Винахідник(и): Чернілевський Ігор Костянтинович (UA), Токарев Віктор Сергійович (UA), Токарев Станіслав Вікторович (UA), Селезньов Олександр Михайлович (UA), Меньшенін Павло Германович (UA), Ільчук Григорій Архипович (UA), Петрусь Роман Юрійович (UA), Рудак Віктор Олександрович (UA), Лобойко Сергій Васильович (UA), Янушевський Дмитро Миколайович (UA)			

(54) СПОСІБ ТА ПРИСТРІЙ ДЛЯ ВІДБОРУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ВІД ФОТОЕЛЕКТРИЧНОГО МОДУЛЯ**(57) Реферат:**

Винахід належить до галузі енергетики, а саме до галузі перетворення електричної енергії, що передбачає генерування постійного струму фотоелектричним перетворювачем з наступним перетворенням його у змінний або постійний струм. Більш конкретно, винахід призначено для використання у складі фотоелектричних станцій та установок, що під'єднані до локальних мереж змінного струму, або використання отриманої електроенергії для накопичення енергії у відомих з рівня техніки накопичувачах. За заявленим способом відбору електричної енергії від фотоелектричного модуля, за яким енергію сонячного випромінювання перетворюють у електричний сигнал, попередньо накопичують енергію електричного сигналу за допомогою конденсатора ємністю не меншою 0,15 Фарад, зарядженого до напруги максимальної потужності фотоелектричного модуля, визначеної з вольт-амперних характеристик, нормують напругу електричного сигналу за допомогою DC/DC конвертера та акумулюють. При цьому

UA 107542 C2

відібрану енергію перетворюють у змінний струм за допомогою DC/AC інвертора та безперервно подають у локальну мережу змінного струму, при цьому потужність DC/DC конвертера та DC/AC інвертора встановлюють на одному з щонайменше трьох рівнів, які є не меншими за потужність фотоелектричного модуля при мінімальній інсоляції, максимальній інсоляції та щонайменше одній проміжній інсоляції.

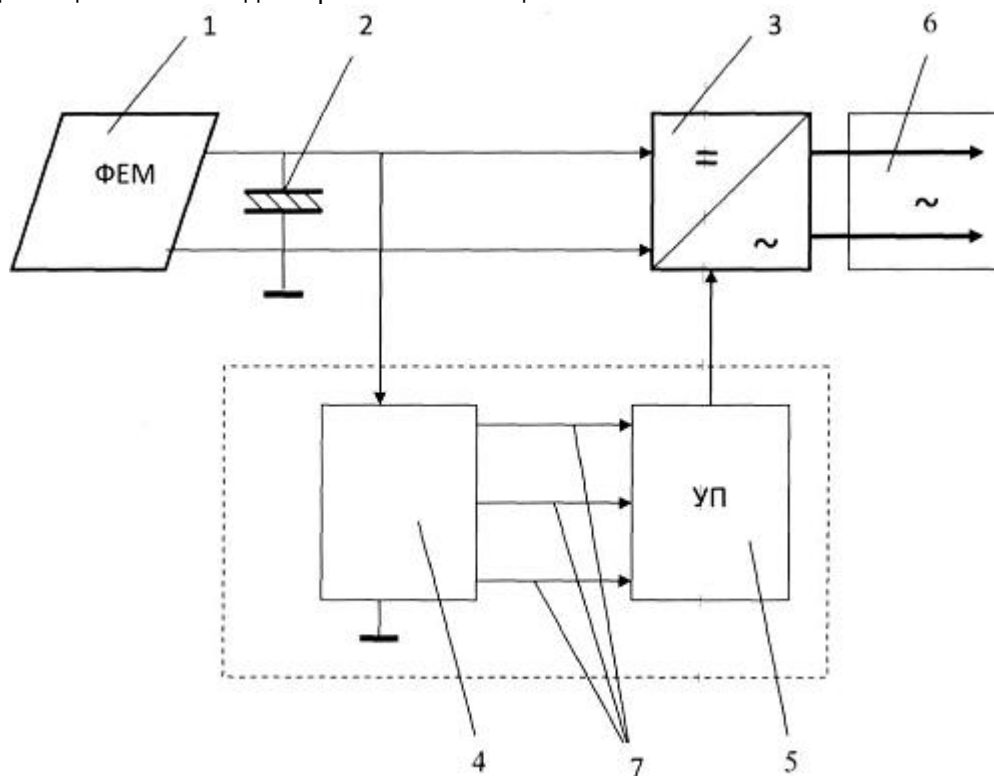


Fig. 2

Винахід відноситься до галузі енергетики, а саме до галузі перетворення електричної енергії, що передбачає генерування постійного струму фотоелектричним перетворювачем з наступним перетворенням його у змінний або постійний струм. Більш конкретно, винахід призначено для використання у складі фотоелектричних станцій та установок, що під'єднані до локальних мереж змінного струму, або використання отриманої електроенергії для накопичення енергії у відомих з рівня техніки накопичувачах.

Стримуючим фактором для розвитку установок, що здійснюють пряме перетворення енергії випромінювання Сонця у електричну енергію, є як висока стартова вартість обладнання, так і притаманний для них порівняно низький коефіцієнт використання встановленої потужності (КВВП).

Причини, що лежать в основі низького КВВП фотоелектричних установок (ФЕУ), закладено у природі фотоелектричного перетворювача (ФЕП), а саме:

- ФЕП існує лише паралельно з прямо включеним р-п- або гетеропереходом, і, як наслідок, - одинична комірка ФЕП має низьку напругу (як правило $\leq 0,7$ В),
- ФЕП генерує лише постійний струм,
- величина генерованого струму прямо-пропорційна рівню освітленості (інсоляції) поверхні ФЕП.

Для подолання низької напруги на сьогодні створюються множини ФЕП, розташовані, як правило, в одній площині, механічно з'єднані і підключені електрично в послідовно-паралельному порядку для досягнення необхідної електричної напруги на кінцевих контактах. Такі пристрої випускаються серійно і відомі під назвами фотоелектричних модулів (ФЕМ), фотоелектричних панелей (PV panels). Типовими для ФЕМ є електрична напруга до 50 В, постійний струм до 9 А та потужність до 340 Вт.

Як відмічалось вище, ФЕП (і ФЕМ) можуть генерувати лише постійний струм (ПС). Існуючі локальні промислові мережі розподілу енергії працюють на змінному струмі (ЛМЗС). В залежності від стандартів країни або регіону напруга ЛМЗС складає 110-230 В при частоті 50 або 60 Гц. З рівня техніки відома велика кількість технічних прийомів для перетворення ПС у змінний, однак в основі всіх них лежить принцип почергового включення (ВКЛЮЧЕНО - ON) та виключення (ВИКЛЮЧЕНО - OFF) постійного струму, що протікає через зовнішнє навантаження. У випадку ФЕП зовнішнє навантаження підключено паралельно з р-п- переходом у прямому напрямку. Саме цей р-п-перехід поглинає енергію ФЕП у момент ВИКЛЮЧЕНО - OFF для зовнішнього навантаження і є однією з найбільш вагомих причин втрат при перетворенні ПС/ЗС. Пристрої, за допомогою яких здійснюють перетворення ПС/ЗС, відомі під назвою DC/AC інверторів.

Прямо пропорційна залежність величини струму ФЕП від рівня інсоляції в умовах наземного базування є причиною постійної зміни вихідної потужності ФЕМ. Це пов'язане як з зміною кута падіння сонячного випромінювання на поверхню ФЕП впродовж доби (прогнозовані зміни), так і зміною прозорості атмосфери (хмарність - слабо прогнозовані зміни). Будь-які відхилення вихідної потужності від потужності навантаження у випадку ФЕП призводить до миттєвих та безповоротних втрат енергії. З метою запобігання цим втратам розроблено та описано більше 25 способів слідування за точкою максимальної потужності (ТМП) ФЕП (Maximum Power Point Tracking-MPPT), які застосовуються у DC/AC інверторах. Загальним для перерахованих способів MPPT є:

- вимірювання реальних параметрів ФЕМ у конкретний момент часу;
- систематичне проведення циклу розрахунків потужності ФЕМ;
- систематичне введення коректив у потужність DC/AC інвертора.

Основними втратами енергії, що вже згенерована ФЕП, є:

- втрати за рахунок статистичного розкиду параметрів окремих ФЕП;
- втрати за час відключення від навантаження для систематичного вимірювання параметрів

ФЕМ;

- втрати за рахунок розбалансу між потужністю ФЕМ та DC/AC інвертора, що виникають за час між двома послідовними корегуваннями;
- втрати у період ВИКЛЮЧЕНО - OFF DC/AC інвертора.

Для подолання зазначених втрат відомо ряд технічних рішень. При аналізі відомих рішень та проведенні винахідником розрахунків, моделювання та експериментів, до уваги бралися наступні фактори:

- засіб, запропонований для зменшення зазначених втрат, сам може спричинити додаткові витрати енергії, наприклад для власного живлення;
 - економічні затрати на реалізацію засобу (вартість пристрою та експлуатаційні витрати)
- можуть переважати вигоди від отриманої економії енергії.

Авторам відомо багато аналогічних рішень способів відбору електричної енергії від ФЕМ та пристроїв для їх реалізації (надалі спосіб та пристрій відповідно), серед яких за сукупністю суттєвих ознак найближчими є наступні.

Відомо пристрій [1] для подолання втрат від статистичного розкиду параметрів ФЕП та при різниці в умовах інсоляції на великих площах, який передбачає створення обхідних каналів для кожного з ФЕМ, що з'єднані у послідовно-паралельні стрінги. При цьому стрінг функціонує у режимі, визначеному найслабкішою ланкою, а додаткова енергія, яка отримується від кожного ФЕМ, що працює в режимі індивідуальної ТМП, через обхідний канал також надходить на вхід інвертора. Відоме рішення зменшує втрати за рахунок статистичного розкиду параметрів ФЕП, при цьому значно ускладнює управління фотоелектричною установкою (ФЕУ), і ніяким чином не впливає на інші причини втрат енергії, яка генерується ФЕМ.

Також відомий пристрій [2] для подолання втрат від статистичного розкиду ФЕП, який передбачає індивідуальне підключення ФЕМ до інвертора відповідної потужності і паралельне функціонування виходів кожного з мікроінверторів при під'єднанні до електромережі. Функціонування мікроінвертора передбачає контроль струму і напруги на виході ФЕМ (MPPT), DC/DC перетворення з метою вирівнювання напруги ФЕМ з амплітудним значенням напруги локальної електричної мережі, DC/AC перетворення енергії, синхронізація кожного мікроінвертора з електромережею.

Описане рішення дає вигоду енергії у 5...15 % і зберігає працездатність ФЕУ при виході з ладу або втраті потужності будь-яким ФЕМ. До недоліків слід віднести відсутність компенсації втрат енергії, пов'язаних з застосуванням способу MPPT, підвищену складність системи через необхідність синхронізації великої кількості незалежних джерел змінного струму з електромережею, заміну DC/AC інвертора на DC/DC конвертор, який також працює в режимі ВКЛЮЧЕНО-ВИКЛЮЧЕНО, ускладнює систему, але не зменшує втрати енергії ФЕМ.

Також відомо спосіб та пристрій [3], за яким встановлено паралельно до виходу ФЕМ конденсатор для зменшення втрат, пов'язаних з режимом роботи ВКЛЮЧЕНО-ВИКЛЮЧЕНО, характерним для DC/AC та DC/DC перетворювачів. Згідно з зазначеним рішенням, передбачено проведення імпульсного заряду конденсатора від ФЕМ напругою 22 В, струмом до 800 мА та потужністю до 20 Вт. У випадку, якщо напруга конденсатора перевищує наперед визначене значення, здійснюють відведення частини енергії конденсатора за допомогою керованого імпульсного розряду і направляють її на землю. Запропоноване рішення має ряд недоліків та обмежень, а саме відбір енергії ФЕМ відбувається в імпульсному режимі як і у випадку прямого підключення DC/AC та DC/DC перетворювачів. Також частина енергії, накопиченої у конденсаторі, відводиться на землю, що спричиняє додаткові втрати. Зазначений пристрій працює при струмі до 800 мА, що є природним обмеженням для електролітичних конденсаторів.

Також відомий пристрій [4], який передбачає підключення конденсатора ємністю 1 Ф паралельно ФЕМ з метою накопичення енергії у світловий час і живлення цифрового годинника або калькулятора при відсутності світла. Очевидним недоліком запропонованого рішення є те, що напруга при такому включенні контролюється виключно рівнем заряду конденсатора і не може бути узгоджена з точкою максимуму потужності (ТМП) ФЕМ. Окрім того такий пристрій є практично не придатним для передачі енергії в мережу змінного струму.

Також відомо спосіб та пристрій, описані у [5, 6]. У описаному пристрої застосовано гнучкий текстильний конденсатор з повною енергією від 35 до 112 Дж. При робочій напрузі 5 В така енергія відповідає ємності від 2,8 до 9 Ф. Конденсатор підключають паралельно до виходу ФЕМ і при досягненні зазначеної напруги розряджають на зарядний пристрій для мобільного телефону, який працює за принципом DC/DC перетворювача. При низьких рівнях інсоляції ($\leq 25\%$) система дозволяє отримати ефективність, що у 3-7 разів переважає пряме підключення ФЕП до зарядного пристрою. При інсоляції на рівні 80 % приріст отриманої енергії складає 3-6 %. Результат досягається за рахунок властивостей конденсатора і полягає у однаково ефективному накопиченні енергії з допомогою струмів, що відрізняються на 2-3 порядки за величиною.

Спосіб та пристрій відповідно до [5, 6] дозволяють відбирати енергію ФЕМ з одночасним зменшенням втрат, зумовлених режимом роботи ВКЛЮЧЕНО-ВИКЛЮЧЕНО DC/AC та DC/DC перетворювачів. Разом з тим описані рішення мають достатньо звужену галузь застосування, обмежену малопотужними електронними пристроями та не передбачають можливості експлуатації у режимі передачі енергії до електричних мереж.

За прототип прийнято пристрій та спосіб, описані у [7, 8], за якими запропоновано використання конденсатора для відбору енергії, зарядженого до напруги ТМП ФЕМ. Пристрій включає у себе ФЕМ, конденсатор, два порогових давачі напруги, налаштовані на верхнє та нижнє порогові значення, DC/DC перетворювач з широтно-імпульсною модуляцією (ШИМ), засіб

зворотного зв'язку по напрузі. При цьому верхнє порогове значення напруги спрацювання давача встановлено рівним напрузі ТМП ФЕМ при максимальному рівні (100 %) інсоляції. Нижнє порогове значення напруги встановлене на 3-5 % меншим від верхнього порогового значення. Їмність конденсатора вибрана у межах 0,02-100 Ф. Внутрішній опір конденсатора вибрано на

5 порядок нижчим від внутрішнього опору ФЕМ в умовах максимальної інсоляції. Потужність DC/DC перетворювача встановлена рівною або дещо більшою від потужності ФЕМ у ТМП при максимальній інсоляції і не змінюється в залежності від потужності ФЕМ у конкретний момент часу. Спосіб відбору електричної енергії за допомогою описаного пристрою передбачає заряд конденсатора до значення напруги U_v , при досягненні якого спрацьовує верхній давач,

10 включення DC/DC перетворювача верхнім давачем при його спрацюванні, нормування енергії, попередньо накопиченої в конденсаторі, та енергії, що постійно надходила від ФЕМ, за допомогою DC/DC перетворювача, по напрузі і потужності, пониження напруги на конденсаторі до значення U_n , при якому спрацьовує нижній давач, при відборі енергії, виключення DC/DC перетворювача при спрацюванні нижнього давача, закінчуючи формування імпульсу енергії,

15 використання імпульсу енергії, нормованого по напрузі та потужності, для заряду електрохімічного акумулятора (АК), повторення циклу відбору енергії від паралельно з'єднаних ФЕМ - конденсатора.

Використання способу та пристрою за прототипом завдяки електричній ємності та низькому внутрішньому опору конденсатора забезпечує безперервний відбір енергії від ФЕМ у ТМП при

20 будь-яких режимах роботи DC/DC перетворювача, сприймання потоку електричної енергії у широкому діапазоні потужностей ФЕМ, нормування імпульсу енергії по потужності та напрузі не залежно від миттєвого значення потужності ФЕМ, підвищення ККД при використанні енергії ФЕМ - конденсатор, зменшення втрат енергії ФЕМ на 25-52 % при довготривалих (добових) експозиціях, простоту виконання та функціонування.

Недоліком способу та прототипу є періодичний характер передачі енергії на навантаження, необхідність точного налаштування давачів напруги відповідно до вольт-амперних характеристик ФЕМ при різних рівнях інсоляції, що призводить до втрат електричної енергії при відборі електричної енергії від ФЕМ. При цьому отримана енергія придатна тільки для

25 використання у пристроях з періодичним споживанням енергії або в більш потужному накопичувачі та не передбачено перетворення енергії з постійною передачею її в електромережу змінного струму.

В основу винаходу поставлена задача забезпечення зменшення втрат електричної енергії при здійсненні відбору електричної енергії від ФЕМ та її перетворення шляхом підвищення ККД системи ФЕМ - пристрій в процесі відбору електричної енергії від ФЕМ при широкому діапазоні

35 зміни рівнів інсоляції та перетворення отриманої за таких умов енергії у енергію, придатну для передачі в електромережу змінного струму, або для живлення накопичувача енергії, які використовують один з багатьох відомих способів накопичення енергії.

Поставлена задача вирішується таким чином, що у способі відбору електричної енергії від фотоелектричного модуля, за яким, виходячи з вольт-амперних характеристик

40 фотоелектричного модуля, підключеного паралельно входу DC/DC конвертора або DC/AC інвертора, з підключеним паралельно конденсатором, засобом для вимірювання напруги, під'єднаним до модуля управління інвертором, визначають напругу U_v в точці максимальної потужності фотоелектричного модуля при максимальній інсоляції, мінімальну напругу U_0 , яка складає не менше 5 % напруги холостого ходу фотоелектричного модуля для DC/DC

45 конвертора або не менше 25 % напруги холостого ходу для DC/AC інвертора, напругу U_1 в точці максимальної потужності фотоелектричного модуля при щонайменше одному проміжному рівні інсоляції відносно мінімальної та максимальної інсоляції, на DC/DC конверторі або DC/AC інверторі встановлюють рівні потужності P_0 , P_v та P_1 , які за своєю величиною не менше максимальної потужності фотоелектричного модуля при мінімальній інсоляції, максимальній

50 інсоляції та щонайменше одній проміжній інсоляції між мінімальною та максимальною інсоляціями відповідно, з виникненням та ростом інсоляції енергія з фотоелектричного модуля безперервно подається на конденсатор та накопичується ним, відповідно до винаходу, одночасно вимірюється напруга конденсатора, а після досягнення рівня напруги U_0 , з засобу для вимірювання напруги надсилається сигнал включення управляючого модуля, після

55 досягнення рівня напруги U_1 з управляючого модуля подається сигнал включення DC/DC конвертера або DC/AC інвертора на рівні потужності P_1 , після досягнення рівня напруги U_v з управляючого модуля подається сигнал включення DC/DC конвертера або DC/AC інвертора на рівні потужності P_v , зі зменшенням інсоляції DC/DC конвертер або DC/AC інвертора використовує енергію накопичену в конденсаторі, після зниження напруги на конденсаторі до U_1

60 з управляючого модуля подається сигнал на включення DC/DC конвертера або DC/AC

інвертора на рівні потужності P_1 , з подальшим зменшенням напруги до U_0 з управляючого модуля подається сигнал на включення DC/DC конвертора або DC/AC інвертора на рівні потужності P_0 , при зниженні напруги на конденсаторі нижче U_0 DC/DC конвертор або DC/AC інвертор відключається.

5 Додатково відібрану енергію можуть перетворювати у змінний струм за допомогою DC/AC інвертора та безперервно подавати у локальну мережу змінного струму, при цьому потужність DC/AC інвертора встановлюють на одному з щонайменше трьох рівнів, які є не меншими за потужність фотоелектричного модуля при мінімальній інсоляції, максимальній інсоляції та щонайменше одній проміжній інсоляції.

10 Додатково відібрану енергію можуть перетворювати за допомогою DC/DC конвертора та подавати на накопичувач енергії, при цьому потужність DC/DC конвертера встановлюють на одному з щонайменше трьох рівнів, які є не меншими за потужність фотоелектричного модуля при мінімальній інсоляції, максимальній інсоляції та щонайменше одній проміжній інсоляції.

15 Також в основу винаходу поставлена задача створення пристрою відбору електричної енергії від фотоелектричного модуля (ФЕМ), який би забезпечував зменшення втрат електричної енергії при її відборі з ФЕМ шляхом підвищення ККД пристрою при широкому діапазоні зміни рівнів інсоляції та перетворення електроенергії ФЕМ у енергію, придатну для передачі в електромережу, або для живлення накопичувача енергії.

20 Поставлена задача вирішується таким чином, що у пристрої для відбору електричної енергії від фотоелектричного модуля, що включає DC/AC інвертор з потужністю не менше номінальної потужності фотоелектричного модуля та з можливістю підключення його виходу до електромережі або DC/DC конвертер з потужністю не менше номінальної потужності фотоелектричного модуля та з можливістю підключення його до входу накопичувача енергії, конденсатор підключений паралельно входу інвертора або конвертера, засіб для вимірювання напруги конденсатора, управляючий модуль з'єднаний з DC/AC інвертором або DC/DC конвертером та засобом для вимірювання напруги конденсатора, відповідно до винаходу, DC/AC інвертор або DC/DC конвертер виконано з можливістю зміни потужності щонайменше на три рівні, засіб для вимірювання напруги виконано з можливістю подачі на управляючий модуль інформації стосовно щонайменше трьох заданих фіксованих значень напруги конденсатора, управляючий модуль виконано з можливістю переключення рівнів потужності DC/AC інвертора або DC/DC конвертера в залежності від рівня напруги на конденсаторі, внутрішній опір конденсатора щонайменше в два рази менше, ніж внутрішній опір фотоелектричного модуля в точці максимальної потужності, а ємність конденсатора визначається як

$$C \geq (k \cdot P_v) / (U_v^2 - U_1^2),$$

35 де C - ємність конденсатора в Фарадах, P_v - максимальна потужність фотоелектричного модуля при максимальній інсоляції, Вт; U_v - напруга фотоелектричного модуля в точці максимальної потужності при максимальній інсоляції, В; U_1 проміжна фіксована напруга в точці максимальної потужності при інсоляції меншій ніж максимальна, найближча до напруги U_v , k - коефіцієнт з абсолютним значенням 0,3...0,5, с.

40 При цьому як DC/AC інвертора може бути використано комбінований модуль, що складається з не менше ніж одного DC/DC конвертора на вході та DC/AC інвертора на виході.

При цьому як засіб для вимірювання напруги може бути використано щонайменше три порогові пристрої, кожен з яких формує сигнал про наявність на конденсаторі певної напруги.

При цьому переважним варіантом здійснення управляючого модуля є мікропроцесор.

45 При цьому управляючий модуль переважно побудовано з елементів жорсткої логіки.

Між сукупністю суттєвих ознак винаходу та технічним результатом, який досягається при його використанні, існує наступний причинно-наслідковий зв'язок.

Для перевірки можливості досягнення технічного результату було проведено моделювання та експериментальна перевірка, які дозволили визначити оптимальні параметри конденсатора, зокрема його внутрішній опір та величину ємності. Результати досліджень наведено в таблицях 1-4.

Таблиця 1

Залежність ККД системи ФЕП - пристрій від внутрішнього опору конденсатора R_{sc} при умові рівності внутрішнього опору джерела енергії R_s та навантаження R_L

η	R_s	R_{sc}	Інтегральна оцінка роботи системи
0,500	1	Конденсатора немає	
0,500	0,9990	1000	незадовільно
0,502	0,9901	100	незадовільно
0,524	0,9091	10	незадовільно
0,545	0,8333	5	незадовільно
0,600	0,6667	2	незадовільно
0,667	0,5000	1	незадовільно
0,750	0,3333	0,5	задовільно
0,857	0,1667	0,2	добре
0,917	0,0909	0,1	добре
0,955	0,0476	0,05	добре
0,981	0,0196	0,02	добре
0,990	0,0099	0,01	добре

Таблиця 2

Залежність ККД системи ФЕП - пристрій від рівня інсоляції при умові рівності внутрішнього опору джерела енергії R_s та навантаження R_L та $R_{sc}=1$ Ом для ФЕП з монокристалічного кремнію

ККД (η)	R_{pv}	Інсоляція	Інтегральна оцінка роботи системи
0,667	1	100,0 %	незадовільно
0,655	1,11	90,0 %	незадовільно
0,643	1,25	80,0 %	незадовільно
0,630	1,43	70,0 %	незадовільно
0,615	1,67	60,0 %	незадовільно
0,600	2,00	50,0 %	незадовільно
0,583	2,50	40,0 %	незадовільно
0,565	3,33	30,0 %	незадовільно
0,545	5,00	20,0 %	незадовільно
0,524	10,00	10,0 %	незадовільно
0,512	20,00	5,0 %	незадовільно
0,505	50,00	2,0 %	незадовільно

Таблиця 3

Залежність ККД системи ФЕП - пристрій від рівня інсоляції при умові рівності внутрішнього опору джерела енергії R_s та навантаження R_L та $R_{sc}=0,5 \text{ Ом}$ для ФЕП з монокристалічного кремнію

ККД (η)	R_{pv}	Інсоляція	Інтегральна оцінка роботи пристрою
1	2	3	4
0,750	1	100,0 %	задовільно
0,744	1,11	90,0 %	задовільно
0,737	1,25	80,0 %	задовільно
0,730	1,43	70,0 %	задовільно
0,722	1,67	60,0 %	задовільно
0,714	2,00	50,0 %	задовільно
0,706	2,50	40,0 %	задовільно
0,697	3,33	30,0 %	задовільно
0,688	5,00	20,0 %	задовільно
0,677	10,00	10,0 %	незадовільно
0,672	20,00	5,0 %	незадовільно
0,669	50,00	2,0 %	незадовільно

Таблиця 4

Залежність ККД системи ФЕП - пристрій від рівня інсоляції при умові рівності внутрішнього опору джерела енергії R_s та навантаження R_L та $R_{sc}=0,33 \text{ Ом}$ для ФЕП з монокристалічного кремнію

ККД (η)	R_{pv}	Інсоляція	Інтегральна оцінка роботи пристрою
0,801	1	100,0 %	добре
0,797	1,11	90,0 %	добре
0,793	1,25	80,0 %	добре
0,789	1,43	70,0 %	добре
0,784	1,67	60,0 %	добре
0,779	2,00	50,0 %	добре
0,774	2,50	40,0 %	добре
0,769	3,33	30,0 %	добре
0,764	5,00	20,0 %	добре
0,758	10,00	10,0 %	задовільно
0,755	20,00	5,0 %	задовільно
0,753	50,00	2,0 %	задовільно

5 Таким чином виявилось, що технічний результат від здійснення способу та пристрою, що заявляються, який проявляється в суттєвому збільшенні ККД системи порівняно з аналогом та іншими відомими з рівня техніки способами та пристроями виникає вже при величині внутрішнього опору конденсатора щонайменше в два рази меншому від внутрішнього опору ФЕП.

10 Для визначення оптимального значення ємності конденсатора було змодельовано критичні режими роботи пристрою, а саме для роботи при максимальній потужності інвертора P_{max} та мінімальній потужності ФЕМ P_{low} . Максимальна потужність інвертора P_{max} є характерною для роботи пристрою при високому рівні інсоляції. Переключення потужності інвертора на його вході повинно забезпечувати виконання умов якісної енергії (Power Quality, PQ) на виході інвертора. Як свідчить практика, час безперервної роботи інвертора на певній потужності має складати в залежності від типу та умов використання мережі від десятих часток до одиниць секунд. Для 15 забезпечення цього конденсатор повинен мати здатність накопичити відповідний запас енергії, необхідним для зміни потужності. Його величину можна оцінити за формулою:

$E = P_{max} \cdot t$, де t - час перехідного процесу при зміні потужності.

20 При роботі пристрою в умовах мінімальної потужності (інсоляції) можливі переривання передачі енергії від ФЕМ до інвертора. У цьому випадку енергія накопичена в конденсаторі

повинна забезпечити умови енергетичного моста (Bridging Power BP) на виході інвертора. Кількість енергії може бути оцінена за формулою

$E = P_{low} * t$, де t - час перерви у надходженнях енергії від ФЕМ.

Для визначеності було проведено оцінку для стандартних ФЕМ потужністю 280 Вт (ФЕМ 1), 2-180 Вт (ФЕМ 2), та 20 Вт (ФЕМ 3, Аналог [3]). Результати оцінок приведено в таблиці 5.

Таблиця 5

ФЕМ	Режим	Потужність Р, Вт	Вимоги	$P*t$, Дж
1	2	3	4	5
ФЕМ 1	Pmax	280	PQ	140
ФЕМ 1	Pmid	140	PQ	70
ФЕМ 1	Plow	56	BP	112
1	2	3	4	5
ФЕМ 2	Pmax	180	PQ	90
ФЕМ 2	Pmid	90	PQ	45
ФЕМ 2	Plow	36	BP	72
ФЕМ 3	Pmax	22	PQ	11
ФЕМ 3	Pmid	11	PQ	6
ФЕМ 3	Plow	4	BP	8

При відборі зазначеної кількості енергії від СК його напруга повинна відхилятися від ТМП ФЕМ на величину, що не перевищує наперед визначеного відхилення, визначеного за допомогою засобу для вимірювання напруги. Дослідження показали, що оптимально таке відхилення знаходиться в межах $\Delta = 3...5\%$. При цьому енергія конденсатора зміниться на величину

$E_{sc} = ((U_v^2 - U_1^2) * C) / 2$, де C - ємність конденсатора, U_v - напруга ФЕМ в точці максимальної потужності при максимальній інсоляції; U_1 - проміжна фіксована напруга, найближча до напруги U_v .

Таким чином, величина ємності конденсатора може бути визначена за формулою

$C \geq (k * P_v) / (U_v^2 - U_1^2)$, де P_v - потужність інвертора, що відповідає напрузі ФЕМ в точці максимальної потужності при максимальній інсоляції, k - емпіричний коефіцієнт, що має розмірність часу.

Абсолютне значення k можна оцінити в залежності від параметрів конденсатора

$k = 2 * t * (1 - U_1^2 / U_v^2)$, де t - постійна часу, що залежить від технології виготовлення конденсатора та від внутрішнього опору конденсатора R_{sc} , алгоритм визначення величини якого приведено вище.

Для визначення оптимального значення коефіцієнта k авторами було проведено значну кількість розрахунків з подальшим моделюванням та експериментальною перевіркою пристрою для $1,45 \text{ с} \leq t \leq 4,5 \text{ с}$. Оцінки абсолютного значення k , проведені для ФЕМ, потужністю 280 Вт (ФЕМ 1), 2-180 Вт (ФЕМ 2), та 20 Вт (ФЕМ 3, Аналог [3]).

Результати моделювання та експериментів наведені у таблиці 6.

Таблиця 6

k	Rpv	Rsc	τ	Uв	ΔU	Δ	Інтегральна оцінка роботи способу та пристрою для його здійснення
0,141	1	1	1,45	22	1,1	5,0 %	не задовільно
0,283	1	0,5	1,45	22	1,1	5,0 %	задовільно
0,428	1	0,33	1,45	22	1,1	5,0 %	добре
0,707	1	0,2	1,45	22	1,1	5,0 %	добре
0,114	1	1	1,45	33	1,32	4,0 %	не задовільно
0,227	1	0,5	1,45	33	1,32	4,0 %	задовільно
0,344	1	0,33	1,45	33	1,32	4,0 %	добре
0,568	1	0,2	1,45	33	1,32	4,0 %	добре
0,086	1	1	1,45	53	1,59	3,0 %	не задовільно
0,171	1	0,5	1,45	53	1,59	3,0 %	задовільно
0,260	1	0,33	1,45	53	1,59	3,0 %	добре
0,428	1	0,2	1,45	53	1,59	3,0 %	добре
0,266	1	1	4,5	53	1,59	3,0 %	не задовільно
0,532	1	0,5	4,5	53	1,59	3,0 %	задовільно
0,806	1	0,33	4,5	53	1,59	3,0 %	добре
1,330	1	0,2	4,5	53	1,59	3,0 %	добре

В ході перевірки виявилось, що абсолютне значення k, яке забезпечує виникнення технічного результату та визначає величину ємності конденсатора, знаходиться в інтервалі 0,26....0,53.

Заявлений винахід ілюструється наступним прикладом виконання способу відбору електричної енергії від фотоелектричного модуля та пристрою для його здійснення, а також відповідними кресленнями, на яких зображено наступне:

- Фіг. 1. Вольт-амперні характеристики ФЕМ при різних рівнях інсоляції,
- Фіг. 2. Блок-схема пристрою для відбору електричної енергії від фотоелектричного модуля згідно з винаходом,
- Фіг. 3. Блок-схема пристрою для відбору електричної енергії від фотоелектричного модуля при використанні n порогових пристроїв згідно з винаходом,
- Фіг. 4. Блок-схема пристрою для відбору електричної енергії від фотоелектричного модуля згідно з винаходом для живлення накопичувача енергії,
- Фіг. 5. Вибір різних рівнів напруги для визначення рівнів потужності інвертора (1-й тип ФЕМ - полікристалічний кремній),
- Фіг. 6. Вибір різних рівнів напруги для визначення рівнів потужності інвертора (2-й тип ФЕМ - монокристалічний кремній),
- Фіг. 7. Блок-схема алгоритму роботи пристрою при n точках управління (n=4),
- Фіг. 8. Блок-схема алгоритму роботи пристрою при трьох точках управління.

Зображувальні матеріали, що ілюструють заявлений винахід, а також наведений приклад конкретного виконання способу та установки для його здійснення ніяким чином не обмежують обсяг домагань, викладений у формулі, а тільки пояснюють суть винаходу.

Пристрій для відбору електричної енергії від фотоелектричного модуля включає фотоелектричний модуль (ФЕМ) 1, конденсатор 2, DC/AC інвертор 3 (фіг. 2, 3), засіб 4 для вимірювання напруги конденсатора та управляючий модуль 5.

Як DC/AC інвертора 3 може бути використано комбінований модуль, що складається з не менше ніж одного DC/DC конвертера на вході та DC/AC інвертора на виході. Як засіб 4 для вимірювання напруги може бути використано щонайменше три порогові пристрої, кожен з яких формує сигнал про наявність на конденсаторі певної напруги (фіг. 3, на якому зображено n порогових пристроїв ППn). Управляючий модуль 5 може бути виконаний як мікропроцесор або побудовано з елементів жорсткої логіки.

Максимальна потужність DC/AC інвертора 3 є не меншою номінальної потужності ФЕМ 1. DC/AC інвертор 3 виконано з можливістю зміни потужності від максимальної в сторону зменшення щонайменше на три рівні. Вихід DC/AC інвертора 3 підключений до локальної мережі змінного струму 6 (фіг. 2, 3). Конденсатор 2 підключений паралельно входу DC/AC інвертора 3. Управляючий модуль 5 з'єднаний з DC/AC інвертором 3 та засобом 4 для вимірювання напруги конденсатора. Засіб 4 для вимірювання напруги виконано з можливістю

подачі на управляючий модуль 5 інформації стосовно щонайменше трьох заданих фіксованих значень напруги конденсатора 2. Управляючий модуль 5 виконано з можливістю переключення рівнів потужності DC/AC інвертора 3 в залежності від рівня напруги на конденсаторі 2. Внутрішній опір конденсатора 2 щонайменше в два рази менше, ніж внутрішній опір ФЕМ 1 в точці максимальної потужності. Ємність конденсатора 2 визначається як $C \geq (k \cdot P_v) / (U_v^2 - U_1^2)$, де С - ємність конденсатора в Фарадах, Р_в - максимальна потужності фотоелектричного модуля при максимальній інсоляції, Вт; U_в - напруга фотоелектричного модуля в точці максимальної потужності при максимальній інсоляції, В; U₁ - проміжна фіксована напруга в точці максимальної потужності при інсоляції меншій, ніж максимальна, найближча до напруги U_в, В, k - коефіцієнт з абсолютним значенням 0,3...0,5, [сек].

Спосіб відбору електричної енергії від фотоелектричного модуля за допомогою описаного вище пристрою здійснюють наступним чином.

Спочатку виходячи з вольт-амперних характеристик ФЕМ 1 визначають напругу U_в ФЕМ 1 в точці максимальної потужності при максимальній інсоляції, напругу U_о ФЕМ 1, яка складає не менше 25 % напруги холостого ходу ФЕМ 1 для DC/AC інвертора 3 (при підключенні до DC/DC конвертера 3 - не менше 15 % напруги холостого ходу ФЕМ 1), напругу U₁ ФЕМ 1 в точці максимальної потужності при щонайменше одному проміжному рівні інсоляції відносно мінімальної та максимальної інсоляції. На DC/AC інверторі 3 встановлюють рівні потужності, які за своєю величиною не менше максимальної потужності ФЕМ 1 при мінімальній інсоляції P_о, максимальній інсоляції P_в та потужності ФЕМ 1 при щонайменше одній проміжній інсоляції між найбільшою та найменшою інсоляціями P₁. З виникненням та ростом інсоляції струм з ФЕМ 1 безперервно подається на конденсатор 2. При цьому одночасно вимірюють напругу конденсатора 2. Після досягнення рівня напруги U_о з засобу 4 для вимірювання напруги надсилається сигнал включення управляючого модуля 5. Після досягнення рівня напруги U₁ з управляючого модуля 5 подається сигнал включення DC/AC інвертора 3 на рівні потужності P₁. Після досягнення рівня напруги U_в з управляючого модуля 5 подається сигнал включення DC/AC інвертора 3 на рівні потужності P_в. Лінії сигналів, що відповідають напругам U_о, U₁,..., U_в, показані на фіг. 2, поз. 7. Зі зменшення інсоляції DC/AC інвертор 3 використовує енергію накопичену в конденсаторі 2. Після зниження напруги на конденсаторі 2 до U₁ з управляючого модуля 5 подається сигнал на включення DC/AC інвертора на рівні P₁. При подальшому зменшенні напруги до U_о з управляючого модуля 5 подається сигнал на включення DC/AC інвертора 3 на рівні P_о, при зниженні напруги на конденсаторі 2 нижче U_о DC/AC інвертор 3 відключається.

Якщо для реалізації способу як засіб для вимірювання напруги може бути використано щонайменше три порогові пристрої 4, то кожен з них формує для управляючого пристрою 5 сигнал про наявність на конденсаторі 2 певної напруги.

Наведений приклад конкретного виконання пристрою та реалізації способу за допомогою такого пристрою наведено для пристрою з DC/AC інвертором 3. При цьому для реалізації способу може бути використаний пристрій, у якому передбачено використання DC/DC конвертера 3 (фіг. 4) для забезпечення живлення імпульсного навантаження 6 (фіг. 4) або накопичувача енергії 8.

Відомості, які підтверджують можливість здійснення винаходу

Для перевірки можливості використання зазначеного способу відбору електричної енергії було використано:

- двоканальний стенд, що дозволяв проводити реєстрацію кількості отриманої енергії по двох незалежних каналах у режимі он-лайн;
- 2 стандартні ФЕМ SPV-190M-24 (Sinski PV Co., Ltd) номінальною потужністю 190 Вт та напругою U_{хх}=43,4 В, розташовані стаціонарно, поряд та у одній площині;
- Суперконденсатор (далі - СК) електричною ємністю 5,2 Ф та напругою 42 В;
- Електронну схему, що здійснювала відбір енергії в режимі постійного навантаження.

Як визначення пристрою відповідно до винаходу запропоновано використання аббревіатури з перших літер назви англійською мовою: Electrical Energy Take-Off System-EETOS.

Приклад 1. Експериментальна перевірка ідентичності роботи каналів щодо реєстрації кількості енергії проводилась в умовах різних рівнів інсоляції. Рівень середньої інсоляції оцінювався шляхом нормування середньої потужності, отриманої для каналу 1 за час конкретної експозиції до номінальної потужності фотовольтаїчної панелі (ФВ панелі). Час експозицій вибирався довільно, але був не меншим ніж 60 сек. Результати перевірки приведено у Таблиці 7. Для перевірки ефективності запропонованого способу в канал 2 було включено пристрій EETOS, що тестувався по методиці, аналогічній для каналу 1. Результати тестування також приведено у таблиці 7. Для всіх рівнів інсоляції спостерігалась більш ефективна робота

каналу 2 з включеним пристроєм EETOS, що складає предмет винаходу. При цьому ефективність роботи пристрою наростала з зменшенням рівня інсоляції від 103,2 % при рівні інсоляції 91,2 % до 3309 % при рівні інсоляції 0,1 % від рівня номінальної потужності ФВ панелі.

Приклад 2. Експериментальна перевірка ефективності запропонованого способу проводилась також шляхом цілодобового спостереження за роботою обох каналів. Оцінка середнього рівня інсоляції впродовж дня проводилась шляхом нормування величини енергії, отриманої з каналу 1, до максимальної величини енергії, отриманої за добу з каналу 1 за весь період спостережень при абсолютно безхмарному небі. Канал 2 експлуатувався як з включеним пристроєм EETOS (24 та 25.09), так і без нього. Отримані результати приведено в таблиці 8. Запропонований спосіб дозволив досягнути збільшення кількості енергії, отриманої за добу на 27,8 % та 22,9 % при середній інсоляції 80,1 % та 88,5 % відповідно.

Приклад 3. Для експериментальної перевірки можливості створення запропонованого пристрою використано ФЕМ, що виготовлено на основі монокристалічного кремнію. Номінальна потужність ФЕМ 190 Вт, напругою холостого ходу $U_{xx}=43,4$ В. Розрахована напруга ТМП ФЕМ $U_v=0,8 \cdot U_{xx}=34,7$ В, струм короткого замикання - 6,5 А, внутрішній опір - 6,3 Ома. Для ФЕМ на основі монокристалічного кремнію характерною є залежність ТМП від рівня інсоляції, що близька до залежності 2-го типу (Фіг. 6). У цьому випадку спосіб відбору енергії реалізується з допомогою трьох рівнів напруги для порогових пристроїв 4 та трьох рівнів потужності інвертора 3. СК 2 складається з 7 модулів BSC 6-30 виготовлених на основі структурно-досконалих форм вуглецю та водних електролітів. Електрична ємність BSC 6-30 складає 30 Ф, внутрішній опір не перевищує 0,15 Ома, а оптимальний струм - 10 А. У такому випадку електрична ємність СК 2-4,5 Ф при напрузі 42 В. Внутрішній опір СК 2 дорівнює 1,05 Ома, що у 6 разів нижче внутрішнього опору ФЕМ у ТМП.

Як DC/AC інвертор 3 використано мікроінвертор MICRO-0.25-I-OUTD-208/240 виробництва Power-One Inc. (Aurora Micro), призначений для роботи з індивідуальним ФЕМ. Номінальна потужність мікроінвертора на вході складає до 265 Вт, діапазон робочих напруг від 12 до 60 В, максимальний струм - 12,5 А. Мікроінвертор має функцію MPPT для вхідної напруги в діапазоні від 25 до 50 В, що дозволяє плавно змінювати його потужність від 0,2 до 250 Вт. Мінімальна робоча напруга мікроінвертора, що дозволяє DC/AC перетворення, складає 12 В, або 27,6 % від напруги холостого ходу ФЕМ $U_{xx}=43,4$ В, або 20 % від максимальної напруги холостого ходу ФЕМ на його вході мікроінвертора, що допускається специфікацією. На виході мікроінвертор забезпечує змінний струм номінальною потужністю до 250 Вт, напругою 230 В та частотою 50 Гц. При потужностях на виході від 100 до 20 % ККД мікроінвертора складає 94...96 % і різко знижується при потужностях менше 20 % (≈ 50 Вт) номінального значення. Вимірювання вхідної та вихідної напруги, частоти, струму, потужності та енергії на виході мікроінвертора проводиться штатними засобами мікроінвертора і візуалізовано з допомогою пристрою для збору даних Aurora CDD.

Як локальну мережу 6 використано мережу змінного струму напругою 220 В та частотою 50 Гц.

Для реалізації пристрою виготовлено три порогових пристрої 4 на основі малопотужних біполярних транзисторів КТ 315Д та логічних мікросхем серії К364, виготовлених за МОП технологією. У відповідності з алгоритмом роботи при трьох рівнях управління порогові пристрої було налаштовано на наступні напруги: $U_v=34,7$ В, $U_1=32,0$ В, $U_n=29,5$ В. При досягненні порогового значення відповідний ПП змінює сигнал на виході, наприклад з "1" на "0" або з "0" на "1".

Управляючий пристрій 5 виготовлено на основі польових транзисторів MOSFET (IRF3710PBF, STW12NK80Z), що характеризуються низьким спадом напруги у відкритому стані. Управляючий пристрій отримує та опрацьовує сигнали від ПП у стандартній цифровій формі та формує відповідний управляючий сигнал для управління MOSFET'ом також у формі цифрового сигналу (5 В). В залежності від стану MOSFET'у мікроінвертор 3 встановлює відповідне значення потужності, а саме $P_o = 50$ Вт, $P_v = 200$ Вт, $P_1=100$ Вт.

Приклад 4. Для експериментальної перевірки створено пристрій у відповідності з Прикладом 3, у якому управляючий пристрій 5 встановлює відповідні значення потужності, а саме $P_o = 20$ Вт, $P_v = 190$ Вт, $P_1=95$ Вт.

Приклад 5. Для експериментальної перевірки створено Пристрій у відповідності з Прикладом 3, у якому СК 2 складається з 16 ESHSR-0050C0-002R7 (Nesscap) виготовлених на основі активованих вуглецевих порошків та апротонних електролітів. Електрична ємність Nesscap складає 50 Ф, робоча напруга - до 2,7 В, внутрішній опір не перевищує 0,025 Ом, а оптимальний струм - 10,8 А. У такому випадку електрична ємність СК 2-2,95 Ф при напрузі 43,2 В. Внутрішній опір СК 2-0,4 Ома, що у 15 разів нижче внутрішнього опору ФЕМ у ТМП.

Таблица 7

Порівняльна таблиця середньої потужності, отриманої від ФВ панелі з номінальною потужністю 190 Вт, при застосуванні системи EETOS

Потужність ФВ панелі каналу 1, у % до Р номінального	Канал 1 та канал 2 навантажено однаково при однакових умовах інсоляції (без застосування EETOS)			Канал 1 та канал 2 навантажено однаково при однакових умовах інсоляції (канал 2 включено через EETOS)		
	Канал 1	Канал 2	Різниця потужностей P_2/P_1 , %	Канал 1	Канал 2	Різниця потужностей P_2/P_1 , %
	Середня потужність P_1 , Вт	Середня потужність P_2 , Вт		Середня потужність P_1 , Вт	Середня потужність P_2 , Вт	
1	2	3	4	5	6	7
0,0 %	*	*	*	0,02	2,49	12450,0 %
0,1 %	0,16	0,23	143,8 %	*	*	*
0,1 %	*	*	*	0,21	6,95	3309,5 %
1	2	3	4	5	6	7
0,4 %	0,8	1,13	141,3 %	*	*	*
0,7 %	1,24	1,61	129,8 %	*	*	*
0,7 %	1,33	1,76	132,3 %	*	*	*
1,0 %	1,83	2,22	121,3 %	*	*	*
0,9 %	1,65	2,16	130,9 %	*	*	*
1,4 %	2,72	3,14	115,4 %	*	*	*
2,2 %	*	*	*	4,23	21,19	500,9 %
2,8 %	5,23	6,2	118,5 %	*	*	*
2,8 %	5,41	6,49	120,0 %	*	*	*
3,8 %	*	*	*	7,13	26,68	374,2 %
5,1 %	9,77	11,38	116,5 %	*	*	*
5,3 %	*	*	*	10,11	35,30	349,2 %
7,8 %	*	*	*	14,86	40,91	275,3 %
8,3 %	*	*	*	15,69	44,11	281,1 %
8,9 %	16,87	18,71	110,9 %	*	*	*
11,7 %	*	*	*	22,38	48,84	218,2 %
12,1 %	22,91	25,11	109,6 %	*	*	*
17,3 %	32,96	35,07	106,4 %	*	*	*
19,2 %	*	*	*	36,50	63,57	174,2 %
23,0 %	43,61	45,34	104,0 %	*	*	*
23,0 %	43,62	44,45	101,9 %	*	*	*
25,1 %	*	*	*	47,71	71,14	149,1 %
29,7 %	56,40	57,37	101,7 %	*	*	*
30,9 %	58,70	59,63	101,6 %	*	*	*
32,8 %	62,27	63,20	101,5 %	*	*	*
33,6 %	*	*	*	63,88	83,75	131,1 %
37,2 %	70,75	71,44	101,0 %	*	*	*
37,4 %	71,09	71,98	101,3 %	*	*	*
39,2 %	74,50	75,43	101,2 %	*	*	*
45,7 %	86,74	87,42	100,8 %	*	*	*
46,7 %	88,80	90,13	101,5 %	*	*	*
50,0 %	*	*	*	95,04	104,28	109,7 %
55,8 %	106,01	106,98	100,9 %	*	*	*
59,9 %	113,79	116,53	102,4 %	*	*	*
1	2	3	4	5	6	7
91,2 %	*	*	*	173,31	178,93	103,2 %
100,0 %	190,00	номінал	-	-	-	-

* - вимірювання не було здійснене

Таблиця 8

Порівняльна таблиця кількості енергії, отриманої від ФВ панелі з номінальною потужністю 190 Вт, при застосуванні системи EETOS

Дата (день та місяць)	Рівень інсоляції, %	Канал 1 та канал 2 навантажено однаково при однакових умовах інсоляції			Примітка
		Канал 1	Канал 2	Різниць енергій E_2/E_1 , %	
		Середня енергія, E_1 , Дж	Середня енергія, E_2 , Дж		
1	2	3	4	5	6
14,9	52,8 %	1299161	1326644	102,1 %	Без EETOS
16,09	24,0 %	591958	614582	103,8 %	Без EETOS
19,09	73,7 %	1815613	1861046	102,5 %	Без EETOS
20,09	73,7 %	1815601	1859295	102,4 %	Без EETOS
21,09	79,8 %	1965744	2074504	105,5 %	Без EETOS
24,09	80,1 %	1973170	2521434	127,8 %	Канал 2 підключений через EETOS
1	2	3	4	5	6
25,09	88,5 %	2180443	2679508	122,9 %	Канал 2 через підключений EETOS
Номінальна потужність	100,0 %	2462440	-	-	-

В процесі проведення експериментів було встановлено, що при зниженні напруги холостого ходу ФЕМ нижче 25 % від номінальної робота DC/AC інвертора стає нестабільною, та, відповідно, наявність технічного результату встановити неможливо. Відповідно, при здійсненні способу та пристрою з використанням DC/DC конвертера при зниженні напруги холостого ходу ФЕМ нижче 15 % від номінальної встановити наявність технічного результату також не вдалося через нестабільність роботи конвертера.

Також було здійснено експериментальну перевірку досягнення підвищення ККД системи ФЕМ - пристрій у процесі відбору електричної енергії від ФЕМ при широкому діапазоні зміни рівнів шляхом порівняння відбору електроенергії з використанням пристрою з функцією MPPT та відбору електроенергії з використанням пристрою EETOS.

Для експерименту було використано ФВ панелі потужністю 190 Вт та мікроінвертор MICRO-0.30-I-OUTD-208/240 виробництва Power-One Inc. (Aurora Micro), використані при реалізації наведених вище прикладів №№ 1-5. Для перевірки ефективності запропонованого способу в канал 1 було включено мікроінвертор з функцією MPPT, в канал 2 було включено пристрій EETOS.

Для обох каналів 1 та 2 були забезпечені однакові рівні інсоляції та тестування за аналогічними методиками. Результати перевірки приведено у Таблиці 9.

Таблиця 9

Порівняльна таблиця кількості енергії, отриманої від ФВ панелі з номінальною потужністю 190 Вт, при застосуванні пристрою EETOS (канал 1) та при застосуванні пристрою з MPPT (канал 2)

Експозиція		Канал 1 з підключеним пристроєм EETOS		Канал 2 з підключеним мікроінвертором Aurora30 (MPPT)		Відношення E1/E2, %
початок	час, сек	Потужність на виході, Вт	Енергія E1, Дж	Потужність на виході, Вт	Енергія E2, Дж	
9_32	-	-	-	-	-	-
9_41	540	39,92	21557	0,13	70	30707,7 %
10_00	1140	73,23	83482	63,60	72504	115,1 %
10_20	1200	37,89	45468	2,91	3492	1302,1 %
10_40	1200	88,16	105792	83,01	99612	106,2 %
11_00	1200	86,94	104328	76,86	92232	113,1 %
11_20	1200	95,00	114000	94,56	113472	100,5 %
11_40	1200	87,45	104940	71,40	85680	122,5 %
12_00	1200	65,88	79056	63,09	75708	104,4 %
12_21	1260	100,61	126769	83,20	104832	120,9 %
12_40	1140	139,36	158870	134,97	153866	103,3 %
13_00	1200	130,88	157056	128,52	154224	101,8 %
13_20	1200	84,60	101520	75,15	90180	112,6 %
13_40	1200	114,73	137676	102,27	122724	112,2 %
14_00	1200	94,82	113784	83,22	99864	113,9 %
14_20	1200	51,55	61860	10,53	12636	489,6 %
14_40	1200	114,54	137448	94,23	113076	121,6 %
15_00	1200	43,94	52728	33,51	40212	131,1 %
15_20	1200	12,24	14688	7,59	9108	161,3 %
15_40	1200	14,68	17616	9,90	11880	148,3 %
16_00	1200	21,83	26196	16,62	19944	131,3 %
16_20	1200	11,91	14292	7,74	9288	153,9 %
16_40	1200	14,12	16944	9,57	11484	147,5 %
17_00	1200	10,29	12348	0,24	288	4287,5 %
17_20	1200	5,52	6624	3,15	3780	175,2 %
17_40	1200	1,19	1428	0,27	324	440,7 %
В цілому	29280	-	1816470	-	1500480	121,1 %

Проведені дослідження показали, що для всіх рівнів інсоляції спостерігалась більш ефективна робота каналу 2 з включеним пристроєм EETOS, що складає предмет винаходу. При цьому приріст енергії отриманої від ФВ панелі склав 21,1 %, що свідчить про зменшення втрат електричної енергії при її відборі з ФЕМ, та, відповідно, досягнення технічного результату при використанні способу та пристрою відповідно до винаходу.

Моделювання та дослідження також показали, що ефективність роботи пристрою залежить від кількості рівнів потужності інвертора та відповідно визначених для вимірювання напруг ФЕМ при проміжних рівнях інсоляції. Збільшення кількості таких точок регулювання призводить до зменшення різниці між рівнями потужності, встановленими для інвертора або конвертера, та відповідно позитивно впливає на підвищення ККД системи в цілому, однак негативно впливає на вартість пристрою. Проведені експерименти для ФЕМ потужністю до 190 Ватт та напругою холостого ходу 40 вольт показали, що технічний результат проявляється вже при наявності щонайменше трьох рівнів потужності, при цьому різниця між напругами сусідніх точок регулювання встановлювалась від 1 вольт до 2,5 вольт. Зменшення різниці в напругах до величини менше 1 вольт призводить до збільшення ємності конденсатора, ускладнює пристрій в цілому та, відповідно, стає економічно не вигідним.

Моделювання та експерименти при застосуванні способу та пристрою для ФЕМ з напругами холостого ходу більшими від 43,4 вольт та більшої потужності показали, що варто збільшити кількість рівнів потужності інвертора або конвертера для регулювання. Порівняльні дослідження

показали, що для досягнення технічного результату оптимальна величина різниці напруг між напругами сусідніх точок регулювання має бути встановлена в межах від 3 % до 5 % напруги холостого ходу ФЕМ.

Джерела інформації:

- 5 1. Патент US 7709727-Circuit arrangement for a photovoltaic system. - опубл. 04.05.2010.
2. Патент US 7456523, - Power generation system, and administration apparatus and administration method of power generation system. - опубл. 25.11.2008.
3. Патент US 8400134, - Apparatus and methodology for maximum power point tracking for a solar panel. - опубл. 19.03.2013.
- 10 4. Патент GB 2211679 A, - Solar powered current supply circuit. - опубл. 05.07.1989.
5. Патент US 7808213, - Flexible power apparatus. - опубл. 05.10.2010.
6. Патент EP 2075895, - Flexible power supply apparatus. - опубл. 05.01.2011.
7. Патент UA 51651, - Пристрій і спосіб відбору енергії від фотоелектричного перетворювача. - опубл. 16.12.2002.
- 15 8. Патент RU 2195754, - Устройство и способ отбора электрической энергии от солнечной батареи, - опубл. 27.12.2002.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

- 20 1. Спосіб відбору електроенергії від фотоелектричного модуля, за яким, виходячи з вольт-амперних характеристик фотоелектричного модуля, підключеного паралельно входу DC/DC конвертора або DC/AC інвертора, з підключеним паралельно конденсатором, засобом для вимірювання напруги, під'єднаним до модуля управління інвертором, визначають напругу U_v в точці максимальної потужності фотоелектричного модуля при максимальній інсоляції,
- 25 мінімальну напругу U_0 , яка складає не менше 5 % напруги холостого ходу фотоелектричного модуля для DC/DC конвертора або не менше 25 % напруги холостого ходу для DC/AC інвертора, напругу U_1 в точці максимальної потужності фотоелектричного модуля при щонайменше одному проміжному рівні інсоляції відносно мінімальної та максимальної інсоляції, на DC/DC конверторі або DC/AC інверторі встановлюють рівні потужності P_0 , P_v та P_1 , які за своєю величиною не менше максимальної потужності фотоелектричного модуля при мінімальній інсоляції, максимальній інсоляції та щонайменше одній проміжній інсоляції між мінімальною та максимальною інсоляціями відповідно, з виникненням та ростом інсоляції енергія з фотоелектричного модуля безперервно подається на конденсатор та накопичується ним, який **відрізняється** тим, що одночасно вимірюють напругу конденсатора, а після досягнення рівня напруги U_0 , з засобу для вимірювання напруги надсилають сигнал включення
- 35 управляючого модуля, після досягнення рівня напруги U_1 з управляючого модуля подають сигнал включення DC/DC конвертера або DC/AC інвертора на рівні потужності P_1 , після досягнення рівня напруги U_v з управляючого модуля подають сигнал включення DC/DC конвертера або DC/AC інвертора на рівні потужності P_v , зі зменшенням інсоляції DC/DC конвертер або DC/AC інвертор використовує енергію, накопичену в конденсаторі, після зниження напруги на конденсаторі до U_1 з управляючого модуля подають сигнал на включення DC/DC конвертера або DC/AC інвертора на рівні потужності P_1 , з подальшим зменшенням напруги до U_0 з управляючого модуля подають сигнал на включення DC/DC конвертера або DC/AC інвертора на рівні потужності P_0 , при зниженні напруги на конденсаторі нижче U_0 DC/DC конвертер або DC/AC інвертор відключають.
- 40 2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що відібрану енергію перетворюють у змінний струм за допомогою DC/AC інвертора та безперервно подають у локальну мережу змінного струму, при цьому потужність DC/AC інвертора встановлюють на одному з щонайменше трьох рівнів, які є не меншими за потужність фотоелектричного модуля при мінімальній інсоляції, максимальній інсоляції та щонайменше одній проміжній інсоляції.
- 50 3. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що відібрану енергію перетворюють за допомогою DC/DC конвертора та подають на накопичувач енергії, при цьому потужність DC/DC конвертера встановлюють на одному з щонайменше трьох рівнів, які є не меншими за потужність фотоелектричного модуля при мінімальній інсоляції, максимальній інсоляції та щонайменше одній проміжній інсоляції.
- 55 4. Пристрій для відбору електричної енергії від фотоелектричного модуля, що містить DC/AC інвертор з потужністю не менше номінальної потужності фотоелектричного модуля та з можливістю підключення його виходу до електромережі або DC/DC конвертер з потужністю не менше номінальної потужності фотоелектричного модуля та з можливістю підключення його до
- 60 входу накопичувача енергії, конденсатор, підключений паралельно входу інвертора або

конвертера, засіб для вимірювання напруги конденсатора, управляючий модуль, з'єднаний з DC/AC інвертором або DC/DC конвертером та засобом для вимірювання напруги конденсатора, який **відрізняється** тим, що DC/AC інвертор або DC/DC конвертер виконано з можливістю зміни потужності щонайменше на три рівні, засіб для вимірювання напруги виконано з можливістю

подачі на управляючий модуль інформації стосовно щонайменше трьох заданих фіксованих значень напруги конденсатора, управляючий модуль виконано з можливістю переключення рівнів потужності DC/AC інвертора або DC/DC конвертера в залежності від рівня напруги на конденсаторі, внутрішній опір конденсатора щонайменше в два рази менше, ніж внутрішній опір фотоелектричного модуля в точці максимальної потужності, а ємність конденсатора

визначається як

$$C \geq (k \cdot P_v) / (U_v^2 - U_1^2),$$

де С - ємність конденсатора в Фарадах,

P_v - максимальна потужність фотоелектричного модуля при максимальній інсоляції, Вт;

U_v - напруга фотоелектричного модуля в точці максимальної потужності при максимальній інсоляції, В;

U_1 - проміжна фіксована напруга в точці максимальної потужності при інсоляції меншій ніж максимальна, найближча до напруги U_v , В,

k - коефіцієнт з абсолютним значенням 0,3...0,5, с.

5. Пристрій за п. 4, який **відрізняється** тим, що як DC/AC інвертора використано комбінований модуль, що складається з щонайменше одного DC/DC конвертера на вході та DC/AC інвертора на виході.

6. Пристрій за п. 4, який **відрізняється** тим, що як засіб для вимірювання напруги використано щонайменше три порогових пристрої, кожен з яких формує сигнал про наявність на конденсаторі певної напруги.

7. Пристрій за п. 4, який **відрізняється** тим, що управляючий модуль являє собою мікропроцесор.

8. Пристрій за п. 4, який **відрізняється** тим, що управляючий модуль виконано на основі елементів жорсткої логіки.

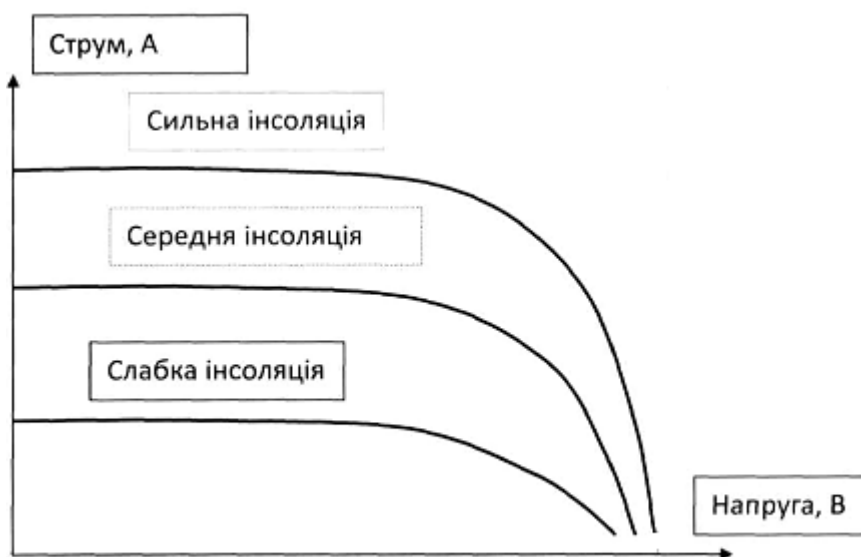


Fig. 1

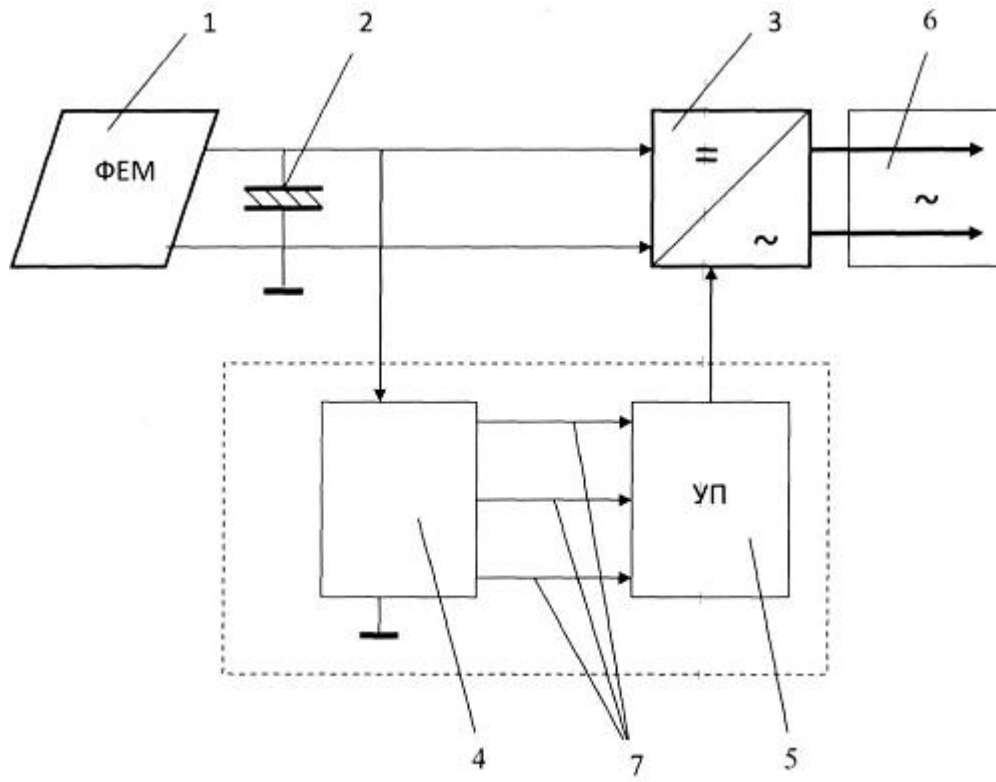


Fig. 2

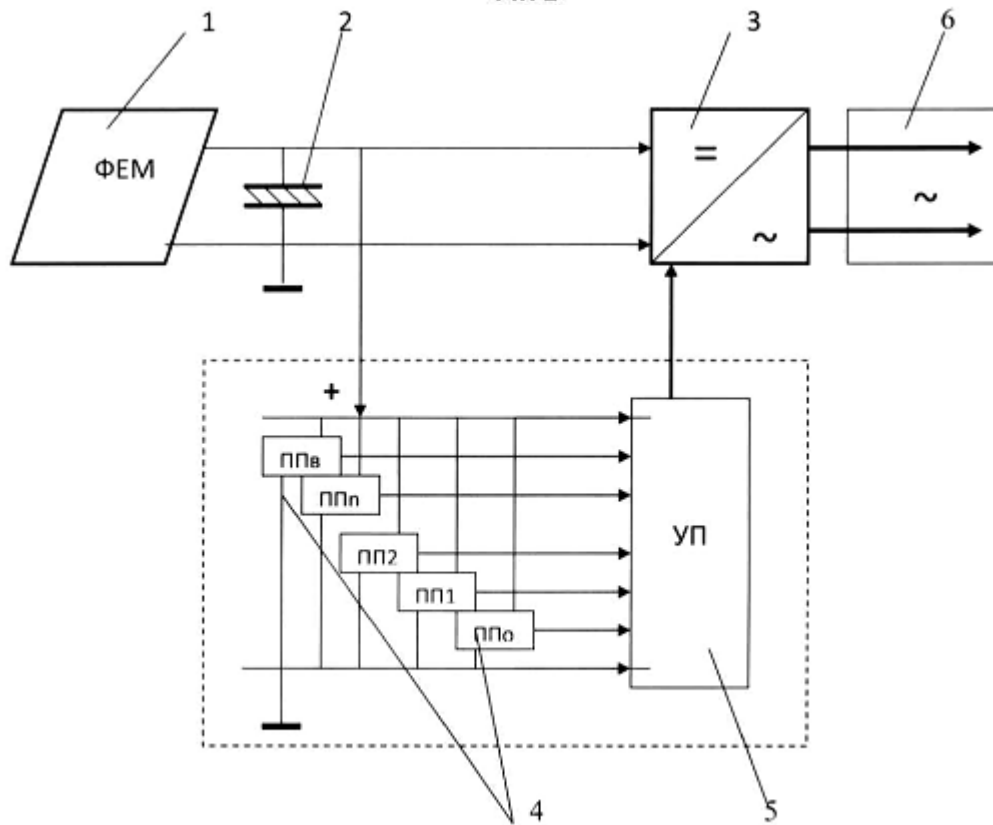
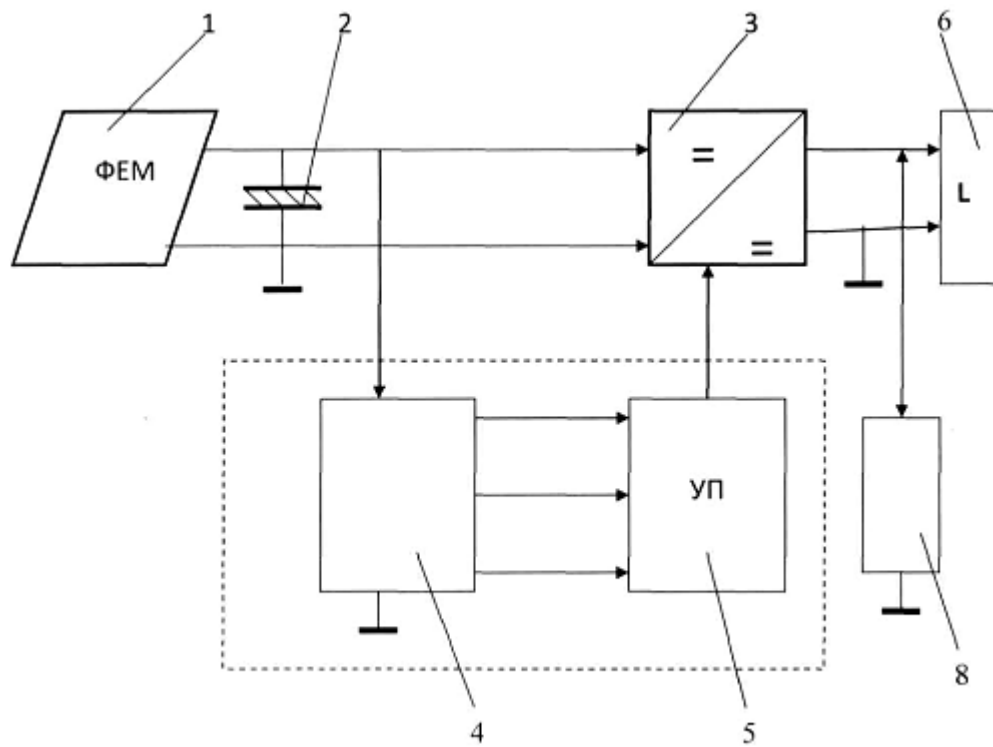
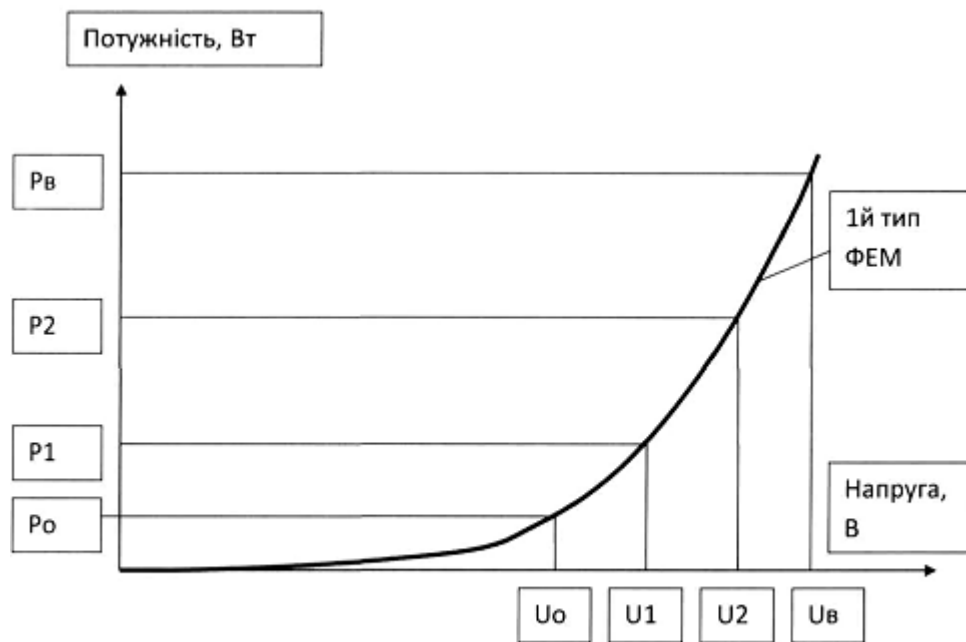


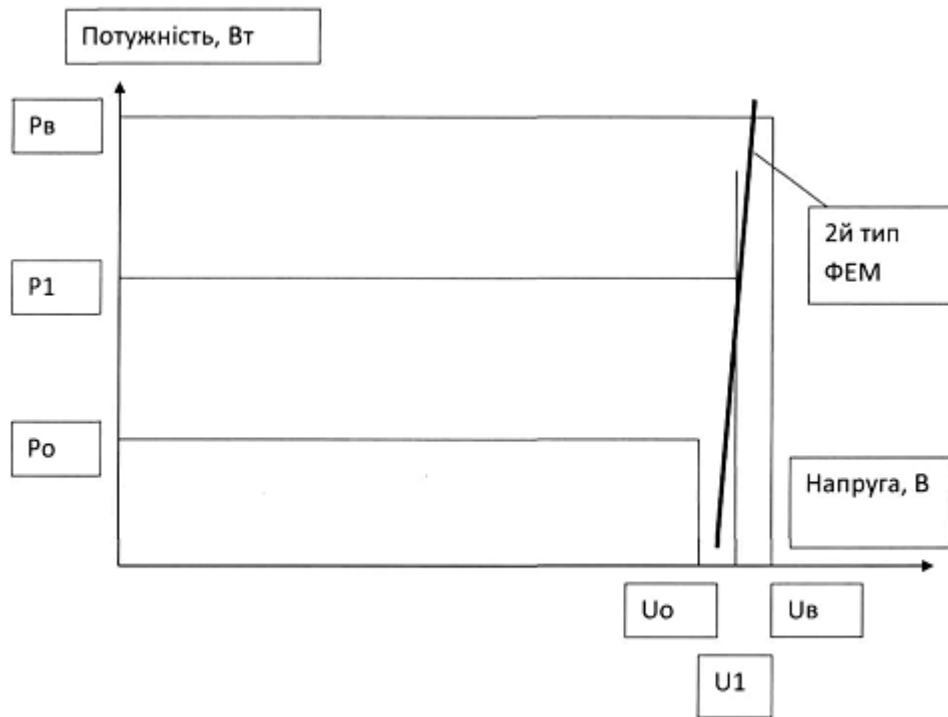
Fig. 3



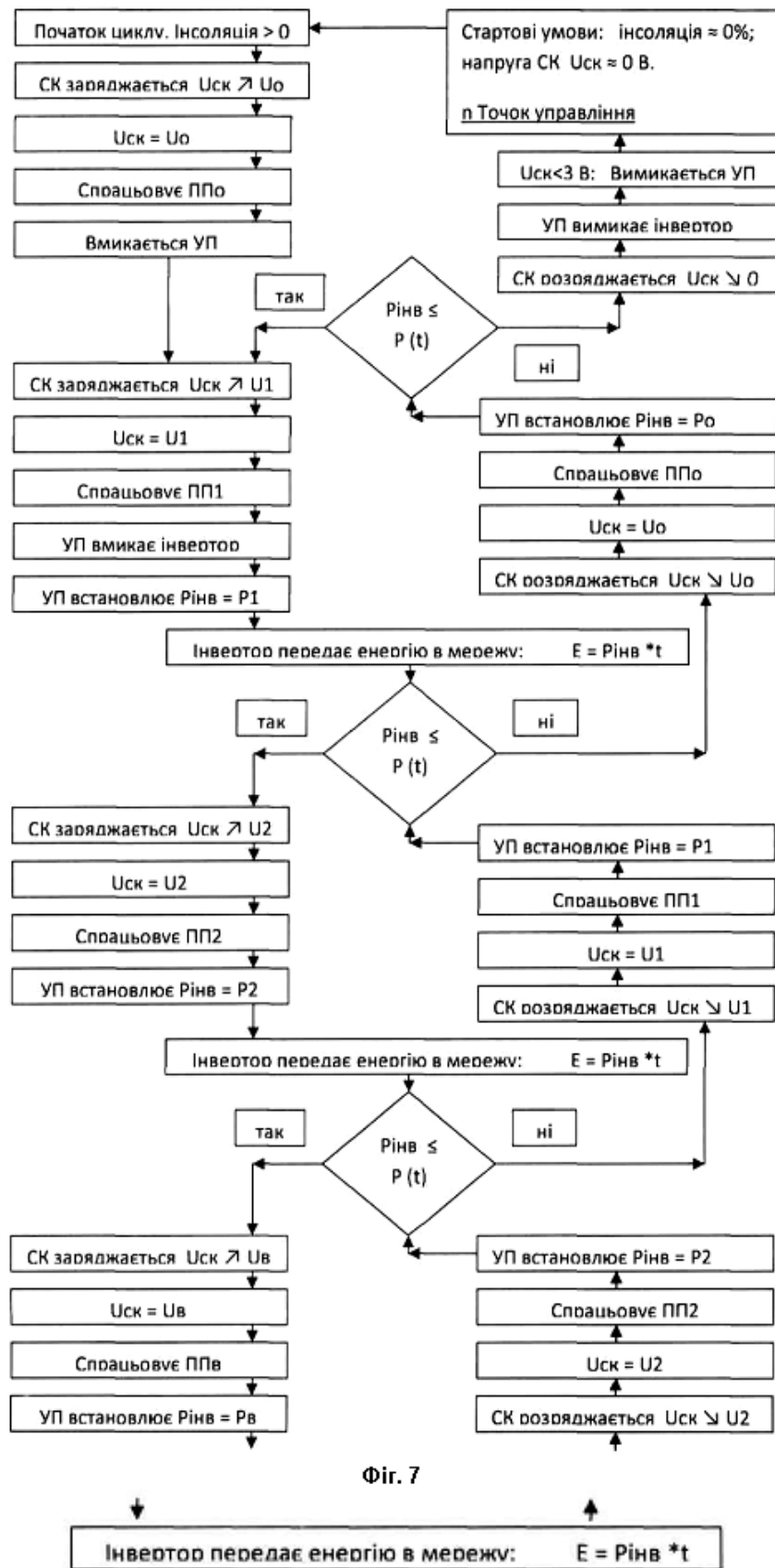
Фиг. 4



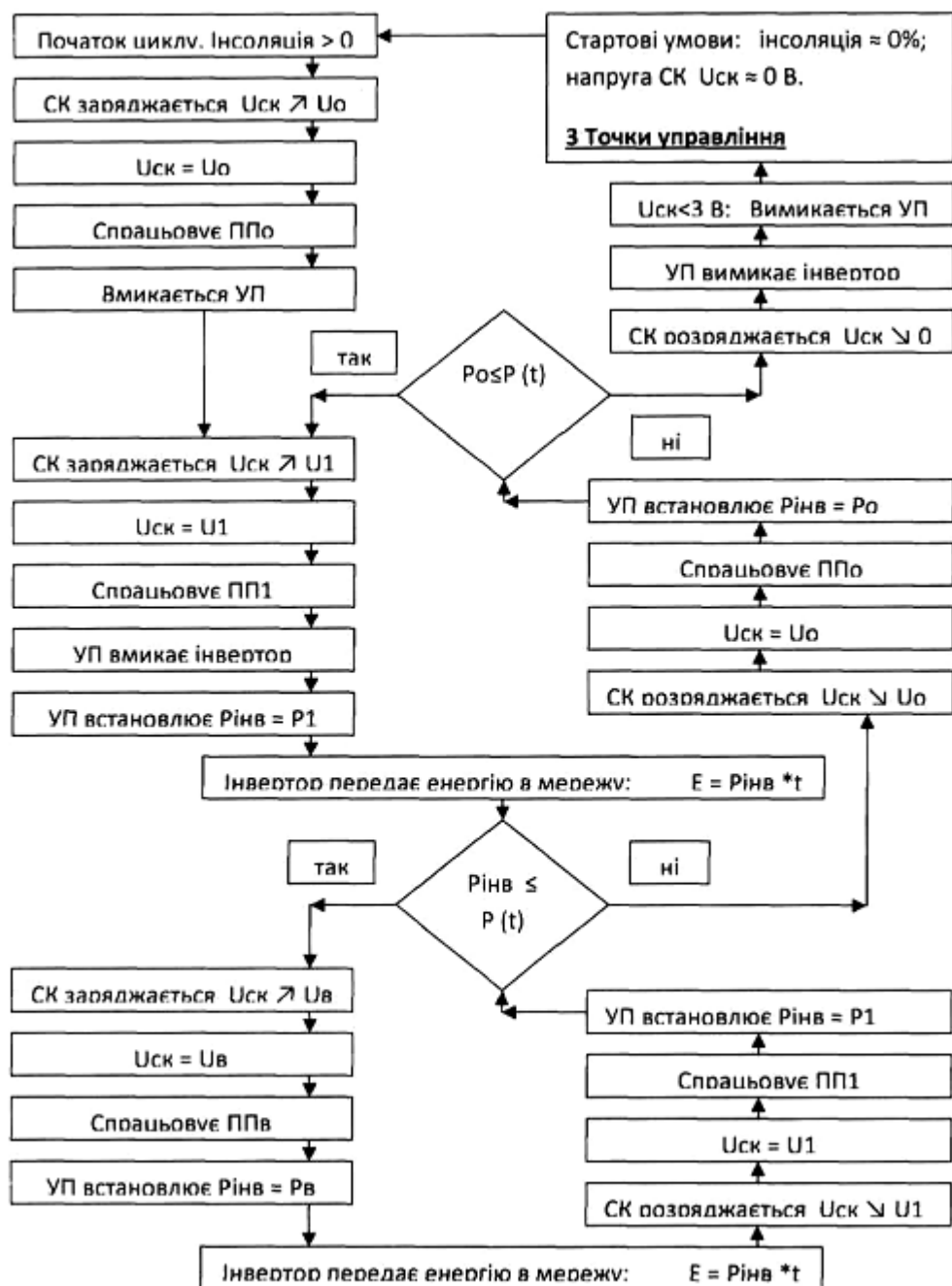
Фиг. 5



Фиг. 6



Фіг. 7 (продовження)



Фіг. 8